مؤسسة دبي للمستقبل
DUBAI FUTURE FOUNDATION

تقرير الفرص المستقبلية

50 فرصة عالمية

2026

أيقونات التعاون بين الإنسان والآلة (HMC)
لـ 'رؤيتنا للمستقبل'

أيقونات التعاون بين الإنسان والآلة (HMC)
لـ 'الفـــرص'

نظـام تصنيـف التعاون بين الإنسـان والآلـة (HMC)
https://www.dubaifuture.ae/hmc

يُرجى ذكر التالي عند الاقتباس: **تقرير الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية 2026، النسخة الخامسة، مؤسسة دبي للمستقبل**
https://www.dubaifuture.ae/the-global-50

تمهيـــد

محمد عبدالله القرقاوي
نائب رئيس مجلس الأمناء والعضو المنتدب
مؤسسة دبي للمستقبل
رئيس متحف المستقبل

في عالم تتسارع فيه التحولات، وتتشابك فيه التحديات مع الفرص، يصبح السؤال الأهم: كيف نصمم مستقبلاً أفضل للإنسان؟

تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالية" في نسخته الخامسة يمثل دعوة للتفكير بطريقة مختلفة، وأداة عملية لاستكشاف ما يمكن أن يعيد رسم ملامح النمو، ويطلق محركات الازدهار، ويرتقي بجودة الحياة حول العالم.

نحن نعيش مرحلة تاريخية استثنائية تتغير فيها نماذج الاقتصاد، وتتسارع فيها التقنيات، وتتوسع فيها حدود الممكن. ما نشهده اليوم من تطورات يشكّل بداية مرحلة جديدة بالكامل في تاريخ البشرية. وفي هذه المرحلة، تحتاج الحكومات والمؤسسات إلى دور أكثر فاعلية في تصميم التغيير، والاستثمار في الفرص قبل أن تتحول إلى واقع.

هذا التقرير يسلّط الضوء على 50 فرصة عالية، وتمثل هذه الفرص مسارات جديدة للنمو، وأفكاراً قابلة للتحول إلى مشاريع، وإمكانيات يمكن أن تغيّر حياة الناس. الفرص تُصنع، وصناعتها تبدأ برؤية واضحة، وقرارات جريئة، وقدرة على تحويل الأفكار إلى أثر ملموس.

يأتي هذا التقرير كأداة لصنّاع القرار، ومنصة للمبتكرين، وخريطة طريق لكل من يسعى للمساهمة في بناء مستقبل أفضل.

إن المستقبل لا تصنعه الظروف المثالية، بل تصنعه العقول التي ترى في التحديات بداية لمسارات جديدة للتقدم والنمو، وكل فرصة مستقبلية هي دعوة للتفكير بشكل مختلف، والعمل بشجاعة أكبر، والإيمان بأن الغد يمكن أن يكون أفضل مما نتخيّل.

الفهـــــرس

كلمة من مؤسسة دبي للمستقبل 6

مقدمـــة 8
الفـــرص المستقبلية في الإصدار الخامـس 10

رؤيتنا للمستقبل 12
الفرضيـــات 15
المتغيرات الغامضة 21
التوجهات العالمية الكبرى 27

استكشاف محتوى التقرير 54
صناعة القيمة وتحويلها إلى واقع ملموس ضمن التقرير 55
المسار العملي لتحصيل القيمة ضمن التقرير 56
التنبـؤ العكســي كمنــهج لاستشـراف المستقبــل 58
تمويل المستقبل 59
محتوى الفرص 63
أوجـه المستقبـل المحتملة والخطوات التاليـة 66
مخطط الفرص 68

الفـــرص 74

الإطار المرجعي 1: **إعادة تعـريف مفهـوم القيمة** 74

الإطار المرجعي 2: **تحديد أسواق جديـــدة** 120

الإطار المرجعي 3: **تبنّي الابتكارات التحوّلية وتوظيف التقنيات المتقدّمة** 142

الإطار المرجعي 4: **بناء شـراكات فعّـــالــة** 208

الإطار المرجعي 5: **تعزيز المـرونة المؤسســية** 230

المنهجية المعتمدة 284

شكر وتقدير 288

قائمة المصطلحات 294

نبذة عن مؤسسة دبي للمستقبل 302

إخلاء مسؤولية 303

المراجع 304

الفـــــرص

إعادة تعـريف مفهـوم القيمة

اقتصاد الأفكار 76
نموذج جديد للسلع والخدمات العامة 80
توسع عالم البيانات 84
مناهج تدريس الحكمة 88
روبوتات مسؤولة 92
عكس المسار المهني 96
ابتكار نماذج عالية للتعليم 100
فرص واعدة لازدهار دور المرأة 104
ديمقراطية النشر العلمي 108
مدارس بلا سنوات محدّدة 112
القدرة الإدراكية الوطنية 116

بناء شـراكات فعّـــالـــة

مكتبة طبية لكوكب الأرض 210
حاسبة التغير المناخي 214
تقليص الفجوة الرقمية 218
إنترنت فضائي 222
صندوق ابتكارات البشرية 226

تحديد أسواق جديـــدة

محطات الطاقة الفضائية 122
تخزين الطاقة في الفضاء 128
ملابس للعناية بالصحة 130
موارد بحرية جديدة 134
مياه شرب نقية إلى الأبد 138

تعزيز المـرونة المؤسســية

كبسولات مكتفية ذاتياً 232
العمل من أي مكان 236
قياس أداء السياسات المجتمعية 240
تطوير الوعي الفكري لدى الأفراد 244
الابتكار في علم المحاسبة 248
شركات رقمية بالكامل 252
ثورة في طب الأشعة 256
بيئات حيوية افتراضية 260
سحابة لا مركزية 264
أقراص الحمض النووي 268
صيانة ذاتية للأجهزة 272
تصنيف جديد لترتيب الدول الأفضل في العالم 276
براءات اختراع أكثر مرونة 280

تبنّي الابتكارات التحوّلية وتوظيف التقنيات المتقدّمة

طاقة لا تنفد 144
خلايا مصممة وفق الطلب 148
صناعة السيارات والتغيير القادم 152
ابتكار مواد جديدة 156
صورة متكاملة للأرض 160
الانتقال اللحظي 164
طباعة الأعضاء البشرية 168
سياسات نقدية متطوّرة 172
إحساس رقمي بلا تلامس 176
إعادة ابتكار البطاريات 180
المادة المعجزة 184
فيروسات آكلة للبكتيريا 188
مصفاة بحرية فوق صوتية 192
بصمة رقمية للمياه 196
عصر جديد للطاقة الجوفية 200
طاقة دون حدود 204

الإصـــدار الأول
2022

الإصـــدار الثانـــي
2023

الإصـــدار الثالـــث
2024

الإصـــدار الرابـــع
2025

كلمة من مؤسسة دبي للمستقبل

يُعدّ تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" المرجع البحثي الاستشرافي الرئيسي لمؤسسة دبي للمستقبل حول الفرص التي يمكن أن تعيد تشكيل مسارات النمو والازدهار وجودة الحياة حول العالم. ومع صدور نسخته الخامسة في عام 2026، يواصل التقرير رصد التحولات الكبرى التي يشهدها العالم، واستكشاف الفرص التي قد ترسم ملامح العقود القادمة.

لا ينطلق هذا التقرير من محاولة التنبؤ بالمستقبل بقدر ما يستند إلى فهم أعمق لطبيعته المعقدة؛ فالمستقبل ليس مساراً واحداً يمكن توقعه بدقة، بل فضاء يتشكل من معارف مؤكدة، ومجهولات معروفة، وأخرى لم تُكتشف بعد. وبينما قد تساعد محاولات التنبؤ على توجيه السياسات وتعزيز الثقة في أوقات الغموض وعدم اليقين، فإن هدفنا عبر هذا التقرير يتمثل في الاستعداد للمستقبل والمساهمة في صناعته، لا مجرد توقعه.

ولهذا ركّزنا منذ الإصدار الأول على استكشاف الفرص المستقبلية وتصنيفها ضمن ثلاث آفاق زمنية رئيسية: قصيرة ومتوسطة وبعيدة المدى. ولم يكن الهدف تحديد موعد محدد لتحقق كل فرصة، بل فهم العوامل التي قد تسرّع انتقالها من فكرة إلى واقع، ودور التقنيات والظروف والقدرات البشرية في تسريع هذا التحول.

ومع دخول التقرير عامه الخامس، نخطو خطوة إضافية إلى الأمام. فبعد أن ركّزت الإصدارات السابقة على الإجابة عن سؤالين أساسيين: ما هي الفرصة؟ ولماذا تكتسب هذه الأهمية؟ يركّز هذا الإصدار على سؤالين أكثر ارتباطاً بالتطبيق العملي: كيف يمكن تحويل هذه الفرص إلى واقع؟ وما هي الجهات القادرة على تحقيقها؟

ولا يكتمل الحديث عن تحويل الفرص إلى واقع دون معالجة قضية التمويل؛ فالأفكار، مهما كانت واعدة، تبقى محدودة الأثر في غياب نماذج تمويل قادرة على دعمها وتوسيع نطاقها. ومن هنا، يتناول هذا الإصدار الابتكار والتمويل بوصفهما مسارين متلازمين، مستنداً إلى مراجعة واسعة لأساسيات الابتكار وتجارب تمويله في مختلف القطاعات.

كما يتضمن التقرير مراجعة تحليلية لمستوى التقدم في الفرص التي تناولتها الإصدارات السابقة، وذلك بهدف بناء قاعدة معرفية تدعم استخدام منهجية التنبؤ العكسي، حيث يبدأ من الصورة المستقبلية المرغوبة، ثم يعود تدريجياً إلى الحاضر لتحديد الخطوات والعوامل المطلوبة في كل مرحلة، وذلك لفهم المسارات المحتملة لتحقيق هذه الفرص. ورغم أن هذه المراجعة لا تدّعي الإحاطة بكل جوانب التقدم في العالم، فإنها تتيح للقارئ تصور الخطوات العملية، وتحديد العوامل الممكّنة والتحديات التي قد تواجهها. كما تفتح المجال أمام الحكومات والقطاع الخاص ومؤسسات المجتمع المدني والأفراد لاستكشاف أدوارهم في تشكيل هذا المستقبل.

وبصفتنا متخصصين في مجال استشراف المستقبل، ندرك كذلك أهمية الوعي بالتحيزات التي قد تؤثر في تصورنا للمستقبل. فكثيراً ما يميل البشر، عن قصد أو دون قصد، إلى تبسيط صورة المستقبل أو إسقاط تجارب الماضي عليه. ولهذا ندعو القارئ إلى التعامل مع الفرص الواردة في هذا التقرير بوصفها مساحة لتوسيع آفاق التفكير، واستلهام أفكار جديدة تنطلق من سياقات وموارد وقدرات مختلفة.

وقد أظهرت مسارات تحقيق الفرص التي يتناولها التقرير أن التعاون العابر للحدود يشكل ركيزة أساسية لتحقيق العديد من الفرص المستقبلية. فسواء عبر التحالفات الدولية أو المبادرات متعددة الأطراف، تبقى فكرة التعاون هي أحد أهم مفاتيح تحقيق النمو والازدهار وجودة الحياة في المستقبل.

كما يشير التقرير إلى أن عدداً من الفرص التي بدت في السابق ذات طابع مستقبلي بدأت تتحول اليوم إلى فرص انتقالية بفعل التقدم التكنولوجي والتحولات العالمية المتسارعة. وفي الوقت نفسه، تتزايد الحاجة إلى تطوير نماذج التمويل المدمج لدعم الابتكار، وتفعيل البيئات التجريبية العالمية في قطاعات متعددة لتسريع اختبار الحلول الجديدة. وفي المقابل، تتصاعد التحديات المرتبطة بالأمن السيبراني، لتصبح إدارتها أولوية لا غنى عنها في المستقبل.

أما في المراحل القادمة من المستقبل، فقد يكون التحدي الأبرز هو تحقيق الاتصال السلس بين الأجهزة وتبادل البيانات في الزمن الفعلي، ضمن معادلة دقيقة توازن بين الكفاءة التقنية وحقوق الخصوصية — وهي معادلة ستظل تشكّل أحد أبرز التحديات أمام المجتمعات في السنوات القادمة.

نأمل أن يقدّم هذا الإصدار مادة ثرية للتفكير والإلهام، وأن يفتح آفاقاً جديدة أمام استكشاف الفرص المستقبلية. كما ندعو القرّاء إلى الاستفادة من الأقسام المخصصة المذكورة ضمن فصل "استكشاف محتوى التقرير" لتطوير تطبيقات أو أنظمة تساعد في تحليل الفرص واستكشاف غيرها. مع العلم أن هذه المخرجات ستظل بحاجة إلى التوجيه والتحسين، وهو ما يجعل التنبؤ العكسي التشاركي — القائم على الخبرة البشرية الموجّهة — عنصراً أساسياً لا غنى عنه في استشراف المستقبل.

مؤسسة دبي للمستقبل

مع دخول التقرير عامه الخامس، ننتقل خطوة إلى الأمام بالتركيز على **تحويل الفرص المستقبلية إلى واقع.**

مقدمـــــة

يواصل تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية"، في نسخته الخامسة، تسليط الضوء على رؤية مؤسسة دبي للمستقبل.

وكما جرت العادة، يستعرض تقرير هذا العام تحديثاً لرؤيتنا المستقبلية للعالم، بما في ذلك تطوّر أحد التوجهات العالمية الكبرى التي من المتوقّع أن تؤثر في النمو والازدهار وجودة الحياة (الشكل 1)، هذا إلى جانب مراجعتنا في هذا الإصدار للفرص المستقبلية السابقة، لكن من منظور مختلف.

فبعد أن ركّزنا في الإصدارات الماضية على سؤالين يرتبطان باستكشاف القيمة المحتملة لكل فرصة، وهما "ما هي الفرصة؟ وأين تكمن أهميتها؟" ننتقل الآن إلى الإجابة عن سؤالين أقرب إلى الواقع العملي، وهما "كيف نحوّل هذه الفرص إلى واقع؟ وما هي الجهات المسؤولة عن تنفيذها؟".

وننظر في هذا التقرير إلى كل فرصة مستقبلية باعتبارها تصوّراً لمستقبل نطمح إلى تحقيقه، ونعمل على رسم خريطة واضحة تشمل خطوات التنفيذ والآليات الملائمة لتحقيقها، بالإضافة إلى الأدوار المطلوبة من الجهات المعنية، بما يضمن استثمار هذه الفرص وتحقيق أثرها المطلوب في تعزيز النمو والازدهار وتحسين جودة الحياة.

الشكل 1

تعريـــف النمـــو والازدهـــار وجـــودة الحياة

	اليـــوم	المستقبـــل
النمـــو	الزيادة في إجمالي إنتاج السلع والخدمات في اقتصاد معيّن مع مرور الوقت.	قد يتخطى مفهوم "النمو" العوامل الاقتصادية في المستقبل ليشمل أيضاً، على سبيل المثال، حساب التأثيرات السلبية، ما يمكّننا من تطوير مقاييس لنمو المحصلة الإيجابية للشركات - أي المرحلة المتقدّمة التي تبلغها الشركات وتسعى فيها إلى أن تقدم للبيئة أكثر ممّا تستهلكه من مصادر وموارد طبيعية في جميع عملياتها.
الازدهـــار	عيش حياة كريمة ومستقرة خالية من تهديدات الفقر أو التعرض للأذى، إلى جانب إمكانية الوصول إلى فرص العمل اللائقة ومختلف الخدمات والموارد الأساسية، مثل التعليم والرعاية الصحية والمياه والطاقة.	قد يتطوّر تعريف "الازدهار" مستقبلاً ليشمل الوصول إلى الخدمات الشخصية المصمّمة وفق احتياجات الفرد والخدمات ذاتية الإدارة. وقد يشمل مفهوم الازدهار تدفقات متنوّعة للدخل المالي الإضافي من دون الاعتماد فقط على الوظيفة الثابتة، بما يمكّن الأفراد من تحسين مستوى معيشتهم. كذلك، يمكن أن يشير الازدهار إلى توفير المزيد من الخيارات الحياتية أمام الأفراد، وضمان بيئة داعمة ومكتفية ذاتياً لعيش تلك الخيارات.
جـــودة الحيـــاة	حالة الصحة العقلية والجسدية الجيدة والإحساس بالرضا عن الحياة، نتيجة تحقيق النمو والازدهار والمشاركة الإيجابية في المجتمع والتفاعل الإيجابي مع البيئة والشعور بالانتماء.	قد يرتكز تعريف "جودة الحياة" في المستقبل على الشعور بتحقيق الذات والثقة بالنفس، إذ قد يعزّز التطوّر في مجالات الطب والتكنولوجيا قدرتنا على التغلّب على مختلف تحديات الصحة العقلية والجسدية.

الفـــرص المستقبلية
في الإصدار الخامـس

يقدّم تقرير "50 فرصة عالمية"، في نسخته الخامسة، رؤية متجدّدة تستند إلى قناعة راسخة بأن الابتكار هو المحرك الأساسي نحو المستقبل،[1] إذ يؤدي دوراً مزدوجاً يجمع بين **صناعة القيمة وتحويلها إلى واقع ملموس**.[2]

تبدأ **صناعة القيمة** عندما نطوّر أفكاراً أو منتجات أو خدمات جديدة تقدّم منفعة حقيقية للمجتمع، بينما يتحقّق **تحصيل القيمة** عندما تُترجم الابتكارات إلى نتائج عملية، سواء عبر تحقيق أرباح في القطاع الخاص، أو تحسين الخدمات في القطاع العام، أو الإسهام في تحسين جودة حياة المجتمع المدني.

وفي هذا الإطار، يشير تقرير هذا العام، كما في إصداراته السابقة، إلى أن **صناعة القيمة** تتمثل في تحديد الفرص الواعدة التي تعزّز النمو والازدهار وجودة الحياة في المستقبل، في حين يكمن **تحصيل القيمة** في بناء مسارات واقعية ومدروسة، من خلال جهود موحّدة ومشتركة بين مختلف الأطراف المعنية.

وحتى تتحوّل الفرص إلى نتائج فعلية، يستند هذا الإصدار إلى خمسة مسارات مترابطة، يمثل كل منها مدخلاً عملياً للاستفادة من هذه الفرص وتحويلها إلى إنجازات ملموسة في مجالات النمو والازدهار وجودة الحياة. وتشمل:

خمســـة مســـارات

1 **إعادة تعريف مفهوم القيمة،** ليشمل أبعاداً للنجاح تتجاوز المؤشرات الاقتصادية التقليدية

2 **فتح أسواق جديدة** تستجيب للاحتياجات العالمية المتغيرة.

3 **تبنّي الابتكارات التحوّلية وتوظيف** التقنيات المتقدّمة لتحقيق أثر ملموس.

4 **تعزيز التعاون الدولي** من خلال الشراكات بين مختلف القطاعات.

5 **تعزيز المرونة والقدرة على التكيّف** مع المتغيّرات الغامضة، والتحوّلات السريعة، والتعقيدات التي يفرضها المستقبل.

وتطرح كل فرصة في هذا الإصدار الخامس سؤالين جوهريين أمام **صنّاع القرار** في المؤسسات:

- كيف يمكن أن تستفيد مؤسستك من هذه الفرصة؟
- وما الدور الذي يجب أن تؤديه بنفسك؟

بالإضافة إلى سؤالين أساسيين **للأفراد**:

- أين توجّهون جهودكم واستثماراتكم؟
- وما هي المهارات التي تحتاجون إليها لمواكبة المتغيرات؟

من هذا المنطلق، **يمكن لأصحاب القرار والأفراد** تحديد الدور الذي يستطيعون تأديته في رسم ملامح المستقبل، بما يتناسب مع قدراتهم وطموحاتهم.

وهناك أربعة أدوار رئيسية يمكن الاضطلاع بها:

الشخصية القيادية

من يتقدم لرسم ملامح المستقبل ويسعى بوضوح إلى تحقيقه

الشخصية المترقّبة

من يراقب الفرص عن كثب ويستعدّ لاغتنامها في اللحظة المناسبة

الشخصية الداعمة

من يسهم في تمكين المستقبل الممكن عبر توفير موارد أو خبرات أو قدرات

الشخصية المراقبة

من يتابع ملامح المستقبل المحتمل لضمان الاستعداد لما قد يطرأ عليه من تحوّلات

وعلى الجميع الالتزام على الأقل بدور "المراقب" من أجل الاستعداد للتغيّرات المستقبلية.

لم يعد التساؤل الذي نسعى إلى الإجابة عنه "ما هي السيناريوهات المستقبلية المحتملة؟"، بل أصبح **"من سيبادر ليقود ويوجه الجهود نحو تحقيق هذه السيناريوهات؟".**

رؤيتنا للمستقبل

في الوقت الذي تسهم فيه الفرضيات والمتغيرات الغامضة في تشكيل **رؤيتنا المستقبلية بعيدة المدى** على مدار عدة عقود، تُعدّ التوجهات العالمية الكبرى بمثابة بوصلة إرشادية تساعد في استشراف المستقبل على المديين القريب والمتوسّط، أي على امتداد عقدٍ من الزمن تقريباً، مع التركيز على تحويل الفرص المستقبلية إلى خطوات عملية قابلة للتنفيذ.

الفرضيات

الفرضية هي اتجاه نعتقد أنه سيستمر لفترة زمنية طويلة، رغم تغيّر الظروف والعوامل المحيطة. فحتى في ظل التحوّلات المفاجئة أو الأزمات الكبرى، تبقى الفرضيات، في الغالب، مستقرة وتشكل الأساس في بناء الرؤى المستقبلية.

؟

ما هي الفرضيات التي، إذا تغيّرت، ستعيد تشكيل رؤيتكم المستقبلية على المدى الطويل؟

التوجهات العالمية الكبرى:

تشير التوجهات العالمية الكبرى إلى أنماط مستقبلية تنشأ من الاتجاهات الحالية ونتائج الدراسات العالمية، ومن المتوقّع أن تترك أثراً ملموساً وطويل المدى في الاقتصادات والمجتمعات عالمياً. وتكمن أهمية هذه التوجهات في قدرتها على تحديد مسارات النمو والازدهار وجودة الحياة، سواء بصورة إيجابية أو سلبية، إذ تؤثر في معظم الدول والقطاعات الحيوية على مدى عقدٍ من الزمن أو حتى أكثر.

؟

ما هي التوجهات العالمية الكبرى التي تؤثر بشكل مباشر على رؤيتكم الاستراتيجية؟ وكيف تتابعون تطوّراتها وتتعاملون معها، مع مراعاة الترابط والتداخل بين مختلف التوجهات؟

المتغيرات الغامضة

تنشأ المتغيرات الغامضة نتيجة التغيّرات المستمرة في السياقات الاجتماعية، والاقتصادية، والسياسية، والبيئية، وهي التي تقودنا نحو مسارات مستقبلية مختلفة تماماً. وتتخذ هذه المتغيرات أشكالاً متعددة ضمن نطاق واسع من الاحتمالات، ممّا يمنحها القدرة على التأثير في الاتجاهات على المستويين الإقليمي والعالمي.

وخلال العقود الخمسة القادمة، ستكون هذه المتغيرات المحرك الأساسي في تشكيل العالم الذي يتّسم بالسرعة والتعقيد، بما يفرض واقعاً جديداً يتطلب منا الاستعداد لمواجهة تحديات غير مسبوقة.

؟

ما هي المتغيرات الغامضة التي تعتقدون أنّكم مستعدون للتعامل معها اليوم؟ وأيّ منها يتطلب منكم تطوير مهارات جديدة وابتكار حلول مختلفة؟

الفرص المستقبلية

الفرص هي إمكانات مستقبلية يمكن تحقيقها، تنطلق من أفكار أو منتجات أو خدمات قادرة على إحداث أثر فعلي في تحقيق النمو والازدهار وتحسين جودة الحياة.

؟

هل تملك مؤسستكم القدرة على الإسهام في بلورة هذه الفرص وقيادة مساراتها إقليمياً أو عالمياً؟ وأيّ من هذه الفرص يعكس جوهر رسالتكم ويمثّل الركيزة الأساسية لقيمتكم المضافة وتوجهاتكم الاستراتيجية بعيدة المدى؟

في إطار سعينا إلى استشراف ملامح مرحلة التحوّلات الكمومية[3] وما قد تحمله من تغيّرات جذرية، يبقى الإنسان هو العنصر الثابت والأهم في معادلة المستقبل.

فبصرف النظر عن تطوّر النماذج الاقتصادية، أو تحوّل المفاهيم الاجتماعية، أو تبدّل القيم عبر الأجيال، أو تسارع التقدّم التكنولوجي، أو عمق التحوّلات الديموغرافية، أو اتساع الالتزامات العالمية تجاه قضايا البيئة، يظل الجوهر الإنساني ثابتاً دون أن يتغيّر.

ومهما كان المستقبل الذي ستتشكّل ملامحه، سيظل وجهةً لرحلة إنسانية متواصلة، يسعى فيها الإنسان باستمرار إلى تلبية احتياجاته الأساسية وتحقيق تطلّعاته الكبرى (الشكل 2).[4]

a

الشكل 2

تسلسل ماسلو الهرمي لاحتياجات الإنسان في عصر الذكاء الاصطناعي

في إطار أبحاثنا حول التحوّلات الكمومية، اعتمدنا هرم "أبراهام ماسلو" كمرجعية لفهم احتياجات الإنسان في هذا العصر المتسارع.[5] ورغم ما وُجّهت لهرم ماسلو من انتقادات، خاصة من حيث التدرج الصارم للاحتياجات وترتيبها.[6] ومع ظهور الذكاء الاصطناعي كقوة محورية في عصرنا، أصبح من الضروري إعادة قراءة هذا الهرم من منظورٍ جديد[7] يدمج بين الإطار التقليدي وأحدث الرؤى المعاصرة.

على سبيل المثال، ولفهم الاحتياجات الأساسية اليوم، يمكننا التمييز بين خط الفقر الأساسي ومعايير الحياة الكريمة.[8]

فبينما يركّز **خط الفقر الأساسي** على ضرورات الحياة، كالغذاء والماء والمسكن والملبس، والتي عجز عن تأمينها نحو 17.3% من سكان العالم خلال عام 2011،[9] ورغم عدم توفر إحصائيات موثوقة بعد ذلك، إلا أن انعدام الأمن الغذائي يُعد مؤشراً قريباً، وقد أثر على 28% من سكان العالم في عام 2024.[10]

تأتي **معايير الحياة الكريمة** لتشمل جوانب أوسع مثل التغذية، والرعاية الصحية، والتعليم، والطاقة، والنقل، والصرف الصحي، والنظافة، والتقنيات الحديثة، والتدفئة، والحواسيب، والإنترنت، والإنارة. وفي عام 2024، تبيّن أن **80%** من البشر يفتقرون إلى جانب واحد على الأقل من هذه المعايير.[11]

لكن الإنسان لا يتوقف عند تلبية **احتياجاته المادية**. فوفقاً لهرم ماسلو، يسعى الفرد، بعد تحقيق الأمان والانتماء، إلى تقدير ذاته وتطوير كفاءاته الشخصية، وصولاً إلى قمة الهرم أي إلى تحقيق ذاته، وهو مستوى اعتقد ماسلو أنه لا يتحقّق إلا لدى نسبة محدودة من البشر في مراحل متقدة من الحياة.[12]

%28

من سكان العالم غير قادرين على تلبية احتياجاتهم الأساسية (تقديراً)

%80

يفتقرون إلى جانب واحد على الأقل من معايير الحياة الكريمة (2024)

%2

يصلون إلى قمة هرم ماسلو (نظرياً)[15]

ومع دمج الذكاء الاصطناعي في مختلف مجالات الحياة، من المتوقع أن يُحدث هذا الواقع الجديد تحوّلاً جذرياً في شكل الهرم. ففي قاعدة الهرم، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يسهم بشكل كبير في تلبية احتياجات الإنسان الأساسية بكفاءة أعلى وفعالية أكبر،[13] من خلال تحسين سير العمل، ورفع مستوى الدقة، وزيادة الإنتاجية، وتخفيف المخاطر، وتطوير طرق التعلّم.[14]

لكن الأهم من ذلك أن الذكاء الاصطناعي قد يفتح المجال أمام عدد أكبر من الناس للارتقاء إلى أعلى مستويات الهرم، مثل تطوير الذات وتحقيق الطموحات الشخصية. بل إن هذا التحوّل قد يكشف عن احتياجات جديدة بالكامل لم تكن ضمن تصوّرنا من قبل، ويُعيد النظر في أهمية بعض الاحتياجات النفسية والاجتماعية، التي ربما تكون جوهرية أكثر ممّا افترضه ماسلو في زمنه.

وهكذا، لا يقتصر تأثير الذكاء الاصطناعي على تحسين طريقة تلبية الاحتياجات، بل يعيد أيضاً تعريف مفهوم احتياجات الإنسان.

وفي هذا العالم الذي يزداد تعقيداً،[16] ويتطوّر فيه فهمنا لمعنى التطوّر الحقيقي،[17] يتضح لنا أن مبادئ تحقيق النمو والازدهار وتحسين جودة الحياة تتمحور جميعها حول الإنسان. فالتطوّر الحقيقي لا يُقاس بالأرقام وحدها، بل بقدرتنا على فهم تطلعات البشر، واستشراف الفرص التي يمكن أن تغيّر حياتهم، واستباق التحديات التي قد تعيق تقدمهم، وتهيئة البيئة التي تساعدهم على الازدهار، حتى في ظل حالات المتغيرات الغامضة التي يشهدها العالم.[18]

إن مفاهيم النمو والازدهار وجودة الحياة لم تعد مجرد مؤشرات مستقلة، بل أصبحت العدسة التي ننظر من خلالها إلى المستقبل، والبوصلة التي تقود مختلف التوجهات العالمية والفرص المستقبلية التي يستعرضها هذا التقرير.

رؤيتنـــا للمستقبـــــل

الفرضيـــــات

تشكّل الفرضيات العالية مؤشرات توجيهية تساعدنا في عملية استشراف المستقبل. ورغم أنها تبدو مستقرة وأن آثارها تمتد على مدى عقودٍ طويلة ، إلا أنها قد تتغيّر على المدى القصير. فثبات هذه الفرضيات يُعد عنصراً أساسياً في استقرار السيناريوهات المستقبلية، وفي قدرتنا على تحديد الفرص المستقبلية واغتنامها.

1. **عمر صحي أطول**
2. **استمـرار التغـيّر المناخـي**
3. **اتساع فجـوة التفـاوت بين المجتمعـات**
4. **استمرار التطـوّر التكـنولوجـي**
5. **استمـرار التـرابط العالـمي**

الفرضية 1

عمر صحي أطول

من المتوقّع أن يصل متوسّط عمر الإنسان إلى

81 عاماً بحلول عام 2100.[19]

لكن وتيرة التحسن في هذا المؤشر بدأت تتباطأ في 32 دولة من الدول ذات الدخل المرتفع، وذلك نتيجة تراجع الأثر الإيجابي الذي كان يحققه انخفاض معدلات الوفيات في السابق.[20]

بحلول عام 2050، من المتوقّع أن

يتساوى عدد كبار السن بعمر 65 عاماً مع عدد الأطفال بعمر 12 عاماً،[21]

وهو تحوّل ديموغرافي كبير يستدعي أن تعيد المجتمعات التفكير في مفاهيم أساسية مثل الشيخوخة والتقاعد.[22]

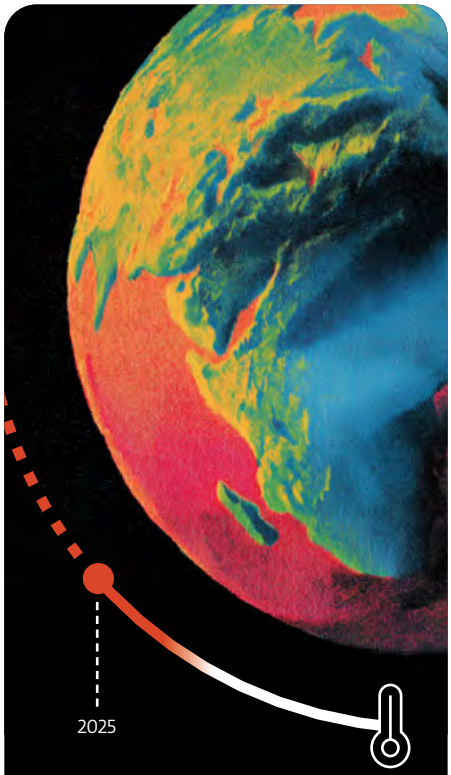
من المتوقّع أيضاً أن يعيش الأفراد سنوات أطول وهم يتمتعون بصحة جيدة، أي أن يعيشوا حياةً صحية حتى عمر

67.4 عاماً بحلول عام 2050،[23] بعد أن كانت صحتهم تسوء عند بلوغ 58.1 عاماً تقريباً في عام 2000.[24]

ويعود هذا إلى التقدّم في مجال علم الشيخوخة والاهتمام الكبير بما يُعرف بـ "طول العمر الصحي"، أي عدد السنوات التي يعيشها الإنسان وهو لا يعاني من الأمراض والاحتياجات الخاصة.[25]

الفرضية 2

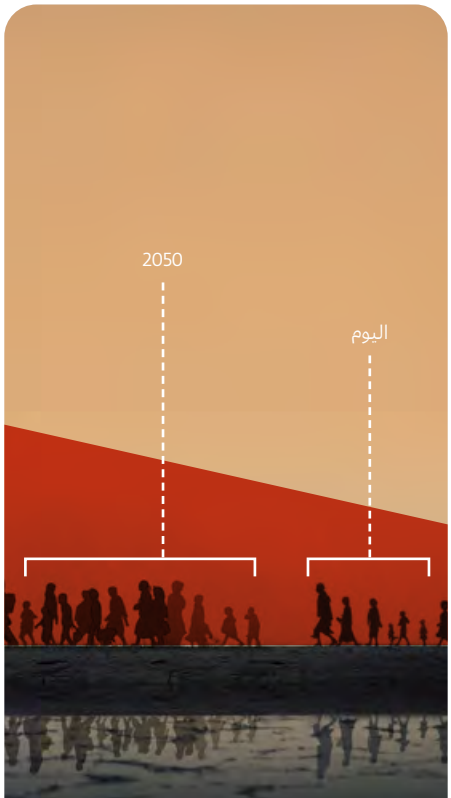
استمـــــرار التغيّر المناخـــي



تواصل درجات الحرارة العالمية ارتفاعها

إذ بلغت 1.55 درجة مئوية في عام 2025 فوق متوسط مستويات ما قبل الثورة الصناعية

لتكون الأعوام الـ 11 الأخيرة الأكثر حرارةً في سجل درجات الحرارة الممتد على مدار 176 عاماً.[26]



بحلول عام 2050، من المحتمل أن

يتضاعف

عدد الأشخاص الذين **يعيشون في فقرٍ شديد** حول العالم بسبب تغيّر المناخ،[27] وأن تتحمّل الدول منخفضة الدخل العبء الأكبر نتيجة لذلك.[28]

قد يهدّد ارتفاع مستوى سطح البحر
سبل عيش ما يقارب

مليار شخص

حول العالم،[29] وقد أصبحت بعض آثاره دائمة ولا يمكن عكسها في بعض دول جزر المحيط الهادئ.[30]

الفرضية 3

اتساع فجوة التفاوت بين المجتمعات

ما تزال الفجوة في الدخل بين فئات المجتمع

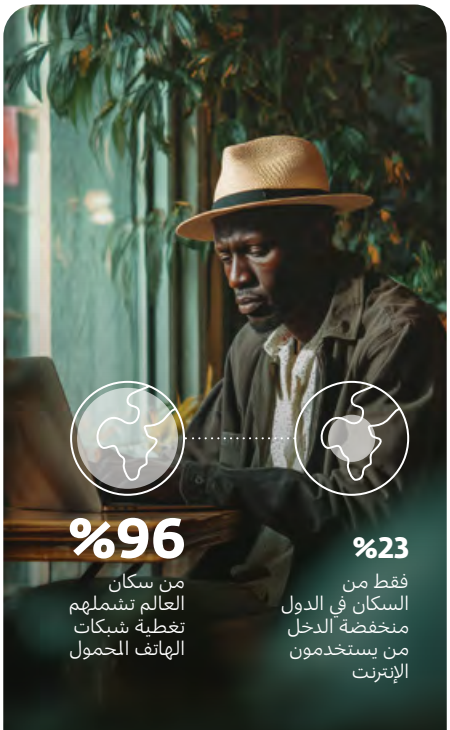
حول العالم كبيرة وواضحة. ففي حين يتقاضى **الشخص العامل دخلاً سنوياً بمتوسّط 16,000 دولار أمريكي**، [A] ويحصل الشخص الذي ينتمي إلى **أغنى 10% من سكان العالم على 159,300 دولار أمريكي**، وتصل قيمة أصوله إلى **مليون دولار**. أما الشخص الذي ينتمي إلى **الفئة الأكثر فقراً من السكان، فيحصل على 5,100 دولار سنوياً**، ويمتلك أصولاً تُقدّر بحوالي 6,500 دولار فقط.[31]

ورغم أن نحو مليار شخص حول العالم حصلوا على الكهرباء منذ عام 2000، ما يزال هناك حوالي

710 مليون

شخص مهدّدين بالاستمرار بدون طاقة كهربائية حتى عام 2030[32]

معظمهم في دول أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، حيث ما تزال هناك فجوة كبيرة في توفير الطاقة.[33]



تغطي شبكات الهاتف المحمول 96% من سكان العالم،[34] إلا أن 23% فقط من السكان في الدول منخفضة الدخل يستخدمون الإنترنت بالفعل[35]

بسبب تحديات تتعلق بتكاليف الخدمة، وضعف البنية التحتية، ونقص المهارات الرقمية. وسيتطلب سدّ هذه الفجوة بين توفير الإنترنت والاستخدام الفعلي له استثمارات قد تصل إلى أكثر من تريليوني دولار.[36]

A بناءً على سعر صرف اليورو مقابل الدولار الأمريكي في 10 يوليو 2026.

الفرضية 4

استمـــرار التطـــوّر التكنولوجـــــي

يشهد العالم تسارعاً غير مسبوق في القدرات الحاسوبية، وقد أصبح "لاين شاين"، في المركز الوطني للحوسبة الفائقة في مدينة شنجن الصينية، **أسرع حاسوب فائق في العالم، إذ يستطيع إجراء عمليات حوسبة بسرعة مستدامة تتجاوز**

2.19 إكسافلوب[37]

وهي وحدة قياس قدرات الحواسيب الخارقة.

تستمرّ المنافسة العالمية في مجال الذكاء الاصطناعي،

حيث خصّصت الولايات المتحدة خلال عام 2025 استثمارات بلغت 285.9 مليار دولار، أي ما يعادل نحو 12 ضعفاً من استثمارات الصين التي وصلت إلى 12.4 مليار دولار، و24 ضعفاً من استثمارات المملكة المتحدة التي بلغت 9.5 مليار دولار.[38]

من المتوقع أن تواصل الطاقة المتجددة نموها لتشكّل

%55

من إجمالي توليد الكهرباء بحلول عام 2035.[39] ويعود هذا التقدّم بشكل كبير إلى الانخفاض الحاد في تكلفة الألواح الشمسية التي تراجعت من نحو 4.50 دولاراً لكل واط في عام 2000 **إلى أقل من 0.20 دولار خلال عام 2024.**[40]

الفرضية 5

استمـــــــرار الترابــط العالمـــي

واصلت التجارة العالمية في السلع والخدمات نموها في 2025، رغم التحديات الجيوسياسية والتجارية،

حيث ارتفعت بنسبة 7.5% في عام 2025 لنحو 35 تريليون دولار.[41]

ومع الترابط العميق للاقتصادات العالمية، فربما **تغيّر النزاعات الحالية طريقة عمل العلاقات التجارية**، لكن لن تؤثر على استمرارها.

تكشف تقلبات أسعار النفط الحالية عن عمق هذا الترابط، حيث دفعت هذه الأزمة الدول الأعضاء في وكالة الطاقة الدولية إلى طرح

400 مليون برميل

من احتياطاتها الاستراتيجية في الأسواق في مارس 2026.[42]

شهد عام 2025 مفاوضات واتفاقيات دولية متعلّقة بالعناصر الأرضية النادرة،[43] والتي تستمر خلال 2026[44] في ظل توقّعات بارتفاع الطلب العالمي عليها

من نحو 91 كيلوطناً

(الكيلو طن يعادل 1,000 طن)

في عـام 2024 إلى **حوالي 150 كيلوطناً** بحلول عام 2040.[45]

رؤيتنـــا للمستقبـــــل

المتغيرات الغامضة

المتغيرات الغامضة هي العوامل القائمة المؤثرة في مستقبل العالم والتي يتسم توجهها بالغموض وعدم اليقين، فكل مجتمع، سواء كان مدينة أو دولة أو منطقة، سيجد نفسه في موقع مختلف على خريطة هذه المتغيرات، وأن هذا الموقع قابل للتغيّر بمرور الوقت، بحسب الظروف والسياقات المحلية.

تعكس المتغيرات الغامضة التباين الكبير في الظروف الاجتماعية والاقتصادية والسياسية والبيئية التي قد تعيشها المجتمعات حول العالم، والتي تختلف بشكل واضح من مكانٍ إلى آخر. ورغم أن هذه المتغيرات ليست بجديدة، إلا أنها تتجلى في كل مرة بأشكالٍ وتحديات مختلفة نتيجة التحوّلات المتسارعة التي يشهدها العالم. وتمتد هذه المتغيرات الغامضة، مثلها مثل الفرضيات، على مدى عدّة عقود، إلا أننا نحرص على مراجعتها وتحديثها كل عامٍ إذا اقتضت الحاجة، بناءً على نتائج أبحاثنا وملاحظاتنا المستمرة. رغم تركيزنا على المدى البعيد، تظل قراءاتنا مرتبطة بواقع اليوم وتعكس تحولاته.

ولإعداد هذه النسخة الخامسة من تقرير "50 فرصة عالمية"، تعاونّا مع شبكة مؤسسة دبي للمستقبل في دبي وحول العالم من خلفيات وقطاعات ومجتمعات متنوّعة، حيث يأتون من مناطق جغرافية مختلفة ويتمتّعون بدرجات متفاوتة من الخبرة. وخلال جلسات حوارية مكثفة، سعينا إلى كسر نمط التفكير الجماعي من خلال طرح أسئلة عميقة، وتحدّي بعض الآراء السائدة عند الضرورة، بهدف توسيع نطاق النقاش بعقلية منفتحة ترحّب بالأفكار المختلفة.

وعقب هذه الجلسات، جمعنا النتائج وربطناها بتحليل شامل أجريناه سلفاً، إضافة إلى استبيان لاحق أرسلناه للمشاركين (وخبراء من الإصدارات السابقة) بهدف التحقق من دقة رؤيتنا للمستقبل وعمقها. وبينما لم تظهر متغيرات غامضة جديدة كلياً، برزت العديد من التساؤلات المهمة التي عكست تأثيراً واضحاً على طريقة فهمنا للواقع والمستقبل.

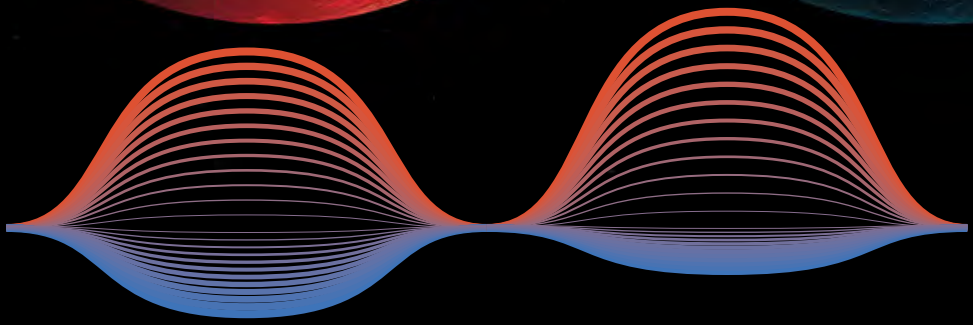
كذلك، ساعدتنا البيانات المستخلصة من الجلسات والاستبيانات في فهم تصوّرات المشاركين الحالية حول المتغيرات الغامضة، وتحديد المجالات التي تجمع حولها آراءً متباينة، إلى جانب استكشاف توجهاتهم والمدى البعيد.

1. التعـــاون الدولي
2. القيـــم المجتمعيـــة
3. التكنولوجيـــا
4. الطبيعـــة
5. الأنظمـــة

المتغيرات الغامضة 1

التعـاون الدولي

إلى أي مدى ستتطوّر هياكل الحوكمة **وأطر التعاون** الدولية في المستقبل على المستوى العالمي؟



تعـدّد الأقطـاب

تعـدّد الأطـراف

اليـــوم — **المـدى البعيـد**

من خلال الجلسات الحوارية التي تناولت مستقبل التعاون، **تبيّن بشكل واضح أن تعدّدية الأقطاب تسيطر على المشهد العالمي الحالي**، وهو ما يعكس واقعاً تسوده الانقسامات وتقل فيه فرص التعاون الحقيقي. **مع ذلك، عبّر العديد من المشاركين عن أملهم في عودة التعاون العالمي**، لكن بصيغ جديدة تتلاءم مع تغيّر موازين القوى العالمية واحتياجاتها المتجدّدة. في هذا السياق، طرح المشاركون سؤالاً جوهرياً: "ماذا لو أصبح التعاون العالمي مستحيلاً؟". ورغم خطورة هذا السيناريو، اتجهت الغالبية نحو الاعتقاد بأن التعاون العالمي سيعود في نهاية المطاف، انطلاقاً من قناعة بأن العالم، مهما اشتد انقسامه، سيظل بحاجة إلى جهات محايدة تملك القدرة على جمع الأطراف المختلفة وسد الفجوات، خاصة في مجالات دقيقة مثل حوكمة الذكاء الاصطناعي والتعاون العلمي الدولي. لكن الوصول إلى هذا النوع من التعاون لن يكون ممكناً في حال استمرار غياب الحوار البنّاء بين الدول المنقسمة.

المتغيرات الغامضة 2

القيم المجتمعية

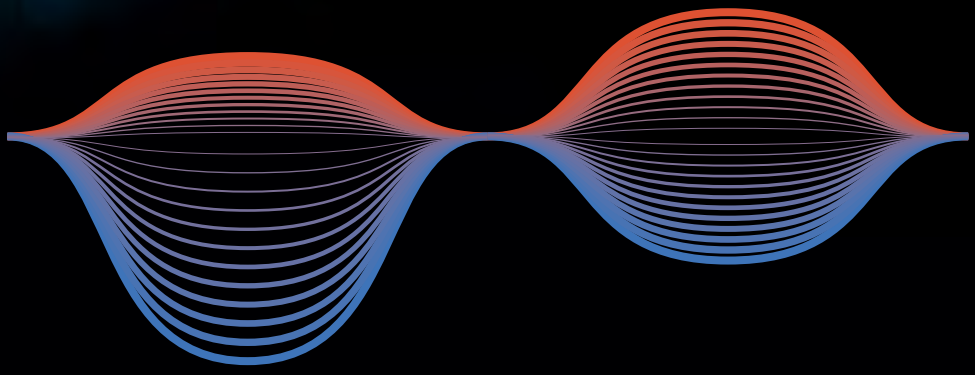
هل ستتّفق المجتمعات العالمية على **قيم مشتركة**، أم ستؤدي الاختلافات إلى انقسامها؟

في سياق النقاشات التي جرت بين المشاركين، **برزت تساؤلات عميقة حول تأثير انتشار المحتوى المضلّل والمعلومات الخاطئة، وتأثير التكنولوجيا في تشكيل القيم الفردية والجماعية، إلى جانب الدور المتزايد لمنصات التواصل الاجتماعي في تعزيز الانقسام وإضعاف الروابط المجتمعية التقليدية – جوانب تتصاعد خلال فترات الصراع والتوتر الجيوسياسي.** ورغم هذا الواقع المربك، **عبّر بعض المشاركين عن توقعات أكثر تفاؤلاً على المدى الطويل، مفادها أن المستقبل قد يشهد تقارباً في القيم بين المجتمعات، تقوده أدوات مثل الذكاء الاصطناعي.** لكن هذا التصوّر لم يخلُ من مخاوف حقيقية، أبرزها مكانة الإنسان وأصالة التجربة التي يعيشها. وقد كشفت النقاشات عن قلقٍ عميق بشأن التفكّك الاجتماعي المحتمل، وطرحت تساؤلات جوهرية مثل "ماذا لو أصبحت وفرة المعلومات غير الضرورية عاملاً يضعف التماسك الاجتماعي بدلاً من أن يعزّزه؟" و"ماذا لو أدّت وسائل التواصل والاتصال المستمرّ إلى تآكل العلاقات الواقعية، حتى تفقد المجتمعات الواقعية معناها؟". عكست هذه التساؤلات حالة من التوتر الواضح بين تفاؤلٍ بإمكانية مشاركة القيم عبر تقنيات الذكاء الاصطناعي، وبين تجربة يومية ملموسة يشهد فيها العالم تزايداً في مظاهر الانقسام والانفصال الاجتماعي. كما تعكس هذه التحولات تغيّر طبيعة الروابط الاجتماعية داخل المجتمعات، ودور الأماكن والمؤسسات التي لطالما أسهمت في تعزيز هذه الروابط.

المتغيرات الغامضة 3

التكنولوجيا[B]

هل ستتحكم **التكنولوجيا** في حياتنا، أم ستسهم في تعزيز إنتاجيتنا وجودة حياتنا؟



كشفت النقاشات عن **قلق متزايد من سيطرة الخوارزميات على انتباه الإنسان وتوجيه سلوكه** من دون وعي مباشر منه، **ممّا زاد التركيز على ضرورة إعادة توجيه استخدام التكنولوجيا نحو تطبيقات تعزّز القدرات البشرية بدلاً من أن تحلّ محلها.** ورغم هذه المخاوف، ساد تفاؤل لدى الكثير من المشاركين بثورة صناعية جديدة في ظل هذه التحوّلات المتسارعة. ومع ذلك، طُرحت تساؤلات وجودية حول المستقبل، أبرزها "ماذا لو فقد الإنسان استقلاليته وقدرته على اتخاذ القرارات نتيجةً لتطوّر الذكاء الاصطناعي؟" و"ماذا لو تسارعت تطوّرات الذكاء الاصطناعي إلى حدّ التحكّم في جميع عمليات اتخاذ القرار، من أخطرها إلى أبسطها؟". وقد عبّر بعض المشاركين عن قلقهم من فقدان بعض الأفراد وظائفهم، رغم تمتعهم بمهارات في الذكاء الاصطناعي، وهذا ما يسلط الضوء على ضرورة تطوير آليات تضمن توزيعاً أكثر توازناً لمكاسب الذكاء الاصطناعي. هذه المخاوف الاقتصادية تكون مهمة بشكل خاص في أوقات عدم اليقين والاستقرار. من جهة أخرى، أشار بعض خبراء الذكاء الاصطناعي إلى أن التركيز على هذه التقنية وحدها لا يكفي، مؤكدين أن التغيير الحقيقي سيأتي نتيجة اندماج ثلاث تقنيات رئيسية هي الذكاء الاصطناعي، وأجهزة الاستشعار، والتكنولوجيا الحيوية (الطب الحيوي). وقد أظهرت النقاشات أيضاً أن التطوّر التكنولوجي يتجه بشكل متزايد نحو علوم المواد والتكنولوجيا الحيوية، أي أن مستقبل التكنولوجيا لن يكون رقمياً فقط، بل رقمياً وبيولوجياً في آن واحد.

B ندرج التكنولوجيا ضمن المتغيرات الغامضة والفرضيات في آن. انظر قسم الفرضيات لمعرفة المزيد عن الفرق.

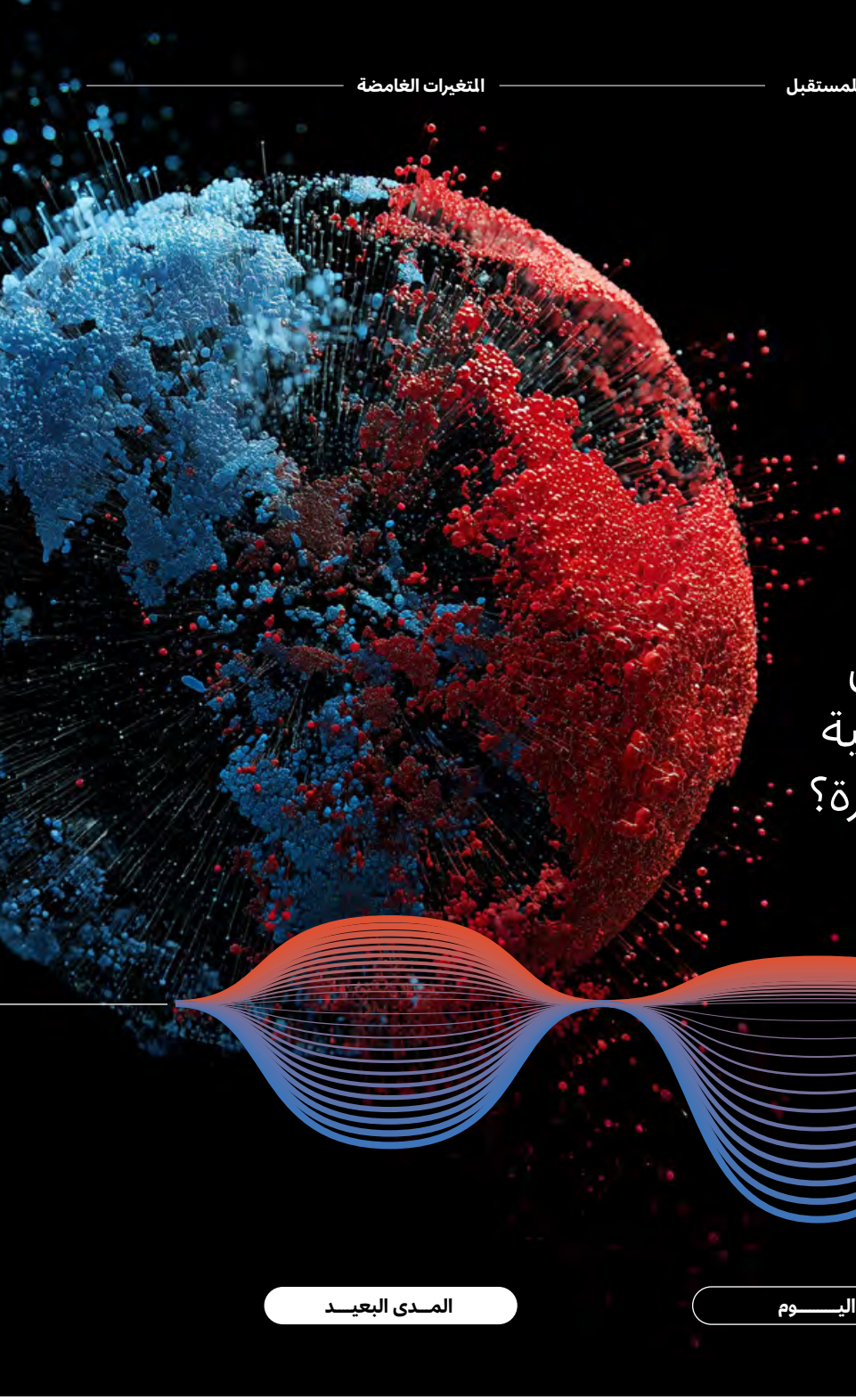
المتغيرات الغامضة 4

الطبيعة[c]

هل ستؤدي الابتكارات التكنولوجية وجهود الحوكمة إلى **تمكين الطبيعة** من ترميم نفسها؟

في الوقت الحالي، **تزداد التحديات البيئية وضوحاً مع تدهور الوضع البيئي حول العالم**، إذ بدأت العديد من الدول بالفعل في مواجهة آثار ملموسة للتغيّر المناخي، مثل موجات الحرارة الشديدة والفيضانات، بينما تحاول دول أخرى الاستعداد مبكراً لمواجهة ما قد يحمله المستقبل من هذه التغيرات. ورغم هذا الواقع المقلق، **عبّر المشاركون في الجلسات الحوارية عن تفاؤلهم إلى حدٍ ما بالجهود المبذولة لاستعادة التوازن البيئي وتجديد النُظم الطبيعية**. لكن هذا التفاؤل لم يكن مطلقاً، بل رافقته تساؤلات جوهرية حول مدى فعالية هذه الجهود في وقف التدهور البيئي، لا سيّما بالنظر إلى صعوبة التنبؤ بكل ما يتعلّق بالطبيعة وتغيّراتها. ومن بين الأسئلة التي طُرحت في هذا الإطار: "ماذا لو نفذت المياه؟" و"ماذا لو خرجت موجات الهجرة الجماعية عن السيطرة بسبب تغيّر المناخ؟". وفي ظل الشكوك حول قدرة التقدّم التكنولوجي على مواكبة الطلب العالمي المتزايد على الموارد الطبيعية، سلّط المشاركون الضوء على ندرة المياه والغذاء كأحد أهم مصادر القلق. وقد أثارت قضايا شحّ المياه بشكل خاص نقاشاً واسعاً حول إمكانية تحوّل أزمات المياه في المستقبل إلى عوامل تُعيد رسم موازين القوى على المستوى العالمي.

c تعد "الطبيعة" من بين المتغيرات الغامضة وكذلك الفرضيات التي تؤثر في تشكيل المستقبل، يمكنك مراجعة قسم "الفرضيات" في التقرير للاطلاع على المزيد حول الفرق بين تأثير الطبيعة باعتبارها من المتغيرات أو الفرضيات.



المتغيرات الغامضة 5

الأنظمة[D]

هل ستصل **الأنظمة** إلى درجة المرونة الكافية لتلبية احتياجات الإنسان المتغيّرة؟

هشاشة الأنظمة

مرونة الأنظمة

اليـــــوم

المـــدى البعيـــد

على المدى الطويل، **تزداد هشاشة الأنظمة العالمية المترابطة فيما بينها**، ويصبح **الحفاظ على تماسكها وتعزيز مرونتها مرهوناً بحوكمة قادرة على التكيّف**، وتصميم يضمن بدائل جاهزة، وبالقدرة على التعلم المستمر من التجارب السابقة. وفي هذا السياق، عبّر المشاركون عن مخاوف متزايدة بشأن جودة البيانات، محذّرين من احتمال تدهورها بوتيرة أسرع من تطوّر أدوات النمذجة المستخدمة في بناء نماذج تمثيل وتحليل الأنظمة المعقدة، الأمر الذي قد يُضعف من فعالية أنظمة اتخاذ القرار في المستقبل. ومن بين التساؤلات الجوهرية المطروحة: "ماذا لو واجهت الأنظمة قيوداً جديدة في مجالات الطاقة والموارد والحوكمة؟". وفي الواقع، تعكس هذه التساؤلات قلقاً بشأن قدرة الأنظمة على التكيّف مع التغيّرات، أو احتمال انهيارها بشكل يصعب السيطرة عليه خاصة عندما تكون تهديدات الأمن السيبراني في الصورة، فإنها تضعف الأنظمة حتى عندما تبدو مرنة. فعلى سبيل المثال، رغم ما تُظهره الأنظمة المالية من مرونة نسبية، تواجه الخدمات الأساسية والبنية التحتية ضغوطاً متزايدة، بدءاً من الازدحام المروري الحاد وصولاً إلى تراجع جودة الحياة في بعض المدن والمجتمعات.

D ترتبط الأنظمة، باعتبارها من المتغيرات الغامضة، بالعمليات والآليات المستخدمة لتفعيل السياسات العالمية، والقوانين، واللوائح، والمعاملات العابرة للحدود.

رؤيتنـــا للمستقبـــــل

التوجهات العالمية الكبرى

تُبرز التوجهات العالمية الكبرى في تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" التحوّلات العميقة التي يُتوقّع أن تُعيد تشكيل العالم خلال العقد المقبل، استناداً إلى أبحاث معمّقة وتحليلات استشرافية متقدمة.
وتمثل هذه التوجهات ركيزة أساسية في رؤية مؤسسة دبي للمستقبل، لما لها من تأثير مباشر في مسارات النمو والازدهار وجودة الحياة عالمياً.

وتكمن قيمتها الحقيقية في القدرة على استباقها، وفهم منطق تطوّرها، والتعامل معها بوصفها أنظمة ديناميكية متغيّرة، لا مسارات ثابتة. فالإعداد للمستقبل لا يتحقق برصد التوجهات الكبرى فقط، بل بالاستجابة المرنة لتحوّلاتها، وتمكين المؤسسات والمجتمعات من تحويلها إلى فرص مستدامة على المدى الطويل.

ورغم استعراض هذه التوجهات بصورة منفصلة، إلا أنها في الواقع مترابطة ومتداخلة، إذ يمكن لأي تحوّل في أحدها أن يعيد تشكيل غيره، لا سيّما أنها تمتد إلى ما هو أبعد من التطوّرات التكنولوجية لتشمل أبعاداً اقتصادية واجتماعية وتنظيمية شاملة.

وعلى مستوى التطبيق، توفر هذه التوجهات لصنّاع القرار – والأفراد – إطاراً عملياً لفهم العوامل الأكثر تأثيراً في المستقبل خلال العقد المقبل أو أكثر، ضمن بيئة تتسم بارتفاع درجة عدم اليقين، فتغيّر فرضية واحدة أو ظهور متغيّر غامض جديد قد يكون كفيلاً بإعادة توجيه أي توجه أو تسريع تحقّقه أو إبطائه.

وانطلاقاً من هذه الطبيعة الديناميكية، تحرص مؤسسة دبي للمستقبل على تحديث التوجهات العالمية سنوياً، بما يعزز دورها كمرجعٍ عملي للاستعداد للمستقبل، وليس مجرد رصد له.

وقد شهدت نسخة هذا العام من التقرير تطوّراً نوعياً، تمثل في دمج التوجه العالمي السابق "تطوّر تقنيات الطاقة" ضمن الفرضية الرابعة "استمرار التطوّر التكنولوجي" (انظر الشكل 3)، إلى جانب إدراج توجه عالمي رابع جديد بعنوان " إعادة تعريف التمويل والأنظمة النقدية في عصر التحوّل الرقمي".

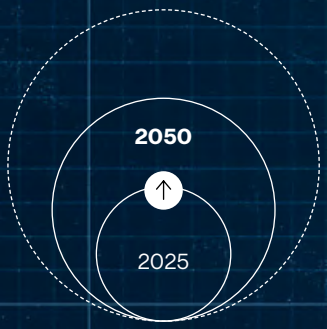
ويستعرض هذا التوجه تحوّلات جوهرية في النظام المالي العالمي، تشمل ترميز الأصول، والعملات الرقمية الصادرة عن البنوك المركزية، وتأثير السياسات النقدية والمالية، والعملات المشفّرة، وأنظمة الدفع، وتطبيقات الذكاء الاصطناعي، وتطوّر الأطر التنظيمية ونماذج التبادل الجديدة (مثل العملات المستقرة)، وهياكل البيانات، وتوريق الأصول، وتنوّع فئات الأصول، والمتطلبات التنظيمية، وغيرها،[46] وهي تحوّلات يُتوقّع أن تعيد تعريف مفاهيم المال والثروة، وطريقة تقييمهما واستخدامهما، وأدوارهما في الاقتصاد والمجتمع، وتترك أثراً مباشراً في القطاعات والمؤسسات والمجتمعات وأنماط العمل والحياة اليومية.

وفيما يلي التوجهات العالمية الكبرى التي سنتناولها في التقرير:

1. **ثورة المواد**
2. **إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعددة**
3. **تزايد الثغرات التكنولوجية الأمنية**
4. **إعادة تعريف التمويل والأنظمة النقدية في عصر التحوّل الرقمي**
5. **تطوّر المنظومات البيئية**
6. **نمو اقتصادات الأعمال المستقلة**
7. **تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد**
8. **الأتمتة والتعايش مع الروبوتات المستقلة**
9. **إعادة تحديد الأهداف الإنسانية**
10. **تزايد الاهتمام بالصحة المتقدمة والتغذية**

الشكل 3

من "تطوّر تقنيات الطاقة" **كتوجه عالمي كبير** إلى "الطاقة" **كفرضية مستقبلية**



وفقاً للاتجاهات الحالية، يُتوقع أن ترتفع حصة الطاقة المتجددة من **نحـو ثلث إجمالي إنتاج الكهرباء عالمياً في عام 2025 لتتجاوز ثلثي الإنتاج بحلول عام 2050.**

لم يعد مفهوم "تطوّر تقنيات الطاقة" توجهاً عالمياً مستقلاً فحسب، بل تحوّل إلى مسار ناضج ومتشابك يشكّل جزءاً أصيلاً من منظومة التطوّر التكنولوجي الشامل. فالطاقة اليوم لم تعد مجرد قطاع، بل فرضية مستقبلية ومتغيّراً غامضاً في آنٍ واحد، نظراً لدورها العابر للقطاعات وتأثيرها العميق في الاقتصاد والمجتمع وجودة الحياة. فقد أصبحت أنظمة الطاقة، بمختلف مكوناتها من توليد وتوزيع وإدارة عنصراً أساسياً في مسار التحوّل التكنولوجي المتوقّع أن يمتدّ على مدار العقدين المقبلين.[47] ويبقى السؤال الجوهري: "بأي وتيرة وبأي شكل سيتطوّر قطاع الطاقة؟ وكيف سينعكس هذا التطوّر على النمو والازدهار وجودة الحياة في المستقبل؟". أما الإجابة، فلا تحدّدها التكنولوجيا بحد ذاتها، بل كيفية توظيفها، هل ستكون قوة دافعة تعزز النمو وتفتح آفاقاً جديدة، أم عائقاً يقيّد المضي قدماً نحو المستقبل الذي نطمح إليه. كما تحددها أيضاً عوامل أخرى مثل وتيرة الابتكار في تقنيات الطاقة المستقبلية وحجم التطوير والغايات التي يسعى القطاع إلى تحقيقها.[48]

تشير أبحاثنا ومراجعاتنا المستمرة إلى أن التحوّل نحو الطاقة المتجددة يواصل تحقيق تقدّم ملحوظ. فوفقاً للاتجاهات الحالية، يُتوقع أن ترتفع حصة الطاقة المتجددة من ثلث إجمالي إنتاج الكهرباء عالمياً في عام 2025 لتتجاوز ثلثي الإنتاج بحلول عام 2050.[49] ويقود هذا التحوّل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح،[50] مدعومتين بتطوّرات جوهرية في تقنيات تخزين الطاقة التي أصبحت أكثر كفاءةً وأماناً بفضل التقدّم المتسارع في علوم المواد.[51] وتؤكد المؤشرات الاقتصادية هذا المسار، إذ تبيّن أنّ 91% من مشاريع الطاقة المتجددة مؤخراً كانت أقلّ كلفة من البدائل التقليدية المعتمدة على الوقود الأحفوري.[52]

في الوقت نفسه، يفرض التوسّع السريع في تطبيقات الذكاء الاصطناعي ضغوطاً غير مسبوقة على أنظمة الطاقة. فاستهلاك مركز بيانات واحد مخصّص للذكاء الاصطناعي قد يعادل استهلاك نحو 100 ألف منزل. وتشير التقديرات إلى أن الطلب العالمي على الكهرباء في مراكز البيانات قد يتضاعف بحلول عام 2030 ليصل إلى 945 تيراواط/الساعة، وهو ما يقارب إجمالي استهلاك اليابان من الكهرباء حالياً.[53] ويفرض ذلك الحاجة إلى استثمارات ضخمة تصل إلى ثلاثة تريليون دولار[54] لتحديث شبكات الكهرباء ومصادر دمج الطاقة المتجددة على نطاق واسع.[55]

ومع ذلك، لا يخلو هذا المسار من التحديات. فالمؤشرات المناخية كافة تقريباً (45 مؤشراً رئيسياً يتوافق مع اتفاقية باريس للمناخ) ما تزال متأخرة عن المسار المطلوب لتحقيق مستهدفات عام 2030، وتتسع فجوة التمويل التي تتطلّب استثمارات إضافية تُقدّر بنحو تريليون دولار سنوياً حتى عام 2030.[56] ويزداد المشهد تعقيداً مع تراجع الالتزام ببعض السياسات واللوائح البيئية[57]، إذ رغم تعهّد أكثر من 10,000 مؤسسة حول العالم بتحقيق صافي انبعاثات صفري، لا تمتلك سوى 7% منها فقط خططاً موثوقة وقابلة للتنفيذ.[58]

ورغم هذه التحديات، يبقى الاتجاه نحو مصادر طاقة أنظف وأرخص وأكثر استقراراً مساراً لا رجعة فيه. من المرجّح أن تُسرّع الاضطرابات الجيوسياسية هذا التوجه، إذ تبرز أزمات الإمداد وتقلبات الأسعار الحاجة الملحة إلى تنويع مصادر الطاقة وتوسيع الاعتماد على الطاقة المتجددة.[59] وعلى المدى الطويل، ستظل الطاقة المحرّك الأساسي للتقدّم الاقتصادي والتكنولوجي،[60] كما سيبقى الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة خياراً تفرضه اعتبارات الاقتصاد، ومتطلبات التحوّل الرقمي، وضرورات الاستدامة وجودة الحياة.

تجدر الإشارة إلى أن المعلومات الواردة حول التوجهات العالمية الكبرى في الصفحات التالية هي ذات طابع إرشادي، ولا تغطي جميع المحركات أو الاتجاهات أو الإشارات المحتملة. ويستعرض التقرير لكل توجه تحليلاً يستند إلى الواقع الحالي والتوقعات المستقبلية، كما يحدد ثلاثة مجالات محتملة للفرص المستقبلية قد تهم الأفراد وصنّاع القرار في المؤسسات.

وبما أن تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" هو بطبيعته تقرير استشرافي، فإن بعض الفرص المستقبلية التي طُرحت في الإصدارات السابقة لم تتحقّق بعد. لذلك، تضم النسخة الخامسة الفرص التي ما تزال قابلة للتطبيق بهدف إعادة تقييمها والبناء عليها مستقبلاً.[E]

E لم تُقدّم نسخة عام 2022 من قائمة الخمسين عالميًا مجالاتِ الفرص المستقبلية.

التوجـــه 1

ثورة المـــواد

المواد هي المكون الأساسي لجميع المنتجات التي نستخدمها ونستهلكها في حياتنا اليومية، وهناك فرص جديدة لاستخدام مواد مبتكرة في أغلب القطاعات الصناعية والتقنية والاستهلاكية، بفضل التطوّر الهائل في مجال الذكاء الآلي المتقدم وتقنيات النانو، وزيادة الأبحاث والتمويل في مجال علوم المواد.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

علوم الأحياء التركيبية (2023)
مواد مبتكرة للحد من آثار تغير المناخ (2023)
أشباه الموصلات (2023)
هندسة الأنسجة (2024)
دور تطوّر المواد في قطاع الهندسة (2024)
دور المواد النانوية في تطوير طبّ الأسنان (2024)
المغناطيسات الدائمة (2025)
مواد المحاكاة الحيوية (2025)
المواد الكمومية (2025)

الكلمات الرئيسية

مواد الفضاء
تقنيات طلاء الأنسجة المعتمدة على الطحالب
التعبئة الغذائية القابلة للتحليل الحيوي
البوليمرات الحيوية
التقاط الكربون
الاقتصاد الدائري
الأطر العضوية التساهمية (COFs)
أنظمة تعريف المواد
طلاءات بتقنية النانو
المواد الذكية

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

المادة COF-999 لتعزيز كفاءة التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه

هي مادة مبتكرة من فئة الأطر العضوية التساهمية (COFs)، تتميز بتركيبة من الروابط المزدوجة والقوية جدا بين جزيئاتها، مما يجعلها مقاومةً للملوثات، وفعالة جداً في التقاط الكربون بسرعة أكبر وفي درجات حرارة أقل مقارنةً بالمواد المتوفرة حالياً. كما أنها تحتفظ بكفاءتها لفترة أطول مع تكرار الاستخدام.[61] ويمتلك هذا الابتكار إمكانات كبيرة تتيح خفض التكاليف التشغيلية لعمليات التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه.[62]

تقنيات طلاء الأنسجة المعتمدة على الطحالب

توفّر تقنيات طلاء الأنسجة المعتمدة على الطحالب بديلاً مستداماً وآمناً للأصباغ الصناعية الضارة،[63] إذ تتيح إنتاج أقمشة حيوية ملوّنة طبيعياً، لا تتغيّر ألوانها وتتمتع بمتانة لا تتأثّر بمرور الوقت. ويُعدّ هذا الابتكار خطوة واعدة في الحد من الأثر البيئي لصناعة الأنسجة التي تخلّف سنوياً نحو 180,000 طن من مياه الصرف السامة، وهو ما يؤدي إلى تلوّث المياه العذبة ويهدّد الحياة البحرية ويضرّ بالأنظمة البيئية على نطاق واسع.[64]

تحويل النفايات إلى مواد تعبئة غذائية مستدامة

تقدّم قشور الفواكه ومخلّفات الطعام فرصة واعدة لاستخلاص بوليمرات حيوية، مثل الكيتوزان والبكتين والنشا، لاستخدامها في تصنيع مواد تعبئة غذائية قابلة للتحلّل الحيوي وذات خصائص مضادة للميكروبات،[65] ممّا يجعلها آمنة وصديقة للبيئة. وقد أثبتت التجارب العملية أن هذه التقنية ساهمت في إطالة فترة حفظ الفاكهة بشكل ملحوظ. فعلى سبيل المثال، بقيت الجوافة طازجة لمدة تصل إلى ثلاثة أضعاف المدة المعتادة في حالات التخزين التقليدية، وزادت مدة حفظ الكمثرى إلى الضعف، بينما ظلت المانجو صالحة للاستهلاك حتى 25 يوماً دون أن تتأثر حالتها أو يتغير مذاقها.[66] ولا تقتصر أهمية هذه الابتكارات على حماية الأغذية فحسب، بل يمكن أن تؤدي دوراً مهماً في الحد من الهدر الغذائي العالمي الذي يُقدّر بنحو 1.2 مليار طن سنوياً، والذي تمثّل الفواكه 35% منه. كذلك، توفر هذه الابتكارات بدائل أكثر استدامة لمواد التعبئة التقليدية.[67]

مجالات الفرص المستقبلية

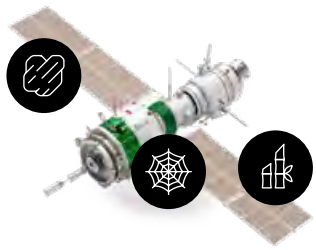
جوازات المواد الخام المصممة بالذكاء الاصطناعي

جوازات المواد الخام (Material Passports) هي وثيقة رقمية شاملة توثق كل ما يتعلق بمكونات المنتج ويتتبع رحلة المادة طوال دورة حياتها. وما زالت تُستخدم جوازات المواد الخام بشكلٍ اختياري في معظم الدول، إلا أن الاهتمام بها يتزايد نظراً لدورها في دعم الاستدامة وتعزيز الاقتصاد الدائري. وقد جعل الاتحاد الأوروبي جوازات المواد إلزامية، ووضع خططاً لتطبيقها على مجموعة من المنتجات بين عامي 2026 و2030، ضمن لائحة التصميم البيئي للمنتجات المستدامة.[68] وحالياً، يُستخدم مفهوم جوازات المواد الخام في قطاع البناء والتشييد، إلا أنه ما زال يعتمد على إدخال البيانات يدوياً، ما يحدّ من دقته ويقيّد تحديثه بشكل فوري.[69] وفي ظل غياب إطار عالمي موحّد لتصنيف المواد وتحديث بياناتها، ما تزال عمليات تتبّع المواد عبر الحدود، وربط أنظمة التتبّع عبر مختلف مراحل سلاسل الإمداد محدودة ومرهونة بتكامل جزئي بين الأنظمة.[70] ورغم وجود أطر تنظيمية دولية، مثل معايير المنظمة الدولية للمعايير (ISO)، واللجنة الأوروبية للمعايير (CEN)، وأطر تبادل بيانات أعمال البناء والتشييد (IFC)، فإن غياب المعايير الموحّدة ما زال عائقاً أمام الانتشار الواسع لجوازات المواد.[71] وفي الولايات المتحدة، تُختبر حالياً تطبيقات المعرّف العالمي الموحّد للشركات لقياس قدرته على التعامل مع أنظمة تعريف متعددة، وهو ما يمهّد الطريق لتطوير منظومات أكثر مرونة قادرة على التوافق مع أنظمة تعريف متعددة.[72] ومع التوسّع في استخدام الذكاء الاصطناعي لتطوير مواد جديدة—سواء كانت مركّبة أو مُهندسة حيوياً—من المتوقّع أن تتّسع الفجوة بين هذه الابتكارات وطرق التصنيف التقليدية، بما يستدعي إعادة النظر في مفهوم "المادة"، وكيفية ابتكارها باستخدام الذكاء الاصطناعي وتوثيق خصائصها والإفصاح عن مكوناتها، خاصةً في القطاعات الحساسة مثل الصناعات الغذائية والدوائية والتصنيع المتقدم.

حالياً، يُستخدم مفهوم جوازات المواد الخام بشكلٍ أساسي في قطاع البناء والتشييد

مركّبات حيوية للاستخدام في الفضاء

تبرز **المواد الحيوية** كحلٍ واعدٍ وأكثر **استدامة** لمواجهة تحديات الحطام الفضائي



تتطلّب البيئات الفضائية مواد قادرة على تحمّل ظروف شديدة القسوة مثل التقلبات الحرارية الحادة، ومستويات الإشعاع المرتفعة، والتعرّض المستمر للأضرار الفيزيائية الناتجة عن النيازك الدقيقة. ورغم أن المواد المستخدمة حالياً تتمتع بدرجة عالية من الصلابة والمتانة، فإنها تفتقر غالباً إلى المرونة والقدرة على التكيّف مع ديناميكية البيئة الفضائية المتغيرة.[73] وتشير التقديرات إلى أن نحو 83% من الحطام الفضائي يتركّز في المدار الأرضي المنخفض، ويأتي نحو 73% منه من أقمار صناعية معطّلة وأجزاء صواريخ. ولتوضيح حجم المخاطر، فإن اصطدام جسم لا يتجاوز قطره 10 سنتمترات ويتحرك بسرعة مدارية يعادل اصطدام جسم يزن 250 كيلوغراماً بسرعة القيادة على الطريق السريع،[74] وهو ما يكفي لإلحاق ضرر كبير بأي هيكل فضائي. لذا، تبرز المواد الحيوية كحلٍ واعدٍ وأكثر استدامة لمواجهة هذه التحديات، مع الحفاظ على المتطلبات الصارمة للمتانة والاعتمادية في المهام المدارية. فمن خلال دمج ألياف الخيزران التي تفوق قوة الفولاذ نسبةً إلى وزنها بست مرات، وألياف البازلت القادرة على تحمّل حرارة تصل إلى 1,600 درجة مئوية، إلى جانب حرير العنكبوت المعروف بمرونته العالية، يمكن تطوير مركّبات مخصّصة للاستخدام الفضائي بالاعتماد على الهندسة الوراثية والتصنيع الإضافي.[75] وعند تزويد هذه المواد بحساسات ذكية مدعومة بالذكاء الاصطناعي لرصد الأضرار فور حدوثها، إلى جانب تقنيات الإصلاح الذاتي،[76] يصبح من الممكن تطوير جيل جديد من الأقمار الصناعية والهياكل الفضائية القادرة على الترميم التلقائي، بل وحتى التحلّل الطبيعي المنضبط فور انتهاء مهمتها، ما يحدّ من تراكم الحطام الفضائي ويعزّز استدامة الأنشطة المدارية.[77]

الاقتصاد الدائري في قطاع الطيران

يُقدّر عدد الطائرات التجارية حول العالم بنحو 35,550 طائرة، يُخزَّن نحو 15% منها حالياً ويمكن توظيفها في عمليات إعادة التدوير واستعادة المواد.[78] ومع استمرار النقص في الطائرات الجديدة، والذي يُتوقع أن يمتد حتى 2034، تضطر شركات الطيران إلى إبقاء الطرازات الأقدم في الخدمة لفترات أطول، رغم اقتراب كثير منها من نهاية عمرها التشغيلي خلال العقد المقبل.[79] وتشير التقديرات إلى أن أكثر من 13,000 طائرة ستخرج من الخدمة خلال العشرين عاماً القادمة في القطاعات التجارية والعسكرية والخاصة عالمياً، وهو ما يمثّل نحو 44% من إجمالي الأسطول العالمي. وفي ظل الاعتماد التقليدي على تخزين الطائرات القديمة لفترات طويلة في مواقع مخصّصة، تتحول هذه الأعداد إلى فرصة استراتيجية لإعادة التفكير في نهاية دورة حياة الطائرات، وتبنّي أساليب أكثر تقدماً واستدامة لإعادة التدوير واستعادة المواد.[80] وفي هذا السياق، يبرز التحفيز الكيميائي كأحد الحلول الواعدة لإحداث نقلة نوعية في إعادة تدوير الطائرات، إذ يعتمد على عمليات منخفضة الحرارة مدعومة بمحفزات متخصّصة في تفكيك المواد البلاستيكية والمركّبات إلى هيدروكربونات قابلة لإعادة الاستخدام دون انبعاثات ضارة أو نفايات عالية الخطورة.[81] ولا تقتصر مزايا هذا الأسلوب على أثره البيئي الإيجابي، إذ تشير التقديرات إلى قدرته على تحقيق عوائد استثمارية كبيرة خلال عام إلى عامين،[82] إضافة إلى تثبيت المعادن الثقيلة وتقليل مخاطرها البيئية، وخفض حجم النفايات الخطرة الناتجة عن أساليب إعادة التدوير التقليدية بما يصل إلى خمسة أضعاف.[83]

35,550
الطائرات التجارية

%15
يمكن توظيفها في عمليات إعادة التدوير

التوجـــه 2

إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعددة

شهد قطاع البيانات تحوّلات تقنية متسارعة مدفوعة بتقدّم الحوسبة الكمومية، وتقنيات البلوك تشين وإنترنت الأشياء والحوسبة الطرفية والأتمتة، والعوالم الرقمية. وقد أسهمت هذه التطوّرات في توسيع نطاق إتاحة البيانات بشكل غير مسبوق، سواء على مستوى الحكومات أو الشركات أو المجتمعات، من حيث الحجم والسرعة والتنوّع. وفي ظل تطوّر تقنيات شبكات الجيل الخامس والجيل السادس، والاتصال المتقدم عبر شبكات متعددة تشمل في ذلك الأقمار الصناعية، تصبح التحليلات الفورية واستخلاص الرؤى العملية أكثر سهولة ودقة من أي وقت مضى. وفي المقابل، تتسارع الجهود لتطوير حلول مبتكرة تقلّل الأثر البيئي المرتبط بجمع البيانات ونقلها وتخزينها، بما يوازن بين التوسّع الرقمي ومتطلبات الاستدامة.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

الاستفادة من البيانات المفتوحة (2023)
تحليل البيانات الضخمة (2023)
البيانات الاصطناعية (2023)
تحليل البيانات الحيوية بواسطة الحاسوب (2024)
المساءلة المناخية (2024)
مؤسسات تعاونية لتوظيف البيانات (2024)
الاستعداد لشبكات الجيل السادس (2025)
الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير متعدد الوسائط (2025)
الذكاء الاصطناعي الرياضي (2025)

الكلمات الرئيسية

حوكمة الذكاء الاصطناعي
تدفقات البيانات العابرة للحدود
سيادة البيانات
الاقتصاد الرقمي
الحوسبة الطرفية
اللائحة العامة لحماية البيانات
البيانات العصبية
التقنيات العصبية
حوكمة بيانات المدن الذكية
مراكز بيانات في الفضاء

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

تباين الأطر التنظيمية العالمية للبيانات

رغم أن حوالي 79% من دول العالم اعتمدت تشريعات لحماية البيانات،[84] إلا أن البيئة التنظيمية العالمية أصبحت أكثر تعقيداً من أي وقت مضى. ويعود ذلك إلى اختلاف أولويات الدول في الموازنة بين تنظيم الذكاء الاصطناعي من جهة، وحماية خصوصيتها وأمن بياناتها وسيادتها الرقمية من جهة أخرى.[85] ولا يقتصر أثر هذا التباين على إعادة تعريف مفهوم سيادة البيانات وحدودها بين الدول، بل يمتد ليؤثر في طبيعة المنافسة بين الأسواق العالمية،[86] ويؤدي إلى تصاعد متطلبات الامتثال التنظيمي وتعقيدها.

تمويل مراكز البيانات

تشير التقديرات إلى أن مراكز البيانات المحلية ستوفّر نحو 25% من القدرة الحاسوبية العالمية الجديدة بحلول عام 2027، ما قد يقلّل من القيمة التنافسية لبعض الأصول الحالية.[87] وعلى مدار السنوات الخمس الماضية، أدت أدوات التمويل، مثل الأوراق المالية المدعومة بالرهن العقاري التجاري والأوراق المالية المدعومة بالأصول، دوراً أساسياً في دعم توسّع مراكز البيانات، حيث تجاوز حجم التمويل 50 مليار دولار.[88] إلا أن متطلبات الاقتصاد الرقمي المتسارع تفوق ذلك بكثير، إذ سيحتاج العالم إلى أكثر من 900 مليار دولار لتطوير مراكز البيانات بحلول عام 2029، فيما يُتوقّع أن يصل حجم التمويل من الأوراق المالية المدعومة بالأصول وحدها إلى نحو 40 مليار دولار في عام 2026.[89]

حوكمة البيانات العصبية

اعتمدت الدول الأعضاء في اليونسكو في نوفمبر 2025 أوّل توصية دولية تتعلق بالتقنيات العصبية، وهي الأدوات والأجهزة والأساليب التي تتفاعل مباشرة مع الجهاز العصبي.[90] ورغم أنها ليست ملزمة، فإنها تمثل محطة مفصلية في وضع إطار أخلاقي لهذا المجال. وأكدت التوصية أن البيانات العصبية المستخلصة من نشاط الدماغ هي من أكثر أنواع البيانات حساسية، ويجب أن تخضع لأعلى مستويات الحماية، بما فيها الشفافية التامة، والحصول على موافقة صريحة لاستخدام الأجهزة القابلة للارتداء، مثل عصابات الرأس أو السماعات الذكية.[91] ومع زيادة الاهتمام بهذا المجال، من المتوقّع أن يتوسّع بسرعة وتتقاطع مبادئه الأخلاقية مع أطر حوكمة الذكاء الاصطناعي في مختلف الدول.[92]

مجالات الفرص المستقبلية

تدفّقات البيانات العابرة للحدود دون حواجز تنظيمية

تسعى العديد من الدول إلى تعزيز أطر حماية البيانات والخصوصية، مستندة إلى النموذج الأوروبي المعروف باللائحة العامة لحماية البيانات (GDPR). وقد بدأت بالفعل ولايات ودول، مثل كاليفورنيا واليابان وكندا والبرازيل، بتبنّي أطر تنظيمية مستوحاة من هذا النموذج. في المقابل، اتجهت دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلى فرض قيود أكثر صرامة على تدفقات البيانات العابرة للحدود، مع إدخال تشريعات جديدة متعلّقة بالذكاء الاصطناعي، ما زاد من تعقيد البيئة التنظيمية.[93]

ورغم أهمية هذه السياسات في حماية الخصوصية وتعزيز السيادة الرقمية، إلا أنها قد تعيق التدفّق الحرّ للبيانات - وهو عنصر أساسي للاقتصاد الرقمي العالمي الذي يشكّل حوالي 15% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي، أي ما يعادل 16 تريليون دولار في عام 2024.[94] وتشير التقديرات إلى أن القيود الصارمة قد تؤدي إلى تراجع الناتج المحلي الإجمالي بنسبة تصل إلى 4.5%.[95]

من ناحية أخرى، تشير الدراسات إلى أن إزالة جميع الحواجز التنظيمية ليست الحل الأمثل.[96] فالأمر لا يتعلق بإتاحة البيانات بلا قيود، بل بكيفية إدارتها ضمن بيئة قائمة على الثقة والمسؤولية. وعندما يتم تبادل البيانات العابرة للحدود في إطار شفاف وموثوق، يمكن تعزيز الناتج المحلي الإجمالي العالمي بنسبة 1.8% وزيادة حجم الصادرات العالمية بما يصل إلى 3.6%.[97] ولمواكبة هذه التحوّلات، تحتاج الدول والمؤسسات إلى تطوير أنظمة ذكية ومؤتمتة قادرة على إدارة تدفقات البيانات العابرة للحدود بكفاءة، من دون الإخلال بمعايير الخصوصية أو سيادة البيانات أو الأمن السيبراني.

مراكز بيانات في الفضاء

رحى مع احتساب الانبعاثات الكربونية الناتجة عن إطلاق الصواريخ، يمكن لمراكز البيانات الفضائية خفض البصمة الكربونية لمعالجة البيانات بما يصل إلى 10 أضعاف مقارنة بالمراكز التقليدية على الأرض.[98] وقد أطلقت شركة "ستار كلاود" الناشئة في مجال تكنولوجيا الفضاء والمدعومة من مسرعة الأعمال "واي كومبينيتور" (Combinator Y)، والمعروفة سابقاً باسم "لومن أوربت"،[99] عأول أقمارها الصناعية بالشراكة مع برنامج "إنفيديا انسيبشن"، مزوداً بمصفوفات شمسية كبيرة وأنظمة تبريد متقدمة.[100] وفي عام 2026، جمعت الشركة 170 مليون دولار بتقييم بلغ 1.1 مليار دولار، ليرتفع إجمالي تمويلها إلى 200 مليون دولار.[101] وفي العام نفسه، أطلقت الصين أول 12 قمراً صناعياً ضمن مشروع لإنشاء شبكة تضم 2,800 قمر صناعي لمعالجة البيانات مباشرة من الفضاء.[102] أما في دولة الإمارات، فقد أعلنت الشركة الناشئة في تقنية الفضاء "مداري سبيس" عن خطط لإطلاق أول مهمة فضائية لها في 2026،[103] لبناء شبكة من مراكز البيانات المدارية بحلول 2028.[104] وفي أوروبا، يجري إعداد دراسة جدوى لمشروع ASCEND للتحقّق من إمكانية إنشاء وتشغيل نموذج عملي لمركز بيانات فضائي بحلول 2031. [105] في عام 2026، أعلنت غوغل عن محادثات مع سبيس إكس لاستكشاف عمليات الإطلاق الداعمة لمشروع سانكاتشر، مشروع غوغل لمراكز البيانات المدارية، الذي يتضمن نموذجاً أولياً مخططاً له في عام 2027.[106]

ورغم هذه الفرص، ما تزال هناك تحديات أمام انتشار مراكز البيانات الفضائية، أبرزها ارتفاع تكاليف الإطلاق، ومخاطر الحطام الفضائي، والتعرض للإشعاع، وصعوبة الصيانة في المدار، إضافة إلى تأثير العواصف الشمسية.[107]

مراكز صناعية متكاملة لأشباه الموصلات

من المتوقّع أن يصل حجم سوق تصنيع أشباه الموصلات عالمياً إلى نحو تريليون دولار بحلول عام 2030، مع استحواذ الحوسبة الصناعية وحدها على ما يقارب 41% من إجمالي هذه السوق.[108] ورغم تباين الأرقام الرسمية المعلنة، تبرز شركات مثل "غلوبال فاوندريز" (Global Foundries)، و"إنتل" (Intel)، و"سامسونغ" (Samsung)، و"الشركة الدولية لتصنيع أشباه الموصلات " (SMIC)، وشركة "تايوان لصناعة أشباه الموصلات المحدودة" (TSMC)، بوصفها جهات رئيسية في تطوير وتصنيع الرقائق المتقدّمة بدقة 7 نانومتر أو أقل - وهي رقائق تشكل العمود الفقري لتقنيات الذكاء الاصطناعي والحوسبة المتقدمة.[109] ويتطلب إنشاء مراكز تصنيع أشباه الموصلات استثمارات ضخمة، إذ تتراوح تكلفتها عادةً بين 20 و40 مليار دولار،[110] وفقاً للمستوى التقني المستهدف وحجم الطاقة الإنتاجية المخطط لها.

وفي هذا السياق، تبنّت المملكة المتحدة نموذجاً يركّز على تصميم الرقائق مع الاستعانة بجهات خارجية لتنفيذ عمليات التصنيع،[111] بينما يسعى الاتحاد الأوروبي إلى تعزيز قدراته التصنيعية محلياً تحت مظلة قانون صناعة الرقائق الذي أُقرّ في عام 2023.[112] وتؤدي مراكز الابتكار دوراً محورياً في بناء منظومات متكاملة تعمل كمراكز توزيع إقليمية، ما يتيح تعزيز القيمة المضافة عبر مختلف مراحل سلسلة التوريد، وذلك من خلال خدمات تشمل الإجراءات اللوجستية، والاختبارات، وعمليات التجميع المتقدّم.

التوجـــه 3

تزايد الثغرات التكنولوجية الأمنية

تشهد التكنولوجيا تحوّلات متسارعة وغير مسبوقة، لا سيما في مجالات التكنولوجيا الحيوية، وتعديل الجينات، والزراعة الدقيقة، والتحوّل الرقمي الشامل، والأتمتة، والذكاء الاصطناعي متعدّد الوسائط، إلى جانب انتشار الأجهزة القابلة للارتداء وإنترنت الأشياء. ويُسهم هذا التقدّم المتسارع في فتح آفاق جديدة للابتكار، لكنه في الوقت نفسه يوسّع نطاق الثغرات ويضاعف حجم التهديدات التكنولوجية الناشئة. وتزداد خطورة هذه التهديدات مع تشابكها عبر الصناعات والتقنيات والمناطق الجغرافية، بحيث لم تعد الثغرات الأمنية محصورة ضمن أنظمة منفصلة، بل أصبحت نقاط ضعف مترابطة قد تنتقل آثارها بين القطاعات، بل وقد تتجاوز أحياناً الحدود الرقمية إلى مستويات بيولوجية في ظل ما يشهده مجال التكنولوجيا الحيوية من تطوّرات متقدمة. ووسط هذا المشهد المتغيّر، أصبح مرتكبو الجرائم الإلكترونية يوظفون الذكاء الاصطناعي لتوسيع نطاق هجماتهم وتنظيمها وتنفيذها بكفاءة أعلى وسرعة أكبر. لذلك، لن يتحقق الأمن السيبراني خلال السنوات المقبلة عبر الإجراءات التقليدية وحدها، بل عبر تبنّي أساليب أكثر ابتكاراً لتحديد الثغرات وقياس مخاطرها، والاستجابة لها بفاعلية واستباقية.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

الذكاء الاصطناعي والتشفير الكمومي (2023)
الأمن السيبراني البيولوجي (2023)
الأمن السيبراني للشركات الصغيرة والمؤسسات الخيرية (2023)
التأمين ضد المخاطر السيبرانية (2024)
الأمن السيبراني لإنترنت الأشياء (2024)
هجمات سيبرانية تستهدف الأصول المادية (2024)
دمج علم النفس في الأمن السيبراني (2025)
الوعي بمفهوم الأمن السيبراني الحيوي (2025)
التوازن بين التوافق التشغيلي والأمن السيبراني (2025)

الكلمات الرئيسية

الهجمات السيبرانية المدعومة بالذكاء الاصطناعي
اختراق البيانات
التزييف العميق
مجموعات التراث الرقمي
الهوية الرقمية
الأمن السيبراني لإنترنت الأشياء في القطاع الصحي
الأنظمة القديمة
التشفير ما بعد الكمي
الأمن السيبراني المقاوم للحوسبة الكمومية
الذكاء الاصطناعي الخفي

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

تهديدات التزييف العميق

في مايو 2024، استهدفت هجمات التزييف العميق الرئيسين التنفيذيين لشركتي " أكسنتشر" (Accenture)[113] و"دبليو بي بي" (WPP)، أكبر مجموعة إعلانية في العالم.[114] ورغم فشل هاتين المحاولتين، فقد تكبّدت شركة الهندسة العالمية "أروب" خسائر بلغت 25.5 مليون دولار في هجوم مماثل.[115] ومع وصول خسائر الاحتيال القائم على التزييف العميق خلال الربع الأول من عام 2025 إلى نحو 200 مليون دولار، يُتوقع أن ترتفع الخسائر المرتبطة بالاحتيال المدعوم بالذكاء الاصطناعي إلى 40 مليار دولار بحلول عام 2027.[116] ويُعزى ذلك إلى أن قدرة البشر على اكتشاف التزييف العميق تتراوح بين 55% و60%، بينما تنخفض هذه النسبة لدى الأنظمة الآلية بنحو 45% إلى 50%.[117]

خريطة طريق الأمن السيبراني في عصر الحوسبة الكمومية

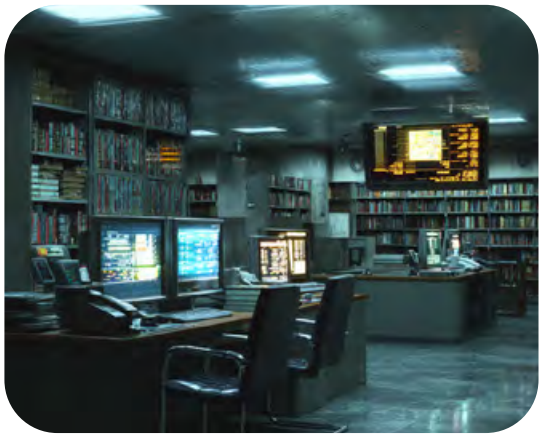
وضع نحو 9% فقط من قادة التكنولوجيا حول العالم خريطة طريق واضحة ومعتمدة للجيل القادم من خوارزميات الأمن الرقمي المصممة للصمود أمام القوة الحسابية الهائلة للحواسيب الكمية.[118] وفيما يُتوقّع أن تشكّل تقنيات الحوسبة الكمومية تهديداً فعلياً لأنظمة التشفير الحالية خلال فترة تتراوح بين ثلاث وخمس سنوات، تستغرق الشركات في المتوسّط ما بين ثلاث وأربع سنوات للانتقال من مرحلة إدراك المخاطر إلى تبنّي استراتيجيات عملية لمواجهتها ووضع خريطة طريق متكاملة للتعامل معها.[119]

تهديدات الذكاء الاصطناعي

خلال الفترة بين مارس 2024 وفبراير 2025، ارتبطت واحدة من كل ستة حوادث اختراق بمهاجمين استخدموا الذكاء الاصطناعي.[120] لكن، أظهرت المؤسسات التي تبنّت الذكاء الاصطناعي في الأمن السيبراني قدرة أعلى على الاحتواء السريع لهذه الاختراقات، إذ انخفض متوسّط مدة الاختراق إلى 204 أيام مقارنة بنحو 284 يوماً لدى المؤسسات التي لا تستخدم هذه التقنيات، ما حقّق وفورات مالية بلغت 1.9 مليون دولار.[121] وكشفت البيانات عن فجوة في الحوكمة، فحوالي 97% من المؤسسات التي تعرّضت لاختراقات مرتبطة بالذكاء الاصطناعي كانت تفتقر إلى ضوابط للتحكّم في هذه التقنيات.[122] كما أن 20% من المؤسسات تعرّضت لاختراقات بسبب الذكاء الاصطناعي الخفي - أي استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي من دون موافقة أو رقابة تنظيمية - ما أدى إلى زيادة متوسّط تكلفة الاختراق بنحو 670 ألف دولار، ليصل إجمالي التكلفة إلى 4.4 ملايين دولار.[123]

مجالات الفرص المستقبلية

الأمن السيبراني للأصول الثقافية



عقب تعرض المكتبة البريطانية لهجوم سيبراني في عام 2023، استغرقت المكتبة البريطانية نحو 11 أسبوعاً لاستعادة فهرسها الإلكتروني الرئيسي الذي يضم أكثر من 36 مليون سجل تشمل كتباً مطبوعة ونادرة وخرائط ودوريات.[124] وحتى ديسمبر 2025، أي بعد مرور أكثر من عامين على الحادثة، لم تكن المكتبة قد تعافت بالكامل من آثار هذا الهجوم.[125]

وأسفر هذا الهجوم عن خسائر مالية قُدّرت بنحو 9.4 ملايين دولار أمريكي،[F] أي ما يقارب 40% من احتياطيات المكتبة.[126] ورغم أن هذه الحادثة قد تبدو استثنائية، وأنها وقعت قبل الانتشار الواسع لحلول الأمن السيبراني المؤتمت، فإنها تسلّط الضوء بوضوح على الحاجة المتزايدة إلى توفير خدمات أمن سيبراني متخصّصة للمكتبات والمتاحف ودور الوثائق والأرشيف، بهدف حماية المجموعات الرقمية التي لا يُمكن تعويضها، والأنظمة القديمة التي لا تزال تشكّل البنية الأساسية لهذه المؤسسات.[127]

الأمن السيبراني لإنترنت الأشياء في القطاع الصحي

يشهد العالم اليوم انتشاراً واسعاً لما يقارب 500 ألف تقنية طبية تؤثر بشكل مباشر على صحة الأفراد وجودة حياتهم اليومية.[128] ويغطي إنترنت الأشياء في القطاع الصحي منظومة متنوّعة من الأجهزة، تبدأ من الحلول البسيطة القابلة للارتداء، مثل الساعات الذكية وأجهزة تتبّع اللياقة البدنية، وتمتد لتشمل أجهزة طبية متقدّمة تُزرع داخل الجسم، كأجهزة تنظيم ضربات القلب، ومضخات الإنسولين، ومضخات التسريب الحيوي.[129]

غير أن هذا التوسّع الكبير في استخدام التقنيات الطبية الرقمية يترافق مع تحديات متزايدة على صعيد الأمن السيبراني. ففي عام 2025، سجّل قطاع الرعاية الصحية أعلى متوسّط تكلفة لاختراق سيبراني واحد مقارنةً ببقية القطاعات، حيث بلغت الخسائر نحو 7.4 مليون دولار.[130] وتزداد مخاطر هذه الهجمات مع اقتراب الأجهزة الطبية من نهاية عمرها الافتراضي، إذ غالباً ما تفتقر الأنظمة القديمة إلى تحديثات أمنية كافية، ما يجعلها أكثر عرضة للهجمات.[131]

ومع تصاعد التهديدات المرتبطة بإنترنت الأشياء في القطاع الصحي - بما في ذلك المخاطر على سلامة المرضى، وخصوصية البيانات، والامتثال التنظيمي،[132] بل وحتى الثقة في أنظمة الرعاية الصحية بحد ذاتها[133] - لم يعد الأمن السيبراني خياراً إضافياً، بل أصبح متطلباً أساسياً لا غنى عنه. وبحسب التوقّعات، قد يصل حجم سوق الأمن السيبراني في قطاع الرعاية الصحية إلى 32.9 مليار دولار بحلول عام 2028.[134]

هوية الأمن السيبراني الكمي

في ظل تسارع تطوّر الحوسبة الكمومية، ستصبح التوقيعات الرقمية التقليدية - بما في ذلك تشفير "المنحنى الإهليلجي" (ECC) – وهو تشفير فعال بالمفتاح العام للأمن السيبراني الحديث - وخوارزمية ريفست شامير أدلمان (RSA) – التي توفر نظام تشفير يعتمد على مفتاحين: أحدهما عام لتشفير البيانات، وآخر خاص لفكّها - أكثر عرضة للاختراق عبر الهجمات الكمومية.[135] وفي هذا السياق، تبرز التوقيعات أحادية الاستخدام كأحد الحلول الواعدة في مرحلة ما بعد الحوسبة الكمومية، إذ تعتمد على مفاتيح تُستخدم لمرةٍ واحدة فقط، ويمكن تطبيقها على الأنظمة التقليدية والكمومية على حدّ سواء.[136]

ومع ذلك، ما يزال الطريق نحو تبنّي هذه الحلول مليئاً بالتحديات. فالمطلوب تطوير دوال التجزئة الآمنة من الصفر - وهي الدالة التي تحوّل البيانات إلى بصمات رقمية فريدة – فيما لم تُحسم بعد معايير الإخفاء الكمي التي تهدف إلى إخفاء آلية تنفيذ التشفير نفسها. كذلك، يشكّل الانتقال بهذه الحلول إلى تطبيقات عملية في مجالات مثل تقنية البلوك تشين، والتمويل اللامركزي، وإدارة الهوية الرقمية تحدياً تقنياً كبيراً وفرصة استراتيجية واعدة في آن واحد.[137]

F بناءً على سعر صرف الجنيه الإسترليني مقابل الدولار الأمريكي في 11 يوليو 2026.

التوجـــه 4 جـديـد

إعادة تعريف التمويل والأنظمة النقدية في عصر التحوّل الرقمي

تشهد المنظومة المالية العالمية تحوّلاً عميقاً يعيد صياغة مفاهيم المال والقيمة والاستثمار كما اعتدناها. ويقود هذا التحوّل تداخل عوامل متغيّرة، في مقدّمتها تحوّل أولويات المستثمرين، وتبدّل القيم بين الأجيال، والتسارع المستمر في التطوّر التكنولوجي. وفي الوقت نفسه، تخضع البنية التحتية للنظام المالي لعملية إعادة تشكيل شاملة تتضمن آليات تخصيص رأس المال، وأساليب إدارة الشؤون المالية، وطرق تنفيذ المدفوعات، سواء على مستوى المؤسسات أو في تفاصيل الحياة اليومية. ويسهم تنوّع أشكال النقود الرقمية — سواء تلك التي تصدرها البنوك المركزية، أو العملات اللامركزية، أو النماذج الهجينة التي تجمع بينهما — في تسريع هذا التحوّل، بالتزامن مع اتساع مفهوم الأصول ليشمل الأصول المادية، والأصول الرقمية، والأصول التي جرى تحويلها إلى رموز رقمية قابلة للتداول. وفي هذا السياق، تواصل الجهات التي تعمل خارج الإطار المصرفي التقليدي، من مؤسسات قائمة إلى شركات ناشئة، على إعادة تشكيل طرق حصول الأفراد والمؤسسات على الائتمان، وفتح آفاق جديدة للاستثمار. ومع تدفّقات رأس المال بين الدول، وتعدّد الأطر التنظيمية، والاعتماد المتزايد على التحليلات اللحظية، تتغيّر مفاهيم صافي الثروة والدخل، وتتبدّل طرق الدفع مقابل السلع والخدمات، كما تتطوّر نماذج تمويل الابتكار بصورة متسارعة.

الكلمات الرئيسية

قيمة التداول الخوارزمي
مكافحة غسل الأموال وتمويل الإرهاب
العملات الرقمية الصادرة عن البنك المركزي
الثقافة المالية
الأصول غير الملموسة
البنوك الذكية
تعرّف على عميلك
الأصول الحقيقية
العملات المستقرة
ترميز الأصول

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

الترميز

يُقصد بالترميز تحويل أصل مالي أو مادي إلى تمثيل رقمي[138] يتيح تسجيله وتداوله وإدارته إلكترونياً. وتشمل تطبيقاته العملات المستقرة، والعملات الرقمية الصادرة عن البنوك المركزية، والودائع البنكية المُرمّزة،[139] إلى جانب العقارات[140] والأعمال الفنية[141] وغيرها من الأصول الواقعية التي أصبحت قابلة للتوثيق والتداول ضمن بيئات رقمية أكثر سرعة وشفافية.[142] ومع اتساع نطاق هذه الاستخدامات، تشير التقديرات إلى أن حجم سوق الأصول الملموسة المُحوّلة إلى رموز رقمية سيبلغ نحو 30 تريليون دولار بحلول عام 2034.[143]

الأصول غير الملموسة خارج نطاق الملكية الفكرية

يتّجه مفهوم صناعة القيمة بشكل متزايد نحو الأصول غير الملموسة، متجاوزاً الإطار التقليدي للملكية الفكرية. فاليوم، تمتلك معظم الشركات الكبرى أصولاً غير ملموسة — مثل البيانات، والخوارزميات، والخبرة العملية[144] — تفوق في قيمتها الأصول المادية. ومع ذلك، ما تزال نحو 94% من هذه الشركات تفتقر إلى عمليات مؤسسية واضحة لتحويل هذه الأصول إلى قيمة تجارية فعلية قابلة للقياس والاستثمار.[145] وفي عام 2024، سجل الاستثمار في الأصول غير الملموسة نمواً سنوياً بلغ ضعفين ونصف استثمارات الأصول المادية، ليصل إلى 10 تريليون دولار عالمياً خلال السنوات العشر الماضية (2015-2025)، مع تصدّر السويد هذا التوجه بفضل استثمارات بلغت نحو 17.5% من ناتجها المحلي الإجمالي.[146]

تزايد الاهتمام بالعملات المستقرة

شهدت العملات المستقرة نمواً متسارعاً خلال فترة زمنية قصيرة تمتد ما بين يوليو 2023 ويوليو 2025، حيث تضاعفت قيمتها السوقية الإجمالية من نحو 125 مليار إلى 255 مليار دولار، وقد تمركزت نسبة 90% من هذه القيمة لدى جهتين مُصدّرتين فقط.[147] وفي الواقع، تسيطر العملات المستقرة المرتبطة بالدولار الأمريكي على السوق، وتمثّل 98% من الإجمالي العالمي، بقيمة تتجاوز 300 مليار دولار في 2026، و300 عملة مستقرة نشطة.[148] وتكتسب هذه التطوّرات أهمية مضاعفة بعد دخول قانون "جينوس" (GENIUS) — قانون توجيه وإرساء الابتكار الوطني للعملات المستقرة — حيّز التنفيذ في الولايات المتحدة في يوليو 2025.[149]

الشكل 4

مستقبل التمويل والأنظمة النقدية في عصر التحوّل الرقمي كتوجه عالمي كبير

عندما أُطلق تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" في عام 2022، أكّدنا أن التوجهات العالمية التي يتناولها التقرير لا تمثّل مسارات جامدة أو ثابتة، رغم تصنيفها ضمن عشرة محاور رئيسية. فهي بطبيعتها ديناميكية، تتأثر بالسياقات المتغيّرة، وتخضع لمراجعة سنوية تراعي تحوّلاتها المتسارعة. وتمثّل هذه التوجهات، في جوهرها، مسارات بحثية طويلة الأمد تمتد لنحو عقد من الزمن، وتتقاطع وتتداخل، وتتشكّل تدريجياً انطلاقاً من إشارات يومية دقيقة نرصدها في مختلف مجالات العمل والحياة.

ويرتبط تصنيف مستقبل التمويل والأنظمة النقدية كتوجه عالمي كبير بمجموعة من الاتجاهات المتصاعدة التي ازدادت وضوحاً خلال السنوات الأخيرة، ولا سيّما خلال العام الماضي. وقد أكّدت هذه الاتجاهات أن القطاع المالي والنقدي دخل مرحلة تحوّل بنيوي عميق لا يمكن وصفها بأنها مؤقتة أو محدودة الأثر، بل تمثل تحوّلات جذرية تبرّر إدراج هذا المجال ضمن التوجهات العالمية الكبرى لما له من أثر مباشر ومتسارع في أنماط العمل والحياة اليومية خلال السنوات القادمة.

وتُعرّف التوجهات العالمية الكبرى بأنها اتجاهات ناشئة ذات أثر واسع النطاق من المتوقّع أن تعيد تشكيل الاقتصادات والمجتمعات خلال العقد القادم، استناداً إلى دلائل واضحة على تصاعدها واستمرار تأثيرها بمرور الوقت.

وفي هذا السياق، يمكن تعريف الأنظمة المالية والنقدية على أنها الإطار الشامل الذي ينظّم عمليات تسوية المدفوعات والتحويلات، وتنفيذ السياسات النقدية، وتوفير الائتمان والإقراض، إلى جانب مهام التسويات والمخالصات، والامتثال والمراقبة المالية، وإدارة الأصول والضمانات.[150] وتمثل هذه العمليات البنية التحتية التي تقوم عليها الأنشطة الاقتصادية، وتسهم في تمويل الممارسات اليومية في مختلف مجالات العمل والحياة.

وفي المقابل، فإن غياب أنظمة مالية ونقدية فعّالة وعالية الكفاءة، ينعكس مباشرة على النمو الاقتصادي والازدهار المجتمعي وجودة الحياة، بدءاً من تراجع قيمة الأصول، واتساع فجوات عدم المساواة، وصولاً إلى زيادة هشاشة القطاع المالي واحتمالات تفككه.

وتُدار هذه المنظومة من خلال مجموعة من الجهات الرئيسية، تشمل البنوك المركزية، والبنوك التجارية، والمؤسسات المالية غير المصرفية، والأسواق المالية، إلى جانب الشركات التكنولوجية المتخصّصة في الحلول المالية. ويعتمد نجاح هذه المنظومة على جودة إدارة الأصول، وتوفّر البيانات الدقيقة، وكفاءة الأطر التنظيمية، وسلامة البنية التحتية التكنولوجية،[151] فيما تبقى الثقة العامل الحاسم في استقرار النظام المالي، ومن المرجّح أن تتضاعف أهميتها خلال العقد القادم.[152]

الاتجاهات العالمية والمؤشرات الرئيسية التي ستشكّل مستقبل التمويل والأنظمة النقدية كتوجه عالمي

(قائمة غير شاملة)

الترميز والأصول الرقمية

تم ترميز أكثر من 20 سنداً حكومياً، بإجمالي إصدارات تجاوزت 4 مليارات دولار موزّعة على 9 عملات مختلفة.[153] تشير التقديرات إلى أن قيمة الأصول المحوّلة إلى رموز رقمية قد تصل إلى نحو 30 تريليون دولار بحلول عام 2034.[154]

دفاتر الحسابات الموحدة، والعملات الرقمية الصادرة عن البنوك المركزية، والتحوّل الرقمي للبنوك المركزية

تشير التقديرات إلى أن نحو 91% من البنوك المركزية حول العالم تدرس حالياً إصدار عملاتها الرقمية،[155] وهو ما يعادل نحو 94% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي.[156]

الابتكار القائم على التكنولوجيا (الذكاء الاصطناعي أو البلوك تشين أو التقنيات المالية)

تعتمد نحو 80% من شركات التقنيات المالية حول العالم على الذكاء الاصطناعي.[157] وأفادت 75% من الشركات بأن الذكاء الاصطناعي وأتمتة العمليات أسهمت في خفض التكاليف.[158]

انقسام البنية التحتية للقطاع المالي العالمي

تعمل نحو 80% من اقتصادات منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية حالياً على التدقيق في جدوى الاستثمارات ومراجعتها.[159]

تراجعت الاستثمارات العابرة للحدود بنسبة 15% نتيجة التوترات الجيوسياسية.[160]

العملة الاحتياطية العالمية

تراجعت حصة الدولار الأمريكي من الاحتياطيات العالمية من 71% في عام 1999 [161] إلى 57.1% في الربع الأول من عام 2026،[162] مما يشير إلى تحول محتمل نحو نظام نقدي متعدد الأقطاب.

الاستثمارات البديلة وأنظمة الدفع

بينما تعتمد نحو 90% من المدفوعات العابرة للحدود حالياً على شبكة سويفت،[163] بلغت معاملات العملات المستقرة نحو 14.7 تريليون دولار خلال فترة الاثني عشر شهراً الأخيرة، بما يشير إلى تحول أنظمة الدفع والأصول الاستثمارية.[164]

الحاجة إلى التمويل المستدام واستثمارات البنية التحتية

تشير التقديرات إلى الحاجة إلى نحو 120 تريليون دولار من الاستثمارات في البنية التحتية للطاقة على مدى 25 عاماً، أي ما يعادل نحو 2% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي سنوياً.[165]

يتيح ترميز السندات الخضراء تتبّع ممارسات الحوكمة البيئية والمجتمعية والمؤسسية وإعداد تقارير فورية عنها، كما في المشروع التجريبي الذي أطلقته جامعة سنغافورة الوطنية بقيمة 340 مليون دولار، باستخدام تقنية البلوك تشين ضمن البيئة التنظيمية التجريبية لهيئة النقد في سنغافورة.[166]

التركيز على المرونة السيبرانية ومخاطر النظام

تعتمد نحو 46% من شركات التقنيات المالية حول العالم على الذكاء الاصطناعي في كشف عمليات الاحتيال.[167]

بلغ متوسّط تكلفة الاختراقات في القطاع المالي خلال عامي 2024 و2025 نحو 5.56 ملايين دولار، ليأتي في المرتبة الثانية عالمياً بين أكثر القطاعات تضرّراً، مقارنةً بمتوسّط عالمي يبلغ 4.44 مليون دولار.[168]

مستقبل الدخل والثروة والدمج المالي

يمتلك أغنى 1% من سكان العالم حالياً نحو 38.5% من إجمالي الثروة العالمية، ومن المتوقّع أن ترتفع هذه الحصة إلى حوالي 46% بحلول عام 2050.[169]

لا يزال نحو 1.3 مليار بالغ حول العالم خارج النظام المصرفي، ولا يمتلكون حسابات بنكية.[170] وحتى عند إتاحة الوصول إلى الخدمات المالية، لا تزال هناك تحديات واضحة تتعلق باستخدامها الفعلي، إذ تشير البيانات إلى أن نحو 30% من الحسابات البنكية في الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية غير نشطة. كما تشير التقديرات إلى أنه لا يُستخدم 68% من الحسابات المصرفية عبر الهاتف المحمول فعلياً.[171]

مجالات الفرص المستقبلية

الأطر التنظيمية العابرة للحدود للعملات المستقرة

تتفاوت العملات المستقرة في حجمها السوقي، ومستويات تبنّيها، ومدى اندماجها داخل النظام المالي العالمي.[172] فعلى سبيل المثال، تستحوذ عملتان فقط من أكبر العملات المستقرة على نحو 90% من سوق تُقدّر قيمته الإجمالية بحوالي 312 مليار دولار.[173] وفي الوقت نفسه، يتجاوز تأثير العملات المستقرة نطاق استخدامها المباشر، إذ أصبحت جزءاً متكاملاً من منظومة مالية أوسع تشمل تداول العملات المشفّرة، وأسواق الأصول المُرمّزة، وأنظمة الدفع المختلفة.[174] ويفتح هذا الواقع الباب أمام فرصة استراتيجية لابتكار أطر تنظيمية قائمة على نهج مشترك، لا سيّما في مجال المعاملات العابرة للحدود، في ظل النمو المتسارع لسوق العملات المستقرة وارتباط الغالبية العظمى منها بالدولار الأمريكي.[175]

من هذا المنطلق، تبرز الحاجة إلى تعاون دولي يضع معايير واضحة وموحّدة[176] تشمل متطلبات الاحتياطيات، وآليات الاسترداد، والامتثال لقواعد مكافحة غسل الأموال وتمويل الإرهاب، إضافة إلى أنظمة المراقبة، واختبارات الضغط، وبروتوكولات التشغيل البيني بين الأنظمة المختلفة.[177] كما يجب أن تراعي هذه الأطر الطبيعة العابرة للحدود للعملات المستقرة، والدور المتنامي للمؤسسات غير المصرفية التي غالباً ما تعمل خارج نطاق الرقابة الصارمة المفروضة على البنوك التقليدية.[178] وتزداد أهمية سد هذه الفجوة التنظيمية في ضوء تورّط ما يُقدَّر بنحو 129 مليار دولار (84% من 154 مليار دولار من المعاملات غير المشروعة) من العملات المستقرة في أنشطة غير مشروعة خلال عام 2025، وهو 41% من إجمالي قيمتها السوقية بنهاية العام.[179]

الثقافة المالية في عصر التحوّل الرقمي

تشير آخر الإحصائيات الصادرة عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية إلى أن متوسط مستوى الثقافة المالية عالمياً لا يتجاوز 60%، وينخفض إلى 53% في المتوسّط عند الحديث عن الثقافة المالية الرقمية.[184] ورغم أن 41% من الأفراد حول العالم يصرّحون بأنهم يمتلكون معرفة بالأصول المشفّرة،[185] فإن مستويات الوعي تتفاوت بشكل كبير من دولة إلى أخرى. فعلى سبيل المثال، تسجّل إسبانيا أعلى مستوى معرفة بنسبة 84%، مقابل 16% في ماليزيا، و15% في فرنسا، و3% فقط في إندونيسيا.[186]

أمّا على المستوى العالمي، فلا يمتلك سوى 3.2% من البالغين أصولاً مشفّرة، في حين يؤكد 41% فقط أنهم على دراية بوضعها القانوني، وبأنها لا تحظى بالمكانة القانونية نفسها التي تتمتّع بها الأوراق النقدية والعملات المعدنية.[187] كما تكشف البيانات أن الجيل زد (أي المواليد بين عامي 1997 و2012) يسجّل[188] أدنى مستوى من الثقافة المالية العامة مقارنةً بالأجيال الأكبر سناً.[189]

ومع استمرار تطوّر المشهد المالي، تبرز أدوات وآليات استثمار جديدة تفرض إعادة تعريف الثقافة المالية بمفهومها الحديث. فلم تعد الثقافة المالية تقتصر على إعداد الميزانيات أو الادخار أو التخطيط المستقبلي أو حماية الأفراد من عمليات الاحتيال فحسب،[190] بل أصبحت تشمل فهم فئات الأصول الجديدة، والنقود الرقمية، والنقود القابلة للبرمجة، وما يرتبط بها من مخاطر وفرص ومسؤوليات.[191]

إدارة العمليات المصرفية الذكية

لا تزال العديد من المؤسسات المصرفية تعتمد على أنظمة تقليدية لم تُصمّم لاستيعاب تقنيات الذكاء الاصطناعي، ما يفرض الحاجة إلى استثمارات جديدة في البنية التحتية، إلى جانب تحوّل ثقافي وتنظيمي داخل كل مؤسسة. ومن خلال اعتماد نهج تدريجي ومرن يرتكز على مبدأ "الأمن أوّلاً"، يمكن للبنوك تطبيق هذا التحوّل تدريجياً عبر إطلاق مشاريع تجريبية محدودة النطاق ثم توسيعها بناءً على النتائج.[180] ومع دمج الذكاء الاصطناعي في العمليات المصرفية، تكتسب البنوك قدرات متقدّمة تشمل مراقبة المعاملات بشكل مستمرّ، وتسريع الكشف عن الاحتيال، وأتمتة إجراءات "تعرّف على عميلك" وعمليات انضمام العميل، إضافة إلى توظيف الذكاء الاصطناعي التوليدي لإعداد ملخصات ذكية للحالات المالية تدعم جودة اتخاذ القرارات.[181]

في المقابل، تعاني الأنظمة القديمة من بطء في الأداء وضعف في المرونة، كما أنها تستغرق فترات طويلة لتنفيذ العمليات. وغالباً ما تفتقر هذه الأنظمة إلى واجهات برمجة التطبيقات وبيانات الوقت الفعلي، وتعتمد على بيانات مجزأة متفاوتة الجودة.[182] ورغم الفرص الواعدة التي يتيحها التحوّل نحو العمل المصرفي الذكي، إلا أنه يستدعي في المقابل تعزيز حماية منظومات رقمية أكثر تشابكاً وتعقيداً، بما تحمله من مخاطر نظامية جديدة. فعلى سبيل المثال، تواجه العديد من المؤسسات تحديات في تفسير مخرجات نماذج الذكاء الاصطناعي أو التحقّق منها بصورة كاملة، إلى جانب صعوبات تطبيق هذه النماذج في بيئات تنظيمية مختلفة، في ظل تباين الأطر القانونية والتشريعات والسياقات المحلية.[183]

التوجـــه 5

تطوّر المنظومات البيئية

سنشهد تحوّلاً في منظور إدارة الأثر البيئي؛ من التركيز على تقليل الأثر الناتج عن عملية أو منتج أو خدمة محددة، إلى إدارة النظم البيئية كمنظومات متكاملة. وسيكون هذا التوجه مدفوعاً بضرورة تجنب تداعيات مثل ندرة الموارد، وتغيّر المناخ، وتحوّلات القيم الاجتماعية. وسيتجه العمل البيئي نحو مقاربات متعددة التخصصات وأكثر استشرافاً للمستقبل، تدمج الاعتبارات الاجتماعية والبيئية في صميم التخطيط، وتعيد ترشيد استخدام الموارد الحيوية والخدمات البيئية، بما يضمن تلبية الاحتياجات البشرية الأساسية ضمن حدود الاستدامة.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

التمويل الأخضر (2023)
المدن الذكية المستدامة (2023)
الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات (2023)
الحياد الكربوني (2024)
تعليم مناخي (2024)
تقليل البصمة الكربونية عبر سلاسل التوريد (2024)
استعادة المنظومات البيئية (2025)
الذكاء الاصطناعي الصوتي لدعم الأنظمة البيئية (2025)
إنترنت الأشياء تحت الماء (2025)

الكلمات الرئيسية

التنوّع الحيوي
الاقتصاد الحيوي
منظمة "كاربون مابر"
الحمض النووي البيئي والحمض النووي الريبوزي المعزز
معايير المباني الخضراء
غازات الدفيئة
صافي الإيجابيات
صافي الانبعاثات الصفري
الصيد الجائر
الأقمار الصناعية

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

أقمار كاربون مابر الصناعية

تعمل منظمة "كاربون مابر" (Carbon Mapper) غير الربحية، التي تتّخذ من ولاية كاليفورنيا مقرّاً لها، على تطوير منظومة متقدّمة من الأقمار الصناعية لرصد انبعاثات غازات الدفيئة من الفضاء، مع تركيز خاص على غازيّ الميثان وثاني أكسيد الكربون.[192] وفي عام 2024، أطلقت المنظمة القمر الصناعي "تناجر-1" (Tanager-1) بدعم من مختبر الدفع النفاث التابع لوكالة ناسا،[193] ليشكّل خطوة نوعية في هذا المسار، خاصة أنه تم تجهيزه بمطياف تصوير من الجيل الخامس[194] يتيح دقة أعلى في تحديد مصادر الانبعاثات وتتبعها. ومع الاستعداد لإطلاق ثلاثة أقمار صناعية إضافية من الفئة نفسها،[195] تقترب "كاربون مابر" من إنشاء كوكبة فضائية (وهي مجموعة من الأقمار الصناعية تعمل معاً بشكل منسق) قادرة على مراقبة نحو 80% من الانبعاثات العالمية لغازيّ الميثان وثاني أكسيد الكربون.[196]

اقتصاد التنوّع الحيوي

تعاني أكثر من نصف المواطن الطبيعية والكائنات الحمية في أوروبا من تدهور واضح نتيجة للتغير المناخي.[197] ولا يقتصر أثر ذلك على الطبيعة، بل يمتد إلى صحة الإنسان، إذ تشير التقديرات إلى أن أكثر من 75% من الأمراض المعدية الجديدة، مثل الإيبولا وفيروس نيباه، تظهر غالباً في مناطق شهدت اختلالات حادة في التنوّع الحيوي.[198] يربط اقتصاد التنوّع الحيوي حماية الطبيعة بالتنمية الاقتصادية، من خلال الحفاظ على الأنظمة البيئية واستعادتها. ورغم أن نحو 60 دولة حول العالم تبنّت سياسات مرتبطة بهذا الاقتصاد، ما يزال النجاح في تطبيقها الفعلي محدوداً ولا يتجاوز 16 دولة.[199] ومن المتوقّع أن يزداد الاهتمام بهذا التوجه خلال 2026، في إطار مبادرة مجموعة العشرين للاقتصاد الحيوي بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، والتي تستهدف الاتفاق على 10 معايير أساسية داعمة للاقتصاد الحيوي.[200]

إدارة مخزون الأسماك البحرية

تظهر نتائج التقييم العالمي الشامل لمخزون الأسماك البحرية صادر عن منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) أن نحو 64.5% من أصل 2,570 مخزوناً بحرياً تُدار اليوم بأساليب تدعم الصيد المستدام، في حين ما تزال 35.5% من هذه المخزونات تواجه ضغوط الصيد الجائر.[201] ورغم حجم التحدي، يسلّط هذا التقييم الضوء على أثر تطبيق أنظمة إدارة فعّالة قادرة على إحداث فرق حقيقي وملموس في استدامة الموارد البحرية.وفي هذا السياق، حققت بعض المناطق تقدّماً ملحوظاً في إدارة الصيد المستدام، حيث بلغت نسب المخزونات المُدارة بأساليب مستدامة 92.7% في شمال شرق المحيط الهادئ، و 85% في جنوب غربه.[202] وتعكس هذه التجارب أهمية تعزيز أنظمة الإدارة والمراقبة للوصول إلى نتائج مماثلة في مناطق أخرى.

مجالات الفرص المستقبلية

تحوّل من معايير المباني الخضراء إلى معايير الصمود المناخي

لم يعد الالتزام بمعايير صافي الانبعاثات الصفري وحده كافياً في قطاع البناء. فبحسب التوقّعات المناخية، يجب أن تكون المباني التي تُشيّد اليوم قادرة على التكيّف مع ظروف قد تختلف جذرياً على مدار عمرها التشغيلي.

وفي ظل الممارسات الحالية، يتراوح العمر التشغيلي للمباني عادةً بين 10 أعوام و80 عاماً، وهي مدة تنخفض بشكل ملحوظ في دول مجلس التعاون الخليجي نظراً إلى مناخها الحار، على الرغم من تطبيق معايير بناء حديثة ومتقدّمة.[203]

ورغم أن العديد من المدن تبنّت معايير المباني الخضراء وأطراً تنظيمية للتشييد، لم تعد هذه الأطر كافية لمواجهة المخاطر المناخية المتصاعدة. لذلك، تبرز الحاجة إلى الانتقال من التركيز فقط على كفاءة الطاقة وخفض الانبعاثات، إلى اعتماد معايير أشمل تُعنى بالصمود المناخي، أي تعزيز قدرة المباني على الصمود أمام تغيّر المناخ. فعلى سبيل المثال، تنصّ خريطة الطريق اليابانية للمباني ذات صافي الطاقة الصفرية والتي تنتج نفس كمية الطاقة التي تستهلكها، على التزام جميع المباني بهذه المعايير بحلول عام 2030، إلا أن تحقيق هذا الهدف سيعتمد على تحديث جذري لمتطلبات التصميم والتنفيذ بشكل جوهري،[204] بما يدمج الصمود المناخي بوصفه معياراً أساسياً على المدى الطويل.

شبكات جينية عالمية لرصد التنوّع الحيوي

تعتمد الطرق التقليدية لرصد التنوّع الحيوي على وسائل عالية التكلفة وتتطلّب وقتاً وجهداً كبيرين، كما ترتبط غالباً بمواسم محدّدة، وقد تنطوي أحياناً على تدخّل مباشر يؤثر سلباً في الكائنات الحيّة والأنظمة البيئية نفسها. في المقابل، تبرز تقنيات الحمض النووي البيئي والحمض النووي الريبوزي المعزّز كبديل أكثر كفاءة وفاعلية، بما يتيح رصد التنوّع الحيوي بشكل مستمرّ.[205]

وتقوم هذه التقنيات على تحليل البصمات الجينية التي تتركها الكائنات الحيّة في الماء أو التربة أو الرواسب،[206] بما يسمح بتتبّع وجودها دون الحاجة إلى الإمساك بها أو التأثير سلباً على موائلها الطبيعية.[207] ولا يقتصر دور هذا النهج على الرصد البيئي فقط، بل يمتد إلى الكشف المبكر عن مسبّبات الأمراض التي تهدّد الأنظمة البيئية وقد تنتقل إلى البشر، خاصةً وأن نحو 60% من الأمراض البشرية مصدرها حيواني، وأن 70% منها تنشأ في البيئات البرية.[208] ومن خلال إنشاء شبكات عالمية لرصد هذه البصمات الجينية، يمكن بناء قواعد بيانات واسعة ومترابطة عبر مختلف الأنظمة البيئية، تتيح تتبّع التغيّرات بشكل مستمرّ،[209] وتدعم إنشاء أنظمة إنذار مبكر أكثر تقدّماً لرصد تفشّي الأمراض ومتابعة مسارات انتشارها عبر المناطق والفترات المختلفة.[210]

الرصد المتقدّم للنُظم البيئية للتربة

تُعدّ التربة مورداً غير متجدّد[211] وموطنًا لما يقارب نصف التنوّع الحيوي على كوكب الأرض، بما تحتضنه من بكتيريا وفطريات وكائنات مجهرية أخرى.[212] وتؤدي هذه الكائنات دوراً محورياً في استدامة الأنظمة الزراعية وتعزيز الأمن الغذائي. ورغم أن نحو 95% من الإمدادات الغذائية العالمية تعتمد بشكل مباشر على سلامة وظائف التربة، تشير التقديرات إلى أن 60% إلى 70% من تربة الاتحاد الأوروبي تُصنَّف اليوم على أنها متدهورة،[213] وفقاً لتحليلات استندت إلى منهجيات ومبادرات رصد متعددة. وعلى مدار عقود، اقتصرت الأساليب التقليدية لرصد التربة على متابعة حوالي 1% فقط من الأحياء الدقيقة الموجودة فيها. أمّا اليوم، فتفتح تقنيات ناشئة مثل المجاهر المتقدّمة والذكاء الاصطناعي والروبوتات آفاقاً جديدة لفهم طبيعة التربة بصورة أدق.[214] وقد انتقل تقييم جودة التربة من الاكتفاء بملاحظة نمو المحاصيل إلى التحليل الفيزيائي والكيميائي، ثم إلى دراسة الكائنات الحيّة الدقيقة داخل التربة نفسها.[215]

وبالإضافة إلى قياس مستويات الرطوبة، أصبحت أجهزة الاستشعار الروبوتية المتقدّمة قادرة على فحص عيّنات التربة وإنتاج آلاف الصور عالية الدقة التي يحلّلها الذكاء الاصطناعي لرصد الشبكات الفطرية السليمة داخل جزيئات التربة ورسم خرائط دقيقة لها.[216] وعلى المدى القريب، قد تمكّن المجاهر المدعومة بالذكاء الاصطناعي من أخذ العينات، من أجل تحديد أسرع وفهم أعمق لعوامل تدهور التربة.[217]

التوجـــه 6

نمو اقتصادات الأعمال المستقلة

سيؤدي تصاعد المعاملات العابرة للحدود في مجالات التمويل والصحة والتعليم والتجارة والخدمات، وصولاً إلى الفضاء، إلى إعادة تشكيل عالم تتراجع فيه الحدود التقليدية بوصفها إطاراً حاكماً للحركة الاقتصادية والاجتماعية. وسيصاحب ذلك تغير متسارع في نطاق الصلاحيات القانونية للحكومات، وتحوّل في المسؤوليات والالتزامات، ونشوء مجتمعات عالمية تتجاوز حدود الدول. ومع سرعة التحوّل المدفوع بقفزات الاتصالات والحوسبة والذكاء الآلي المتقدّم، ستنعكس هذه البيئة العابرة للحدود على أنماط الحياة والعمل، وعلى طرق التواصل والتعاون على مستوى الأفراد والمؤسسات.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

التحوّل القانوني (2023)
توسيع الاقتصاد الرقمي (2023)
السياسات الاجتماعية المتجاوزة للحدود الوطنية (2023)
براءات الاختراع التعاونية (2024)
تكامل الأنظمة عبر تطوير البرمجيات (2024)
المسؤولية المجتمعية العالمية (2024)
تعاون عالمي لتنظيم الأصول الرقمية العابرة للحدود (2025)
الشخصية القانونية للذكاء الاصطناعي: الحدود القانونية والأخلاقية (2025)
التعليم متعدد التخصّصات لتعزيز الابتكار العالمي (2025)

الكلمات الرئيسية

الشحن الجوي
مخاطر الخوارزميات
تقنية البلوك تشين
المنظمات اللامركزية المستقلة
الشراكات الرقمية بين القطاعين العام والخاص
المشاعات العالمية
التجارة العالمية
الرموز غير القابلة للاستبدال المرتبطة بالملكية الفكرية
الابتكار المفتوح
المسابقات التحفيزية بالجوائز

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

المتغيرات الغامضة في التجارة العالمية

شهد عام 2025 تصاعداً لافتاً في مستويات المتغيرات الغامضة المرتبطة بسياسات التجارة العالمية،[218] مدفوعاً إلى حدّ كبير بتحوّلات السياسة التجارية للولايات المتحدة الأمريكية. وقد أدت هذه التحوّلات إلى فرض رسوم جمركية جديدة تراوحت بين 10% و145% على عدد من الدول،[219] ما أحدث اضطراباً في الأسواق العالمية. وتباينت ردود الفعل الدولية تجاه هذه الإجراءات، الأمر الذي دفع مؤشر المتغيرات الغامضة في السياسات العالمية والتجارة الدولية إلى تسجيل أعلى مستوياته منذ عام 2020.[220] وبالنظر إلى المستقبل، من المتوقّع أن تستمرّ عملية إعادة تشكيل التجارة العالمية، مع توجّه اقتصادات مثل الهند، ودول الخليج، ودول رابطة أمم جنوب شرق آسيا، نحو تنويع شراكاتها التجارية.[221]

تحوّلات الشحن الجوي

يواصل قطاع الشحن الجوي العالمي تسجيل نمو ملحوظ في الإيرادات، إذ ارتفعت قيمة الطلب من نحو 20 مليار طن-كيلومتر في عام 2017 إلى ما يقارب 24 مليار طن-كيلومتر في عام 2026 (مايو).[222] ومن المتوقّع أن يستمرّ هذا المسار التصاعدي، مدفوعاً بتزايد حركة التجارة الإلكترونية، خصوصاً على المسارات الممتدة من آسيا إلى أمريكا الشمالية، ومن أوروبا إلى آسيا، إلى جانب النمو المتسارع داخل الأسواق الآسيوية نفسها.[223] أدت اضطرابات جيوسياسية في عام 2026 إلى تسريع هذه التحولات، حيث ارتفعت أسعار الشحن الجوي بنسبة وصلت إلى 70% على بعض المسارات.[224]

ازدهار الابتكار المفتوح العابر للحدود

من المتوقّع أن يفتح الذكاء الاصطناعي آفاقاً أوسع أمام البحث والتطوير، مع قدرة محتملة على توليد قيمة اقتصادية تصل إلى 560 مليار دولار سنوياً، إلى جانب مضاعفة وتيرة الابتكار في مجالات العلوم والبرمجيات.[225] وفي هذا السياق، يتزايد الاعتماد على الابتكار المفتوح كمسار عملي فعّال لتوسيع مصادر المعرفة والحلول، وهو نهج تتبنّاه وكالة ناسا[226] وغيرها[227] لاستقطاب أفكار تتجاوز حدود المؤسسات التقليدية. ومع توجّه الشركات إلى إعادة تشكيل رؤيتها المستقبلية بالتكامل مع الذكاء الاصطناعي والتقنيات الناشئة،[228] يسهم الابتكار المفتوح في تسريع التقدّم، وتفعيل نماذج الابتكار القائم على مشاركة المجتمع، وبناء مجتمعات ابتكارية نشطة، ودعم روّاد الأعمال،[229] كما يوفّر للمؤسسات أداة عملية لتعزيز أثرها ضمن منظومة المسؤولية المجتمعية للشركات.[230]

مجالات الفرص المستقبلية

الفضاء السيبراني: مورد عالمي مشترك

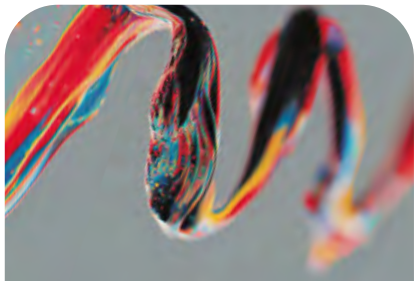
في ظل النمو المتسارع للاقتصاد الرقمي، تبرز الحاجة إلى إعادة النظر في مفاهيم تقليدية مثل الحدود الجغرافية، والاختصاصات القضائية، بل وحتى طبيعة الزمن في إدارة الخدمات والمعاملات. وفي هذا السياق، يبرز الفضاء السيبراني — باعتباره شبكة مترابطة من الأنظمة الرقمية والإنترنت، والبنية التحتية الداعمة للاتصال[231] — كمجال يمكن اعتباره من الموارد العالمية المشتركة. ويشير مفهوم المشاعات العالمية، أو الموارد العالمية المشتركة، إلى الموارد المشتركة التي تقع خارج نطاق الولايات القضائية الوطنية،[232] كما هو الحال في المشاعات المعترف بها دولياً: أعالي البحار، والقارة القطبية الجنوبية، والفضاء الخارجي.[233] غير أن تطبيق هذا الإطار على الفضاء السيبراني لا يخلو من التحديات، فالإفراط في استخدام موارده قد يتم على حساب حقوق الآخرين.[234] وتظهر التجارب المرتبطة بالفضاء الخارجي، على سبيل المثال، أن مبدأ تقاسم الموارد لا ينعكس دائماً بصورة عادلة أو فعّالة في الاتفاقيات القانونية والمعاهدات والعقود التي تحكم الأنشطة الفضائية.[235]

ويتطلّب ترسيخ الفضاء السيبراني كمورد عالمي مشترك أربع خطوات رئيسية تشمل: وضع مبادئ مشتركة تحكم استخدامه، وتحويل هذه المبادئ إلى ممارسات تشغيلية قابلة للتطبيق، وتعزيز مستوى قبول أطر الحوكمة الفعّالة ودعمها، إضافة إلى التوثيق التجريبي للممارسات الحالية. ويشمل ذلك دراسة تصنيف الفضاء السيبراني كمورد عالمي مشترك في المعاهدات الدولية والاتفاقيات الثنائية ومذكرات التفاهم ومعايير الصناعة وسياسات الأطراف المعنيين المتعدّدين. كما يشمل هذا التقييم السياسات التي تعتمدها جهات حوكمة الإنترنت، مثل هيئة الإنترنت للأسماء والأرقام المخصّصة (ICANN)، واتفاقيات ومنتديات حوكمة الإنترنت.[236]

العلوم اللامركزية كنموذج جديد للتعاون العلمي

تطرح العلوم اللامركزية نموذجاً جديداً للتعاون العلمي الدولي الذي يفتح المجال لإعادة التفكير في ممارسات رسخت تحديات قيّدت البحث العلمي لسنوات، مثل محدودية الشفافية، وتركّز تمويل المعرفة وإمكانية الوصول إليها، إضافة إلى القيود التي تفرضها أطر الملكية الفكرية التقليدية.[237] ومن خلال توظيف تقنيات البلوك تشين، والعقود الذكية، والمنظمات اللامركزية المستقلة، تتيح العلوم اللامركزية مقاربات جديدة لحوكمة تمويل الأبحاث، وبناء نُظم أكثر عدالة وشفافية للتعاون العلمي الدولي. ويمكّن هذا النهج العلماء حول العالم من العمل المشترك عبر بروتوكولات لامركزية تُوزّع من خلالها مهام البحث، وتبادل الخبرات دون قيود جغرافية، وبمرونة أعلى ضمن آليات حوكمة واضحة. كما يفتح الباب أمام نماذج جديدة لإدارة المعرفة، من بينها تحويل بعض المخرجات العلمية إلى رموز رقمية أو رموز غير قابلة للاستبدال (NFT) المرتبطة بالملكية الفكرية. وتتميّز هذه المنظومة بتوفير بنية تحتية لتخزين البيانات غير القابلة للتغيير، وآليات تمويل موثّقة تعمل وفق نموذج شبكة النظراء[238] (وهو نموذج شبكة لامركزية حيث يتفاعل المشاركون مباشرةً مع بعضهم بدلاً من الاعتماد على سلطة مركزية)، بما يعزّز الثقة بين المشاركين. والأهم من ذلك، أنها تتيح للعلماء الالتزام بمجموعة قيم مشتركة،[239] تخفّف أعباء الحوكمة التقليدية، وتعيد توجيه الجهود نحو جوهر البحث العلمي نفسه.

الشراكات الرقمية المستدامة بين القطاعين العام والخاص



الشراكات الرقمية

بين القطاعين العام والخاص تُعدّ نموذجاً متقدماً للتعاون، يتيح تبادل الموارد الرقمية واستخدامها، مثل البيانات، والخوارزميات، والقدرات الحاسوبية

تُعدّ الشراكات الرقمية بين القطاعين العام والخاص نموذجاً متقدماً للتعاون، يتيح تبادل الموارد الرقمية واستخدامها، مثل البيانات، والخوارزميات، والقدرات الحاسوبية، بطريقة توازن بين صناعة القيمة العامة، وتشجيع الابتكار الخاص، والالتزام بالمعايير التنظيمية. وعلى خلاف الشراكات التقليدية التي تركّز عادةً على تمويل وبناء البنية التحتية المادية، تتعامل الشراكات الرقمية بين القطاعين العام والخاص مع الأصول والخدمات الرقمية المشتركة باعتبارها عناصر إنتاج محورية. وتشمل تطبيقاتها مجالات متعدّدة مثل التشخيص الطبي الرقمي، ومنصات التنقّل الذكي (التنقّل كخدمة)، وأنظمة الهوية الرقمية.

وقد بدأت ملامح هذا النموذج تظهر بالفعل في تجارب واقعية، من بينها دعم شركة "مايكروسوفت" (Microsoft) لمنظمة الصحة العالمية خلال جائحة كوفيد-19، عبر تطوير حلول رقمية ساعدت في إنشاء منصات للتجارب السريرية، وتحسين إدارة البيانات الصحية على المستوى الوطني.[240] ومع تسارع التحوّل الرقمي عالمياً، تبرز فرصة حقيقية لتطوير آليات تضمن استدامة هذه الشراكات على المدى الطويل دون أن تحدّ من الابتكار.[241] وفي الوقت نفسه، تتزايد الحاجة إلى تنسيق الأطر القانونية والتنظيمية بما يوازن بين الشرعية المؤسسية والقدرة التنافسية الدولية، ويتيح إنشاء هذه الهياكل الرقمية الحديثة والحفاظ عليها وتوسيعها أو تكييفها بمرونة عند الحاجة.[242]

التوجـــه 7

تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد

تتجه الأجيال الرقمية، التي نشأت في ظل الطفرة المتسارعة لتطبيقات الترفيه أو التعليم أو الاتصالات، بشكل طبيعي إلى استخدام العوالم الافتراضية باعتبارها مساحات تتيح تنفيذ مهام "العالم الحقيقي" أو تحسينها داخل بيئات غامرة ثلاثية ورباعية الأبعاد. وبالتوازي، ستسهم شبكات الجيل الخامس والجيل السادس في تعزيز أداء تطبيقات إنترنت الأشياء والتقنيات المستقلة، من خلال توفير تجربة اتصال أكثر كفاءة من حيث التكلفة، وأعلى سرعة وأكثر موثوقية. وستقرب التجارب الافتراضية الغامرة إلى حدّ كبير من الإحساس بالواقع، مع التقدم المتسارع في التقنيات الكمومية وزيادة موثوقيتها وقابليتها للتطوير، بما يشمل الحوسبة والاتصالات وتقنيات الاستشعار الكمومية.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

التقنيات الغامرة والأجهزة القابلة للارتداء (2023)
إعداد النماذج الافتراضية (2023)
المسؤولية المجتمعية في العوالم الرقمية (2023)
عوالم رقمية أكثر واقعية (2024)
العالم الرقمي "الأخضر" (2024)
"عوالم رقمية" توليدية (2024)
تطوير المسرح الرقمي (2025)
انقسام الهوية بين العالم الافتراضي والعالم الحقيقي (2025)
تقبل أجهزة الواقع الافتراضي والواقع المعزز (2025)

الكلمات الرئيسية

الجيل السادس
الواقع المعزز في الأماكن العامة
نظرية العبء المعرفي
الهروب الرقمي
التوائم الرقمية
وحدة المعالجة الرسومية
الشمول
زمن الاستجابة
النظارات الذكية
وحدات معالجة الموترات

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

الاستعداد للجيل السادس

تشهد الجهود الدولية لتوحيد معايير شبكات الجيل السادس، بقيادة الاتحاد الدولي للاتصالات، تقدّماً ملحوظاً يمهد لإطلاق أولى الأنظمة التجارية للجيل السادس بحلول عام 2030،[243] مع مراعاة المخاوف المتعلقة بتداخل الترددات التي يثيرها اتحاد النقل الجوي الدولي.[244] وفي هذا السياق، تشير التقديرات إلى أن نحو 85% من حركة بيانات الهواتف المحمولة ستعتمد على شبكات الجيل الخامس بحلول عام 2031، مقارنةً بما كان من المتوقع أن يبلغ 48% في نهاية 2025.[245] وعلى نطاق أوسع، من المتوقّع أن يحدث الجيل السادس نقلة نوعية في سرعات الاتصال، ويسهم في التوسع الكبير في استخدام التوائم الرقمية، إلى جانب تعزيز قدرات الاتصال المتقدّمة لشبكات إنترنت الأشياء وأنظمة الاستشعار.[246]

النظارات الذكية في الأماكن العامة

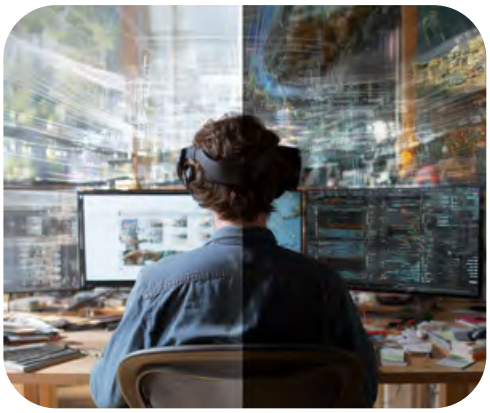
تصدّرت شركة "ميتا" سوق النظارات الذكية بحصّة عالية بلغت 70% في عام 2026.[247] غير أن من المرجح أن تشتد المنافسة خلال 2026 مع دخول لاعبين جدد إلى السوق، من بينهم "هواوي" (Huawei) عبر طرحها نظارات Eyewear 2،[248] إلى جانب منتج جديد مدعوم بالذكاء الاصطناعي تطوّره شركتا "واربي باركر" (Warby Parker) و"غوغل" (Google).[249] ورغم التوقّعات بارتفاع المبيعات من 2.7 مليون وحدة في عام 2024 إلى 18.7 مليون وحدة بحلول عام 2029 — أي ما يقارب سبعة أضعاف خلال خمس سنوات — يظل حجم هذا السوق محدوداً مقارنة بمبيعات الهواتف الذكية، التي من المتوقع أن تبلغ نحو 1.09 مليار هاتف بحلول نهاية 2026.[250] وفي المقابل، ما تزال المخاوف المرتبطة بالخصوصية من أبرز التحديات التي قد تعيق توسّع هذه الفئة من الأجهزة.[251]

الهروب الرقمي الموصوف طبياً

يتزايد الاعتماد على الذكاء الاصطناعي على المستوى المعرفي والعاطفي.[252] ويستمر التوسّع في الاتصال الرقمي ليشمل مناطق لم تكن متصلة من قبل، بالتوازي مع نمو استخدام وسائل التواصل عالمياً، إذ بلغت نسبة الحسابات النشطة نحو 94.7% من المستخدمين عالمياً.[253] ولذا، لم يعد الانفصال التام عن الاتصال الرقمي خياراً عملياً.[254] وهنا، تبرز أهمية العلاجات الرقمية الموصوفة طبياً التي يُتوقّع أن تسهم في تحسين جودة الحياة الرقمية بحلول 2026. وتركز هذه العلاجات على مراقبة مستوى التوتر، وتقديم الدعم عند الحاجة، والمساعدة في تحقيق توازن بين الاتصال الرقمي وفترات الراحة.[255] وحتى الآن، حصل 13 علاجاً رقمياً على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية،[256] بالإضافة إلى 192 تطبيق للعلاجات الرقمية.[257] وتتّجه دول مثل النمسا وبلجيكا وفرنسا وألمانيا إلى دمج هذه الحلول ضمن أنظمتها الصحية الوطنية.[258]

مجالات الفرص المستقبلية

تعزيز التجارب الغامرة باستخدام نظرية العبء المعرفي



توفر نظرية العبء المعرفي إطاراً علمياً لفهم كيفية معالجة الدماغ للمعلومات أثناء التعلّم، وقد أصبحت من الركائز الأساسية في تصميم التجارب التعليمية الحديثة.[259] وتنطلق هذه النظرية من تقسيم العبء المعرفي إلى ثلاثة أنواع رئيسية تشمل: العبء الجوهري المرتبط بطبيعة المحتوى وتعقيده وترابط مفاهيمه، والعبء الخارجي الناتج عن طريقة عرض المعلومات وجودة التصميم، والعبء البنّاء المرتبط بالجهد الإيجابي الذي يبذله المتعلّم لفهم المعلومات وتحويلها إلى معرفة طويلة الأمد.[260]

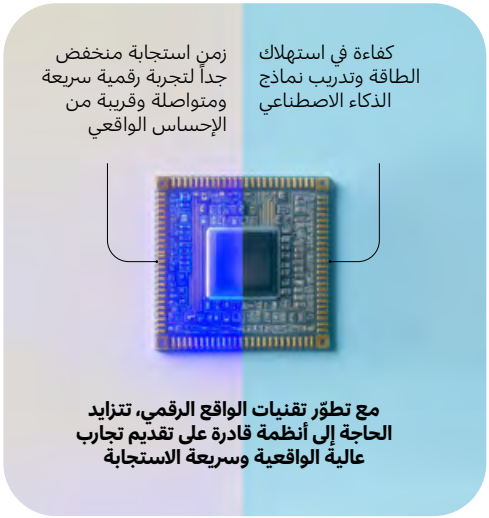
وتهدف النظرية إلى تحقيق توازن دقيق بين الأنواع الثلاثة، بما يخفف الضغط غير الضروري على قدرة العقل على معالجة المعلومات،[261] ويفتح المجال أمام التعلم الفعّال والمستدام. بناءً على ذلك، تشكّل النظرية أداة مهمّة لتطوير التجارب التعليمية الغامرة أو تقييمها، إذ تساعد على تحسين طريقة تقديم المعلومات، وتعزيز تفاعل المستخدمين، ورفع جودة التجربة التعليمية، بما ينسجم مع احتياجات المتعلّم في البيئات الرقمية المعاصرة.

تجارب غامرة للجميع

يشكّل أصحاب الهمم أكبر الأقليات حجماً حول العالم، إذ يقدَّر عددهم بشخص واحد من بين كل ستة أشخاص.[262] ويمكن للتجارب الغامرة أن تسهم في تعزيز فهم المجتمع للتحديات التي يواجهها هؤلاء الأفراد، وتعزيز التعاطف معهم، ودعم جهود دمجهم في المجتمع وفي مختلف المجالات.[263]

وفي المقابل، يجب تصميم هذه التقنيات بما يضمن شمولهم كمستخدمين أساسيين. ويتيح ذلك تطوير تجارب غامرة أكثر شمولاً تستفيد من خبراتهم واحتياجاتهم المتنوّعة منذ مراحل التصميم الأولى.[264]

رقائق حاسوبية متقدّمة لتعزيز تجارب الواقع الرقمي



مع تطوّر تقنيات الواقع الرقمي، تتزايد الحاجة إلى أنظمة قادرة على تقديم تجارب عالية الواقعية وسريعة الاستجابة.[265] ويتطلّب ذلك معالجات متخصّصة تضمن زمناً منخفضاً جداً للاستجابة وإدارة متزامنة للمدخلات المتعددة. وفي هذا السياق، تبرز وحدات معالجة الموترات (TPU)[266] كخيار واعد بفضل كفاءتها في استهلاك الطاقة واعتمادها بشكل أقل على المعادن النادرة مقارنةً بوحدات معالجة الرسوميات التقليدية (GPU).[267] وتشير التوقّعات إلى أن إنتاج هذه المعالجات سيتجاوز الضعف بحلول عام 2028، مدفوعاً بإقبال شركات الذكاء الاصطناعي على استخدامها على نطاق واسع، مثل شركة " أنثروبيك" (Anthropic) التي تشتري وحدها مليون وحدة تقريباً.[268]

مع ذلك، تظهر وحدات معالجة الموترات أداءً أفضل في تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي مقارنةً باستخدامها في تشغيل التجارب الغامرة في الواقع الفعلي التي تتطلّب التعامل مع مدخلات متعدّدة،[269] وزمن استجابة شديد الانخفاض لا يتجاوز 20 ميلي ثانية.[270] ويدفع هذا التحدي إلى تطوير أجيال جديدة من رقائق وحدات معالجة الرسوميات بزمن استجابة منخفض جداً، وقدرات متقدّمة على تفسير الإشارات العصبية، إلى جانب طبقات أمان مدمجة داخل المكوّنات نفسها،[271] بما يضمن تجربة رقمية سريعة ومتواصلة وقريبة من الإحساس الواقعي.[272]

التوجـــه 8

الأتمتة والتعايش مع الروبوتات المستقلة

مع التقدّم المتسارع في تصميم الهندسة الميكانيكية، وعلوم المواد، والذكاء الآلي المتقدّم، وشبكات الاتصال المتطوّرة، يتّجه العالم نحو مرحلة جديدة تتوسّع فيها الروبوتات وأنظمة الأتمتة لتشمل قطاعات تتجاوز التصنيع التقليدي، وصناعة السيارات والخدمات اللوجستية وسلاسل التوريد. وسيؤدي هذا التوسّع إلى إعادة تشكيل بيئات العمل والإنتاج والخدمات، بما يتيح فرصاً كبيرة لتعزيز الكفاءة، ورفع الإنتاجية، وابتكار نماذج تشغيل جديدة. في المقابل، يرافق هذا التحوّل ظهور تحديات أخلاقية ومجتمعية متزايدة، تتعلّق بحدود استقلالية الروبوتات، وآليات إيقاف التشغيل الآمن، وتأثيراتها على مستقبل العمل. ومع تزايد تفاعل الروبوتات مع البشر ومع أنظمة أخرى ذاتية التشغيل، تبرز تساؤلات جديدة حول المسؤولية، والملكية الفكرية، وأطر الحوكمة المناسبة لهذا الجيل من التقنيات.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

مجالات استكشاف معقدة (2023)
زيادة التعاون بين البشر والآلات (2023)
الروبوتات الذكية والاجتماعية والحساسة (2023)
روبوتات بحرية (2024)
روبوتات من أجل المناخ (2024)
روبوتات اجتماعية (2024)

تطوير الروبوتات المرنة عبر المحاكاة الحيوية (2025)
التعمّق في فهم التفاعل بين الإنسان والروبوت (2025)
دور الروبوتات التعاونية في التصنيع (2025)

الكلمات الرئيسية

الذكاء الاصطناعي التفاعلي
توسيع قدرات الذكاء الاصطناعي
الأمن السيبراني
الذكاء الاصطناعي داخل الروبوتات
تنسيق العمل البشري
الروبوتات الذكية ذات البنية البشرية
إدارة المخاطر
قابلية الروبوتات للعمل المشترك
استخدام الروبوتات في بيئات العمل
الروبوتات الجماعية

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

تعزيز استخدام الذكاء الاصطناعي داخل الشركات

شهدت استثمارات الشركات التقنية تحوّلاً نحو الذكاء الاصطناعي ليستحوذ على 36% من ميزانيات المبادرات الرقمية. وفي ظلّ هذا التوسّع، أصبح الذكاء الاصطناعي ينافس مجالات مثل بنية البيانات والأمن السيبراني، التي تعاني في كثير من الأحيان من فجوات تمويلية.[273] لكن، في الواقع، تواجه أغلب المؤسسات صعوبة في تحويل هذه الاستثمارات إلى عوائد ملموسة من حيث زيادة الإيرادات أو خفض التكاليف.[274] كما أن عدد الشركات التي نجحت في دمج الذكاء الاصطناعي في عملياتها اليومية بشكل منتظم لا يزال محدوداً.[275] ومع ذلك، تشير نتائج استطلاع عالمي في عام 2025 وشمل مديرين تنفيذيين وقادة شركات كبرى إلى استمرار الرهان على الذكاء الاصطناعي. فقد أفاد 74% من المشاركين بأن الذكاء الاصطناعي أولوية استراتيجية عالية مقارنة بـ 60% في عام 2024 وبنيّتهم توسيع نطاق تبنّيه خلال المرحلة المقبلة، مع التركيز على خدمة العملاء، والتسويق، وتحسين الإنتاجية، وتطوير البرمجيات، ورفع كفاءة القوى العاملة.[276]

توسّع سوق الروبوتات الذكية ذات البنية البشرية للاستخدام المنزلي

ما يزال هذا النوع من الروبوتات في مراحل مبكرة من الانتشار ويتطلّب إشرافاً بشرياً مباشراً، إلا أن الاهتمام بهذا المجال بدأ يُترجم إلى استثمارات فعلية، وصلت إلى نحو 2.5 مليار دولار من رأس المال المخاطر خلال 2024، وقد يصل إلى 5 تريليون دولار بحلول 2050، مع وصول عدد الوحدات المستخدمة إلى مليار روبوت عالمياً.[277] ومع تطوّر الذكاء الاصطناعي التوليدي وأنظمة الاستشعار، بدأت هذه الروبوتات في اكتساب قدرات أفضل على الفهم والمعالجة،[278] والتفاعل مع بيئاتها،[279] ما يعزز كفاءتها في أداء المهام المختلفة. ويظل عمر البطارية عاملاً حاسماً في انتشار هذا النوع من الروبوتات خاصة في المنازل. فمعظم النماذج الحالية لا تتجاوز فترة تشغيلها ساعتين، في حين تشير التوقعات إلى إمكانية الوصول إلى ست ساعات بحلول 2030.[280] كما تتراجع أسعار هذه الأجهزة تدريجياً، ما يزيد من قابليتها للاقتناء. فعلى سبيل المثال، تُطرح روبوتات "بومي" (Bumi) من شركة "نوتيكس" (Noetix) بسعر يقارب 1,400 دولاراً،[281] بينما يتوفّر روبوت "نيو" (NEO) من شركة "1 إكس" (1X) مقابل اشتراك شهري بقيمة 499 دولاراً، أو 20,000 دولار رسوماً تدفع لمرة واحدة.[282]

إدارة مخاطر استخدام الذكاء الاصطناعي المساعد

يُتوقّع أن تشهد أماكن العمل توسعاً في استخدام الذكاء الاصطناعي المساعد المستقل، الذي سينفّذ، بحسب التقديرات، ما يصل إلى 15% من المهام اليومية بحلول 2028، بدءاً من مهام الأمن السيبراني وصولاً إلى المراقبة الفورية للأنظمة.[283] غير أن هذا التحوّل يفرض مستوى جديداً من المخاطر، بما يتطلّب نماذج حوكمة وإدارة استباقية وأكثر تقدماً. ووفقاً لتصنيف "خدمات أمازون ويب"، تتوقف مخاطر استخدام أنظمة وكلاء الذكاء الاصطناعي على درجة الاستقلالية، التي تتدرج من أنظمة بلا استقلالية، إلى أنظمة ذات استقلالية محدودة، ثم استقلالية تحت إشراف بشري، وصولاً إلى أنظمة ذات استقلالية كاملة.[284] وتظهر استطلاعات رأي أن 80% من المؤسسات واجهت سلوكيات مقلقة من هذه الأنظمة، من بينها محاولات وصول غير مصرّح به، أو تعامل غير آمن مع البيانات الحساسة، وهو ما يبرز الحاجة إلى أطر رقابية أكثر صرامة ووضوحاً.[285]

مجالات الفرص المستقبلية

معايير استخدام الروبوتات في بيئات العمل

على الرغم من التقدّم التقني الكبير، لا يزال الاستخدام العملي للروبوتات في بيئات العمل يواجه تحديات متعدّدة. فالنجاح في هذا المجال يعتمد على استقرار الروبوتات،[286] ومرونة حركتها،[287] وكفاءتها في استهلاك الطاقة، وقدرتها على التفاعل الآمن والسلس مع البشر والبيئة المحيطة.[288] ويستلزم الانتقال من بيئات المختبر إلى مواقع العمل الواقعية قدرة عالية على التكيّف مع ظروف متغيرة ومهام غير ثابتة.

وفي هذا السياق، يتشكّل مجال جديد يركّز على تطوير معايير استخدام الروبوتات في بيئات العمل، يجمع بين التصميم، والتحكّم، والتعلّم، والتفاعل، مع اعتماد مقاييس أداء تستند إلى نتائج الاستخدام الفعلي، لا إلى اختبارات المحاكاة وحدها.

وتشير بيانات الاتحاد الدولي للروبوتات إلى تصنيع نحو 542 ألف روبوت صناعي في عام 2024، أي أكثر من ضعف العدد المسجّل قبل عشر سنوات، مع توقّعات بارتفاعه إلى أكثر من 700 ألف روبوت بحلول عام 2028.[289] كما ارتفع عدد روبوتات الخدمات بنسبة 9% ليصل إلى نحو 200 ألف، في حين سجّلت الروبوتات الطبية نمواً لافتاً بلغ 91% خلال العام نفسه.[290]

التركيبات الروبوتية في 2024
(بالأرقام)

الروبوتات الصناعية
↑ أكثر من **100%**
2024 - 2014

روبوتات الخدمات
↑ **9%**
2024

الروبوتات الطبية
↑ **91%**
2024

القواعد السلوكية المستوحاة من الإنسان
يمكن أن تجعل أسراب الروبوتات أكثر قدرة على التنبؤ والتفسير والجدارة بالثقة.

روبوتات جماعية تحاكي سلوك البشر

تعتمد الروبوتات الجماعية على نماذج لامركزية لتنسيق مهامها ذاتياً، وهي مستوحاة من سلوك أسراب النحل والأسماك والطيور.[291] ورغم التقدّم التقني في هذا المجال، لا يزال استخدامها التجاري محدوداً،[292] نتيجة تحديات تنظيمية، وصعوبة تفسير آليات اتخاذ القرار داخل هذه الأنظمة، إضافةً إلى تحديات متعلقة ببناء الثقة في هذه الأنظمة وكيفية تفاعل البشر معها.[293]

ومن المرجّح أن تسهم النماذج السلوكية المبسّطة والقابلة للتفسير وإعادة التطبيق في تعزيز موثوقية هذه الروبوتات وجعلها أكثر قابلية للمشاركة في البيئات العملية عبر محاكاة ديناميكيات قريبة من السلوك البشري.[294]

التكامل بين الروبوتات والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء

مع تزايد الاعتماد على الروبوتات المدعومة بالذكاء الاصطناعي والشخصيات الافتراضية (الأفاتار) وأجهزة إنترنت الأشياء، يبرز تحدي تنسيق عمل هذه الأنظمة ضمن منظومات مترابطة. فغياب التكامل بينها لا يؤثر فقط في تجربة المستخدم، بل قد يؤدي إلى ثغرات تقنية وأمنية داخل الشبكات المعقدة.

ولمواجهة هذا التحدي، تبرز الحاجة إلى تطوير أطر مشتركة وبروتوكولات موحدة، تضمن تكامل هذه الأنظمة وانسجامها. ويتطلّب ذلك تعاوناً وثيقاً بين جهات وضع المعايير، والشركات الصناعية، وصنّاع السياسات، لتحقيق توازن دقيق بين تسريع الابتكار وحماية الأمن السيبراني وضمان الخصوصية.[295]

التوجـــه 9

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

يتحرك العالم نحو آفاق غير مسبوقة، حيث تقوده ثورة الذكاء الاصطناعي، وتطوّر واجهات الدماغ والحاسوب، وقفزات تكنولوجية متسارعة، إلى جانب إنجازات نوعية في الطب والعلوم. ومع اتساع هذه الإمكانات، تبرز تحديات جديدة، على رأسها انتشار المعلومات المضلّلة والأخبار الزائفة وما تفرضه من ضغوط متزايدة على الأفراد والمجتمعات. ومع هذا الواقع المتغيّر، يجد الأفراد أنفسهم أمام تساؤلات جديدة، ليس فقط في مسارات العمل أو التعليم، بل في إدراكهم الأوسع لمفاهيم مثل تحقيق الذات والنمو والازدهار وجودة الحياة. كما ستتبلور تصوّرات حديثة حول تقدير الذات والاستقلالية والإحساس بالأمان، وهي تحوّلات ستنعكس مباشرة على أدوار الأسرة وأساليب التربية ونماذج الرعاية والانتماء والدمج المجتمعي. ومع هذا التحوّل العميق، ستتغيّر الحدود التقليدية بين الفرد والمجتمع والمؤسسات، بل وقد تؤدي التغيرات المرتقبة في معدلات الخصوبة إلى إعادة تعريف جوهر الأسرة والروابط المجتمعية نفسها.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

الاقتصاد الإبداعي (2023)
تقنيات الصحة النفسية (2023)
إعادة تعريف التعليم (2023)
استدامة ريادة الأعمال (2024)
محو الأمية الرقمية (2024)
تمكين الشباب في حياتهم المهنية (2024)
دور الفنون في تطوير المجتمعات (2025)

مختبر تسوية النزاعات القانونية عبر الإنترنت (2025)
الاحتفاظ بالمواهب (2025)

الكلمات الرئيسية

الاحتياجات الأساسية
السلامة الرقمية
الثورة الصناعية الرابعة
مستقبل المؤسسات
الوحدة
هرم ماسلو لاحتياجات الإنسان
المعلومات المضلّلة والخاطئة
الترابط الاجتماعي
الثقة
الصحة النفسية للشباب

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

تحديات السلامة الرقمية

عمدت بعض الدول إلى تقييد استخدام الأطفال لمنصات التواصل الاجتماعي بسبب مخاوف تتعلّق بتأثيرها على الصحة النفسية للأطفال والشباب، بما يعكس تحوّلاً نحو إعطاء الأولوية للأثر النفسي للتقنيات الرقمية، ومعالجته بسياسات أكثر صرامة. ففي ديسمبر 2025، منعت أستراليا من هم دون سن 16 من استخدام هذه المنصات، مع فرض غرامات تصل إلى 50 مليون دولار [296] على الشركات غير الملتزمة. وتدرس الولايات المتحدة[297] والدنمارك أيضاً فرض حظر مماثل،[298] فيما أعلنت المملكة المتحدة [299] ودولة الإمارات[300] بالفعل عن حظرها. ويعكس ذلك توجهاً عاماً[301] وليس بالجديد،[302] إذ تشير استطلاعات رأي عالمية إلى أن 65% تقريباً من الأفراد يؤيدون فرض هذا النوع من الحظر الرقمي.[303] لكن، تشير الأبحاث إلى أن الحظر وحده لا يكفي،[304] وأن مواجهة هذا التحدي تتطلب إعادة تصميم المنصات الرقمية بما يراعي الصحة النفسية للمستخدمين الشباب.[305]

مستقبل المؤسسات

ركزت نقاشات عام 2025 على أثر الذكاء الاصطناعي على سوق العمل، من تغيّر الوظائف وإعادة توزيع الأدوار إلى ظهور أنماط عمل جديدة.[306] ووفقاً لتقرير مستقبل الوظائف 2025 الصادر عن المنتدى الاقتصادي العالمي، يرى 86% من المشاركين أن الذكاء الاصطناعي سيعيد تشكيل بيئة الأعمال، فيما اعتبر 58% أن الروبوتات والأنظمة الذاتية ستكون المحرّك الأساسي لهذا التحوّل.[307] غير أن مستقبل المؤسسات لا يقتصر على الوظائف وحدها، بل يمتد إلى طبيعة العمل نفسها، ومكانة الإنسان داخل بيئات يزداد فيها الاعتماد على الأتمتة. ويطرح هذا الواقع أسئلة أعمق حول معنى العمل وجودة الحياة المهنية، وتجنّب تعميق الفجوات الاجتماعية أو عدم الاستقرار المهني نتيجة للتحوّلات التقنية.[308]

ترسيخ معايير الدقة والثقة في المشهد الرقمي

من المتوقّع أن تستمرّ تحديات المعلومات المضلّلة والأخبار الزائفة خلال عام 2026 وما بعدها،[309] مدفوعة بالانتشار الواسع لأدوات الذكاء الاصطناعي، وصعوبة التمييز بين المحتوى الصحيح والمضلل، خاصة في ظل ما يُعرف "بـهلوسات الذكاء الاصطناعي".[310]

وفي مواجهة هذا الواقع، قد تتّجه المجتمعات إلى تبنّي نماذج متعددة لتقييم دقة المحتوى وبناء الثقة فيه، تراعي الخصوصيات الثقافية والمجتمعية لكل مجتمع، بعدما بات واضحاً أن الاعتماد على إطار عالمي موحّد لم يعد كافياً للتعامل مع هذا النوع من التحديات المتسارعة.

مجالات الفرص المستقبلية

دراسة تجارب واقعية لتصميم مستقبل المدن

يُعدّ علم "السيرة النفسية" فرعاً من فروع العلوم الاجتماعية التي تركّز على دراسة حياة الأفراد، لفهم كيف تؤثر تجاربهم وقراراتهم في مسارات حياتهم وفي تشكيل هويتهم بمرور الوقت.[311] ورغم أن هذا المفهوم يُستخدم غالباً للتعمق في فهم هوية الأفراد، إلا أنه يمكن توسيعه ليشمل تخطيط المدن وتطويرها، خاصة في ظل تحوّلات الثورة الصناعية الرابعة.[312]

وعند تطبيق مبادئ هذا العلم على تخطيط المدن، سيسهم في اتخاذ قرارات مدروسة بشأن مستقبل المدن والمجتمعات[313] فدراسة تجارب المدن التي تبنّت تقنيات الذكاء الاصطناعي والروبوتات، بما فيها الروبوتات الذكية ذات البنية البشرية، ستساعد في فهم التحديات الأخلاقية المرتبطة بتلك التكنولوجيا، ومدى تقبّل المجتمع لها، وتأثيرها في هوية الأفراد والمجتمعات.[314]

التواصل الاجتماعي كأولوية في السياسات العامة

1 من 6

أشخاص يعاني من الوحدة

ظاهرة ترتبط بارتفاع معدلات الوفيات بنحو 100 حالة في الساعة

يدعو مفهوم "إعادة إحياء العلاقات الاجتماعية" إلى إعادة التفكير في كيفية قضاء أوقات الفراغ، والحد من العزلة الرقمية والتركيز على بناء علاقات إنسانية حقيقية وتجارب واقعية.[315] وتزداد أهمية هذا التوجّه في ظل توقعات تشير إلى أنه، بحلول عام 2030، قد يتساوى عدد العاملين من البشر مع عدد الروبوتات، ما يطرح تساؤلات جوهرية حول أمن المجتمعات، وحدود التحكّم في التكنولوجيا، ودور الإنسان، والمسؤولية داخل المجتمعات الحديثة.[316]

ويُعدّ هذا التحوّل تحدياً مجتمعياً حقيقياً، خاصة في ظل معاناة واحد من كل ستة أشخاص من الوحدة، وهي ظاهرة ترتبط بارتفاع معدلات الوفيات بنحو 100 حالة في الساعة، أي أكثر من 871 ألف حالة وفاة سنوياً.[317] ومن هنا، قد يصبح تعزيز التواصل الاجتماعي أولوية في سياسات الصحة العامة، من خلال توفير الدعم ورفع مستوى الوعي لدى الأفراد، وتوفير بيئات ومساحات تشجّع التفاعل الإنساني وتدعم الترابط المجتمعي.[318]

إعادة تعريف الاحتياجات الإنسانية

لطالما اعتمدت السياسات العالمية على مؤشرات تقليدية لقياس مستويات الفقر،[319] مثل مؤشر التنمية البشرية ومؤشر الفقر متعدّد الأبعاد.[320] إلا أن السنوات الأخيرة شهدت أطر جديدة تنظر إلى الاحتياجات الأساسية للإنسان بمنظور أوسع. ولفهم تلك الاحتياجات الأساسية اليوم، علينا أن نميز بين خط الفقر الأساسي ومعايير الحياة الكريمة.[321] فبينما يركّز خط الفقر الأساسي على ضرورات الحياة، كالغذاء والماء والمسكن والملبس،[322] والتي عجز عن تأمينها نحو 17.3% من سكان العالم وفقاً لبيانات عام 2011،[323] بينما عاش 847 مليون شخص في فقر مدقع (3 دولارات يومياً) في عام 2024،[324] كما تشير بيانات انعدام الأمن الغذائي، المستخدمة لاستقراء الاتجاه مستقبلاً، إلى أن هذه النسبة بلغت 30% بحلول عام 2020. تتجاوز معايير الحياة الكريمة هذه الحدود،[325] لتشمل التغذية المتوازنة والصحة والتعليم والطاقة، وخدمات الصرف الصحي والنظافة والأجهزة المنزلية، إضافة إلى التكنولوجيا الأساسية مثل الحواسيب والإنترنت ووسائل الاتصال والنقل والإضاءة والتحكّم في درجة حرارة البيئة المحيطة.[326] ورغم استمرار اعتماد هرم ماسلو، الذي نُشر لأوّل مرة قبل 50 عاماً، مرجعاً لفهم احتياجات الإنسان، يبدأ بالأمان والسلامة، ثم الانتماء وتقدير الذات، ويصل في قمّته إلى تحقيق الذات، وهو مستوى اعتقد ماسلو أنّه لا يتحقّق إلا نادراً.[327] إلا أن من المتوقع أن يعيد الذكاء الاصطناعي تشكيل هذا الهرم نفسه. ففي قاعدة الهرم، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يسهم بشكل كبير في تلبية احتياجات الإنسان الأساسية بكفاءة أعلى، من خلال تحسين الإنتاجية وسير العمل.[328] والأهم أن هذا التحوّل قد يتيح لشريحة أوسع من البشر الوصول إلى مستويات أعلى من التطوّر وتحقيق الذات والطموحات الشخصية، بل وربما يكشف عن احتياجات نفسية واجتماعية جديدة بالكامل لم تكن ضمن تصوّر ماسلو في زمنه.[329]

التوجه 10

تزايد الاهتمام بالصحة المتقدمة والتغذية

يشهد العالم تحوّلاً جذرياً في فهم مفهومي الصحة والتغذية، مدفوعاً بالتقدّم المتسارع في مجالات الذكاء الآلي المتقدّم، وتقنيات النانو، والتقنية الحيوية، والتصنيع الإضافي، وإنترنت الأشياء. ويأتي هذا التحوّل استجابةً لتحديات متشابكة، تشمل تغيّر المناخ، وندرة الموارد، وارتفاع متوسّط الأعمار، وتزايد العبء الصحي العالمي. ويمتد أثر هذا التوجه ليشمل تحسين جودة الحياة في مراحل الشيخوخة، وتعزيز الصحة في مراحل الشباب، والحد من الأمراض المعدية وغير المعدية أو القضاء عليها، وتعزيز الاستخدام المستدام للمياه والغذاء، وضمان توفرهما للجميع.

مجالات الفرص المستقبلية (الإصدارات السابقة)

التصنيع الإضافي في مجال الغذاء (2023)
المصادر المتنوعة للطعام (2023)
الطب الشخصي وعلم الجينوم (2023)
التعلّم العميق لمواجهة الشيخوخة المعرفية (2024)
مغذيات نانوية (2024)
نظام غذائي جغرافي (2024)
علم التخلُّق (ما فوق الجينات) وجودة الهواء (2025)
تطوير الطب الدقيق بفضل أبحاث الجينوم (2025)
تحسين الإنتاج الزراعي باستخدام الفحم الحيوي (2025)

الكلمات الرئيسية

علاج كاسجيفي (Casgevy)
تقنية كريسبر (CRISPR)
مركبات الفلافونويدات العضوية الطبيعية
المركّبات المضادة للشيخوخة (جيروبروتكتور)
طول العمر الصحي
الصحة النفسية
الأمراض التنكسية العصبية
المنشطات الذهنية
النمط الظاهري
الزراعة الذكية

أبرز الاتجاهات على المدى القصير

آفاق جديدة لتقنية كريسبر في مجال الرعاية الصحية

تعد تقنيات كريسبر أداة ثورية لتحرير الجينوم وتعديل تسلسلات الحمض النووي، وتواصل هذه التقنية فتح آفاق جديدة في علاج الأمراض رغم نقص التمويل الذي يبطئ إطلاق تجارب سريرية جديدة.[330] وتشمل أبرز الأمثلة علاج "كاسجيفي"، وهو أوّل علاج جيني يعتمد هذه التقنية، وقد حصل على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية في ديسمبر 2023 [331] لعلاج فقر الدم المنجلي والثلاسيميا من نوع بيتا المرتبطة بنقل الدم. ويُستخدم هذا العلاج حالياً في نحو 50 مركزاً علاجياً في أمريكا الشمالية والاتحاد الأوروبي والشرق الأوسط.[332] ومع التقدّم في الذكاء الاصطناعي وتصوير الخلايا الحيّة وتقنيات تسلسل الجينات، تتجه تطبيقات كريسبر إلى ما هو أبعد من التعديل الجيني لتشمل التحكّم في التعبير الجيني.[333] وقد أظهرت دراسة في كليفلاند كلينك نجاح علاج قائم على كريسبر في خفض الكوليسترول الضار بنسبة 50% خلال أسبوعين مع استمرار تأثيره 60 يوماً، إضافةً إلى خفض الدهون الثلاثية بنسبة 55%. وتشير هذه النتائج إلى إمكانية الانتقال من العلاجات الدورية إلى تدخلات طويلة الأمد، مع ترقّب نتائج دراسات أوسع خلال 2026.[334]

تطوّر البحث العلمي حول المركّبات المضادة للشيخوخة

يتزايد اهتمام الأوساط العلمية بالمركّبات المضادة للشيخوخة (جيروبروتكتور)، التي تهدف لإبطاء التدهور الجسدي المرتبط بالتقدّم في العمر، وتعزيز طول العمر الصحي.[335] ورغم نتائج أولية مشجعة لمركّبات مثل الميتفورمين، ومثبطات ناقل الصوديوم–الجلوكوز المشترك 2، وغيرها،[336] لا يوجد حتى الآن علاج آمن وفعّال قادر على إبطاء شيخوخة الإنسان،[337] باستثناء مؤشرات محدودة تتعلق بالأحماض الأمينية المرتبطة بالكولاجين.[338] ومع ذلك، يتوقّع أن تتوسّع الأبحاث لتشمل عوامل أوسع تؤثر في الشيخوخة، مثل النشاط البدني ونمط الحياة الصحي.[339]

الذكاء الاصطناعي في القطاع الصحي بين التنظيم والتطبيق

رغم إمكانات الذكاء الاصطناعي في تحسين الرعاية الصحية ودعم أهداف الصحة العامة،[340] لا يزال تطبيقه العملي محدوداً رغم تطوير السياسات واللوائح، ونجاح عدد من التجارب الأوّلية.[341] فحتى اليوم، ورغم أن 85% من مؤسسات الرعاية الصحية عالمياً يسعون إلى استكشاف أو اعتماد الذكاء الاصطناعي،[342] يظل التطبيق الفعلي المتكامل محدوداً — إذ لم تتجاوز نسبته 9% وفق أحدث البيانات المتاحة في عام 2021 [343] — وبينما يوظّف 48% من الأطباء الذكاء الاصطناعي في عملهم، لا يستخدمه في اتخاذ القرارات الطبية سوى 16% منهم.[344] ومع استمرار النقاش حول موثوقية الأنظمة وشفافيتها، وجودة بياناتها، وإمكانية تفسير قراراتها، يبرز سؤال محوري: كيف يمكن دمج الذكاء الاصطناعي في الممارسات الطبية اليومية ضمن أطر تنظيمية قابلة للتطبيق؟[345] وفي هذا السياق، من المتوقّع أن تسهم مبادرات مثل "الذكاء الاصطناعي من أجل التأثير الإيجابي" التي تقودها جهات دولية كالاتحاد الدولي للاتصالات، ومنظمة الصحة العالمية، والمنظمة العالمية للملكية الفكرية، في تقليص الفجوة بين التجربة والتطبيق، وتعزيز الاستخدام المسؤول في القطاع.[346]

الشكل 5

تمكين أفراد المجتمع من المساهمة في تصميم المستقبل – دراسة حالة

شهد العالم خلال العقود الأخيرة تطوّراً ملحوظاً في أساليب تمكين أفراد المجتمع من المساهمة في تصميم المستقبل. ورغم أن هذه الممارسات نشأت في دول الشمال العالمي،[347] فقد بدأت بالانتقال تدريجياً إلى دول الجنوب العالمي. وبينما تقتصر بعض المبادرات حتّى الآن على أشكال رمزية أو محدودة من المشاركة، يسهم التمكين الحقيقي لأفراد المجتمع في تعزيز جودة الأبحاث وربطها بالواقع الذي يعيشه الناس واهتماماتهم،[348] خاصة في مجالات الابتكار والعلوم المستقبلية،[349] والعلوم الاجتماعية.[350]

ولا تقتصر مساهمة أفراد المجتمع على تعزيز جودة المخرجات البحثية فحسب، **بل تمثل أيضاً شكلاً من أشكال الابتكار المفتوح**،[351] حيث تولّد الأفكار خارج الأطر المؤسسية التقليدية، بصرف النظر عن حجم المؤسسة أو طبيعة عملها. غير أن نجاح هذه المبادرات يتطلب تصميماً دقيقاً وأهدافاً واضحة، إذ غالباً ما تنشأ التحديات من ضعف التخطيط أو التنفيذ، كما تختلف نتائج الابتكار تبعاً لهدف المشاركة، سواء كان لتوليد الأفكار، أو لاختيارها، أو لكليهما معاً.[352]

ومع تطوّر هذا المفهوم، لم يعد مفهوم الابتكار المفتوح محصوراً في البرمجيات مفتوحة المصدر،[353] أو في أطر الابتكار التقليدية،[354] بل امتد ليشمل قطاعات متعددة، من بينها التعليم بمختلف مراحله، من المدارس[355] إلى التعليم العالي،[356] إضافةً إلى تمكين الأفراد وتعزيز مشاركتهم الفاعلة في صياغة تصوّراتهم للمستقبل.[357]

وفي هذا السياق، أطلقت مؤسسة دبي للمستقبل في نوفمبر 2025 النسخة الثانية من مبادرة "معاً نصمم المستقبل"، ضمن التوجه العالمي نحو "تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية".[358] وجاءت هذه النسخة استكمالاً للنسخة الأولى التي أُطلقت عام 2024 لاستكشاف آراء الجمهور حول المتغيرات الغامضة، فيما ركزت نسخة 2025 على الصحة وجودة الحياة.

وانطلاقاً من الفرص التي يطرحها "تقرير الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية"، وضعت المؤسسة عشرة أسئلة لقياس توجهات المجتمع:

1. هل تعتبر الذكاء الاصطناعي مصدراً موثوقاً للمشورة الصحية؟
2. هل تفضّل قضاء وقتك في بيئات خالية من التكنولوجيا حتى لو تطلّب ذلك قطع الاتصال بالإنترنت؟
3. هل تثق بقدرة الذكاء الاصطناعي على فهم مشاعر الإنسان؟
4. هل توافق على استخدام روبوتات نانوية داخل جسمك لأغراض علاجية؟
5. هل ترى أن استخدام الطحالب في تنقية الهواء داخل الأماكن المغلقة أمر مقبول؟
6. هل ممكن أن تتناول بكتيريا نافعة على شكل حبوب إذا كانت ستجعلك تشعر بتحسن؟
7. هل تثق بقدرة الطبيب على معرفة ما يعانيه جسمك بدقة من خلال تنفسك فقط؟
8. هل يمكن أن ترتدي ملابس تتابع صحتك، حتى لو كانت تشارك بياناتك؟
9. هل تعتقد أن الطبيعة الافتراضية يمكنها أن تحل محل الطبيعة الحقيقية؟
10. هل تعتقد أن مستقبل الصحة سيكون قائماً على التطوّرات في التكنولوجيا فقط؟

شارك أكثر من 500 شخص في الإجابة بصيغة "نعم أو لا"، إلى جانب مشاركتهم أيضاً في أنشطة وجلسات نقاشية مرافقة. وعند تحليل النتائج ضمن الإطار الاستشرافي للتقرير، برزت ثلاثة استنتاجات رئيسية:

أظهر المجتمع تقبّلاً مشروطاً لاستخدام الذكاء الاصطناعي في المجال الصحي، مع بقاء الثقة عاملاً حاسماً في تحديد مستوى القبول.

لا يقتصر الابتكار المتوازن في قطاع الصحة على الحلول التكنولوجية وحدها، بل يشمل أيضاً حلولاً مستوحاة من الطبيعة، مثل البكتيريا النافعة والبيئات الطبيعية.

لا يزال تقبّل تقنيات النانو في المجال الصحي في مراحله المبكرة، ويرتبط تطوّره بتعزيز الوعي العام، وتقديم تطبيقات عملية وملموسة تسهم في تعزيز ثقة الجمهور.

وتؤكد هذه التجربة أنّ الإعداد المسبق، وتحديد الأهداف بوضوح، ومشاركة المخرجات، وتنفيذ خطوات متابعة عملية تشكل جميعها ركائز أساسية لنجاح المبادرات التي تسعى إلى تمكين المجتمع من الإسهام الفعلي في تصميم المستقبل، كما تمثل حجر الأساس لأي جهة تسعى إلى تبنّي هذا الأسلوب بما يتماشى مع سياقاتها المحلية واحتياجاتها الخاصة.

مجالات الفرص المستقبلية

النمط البياني الرقمي وتوسيع نطاق الطب الدقيق

لم يعد النمط البياني الرقمي مفهوماً ناشئاً، بل أصبح أحد المسارات الواعدة لتطوير أنظمة صحية أكثر دقة واستجابة. ويقوم هذا النهج على الجمع المستمر والآني لبيانات سلوكية وبيئية واجتماعية وصحية ونفسية، عبر الأجهزة القابلة للارتداء وأجهزة الاستشعار، بما يتيح الكشف المبكر عن الأمراض، ومتابعة تطوّرها على المدى الطويل،[359] وتعزيز اعتماد ممارسات صحية مخصّصة لكل فرد، مثل التغذية السليمة.[360]

وعند دمج هذه البيانات مع علوم الجينوم، تتوسع إمكانات الطب الدقيق ليصبح أكثر قابلية للتطبيق على نطاق واسع، وأقل تكلفة،[361] مع تعزيز جاهزية أنظمة الصحة العامة للاستجابة السريعة. غير أن نجاح هذا المسار يظل مشروطاً بحماية بيانات المرضى، إلى جانب بناء أطر فعّالة للتعاون الدولي في تبادل البيانات واستخدامها بشكل مسؤول.

من الزراعة عالية الكفاءة إلى الزراعة المستدامة

تستهلك الزراعة نحو 70% من المياه العذبة عالمياً،[362] في وقتٍ يعاني فيه ما يقارب 4 مليارات شخص حول العالم من شحٍّ حادٍ في المياه (بما يعادل شهر واحد على الأقل سنوياً)، مع توقّعات بأن يتأثر ثلاثة من كل أربعة أشخاص بالجفاف بحلول عام 2050.[363] ويكشف هذا الواقع عن الحاجة إلى تغيير نماذج الإنتاج الغذائي السائدة. وتركز الزراعة 4.0 (منذ عام 2000) على تحسين الكفاءة الإنتاجية من خلال تدفقات البيانات الفورية والتحليل التنبؤي والأتمتة.[364] أما الزراعة 5.0، فتتجاوز مفهوم الكفاءة لتدمج الأبعاد البيئية والاجتماعية،[365] وتضع الإنسان والاستدامة في قلب الممارسات الزراعية. وبذلك، تنتقل الزراعة من السعي إلى إنتاج المزيد بأسرع وقت، إلى إنتاج الغذاء بطريقة أكثر توازناً واستدامة، تراعي الموارد الطبيعية والمنظومات الحيوية إلى جانب الإنتاجية.

توسيع الربط بين الغذاء والصحة النفسية والذهنية

يمثل الغذاء عاملاً واعداً لتحسين الصحة النفسية وصحة الدماغ، لا سيما في الدول منخفضة الدخل، حيث لا يحصل ما يصل إلى 85% من المصابين باضطرابات نفسية على العلاج الكافي.[366] ومن منظور الصحة العامة، يوفّر النظام الغذائي تدخلاً متاحاً، وقابلاً للتوسّع، ومنخفض التكلفة، ليكمّل الرعاية الطبية التقليدية أو يعزز أثرها.[367] ومنذ جائحة كوفيد-19، سُجّلت عالمياً أكثر من 53.2 مليون حالة اكتئاب شديد و76.2 مليون حالة قلق.[368] وقد أظهرت دراسات متعددة أن الأنظمة الغذائية الغنية بالفلافونويدات، مثل التوت الأزرق والكاكاو والحمضيات، ارتبطت بتحسّن المزاج وتخفيف أعراض القلق، خاصة لدى الأفراد الذين كانت أنظمتهم الغذائية تفتقر إلى الفواكه.[369]

ولا يقتصر تأثير الغذاء على الصحة النفسية فقط، بل يؤثر على صحة الدماغ أيضاً، فتتسبّب الأمراض التنكسية العصبية في نحو 11 مليون وفاة سنوياً،[370] ويعيش قرابة 57 مليون شخص مع الخرف، ما يبرز الحاجة الملحّة إلى تدخلات وقائية مبتكرة.[371] وتشير الأبحاث إلى أن الأغذية الداعمة للقدرات الذهنية، والغنية بمركّبات طبيعية مضادة للالتهاب مثل الكركمين الموجود في الكركم، قد تسهم في تحسين الوظائف الإدراكية من خلال تأثيرها في العلاقة المعقّدة بين الأمعاء والدماغ.[372] ومع تطوّر تقنيات توصيل هذه المركّبات للخلايا المستهدفة داخل الجسم، مثل التغليف النانوي، من المتوقّع أن تمهّد الأبحاث المستقبلية الطريق لتعزيز دور الغذاء كأداة فعّالة ضمن مختلف استراتيجيات الصحة العامة.[373]

استكشاف محتوى التقرير

لا يقتصر التقرير على استشراف المستقبل، بل يركز على **توليد قيمة حقيقية من هذه الفرص المستقبلية** وتحويلها إلى واقع ملموس

يأتي تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" هذا العام لتحديث رؤيتنا لمستقبل العالم، وتسليط الضوء على خمسين فرصة قابلة للتحوّل إلى مبادرات مؤثرة عند توظيف أدوات الاستشراف والابتكار بصورة منهجية، وتحويل الأفكار إلى حلول واقعية.

وتغطي هذه الفرص مجالات تدعم الطبيعة والاستدامة، وتعيد تعريف مفهوم الصحة، وتعزز تمكين المجتمعات، وترفع كفاءة الأنظمة التي تقوم عليها حياتنا. ولا تقتصر بعض هذه الفرص المستقبلية على تحسينات تدريجية، بل تمتد إلى تحوّلات جوهرية قد تعيد رسم ملامح العمل والحياة اليومية، وتفتح مسارات جديدة للنمو والازدهار وجودة الحياة.

وتتفاوت هذه الفرص من حيث الإطار الزمني اللازم لتحقيقها؛ فبعضها قريب أو متوسّط المدى، ويرتبط بتوفّر عوامل تمكينية يُتوقع تشكّلها خلال السنوات العشر القادمة، فيما تقوم فرص أخرى بعيدة المدى على تحوّلات اجتماعية وتكنولوجية أعمق تتطلب فترات أطول.

كما أن وتيرة تحقق الفرص تختلف من منطقة إلى أخرى، إذ تتأثر بالسياق المحلي، وحجم الاستثمارات، والقدرة القيادية لتحويل الإمكانات إلى نتائج ملموسة، إضافة إلى عوامل خارجية أخرى.

وفي نسخة هذا العام، لا يقتصر التقرير على استشراف المستقبل، بل يركز على توليد قيمة حقيقية من هذه الفرص وتحويلها إلى واقع ملموس. وتتمثل هذه القيمة في دعم النمو الاقتصادي، وتعزيز ازدهار المجتمعات، وتحسين جودة الحياة. فبينما تساعد الفرضيات والمتغيرات الغامضة والتوجهات العالمية الكبرى على فهم الاتجاهات العامة، تظل الفرص المسار العملي الذي يترجم هذه الرؤى إلى خطوات واضحة قابلة للتنفيذ.

وبناءً على ذلك، قمنا بمراجعة جميع الفرص المطروحة في الإصدارات السابقة وعددها 200 فرصة، ثم اخترنا منها 49 فرصة – إلى جانب فرصة جديدة واحدة كُشف عنها في منتدى دبي للمستقبل 2025 – لتحليلها بعمق ضمن هذه النسخة.

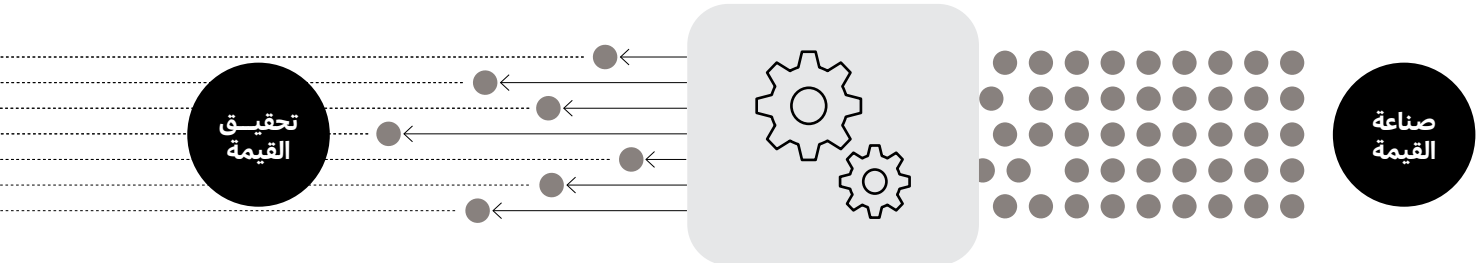
صناعة القيمة وتحويلها إلى واقع ملموس ضمن تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية"

يُستخدم مفهوم **صناعة القيمة** على نطاق واسع في التخطيط الاستراتيجي والابتكار وريادة الأعمال، ويشير إلى اكتشاف وتطوير أفكار أو منتجات أو خدمات تترك أثراً حقيقياً في حياة مستخدميها أو المستفيدين منها.[374] ومن هذا المنطلق، فإن تسليط الضوء على الفرص المستقبلية ضمن هذه السلسلة لا يُعد استشرافاً للمستقبل فقط، بل تطبيقاً عملياً لصناعة القيمة بحد ذاتها.

أما **تحقيق القيمة**، فيشير إلى المرحلة التي تتحوّل فيها القيمة المستهدفة من أفكار أو منتجات أو خدمات إلى نتائج مستدامة.[375] وتختلف هذه النتائج بحسب الجهة المعنية؛ فقد تتمثل في أرباح في القطاع الخاص، أو تحسين الخدمات في القطاع العام، أو رفع جودة الحياة في المجتمع المدني.

فليست الفكرة وحدها، ولا حتى تنفيذها، كافية لتحقيق أثر مستدام. إذ يتطلب ضمان هذا الأثر تحقيق القيمة،[376] وهو ما يجعل هذا المفهوم عنصراً محورياً في تحويل الجهود إلى نتائج طويلة المدى.

ووفقاً لتقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالية"، تتحقق القيمة من خلال الاستفادة من العناصر الأساسية لكل فرصة مستقبلية، وفهم المسارات التي تسهم في بناء مستقبل قائم على النمو الحقيقي والازدهار المستدام وتعزيز جودة الحياة.



المسار العملي لتحقيق القيمة ضمن تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية"

من أجل تحديد المسار العملي لتحقيق القيمة، قمنا باستكشاف آليات تحقيق القيمة عبر مختلف المجالات.

يُقصد بتحقيق القيمة **داخل الشركات** — بما في ذلك الشركات الرقمية[377] — قدرتها على تحويل الابتكار إلى منافع ملموسة، مالية كانت أو غير مالية، من خلال تطوير حلول نوعية والحفاظ على عناصر تميزها واستمراريتها.[378]

وتتفاوت استراتيجيات تحقيق القيمة وفق أولويات المؤسسات؛ فبعضها يركز على تحقيق الأرباح، وأخرى تسعى إلى قيمة عامة أوسع، فيما تحاول جهات أخرى الموازنة بين الهدفين. كما تختلف بحسب نماذج الابتكار المعتمدة، سواء كانت مغلقة، أو مفتوحة، أو مزيجاً بين الاثنين.

في نموذج **الابتكار المغلق**، تُدار أنشطة الابتكار ضمن حدود المؤسسة نفسها،[379] مع التركيز على توسيع قاعدة المستخدمين والمتعاملين. ويتم تحقيق القيمة عبر آليات متعددة تشمل العقود، وحقوق الملكية الفكرية، وبراءات الاختراع، وإتاحة التقنيات للاستخدام أو التطوير من قبل جهات أخرى، إلى جانب اختيار نموذج العمل الأنسب لتحقيق العوائد.

ويتطلب هذا النموذج إدارة فعالة للعلاقات التعاونية، والموازنة بين المنافسة والشراكة، وتعزيز الثقة والتكافؤ بين الأطراف المعنية، والتعامل الواعي مع الفروقات الثقافية والجغرافية، خاصة في سياق الشركات العالمية.[380]

أما في نموذج **الابتكار المفتوح**، فتمتد أنشطة الابتكار إلى خارج حدود المؤسسة لتشمل أطرافاً متعددة.[381] وفي هذا السياق، تتجاوز مسارات تحصيل القيمة الأدوات التقليدية لتشمل اتفاقيات عدم الإفصاح، وتطوير الأصول التكميلية، والحفاظ على بعض المكونات ضمن إطار "الصندوق الأسود"، مع الالتزام بمبادئ الشفافية والانفتاح في جوانب أخرى[382]. وعلى الرغم من أن هذا النموذج يفتح آفاقاً أوسع للابتكار، يرافقه تحدي حماية الابتكارات في مراحلها المبكرة، وتحقيق توازن دقيق بين صناعة القيمة والحفاظ عليها، خاصة مع اتساع دائرة المشاركين.[383]

وفي **البيئات المصمَّمة لدعم منظومة الابتكار**، لا تتحقق القيمة تلقائياً، بل عبر بناء منظومة متكاملة تجمع بين الهياكل التعاونية الفعّالة، والبنية التحتية الداعمة — المادية منها والرقمية — وتوفّر أدوات التمويل المستدام، إضافة إلى وجود آليات واضحة لقياس الأثرين الاجتماعي والاقتصادي للابتكار وتعزيز الاستفادة منهما.[384]

أما **المدن التي تجعل الابتكار محوراً رئيسياً** في استراتيجياتها التنموية، فينعكس تحقيق القيمة فيها من خلال مؤشرات أكثر شمولاً واتساعاً. فنجاح الشركات الناشئة، ونمو المؤسسات الابتكارية، وفعالية المجمعات الرقمية، التي تجمع بين البحث العلمي والصناعة وريادة الأعمال، إلى جانب دور الجامعات والمراكز البحثية، جميعها تعكس قدرة المدينة على تحويل الأفكار إلى نشاط اقتصادي مستدام.[385] ويتعزّز تحقيق القيمة من خلال تسجيل براءات الاختراع، ومستوى تبنّي التقنيات الحديثة، وقدرة المدينة على استقطاب الكفاءات والسكان الجدد. كما يرتبط تحصيل القيمة بدعم مسارات التنمية المستدامة، وتعزيز مشاركة المجتمع المدني في إنتاج منافع اجتماعية وبيئية ملموسة، دون أن تقتصر على النمو الاقتصادي فحسب.[386]

وعندما يكون الهدف تحقيق "قيمة عامة"، لا يُقاس تحقيق القيمة بالنتائج المباشرة وحدها، بل يمتد ليشمل الأثر المجتمعي الأوسع وما يرتبط به من أبعاد أخلاقية واجتماعية.

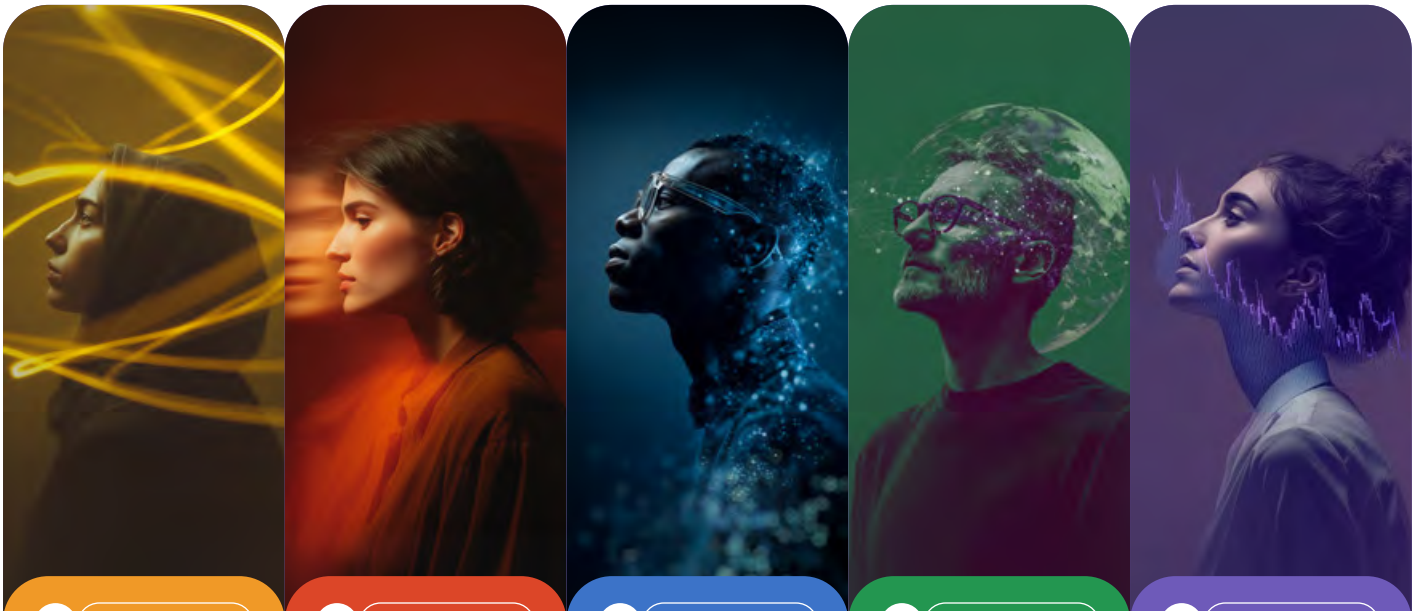
فالقيمة العامة تتحقق عندما تُبنى الثقة بين الأطراف المختلفة، وتتعزّز المصداقية والسمعة المؤسسية، وترتقي جودة الحياة، ويتحقق التميّز التشغيلي، ويتعزز التماسك المجتمعي. كما تسهم دوائر التعاون الموسَّعة، وتأثيرات الشبكات الاجتماعية والاقتصادية، في مضاعفة أثر الابتكار وتحويله إلى منفعة عامة مستدامة.[387] وسواء تم تحصيل القيمة داخل مؤسسة غير حكومية، أو شركة تجارية، أو مؤسسة تعليمية، أو حتى ضمن نطاق الأسرة أو على مستوى الفرد، فإن طريقة تحصيلها ترتبط ارتباطاً مباشراً بمصالح الأطراف المعنية ودوافعها للمشاركة في عملية الابتكار (انظر الشكل 6). فبعض الجهات تقود العملية بشكل مباشر، فيما تسهم جهات أخرى في تمكينها أو تستفيد من نتائجها بصورة غير مباشرة.[388]

الشكل 6

الجهات المشاركة في منظومة الابتكار[389]

- الجهات الحكومية
- المنظمات الدولية غير الحكومية
- منظمات المجتمع المدني والمنظمات غير الحكومية
- الشركات التجارية الكبرى
- الشركات الناشئة والشركات الصغيرة والمتوسّطة
- مراكز البحث والتطوير ومراكز الفكر
- الشبكات والاتحادات المهنية
- المؤسسات التعليمية

انطلاقاً من تنوّع الجهات المشاركة في منظومة الابتكار، وبالنظر إلى أن الفرص المستقبلية المطروحة في تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" تمثل شكلاً من أشكال الابتكار القائم على الاستشراف،[390] حدّدنا خمسة مسارات عملية رئيسية لتحويل هذه الفرص إلى إنجازات ملموسة في مجالات النمو والازدهار وجودة الحياة، وهي:



الإطار المرجعي 1

إعادة تعريف مفهوم القيمة

ليشمل أبعاد النجاح بما يتجاوز المؤشرات الاقتصادية التقليدية.

الإطار المرجعي 2

تحديد أسواق جديـــدة

تستجيب للاحتياجات العالمية المتغيّرة والتوسّع نحوها.

الإطار المرجعي 3

تبنّي الابتكارات التحوّلية وتوظيف التقنيات المتقدّمة

لتحقيق أثر ملموس.

الإطار المرجعي 4

بناء شـراكات فعّـــالـــة

بين مختلف القطاعات والمنظومات، وتطوير استراتيجيات مشتركة توازن بين مصالح الأطراف المعنية وتدعم تنفيذ الحلول على نطاق واسع.

الإطار المرجعي 5

تعزيز المـرونة المؤسســـية

وبناء قدرات استراتيجية قادرة على التكيّف مع المتغيرات الغامضة والتحوّلات السريعة في المستقبل.

وتشكّل هذه المسارات **الإطار المرجعي** الذي تُعرض من خلاله الفرص المستقبلية في هذه النسخة الخامسة من التقرير. وقد تم ترتيبها بهذا التسلسل لتعكس تدريجياً اتساع نطاق التأثير وحجم التحوّل الذي يمثله كل مسار، بدءاً من الأكثر شمولاً وتأثيراً، وصولاً إلى المسارات ذات الإطار التنفيذي الأكثر تحديداً.

وكما هو الحال مع التوجهات العالمية الكبرى، تترابط هذه المسارات في ما بينها، ما يعني أن تحقيق القيمة يتطلب في كثير من الحالات تفعيل أكثر من مسار في الوقت نفسه.

التنبـؤ العكســي كمنــهج لاستشـراف المستقبـــل

تنطلق كل فرصة مستقبلية في التقرير من سؤال جوهري هو: "ماذا لو؟"، وهو سؤال يفتح المجال لتخيّل المستقبل الذي نطمح إليه، ورسم صورة واضحة لما يمكن أن يكون عليه الواقع في حال تحققت هذه الفرصة.[391]

غير أن الانتقال من التصوّر إلى التطبيق يتطلب منهجاً عملياً. ولهذا، يعتمد التقرير نهج التنبؤ العكسي بوصفه أحد أدوات استشراف المستقبل، حيث يبدأ من الصورة المستقبلية المرغوبة، ثم يعود تدريجياً إلى الحاضر لتحديد الخطوات والعوامل المطلوبة في كل مرحلة. ومن خلال هذا النهج، يمكن تحديد عوامل التمكين الأساسية، ورصد التحديات المحتملة مبكراً، وبناء مسار تنفيذي تدريجي يقود إلى تحقيق الفرصة بصورة فعّالة ومستدامة.[392]

وفي نسخة هذا العام، تُعرض كل فرصة ضمن مسار أثر يوضح كيفية الانتقال من وضعها الراهن إلى إمكاناتها المستقبلية، ويبيّن أيضاً الدور الذي يمكن أن يؤديه القرّاء من مختلف الفئات في دعمها والمساهمة في تطويرها.

بشكل عام، تنقسم مناهج وأدوات استشراف المستقبل إلى نوعين رئيسيين: مناهج استشرافية تطرح أسئلة من نوع "ماذا لو؟" لاستكشاف طيف واسع من السيناريوهات المحتملة، ومناهج معيارية تنطلق من سؤال "ما المستقبل الذي نطمح إليه؟"، ثم تحدد الإجراءات اللازمة للوصول إليه،[393] أو لتجنّب مسارات غير مرغوبة.[394]

ويُعد التنبؤ العكسي من المناهج المعيارية، إذ يبدأ بتخيّل المستقبل المستهدف، ثم يعود إلى الحاضر لفهم ما يجب فعله للوصول إليه.[395] ويمتاز هذا النهج بتركيزه على الحلول العملية، مما يساعد خبراء الاستشراف في استكشاف الفرص ورصد التحديات المرتبطة بها في وقت مبكر، وتحديد الشروط والعوامل اللازمة لتحقيق نجاحها بشكل منهجي.[396] كما يتميّز بمرونة عالية، إذ لا يقيّد التفكير بالاتجاهات الحالية فقط،[397] بل يوسّع الآفاق للنظر إلى ما هو قادم. ويتيح ذلك الانفتاح مشاركة العديد من الجهات المعنية، ويشجّع على تبنّي رؤى متنوّعة حول ملامح المستقبل.[398]

وكغيره من أدوات الاستشراف، يخضع التنبؤ العكسي للنقاش الأكاديمي والمهني. ويتمحور الجدل غالباً حول تصنيفه: هل هو أداة استشراف للمستقبل أم إطار للتخطيط الاستراتيجي؟ أمّا في هذا التقرير، فنتعامل معه كإطار يجمع البعدين معاً.[399] كما يُشار أحياناً إلى تعقيد تطبيقه والحاجة إلى موارد وجهود مكثفة. غير أن هذه الملاحظة لا تقتصر عليه وحده، بل تنطبق على مختلف مناهج الاستشراف الجاد القائم على التحليل المنهجي.[400]

كذلك، قد يُنتقد لاحتمال تبسيطه لمسارات المستقبل أو تركيزه على سيناريو واحد دون غيره. ولهذا، يؤكد التقرير أن المستقبل لا يتشكل عبر مسار واحد، بل عبر مسارات متعددة، وهو ما يؤخذ في الاعتبار عند عرض كل فرصة، مع الإشارة إلى بدائلها الممكنة.[401]

ورغم أن التنبؤ العكسي يرتبط عادة بأطر زمنية محددة، فقد تجنّبت هذه النسخة الخامسة من التقرير تقديم جداول زمنية واضحة. ويرجع ذلك إلى أن سرعة التقدم نحو تحقيق أي فرصة تختلف باختلاف السياقات، وتعتمد على عوامل متعدّدة، من أبرزها حجم الموارد المتاحة لتنفيذها، وتوفّر عوامل التمكين، وتكامل الجهود بين الجهات المعنية، إضافة إلى استعداد الأطراف المعنية لتولّي أدوار قيادية أو العمل بشكل تعاوني لرسم ملامح المستقبل.

وبناءً عليه، تجنّب التقرير تقديم تنبؤات حتمية أو مسارات زمنية جامدة، حفاظاً على واقعية الطرح، وانسجاماً مع طبيعة المستقبل بوصفه فضاءً متعدد المسارات لا يخضع لإيقاع واحد.

يُعد التنبؤ العكسي من المناهج المعيارية، **إذ يبدأ بتخيّل المستقبل المستهدف، ثم يعود إلى الحاضر لفهم ما يجب فعله للوصول إليه**

تمويل المستقبل

يشكّل التمويل أحد الأعمدة الجوهرية في منظومة الابتكار، إذ لا يقتصر دوره على تمكين عمليات التطوير، بل يمتد ليكون شرطاً أساسياً لاستدامة تحقيق القيمة وتعزيز أثرها على المدى الطويل. فالابتكار من دون تمويل مناسب يظل فكرة واعدة، أما الابتكار المدعوم بأدوات تمويل ملائمة فيتحوّل إلى مسار تنموي قابل للاستمرار.[402] وانطلاقاً من هذا الفهم، تتضمّن كل فرصة مستقبلية في هذا التقرير مجموعة من الأدوات المالية ذات الصلة، بما يتيح للجهات المعنية توظيفها، إما بشكل منفرد أو ضمن محفظة تمويلية متكاملة، بما في ذلك التمويل المختلط، الذي يجمع بين التمويل العام والاستثمار الخاص لتقليل المخاطر وبما يتوافق مع مراحل مسار الأثر كما يحدّدها منهج التنبؤ العكسي. [403] ويستند هذا النهج إلى إدراك واقعي لطبيعة الابتكار التي تتطلب تنوعاً في مصادر التمويل، وتعدداً في الجهات الفاعلة، واختلافاً في الأدوار الداعمة. فاحتياجات التمويل لا تبقى ثابتة عبر مراحل الابتكار، بل تتغير من حيث النوع والحجم ومستوى المخاطرة، تبعاً للمرحلة التي تمر بها كل فرصة.[404] ومن هنا، يُعد فهم المرحلة التي تمر بها الفرصة العامل الحاسم عند اختيار الأداة المالية المناسبة. فليس التمويل هدفاً في حد ذاته، بل وسيلة لتمكين غاية محددة في لحظة معينة من رحلة الابتكار (انظر الشكل 7).[405]

الشكل 7

مراحل الابتكار والغرض منها

تمرّ عملية الابتكار بمراحل متتابعة، تركّز كل مرحلة منها على تحقيق هدف أساسي يوجّه الجهود المبذولة. وقد تتقاطع بعض المراحل أو تتداخل، كما قد تتضمن المرحلة الواحدة هدفاً أو أكثر من الأهداف الستة الموضحة أدناه. وينطبق هذا التسلسل أيضاً على الابتكار القائم على استشراف المستقبل.ويمكن توصيف هذه العملية بأنها "رحلة الابتكار"، التي تمر عادة بثلاث محطات رئيسية هي: مرحلة التصميم، ومرحلة الاختبار، ومرحلة التوسّع الاستراتيجي.

توليد أفكار وحلول جديدة أو اختبارها

تركّز هذه المرحلة على إنتاج معرفة جديدة، سواء عبر توليد أفكار مبتكرة أو اختبار أفكار قائمة واستكشاف مدى قابليتها للتطبيق. وغالباً ما تجري هذه الجهود في بيئات تتسم بارتفاع مستوى المتغيرات الغامضة، ما يتطلب تقبّلاً عالياً للمخاطر، واستثماراً زمنياً ممتداً قبل الوصول إلى نتائج ملموسة، قد لا تتحقق عوائدها في جميع الحالات.

تحقيق هدف محدد مسبقاً

تتمحور هذه المرحلة حول تنفيذ مبادرة تستهدف نتيجة واضحة ومتفقاً عليها منذ البداية، مثل خفض الانبعاثات الكربونية، أو تحسين جودة التعليم، أو تقليص معدلات التشرّد. ويكون التركيز هنا على تحقيق أثر قابل للقياس ضمن إطار زمني محدد.

بناء قدرات داعمة للنتائج المستقبلية

تهدف هذه المرحلة إلى الاستثمار في تنمية القدرات البشرية والمؤسسية التي تمكّن من تحقيق نتائج مستقبلية مستدامة. ولا يقتصر الأمر على التمويل المباشر، بل يشمل الدعم غير المالي، مثل التوجيه، وبناء الشبكات، وتقديم الخبرات الفنية.

تطوير البنية التحتية والأنظمة الداعمة للابتكار

تتطلب هذه المرحلة إحداث تغييرات هيكلية واسعة، سواء في البنية التحتية أو في آليات عمل الأنظمة القائمة، لتهيئة بيئة تمكينية للابتكار. وغالباً ما تنطوي هذه الجهود على استثمارات كبيرة ومستويات مرتفعة من المخاطر، ما يستدعي تنسيقاً مؤسسياً ومشاركة متعددة الأطراف.

توسيع نطاق الابتكارات الواعدة

بعد إثبات جدوى الابتكار، تنتقل الجهود إلى توسيع نطاقه لضمان وصوله إلى شريحة أوسع من المستفيدين، وتعزيز أثره الاجتماعي أو الاقتصادي. وهنا، تبرز أهمية الاستدامة المالية بوصفها شرطاً لاستمرارية الابتكار وتطوّره.

تحقيق عوائد مالية في القطاع الخاص

ترتبط هذه المرحلة بالاستثمارات التجارية التي تهدف إلى تحقيق عوائد مالية، سواء من خلال رفع قيمة أصل أو شركة، أو عبر توسيع نطاق ابتكار قابل للتسويق.

أما في ما يتعلق باختيار الأدوات المالية المناسبة، فقد تم تحديدها لكل مرحلة ضمن كل فرصة مستقبلية بالاستناد إلى ممارسات راسخة في تمويل الابتكار وصناعة السياسات واستشراف المستقبل. ولم يقتصر هذا الاختيار على مدى توافق الأداة مع المرحلة أو الهدف فحسب، بل جاء ضمن رؤية أشمل لكيفية تمويل المستقبل بصورة منهجية ومستدامة.

ويتطلب هذا النوع من التمويل النظر في مجموعة من العوامل المتداخلة، من أبرزها: طبيعة الإطار القائم،[406] والحوافز المؤثرة في قرارات التمويل،[407] وحجم التمويل المطلوب في كل مرحلة، ومستوى تقبّل المخاطر لدى الجهات المموّلة،[408] والجهات الراعية، وقادة الابتكار، بوصفهم أطرافاً رئيسية في منظومة الابتكار.[409]

وفي هذا السياق، يستعرض (الشكل 8) **16 أداة مالية** تتباين من حيث مستوى المخاطر، والعوائد المتوقّعة، ومتطلبات السداد. وقد تم ترتيب هذه الأدوات بشكل تدريجي، بدءاً من الأدوات الأقل مخاطرة التي تتيح للجهة المالكة الاحتفاظ بكامل حقوقها، وصولاً إلى الأدوات الأعلى مخاطرة التي قد تتطلّب تقاسم الملكية أو إشراك أطراف أخرى. وتتميّز هذه الأدوات بمرونتها العالية، إذ يمكن توظيفها عبر مراحل متعددة من رحلة الابتكار، كما يمكن مواءمتها مع الأهداف المختلفة التي تسعى كل مرحلة إلى تحقيقها.

الشكل 8

الأدوات الماليـــــة

المنح[410]

المنحة هي تمويل غير مسترد يُقدَّم من دون التزامات تتعلق بالملكية أو الديون أو تقاسم الإيرادات. ويُستخدم غالباً لدعم مشروع محدد أو تمويل مرحلة بحثية، مع احتفاظ المستفيد بكامل حقوق الملكية الفكرية أو التجارية الناتجة عن المشروع.

المنح المرحلية [411]

في هذا النموذج، يُصرف التمويل على مراحل، ويرتبط كل جزء منه بتحقيق تقدم محدد سواء تقني أو تجاري أو تنظيمي. وغالباً ما يبدأ التمويل بمبالغ صغيرة قد تصل إلى 100 ألف دولار، ومع تحقيق الأهداف المرحلية، يمكن الانتقال إلى مراحل أكبر تتراوح بين 250 ألف ومليون دولار أو أكثر.

جوائز التحديات[412]

تعتمد على المنافسة بين فرق متعددة لتقديم حلول لمشكلة محددة بوضوح. ولا تُمنح الجائزة — التي تكون قيمتها معروفة مسبقاً — إلا للفريق الذي ينجح في تقديم حل عملي قابل للتطبيق. ويركز هذا النموذج على النتائج لا على الجهد المبذول، ويعزز الابتكار المفتوح وتنوع الحلول.

التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً[413]

يقوم على جمع تمويل أولي من الجمهور عبر منصات التمويل الجماعي مثل منصة "كيك ستارتر" (Kickstarter)، ثم تقوم مؤسسة بمطابقة المساهمات بنسبة متفق عليها، غالباً بين 1:2 و1:4. ويوفر هذا النموذج مؤشراً مبكراً على وجود طلب فعلي في السوق، ويقلل مستوى المخاطرة لدى الجهة المؤسسية.

عقود الخدمات[414]

يُقدَّم التمويل مقابل تطوير ابتكار أو تقديم خدمة محددة، من خلال عقود شراء أو توريد رسمية. يلتزم الطرف المموِّل بسداد القيمة عند استيفاء الشروط أو بلوغ مراحل تنفيذ محددة. ويُعد هذا النموذج أداة ربط مباشرة بين الابتكار والطلب الفعلي في السوق. قد يشمل هذا الشراء الحكومي كآلية لسحب الابتكار من جانب الطلب، مما يشير إلى فرصة سوق مستقبلية ويقلل من مخاطر الاستثمار الخاص في الحلول الناشئة.

المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات[415]

لا تستلزم التنازل عن الملكية ولا تُسدَّد إلا في حال تحقيق إيرادات مستقبلية عبر استقطاع نسبة من الإيرادات - غالباً بين 2% و8% - وصولاً للحد الأقصى المتّفق عليه، عادةً ما بين 1.5 إلى 3 أضعاف قيمة التمويل. ويمثل هذا النموذج أداة تحفيزية قوية لتحويل الابتكار إلى نشاط اقتصادي مستدام.

سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)[416]

توفر تمويلاً مسبقاً من مستثمرين لدعم برامج اجتماعية محددة. ولا يتم السداد إلا عند تحقيق نتائج قابلة للقياس تم الاتفاق عليها مسبقاً مثل رفع معدلات الإسكان بنسبة معيّنة. يربط هذا النموذج العائد المالي بالأثر الاجتماعي، ما يجعله أداة فعالة لتمويل القيمة العامة.

القروض (والقروض الصغيرة) [417]

أداة تمويل تقليدية يحصل بموجبها المستفيد على رأس مال يُسدَّد وفق جدول زمني محدد، مع فائدة، بغض النظر عن نجاح الابتكار. لا يتضمن تنازلاً عن الملكية، لكن يحتفظ المقرض بأولوية استرداد أمواله في حال التعثر.

المنح المُدمَجة [418]

صيغة تمويل تجمع بين منحة غير مستردة ومساهمة محدودة في الملكية، غالباً بين 2% و10%. توفر دعماً أقل تكلفة من التمويل القائم بالكامل على حقوق الملكية، مع إشراك المموّل في فرص النمو.

القروض القابلة للتحويل[419]

تُمنح كقرض بدايةً ثم تتحوّل إلى حصص ملكية عند جولات تمويل مستقبلية. ويحصل المستثمرون الأوائل على مزايا مثل خصم بين 15% و25% على سعر السهم في الجولة التالية. وتوفر هذه القروض مرونة في المراحل المبكرة.

المنح القابلة للتحويل[420]

تبدأ كمنحة غير مستردة، لكنها تتحوّل لاحقاً إلى حصة ملكية في حال حصول الشركة على تمويل استثماري. تجمع بين تخفيف المخاطر في البداية وإتاحة فرصة المشاركة في النمو لاحقاً.

صناديق التوسّع[421]

توفّر تمويلاً لمرحلة النمو يتراوح بين 5 ملايين و100 مليون دولار أو أكثر، وتستهدف الشركات التي أثبتت نجاح منتجاتها ووجود طلب فعلي عليها. وتُستخدم هذه الصناديق لدعم توسّع الشركات، مع تركيز أساسي على التنفيذ والنمو، لا على البحث والابتكار.

برامج مسرّعات الأعمال (نموذج تقديم التمويل) [422]

برامج مكثّفة قصيرة الأجل تمتدّ بين 3 و6 أشهر، وتقدّم تمويلاً محدوداً يصل إلى 150 ألف دولار، وفي بعض الأحيان، مقابل حصة صغيرة من الملكية – تتراوح بين 5% و10%. وتوفر المسرّعات أيضاً التوجيه، ومساحات عمل مشتركة، وفرصاً للوصول إلى مستثمرين ومتعاملين محتملين، إلى جانب بناء القدرات وتسريع النمو.

التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك) [423]

مشاركة عدة جهات استثمارية في تمويل المراحل المبكرة للشركة الناشئة. يمكن أن يأخذ هذا أشكالاً مختلفة، بما في ذلك اتفاق بسيط للحصول على أسهم مستقبلية حيث يوفر المستثمر رأس المال مقابل الحق في الحصول على أسهم مستقبلية. وغالباً ما يشارك فيه ثلاثة أطراف أو أكثر، بما يتيح تقاسم التمويل وتبادل الخبرات، وتوزيع المخاطر بين الشركاء، ويوفّر للشركة الناشئة مصادر متنوّعة للدعم والتوجيه.

الاستثمار مقابل حقوق الملكية [424]

يقدّم المستثمر رأس المال مقابل حصة من الأسهم. ولا يُطلب سداد هذا التمويل، وتتحقق العوائد من خلال بيع حصصهم، سواء عبر الاستحواذ أو الطرح العام الأوّلي للأسهم. ويترتّب على ذلك تراجع نسبة ملكية المؤسسين نتيجة دخول شركاء جدد إلى هيكل الملكية.

صناديق رأس المال الاستثماري[425]

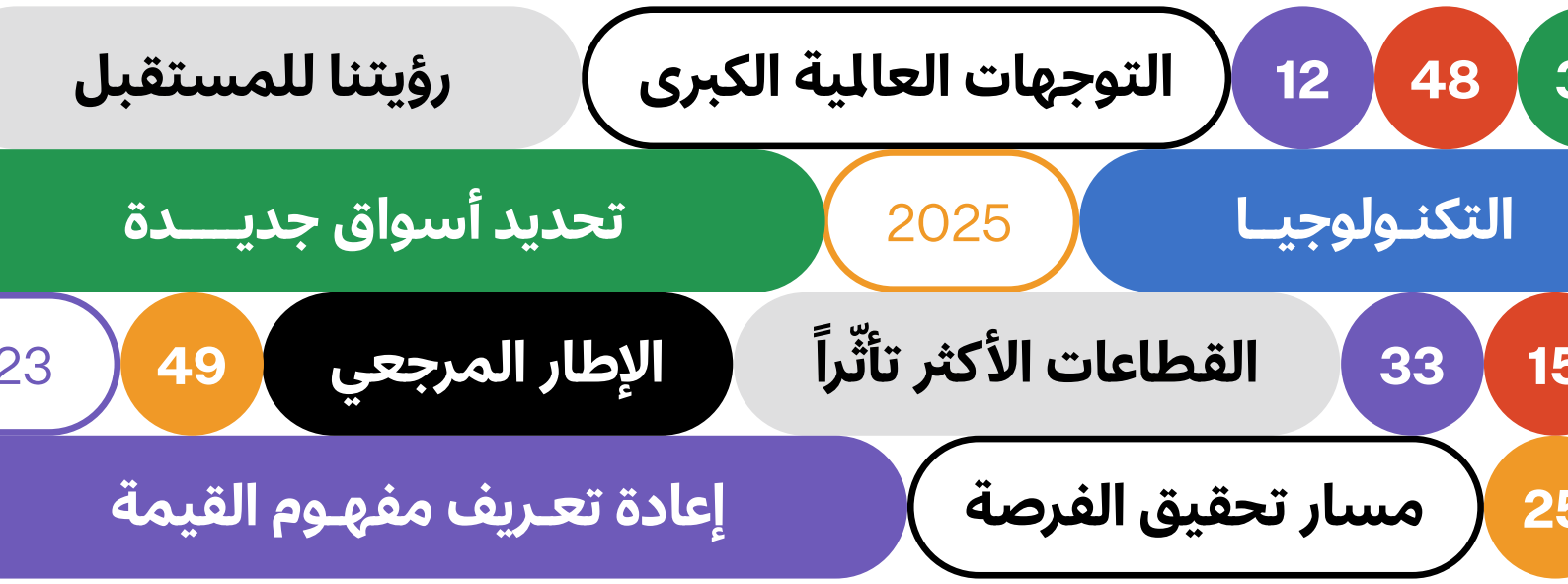
صناديق متخصّصة تستهدف الشركات التي تمتلك إمكانات للنمو والتوسّع. وتضخّ مبالغ تمويل كبيرة مقابل الحصول على حصص من الملكية تتراوح بين 15% و40%. وعادةً ما تتراوح قيمة الاستثمار بين مليون و50 مليون دولار، مع توقّعات بتحقيق عوائد مرتفعة تصل إلى عشرة أضعاف قيمة الاستثمار أو أكثر. وتشارك هذه الصناديق في توجيه الشركة وتحديد استراتيجياتها، من خلال تمثيل المستثمرين في مجلس الإدارة.

وتجدر الإشارة، من منظور استشراف المستقبل، إلى أن تمويل الابتكار لم يعد يتم ضمن بيئة مستقرة يمكن التنبؤ بها، بل في سياق عالمي يتّسم بدرجة عالية من الاضطراب، وتزايد المتغيرات الغامضة،[426] وتسارع التحولات الجيوسياسية والاقتصادية والتكنولوجية. ووفقاً لاستطلاع شركة ماكنزي للاستشارات، فإن نحو 60% من أكثر من ألف شركة حول العالم — عبر قطاعات ومناطق مختلفة — إما تحافظ على مستويات إنفاقها على الابتكار، أو تتجه نحو خفضها تدريجياً.[427] واستمر هذا التوجه خلال عام 2026، إذ زادت بأكثر من الضعف نسبة الشركات التي وصفت إنفاقها بالحذر مقارنةً بتلك التي ركزت على الإنفاق بهدف النمو.[428]

كما أشرنا سابقاً، يُعدّ مستقبل التمويل والأنظمة النقدية أحد أبرز التوجّهات العالمية الكبرى التي ترسم ملامح رؤيتنا لمستقبل العالم. ومن المتوقّع أن تشهد الأدوات المالية الحالية تحوّلات جوهرية، مع تصاعد دور المؤسسات غير المصرفية، وتنامي أشكال التمويل البديلة، وتسارع تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي في إحداث تغييرات جذرية في الأنظمة المالية التقليدية. ومن شأن هذه التحوّلات أن تُحدث تغييراً كبيراً في كيفية وصول منظومات الابتكار إلى مصادر التمويل ورأس المال.

نحو 60%

من أكثر من ألف شركة حول العالم — عبر قطاعات ومناطق مختلفة — **إما تحافظ على مستويات إنفاقها على الابتكار، أو تتجه نحو خفضها تدريجياً**



محتوى الفرص

في نسخة هذا العام من التقرير، لم تُعرض الفرص المستقبلية باعتبارها أفكاراً نظرية أو سيناريوهات مفتوحة، بل صُمّمت بطريقة منهجية تمكّن صنّاع القرار في مختلف القطاعات، وكذلك الأفراد، من فهم ملامح كل فرصة، واستيعاب سياقها، والتفاعل معها بوعي استراتيجي.

ولتحقيق ذلك، تم تنظيم الفرص ضمن إطار مرجعي متكامل، بحيث تتضمّن كل فرصة عرضاً موجزاً يركّز على جوهرها، إلى جانب ثلاث رؤى استشرافية واسعة النطاق تضعها ضمن سياق تحوّلات أعمق تمتد عبر قطاعات ومجالات متعددة.

وعند اختيار الخمسين فرصة مستقبلية في هذه النسخة، تم التركيز بشكل خاص على الفرص متوسّطة وبعيدة المدى، نظراً لارتباطها بتحوّلات اجتماعية وتكنولوجية كبرى، وما تتطلبه من تغييرات هيكلية أوسع مقارنةً بالفرص قصيرة المدى. ويعكس هذا الاختيار توجّهاً استراتيجياً نحو الفرص القادرة على إحداث أثر ممتد يتجاوز التحسينات التدريجية.

وانطلاقاً من توجه التقرير إلى جمهور عالمي، تم اختيار فرص تهم القرّاء من مختلف الدول والمناطق، وتتميّز بطابعها المنهجي العابر للقطاعات، بحيث يمتد تأثيرها إلى خمسة قطاعات مختلفة على الأقل. وقد استُثنيت من هذا المعيار فرصتان، وهما الفرصة رقم 20 من نسخة عام 2022 بعنوان: "مكتبة طبية لكوكب الأرض"، نظراً لطبيعتها الخاصة التي تبرّر إدراجها ضمن إطار الشراكات الفعالة والفرصة رقم 2 من نسخة عام 2025 بعنوان: " فيروسات آكلة للبكتيريا "، نظراً لطبيعتها الخاصة التي تبرّر إدراجها ضمن إطار الابتكارات التحوّلية وتوظيف التقنيات المتقدّمة.

وتحافظ كل فرصة على الإطار المعتمد في الإصدارات السابقة، بما يشمل السؤال المحوري الذي تنطلق منه، والنبذة التعريفية التي توضح خلفيتها وسياقها. وفي المقابل، أُضيفت عناصر جديدة في هذه النسخة لتعزيز البعد العملي، وتقديم إرشاد واضح يمكّن الأفراد وصنّاع القرار من تحديد المسارات والخطوات التالية الممكنة للتعامل مع كل فرصة.

وقد صُمّمت كل فرصة مستقبلية **للإجابة عن ستة أسئلة رئيسية** تشكّل معاً خارطة طريق عملية

ما هو المستقبل الذي نطمح إليه؟ ولماذا يستحق السعي نحوه؟

يحدّد هذا السؤال الصورة المستقبلية المنشودة، ويُبرز مبرّرات أهميتها في سياقنا الراهن.

ما هو الواقع الحالي المرتبط بهذه الفرصة؟

يمثّل هذا السؤال نقطة الانطلاق لتطبيق منهج التنبؤ العكسي، من خلال فهم موقعنا الحالي بدقة.

ما هي المسارات المحتملة التي يمكن أن تقودنا نحو المستقبل الذي نطمح إليه؟

يستكشف هذا السؤال البدائل المكنة، ويؤكد أن المستقبل لا يتحقق عبر مسار واحد.

ما هي الفوائد الملموسة التي يمكن تحقيقها من هذه الفرصة؟

يشمل ذلك الفوائد الاجتماعية، والتكنولوجية، والاقتصادية، والقانونية، والبيئية، ويوضح ملامح التقدّم المتوقع عند تحقق الفرصة.

ما هي عوامل تمكين هذه الفرصة؟

يركّز هذا السؤال على الشروط الأساسية التي لا يمكن الانتقال بين المراحل من دونها، والتي يُعدّ غيابها عائقاً أمام تحقيق الأثر.

ما هي التحديات المحتملة أثناء التنفيذ؟

يتناول هذا السؤال التحديات الاجتماعية، والتكنولوجية، والاقتصادية، والقانونية، والبيئية، مع الإشارة إلى أن بعضها قد يتحوّل بدوره إلى فرص جديدة.

وعند عرض الخطوات التالية لكل فرصة، يقدّم التقرير إرشادات عامة عالية المستوى (انظر الشكل 9) تمكّن القرّاء من تقييم موقعهم ضمن المنظومة، وتحديد الدور الذي يمكنهم تأديته. وبغض النظر عن مستوى المشاركة، يوصي التقرير بالحفاظ على دور "الشخصية المراقبة الاستراتيجية"؛ أي متابعة تطوّر الفرص بصورة منهجية، استعداداً للتحرّك السريع إذا ما أصبحت ذات صلة مباشرة بمجال عمل الجهة أو الفرد.

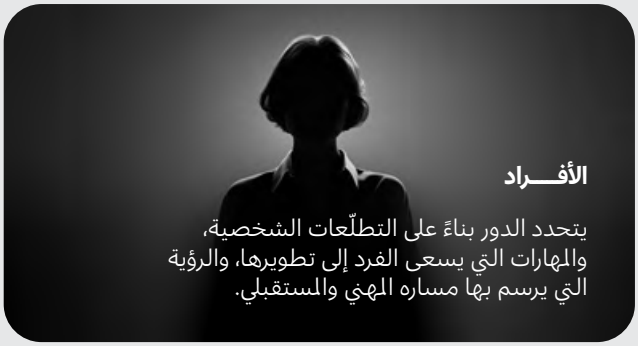
الشكل 9

كيف تحدّد دورك

صُمّمت هذه الإرشادات لمساعدة القارئ على تحديد الدور الذي يمكن أن يؤدّيه في التعامل مع كل فرصة مستقبلية. ولا يشترط أن تكون الإجابة قطعية أو أحادية؛ ففي حال التردّد بين أكثر من خيار، يُنصح باختيار الدور الذي تتوافق خطواته الأولى مع الأولويات الاستراتيجية والقدرات المتاحة حالياً — من حيث الوقت، والمهارات، والصلاحيات، والميزانية، وشبكات الشراكات.

صـنّاع القـرار في المؤسسـات

ينبغي أن ينطلق تحديد الدور من تقييم واقعي لقدرات المؤسسة الحالية، وما تضعه ضمن أولوياتها الاستراتيجية.



الأفـــراد

يتحدد الدور بناءً على التطلّعات الشخصية، والمهارات التي يسعى الفرد إلى تطويرها، والرؤية التي يرسم بها مساره المهني والمستقبلي.

تتمثل نقطة الانطلاق في سؤال أساسي

المؤسسات: هل تتماشى هذه الفرصة مع رؤية مؤسستك وأهدافها الاستراتيجية؟
الأفراد: هل تتوافق هذه الفرصة مع طموحاتك وتوجّهاتك الشخصية؟

نعم

هل تمتلك القدرة على التأثير في هذه الفرصة خلال الاثني عشر شهراً القادمة، سواء على المستوى العالمي أو الإقليمي؟ [G]

نعم

أنت في **دور الشخصية القيادية؛** أي في موقع يمكّنك من الإسهام المباشر في رسم ملامح المستقبل الذي تسعى إليه الفرصة.

لا

أنت في **دور الشخصية المترقّبة؛** أي من يراقب الفرصة عن كثب ويستعدّ لاغتنامها في اللحظة المناسبة.

لا

هل يمكنك تحقيق فوائد ملموسة من خلال المشاركة في هذه الفرصة، سواء عبر تحقيق إيرادات، أو إحداث أثر مجتمعي، أو اكتساب خبرة، أو تطوير مهارات؟

نعم

أنت في **دور الشخصية الداعمة؛** أي من يسهم بفعالية في تمكين المستقبل الممكن عبر توفير موارد أو خبرات أو قدرات.

لا

أنت في **دور الشخصية المراقـبة،** أي أنك تتابع ملامح المستقبل المحتمل لضمان الاستعداد لما قد يطرأ عليه من تحوّلات.

G الفرصة المستقبلية العالية هي فرصة عالية لأنها إما تعالج فرصة أو تحدياً عالمياً، أو يمكن تكرارها عبر البلدان والمناطق.

أوجــه المستقبـل المحتمـــلة والخطـوات التاليـة

ينطلق التقرير من تصوّر المستقبل الذي نسعى إلى الوصول إليه، لكنه يؤكد أن التفاعل مع كل فرصة ليس موحداً. **فالموقع المؤسسي، والصلاحيات، والموارد، والطموحات الشخصية،** جميعها تحدّد زاوية النظر إلى الفرصة المستقبلية.

فالشخصية القيادية، أو من يمتلك طموحاً لتأدية دور قيادي، يتعامل مع الفرصة بوصفها مساحة للفعل والتأثير وصناعة التحوّل. والشخصية المترقّبة تتعامل معها بوصفها مساراً متوقّعاً تستعدّ له. والشخصية الداعمة تسهم في تمكينها عبر توفير الموارد أو البنية أو الشراكات، بينما تركز الشخصية المراقبة على الرصد والتحليل باعتبار ذلك جزءاً من الجاهزية الاستراتيجية.[429]

وبناء على الدور، من شخصية قيادية، أو مترقبة، أو داعمة أو مراقبة، يعرض كل من الشكل (10) والشكل (11) خطوات عامة مناسبة لكل دور يؤديه الأفراد وصنّاع القرار.

الشكل 10

الإجراءات الموصى بها لصنّاع القرار داخل المؤسسات

الشخصية القيادية

إجراء دراسات جدوى متكاملة، وبناء تحالفات استراتيجية قوية عبر تشكيل اتحاد أو هيئة استشارية عند الحاجة، مع تحفيز اتخاذ الإجراءات الفورية أو تولي قيادة الجهود الحالية.

الشخصية المُترقّبة

تقييم عوامل التمكين الأساسية ومراحل تنفيذ العمل، وتحديد فرص لإطلاق مشاريع تجريبية، والتواصل مع القادة لاستكشاف إمكانات القيادة المشتركة.

الشخصية الداعمة

تقييم قدرات المؤسسة والتحديات التي تواجهها، وتحديد مجالات المساهمة المناسبة، والتواصل مع القادة لإبداء الاستعداد للتعاون، واستكشاف فرص التمويل أو الاستثمار المتاحة.

الشخصية المُراقبة

إجراء مسح من خلال الاتجاهات السائدة والكلمات الرئيسية، ومتابعة التطوّرات عبر تقارير القطاعات وشبكات الخبراء والمؤتمرات المتخصصة، مع تحديد الإشارات المبكرة للتغيير؛ ويشمل هذا الدور أيضاً تقييم جاهزية المؤسسة ومدى توافقها مع هذه التحوّلات، إلى جانب مراجعة هذا الدور سنوياً أو عند حدوث متغيرات رئيسية.

الشكل 11

الخطوات التالية بالنسبة إلى الأفراد

الشخصية القيادية

المبادرة ببناء شبكات ومجتمعات مهنية أو الانضمام إليها، وقيادة الحوار حول المستقبل المنشود؛ مع البحث عن شركاء للتعاون، والمساهمة الفاعلة في إثراء البحوث، وصناعة المحتوى، وتعزيز القيادة الفكرية.

الشخصية المُترقّبة

تعزيز المعرفة وبناء القدرات من خلال التعلّم المستمر، والانخراط في المجتمعات المهنية المتخصصة، والعمل على تطوير المهارات والخبرات في المجالات الناشئة.

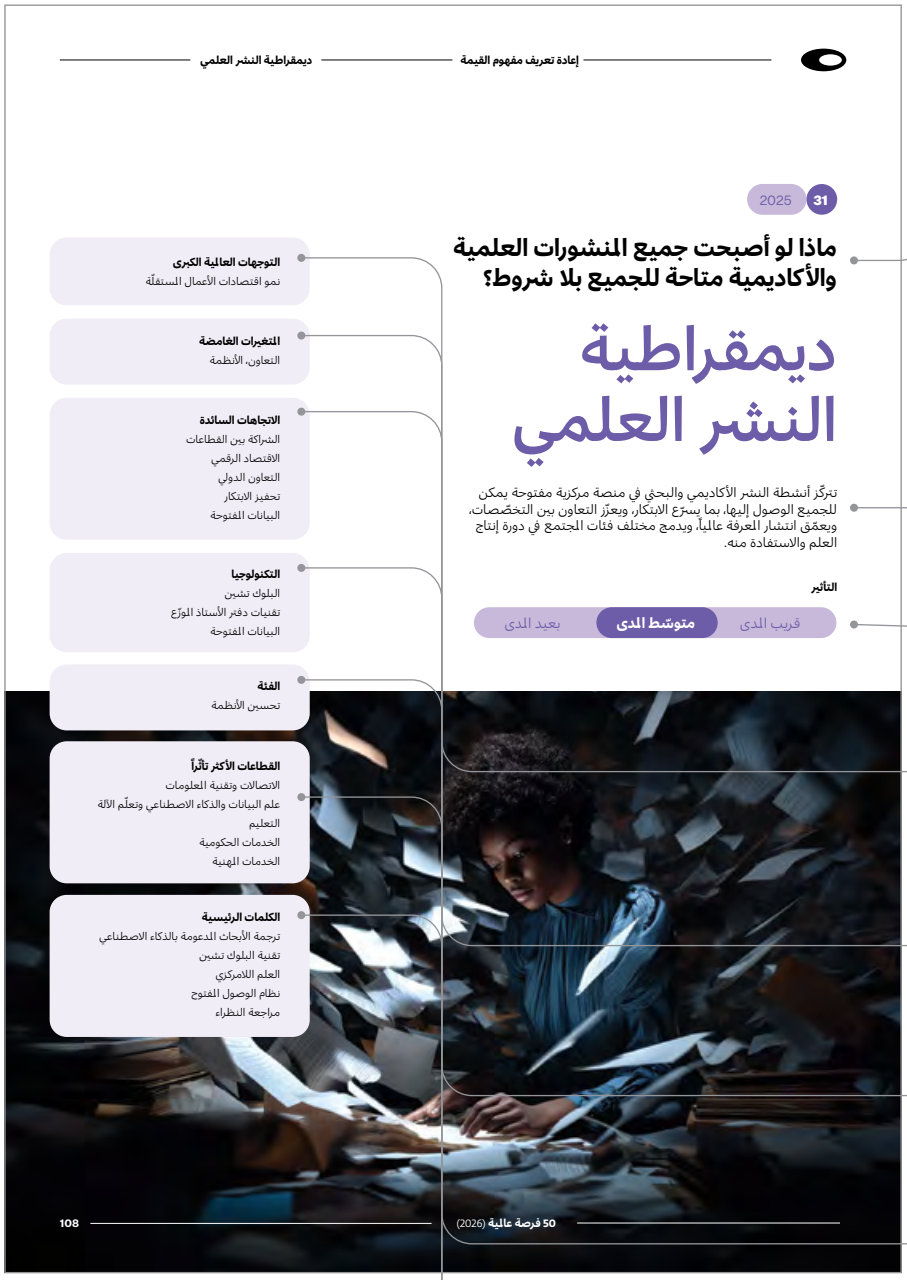
الشخصية الداعمة

المساهمة في المبادرات ذات الصلة من خلال العمل التطوعي والمشاركة المجتمعية، مع الحرص على اكتساب الخبرات عبر التدريب العملي.

الشخصية المُراقبة

متابعة منشورات وآراء قادة الفكر في المجتمعات المتخصصة، ورصد المستجدات من خلال تقارير القطاعات، والأبحاث العلمية، وملخصات السياسات وغيرها من الدراسات، مع مراجعة هذا الدور سنوياً أو عند حدوث متغيرات رئيسية.

المخطط التوضيحي



السؤال المستقبلي
السؤال المحوري الذي يحدّد ملامح المستقبل الذي نطمح إلى الوصول إليه من خلال هذه الفرصة المستقبلية، ويشكّل نقطة الانطلاق للتفكير الاستشرافي

نبذة عن الفرصة
عرض موجز يسلّط الضوء على الفكرة الأساسية للفرصة، والعناصر التي تقوم عليها، وأهميتها في السياق الحالي.

الإطار الزمني المتوقّع
وصف تقديري للإطار الزمني المتوقّع لظهور الفرصة وتحقّقها، بناءً على العوامل الأساسية التي تسهم في تمكينها والتطوّرات الاجتماعية والتكنولوجية المرتبطة بها، حيث يتطور النطاق نتيجة تحولات تكنولوجية أو اجتماعية اقتصادية.

التوجهات العالمية الكبرى ذات الصلة
تحديد التوجّه أو التوجّهات العالمية الكبرى التي تندرج ضمنها الفرصة المستقبلية، مع الإشارة إلى طبيعتها الحيوية وإمكانية تداخلها مع توجهات أخرى بمرور الوقت.

المتغيرات الغامضة
استعراض أبرز المتغيرات الغامضة التي قد تؤثّر في مسار الفرصة المستقبلية، سواء بتسريعها أو إعادة تشكيلها.

الاتجاهات السائدة
ما يصل إلى خمسة اتجاهات حالية (غير حصرية) يمكن للقارئ متابعتها لفهم تطوّر المؤشرات المرتبطة بالفرصة.

التكنولوجيا
ما قد يصل إلى ثلاث تقنيات محورية (غير حصرية) يُنصح برصدها، نظراً لارتباطها المباشر بتطوّر الفرصة.

الفئة
تحديد النتيجة أو المخرج الأساسي الذي تندرج تحته الفرصة ضمن الإطار العام للتقرير.

القطاعات المتأثّرة
القطاعات (غير الحصرية) التي قد تتأثّر بهذه الفرصة أو تسهم في تفعيلها في المستقبل.

الكلمات الرئيسية
ما يصل إلى خمس كلمات مفتاحية تُستخدم كنقاط انطلاق للبحث واستكشاف معلومات إضافية حول الفرصة.

أهمية الفرصة

شهد النشر العلمي تحوّلاً ملحوظاً خلال العقدين الماضيين، إذ ارتفعت نسبة المقالات المتاحة بنظام الوصول المفتوح من 23% عام 2003 إلى نحو 51% في عام 2022.[557] ومع ذلك، لا تزال قرابة 45% من المنشورات العالمية[558] محصورة بنظام الوصول المغلق،[559] مع تفاوت واضح بين الدول والمناطق في إمكانية الوصول إليها. فبينما تنشر دول كبرى، مثل الصين والهند والولايات المتحدة، معظم أبحاثها ضمن أنظمة مغلقة، تبلغ نسبة الوصول المفتوح في الدول منخفضة الدخل نحو 62%، رغم أن مساهمتها لا تتجاوز 1% من إجمالي المقالات المفتوحة عالمياً.[560]

في المقابل، تتزايد اشتراطات الجهات المانحة لاعتماد الوصول المفتوح كشرط للتمويل. وتُعد مبادرة "بلان إس" التي أطلقتها "كوالیشين إس" بدعم من المفوضية الأوروبية والمجلس الأوروبي للبحوث نموذجاً بارزاً، إذ تُلزم بالنشر الفوري المفتوح للأبحاث الممولة من المال العام.[561] كما دخلت سياسة مماثلة حيّز التنفيذ في الولايات المتحدة نهاية عام 2025.[562] [1] ورغم وضوح السياسات في عدد من الدول المتقدّمة، لا تزال دول عديدة، خاصة في أفريقيا وأمريكا اللاتينية، تفتقر إلى أطر وطنية موحّدة أو تطبيق فعلي لهذا التوجّه.[563]

الإيجابيات

إتاحة المعرفة على نطاق واسع، وتسريع وتيرة التقدّم البحثي، وتعزيز التعاون الدولي، ودعم الشفافية، وتحسين جودة الأبحاث، وضمان انتشارها بلغات متعدّدة بما يوسع قاعدة المستفيدين.

المخاطر

مقاومة ثقافية للتغيير، ومخاوف من تراجع الجودة إذا لم تُعزَّز معايير التقييم والحوكمة بآليات واضحة وقابلة للتنفيذ.

1 في وقت النشر، لم يكن من الواضح ما إذا كان هذا النهج لا يزال قائماً أو ما إذا كان سيتم تطبيقه بشكل فعلي.

أهمية الفرصة

يسلّط الضوء على بعض المحركات التي تجعل هذه الفرصة المهمة اليوم.

الإيجابيات

لمحة سريعة عن المكاسب المباشرة المحتملة عند الاستثمار في هذه الفرصة، سواء على المستوى الاقتصادي أو الاجتماعي أو التقني.

المخاطر

عرض مختصر لأبرز التحديات الأولية التي قد تعيق التنفيذ أو تؤخّر تحقيق النتائج.

الوضع الحالي
قراءة تحليلية للوضع الراهن، توضح لماذا تبرز هذه الفرصة المستقبلية الآن، وما هي المؤشرات التي تدعم ظهورها.

الوضع الحالي

يواجه قطاع النشر العلمي تحديات هيكلية واضحة، إذ تهيمن دور نشر تقليدية مثل Elsevier وSpringer وWiley وSAGE وTaylor & Francis على نحو نصف الإنتاج البحثي العالمي، مع هوامش ربح تتجاوز 30%.[564] وغالباً ما تؤدي الحوافز المرتبطة بزيادة عدد المقالات إلى تغليب الكَمّ على الجودة.[565] كما تتسم أنظمة النشر بطول فترات الانتظار، وتفاوت معايير التقييم، ومحدودية التنوع في لجان التحكيم.[566]

ورغم أن الوصول المفتوح أُنشئ لإزالة الحواجز أمام القرّاء، فقد أعاد بدون قصد بعض تحديات نظام النشر التقليدي.[567] فرسوم نشر المقالات تتراوح بين 1,500 و2,500 دولار،[568] وقد تصل إلى 12,690 دولاراً في مجلة "Nature".[569] ونتيجة لذلك، ظهر شكل جديد من عدم المساواة يحدّ من فرص الباحثين في بداية مسيرتهم أو المنتمين إلى مؤسسات ودول منخفضة التمويل.[570]

ظهرت في المقابل نماذج بديلة، مثل نموذج النشر أولاً ثم المراجعة الشفافة [571] الذي اقترحه ستيرن وأوشيا عام 2019.[572] غير أنه لا يخلو من التحديات، فمراجعة النظراء - رغم أهميتها النقدية - لا تكفي وحدها لضمان جودة البحث، كما أن دور هيئة المراجعة في اتخاذ قرار القبول النهائي لا يزال عنصراً أساسياً لضبط جودة المنشورات.[573]

كما ظهرت منصات لامركزية تعتمد على تقنية البلوك تشين لتعزيز الشفافية وتتبع المساهمات العلمية.[574] ويتجاوز مفهوم العلم اللامركزي مرحلة النشر، إذ يهدف إلى إعادة تشكيل المنظومة البحثية بالكامل عبر أدوات مثل المنظمات اللامركزية المستقلّة والمعرّفات الرقمية اللامركزية، بما يعزّز التعاون والتنسيق بين الباحثين على نطاق أوسع.[575] وفي فبراير 2026، تم الإعلان عن منصة OpenSci في "القمة العالمية للعلماء" في دبي، والتي توظّف الذكاء الاصطناعي والبلوك تشين لتتبّع الإسهامات وتوزيع المكافآت عبر رموز علمية.[576]

ومع أن هذه النماذج الجديدة ستعيد توزيع الأدوار داخل منظومة النشر العلمي، فإنها لا تزال تواجه تحديات على مستوى التمويل وإتاحة الأبحاث للجميع، رغم أهمية النشر في دعم الابتكار والتعلّم وخدمة المجتمع.[577] ومع دخول الذكاء الاصطناعي كعامل مؤثر في هذا القطاع،[578] تزداد أهمية حماية حقوق الملكية الفكرية وضمان الالتزام بالمعايير العلمية.[579] لذا، طوّرت دار النشر المفتوحة Frontiers نموذجاً مدعوماً بالذكاء الاصطناعي يُعرف باسم AIRA، يجري أكثر من 40 فحصاً لنزاهة المقالات كل دقيقتين، مع إبقاء القرار النهائي بيد المحكّم البشري لضمان التوازن وتقليل تحيّز الخوارزميات.[580]

تهيمن **دور النشر التقليدية على أكثر من**
%30
من هوامش الربح

تتراوح رسوم نشر المقالات
بين 1,500 و2,500 دولار
وقد تصل إلى 12,690 دولاراً في مجلة Nature

يجري نموذج **AIRA** أكثر من **40** فحصاً لنزاهة المقالات كل دقيقتين

مسار تحقيق الفرصة

أحد المسارات المكنة للانتقال من الواقع الحالي إلى المستقبل المنشود، وفق منهج التنبؤ العكسي، مع مراعاة اختلاف سرعة التقدّم بحسب التمويل، والقيادة، وعوامل التمكين، والظروف الخارجية.

الأدوات المالية

مجموعة من الأدوات التمويلية الملائمة لمراحل الابتكار المختلفة، بما يتيح بناء محفظة تمويلية متوازنة تدعم تحصيل القيمة.

ملامح تطور الفرصة

أبرز التحوّلات الإيجابية المتوقعة عند تحقق الفرصة، سواء كانت آثاراً مباشرة (من الدرجة الأولى) أو غير مباشرة (من الدرجة الثانية).

عوامل تمكين الفرصة

العناصر الأساسية التي لا يمكن تحقيق نتائج ملموسة من دون توفّرها.

التحديات

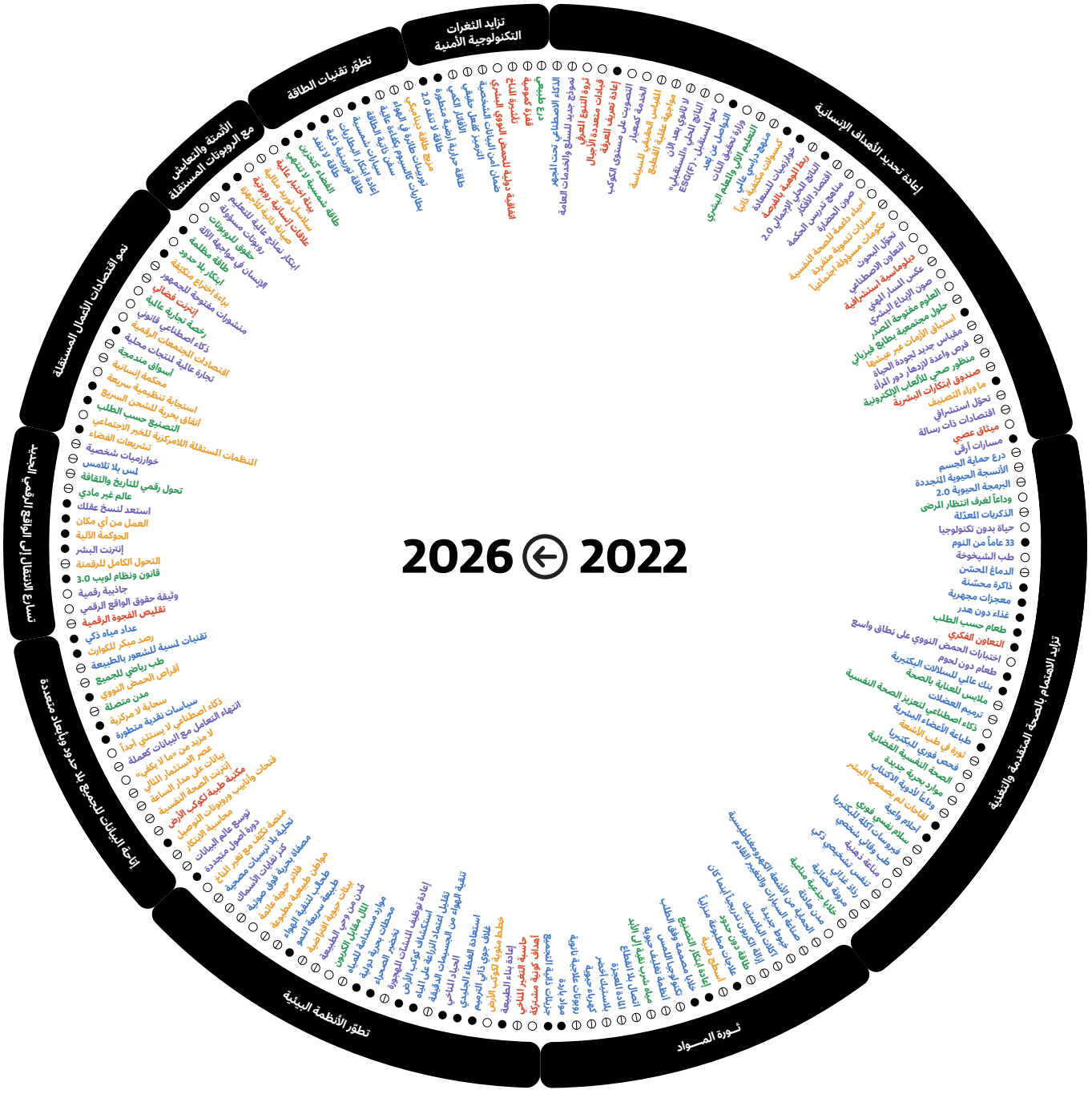
التحديات التي ينبغي التعامل معها والتي قد تفتح بدورها فرصاً جديدة للجهات الفاعلة، حتى إن لم تكن حاسمة لمسار التقدّم.

إن الفرص المستقبلية الواردة في هذا التقرير ليست نهائية، بل تُطرح كمسارات محتملة يمكن أن تسهم في تحقيق النمو والازدهار وتحسين جودة الحياة. وتظلّ قابلية هذه الفرص للتطبيق مرهونة بالسياق. فقد تتوافر في بعض البيئات عوامل تمكين تدفع بها إلى التحقّق السريع، بينما قد تفتقر بيئات أخرى إلى المقوّمات اللازمة للاستفادة منها في المدى القريب. وفي المقابل، فإن المخاطر والتحديات المرتبطة بهذه الفرص لا تبقى محصورة في الجهات أو الدول التي تبادر إلى استثمارها، إذ غالباً ما تتجاوز الحدود الجغرافية والقطاعية، وقد تنتشر آثارها بوتيرة أسرع من انتشار منافعها.

وعلى الرغم من أن هذه النسخة تستعرض خمسين فرصة واعدة، لا يتمثّل الهدف من عرضها في حصر الإمكانات أو توجيه المسارات وفق قالب تقليدي ثابت، بل ينطلق من هدفين أساسيين: الأوّل هو توفير إطار عملي يمكّن صنّاع القرار في المؤسسات، وكذلك الأفراد، من استشراف **الفرص المستقبلية** وفهم مساراتها المحتملة من منظور تطبيقي. أمّا الهدف الثاني، فهو تمكين القارئ من تقييم مدى ملاءمة كل فرصة ضمن سياقه الخاص، واستكشاف إمكانية تكييفها بما يتناسب مع احتياجاته وأولوياته.

من هذا المنطلق، وبخلاف الإصدارات السابقة التي ركّزت بدرجة أكبر على اختيار الفرص بحسب فئاتها وأهميتها النسبية، يوصي تقرير هذا العام باستكشاف جميع الأطر المرجعية الخمسة، والنظر في الدور الذي يمكن أن تؤدّيه كل فرصة من خلال هذه المسارات المختلفة. فقد تكتشف، وأنت تعيد النظر في فرصة تبدو بعيدة عن نطاق اهتمامك المباشر، رابطاً غير متوقّع أو إمكانية جديدة لم تكن ظاهرة من قبل — فقط لأنك اخترت أن تنظر إليها من زاوية مختلفة.

الفرص المستقبلية



الإطار المرجعي
- إعادة تعريف مفهوم القيمة
- تحديد أسواق جديـــدة
- تبنّي الابتكارات التحوّلية وتوظيف التقنيات المتقدّمة
- بناء شـراكات فعّـالـة
- تعزيز المـرونة المؤسســية

التأثيـــر
- قريب المدى
- متوسّط المدى
- بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى

يُعدّ تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" تقريراً ذا طابع عالمي يرتكز على الابتكار بوصفه محرّكاً للتحوّل. وبحكم هذا الطابع، قد تكون بعض الجوانب الواردة فيه أكثر ارتباطاً بسياقات معيّنة، أو أكثر قابلية للتحقّق في أطر زمنية مختلفة.

كما أن الاتجاهات السائدة، والمؤشرات، والإيجابيات، والمخاطر، والبيانات المدرجة ضمن كل فرصة لا تُقدَّم بوصفها قائمة شاملة، **بل طُرحت على سبيل المثال لا الحصر،** استناداً إلى المعلومات المتاحة في وقت إعداد التقرير ونشره. قد لا يعكس الوضع الحالي لكل فرصة بعض التطورات التي لم يُعلن عنها بعد أو التي يجري العمل عليها بالفعل.

وتهدف نسخة عام 2026 إلى توفير إرشادات عامة تساعد القارئ على استشراف المستقبل وفهم المسارات المحتملة للتعامل مع الفرص المستقبلية. غير أن مسؤولية تحويل هذه الإرشادات إلى قرارات تنفيذية تبقى على عاتق صنّاع القرار في المؤسسات، حيث يفترض إجراء تحليلات أكثر عمقاً وملاءمةً للسياق قبل اعتماد أي توجه أو إطلاق أي مبادرة عملية.

رغم استخدام منهجية الاستشراف العكسي لتطوير المسارات الواردة في هذا التقرير، فقد قُدّمت هنا بصورة مبسطة لتكون أكثر وضوحاً وسهولةً في الفهم.

الإطار المرجعي 1

إعادة تعريف مفهوم القيمة

يركّز هذا الإطار على الفرص المستقبلية التي تتيح تحصيل قيمة حقيقية من خلال إعادة النظر في مفهوم النجاح، بما يتجاوز الجوانب الاقتصادية والمؤشرات التقليدية.

أبرز الرؤى[H] المتعلقة بالفرص ضمن هذا الإطار

1

دور الإنسان في عصر الأتمتة والروبوتات
على الرغم من التسارع غير المسبوق في التطوّر التكنولوجي، تتمحور ما بين ثلث ونصف الفرص الواردة ضمن هذا الإطار حول إعادة تعريف الأهداف الإنسانية، بوصفها أحد أبرز التوجّهات العالمية الكبرى في المرحلة المقبلة. ويبرز التفاعل بين الإنسان والآلة، إلى جانب الأتمتة، كاتجاه سائد سيعيد تشكيل طبيعة العمل وصنع القرار وجودة الحياة.ومع اتساع نطاق انتشار التقنيات المتقدمة عبر مختلف القطاعات، يطرح التقرير سؤالاً جوهرياً: كيف نضمن بقاء الإنسان في موقع الفاعل لا المتلقّي، خصوصاً في المجالات التي تزداد فيها الحاجة إلى حكمه الأخلاقي، وحدسه، ومسؤوليته الاجتماعية؟

2

صناعة القيمة داخل منظومات مترابطة، لا في قطاعات معزولة
تشير نحو 25% من الفرص إلى ضرورة تبنّي منظور عابر للقطاعات، يتجاوز التعامل مع كل مجال بمعزل عن الآخر. فالتحوّلات الكبرى لم تعد تُصنع داخل حدود قطاع واحد، بل تنشأ في نقاط التقاطع بين سلاسل القيمة، والمنظومات، والنماذج الاقتصادية المتداخلة. ويعكس هذا التوجّه تحوّلاً جوهرياً في فهمنا لمفهوم القيمة وصناعتها وتوزيعها.

3

التعاون بوصفه عامل تمكين أساسي
تُظهر الفرص أن التعاون لم يعد خياراً داعماً، بل شرطاً تمكينياً في أكثر من 80% منها. فنجاح هذه الفرص يرتبط بقدرة الجهات الفاعلة على بناء شراكات عابرة للقطاعات والحدود، ضمن أطر حوكمة واضحة وقابلة للتكيّف. وفي هذا السياق، تصبح إدارة التقنيات – أخلاقياً وتنظيمياً ومؤسسياً – عاملاً حاسماً في صياغة مفهوم جديد للنجاح في المستقبل.

H تعتمد هذه الرؤى على تحليل 200 فرصة تم عرضها في الإصدارات السابقة من تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالية"، وتهدف إلى تقديم معلومات وإرشادات عامة، دون أن تكون شاملة لكل الاحتمالات. وبحكم طبيعتها، قد تنطبق هذه الرؤى على بعض السياقات، لكنها قد لا تكون مناسبة لجميعها.

التوجهات العالمية الكبرى | التغيرات الغامضة | الاتجاهات السائدة | التكنولوجيا

49 2022 متوسط المدى

اقتصاد الأفكار

ماذا لو استطعنا تجزئة وتقسيم حقوق الملكية الفكرية وإعادة تشكيلها كأصول قابلة للتداول؟

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
التعاون | القيم المجتمعية
الشراكة بين القطاعات | الترميز
مستقبل الأهداف والعمل | الاقتصاد الرقمي
توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
الترميز | تقنيات دفتر الأستاذ الموزع
الذكاء الاصطناعي

13 2023 متوسط المدى

نموذج جديد للسلع والخدمات العامة

ماذا لو تبنّينا نموذجاً جديداً للسلع العامة يقوم على تعاون المجتمع والقطاعين الحكومي والخاص؟

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
التعاون | الأنظمة | الشراكة بين القطاعات
الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
الحلول المجتمعية | تحفيز الابتكار
التعاون الدولي | تقنيات دفتر الأستاذ الموزع
التكنولوجيا التعليمية
تكنولوجيا الرعاية الصحية

17 2023 متوسط المدى

توسع عالم البيانات

ماذا لو أصبحت البيانات المفتوحة متاحة للاستخدام عبر آليات واضحة وآمنة؟

إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة
القيم المجتمعية | التكنولوجيا
توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
التعاون الدولي
الشراكة بين القطاعات | البيانات المفتوحة
الاقتصاد الرقمي | الذكاء الاصطناعي
حماية البيانات والخصوصية
تقنيات دفتر الأستاذ الموزع

18 2024 متوسط المدى

مناهج تدريس الحكمة

كيف ستكون أجيال المستقبل إذا أدخلنا مادة الحكمة ضمن المناهج التعليمية؟

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
القيم المجتمعية | الأنظمة
مستقبل الأهداف والعمل | الصحة النفسية
التنوّع المعرفي بين الأجيال | تحوّل التعليم
الإنسان في مواجهة الإنسان
الحوسبة المتقدمة | الاتصال المتقدم
الذكاء الاصطناعي

25 2024 متوسط المدى

روبوتات مسؤولة

هل سيتمكّن الجيل القادم من الروبوتات من إنجاز مهام ذات تأثير حقيقي في التنمية؟

التعايش مع الروبوتات المستقلّة والأتمتة
التكنولوجيا | الأنظمة
الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
الشراكة بين القطاعات
الإنسان في مواجهة الآلة
تحفيز الابتكار | التعاون الدولي | الروبوتات
الذكاء الاصطناعي | تقنيات البطاريات

38 2024 متوسط المدى

عكس المسار المهني

ماذا لو حصل الشباب على معاشات تقاعدية ولم يضطر كبار السن إلى التوقّف عن العمل؟

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
القيم المجتمعية | الأنظمة
مستقبل الأهداف والعمل | مستقبل التعليم
الصحة النفسية | العمر المديد والحيوية
التنوّع المعرفي بين الأجيال | الذكاء الاصطناعي
التكنولوجيا المالية | التحليلات الفورية

39 2024 بعيد المدى

ابتكار نماذج عالية للتعليم

ماذا لو امتدّ النظام التعليمي ليشمل مختلف مراحل الحياة؟

الأتمتة والتعايش مع الروبوتات المستقلّة
القيم المجتمعية | الأنظمة | تحوّل التعليم
الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
التعاون الدولي
مستقبل الأهداف والعمل | البيانات المفتوحة
الذكاء الاصطناعي | التحليلات الفورية
حماية البيانات والخصوصية

25 2025 متوسط المدى

فرص واعدة لازدهار دور المرأة

هل تعلم أن سد الفجوة بين الجنسين قد يضيف 12 تريليون دولار إلى الاقتصاد العالمي هذا العام؟

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
القيم المجتمعية | التعاون | التعاون الدولي
الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
مستقبل التعليم | تحفيز الابتكار
مستقبل الأهداف والعمل
الذكاء الاصطناعي | البيانات المفتوحة
التحليلات الفورية

31 2025 متوسط المدى

ديمقراطية النشر العلمي

ماذا لو أصبحت جميع المنشورات العلمية والأكاديمية متاحة للجميع بلا شروط؟

نمو اقتصادات الأعمال المستقلّة
التعاون | الأنظمة
الشراكة بين القطاعات | تحفيز الابتكار
التعاون الدولي | الاقتصاد الرقمي
البيانات المفتوحة
تقنية البلوك تشين | البيانات المفتوحة
تقنيات دفتر الأستاذ الموزع

50 2025 متوسط المدى

مدارس بلا سنوات محدّدة

ماذا لو أصبحت الكفاءات المكتسبة هي مقياس النجاح في التعليم وليس عدد سنواته؟

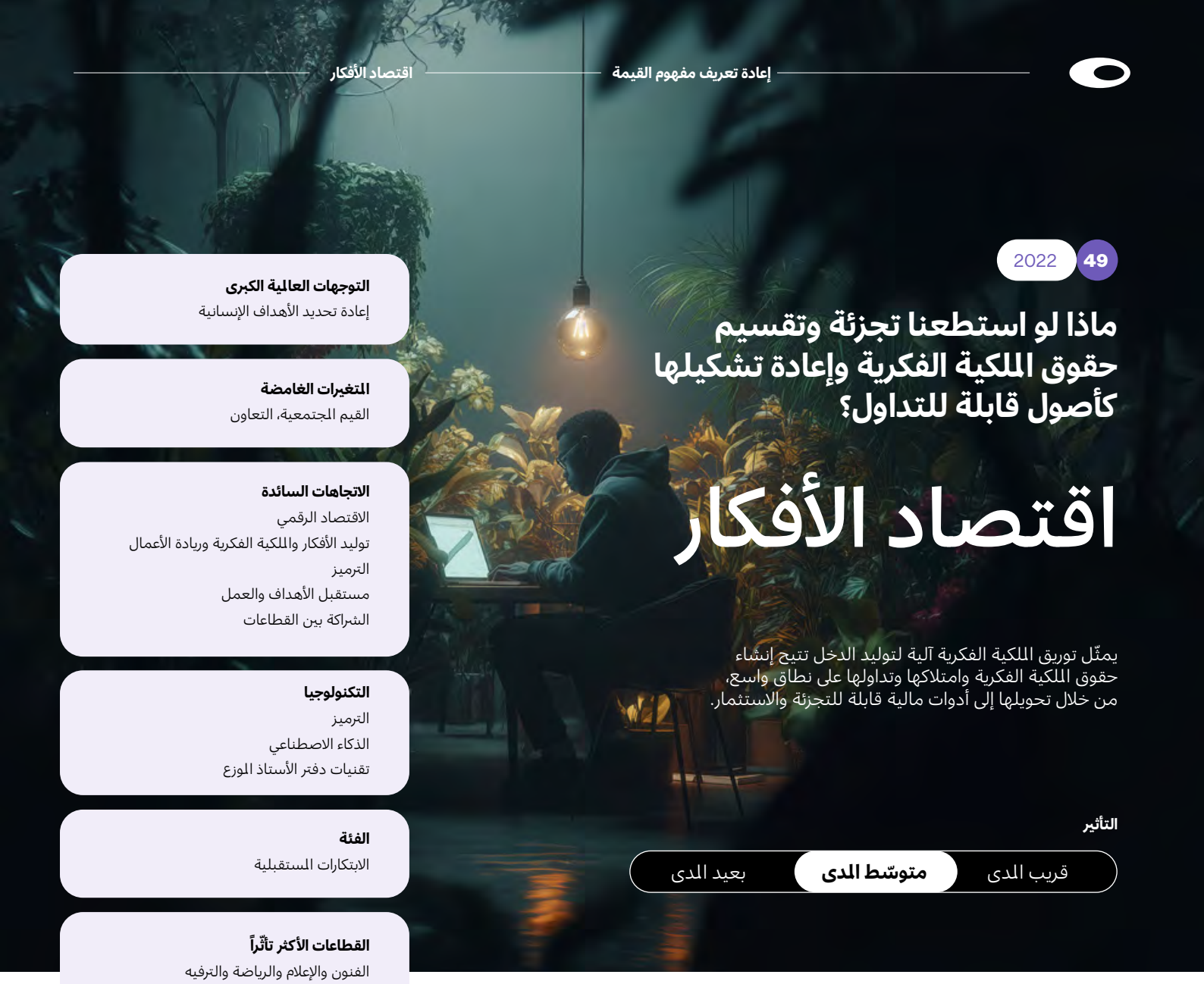
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
القيم المجتمعية | التعاون
التنوّع المعرفي بين الأجيال | تحفيز الابتكار
تحوّل التعليم | الاقتصاد الرقمي
مستقبل الأهداف والعمل | الذكاء الاصطناعي
المجتمعات الرقمية | تقنية البلوك تشين

NEW 2026 متوسط المدى

القدرة الإدراكية الوطنية: مؤشر وطني للقدرة على الابتكار والتطوّر

ماذا لو كانت القدرة الجماعية على التفكير والابتكار والتعاون هي أغلى الموارد التي تمتلكها الدول؟

إعادة تحديد الأهداف الانسانية
التكنولوجيا | الأنظمة | الحلول المجتمعية
الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
البيانات المفتوحة | الشراكة بين القطاعات
مستقبل الأهداف والعمل | الذكاء الاصطناعي
الاتصال المتقدّم | إنترنت الأشياء



49 2022

ماذا لو استطعنا تجزئة وتقسيم حقوق الملكية الفكرية وإعادة تشكيلها كأصول قابلة للتداول؟

اقتصاد الأفكار

يمثّل توريق الملكية الفكرية آلية لتوليد الدخل تتيح إنشاء حقوق الملكية الفكرية وامتلاكها وتداولها على نطاق واسع، من خلال تحويلها إلى أدوات مالية قابلة للتجزئة والاستثمار.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة
القيم المجتمعية، التعاون

الاتجاهات السائدة
الاقتصاد الرقمي
توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
الترميز
مستقبل الأهداف والعمل
الشراكة بين القطاعات

التكنولوجيا
الترميز
الذكاء الاصطناعي
تقنيات دفتر الأستاذ الموزع

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
الفنون والإعلام والرياضة والترفيه
المواد المتقدّمة والتقنية الحيوية
الصناعة والتصنيع
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الصحة والرعاية الصحية

الكلمات الرئيسية
الأصول الرقمية
سندات الملكية الفكرية
رموز الملكية الفكرية غير القابلة للاستبدال (IP-NFTs)
التوريق
العقود الذكية

أهمية الفرصة

لا تزال البطالة من أبرز التحديات العالمية، رغم تراجع معدلاتها لأدنى مستوى منذ عام 1991،[430] لتسجل 4.9%.[431] في المقابل، ارتفعت بطالة الشباب بشكل طفيف لتبلغ 12.4% في عام 2025، مقارنةً بـنحو 12.3% في عام 2024.[432] ولا تكمن المشكلة الأساسية في عدد الوظائف بقدر ما تتعلّق بجودتها، في ظل التباطؤ الذي تشهده الاقتصادات للانتقال إلى قطاعات ذات قيمة مضافة مرتفعة بسبب ركود الأجور، واتساع نطاق العمل غير الرسمي، وغياب معايير العمل اللائق في العديد من البيئات المهنية،[433] وتسارع الأتمتة والذكاء الاصطناعي بما يشكل تهديداً للوظائف التقليدية،[434] في وقت لا يزال الوصول إلى التمويل يشكّل عائقاً أمام نمو ريادة الأعمال رغم توسّعها.[435]

الإيجابيات

تمكين الأفراد من تحقيق دخل مستدام من أفكارهم، مع مرونة في توزيع فترات العمل والراحة، بما يتيح وقتاً للتعليم، والرعاية، والمساهمة المجتمعية.

المخاطر

احتمال رفض بعض الاقتصادات الكبرى الاعتراف بهذه الصيغة الدولية أو المشاركة فيها، إضافة إلى مخاطر الاستخدام الاحتيالي أو الإجرامي للتوريق - وهو تحويل الابتكار إلى أصل مالي قابل للتداول، أو الاستحواذ غير المشروع على الابتكار وتوظيفه بطرق غير قانونية.

الوضع الحالي

يقوم توريق الملكية الفكرية على تحويل براءات الاختراع والعلامات التجارية وحقوق النشر إلى أدوات مالية عبر شركات ذات أغراض خاصة.[436] وقد برز هذا المفهوم في عام 1997 عندما أصدر الفنان ديفيد بوي أوراقاً مالية بقيمة 55 مليون دولار لمدة 10 سنوات وبفائدة 7.9%، مدعومة بحقوق 25 ألبوماً من أعماله المسجّلة قبل عام 1990.[437] ومع انتشار القرصنة الموسيقية مطلع الألفية، تراجعت الإيرادات وضعف أداء السندات، ما أدى إلى خفض تصنيفها الائتماني.[438]

لاحقاً، ظهر الترميز بوصفه امتداداً أكثر كفاءة للتوريق التقليدي، إذ يُحوّل حقوق الملكية الفكرية إلى رموز رقمية.[439] ويتميّز هذا النهج بفتح سوق الملكية الفكرية أمام الأفراد والشركات، متجاوزاً القيود التي ارتبطت بالتوريق بصيغته التقليدية، عبر إتاحة الملكية الجزئية، وتقليل دور الوسطاء، وتسريع المعاملات عبر الأتمتة ومنصات البلوك تشين والملكية الجزئية.[440]

كما ظهرت أدوات ناشئة كسندات الملكية الفكرية والتزامات الدين المدعومة بها، حيث تُستخدم براءات الاختراع والعلامات التجارية وحقوق النشر وحتى الأصول الرقمية كضمانات لإصدار أدوات دين قائمة على تعهّدات تندرج ضمن نطاق التمويل المدعوم بالملكية الفكرية بشكل عام، وتمثّل إمكانات واعدة لم تُستثمَر بعد.[441] وتُقدّر القيمة العالمية للأصول غير الملموسة، بما فيها الملكية الفكرية، بنحو 80 تريليون دولار في عام 2024،[442] مما يجعل الملكية الفكرية تمثل 90% من قيمة الشركات المدرجة في مؤشر ستاندرد آند بورز 500.[443] مما يجعل التمويل المدعوم بالملكية الفكرية الذي يشمل الأدوات الناشئة كسندات الملكية الفكرية والتزامات الدين المضمونة بها، محوراً رئيسياً للنمو المستقبلي.

كما برزت رموز الملكية الفكرية غير القابلة للاستبدال (IP-NFTs) - وهو مصطلح قد يتغير مستقبلاً - بوصفها نموذجاً يربط العقود القانونية التقليدية بالعقود الذكية.[444] وبخلاف الرموز غير القابلة للاستبدال الشائعة (NFTs)، تتميّز هذه الرموز بتحديد حقوق الملكية الفكرية المنتقلة مع ملكية الرمز بشكل واضح ودقيق، ضمن إطار تعاقدي ملزم قانوناً،[445] لكن نقل حقوق الملكية الفكرية الفعلي يتم فقط من خلال أدوات قانونية منفصلة، خاصة بالنسبة لحقوق النشر، التي تتطلب تحويلاً مكتوباً بموجب القانون. وقد عزّزت محاكم سنغافورة عام 2022 هذا التوجّه باعترافها بالرموز غير القابلة للاستبدال كممتلكات قانونية في سياق الضمانات القائمة على الرموز غير القابلة للاستبدال وليس نقل حقوق الملكية الفكرية.[446] وبهذا، تهدف رموز الملكية الفكرية غير القابلة للاستبدال إلى توضيح نقل حقوق الملكية الفكرية، مقدّمة حلاً عملياً لمشكلة غموض الحقوق التي رافقت الرموز التقليدية.[447]

80
تريليون دولار
في عام 2024

القيمة العالمية للأصول غير الملموسة، بما فيها الملكية الفكرية.

%90

من قيمة شركات مؤشر ستاندرد آند بورز 500 ممثلة في الملكية الفكرية

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي

إنشاء بيئة تجريبية عالمية لتبادل الملكية الفكرية

يتم إنشاء بيئة تنظيمية تجريبية عالمية لاختبار نماذج ترميز الملكية الفكرية والملكية الجزئية. كما تُطوَّر أطر قانونية واضحة لتعريف حقوق الملكية الفكرية، إلى جانب وضع معايير مفتوحة وسجلات قائمة على تقنيات البلوك تشين لتوحيد آليات التوثيق والتسجيل. وتسهم عمليات رسم خريطة الأطراف المعنية في تحديد متطلبات المنظومة ومسارات المشاركة فيها بوضوح.

- جوائز التحديات
- عقود الخدمات
- المنح
- المنح المرحلية

أسس سوق الملكية الفكرية

يتم اعتماد إطار قانوني عالمي يعترف برموز الملكية الفكرية غير القابلة للاستبدال (IP-NFTs) كأصول قابلة للتداول عبر الحدود. كما تُعتمد عقود ذكية موحّدة لتنظيم معاملات الملكية الفكرية، إلى جانب تطوير نماذج تحقق مدعومة بالذكاء الاصطناعي لتقييم أصالة الابتكارات ومراجعة الادعاءات مقارنةً ببراءات الاختراع القائمة.

- برامج مسرّعات الأعمال
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- المنح المُدمَجة
- المنح
- المنح المرحلية
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً

الإطلاق التجريبي لسوق الملكية الفكرية

تبدأ سندات الملكية الفكرية وأدوات الدين المضمونة بها بالتحول إلى أصول مالية سائلة متداولة في الأسواق. كما يتم إطلاق منصات عابرة للحدود تعتمد على أنظمة تحقق مدعومة بالذكاء الاصطناعي مع إشراف بشري مباشر، بالتزامن مع تسارع دخول الاستثمارات المؤسسية إلى سوق ديون الملكية الفكرية.

- صناديق التوسّع
- القروض
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض القابلة للتحويل
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

49 2022

المستقبل المنشود

سوق الملكية الفكرية

يتم إطلاق سوق متكاملة للملكية الفكرية كمنصة رئيسية لتداول الأصول الفكرية. ومع الوقت، تصبح الملكية الفكرية من أبرز المحركات العالمية لتوليد الثروة وتوسيع المشاركة الاقتصادية.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

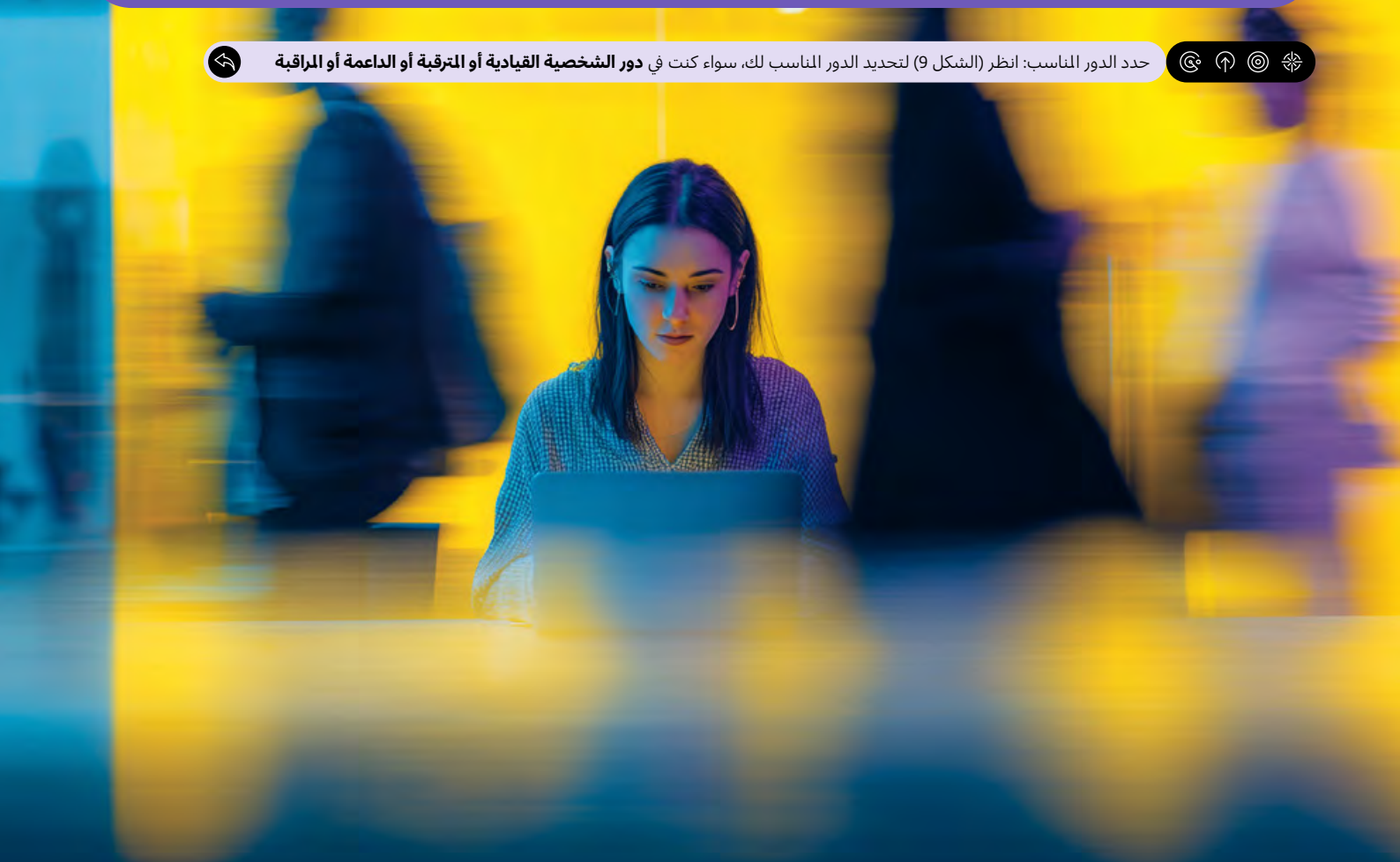
يصبح بإمكان أي فرد تحقيق دخل طويل الأمد من فكرة واحدة تم تسجيلها عبر الولايات القضائية المختلفة، عبر تحويلها إلى حصص رقمية قابلة للاستثمار بعد اعتمادها، وتداولها عبر بورصات عالمية متخصّصة، والحصول على عوائد منتظمة مع كل عملية ترخيص أو استثمار تجاري.

عوامل تمكين الفرصة

- مواءمة تشريعات الملكية الفكرية عالمياً لدعم الملكية الجزئية.
- إنشاء سجلات رقمية شفافة وغير قابلة للتلاعب.
- إطلاق برامج توعية وتعليم موجّهة للمبدعين.
- تطوير واجهات برمجة تطبيقات مفتوحة للتسجيل والتجديد والتداول.
- اعتماد عقود ذكية قابلة للتدقيق مدعومة بأنظمة للسمعة.

التحديات

- غياب أدوات تسعير ديناميكية دقيقة للملكية الفكرية.
- محدودية المنصات القادرة على توحيد الامتثال العالمي.
- عدم اكتمال جاهزية العقود الذكية وأنظمة السمعة على نطاق واسع.
- صعوبة تكييف الأطر القانونية والمالية الحالية مع نماذج الدخل الجديدة للملكية الفكرية.
- عدم وجود إطار عالمي للملكية الفكرية حيث يتم تسجيل وصيانة حقوق الملكية الفكرية بشكل منفصل في كل دولة.



حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

13 2023

ماذا لو تبنّينا نموذجاً جديداً للسلع العامة يقوم على تعاون المجتمع والقطاعين الحكومي والخاص؟

نموذج جديد للسلع والخدمات العامة

إعادة صياغة تقديم السلع العامة من خلال نموذج تعاون بين المجتمع والقطاعين الحكومي والخاص تفتح المجال أمام حلول مبتكرة في مجالات الصحة والبيئة وغيرها من السلع والخدمات العامة.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة
التعاون، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
الحلول المجتمعية
الشراكة بين القطاعات
الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
التعاون الدولي
تحفيز الابتكار

التكنولوجيا
تكنولوجيا الرعاية الصحية
التكنولوجيا التعليمية
تقنيات دفتر الأستاذ الموزع

الفئة
التعاون

القطاعات الأكثر تأثّراً
السلع والخدمات الرقمية
الخدمات المالية والمستثمرون
الخدمات الحكومية
الصحة والرعاية الصحية
البنية التحتية والبناء

الكلمات الرئيسية
الجمعيات التعاونية
السلع العامة الرقمية
تقنية دفتر الأستاذ الموزّع
البيئة التنظيمية التجريبية
العقود الذكية

أهمية الفرصة

تُعدّ السلع العامة في مجالات التعليم، والبيئة، والصحة، والبنية التحتية،[448] والتكنولوجيا،[449] والعلوم،[450] والبحث العلمي[451] أساساً لخدمة المجتمعات.[452] وقد أثبتت الشراكات بين القطاعين الحكومي والخاص قدرتها على تحسين الكفاءة، وضبط النفقات والالتزام بالجداول الزمنية لتنفيذ المشاريع، لا سيّما في قطاعي الرعاية الصحية[453] والإنشاءات.[454] ومع ذلك، تواجه هذه الشراكات تحديات في التنفيذ،[455] خاصة عند محدودية القدرات المؤسسية أو وجود قيود استراتيجية لدى القطاع الحكومي.[456] ففي أمريكا اللاتينية، ما بين العام 1985 والعام 2000، تطلب 75% من امتيازات المياه و55% من امتيازات النقل إعادة التفاوض خلال فترة لم تتجاوز 2.2 سنة.[457] وأظهرت مراجعة لاحقة لأمريكا اللاتينية ارتفاعاً في معدلات إعادة التفاوض إلى 87% و78% لقطاعي المياه والنقل على التوالي، مع انخفاض متوسط الوقت اللازم لإعادة التفاوض إلى عام واحد.[458]

وفي المقابل، أثبتت الجمعيات التعاونية نجاحها كنموذج أعمال مستدام قابل للتوسع ومملوك للمجتمع، حيث بلغ حجم أعمال أكبر 300 جمعية تعاونية عالمياً نحو 2.79 تريليون دولار في عام 2023.[459] وعليه، فإنّ الجمع بين هذه النماذج ضمن إطار تعاون أوسع يمكن أن يعزّز فعالية تقديم السلع العامة ويضمن تحقيق غايتها الشاملة.[460]

الإيجابيات
تحسين الخدمات المقدّمة لأفراد المجتمع، وتعزيز قدرة الحكومات على الحد من تكاليف تخطيط مشاريع الخدمات العامة وتنفيذها.

المخاطر
عدم وضوح معالم وحدود الاستقلالية بين مختلف الشركاء، وانخفاض الإيرادات العامة مع مرور الوقت، وفقدان سيطرة القطاع الحكومي على الأصول الاستراتيجية.

2.6 مليار

شخص متصل بشبكة الإنترنت بحلول عام 2030

الوضع الحالي

يتبلور النقاش حول السلع العامة اليوم في مسارين رئيسيين. الأول يتمثل في اعتبار أنظمة الذكاء الاصطناعي سلعاً عامة رقمية، والثاني في الحاجة إلى نموذج تمويل جديد في ظل اتساع فجوة تمويل التنمية عالمياً. ولا تقتصر السلع العامة الرقمية على إتاحة الوصول للجميع، بل تهدف إلى تعزيز الأخلاقيات، وحماية الخصوصية، ودعم أهداف التنمية المستدامة،[461] وبناء منظومة رقمية أكثر عدالة، وتشمل البيانات والمعايير المفتوحة وأنظمة الذكاء الاصطناعي.[462] ولا يعني اعتبار أنظمة الذكاء الاصطناعي سلعاً عامة إتاحتها دون ضوابط،[463] بل اعتماد تراخيص مسؤولة تحدد الاستخدامات وتوثّقها بوضوح، بدلاً من الاكتفاء بالرقابة التقليدية.[464]

تأسس تحالف السلع العامة الرقمية عام 2019 لتسريع التحوّل الرقمي في الدول منخفضة ومتوسّطة الدخل، مع التركيز على الأنظمة الرقمية المتكاملة بدلاً من النماذج المنفردة.[465] وتنسجم هذه الجهود مع توصيات اليونسكو بشأن أخلاقيات الذكاء الاصطناعي المعتمدة من 193 دولة عام 2021،[466] كما تدعم تنفيذ الميثاق الرقمي العالمي المعتمد في سبتمبر 2024، والذي يهدف إلى ربط 2.6 مليار شخص بالإنترنت بحلول عام 2030 ويعتبر السلع العامة الرقمية آلية رئيسية لتحقيق ذلك.[467]

في المقابل، يشهد تمويل السلع العامة التقليدية أزمة متصاعدة، في ظل تراجع المساعدات الإنمائية الرسمية،[468] من 227 مليار دولار في عام 2022 إلى 174 مليار دولار في عام 2025، بتراجع نسبته 23%.[469] وأمام هذا الواقع، يتّجه العالم بشكل متزايد نحو نماذج تمويل هجينة تجمع القطاعين الحكومي والخاص.[470] ويستدعي ذلك تصميم نماذج تمويلية متوازنة تضمن مشاركة القطاع الخاص بشكل فعّال، دون خلق ظاهرة الاستفادة دون مساهمة عادلة في التكلفة.[471]

يشهد تمويل السلع العامة التقليدية أزمة متصاعدة، في ظل تراجع المساعدات الإنمائية الرسمية

من

227 مليار دولار

في عام 2022 إلى

174 مليار دولار

في عام 2025 وسط توقّعات بتراجع إضافي بنسبة 18% في عام 2025

مسار تحقيق الفرصة

يمثل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود، وقد تختلف الآليات وفق السياقات المحلية. وتعتمد سرعة التطوّر على التمويل والقيادة وتوفّر عوامل التمكين والظروف الخارجية، لذلك لا تُحدّد جداول زمنية ثابتة، مع ضرورة السعي إلى أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي

تطوير النموذج المفاهيمي للشراكات بين القطاعين الحكومي والخاص

تشكيل تحالف يضم باحثين وصنّاع سياسات وخبراء قانونيين ومنظمات تنموية وجمعيات تعاونية، لمراجعة النماذج القائمة وتصميم نموذج متكامل للشراكات، مع إعداد إطار قانوني وتنظيمي داعم.

- جوائز التحديات
- المنح المرحلية
- المنح

بناء القدرات

تقييم احتياجات البنية التحتية الرقمية وأطر الحوكمة لتمكين التعاون بين الأطراف المعنية، وتفعيل أدوات دعم القرار في الوقت الفعلي عبر العقود الذكية وتبادل البيانات، مع وضع بروتوكولات واضحة لمشاركة المستثمرين المؤسسيين.

- برامج مسرّعات الأعمال
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- المنح المُدمَجة
- المنح القابلة للتحويل
- عقود الخدمات

مرحلة التجربة والتطبيق الأوّلي

تنفيذ مشروع تجريبي بالتعاون مع مبادرة واحدة أو أكثر من مبادرات السلع العامة المختارة، واختبار النموذج عملياً، وتوثيق الدروس المستفادة، وتحديثه قبل التوسّع في تعميمه.

- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- المنح المُدمَجة
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً

2023 **13**

المستقبل المنشود

مرحلة التوسّع والتكامل

اعتماد نموذج الشراكات بين القطاعين الحكومي والخاص على نطاق واسع في مختلف القطاعات، عبر تطوير آليات تمويل هجينة، وإعداد أدوات إرشادية عملية تعزّز القدرات المؤسسية وتدعم صياغة سياسات تضمن تطبيقاً فعّالاً ومستداماً.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض

ملامح تطوّر الفرصة

اعتماد نموذج التعاون بين المجتمع والقطاعين الحكومي والخاص مع أطر قانونية واضحة وهياكل حوكمة فعالة وآليات تمويل هجينة. ويسهم التعاون متعدد الأطراف في تقديم سلع عامة أكثر جودة ومصممة وفق احتياجات المجتمع وقابلة للتكيّف مع متغيراتها. كما تعزز البنية التحتية الرقمية والرصد الفوري للبيانات والعقود الذكية الشفافية والمساءلة، وتتيح الأدوات المؤسسية تكرار النموذج وتوسيعه بما يتجاوز الشراكات التقليدية.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير أطر هوية رقمية آمنة لإدارة العقود الذكية والتحقق من المشاركين.
- الإيفاء بمتطلبات سيادة البيانات مع الالتزام بمعايير الخصوصية العالمية.
- تصميم آليات تمويل تشاركية لتقاسم المخاطر وتحفيز القطاع الخاص.
- بناء بنية تحتية قوية لإنترنت الأشياء، مع معايير تشغيل بيني وآليات آمنة لتبادل البيانات.
- اعتماد أطر موحّدة لتقديم السلع العامة، بما يشمل السلع العامة الرقمية.

التحديات

- التحيّز الخوارزمي.
- الأمن السيبراني.
- جمع رأس المال اللازم للانتقال من التجربة إلى التوسّع.
- التأخّر التنظيمي الذي قد يعيق التنفيذ، مع تحويله إلى فرصة لتطوير بيئات تنظيمية تجريبية على المستوى العالمي.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

17 2023

ماذا لو أصبحت البيانات المفتوحة متاحة للاستخدام عبر آليات واضحة وآمنة؟

توسـع عالـــم البيانـــات

عبر توفير حوافز لمشاركة البيانات، يمكن إنشاء منصة آمنة تجمع بيانات المستخدمين المجمّعة ومجهولة الهوية وتتيح لرواد الأعمال والباحثين وصنّاع السياسات الوصول إليها وتحليلها، بما يدعم الابتكار والتعلّم والاكتشاف.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، القيم

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
الاقتصاد الرقمي
توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
التعاون الدولي
البيانات المفتوحة

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
حماية البيانات والخصوصية
تقنيات دفتر الأستاذ الموزّع

الفئة
التعاون

القطاعات الأكثر تأثّراً
تقنية المعلومات والاتصالات
أمن المعلومات والأمن السيبراني
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الخدمات الحكومية
الصحة والرعاية الصحية

الكلمات الرئيسية
تدريب الذكاء الاصطناعي
تبادل البيانات عبر الحدود
منصات البيانات المفتوحة
السلع العامة
العقود الذكية

أهمية الفرصة

رغم اختلاف التقديرات، يشهد العالم نمواً غير مسبوق في حجم البيانات، مع توقعات بارتفاعها لتصل إلى نحو واحد يوتابايت (مليون إكسابايت) سنوياً بحلول عام 2030.[472] ووفقاً للاستبيان العالمي السنوي "حالة البيانات المفتوحة"، يرى 80% من الباحثين الأكاديميين المشاركين في الاستبيان ضرورة إتاحة البيانات للجميع كإجراء معياري.[473] ومع ذلك، لا تزال الفجوة كبيرة على مستوى الاستخدام التجاري، إذ لا تتجاوز نسبة الشركات التي تستخدم البيانات أو تصل إليها أو تشاركها لتحقيق مكاسب تجارية نحو 6% عالمياً، رغم أهمية البيانات المفتوحة في تعزيز الابتكار واكتشاف الفرص وتحسين الكفاءة.[474] وتتزايد الأهمية مع توقعات بأن اكثر من ثلثين من القيمة الاقتصادية الجديدة خلال العقد المقبل ستأتي من نماذج أعمال قائمة على منصات رقمية.[475]

الإيجابيات
تسريع تطوير النماذج البحثية والابتكارية بدقة أعلى، وتعزيز تكافؤ الفرص بين الجهات الفاعلة في القطاعين الحكومي والخاص.

المخاطر
إمكانية استغلال البيانات، حتى وإن كانت مجمّعة، لمحاولة تحديد الأفراد أو المصادر لأغراض إجرامية أو خبيثة ما لم تُطبّق تدابير أمنية متقدمة جداً.

الوضع الحالي

سعت أوروبا إلى تعزيز منصات البيانات المفتوحة عبر مسارين، تمثل الأول في بناء القدرات والتدريب على المستويات المحلي (المدن) والوطني والإقليمي،[476] فيما ركّز الثاني على التقييم والرقابة عبر مؤشر نضج البيانات المفتوحة في دول الاتحاد الأوروبي.[477] واستند أحدث تقييم إلى معايير شملت سياسات البيانات المفتوحة، وسهولة الوصول إلى البوابات الرقمية، وجودة البيانات وتأثيرها، إضافة إلى أطر الحوكمة والتمويل.[478] وأظهرت النتائج أن أكثر من 60% من الدول الأوروبية تتبنّى منهجية تركّز على تحسين جودة البيانات بدلاً من التوسّع الكمي في نشره بينما تستخدم 22 دولة منصات مفتوحة المصدر مقارنة بـ 12 دولة تستخدم منصات مخصصة.[479]

ويظهر أثر البيانات المفتوحة في تطبيقات عملية تشمل خلق فرص عمل وتحسين مواءمة المهارات مع سوق العمل، وتطوير نماذج أعمال وخدمات جديدة ورفع الكفاءة، إضافة إلى تحسين السياسات الحكومية وتعزيز الصحة العامة ودعم الشمول الاجتماعي. ومن الأمثلة على ذلك مساعدة الأفراد في فرنسا في اتخاذ خيارات غذائية صحية، ودعم الفئات الأكثر احتياجاً في ألمانيا من خلال تسهيل الوصول إلى المعلومات والخدمات.[480]

وفي المنطقة العربية، حقّقت دولة الإمارات العربية المتحدة تقدّماً ملحوظاً في إطلاق بوابات البيانات المفتوحة، سواء على مستوى الدولة،[481] أو عبر مبادرات محلية[482] في إماراتي أبوظبي[483] ودبي. كما أسهمت جهات دولية، بما في ذلك مؤسسات تابعة للأمم المتحدة، في إتاحة البيانات المفتوحة على نطاق واسع، مثل البنك الدولي[484] ومنصة بيانات الأمم المتحدة.[485]

في السياق نفسه، أطلق معهد البيانات المفتوحة، بالتعاون مع وزارة الثقافة والإعلام والرياضة في المملكة المتحدة، مبادرة لإنشاء بنية تحتية وطنية للبيانات المفتوحة الخاصة بالعمل التطوعي في إنجلترا لخدمة نحو 24.8 مليون فرد، عبر توحيد فرص التطوع التي كانت موزعة على 47 منصة. وتشمل المبادرة فهم واقع البيانات الحالي، وتطوير معيار مفتوح، وتنفيذ تجارب ميدانية مع الشركاء، ثم الإطلاق الشامل.[486]

أمّا على مستوى تدفّقات البيانات العابرة للحدود،[487] فلا تزال البيانات المفتوحة تمثل فرصة كبيرة للنمو لم تُستغل بالكامل. وعلى الصعيد الدولي، ما زالت المبادرات المماثلة لمشروع "إكس رود" (X-Road) بين إستونيا وفنلندا محدودة،[488] كما أن معظم المبادرات القائمة، باستثناء بعض البيئات التنظيمية التجريبية، غير مهيأة لتلبية احتياجات المعنيين عبر القطاعات. ويثير ذلك تساؤلات حول كيفية تحقيق التوازن بين توسيع إتاحة البيانات وبين الضغوط الناتجة عن زيادة حجمها وتعقيدها، وكيفية المواءمة بين مبادئ البيانات المفتوحة ومتطلبات تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي وما يرتبط بها من تحديات تقنية وقانونية.[489]

أكثر من

60 %

من الدول الأوروبية تتبنّى منهجية تركّز على تحسين جودة البيانات بدلاً من التوسّع الكمي في نشرها

نحو

%6

من الشركات تستخدم البيانات أو تشاركها لتحقيق منفعة تجارية

24.8 مليون

فرد في إنجلترا تخدمهم مبادرة البيانات المفتوحة الخاصة بالعمل التطوعي بعد توحيد فرص التطوع التي كانت موزعة على 47 منصة

مسار تحقيق الفرصة

يمثل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود ولا يهدف إلى فرض سيناريو واحد، وقد تختلف آليات التمويل والمسارات وفق الظروف المحلية. وتختلف سرعة التطوّر بحسب حجم التمويل والقيادة وتوفّر عوامل التمكين والظروف الخارجية، لذلك لا تُحدد جداول زمنية ثابتة، مع ضرورة السعي إلى أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي

وضع متطلبات البيانات المفتوحة العابرة للحدود

تحليل أطر حوكمة البيانات، ومتطلبات الأمن السيبراني، وآليات إخفاء الهوية، وإرشادات الاستخدام، واستخدام البيانات في تدريب الذكاء الاصطناعي. وإعداد مقترح لإنشاء بيئة تنظيمية تجريبية عالمية تستكشف آليات الترميز وحوافز الجهات المبادرة لاستخدام الحلول.

- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

تطوير المنصة ضمن بيئة تنظيمية تجريبية عالمية

تطوير منصة آمنة تعتمد على آليات متعددة لإخفاء الهوية، وإقامة شراكات مع جهات رائدة، بما يبرز بوضوح قيمة البحث والابتكار، ويُظهر العائد التجاري المتوقّع.

- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح القابلة للتحويل
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية

إنشاء منصة تجريبية

تنفيذ مشروع تجريبي بالتعاون مع قطاعات استراتيجية لاختبار الحلول، وتوثيق الابتكارات، وقياس العائد التجاري، ورصد التحسينات في الذكاء الاصطناعي والسياسات، لتوسيع نطاقها، ووضع شروط استخدام واضحة وشفافة.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات

2023 **17**

المستقبل المنشود

التوسّع عبر القطاعات

عقد اتفاقيات دولية بشروط استخدام واضحة، تستند إلى تحليلات مبنية على الأدلّة.

- صناديق التوسّع
- القروض
- صناديق رأس المال الاستثماري

ملامح تطوّر الفرصة

يؤدي تحسين تدفقات البيانات العابرة للحدود إلى دعم النمو الاقتصادي العالمي، خاصة في القطاعات التي تعزز فيها البيانات المفتوحة الابتكار والتجارة. ويسهم تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي على هذه البيانات في استخلاص قيمة اقتصادية أكبر من أنشطة البحث والتطوير وزيادة فرص تحقيق اكتشافات علمية مؤثرة.

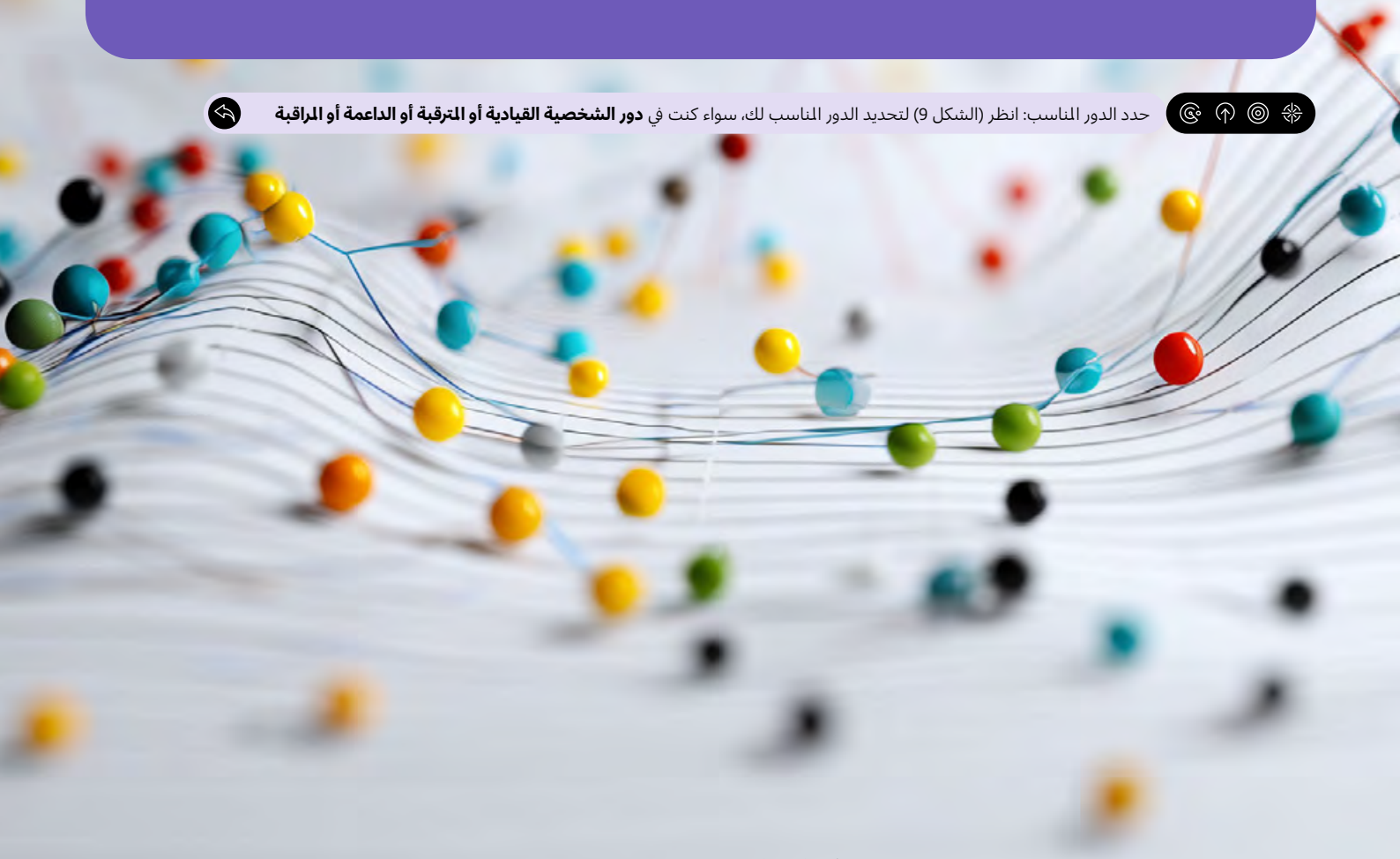
عوامل تمكين الفرصة

- تعزيز قابلية التشغيل البيني للبيانات عبر توحيد الأطر الأخلاقية والقانونية والأنظمة التقنية العابرة للحدود.
- تطوير تقنيات متقدّمة لإخفاء الهوية والتحقّق من البيانات.
- إرشادات واضحة بشأن سيادة البيانات، تضمن حق الولايات القضائية في التحكّم في الوصول إلى بياناتها أو سحبه وإلغائه عند الضرورة.
- اعتماد مستودعات بيانات وسياسات على مستوى الولايات القضائية، مع ضمان إشراك الأطراف المعنية.
- عقد اتفاقيات عالمية متعدّدة الأطراف تدعم المشاركة المتكافئة للبيانات.

التحديات

- تزايد الطلب على أدوات تمنح المستخدمين رؤية وتحكماً في كيفية معالجة بياناتهم مع خيارات مرنة للانسحاب.
- الثغرات الأمنية.
- تفاوت جودة البيانات وضعف القدرات التقنية لتحويلها إلى تحليلات معمّقة.
- العوائق التنظيمية وصعوبة الامتثال عند مشاركة البيانات عبر الحدود.
- الحاجة المتزايدة إلى بيانات اصطناعية لاختبار نماذج الذكاء الاصطناعي تحت الضغط، مع توقّع تقارب قدراتها في المستقبل.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**



18 2024

كيف ستكون أجيال المستقبل إذا أدخلنا مادة الحكمة ضمن المناهج التعليمية؟

مناهج تدريس الحكمة

تشهد المدارس تحوّلاً جذرياً من خلال تطوير برامج تعليمية قائمة على مفهوم الحكمة، ممّا يعزّز قدرة الطلاب على التفكير المنطقي المنفتح ثقافياً واكتساب المهارات اللازمة لمعالجة التحديات المعقّدة التي تفرضها التقنيات الناشئة على الشباب وكبار السن.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة
القيم المجتمعية، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
الصحة النفسية
مستقبل الأهداف والعمل
التنوّع المعرفي بين الأجيال
الإنسان في مواجهة الإنسان
تحوّل التعليم

التكنولوجيا
الحوسبة المتطوّرة
الاتصال المتقدّم
الذكاء الاصطناعي

الفئة
تمكين المجتمعات

القطاعات الأكثر تأثّراً
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
التعليم
الخدمات الحكومية
الصحة والرعاية الصحية
الخدمات المهنية

الكلمات الرئيسية
التفكير النقدي
الذكاء العاطفي
التعلّم المستمرّ
علم الأعصاب
علم التربية

أهمية الفرصة

من المتوقع أن يؤثر الذكاء الاصطناعي في نحو 40% من الوظائف اليوم حول العالم، سواء عبر أتمتة بعض المهام أو إعادة تشكيل الأدوار المهنية.[490] ويستدعي هذا التحوّل إصلاحات تعليمية جوهرية وبرامج تعلم مستمر تركز على تنمية مهارات تكمل دور الذكاء الاصطناعي بدلاً من منافسته.[491] ومع هذا التغير، تتراجع أهمية الاكتفاء بجمع المعلومات وتنظيمها، بينما تتزايد الحاجة إلى التفكير النقدي المتقدم والقدرة على معالجة المشكلات المعقدة.[492]

ويُعد مفهوم الحكمة متعدد الأبعاد، إذ يشير إلى القدرة على اتخاذ قرارات متوازنة في المواقف الحاسمة، والنظر إلى القضايا من منظور شامل يراعي الأبعاد المختلفة. وتظهر الحكمة في كفاءات تبرز عند اتخاذ القرارات والعمل ضمن بيئات اجتماعية متداخلة،[493] وكذلك عند التعامل مع تحديات ناتجة عن التحوّلات المجتمعية والتقنيات الجديدة.

من المتوقع أن يؤثر الذكاء الاصطناعي في نحو

%40

من الوظائف اليوم حول العالم

الإيجابيات

تعزيز قدرة الأفراد على اتخاذ قرارات متوازنة والاستجابة للتحديات المجتمعية المعقدة بوعي ومسؤولية.

المخاطر

قد يكون النموذج النظري للحكمة معقداً إلى درجة يصعب تطبيقها عملياً، أو قد يفقد صلته بالواقع، أو لا يتماشى مع أطر السياسات التعليمية القائمة.

الحكمة مفهوم متعدّد الأبعاد يشير إلى القدرة على اتخاذ قرارات متوازنة في المواقف الحاسمة

تتراجع أهمية الاكتفاء بجمع المعلومات وتنظيمها، بينما **تتزايد الحاجة إلى التفكير النقدي المتقدم والقدرة على معالجة المشكلات المعقدة**

الوضع الحالي

ركز التعليم تاريخياً على نقل المعرفة، إلا أن ارتفاع مستويات الذكاء لم يترافق بالضرورة مع ارتفاع مماثل في مستويات الحكمة.[494] وتشير الدراسات إلى أن الأفراد ذوي الذكاء المرتفع، في حال غياب الحكمة، يكونون أكثر عرضة لأخطاء مثل التفاؤل غير الواقعي، والتمركز حول الذات، والاعتقاد المبالغ فيه بالمعرفة والقدرة. وقد تنعكس هذه الأنماط في أزمات مؤسسية وصراعات اجتماعية وسياسية.[495]

وتتمثل الحكمة في القدرة على توظيف الذكاء والمعرفة والإبداع لتحقيق توازن بين المصالح الفردية والمصلحة العامة، مع مراعاة الأهداف القريبة والبعيدة.[496] وفي ظل التحوّلات التي يفرضها الذكاء الاصطناعي على التعليم والعمل، لم تعد الحكمة خياراً، بل أصبحت ضرورة لتعزيز الأخلاقيات والاتزان العاطفي والقدرة على التكيف.

وأظهرت دراسة شملت 535 طالباً جامعياً أن الحكمة تقوم على أربعة أبعاد رئيسية: البعد المعرفي، والبعد الأخلاقي الوجودي، والبعد الوجداني، والبعد الاجتماعي. وبيّنت النتائج أن الأنشطة التي تنمّي التفكير العلمي والنقدي كان لها الأثر الأوسع في تطوير هذه الأبعاد، بينما ساهمت الخبرات العملية في تعزيز الجوانب الوجدانية والأخلاقية. كما أثبت تنويع أساليب التعليم، من خلال الجمع بين التعلم الفردي والعمل الجماعي وربط النظرية بالتطبيق، فعالية أكبر في بناء شخصيات متوازنة.[497]

وقد تزايد الاهتمام البحثي بالحكمة منذ عام 2000. فمن خلال مراجعة نحو 28 دراسة بحثية، برزت أربعة محاور تربوية أساسية هي معرفة الذات (97 كلمة مفتاحية)، والتواصل مع الآخرين (100 كلمة مفتاحية)، وفهم العالم (84 كلمة مفتاحية)، ثم التواصل معه (71 كلمة مفتاحية). وقد أجمعت الأبحاث على أن أبرز سمات الحكمة تشمل معرفة الذات، والانفتاح، والإيثار (بمعنى حب الغير)، والتعاطف، والقدرة على تنظيم العواطف والمشاعر، وحسن التقدير، والخبرة الحياتية، والسلوك الاجتماعي الإيجابي.[498] ومع ذلك، لا تزال الأنظمة التعليمية تميل إلى التركيز على المهارات المعرفية، على حساب الجوانب الاجتماعية والعاطفية والأخلاقية.[499] ويتطلب تطوير الحكمة نموذجاً تعليمياً متكاملاً يدمج هذه الأبعاد الأربعة في آن واحد، إذ لا يكفي الاعتماد على نهج واحد لتحقيق هذا الهدف.[500]

وتُعد الأساليب التأملية من أكثر المناهج فاعلية في هذا المجال، حيث تسهم أدوات مثل دفاتر التعلم والمناقشات الجماعية والتعلم القائم على التأمل في تعزيز مستويات الحكمة لدى الطلاب. كما ينمو التفكير المنظومي من خلال مهام تربط بين المعرفة النظرية والتجربة العملية داخل بيئات تعلم تعاونية.[501]

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
مجتمع قائم على الحكمة

دمج علم الأعصاب وعلم النفس والمعرفة التقليدية. وتشكيل مجلس استشاري عالمي متعدّد التخصّصات، مع إطلاق إطار واضح لكفاءات الحكمة.

- المنح
- المنح المرحلية

إصلاح شامل للنظام

اختبار مواقع تجريبية متنوّعة عبر أكثر من 20 دولة، وتدريب المعلّمين فيها على نماذج الحكمة المستندة إلى علم الأعصاب، وتطوير أدوات تعليم عصبي متخصّصة، والتصميم المشترك لمناهج دراسية تراعي السياقات الثقافية بالتعاون مع الشباب وكبار السن في المواقع التجريبية.

- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح المُدمَجة
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)

توسيع نطاق البرامج التجريبية

توسيع نطاق البرامج التجريبية الناجحة لتشمل شبكات إقليمية، وإلزام هيئات الاعتماد بإدراج وحدات دراسية للحكمة، وتطوير الشركاء في القطاع الصناعي لشهادات القيادة الحكيمة، ودمج المناهج المعتمدة في منصات اختبار وطنية.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- القروض

2024 **18**

المستقبل المنشود
البحث والتعريف

اعتماد تعليم الحكمة عبر جميع المراحل، وربط التخرّج بمشاريع ذات أثر مجتمعي، واعتماد أنظمة لتدريس الحكمة مدعومة بالذكاء الاصطناعي، ودمج الأخلاقيات والتفكير المنظومي في السياسات العامة، ووضع كفاءات الحكمة القابلة للقياس وتطبيقها عبر جميع المؤسسات.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- عقود الخدمات
- المنح

ملامح تطوّر الفرصة

يتم تقييم الطلاب بناءً على قدرتهم على تجسيد القيم الأخلاقية وإظهار التعاطف، لا على حفظ المعلومات فقط. ويعتمد صنّاع القرار منظوراً متوازناً يجمع بين الحسم في اتخاذ القرار والإقرار بتأثير المتغيرات الغامضة. وتمنح المناهج القائمة على الحكمة أولوية للتفكير الأخلاقي بدلاً من الاكتفاء بجمع البيانات، وترتبط مشاريع التخرّج بأثر مجتمعي قابل للقياس. كما يسهم التدريس المدعوم بالذكاء الاصطناعي في دعم قرارات أكثر وعياً على المستوى الأخلاقي. ويستفيد صنّاع القرار من كفاءات الحكمة القابلة للقياس والتقييم في التعامل مع البيئات التقنية والاجتماعية المعقّدة.

عوامل تمكين الفرصة

- تأهيل المعلّمين وبناء قدراتهم في تعليم الحكمة.
- دمج تعليم الحكمة في المناهج دون تعقيدها أو الإضرار بأهداف التعلّم.
- إرساء مقاييس وأنظمة تقييم واضحة لقياس الحكمة.
- مواءمة عالمية حول تعريفات الحكمة وأساليب قياسها.
- تطوير أساليب ومناهج صحيحة وفعّالة لتعليم الحكمة وتقييمها.

التحديات

- صعوبة مواءمة السياسات بين وزارات التعليم وهيئات الاعتماد.
- تحديات تبنّي المعلّمين لتعليم الحكمة وقدرتهم على تكييفه.
- عدم وضوح مواءمة تعليم الحكمة مع الأهداف الأوسع للسياسات العامة.
- صعوبة توطين أطر الحكمة بما يتناسب مع السياقات الثقافية والتعليمية المتنوّعة.
- محدودية الأبحاث وتعدد التخصّصات التي تربط بين علم الأعصاب وعلم النفس والتعليم.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

25 2024

هل سيتمكّن الجيل القادم من الروبوتات من إنجاز مهام ذات تأثير حقيقي في التنمية؟

روبوتات مسؤولة

عندما تصبح التنمية المستدامة المحرك الرئيسي لاستراتيجيات وأبحاث علم الروبوتات، ستشهد مجالات مثل الزراعة المستدامة والإنشاءات والإغاثة من الكوارث والرعاية الصحية، تطوّراً ملحوظاً بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة العالمية.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
التعايش مع الروبوتات المستقلّة والأتمتة

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
الأتمتة
الشراكة بين القطاعات
الإنسان في مواجهة الآلة
التعاون الدولي
تحفيز الابتكار

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
تقنيات البطاريات
الروبوتات

الفئة
تحسين الأنظمة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الزراعة والغذاء
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
الخدمات الحكومية
الصحة والرعاية الصحية
البنية التحتية والبناء

الكلمات الرئيسية
الروبوتات الزراعية
أهداف المناخ
العمليات الجراحية بمساعدة الروبوتات
الروبوتات من أجل تحقيق أهداف التنمية المستدامة
الاستثمار المستدام

أهمية الفرصة

نقترب اليوم من مرحلة تتكامل فيها تطوّرات علوم المواد، وتحسّن عمر البطاريات، وتعلّم الآلة، بما يعزز دور الروبوتات كمحرك رئيسي للنمو.[502] ومن المتوقّع أن يستمرّ هذا الاتجاه خلال السنوات المقبلة،[503] فقد تم تركيب 542,000 روبوت صناعي في عام 2024، أي ضعف العدد المسجّل قبل عشر سنوات. وكان من المتوقع أن يرتفع العدد إلى نحو 575,000 روبوت في عام 2025، وأن يتجاوز 700,000 روبوت بحلول عام 2028.[504] وفي المقابل، تتناول أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة تحديات معقدة مثل الأمن الغذائي وصمود البنية التحتية.[505] وتشير التقديرات إلى أن الروبوتات يمكن أن تسهم في تحقيق ما يصل إلى 46% من هذه الأهداف.[506]

الإيجابيات

يمكن للمنصات الروبوتية المنتشرة عالمياً وبتكلفة معقولة أن توفّر حلولاً قابلة للتوسّع، بما يدعم تحقيق أهداف التنمية المستدامة التي كان يصعب بلوغها سابقاً.

المخاطر

قد لا تكون الحوافز والاستثمارات السوقية كافية لخفض تكلفة الروبوتات في الدول الأكثر حاجة إلى حلول التنمية المستدامة، مما قد يؤدي إلى اتساع فجوات التنمية وتعميق أوجه عدم المساواة بين الدول، وإعاقة التقدّم بدلاً من دعمه.

حجم سوق
الروبوتات الزراعية

5.4 مليار دولار

في عام 2023 بمعدل نمو سنوي مركب يبلغ **19.3%** حتى عام 2030.

حجم سوق
الروبوتات الطبية

16.6 مليار دولار

مع توقّعات بوصوله إلى نحو **63.8 مليار دولار** بحلول عام 2032

الوضع الحالي

تسهم الروبوتات في إعادة تشكيل قطاعات حيوية مثل الزراعة والرعاية الصحية، ومن المتوقّع أن يتوسّع هذا الدور خلال السنوات المقبلة. ففي الزراعة، بلغ حجم سوق الروبوتات الزراعية نحو 5.4 مليار دولار في عام 2023، مع توقّعات بمعدل نمو سنوي مركب يبلغ 19.3% حتى عام 2030.[507] وتحقّق المزارع الكبيرة عائداً على الاستثمار خلال سنتين إلى خمس سنوات نتيجة خفض التكاليف ورفع الكفاءة، فيما قد تحتاج المزارع الصغيرة إلى فترة أطول نسبياً.[508] كما تسهم الروبوتات الزراعية في أتمتة أنظمة الري، والاستخدام الدقيق للأسمدة والمبيدات، وتقليل استهلاك المياه، والحد من الأثر البيئي، ودعم الحفاظ على التنوّع الحيوي.[509]

وفي قطاع الرعاية الصحية، بلغ حجم سوق الروبوتات الطبية نحو 16.6 مليار دولار في عام 2023، مع توقّعات بوصوله إلى نحو 63.8 مليار دولار بحلول عام 2032.[510] وتشمل الاستخدامات تسريع التشخيص، وتقليص فترات الانتظار، وإجراء العمليات الجراحية بمساعدة الروبوتات، بما يخفّف الألم ويُسرّع التعافي عقب الجراحة.[511]

ورغم هذه المؤشرات، لا يزال الاستثمار في الروبوتات محدوداً مقارنةً بتقنيات ناشئة أخرى، إذ يتركّز الاستخدام في قطاع صناعة السيارات، حيث يتم تركيب نحو 6.11 روبوتات جديدة لكل 1,000 عامل، مقابل 0.24 روبوت فقط لكل 1,000 عامل في بقية القطاعات.[512]

وتشير التطبيقات الحديثة إلى إسهام الروبوتات في أبعاد أهداف التنمية المستدامة الثلاثة بنسبة 53% في البعد البيئي، و47% في البعد الاجتماعي، و42% في البعد الاقتصادي.[513] كما تُظهر بعض المؤشرات أن الاستثمار المستدام يمكن أن يحقّق أداءً يفوق المؤشرات التقليدية، كما في أداء مؤشر مورغان ستانلي كابيتال إنترناشونال (MSCI) لقادة الاستدامة مقارنةً بالمؤشر العالمي خلال الفترة من أبريل 2014 إلى مارس 2024.[514]

ورغم أهمية التكنولوجيا الخضراء، قد تنشأ عنها آثار غير مقصودة مثل التلوّث الناتج عن الاستخراج. ويمكن للروبوتات الحد من هذه الآثار عبر أتمتة الأعمال الخطرة في التعدين واستخراج النفط والغاز والأنشطة الملوّثة.[515] إلا أن تحقيق ذلك يتطلّب مواصلة البحث والتطوير في المواد المتقدّمة المستخدمة في الأنظمة الروبوتية، إذ لا تكفي التقنيات الحالية وحدها دون تقدّم موازٍ في علوم المواد.[516]

تشير التطبيقات الحديثة إلى إسهام الروبوتات في أبعاد أهداف التنمية المستدامة الثلاثة بنسبة

53 % في البعد البيئي

47 % في البعد الاجتماعي

42 % في البعد الاقتصادي

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
إعادة توجيه أبحاث الروبوتات

تحالف من الجامعات والجهات المموّلة وهيئات وضع المعايير يقوم بإعادة توجيه أبحاث الروبوتات نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة، من خلال مواءمة مسارات البحث والتطوير مع تصاميم تلبي احتياجات قطاعات التنمية ذات الأولوية.

- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

مرحلة الاختبار الميداني

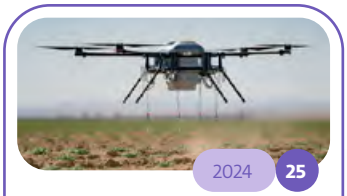
نشر روبوتات لخدمة التنمية في بيئات واقعية تشمل الزراعة والرعاية الصحية والاستجابة للكوارث، والتصميم المشترك مع مجتمعات البحث وصنّاع السياسات المحليين للتحقّق من السلامة، والقدرة على تحمّل التكاليف، وقابلية التكيّف.

- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- المنح المرحلية
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

مرحلة التنفيذ

تكرار النماذج الناجحة عبر مختلف المناطق، وبناء المهارات وسلاسل الإمداد وعقود الخدمات التي تعزّز نشر الروبوتات بشكل مستدام وعلى نطاق واسع.

- صناديق التوسّع
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- المنح القابلة للتحويل
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- صناديق رأس المال الاستثماري



2024 **25**

المستقبل المنشود
توسيع النطاق

تحويل الروبوتات إلى بنية تحتية أساسية للتنمية على المستوى العالمي، ودعم استدامتها عبر أنظمة المشتريات، ومسارات التعليم وبناء القدرات، وأطر الحوكمة، والرصد المستمرّ للفرص الناشئة.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- القروض
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- المنح المرحلية
- صناديق رأس المال الاستثماري

ملامح تطوّر الفرصة

تتحوّل الروبوتات من تقنيات متخصّصة إلى بنية تحتية أساسية تدعم أهداف التنمية المستدامة عالمياً. فهي تعمل إلى جانب البشر لسد فجوات التنمية بتكلفة معقولة وتسريع مواجهة التحديات الكبرى، لتصبح جزءاً محورياً من منظومة التنمية بدلاً من أن تبقى حلاً تقنياً محدود النطاق.

عوامل تمكين الفرصة

- إرساء أطر سياسات تحفّز تطوير الروبوتات المتوافقة مع أهداف التنمية المستدامة.
- إتاحة مجموعات بيانات مفتوحة أو مشتركة لدعم البحث والتطوير.
- تعزيز قدرات التصنيع المحلي وتصميم الحلول بما يتناسب مع السياقات المحلية.
- بناء منظومات ابتكار تشارك فيها جهات متعددة، مع توفير بيئات مناسبة للاختبار.
- تطوير نماذج تمويل مبتكرة تتيح اعتماد هذه التقنيات بتكلفة معقولة.

التحديات

- تحديات خفض تكلفة الروبوتات.
- ضعف ربط الجهود الأكاديمية والمؤسسية بأهداف التنمية المستدامة.
- تعقيد تطوير روبوتات قادرة على التكيّف مع بيئات متنوّعة وغير مهيكلة.
- ارتفاع التكاليف الأوّلية.
- نقص الخبراء في مجالات الروبوتات وعلوم المواد والاستدامة والتنمية والتصميم.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

38 2024

ماذا لو حصل الشباب على معاشات تقاعدية ولم يضطر كبار السن إلى التوقّف عن العمل؟

عكس المسار المهني

ماذا لو أعدنا تصور المسار المهني بشكل معكوس؟ يحصل الشباب في بداية حياتهم المهنية على دخل أساسي يتيح لهم استكشاف اهتماماتهم وتطوير مهاراتهم، ثم يمرّون بمرحلة نمو وإنجاز، بينما يواصل المتقاعدون المشاركة من خلال برامج تدريبية وإرشادية منظّمة. يعيد هذا التصور هيكلة منظومة العمل بالكامل ويعزّز ديناميكية المشاركة بين الأجيال.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة
الأنظمة، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
مستقبل التعليم
مستقبل الأهداف والعمل
التنوّع المعرفي بين الأجيال
العمر المديد والحيوية
الصحة النفسية

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
التحليلات الفورية

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
التعليم
الخدمات المالية والمستثمرون
الخدمات الحكومية
الصحة والرعاية الصحية
الخدمات المهنية

الكلمات الرئيسية
القوى العاملة متعدّدة الأجيال
الإرشاد والتوجيه
المعاشات التقاعدية
الإنتاجية
الدخل الأساسي للشباب

أهمية الفرصة

من المتوقّع أن يرتفع متوسّط عمر الإنسان إلى 77.2 عاماً بحلول عام 2050.[517] وفي دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، سيشكّل من هم فوق 65 عاماً نحو 28% من السكان، بينما سيبلغ من تجاوزوا 80 عاماً حوالي 10%.[518] وعلى المستوى العالمي، ستصل نسبة من هم فوق 65 عاماً إلى 16.5%، ومن هم فوق 80 عاماً إلى حوالي 4.7%.[519] في المقابل، سيبلغ عدد الشباب بين 15 و24 عاماً نحو 1.4 مليار شخص بحلول عام 2050، أي ما يعادل 14% من سكان العالم، مع تركّزها بشكل أكبر في أفريقيا بنسبة تصل إلى 35%.[520] وسيعيد هذا التحوّل السكاني رسم المراحل التقليدية للحياة، أي التعليم ثم العمل ثم التقاعد، نتيجة ارتفاع متوسّط عمر الإنسان على مستوى العالم.[521] وسيواجه نحو 1.2 مليار شاب خلال العقد القادم منافسة على ما يقارب 400 مليون وظيفة متوقّعة.[522]

الإيجابيات

يتيح هذا النموذج للشباب في بداية مسيرتهم المهنية استكشاف اهتماماتهم دون التعرّض للضغوط المرتبطة بتوفير الدخل الثابت، مع التركيز على تحقيق الإنجازات والنجاحات. بينما يواصل كبار السن الإسهام بخبراتهم، مما يعزّز انتقال المعرفة ويزيد من الرضا الشخصي والمشاركة المجتمعية.

المخاطر

قد يواجه الشباب نقصاً في الخبرة العملية المبكرة، وقد تبرز صعوبات في الانتقال إلى وظائف بدوام كامل، إضافة إلى تحديات في تصميم برامج تدريبية مناسبة للمتقاعدين.

الوضع الحالي

يواجه الاقتصاد العالمي تحدياً يتمثّل في توفير فرص عمل ملائمة للشباب وكبار السن في ظل التحوّلات التكنولوجية المتسارعة، إذ سيتقاعد 18.4 مليون عامل تتراوح أعمارهم بين 55 و64 عاماً في الفترة بين عامي 2024 و2032، في حين سيدخل 13.8 مليون شاب فقط بمؤهلات مماثلة.[523] ومع استحداث 685 ألف وظيفة جديدة خلال هذه الفترة، وتفاوت مستويات التأهيل المطلوبة، سيصل العجز في المهارات إلى نحو 5.25 مليون عامل.[524] ومن المتوقّع أن يظهر هذا النقص بصورة أكثر وضوحاً في قطاعات حيوية مثل التعليم، والتمريض، والهندسة، والبناء.[525] في الوقت نفسه، يواجه الشباب صعوبة في الحصول على الوظائف المبتدئة، ليس بسبب ضعف الطموح، بل لأنّ الذكاء الاصطناعي بدأ بالفعل في تنفيذ المهام الأساسية التي كانت تمثل المدخل التقليدي لبداية المسيرة المهنية.[526]

وتتّجه الجهود الحالية نحو زيادة المشاركة في سوق العمل، وتقليص فجوات التعليم، والانتقال إلى التوظيف القائم على المهارات من خلال التدريب المستمرّ. كما يتركّز الاهتمام على الاستخدام المسؤول للتكنولوجيا الحديثة،[527] وتعزيز التعاون بين الإنسان والذكاء الاصطناعي، إلى جانب تطوير المهارات الرقمية والاستثمار في التفكير النقدي والإبداع البشري.[528] مع ذلك، لا تزال هذه المبادرات وحدها غير كافية لمواكبة حجم التحوّلات السريعة التي يشهدها العالم اليوم.

ويتزامن ذلك مع ركود في الإنتاجية، والتي يُعزى إليها أكثر من نصف التباطؤ الاقتصادي العالمي منذ عام 2008، حيث انخفضت الإنتاجية الكلية لعوامل الإنتاج عالمياً من 1.6% في أوائل الألفية إلى 0.6% خلال الفترة بين 2020 و2023،[529] رغم التقدّم التكنولوجي. ويُعدّ انخفاض الإنتاجية مؤشر خطر لأنها هي المقياس الواقعي لقوة الاقتصاد مقارنةً بالموارد والقدرات المتاحة.[530]

وقد أدى ذلك إلى اعتراف عالمي بضرورة تعزيز التكامل بين التكنولوجيا ورأس المال البشري، من خلال تحسين أساليب اتخاذ القرارات المبكرة أو الاستباقية، وتعزيز جاهزية الأنظمة التعليمية لتطلبات المستقبل، وتسريع تبنّي التكنولوجيا الحديثة مع ضمان توزيع فوائدها بشكل عادل، بالإضافة إلى الاستثمار في بناء الثقة في التقنيات الجديدة بهدف تقليص فجوات الإنتاج.[531]

في الولايات المتحدة بين 2024 و2032

18.4 مليون
عامل سيتقاعد

مقابل

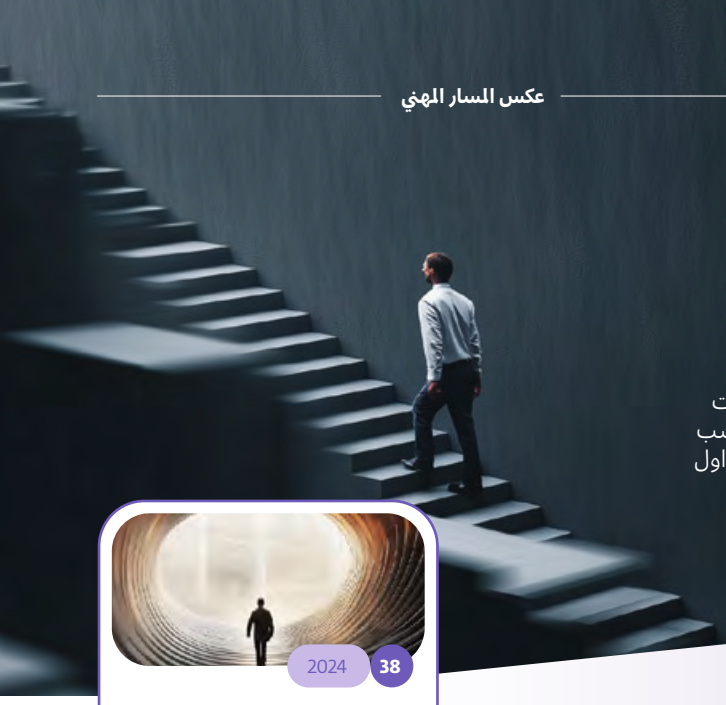
13.8 مليون
شاب سيدخل
بمؤهلات مماثلة

5.25 مليار
عجز في المهارات
(حسب مستوى المهارة)

انخفضت الإنتاجية عالمياً

من 1.6%
إلى 0.6%

في الفترة بين
2020 و2023



مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
مرحلة البحث والتطوير

تأسيس تحالف لتطوير نماذج جديدة للمسارات المهنية، وتحديد الأطر الاقتصادية وتقييم الجدوى التشغيلية للانتقال من المسارات الخطية إلى دورات مهنية دائرية تستوعب مختلف الأجيال.

- عقود الخدمات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- المنح
- المنح المرحلية

مرحلة التطبيق التجريبي

إطلاق بيئات تنظيمية تجريبية ومشاريع متعددة القطاعات، وتوثيق أثرها على الإنتاجية، وقياس فعالية الإرشاد والتوجيه، ورصد الفجوات التنظيمية، بهدف إعداد دليل عملي قابل للتكرار في سياقات اقتصادية مختلفة.

- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح المُدمّجة
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات

إدارة مرحلة الانتقال المهني

سنّ تشريعات وأنظمة داعمة تمكّن الاستثمار في دخول الأفراد إلى المسار المهني، وتسهّل إعادة دمج المتقاعدين في سوق العمل، مع وضع خرائط طريق واضحة لإدارة التحوّلات المتسارعة وإجراء إصلاحات مستهدفة على قوانين التوظيف والعمل.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات

2024 **38**

المستقبل المنشود
توسيع فرص العمل بين الأجيال

توحيد تنظيم الدخل والمسار المهني عبر مختلف مراحل الحياة، وتوسيع فرص التوظيف للأجيال كافة من خلال إصلاح قوانين العمل، واعتماد أنظمة متابعة وتقييم ترتبط بالإنتاجية والأداء، بما يعزّز المشاركة الديناميكية في جميع القطاعات الاقتصادية.

- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق التوسّع
- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

يحصل الشباب على دخل أساسي يمكّنهم من استكشاف مسارات مهنية متنوعة واختيار الأنسب على المدى البعيد، بينما يشارك كبار السن في برامج تدريب وإرشاد تحافظ على نشاطهم الذهني وتنقل خبراتهم إلى الأجيال الأصغر. وتصبح أماكن العمل أكثر مرونة وتنوّعاً في الأعمار، وتتحوّل المسارات المهنية من خط مستقيم إلى دورات متعاقبة عبر مراحل الحياة.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير آليات تمويل مستدامة.
- إجراء إصلاحات شاملة على قوانين العمل والتقاعد.
- تصميم نموذج دخل أساسي للشباب يرتبط بالإنتاجية.
- توفير فرص عمل مرنة تناسب مختلف المراحل العمرية.
- تعزيز قدرة الأفراد على التكيّف مع تحوّلات الذكاء الاصطناعي.

التحديات

- مقاومة اجتماعية لفكرة عكس التسلسل المهني التقليدي.
- صعوبة الحفاظ على استقرار العاملين في منتصف مسيرتهم المهنية،

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

39 2024

ماذا لو كان مستقبل الاقتصاد المعرفي مبنياً على تحسين جودة حياة الأفراد؟

ابتكار نماذج عالمية للتعليم

في ظلّ التسارع التكنولوجي، يبرز نموذج تعليمي جديد يقوم على التعلّم مدى الحياة، وتوحيد المعايير التعليمية على مستوى عالمي، وتعزيز الشراكات الدولية، بما يدعم بناء اقتصاد معرفة أكثر عدلاً ومرونة واستدامة، ويسهم في تحقيق النمو وتحسين جودة الحياة.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى

الأتمتة والتعايش مع الروبوتات المستقلّة

المتغيرات الغامضة

الأنظمة، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات، وقياس النمو بما يتجاوز إجمالي الناتج المحلي

مستقبل الأهداف والعمل

البيانات المفتوحة

التعاون الدولي

تحوّل التعليم

التكنولوجيا

الذكاء الاصطناعي

حماية البيانات والخصوصية

التحليلات الفورية

الفئة

الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً

علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة

التعليم

الخدمات المالية والمستثمرون

الخدمات الحكومية

الخدمات المهنية

الكلمات الرئيسية

التحوّل في الذكاء الاصطناعي

قياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

اقتصاد المعرفة

اقتصاد المهارات

اقتصاد الحكمة

أهمية الفرصة

بلغت الاستثمارات الخاصة في الذكاء الاصطناعي في الولايات المتحدة 285.9 مليار دولار في عام 2025، أي ما يقارب 23 ضعفاً للاستثمارات في الصين التي وصلت إلى 12.4 مليار دولار. كما استقطب الذكاء الاصطناعي التوليدي وحده استثمارات عالمية بقيمة 170.9 مليار دولار.[532] ورغم أن واحداً من كل ستة أشخاص حول العالم يستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي،[533] فإن وتيرة الانتشار تختلف بين الدول، إذ يبلغ الاستخدام في دول الشمال العالمي نحو 24.7% من الأفراد القادرين على العمل، مقابل 14.1% فقط في الدول ذات الاقتصادات الصاعدة – أي ضعف سرعة الانتشار تقريباً.[534] ومع قدرة الذكاء الاصطناعي المتقدّم على تنفيذ مهام معرفية معقّدة، يواجه نموذج اقتصاد المعرفة التقليدي تحوّلاً يعيد تعريف اقتصاد المعرفة.

الإيجابيات

يسهم الدمج بين الإبداع البشري والذكاء الاصطناعي في تطوير حلول جديدة للتحديات العالمية، وتعزيز الإنتاجية، ورفع جودة المخرجات في مجالات الفن والابتكار، بما يدعم الاستدامة والازدهار للأجيال الحالية والمستقبلية.

المخاطر

قد يؤدي الاعتماد المتزايد على الذكاء الاصطناعي إلى تراجع بعض المهارات المعرفية والعملية، خاصة في البيئات التي يصعب فيها الوصول إلى هذه التقنيات. مخاطر التحيز الخوارزمي وتأثيره على الإبداع والتفكير الأصيل.

الوضع الحالي

يمرّ اقتصاد المعرفة، الذي تعتمد ركائزه على توظيف المعرفة بوصفها محركاً للتنمية الاقتصادية والنمو،[535] بمرحلة تحوّل عميقة نتيجة التطوّر المتسارع في الذكاء الاصطناعي والحوسبة المتقدّمة.[536] ولم يعد الذكاء الاصطناعي يقتصر على أتمتة المهام الروتينية، بل أصبح قادراً على أداء أعمال معرفية معقّدة ومعالجة أنماط من المعرفة كانت حكراً على البشر.[537]

ويعتمد هذا التحوّل على عاملين رئيسيين هما مستوى استقلالية الأنظمة الذكية، وتوفّر القدرة الحاسوبية الكافية لدعم انتشارها.[538] ومع نضج هذين العاملين وتكاملهما، تتغيّر آلية صناعة القيمة داخل اقتصاد المعرفة بشكلٍ جذري.[539] [540]

وتتباين الرؤى بشأن مستقبل اقتصاد المعرفة؛ فهناك من يرى أنه سيتراجع أمام صعود الذكاء الاصطناعي، بينما يتوقّع آخرون ظهور نموذج جديد يرتكز على السمات الإنسانية مثل الإبداع والتعاطف والقدرة على التواصل.[541] كما يبرز توجه نحو اقتصاد المهارات، حيث تصبح القدرة على التطبيق العملي أكثر أهمية من امتلاك المعرفة النظرية.[542]

أمّا من وجهة نظرنا، فلن يتلاشى اقتصاد المعرفة، بل سيتكيّف مع الواقع الجديد. وبالتالي، ستنتقل صناعة القيمة من حيازة المعرفة وحدها إلى توظيفها بمهارة وبشكل واعٍ وهادف، وهو ما يشير إليه البعض باقتصاد الحكمة.[543]

وفي الوقت الذي يمتلك فيه الذكاء الاصطناعي قدرات معرفية تجعله قادراً على أداء المهام الروتينية، فإنه يعيد توجيه الإنسان إلى أدوار أكثر تخصّصاً في حل المشكلات، ممّا قد يفرض ضغوطاً على أصحاب المهارات المحدودة.[544] أمّا إذا بلغ الذكاء الاصطناعي مستوى المتخصّصين في معالجة المشكلات المعقّدة، فقد يكون أثره أوسع نطاقاً؛ إذ يسهم في تقليل فجوات الأداء، ويدعم العمالة منخفضة المهارات، ويعزّز قدرات أصحاب المهارات العالية، وفي الوقت نفسه يحلّ محل الوظائف المعتمدة على كفاءات متدنّية.[545] ورغم تطوّر قدرات الذكاء الاصطناعي، فإنه لا يمتلك الحكم البشري ولا يخلو من تحيّزات مرتبطة بالبيانات، كما يثير تحديات تتعلّق بالخصوصية والملكية الفكرية. لذلك يبقى الدور البشري محورياً في توجيه هذه التقنيات وضمان استخدامها بشكل أخلاقي وفعّال.[546]

الذكاء الاصطناعي والحوسبة المتقدّمة

تقنيات قادرة على أداء أعمال معرفية معقّدة وليس فقط أتمتة المهام الروتينية

الذكاء الاصطناعي والروبوتات

قد يعيدان تشكيل اقتصاد المعرفة — أو يدفعانه نحو اقتصاد قائم على الابتكار والمهارات والحكمة.

لن يتلاشى اقتصاد المعرفة، بل **سيتكيّف مع الواقع الجديد.** وبالتالي، ستنتقل صناعة القيمة من حيازة المعرفة وحدها إلى توظيفها بمهارة وبشكل واعٍ وهادف، وهو ما يشير إليه البعض باقتصاد الحكمة.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
مرحلة التصميم

تأسيس تحالف عالمي يضم مدناً ودولاً لتطوير أطر واضحة لقياس جاهزيتها، عبر تحديد المقاييس الأكثر أهمية في نماذج اقتصاد المعرفة، مع التركيز على نماذج تطوير البنية التحتية المرتبطة بجودة الحياة.

- عقود الخدمات

مرحلة الاختبار الميداني

إجراء تجارب في مدن محدّدة لتطبيق نماذج اقتصادية موسّعة، واختبار أولويات تطوير البنية التحتية المرتبطة بجودة الحياة، ضمن ظروف واقعية.

- برامج مسرّعات الأعمال
- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً

إضفاء الطابع المؤسسي

إنشاء بيئة تنظيمية تجريبية عالية في اقتصادات محدّدة لاختبار آثار السياسات ومقاييس الأداء المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، مع دمج مؤشرات فورية في أنظمة قياس النمو الوطني.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات

2024 39

المستقبل المنشود
توسيع النطاق

تبنّي الدول لأطر عمل مثبتة استناداً إلى نتائج البيئات التجريبية، وإضفاء الطابع المؤسسي على أفضل الممارسات، وتطوير هذا الإطار ليصبح مؤشراً عالمياً للأداء يركز على الصحة المجتمعية والقدرة على الصمود.

- القروض
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

ملامح تطوّر الفرصة

يُقاس النجاح بمدى إسهام المعرفة في تحسين جودة الحياة. وتصبح مؤشرات الصحة والتعليم وحماية البيئة عناصر أساسية في تقييم الأداء. ويساعد الذكاء الاصطناعي في توجيه الموارد بكفاءة، بينما تعتمد الحكومات على بيانات حديثة مدعومة بالذكاء الاصطناعي لقياس النمو الوطني. ويركّز البشر على الأعمال الإبداعية، فيما تتولّى الآلات المهام الروتينية، وتتحوّل الرعاية الصحية نحو الوقاية بدلاً من العلاج، ويُعاد تعريف القيمة الاقتصادية بناءً على الأثر المجتمعي.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير أنظمة ذكاء اصطناعي موثوقة وآمنة وبتكلفة معقولة.
- اعتماد معايير بيانات عالية تضمن قابلية التشغيل البيني.
- توفير تمويل شامل للبنية التحتية.
- تبـــنّي نماذج ملكية مفتوحة المصدر ولامركزية لنماذج الذكاء الاصطناعي.
- إرساء حوكمة فعّالة تعزز التعاون الدولي.

التحديات

- التوزيع العادل للتكنولوجيا عالمياً.
- معالجة التحيّز الخوارزمي.
- إعادة تصميم أنظمة التعليم لتواكب التحوّل.
- إدارة البيانات السيادية الحساسة، خاصة في مجالات الصحة والتعليم.
- دعم القوى العاملة في الانتقال من التعليم التقليدي إلى نماذج أكثر مرونة واستمرارية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

25 2025

هل تعلم أن سد الفجوة بين الجنسين قد يضيف 12 تريليون دولار إلى الاقتصاد العالمي هذا العام؟

فـرص واعدة لازدهـار دور الـمـرأة

تقوم هذه الفرصة على تبنّي أجندة عمل تركّز على ازدهار المرأة وجودة حياتها من خلال نهج متعدّد الأبعاد، مدعوم بالبيانات، ومستند إلى أفضل التجارب العالمية، بما يفتح المجال لآثار اقتصادية واجتماعية إيجابية تعود بالنفع على المجتمع ككل.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة

التعاون، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات، وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

مستقبل التعليم

مستقبل الأهداف والعمل

التعاون الدولي

تحفيز الابتكار

التكنولوجيا

الذكاء الاصطناعي

البيانات المفتوحة

التحليلات الفورية

الفئة

تمكين المجتمعات

القطاعات الأكثر تأثّراً

التعليم

الخدمات المالية والمستثمرون

الخدمات الحكومية

الصحة والرعاية الصحية

الخدمات المهنية

الكلمات الرئيسية

المساواة بين الجنسين

الهدف الخامس من أهداف التنمية المستدامة

جودة الحياة الذاتية

العمل غير مدفوع الأجر

ريادة الأعمال النسائية

أهمية الفرصة

ارتفعت نسبة تمثيل المرأة في المناصب الإدارية العليا من 25.7% إلى 28.1%،[547] كما تم تقليص 68.8% من الفجوة العالمية بين الجنسين، ما يعكس تقدّماً في مجالات الصحة والتعليم والتمكين السياسي.[548] مع ذلك، لا تزال التحديات قائمة، إذ يُعزى نحو 80% من الفجوة المتبقّية إلى محدودية الخبرات العملية المتراكمة لدى النساء وارتفاع معدلات الانقطاع عن العمل خلال المسار المهني الممتد لنحو 30 عاماً.[549] وتزداد احتمالية انقطاع المرأة عن العمل بنسبة 55.2% بسبب مسؤوليات الرعاية الأسرية،[550] حيث تقضي وقتاً في أعمال الرعاية غير مدفوعة الأجر يزيد بثلاثة أضعاف ما يقضيه الرجل.[551] ورغم أن النساء يعبّرن عن مستويات رضا أعلى عن الحياة، إلا أنهن يواجهن آثاراً نفسية وصحية أكثر حِدة،[552] ومعدلات أعلى من القلق والاكتئاب والألم المزمن.[553]

الإيجابيات

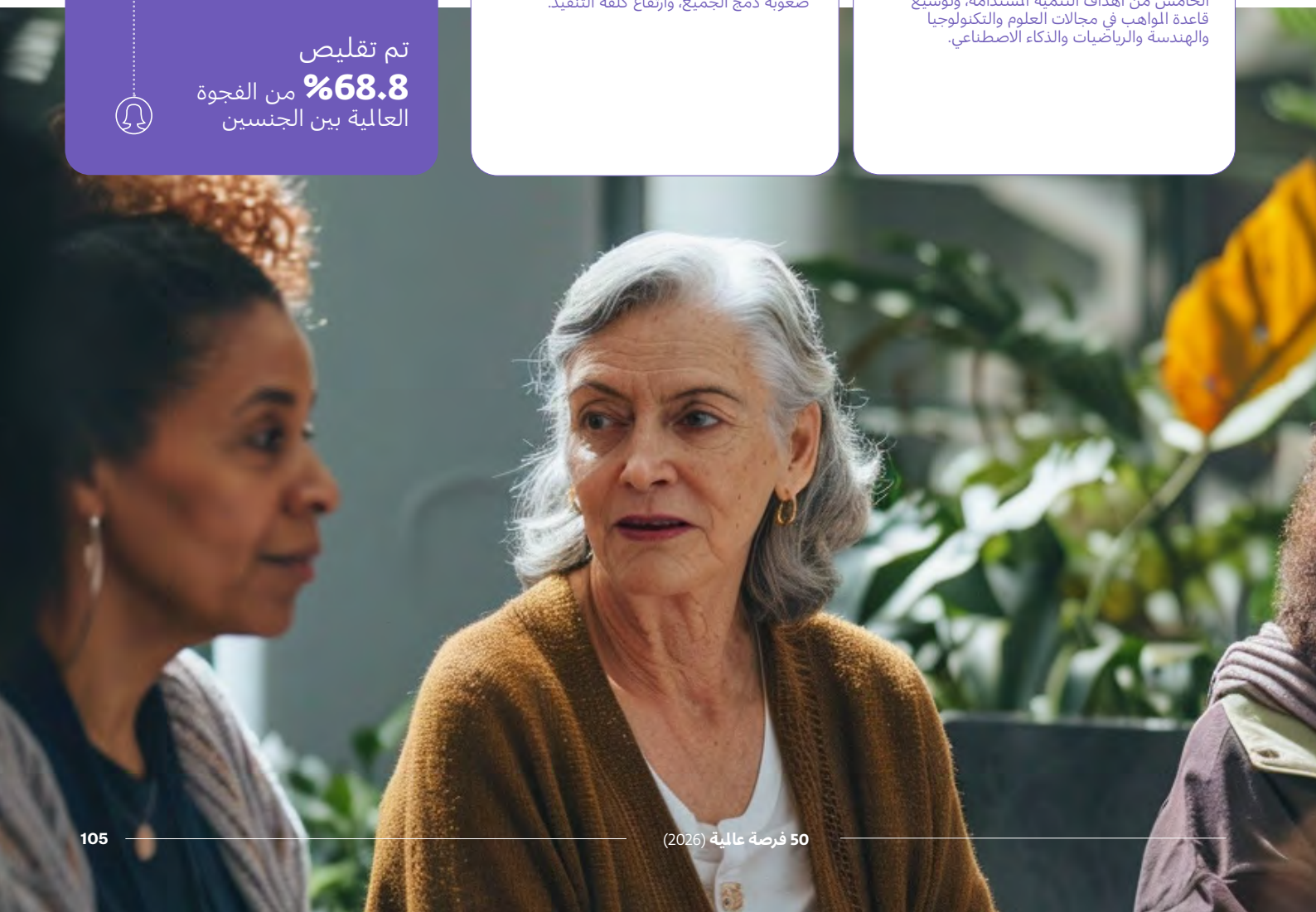
دعم النمو الاقتصادي، وتحفيز الابتكار من خلال التنوع في فرق العمل، وتسريع تحقيق الهدف الخامس من أهداف التنمية المستدامة، وتوسيع قاعدة المواهب في مجالات العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات والذكاء الاصطناعي.

المخاطر

استمرار الفجوة بين الجنسين، وآثار غير مقصودة على بيئات العمل، وإغفال بعض الفئات بسبب صعوبة دمج الجميع، وارتفاع كلفة التنفيذ.

ارتفعت نسبة تمثيل المرأة في المناصب الإدارية العليا من **25.7%** إلى **28.1%** (2024-2015)

تم تقليص **68.8%** من الفجوة العالمية بين الجنسين



الوضع الحالي

رغم التقدّم المحرز خلال عامي 2024 و2025، والذي اختصر 11 عاماً من المدة المتوقعة لسد الفجوة، لا يزال العالم بحاجة إلى نحو 123 عاماً لتحقيق المساواة الكاملة بين الجنسين، و135 عاماً لإغلاق الفجوة الاقتصادية بالكامل.[554]

وتشير البيانات إلى أن النساء أكثر عرضة بنسبة 47% لإغلاق مشاريعهنّ لأسباب عائلية. ففي عام 2024، أسّست امرأة واحدة من كل عشر نساء مشروعاً تجارياً، مقابل رجل واحد من كل ثمانية رجال.[555] كما لا تزال الشركات الناشئة التي تديرها النساء تحصل على 2% أو أقل من التمويل الاستثماري في أوروبا والولايات المتحدة، وعلى 2.3% في أمريكا اللاتينية.[556] وتُقدر قيمة أعمال الرعاية غير مدفوعة الأجر التي تقوم بها النساء بنحو 11 تريليون دولار، أي ما يعادل 9% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي،[557] إلا أنها لا تزال خارج الحسابات الاقتصادية الرسمية في معظم الدول، رغم تحديث معايير الحسابات القومية عام 2025 لإدراج هذا النوع من العمل بشكل اختياري.[558]

وتسعى مبادرات دولية عدة لمعالجة هذه الفجوات، من بينها برامج هيئة الأمم المتحدة للمرأة التي تركّز على الموارد والوظائف والوقت والأمن والحقوق.[559] وتؤكد هذه المبادرات أهمية السياسات الاقتصادية الشاملة والداعمة للتنوع الاجتماعي، وأهداف العمل المناخي، وأنظمة الرعاية المتطوّرة، وضمان العدالة والحد من التمييز، وكلها عوامل تعزز التمكين الاقتصادي للمرأة.[560]

كما أطلق المنتدى الاقتصادي العالمي، إلى جانب مبادرات مركز الاقتصاد والمجتمع الجديد التابع للمنتدى، المبادرة العالمية لتسريع التكافؤ بين الجنسين (Global Gender Parity Sprint)، وهو تحالف يمتد على خمس سنوات ويهدف إلى توسيع نطاق حلول تمكين المرأة لصالح 1.5 مليون امرأة،[561] مع التركيز على تقليص الفجوات المرتبطة بالتحوّل في الذكاء الاصطناعي، خاصة أن النساء يشغلن 28.2% فقط من وظائف العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات، و12.2% من المناصب القيادية العليا في هذه المجالات،[562] في وقت قد يحل فيه الذكاء الاصطناعي التوليدي محل واحدة من كل أربع وظائف لا سيما في الدول مرتفعة الدخل، مع احتمال أتمتة أعلى لدى النساء بنسبة 9.6% مقارنةً بـ 3.5% بين الرجال.[563] ورغم أن الهدف الخامس من أهداف التنمية المستدامة يستهدف المساواة بين الجنسين وتمكين المرأة،[564] ما تزال 61 دولة من أصل 131 تفرض قيوداً قانونية تحد من عمل المرأة.[565]

لا تزال الشركات الناشئة التي تديرها النساء تحصل على

%2

أو أقل من **التمويل الاستثماري في أوروبا والولايات المتحدة**

%9.6

من الوظائف التي تشغلها النساء **معرضة لاحتمال أتمتة أعلى،** مقارنةً بـ 3.5% بين الرجال

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
الرصد والتحليل

تبني منظمات تقود مبادرات تمكين المرأة تحالفات، وتجري أبحاثاً ميدانية لتحديد الفجوات الحرجة، وتُشرك نساء من خلفيات متنوعة في مجموعات تركيز، وتحدّد فروقات جودة الحياة، بما يوجّه تصميم سياسات وحلول أكثر دقة وفاعلية.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- عقود الخدمات

تحديد الأولويات

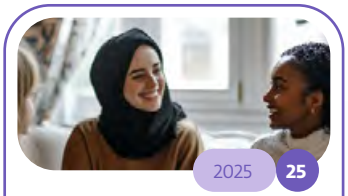
قيام الأطراف المعنية بإعداد مصفوفات أولويات تحدّد الإجراءات العاجلة ضمن أجندة متجدّدة، مع فصل المكاسب السريعة عن المبادرات الاستراتيجية طويلة الأجل التي تتطلّب فرقاً متخصّصة وأطر متابعة واضحة.

- المنح
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- برامج مسرّعات الأعمال

تصميم نماذج التمويل

تطوّر المؤسسات نماذج تمويل مبتكرة تدعم المبادرات العالمية للمرأة، وتمكّن المستفيدات من دعم غيرهن، وتعزّز الأثر الاجتماعي عبر هياكل استثمار مستدامة تدعم تحقيق المساواة بين الجنسين.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- القروض
- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال



2025 **25**

المستقبل المنشود
اعتماد أجندة الازدهار وجودة الحياة

تعتمد دول ومدن أجزاءً من أجندة ازدهار وجودة حياة المرأة، مع تطوير مقاييس جديدة للنمو تسهم في تقليص فجوات جودة الحياة ومواءمتها مع الواقع.

- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- المنح القابلة للتحويل
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)

ملامح تطوّر الفرصة

تصميم المنتجات والخدمات بما ينسجم مع واقع حياة النساء وتجاربهن اليومية، فيما تتبنى المدن والدول سياسات تعالج الاحتياجات المهمشة بالاستناد إلى مؤشرات جديدة تقيس تقدّم المرأة وفق خصوصية كل مجتمع. كما تعمل المؤسسات على تطوير خدمات تلائم الاحتياجات الفعلية للمرأة، بينما تتوسع معايير قياس تقدّمها لتشمل جودة الحياة، والفرص الفعلية، وتجربتها اليومية بصورة أكثر شمولاً ودقة.

عوامل تمكين الفرصة

- تمويل مستدام طويل الأجل.
- اعتماد معايير بيانات موحّدة عالمياً.
- بنية تحتية لدعم اقتصاد الرعاية.
- الاعتراف بالفجوات القائمة بوضوح.
- تطوير مقاييس تعكس التجارب المعيشية للنساء بصورة واقعية.

التحديات

- الالتزام بالتنسيق بين المؤسسات.
- الاستعداد لمشاركة البيانات عبر الجغرافيات المختلفة.
- طرق للحفاظ على الروابط بين المبادرات والواقع الميداني.
- ضمان بقاء السياقات الثقافية والمحلية في مركز تصميم السياسات
- توفير سياسات شاملة وقابلة للتكيف للنساء عبر مراحل الحياة.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

31 2025

ماذا لو أصبحت جميع المنشورات العلمية والأكاديمية متاحة للجميع بلا شروط؟

ديمقراطية النشر العلمي

تتركّز أنشطة النشر الأكاديمي والبحثي في منصة مركزية مفتوحة يمكن للجميع الوصول إليها، بما يسرّع الابتكار، ويعزّز التعاون بين التخصّصات، ويعمّق انتشار المعرفة عالمياً، ويدمج مختلف فئات المجتمع في دورة إنتاج العلم والاستفادة منه.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
نمو اقتصادات الأعمال المستقلّة

المتغيرات الغامضة
التعاون، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
الاقتصاد الرقمي
التعاون الدولي
تحفيز الابتكار
البيانات المفتوحة

التكنولوجيا
البلوك تشين
تقنيات دفتر الأستاذ الموزّع
البيانات المفتوحة

الفئة
تحسين الأنظمة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الاتصالات وتقنية المعلومات
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
التعليم
الخدمات الحكومية
الخدمات المهنية

الكلمات الرئيسية
ترجمة الأبحاث المدعومة بالذكاء الاصطناعي
تقنية البلوك تشين
العلم اللامركزي
نظام الوصول المفتوح
مراجعة النظراء

أهمية الفرصة

شهد النشر العلمي تحوّلاً ملحوظاً خلال العقدين الماضيين، إذ ارتفعت نسبة المقالات المتاحة بنظام الوصول المفتوح من 23% عام 2003 إلى نحو 51% في عام 2022 (حسابياً).[566] ومع ذلك، لا تزال قرابة 45% من المنشورات العالمية[567] محصورة بنظام الوصول المغلق،[568] مع تفاوت واضح بين الدول والمناطق في إمكانية الوصول إليها. فبينما تنشر دول كبرى، مثل الصين والهند والولايات المتحدة، معظم أبحاثها ضمن أنظمة مغلقة، تبلغ نسبة الوصول المفتوح في الدول منخفضة الدخل نحو 62%، رغم أن مساهمتها لا تتجاوز 1% من إجمالي المقالات المفتوحة عالمياً.[569]

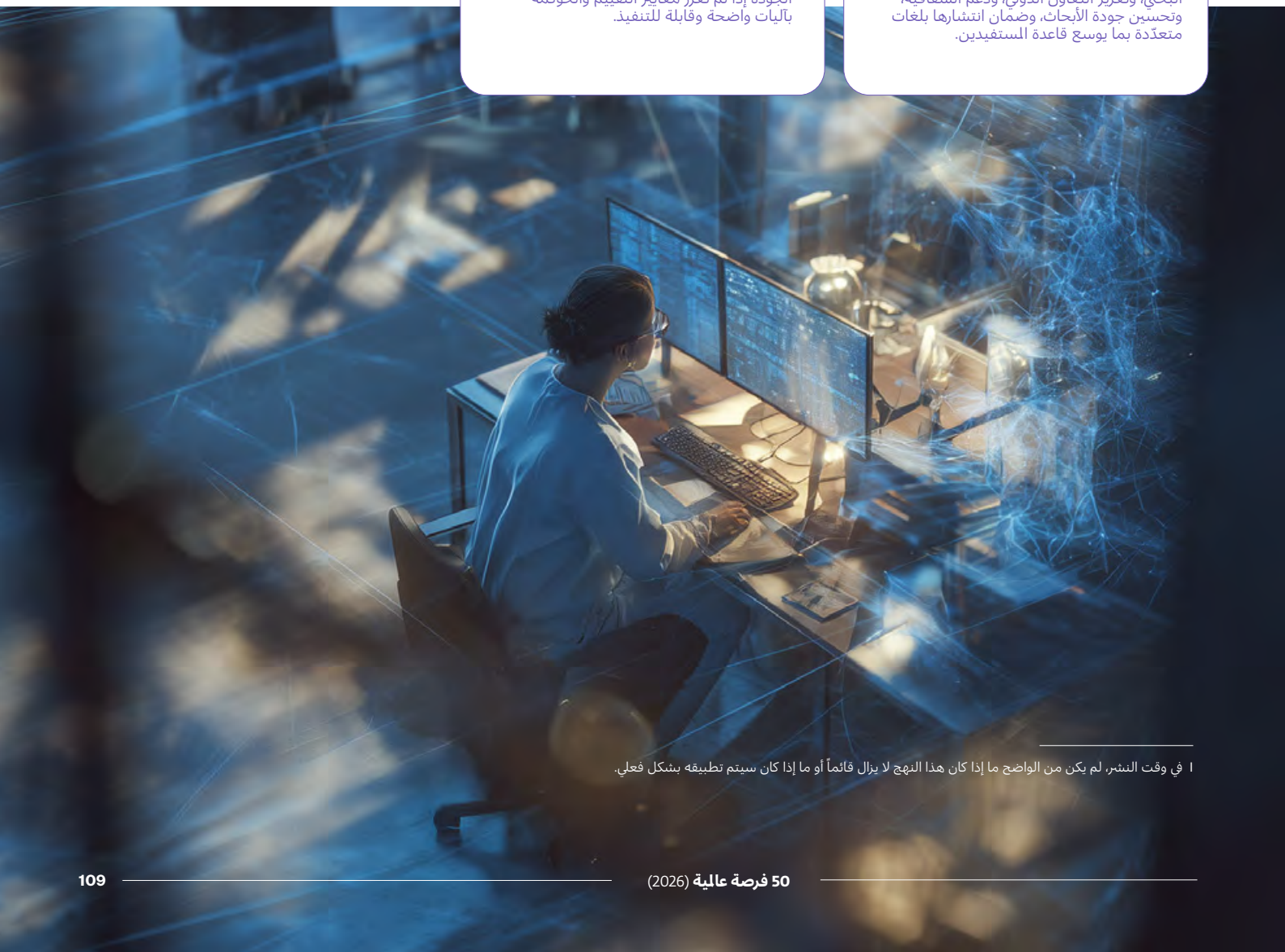
في المقابل، تتزايد اشتراطات الجهات المانحة لاعتماد الوصول المفتوح كشرط للتمويل. وتُعد مبادرة "بلان إس" التي أطلقتها "كواليشين إس" بدعم من المفوضية الأوروبية والمجلس الأوروبي للبحوث نموذجاً بارزاً، إذ تُلزم بالنشر الفوري المفتوح للأبحاث الموّلة من المال العام.[570] كما دخلت سياسة مماثلة حيّز التنفيذ في الولايات المتحدة نهاية عام 2025.[571] [1] ورغم وضوح السياسات في عدد من الدول المتقدّمة، لا تزال دول عديدة تفتقر إلى أطر وطنية موحّدة أو تطبيق فعلي لهذا التوجّه، ويبرز ذلك على وجهٍ خاص في بعض الدول الأفريقية.[572]

الإيجابيات

إتاحة المعرفة على نطاق واسع، وتسريع وتيرة التقدّم البحثي، وتعزيز التعاون الدولي، ودعم الشفافية، وتحسين جودة الأبحاث، وضمان انتشارها بلغات متعدّدة بما يوسع قاعدة المستفيدين.

المخاطر

مقاومة ثقافية للتغيير، ومخاوف من تراجع الجودة إذا لم تُعزَّز معايير التقييم والحوكمة بآليات واضحة وقابلة للتنفيذ.



1 في وقت النشر، لم يكن من الواضح ما إذا كان هذا النهج لا يزال قائماً أو ما إذا كان سيتم تطبيقه بشكل فعلي.

الوضع الحالي

يواجه قطاع النشر العلمي تحديات هيكلية واضحة، إذ تهيمن دور نشر تقليدية مثل Elsevier وSpringer وWiley وSAGE وTaylor & Francis على نحو نصف الإنتاج البحثي العالمي، مع هوامش ربح تتجاوز 30%.[573] وغالباً ما تؤدي الحوافز المرتبطة بزيادة عدد المقالات إلى تغليب الكمّ على الجودة.[574] كما تتسم أنظمة النشر بطول فترات الانتظار، وتفاوت معايير التقييم، ومحدودية التنوع في لجان التحكيم.[575]

ورغم أن الوصول المفتوح أُنشئ لإزالة الحواجز أمام القرّاء، فقد أعاد بدون قصد بعض تحديات نظام النشر التقليدي.[576] فرسوم نشر المقالات تتراوح بين 1,500 و2,500 دولار،[577] وقد تصل إلى 12,850 دولاراً في مجلة "Nature".[578] ونتيجة لذلك، ظهر شكل جديد من عدم المساواة يحدّ من فرص الباحثين في بداية مسيرتهم أو المنتمين إلى مؤسسات ودول منخفضة التمويل.[579]

ظهرت في المقابل نماذج بديلة، مثل نموذج النشر أولاً ثم المراجعة الشفافة [580] الذي اقترحه ستيرن وأوشيا عام 2019،[581] غير أنه لا يخلو من التحديات، فمراجعة النظراء - رغم أهميتها النقدية - لا تكفي وحدها لضمان جودة البحث، كما أن دور هيئة المراجعة في اتخاذ قرار القبول النهائي لا يزال عنصراً أساسياً لضبط جودة المنشورات.[582]

كما ظهرت منصات لامركزية تعتمد على تقنية البلوك تشين لتعزيز الشفافية وتتبع المساهمات العلمية.[583] ويتجاوز مفهوم العلم اللامركزي مرحلة النشر، إذ يهدف إلى إعادة تشكيل المنظومة البحثية بالكامل عبر أدوات مثل المنظمات اللامركزية المستقلّة والمعرّفات الرقمية اللامركزية، بما يعزّز التعاون والتنسيق بين الباحثين على نطاق أوسع.[584] وفي فبراير 2026، تم الإعلان عن منصة OpenSci في "القمة العالمية للعلماء" في دبي، والتي توظّف الذكاء الاصطناعي والبلوك تشين لتتبّع الإسهامات وتوزيع المكافآت عبر رموز علمية.[585]

ومع أن هذه النماذج الجديدة ستعيد توزيع الأدوار داخل منظومة النشر العلمي، فإنها لا تزال تواجه تحديات على مستوى التمويل وإتاحة الأبحاث للجميع، رغم أهمية النشر في دعم الابتكار والتعلّم وخدمة المجتمع.[586] ومع دخول الذكاء الاصطناعي كعامل مؤثر في هذا القطاع،[587] تزداد أهمية حماية حقوق الملكية الفكرية وضمان الالتزام بالمعايير العلمية.[588] لذا، طوّرت دار النشر المفتوحة Frontiers نموذجاً مدعوماً بالذكاء الاصطناعي يُعرف باسم AIRA، يجري أكثر من 40 فحصاً لنزاهة المقالات كل دقيقتين، مع إبقاء القرار النهائي بيد المحكّم البشري لضمان التوازن وتقليل تحيّز الخوارزميات.[589]

تهيمن **دور النشر التقليدية على أكثر من**

%30

من هوامش الربح

تتراوح رسوم نشر المقالات

بين 1,500 و2,500 دولار

وقد تصل إلى 12,850 دولاراً في مجلة Nature

يجري نموذج **AIRA** أكثر من **40** فحصاً لنزاهة المقالات كل دقيقتين

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف الحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
اعتماد ميثاق النشر المفتوح

تتعاون الأطراف المعنية عالمياً، بما في ذلك المنظمة العالمية للملكية الفكرية (الويبو)، على صياغة واعتماد ميثاق دولي للنشر المفتوح، وإطلاق منصة مركزية موحّدة، وتفعيل البروتوكولات غير التجارية، واعتماد معايير ترخيص منسجمة مع حقوق الملكية الفكرية، ضمن حوكمة مجتمعية واضحة.

- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- المنح
- المنح المرحلية

مرحلة التطبيق والتجريب

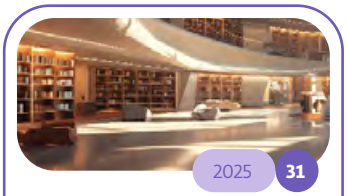
تختبر الدول والمؤسسات والشبكات المستقلة دمج المنصة الموحدة عبر واجهات برمجة تطبيقات مفتوحة قائمة على البلوك تشين، لمعالجة تحديات التشغيل البيني. وتُفعَّل بروتوكولات الهوية الرقمية لضمان نسب موثوق للأبحاث، حتى في حالات تعدّد المؤلفين، مع إنشاء منظمة حوكمة لامركزية مستقلة رسمياً، وتوفير ضمانات لاستدامتها وفعاليتها.

- برامج مسرّعات الأعمال
- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- المنح المرحلية
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً

تفعيل السياسات والبروتوكولات

يُطبَّق نظام ترخيص عالمي يربط حقوق الملكية بالاستخدام اللاحق، ويُطبّق المعايير عبر المنصة الموحدة. وتُؤتمت المنظمة اللامركزية المستقلة لإعادة توزيع الإيرادات بشفافية، بما يضمن توجيه العوائد بشكل عادل إلى المؤلفين والمراجعين والبنية التحتية.

- برامج مسرّعات الأعمال
- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- المنح المرحلية
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً



2025 **31**

المستقبل المنشود
مرحلة التوسّع

تعتمد غالبية الدول منصة مركزية موحّدة للنشر، مع نموذج نشر مجاني للباحثين يُموَّل عبر تراخيص تجارية ومؤسسية، ويصبح الوصول الشامل للأبحاث معياراً عالمياً. وتُفعَّل آليات فورية للتحقّق من نزاهة المحتوى، وضمان حقوق الملكية الفكرية، ضمن منظومة حوكمة تقودها منظمات لامركزية مستقلة، مع إنشاء كيان مستقل للإشراف على المعايير.

- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- المنح
- المنح المرحلية

ملامح تطوّر الفرصة

تحلّ مسارات بحث حيوية محل المجلات التقليدية، ويصبح الوصول فورياً ومجانياً ومتعدّد اللغات. تضمن البلوك تشين سلامة البيانات، وتوفّر تراخيص الذكاء الاصطناعي تمويلاً مستداماً للنشر من دون رسوم على الباحثين. وتُعتمد النزاهة معياراً أساسياً قابلاً للتدقيق، مع إعادة توزيع عادلة لإيرادات التراخيص بين الباحثين.

عوامل تمكين الفرصة

- تمويل كافٍ للمنصة المركزية الموحّدة.
- اشتراطات واضحة من الجهات المانحة.
- تراخيص للذكاء الاصطناعي قابلة للتنفيذ قانونياً، وآليات دفع مقابل البيانات.
- مسارات اعتماد للأبحاث الحساسة.
- تأسيس كيان حوكمة مستقل.

التحديات

- صعوبة تحويل الأرشيفات القديمة إلى صيغ قابلة للمعالجة الآلية.
- مقاومة بعض الناشرين لتحويل التركيز من المجلة إلى الأثر العلمي الملموس للمنشورات العلمية.
- تحديات تكييف تقنيات الذكاء الاصطناعي الأساسية لتلائم أبحاث العلوم الاجتماعية والإنسانية.
- ضمان اتساق المصطلحات عبر اللغات والسياقات الثقافية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

50 2025

ماذا لو أصبحت الكفاءات المكتسبة هي مقياس النجاح في التعليم وليس عدد سنواته؟

مدارس بلا سنوات محدّدة

يشهد التعليم العالي تحوّلاً نحو نموذج شخصي وعملي يضع التفكير النقدي وحل المشكلات الواقعية في صميم التجربة التعليمية. ويقوم هذا النموذج على إعداد متعلّمين مدى الحياة، وقياس النجاح بإتقان الكفاءات لا بإكمال عدد محدّد من السنوات.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

جديد — 2025

التوجهات العالمية الكبرى
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة
القيم المجتمعية، التعاون

الاتجاهات السائدة
الاقتصاد الرقمي
التنوّع المعرفي بين الأجيال
مستقبل الأهداف والعمل
تحفيز الابتكار
تحوّل التعليم

التكنولوجيا
المجتمعات الرقمية
الذكاء الاصطناعي
تقنية البلوك تشين

الفئة
التحوّل

القطاعات الأكثر تأثّراً
الاتصالات وتقنية المعلومات
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
التعليم
الخدمات الحكومية
الخدمات المهنية

الكلمات الرئيسية
التعلّم القائم على الكفاءات
التعلّم مدى الحياة
التفكير النقدي
إصلاح التعليم
التحديات الواقعية

أهمية الفرصة

بلغ عدد الطلاب الملتحقين بالتعليم الجامعي عالمياً نحو 222 مليون طالب في عام 2024، إلا أن هذا التوسّع لم يُنهِ فجوة جودة التعليم.[590] وفي ظل التحوّلات المتسارعة، برزت مهارات مثل التفكير التحليلي، والمرونة، والقيادة، والإبداع، والتحفيز الذاتي كأهم الكفاءات المطلوبة في سوق العمل المستقبلي.[591] غير أن المسارات الجامعية التقليدية غالباً ما تعجز عن مواكبة هذه المتطلبات،[592] ما يستدعي الانتقال إلى نموذج يركّز على التعلّم مدى الحياة، والتطبيق العملي، وتنمية التفكير النقدي، بدلاً من الارتباط بعدد سنوات الدراسة.[593]

الإيجابيات
توفير مسارات تعليمية مرنة، وتعزيز مهارات التفكير النقدي، وترسيخ مفهوم التعلّم مدى الحياة، وتحفيز الابتكار، ومواءمة التعليم مع التطوّرات التكنولوجية.

المخاطر
غياب الأهداف الواضحة للتعلّم، وتفاوت المعايير بين المؤسسات التعليمية، وصعوبة الاعتراف العالمي بالمؤهلات البديلة، وارتفاع التكاليف التشغيلية.

الوضع الحالي

شهد التعليم العالي العديد من التحديات ولكن هذه المرة تختلف عن أي تحول في الماضي.[594] إذ يوجد اليوم 462 مليون طالب يدرسون في الجامعات حول العالم، وهو أكبر عدد من طلاب التعليم العالي في التاريخ.[595] ويأتي ذلك ضمن منظومة تضم أكثر من 22 ألف جامعة عالمياً، وما يزيد على 6.9 مليون طالب دولي سنوياً.[596] ورغم هذا النمو، يواجه القطاع ضغوطاً متزايدة بفعل التقلّبات الجيوسياسية، وقيود الهجرة، والتحديات المالية، وتسارع تطوّر الذكاء الاصطناعي،[597] والتحوّل الديموغرافي نحو الشرق.[598] وقد بادر اتحاد جامعات المملكة المتحدة في أواخر عام 2024 إلى تشكيل فريق عمل معني بالتحوّل والكفاءة لمعالجة مشكلات التعليم العالي، وعلى رأسها الأزمة المالية، حيث تشير التقديرات إلى أن نحو 45% من 124 جامعة قد تواجه عجزاً مالياً خلال العام الدراسي 2026/2025.[599]

كما تتزايد التساؤلات حول جدوى الشهادة الجامعية مقابل تكلفتها.[600] كما تتناقص أعداد الشباب، خاصة في الدول ذات الدخل المرتفع، بشكل يُتوقع تسارعه خلال ثلاثينيات القرن الحالي وما بعد عام 2050،[601] في ظل تراجع معدل الخصوبة عالمياً من 3.3 عام 1990 إلى 2.25 في 2024، مع توقعات بانخفاضها إلى 2.1 بحلول 2050.[602] ما سيؤثر في حجم الطلب المستقبلي على التعليم العالي.

في المقابل، بدأت تظهر مسارات بديلة مثل البرامج المدمجة، والتعلّم عبر الإنترنت، والشهادات المصغّرة (أي البرامج المكثفة لإكساب مهارات محددة)، غير أنها لا تزال مكملة للنموذج التقليدي.[603] ومع دخول الذكاء الاصطناعي في العملية التعليمية، أصبح بالإمكان تقديم تجارب تعلّم مخصّصة وتوسيع الوصول إلى التعليم، وتوفير بيئات تعلّم مرنة تعزّز التفكير النقدي،[604] مع استمرار المخاوف المرتبطة بالخصوصية وجودة الاستخدام.[605]

أما في سوق العمل، فيتأثر الشباب بشكل خاص بتغيّرات الذكاء الاصطناعي التوليدي، مع تراجع التوظيف في قطاع التكنولوجيا خلال 2025 إلى مستويات ما قبل جائحة كوفيد-19.[606] ويؤكد الواقع تغير المهارات المطلوبة في مختلف المجالات؛ بدءاً من الزراعة الذكية، واستخدام الروبوتات في التصنيع والبناء شبه المؤتمت، وصولاً إلى الأنظمة الذكية المستقلة، وهو ما يعكس تحول الاقتصاد نحو نموذج قائم على المهارات[607] بوتيرة تتجاوز قدرة التعليم العالي التقليدي على مواكبته.

264 مليون
طالب

22 ألف
جامعة عالية بينهم أكثر

6.9 مليون
طالب دولي في كل عام

%45
أي 124 جامعة في المملكة المتحدة قد تواجه عجزاً مالياً خلال عامي 2025 و2026

تراجع **معدل الخصوبة** من
3.3 (1990) إلى
2.25 (2024)

مع توقعات بانخفاضها إلى
2.1 بحلول عام 2050

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
تصميم إطار موحّد للتعليم العالي

يتحقق توافق عالي حول مجموعة كفاءات أساسية مثل المرونة والقدرة على التكيّف، مع دراسة دمج الشهادات المصغّرة في أنظمة القبول، ووضع ميثاق يحدّد الأهداف المستقبلية ومعايير جودة التعليم العالي.

- عقود الخدمات
- المنح

وضع الأسس العالمية

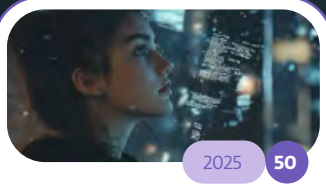
تتوافق الجهات المعنية على إطار موحّد للتعليم العالي يحدّد الشروط والمعايير الأساسية للتخرّج، مع تعاون مزوّدي التدريب المهاري لتطوير مناهج مشتركة تمهّد لاتفاقية دولية موحّدة للكفاءات.

- عقود الخدمات
- المنح
- المنح المرحلية

المرحلة التجريبية

تشارك جامعات مختارة في برامج تعتمد الشهادات المصغّرة، مع إتاحة خيار طوعي للطلاب لاستخدام مؤهلات بديلة ضمن متطلبات القبول والتخرّج، بما يحقق التكافؤ التعليمي.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- المنح
- المنح المرحلية



2025 **50**

المستقبل المنشود
مرحلة التنفيذ

تُستثمر نتائج المراحل التجريبية لتطوير الإطار المعتمد تدريجياً، مع انضمام مؤسسات تعليم عالٍ من مختلف الدول، وصولاً إلى اعتماده معياراً عالمياً جديداً للاعتراف بالتعليم العالي.

- صناديق التوسّع
- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

يتحوّل التعليم العالي إلى استثمار حقيقي في الإنسان، حيث يُعدّ الالتحاق بالجامعة منصة لبناء المهارات الحياتية والمهنية معاً. وتصبح الشهادات المصغّرة جزءاً أساسياً من البرامج الجامعية، ويُقاس التقدّم بإتقان الكفاءات الجوهرية، ما يمنح الطالب مرونة في تحديد مدة دراسته وفقاً لسرعة إنجازه ومستوى إتقانه.

عوامل تمكين الفرصة

- تقنيات آمنة لتوثيق الشهادات الرقمية.
- سياسات حكومية تعترف بالمسارات البديلة.
- نماذج تمويل تربط الدعم بالكفاءات المكتسبة بدلاً من السنوات الدراسية.
- معايير اعتماد عالمية موحّدة.
- اتفاقيات دولية تضمن معايير الجودة وتكافؤ الشهادات.

التحديات

- مقاومة بعض المؤسسات التقليدية.
- ضمان جودة التعليم في المسارات الدراسية الفردية والمخصّصة.
- تكافؤ الفرص في الوصول إلى الشهادات المصغّرة.
- حماية النزاهة الأكاديمية وضمان مصداقية التقييمات.
- وضع آليات للتعامل مع الطلاب المتعثرين الذين يتأخرون في استكمال متطلبات التخرّج.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

11 2026 جديد

ماذا لو أصبحت القدرة الجماعية على التفكير والابتكار والتعاون هي أغلى الموارد التي تمتلكها الدول؟

القدرة الإدراكية الوطنية: مؤشر وطني للقدرة على الابتكار والتطوّر

تصبح القدرة الإدراكية الوطنية المؤشر الأهم لقياس ما يمكن أن تحققه الدولة مستقبلاً. ويُقاس هذا المؤشر بعمق شبكاتها الاجتماعية والمؤسسية، وجودة العلاقات التي تبنيها، وقدرتها الجماعية على التركيز والتحليل واتخاذ القرارات بسرعة، بما يدعم الابتكار وتحقيق الإنجازات المستقبلية.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة

التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة

الحلول القائمة على المجتمع

الشراكة بين القطاعات

البيانات المفتوحة

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات، وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

مستقبل الأهداف والعمل

التكنولوجيا

الذكاء الاصطناعي

الاتصال المتقدّم

إنترنت الأشياء

الفئة

الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً

تقنية المعلومات والاتصالات

علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة

التعليم

الخدمات المالية والمستثمرون

الخدمات الحكومية

الكلمات الرئيسية

قياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

القدرة المعرفية

النمو الوطني / الذكاء الوطني

رأس المال الاجتماعي

نظام الحسابات الوطنية

أهمية الفرصة

في ظل التدفّق الهائل للمعلومات،[608] تتراجع تدريجياً قدرة الأفراد على التركيز والتفكير النقدي،[609] وبناء علاقات إنسانية عميقة. ومع انخفاض القدرة على التركيز لفترات طويلة،[610] وتنامي دور الذكاء الاصطناعي في تشكيل أنماط التواصل العاطفي،[611] تصبح المجتمعات أكثر عرضة لفقدان قدرتها على التفكير المتعمق،[612] وهو عنصر أساسي لدفع عجلة الابتكار والتقدّم. وتشير مؤشرات أوّلية إلى وجود علاقة سلبية بين الاستخدام المفرط للذكاء الاصطناعي وتراجع مهارات التحليل النقدي لدى الأفراد.[613] في المقابل، تمثل المرونة المعرفية - التي تشمل القدرة على التركيز لفترات أطول، والتفكير النقدي، وبناء العلاقات الإنسانية والحفاظ عليها - عاملاً حاسماً في تحديد قدرة المجتمعات على تطوير حلول فعّالة لمواجهة تحديات المستقبل.

نعم، قد تكون الأفضلية التنافسية في الوقت الراهن لمن يتقن استخدام الذكاء الاصطناعي، لكن في المستقبل، ومع انتشار هذه التقنيات ووصول الجميع إلى مستوى تقني متقارب، فستنتقل الميزة التنافسية من التكنولوجيا نفسها إلى جوهر الإنسان وقدراته المعرفية والإنسانية.[614]

الإيجابيات

قياس القدرة التنافسية المستقبلية للدول؛ وتوجيه الاستثمارات نحو الابتكار ورفع الإنتاجية؛ والكشف المبكر عن فجوات القدرات الابتكارية؛ وتسريع معالجة التحديات وحلّ المشكلات المعقّدة؛ وتعزيز التماسك المجتمعي؛ وتحسين المرونة الاقتصادية.

المخاطر

إهمال الأعمال الحيوية التي لا تعتمد مباشرة على القدرات المعرفية، مثل أعمال الرعاية الحرجة والمهن اليدوية؛ الاعتماد المفرط على الذكاء الاصطناعي كشرط أساسي بدلاً من كونه أداة تمكينية؛ وتنامي ظاهرة التفكير الجماعي.

الوضع الحالي

رغم غياب مؤشر وطني واضح لقياس الإمكانات المعرفية حتى اليوم، فإن تطوير مثل هذا المؤشر يأتي استجابة لتوجه عالمي متصاعد يسعى إلى إعادة تعريف طرق قياس النمو، بعدما أصبح من الواضح أن الاعتماد على الناتج المحلي الإجمالي وحده لا يعكس الصورة الكاملة لتطوّر المجتمعات وجودة الحياة فيها.

فمنذ عام 2009، دعت تقارير دولية صادرة عن فرق خبراء رفيعة المستوى إلى تطوير مؤشرات بديلة لقياس الأداء الاقتصادي والتقدم الاجتماعي،[615] بما يتجاوز الاعتماد على الناتج المحلي الإجمالي،[616] خصوصاً في ظل تحديات عالمية مثل تغيّر المناخ.[617] وفي هذا السياق، قامت شعبة الإحصاءات في الأمم المتحدة في مارس 2025 بتحديث نظام الحسابات الوطنية لأوّل مرة منذ عام 2008. وقد شمل هذا التحديث إدخال أبعاد جديدة مثل جودة الحياة، والاستدامة، والتحوّل الرقمي، إضافة إلى اعتبار البيانات وقواعد البيانات والذكاء الاصطناعي أصولاً قائمة بذاتها.[618] ورغم هذه الخطوات، لا تزال الفجوة واضحة، والسبب هو غياب الرؤية الاستراتيجية طويلة الأمد، ووضع معايير لا تواكب سرعة التغيّر التكنولوجي ولا تلبي احتياجات المجتمعات المتغيّرة.

وانطلاقاً من مخرجات قمة المستقبل للأمم المتحدة لعام 2024، تم تشكيل فريق خبراء رفيع المستوى في مايو 2025 لدراسة مؤشرات بديلة لقياس النمو الوطني بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي. ويركّز هذا الفريق على سبعة مجالات رئيسية تشمل التعليم، والبيئة، والحوكمة، والصحة، وجودة الحياة، ورأس المال الاجتماعي.[619] نشر الفريق الرفيع المستوى من الخبراء تقريره "ما وراء الناتج المحلي الإجمالي" عام 2026، مقترحاً لوحة بيانات متعددة الأبعاد طوعية، تشمل عناصر يمكن أن تُغذّي مقياس الإمكانات المعرفية الوطنية، مع التوصية بإصدار تقرير تقدم أممي سنوي اعتباراً من عام 2027.[620]

تمثل الإمكانات المعرفية امتداداً لرأس المال الاجتماعي، إذ تعكس هذه الإمكانات الثقة بين الأفراد والقيم المشتركة والشبكات الاجتماعية التي تربط المجتمعات ببعضها. وتساعد هذه القدرات الجماعية المجتمعات على التعاون، وحل المشكلات، وتحقيق نتائج ملموسة،[621] وفي مقدّمتها النمو الاقتصادي. وقد أظهرت الدراسات خلال الأربعين عاماً الماضية أن تحسن نتائج الاختبارات في الرياضيات والقراءة والعلوم بمقدار مستوى واحد يرتبط بزيادة قدرها 2% في الناتج المحلي الإجمالي.[622] وتشير الدلائل إلى أن هذه القدرات – التي يشار إليها أحياناً باسم الذكاء الوطني – تمثل عاملاً حاسماً في التنمية الاقتصادية إلى جانب الموارد الطبيعية. وتُعد اليابان مثالاً بارزاً على ذلك.[623] فعلى الرغم من محدودية مواردها الطبيعية، مكّنتها قدراتها المعرفية من أن تصبح ثاني أكبر اقتصاد في العالم عام 2008،[624] ولا تزال حتى عام 2024 من بين أكبر الاقتصادات حيث تحتل المركز الرابع عالمياً.[625]

تتراجع تدريجياً قدرتنا على التركيز والتفكير النقدي مع انخفاض القدرة على التركيز لفترات طويلة وتنامي دور الذكاء الاصطناعي في تشكيل أنماط التواصل العاطفي

تشير الأدلّة إلى أن هذه القدرات المعرفية تُعد عاملاً حاسماً في التنمية الاقتصادية إلى جانب الموارد الطبيعية

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
بناء إطار قياسي

تشكيل تحالف يضم باحثين وخبراء في الأنظمة لوضع إطار يقيس قدرة المجتمع على التفكير والعمل بشكل جماعي، إلى جانب المقاييس الاقتصادية وغير الاقتصادية. كما يهدف الإطار إلى استكشاف مؤشرات لقياس مستوى تواصل الأفراد وتعاونهم وتركيزهم، وقدرتهم على تحقيق تغييرات أو تحوّلات نوعية.

- برامج مسرّعات الأعمال
- جوائز التحديات
- المنح
- المنح المرحلية

اختبار النماذج الأوّلية

تحديد مجموعة العمل المعنية بالبيانات والمصادر المتاحة، بهدف رسم أنماط التعاون والشراكات بين مختلف القطاعات، وقياس جودة الحوارات وسرعة تحويل الأفكار إلى خطوات عملية قابلة للتنفيذ. وكذلك توضيح مدى تكامل هذه المؤشرات مع مقاييس الإنتاجية والمؤشرات الاقتصادية، واختبار فاعليتها عملياً على أرض الواقع.

- المنح المُدمَجة
- المنح

التحقّق العملي

تجربة الإطار الجديد في مدن ودول مختلفة، وتحليل الرؤى المستخلصة منه، مع مشاركة النتائج بشكل فوري. ويشمل ذلك أيضاً اختبار قدرة المؤشرات على التنبؤ بالازدهار والنمو المستقبلي، وتحديد الدول الأكثر قدرة على الابتكار والتكيّف بفعالية.

- عقود الخدمات
- المنح
- القروض

1 2026 جديد

المستقبل المنشود
إرساء معيار عالمي

اعتراف المؤسسات الدولية رسمياً بالإمكانات المعرفية إلى جانب المقاييس الاقتصادية والإنتاجية التقليدية ضمن التقارير الوطنية، وقيام الأسواق المالية بدمج كلا النوعين من المؤشرات في تقييماتها للدول. ويتطلب ذلك إعادة توجيه السياسات العامة نحو تعزيز القدرة الجماعية على التفكير، باعتبارها استراتيجية أساسية لتحقيق التنمية المستدامة.

- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

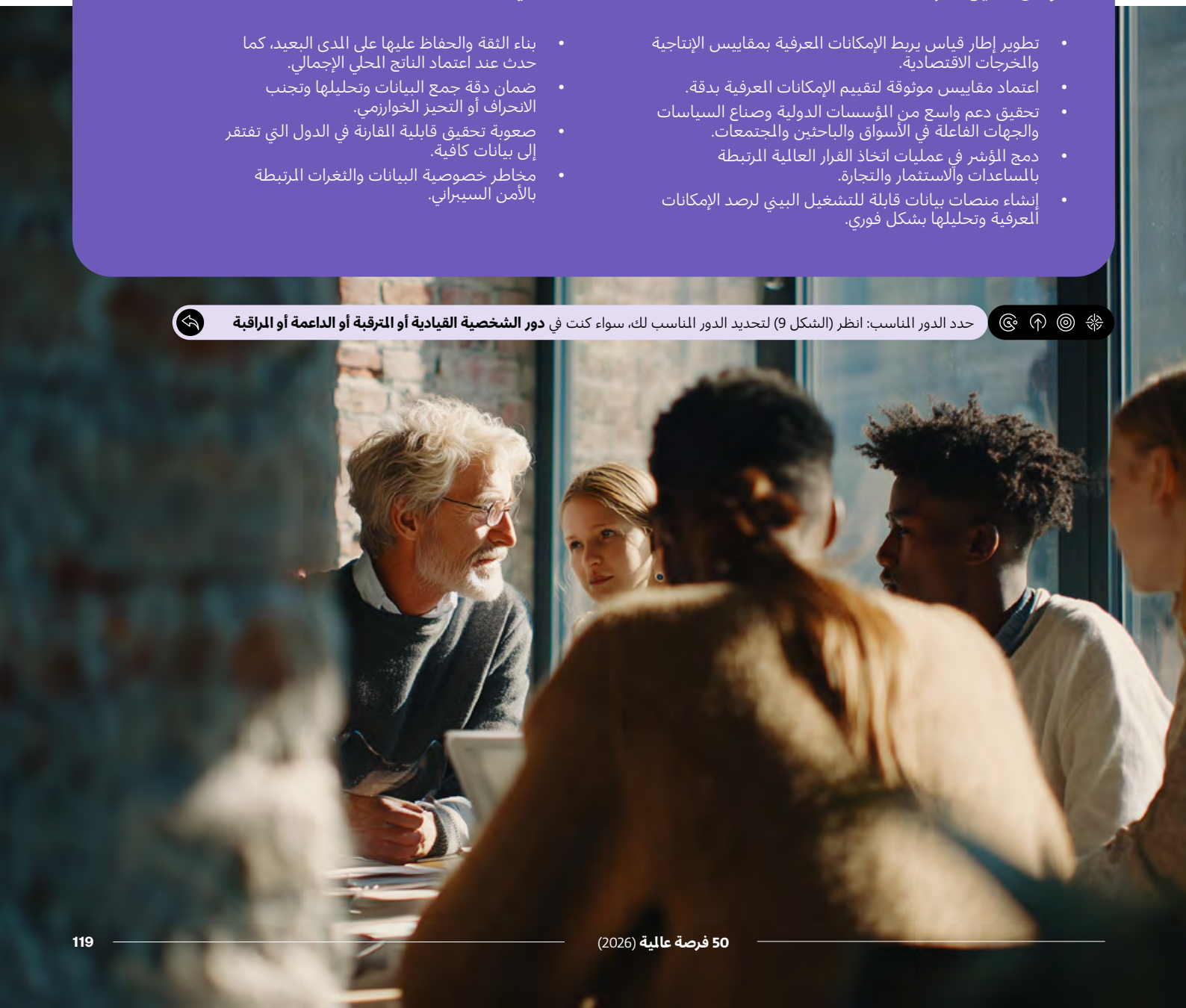
تزداد أهمية التعلم المستمر وحل المشكلات في سوق العمل، بالتوازي مع الحفاظ على مستويات عالية من الإنتاجية. وعندما تتراجع قدرة المجتمعات على الابتكار أو التعاون بفعالية، يتحوّل ذلك إلى تحدٍ اقتصادي وطني. لذلك يُنظر إلى التعليم والتعاون باعتبارهما جزءاً من البنية التحتية الأساسية للدول، ويبدأ المستثمرون وصناع السياسات في متابعة مؤشرات الذكاء الجماعي إلى جانب المؤشرات الاقتصادية التقليدية. وفي هذا السياق، يعتمد النجاح الاقتصادي مستقبلاً على قدرة المجتمعات على التعلم والابتكار والتعامل مع التحديات بشكل جماعي، وليس فقط على تبني التكنولوجيا. كما ترتكز القدرة التنافسية المستقبلية على تطوير مهارات حل المشكلات المشتركة بالتوازي مع قياس الإنتاجية والإبلاغ عنها.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير إطار قياس يربط الإمكانات المعرفية بمقاييس الإنتاجية والمخرجات الاقتصادية.
- اعتماد مقاييس موثوقة لتقييم الإمكانات المعرفية بدقة.
- تحقيق دعم واسع من المؤسسات الدولية وصناع السياسات والجهات الفاعلة في الأسواق والباحثين والمجتمعات.
- دمج المؤشر في عمليات اتخاذ القرار العالمية المرتبطة بالمساعدات والاستثمار والتجارة.
- إنشاء منصات بيانات قابلة للتشغيل البيني لرصد الإمكانات المعرفية وتحليلها بشكل فوري.

التحديات

- بناء الثقة والحفاظ عليها على المدى البعيد، كما حدث عند اعتماد الناتج المحلي الإجمالي.
- ضمان دقة جمع البيانات وتحليلها وتجنب الانحراف أو التحيز الخوارزمي.
- صعوبة تحقيق قابلية المقارنة في الدول التي تفتقر إلى بيانات كافية.
- مخاطر خصوصية البيانات والثغرات المرتبطة بالأمن السيبراني.



حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

الإطار المرجعي 2

استكشاف أسواق جديدة

يركّز هذا الإطار على الفرص التي تتيح تحصيل القيمة من خلال استكشاف أسواق جديدة أو التوسّع في الأسواق القائمة، استجابةً للاحتياجات المتسارعة والمتغيّرة في عالمنا اليوم.

أبرز الرؤى[ل] المتعلقة بالفرص ضمن هذا الإطار

1

تسارع الفرص في مجالي الصحة والتغذية
يحمل أكثر من ربع الفرص الواردة ضمن هذا الإطار (27%) إمكانات واعدة في مجالي الصحة المتقدّمة والتغذية، ما يرسّخ هذين المجالين كمحرّكين رئيسيين للنمو في المرحلة المقبلة. ويستند هذا الزخم إلى التقدّم المتسارع في الذكاء الاصطناعي، وعلم الجينوم، والتقنيات الصحية المتقدمة. غير أن التحوّل الأعمق لا يكمن في التقنية ذاتها، بل في إعادة تعريف الهدف: من التركيز على علاج المرض بعد وقوعه، إلى بناء منظومات تعزّز جودة الحياة، وتدعم الوقاية، وتمكّن من إطالة العمر الصحي. كما يتجلى التحوّل في الانتقال من الحلول العامة إلى الطب الدقيق والتدخّلات الشخصية التي تراعي الخصائص البيولوجية والسلوكية لكل فرد.

2

تعزيز الابتكار كوسيلة لاستكشاف أسواق جديدة
تشير 11 فرصة من أصل 29 ضمن هذا الإطار إلى أن الابتكار هو الاتجاه الأبرز مقارنة بغيره من الاتجاهات. ولا يقتصر دوره على تطوير منتجات أو خدمات جديدة، بل يمتد إلى إعادة تشكيل الأسواق ذاتها، وفتح مجالات لم تكن قائمة سابقاً. وتبرز في هذا السياق فرص تستهدف تقليص فجوات عدم المساواة، عبر توظيف الابتكار بطريقة تتكيّف مع السياقات المحلية وتستجيب لاحتياجات المجتمعات المتنوعة.

3

التكنولوجيا كمتغيّر غامض ومحرّك رئيسي لاستكشاف أسواق جديدة
تُصنَّف التكنولوجيا في أكثر من 86% من هذه الفرص كأحد المتغيرات الغامضة، مع حضور طاغٍ لتقنيات الذكاء الاصطناعي. ويعكس ذلك طبيعتها المزدوجة: فهي في آنٍ واحد أداة تمكين رئيسية، وعامل عدم يقين قد يعيد تشكيل مسارات التطوّر. وعلى المدى البعيد، لا يتمحور السؤال حول قدرة التكنولوجيا على التقدّم، بل حول كيفية تصميمها وتوجيهها وحوكمتها بما يضمن أن تسهم في تحسين جودة الحياة، وتحقيق قيمة مستدامة، لا في تعميق الفجوات أو خلق مخاطر جديدة.

ل تعتمد هذه الرؤى على تحليل 200 فرصة تم عرضها في الإصدارات السابقة من تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالية"، وتهدف إلى تقديم معلومات وإرشادات عامة، دون أن تكون شاملة لكل الاحتمالات. وبحكم طبيعتها، قد تنطبق هذه الرؤى على بعض السياقات، لكنها قد لا تكون مناسبة لجميعها.

التوجهات العالمية الكبرى | المتغيرات الغامضة | الاتجاهات السائدة | التكنولوجيا

40 2023 متوسّط المدى

محطات الطاقة الفضائية

ماذا لو نقلنا مجمّعات إنتاج الطاقة الشمسية إلى الفضاء؟

تطوّر تقنيات الطاقة

الطبيعة | التكنولوجيا

تحوّل قطاع الطاقة | التعاون الدولي

مستقبل المواد الخام | مستقبل الفضاء

صافي الانبعاثات الصفري | الذكاء الاصطناعي

الخلايا الشمسية | تقنيات الفضاء

48 2023 بعيد المدى

تخزين الطاقة في الفضاء

ماذا لو قمنا بتخزين احتياطيات هائلة من الطاقة في الفضاء الخارجي؟

تطوّر تقنيات الطاقة

التعاون | التكنولوجيا

تحوّل قطاع الطاقة | التعاون الدولي

تحفيز الابتكار | مستقبل الفضاء

صافي الانبعاثات الصفري | الذكاء الاصطناعي

تقنيات البطاريات | تقنيات الفضاء

2 2024 متوسّط المدى

ملابس للعناية بالصحة

هل ستمدّنا ملابسنا بالمغذيات التي نحتاج إليها تلقائياً في المستقبل؟

تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية

الأنظمة | التكنولوجيا

العمر المديد والحيوية | المواد الحيوية

تحفيز الابتكار | طب النانو

الطب الشخصي | المواد الحيوية

تكنولوجيا النانو | تقنيات الاستشعار

9 2024 متوسّط المدى

موارد بحرية جديدة

ماذا لو أسهمت المحيطات في تطوير قطاعيّ الدواء والغذاء؟

تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية

الطبيعة | التكنولوجيا

الابتكار في مجال الغذاء | المواد الحيوية

التقنية الحيوية | الاقتصاد الأزرق

التعاون الدولي | الروبوتات

الذكاء الاصطناعي | التقنية الحيوية

15 2024 متوسّط المدى

مياه شرب نقية إلى الأبد

هل ستتمكّن البشرية من تأمين المياه الصالحة للشرب حول العالم وللجميع؟

ثورة المواد

الطبيعة | التكنولوجيا

سلسلة الغذاء والماء والطاقة

المواد الحيوية

مادة الغرافين | تحفيز الابتكار

تكنولوجيا النانو | المواد النانوية

التصنيع المتقدم | تكنولوجيا النانو

40 2023

ماذا لو نقلنا مجمّعات إنتاج الطاقة الشمسية إلى الفضاء؟

محطات الطاقة الفضائية

إنشاء مجمّعات للألواح الشمسية العائمة في الفضاء وتشغيلها بواسطة ذكاء آلي متقدّم يضمن اختيار الموقع والمدار الأمثلين، بما يتيح إنتاج طاقة متجدّدة على مدار الساعة ونقلها إلى الأرض بشكلٍ موثوق.

التأثير

قريب المدى	متوسّط المدى	بعيد المدى
	جديد	2023

التوجهات العالمية الكبرى
تطوّر تقنيات الطاقة

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة
مستقبل الفضاء
تحوّل قطاع الطاقة
مستقبل المواد الخام
التعاون الدولي
صافي الانبعاثات الصفري

التكنولوجيا
تقنيات الفضاء
الخلايا الشمسية
الذكاء الاصطناعي

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
السيارات والفضاء والطيران
تقنية المعلومات والاتصالات
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
البنية التحتية والبناء

الكلمات الرئيسية
المزارع والألواح الشمسية المدارية
الطاقة المتجدّدة
الحطام الفضائي
الطاقة الشمسية الفضائية
نقل الطاقة لاسلكياً

أهمية الفرصة

رغم أن أكثر من 160 ألف تيراواط ساعة من الطاقة الشمسية تصل إلى الأرض في كل ساعة[626]—أي بما يتجاوز إجمالي استهلاك البشر للطاقة خلال عام كامل[627]—لا يزال قرابة 655 مليون شخص يعيشون من دون كهرباء، 85% في إفريقيا جنوب الصحراء[628] ومع توقّع وصول عدد سكان العالم إلى 9.7 مليار نسمة بحلول عام 2050، من المتوقع أن يتضاعف الاقتصاد العالمي، وكذلك سيتضاعف الطلب على الطاقة.[629] وفي الوقت ذاته، شهدت الطاقة الشمسية الأرضية انخفاضاً حاداً في التكلفة منذ ابتكار تقنيات الألواح الشمسية، إذ تراجعت من 4.50 دولار لكل واط في عام 1975 إلى ما يقارب 0.20 دولار لكل واط في عام 2024.[630] ويعود جزء كبير من هذا الانخفاض إلى توسّع الصين في تصنيع الألواح الشمسية، حيث تجاوزت حصتها في جميع مراحل التصنيع 80% في نهاية عام 2021،[631] كما تخطّت قيمة صادراتها في هذا المجال 30 مليار دولار، وهي هيمنة تواصل اتساعها رغم استمرار انخفاض الأسعار.[632]

الإيجابيات

تدفّق مستمر للطاقة النظيفة على مستوى العالم، مع القدرة على تلبية متطلبات الطاقة في المناطق النائية أو خارج نطاق الشبكات التقليدية، ودعم استقرار الإمدادات في أوقات الذروة والطوارئ.

المخاطر

صعوبة إدارة مرافق الطاقة خارج الأرض وحمايتها من الأضرار العرضية التي قد يسببها الحطام الفضائي أو الأجسام القريبة، إضافة إلى مخاطر الأضرار المتعمّدة التي قد تؤدي إلى تعطّل الإمداد أو انقطاعه، وما يرافق ذلك من تبعات تشغيلية وأمنية واسعة.

شهدت تكاليف الإطلاق
انخفاضاً ملحوظاً
عام 2010

من 20 ألف دولار لكل كيلوغرام
ما بين عامي 1970 و2000

إلى حوالي 1,400 دولار
لكل كيلوغرام في عام 2018

الوضع الحالي

أجرت وكالات الفضاء الرائدة، مثل وكالة ناسا، والوكالة الفضائية الوطنية في اليابان (جاكسا)، دراسات مكثّفة على مدى عقود حول محطات الطاقة الشمسية الفضائية. واليوم، يزداد الاهتمام بهذه التقنية بشكل واضح مدفوعاً بعاملين رئيسيين. يتمثّل العامل الأوّل في التقدّم التقني الكبير وتحسّن الجدوى الاقتصادية للابتكارات الفضائية، ما جعل تطوير محطات الطاقة الشمسية الفضائية أكثر قابلية للتنفيذ. أمّا العامل الثاني، فيعود إلى الحاجة العالمية المتزايدة إلى مصادر طاقة قوية ومستدامة لمواجهة تحديات أمن الطاقة، والتغيّر المناخي، والالتزامات البيئية، الأمر الذي وضع الطاقة الشمسية الفضائية في مقدّمة الحلول الابتكارية التي يتطلّع إليها العالم اليوم.

وشهد عام 2023 محطة مهمة حين قدّم معهد كاليفورنيا للتقنية نموذجاً أولياً ونجح في نقل الطاقة الشمسية لاسلكياً من الفضاء إلى الأرض لأول مرة.[633] ورغم انتهاء هذه التجربة في عام 2024، إلا أنها مثّلت برهاناً عملياً على قابلية تطبيق الفكرة، وفتحت الباب أمام تطوير خلايا شمسية فضائية أكثر كفاءة وأقل تكلفة للاستخدام المداري.[634]

كما أسهم التطوّر في تقنيات إطلاق الصواريخ في تعزيز جدوى هذه التقنية من الناحية الاقتصادية. فمنذ عام 2010، شهدت تكاليف الإطلاق انخفاضاً ملحوظاً بفضل ظهور الصواريخ القابلة لإعادة الاستخدام، مثل صاروخ "فالكون هيفي" (Falcon Heavy) من شركة "سبيس إكس" (SpaceX). فبعد أن ظلت تكاليف الإطلاق مرتفعة ومستقرة نسبياً على مدار عقود طويلة، انخفضت من نحو 20 ألف دولار لكل كيلوغرام خلال الفترة ما بين عامي 1970 و2000 إلى حوالي 1,400 دولار لكل كيلوغرام في عام 2018، ممّا أسهم في إزالة أحد أكبر العوائق أمام تطوير الطاقة الشمسية الفضائية.[635]

ومع تزايد المنافسة بين شركات القطاع الخاص واستمرار التقدّم التكنولوجي، من المتوقّع أن تواصل تكاليف الإطلاق انخفاضها خلال السنوات المقبلة، حيث قد تصل تكلفة إطلاق صاروخ "فالكون هيفي" من شركة "سبيس إكس" إلى نحو 1,000 دولار فقط للكيلوغرام الواحد.[636]

2023
أول نموذج ناجح
للطاقة الشمسية الفضائية تمكّن من نقل الطاقة لاسلكياً من الفضاء إلى الأرض لأول مرة

ورغم انتهاء هذه التجربة في عام 2024، إلا أنها أثبتت قابلية تطبيق الفكرة، وفتحت الباب أمام تطوير خلايا شمسية فضائية أكثر كفاءة وأقل تكلفة للاستخدام الفضائي

الحاجة العالمية المتزايدة إلى مصادر طاقة
قوية ومستدامة لمواجهة تحديات أمن
الطاقة، والتغيّر المناخي، والالتزامات البيئية،
وضع الطاقة الشمسية الفضائية
في مقدّمة الحلول الابتكارية التي
يتطلّع إليها العالم اليوم.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي

تنفيذ أنشطة البحث والتطوير والعرض التجريبي

استمرار البرامج الوطنية للطاقة الشمسية الفضائية وشركات القطاع الخاص في تنفيذ أنشطة البحث والتطوير واختبار التقنيات، مع تحديد القيود الحالية، ورصد الفجوات التقنية والقانونية والبيئية التي تؤثر في الجدوى التجارية لهذه الأنظمة.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

إنشاء محطات طاقة شمسية فضائية تجريبية

إنشاء محطات طاقة شمسية فضائية تجريبية، مع توثيق المتطلبات التنظيمية والتقنية اللازمة لتركيب وإدارة منصات الطاقة الشمسية الفضائية المعيارية. ويتضمن ذلك وضع قواعد نقل الطاقة، وبروتوكولات إدارة المدارات، وتحديد متطلبات الذكاء الآلي المتقدّم، وذلك بالتنسيق الكامل بين الجهات الوطنية الرئيسية.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- صناديق رأس المال الاستثماري

إنشاء محطات طاقة شمسية فضائية بقدرات ميجاواط

إنشاء محطات طاقة شمسية فضائية تجريبية، وتشغيل أنظمة مدارية بقدرات ميجاواط في ظروف واقعية، بهدف اختبار موثوقية نقل الطاقة، ودقة توجيهها نحو الأرض، وتحليل نماذج الأعطال، وضمان الامتثال للقوانين واللوائح التنظيمية.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- المنح القابلة للتحويل
- القروض
- عقود الخدمات

2023 **40**

المستقبل المنشود

إنشاء محطات طاقة شمسية فضائية بقدرات جيجاواط

تركيب محطات طاقة شمسية فضائية واسعة النطاق بقدرات تصل إلى مستوى الجيجاواط، مع نقل الطاقة إلى الشبكات الأرضية، بما يسمح بتوفير ما يصل إلى 90% من إجمالي توليد الطاقة عبر مصادر تعتمد بالكامل على الطاقة الشمسية الفضائية.

- صناديق التوسّع
- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

تسهم محطات الطاقة الشمسية الفضائية في تمكين الدول من تحقيق أهداف صافي الانبعاثات الصفري، ودعم جهود إزالة الكربون على نطاق عالمي. ورغم التقدم الكبير في الطاقة المتجددة الأرضية، لا تزال تواجه تحديات تتعلق بانقطاع الإمداد والحاجة إلى مساحات شاسعة وتكاليف تخزين مرتفعة. وفي هذا السياق، تبرز الطاقة الشمسية الفضائية بوصفها خياراً يضيف "طبقة استقرار" إلى منظومة الطاقة المتجددة، ويعزز الاعتماد عليها على نطاق واسع، بما يدعم التحول نحو أنظمة طاقة أكثر استدامة ومرونة

عوامل تمكين الفرصة

- الوصول إلى اتفاق عالمي حول آليات فعّالة لإدارة الزيادة المتنامية في الحطام الفضائي.
- توفير استثمارات رأسمالية كبيرة لتمويل مراحل الاختبار والاعتماد الأوّلي لمحطات الطاقة الفضائية.
- تطوير آليات متقدّمة للتجميع والصيانة الروبوتية داخل الفضاء.
- عقد اتفاقية دولية لتخصيص تردّدات محدّدة لنقل الطاقة، لتجنّب أي تداخل مع أنظمة الاتصالات.
- نموذج فعال من حيث التكلفة لتشغيل والحفاظ على التكنولوجيا

التحديات

- استمرار ارتفاع تكاليف الإطلاق والتقنيات المتخصّصة، ما يحد من الجدوى التجارية في المدى القريب.
- صعوبة إثبات كفاءة التجميع والصيانة الروبوتية داخل الفضاء بتكاليف مدروسة.
- استمرار مشكلة الحطام الفضائي كتحدٍّ تشغيلي وأمني، رغم التوافقات والاتفاقيات الدولية القائمة.
- تأمين الأمن السيبراني
- بناء الثقة العامة بأن الطاقة الشمسية القائمة على الفضاء موثوقة

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

48 2023

ماذا لو قمنا بتخزين احتياطيات هائلة من الطاقة في الفضاء الخارجي؟

تخزين الطاقة في الفضاء

قد يتحوّل الفضاء إلى موقع استراتيجي لتخزين الطاقة على نطاق واسع، من خلال شبكات من المكثّفات الفائقة المدارية القادرة على تخزين الطاقة ونقلها إلى الأرض لتلبية الاحتياجات المتزايدة للبشرية على الكوكب وفي الفضاء على حد سواء.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى
تطوّر تقنيات الطاقة

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، التعاون

الاتجاهات السائدة
مستقبل الفضاء
التعاون الدولي
تحفيز الابتكار
صافي الانبعاثات الصفري
تحوّل قطاع الطاقة

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
تقنيات الفضاء
تقنيات البطاريات

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
السيارات، والفضاء، والطيران
علم البيانات، والذكاء الاصطناعي، وتعلّم الآلة
الطاقة، والنفط والغاز، والطاقة المتجدّدة
التصنيع
المواد والتقنيات الحيوية

الكلمات الرئيسية
تخزين الطاقة
التصنيع داخل الفضاء
المكثّفات الفائقة المدارية
نقل الطاقة
أنظمة الطاقة الفضائية

أهمية الفرصة

من المتوقّع أن يتضاعف الاستهلاك العالمي للطاقة بحلول 2050 مقارنةً بمستويات 2023؛ مدفوعاً بالنمو السكاني، والتوسّع العمراني، وتسارع النشاط الصناعي عالمياً. وتشير التقديرات إلى أنّ مراكز البيانات في الولايات المتحدة وحدها قد تستحوذ على أكثر من 40% من هذا النمو في الطلب على الطاقة.[637]

في المقابل، يُتوقع أن ينمو اقتصاد الفضاء بوتيرة متسارعة ليصل إلى نحو 1.8 تريليون دولار بحلول عام 2035، مقارنةً بنحو 630 مليار دولار في عام 2023. [638] ويعتمد هذا النمو بشكل متزايد على تقنيات التصنيع داخل الفضاء، بما في ذلك الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج الأدوات وإصلاح المعدات وإعادة تدوير المواد في المدار.[639]

وتستند إمكانات الطاقة الشمسية الفضائية إلى القدرة على تركيب منظومات أقمار صناعية ضخمة وصيانتها في المدار.[640] فعلى سبيل المثال، تتجاوز مساحة الألواح الشمسية في التصميم المرجعي الأوّل (RD1) لمشروعات الطاقة الشمسية الفضائية التابع لوكالة ناسا 11.5 كيلومتراً مربعاً، أي ما يعادل نحو 3,000 ضعف مساحة محطة الفضاء الدولية.[641]

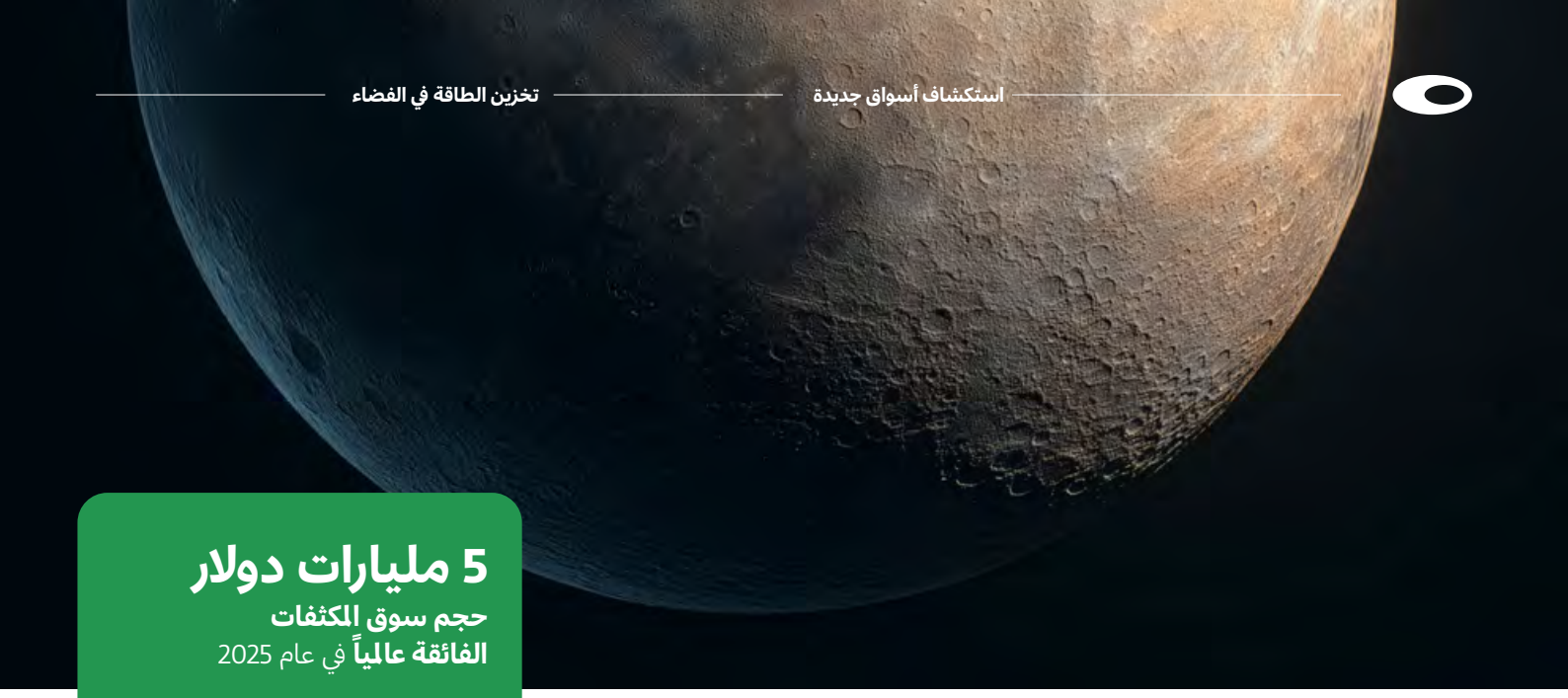
الإيجابيات

يمكن أن يسهم تخزين الطاقة في الفضاء في تحسين الوصول العالمي إلى الطاقة، ودعم الأنشطة الفضائية طويلة الأمد، بما يعزز النمو المستدام.

المخاطر

تتعرّض مرافق توليد الطاقة الفضائية وشبكات الكثّفات المدارية لأضرار نتيجة الأنشطة المدارية المختلفة، ما قد يترتب عليه تكاليف صيانة مرتفعة ومخاطر تشغيلية معقّدة.

يُتوقع أن ينمو اقتصاد الفضاء بوتيرة متسارعة ليصل إلى نحو **1.8 تريليون دولار بحلول عام 2035**



الوضع الحالي

المكثفات الفائقة هي أجهزة تخزين طاقة متطورة ذات سعة فائقة، وتجمع بين خصائص المكثفات التقليدية والبطاريات، إذ توفر قدرة عالية وعُمراً تشغيلياً طويلاً،[642] مع اعتمادها على التخزين الكهربي للطاقة. وتمتاز بسرعات شحن وتفريغ فائقة، حيث تفوق البطاريات التقليدية بنحو عشر مرات في هذا الجانب. ففي حين يمكن شحن المكثّفات الفائقة خلال فترة تتراوح بين 0.3 و30 ثانية، تحتاج البطاريات التقليدية من ساعة واحدة إلى خمس ساعات للوصول إلى مستوى شحن مماثل.[643]

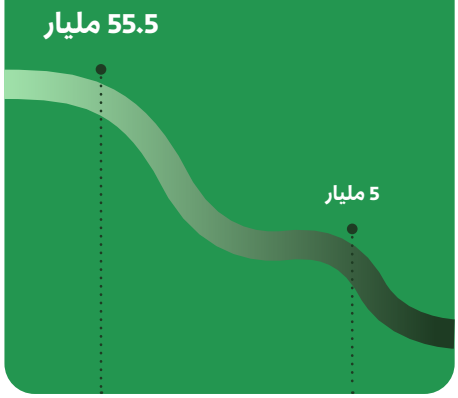
بلغ حجم سوق المكثّفات الفائقة عالمياً نحو 5.5 مليارات دولار في عام 2025، بمعدل نمو سنوي مركّب يقارب 26%، ومن المتوقّع أن يصل إلى 55.5 مليار دولار بحلول عام 2035.[644] ويعود هذا النمو إلى التوسّع في الطاقة المتجدّدة، والمركبات الكهربائية، وأجهزة إنترنت الأشياء، إضافة إلى دورها الحيوي في استقرار الجهد الكهربائي ومعالجة الأحمال المفاجئة في الشبكات.[645]

وقد استُخدمت المكثّفات الفائقة في تطبيقات فضائية فعلية، لتخزين الطاقة وتوجيهها عند الطلب، أو لتوفير مصدر طاقة موثوق في محطات الفضاء وبعثات الاستكشاف. ومن الأمثلة البارزة مشروع قادته وكالة الفضاء الأوروبية بالتعاون مع شركة إيرباص للدفاع والفضاء (Airbus Defence and Space)، لتطوير مكثّف فائق قادر على تزويد المهام الفضائية بدفعات طاقة عالية عند الحاجة،[646] بما في ذلك تشغيل أنظمة رادار عالية القدرة وضمان استقرار الإمدادات خلال فترات الكسوف الشمسي، مع ما تتميز به من القدرة على تحمّل الظروف الحرارية القاسية في الفضاء، وبمستوى أمان أعلى مقارنة ببطاريات الليثيوم، نظراً لكونها غير قابلة للاشتعال أو الانفجار، وقابلة لإعادة التدوير بالكامل.[647]

ورغم هذا التطوّر، لا تزال المكثّفات الفائقة تواجه تحديات تتعلق بسعة التخزين طويلة الأمد مقارنة بالبطاريات التقليدية. فهي تتفوّق في سرعة الشحن، لكنها لم تصل بعد إلى مستويات التخزين الضخمة التي توفرها البطاريات العادية.[648] ومع ذلك، أظهرت تطوّرات حديثة ضمن برنامج أبحاث الابتكار للشركات الصغيرة التابع لوكالة ناسا (2022–2024) تقدّماً في تطوير مكثّفات فائقة من ألياف الكربون، تتيح دمج التخزين مباشرة في هياكل المركبات الفضائية.[649]

5 مليارات دولار
حجم سوق المكثفات الفائقة عالمياً في عام 2025

55.5 مليار دولار
حجم السوق المتوقع
بحلول عام 2035



مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي

استخدام محدود لأنظمة تخزين الطاقة الفضائية حسب متطلبات المهمة

عملت فرق متعدّدة التخصصات، تضم مؤسسات البحث والتطوير، وشركاء من القطاع الخاص، وعلماء المواد، على تطوير تقنيات المكثّفات الفائقة القادرة على تحمّل ظروف الفضاء، مع الحفاظ على فعاليتها كوسيلة لتخزين الطاقة، بالإضافة إلى تطوير أجهزة استشعار مدعومة بالذكاء الاصطناعي ومواد مبتكرة لضمان فعالية أنظمة تخزين الطاقة.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

الاستخدام التجريبي لأنظمة تخزين الطاقة الفضائية

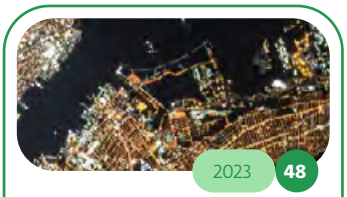
بناء واختبار نماذج أوّلية لمكثّفات فائقة مدارية في بيئات انعدام الجاذبية، وتطوير أطر حوكمة واضحة، ومتطلبات تقنية، وبروتوكولات سلامة معتمدة، من خلال تعاون وكالات الفضاء والجهات التنظيمية وائتلاف من المنظمات الدولية، بالإضافة إلى تحديد مسارات التكامل مع أنظمة الطاقة الشمسية الفضائية، ومحطات الفضاء، والقواعد الفضائية.

- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- عقود الخدمات

الاستخدام التجريبي للمكثّفات

اختبار واعتماد مكثّفات فائقة مدارية في بيئات الفضاء الحقيقية، تمهيداً لتوسيع استخدامها عالمياً في نقل الطاقة إلى القواعد القمرية ومحطات الفضاء.

- القروض
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق رأس المال الاستثماري



2023 — 48

المستقبل المنشود

اعتماد أنظمة تخزين الطاقة الفضائية بشكل كامل

تحقيق الاعتماد الكامل والشامل على المكثّفات الفائقة ضمن الأنظمة المدارية، بحيث تُستخدم شبكات الطاقة الفضائية لنقل الكهرباء عند الطلب إلى القواعد القمرية والمحطات والمركبات الفضائية، بما يدعم أنشطة فضائية مستدامة وبعيدة المدى.

- صناديق رأس المال الاستثماري
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

تتيح أنظمة تخزين الطاقة الفضائية تجاوز القيود التقليدية للأنظمة الأرضية والبطاريات، وتوفير طاقة نظيفة وموثوقة لتشغيل القواعد القمرية والمحطات المدارية بكفاءة عالية. كما تمثل ركيزة أساسية لعمليات التصنيع داخل الفضاء، وتمهّد الطريق لمشروعات كبرى مثل الطاقة الشمسية الفضائية. كما تشكّل شبكات المكثّفات الفائقة المدارية مجالاً واعداً للابتكار، مع إمكانات لقيادة موجة جديدة من التطوّر في قطاع الطاقة الفضائية.

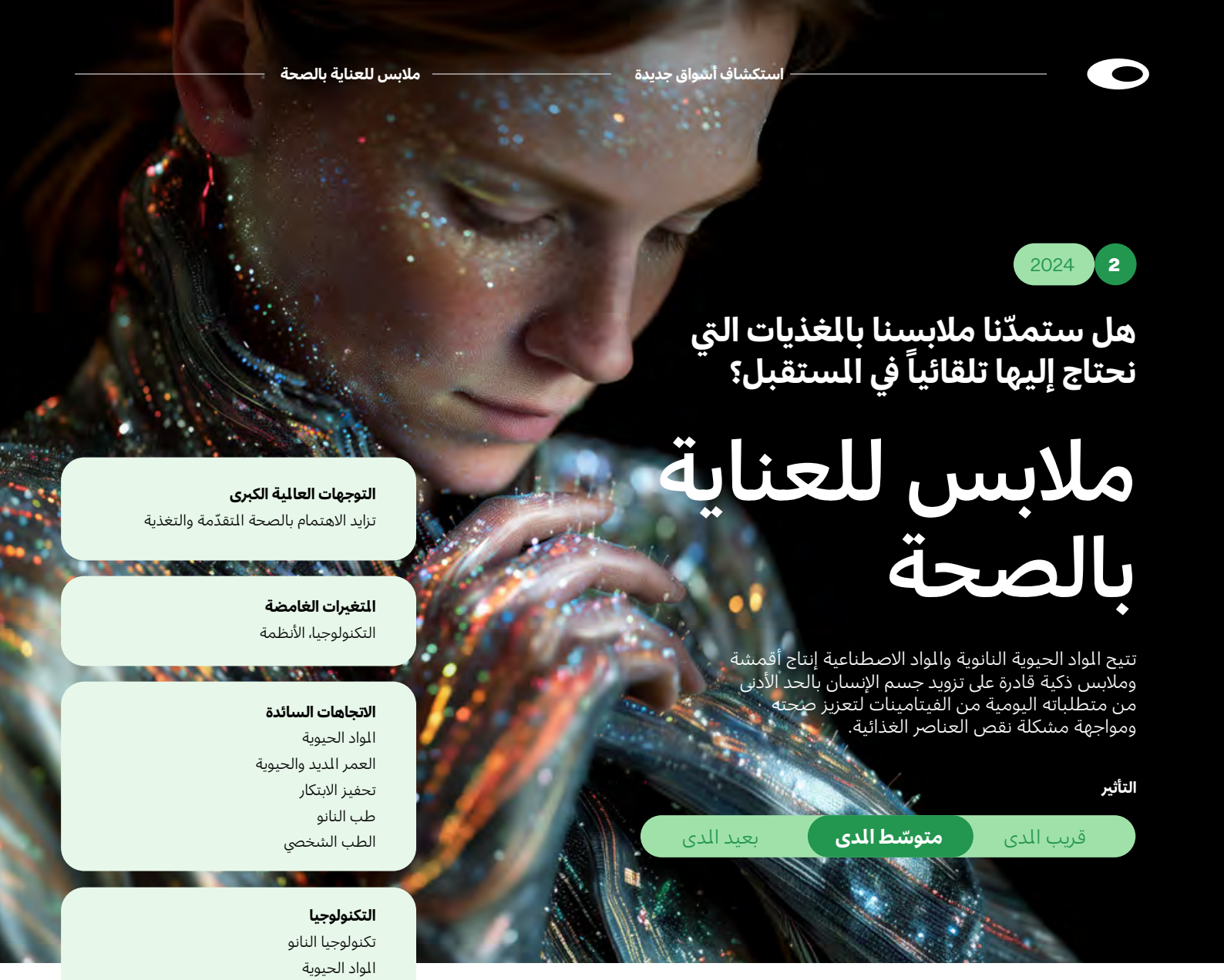
عوامل تمكين الفرصة

- التقدم في تطوير مواد المكثّفات الفائقة التي تتميّز بخفة الوزن ومقاومة الإشعاع، وتحمّل البيئة القاسية في الفضاء.
- تطوير أنظمة ذكاء اصطناعي قادرة على التجميع الذاتي وصيانة شبكات الطاقة في المدار، مدعومة بأجهزة استشعار ذكية.
- وضع أطر قانونية واتفاقيات دولية لتنظيم إنتاج الطاقة الشمسية الفضائية وتوزيعها بشكل عادلٍ ومستدام.
- توفير رأسمال كبير لتمويل أبحاث المواد، ودعم بناء وتطوير أنظمة الطاقة الفضائية.
- إدارة الحطام الفضائي بفعالية، عبر تصميم مكثّفات آمنة، ووضع خطط استجابة سريعة وفعّالة لحالات الطوارئ.

التحديات

- ضمان نقل الطاقة في الفضاء بطريقة آمنة لا تتداخل مع أنظمة الاتصالات الأرضية.
- خفض التكاليف المرتبطة بإطلاق المعدات وتصنيعها داخل الفضاء.
- منع احتكار البنية التحتية من قبل عدد محدود من الجهات.
- تطوير نظام موثوق ومستقر لنقل الطاقة بين المحطات المدارية والمركبات الفضائية والقواعد القمرية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**



2 2024

هل ستمدّنا ملابسنا بالمغذيات التي نحتاج إليها تلقائياً في المستقبل؟

ملابس للعناية بالصحة

تتيح المواد الحيوية النانوية والمواد الاصطناعية إنتاج أقمشة وملابس ذكية قادرة على تزويد جسم الإنسان بالحد الأدنى من متطلباته اليومية من الفيتامينات لتعزيز صحته ومواجهة مشكلة نقص العناصر الغذائية.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
المواد الحيوية
العمر المديد والحيوية
تحفيز الابتكار
طب النانو
الطب الشخصي

التكنولوجيا
تكنولوجيا النانو
المواد الحيوية
تقنيات الاستشعار

الفئة
الصحة

القطاعات الأكثر تأثّراً
التصنيع
المواد الكيميائية والبتروكيماويات
السلع الاستهلاكية والخدمات والبيع بالتجزئة
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الصحة والرعاية الصحية

الكلمات الرئيسية
المواد الحيوية
الجيل القادم من الأجهزة القابلة للارتداء
التغذية/ سوء التغذية
الأقمشة الذكية
المنسوجات

أهمية الفرصة

رغم أن الفيتامينات عنصر أساسي في النمو السليم والوقاية من الأمراض،[650] لا يزال نقصها مشكلة صحية واسعة الانتشار في العديد من دول العالم. فعلى سبيل المثال، يعاني نحو مليار شخص من نقص فيتامين "د"،[651] حتى في دول تتمتع بطقس مشمس.[652] ويؤدي النقص في الحديد والفولات وفيتاميني "ب 12 " و"أ" إلى مشكلات صحية خطيرة، أبرزها فقر الدم الذي يؤثر على حوالي 42% من الأطفال دون سن الخامسة و40% من النساء الحوامل عالمياً،[653] في حين يُعتبر نقص الفيتامين" أ" من الأسباب الرئيسية لعمى الأطفال (الذي يمكن الوقاية منه)، كما يزيد من خطر الإصابة بالتهابات شديدة تسبّب الإسهال أو الحصبة، إلى جانب أمراض أخرى.[654]

الإيجابيات

توفر الأقمشة المصمّمة لإيصال الفيتامينات والمعادن حلاً قابلاً للتطبيق على نطاق واسع، خاصة للأفراد الذين يواجهون تحديات غذائية أو يعانون من حالات صحية معيّنة. ويمكن أن تسهم هذه التقنية في الوقاية من النقص الحاد في العناصر الدقيقة، وتقليل المضاعفات المرتبطة به.

المخاطر

عدم ثبوت فعالية هذه التكنولوجيا بشكل قاطع بعد. فقد تتحلّل الفيتامينات بمرور الوقت خاصة مع الغسيل المتكرّر للأقمشة. كما قد يؤدي أي خلل في تقنيات الاستشعار أو أنظمة الإطلاق إلى تراكم غير ضروري لبعض العناصر.

الوضع الحالي

تُستخدم تكنولوجيا النانو اليوم على نطاق واسع في صناعة المنسوجات لتحسين خصائصها الوظيفية، إذ تمنح الأقمشة مقاومة للماء والبقع والميكروبات، وتوفر حماية من الأشعة فوق البنفسجية،[655] وتعزّز متانتها. كما ظهرت أقمشة ذكية قادرة على مراقبة بعض المؤشرات الصحية، مثل معدل ضربات القلب ومكوّنات العرق، مع إمكانية إضافة خصائص وظيفية متقدمة إلى سطحها.[656] ومع ذلك، لا تزال الأقمشة القادرة على إطلاق عناصر غذائية أساسية تلقائياً لتلبية الاحتياجات اليومية في مرحلة البحث والتطوير، ولم تصل بعد إلى مرحلة التسويق التجاري.

وتشير الأبحاث إلى إمكانية تطوير منسوجات قادرة على إيصال مركّبات نشطة عبر الجلد من خلال دمج ناقلات نانوية داخل الألياف. فعلى سبيل المثال، يمكن للمنسوجات الحيوية الوظيفية، التي تجمع بين ناقلات دوائية نانوية ومواد نسيجية، أن تطلق جزيئات فعّالة بمعدل محدد عند ملامسة الجلد. إلا أن هذه التطبيقات تظل في إطار الدراسات المختبرية، وغالباً ما تركز على الاستخدامات العلاجية، لا على الإمداد الغذائي اليومي.[657]

كما يشكّل الجلد بطبيعته حاجزاً واقياً يحدّ من امتصاص المواد، ما يمثل تحدياً تقنياً رئيسياً.[658] ورغم تسجيل بعض الشركات براءات اختراع لملابس تطلق مسكنات أو فيتامينات أو أدوية موضعية عند استشعار حرارة الجسم أو رطوبته، لا يزال تأثير هذه المنتجات محدوداً، ولا يمكن اعتبارها حتى الآن حلولاً غذائية متكاملة يُعتمد عليها على نطاق واسع.[659]

تشير الأبحاث الجارية إلى إمكانية تطوير منسوجات مستقبلية **قادرة على إيصال الأدوية والمركبات النشطة للجسم عبر الجلد**

تتوفّر أيضاً أقمشة ذكية يمكنها مراقبة بعض المؤشرات الصحية، مثل معدل ضربات القلب ومكوّنات العرق، كما يمكن إضافة خصائص وقائية ووظيفية لسطح هذه الأقمشة.

رغم هذا التقدّم، لا تزال هذه التطبيقات قيد الدراسة في المختبرات، وغالباً ما تركّز على الاستخدامات الطبية العلاجية، وليس على إيصال العناصر الغذائية الدقيقة اللازمة للاستهلاك اليومي.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف الحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
البحث والتطوير

لا تزال الأقمشة الذكية والمواد المرتبطة بها في مراحل البحث والتطوير، إلا أن الاستثمار والتمويل بدأ يسرّع استكشاف تطبيقات محتملة لها، ويحفّز في الوقت نفسه النقاشات حول قضايا الملكية الفكرية، والسلامة الحيوية، والأطر التنظيمية اللازمة لاعتمادها مستقبلاً.

- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات

إجراء تجارب سريرية ضمن النطاقات الطبية

حصول الأقمشة الذكية على الموافقات التنظيمية اللازمة لاستخدامها حصرياً في الحالات الطبية الحرجة، وتنظيمها باعتبارها تقنيات قابلة للارتداء ضمن قطاع الرعاية الصحية، مع تطبيق أطر أخلاقية ومعايير للسلامة الحيوية لتنظيم استخدامها.

- برامج مسرّعات الأعمال
- جوائز التحديات
- المنح
- المنح المرحلية

الحصول على الموافقات التنظيمية وتوسيع مجالات الاستخدام

حصول الأقمشة الذكية على الموافقات التنظيمية لاستخدامها في بيئات محدّدة، وتوسّع نطاق استخدامها من العلاجات الطبية إلى دعم المجتمعات التي تعاني من سوء التغذية، مع توحيد المسارات الإجرائية المنظّمة لها، وتطوير قدرات تصنيعها، وبناء سلاسل إمداد متكاملة تدعم انتشارها.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض القابلة للتحويل
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات

2023 **17**

المستقبل المنشود
توسيع نطاق الابتكار وتحقيق الجدوى التجارية

انتقال الأقمشة الذكية من مراكز البحث إلى مرحلة التسويق على نطاق واسع، لتصبح ركيزة مستقبلية في قطاعي الرعاية الصحية وتصنيع وبيع الملابس الذكية.

- صناديق رأس المال الاستثماري
- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية

ملامح تطوّر الفرصة

تفتح الأقمشة الذكية آفاقاً جديدة لمعالجة نقص العناصر الغذائية من خلال إيصال الفيتامينات والمعادن مباشرة إلى الجسم، بما يعزّز الصحة العامة ويحدّ من الأمراض المرتبطة بسوء التغذية. كما يمكن أن تسهم في خفض تكاليف الرعاية الصحية عبر تعزيز الوقاية وتحسين مؤشرات طول العمر الصحي. ومع تطوّر التقنية، قد تمتد تطبيقاتها إلى دعم إيصال الأدوية عبر الجلد عند الحاجة.

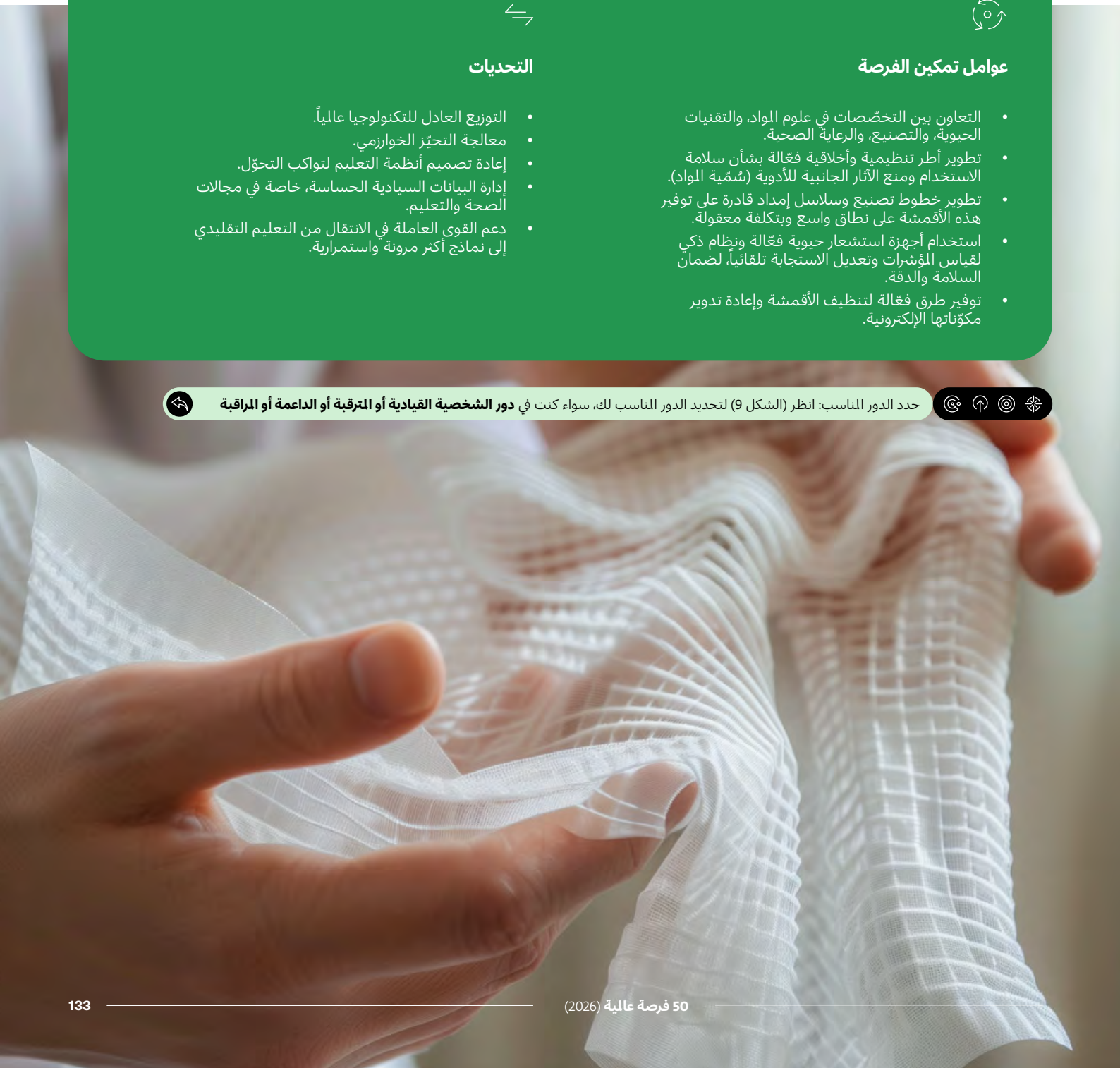
عوامل تمكين الفرصة

- التعاون بين التخصّصات في علوم المواد، والتقنيات الحيوية، والتصنيع، والرعاية الصحية.
- تطوير أطر تنظيمية وأخلاقية فعّالة بشأن سلامة الاستخدام ومنع الآثار الجانبية للأدوية (سُمّية المواد).
- تطوير خطوط تصنيع وسلاسل إمداد قادرة على توفير هذه الأقمشة على نطاق واسع وبتكلفة معقولة.
- استخدام أجهزة استشعار حيوية فعّالة ونظام ذكي لقياس المؤشرات وتعديل الاستجابة تلقائياً، لضمان السلامة والدقة.
- توفير طرق فعّالة لتنظيف الأقمشة وإعادة تدوير مكوّناتها الإلكترونية.

التحديات

- التوزيع العادل للتكنولوجيا عالمياً.
- معالجة التحيّز الخوارزمي.
- إعادة تصميم أنظمة التعليم لتواكب التحوّل.
- إدارة البيانات السيادية الحساسة، خاصة في مجالات الصحة والتعليم.
- دعم القوى العاملة في الانتقال من التعليم التقليدي إلى نماذج أكثر مرونة واستمرارية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**



9 2024

ماذا لو أسهمت المحيطات في تطوير قطاعيّ الدواء والغذاء؟

موارد بحرية جديدة

تزخر المحيطات بتنوّع حيوي هائل لم يُستكشف منه سوى جزء محدود، ما يفتح آفاقاً واسعة لتطوير التقنيات الحيوية البحرية وعلم الأدوية، ودعم الابتكار في مجالي الصناعات الدوائية والغذائية.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة
المواد الحيوية
التقنية الحيوية
الاقتصاد الأزرق
الابتكار في مجال الغذاء
التعاون الدولي

التكنولوجيا
التقنية الحيوية
الذكاء الاصطناعي
الروبوتات

الفئة
الصحة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الزراعة والغذاء
المواد الكيميائية والبتروكيماويات
الصحة والرعاية الصحية
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية
الاقتصاد الأزرق
معاهدة أعالي البحار
التقنيات الحيوية البحرية
علم المحيطات
علم الأدوية

أهمية الفرصة

في ظل ارتفاع درجات الحرارة عالمياً، وهجرة أنواع برية نحو الشمال، وانتشار مسبّبات أمراض جديدة أثّرت في كائنات متعددة من الثدييات في القطب الشمالي إلى النباتات حول العالم،[660] تشير التحوّلات البيئية إلى مخاطر صحية متزايدة، بما في ذلك احتمال تفشّي أوبئة غير متوقّعة مع اشتداد ظاهرة الاحتباس الحراري.[661] لذلك، يجب تكثيف الأبحاث متعددة التخصصات، وإشراك شرائح مجتمعية أوسع، لفهم الروابط بين تغيّر المناخ والأمراض المعدية.[662] ومن المتوقّع أن ترتفع الوفيات المرتبطة بتأثيرات تغيّر المناخ الصحية، مثل سوء التغذية والملاريا والإسهال والإجهاد الحراري، بنحو 250 ألف حالة سنوياً بحلول عام 2030، ما قد يرفع الأعباء الإضافية على القطاع الصحي إلى نحو 4 مليارات دولار سنوياً.[663]

ومن المتوقّع أن ترتفع **الوفيات المرتبطة بتأثيرات تغيّر المناخ الصحية،** مثل سوء التغذية والملاريا والإسهال والإجهاد الحراري، بنحو 250 ألف حالة سنوياً بحلول عام 2030

الإيجابيات

تعميق فهم النظم البيئية البحرية وإمكاناتها الحيوية، ويعزّز تطوير تقنيات قائمة على الاقتصاد الأزرق المستدام، بما يدعم الابتكار في مجالات الدواء والغذاء.

المخاطر

قد يؤدي الإفراط في استغلال الموارد البحرية إلى الإضرار بالنظم البيئية الحسّاسة، وتهديد الكائنات التي تعتمد عليها.

في ظل ارتفاع درجات الحرارة حول العالم، تنبئ التحوّلات البيئية بمخاطر عديدة تشمل تفشّي أوبئة غير متوقّعة في العالم

من المتوقّع أن ترتفع الوفيات المرتبطة بتأثيرات تغيّر المناخ الصحية بنحو

250 ألـــف

حالة وفاة سنوياً بحلول عام 2030

الوضع الحالي

شهدت التقنيات الحيوية البحرية وعلم الأدوية تحوّلاً ملحوظاً، حيث انتقلت من نطاق بحثي محدود إلى قطاعات استراتيجية سريعة النمو تسهم في تطوير أدوية مبتكرة وفتح أسواق جديدة. وتتميّز المركّبات المستخلصة من الكائنات البحرية، مثل الإسفنج والطحالب والكائنات الدقيقة واللافقاريات، بخصائص كيميائية وآليات عمل فريدة لا تتوافر في المصادر البرية.[664] وقد أفضت هذه الاكتشافات إلى تطوير أدوية مستخدمة فعلياً في علاج الأورام وآلام الأعصاب، من أبرزها سيتارابين (Cytarabine)[665] ومونوميثيل أوريستاتين إي (E Auristatin Monomethyl).[666] كما تُظهر المركّبات البحرية إمكانات واعدة في معالجة اضطرابات التمثيل الغذائي ومكافحة العدوى المقاومة للمضادات الحيوية.[667]

من المتوقع أن يشهد سوق التقنيات الحيوية البحرية نمواً ملحوظاً خلال العقد المقبل، مع تسجيل معدلات نمو مرتفعة في قطاعات الأدوية، والمغذّيات، ومستحضرات التجميل، والأغذية.[668]

ومع ذلك، لا تزال إمكانات المحيطات غير مستغلة إلى حدٍ كبير بسبب تحديات مادية وتكنولوجية واقتصادية وحوكمية. فظروفها القاسية تجعل استكشافها أكثر تعقيداً من استكشاف الفضاء. ومن تحديات أعماق البحار أن يبلغ الضغط مستويات هائلة تسحق المواد والكائنات غير المهيأة لها، ويسود الظلام الدامس الذي يحدّ من إمكانيات التصوير، إلى جانب درجات الحرارة التي تقترب من التجمد.[669]

وقد حقّقت الهند تقدّماً ملحوظاً في هذا المجال، عبر تطوير غواصات مأهولة قادرة على الوصول إلى أعماق تبلغ 6,000 متر، ومركبات ذاتية التشغيل استكشفت مناطق غنية بالمعادن على عمق 5,271 متراً، وبدأت في رسم خرائط للتنوّع الحيوي في الأعماق.[670]

وعلى المستوى الدولي، دخلت معاهدة الأمم المتحدة لأعالي البحار حيّز التنفيذ في يناير 2026، لتوفّر إطاراً قانونياً ملزماً للحفاظ على والاستخدام المستدام للتنوّع الحيوي البحري. ونظراً إلى أن نحو ثلثي المحيطات تقع في مياه دولية خارج الحدود الوطنية، تمثّل هذه المعاهدة أساساً لتعزيز التعاون العلمي وتقاسم المنافع على المستوى العالمي.[671]

أفضت المركّبات المستخلصة من الكائنات البحرية إلى تطوير أدوية مستخدمة فعلياً في **علاج الأورام وآلام الأعصاب**

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
تحديد الفرص الواعدة

إنشاء تحالف في إطار معاهدة أعالي البحار لرسم خريطة مجالات الفرص الواعدة في استكشاف المحيطات، بهدف اكتشاف مركّبات حيوية نشطة جديدة تخدم قطاعيّ الصناعات الدوائية والغذائية، بدعم من أدوات الاكتشاف المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. وتواصل المؤسسات والجهات البحثية العمل على استكشاف هذه الإمكانات وتطويرها.

- جوائز التحديات
- المنح

بناء الشراكات ووضع الأجندة البحثية

دعوة شركاء البحث إلى صياغة أجندة بحثية مشتركة تسهم في دعم الشراكات البحثية وتحديد إطار زمني واضح لتنفيذها. وتشمل هذه الدعوة الجامعات، ومعاهد علوم المحيطات، وشركات التقنية الحيوية.

- المنح المُدمّجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- جوائز التحديات
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

تأمين التمويل وهيكل الحوكمة

السعي إلى عقد شراكات تمويلية مع قطاعيّ الصناعات الدوائية والغذائية لدعم أنشطة البحث، ومسارات التطوير، وبدء أعمال الاستكشاف. ويمكن تعزيز هذا التوجّه من خلال تبنّي نموذج العلم اللامركزي، عبر إنشاء منظمة مستقلة لامركزية لإدارة مشاريع البحث العلمي المشتركة، إلى جانب تطوير آليات مثل أرصدة التنوّع الحيوي البحري.

- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض القابلة للتحويل
- المنح
- المنح المرحلية

2024 **9**

المستقبل المنشود
توسيع نطاق الابتكار وتطوير التقنيات

دعم التقدّم في مجال التقنيات الحيوية البحرية من خلال توفير أدوات ومواد أكثر تطوّراً، نتيجة زيادة التمويل ونمو قطاع التقنية الحيوية، ومواصلة الاتحادات والكيانات المشتركة تنسيق جهودها وعقد اجتماعات دورية لضمان استدامة هذه الأنشطة وتعزيزها في المستقبل.

- صناديق التوسّع
- القروض
- صناديق رأس المال الاستثماري

ملامح تطوّر الفرصة

يسهم تنامي سلسلة القيمة في التقنيات الحيوية البحرية في تطوير منتجات دوائية وغذائية متقدّمة، واكتشاف علاجات جديدة، وابتكار حلول غذائية مستدامة. ومع انتقال المؤسسات من العمل الفردي إلى بناء تحالفات تعاونية، تتسارع وتيرة التقدّم العلمي، وتُصمم آليات أكثر عدالة لتقاسم المنافع مع المجتمعات المرتبطة باستكشاف المحيطات. كما تتطوّر التقنيات الهندسية القادرة على العمل في البيئات البحرية القاسية، بما يتيح توزيع المخاطر والقدرات بصورة أكثر كفاءة.

عوامل تمكين الفرصة

- توفير تمويل طويل الأجل لمشاريع البحث والتطوير.
- تطوير معدات وأنظمة قادرة على العمل بكفاءة في البيئات البحرية القاسية.
- توفير دعم عالمي لأبحاث المحيطات، في ظل آليات تضمن تقاسم المنافع بشكل عادل.
- إرساء أطر قانونية وتنظيمية واضحة لتبادل البيانات وحماية الملكية الفكرية.
- الطلب على أرصدة التنوع البيولوجي

التحديات

- نقص الكفاءات المتخصّصة في قطاع التقنيات الحيوية البحرية.
- قلة المؤسسات والفرق المشاركة في هذا المجال.
- ضعف آليات تبادل البيانات وتقاسم المنافع رغم وجود أطر تنظيمية دولية.
- غياب أنظمة فعالة لتقاسم الملكية الفكرية للموارد الجينية البحرية.
- بطء التطور من المركبات البحرية إلى حلول وابتكارات تجارية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

15 2024

هل ستتمكّن البشرية من تأمين المياه الصالحة للشرب حول العالم وللجميع؟

مياه شرب نقية إلى الأبد

تطوير مواد كربونية نانوية قادرة على إزالة الملوّثات بكفاءة عالية، بما في ذلك الجزيئات متناهية الصغر، بما يُحدث تحوّلاً نوعياً في جهود توفير المياه النظيفة عالمياً.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
ثورة المواد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة
المواد الحيوية
الغذاء والماء والطاقة
تحفيز الابتكار
تقنية النانو
الغرافين

التكنولوجيا
تقنية النانو
التصنيع المتقدّم
المواد النانوية

الفئة
الطبيعة والاستدامة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الزراعة والغذاء
المواد الكيميائية والبتروكيماويات
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
الصحة والرعاية الصحية
المرافق العامة

الكلمات الرئيسية
المواد الكربونية النانوية
الغرافين
أنظمة الترشيح النانوية
الأنابيب النانوية
المياه

أهمية الفرصة

في عام 2024، افتقر أكثر من 2.1 مليار شخص حول العالم إلى مياه الشرب الآمنة.[672] ويتسبّب الإسهال الناتج عن المياه غير الآمنة وسوء خدمات الصرف الصحي ونقص ممارسات النظافة في وفاة أكثر من مليون شخص سنوياً.[673] ومع تزايد الطلب على المياه النظيفة، من المتوقّع أن ترتفع قيمة سوق تنقية المياه عالمياً من 40.6 مليار دولار عام 2026 إلى 72.8 مليار دولار بحلول عام 2034، بمعدل نمو سنوي مركب يبلغ 7.6%.[674] كما يفتقر نحو 50% من المدارس في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، ومرفق صحي واحد من كل أربعة مرافق صحية عالمياً، إلى مصادر أساسية للمياه.[675] ورغم الجهود المبذولة، تواجه الدول منخفضة ومتوسّطة الدخل تحديات مستمرة، إذ تتعرّض المياه لإعادة التلوّث بعد جمعها وقبل استخدامها الفعلي.[676]

الإيجابيات

يسهم توفير موارد المياه النظيفة في تحسين صحة الأفراد وإنعاش الاقتصادات، وتخفيض التكاليف والآثار البيئية لعمليات تحلية المياه.

المخاطر

قد يؤدّي تلف فلاتر المواد الكربونية النانوية إلى تسرب الجسيمات الدقيقة إلى شبكات المياه، مما قد يخلّف آثاراً صحية وبيئية سلبية ويؤثر في كفاءة عمليات التنقية.

الوضع الحالي

يتزايد الاهتمام البحثي باستخدام المواد الكربونية النانوية في تحلية المياه وتنقيتها، لا سيما الغرافين وأكسيد الغرافين والأنابيب الكربونية النانوية، نظراً لقدرتها العالية على إزالة الملوّثات من المياه بكفاءة.[677] وتُستخدم هذه المواد في تصنيع أغشية ومواد امتزاز متقدّمة (حيث تلتصق ذرات من مادة بسطح مادة أخرى) قادرة على إزالة المعادن الثقيلة، والملوّثات العضوية، والبكتيريا. كما تشير الأبحاث الحديثة إلى إمكانية توسيع استخدام هذه التقنيات مستقبلاً لتشمل معالجة مياه الصرف الصحي وتنقية مصادر المياه العذبة.[678]وقد أظهرت أغشية الغرافين نتائج واعدة في المختبر، إذ تجمع بين معدلات مرتفعة لرفض الأملاح ونفاذية عالية للمياه، وهما عاملان حاسمان في رفع كفاءة التحلية وتقليل استهلاك الطاقة.[679] وتشير بعض الدراسات إلى إمكانية تحقيق إزالة شبه كاملة للأملاح باستخدام تكوينات محدّدة من المواد النانوية، مما قد يعالج أحد أبرز التحديات المرتبطة بالتقنيات التقليدية.[680]

ورغم هذه الإمكانات، لا يزال التطبيق التجاري واسع النطاق محدوداً بسبب ارتفاع تكاليف الإنتاج الصناعي، والحاجة إلى دراسات معمّقة لفهم الآثار البيئية والصحية طويلة الأمد، إضافة إلى تحديات توسيع نطاق التصنيع والتشغيل.[681]

مواد كربونية نانوية

منها الغرافين، وأكسيد الغرافين، والأنابيب الكربونية نانوية من أبرز المواد قيد الدراسة في هذا المجال، نظراً إلى قدرتها العالية على إزالة الملوّثات من المياه بكفاءة

لا يزال التطبيق التجاري واسع النطاق محدوداً بسبب **ارتفاع التكاليف والحاجة للمزيد من الدراسات المتعمقة** إلى جانب تحديات صناعية وتشغيلية

كفاءة الطاقة في تحلية المياه

هي التحدي الجوهري الذي تواجهه تقنيات التحلية الحالية.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
مرحلة البحث والتطوير

تعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص في مجالي البحث والتطوير لدعم تطوير حلول قائمة على الكربون لإزالة ملوّثات المياه، بما يشمل إجراء دراسات معمّقة حول أثر هذه الحلول ودورة حياتها، والاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمية لاختبارها وتحديد مستويات السلامة المعتمدة.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

اعتماد الأنظمة

اعتماد أنظمة الترشيح الكربونية النانوية باعتبارها آمنة للاستخدام، إلى جانب تحديد متطلبات الاعتماد والأطر التنظيمية ذات الصلة.

- المنح
- المنح المرحلية
- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

تطوير النماذج الأوّلية

بعد التحقق من جدوى الفكرة، العمل مع شركاء القطاع الخاص والجهات المموِّلة لدراسة طرق تحويلها إلى منتج قابل للتسويق. ويشمل ذلك إعداد خطط للنماذج الأوّلية، وإطلاق مشاريع تجريبية بالتعاون مع شركاء سلاسل الإمداد، سواء في مواقع الاستخدام المباشر أو على نطاق أوسع.

- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض القابلة للتحويل
- المنح
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- عقود الخدمات

2024 **15**

المستقبل المنشود
مرحلة التنفيذ العملي

التركيز في البداية على المناطق الريفية لتوفير الوصول إلى المياه النظيفة، وتجهيز سلاسل الإمداد لضمان التوصيل حسب الحاجة.

- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض
- صناديق رأس المال الاستثماري

ملامح تطوّر الفرصة

يسهم الوصول الواسع إلى المياه النظيفة في تقليل الأمراض المنقولة عبر المياه، وتخفيف الضغط على أنظمة الرعاية الصحية، وتهيئة بيئة داعمة للنمو الاقتصادي. كما تتراجع الحاجة إلى استثمارات مرتفعة في محطات التحلية التقليدية، وتصبح إتاحة مياه الشرب أكثر أماناً واستدامة، مع تقليل الآثار البيئية المرتبطة بمخلّفات التحلية.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير أطر تنظيمية ومعايير واضحة تتيح دمج الابتكارات النانوية بأمان.
- اعتماد نماذج عادلة لإدارة الملكية الفكرية والترخيص قائمة على تقاسم المنافع.
- توفير اختبارات منخفضة التكلفة لتقييم السلامة.
- ضمان تمويل تنافسي مقارنةً ببدائل التحلية التقليدية.

التحديات

- تطوير تقنيات فعالة ومنخفضة التكلفة لرصد التلوّث.
- رفع كفاءة إدارة الموارد المائية وإعادة التدوير.
- تكييف الحلول مع اختلاف السياقات الريفية والحضرية.
- تنسيق الأطر التنظيمية الخاصة بمياه الشرب الآمنة بين الدول.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

الإطار المرجعي 3

تبنّي الابتكارات التحوّلية وتوظيف التقنيات المتقدّمة

يركّز هذا الإطار على الفرص التي تتيح تحقيق القيمة من خلال الابتكار التحويلي والابتكار الرائد، باعتبارهما وسيلتين لتطوير الحلول التقنية وتطبيقها، وتسريع استخدام التقنيات المتقدّمة في مختلف المجالات.

أبرز الرؤى[K] المتعلقة بالفرص ضمن هذا الإطار

1

الحوسبة المتقدّمة والذكاء الاصطناعي كمحركات أساسية للتطوّر التكنولوجي

تعتمد أكثر من 40% من الفرص الواردة ضمن هذا الإطار على الحوسبة المتقدّمة أو الذكاء الاصطناعي، ما يؤكد أنهما لم يعودا تقنيات داعمة فحسب، بل أصبحا بنية تحتية معرفية تشكّل قاعدة لتطوير تقنيات أخرى. ويطرح هذا الواقع سؤالاً استراتيجياً: كيف يمكن الموازنة بين حجم الاستثمارات المتسارعة في هذه التقنيات، وبين تبنّي رؤية طويلة المدى تضمن توجيهها نحو تحقيق نمو مستدام وازدهار شامل وتحسين جودة الحياة، لا مجرد سباق تقني قصير الأمد؟

2

القطاع الصحي كمحور رئيسي لتحقيق القيمة عبر التكنولوجيا

يركّز أكثر من ثلث الفرص ضمن هذا الإطار على إعادة تصوّر مجال الصحة بوصفه مجالاً يحمل فرصاً مستقبلية واعدة. وتشمل أبرز هذه الفرص مجالات مثل الطب الشخصي، وعلوم الأعصاب، والعمر المديد والحيوية، وعلم الجينوم، والتكنولوجيا الحيوية، وطب النانو.

3

تقنية النانو والطباعة ثلاثية الأبعاد من التقنيات الرئيسية التي تُشكّل مستقبل الطاقة والصحة والتغذية

تشير أكثر من ربع الفرص ضمن هذا الإطار إلى أن ثورة المواد تُعدّ من التوجهات العالمية الكبرى المؤثرة في المستقبل. وتبرز تقنيات النانو، والطباعة ثلاثية الأبعاد في نحو نصف هذه الفرص، لما لها من دور أساسي في دعم تطوير الأنظمة البيئية التجديدية، وأنظمة الجيل القادم في قطاعات الطاقة، والصحة المتقدّمة، والتغذية.

K تعتمد هذه الرؤى على تحليل 200 فرصة تم عرضها في الإصدارات السابقة من تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية"، وتهدف إلى تقديم معلومات وإرشادات عامة، دون أن تكون شاملة لكل الاحتمالات. وبحكم طبيعتها، قد تنطبق هذه الرؤى على بعض السياقات، لكنها قد لا تكون مناسبة لجميعها.

التوجهات العالمية الكبرى | المتغيرات الغامضة | الاتجاهات السائدة | التكنولوجيا

6 | 2022 | بعيد المدى

طاقة لا تنفد

ماذا لو كانت لدينا طاقة لا تنفد؟

- تطوّر تقنيات الطاقة
- الطبيعة | التعاون
- تحوّل قطاع الطاقة
- الجيل الجديد من الطاقة

39 | 2022 | بعيد المدى

خلايا مصممة وفق الطلب

ماذا لو حلّت المواد الحيوية محل المواد الكيميائية كمحرك أساسي للصناعات؟

- ثورة المواد
- التكنولوجيا | الأنظمة
- الشراكة بين القطاعات
- مستقبل المواد الخام
- صافي الانبعاثات الصفري
- الإدارة المستدامة للنفايات | المواد النانوية
- التصنيع المتقدم | تقنيات الاستشعار

39 | 2023 | متوسّط المدى

صناعة السيارات والتغيير القادم

هل ستقود إعادة تعريف وظائف العجلات والإطارات موجة جديدة من الابتكار في صناعة السيارات؟

- ثورة المواد
- التكنولوجيا | الطبيعة
- تلوث الهواء | مستقبل المواد الخام
- صافي الانبعاثات الصفري
- الإدارة المستدامة للنفايات | المواد الجديدة
- تكنولوجيا النانو | تقنيات الاستشعار

44 | 2023 | متوسّط المدى

ابتكار مواد جديدة

هل يمكن أن نصل إلى مرحلة تصنيع مواد جديدة خلال ثوانٍ فقط؟

- ثورة المواد
- التكنولوجيا | الأنظمة
- الشراكة بين القطاعات
- مستقبل المواد الخام
- توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
- تحفيز الابتكار | البيانات المفتوحة | الروبوتات
- الحوسبة المتقدمة | الذكاء الاصطناعي

47 | 2023 | بعيد المدى

صورة متكاملة للأرض

ماذا لو استطعنا تصوير طبقات الأرض بالكامل كما لو أنها تخضع لفحص بالأشعة السينية؟

- إدارة النظم البيئية
- التكنولوجيا | الطبيعة
- الشراكة بين القطاعات | البيانات المفتوحة
- مستقبل المواد الخام | الرشاقة الحكومية
- استعادة الطبيعة | التقنيات الكمومية
- الحوسبة المتقدمة | تقنيات الاستشعار

50 | 2023 | بعيد المدى

الانتقال اللحظي

ماذا لو أصبح الانتقال اللحظي حقيقة؟

- إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
- التكنولوجيا | القيم المجتمعية
- الشراكة بين القطاعات | الاتصال المتقدم
- الاقتصاد الرقمي | التعاون الدولي
- تكنولوجيا الكم | التقنيات الكمومية
- الاتصال المتقدم

5 | 2024 | بعيد المدى

طباعة الأعضاء البشرية

هل سنودّع قوائم انتظار زراعة الأعضاء البشرية بفضل تكنولوجيا الطباعة الحيوية؟

- ثورة المواد
- التكنولوجيا | القيم المجتمعية
- المواد الحيوية | التقنية الحيوية
- علم الجينوم | الطباعة ثلاثية الأبعاد
- الطب الشخصي | الطباعة الحيوية
- علم الجينوم | الذكاء الآلي المتقدم

26 | 2024 | بعيد المدى

سياسات نقدية متطوّرة

هل يمكن أن توظّف المصارف المركزية الذكاء الاصطناعي لمراقبة التحوّلات الاقتصادية بشكل فوري؟

- إتاحة البيانات بلا حدود وبأبعاد متعدّدة
- التعاون | الأنظمة
- الاقتصاد الرقمي | التعاون الدولي
- البيانات المفتوحة | الشراكة بين القطاعات
- الذكاء الاصطناعي | الحوسبة الطرفية
- إنترنت الأشياء

40 | 2024 | متوسّط المدى

إحساس رقمي بلا تلامس

ماذا لو أحدثت تقنيات اللمس في العالم الافتراضي ثورة في عالم الألعاب الإلكترونية وقطاع الرعاية الصحية؟

- تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد
- التكنولوجيا | القيم المجتمعية
- الشراكة بين القطاعات | الاتصال المتقدم
- الواقع الممتد | تقنيات الاستشعار
- الاتصال المتقدم | إنترنت الأشياء

42 | 2024 | متوسّط المدى

إعادة ابتكار البطاريات

ماذا لو أصبح من الممكن توفير الطاقة بشكل مستمر في المناطق النائية وخارج نطاق الشبكات؟

- تطوير تقنيات الطاقة
- التكنولوجيا | الطبيعة
- صافي الانبعاثات الصفري | الذكاء الاصطناعي
- مواد جديدة | تحوّل قطاع الطاقة
- التصنيع المتقدم | الذكاء الاصطناعي
- تقنيات البطاريات

46 | 2024 | متوسّط المدى

المادة المعجزة

ماذا لو نجحنا في تصنيع الغرافين على نطاق واسع؟

- ثورة المواد
- التكنولوجيا | الطبيعة
- تحوّل قطاع الطاقة | الذكاء الاصطناعي
- التقنيات الغامرة والأجهزة القابلة للارتداء
- المواد النانوية | المواد الجديدة
- التصنيع المتقدم | تكنولوجيا النانو
- تقنيات الاستشعار

2 | 2025 | متوسّط المدى

فيروسات آكلة للبكتيريا

هل سينتهي عصر العلاج بالمضادات الحيوية؟

- تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية
- التكنولوجيا | القيم المجتمعية
- الأمراض المعدية وغير المعدية
- علم الجينوم | الطب الشخصي
- العمر المديد والحيوية
- طب النانو | التقنية الحيوية
- التحليلات الفورية

13 | 2025 | متوسّط المدى

مصفاة بحرية فوق صوتية

ماذا لو تمكنّا من إزالة الملوّثات من مياه الحيطات والبحيرات باستخدام الموجات فوق الصوتية؟

- إدارة النظم البيئية
- التكنولوجيا | الطبيعة
- الشراكة بين القطاعات
- سلسلة الغذاء والماء والطاقة
- تحفيز الابتكار | الإدارة المستدامة للنفايات
- المواد الجديدة
- تكنولوجيا المناخ | تقنيات الاستشعار

42 | 2025 | بعيد المدى

بصمة رقمية للمياه

هل يبالغ البشر في تقدير احتياجاتهم من المياه؟

- إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة
- التكنولوجيا | التعاون
- الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
- سلسلة الغذاء والماء والطاقة | الرشاقة الحكومية
- التعاون الدولي | البيانات المفتوحة
- الذكاء الاصطناعي | إنترنت الأشياء
- التحليلات الفورية

43 | 2025 | بعيد المدى

عصر جديد للطاقة الجوفية

هل تعلم أن الطاقة الحرارية الجوفية هي أكثر مصدر موثوق للطاقة لكنها الأقل استخداماً حتى الآن؟

- تطوّر تقنيات الطاقة
- التكنولوجيا | الطبيعة
- الشراكة بين القطاعات
- إعادة توظيف الأصول
- المواد الجديدة | صافي الانبعاثات الصفري
- تحوّل قطاع الطاقة | الذكاء الاصطناعي
- المواد الجديدة | التحليلات الفورية

11 | 2022 | متوسّط المدى

طاقة دون حدود

ماذا لو كان بإمكان الجميع الحصول على الكهرباء بأسعار منخفضة؟

- ثورة المواد
- التكنولوجيا | الطبيعة
- تحوّل قطاع الطاقة | المواد الجديدة
- تقنيات الاستشعار
- الجيل الجديد من الطاقة

6 2022

ماذا لو كانت لدينا طاقة لا تنفد؟

طاقة لا تنفد

تحويل أساليب الحياة اليومية بتوفير إمداد غير محدود من الطاقة عبر الاندماج النووي.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى
تطوّر تقنيات الطاقة

المتغيرات الغامضة
الطبيعة، التعاون

الاتجاهات السائدة
تحوّل قطاع الطاقة

التكنولوجيا
الجيل الجديد من الطاقة

الفئة
الطبيعة والاستدامة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
الخدمات الحكومية
البنية التحتية والإنشاءات
التصنيع
المرافق العامة

الكلمات الرئيسية
إزالة الكربون
الديوتيريوم
المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي
الاندماج النووي
التوكاماك الكروي

أهمية الفرصة

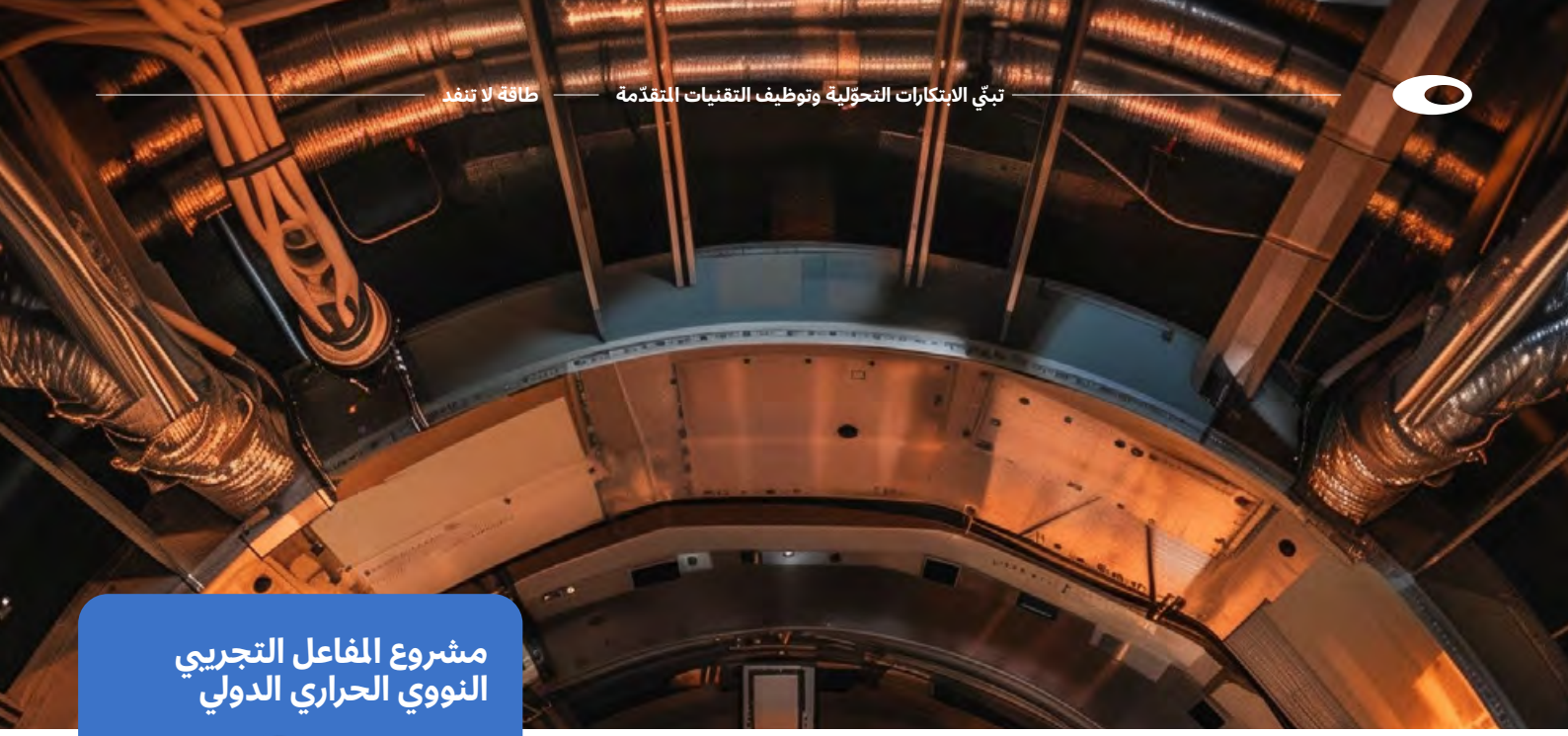
بحلول عام 2035، سيزداد الطلب العالمي على الطاقة بما يعادل إجمالي الطاقة التي تستهلكها الولايات المتحدة اليوم، مع بقاء الانبعاثات عند المستوى المرتفع المسجل في عام 2024 والبالغ 38 جيجا طن حتى عام 2050.[682] وفي ظل هذا التحدي، يبرز الاندماج النووي — الذي يحاكي آلية توليد الطاقة في الشمس — كمصدر واعد لطاقة هائلة ونظيفة. فهو لا يخلّف نفايات إشعاعية طويلة الأمد مثل الانشطار النووي، كما لا يعاني من تقلبات الإنتاج المرتبطة بالطاقة الشمسية أو طاقة الرياح.[683] ومع وجود نحو 655 مليون شخص حول العالم لا يحصلون على الكهرباء،[684] يمتلك الاندماج النووي القدرة على سد هذه الفجوة وتوفير طاقة مستقرة للجميع.

الإيجابيات

تتيح وفرة الطاقة إطلاق صناعات جديدة وخفض تكاليف الكهرباء والتدفئة والتبريد والنقل والخدمات اللوجستية، مع تقليل الأثر البيئي. ويعزز ذلك الإنتاجية وجودة الحياة ويعيد تشكيل الاقتصاد العالمي

المخاطر

تشمل المخاطر احتمال وقوع حوادث عرضية أو متعمّدة مرتبطة بالتعامل مع النفايات المشعة الناتجة عن الاندماج، رغم أن عمرها الإشعاعي قصير نسبياً.



الوضع الحالي

لا يزال الاندماج النووي في مرحلة التطوير التجريبي ولم يصل بعد إلى التطبيق التجاري، إذ تتركّز الجهود الحالية على إثبات جدواه التقنية والاقتصادية على نطاق واسع. ويعتمد وقوده أساساً على نظائر الهيدروجين: الديوتيريوم والتريتيوم – حيث يُستخرج الأول من مياه البحر والثاني من الليثيوم داخل المفاعل.[685]

يُعد المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي (ITER) أحد أبرز المشاريع العالمية في هذا المجال، ويُبنى حالياً في كاداراش بفرنسا بمشاركة سبعة شركاء دوليين: الاتحاد الأوروبي، الولايات المتحدة، الصين، الهند، كوريا الجنوبية، اليابان وروسيا،[686] ضمن تعاون علمي مستمر منذ أكثر من 35 عاماً. وإلى جانبه تقود مبادرة "يورو فيوجن" (EUROfusion) شبكة بحثية تضم 31 منظمة في 26 دولة أوروبية إضافة إلى المملكة المتحدة وسويسرا والنرويج.[687] وفي نهاية عام 2025 عزّز الطرفان تعاونهما عبر اتفاقية رفيعة المستوى لمعالجة التحديات التقنية الرئيسة خلال العامين التاليين.[688]

على المستوى الوطني، يعمل برنامج المملكة المتحدة للطاقة الاندماجية على تطوير محطة اندماج تجارية بحلول 2040 ضمن مشروع STEP في نوتنغهامشير، الذي يعتمد تصميماً كروياً مبتكراً للمفاعل.[689] وفي الولايات المتحدة يركّز برنامج علوم الطاقة الاندماجية (FES) في مختبر لوس ألاموس على تطوير المواد المتقدمة وتحسين التحكم بالبلازما وإدارة وقود التريتيوم.[690] أما في الصين فقد حقق مفاعل EAST إنجازاً مهماً بتجاوز حد جرينوالد لكثافة البلازما بنسبة تتراوح بين 30% و65%.[691]

وعلى صعيد القطاع الخاص، تأسست رابطة صناعة الاندماج النووي عام 2018 لدعم الشركات العاملة في هذا المجال، وقد جمعت حتى الآن نحو 9.7 مليارات دولار لدعم 53 شركة تعمل على تطوير تقنيات الاندماج،[692] مع هدف الوصول إلى التسويق التجاري أوائل 2030.[693] وفي عام 2025 دعت الرابطة إلى تعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص، ووضع إطار تنظيمي مخصص للطاقة الاندماجية، وتحويل التركيز من البحث العلمي إلى نشر التكنولوجيا وتسويقها.[694]

تشير التوقعات إلى إمكانية تشغيل أول محطة اندماج تجارية بقدرة 400 ميجاواط بحلول عام 2030.[695] كما يُتوقع تشغيل مفاعل "سبارك" SPARC التابع لشركة "كومنولث فيوجن سيستمز" (Commonwealth Fusion Systems) في عام 2027.[696] وعلى المستوى الاقتصادي، قد تضيف الطاقة الاندماجية ما يصل إلى 175 تريليون دولار إلى الناتج المحلي الإجمالي العالمي، مع توقع وفورات تصل إلى 119 مليار دولار سنوياً في الولايات المتحدة، في ظل تنافس أكثر من 40 شركة ناشئة عالمياً في هذا المجال.[697]

مشروع المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي

بمشاركة سبعة شركاء

تعاون علمي مستمرّ منذ أكثر من 35 عاماً

9.7 مليارات دولار

لدعم 53 شركة متخصّصة في أبحاث وتقنيات الاندماج النووي

ستبدأ أول محطة طاقة اندماجية تجارية في العالم بقدرة

400 ميجاواط

في أوائل عام 2030

على المستوى الاقتصادي، قد تضيف **الطاقة الاندماجية** ما يصل إلى

175 تريليون دولار

إلى الناتج المحلي الإجمالي العالمي، مع توقع وفورات تصل إلى

119 مليار دولار

سنوياً في الولايات المتحدة، في ظل تنافس أكثر من 40 شركة ناشئة عالمياً في هذا المجال.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
تحقيق تقدّم علمي

مواءمة البحث العلمي، والأطر التنظيمية، والتمويل من القطاعين الحكومي والخاص لدعم تطوير نماذج أوّلية قابلة للتوسّع. وتحقيق مكاسب صافية ومستقرة للطاقة في مفاعلات الاندماج النووي، بما يؤكد الجدوى العلمية والتقنية لهذه التكنولوجيا.

- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- المنح المرحلية

تقديم العروض التجارية

إنشاء محطات طاقة اندماجية تجريبية متصلة بشبكات الكهرباء لإثبات الجدوى التجارية، وضمان مستويات عالية من السلامة، واستقرار الأداء، والقدرة التنافسية الاقتصادية، مع استكشاف واختبار تصاميم وحدات اندماجية مصغّرة ومضغوطة لاستخدامها في التطبيقات السكنية.

- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- القابلة للتحويل
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسيا
- المنح المُدمَجة
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض

تشغيل محطات تجريبية

إثبات أداء طاقة الاندماج النووي من خلال تشغيل محطات تجريبية في بيئات جغرافية ومناخية وصناعية متنوعّة حول العالم، بهدف التحقّق من قابليتها للتوسّع والتكيّف.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض

2022 **6**

المستقبل المنشود
تحقيق النشر وقابلية التوسّع

نشر طاقة الاندماج النووي عالمياً ودمجها ضمن شبكات الكهرباء الوطنية، بما يتيح توزيعها على نطاق واسع إلى المنازل والقطاعات المختلفة، سواء عبر خطوط النقل التقليدية أو من خلال وحدات اندماجية مصغّرة. ويسهم هذا التحوّل في إعادة تشكيل الاقتصادات العالمية، ودعم إزالة الكربون في القطاعات الصناعية.

- المنح القابلة للتحويل
- صناديق التوسّع
- القروض
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية

ملامح تطوّر الفرصة

تصبح الطاقة وفيرة ومتاحة على نطاق واسع، حيث تشغّل مفاعلات الاندماج المدن والريف بالاعتماد على مياه البحر كمصدر رئيسي للوقود. ومع تلاشي قيود الطاقة، تنطلق الصناعات التي كانت مقيدة بندرة الإمدادات أو بارتفاع تكلفتها. وتتيح الطاقة النظيفة المستمرة تحسين جودة الهواء وتعزيز تقنيات احتجاز الكربون ودعم نمو التصنيع المستدام. وبذلك، يصبح انعدام الوصول إلى الكهرباء ظاهرة من الماضي.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير حلقة وقود متكاملة من استخراج الديوتيريوم من البحر، وإنتاج وقود التريتيوم، إلى إدارة دورة وقود مغلقة.
- تحويل النجاحات التجريبية إلى تطبيقات تجارية عبر استثمارات طويلة الأجل في البحث والتطوير.
- تطوير مواد متقدّمة ومغناطيسات فائقة تتحمّل درجات الحرارة القصوى وتمكّن تفاعلات اندماج مستقرة.
- بناء قدرات هندسية ومهارات متخصصة للتعامل مع التعقيدات التقنية العالية في أنظمة الاندماج.
- تعزيز التعاون الدولي وتوحيد الأطر التنظيمية والمعايير الخاصة بالطاقة الاندماجية.

التحديات

- عدم استقرار البلازما بالقدر الكافي للحفاظ على تفاعل اندماج مستمر والحد من الانقطاعات التشغيلية.
- التصورات العامة السلبية المرتبطة بالطاقة النووية ومخاوف المجتمعات من قرب المفاعلات.
- ضعف القدرة التنافسية من حيث التكلفة مقارنة بمصادر الطاقة المتجددة الأرخص حالياً.
- صعوبة توسيع الشراكات بين القطاعين الحكومي والخاص في ظل محدودية التمويل العام.
- تأخر ربط محطات الاندماج المستقبلية بشبكات الكهرباء.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

39 2022

ماذا لو حلّت المواد الحيوية محل المواد الكيميائية كمحرك أساسي للصناعات؟

خلايا مصممة وفق الطلب

تمثل الحلول المشتقة من المواد الحيوية بديلاً واعداً للمواد الكيميائية التقليدية، مع قدرة متزايدة على إعادة تشكيل الصناعات والبيئة وأنماط الاستهلاك.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
ثورة المواد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
مستقبل المواد الخام
صافي الانبعاثات الصفري
الإدارة المستدامة للنفايات

التكنولوجيا
التصنيع المتقدم
المواد النانوية
تقنيات الاستشعار

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
المواد المتقدّمة والتقنية الحيوية
الزراعة والغذاء
السلع والمواد الاستهلاكية
الصحة والرعاية الصحية
تقنية المعلومات والاتصالات

الكلمات الرئيسية
الاقتصاد الحيوي
الإنزيمات
الكيمياء الخضراء
البوليمرات
علم الأحياء التركيبي

أهمية الفرصة

تُعد صناعة الكيماويات إحدى ركائز الاقتصاد العالمي، إذ تدخل في تصنيع أكثر من 96% من السلع[698]، وتبلغ قيمة مبيعاتها عالمياً، قرابة 5.7 تريليونات دولار.[699] وفي المقابل، تسهم هذه الصناعة بنحو 7% من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة عالمياً، مع استحواذ البتروكيماويات وحدها على 30% من الطلب الصناعي على الطاقة، إضافة إلى تكاليف صحية وبيئية أخرى تُقدّر بأكثر من 10% من الناتج المحلي الإجمالي.[700] وإذا لم يشهد هذا القطاع تحولاً جذرياً، ستتفاقم تحديات المناخ، وتزداد مخاطر انتشار المواد السامة والتلوث البلاستيكي، وستبقى الصناعة عرضة لتقلبات أسعار النفط واضطرابات سلاسل الإمداد.[701]

الإيجابيات

مع تزايد توافر المواد الخام المستخدمة في التقنيات الحيوية الحديثة وتراجع تقلبات أسعارها، تصبح سلاسل الإمداد أكثر مرونة وشمولاً. كما يسهم التحوّل من النفايات الكيميائية إلى النفايات الحيوية في تقليل مستويات التلوث.

المخاطر

تشمل المخاطر المحتملة سوء إدارة النفايات الحيوية وزيادة انبعاثات غاز الميثان، ونشوء مخاطر حيوية غير مقصودة، ومخاطر متعمدة مثل القرصنة الحيوية أو الإضرار المتعمد بمحطات المعالجة.

تُعد صناعة الكيماويات إحدى ركائز الاقتصاد العالمي، إذ تدخل **في تصنيع أكثر من 96% من السلع، وتبلغ قيمة مبيعاتها عالمياً قرابة 4 تريليونات دولار.**

الوضع الحالي

تمثل صناعة الكيماويات إحدى الدعائم الأساسية للحياة اليومية وللعديد من القطاعات الاقتصادية، إذ تدخل في نحو 96% من المنتجات المصنّعة عالمياً في مجالات حيوية مثل صناعة السيارات والصحة والزراعة والبناء والإلكترونيات.[702] وعلى مدى عقود، قادت هذه الصناعة مسارات الابتكار عبر تطوير مواد جديدة، وهي تعتمد اليوم بشكل متزايد على تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتحليلات المتقدمة لتعزيز إنتاجيتها وتقليل أثرها البيئي،[703] في ظل تحديات متزايدة تتعلق بالاستدامة وتكامل التقنيات وتحسين الكفاءة.[704] وتؤدي الكيماويات أيضاً دوراً محورياً في تحوّل قطاع الطاقة، إذ لا يقتصر دورها على خفض انبعاثات عملياتها الإنتاجية، بل تشمل كذلك تمكين تقنيات الطاقة المتجددة مثل الخلايا الشمسية الكهروضوئية والبطاريات وشفرات توربينات الرياح،[705] ما يجعل التحول العالمي في مجال الطاقة غير ممكن من دونها.

تمثل المنتجات الحيوية أحد الحلول الواعدة لتحديات الاستدامة. فهي تُنتج من مصادر متجددة مثل النباتات والموارد الزراعية والبحرية ومخلفات الغابات والأشجار، إضافة إلى المخلفات غير الغذائية،[706] وذلك عبر عمليات تستخدم إنزيمات محفّزة لتحويل النفايات النباتية إلى مواد مفيدة وبدائل للمواد المعتمدة على النفط.[707] تعتمد التقديرات الخاصة بالقيمة العالمية للسوق على نطاق التعريف والمنهجية المستخدمة في القياس، كما تختلف بحسب الأفق الزمني ومستوى تبنّي القطاعات المختلفة لهذه المواد. على سبيل المثال، تشير إحدى التقديرات الواسعة النطاق إلى أن قيمة سوق المواد الحيوية بلغت نحو 52 مليار دولار في عام 2024، مع توقعات بارتفاعها إلى 653 مليار دولار بحلول عام 2035، بمعدل نمو سنوي مركب يقارب 26%.[708] وفي تقدير آخر يركّز على البوليمرات الحيوية، باعتبارها من أبرز مكونات هذا القطاع، بلغ إجمالي الإنتاج نحو 4.5 مليون طن في عام 2025، مع توقعات بارتفاعه إلى 8.5 مليون طن بحلول عام 2030، أي ما يقارب ضعف حجمه خلال خمس سنوات.[709] وتشمل الابتكارات التي أثبتت فعاليتها في هذا المجال منظفات مشتقة من زيوت طبيعية،[710] وحساسات كهروكيميائية حيوية مرنة لرصد ملوثات المياه،[711] ومكثفات فائقة قابلة للتحلّل بالكامل، إضافة إلى خرسانة ذاتية الصيانة[712] تعتمد على الكائنات الدقيقة، والعديد من الابتكارات الأخرى.[713]

ومع ذلك، تُظهر المواد الكيميائية الحيوية قدرةً على إعادة تشكيل القطاع الصناعي،[714] خاصة مع تشديد اللوائح البيئية وتوسع الحوافز الحكومية الداعمة للتحول نحو بدائل أكثر استدامة.[715]

ورغم هذا النمو، لا تزال الكيماويات الحيوية تستحوذ على حصة محدودة مقارنة بالكيماويات التقليدية.[716] فعلى سبيل المثال، لا تتجاوز حصة البلاستيك الحيوي 1% من السوق العالمية، مقابل 8.6% للبلاستيك المعاد تدويره بعد الاستهلاك.[717] وتبقى التكلفة التحدي الأبرز، إذ تصل تكلفة المواد الخام مثل الإيثيلين والبروبيلين الحيوي إلى ضعفي أو ثلاثة أضعاف تكلفة نظيراتها المعتمدة على الوقود الأحفوري، ما يحد من قدرتها التنافسية في غياب أطر تنظيمية داعمة.[718]

صناعة الكيماويات

تدخل في نحو 96% من المنتجات المصنّعة عالمياً في قطاعات حيوية

بلغت القيمة العالمية لسوق المواد الحيوية

52 مليار دولار

في عام 2024، مع توقّعات بارتفاعها إلى

653 مليار دولار

في عام 2035

حصة البلاستيك الحيوي

لا تتجاوز **1% من السوق العالمية**، مقابل 8.6% للبلاستيك المعاد تدويره ما بعد الاستهلاك

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
بدء مرحلة التطوير المبكر

إطلاق الحكومات والقطاع الصناعي برامج تجريبية للبحث والتطوير لتحديد بدائل كيميائية عالية القيمة، مع التركيز على إنشاء شبكات ابتكار في مجال علم الأحياء التركيبي، وتطوير استراتيجيات وطنية للاقتصاد الحيوي، إلى جانب إعادة تأهيل القوى العاملة لسوق عمل يقوم على مبدأ "المواد الحيوية أولاً".

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

توسيع نطاق التحوّل نحو المواد الحيوية

تطبيق الحكومات الوطنية سياسات داعمة للابتكار الحيوي بهدف تحقيق تكافؤ في الأسعار مع البدائل المعتمدة على الوقود الأحفوري، إلى جانب تأمين الشركات متعدّدة الجنسيات الرائدة لعقود توريد مبكرة، وبدء انتشار شبكات المعالجة الحيوية اللامركزية لتحلّ تدريجياً محل مصانع الكيماويات المركزية.

- المنح المُدمَجة
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- برامج مسرّعات الأعمال
- صناديق التوسّع
- صناديق رأس المال الاستثماري
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات

التطبيقات التجريبية

فرض الأمم المتحدة أو الجهات القيادية العالمية التحوّل إلى مدخلات قائمة على المواد الحيوية، مع تمكين البيئات التنظيمية التجريبية من اختبار متطلبات المحتوى الحيوي في مواد التغليف ومواد البناء، إلى جانب توحيد بروتوكولات إعادة التدوير المعتمدة على الإنزيمات.

- عقود الخدمات
- صناديق رأس المال الاستثماري
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق التوسّع
- القروض
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

2022 **39**

المستقبل المنشود
التحوّل إلى المواد الحيوية

اعتماد المواد الحيوية كبديل عن المواد الكيميائية التقليدية باعتبارها محرّكاً أساسياً للصناعات، والاستغناء الكامل عن المواد الأوّلية المعتمدة على الوقود الأحفوري، مع تفعيل نظام عالمي لتداول الكربون الحيوي. واتباع نهج عالمي يقوم على إنتاج المواد من خلال الزراعة والنمو الحيوي، إلى جانب تشغيل منظومات إنتاج دائرية بالكامل، ومتجدّدة، ولامركزية.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

تصبح المنتجات اليومية، من مواد التغليف إلى الملابس ومواد البناء، معتمدة على المواد الحيوية. وتتميز بتجددها وجودتها وتوفرها بأسعار معقولة، لتتحول من منتجات مرتفعة التكلفة إلى خيار اعتيادي في الأسواق. كما تتكافأ أسعار المواد الخام للكيماويات الحيوية مع نظيراتها التقليدية، ويُستبدل البلاستيك الاستهلاكي ببوليمرات مشتقة حيوياً يمكن تحويلها بأمان إلى سماد منزلي. كما يعاد تعريف مفهوم إعادة التدوير ليصبح عملية حيوية متكاملة تسهم في إعادة تشكيل أنظمة إدارة النفايات والخدمات البلدية.

عوامل تمكين الفرصة

- تعزيز الطلب على المواد الحيوية، ودعم السياسات المحفزة لهذا التحوّل.
- تكييف سلاسل الخدمات اللوجستية العالمية للتعامل مع الكتلة الحيوية والمواد الخام الحيوية.
- دعم الابتكار والبحث والتطوير في علم المواد الحيوية.
- توفير التمويل اللازم لتوسيع نطاق الحلول الناشئة.
- إرساء قواعد عالمية تضمن سلامة المواد بغضّ النظر عن مكان إنتاج المنتجات.

التحديات

- مخاطر نشوء مسبّبات أمراض جديدة بشكل غير مقصود.
- مخاطر الأمن السيبراني الحيوي.
- تعقيد إدارة الأطر التنظيمية.
- التنقّل بين أنظمة قانونية عالمية غير موحّدة.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

23 2023

هل ستقود إعادة تعريف وظائف العجلات والإطارات موجة جديدة من الابتكار في صناعة السيارات؟

صناعة السيارات والتغيير القادم

قد تشهد عجلات وإطارات السيارات موجة من الابتكارات التقنية التي تعيد تشكيل مستقبل صناعة المركبات، بدءاً من تقنيات الرفع المغناطيسي والحلول المستوحاة من الطائرات من دون طيار، وصولاً إلى بدائل متقدمة للإطارات المطاطية تقلل استهلاك الطاقة والانبعاثات. وقد تسهم هذه التقنيات في تغيير التصور التقليدي لدور العجلات ووظيفتها في المركبات.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
ثورة المواد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة
تلوث الهواء
مستقبل المواد الخام
صافي الانبعاثات الصفري
الإدارة المستدامة للنفايات

التكنولوجيا
تكنولوجيا النانو
المواد الجديدة
تقنيات الاستشعار

الفئة
الطبيعة والاستدامة

القطاعات الأكثر تأثّراً
السيارات والفضاء والطيران
المواد الكيميائية والبتروكيماويات
البنية التحتية والبناء
التصنيع
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية
الانبعاثات غير الناتجة عن عوادم السيارات
تقنيات التقاط الجسيمات
مواد منخفضة التآكل

أهمية الفرصة

تتعرض إطارات المركبات للتآكل مع كل عملية تسارع أو كبح أو تغيير في الاتجاه، ما يؤدي إلى إطلاق جسيمات دقيقة ذات أثر بيئي متزايد. ولا يقتصر تأثير هذه الجسيمات على سطح الطريق، بل يمتد إلى الهواء الذي نتنفسه، كما تنقلها مياه الأمطار لتتراكم تدريجياً في المجاري المائية والتربة والأنظمة الزراعية. ولا يرتبط هذا النوع من التلوث بنوع الوقود المستخدم؛ فحتى المركبات الكهربائية، رغم كونها خياراً أكثر صداقة للبيئة، لا تزال تسهم في انبعاثات ناتجة عن تآكل الإطارات. وعلى المستوى العالمي، تطلق الإطارات نحو ستة ملايين طن من هذه الجسيمات سنوياً،[719] وهي كمية ضخمة تعادل المطاط الناتج عن نحو 600 مليون إطار، بافتراض أن متوسّط وزن الإطار الواحد يبلغ 10 كجم.

الإيجابيات
تحسين جودة الهواء في المدن، بما ينعكس إيجاباً على الصحة العامة، ويفتح آفاقاً جديدة للابتكار في مجالات المواد المتقدّمة والعجلات الذكية.

المخاطر
قد تؤدي زيادة تكلفة أنظمة العجلات وتعقيدها التقني إلى إبطاء طرحها في السوق. كما قد تفرض متطلبات الأداء والسلامة والمتانة تحديات تعيق انتشارها في التطبيقات الواقعية.

الوضع الحالي

بدأ كبار مصنّعي الإطارات وروّاد الابتكار في معالجة تحدّي الانبعاثات الناتجة عن تآكل الإطارات، رغم أنّ الحلول المطروحة لا تزال في مراحلها المبكرة. فعلى سبيل المثال، استثمرت شركة "ميشلان" نحو 896 مليون دولار أمريكي[L] في البحث والتطوير خلال عام 2024، ونجحت في تطوير إطارات تطلق جزيئات أقل بنسبة 26% مقارنةً بمتوسّط الإطارات المماثلة ضمن الفئة المتميّزة.[720] كما تعاونت شركة "كونتيننتال" (Continental) مع جامعة براونشفايغ التقنية (Technical University of Braunschweig) لتطوير أجهزة تُثبّت على العجلات، وتعمل على شفط الجسيمات الناتجة عن التآكل وتحليل بياناتها بشكل فوري.[721] وطوّرت شركة "بريدج ستون" جهازاً غطّي الإطار بالكامل، وهو مُصمَّم لجمع جزيئات التآكل مباشرةً من الإطار.[722]

وتؤدي الشركات الناشئة أيضاً دوراً مهماً في التصدي لانبعاثات تآكل الإطارات. فمنذ عام 2020، تعمل شركة "ذا تاير كوليكتيف" في المملكة المتحدة على اختبار جهاز كهرو ستاتيكي يُثبّت خلف العجلات لالتقاط الجسيمات المتطايرة.[723] وقد نالت الشركة اعترافاً أوروبياً، إذ صُنّفت ضمن أفضل الشركات الناشئة في مجال التنقّل النظيف من الجائزة الأوروبية للشركات الناشئة لعام 2025، وتستعدّ حالياً لإطلاق منتجها رسمياً في الأسواق خلال عام 2026.[724] كما تعمل شركة "ذا سمارت تاير"(The Smart Tire) التي انطلقت ضمن برنامج الشركات الناشئة التابع لوكالة ناسا عام 2021،[725] على تطوير إطارات بدون هواء للدراجات الهوائية. وتتميّز هذه الإطارات باستخدام كميات أقل من المطاط بنسبة تصل إلى 50% مقارنةً بالإطارات التقليدية، ومن المتوقّع أن تبدأ باستقبال طلبات الشراء في الربع الثالث من عام 2026.[726]

وعلى صعيد السياسات، فقد اعتمد الاتحاد الأوروبي في أبريل 2024 نظام يورو 7، الذي يفرض للمرة الأولى حدوداً واضحة على انبعاثات تآكل الإطارات في سيارات الركاب، على أن تدخل هذه المتطلبات حيّز التنفيذ بحلول نوفمبر 2026.[727]

استثمرت شركة ميشلان

920 مليون دولار أمريكي

في مجال البحث والتطوير خلال عام 2024، ونجحت في تطوير إطارات تطلق جزيئات أقل بنسبة **26%** مقارنةً بمتوسّط الإطارات المماثلة ضمن الفئة المتميّزة

سمارت تاير

تعمل على تطوير إطارات بدون هواء للدراجات الهوائية تستخدم كميات أقل من المطاط بنسبة **تصل إلى 50% مقارنةً** بالإطارات التقليدية

اعتمد الاتحاد الأوروبي في أبريل 2024 نظام يورو 7، الذي يفرض للمرة الأولى حدوداً واضحة على انبعاثات تآكل الإطارات في سيارات الركاب، على أن تدخل هذه المتطلبات حيّز التنفيذ بحلول نوفمبر 2026

L بناءً على سعر صرف اليورو مقابل الدولار الأمريكي بتاريخ 11 يوليو 2026.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
البحث والتطوير

تقدّم البحث والتطوير التعاوني في مجال عجلات التقاط الجسيمات، والمواد منخفضة التآكل، والنماذج الاستكشافية الهجينة التي تجمع بين العجلات التقليدية وتقنيات الرفع المغناطيسي. وفي هذا السياق، يشكّل تطبيق نظام يورو 7 (نوفمبر 2026) ضغطاً تنظيمياً. كما تختبر الشركات الناشئة حلولاً مبتكرة تشمل تقنيات التقاط الجسيمات والإطارات غير الهوائية.

- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

وضع الأطر التنظيمية والمعايير

وضع معايير موحّدة لبروتوكولات العجلات الذكية، تشمل البيانات، والطاقة، وواجهات الدفع، إلى جانب تطوير بروتوكولات اختبار لقياس الانبعاثات وتقييم قدرات العجلات متعدّدة الوظائف. وإطلاق تجارب تنظيمية للبنية التحتية المتوافقة مع الرفع المغناطيسي ضمن ممرات مختارة.

- المنح المُدمّجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- المنح القابلة للتحويل

تفعيل التجربة والعرض التطبيقي

استخدام العجلات الهجينة على كلٍ من الطرق التقليدية وفي البنية التحتية لشبكات الرفع المغناطيسي، مع إطلاق أوّل ممرات نقل ركّاب بالرفع المغناطيسي تجارياً، بالإضافة إلى تقييم سلاسل الإمداد والقدرات التصنيعية وتوسّعها لدعم أنظمة العجلات المتقدّمة.

- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض
- صناديق رأس المال الاستثماري
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

2023 **23**

المستقبل المنشود
تعزيز التسويق التجاري والتوسّع

تطوّر العجلات لتصبح أنظمة متعدّدة الوظائف، تجمع بين التقاط الطاقة والاستشعار والدفع. في الوقت نفسه، تتوسّع شبكات الرفع المغناطيسي داخل المدن وبينها، مع التوجّه التدريجي للاستغناء عن الإطارات المطاطية التقليدية في الأسواق المتقدّمة.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

تسهم العجلات القادرة على التقاط الانبعاثات من مصدرها في تحسين جودة الهواء في المدن، وتساعد ممرات الرفع المغناطيسي على خفض ضوضاء المرور في أحيائها. كما تطيل العجلات المولِّدة للطاقة مدى المركبات الكهربائية، ما يقلل الحاجة إلى توسيع البنية التحتية للشحن. ويعزز رصد التلوّث الفوري من كفاءة الإدارة المرورية وقدرتها على التكيف. ومع هذا التحوّل، يختفي ما يقارب ستة ملايين طن من نفايات المطاط سنوياً، لتحلّ محلّها منظومات تصنيع دائرية أكثر استدامة.

عوامل تمكين الفرصة

- مواءمة السياسات التنظيمية بين القطاعات لتمكين العجلات الذكية، وأنظمة الطرق والرفع المغناطيسي الهجينة، ووضع آليات واضحة لقياس انبعاثات الجسيمات.
- توفير تمويل مستدام لتطوير تقنيات العجلات وحلول الرفع المغناطيسي التحويلية.
- تحويل أنظمة التصنيع من سلاسل توريد المطاط التقليدية إلى المواد المركّبة المتقدّمة.
- إعداد سجلات سلامة وإرساء أنظمة تواصل فعّالة لشرح مزايا هذه العجلات للجمهور من حيث الأمان والموثوقية.

التحديات

- ضعف الاهتمام بالتحوّل إلى أنظمة الرفع المغناطيسي في ظل الاستثمارات الكبيرة في البنية التحتية التقليدية للطرق.
- غموض الجدوى التجارية ومسار النمو للعجلات المولِّدة للطاقة، والنماذج الهجينة بين العجلات والرفع المغناطيسي، وتقنيات التقاط الجسيمات.
- عدم تكافؤ فرص الوصول إلى إطارات الجيل القادم.
- عدم اليقين التنظيمي والتحديات المرتبطة بمسؤوليات التأمين، خصوصاً في حالات تعطّل أنظمة الرفع المغناطيسي.
- مقاومة مجتمعية محتملة لاعتماد عجلات جديدة أو أنظمة تنقّل هجينة أو قائمة على الرفع المغناطيسي.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

44 2023

هل يمكن أن نصل إلى مرحلة تصنيع مواد جديدة خلال ثوانٍ فقط؟

ابتكـــار مواد جديدة

يتيح الذكاء الآلي المتقدم تطوير نماذج وخوارزميات قادرة على التنبؤ بخصائص المواد الجديدة وسلوكها، مما يسرّع بشكل كبير عملية اكتشاف المواد وتصميمها.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
ثورة المواد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
مستقبل المواد الخام
توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
تحفيز الابتكار
البيانات المفتوحة

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
الروبوتات
الحوسبة المتقدمة

الفئة
التحوّل

القطاعات الأكثر تأثّراً
السيارات والفضاء والطيران
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
التصنيع
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية
اكتشاف المواد باستخدام الذكاء الاصطناعي
التجريب الآلي
مواد الجيل القادم
المختبرات ذاتية القيادة

أهمية الفرصة

يشكّل علم المواد الأساس الذي تقوم عليه العديد من التقنيات التي يعتمد عليها العالم اليوم، مثل الرقائق الإلكترونية والألواح الشمسية والبطاريات وأدوات القطع. فمن خلاله تتحول الأفكار العلمية إلى منتجات عملية تدعم الاقتصاد والصناعة. ففي الماضي، كان انتقال أي مادة جديدة من المختبرات إلى الأسواق يستغرق سنوات طويلة قد تصل إلى عشرين عاماً.[728] أما اليوم، فقد بدأت المختبرات المدعومة بالذكاء الاصطناعي والقادرة على العمل بشكل شبه ذاتي في تسريع اكتشاف المواد الجديدة بمعدل يفوق الطرق التقليدية بأكثر من عشرة أضعاف.[729] ويتيح هذا التسارع فتح آفاق واسعة للابتكار عبر مختلف القطاعات، ويقرّب حلولاً تقنية كانت تبدو حتى وقت قريب بعيدة المنال.

الإيجابيات

تعزيز الجدوى الاقتصادية لتطوير المواد الجديدة، وتوسيع تنوعها، مع تقليل أثرها البيئي، إضافة إلى تحسين القدرة على اكتشاف المخاطر المحتملة للمواد الجديدة ومعالجتها قبل استخدامها على نطاق واسع.

الإيجابيات

التأخر في اعتماد الإصلاحات التنظيمية اللازمة لتمكين الابتكار في اكتشاف المواد، إلى جانب احتمال إساءة استخدام التقدم في هذا المجال لأغراض ضارة.

اليوم بدأت المختبرات المدعومة بالذكاء الاصطناعي والقادرة على العمل بشكل شبه ذاتي في تسريع اكتشاف المواد الجديدة بمعدل يفوق الطرق التقليدية بأكثر من

10 أضعاف

في الماضي، كان انتقال أي مادة جديدة **من المختبرات إلى الأسواق** يستغرق سنوات طويلة قد تصل إلى

20 عاماً

الوضع الحالي

يشهد اكتشاف المواد باستخدام الذكاء الاصطناعي مرحلة تحول مهمة. فبينما أثبتت هذه التقنيات قدرة كبيرة على اقتراح وتقييم أعداد هائلة من المواد الجديدة، لا يزال التحدي الأساسي يتمثل في تحويل هذه التوقعات الرقمية إلى مواد فعلية يمكن تصنيعها واختبارها وتسويقها. وتعكس الاستثمارات العالمية المتزايدة الثقة المتنامية في هذا المجال. فقد أطلق الاتحاد الأوروبي مشروع FULL-MAP الممتد بين فبراير 2025 ويناير 2029 بميزانية تقارب 22.75 مليون دولار أمريكي،[M] بهدف تسريع اكتشاف مواد مستدامة لبطاريات الجيل القادم من خلال منصة ذاتية التشغيل مدعومة بالذكاء الاصطناعي.[730]

كما أعلنت "غوغل ديب مايند" في عام 2023 أن نظامها GNoME تمكن من التنبؤ بوجود نحو 2.2 مليون مادة جديدة، من بينها 380 ألف مادة يُعتقد أنها مستقرة وقابلة للتجربة.[731] ومع ذلك، لا يزال العالم يترقب نتائج عملية توضح عدد المواد التي تم تصنيعها واستخدامها فعلياً في تطبيقات واقعية.

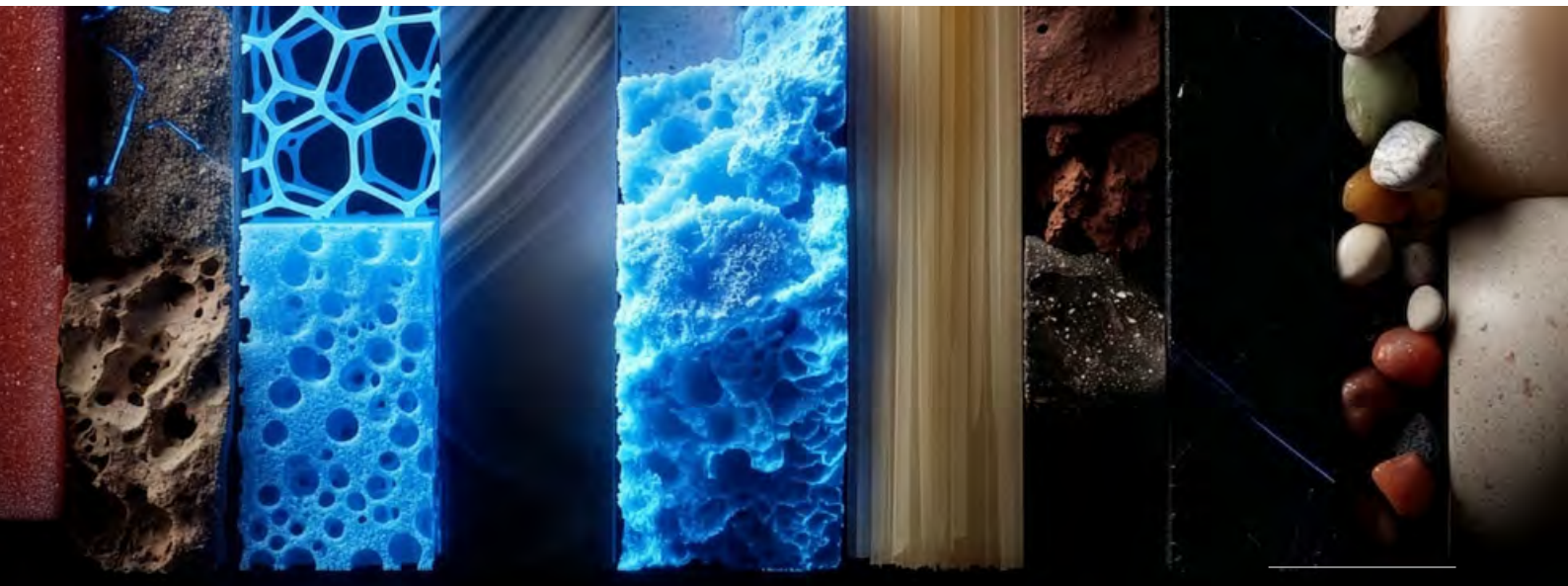
ومن أبرز النماذج الواعدة في هذا المجال المختبرات ذاتية القيادة، حيث يصمّم الذكاء الاصطناعي التجارب، وتنفّذها الروبوتات، ثم تعود النتائج إلى النظام لتحليلها والتعلم منها وتحسين التجارب التالية بشكل متواصل. وقد صنّفت مجلة Nature هذه المختبرات ضمن أبرز التقنيات التي ينبغي متابعتها في عام 2025،[732] خاصة بعد أن بدأت بالفعل في تحقيق اكتشافات ذات قيمة تجارية.[733] [734]

فعلى سبيل المثال، استخدمت منصة CRESt التابعة لمعهد MIT هذا النهج لإجراء أكثر من 900 عملية تركيب ونحو 3500 تجربة، ما أدى إلى اكتشاف محفّز متقدم حقق أداءً قياسياً في خلايا الوقود.[735]

وفي الوقت نفسه، يعكس التوجه الاستثماري للصناعة هذا التحول المتسارع. فقد أطلق معهد تويوتا للأبحاث في أبريل 2024 تحدياً بحثياً عالمياً بقيمة ملايين الدولارات بهدف سد الفجوة بين المواد التي يتنبأ بها الذكاء الاصطناعي وتصنيعها وتطبيقها عملياً.[736] كما تواصل شركات مثل إنفيديا[737] ومايكروسوفت[738] وشرودنجر[739] الاستثمار في تطوير منصات ذكاء اصطناعي متخصصة لعلم المواد.

وبوجه عام، يمتلك الذكاء الاصطناعي في مجال اكتشاف المواد قدرات تنبؤية قوية وإمكانات تجريبية واعدة، لكنه لم يصل بعد إلى مرحلة الإنتاج الصناعي واسع النطاق. ومن المتوقع أن تركز الجهود خلال السنوات المقبلة على سد الفجوة بين التنبؤات النظرية والتطبيقات العملية القابلة للتوسع والتسويق.

استخدمت منصة CRESt التابعة لمعهد MIT هذا النهج لإجراء أكثر من 900 عملية تركيب ونحو 3500 تجربة، ما أدى إلى **اكتشاف محفّز متقدم حقق أداءً قياسياً في خلايا الوقود**



M بناءً على سعر صرف اليورو مقابل الدولار الأمريكي بتاريخ 11 يوليو 2026.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
إنشاء مختبرات بحث وتطوير لمواد الذكاء الاصطناعي

إنشاء قواعد بيانات مشتركة للمواد، ونماذج ذكاء اصطناعي، ومختبرات متقدّمة تسهم في تسريع الاكتشاف وعمليات الفحص والتحقّق.

- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- برامج مسرّعات الأعمال

وضع معايير البيانات والسلامة والاختبار

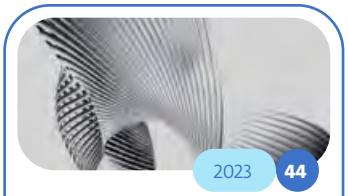
وضع معايير للبيانات والسلامة والاختبار تضمن تطوير مواد مدفوعة بالذكاء الاصطناعي بشكل موثوق ومسؤول.

- جوائز التحديات
- عقود الخدمات
- المنح المرحلية

تطوير مختبرات ذاتية الاكتشاف والتحقّق

تطوير مختبرات ذاتية القيادة تدمج الذكاء الاصطناعي والروبوتات والتغذية الراجعة الفورية، بما يتيح الاختبار السريع للمواد.

- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- المنح القابلة للتحويل
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض القابلة للتحويل



2023 44

المستقبل المنشود
ابتكار مواد تتكيّف مع متطلبات الاستخدام

إتاحة تصميم المواد والتحقّق منها وتصنيعها بشكل فوري، بما يلبّي متطلبات أداء محدّدة ومخصّصة.

- صناديق التوسّع
- القروض
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

من المتوقع أن تصبح المختبرات ذاتية القيادة جزءاً أساسياً من منظومة البحث العلمي، حيث يندمج الذكاء الاصطناعي مع الروبوتات والخبرة البشرية لتقليص زمن اكتشاف المواد من سنوات طويلة إلى أيام أو حتى ساعات. وفي هذا النموذج، يركّز العلماء على صياغة الفرضيات والرؤى الابتكارية، بينما تتولى الأنظمة الذكية تنفيذ التجارب الروتينية وتحليل نتائجها بسرعة ودقة عاليتين. كما ستصبح بيانات المواد الموثوقة والمتحقق منها متاحة للمشاركة بين المؤسسات البحثية والصناعية، مما يسرّع الانتقال من الاكتشافات العلمية إلى التطبيقات العملية في قطاعات حيوية مثل الطاقة والإلكترونيات والتصنيع والرعاية الصحية.

عوامل تمكين الفرصة

- إنشاء منصات مفتوحة لتبادل البيانات بين مجتمعات البحث العالمية.
- تكثيف الاستثمار في مجالات الذكاء الاصطناعي والروبوتات والحوسبة السحابية لدعم المختبرات ذاتية التشغيل.
- صياغة أطر سياسات واضحة تنظّم استقلالية المختبرات والملكية الفكرية وتبادل البيانات.
- تحفيز التعاون بين القطاعات لتنسيق عمليات الاكتشاف والتحقّق والتطبيق.
- وضع أطر تنظيمية مرنة تتيح تطوير واستخدام المواد النانوية والمواد الحيوية المستحدثة.

التحديات

- تراجع الخبرة البشرية مع الاعتماد المتزايد على الأتمتة في اتخاذ القرارات التجريبية.
- صعوبة التحقّق من المواد التي يتنبأ بها الذكاء الاصطناعي قبل اعتمادها على نطاق واسع.
- ارتفاع التكاليف الأوّلية، ما يحدّ من قدرة المختبرات والمؤسسات الصغيرة على تبنّي هذه التقنيات.
- غياب أطر أخلاقية وتنظيمية واضحة لتصميم المواد ذاتياً.
- نقص البنية التحتية والمعدات المشتركة التي يمكن أن تخفض تكاليف البحث والتجريب.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

47 2023

ماذا لو استطعنا تصوير طبقات الأرض بالكامل كما لو أنها تخضع لفحص بالأشعة السينية؟

صـــــورة متكاملة للأرض

قد تتيح تقنيات التصوير بالأشعة الكونية إمكانية تكوين صورة ثلاثية الأبعاد لباطن الأرض، بما يساعد على اكتشاف مصادر جديدة للمياه والطاقة والمعادن والموارد الأخرى، إضافة إلى رصد المشكلات الجيولوجية والبنيوية في مراحل مبكرة.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى
إدارة النظم البيئية

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
مستقبل المواد الخام
الرشاقة الحكومية
البيانات المفتوحة
استعادة الطبيعة

التكنولوجيا
الحوسبة المتقدمة
تكنولوجيا النانو
تقنيات الاستشعار

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
المعادن والتعدين
التأمين وإعادة التأمين
البنية التحتية والبناء
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية
التصوير بالميونات الناتجة عن الأشعة الكونية
تطبيقات ميدانية مستخدمة في الواقع العملي
تسويق تجاري

أهمية الفرصة

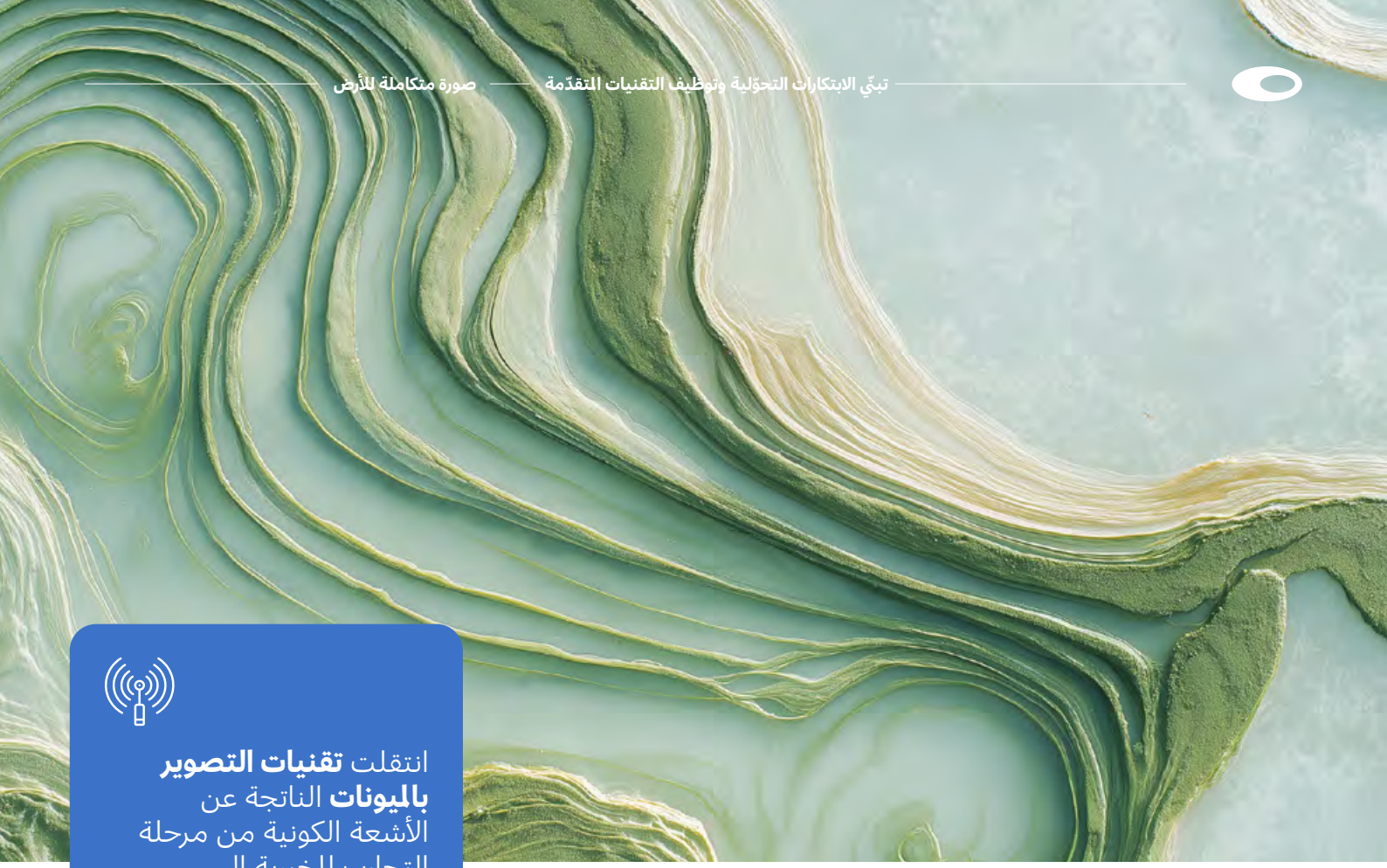
يساعد فهم باطن الأرض في تحديد الموارد الحيوية والتنبؤ بالكوارث الطبيعية. غير أن الأساليب التقليدية، مثل الحفر، تظل مكلفة وخطرة ومحدودة الفاعلية؛[740] إذ لم يتجاوز عمق أعمق بئر حُفر في التاريخ 12.3 كيلومتراً، وهذا بسبب درجات الحرارة العالية والضغط والحجم، ولم يكن من الممكن إرسال أجهزة الأشعة الى القاع.[741] في المقابل، ظهرت تقنيات حديثة تعمل بطريقة مشابهة للتصوير بالأشعة السينية، مثل التصوير بالميونات الناتجة عن الأشعة الكونية، حيث تخترق هذه الجسيمات سطح الأرض وتكشف البنى الخفية في باطنها. وتتيح هذه التقنيات تحسين دقة اكتشاف الموارد والتنبؤ بالمخاطر الطبيعية بأسلوب أكثر استدامة، ومن دون الحاجة إلى عمليات حفر واسعة النطاق.

الإيجابيات

توفير بيانات ذات قيمة اقتصادية حول الموارد الكامنة تحت سطح الأرض، وتعزيز فهم كيفية إدارتها بكفاءة، إلى جانب تحسين تخطيط البنية التحتية وتعزيز معايير السلامة، بما يدعم النمو الاقتصادي والرخاء.

المخاطر

احتمال احتكار استخدام تقنيات اكتشاف الموارد الجديدة، إضافة إلى احتمال عدم تحقيق تقنيات التصوير بالأشعة الكونية النتائج المتوقعة رغم زيادة التمويل، فضلاً عن مخاطر استنزاف الموارد الطبيعية بما يقوض جهود حماية الكوكب.



انتقلت **تقنيات التصوير بالميونات** الناتجة عن الأشعة الكونية من مرحلة التجارب المخبرية إلى تطبيقات ميدانية مثبتة.

الوضع الحالي

انتقلت تقنيات التصوير بالميونات الناتجة عن الأشعة الكونية من مرحلة التجارب المخبرية إلى تطبيقات ميدانية مثبتة.[742] فقد أثبتت فعاليتها في مجالات متعددة، من بينها دراسة المباني الحديثة والمعالم التاريخية، ومراقبة النشاط البركاني، وفحص الهياكل الصناعية المعقّدة. كما بدأت هذه التقنية تجد تطبيقات واعدة في الأمن النووي وإجراءات الحماية النووية،[743] إضافة إلى مشاريع البنية التحتية مثل فحص طبقات الصخور فوق أنفاق المترو.[744]

وعلى الصعيد التجاري، أثبتت شركة "إيديون تكنولوجيز" جاهزية هذه التقنية في مجال استكشاف المعادن، حيث مكّنت من تصوير التكوينات الجيولوجية تحت سطح الأرض بدقة وعلى أعماق تصل إلى مئات الأمتار، ما ساعد في تحديد مواقع الحفر بموثوقية أكبر.[745] وفي السياق ذاته، طوّرت شركة "ديسيشن ساينسز إنترناشيونال كوربوريشن" أنظمة تعتمد على تشتّت الميونات لتعزيز أمن الشحن وتأمين الحدود.[746]

وتتجه الاستثمارات العامة والخاصة بشكل متزايد نحو هذه التقنية. ففي اليابان مثلاً، خُصّصت منحة KAKENHI للأبحاث التحويلية بقيمة 1.14 مليون دولار أمريكي[N] للفترة بين 2025 و2030 لتطوير الجيل القادم من أنظمة التصوير بالميونات.[747] كما بدأت مبادرات مبكرة لتحويل التقنيات العميقة إلى منتجات تجارية، مدعومة بجولات تمويل تأسيسية بلغت 374 ألف دولار أمريكي[O] لتطوير منصات متخصّصة في هذا المجال.[748]

وبوجه عام، يمكن القول إن التصوير بالميونات تجاوز مرحلة الاختبارات الميدانية وأصبح تقنية ناشئة تجارياً، لكنه لا يزال في مرحلة انتقالية، إذ لم يتحول بعد إلى اعتماد صناعي واسع عبر مختلف القطاعات.

تتجه استثمارات الجهات العامة والخاصة بشكل متزايد **لتطوير الجيل القادم من أنظمة التصوير بالميونات**

O, N بناءً على سعر صرف الين الياباني مقابل الدولار الأمريكي بتاريخ 11 يوليو 2026.

أثبتت شركة "إيديون تكنولوجيز" جاهزية التصوير بالميونات في مجال استكشاف المعادن، **حيث مكّنت من تصوير التكوينات الجيولوجية تحت سطح الأرض بدقة وعلى أعماق تصل إلى مئات الأمتار،**

ما ساعد في تحديد مواقع الحفر بموثوقية أكبر.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي

تنفيذ عروض ميدانية علمية قائمة على المشاريع

نشر تقنيات التصوير باليونات ضمن مشاريع تجريبية معزولة في قطاعات التعدين والبراكين والبنية التحتية، مع الاعتماد على معدات مصمَّمة خصيصاً، وخبرات متخصّصة، وفترات طويلة لجمع البيانات.

- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات

تفعيل برامج تجريبية تجارية قابلة للتكرار ومخصّصة حسب القطاع

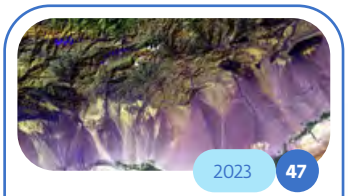
توحيد سير عمل النشر داخل كل قطاع على حدة، بما يتيح تنفيذ برامج تجريبية قابلة للتكرار، وتحقيق إيرادات مبكرة، وتمكين عمليات الشراء من قِبل الشركاء الصناعيين والجهات العامة.

- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- المنح القابلة للتحويل
- عقود الخدمات

إرساء أنظمة نشر موحّدة وخاضعة للتنظيم

وضع معايير أداء، وبروتوكولات سلامة، ومعايير بيانات تمكّن من نشر تقنيات التصوير باليونات بصورة منظّمة وقابلة للتشغيل البيني عبر قطاعات البنية التحتية والتعدين والطاقة.

- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- المنح القابلة للتحويل
- عقود الخدمات
- القروض القابلة للتحويل



2023 47

المستقبل المنشود

إتاحة التصوير المستمرّ والتلقائي لباطن الأرض

إتاحة التصوير المستمرّ تحت سطح الأرض، مع توحيد المعايير، والالتزام بالأطر التنظيمية، بما يدعم اتخاذ قرارات روتينية وموثوقة في مجالات اكتشاف الموارد، ورصد المخاطر، وتخطيط البنية التحتية.

- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

بفضل هذه التقنيات، ستتمكن المجتمعات من تطوير بنية تحتية أكثر أماناً مع تراجع الحاجة إلى أعمال الحفر وما يرافقها من اضطرابات بيئية.كما ستوفر أنظمة التصوير باليونات إنذارات مبكرة وأكثر دقة للكوارث الطبيعية، ما يدعم اتخاذ قرارات أسرع وأكثر فاعلية في إدارة الموارد والمخاطر. وفي الوقت نفسه، ستتحول البيانات الموثوقة عن باطن الأرض – التي يتم جمعها من دون تدخل مباشر أو تخريب للتربة – إلى مرجع أساسي تعتمد عليه الحكومات وشركات التأمين والقطاع الصناعي، ليس فقط لتقليل المخاطر وخفض التكاليف، بل أيضاً لتسريع إجراءات التصاريح ودعم مسارات التنمية المستدامة مع حماية الأفراد والنظم البيئية.

عوامل تمكين الفرصة

- اعتماد معايير أداء وسلامة معترف بها دولياً لضمان التوسع السلس لهذه التقنيات عبر القطاعات.
- تقليل المتغيرات الغامضة المرتبطة بموثوقية البيانات والتحقق منها وضمان قابليتها للمقارنة بين المشاريع المختلفة.
- مواءمة عمليات التحقق العلمي مع الجداول الزمنية التجارية ومتطلبات القبول التنظيمي.
- تطوير حلول موثوقة وقابلة للنشر لتطبيق تقنيات تصوير اليونات.
- حل موثوق وقابل للنشر لتصوير اليون

التحديات

- الحاجة إلى تطوير أساليب إعادة البناء والتحليل المعتمدة على الذكاء الاصطناعي لمعالجة فترات جمع البيانات الطويلة.
- الغموض التنظيمي الذي قد يبطئ اعتماد التقنية رغم الحاجة إلى وضع معايير وأطر تنظيمية واضحة.
- ارتفاع التكاليف الأولية، ما يتطلب تطوير بنية تحتية مشتركة وتعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

50 2023

ماذا لو أصبح الانتقال اللحظي حقيقة؟

الانتقال اللحظي

قد تُحدث التطوّرات المتسارعة في فيزياء الكم ثورة في الاتصالات والتشفير والحوسبة، وتحوّل الواقع الرقمي إلى واقع أكثر حضوراً وتأثيراً. وعلى المدى الأبعد، قد تفتح هذه القفزات الباب أمام إمكانات الانتقال اللحظي للأشخاص والأشياء.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا
القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
الاتصال المتقدّم
التقنيات الكمومية
الشراكة بين القطاعات
الاقتصاد الرقمي
التعاون الدولي

التكنولوجيا
الاتصال المتقدّم
التقنيات الكمومية

الفئة
التحوّل

القطاعات الأكثر تأثّراً
أمن المعلومات والأمن السيبراني
تقنية المعلومات والاتصالات
الخدمات المالية والمستثمرون
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الخدمات الحكومية

الكلمات الرئيسية
الانتقال اللحظي الكمومي
الشبكات الكمومية
التطبيقات الكمومية في الواقع الفعلي

الواقع الحالي

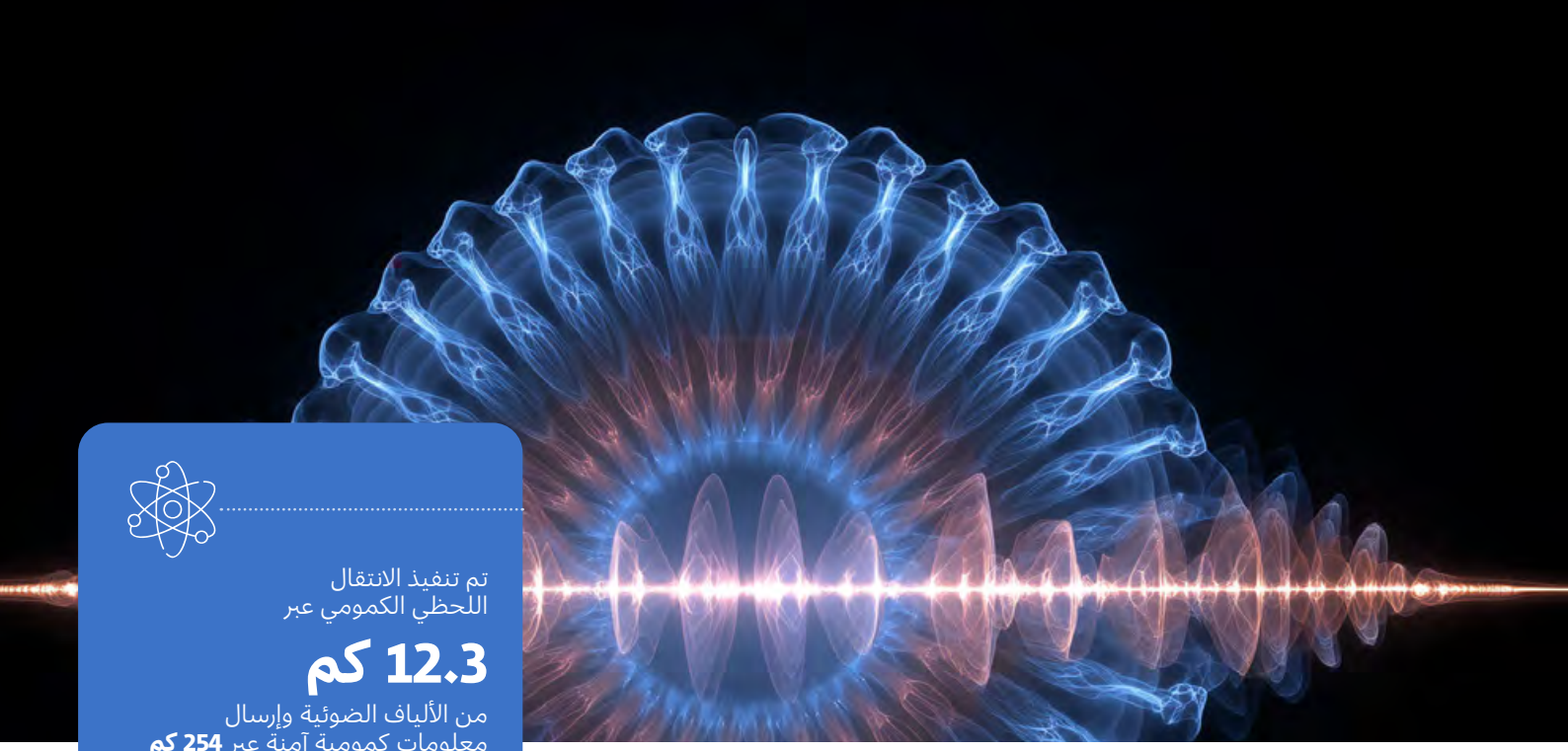
يُختزل "الانتقال اللحظي" غالباً في صورة خيالية لنقل الأشخاص أو الأشياء فوراً بين مكانين. لكن واقعه اليوم مختلف: الانتقال اللحظي الكمومي يشير إلى تحوّل جذري في طرق الاتصال والتشفير والحوسبة عالمياً. هذا التحول يعيد تشكيل كيفية إجراء المعاملات الرقمية، ويرفع مستوى أمن الاتصالات، ويعزز الثقة الرقمية لدى الحكومات والبنوك والأنظمة الحيوية.
فعلى سبيل المثال، تتيح الحوسبة الكمومية السحابية لدى "آي بي إم" IBM قدرات حسابية متقدمة تُسرّع بعض التطبيقات بما يصل إلى 120 ضعفاً مقارنة بالطرق التقليدية.[749] وبفضل ذلك، تسهم التقنيات الكمومية التأسيسية في تعزيز أمن البيانات، وتفتح آفاقاً جديدة للذكاء الاصطناعي والحوسبة الموزعة. ومن المتوقع أن تنمو قطاعات الحوسبة والاتصالات والاستشعار الكمومي لتصل قيمتها إلى 97 مليار دولار بحلول 2035.[750]

الإيجابيات

إرساء أساس لانتقال آمن وفوري للأشخاص والمواد "ضمن ضوابط دقيقة"، بما يوسع إمكانات التواصل، وإجراء التجارب، وتنفيذ عمليات طبية بشكل واقعي وآمن.

المخاطر

تداعيات غير مقصودة، مثل أضرار على مستوى الجسيمات دون الذرية، إلى جانب مخاطر احتكار تقنيات الانتقال اللحظي. وعلى المدى الأبعد، قد يثير هذا المسار أسئلة وجودية حول تراجع "التواجد المادي" إذا أصبح التواجد ممكناً في أي مكان وفي أي وقت.



تم تنفيذ الانتقال اللحظي الكمومي عبر

12.3 كم

من الألياف الضوئية وإرسال معلومات كمومية آمنة عبر **254 كم** من كابلات الألياف الضوئية التجارية.

التزمت الحكومات حول العالم (حتى منتصف 2025) بنحو

55.7 مليار

دولار لدعم البحث والتطوير والبنية التحتية للتقنيات الكمومية.

تسعى أوروبا لريادة عالمية في التكنولوجيا الكمومية بحلول 2030، مع تحديد **63 تقنية** **استشعار كمومي** واعدة في مجال الرعاية الصحية.

الوضع الحالي

لم يعد الانتقال اللحظي الكمومي محصوراً في المختبرات؛ بل بدأ يأخذ طريقه إلى تطبيقات واقعية، خصوصاً في الاتصالات الآمنة والحوسبة.[751] فقد نجح الباحثون — للمرة الأولى — في نقل معلومة كمومية عالية الدقة مرتبطة بفوتون واحد بين موقعين داخل مدينة واحدة عبر كابلات الألياف الضوئية، في دليل عملي على قابلية تطبيق التقنيات الكمومية ضمن بيئات حضرية.[752]

كما تمكنت فرق بحثية أخرى من تنفيذ الانتقال اللحظي الكمومي للفوتونات عبر 12.3 كيلومتراً من الألياف الضوئية، بما يؤكد إمكانية نقل الحالات الكمومية فعلياً من شريحة إلكترونية إلى أخرى.[753] ونجحت مجموعة بحثية كذلك في إرسال معلومات كمومية آمنة عبر 254 كيلومتراً من كابلات الألياف الضوئية التجارية، في إنجاز يقرب الشبكات الكمومية من الاستخدام العملي.[754]

ورغم أن الإنترنت الكمومي العالمي غير متاح حتى اليوم، فإن التسارع في التقنيات الأساسية يشير إلى أن التشفير غير القابل للاختراق تقريباً وربط الحواسيب الكمومية قد يصبحان واقعاً خلال العقد المقبل.[755]

وفي هذا السياق، أعلنت المفوضية الأوروبية في يوليو 2025 خطة تستهدف جعل أوروبا رائدة عالمياً في التكنولوجيا الكمومية بحلول 2030.[756]

أما في الرعاية الصحية، فقد حدد الباحثون 63 تقنية استشعار كمومي مرشحة لتحسين التشخيص والتصوير الطبي ومراقبة العلاجات، رغم أن معظمها لا يزال في المراحل الأولى.[757] وعلى مستوى الاستثمار، كانت الحكومات حول العالم قد التزمت — حتى منتصف 2025 — بتوفير نحو 55.7 مليار دولار أمريكي من التمويل العام لدعم البحث والتطوير وبناء البنية التحتية للتقنيات الكمومية.[758]

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
تطوير مراكز البحث الكمومي

إثبات الانتقال اللحظي الكمومي الموثوق، من خلال فرق متعدّدة التخصّصات، وتوزيع التشابك الكمومي، والتحكّم في الأخطاء ضمن بيئات بحثية دقيقة، مع التركيز على حالات الاستخدام ذات الإمكانات العالية.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

تفعيل برامج تجريبية للتقنيات الكمومية

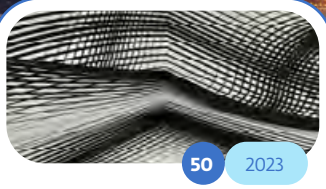
نشر تطبيقات واقعية في مجالي الاستشعار الكمومي والاتصالات الآمنة، مع اختبار قابلية التشغيل البيني مع البنية التحتية التقليدية القائمة.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- عقود الخدمات

تطوير الاقتصاد الكمومي

توسيع شبكات كمومية قابلة للتشغيل البيني لخدمة التمويل العالي، والرعاية الصحية، والذكاء الاصطناعي، بما يُسهم في إنشاء اقتصاد ناضج، وآمن، وقائم على التقنيات الكمومية.

- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض
- صناديق التوسّع
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق رأس المال الاستثماري



2023 — 50

المستقبل المنشود
تقدّم نوعي في المادة الكمومية

تحقيق الانتقال اللحظي للمادة المعقّدة والكائنات الحيّة من خلال اكتشافات في الفيزياء الكمومية وتقنيات الدقة الذرّية.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

سنشهد معاملات رقمية محصنة ضد الهجمات السيبرانية، واتصالات حكومية آمنة بفضل أنظمة تشفير كمومي يُفترض أن اختراقها شبه مستحيل. كما ستدعم الحوسبة الكمومية الموزعة تطوّر قدرات الذكاء الاصطناعي، وتؤسس لبنية تحتية مالية أكثر مرونة تتيح تبادل البيانات بثقة عبر الحدود. وسيترجم ذلك إلى أثر مباشر على النمو الاقتصادي والأمن الوطني، مع تقدم نوعي في الرعاية الصحية. والأهم: لن يقتصر الأثر على تأمين العالم الرقمي، بل سيعيد بناء ثقة الجمهور في الأنظمة الرقمية. وعلى المدى الأبعد، قد تقود اكتشافات الفيزياء الكمومية إلى تغييرات تمسّ واقعنا المادي نفسه.

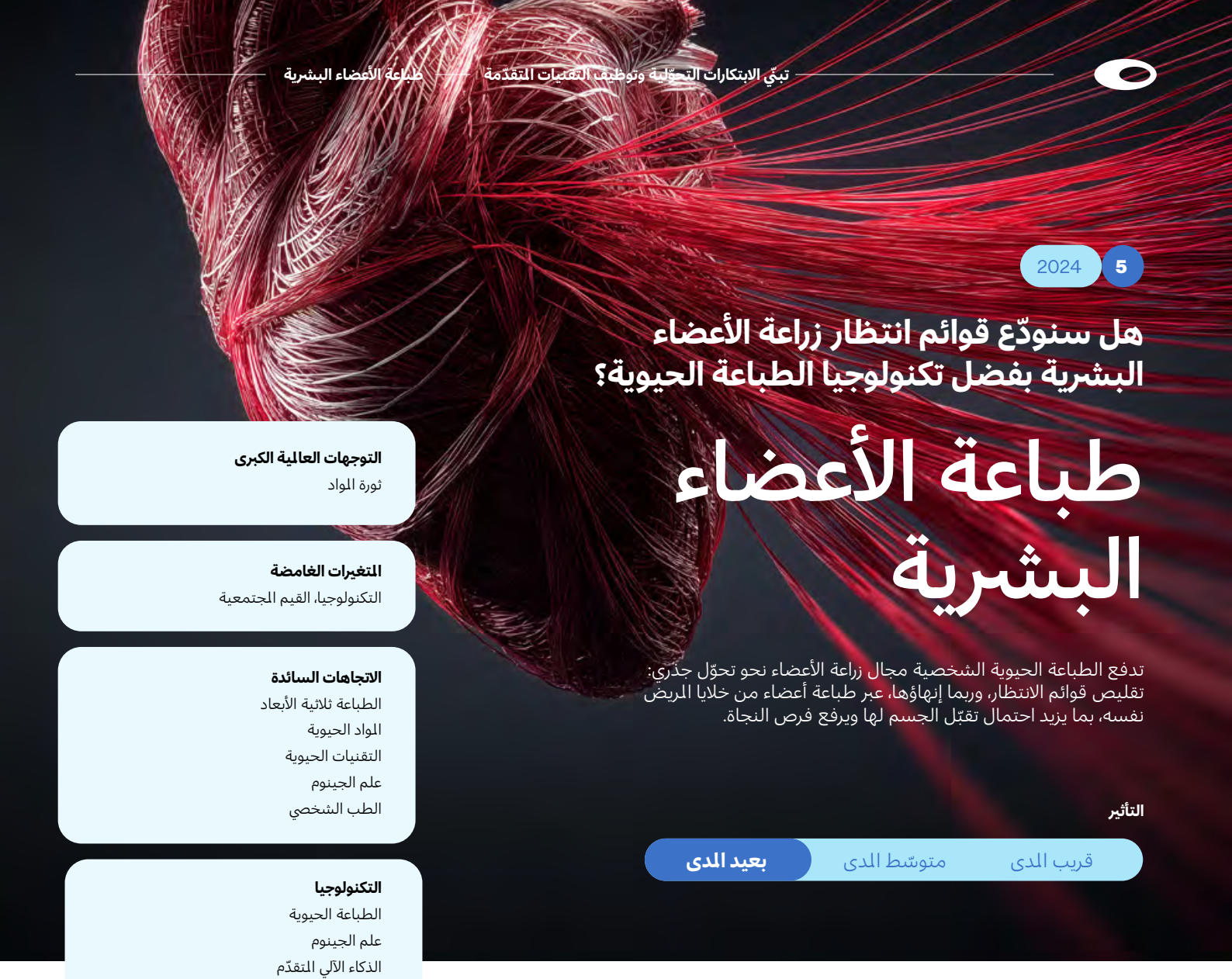
عوامل تمكين الفرصة

- تطوير آليات حوكمة وأطر قانونية تضمن الالتزام بالأخلاقيات والسلامة والخصوصية.
- إرساء معايير كمومية دولية وبروتوكولات شبكات موحدة لضمان قابلية التشغيل البيني.
- تفعيل شراكات بحثية فعالة عابرة للحدود والقطاعات.
- تأهيل كوادر متخصصة ومسارات تعليمية وبرامج لإعادة تدريب القوى العاملة.
- تحفيز البحث العلمي لاكتشافات فيزيائية جديدة تتجاوز العوائق الحالية في نقل المادة

التحديات

- مخاطر الأمن السيبراني خلال مرحلة الانتقال.
- التكاليف المرتفعة للبنية التحتية والحاجة إلى أنظمة كمومية وطنية مشتركة.
- تحديات التشغيل البيني بين الأنظمة التقليدية والكمومية.
- ندرة الكفاءات المتخصصة في المجال الكمومي.
- ضرورة استدامة التمويل رغم المتغيرات الغامضة، خصوصاً في أبحاث الفيزياء الأساسية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**



2024 5

هل سنودّع قوائم انتظار زراعة الأعضاء البشرية بفضل تكنولوجيا الطباعة الحيوية؟

طباعة الأعضاء البشرية

تدفع الطباعة الحيوية الشخصية مجال زراعة الأعضاء نحو تحوّل جذري: تقليص قوائم الانتظار، وربما إنهاؤها، عبر طباعة أعضاء من خلايا المريض نفسه، بما يزيد احتمال تقبّل الجسم لها ويرفع فرص النجاة.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى
ثورة المواد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
الطباعة ثلاثية الأبعاد
المواد الحيوية
التقنيات الحيوية
علم الجينوم
الطب الشخصي

التكنولوجيا
الطباعة الحيوية
علم الجينوم
الذكاء الآلي المتقدّم

الفئة
الصحة

القطاعات الأكثر تأثّراً
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الخدمات الحكومية
الصحة والرعاية الصحية
التأمين وإعادة التأمين
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية
الطباعة الحيوية
زراعة الأعضاء
علم الجينوم
هندسة الأنسجة
الطب التجديدي

أهمية الفرصة

سُجّل حول العالم 173,727 عملية زراعة أعضاء في عام 2024.[759] ورغم هذا الارتفاع، ما يزال النقص العالمي في الأعضاء المتبرّع بها أزمة قائمة. في الولايات المتحدة، يفقد 17 شخصاً حياتهم يومياً أثناء انتظار عضو منقذ، ويُضاف مريض جديد إلى قوائم الانتظار كل ثماني دقائق.[760] وفي المملكة المتحدة، يسجل يومياً أكثر من ثلاثة وفيات أو تدهور في الحالة الصحية أثناء انتظار الحصول على عضو.[761] ولا يرتبط النقص بقلة المسجّلين كمتبرعين فقط، بل بعوامل أشد تعقيداً: تراجع بعض العائلات عن تنفيذ رغبة المتوفّى في التبرّع، أو استبعاد الأعضاء لأسباب طبية وفق معايير صارمة تتعلق بالعمر والحالة الصحية.[762] وحتى مع نجاح العمليات، يبقى الرفض المناعي قائماً، إذ تظهر علاماته على نسبة 10%–15% من المتلقين؛[763] ما يجعل البحث عن بدائل مستدامة ضرورة ملحّة.

الإيجابيات

لن يضطر المرضى إلى انتظار متبرّع، أو إلى تناول علاج مدى الحياة لتفادي رفض العضو. كما ينعكس ذلك على جودة الحياة عبر توفير حلول جديدة لتحديات الأعضاء والأنسجة.

المخاطر

قد تترتب آثار صحية غير متوقعة على المدى الطويل. وقد تُساء استخدام التقنية طبياً وأخلاقياً عبر التلاعب بالقدرات الجسدية للإنسان. كما تبقى التكاليف المرتفعة عائقاً رئيسياً أمام إتاحتها على نطاق واسع.

الوضع الحالي

حتى الآن، لم يتم إنتاج أعضاء مطبوعة حيوياً تؤدي وظائفها الحيوية بشكل كامل، رغم الدعم المستمر من جهات تمويل كبرى، وفي مقدمتها وكالة مشاريع الأبحاث المتقدّمة في مجال الصحة (H-ARPA) في الولايات المتحدة،[764] التي تواصل تمويل مشاريع بحثية طموحة لتحقيق هذا الهدف. ومن أبرزها تجربة تقودها جامعة تكساس ساوث وسترن لطباعة أكباد ثلاثية الأبعاد باستخدام خلايا مأخوذة من المرضى أنفسهم.[765] ويمكن تصنيف المجال إلى مسارين رئيسيين: طباعة العضو كاملاً بوظائفه المتكاملة، والطباعة الحيوية الترميمية التي تمزج الطب التجديدي بالطباعة الحيوية لإعادة بناء أجزاء محددة من العضو أو تعويضها، بدلاً من استبداله بالكامل.

عملياً، ما يزال الاستخدام الطبي الواسع للطباعة ثلاثية الأبعاد يعتمد على مواد خالية من الخلايا الحية. وبما أن العظم ثاني أكثر الأنسجة زراعة في الجسم بعد الدم، تستحوذ جراحة العظام على نحو 50% من استخدامات الطباعة الطبية ثلاثية الأبعاد، خصوصاً في إنتاج الهياكل العظمية.[766]

لكن الطباعة الحيوية المعتمدة على خلايا حية لم تنتقل إلى الاستخدام السريري بعد، لأن النجاح يتطلب منظومة شديدة التعقيد تجمع بين: مواد نانوية رباعية الأبعاد تستجيب للمؤثرات الحيوية، وتقنيات العلاج بالخلايا الجذعية،[767] وأحبار حيوية ذكية ذات خصائص استشعار (وهي مواد حيوية تحتوي على خلايا حية تُستخدم في الطباعة الحيوية ثلاثية الأبعاد لبناء الأنسجة والأعضاء)، إلى جانب توظيف الذكاء الاصطناعي. ويبقى التحدي الأهم: تكوين شبكات أوعية دموية فعّالة داخل الأعضاء المطبوعة.[768]

ورغم ذلك، شهد المجال تقدماً لافتاً مؤخراً، فقد نجحت جامعة ستانفورد باستخدام خوارزمية SimVascular في طباعة شبكات وعائية تضم نحو 500 تفرّع داخل خلايا كلوية جنينية. وتمكن الباحثون من تصميم شجرة وعائية كاملة لقلب بشري تحتوي قرابة مليون وعاء دموي خلال خمس ساعات فقط، قبل تحويل النموذج إلى تعليمات جاهزة للطباعة الحيوية.[769]

وعلى مستوى التطبيق الأقرب للواقع، برزت الطباعة الحيوية الترميمية كمسار عملي واعد عبر رقع حيوية من خلايا المريض نفسه[770] لتأخير فشل الأعضاء وتجديد الأنسجة المتضررة. وفي أمراض الكلى — وهي عاشر سبب للوفاة عالمياً — أسهم توظيف المواد المركبة والخلايا الجذعية في تحسين توصيل الأدوية بدقة أعلى والسيطرة على النزيف أثناء العمليات. كما تشير التجارب الأولية إلى نجاحات جزئية في استعادة بعض وظائف الكلى عبر هندسة الأنسجة والهياكل الحيوية الداعمة وزراعة الخلايا.[771]

نجحت جامعة ستانفورد في طباعة **شبكات وعائية كلوية تضم نحو 500 تفرّع** وتصميم شجرة وعائية لقلب بشري تحتوي قرابة

مليون وعاء دموي

خلال خمس ساعات.

يُعد العظم ثاني أكثر الأنسجة زراعة بعد الدم، مع استخدام نحو

50 %

من الطباعة الطبية ثلاثية الأبعاد في هياكل جراحة العظام.

في أمراض الكلى

(عاشر سبب للوفاة عالمياً)، تمكّن المواد المركبة والخلايا الجذعية من تحسين توصيل الأدوية والسيطرة على النزيف، **مع تجارب أولية تُظهر استعادة جزئية لوظائف الكلى.**

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
التقدّم في مجال الهندسة الحيوية

تقدّم متسارع للأبحاث في مجال الأحبار الحيوية والسقالات بفضل التمويل الموجّه، بما يضمن السلامة البنيوية والتوافق الحيوي. ويسهم ذلك في تحقيق تقدّم نوعي في سقالات الأوعية الدموية، وأنظمة الإرواء، وتحسين دقة طباعة الأنسجة.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

شبكات وعائية مطبوعة حيوياً

إجراء تجارب سريرية على نطاق عالمي على الأنسجة المطبوعة حيوياً، مثل الشبكية والجلد، للتحقّق من سلامتها وفعاليتها داخل جسم الإنسان، حيث تُظهر الأنسجة الوعائية المطبوعة قدرتها على الاندماج والعمل داخل الجسم. إلى جانب وضع أطر تنظيمية ومعايير أخلاقيات حيوية معتمدة.

- المنح الدَّمجة
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

أعضاء وعائية سريرية

تنفيذ أولى عمليات زراعة الأعضاء الكاملة باستخدام تقنيات الطباعة الحيوية، وفق بروتوكولات سريرية معتمدة. ومع نضوج هذه التقنيات وتطوّرها، تصبح الطباعة الحيوية متاحة في المستشفيات الكبرى بوصفها خياراً علاجياً معتمداً. كما يتم إرساء قدرات جاهزة لإنتاج وزراعة أكثر من نوع من الأعضاء.

- القروض
- المنح المرحلية
- صناديق رأس المال الاستثماري

2024 5

المستقبل المنشود
طباعة الأعضاء الكاملة

إنشاء مرافق متخصّصة لطباعة الأعضاء عند الطلب في مختلف أنحاء العالم، بحيث تصبح الطباعة الحيوية جزءاً أساسياً من سلاسل التوريد الطبية داخل المستشفيات، وتكون مشمولة ضمن أنظمة التأمين الصحي، ما يُسهم في القضاء على قوائم انتظار زراعة الأعضاء، مع استبعاد مخاطر رفض الجسم للعضو المزروع إلى حدٍ كبير.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

تقود الطباعة الحيوية تحوّلاً جذرياً في الرعاية الصحية عبر معالجة عقدتين أساسيتين: تكوين الأوعية الدموية وتحقيق التطابق المناعي، من خلال دمج الطب التجديدي والذكاء الاصطناعي وعلم الأحياء التركيبية. ونتيجة لذلك، يحصل المرضى على أعضاء مطبوعة من خلاياهم خلال أيام قليلة: بلا قوائم انتظار، وبخطر أقل لرفض الجسم للعضو، ومن دون الحاجة إلى مثبطات المناعة؛ ما يرفع معدلات البقاء على قيد الحياة بشكل كبير. كما تتحول علاجات الحروق وتلف القلب والعمى إلى إجراءات طبية روتينية تنقذ ملايين الأرواح حول العالم.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير تقنيات طباعة حيوية موثوقة وقابلة للتوسّع، بما يشمل الطابعات الحيوية المتقدمة وطباعة شبكات الشعيرات الدموية والأوعية الدقيقة.
- توحيد معايير الأحبار الحيوية السريرية، بما يشمل أحباراً آمنة وغير محفزة للاستجابة المناعية، وبروتوكولات تمايز الخلايا الجذعية على مستوى الأعضاء.
- تطوير نماذج تدفق الدم وتوصيل الأكسجين باستخدام الذكاء الاصطناعي لضمان إنتاج أعضاء قابلة للحياة وكفؤة وظيفياً.
- إنشاء مسار تنظيمي متكامل لتقييم الأعضاء المطبوعة حيوياً واعتمادها، بما يشمل بيئات تنظيمية تجريبية وأطراً تنظيمية وآليات اعتماد.
- إبرام اتفاقيات عابرة للحدود للملكية الفكرية والأخلاقيات لتعزيز التعاون الدولي وتبادل البيانات والمتابعة طويلة الأمد للنتائج

التحديات

- تفاوت فرص الوصول إلى تقنيات وأعضاء الطباعة الحيوية بين الدول الغنية والفقيرة.
- عدم توفر سلاسل توريد للأحبار الحيوية تكون موثوقة وقابلة للتوسّع.
- غياب نماذج تأمين وآليات دفع تغطي تكلفة الأعضاء الاصطناعية.
- عدم اليقين حول قدرة الأعضاء المطبوعة حيوياً على العمل لفترات طويلة بعد الزراعة.
- استمرار المخاوف الأخلاقية المرتبطة بالفصل بين العلاج وتحسين حياة المريض.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

26 2024

هل يمكن أن توظّف المصارف المركزية الذكاء الاصطناعي لمراقبة التحوّلات الاقتصادية بشكل فوري؟

سياسات نقدية متطوّرة

قد تقود التطوّرات في الذكاء الآلي المتقدّم والحوسبة الطرفية وإنترنت الأشياء إلى إعادة تعريف أدوات السياسة النقدية التقليدية. فبدلاً من الاعتماد على أدوات مثل تعديل أسعار الفائدة، قد تعتمد البنوك المركزية على أنظمة تحليل فوري للبيانات الاقتصادية تمكّنها من التدخل السريع والدقيق لتعزيز الاستقرار المالي والنمو المستدام.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى
إتاحة البيانات بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

المتغيرات الغامضة
الأنظمة، التعاون

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
الاقتصاد الرقمي
التعاون الدولي
البيانات المفتوحة

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
الحوسبة الطرفية
إنترنت الأشياء

الفئة
إتاحة البيانات بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

القطاعات الأكثر تأثّراً
السلع الاستهلاكية والخدمات والبيع بالتجزئة
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الخدمات المالية والمستثمرون
الخدمات الحكومية
العقارات

الكلمات الرئيسية
أتمتة البنوك المركزية
التوائم الرقمية
الاستقرار المالي
الاقتصاد الكلي
الذكاء الاصطناعي المسؤول

أهمية الفرصة

تؤثر السياسة النقدية، ولا سيما أدوات أسعار الفائدة، بشكل مباشر على المجتمعات، لكن أثرها يختلف باختلاف الفئات الاقتصادية. فالأسر ذات الدخل المرتفع تميل إلى الاستفادة من السياسات التي تركز على خفض التضخم، بينما تعتمد الأسر منخفضة الدخل بدرجة أكبر على السياسات التي تعطي أولوية لتقليل البطالة وتوفير فرص العمل.[772]

ورغم أن ارتفاع أسعار الفائدة يعزّز قيمة الأصول ويشجّع الادخار، فإنه في المقابل يضغط على سوق العمل، ويحدّ من نمو الدخل، ويرفع تكاليف القروض والرهن العقاري.[773]

ومع تصاعد عدم الاستقرار العالمي واعتماد العديد من الحكومات على مسارات مالية غير مستدامة للميزانيات العمومية، تتزايد الدعوات لإعادة النظر في أدوار البنوك المركزية والسياسات المالية وآليات التنسيق بينها.[774]

وفي هذا السياق، بدأت البنوك المركزية تتجه نحو الابتكار لمواكبة الاقتصاد الرقمي، حيث تشير التقديرات إلى تخصيص نحو 20% من ميزانياتها لمشروعات الذكاء الاصطناعي، مع احتمال ارتفاع هذه الاستثمارات بشكل ملحوظ خلال السنوات الثلاث المقبلة.[775]

يعزّز ارتفاع أسعار الفائدة قيمة الأصول وعوائد الادخار، لكنه يضغط على سوق العمل ونمو الدخل وتكاليف القروض — ما يفيد الأسر ذات الدخل المرتفع بشكل مختلف عن الأسر منخفضة الدخل.

الإيجابيات

إتاحة متابعة التحوّلات الاقتصادية في الوقت الفعلي، بما يمكّن من صياغة سياسات أكثر دقة وتناسقاً تدعم النمو المستقر وتعزز استقرار الأسعار عبر مختلف القطاعات.

المخاطر

تنطوي السياسات النقدية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي على مخاطر عدة، أبرزها تحيّز البيانات وضعف جودتها وتهديدات الأمن السيبراني، وهي عوامل قد تؤدي إلى تفاقم التحديات الاقتصادية بدلاً من معالجتها.

تخصّص البنوك المركزية نحو

20 %

من ميزانياتها لمشروعات الذكاء الاصطناعي، مع توقع زيادة هذه الاستثمارات خلال السنوات الثلاث المقبلة.

الوضع الحالي

يواجه القطاع المالي مفارقة واضحة في استخدام التقنيات الحديثة، في الوقت الذي أصبح فيه الذكاء الاصطناعي جزءاً أساسياً من التحليلات والرقابة والتنظيم وصناعة السياسات.[776] وتعتمد البنوك المركزية بشكل متزايد على نماذج الذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة لتحسين دقة التوقعات المرتبطة بمؤشرات أساسية مثل التضخم والبطالة والناتج المحلي الإجمالي، وهي مؤشرات تلعب دوراً محورياً في توجيه السياسة النقدية.[777] وتكمن القيمة الأساسية لهذه التقنيات في قدرتها على تحليل كميات ضخمة من البيانات غير التقليدية في الوقت الفعلي، مما يساعد على فهم المخاطر بشكل أسرع والكشف عن العلاقات المعقدة داخل الأسواق المالية.[778]

وفي هذا الإطار، بدأت البنوك المركزية توظيف الذكاء الاصطناعي كأداة استراتيجية لتحسين جودة البيانات، خاصة في تحليل المعلومات غير المهيكلة وتنقية الإشارات الاقتصادية.[779] كما أصبحت التقنيات التنظيمية (RegTech) وتقنيات الإشراف الرقابي (SupTech) أدوات رئيسية لتعزيز الامتثال والكشف المبكر عن المخاطر ودعم الرقابة المالية، بما يمكّن الجهات المعنية من متابعة الاستقرار المالي ورصد المخاطر النظامية بدقة أكبر.[780]

وعلى المستوى الدولي، تتبنى الجهات المعنية بوضع المعايير، مثل لجنة بازل للرقابة المصرفية، والمنظمة الدولية لهيئات الأوراق المالية، ومجلس الاستقرار المالي، والرابطة الدولية لمشرفي التأمين، نهجاً حذراً تجاه استخدام الذكاء الاصطناعي. فترى هذه المؤسسات أن الأطر التنظيمية الحالية قادرة في الوقت الراهن على التعامل مع معظم المخاطر المرتبطة بهذه التقنيات، ولا تستدعي بالضرورة تشريعات جديدة مخصصة لها.[781] كما تعتمد العديد من الدول مبادئ منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية للذكاء الاصطناعي،[782] التي تؤكد أن يكون الذكاء الاصطناعي متمحوراً حول الإنسان مع ضمان الشفافية والمتانة والأمن والمساءلة.[783] ومع ذلك، تبقى هناك تحديات قانونية وأخلاقية، خصوصاً فيما يتعلق بصعوبة تفسير بعض النماذج الخوارزمية ذات الطبيعة غير الشفافة.

وقد أسهم ذلك في ترسيخ توافق عام بين صناع السياسات على أن الذكاء الاصطناعي يجب أن يُستخدم لدعم التحليل وتحسين كفاءة العمل، وليس بديلاً عن القرار البشري.[784] وقد أكدت عدة بنوك مركزية، من بينها بنك الاحتياطي الأسترالي، أن دور الذكاء الاصطناعي يقتصر على تعميق البحث والتحليل دون منحه صلاحية اتخاذ قرارات سياسية مستقلة.[785]

وفي المملكة المتحدة، تستخدم نحو 75% من شركات الخدمات المالية تقنيات الذكاء الاصطناعي، وهي أعلى نسبة بين قطاعات التأمين والبنوك الدولية.[786] وقد دفع هذا الانتشار بنك إنجلترا وهيئة السلوك المالي إلى اتخاذ خطوات استباقية، شملت الدعوة إلى اختبارات ضغط لقياس تأثير صدمات السوق المرتبطة باستخدام الذكاء الاصطناعي، إضافة إلى وضع أطر واضحة للمساءلة وحماية المستهلك. كما صنّفت الحكومة البريطانية مزودي تقنيات الذكاء الاصطناعي كموردين حيويين،[787] ما يفرض عليهم الالتزام بمتطلبات صارمة تتعلق بالأمن السيبراني والمعايير التشغيلية.[788]

ورغم هذا التقدم، لا يزال توسع استخدام الذكاء الاصطناعي مصحوباً بمخاطر مثل التحيز وضعف جودة البيانات، وهي عوامل قد تؤثر على دقة التحليلات وتعقّد عملية صنع السياسات.[789] كما يفرض هذا التوسع ضغوطاً متزايدة على الأطر التنظيمية القائمة،[790] خاصة مع التسارع المتوقع في تطوير أدوات ومنتجات مالية جديدة خلال السنوات المقبلة.

في المملكة المتحدة، تستخدم نحو

75% من شركات الخدمات المالية تقنيات الذكاء الاصطناعي

وهي أعلى نسبة بين قطاعات التأمين والبنوك الدولية

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
تفعيل أنظمة الاستشعار

بناء وتشغيل بنية تحتية للذكاء الاصطناعي الطرفي تعمل على توحيد البيانات الاقتصادية في الواقع الفعلي، وتأمينها وحوكمتها، اعتماداً على بيانات سلاسل الإمداد والطاقة والنقل والقطاع المالي.

- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- المنح
- المنح المُدمَجة

نشر نموذج المحاكاة

نشر نموذج محاكاة اقتصادية يدمج البيانات المالية وبيانات إنترنت الأشياء لاختبار إجراءات سياسات دقيقة ومحدّدة حسب القطاعات، من شروط قروض ديناميكية وسيولة موجّهة إلى قواعد رأسمالية تكيّفية، إلى جانب الأدوات والرافعات التقليدية، مع محاكاة آثارها.

- عقود الخدمات
- جوائز التحديات
- المنح
- المنح المرحلية

تشغيل التوائم الرقمية

نقل نموذج المحاكاة الاقتصادية إلى توأم رقمي متزامن ومستمّر من خلال دمج البيانات بشكل فوري، ومحاكاة الآثار غير المباشرة، والتحقّق من قرارات الذكاء الاصطناعي، واعتماد تنفيذ السياسات عبر طبقات تحكّم قابلة للتفسير تفوّض قرارات السياسة النقدية بشكل رسمي.

- عقود الخدمات
- القروض

2024 **26**

المستقبل المنشود
توسيع تشغيل النظام اللامركزي

تشغيل نظام آمن ولامركزي يجمع بين الذكاء الاصطناعي والحوسبة الطرفية وإنترنت الأشياء، من أجل رصد النشاط الاقتصادي بشكل مستمرّ وتنفيذ تدخّلات مالية وائتمانية فورية، بما يجعل تعديلات أسعار الفائدة غير ضرورية.

- عقود الخدمات
- القروض

ملامح تطوّر الفرصة

تتحول البنوك المركزية تدريجياً من جهات تفاعلية تركز على ضبط أسعار الفائدة إلى جهات تشرف على أنظمة اقتصادية شبه ذاتية التشغيل. فبدلاً من الاعتماد على تقارير تضخم متأخرة، تقوم أنظمة مدعومة بالذكاء الاصطناعي بتحليل كميات هائلة من البيانات في الوقت الفعلي، بما يشمل مؤشرات مثل أسعار السلع الغذائية التي ترصدها إنترنت الأشياء وتدفقات سلاسل الإمداد. وتتيح هذه الأنظمة إجراء تدخلات اقتصادية دقيقة ومحدودة النطاق بشكل فوري، ما يساعد على احتواء موجات التضخم قبل اتساعها. ونتيجة لذلك، تقل فترات الركود وتصبح أقل حدة، بينما تتراجع هيمنة أسعار الفائدة بوصفها الأداة الرئيسية للسياسة النقدية.

عوامل تمكين الفرصة

- إرساء إطار تدقيق ومساءلة لقرارات السياسات الاقتصادية.
- توظيف الحوسبة الطرفية وأجهزة استشعار إنترنت الأشياء لرصد إشارات الاستهلاك والإنتاج بشكل فوري.
- تطوير أطر آمنة وقابلة للتشغيل البيني لتبادل البيانات بين الجهات العامة والخاصة.
- اعتماد أطر قانونية تسمح بالتدخلات الآلية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في السياسات الاقتصادية.

التحديات

- مخاطر انتهاك خصوصية البيانات.
- التحيّز الخوارزمي الذي قد يؤدي إلى تشويه مخرجات السياسات الاقتصادية.
- تهديدات الأمن السيبراني المرتبطة بحماية البنية التحتية المالية الحيوية.
- صعوبة تقبّل تفويض صلاحيات صنع السياسات إلى أنظمة آلية.
- تفاوت مستويات التبني عالمياً وما يرافقه من تحديات في الحوكمة الاقتصادية الدولية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

40 2024

ماذا لو أحدثت تقنيات اللمس في العالم الافتراضي ثورة في عالم الألعاب الإلكترونية وقطاع الرعاية الصحية؟

إحساس رقمي بلا تلامس

قد تنقل تقنيات اللمس بلا تلامس التجارب الرقمية إلى مستوى جديد عبر تمكين الإحساس باللمس من دون أجهزة قابلة للارتداء، بما يعزّز جودة التفاعل في الألعاب والواقع المتدّ والرعاية الصحية والحياة اليومية، مع قيمة إضافية مهمة لأصحاب الهمم الذين يعانون من ضعف البصر.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
الاتصال المتقدّم بالشبكة
الشراكة بين القطاعات
الواقع المتدّ

التكنولوجيا
إنترنت الأشياء
تقنيات الاستشعار
الاتصال المتقدّم بالشبكة

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
تقنية المعلومات والاتصالات
السلع الاستهلاكية والخدمات والبيع بالتجزئة
التعليم
الصحة والرعاية الصحية
التقنيات الغامرة

الكلمات الرئيسية
تقنيات اللمس بلا تلامس
تقنيات اللمس
المحفّزات
اللمس الحراري
الموجات فوق الصوتية

أهمية الفرصة

تعتمد تقنيات اللمس على أنظمة تحفّز الإحساس بردود فعل لمسية متعددة، مثل الذبذبات، والضغط، وتغيّر درجة الحرارة، وهي عناصر أساسية في الألعاب الإلكترونية والواقع الافتراضي والرعاية الصحية وصناعة السيارات.[791] لكن أنظمة اللمس الحالية ما تزال تصطدم بعوائق تحدّ من جدواها: فهي غالباً كبيرة الحجم، أو صعبة التعقيم، أو غير دقيقة في نقل الإحساس، ما يقلّل فعاليتها في تطبيقات حسّاسة. وتتضح أهمية هذه الفجوة عند النظر إلى حجم الاعتماد العالمي على اللمس: إذ يعتمد أكثر من 2.2 مليار شخص ممن يعانون من ضعف البصر[792] على تقنيات اللمس كوسيلة مساعدة يومية، بينما قد يؤدي ضعف الأداء إلى تحويلها من أداة تمكين إلى مصدر تشتيت وإزعاج.[793]

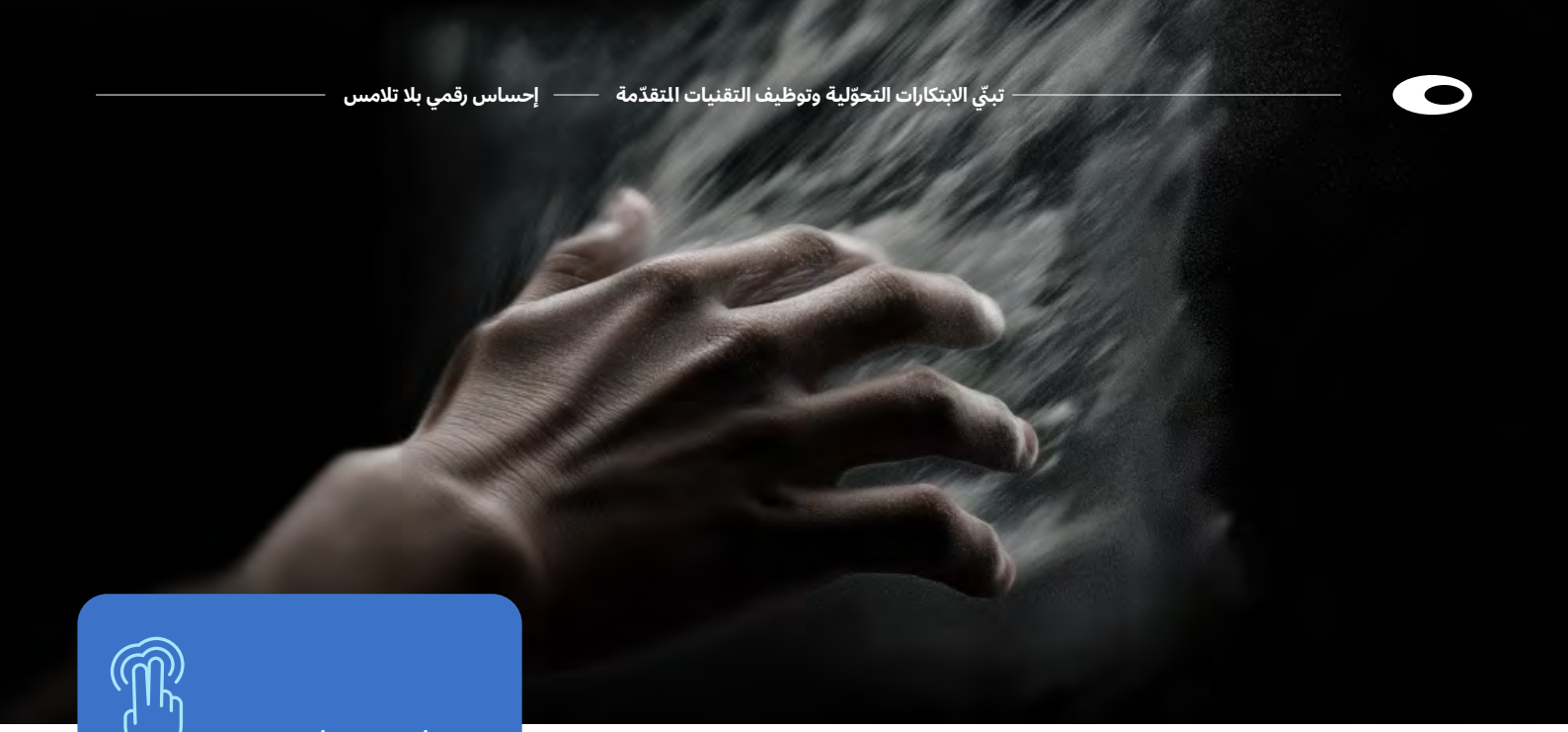
وفي القطاع الطبي، ورغم التقدّم السريع في الجراحة الروبوتية، لا تزال البيانات المتعلّقة بالعمليات محدودة نسبياً. فالجرّاح يستنتج جزءاً مهماً من المعلومات عبر اللمس، بينما تفتقد الروبوتات هذه القدرة، خصوصاً في الجراحات قليلة التدخل،[794] ما يرفع مخاطر تلف الأنسجة واحتمالات المضاعفات.[795] وعلى مستوى العالم، استفاد نحو 20 مليون شخص من جراحات أُجريت بمساعدة روبوت "دافينشي" خلال نحو 30 عاماً، مع تنفيذ اكثر من 3.1 مليون عملية في عام 2025 وحده.[796]

الإيجابيات

تعزّز هذه التقنيات قدرة الأفراد، مهما اختلفت قدراتهم البصرية، على التفاعل الكامل مع بيئتهم ومضاعفة استقلاليتهم. كما ترفع مستويات النظافة في الأماكن العامة، وتدعم دقة العمليات الجراحية وتقلّل احتمالات التلف غير المقصود للأنسجة.

المخاطر

قد تؤدي التحديات المتعلّقة بخصوصية البيانات والأخلاقيات واحتمال إساءة استخدام هذه التقنية إلى تصوّرات مغلوطة لدى المستخدم. كما قد تؤثر الأعطال في إمكانية الاتصال بالشبكة في الخدمات التي تستخدم تقنيات اللمس غير التلامسية، ما يطرح مخاطر غير متوقّعة أثناء العمليات الجراحية أو يعرّض الأشخاص ضعيفي النظر للخطر.



الوضع الحالي

رغم أن اللمس في الهواء لم يتحوّل بعد إلى تقنية شائعة، فإن التجارب البحثية الحديثة بدأت تدفع الابتكار عبر بناء "لغة" لمسية قابلة للتصميم. فقد أظهرت إحدى الدراسات إمكانية ربط خمسة محفزات لمسية في الهواء بـ 17 إحساساً مختلفاً و23 تجربة شعورية — من الإحساس بهبوب الرياح واهتزاز الهاتف ولمس الريش، إلى الإحساس بالحركة عند رسم خطوط وأنماط على البشرة.[797] وعلى الرغم من تعرّض المشاركين للمحفزات نفسها، اختلف إدراكهم الحسي بحسب ثلاثة عوامل رئيسية هي: التردّد (16 أو 125 أو 250 هرتز)، ونمط الحركة (مثل حركة الفرشاة، أو الدائرة، أو النقطة، أو النمط العشوائي)، وكذلك معدل التكرار، ما يمنح المصممين أساساً عملياً لاختيار المحفزات الأنسب لإيصال إحساس محدّد أو معنى واضح.[798] ويمكن أن تساعد هذه الدراسات مصممي التقنيات اللمسية في اختيار متغيرات للحصول على شعور أو تجربة معينة يرغبون في استحضارها.[799]

وعلى مستوى التطوير التقني، طوّرت شركة "إن تي تي" (NTT) تقنية لمس بالموجات فوق الصوتية.[800] وأظهرت النتائج أن تدوير نقطة التركيز يزيد القوة المُدرَكة حسياً بنحو 20 ضعفاً، ويجعلها أكثر فاعلية ست مرات مقارنة بالاهتزاز الثابت.[801] كما يتيح هذا النظام دمج ثلاثة تردّدات رئيسية (5 و30 و200 هرتز) لتوليد أنماط قوام لمسي متنوّعة تحاكي الإحساس بالأسطح اللزجة أو الناعمة أو الخشنة.[802] وبالتوازي، أظهرت تقنيات اللمس الحراري في الهواء، التي تجمع بين المراوح وعناصر التسخين لمحاكاة إحساس التربيت أو اللمس، أثراً إيجابياً ملحوظاً، حيث أفاد 92% من المشاركين في إحدى الدراسات بشعورهم براحة نفسية.[803]

وفي سياق تطبيقات التنقّل الذكي، اختبر الباحثون نظاماً لمسياً يعتمد على الموجات فوق الصوتية لإرسال تنبيهات غير مرئية إلى راحة يد الركاب في السيارات ذاتية القيادة قبل أن تنفذ السيارة حركات مناورة.[804] وقد أظهرت النتائج أن هذا التنبيه الحسي المبكر أسهم بشكل واضح في تقليل دوار الحركة وتعزيز راحة الركاب، مقدّماً حلاً عملياً لهذه المشكلة الشائعة المصاحبة للقيادة الذاتية.[805] كما ساهم هذا التنبيه الحسي في تقليل حالات الانسحاب من التجربة بسبب دوار الحركة، حيث انخفضت النسبة من 62% في المجموعة التي تلقت علاجاً وهمياً إلى 41% لدى المشاركين الذين استخدموا النظام اللمسي.[806]

ومع ذلك، لا تزال عوائق التوسّع كبيرة: إذ تختلف حدود الإدراك الحسي بين المستخدمين، وقد يؤدي التقدّم في العمر وحده إلى انخفاضها حتى 50%.[807] كما أن الأنظمة الحالية غالباً ما تقدّم محفزات ضعيفة أو غير واضحة، مع محدودية في التخصيص، ونقص في التغذية الراجعة السمعية أو البصرية.[808] لذا تبرز الحاجة إلى توحيد المعايير وتطوير مقاييس إدراكية مشتركة واختبارات أوسع تشمل شرائح متنوعة.[809]

تختلف تجارب المحفزات اللمسية بناءً على **التردد والنمط والتكرار**

طوّرت شركة "إن تي تي" NTT تقنية لمس بالموجات فوق الصوتية بتدوير نقطة التركيز، ما يزيد القوة المُدرَكة 20 ضعفاً ويجعلها أكثر فاعلية بـ

6 أضعاف

مقارنة بالاهتزاز الثابت.

انخفضت حالات الانسحاب بسبب دوار الحركة من

62% إلى 41%

باستخدام تنبيهات لمسية بالموجات فوق الصوتية لركاب السيارات ذاتية القيادة.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
مرحلة البحث والتطوير

تمويل فرق بحثية لتطوير تقنيات اللمس في الهواء، ودعم نماذج أوّلية تجريبية في المتاحف ومجالات العلاج، والتحقّق من الخوارزميات الحسية وأنظمة التطبيقات التجريبية، رغم ارتفاع التكاليف والتحديات المرتبطة بمحدودية الدقة.

- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

تطبيق النمذجة الأوّلية

تحديد حالات استخدام واضحة، مثل التدريب الجراحي، والحضور الغامر عن بُعد الذي ينقل الإحساس باللمس البشري، وأنظمة التحكّم داخل المركبات التي تحدّ من تشتيت السائق. ويشمل ذلك اختبار تقنيات اللمس في الهواء ضمن بيئات واقعية، وتصميم أطر تغذية راجعة تكيّفية قابلة للتوسّع.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

توحيد المعايير

عقد شراكات مع شركات الإلكترونيات الاستهلاكية لترسيخ تقنيات اللمس بلا تلامس كميزات أساسية في السيارات والألعاب والمنازل الذكية، إلى جانب تطوير أدوات برمجية موحّدة تتيح للمطوّرين دمج التأثيرات اللمسية في مختلف الوسائط والواجهات.

- صناديق التوسّع
- القروض
- صناديق رأس المال الاستثماري
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- برامج مسرّعات الأعمال

2024 **40**

المستقبل المنشود
توسيع قابلية اللمس بلا تلامس

دمج تقنيات اللمس في الهواء في المدن والمركبات والمساحات الطبيعية، بما يتيح توليد حقول دقيقة من الضغط ودرجة الحرارة، وتقديم إحساس لمسي يرافق مختلف أنماط التفاعل، وتوسيع نطاق اللمس بلا تلامس ليشمل الألعاب والرعاية الصحية والحياة اليومية على نطاق واسع.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق رأس المال الاستثماري
- عقود الخدمات
- القروض

ملامح تطوّر الفرصة

يستطيع الجرّاح إجراء عملية عن بُعد مع الحفاظ على الإحساس بالفروق الدقيقة بين الأنسجة السليمة والمتضرّرة عبر موجات فوق صوتية لمسية في الهواء — من دون قفازات أو أجهزة قابلة للارتداء. ويتمكّن ذوو الإعاقة البصرية من التنقّل في مدن جديدة عبر توجيه حسي "يُسقَط" على اليد من خلال بنية تحتية ذكية. وتمتد التجربة إلى الترفيه، حيث يشعر اللاعبون بملمس الأجسام الافتراضية في الهواء. كما يفتح ذلك مجالاً لإضفاء إحساس ومعنى على الأنشطة اليومية، وحتى "استعادة" إحساس الطبيعة من حولنا ضمن تجارب رقمية غامرة.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير تحكّم موثوق بالموجات الصوتية لتوليد إحساس لمسي دقيق في الهواء، حتى مع الحركة السريعة للمستخدم.
- اعتماد بروتوكولات موحّدة للتغذية الراجعة اللمسية.
- تعزيز قدرة نماذج تعلّم الآلة على تفسير السياق وتحويله إلى أنماط لمسية واضحة ذات دلالات.
- تمكين اتصال متقدّم عبر شبكات الجيل السادس لتقليل زمن الاستجابة وضمان تغذية راجعة آمنة في تطبيقات مثل الجراحة والمركبات ذاتية القيادة.
- تطوير أجهزة استشعار مدمجة عالية الدقة لتحديد موقع المستخدم وفهم السياق البيئي المحيط بدقة.

التحديات

- صعوبة المواءمة الفورية للموجات فوق الصوتية مع أجزاء الجسم المتحركة.
- تحدّي توليد إحساس قوي دون التسبب بعدم الراحة أو مخاطر السلامة.
- مخاطر الأذى الجسدي عند انقطاع الاتصال أو حدوث تأخير في مهام حرجة مثل العمليات الجراحية.
- اعتبارات أخلاقية وخصوصية البيانات المرتبطة بالتقنيات اللمسية.
- ارتفاع تكاليف نشر مصفوفات الموجات فوق الصوتية في الأماكن العامة.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

42 2024

ماذا لو أصبح من الممكن توفير الطاقة بشكل مستمر في المناطق النائية وخارج نطاق الشبكات؟

إعادة ابتكار البطاريات

قد يعيد الجيل الجديد من البطاريات تعريف تخزين الطاقة عبر استخدام مواد غير قائمة على الليثيوم أو تعتمد على الحد الأدنى منه، مدعومةً بتقنيات التعلّم الآلي المتقدّمة. ويتيح ذلك تطوير منظومات طاقة أكثر مرونة واعتمادية واستدامة عبر مختلف القطاعات.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
تطوير تقنيات الطاقة

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة
الذكاء الاصطناعي
صافي الانبعاثات الصفري
تحوّل قطاع الطاقة
المواد الجديدة

التكنولوجيا
تقنيات البطاريات
الذكاء الاصطناعي
التصنيع المتقدّم

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
السيارات والفضاء والطيران
المواد الكيميائية والبتروكيماويات
السلع الاستهلاكية والخدمات والبيع بالتجزئة
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة

الكلمات الرئيسية
التوائم الرقمية للبطاريات
أيونات المغنيسيوم
تخزين الطاقة غير القائم على الليثيوم
أيونات الصوديوم
الحالة الصلبة

أهمية الفرصة

يشهد سوق تخزين الطاقة العالمي نمواً متسارعاً، مع توقّعات بتسجيل معدل نمو سنوي مركب يبلغ 14.7% حتى عام 2035.[810] وفي الوقت نفسه، انخفضت أسعار الألواح الشمسية بنسبة 85% منذ أوائل الألفية، كما تراجعت تكاليف بطاريات الليثيوم أيون بنحو 90% خلال العقد المنتهي في عام 2020.[811] وقد جعل هذا الانخفاض الكبير في التكاليف أنظمة الطاقة الشمسية الهجينة المدمجة بحلول تخزين الطاقة، خياراً اقتصادياً مجدياً، خصوصاً في الأسواق التي تشهد ارتفاعاً في أسعار الكهرباء.[812] ومع التوقعات بأن تمثل الطاقة الشمسية 80% من إجمالي الطلب على البطاريات بحلول عام 2030،[813] يُرجّح أن يستمر الطلب على البطاريات في النمو ضمن هذه المنظومات، لكن التوسع على نطاق واسع لا يخلو من تحديات. وعلى صعيد الإنتاج، لا يمكن اكتشاف العديد من عيوب البطاريات خلال اختبارات الفحص في خطوط التصنيع. كما أن تشديد معايير الجودة والسلامة غالباً ما يؤدي إلى خفض كثافة الطاقة وارتفاع التكلفة وتأثيرات سلبية على الأداء.[814] ومع عمل المصانع بهوامش ربح ضئيلة تتراوح بين 2% و3% وارتفاع معدلات الهدر،[815] تبرز الحاجة إلى البحث عن بدائل أكثر كفاءة. ورغم ارتباط هذه التحديات أساساً ببطاريات الليثيوم أيون، التي يُتوقع أن تستحوذ على 86% من السوق بحلول عام 2030،[816] فإن المبادئ ذاتها تنطبق على نطاق واسع على إنتاج مختلف أنواع البطاريات الكهروكيميائية.

الإيجابيات
تدعم الابتكارات في تكنولوجيا البطاريات التحول نحو التنقّل منخفض الانبعاثات، وتتيح توفير الطاقة للمناطق النائية بشكل مستدام، كما تسهم في تسريع إزالة الكربون من قطاع النقل ودفع الابتكار في مجالات مثل الطائرات الكهربائية.

المخاطر
قد يؤدي التنوع الكبير في تقنيات البطاريات إلى تشتيت الاستثمارات ومنع توسّع تقنية محددة أو خفض تكلفتها بالقدر المطلوب. كما قد تواجه عمليات إعادة التصميم تحديات في سلاسل التوريد، إضافة إلى مخاطر مرتبطة بالمواد الجديدة وتزايد مخلفات البطاريات.

الوضع الحالي

من المتوقع أن تستحوذ بطاريات الليثيوم أيون على نحو 86% من الطلب العالمي على البطاريات بحلول عام 2030، بينما تتقاسم بطاريات أيونات الصوديوم والرصاص الحمضية وغيرها من التقنيات المتاحة النسبة المتبقية البالغة 14%.[817] ومع ذلك، قد يؤدي تسارع تطبيقات الذكاء الاصطناعي إلى جانب الاختراقات في علم المواد إلى إعادة تشكيل هذا التوزيع مستقبلاً.

فقد نجح نموذج الذكاء الاصطناعي M3GNet من شركة مايكروسوفت في فحص 32 مليون مادة مرشحة لتصنيع البطاريات خلال 80 ساعة فقط، ما أسفر عن اكتشاف إلكتروليت جديد يقلل استهلاك الليثيوم بنسبة 70% مقارنة ببطاريات الشحن التجارية الحالية.[818] كما نجحت التوائم الرقمية التي طورتها IBM في التنبؤ بمعدلات تدهور البطاريات طويلة المدى اعتماداً على 50 دورة شحن فقط، ما قلّص زمن الاختبارات بشكل كبير.[819] وفي تجربة أخرى، استخدم نموذج قائم على التعلّم النشط 58 نقطة بيانات فقط لاستكشاف مليون إلكتروليت محتمل، وتمكّن من تحديد أربعة مركبات واعدة دون الحاجة إلى اختبارات مخبرية واسعة.[820]

وعلى مستوى المواد، أعلنت شركة CATL الصينية — أكبر منتج عالمي للبطاريات — في أبريل 2025[821] إطلاق بطاريات أيونات الصوديوم تحت اسم Naxtra، مع خطط لدمجها في سيارات الركاب والمركبات التجارية وأنظمة تخزين الطاقة خلال عام 2026،[822] بدءاً من أول سيارة سيتم تصنيعها بإنتاج ضخم وهي شانغان نيفو A06.[823] وتميّزت هذه البطاريات بكونها أول بطاريات تجتاز المعيار الصيني GB 38031-2025 المقرر تطبيقه في منتصف 2026،[824] إضافة إلى تكلفتها الأقل مقارنة ببطاريات الليثيوم أيون.[825]

كما أسهمت التطوّرات في علم المواد في تطوير إلكتروليتات صلبة سيراميكية وبوليمرية ومركّبة، تمتلك موصلية أيونية تقارب الإلكتروليتات السائلة، مع الاستغناء عن السوائل القابلة للاشتعال.[826] وقد بدأت بطاريات الحالة الصلبة بالانتقال من المختبرات إلى مرحلة الجدوى التجارية بعد تحقيق تقدم ملموس في تحديات التصنيع واسع النطاق.[827] أما بطاريات أيونات المغنيسيوم، ورغم بقائها في مرحلة العروض التجريبية، فقد نجحت في تحقيق كثافات طاقة مماثلة لبطاريات الليثيوم أيون.[828] كذلك أسهمت التطوّرات في بطاريات الليثيوم-الكبريت في تحسين استقرار الكاثود وإطالة عمر دورات الشحن باستخدام تقنيات نانوية تعتمد على مواد كربونية موصلة وهياكل مسامية متقدمة.[829]

وتعكس هذه التطوّرات مجتمعة توجهاً نحو منظومة بطاريات أكثر تنوعاً تتجاوز الاعتماد شبه الكامل على الليثيوم أيون، مدفوعة بالاكتشافات المدعومة بالذكاء الاصطناعي.[830] غير أن التحدي الأكبر يتمثل في إدارة الانتقال التدريجي من التقنيات الحالية وضمان قابلية التوسع الصناعي للبدائل.

من المتوقع أن تستحوذ بطاريات الليثيوم أيون على نحو

%86

من الطلب العالمي على البطاريات بحلول عام 2030

نجح نموذج الذكاء الاصطناعي M3GNet من شركة مايكروسوفت في فحص

32 مليون

مادة مرشحة لتصنيع البطاريات خلال **80 ساعة** ما أسفر عن اكتشاف إلكتروليت جديد يقلل استهلاك الليثيوم بنسبة **%70** مقارنة ببطاريات الشحن التجارية الحالية.

بطاريات CATL’s أيونات الصوديوم هي أول بطاريات تجتاز المعيار الصيني GB 38031-2025 – المقرر تطبيقه في منتصف عام 2026 – إضافة إلى **تكلفتها الأقل مقارنة ببطاريات الليثيوم أيون.**

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي

بناء الأساس التنظيمي والتقني

البدء بتجميع الجهات الفاعلة الحاليين في القطاع ضمن اتحادات متخصّصة وفق نوع التقنية، مع الاستفادة من البنية التحتية البحثية القائمة، والتحقّق من المختبرات الوطنية لجدوى البدائل عبر برامج تجريبية مخصّصة، إلى جانب عمل منظمات المعايير المعتمدة على تطوير بروتوكولات جديدة، وقيام المصنّعين الحاليين بتقييم متطلبات تحويل المصانع وسلاسل الإمداد الخاصة بهم، مع إبداء بعضهم اهتماماً بتأسيس قدرات تصنيع جديدة.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

مرحلة النشر

مواءمة التحالفات الإقليمية للأطر التنظيمية القائمة بما يدعم الكيميائيات البديلة، وتوسيع المصنّعين الحاليين للإنتاج مع خطوط الليثيوم أيون، واعتماد القطاعات ذات الأولوية للبدائل المثبتة أولاً، وتولّي هيئات الاعتماد القائمة التحقّق من التقنيات الجديدة، وتطوير مورّدي المكوّنات الحاليين لمواصفات قابلة للتبادل والتوافق.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

توسيع نطاق اعتماد التقنيات غير القائمة على الليثيوم

زيادة حصة التقنيات غير القائمة على الليثيوم في السوق، وترخيص المصنّعين الحاليين لكيميائيات بديلة عبر اتحادات وشراكات، وتكييف المصانع القائمة مع متطلبات الإنتاج من خلال تعديل معداتها، وتكامل سلاسل الإمداد الإقليمية عبر دمج المواد المحلية الوفيرة، وتوسيع شبكات إعادة التدوير لبنيتها التحتية على نطاق تجاري.

- صناديق التوسّع
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض

2024 42

المستقبل المنشود

تشغيل اقتصاد بطاريات الجيل القادم

تشغيل المناطق لاقتصادات بطاريات مكتفية ذاتياً باستخدام مواد كيميائية غير قائمة على الليثيوم ومصمّمة بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي، وتحويل البنية التحتية الحالية لبطاريات الليثيوم أيون إلى أنظمة دائرية تستعيد المواد الوفيرة محلياً، وتحديث مصانع البطاريات القائمة لخطوط الإنتاج وإعادة تهيئتها، مع حصر استخدام بطاريات الليثيوم أيون انتقائياً في تطبيقات متخصّصة فقط.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض

ملامح تطوّر الفرصة

تعتمد إعادة تصميم البطاريات على تقنيات الذكاء الاصطناعي المتقدمة لرفع كفاءة توليد الطاقة وتخزينها مع خفض المخاطر البيئية ومخاطر السلامة. وتعمل المركبات باستخدام بطاريات أيونات الصوديوم أو بطاريات الحالة الصلبة التي توفر مستويات أمان أعلى واعتماداً أقل على المعادن النادرة. كما تتيح هذه التقنيات للمجتمعات النائية الوصول إلى طاقة مستقلة خارج الشبكة تدعم التعليم والخدمات الصحية دون الاعتماد على الليثيوم النادر.

عوامل تمكين الفرصة

- توظيف التعلّم الآلي والتوائم الرقمية لتسريع اكتشاف المواد واختبارها.
- إعادة تهيئة المصانع الحالية لدعم كيميائيات البطاريات غير القائمة على الليثيوم بتكلفة ومخاطر مقبولة.
- اعتماد معايير سلامة دولية موحّدة ومتوافقة عالمياً.
- تطوير خارطة طريق واضحة لدمج البطاريات الجديدة في الشبكات والبنية التحتية القائمة.
- تعزيز سلاسل إمداد محلية وآمنة لمواد مثل الصوديوم والكبريت والمغنيسيوم.

التحديات

- تنوّع التقنيات الكيميائية بما يحدّ من قدرة أي ابتكار واحد على التوسع السريع.
- هيمنة البنية التحتية الحالية لبطاريات الليثيوم أيون وانخفاض تكلفتها.
- ارتفاع تكاليف البحث والتطوير للشركات الناشئة مقارنة بالمصنّعين الكبار.
- تعقيد إنشاء أو إدارة عمليات إعادة تدوير للمواد الكيميائية الجديدة.
- الحاجة إلى معالجة المخاطر البيئية المحتملة لتقنيات البطاريات المستحدثة.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

46 2024

ماذا لو نجحنا في تصنيع الغرافين على نطاق واسع؟

المادة المعجزة

قد يُحدث الإنتاج واسع النطاق لمادة الغرافين تحوّلاً جذرياً في العديد من القطاعات، بما يشمل تخزين الطاقة، وكفاءة وقود الهيدروجين، وتنقية الهواء، وتحلية المياه، وتقنيات الاستشعار، والرعاية الصحية، لا سيما في مجالات توصيل العلاجات بدقة داخل الجسم والطب الشخصي.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
ثورة المواد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة
الذكاء الاصطناعي
التقنيات الغامرة والأجهزة القابلة للارتداء
المواد الجديدة
المواد النانوية
تحوّل قطاع الطاقة

التكنولوجيا
تكنولوجيا النانو
التصنيع المتقدّم
تكنولوجيا الاستشعار

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
تقنية المعلومات والاتصالات
السلع الاستهلاكية والخدمات والبيع بالتجزئة
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
الصحة والرعاية الصحية
التقنيات الغامرة

الكلمات الرئيسية
التسويق التجاري
أجهزة الاستشعار المعتمدة على الغرافين
المواد النانوية
الشراكات بين القطاعين العام والخاص
أشباه الموصلات

أهمية الفرصة

يُعدّ الغرافين أرقّ مادة معروفة في العالم، وتفوق قوته قوة الفولاذ بنحو 200 مرة، كما يتميّز بقدرة استثنائية على توصيل الطاقة.[831] ورغم مرور 22 عاماً على اكتشافه،[832] لا يزال إنتاجه بكميات ضخمة تحدياً تقنياً واقتصادياً، نظراً إلى ارتفاع تكلفة إنتاجه على شكل طبقات أحادية خالية من العيوب.[833] ومع ذلك، فإن الاستفادة الكاملة من خصائصه قد تفتح سوقاً عالمياً تُقدّر قيمته بنحو 190 مليار دولار،[834] مع تطبيقات تمتد من معالجة البيانات والاتصالات[835] والنقل إلى الطب والإلكترونيات والطاقة وأجهزة الاستشعار وتنقية المياه.[836]

الإيجابيات

بفضل قوته ومرونته الفائقة وقدرته العالية على التوصيل وسمكه الذري الدقيق، يمتلك الغرافين القدرة على إعادة تشكيل سلاسل القيمة الصناعية بالكامل. وقد يقود ذلك إلى تحوّل واسع في مجالات تبدأ من البطاريات وتنقية المياه والهواء، وتمتد إلى الرعاية الصحية والأجهزة القابلة للارتداء والإلكترونيات المتقدمة.

المخاطر

قد تؤدي التحولات الصناعية المرتبطة بالغرافين إلى اضطرابات في أسواق العمل، كما تبرز مخاطر صحية محتملة مرتبطة بالمواد النانوية، إضافة إلى تحديات تتعلق بالاستدامة وإدارة دورة الحياة الكاملة لهذه المواد.

إدخال طبقات من الغرافين بين مواد أخرى يحقق قدرة عالية على توصيل الطاقة، ما يفتح المجال **لتطوير أجهزة ذاكرة بسماكة أقل من شعرة الإنسان.**

تسهم
طلاءات الغرافين
في تحسين أداء المواد الصناعية.

الوضع الحالي

يواصل الغرافين إظهار خصائصه الاستثنائية في العديد من المجالات العلمية، غير أن إنتاجه على نطاق واسع وبتكلفة اقتصادية مناسبة لا يزال التحدي الرئيسي الذي يحدّ من انتشاره التجاري. ومع ذلك، تشير التطوّرات الحديثة إلى تقدّم ملحوظ في معالجة تحديات قابلية التوسع في الإنتاج، بالتوازي مع توسّع التطبيقات العملية للمادة. فقد توصّل باحثون إلى أن إدخال طبقات من الغرافين بين مواد أخرى يحقق قدرة عالية على توصيل الطاقة، ما يفتح المجال لتطوير أجهزة ذاكرة بسماكة أقل من شعرة الإنسان.[837]

وفي عام 2024، حقّق باحثون اختراقاً مهماً عبر ابتكار أول شبه موصل وظيفي قائم على الغرافين من خلال تنميته على رقائق كربيد السيليكون، ما عالج مشكلة تاريخية تتمثل في صعوبة إيقاف تشغيل الغرافين في الدوائر الإلكترونية.[838] ويتيح هذا التقدم تطوير أجهزة تعمل بسرعة تفوق عشرة أضعاف سرعة الأجهزة المعتمدة على أشباه الموصلات السيليكون، مع كفاءة أعلى في استهلاك الطاقة وانخفاض ملحوظ في الحرارة الناتجة.[839]

وفي مجال التكنولوجيا الحيوية، طوّرت شركة EGNITE التكنولوجية أقطاباً كهربائية دقيقة تعتمد على الغرافين السامي النانوي بقطر لا يتجاوز 25 ميكرومتراً، قادرة على نقل الإشارات الكهربائية من الدماغ وإليه بكفاءة عالية مع حدّ أدنى من التداخل.[840] وقد أظهرت التجارب ما قبل السريرية جودة إشارة تفوق الضجيج الخلفي بنحو 30 مرة، ما أتاح تسجيل نشاط الدماغ بدقة غير مسبوقة.[841]

وعلى صعيد المواد، تسهم طلاءات الغرافين في تحسين أداء المواد الصناعية. فعلى سبيل المثال، يحقق النحاس المعزّز بالغرافين قدرة توصيل تتراوح بين 105% و110% من المعيار الدولي للنحاس الملدَّن، متفوّقاً بذلك على النحاس النقي مع احتفاظه ببنيته حتى عند درجات حرارة تفوق نقطة انصهاره.[842] كما يفتح الحصى والرمل المطلي بالغرافين آفاقاً جديدة لتطوير خرسانة ذكية قادرة على المراقبة الذاتية للسلامة الهيكلية، وإنشاء أرصفة موصلة للحرارة لإزالة الجليد، بل وحتى تمكين الشحن اللاسلكي للمركبات الكهربائية أثناء سيرها.[843] وتتكامل هذه التطبيقات مع ابتكارات أخرى تشمل مرشحات هواء من ألياف نانوية مطلية بالغرافين،[844] وأغشية متقدمة لتحلية المياه[845] ترفع كفاءة التنقية بشكل كبير.

وفي التطبيقات الصناعية، ورغم التحديات الاقتصادية، يتم تصنيع أجهزة استشعار قائمة على الغرافين للمركبات الكهربائية وتطبيقات الاستشعار الحيوي بمعدلات تصل إلى نحو 150 ألف وحدة يومياً في إحدى المنشآت في المملكة المتحدة.[846] وفي تطوّر تقني حديث، أتاح ابتكار "التسخين الوميضي بتقنية جول" إنتاج الغرافين بمقياس الغرام خلال دقائق وباستهلاك منخفض للطاقة، متجاوزاً القيود التقليدية المرتبطة بأحجام الإنتاج.[847] ومع ذلك، تبقى عملية التصنيع معقّدة بطبيعتها. ورغم الريادة الصينية في توسيع تطبيقات الغرافين ونقلها إلى الاستخدام الميداني، لم تصل هذه المادة بعد إلى مرحلة الانتشار العالمي الواسع في المنتجات الاستهلاكية والصناعية.[848]

في إحدى المنشآت في المملكة المتحدة، يتم تصنيع أجهزة استشعار قائمة على الغرافين للمركبات الكهربائية وتطبيقات الاستشعار الحيوي بمعدلات تصل إلى نحو

150,000

وحدة يومياً.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
بناء الشراكات

إنشاء منظومات ابتكار تعزّز التعاون في التطبيقات التجريبية بين المؤسسات البحثية والقطاع الصناعي، وتطوير منصات مدعومة بالذكاء الاصطناعي لتحسين المعايير التشغيلية، إلى جانب تمكين هيئات المعايير من وضع أطر فعّالة للجودة والسلامة، تمهيداً للانتقال إلى مرحلة التوسّع.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

تنفيذ التطبيقات التجريبية

إنشاء اتحاد صناعي يُعنى بتحديد وتشغيل خطوط إنتاج تجريبية تُثبت قابليتها للتوسّع والالتزام بمعايير السلامة، إلى جانب تطوير مراكز ابتكار متخصّصة في تقنيات الطلاء، والتحقّق من جدوى الاستخدامات المختلفة من خلال نماذج تطبيقية متعدّدة القطاعات، بما يسهم في بناء قاعدة أدلّة عملية تدعم التوسّع في تبنّي هذه التقنيات.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- صناديق رأس المال الاستثماري

توسيع نطاق التصنيع بالغرافين

إنشاء شراكات فاعلة بين القطاعين العام والخاص لتأسيس مرافق إنتاج واسعة النطاق وقادرة على تحقيق تنافسية من حيث التكلفة، مع دمج تصنيع مكوّنات الغرافين ضمن سلاسل الإنتاج الصناعية القائمة. ويتزامن ذلك مع اعتماد الجهات البلدية لتقنيات الأغشية القائمة على الغرافين، إلى جانب انتقال صناعات أشباه الموصلات تدريجياً نحو نماذج حوسبة قائمة على الغرافين، بدعم من أطر سياسية وتنظيمية ملائمة.

- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض
- صناديق رأس المال الاستثماري

2024 **46**

المستقبل المنشود
توسيع نطاق نشر الغرافين

توسيع قاعدة أصحاب المصلحة من مختلف القطاعات لدعم نشر الغرافين وجعله جزءاً من البنية التحتية المعيارية، مع اعتماد السلطات في المدن لبنية تحتية ذكية مخصّصة للمراقبة، واستمرار القطاعات الأخرى - من الرعاية الصحية إلى المنتجات الاستهلاكية – في تبنّي خطوط إنتاج جديدة قائمة على الغرافين.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

قد يصبح الغرافين بمثابة "الفولاذ الجديد" ومادة أساسية واسعة الانتشار تشكّل العمود الفقري للعديد من الأنظمة الصناعية والبنى التحتية. ويتم إنتاجه على نطاق واسع لخدمة تطبيقات استراتيجية تمتد من أشباه الموصلات عالية الكفاءة وأنظمة تحلية المياه المتقدمة إلى الطيران الهيدروجيني وطب النانو. وتتيح هذه التطبيقات مستويات غير مسبوقة من الأداء، بينما تسهم الشراكات بين القطاعين العام والخاص في تحويل الغرافين من مادة مخبرية واعدة إلى معيار صناعي مستدام يدعم النمو الاقتصادي ويعزز تحقيق أهداف المناخ.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير عمليات تصنيع قابلة للتوسع تثبت جدواها التقنية والاقتصادية.
- تأمين تمويل مستدام من القطاعين العام والخاص.
- تحقيق توافق عالمي حول معايير الجودة والسلامة.
- تنفيذ تجارب تطبيقية متعددة القطاعات لإثبات الجدوى على أرض الواقع.

التحديات

- استمرار ارتفاع تكاليف الإنتاج مقارنة بالمواد البديلة.
- الحاجة إلى تقييم شامل للآثار الصحية للمواد النانوية
- ضمان مراقبة مستمرة للسلامة.
- عدم وضوح التأثيرات البيئية على امتداد دورة الحياة الكاملة للغرافين.
- مخاطر اضطراب القوى العاملة نتيجة إعادة تشكيل سلاسل التوريد التقليدية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

2 2025

هل سينتهي عصر العلاج بالمضادات الحيوية؟

فيروسات آكلة للبكتيريا

قد تصبح الفيروسات الآكلة للبكتيريا، بما فيها الفيروسات المعدّلة وراثياً، بديلاً علاجياً فعّالاً للمضادات الحيوية، عبر استهداف البكتيريا المسبّبة للمرض مباشرةً وبشكل دقيق.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
الأمراض المعدية وغير المعدية
علم الجينوم
العمر المديد والحيوية
الطب الدقيق والطب الشخصي

التكنولوجيا
التقنيات الحيوية
طب النانو
التحليلات الفورية

الفئة
الصحة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الزراعة والغذاء
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الصحة والرعاية الصحية
التأمين وإعادة التأمين
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية
مقاومة مضادات الميكروبات
الفيروسات الآكلة للبكتيريا
تقنية كريسبر-كاس
العلاج بالفيروسات الآكلة للبكتيريا
الطب الشخصي

أهمية الفرصة

تُعدّ مقاومة مضادات الميكروبات من أخطر التحديات الصحية عالمياً؛ إذ يُتوقّع أن تتسبّب في نحو 10 ملايين وفاة سنوياً بحلول عام 2050،[849] متجاوزةً وفيات السرطان.[850] وفي الوقت نفسه، يُسهم تعفّن الدم وحده بنحو 31.5% من إجمالي الوفيات عالمياً،[851] فيما تعود 56% من وفيات تعفّن الدم في عام 2019 إلى 33 نوعاً فقط من البكتيريا.[852] ويرتبط فشل المضادات الحيوية بدرجة كبيرة بسوء الاستخدام. لذا، وبحلول عام 2035، قد يتجاوز معدّل مقاومة المضادات التي تُعرف بـ "الملاذ الأخير" — والمستخدمة عند فشل المضادات الأخرى — ضعف معدّل عام 2005 في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية.[853]

في مواجهة ذلك، تبرز المعالجة بالفيروسات الآكلة للبكتيريا كبديل علاجي شديد الاستهداف يعتمد على فيروسات تهاجم أنواعاً محدّدة من البكتيريا. غير أن نجاح هذا النهج يتطلّب تحليل كميات هائلة من البيانات لمواءمة الفيروسات الأنسب مع كل حالة عدوى. في بعض الحالات، قد تكون العلاج بالعاثيات الخيار الوحيد القابل للتطبيق لعلاج المرضى المصابين بعدوى المقاومة للمضادات الحيوية.

الإيجابيات

توفير علاجات شخصية، والإسهام في الحد من مقاومة المضادات الحيوية ومقاومة الأدوية، وتقليل الاعتماد على المضادات الحيوية، وتعزيز سلامة الغذاء والأمن الصحي العالمي.

المخاطر

ظهور سلالات بكتيرية مقاومة وطفرات في الفيروسات، وتحديات تنظيمية، وتفاوت في الوصول إلى الرعاية الصحية، إضافةً إلى احتمالية تراجع إنتاج المضادات الحيوية. كما تشمل المخاطر سوء الاستخدام، وآثاراً جانبية طويلة المدى، واحتمال رفض مجتمعي لهذا النوع من العلاجات.

الوضع الحالي

يتزايد الاهتمام العالمي بالعلاج بالفيروسات الآكلة للبكتيريا بوصفه أحد أكثر الحلول الواعدة لمواجهة مقاومة مضادات الميكروبات. ومع ذلك، لا تزال الجهود متفرّقة بسبب غياب التنسيق المؤسسي بين الجهات المعنية. وبعد سنوات من تراجع الأبحاث، عاد هذا المسار إلى الواجهة مع تفاقم أزمة مقاومة مضادات الميكروبات.[854] يوجد حالياً 13 دولة لديها بنك دولي مخصّص لحفظ الفيروسات الآكلة للبكتيريا،[855] [856] أقدمها في جورجيا والمملكة المتحدة.[857]

وفي مارس 2024، أدرجت حكومة المملكة المتحدة الفيروسات الآكلة للبكتيريا ضمن أولوياتها الطبية، كجزء أساسي من خطة عملها الوطنية لمقاومة مضادات الميكروبات[858] 2024–2029 بوصفها علاجاً مبتكراً يستند إلى أدلة علمية.[859] وفي الولايات المتحدة الأمريكية، اعتمدت إدارة الغذاء والدواء حتى الآن 9 استخدامات لهذه الفيروسات، إضافةً إلى 3 استخدامات معتمدة من الهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية؛ جميعها مخصصة لعلاج الحيوانات الأليفة.[860]

وفي القطاع الزراعي، أثبت منتج "AgriPhase" المعتمد من وكالة حماية البيئة الأمريكية جدواه، إذ أسهم في تقليل ذبول الطماطم بنسبة 88% عبر استهداف مسبّبات المرض بدقة مع الحفاظ على الميكروبيوتا الطبيعية في التربة — ما يعزّز فرص التسويق التجاري إلى جانب التطبيقات السريرية.[861]

وفي أكتوبر 2025، نشرت وكالة الأدوية الأوروبية ورقة بحثية عقب نقاش استمر ستة أشهر حول تصنيف المنتجات القائمة على العلاج بالفيروسات الآكلة للبكتيريا كعلاجات طبية متقدّمة،[862] بهدف وضع أطر تنظيمية لمعايير الجودة ومتطلبات التصنيع تمهيداً لاعتمادها وتنظيم استخدامها رسمياً في الدول الأوروبية.[863]

وبالتوازي، تتواصل نقاشات عالية حول إنشاء بنك مركزي عالمي لهذه الفيروسات، وما يستلزمه من أطر للملكية الفكرية وآليات تمويل تضمن الاستدامة.[864] وقد ساهم عاملان في تسريع الاهتمام بهذه الفيروسات: تقنية كريسبر والذكاء الاصطناعي. فباستخدام كريسبر–كاس، تمكّن العلماء من تصميم مزيج من أربعة أنواع من الفيروسات الآكلة للبكتيريا لاستهداف الإشريكية القولونية،[865] كمضاد حيوي دقيق يستهدف البكتيريا المسبّبة للمرض دون الإضرار بميكروبيوم الأمعاء.[866] وقد أظهرت النتائج فعالية ضد 89% من سلالتين رئيسيتين، مع الحفاظ على البكتيريا النافعة.[867]

أمّا الذكاء الاصطناعي، فأسهم في تقليص الوقت اللازم لمطابقة الفيروسات الآكلة للبكتيريا مع العدوى البكتيرية الخاصة بكل مريض.[868] فقد استُخدم نظام (AlphaFold2-Multimer) لفحص 30 مليون فيروس آكل للبكتيريا، ونجح في تحديد البروتينات التي تُضعف الأنظمة المناعية للبكتيريا بدقة بلغت نسبتها 50%.[869] وفي دراسة أخرى، تمكّن نظام الذكاء الاصطناعي DeepLysin، الذي طوّره باحثون من جامعة هوا تشونغ الزراعية في الصين، من التنبؤ بسبعة جينات من أصل 17 جيناً لإنزيم اللايسين، ما أظهر فعالية فورية في تدمير جدران الخلايا البكتيرية.[870] وبينما تعتمد الطريقة التقليدية في تحديد البكتيريا على تسلسل الجينوم الكامل وقواعد بيانات مثل بنك الجينات، تتيح أدوات الذكاء الاصطناعي اليوم توصيفاً سريعاً لمسبّبات الأمراض مباشرةً من عيّنات المرضى. كما تمكّن خوارزميات التنبؤ من مطابقة البكتيريا المكتشفة مع الفيروسات الآكلة للبكتيريا المناسبة من البنوك المتخصّصة خلال ساعات فقط، بدلاً من أسابيع.

يوجد حالياً **13 دولة لديها بنك دولي** مخصّص لحفظ الفيروسات الآكلة للبكتيريا

القطاع الزراعي

%88

هي نسبة تقليل ذبول الطماطم بفعل منتج "AgriPhase" من وكالة حماية البيئة الأمريكية.

30 مليون

فيروس آكل للبكتيريا تم فحصها باستخدام نظام (AlphaFold2-Multimer)

%50

معدل النجاح في تحديد البروتينات التي تُضعف الأنظمة المناعية للبكتيريا

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
تبادل البيانات الوصفية

إبرام اتفاقية تعاون رسمية بين بنوك الفيروسات الآكلة للبكتيريا العالمية لتبادل البيانات الوصفية الخاصة بالفيروسات الآكلة للبكتيريا، وإنشاء بيئة تنظيمية تجريبية عالمية لإتاحة ذلك في ظل غياب الأطر التنظيمية اللازمة حالياً.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح

المشاريع التجريبية

إجراء تجارب باستخدام الفيروسات الآكلة للبكتيريا معزّزة بالذكاء الاصطناعي وتقنية "كريسبر" ضمن بيئات سريرية متعدّدة، في إطار اتفاقيات بحثية مشتركة تجمع بين صلاحيات قضائية مختلفة، ومؤسسات بحثية، وسلطات الصحة العامة، والجهات المعنية بالمناخ والبيئة.

- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- صناديق رأس المال الاستثماري

المستودعات الحيوية

تصميم أطر تنظيمية قائمة على الأدلّة، انطلاقاً من نتائج المشاريع التجريبية وتوصيات البيئات التنظيمية التجريبية، وتوحيدها عبر مختلف الولايات القضائية، مع إنشاء بنوك حيوية إقليمية تعتمد بروتوكولات مشتركة ومعايير وصول مفتوح. وإنشاء منصات معيارية لإنتاج الفيروسات الآكلة للبكتيريا بوصفها خدمة لدعم التطبيقات السريرية والزراعية.

- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- عقود الخدمات

2025

المستقبل المنشود
إنشاء بنك عالمي للبكتيريا

إنشاء بنك بيانات عالمي موحّد يوفّر علاجات شخصية بالفيروسات الآكلة للبكتيريا، ويدعم التصنيع الحيوي، ويعزّز الاستجابة السريعة لمقاومة مضادات الميكروبات. وإتاحة بنك البيانات عالمياً عبر شبكات مرافق البحث والتصنيع الحيوي.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

يُحدّد التركيب الجيني للسلالة البكتيرية المسبّبة لعدوى المريض بسرعة، ثم تُطابق — باستخدام الذكاء الاصطناعي — مع أنسب مزيج من الفيروسات الآكلة للبكتيريا من بنك بيانات عالمي. ونتيجة لذلك، يتم تصميم العلاج وإعداده وإعطاؤه خلال 48 ساعة، بما يتيح التعافي خلال أيام قليلة. وفي القطاع الزراعي، يستخدم المزارعون فيروسات آكلة للبكتيريا مخصّصة بدلاً من المضادات الحيوية، ما يحدّ من مخاطر مقاومة مضادات الميكروبات في المزروعات. وبالتوازي، تصبح أنظمة الرعاية الصحية قادرة على معالجة عدوى كانت غير قابلة للعلاج، مع ارتفاع الثقة في فعالية العلاجات. ومع هذا التحول، يتراجع الخوف من الجراثيم الخارقة لصالح حلول دقيقة، قابلة للتكيّف، وقابلة للتوسّع عالمياً.

عوامل تمكين الفرصة

- إرساء بروتوكولات موحّدة للتجارب السريرية الخاصة بالعلاج بالفيروسات الآكلة للبكتيريا.
- دمج الذكاء الاصطناعي وتقنية كريسبر مع قواعد بيانات توضح توافق الفيروسات مع البكتيريا المستهدفة.
- اتفاقيات حكومية دولية لتبادل البيانات وأطر أخلاقية لاستخدام البيانات البكتيرية.
- نماذج مرنة للملكية الفكرية تراعي السياقات المختلفة وتتعامل مع هذا العلاج بوصفه منفعة عامة.
- تمويل مستدام لتوسيع بنوك الفيروسات الآكلة للبكتيريا.

التحديات

- عدم توحيد بنوك بيانات الفيروسات الآكلة للبكتيريا.
- صعوبة إتاحة أو تطوير فيروسات آكلة للبكتيريا للاستخدام السريري داخل المنشآت الصحية.
- إدارة التحوّل وانعكاساته على قطاع صناعة الأدوية.
- محدودية منصات التشخيص الفوري وقدرات تطوير الفيروسات الآكلة للبكتيريا.
- الحاجة إلى منصات تشخيص سريعة ودقيقة لتحديد السلالات البكتيرية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

13 2025

ماذا لو تمكنّا من إزالة الملوّثات من مياه المحيطات والبحيرات باستخدام الموجات فوق الصوتية؟

مصفاة بحرية فوق صوتية

استخدام الموجات فوق الصوتية لإزالة الجسيمات البلاستيكية الدقيقة من المياه بكفاءة وفعالية، بما يسهم في تنظيف المحيطات، وتحسين بيئة الكائنات البحرية، وإتاحة مياه شرب أكثر أماناً للمجتمعات.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إدارة النظم البيئية

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
سلسلة الغذاء والماء والطاقة
تحفيز الابتكار
المواد الجديدة
الإدارة المستدامة للنفايات

التكنولوجيا
تكنولوجيا المناخ
تكنولوجيا الاستشعار

الفئة
الطبيعة والاستدامة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الزراعة والغذاء
المواد الكيمياوية والبتروكيمياويات
الصحة والرعاية الصحية
المواد والتقنية الحيوية
المرافق العامة

الكلمات الرئيسية
تلوّث البحار
الاستشعار عن بُعد
الموجات فوق الصوتية
معالجة المياه
الأمواج

أهمية الفرصة

تضاعف إنتاج البلاستيك ونفاياته عالمياً بين عامي 2000 و2019.[871] وتشير التوقعات إلى تضاعفه مرة أخرى بحلول عام 2040،[872] وربما إلى ثلاثة أضعاف مستوياته الحالية بحلول عام 2060.[873] ولا يقتصر أثر هذا التوسّع على البيئة وحدها، بل يمتدّ ليشكّل تهديداً للصحة العامة. فقد رُصدت الجسيمات البلاستيكية الدقيقة (الميكروبلاستيك) في أكثر من 1,300 نوع من الكائنات الحية، بما في ذلك جسم الإنسان، حيث تربطها الدراسات باضطرابات الجهاز المناعي والالتهابات وأمراض الأوعية الدموية.[874]

وتشير التقديرات إلى أن الإنسان قد يبتلع نحو 52 ألف جسيم من البلاستيك الدقيق سنوياً، وقد يرتفع العدد إلى نحو 121 ألف جسيم سنوياً عند احتساب ما قد يستنشقه من الهواء.[875] وتكمن خطورة البلاستيك في أنه نادراً ما يختفي من البيئة؛ إذ يتحلّل ويتجزأ من دون أن يتلاشى أثره، مما يؤدي إلى تعرّض الإنسان له بشكل مستمر في حياته اليومية، سواء في صورته المرئية أو على هيئة جزيئات دقيقة غير مرئية بالعين المجردة.[876]

الإيجابيات

توفير حل صديق للبيئة لمعالجة تلوّث المياه بالجسيمات البلاستيكية الدقيقة، وتنظيف المياه وتنقيتها، والحد من المواد الكيماوية، وتحسين الصحة العامة.

المخاطر

الحاجة إلى استهلاك كميات كبيرة من الطاقة، ومحدودية النتائج في بعض البيئات، وتحديات التوسّع والتطبيق على نطاق واسع، وارتفاع التكاليف المرتبطة بإزالة النفايات المتراكمة.

الوضع الحالي

الموجات فوق الصوتية هي موجات ذات ترددات عالية جداً لا تستطيع الأذن البشرية سماعها، وتمتلك قدرة على التأثير في خصائص المواد، وهو ما يُعرف بالكيمياء الصوتية.[877] ولا يُعد استخدام هذه الموجات في تنقية المياه فكرة جديدة، إذ أظهرت تجارب عديدة قدرتها على القضاء على البكتيريا وتفكيكها، فضلاً عن إسهامها في التحكم في نمو الطحالب. وقد حققت هذه التقنية درجات متفاوتة من النجاح، حيث تعتمد فاعليتها بشكل أساسي على دقة التردد المستخدم، ومدة التعرض للموجات، وحجم المياه أو المساحة التي تتعرض لها.[878]

وقد برز مشروع "أكوسويب" (Acousweep) كابتكار واعد في هذا المجال، حيث طوّر معهد هونغ كونغ لأبحاث المنسوجات والملابس، بدعم من مؤسسة "إتش آند إم"، تقنية تعتمد على الموجات الصوتية عالية التردّد لإزالة ألياف الميكروبلاستيك من مياه الصرف من دون الحاجة إلى استخدام مواد كيميائية. وتعتمد هذه التقنية على تمرير مياه الصرف عبر غرفة مخصّصة يتم فيها توليد موجات صوتية تُوجّه مباشرةً نحو المياه وتعمل على احتجاز الجسيمات البلاستيكية وفصلها في خزان تجميع تمهيداً لمعالجتها لاحقاً.[879] ورغم أن أنظمة المختبرات الحالية تعالج نحو 20 لتراً من المياه في الساعة، يسعى الباحثون إلى توسيع نطاق العمل ليصل إلى ما بين 5,000 و10,000 لتر في الساعة.[880]

وتُستخدم أنظمة كاميرات الويب الثابتة والطائرات المسيّرة حالياً ضمن برامج المراقبة الروتينية، إلا أنّها ما تزال مرتبطة بمشاريع بحثية محدّدة ولم تتحوّل بعد إلى منتجات تجارية واسعة الانتشار.[881] أمّا المراقبة عبر الأقمار الصناعية، مثل مهمة "بيس" (PACE) التابعة لوكالة ناسا،[882] فهي قادرة على رصد تراكمات البلاستيك الكبيرة والدقيقة على سطح المياه. غير أن خوارزميات الكشف لا تزال في مراحل تجريبية، ولا تتوفّر حتى الآن خدمة عالمية موحّدة لرصد النفايات بصورة آلية وتجارية.[883] ورغم أن نماذج الذكاء الاصطناعي حقّقت مستويات دقة تصل إلى 90% في بيئة مخبرية محدّدة، إلا أنها تظل مقيّدة ببيئات ومناطق معيّنة. كما أن ارتفاع تكاليف تصنيف البيانات وغياب المعايير الموحّدة يحولان دون تحويل هذه النماذج إلى حلول تجارية جاهزة.[884]

أما استخدام الموجات فوق الصوتية لمعالجة التلوث واسع النطاق في المحيطات، فيظل تحدياً كبيراً بسبب الموارد المطلوبة والتكاليف المرتفعة مقارنة بالعائد المتوقع.[885] وبشكل عام، يؤدي غياب أسواق مراقبة مدعومة بسياسات واضحة إلى إضعاف حوافز الشركات لتطوير وتسويق أنظمة متكاملة وشاملة قادرة على مواجهة هذه التحديات.[886]

إلى جانب التحديات التقنية، تبرز مخاوف صحية مرتبطة بالتعرض المكثف أو المطوّل للموجات فوق الصوتية، إذ تشير بعض الدراسات إلى احتمال تسببها في أضرار خلوية وإصابات في الأنسجة، إضافة إلى أعراض مثل الصداع والإرهاق وفقدان القدرة على سماع الترددات العالية.[887]

ويزيد من تعقيد الوضع غياب قوانين عالمية موحدة تنظم حدود التعرض لهذه الموجات، سواء عبر الهواء أو من خلال التلامس المباشر، ما يسبب فجوات تنظيمية خصوصاً في الأجهزة المستخدمة في الحياة اليومية.[888]

أنظمة المختبرات الحالية **تنقي نحو 20 لتراً من المياه من البلاستيك في الساعة**، ويسعى الباحثون إلى توسيع نطاق العمل ليصل إلى ما بين

5,000 و 10,000 لتر في الساعة

90%

نسبة الدقة في العثور على الميكروبلاستيك في بيئة مخبرية محدّدة

استخدام موجات فوق صوتية

لمعالجة التلوث واسع النطاق في المحيطات، إنما يظل تحدياً كبيراً بسبب الموارد المطلوبة والتكاليف المرتفعة مقارنة بالعائد المتوقع.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة. لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
إثبات الجدوى التقنية

يسعى الباحثون إلى التحقّق من فاعلية تقنيات التجميع والالتقاط بالموجات فوق الصوتية عند مخارج مياه الصرف والأنهار، إلى جانب وضع مقاييس معيارية، وتجربة نماذج الصيانة، ونشر بيانات مفتوحة تُثبت تحقيق خفض صافٍ وآمن لتدفّق الجسيمات البلاستيكية الدقيقة.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- المنح المرحلية

التوسّع الصناعي

شراء الحكومات أنظمة تجريبية، وتوسيع نطاق التركيبات الثابتة، واختبار الأنظمة المعيارية لالتقاط الملوّثات واعتماد تصاميمها، إلى جانب إنشاء مراكز صيانة متخصّصة، ودمج معايير ومؤشرات مراقبة للتحقّق من تخفيضات مستدامة عبر أنظمة مائية متنوّعة.

- المنح المُدمّجة
- عقود الخدمات
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- برامج مسرّعات الأعمال

توسيع الانتشار

إعداد خرائط ديناميكية لمناطق تركّز التلوّث، وتوجيه نشر الأنظمة المعيارية القابلة للتجميع وفقاً لهذه البيانات، مع العمل بشكل مستمرّ على تحسين أداء تقنيات التقاط الجسيمات باستخدام الموجات فوق الصوتية على المستوى العالمي.

- صناديق التوسّع
- صناديق رأس المال الاستثماري
- عقود الخدمات
- القروض

2025 **13**

المستقبل المنشود
توسيع الاعتماد العالمي

اعتماد تقنيات التجميع والالتقاط بالموجات فوق الصوتية بوصفها بنية تحتية معيارية ضمن أنظمة المياه والبيئات البحرية، بما يسهم في توفير محيطات خالية من المواد الكيميائية وتعزيز سلامة مياه الشرب، وذلك من خلال الوقاية المستمرّة من الجسيمات البلاستيكية الدقيقة على المستوى العالمي.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

تعمل مولدات الموجات فوق الصوتية عند مخارج مياه الصرف الصحي والمخلّفات الصناعية على فصل الجسيمات البلاستيكية الدقيقة عن المياه المتدفقة من دون الحاجة إلى مواد كيميائية، ثم تُجمع هذه الجزيئات وتُزال بطرق آمنة. ومع تقليل استخدام البلاستيك تدريجياً، تنخفض كميات الميكروبلاستيك في البحار، مما يسهم في حماية البيئة البحرية وتوفير مياه شرب أكثر أماناً للمجتمعات.

عوامل تمكين الفرصة

- إعادة توظيف البنية التحتية القائمة لمياه الصرف والمنشآت الصناعية.
- اعتماد معايير القياس والاستشعار لتتبّع تدفقات الجسيمات البلاستيكية الدقيقة.
- تطوير مسارات مستدامة لجمع البلاستيك الملتقط والتخلص منه وإعادة تدويره.
- تعزيز الحوكمة المنسقة والتمويل والشراكات لتمكين نشر هذا الحل على نطاق واسع.
- توسيع استخدام المواد الحيوية البديلة لدعم التحول بعيداً عن البلاستيك التقليدي.

التحديات

- محدودية القدرة التشغيلية لتلبية الطلب على التشغيل المستمر للموجات فوق الصوتية.
- صعوبة توسيع نطاق الأنظمة من تجارب محدودة إلى كميات هائلة من المياه في البيئات الصناعية.
- ارتفاع تكلفة التعامل مع نفايات الميكروبلاستيك المركزة ومعالجتها بأمان.
- محدودية الفعالية خارج نقاط التصريف الخاضعة للتحكم.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

42 2025

هل يبالغ البشر في تقدير احتياجاتهم من المياه؟

بصمـــة رقميـة للمـياه

إنشاء نظام متكامل ومؤتمت لإدارة الموارد المائية يعتمد على إنترنت الأشياء في القطاع الصناعي وبيانات الأقمار الصناعية، بما يتيح تتبّع تدفّقات المياه وأنماط استهلاكها بدقة. ويسهم هذا النظام في تقديم رؤى متعمّقة حول احتياجات المجتمعات من المياه، وتعزيز الشفافية في إدارة الموارد المائية، ودعم صُنّاع القرار ببيانات دقيقة لتطوير سياسات المياه وبرامج الترشيد.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى

إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

المتغيرات الغامضة

التكنولوجيا، التعاون

الاتجاهات السائدة

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات، وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

سلسلة الغذاء والماء والطاقة

التعاون الدولي

البيانات المفتوحة

الرشاقة الحكومية

التكنولوجيا

الذكاء الاصطناعي

إنترنت الأشياء

التحليلات الفورية

الفئة

الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً

الزراعة والغذاء

الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجددة

التصنيع

المعادن والتعدين

المرافق العامة

الكلمات الرئيسية

الجفاف

المياه الخضراء

مراقبة المياه عبر الأقمار الصناعية

المحاسبة المائية

شحّ المياه

أهمية الفرصة

يفتقر 2.1 مليار شخص حول العالم إلى مياه شرب آمنة،[889] ومن المتوقّع أن يتجاوز الطلب العالمي على المياه الإمدادات المتاحة بنسبة 40% بحلول عام 2030.[890] وقد يؤدي هذا العجز إلى خفض الناتج المحلي الإجمالي 8% في الدول مرتفعة الدخل وما بين 10% و15% في الدول منخفضة الدخل.[891] ويضع هذا الوضع نحو نصف الإنتاج الغذائي العالمي في دائرة الخطر، مما يهدد الأمن الغذائي بشكل مباشر.[892] وفي المقابل، لا تزال الممارسات الحالية لرصد استخدام المياه بعيدة عن أن تكون جزءاً متكاملاً من عملية صنع القرار؛ إذ غالباً ما تُنفَّذ كإجراءات مؤقتة أو تعتمد على بيانات منخفضة الجودة، كما أنها لا تغطي جميع المكونات والأنظمة المرتبطة بالموارد المائية.[893]

2.1 مليار

شخص حول العالم يفتقرون إلى مياه الشرب الآمنة

الإيجابيات

تحسين إدارة الموارد المائية، والتنبؤ بحالات الجفاف والفيضانات قبل وقوعها، وتوفير بيانات تدعم تطوير حلول قابلة للتوسع لإدارة المياه، وتعزيز التعاون الدولي واتفاقيات تبادل البيانات في قطاع المياه.

المخاطر

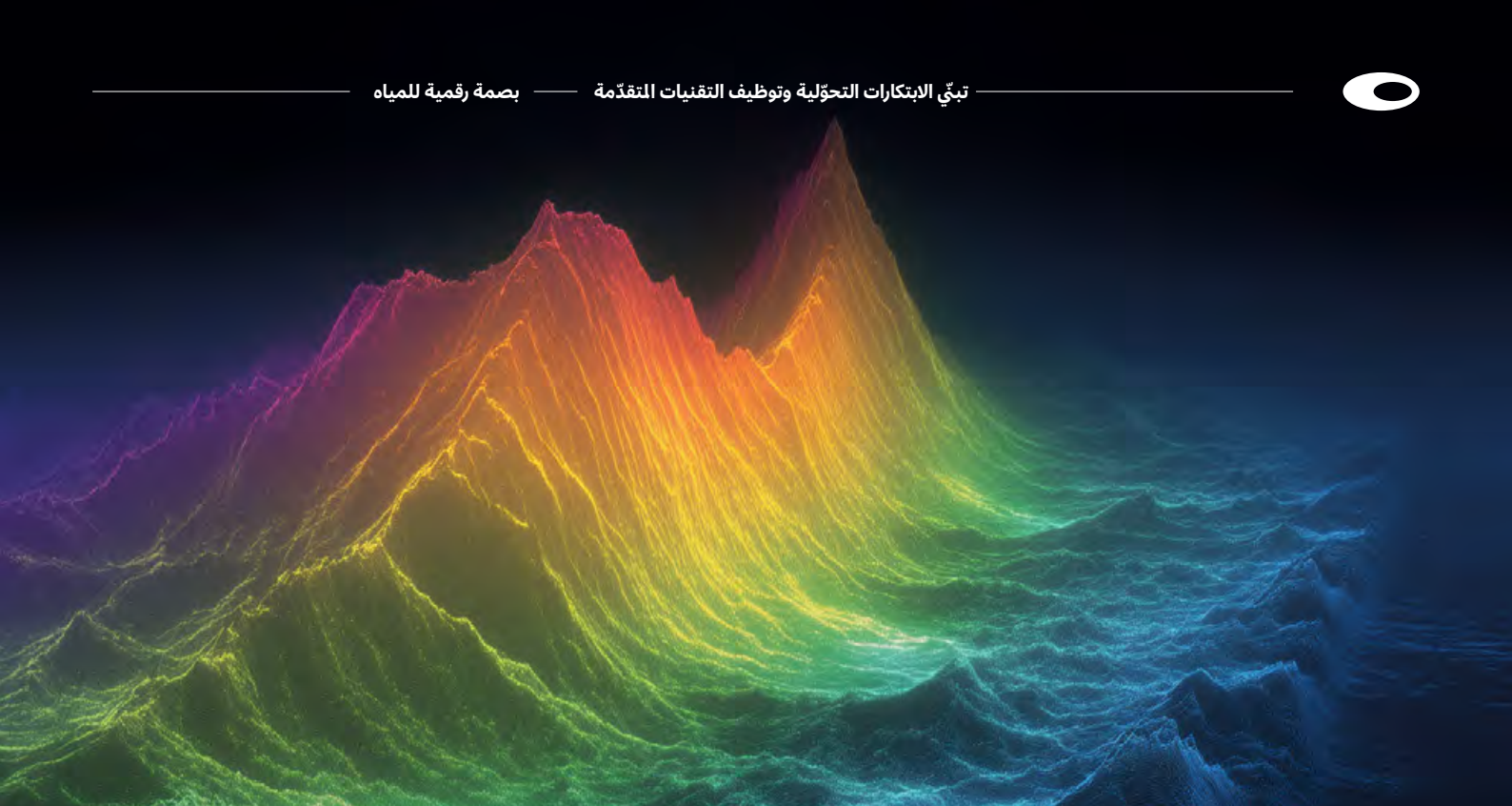
الحاجة إلى موارد تقنية ومالية كبيرة، وتحديات التشغيل البيني بين البيانات والأنظمة المختلفة، وتعقيد شبكات أجهزة الاستشعار، ومخاطر الأمن السيبراني، واحتمالات إساءة استخدام البيانات أو الاعتماد على تنبؤات غير دقيقة.

بحلول عام 2030، من المتوقّع أن يتجاوز الطلب العالمي على المياه الإمدادات المتاحة بنسبة

40%

شحّ المياه

يضع نحو نصف الإنتاج الغذائي العالمي في دائرة الخطر، مما يهدد الأمن الغذائي بشكل مباشر



الوضع الحالي

على الرغم من التسارع الكبير في التطوّر التكنولوجي عالمياً، لا تزال أدوات جمع بيانات المياه وتحسين جودتها وقابليتها للمقارنة متأخرة عن هذا التطوّر. ففي كثير من الحالات تغيب البيانات الأساسية تماماً، أو تتوافر بشكل مجزأ يفتقر إلى التنسيق والتكامل، إلى جانب محدودية التمويل والتردد في إتاحتها بشكل علني.[894] ويؤدي هذا القصور في البيانات إلى حجب مخاطر اقتصادية كبيرة مرتبطة بالمياه، تُقدَّر قيمتها بما يتراوح بين 7% و9% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي.[895] ومن أبرز مظاهر هذا القصور إهمال رصد ما يُعرف بالمياه الخضراء، أي رطوبة التربة والتبخر المرتبط بها.[896] ففي الوقت الراهن يقتصر الرصد على نحو 220 محطة فقط في دولتين هما الولايات المتحدة وإسبانيا ضمن قاعدة بيانات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية.[897]

وفي ظل هذا النقص، يتم الاعتماد إلى حد كبير على تقديرات الأقمار الصناعية، ولا سيما مهمة Grace (تجربة استعادة الجاذبية والمناخ)[898] التي تتتبع حركة المياه عبر قياس التغيرات في جاذبية الأرض.[899] ولتحقيق نظام رصد شامل ودقيق، تبرز الحاجة إلى دمج البيانات الفضائية مع المعلومات الصادرة عن المحطات الأرضية، وتعزيزها بالنماذج الحسابية لحركة المياه، إضافة إلى توظيف أجهزة الاستشعار الذكية المرتبطة بإنترنت الأشياء في القطاع الصناعي.

وقد بدأت السياسات الدولية تعكس أهمية هذا التحول. ففي عام 2024 أصدر الاتحاد الأوروبي قانون استعادة الطبيعة الذي دخل حيّز التنفيذ في أغسطس 2025، ويُلزم بفحص 25 ألف كيلومتر من الأنهار ومراقبة رطوبة التربة بصورة منتظمة،[900] وهي متطلبات يصعب تحقيقها بدقة من دون استخدام تقنيات إنترنت الأشياء الصناعية.

وفي عام 2022 أُجريت مراجعة شاملة لإطار عمل المياه في الاتحاد الأوروبي، أكدت ضرورة تعزيز التنسيق بين الدول الأعضاء وتوحيد نظم البيانات وتسهيل تبادلها، مع ضمان حق الجمهور في الوصول إلى المعلومات المتعلقة بحالة المسطحات المائية في الدول السبع والعشرين.[901]

وفي الوقت نفسه، يعمل اتحاد المرصد العالمي للمياه، الذي يضم 13 منظمة بحثية من ثماني دول،[902] على دمج بيانات الأقمار الصناعية مع المعلومات الأرضية لرصد هطول الأمطار ورطوبة التربة وجريان الأنهار ومستويات البحيرات، كما دعا المؤسسات المالية إلى إدراج مخاطر المياه ضمن خطط الاستقرار المالي العالمي. .[903]

ويستهلك قطاع الزراعة نحو 70% من المياه العذبة عالمياً، غير أن مخاطر إدارة المياه والديون المائية تمتد عبر مختلف القطاعات الاقتصادية.[904]

وفي هذا السياق، شهد مؤتمر الأمم المتحدة لتغير المناخ (COP29) إطلاق حوار باكو الذي أسفر عن أول إعلان سياسي يركز بشكل خاص على قضايا المياه، في خطوة تمهيدية لمؤتمر الأمم المتحدة للمياه لعام 2026 المقرر انعقاده في دولة الإمارات العربية المتحدة في ديسمبر من العام نفسه.[905]

المخاطر الاقتصادية الكبيرة المرتبطة بالمياه، تُقدَّر قيمتها بما يتراوح بين

7% و 9%

من الناتج المحلي الإجمالي العالمي

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
مرحلة الاختبار

نشر نماذج أوّلية من أجهزة استشعار رطوبة التربة في القطاعات الزراعية التي تستهلك كميات كبيرة من المياه.

- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- المنح المرحلية
- المنح
- برامج مسرّعات الأعمال

بناء منظومة رقمية متكاملة

تركيب شبكات أجهزة استشعار إنترنت الأشياء في القطاع الصناعي لربط المحطات الأرضية بنماذج الهيدرولوجيا المعتمدة على الأقمار الصناعية، وإرساء بروتوكولات إقليمية لتبادل البيانات، ومزامنة أنظمة المراقبة الآنية بين المستخدمين الصناعيين للمياه.

- المنح المُدمّجة
- عقود الخدمات
- برامج مسرّعات الأعمال
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

تعزيز التكامل الاقتصادي

دمج مؤشرات مخاطر المياه ضمن سلاسل الإمداد العالمية والاتفاقيات التجارية، وتفعيل آليات تسعير تحاسب على الاستخراج غير المستدام للمياه، إلى جانب تحقيق اعتماد واسع النطاق لأطر موحّدة للمحاسبة المائية عبر الاقتصادات الكبرى.

- صناديق التوسّع
- القروض
- عقود الخدمات
- صناديق رأس المال الاستثماري

2025 42

المستقبل المنشود
حوكمة المياه

تطبيق أنظمة فورية للمحاسبة المائية تفرض حدوداً دقيقة لاستخدامها، إلى جانب تطوير أطر آلية للتنبؤ والحفاظ على الموارد المائية وتفعيل متطلبات الحماية الاستباقية، وإرساء معاهدات دولية تستند إلى معايير بيانات قابلة للتشغيل البيني، بما ينظّم آلية تخصيص المياه ويعزّز الامتثال لها على المستوى العالمي.

- القروض
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

تراقب منصة عالية البصمات المائية الخضراء والزرقاء والرمادية بصورة آنية، بينما تتتبع الأقمار الصناعية مستويات رطوبة التربة، وتراقب أجهزة الاستشعار المرتبطة بإنترنت الأشياء طبقات المياه الجوفية والاستخدامات الصناعية. وفي الوقت نفسه، يستخدم الذكاء الاصطناعي المتقدم لتحليل هذه البيانات والتنبؤ بحالات الجفاف قبل وقوعها، مما يتيح للمجتمعات تعديل أنماط استهلاكها بشكل استباقي. وبذلك تصبح المحاسبة المائية أكثر شفافية، وتتوفر صورة دقيقة عن حجم المياه المستخدمة في تجارة الغذاء العالمية.

عوامل تمكين الفرصة

- نشر شبكات أجهزة استشعار إنترنت الأشياء في القطاع الصناعي لتتبّع المياه الجوفية وأنماط استهلاكها.
- توظيف المراقبة عبر الأقمار الصناعية لرصد هطول الأمطار ورطوبة التربة ودورات المياه.
- استخدام ذكاء اصطناعي متقدم لدعم التحليلات التنبؤية.
- تطوير بروتوكولات تدعم معايير بيانات عالية قابلة للتشغيل البيني.
- إرساء أطر قانونية وتنظيمية تعزز التعاون العابر للحدود.

التحديات

- قضايا سيادة البيانات والخصوصية.
- ارتفاع تكاليف اعتماد هذه الحلول في المناطق منخفضة الدخل والمتأثرة بشح المياه.
- ثغرات الأمن السيبراني.
- تحديات التشغيل البيني في توحيد بيانات أنظمة المراقبة المختلفة.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

43 2025

هل تعلم أن الطاقة الحرارية الجوفية هي أكثر مصدر موثوق للطاقة لكنها الأقل استخداماً حتى الآن؟

عصر جديد للطاقة الجوفية

تطوير أساليب جديدة لاستخراج الطاقة الحرارية الجوفية بالاعتماد على التقدم في الذكاء الاصطناعي وعلوم المواد المتقدمة، بما يتيح الاستفادة من هذا المورد النظيف والمتجدد على نطاق واسع، وبكلفة معقولة، ومن دون قيود جغرافية كبيرة.

التأثير

قريب المدى | متوسّط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى
تطوّر تقنيات الطاقة

المتغيرات الغامضة
الطبيعة، التكنولوجيا

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
صافي الانبعاثات الصفري
المواد الجديدة
إعادة توظيف الأصول
تحوّل قطاع الطاقة

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
التحليلات الفورية
المواد الجديدة

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
الخدمات المالية والمستثمرون
البنية التحتية والبناء
المرافق العامة

الكلمات الرئيسية
داعمة لأهداف صافي الانبعاثات الصفري
أنظمة الطاقة الحرارية الجوفية المُحسَّنة
تكافؤ تكلفة الطاقة الحرارية الجوفية
استخراج الليثيوم
الطاقة المتجدّدة

أهمية الفرصة

تُعدّ الطاقة الحرارية الجوفية من أكثر مصادر الطاقة المتجدّدة موثوقية،[906] إلا أنها لا تسهم حالياً سوى بنحو 1% من إنتاج الكهرباء عالمياً.[907] ومع التوقّعات بارتفاع الطلب العالمي على الكهرباء بنسبة 33% خلال العقد المقبل،[908] وتضاعفه لأكثر من مرتين بحلول عام 2050،[909] تبرز الطاقة الحرارية الجوفية كحلٍ واعد لتلبية هذا الطلب المتزايد ودعم تحقيق أهداف صافي الانبعاثات الصفري.[910] فعلى سبيل المثال، تتيح إعادة توظيف آبار النفط القديمة لاستخراج الطاقة الحرارية خفض انبعاثات الكربون بنسبة تصل إلى 34% مقارنة بالأساليب التقليدية.[911]

الإيجابيات

مصدر طاقة متجدّدة قابل للتوسّع، والإسهام في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، وإنتاج منتجات ثانوية ذات قيمة اقتصادية مثل حمض البوريك والهيدروجين.

المخاطر

ارتفاع تكاليف التنفيذ الأولية، ومحدودية قدرة المواد المستخدمة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة، واحتمالية التسبب غير المقصود في حدوث زلازل.

في عام 2025

$2.2 مليار

حجم الاستثمارات الموجّهة الى **الطاقة الحرارية الجوفية**

الوضع الحالي

شهد تمويل تقنيات الجيل القادم من الطاقة الحرارية الجوفية نمواً ملحوظاً خلال السنوات الأخيرة، حيث بلغ حجم الاستثمارات الموجّهة إليها نحو 2.2 مليار دولار في عام 2025، مسجّلاً زيادة سنوية قدرها 80% مقارنة بنحو 22 مليون دولار فقط في عام 2018.[912] وبالتوازي مع ذلك، استقطبت مشاريع الطاقة الحرارية الجوفية التقليدية استثمارات بلغت 5 مليارات دولار في عام 2025، أي ما يعادل أربعة أضعاف حجم الاستثمار المسجل في عام 2018.[913]

كما شهد هيكل التمويل تحولاً واضحاً، إذ انخفضت حصة التمويل القائم على حقوق الملكية من 70% خلال الفترة بين 2018 و2020 إلى نحو 50% خلال الفترة بين 2023 و2025. وفي المقابل، ارتفعت حصة التمويل المعتمد على الديون إلى 30%، بينما أسهمت المنح الحكومية بنسبة 9%. وتعكس هذه المؤشرات التزاماً متزايداً بدعم تطوير تقنيات الجيل القادم من الطاقة الحرارية الجوفية،[914] رغم ارتفاع التكاليف الأولية ومخاطر الاستكشاف، وهو ما يؤكد الحاجة إلى دور حكومي فاعل لضمان التوسع وتحقيق الجدوى الاقتصادية.[915]

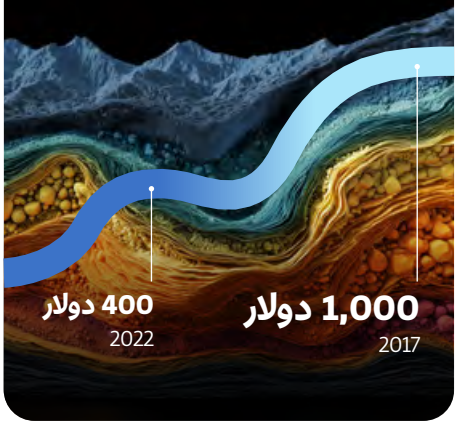
وتفتح هذه التقنيات آفاقاً جديدة لتوفير طاقة نظيفة ومستقرة على مدار الساعة، إذ تتيح استغلال حرارة باطن الأرض حتى في المناطق التي كان تطويرها محدوداً فيها سابقاً.[916] وتتركّز الجهود الحالية على ثلاثة مسارات رئيسية: أنظمة الطاقة الحرارية المحسّنة، والأنظمة الحرارية الجوفية المغلقة، والأنظمة فائقة السخونة التي تُعدّ الأحدث والأكثر تطوّراً.[917] وقد أسهم التقدّم التقني في خفض التكاليف بشكل ملموس؛ فقد نجحت شركة "فيرفو إنرجي" في خفض تكاليف الحفر من 1,000 دولار إلى 400 دولار لمساحة قدم واحدة.[918] وقد سجلت مبادرة "فورج" التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية تحسّناً في معدلات الحفر بنسبة 500% بين عامي 2017 و2022.[919] [920]

وفي الوقت نفسه، بدأت شركات التكنولوجيا الكبرى في استكشاف حلول الطاقة الحرارية الجوفية لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة، خصوصاً في مراكز البيانات وعمليات الحوسبة المكثفة. وقد تجسّد هذا التوجّه في إبرام صفقتين تجاريتين بارزتين: الأولى بين شركتي "غوغل" و"فيرفو" بقدرة 115 ميجاوات،[921] والثانية بين "مينا" و"سيدج جيوسيستمز" بقدرة 150 ميجاوات، على أن يبدأ تشغيل الأخيرة في عام 2027.[922] ومن المتوقّع أيضاً أن يبدأ مشروع "كيب ستيشن" التابع لشركة "فيرفو"، وهو الأكبر عالمياً في مجال تقنيات الجيل القادم من الطاقة الحرارية الجوفية، بإنتاج 100 ميجاوات في عام 2026، مع خطط لرفع قدرته إلى 500 ميجاوات بحلول عام 2028.[923] وجمعت الشركة تمويلاً بقيمة 462 مليون دولار في ديسمبر 2025، مع تجاوز الطلب الاستثماري لحجم الطرح.[924]

ولا تقتصر فوائد الطاقة الحرارية الجوفية على توليد الكهرباء فحسب، بل تشمل أيضاً استخراج المعادن الحيوية، وفي مقدّمتها الليثيوم. ويبرز مشروع "ليون هارت" التابع لشركة "فولكان إنرجي" في ألمانيا كنموذج رائد في هذا المجال، إذ حصل في 2025 على تمويل للمرحلة الأولى بقيمة 284.5 مليون دولار أمريكي[P] من بنك الاستثمار الأوروبي.[925] ومن المتوقّع أن يلبي الإنتاج الفعلي للمشروع نحو 12% من احتياجات السوق الأوروبية المتوقعة من هيدروكسيد الليثيوم لعام 2030.[926]

الحفر
خفض التكاليف

من 1,000 دولار إلى 400 دولار لمساحة قدم واحد (2017–2022)



P بناءً على سعر صرف اليورو مقابل الدولار الأمريكي بتاريخ 11 يوليو 2026.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
مرحلة العرض التجريبي

تقديم الحكومات لمنح وضمانات، وتوجّه المستثمرين نحو التمويل القائم على الديون، وتقليل البرامج العامة لمخاطر الاستكشاف، وتوسّع مشاريع الجيل القادم من المرحلة التجريبية نحو إثبات جدوى تجارية قابلة للتحقّق، وتحسّن أداء عمليات الحفر، وبدء ظهور أسواق مبكرة عبر مختلف الاقتصادات.

- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- المنح المرحلية

تسريع عملية النشر التجاري

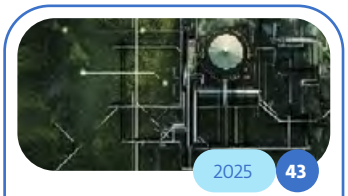
توسيع المطوّرين لمشاريع التسويق التجاري من خلال إبرام اتفاقيات شراء مع الشركات، وتوظيف تقنيات الذكاء الآلي لخفض تكاليف الحفر وتحسين معدلات النجاح والإنتاج المشترك لليثيوم، وبناء سلاسل إمداد متكاملة وتسريع وتيرة النشر العالي في مناطق جديدة.

- المنح المُدمَجة
- عقود الخدمات
- برامج مسرّعات الأعمال
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

توسيع نطاق التسويق التجاري

توسيع الشركات لمشاريع الطاقة الحرارية الجوفية من المرحلة التجريبية إلى مرحلة النشر التجاري، مع التوسّع في تطبيق الأنظمة الحرارية الجوفية المغلقة والوصول إلى مستويات تكلفة تنافسية مع مصادر الطاقة الأخرى، وتوحيد عمليات الحفر، وجمع التمويل القائم على الديون، بما يتيح توفير الطاقة للقطاعات الصناعية والمدن على حد سواء.

- صناديق التوسّع
- عقود الخدمات
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض



2025 **43**

المستقبل المنشود
توسيع نطاق دمج الطاقة الحرارية الجوفية

إلزام الحكومات بدمج الطاقة الحرارية الجوفية واعتماد شركات المرافق لأنظمة موحّدة لربطها بالشبكات الكهربائية على المستوى العالمي، وتوفير خدمات التدفئة في المدن، وانتقال القطاعات الصناعية إلى الاعتماد على الطاقة الحرارية الجوفية، والعمل على إنهاء فقر الطاقة من خلال ضمان إتاحة الوصول الشامل إليها إلى جانب مصادر الطاقة الأخرى.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسع

ملامح تطوّر الفرصة

تتيح تقنيات الجيل القادم من الطاقة الحرارية الجوفية توفير طاقة نظيفة ومستقرة في مختلف المناطق بفضل تقنيات الحفر المتقدمة وتصاميم الأنظمة الحديثة. كما تصبح تكلفة إنتاج الكهرباء لكل كيلوواط/ساعة منافسة لمصادر الطاقة المتجددة الأخرى، إلى جانب توفير إمدادات مستدامة من الليثيوم. وتسهم إعادة توظيف آبار النفط في تسريع انتشار هذه الطاقة وتقليل القيود الجغرافية المرتبطة بها، مما يحوّل الطاقة من مورد نادر إلى مورد وفير، بحيث يصبح انتشارها عالمياً مرتبطاً بالتمويل أكثر من ارتباطه بالخصائص الجيولوجية.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير تقنيات حفر متقدّمة للوصول إلى موارد حرارية أعمق وأكثر سخونة.
- استخدام مواد متقدّمة تتحمّل درجات الحرارة القصوى.
- تأمين أنشطة الحفر للحد من مخاطر الاستكشاف المبكرة.
- تبسيط وتسريع إجراءات التراخيص.
- توفير تمويل للمراحل المبكرة وبرامج منح حكومية لتحفيز الاستثمار.

التحديات

- احتمالية حدوث زلازل نتيجة عمليات الحفر والاستخراج.[927]
- تسارع تآكل المعدات وانخفاض عمرها التشغيلي في البيئات عالية الحرارة.
- بطء عمليات ربط المشاريع الجديدة بالشبكات الكهربائية القائمة.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

11 2022

ماذا لو كان بإمكان الجميع الحصول على الكهرباء بأسعار منخفضة؟

طاقة دون حدود

نقل الكهرباء للأفراد والصناعات عبر مواد فائقة التوصيل من دون فقدان، بما يتيح شبكات أكثر كفاءة ومرونة وقدرة على تلبية الطلب المتزايد على الطاقة.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
ثورة المواد

المتغيرات الغامضة
الطبيعة، التكنولوجيا

الاتجاهات السائدة
تحوّل قطاع الطاقة
المواد الجديدة

التكنولوجيا
تحوّل قطاع الطاقة
تكنولوجيا الاستشعار

الفئة
تمكين المجتمعات

القطاعات الأكثر تأثّراً
تكنولوجيا الاتصالات، والبيانات، وأنظمة الحوسبة
التعليم
الصحة والرعاية الصحية
التصنيع
المرافق العامة

الكلمات الرئيسية
استهلاك الذكاء الاصطناعي المتزايد للطاقة
تحوّل قطاع الطاقة
شبكات الكهرباء
نقل وتوزيع الكهرباء
مواد فائقة التوصيل

أهمية الفرصة

رغم نجاح العالم في إيصال الكهرباء لنحو 92% من سكانه،[928] تكشف هذه النسبة فجوة عميقة؛ إذ لا يزال 655 مليون شخص يفتقرون إلى الاتصال بشبكة الطاقة.[929] وتظهر حدة هذا التفاوت في إفريقيا جنوب الصحراء، التي تضم 18 دولة من أصل الدول العشرين الأكثر تضرراً عالمياً،[930] إلى جانب وجود نحو نصف مليار شخص في المناطق الريفية يعيشون بالكامل خارج نطاق الخدمة.[931]

ولا تتوقف الأزمة عند حدود الإتاحة، بل تمتد إلى كفاءة الشبكات. فرغم أن فاقد نقل وتوزيع الكهرباء سجّل أدنى مستوياته عالمياً منذ عام 1990 عند 6%،[932] لا يزال هذا الهدر كبيراً بما يكفي للتأثير على كفاءة التشغيل. فهو يضطرنا إلى إنتاج كهرباء تفوق حاجتنا الفعلية، ما يرفع التكاليف ويضاعف الأضرار البيئية، خصوصاً عند الاعتماد على مصادر غير متجددة. وتتصاعد هذه الضغوط بصورة أوضح خلال أوقات الذروة.[933]

الإيجابيات

خفض تكاليف الطاقة، والحد من التلوّث، وتقليل الحاجة إلى استثمارات ضخمة في البنية التحتية، مع تعزيز النمو الاقتصادي في المناطق الأكثر احتياجاً للطاقة الكهربائية عالمياً.

المخاطر

زيادة احتمال تعرّض أنظمة الطاقة الكهربائية للهجمات مع التوسّع في توزيعها، إلى جانب مخاوف احتكار التقنيات المتقدّمة، مثل الموصلات الفائقة، وحصر حقوق ملكيتها الفكرية في جهات محدّدة.

الوضع الحالي

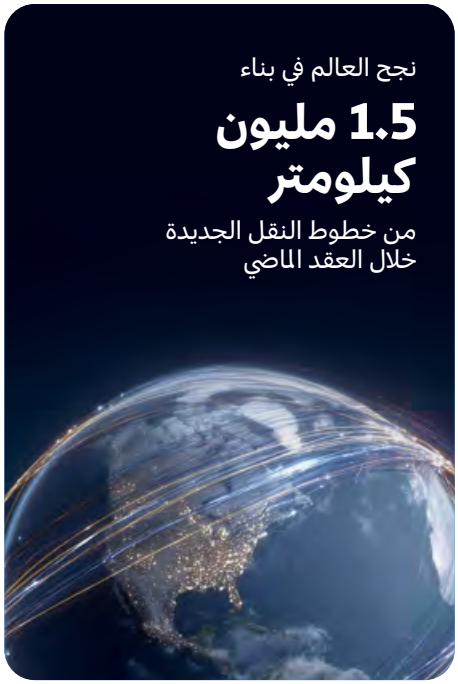
تختلف نسبة الفاقد في نقل وتوزيع الكهرباء بشكل ملحوظ بين مناطق العالم. فوفقاً لبيانات عام 2022، سجّلت إفريقيا جنوب الصحراء أعلى نسبة فاقد بلغت 24%، تلتها المنطقة العربية بنسبة 16%، بينما تنخفض هذه النسبة في دول مجلس التعاون الخليجي إلى 7%، وفي أمريكا الشمالية إلى 5%، وصولاً إلى الصين التي سجلت 3% فقط.[934] ولا يتوقّف هذا التفاوت عند الحدود الجغرافية، بل يمتد ليشمل طبيعة المناطق[935] وتوقيت الاستهلاك؛ ففي الولايات المتحدة الأمريكية مثلاً، قد يرتفع الفاقد إلى 20% خلال أوقات الذروة، بينما ينخفض إلى 3% فقط عندما يقلّ الطلب.[936] ويُعد قطاع نقل وتوزيع الكهرباء ركناً أساسياً في التحول نحو الطاقة النظيفة والمتجددة، كما يلعب دوراً حاسماً في تلبية احتياجات الذكاء الاصطناعي المتزايدة من الطاقة. وتشير التوقعات إلى أن استهلاك الذكاء الاصطناعي للطاقة سيتضاعف بحلول عام 2030 مقارنة بمستويات عام 2024.[937]

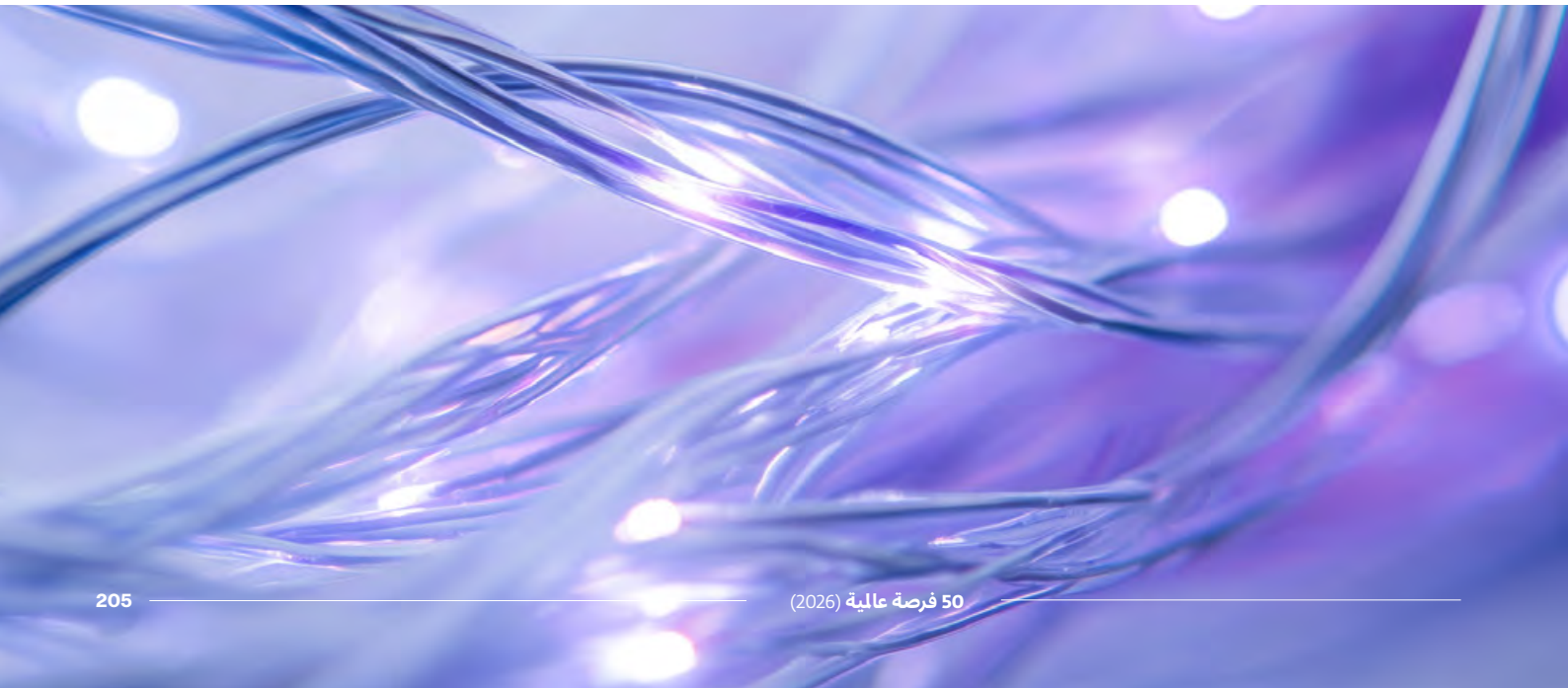
وتعتمد شبكات الكهرباء على منظومة متكاملة تشمل المحولات، وأعمدة النقل في المناطق الريفية، والكابلات الأرضية في المدن، إضافة إلى العدادات الذكية[938] التي تربط مصادر الطاقة المتنوّعة، مثل الطاقة الكهرومائية والطاقة الشمسية والطاقة الشمسية الفضائية،[939] وطاقة الرياح. ومع ذلك، تواجه هذه المنظومة تحديات كثيرة؛ فبينما نجح العالم في بناء 1.5 مليون كيلومتر من خطوط النقل الجديدة خلال العقد الماضي،[940] تشير التقديرات إلى الحاجة إلى 80 مليون كيلومتر إضافية بحلول عام 2040 للوفاء بالالتزامات المناخية، وهو ما يعادل ضعف الشبكات الحالية تقريباً.[941]

ويبرز هنا تحدٍّ محوري يتمثل في فارق السرعة: إذ يستغرق إنشاء شبكات نقل وتوزيع جديدة ما بين 5 سنوات و15 سنة، بينما لا تتطلب مشاريع الرياح أو الطاقة الشمسية سوى سنة إلى 5 سنوات للاكتمال.[942] ويظهر هذا التفاوت الزمني بوضوح في أوروبا، حيث قد تنتظر بعض المشاريع 9 سنوات لمجرد الحصول على تصريح الربط بالشبكة،[943] ما يشير إلى أن إنتاج الكهرباء يتقدم بوتيرة أسرع من قدرة الشبكات على استيعابها وإيصال أثرها إلى المستهلك النهائي.

أما من حيث الموارد، فمن المتوقع أن يرتفع الاستهلاك السنوي للمعادن في قطاع نقل وتوزيع الكهرباء بنسبة 50% بين عامي 2022 و2030، إذ سيستحوذ هذا القطاع وحده على نحو 20% من إجمالي الإنتاج العالمي للنحاس بحلول عام 2030.[944] ولا تقتصر التحديات على حجم الطلب، بل تشمل أيضاً تركّز الإنتاج؛ إذ تسيطر خمس دول فقط (الصين، اليابان، كوريا، روسيا، والولايات المتحدة الأمريكية) على 85% من السوق العالمي للمعادن المستخدمة في صناعة المحولات والشبكات الكهربائية.[945] وقد انعكست هذه الضغوط على التكاليف بشكل واضح: إذ تضاعفت أسعار الكابلات منذ عام 2019، بينما ارتفعت أسعار المحوّلات بنسبة 75%.[946]

وفي هذا السياق، تبرز الابتكارات في مجالات الموصلات الفائقة، والمواد النانوية، ومواد العزل المتقدّمة كعامل حاسم لتطوير قطاع الكهرباء. ورغم الإمكانات الواعدة للمواد التي تقوم عليها الموصلات الفائقة، مثل البزموت، وأنابيب الكربون النانوية، والغرافين، إلا أنها تواجه تحديات تحد من الجدوى الاقتصادية لاستخدامها على نطاق واسع في الوقت الحالي.[947] وفي محاولة لتجاوز هذه العقبات، تعمل جامعة بنسلفانيا على فحص قاعدة بيانات تضم 5 ملايين مادة بحثاً عن موصلات فائقة قادرة على العمل في درجات الحرارة العادية. وتعتمد في ذلك على نظرية جديدة وموحّدة تدمج بين ثلاثة مجالات علمية مختلفة، من بينها ميكانيكا الكم.[948]





مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي

اكتشـاف مـواد جديدة

ابتكار مواد فائقة التوصيل تتّسم بالاستقرار والمرونة في الاستخدام، بحيث تعمل في درجات الحرارة العادية أو القريبة منها؛ مما يزيل عقبة "التبريد المكلف" التي تقف عائقاً أمام انتشارها، مع إنشاء تحالف عالمي لتحديد المناطق والقطاعات ذات الأولوية لبدء التطبيق.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

تطوير النماذج الأوّلية وبناء الشراكات

تطوير نماذج أوّلية غير مكلفة لاستخدام المواد فائقة التوصيل في تحديث الشبكات الكهربائية الحالية وبناء شبكات جديدة.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح المرحلية

إطلاق المشاريع التجريبية وتفعيل التكامل الإقليمي

تركيب كابلات فائقة التوصيل في المناطق التي تعاني من مستويات فقدان عالية (مثل إفريقيا جنوب الصحراء) وفي المناطق التي تشهد طلباً متزايداً على الكهرباء، لا سيما لتزويد مراكز بيانات الذكاء الاصطناعي بالطاقة الكهربائية.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- القروض
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- المنح القابلة للتحويل

2022 **11**

المستقبل المنشود

تعزيز الربط الشبكي وتحقيق الوصول الشامل للكهرباء

بناء شبكات كهرباء جديدة، أو تحديث الشبكات الحالية باستخدام مواد فائقة التوصيل، مع دعمها بأنظمة تعتمد على الذكاء الاصطناعي لموازنة الأحمال، ومراقبة وإدارة التوزيع، وتمكين الربط الشبكي على المستوى العالمي.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق التوسّع
- القروض

ملامح تطوّر الفرصة

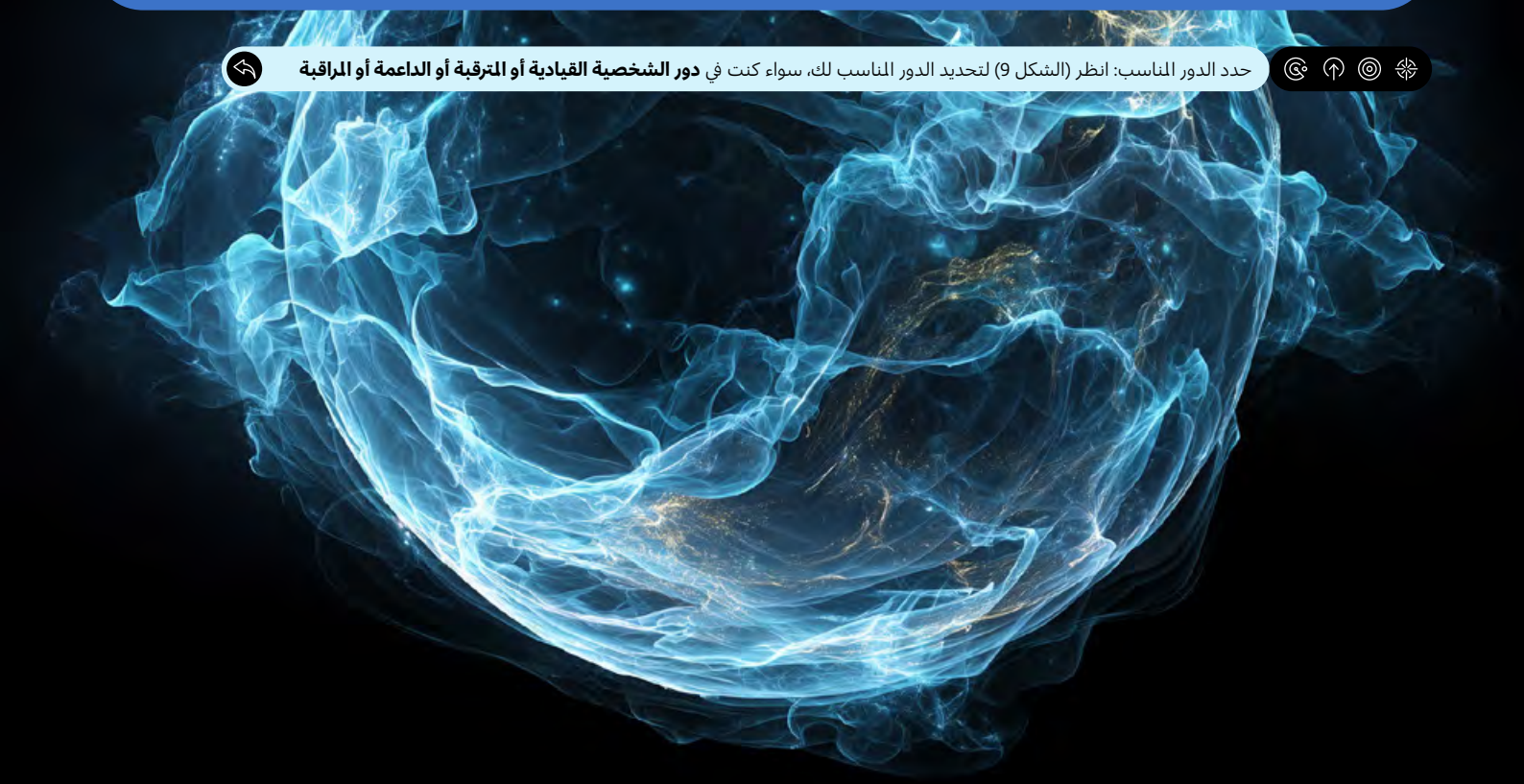
عند تحقيق هذه الفرصة، ستتوافر الكهرباء بصورة موثوقة في أي مكان حول العالم، لتصبح محرّكاً أساسياً يدعم قطاعي التعليم والصحة. كما سينخفض الفاقد في نقل وتوزيع الكهرباء في مختلف المناطق إلى 6% (انظر إلى قسم أهمية الفرصة أعلاه) أو إلى مستويات قريبة من الصفر، بما يعزز كفاءة الشبكات ويولد فائضاً في الكهرباء من دون الحاجة إلى بناء محطات جديدة. وبالإضافة إلى ذلك، ستتمكن المناطق الريفية من الحصول على الكهرباء من دون الحاجة إلى الأعمدة والأسلاك الهوائية، بينما لن تعود المدن بحاجة إلى محطات تحويل عالية الجهد، مع ضمان دمج مراكز الطاقة المتجددة بسلاسة داخل الشبكات وعبر الحدود وفق الحاجة.

عوامل تمكين الفرصة

- اكتشاف مواد فائقة التوصيل جديدة، منخفضة التكلفة، وقادرة على العمل في درجات الحرارة العادية.
- تبسيط الأطر التنظيمية وإجراءات تصاريح ربط الشبكات.
- وضع معايير واضحة تضمن توافق الشبكات الكهربائية وقدرتها على العمل معاً بانسجام.
- تطوير نماذج تعاون فعالة لتبادل الطاقة وتقاسم مواردها بين الدول.

التحديات

- تصاعد المخاطر المرتبطة بالأمن الرقمي والمادي للشبكات.
- ارتفاع تكاليف البنية التحتية عند استبدال الخطوط الحالية وتحديثها.
- احتكار حقوق ابتكار المواد المتقدمة لدى جهات محدودة (الملكية الفكرية).



حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

الإطار المرجعي 4

الشراكـــــات

يركّز هذا الإطار على الفرص التي تتيح تحقيق القيمة من خلال بناء تحالفات فعّالة بين مختلف القطاعات، وتطوير أنظمة داعمة، واعتماد استراتيجيات تساعد على مواءمة المصالح وتمكين تنفيذ الحلول على نطاق واسع.

أبرز الرؤى[Q] المتعلقة بالفرص ضمن هذا الإطار

1

التعاون الدولي كمدخل عملي لتحقيق القيمة

يتبيّن أن 85% من الفرص المستقبلية ضمن هذا الإطار قابلة للتنفيذ على المدى القريب أو المتوسّط، مع تقارب واضح بين الفئتين. وبالمقارنة مع بقية الأطر الخمسة، يُعدّ هذا الإطار الأكثر قابلية للتنفيذ حالياً، خاصةً في ظل توفّر عوامل التمكين الأساسية.

2

الحوكمة العالمية والقيم المشتركة كمتغيرات حاسمة

يعتمد أكثر من نصف الفرص في هذا الإطار على التعاون الدولي والقيم المشتركة. وتُعدّ تطوّر أنظمة الحوكمة العالمية، وطبيعة التنسيق بين الدول، إضافةً إلى وجود فهم مشترك لمعنى جودة الحياة، من أبرز المتغيرات الغامضة المؤثرة في مسار هذه الفرص. وسيؤثّر هذان العاملان بشكل مباشر على قدرة التعاون العالمي على تحصيل قيمة حقيقية.

3

دور الإنسان والأنظمة البيئية في صميم التحول

يركّز أكثر من نصف الفرص في هذا الإطار على بعدين رئيسيين: الإنسان والأنظمة البيئية. ويظهر ذلك من خلال ارتباط 40% منها بتوجّه إعادة تحديد الأهداف الإنسانية، و15% بتوجّه تطوّر الأنظمة البيئية.

Q تعتمد هذه الرؤى على تحليل 200 فرصة تم عرضها في الإصدارات السابقة من تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية"، وتهدف إلى تقديم معلومات وإرشادات عامة، دون أن تكون شاملة لكل الاحتمالات. وبحكم طبيعتها، قد تنطبق هذه الرؤى على بعض السياقات، لكنها قد لا تكون مناسبة لجميعها.

التوجهات العالمية الكبرى | المتغيرات الغامضة | الاتجاهات السائدة | التكنولوجيا

20 متوسّط المدى 2022

مكتبة طبية لكوكب الأرض

ماذا لو أصبحت البيانات الصحية العالمية متاحة للجميع؟

إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

التكنولوجيا | التعاون

البيانات المفتوحة | الحوسبة المتقدمة

حماية البيانات والخصوصية

الحوسبة المتقدمة | الذكاء الاصطناعي

حماية البيانات والخصوصية

19 متوسط المدى 2023

حاسبة التغيّر المناخي

ماذا لو أنشأنا نظام تقييم رقمياً للأرض يوضح تأثير قراراتنا على البيئة؟

إدارة النظم البيئية

التكنولوجيا | الطبيعة | التعاون الدولي

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

سلسلة الغذاء والماء والطاقة

صافي الانبعاثات الصفري

البيانات المفتوحة | الذكاء الاصطناعي

إنترنت الأشياء | تقنيات الاستشعار

21 متوسّط المدى 2023

تقليص الفجوة الرقمية

ماذا لو أصبح الواقع الرقمي متاحاً للجميع؟

تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد

التكنولوجيا | القيم المجتمعية

الشراكة بين القطاعات | الاقتصاد الرقمي

مستقبل الأهداف والعمل | تحوّل التعليم

الإنسان في مواجهة الآلة | الاتصال المتقدم

التقنيات الغامرة والأجهزة القابلة للارتداء

تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد

50 متوسّط المدى 2024

إنترنت فضائي

ماذا لو أصبح الاتصال بالإنترنت متاحاً في أي مكان على كوكب الأرض بلا حدود؟

نمو اقتصادات الأعمال المستقلة

التكنولوجيا | التعاون

الاقتصاد الرقمي | مستقبل الفضاء

التعاون الدولي | الرشاقة الحكومية

البيانات المفتوحة | الاتصال المتقدم

الذكاء الاصطناعي | تقنيات الفضاء

28 متوسّط المدى 2025

صندوق ابتكارات البشرية

ماذا لو فتحت لنا المتغيرات المستقبلية بعيدة المدى الباب أمام فرص استثمارية استثنائية؟

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

الأنظمة | التعاون

سلسلة الغذاء والماء والطاقة

الشراكة بين القطاعات

التعاون الدولي | تحفيز الابتكار | الترميز

المنظمات اللامركزية المستقلة

تقنيات دفتر الأستاذ الموزع

التحليل التنبؤي

20 2022

ماذا لو أصبحت البيانات الصحية العالمية متاحة للجميع؟

مكتبـــة طـــبية لكوكـــب الأرض

إتاحة المعلومات الطبية عالمياً عبر مجموعات بيانات مشتركة مدعومة بقدرات حوسبة متقدمة.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى

إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

المتغيرات الغامضة

التعاون، التكنولوجيا

الاتجاهات السائدة

البيانات المفتوحة
الحوسبة المتقدّمة
حماية البيانات والخصوصية

التكنولوجيا

الحوسبة المتقدّمة
حماية البيانات والخصوصية
الذكاء الاصطناعي

الفئة

الصحة

القطاعات الأكثر تأثّراً

الزراعة والغذاء
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الصحة والرعاية الصحية
التعليم
المواد المتقدّمة والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية

الطب الشخصي
الطب الدقيق
علم المعلومات الحيوية
المؤشرات الحيوية
إنترنت الأشياء

أهمية الفرصة

يتسارع توافر بيانات الرعاية الصحية مع تطوّر التقنيات، بما في ذلك الذكاء الاصطناعي والتحليلات المتقدمة، والسجلات الصحية الإلكترونية، وعلم الجينوم، والأجهزة القابلة للارتداء.[949] وقد ينتج المريض الواحد ما يصل إلى 6 تيرابايتات من البيانات الصحية (السريرية والجينومية) على مدى حياته.[950] ومع بداية ثلاثينيات هذا القرن، يُتوقع أن تمثل بيانات قطاع الصحة نحو 30% من إجمالي البيانات المنتَجة عالمياً.[951] وإذا أُتيحت هذه البيانات للاستخدام الآمن عبر الحدود، فلن يقتصر أثرها على تحويل قطاع الصحة فحسب، بل سيفتح أيضاً مجالات واسعة للابتكار في قطاعات أخرى تستفيد من هذه المعارف. ورغم ذلك، لا يُستخدم اليوم سوى 3% فقط من بيانات المستشفيات عالمياً استخداماً فعّالاً،[952] حتى في أوقات الأزمات والطوارئ.

الإيجابيات

ستدعم مجموعات البيانات الصحية الضخمة نماذج محاكاة التجارب السريرية، وتسرّع تطوير الأدوية، وتحسن النتائج الصحية، وتعزز المراقبة الآنية لتفشي الأمراض المعدية.

المخاطر

تشمل المخاطر الهجمات السيبرانية التي قد تستهدف إتلاف مجموعات البيانات، إضافة إلى مخاوف انتهاك خصوصية البيانات الصحية.

الوضع الحالي

تعمل مؤسسات صحية عالمية عدة على جمع وإدارة كميات ضخمة من بيانات الصحة العامة على المستوى العالمي أو عبر عدة دول. فعلى سبيل المثال، توفر منظمة الصحة العالمية قاعدة بيانات لرصد عدم المساواة الصحية، تعرض الفروق الصحية بين الفئات المختلفة داخل المجتمعات. وتضم هذه القاعدة نحو 2000 مؤشر صحي مصنفة ضمن 22 بُعداً من أبعاد الفوارق الاجتماعية مثل العمر والنوع الاجتماعي والوضع الاقتصادي والموقع الجغرافي. وتشمل البيانات مجالات متعددة، من صحة الأم والطفل والتطعيم إلى الأمراض غير المعدية والصحة البيئية.[953] كما تتيح المنظمة، عبر منصة التقديرات الصحية العالمية، بيانات تسمح بمقارنة الدول من حيث معدلات الوفيات وانتشار الأمراض وأداء النظم الصحية.[954]

وبالمثل، توفر دراسة العبء العالمي للأمراض التي يشرف عليها معهد القياسات الصحية والتقييم واحدة من أوسع قواعد البيانات الصحية في العالم. وتشمل بيانات تعود إلى عام 1980، ما يتيح تتبع التغيرات الصحية ومقارنة الأوضاع بين الدول والمناطق عبر الزمن. وتقدم الدراسة مؤشرات شاملة لنحو 463 مقياساً صحياً، تشمل الأمراض الأكثر انتشاراً وأسباب الوفاة والعوامل المؤثرة في صحة السكان، وتغطي كثيراً من الدول والأقاليم.[955]

ورغم هذه الجهود، لا تزال فجوات كبيرة قائمة في تبادل بيانات الصحة عالمياً. فحتى في قواعد البيانات الدولية الكبرى، تختلف جودة البيانات الأساسية من دولة إلى أخرى.[956]

ولا يزال قطاع الصحة غير قادر على الاستفادة الكاملة من الكميات الهائلة من البيانات المتاحة، وذلك لعدّة أسباب، أبرزها اختلاف القوانين والأطر التنظيمية بين الدول، وعدم توحيد تعريفات المصطلحات الأساسية،[957] إلى جانب ضعف التكامل بين الأنظمة الرقمية المختلفة.[958] فعلى سبيل المثال، ورغم أن 62% من مستشفيات الولايات المتحدة كانت قادرة في عام 2021 على تبادل البيانات الأساسية مثل إرسال البيانات واستلامها والاستعلام عنها ودمجها، إلا أن 72% منها واجهت صعوبات عند محاولة تبادل البيانات بين أنظمة تابعة لمزوّدين مختلفين. وتواجه المستشفيات الصغيرة والريفية هذه التحديات أكثر من غيرها؛ إذ يعاني 57% منها من مشكلات في مطابقة بيانات المرضى، بينما تضطر 43% منها إلى دفع تكاليف إضافية لتبادل البيانات مع جهات خارجية.[959] ومع التوسع السريع في استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، من المتوقّع أن تتفاقم تحديات نقل البيانات، خاصة عبر الحدود.[960]

2,000
مؤشر صحي

توفر منظمة الصحة العالمية قاعدة بيانات ترصد عدم المساواة الصحية

تكامل الأنظمة والتحديات التقنية

في مستشفيات الولايات المتحدة

%62
كانت قادرة على تبادل البيانات الأساسية

%72
واجهت صعوبات عند محاولة تبادل البيانات بين أنظمة تابعة لمزوّدين مختلفين

%57
عانت من مشكلات في مطابقة بيانات المرضى

%43
سجلت دفع تكاليف إضافية لتبادل البيانات مع جهات خارجية

لا تزال فجوات كبيرة قائمة في تبادل بيانات الصحة عالمياً.
فحتى في قواعد البيانات الدولية الكبرى، تختلف جودة البيانات الأساسية من دولة إلى أخرى.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
مواءمة السياسات والقوانين

تشكيل تحالف بين أصحاب المصلحة الرئيسيين لوضع مبادئ مشتركة لتبادل بيانات الصحة، بما في ذلك استخدامها في تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي، إلى جانب توثيق الخبراء للعوائق القائمة في الأنظمة الحالية، لا سيما ما يتعلّق بقابلية التشغيل البيني، وتعارض القوانين، وإمكانية الوصول إلى البيانات.

- المنح

التجربة والتطبيق الأوّلي

إطلاق برامج تجريبية ضمن معايير وتعريفات مشتركة لاختبار الحلول والمنصات التقنية عبر بيئات عالية متنوّعة، بالتوازي مع مواءمة القوانين المتعارضة الخاصة ببيانات الصحة.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- المنح القابلة للتحويل

إنشاء منصات صحية قادرة على التكامل والتوافق

إرساء أطر مشتركة بين الدول لتبادل بيانات الصحة، ومعايير وبروتوكولات موحّدة للتشغيل البيني، مما يتيح مواءمة مجموعات البيانات القائمة ضمن منصات مرنة وقابلة للتوسّع.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- القروض

2022 **20**

المستقبل المنشود
إنشاء منصة عالمية موحّدة للبيانات الصحية

تسهيل تبادل بيانات الصحة بسلاسة عبر الحدود من خلال أنظمة آمنة وقابلة للتشغيل البيني، بالإضافة إلى توظيف الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات مع الحفاظ على خصوصيتها، بما يتيح رعاية صحية أفضل وعلاجات أكثر فعالية للجميع أينما كانوا.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

إتاحة وصول العلماء والأطباء وصناع السياسات إلى البيانات الصحية العالمية، بما يوفر فهماً أعمق للعوامل المؤثرة في صحة الإنسان ويدعم تطوير علاجات وأدوية أكثر فعالية. كما تستفيد نماذج الذكاء الاصطناعي الطبية من هذه البيانات الواسعة، ما يفتح آفاقاً لبناء أنظمة صحية أكثر دقة وكفاءة. وفي هذا السياق، يتحول الانفتاح على البيانات من تهديد محتمل إلى ميزة تنافسية، حيث يصبح التنافس قائماً على القدرة على الابتكار وتقديم الحلول الأكثر تقدماً.

عوامل تمكين الفرصة

- اتفاقيات لتبادل البيانات عبر الحدود
- انتشار تقنيات إنترنت الأشياء والأجهزة القابلة للارتداء
- أطر قانونية وحوكمة قوية لبناء الثقة
- بروتوكولات متقدمة لحماية الخصوصية وتعزيز الأمن السيبراني

التحديات

- تعزيز الأمن السيبراني
- تلبية الطلب المتزايد على الطاقة ومراكز البيانات
- قابلية التشغيل البيني بين الأنظمة والموردين

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

19 2023

ماذا لو أنشأنا نظام تقييم رقمياً للأرض يوضح تأثير قراراتنا على البيئة؟

حاسبـــة التغيّر المناخي

إنشاء دليل رقمي للمناخ يتيح للحكومات والشركات والأفراد احتساب الأثر البيئي في الوقت الفعلي، بما يتجاوز البصمة الكربونية، عبر نظام تقييم مؤتمت يكشف التأثيرات المحتملة للسياسات وخيارات الاستثمار.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى

إدارة النظم البيئية

المتغيرات الغامضة

التكنولوجيا، الطبيعة

الاتجاهات السائدة

البيانات المفتوحة

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات، وقياس النمو بما يتجاوز إجمالي الناتج المحلي

سلسلة الغذاء والماء والطاقة

التعاون الدولي

صافي الانبعاثات الصفري

التكنولوجيا

الذكاء الاصطناعي

إنترنت الأشياء

تقنيات الاستشعار

الفئة

التعاون

القطاعات الأكثر تأثّراً

الزراعة والغذاء

تقنية المعلومات والاتصالات

أمن المعلومات والأمن السيبراني

علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة

السلع والخدمات الرقمية

الكلمات الرئيسية

تتبّع التنوّع الحيوي

التوائم الرقمية

المراقبة البيئية

انبعاثات الغازات الدفيئة

رأس المال الطبيعي

أهمية الفرصة

أصبح تغيّر المناخ تحدياً ملموساً يؤثر مباشرة في حياة البشر، من موجات الحر الشديدة إلى نقص الغذاء والمياه وانتشار الأمراض. فبين عامي 2012 و2021، تسببت الحرارة المرتفعة بوفاة أكثر من نصف مليون شخص سنوياً،[961] أي بمعدل وفاة واحدة كل دقيقة تقريباً. وفي عام 2024، أدت الظواهر الجوية المتطرفة إلى وفاة ما لا يقل عن 16 ألف شخص، وأثرت في حياة نحو 166 مليون شخص حول العالم.[962] كما زادت ملاءمة الظروف المناخية لانتشار بعوض حمى الضنك بأكثر من 50% مقارنة بخمسينيات القرن الماضي،[963] لترتفع الحالات المسجلة من نحو 500 ألف حالة عام 2000 إلى أكثر من 14.6 مليون حالة في عام 2024.[964] وفي الوقت نفسه، تتفاقم أزمة المياه، إذ يعاني 2.7 مليار شخص من شح المياه لمدة شهر واحد على الأقل سنوياً، بينما يفتقر 1.1 مليار شخص إلى إمكانية الوصول إلى المياه.[965]

الإيجابيات

إتاحة مقاييس ونماذج مشتركة تسمح بمقارنة البيانات البيئية بدقة، مع الكشف عن مصادر جديدة لتدفقات القيمة والإيرادات.

المخاطر

التقليل أو المبالغة في تقدير بعض أشكال رأس المال المرتبطة بالتأثير المناخي، ما قد يؤدي إلى صورة مضللة للتقدم نتيجة الاعتماد على مقاييس غير دقيقة.

ترتفع درجات الحرارة في أوروبا بمعدل
ضِعف المتوسّط العالمي،

وتتضرر نحو 80%
من المساحات الطبيعية

بينما تعاني 60 – 70 %
من التربة من تدهور ملحوظ

الوضع الحالي

تشهد تقنيات التوائم الرقمية تقدماً متسارعاً، مدفوعة بالذكاء الاصطناعي والبيانات الفورية وتقنيات الاستشعار الذاتي.[966] ومع ذلك، لا تزال بعض العوائق تحد من الاستفادة الكاملة منها، أبرزها محدودية الفهم لبعض الظواهر البيئية، والحاجة إلى استثمارات إضافية، إلى جانب ضرورة تبني مبادئ FAIR [967] التي تضمن سهولة العثور على البيانات والوصول إليها ومشاركتها وإعادة استخدامها،[968] بما يعزز كفاءة المراقبة البيئية.

ويُعد إنترنت الأشياء المحرك الأساسي لهذه التقنيات. فمنذ ظهوره عام 2017،[969] شهد تطوّراً كبيراً في مستويات الأمان. وفي عام 2024 بلغ عدد الأجهزة المتصلة نحو 18.5 مليار جهاز، مع توقع ارتفاعه إلى 21.1 مليار جهاز في 2025، ثم إلى 39 مليار جهاز بحلول عام 2030. وتشكل تقنيات الواي فاي والبلوتوث والاتصالات الخلوية نحو 80% من إجمالي هذه الاتصالات عالمياً،[970] وهذا يجعل الاتصال الموثوق عاملاً مُمكِّناً ونقطة ضعف في آنٍ واحد.

ورغم إدراج المحاسبة البيئية ضمن إرشادات نظام الحسابات الوطنية لعام 2025،[971] لا تزال الأطر التنظيمية العالمية غير متسقة. فعلى سبيل المثال، ترتفع درجات الحرارة في أوروبا بمعدل يعادل ضِعف المتوسّط العالمي، وتتضرر نحو 80% من المساحات الطبيعية، بينما تعاني 60–70% من التربة من تدهور ملحوظ، ومع ذلك تتجه السياسات إلى تخفيف بعض القيود التنظيمية.[972]

وفي سياق مشابه، أعلنت وكالة حماية البيئة الأمريكية في مارس 2025 عن 31 إجراءً لإلغاء قيود تنظيمية،[973] بالتزامن مع انسحاب الولايات المتحدة من اتفاقية باريس، في خطوة تعكس اختلاف أولويات السياسات المناخية والاقتصادية.[974]

في عام 2024 بلغ **عدد الأجهزة المتصلة** نحو
18.5 مليار جهاز
مع توقع ارتفاعه إلى
21.1 مليار جهاز في 2025
ثم إلى
39 مليار جهاز بحلول عام 2030

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
بناء الأطر التنظيمية

بناء الشراكات الاستراتيجية، ووضع البروتوكولات اللازمة، وتأمين التمويل الأوّلي، مع مواصلة تطوير تقنيات الاستشعار النموذجية، وإنشاء جهة لتنسيق السياسات، أو إسناد هذه المهمة إلى جهة قائمة، لمتابعة الإشارات التحذيرية والاستجابة لها بفعالية.

- برامج مسرّعات الأعمال
- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- المنح المرحلية

تطوير التقنيات

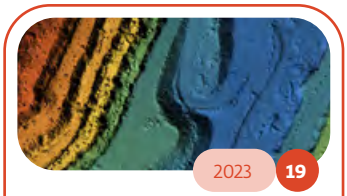
التحقّق من صحة تقنيات الاستشعار المتقدّمة والنماذج التنبؤية في المناطق التجريبية.

- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح المُدمَجة
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- المنح المرحلية
- عقود الخدمات

تكامل الأنظمة

دمج شبكات أجهزة استشعار إنترنت الأشياء الداعمة للنماذج البيئية التنبؤية، مع توسيع نطاق البنية التحتية.

- المنح القابلة للتحويل
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- صناديق التوسّع



2023 **19**

المستقبل المنشود
إطلاق الدليل الرقمي للمناخ

بناء نظام تشغيلي مستدام يدعم الحوار الرقمي حول المناخ، ويضمن حوكمته وتطويره المستمرّ، مع مواصلة توسيع شبكات أجهزة استشعار إنترنت الأشياء.

- القروض
- صناديق التوسّع
- عقود الخدمات
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية

ملامح تطوّر الفرصة

يسهم نشر أنظمة الإنذار المبكر عالمياً في حماية الموارد الطبيعية عبر تحويل البيانات إلى مؤشرات واضحة يسهل فهمها، ما يعزز وعي المجتمعات ويدفعها إلى اتخاذ إجراءات سريعة. كما يتيح رصد مخاطر المياه والغذاء وارتفاع درجات الحرارة عبر مؤشرات دقيقة وتنبؤات فورية، بما يدعم سياسات بيئية مرنة قائمة على الأدلة وقادرة على التكيف مع الظروف المتغيرة.

عوامل تمكين الفرصة

- أجهزة استشعار موثوقة لجمع البيانات بدقة واتساق
- تطوير قدرات الاستشعار في المناطق النائية مع حلول مبتكرة للاتصال والطاقة
- تقنيات تحليل بيانات تقلل استهلاك الطاقة المرتبط بالذكاء الاصطناعي
- نماذج تنبؤية دقيقة تحظى بإجماع علمي عالمي

التحديات

- تزايد المخاوف المرتبطة بخصوصية البيانات والأمن السيبراني
- التركيز على حجم البيانات بدلاً من جودتها ومعالجة الانحياز في القياس
- فجوات رقمية تحرم بعض المناطق من الوصول إلى هذه التقنيات
- غياب معايير عالمية موحدة تضمن التشغيل البيني لبيانات المناخ
- ارتفاع تكاليف صيانة شبكات الاستشعار والبنية التحتية الرقمية

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

21 2023

ماذا لو أصبح الواقع الرقمي متاحاً للجميع؟

تقليـــص الفجوة الرقمية

يمكن إنشاء فريق عمل عالمي لوضع إطار متعدّد الأوجه يسهم في إتاحة الواقع الرقمي – مثل الأجهزة القابلة للارتداء، والاتصال بشبكة الإنترنت، ومحو الأمية الرقمية - لجميع الأفراد والمجتمعات، على أن يضم الفريق ممثّلين عن الحكومات والمنظمات غير الحكومية ومؤسسات البحث متعدّدة التخصّصات وشركات التقنية.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
الاقتصاد الرقمي
مستقبل الأهداف والعمل
الإنسان في مواجهة الآلة
تحوّل التعليم

التكنولوجيا
التقنيات الغامرة والأجهزة القابلة للارتداء
الاتصال المتقدّم
الواقع الافتراضي

الفئة
التعاون

القطاعات الأكثر تأثّراً
تقنية المعلومات والاتصالات
أمن المعلومات والأمن السيبراني
السلع والخدمات الرقمية
التعليم
التقنيات الغامرة

الكلمات الرئيسية
الاتصال
الفجوة الرقمية
محو الأمية الرقمية
اقتصاد العمل الحر
التقنيات الغامرة

أهمية الفرصة

حتى عام 2026، كان نحو 2.2 مليار شخص، أي 26.6% من سكان العالم، خارج نطاق الاتصال بالإنترنت.[975] وبحلول عام 2030، في استطلاع للمنتدى الاقتصادي العالمي ضمن تقرير مستقبل الوظائف، سيحتاج 59% من الأفراد إلى اكتساب مهارات جديدة كلياً، بينما يُتوقع أن 11% منهم لن تتاح لهم فرص اكتساب هذه المهارات.[976] وفي نفس الاستطلاع، يرى 63% من أصحاب العمل أن فجوات المهارات تمثل العائق الأكبر أمام نمو شركاتهم، بينما يعتبر 50% منهم أنها التحدي الرئيسي أمام تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي.[977]

في الوقت نفسه، يُتوقع أن تنمو شحنات أجهزة الواقع المعزز والواقع الافتراضي والنظارات الذكية بمعدل سنوي 31.8%، لتصل إلى نحو 43.1 مليون وحدة بحلول 2029، مقارنة بنحو 14.3 مليون وحدة في 2025.[978] وقد يؤدي هذا النمو السريع إلى تهميش الفئات غير القادرة على الوصول إلى هذه التقنيات، في حين تشير التقديرات إلى أن سد فجوة الاتصال الرقمي عالمياً يتطلب استثمارات تقارب 1.6 تريليون دولار بحلول عام 2030.[979]

الإيجابيات
ضمان الشمول والدمج الرقمي وتمكين الجميع من المشاركة في التعليم والعمل والحياة اليومية عندما يصبح الواقع الرقمي جزءاً أساسياً منها.

المخاطر
قد يظل تبنّي الواقع الرقمي محدوداً، وكذلك مستويات تمويله ودعمه.

الوضع الحالي

في سبتمبر 2024، اعتمدت 193 دولة الميثاق الرقمي العالمي للأمم المتحدة خلال مؤتمر القمة المعني بالمستقبل.[980] وبموجب هذا الالتزام، تعهدت الدول بتحقيق أهداف رئيسية بحلول 2030، أبرزها تمكين 2.6 مليار شخص من الوصول إلى الإنترنت، وزيادة رصد البيانات المرتبطة بأهداف التنمية المستدامة بنسبة 50%. كما يشمل الميثاق إتاحة الإنترنت في جميع المدارس والمستشفيات، وتأسيس لجنة علمية مستقلّة للذكاء الاصطناعي، وضمان بيئات رقمية آمنة وشاملة للحد من الفجوة الرقمية.[981] ولمتابعة التنفيذ، تقرر عقد مراجعة رفيعة المستوى بين يوليو وسبتمبر 2027،[982] استكمالاً لاجتماعات الأطراف المعنية التي عُقدت في 24 أكتوبر 2025.[983]

في المقابل، أطلق المنتدى الاقتصادي العالمي عام 2021 مبادرة تحالف إديسون بهدف ربط مليار شخص بخدمات الصحة والتعليم والخدمات المالية بحلول 2025.[984] وبدعم أكثر من 200 شريك من القطاعين العام والخاص، ركز التحالف على الفئات الأكثر احتياجاً في الدول منخفضة الدخل.[985]

وبحلول يناير 2024، مكّن التحالف نحو 784 مليون شخص من الوصول إلى الخدمات الرقمية، حيث استفاد 59% منهم من الخدمات المالية الرقمية، و18% من خدمات الرعاية الصحية الرقمية، و12% من فرص التعليم عبر الإنترنت، كما حصل العديد من الأفراد على أكثر من خدمة واحدة.[986] وفي سبتمبر 2024، أعلن التحالف تحقيق هدفه بربط مليار شخص رقمياً، متقدّماً بذلك على الجدول الزمني بعام كامل.[987] ومع ذلك، لا يزال الوصول إلى تقنيات الواقع المعزز والواقع الافتراضي خارج نطاق الاهتمام العالمي الواسع - لكن يبقى توفير الإنترنت والتقنيات الرقمية الأساسية للجميع الخطوة الأولى والضرورية لضمان مشاركة عادلة في الواقع الرقمي الناشئ.

اعتمدت الأمم المتحدة **الميثاق الرقمي خلال مؤتمر القمة المعني بالمستقبل**، في سبتمبر 2024، من قبل

193 دولـة

بحلول يناير 2024، **مكّن تحالف أديسون نحو 784 مليون** شخص من الوصول إلى

%59 من خدمات المالية الرقمية

%18 من خدمات الرعاية الصحية الرقمية

%12 من فرص التعليم عبر الإنترنت

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي

تشكيل فريق العمل ووضع الإطار التنظيمي

تعاون الجهات المشاركة لتطوير نموذج الترابط، وتحديد المقاييس، وتأمين تمويل المشاريع التجريبية، وبناء توافق مشترك حول المبادئ والمنهجية المعتمدة.

- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات

التطبيق التجريبي

اختبار نموذج الترابط في مجتمعات تجريبية متنوّعة، مع توثيق مسارات التنفيذ وتحديد التحديات المحتملة وعوامل النجاح.

- برامج مسرّعات الأعمال
- جوائز التحديات
- المنح المُدمّجة
- المنح
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)

التوسّع الإقليمي

توسيع برامج الاتصال، وتوفير الأجهزة، وتعزيز محو الأمية الرقمية للوصول إلى معظم السكان غير المتصلين بشبكات الإنترنت في مناطق وظروف مختلفة.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- المنح القابلة للتحويل
- القروض
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- صناديق التوسّع
- عقود الخدمات

2023 — 21

المستقبل المنشود

تعزيز الوصول الشامل

دمج الوصول الشامل إلى الواقع الرقمي ضمن السياسات والبنية التحتية، بما يضمن شمول جميع الفئات السكانية من خلال تنفيذ منسّق بين الدول والقطاعات.

- القروض
- عقود الخدمات
- صناديق التوسّع
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية

ملامح تطوّر الفرصة

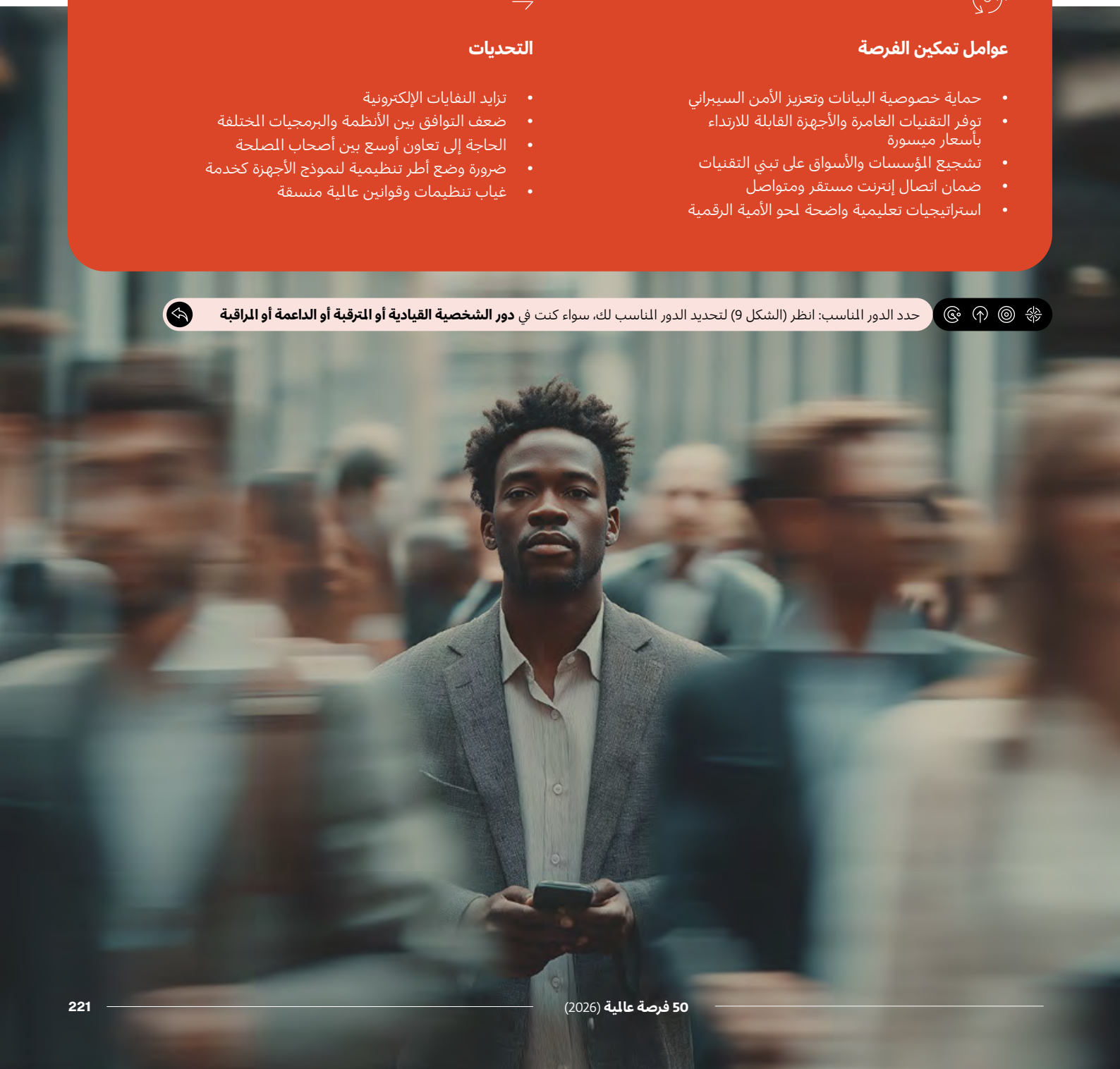
الوصول إلى مرحلة يتمكن فيها الجميع، وفق احتياجاتهم، من امتلاك الأجهزة والاتصال بالإنترنت والدخول إلى البيئات الرقمية الغامرة. كما تحصل المناطق المحرومة من الخدمات على اتصال موثوق وبنية تحتية تتيح المشاركة الفاعلة في الواقع الرقمي. ويصبح فهم الواقع الرقمي مهارة أساسية عالمياً، ما يفتح فرصاً جديدة للعمل عن بُعد ويدعم نشوء منظومات محلية متخصصة في التصنيع والصيانة.

عوامل تمكين الفرصة

- حماية خصوصية البيانات وتعزيز الأمن السيبراني
- توفر التقنيات الغامرة والأجهزة القابلة للارتداء بأسعار ميسورة
- تشجيع المؤسسات والأسواق على تبني التقنيات
- ضمان اتصال إنترنت مستقر ومتواصل
- استراتيجيات تعليمية واضحة لمحو الأمية الرقمية

التحديات

- تزايد النفايات الإلكترونية
- ضعف التوافق بين الأنظمة والبرمجيات المختلفة
- الحاجة إلى تعاون أوسع بين أصحاب المصلحة
- ضرورة وضع أطر تنظيمية لنموذج الأجهزة كخدمة
- غياب تنظيمات وقوانين عالمية منسقة



حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

50 2024

ماذا لو أصبح الاتصال بالإنترنت متاحاً في أي مكان على كوكب الأرض بلا حدود؟

إنترنـــت فضـــائي

ستمكّن التطوّرات في الأقمار الصناعية والذكاء الآلي المتقدم جميع سكان العالم من الوصول إلى الإنترنت بكفاءة عالية، مع دعم إنترنت الأشياء وتقليل أعطال الشبكات عبر الانتقال الذكي بين الشبكات الخلوية والشبكات الفضائية.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
نمو اقتصادات الأعمال المستقلة

المتغيرات الغامضة
التعاون، التكنولوجيا

الاتجاهات السائدة
الاقتصاد الرقمي
مستقبل الفضاء
التعاون الدولي
الرشاقة الحكومية
البيانات المفتوحة

التكنولوجيا
الاتصال المتقدّم بالشبكة
الذكاء الاصطناعي
تقنيات الفضاء

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
الفنون ووسائل الإعلام والرياضة والترفيه
تقنية المعلومات والاتصالات
أمن المعلومات والأمن السيبراني
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الخدمات الحكومية

الكلمات الرئيسية
تمكين الاتصال المباشر بالهاتف المحمول وبالأجهزة
التخلص الآمن من الأقمار الصناعية في نهاية عمرها التشغيلي
الاتصال بالإنترنت
أقمار المدار الأرضي المنخفض
الوصول السلس إلى شبكات الإنترنت

أهمية الفرصة

منذ 2022، يتمتع 95% من سكان العالم اليوم بإمكانية الوصول إلى شبكة الجيل الثالث (3G) وما بعدها من النطاق العريض عبر الهاتف المحمول، إلا أن هذه الإمكانية تختلف بين المناطق. فعلى سبيل المثال، يستخدم 88% من سكان العالم شبكات الجيل الرابع (4G)، بينما لا يستطيع سوى 50% من سكان إفريقيا الاستفادة منها.[988]

وفي حين كانت سرعات الإنترنت عبر الأقمار الصناعية بطيئة نسبياً، فقد ارتفعت بشكل كبير من 0.08 ميغابايت في الثانية عام 1997[989] إلى متوسّط 104 ميغابت في الثانية اليوم. كما كادت شركة ستارلينك أن تضاعف سرعاتها بين عامي 2022 و2025.[990] ويشهد الإنترنت الفضائي اهتماماً متزايداً عالمياً، إذ تجاوزت قيمة قطاع الأقمار الصناعية العالمي 500 مليار دولار في عام 2024.[991]

ويُعد نظام ستارلينك التابع لشركة سبيس إكس أكبر مزود لخدمات الإنترنت الفضائي،[992] حيث يشغل أكثر من 4,500 قمر صناعي نشط،[993] بعمر تشغيلي يقدّر بنحو خمس سنوات لكل قمر.[994]

اليوم

%95

من سكان العالم يتمتعون بإمكانية **الوصول إلى شبكة الجيل الثالث (3G) وما بعدها**

بينما 88% من سكان العالم يستخدمون **شبكات الجيل الرابع (4G)**

لا يستطيع سوى

%50

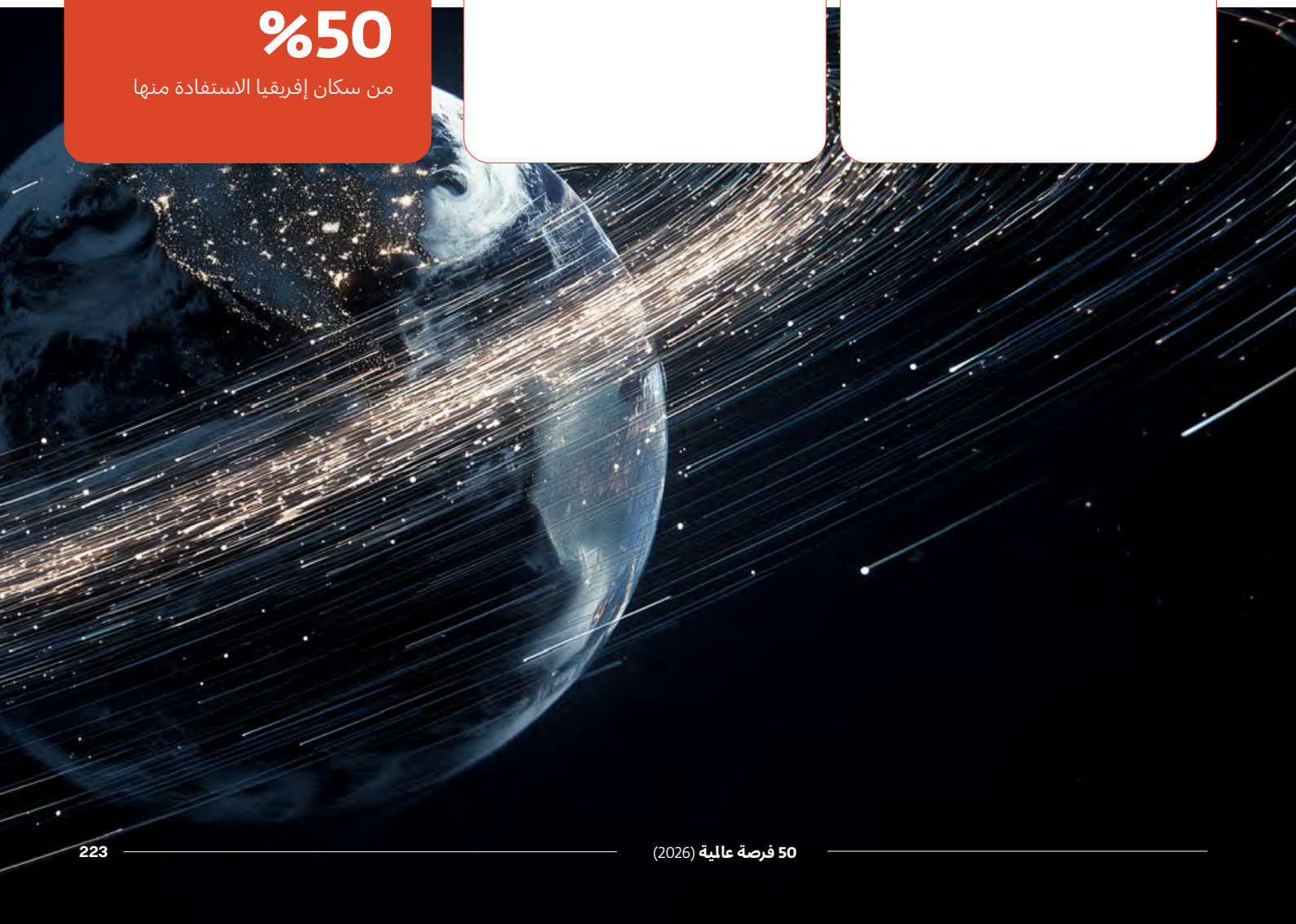
من سكان إفريقيا الاستفادة منها

الإيجابيات

إتاحة خدمات الاتصال في جميع أنحاء العالم مع تحسين الاستدامة وقوة الاتصال، ما يفتح أنماط حياة جديدة وفرصاً مبتكرة لحل المشكلات، ويعزز الثقة في التقنيات الرقمية.

المخاطر

ارتفاع تكاليف تشغيل وصيانة الإنترنت الفضائي، وما يتطلبه من أجهزة وبنية تشغيلية عالية الكفاءة. كما قد تؤدي تعقيدات توزيع التكلفة بين المستخدمين إلى قيود في الوصول للإنترنت، في حال احتكار بعض المشغلين آليات التسعير.



الوضع الحالي

تشهد الأنظمة الفضائية والأرضية تقارباً متزايداً من خلال شبكات الجيل الخامس غير الأرضية، التي تدمج الاتصال عبر الأقمار الصناعية ضمن إطار معايير شبكات الجيل الخامس، بما يضمن تقديم خدمات اتصال أكثر سلاسة بين الشبكات الأرضية والفضائية. وقد أصبح الإنترنت الفضائي جزءاً أساسياً من البنية التحتية العالمية للاتصالات، مدفوعاً بالانتشار السريع لأقمار المدار الأرضي المنخفض (LEO). وتتصدر شركة ستارلينك هذا المجال، إذ تدير أكبر كوكبة نشطة تضم أكثر من 7,800 قمر صناعي توفر خدمات الاتصال للأفراد والشركات حول العالم.[995] تليها شركة "وان ويب / يوتلسات" التي تركز على توفير تغطية مخصصة لقطاعات الأعمال والحكومات، إضافة إلى القطاعات البحرية والجوية.[996]

وفي الوقت نفسه، يشهد القطاع تقدماً متزايداً في تقنيات الاتصال المباشر بالأجهزة والهواتف المحمولة، ما يتيح الوصول إلى الإنترنت عبر الهواتف الذكية[997] حتى خارج نطاق الشبكات الأرضية. كما تتقارب الأنظمة الفضائية والأرضية من خلال الشبكات غير الأرضية للجيل الخامس (NTN)، التي تدمج الاتصال الفضائي ضمن معايير الجيل الخامس، ما يتيح انتقالاً سلساً بين الشبكات الأرضية والفضائية.

وفي إنجاز تقني مهم، أجرت وكالة الفضاء الأوروبية بالتعاون مع تحالف يضم شركات "ميدياتك" و"يوتلسات" و"إيرباص للدفاع والفضاء"، و"شارب" ومعهد بحوث التكنولوجيا الصناعية (ITRI)، وشركة " رود آند شوارز"، أول تجربة ناجحة عالمياً لتقنية الجيل الخامس المتقدم غير الأرضي عبر أقمار "وان ويب" في المدار الأرضي المنخفض، بما يتوافق مع معيار 19-Rel 3GPP لشبكات الراديو الجديدة غير الأرضية.[998]

وتمهّد هذه الاختبارات الطريق لاستخدام معيار شبكات الجيل الخامس - شبكات الراديو الجديدة المتقدّمة غير الأرضية (NTN NR Advanced-5G) بشكل تجاري، بما يدعم مستقبلاً التكامل بين الأنظمة الفضائية والأرضية ضمن منظومة واحدة، ويسهم في خفض تكاليف الوصول إلى الإنترنت، وتمكين استخدام خدمات النطاق العريض عبر الأقمار الصناعية لأجهزة الشبكات غير الأرضية حول العالم.

كما تعمل الجهات المعنية بالمعايير الصناعية على تطوير هياكل مفتوحة للشبكات غير الأرضية في الجيل السادس (6G)، بهدف إنشاء شبكات هجينة تصبح فيها الأقمار الصناعية جزءاً أساسياً من البنية العالمية للاتصالات.[999] ومع ذلك، لا تزال الشبكات العالمية غير متكاملة بالكامل، إذ تعمل ضمن أطر تقنية وتنظيمية متفرقة، في ظل تصاعد متطلبات السيادة الوطنية في مجالي البيانات والاتصالات.

يشهد الإنترنت الفضائي اهتماماً متزايداً عالمياً، إذ تجاوزت قيمة قطاع الأقمار الصناعية العالمي **500 مليار دولار في عام 2024.**

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
تحديد المتطلبات

تحديد المتطلبات الأساسية للاتصال العابر للحدود، بما يشمل نطاق تغطية الأقمار الصناعية، وقابلية التشغيل البيني بين الشبكات الخلوية، وتوافق الأجهزة، وترتيبات الحوكمة، إضافة إلى القيود التي قد تؤثر في استمرارية الاتصال عبر الشبكات الوطنية.

- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات

إنشاء بنية تحتية متكاملة

إرساء ترتيبات تقنية ومؤسسية منسّقة تضمن التكامل بين الأقمار الصناعية والشبكات الخلوية، بما يشمل تحديد أنماط الاستخدام، ووضع معايير واضحة للتعامل مع البيانات، وتوزيع الأدوار التشغيلية عبر مختلف الصلاحيات القضائية.

- المنح القابلة للتحويل
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- المنح الدّمجة

إطلاق وتنفيذ المشاريع التجريبية

إطلاق مشاريع تجريبية لاختبار جاهزية الأنظمة في حالات الاضطراب، وتقييم أداء تقنيات الذكاء الاصطناعي، وقياس فعالية إدارة الخدمات المختلفة، إضافة إلى قيود الحوكمة الدولية.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- القروض القابلة للتحويل

2024 **50**

المستقبل المنشود
إنشاء شبكات عالية سلسة

تطوير مشاريع تجريبية تهدف إلى تحسين البنية التحتية ورفع كفاءة العمليات التشغيلية، بما يمهّد الطريق لاعتماد هذه الحلول على نطاق أوسع. وتكمن أهمية هذه المشاريع في تقليل الاعتماد على الشبكات المرتبطة بالمواقع الجغرافية الثابتة، وضمان استمرارية الاتصال من دون انقطاع، حتى في حالات الطوارئ.

- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية

ملامح تطوّر الفرصة

يتيح الاتصال المستمر والسلس توسيع آفاق التجارة، وتطوير المنظومات التعليمية، وتعزيز النمو الاقتصادي الشامل. ومع توفير حلول اتصال بتكاليف مدروسة، تتسع الفرص الاقتصادية على مختلف المستويات، بما ينعكس إيجاباً على جودة حياة المجتمعات.

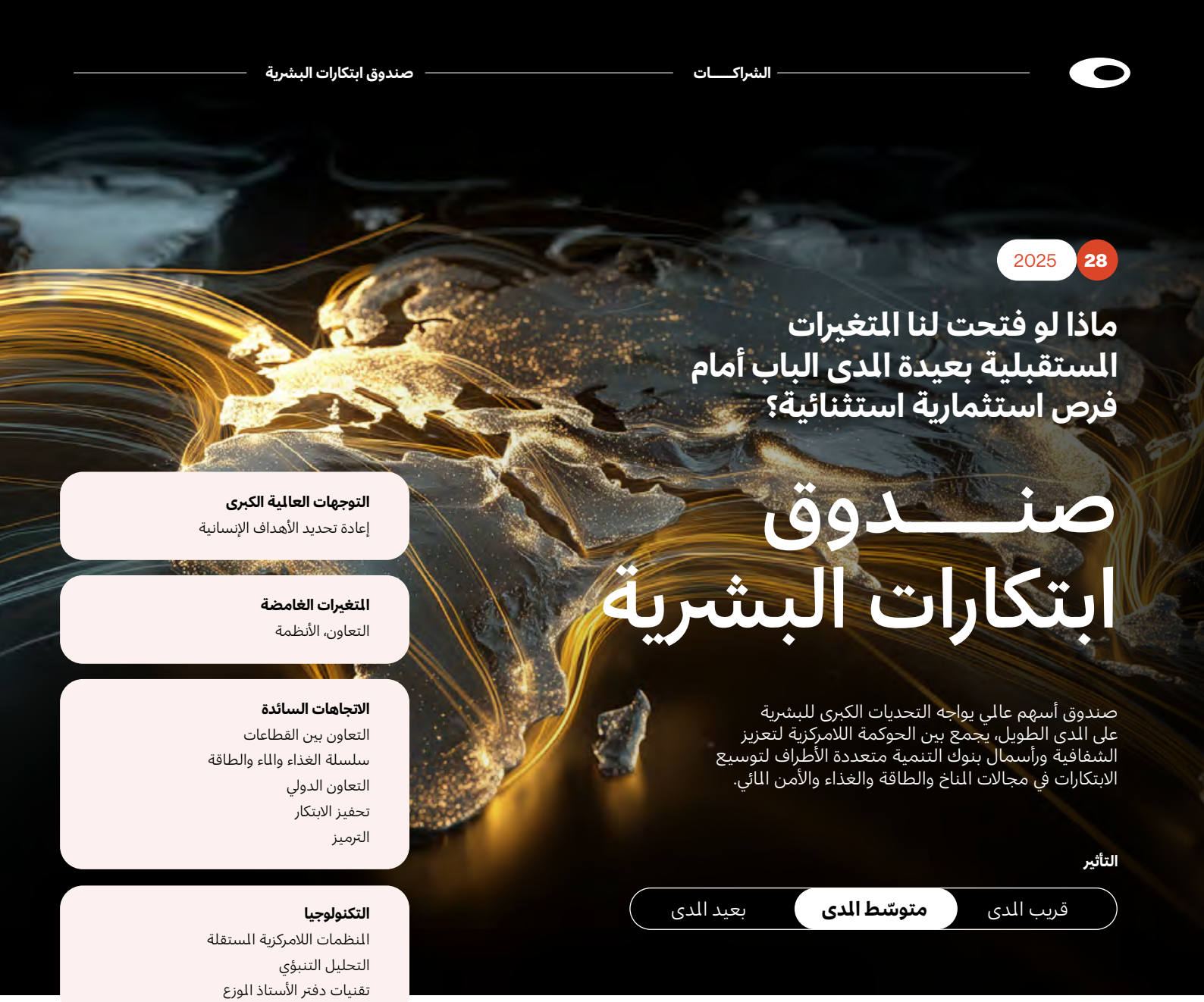
عوامل تمكين الفرصة

- أجهزة اتصال عالية الكفاءة قادرة على الانتقال بين الشبكات المختلفة
- سياسات واضحة لمعالجة الحطام الفضائي والآثار البيئية لدورات استبدال الأقمار الصناعية
- اتفاقيات دولية تدعم مفهوم الاتصال بلا حدود
- تمكين مشغلي الاتصالات ليقدموا خدمات اتصال متكاملة
- أطر مرنة لإدارة سيادة البيانات في بيئات الاتصال العالمية

التحديات

- الاستجابة للاضطرابات في الاتصال عبر الأقمار الصناعية
- تصاعد تهديدات الأمن السيبراني للأقمار الصناعية وتدفقات البيانات العابرة للحدود
- البيئات التنظيمية المجزأة ومتطلبات سيادة البيانات والاتصالات
- تعقيدات التنسيق الدولي في تنظيم الفضاء السيبراني المشترك
- التعقيد التقني في تطوير الأجهزة والبرمجيات اللازمة لدمج الشبكات الفضائية والأرضية

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**



28 2025

ماذا لو فتحت لنا المتغيرات المستقبلية بعيدة المدى الباب أمام فرص استثمارية استثنائية؟

صنـــــدوق ابتكارات البشرية

صندوق أسهم عالمي يواجه التحديات الكبرى للبشرية على المدى الطويل، يجمع بين الحوكمة اللامركزية لتعزيز الشفافية ورأسمال بنوك التنمية متعددة الأطراف لتوسيع الابتكارات في مجالات المناخ والطاقة والغذاء والأمن المائي.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة
التعاون، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
التعاون بين القطاعات
سلسلة الغذاء والماء والطاقة
التعاون الدولي
تحفيز الابتكار
الترميز

التكنولوجيا
المنظمات اللامركزية المستقلة
التحليل التنبؤي
تقنيات دفتر الأستاذ الموزع

الفئة
تحسين الأنظمة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الزراعة والغذاء
تقنية المعلومات والاتصالات
أمن المعلومات والأمن السيبراني
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
المرافق العامة

الكلمات الرئيسية
التمويل المختلط
المنظمات اللامركزية المستقلة
الاستثمار ذو التأثير الاجتماعي
بنوك التنمية متعدّدة الأطراف
التنمية المستدامة

أهمية الفرصة

تواجه الجهود العالمية فجوة تمويلية كبيرة تعيق التعامل مع التحديات الكبرى، إذ تتطلب معالجة تحوّل قطاع الطاقة، وتعزيز القدرة على التكيّف مع تغيّر المناخ، ودعم التنمية في الدول منخفضة ومتوسطة الدخل تمويلاً يُقدَّر بنحو 2.5 تريليون دولار سنوياً.[1000]

وتزداد أهمية هذا التمويل لأن قضايا استقرار المناخ وأمن الطاقة والغذاء والمياه مترابطة بشكل وثيق، وتتطلب استثمارات طويلة الأجل تمتد آثارها لعقود. ورغم إطلاق مبادرات دولية كبرى مثل اتفاقية باريس،[1001] وأهداف التنمية المستدامة،[1002] وميثاق الأمم المتحدة من أجل المستقبل (بما يشمله من إعلان بشأن الأجيال القادمة والميثاق الرقمي العالمي)،[1003] فإن هياكل الاستثمار الحالية لا تزال تركز في معظمها على آفاق زمنية قصيرة.

الإيجابيات

يسهم الصندوق في مواجهة المخاطر المستقبلية طويلة المدى، وتحفيز الابتكار العالمي، ودعم بنوك التنمية متعددة الأطراف،[1004] وتعزيز الالتزام بالأهداف الدولية مثل أهداف التنمية المستدامة ونتائج مؤتمرات المناخ العالمية.

المخاطر

استمرار المخاطر المرتبطة بالسلع العامة العالمية، وصعوبة إدارة المنظمات اللامركزية المستقلة، إضافة إلى تحديات استدامة الصندوق وضمان استمراريته، وتعقيد إدارة الاستثمارات والابتكارات العالمية، وغياب الأطر المالية الدولية المنظمة.

يتطلب دعم التنمية في الدول منخفضة ومتوسطة الدخل تمويلاً يُقدر بنحو

2.5 تريليون دولار سنويـاً

حالياً،

صناديق الأسهم العامة

تخضع في معظم الدول لقيود تنظيمية صارمة، تشمل تعيين مدير صندوق مرخّص، ووجود جهة إيداع أو أمين حفظ، إلى جانب نظام حوكمة يخضع لرقابة جهة تنظيمية وطنية

الوضع الحالي

تسعى عدة صناديق أسهم عامة وخاصة حول العالم إلى معالجة التحديات طويلة الأمد مثل تغيّر المناخ والاستدامة والتنمية. ومن أبرز الأمثلة "صندوق اتش اس بي سي للأسهم العالمية لمواجهة تغير المناخ" [1005] و"صندوق شرودر للأسهم العالمية لمواجهة تغير المناخ"،[1006] وهي صناديق استثمار موضوعية تركز أساساً على قضايا المناخ ومسارات التحول البيئي. وتعتمد هذه الصناديق في استراتيجياتها على تحليل التوجهات العالمية الكبرى طويلة المدى، خصوصاً في مجالات: إزالة الكربون والتكيف مع تغير المناخ، والتقنيات منخفضة الانبعاثات، وتقنيات تحول الطاقة، والممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات.

وفي السياق ذاته، تبرز صناديق أخرى مثل صندوق "بلاك روك" للأسهم المستدامة في الأسواق الناشئة[1007] وصندوق "أليانز" لأسهم الأسواق الناشئة للاستثمار المسؤول اجتماعياً[1008]، التي تركز على دعم التنمية المستدامة في الدول منخفضة ومتوسّطة الدخل. وتعتمد هذه الصناديق على استراتيجية تجمع بين الاستثمار في الأسهم وتطوير حلول عملية لمواجهة تغير المناخ بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة. ومع ذلك، لا تزال الساحة الاستثمارية تفتقر إلى صناديق تجمع بين التركيز على تحديات المناخ والتنمية، والهياكل الحديثة القائمة على المنظمات اللامركزية المستقلة. كما لا تتبنى هذه الصناديق استراتيجية واضحة لاقتناء براءات الاختراع الحيوية وتطوير نماذج ترخيص مبتكرة تسمح بتوسيع استخدام التقنيات الحيوية.

في الوقت نفسه، تخضع صناديق الأسهم العامة في معظم الدول لقيود تنظيمية صارمة، تشمل تعيين مدير صندوق مرخّص، ووجود جهة إيداع أو أمين حفظ، إلى جانب نظام حوكمة يخضع لرقابة جهة تنظيمية وطنية.[1009]

لا تزال الساحة الاستثمارية تفتقر إلى صناديق تجمع بين التركيز على تحديات المناخ والتنمية، والهياكل الحديثة القائمة على المنظمات اللامركزية المستقلة

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقـــع الحالي
وضع الإطار التنظيمي

تحالف عالمي يعمل حالياً على وضع مبادئ مشتركة تحكم صناديق الأسهم العامة العالمية، مع صياغة تعريفات واضحة لما يُصنّف ضمن التحديات طويلة المدى. كما يحدّد نماذج معيارية لاقتناء براءات الاختراع وآليات ترخيصها، فضلاً عن الاتفاق على شروط الحوكمة، وحدود المخاطر، ومعايير المنافع العامة التي تحكم الاستثمار الجماعي.

- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- المنح
- المنح المرحلية

إطلاق صناديق أسهم عامة وطنية قائمة على نموذج المنظمة اللامركزية المستقلة

تحديد الترتيبات المؤسسية والقانونية والتقنية، بما يشمل هيكلية الصندوق، وحوكمة المنظمة اللامركزية المستقلة، وهياكل امتلاك براءات الاختراع، وقواعد الأهلية، ومشاركة أوّلية من بنوك التنمية متعدّدة الأطراف.

- المنح الدّمجة
- عقود الخدمات
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- المنح القابلة للتحويل

إطلاق صناديق أسهم عامة إقليمية قائمة على نموذج المنظمة اللامركزية المستقلة

إطلاق مشاريع تجريبية على المستوى الإقليمي، تركّز على حالات استخدام محدّدة، وتهدف إلى اختبار عمليات الحوكمة، وآليات توظيف رأس المال، ومنهجيات الترخيص المبتكرة، بالإضافة إلى تقييم فاعلية ترتيبات المتابعة والقياس في بيئات وظروف واقعية.

- المنح الدّمجة
- برامج مسرّعات الأعمال

2025 28

المستقبل المنشـــود
إطلاق صندوق أسهم عالمي قائم على نموذج المنظمة اللامركزية المستقلة

تطوير صندوق أسهم عالمي قائم على نموذج المنظمة اللامركزية المستقلة بما يتيح اعتماده على نطاق أوسع، مع إمكانية تكراره عبر مناطق وقطاعات مختلفة ضمن شروط متقاربة، وبما يخدم في النهاية أهداف المصلحة العامة.

- صناديق التوسّع
- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

لم تعد المتغيرات طويلة الأجل تُترك للصدفة، بل أصبحت مجالاً استثمارياً منظماً تُدار فيه رؤوس الأموال بشفافية وفعالية. وتشارك بنوك التنمية متعددة الأطراف إلى جانب المجتمعات في توجيه الاستثمارات ومعالجة التحديات العالمية وفق آليات واضحة لإدارة المخاطر واتخاذ القرار.

عوامل تمكين الفرصة

- الاتفاق على معايير تحدد التحديات العالمية ذات الأولوية
- مواءمة هياكل الصناديق مع حوكمة المنظمات اللامركزية المستقلة وآليات توزيع الرموز الرقمية
- توفير رأسمال من بنوك التنمية متعددة الأطراف لدعم الاستثمارات طويلة المدى
- تطوير أطر قانونية جديدة للصناديق القائمة على نماذج المنظمات اللامركزية المستقلة
- تطبيق أنظمة تحقق وإبلاغ وتقييم لقياس أثر الابتكارات.

التحديات

- احتمال تراجع السيولة نتيجة الالتزام باستثمارات طويلة الأجل
- مخاطر الخروج غير المنظم التي قد تنقل الأعباء إلى المجتمعات الأكثر هشاشة
- تصاعد تهديدات الأمن السيبراني لمنصات المنظمات اللامركزية والعقود الذكية
- تعقيدات الحوكمة والتشغيل مع توسع نطاق هذه المنظمات

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

الإطار المرجعي 5

تعـــزيز المرونـــة

يركّز هذا الإطار على الفرص التي تمكّن من تحصيل القيمة عبر بناء قدرات استراتيجية تعزّز الصمود والتكيّف مع التحوّلات المتسارعة، والمتغيرات الغامضة، والتعقيدات المتزايدة التي تفرضها البيئة العالمية.

أبرز الرؤى[R] المتعلقة بالفرص ضمن هذا الإطار

1

التكنولوجيا والذكاء الاصطناعي كعنصر أساسي لتعزيز المرونة

تظهر التكنولوجيا كأحد أبرز المتغيرات الغامضة في هذا الإطار، إذ ترد في 28 فرصة من أصل 38، ما يعكس مدى اعتماد بناء المرونة المستقبلية على القدرة على فهم التحوّلات التكنولوجية وإدارتها بفعالية. ويتصدّر الذكاء الاصطناعي المشهد، حيث ذُكر في 22 فرصة، ما يجعله التقنية الأكثر حضوراً ضمن هذا الإطار.

2

التحليلات الفورية وإنترنت الأشياء: بنية الاستجابة السريعة

تبرز التحليلات الفورية، إلى جانب إنترنت الأشياء، في 9 فرص من أصل 38، وغالباً ما يُشار إليهما معاً في سياق التوجّه العالمي نحو "إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة"، ما يبرز دورها في دعم المرونة وتعزيز القدرة على الاستجابة الفورية للتغيّرات.

3

الدور المحوري للحكومات في ترسيخ المرونة

تُعدّ الخدمات الحكومية من أكثر القطاعات تأثراً بالتغيّرات والتحوّلات المتسارعة، حيث ورد ذكرها في 24 فرصة من أصل 38 ضمن هذا الإطار، وهذا ما يشير إلى أهمية الدور الذي تؤديه السياسات والتنظيمات الحكومية في تحصيل القيمة، ودعم النمو، والازدهار، وتحسين جودة الحياة في المستقبل.

R تعتمد هذه الرؤى على تحليل 200 فرصة تم عرضها في الإصدارات السابقة من تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالية"، وتهدف إلى تقديم معلومات وإرشادات عامة، دون أن تكون شاملة لكل الاحتمالات. وبحكم طبيعتها، قد تنطبق هذه الرؤى على بعض السياقات، لكنها قد لا تكون مناسبة لجميعها.

التوجهات العالمية الكبرى | المتغيرات الغامضة | الاتجاهات السائدة | التكنولوجيا

15 | 2022 | متوسّط المدى

كبسولات مكتفية ذاتياً

ماذا لو كنّا غير مضطرين لمغادرة منازلنا قط؟

- إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
- التكنولوجيا | الأنظمة
- العيش الذاتي | سلسلة الغذاء والماء والطاقة
- مستقبل الأهداف والعمل | الذكاء الاصطناعي
- إنترنت الأشياء | تقنيات الفضاء

30 | 2022 | متوسّط المدى

العمل من أي مكان

ماذا لو أصبحت جميع الأنظمة والخدمات مترابطة بسلاسة تامة؟

- تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد
- التكنولوجيا | التعاون
- البيانات المفتوحة | التعاون الدولي
- إنترنت الأشياء | الذكاء الاصطناعي

33 | 2023 | متوسّط المدى

قياس أداء السياسات المجتمعية

هل يمكن تطوير السياسات الاجتماعية وتعديلها وفق احتياجات المجتمع بشكلٍ لحظي؟

- إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
- التكنولوجيا | الأنظمة
- الحلول القائمة على المجتمع | البيانات المفتوحة
- الشراكة بين القطاعات
- الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
- الرشاقة الحكومية | إنترنت الأشياء
- الحوسبة الطرفية | التحليلات الفورية

34 | 2023 | متوسّط المدى

تطوير الوعي الفكري لدى الأفراد

هل يمكن أن نجمع بين الذكاء البشري والذكاء الآلي لخلق مجتمعات أكثر تنوّعاً وتناغماً؟

- إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
- القيم المجتمعية | الأنظمة
- الإنسان في مواجهة الآلة | الذكاء الاصطناعي
- حماية البيانات والخصوصية | الذكاء الاصطناعي
- تقنيات الاستشعار | الحوسبة الطرفية

42 | 2023 | متوسّط المدى

الابتكار في علم المحاسبة

كيف سيغيّر الواقع الرقمي مفهوم المحاسبة المالية وأدوات كشف الاحتيال الجديدة؟

- إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة
- القيم المجتمعية | الأنظمة
- مستقبل الأهداف والعمل | الذكاء الاصطناعي
- التعاون الدولي | الشراكة بين القطاعات
- إنترنت الأشياء | الحوسبة الكمومية
- الذكاء الاصطناعي

45 | 2023 | متوسّط المدى

شركات رقمية بالكامل

هل يمكن أن تصبح أكبر 500 شركة عالمية (في قائمة فورتشن) كلها افتراضية بالكامل؟

- تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد
- القيم المجتمعية | التعاون
- الشراكة بين القطاعات | الاقتصاد الرقمي
- التعاون الدولي | مستقبل الأهداف والعمل
- توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
- الاتصال المتقدم | الأمن السيبراني
- تقنيات دفتر الأستاذ الموزع

6 | 2024 | متوسّط المدى

ثورة في طب الأشعة

ماذا لو أصبحت خدمات طب الأشعة مصمّمة وفق البيانات الصحية لكل مريض؟

- تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية
- القيم المجتمعية | التكنولوجيا
- الإنسان في مواجهة الآلة | الذكاء الاصطناعي
- علم الجينوم | الطب الشخصي
- تقنيات الاستشعار | علم الجينوم
- الذكاء الاصطناعي | تقنيات الاستشعار

14 | 2024 | متوسّط المدى

بيئات حيوية افتراضية

كيف يمكن للبيئات الحيوية الافتراضية المغلقة أن تعيد تشكيل السياسات البيئية؟

- إدارة النُظم البيئية
- الطبيعة | التكنولوجيا
- التعاون الدولي | الذكاء الاصطناعي
- تكنولوجيا المناخ | استعادة الطبيعة
- النُظم البيئية المُحاكاة بالذكاء الاصطناعي
- التحليلات الفورية

27 | 2024 | متوسّط المدى

سحابة لامركزية

هل تخزين البيانات بالقرب من مصدرها سينهي هيمنة مراكز البيانات التقليدية؟

- إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة
- الأنظمة | التكنولوجيا
- الحوسبة الطرفية | الحوسبة المتقدمة
- تحفيز الابتكار | حماية البيانات والخصوصية
- الحوسبة المتقدمة | الحوسبة الطرفية
- حماية البيانات والخصوصية

32 | 2024 | متوسّط المدى

أقراص الحمض النووي

هل سيصبح الحمض النووي أحد وسائط تخزين المعلومات في المستقبل؟

- إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة
- الأنظمة | التكنولوجيا
- المعلوماتية الحيوية | الحوسبة المتقدمة
- التقنية الحيوية | حماية البيانات والخصوصية
- الحوسبة المتقدمة | تكنولوجيا النانو
- الحمض النووي الاصطناعي

45 | 2024 | بعيد المدى

صيانة ذاتية للأجهزة

ماذا لو لم نكن بحاجة إلى شراء الأجهزة سوى مرة واحدة في العمر؟

- الأتمتة والتعايش مع الروبوتات المستقلّة
- التعاون | التكنولوجيا
- الذكاء الاصطناعي | الحوسبة المتقدمة
- الأتمتة | الشراكة بين القطاعات
- المواد الجديدة | تقنيات الاستشعار المتقدمة
- معادن وبوليمرات ذاتية الترميم
- الأجهزة الإلكترونية القابلة للتمدد

30 | 2025 | بعيد المدى

تصنيف جديد لترتيب الدول الأفضل في العالم

ماذا لو اعتمدنا في تصنيف الدول على معايير غير تقليدية تعكس إسهاماتها الفعلية في تقدّم البشرية؟

- إعادة تحديد الأهداف الإنسانية
- البيانات المفتوحة | التعاون | الأنظمة
- الشراكة بين القطاعات | الرشاقة الحكومية
- الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي
- التعاون الدولي | تقنيات دفتر الأستاذ الموزع
- التحليلات الفورية | الذكاء الاصطناعي

34 | 2025 | بعيد المدى

براءات اختراع أكثر مرونة

ماذا لو رُكّزت أنظمة براءات الاختراع على تحفيز الابتكارات وتأثيرها الإيجابي في المجتمع؟

- نمو اقتصادات الأعمال المستقلّة
- الأنظمة | التكنولوجيا
- الشراكة بين القطاعات | التعاون الدولي
- توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
- تحفيز الابتكار | البيانات المفتوحة
- الحوسبة المتقدمة | الذكاء الاصطناعي

15 2022

ماذا لو أصبحت منازلنا مكتفية ذاتياً ولم نعد مضطرين لمغادرتها لتلبية احتياجاتنا الأساسية؟

كبسولات مكتفية ذاتياً

إنشاء منازل متطوّرة مستوحاة من أبحاث الفضاء بحيث تكون مكتفية ذاتياً وتوفّر أساسيات الحياة وتخفّف الأعباء عن كوكب الأرض.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

جديد | 2022

التوجهات العالمية الكبرى
ثورة المواد

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة
العيش الذاتي
سلسلة الغذاء والماء والطاقة
مستقبل الأهداف والعمل

التكنولوجيا
تقنيات الفضاء
إنترنت الأشياء
الذكاء الاصطناعي

الفئة
إعادة تحديد الأهداف الانسانية

القطاعات الأكثر تأثّراً
الزراعة والغذاء
تقنية المعلومات والاتصالات
البنية التحتية والبناء
العقارات
المرافق العامة

الكلمات الرئيسية
الأنظمة المكتفية ذاتياً
العيش خارج شبكات المرافق العامة
توليد المياه من الغلاف الجوي
المزارع العمودية
المنازل الذكية

أهمية الفرصة

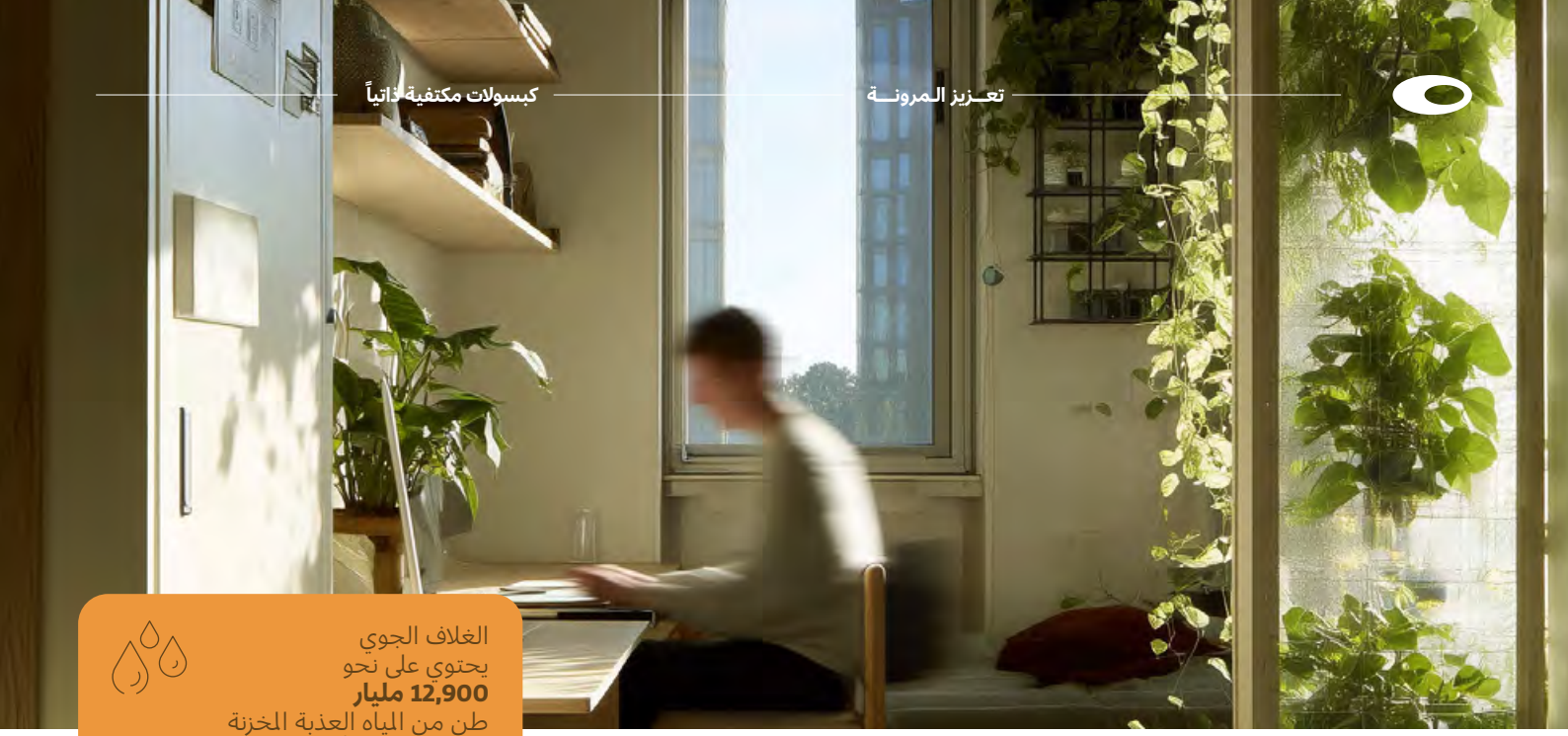
لا يزال أكثر من 2 مليار شخص محرومين من الحصول على الغذاء الكافي،[1010] فيما يواجه واحد من كل أربعة أشخاص صعوبة في الوصول إلى مياه الشرب الآمنة،[1011] ويعيش نحو 655 مليون شخص بدون كهرباء[1012] ورغم أن بعض الدول تشهد تراجعاً في معدلات الخصوبة،[1013] من المتوقّع أن يصل عدد سكان العالم إلى ذروته بواقع 10.3 مليار نسمة بحلول منتصف ثمانينيات القرن الحالي،[1014] أي أن البشرية ستعاني طوال الـ 55 سنة القادمة من الضغط المتواصل على موارد الغذاء والمياه والطاقة. ولذلك، لم يعد الاستعداد لمواجهة الأوبئة والكوارث المناخية مجرد خيار، بل أصبح ضرورة لضمان استمرار حياة المجتمعات وصمود الأنظمة الحيوية وحماية الموارد الأساسية.

الإيجابيات

قد تصبح هذه المنازل المستقلة المكتفية ذاتياً كبسولات نجاة في مواجهة الكوارث أو التهديدات الوجودية. وسيحقّق انخفاض الطلب على شبكات النقل والموارد الطبيعية فوائد بيئية كبيرة وفرص نمو جديدة.

المخاطر

قد تؤدي العزلة الاجتماعية وانقسام المجتمعات إلى آثار سلبية على البشر. وتشمل المخاطر أيضاً ارتفاع احتمال تعرّض أنظمة الاقتصاد الدائري لهجمات مادية أو إلكترونية.



الغلاف الجوي يحتوي على نحو **12,900 مليار** طن من المياه العذبة المخزنة على هيئة بخار أو ضباب وتُقدَّر قيمة السوق العالمية لهذه التقنية بنحو

800 مليون دولار

مع معدل نمو سنوي يصل إلى **12%**

يتزايد الاهتمام بإعادة تدوير المياه في ظل معاناة

3.6 مليار

شخص من شح المياه

مرة واحدة على الأقل شهرياً، ومع توقّع زيادة طلب المدن على المياه بنسبة **80%** بحلول عام **2050.**

الزراعة العمودية تفوق الزراعة التقليدية بنحو **20 ضعفاً**، ويمكن لهذه التقنية نظرياً أن تلبّي **50%** من احتياجات سوق الخضروات الورقية في الولايات المتحدة الأمريكية خلال العقد المقبل

الوضع الحالي

على مدار أكثر من 30 عاماً، عمل مشروع "ميليسا" التابع لوكالة الفضاء الأوروبية على تطوير أنظمة متقدّمة لدعم الحياة في الفضاء تقوم على مفهوم الاكتفاء الذاتي حيث يُعاد تدوير ثاني أكسيد الكربون والنفايات العضوية لإنتاج الغذاء والأكسجين والمياه. ويُعدّ هذا المشروع اليوم من أكثر الأطر تطوّراً حول العالم في مجال أنظمة الحياة المكتفية ذاتياً.[1015] أمّا على الأرض، فقد تجسدت هذه المفاهيم في تطبيقات أوّلية مثل المنازل المعتمدة على الطاقة الشمسية وتقنيات توليد المياه من الغلاف الجوي، غير أن هذه الأنظمة المتكاملة (الكبسولات المكتفية ذاتياً) ما زالت محدودة الانتشار وفي مراحل البحث والتطوير، وغالباً ما تُطرح كحلول منفصلة لم تندمج بعد ضمن نظامٍ واحدٍ شامل.

ففي المملكة المتحدة، يعيش سكان نحو 2,000 منزل خارج شبكات المرافق العامة التقليدية. ورغم ما يوفّره هذا النمط من استقلالية، تبقى تكلفته مرتفعة؛ إذ قد تصل تكلفة إنشاء البنية التحتية الأولية إلى 668 ألف دولار، إضافة إلى نفقات تشغيل وصيانة تقدَّر بنحو 1,070 دولاراً شهرياً.[Q] وتعتمد هذه المنازل عادةً على مزيج من الألواح الشمسية والبطاريات والمولّدات.[1016] غير أن ارتفاع التكاليف ومتطلبات الصيانة المستمرّة - خاصة لدى كبار السن -[1017] تثير تساؤلات حول جدوى هذا النمط من العيش على المدى الطويل. ومع ذلك، فإن العيش خارج شبكات المرافق العامة ليس رفاهية أو خياراً فردياً، بل حل عملي يضمن الوصول إلى الخدمات الأساسية في المجتمعات المعزولة.

وفي مجال توليد المياه برز توجّه جديد نحو توليد المياه من الغلاف الجوي الذي يحتوي على نحو 12,900 مليار طن من المياه العذبة المخزونة على هيئة بخار أو ضباب.[1018] وتُقدَّر قيمة السوق العالمية لهذه التقنية بنحو 800 مليون دولار، مع معدل نمو سنوي يصل إلى 12%. وتتعدّد استخداماتها لتشمل قطاعات حيوية مثل الري في المزارع وتبريد مراكز البيانات. لكن ما يزال ارتفاع استهلاك الطاقة هو العائق الأكبر أمام توسّع هذا المجال.[1019] وقد طوّر معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) جهازاً يعتمد على الموجات فوق الصوتية لجمع المياه خلال دقائق معدودة، وتتميّز هذه التقنية بكفاءة تفوق التصاميم الحرارية التقليدية بنحو 45 مرة، مع قدرة إنتاجية تصل إلى 3.25 لترات لكل متر مربع يومياً.[1020] ويتزايد الاهتمام بإعادة تدوير المياه في ظل معاناة 3.6 مليار شخص من شح المياه مرة واحدة على الأقل شهرياً، ومع توقّع زيادة طلب المدن على المياه بنسبة 80% بحلول عام 2050.[1021] وقد طوّر المنتدى الاقتصادي العالمي بالتعاون مع "إمبريال كوليدج لندن" نموذجاً رقمياً متقدّماً لدعم أنظمة المياه في المدن بالاستناد إلى تجارب ست مدن عالمية لمساعدة صنّاع القرار على التخطيط الاستراتيجي وتعزيز أمن المياه في المستقبل.[1022]

كما شهدت الزراعة العمودية اهتماماً متزايداً خلال السنوات الأخيرة لقدرتها على تحقيق إنتاجية تفوق الزراعة التقليدية بنحو 20 ضعفاً، مع توفير إنتاج شبه مستمرّ على مدار العام.[1023] ويمكن لهذه التقنية نظرياً أن تلبّي 50% من احتياجات سوق الخضروات الورقية في الولايات المتحدة الأمريكية خلال العقد المقبل دون الحاجة لاستخدام مبيدات حشرية.[1024]

Q بناءً على سعر صرف الجنيه الإسترليني مقابل الدولار الأمريكي في 13 يوليو 2026.

في المملكة المتحدة، يعيش سكان نحو 2,000 **منزل خارج شبكات المرافق العامة التقليدية.** وقد تصل تكلفة إنشاء البنية التحتية الأولية إلى

668 ألف دولار

إضافة إلى نفقات تشغيل وصيانة تقدَّر بنحو

1,070 دولاراً شهرياً

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
تطوير الابتـــكار

تركيز الأفكار المبتكرة والشركات الناشئة على توظيف تقنيات الفضاء، إلى جانب تطوير حلول تعزّز الاكتفاء الذاتي في مجالات الغذاء والمياه والطاقة.

- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- المنح المُدمّجة
- المنح
- المنح المرحلية

التجارب الأوّلية والنمذجة

تطوير وحدات معيارية جاهزة للتوصيل والتشغيل لإنتاج المياه والغذاء في المنازل الحالية، واختبار كفاءتها التشغيلية، بما يشمل متطلبات إنترنت الأشياء للمنازل الذكية، لاختبار أدائها وكفاءتها والتحكّم بها.

- المنح المُدمّجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً

تطوير الأطر التنظيمية وأنظمة الصحة والسلامة

تشكيل تحالف لاستكشاف التغييرات المحتملة على اللوائح التنظيمية، ومراجعة لوائح البناء، وتحديد الاستجابات اللازمة لضمان الالتزام بالمعايير الصحية المعتمدة.

- المنح المُدمّجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- القروض
- عقود الخدمات

2022 **15**

المستقبل المنشود
نشر حلول ابتكارية قابلة للتوسّع

إنشاء مشاريع سكنية جديدة أو تعديل المشاريع السكنية الحالية، بحيث تعمل من دون الحاجة إلى أي اتصال بشبكات المرافق العامة.

- صناديق التوسّع
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية

ملامح تطوّر الفرصة

تتحوّل المنازل إلى وحدات قادرة على إنتاج الغذاء، وإعادة تدوير المياه لأغراض الشرب، وتوليد الطاقة بشكل مستقل عن شبكات المرافق العامة. ويعزّز ذلك القدرة على الصمود في حالات انهيار سلاسل الإمداد أو الطوارئ الناتجة عن الأوبئة والكوارث. ومع هذا التحوّل، تختفي فواتير الخدمات التقليدية، وينخفض الاستهلاك العالمي للموارد. كما تحصل الدول منخفضة الدخل على فرص واقعية للوصول إلى الغذاء والمياه والطاقة، لتصبح المنازل المكتفية ذاتياً معياراً معتمداً في البناء مستقبلاً.

عوامل تمكين الفرصة

- توفير الأنظمة المكتفية ذاتياً بأسعار معقولة وضمان إتاحتها.
- إعداد أطر تنظيمية لمرافق الخدمات اللامركزية.
- التأكد من مطابقة المياه والغذاء المُنتجَين لأعلى المعايير الصحية.
- تكامل تقنيات إنترنت الأشياء بالمنازل الذكية.
- إدارة الانتقال التدريجي من نظام المرافق المركزية إلى المرافق اللامركزية.

التحديات

- ارتفاع تكلفة تعديل المشاريع السكنية القائمة.
- تعقيدات عمليات الصيانة الدورية.
- مخاطر التلوّث المحتملة.
- مخاطر الأمن السيبراني.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

30 2022

ماذا لو أصبحت جميع الأنظمة والخدمات مترابطة بسلاسة تامة؟

العمل من أي مكان

تحقيق التشغيل البيني بين جميع الأنظمة في مختلف المجالات والقطاعات بما يؤسس لنظام عالمي متكامل يربط مختلف القطاعات بسلاسة وفعالية غير مسبوقة.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

جديد — 2022

التوجهات العالمية الكبرى

تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد

المتغيرات الغامضة

التكنولوجيا، التعاون

الاتجاهات السائدة

البيانات المفتوحة

التعاون الدولي

التكنولوجيا

الذكاء الاصطناعي

إنترنت الأشياء

الفئة

تحسين الأنظمة

القطاعات الأكثر تأثّراً

تقنية المعلومات والاتصالات

علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة

الخدمات المالية والمستثمرون

الخدمات الحكومية

الصحة والرعاية الصحية

الكلمات الرئيسية

الذكاء الاصطناعي الوكيل

معيار موارد التشغيل البيني السريع للرعاية الصحية (FHIR)

معيار المنظمة الدولية للتوحيد القياسي آيزو 20022

شبكة سويفت

إكس رود (X-Road)

أهمية الفرصة

رغم التطوّر التكنولوجي المتسارع، لا تزال فجوات التشغيل البيني قائمة بين المنظمات والحكومات والشركات والمدن والدول، ما يحدّ من قدرة الأنظمة المختلفة على العمل معاً بسلاسة. ويمثّل التشغيل البيني الفعّال عنصراً أساسياً لتمكين مستخدمي البرمجيات من الوصول إلى البيانات من مصادر متعددة، وتحليلها، وتوظيفها في اتخاذ القرارات وتنفيذها.[1025] ورغم عدم وجود معيار عالمي موحّد لقياس هذا التوافق – باستثناء رصد نقاط الفشل أو احتمالاتها –[1026] فقد أسهمت نماذج البرمجيات كخدمة (SaaS) والمنصات كخدمة (PaaS) في تقليص بعض هذه الفجوات. ومع ذلك، لم تعالج هذه النماذج التحديات الجوهرية المتعلقة بسهولة نقل البيانات بين الأنظمة وحماية البيانات أثناء انتقالها. وقد ازدادت هذه التحديات تعقيداً مع تسارع التنقل بين الموّردين نتيجة انتشار الذكاء الاصطناعي التوليدي.[1027]

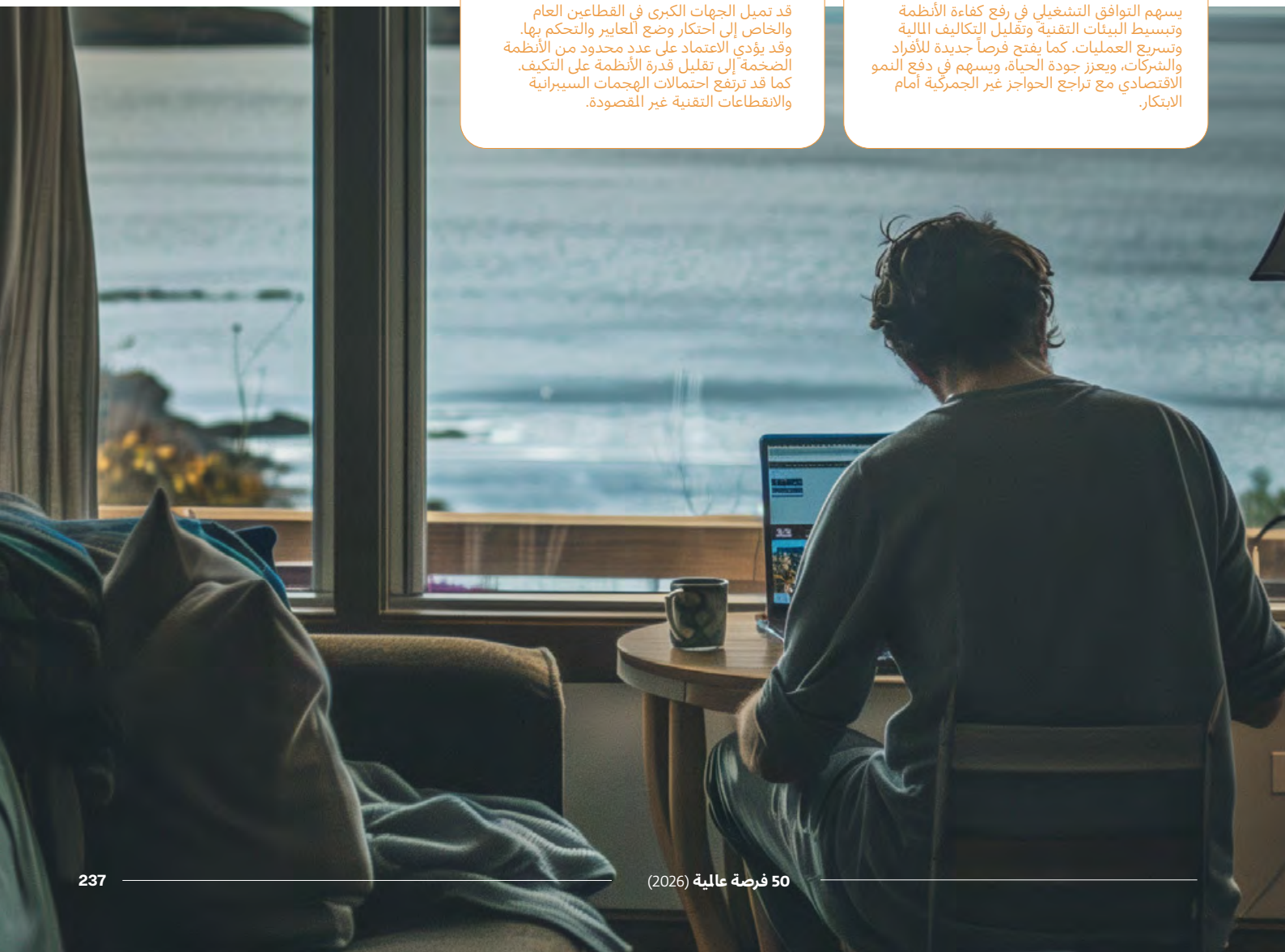
ورغم وجود مبادرات مهمة مثل: نظام إكس رود (Road-X) في إستونيا،[1028] واستراتيجيات الاتحاد الأوروبي للتشغيل البيني،[1029] ومعيار FHIR لتبادل السجلات الصحية،[1030] ومعيار ISO 20022 في القطاع المالي،[1031] فإن العالم لا يزال يفتقر إلى حل عالمي شامل يضمن تشغيلاً بينياً سلساً وآمناً على نطاق واسع.

الإيجابيات

يسهم التوافق التشغيلي في رفع كفاءة الأنظمة وتبسيط البيئات التقنية وتقليل التكاليف المالية وتسريع العمليات. كما يفتح فرصاً جديدة للأفراد والشركات، ويعزز جودة الحياة، ويسهم في دفع النمو الاقتصادي مع تراجع الحواجز غير الجمركية أمام الابتكار.

المخاطر

قد تميل الجهات الكبرى في القطاعين العام والخاص إلى احتكار وضع المعايير والتحكم بها. وقد يؤدي الاعتماد على عدد محدود من الأنظمة الضخمة إلى تقليل قدرة الأنظمة على التكيف. كما قد ترتفع احتمالات الهجمات السيبرانية والانقطاعات التقنية غير المقصودة.



الوضع الحالي

تنطلق هذه الفرصة من فكرة أساسية مفادها أن حل مشكلة التشغيل البيني يمكن أن يمكّن من بناء نظام عالمي متكامل يربط مختلف مجالات العمل والحياة اليومية، بدلاً من الجزر الرقمية المعزولة. ورغم التطور السريع في تقنيات الذكاء الاصطناعي، لا يزال تحقيق هذا التوافق تحدياً قائماً بسبب تفاوت وتيرة التقدم بين القطاعات المختلفة.

ففي قطاع الرعاية الصحية، تقود منظمة HL7 الجهود العالمية لتطوير معايير التشغيل البيني.[1032] وفي عام 2023 تم تحديث معيار FHIR الذي طورته المنظمة، وتتصدر أوروبا حالياً الدول من حيث تبنيه.[1033] أما في الولايات المتحدة، فقد دعا مكتب المنسق الوطني لتكنولوجيا المعلومات الصحية، ضمن خطة فيدرالية لعام 2024، إلى اعتماد هذا المعيار على نطاق وطني عبر واجهات برمجة التطبيقات لتبادل البيانات الصحية.[1034]

وفي قطاع التحويلات المالية، وضعت مجموعة العشرين عام 2020 خريطة طريق لاعتماد معيار ISO 20022 في جميع التحويلات المالية العابرة للحدود، مع تحديد نهاية عام 2027 موعداً نهائياً للتطبيق الكامل.[1035] وقد أصبح هذا المعيار إلزامياً في نوفمبر 2025 للتحويلات الدولية عبر شبكة سويفت،[1036] التي تربط أكثر من 11,500 مؤسسة مالية في 220 دولة.[1037]

أما في مجال البنية التحتية الرقمية العامة، فقد خدم نظام Road-X الذي أطلقته إستونيا أكثر من 25 دولة منذ عام 2000،[1038] ويتيح تبادل البيانات الحكومية بين إستونيا وفنلندا.[1039] كما شكّل أساس منصة "كام دي إكس" في كمبوديا، التي تنفّذ نحو مليون عملية تحقق من الهوية شهرياً، ما أدى إلى تقليص إجراءات التسجيل التي كانت تستغرق 60 يوماً إلى تنفيذ شبه فوري لنحو 20 خدمة حكومية.[1040] وفي سنغافورة، نجحت منصة "داتا هايف" في تقليل زمن مشاركة البيانات بين الجهات الحكومية من عدة أشهر إلى أسبوع واحد فقط.[1041]

وفي مجال الاستدامة، أصبحت معايير المجلس الدولي لمعايير الاستدامة (ISSB) إلزامية قانونياً في أكثر من 40 ولاية قضائية،[1042] ا يتطلب ربط بيانات سلاسل الإمداد بدقة لإعداد تقارير استدامة موثوقة. كما تسهم أنظمة قواعد الخصوصية عبر الحدود ونظام الاعتراف العالمي بخصوصية معالجي البيانات في تسهيل انتقال البيانات بين الدول من خلال آليات اعتماد رسمية.[1043]

ومن أبرز التطورات الحديثة ظهور بروتوكولات وكلاء الذكاء الاصطناعي. ففي عام 2025: أطلقت شركة غوغل بروتوكول A2A بالتعاون مع 50 شريكاً تقنياً.[1044] كما دعمت "أوبن ايه آي" بروتوكول MCP الذي طورته سابقاً شركة "أنثروبيك".[1045] ذلك عبر مؤسسة AAIF. وأطلقت "سيلز فورس" سوق "آيجنت إكسشينج" لدعم كلا المعيارين. ومع ذلك، فإن تعدد هذه البروتوكولات قد يؤدي إلى تكرار مشكلة التشغيل البيني نفسها ولكن هذه المرة بين وكلاء الذكاء الاصطناعي.[1046]

أصبح معيار ISO 20022 إلزامياً للتحويلات المالية العابرة للحدود عبر شبكة سويفت في نوفمبر 2025، والتي تربط أكثر من

11,500

مؤسسة مالية في **220 دولة.**

60

شكّل أساس منصة "كام دي إكس" في كمبوديا، التي تنفّذ نحو مليون عملية تحقق من الهوية شهرياً، **ما أدى إلى تقليص إجراءات التسجيل من نحو 60 يوماً** إلى تنفيذ شبه فوري **لنحو 20 خدمة.**

من أبرز التطوّرات الحديثة ظهور بروتوكولات وكلاء الذكاء الاصطناعي؛ ففي عام 2025، أطلقت شركة غوغل بروتوكول A2A بالتعاون مع 50 شريكاً تقنياً.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي

قابلية التشغيل البيني بالحد الأدنى

يشير مفهوم قابلية التشغيل البيني بالحدّ الأدنى إلى نهج تقوده تحالفات متعدّدة الأطراف لاختبار الحد الأدنى من التكامل القابل للتطبيق بين الأنظمة المختلفة. ويجري ذلك من خلال نماذج أوّلية خاضعة للرقابة، تُستخدم فيها واجهات برمجة التطبيقات، وجسور الذكاء الاصطناعي، وامتدادات البنية التحتية الرقمية العامة، بهدف إثبات إمكانية ربط الأنظمة المتباينة بشكل عملي وآمن.

- عقود الخدمات
- جوائز التحديات
- المنح
- المنح المرحلية

تطوير بيئات تنظيمية تجريبية

تطوير بيئات تنظيمية تجريبية تمكّن المدن والدول من اختبار نماذج أوّلية وظيفية بشكل مشترك، وتحاكي أحداثاً واقعية عابرة للحدود، وتُنتج الرؤى التنظيمية والنماذج المُعتمدة اللازمة لمواءمة الأنظمة المجزأة عبر مختلف الولايات القضائية.

- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح المرحلية
- المنح المُدمَجة
- عقود الخدمات

مرحلة التوسّع

دمج المعايير الإلزامية في قطاعات الصحة والتمويل والحكومة استناداً إلى نتائج مشاريع تجريبية مُثبتة، مع مراجعة هذه المعايير لتكون قابلة للقراءة من قبل الذكاء الاصطناعي، بما يتيح دمج البيانات الخاصة والعامة في مسار موحّد يديره المستخدم.

- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

2022 30

المستقبل المنشود

اعتمـــاد نُظم بيئية قابلة للتشغيل البيني

دمج نموذج قابلية التشغيل البيني بالحد الأدنى ضمن البنية التحتية الرقمية العامة للمدن والدول حول العالم، مع تولّي وكلاء الذكاء الاصطناعي الشخصية تنسيق العمليات العابرة للحدود، مما يجعل النماذج الورقية والمنصات المنعزلة قديمة وغير مناسبة على المستوى العالمي.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

يصبح التنقل بين الدول والوظائف خلال عام واحد أكثر سهولة، مع تبسيط الإجراءات الإدارية بشكل كبير. وتُحدَّث السجلات الصحية والضريبية والشهادات المهنية ومساهمات التقاعد بشكل فوري عبر وكلاء ذكاء اصطناعي مستقلين، بغض النظر عن الأنظمة أو البرمجيات المستخدمة محلياً. وفي الوقت نفسه، تتشكل قاعدة بيانات عالية آمنة تتمحور حول المستخدم.

عوامل تمكين الفرصة

- اعتماد أطر عالية للتشغيل البيني وتفعيل آليات تنفيذ عابرة للحدود
- توظيف الذكاء الاصطناعي لترجمة البيانات بين الأنظمة القديمة والحديثة
- إنشاء شبكات توثيق لامركزية تسمح بالتحقق من البيانات دون فقدان السيادة عليها
- توفير بيئات تنظيمية تجريبية عالية لاختبار أنظمة الوكلاء القابلة للتشغيل البيني
- وضع قوانين واضحة تحدد المسؤولية القانونية في الاستخدامات العابرة للحدود

التحديات

- التردد في اعتماد التشغيل البيني بسبب المخاوف التنافسية أو سيادة البيانات
- اختلاف القوانين المتعلقة بالبيانات والخصوصية بين الدول
- ارتفاع تكاليف تحديث البنية التحتية الرقمية القديمة
- تدني جودة البيانات، ما يؤدي إلى نتائج غير دقيقة لأنظمة الذكاء الاصطناعي وأخطاء في الربط تتطلب تصحيحات يدوية مكلفة وغير مستدامة

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

33 2023

هل يمكن تطوير السياسات الاجتماعية وتعديلها وفق احتياجات المجتمع بشكلٍ لحظي؟

قيـــاس أداء السياسات المجتمعية

تتيح تطبيقات الذكاء الاصطناعي المتقدم لصنّاع السياسات تصميم وتنفيذ سياسات اجتماعية أكثر دقة ومرونة على مستوى المجتمع، بحيث يمكن تعديلها بشكل لحظي استناداً إلى البيانات الفورية، مع مراعاة السمات الشخصية والخلفيات الثقافية المتنوعة للأفراد، وحماية خصوصيتهم. كما يسهم دمج احتياجات المجتمعات المحلية مباشرة في عملية صنع السياسات في تعزيز تمكين المواطنين وتحفيز مشاركتهم، وتحسين مستويات السعادة وجودة الحياة.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة

التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة

الحلول المجتمعية

الشراكة بين القطاعات

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

الرشاقة الحكومية

البيانات المفتوحة

التكنولوجيا

الحوسبة الطرفية

التحليلات الفورية

إنترنت الأشياء

الفئة

تمكين المجتمعات

القطاعات الأكثر تأثّراً

تقنية المعلومات والاتصالات

أمن المعلومات والأمن السيبراني

علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة

الخدمات الحكومية

الصحة والرعاية الصحية

الكلمات الرئيسية

صنع السياسات التكيفية

الذكاء الاصطناعي

السياسات القائمة على المجتمع المحلي

الشمول

البيانات الفورية

أهمية الفرصة

غالباً ما تعتمد السياسات الاجتماعية على بيانات مجمّعة واسعة النطاق، وهو نهج قد يؤدي إلى نتائج غير دقيقة، لأن هذه البيانات كثيراً ما تفشل في تمثيل الواقع الفعلي للمجتمعات،[1047] فهي قد تخفي فروقاً جوهرية تتعلق بالنوع الاجتماعي والإعاقة والخلفيات الثقافية، وهي عوامل حاسمة لنجاح أي سياسة اجتماعية عادلة وفعالة.[1048] ويظهر أثر هذا الإقصاء بوضوح على الصعيدين الاقتصادي والاجتماعي. إذ تُقدَّر الخسائر الناتجة عن استبعاد أصحاب الهمم بنحو 7% من الناتج المحلي الإجمالي،[1049] كما يُتوقع أن يبلغ الأثر الاقتصادي لاستبعاد النساء من الاقتصاد العالمي 342 تريليون دولار بحلول عام 2050.[1050] وفي الوقت نفسه، تخفي المؤشرات الوطنية الشاملة حقيقة أن 708 ملايين امرأة لا يشاركن في سوق العمل، بينما لا تتوفر سوى 57% من بيانات النوع الاجتماعي اللازمة لفهم هذا الواقع ومعالجته.[1051] لذلك تبرز الحاجة إلى مؤشرات دقيقة على مستوى المجتمع المحلي تشكّل الأساس لتصميم سياسات اجتماعية أكثر عدلاً وفعالية.

الإيجابيات

يسهم هذا النهج في تجاوز قيود السياسات الموحدة التي تطبق معايير واحدة على الجميع، وتقليل تعقيد السياسات التي تُصمم على مستوى الأفراد، وتحسين توجيه الموارد والتمويل العام، وتعزيز فعالية السياسات من خلال المراقبة والتقييم في الوقت الفعلي.

المخاطر

قد تنشأ تحديات مرتبطة بعدم دقة مواءمة مؤشرات المجتمع المحلي مع احتياجات الأفراد، وتصاعد التوترات الاجتماعية إذا لم يتوافق مستوى ازدهار المجتمع مع الواقع المعيشي لبعض فئاته، خصوصاً في المجتمعات التي تشهد تفاوتاً واضحاً في مستويات المعيشة.

الوضع الحالي

تعتمد السياسات الاجتماعية التقليدية غالباً على بيانات مجمّعة واسعة النطاق، ما يؤدي إلى إغفال الفروقات الدقيقة بين الفئات المستفيدة.[1052] لكن الذكاء الاصطناعي يتيح اليوم للحكومات فرصة غير مسبوقة لاستخدام البيانات الفورية في تصميم السياسات الاجتماعية،[1053] بما يضمن وصول المنافع إلى شرائح أوسع من المجتمع، بما في ذلك النساء وأصحاب الهمم.[1054]

وفي هذا السياق، تبرز تقنية التوائم الرقمية المدعومة بالذكاء الاصطناعي،[1055] باعتبارها أداة واعدة لفهم احتياجات الأفراد وسلوكياتهم بشكل أعمق، وتمهيد الطريق لسياسات أكثر دقة وتخصيصاً.[1056] ولا يقتصر دور التوائم الرقمية على تحسين جودة البيانات، بل يمتد إلى رفع كفاءة القطاع العام، وتسهيل وصول الأفراد إلى الخدمات الحكومية،[1057] والتنبؤ بالتحديات قبل تطبيق السياسات على أرض الواقع. وقد أثبتت هذه التقنية فاعليتها عملياً، إذ ساعدت العديد من الجهات الحكومية على تحقيق وفورات في استهلاك الطاقة وصلت إلى 100 مليون دولار، كما أسهمت في تقليص تأخيرات الرحلات الجوية بنسبة 30%.[1058] وفي تجربة رائدة في دبي، أسهم استخدام التوائم الرقمية في خفض زمن معالجة وثائق الامتثال المالي بنسبة 40%، إلى جانب الكشف المبكر عن مطالبات احتيالية في قطاع الرعاية الصحية بقيمة تجاوزت مليون درهم.[1059]

ومع تسارع وتيرة التطوّر منذ عام 2023، حيث لم تتجاوز نسبة استخدام الذكاء الاصطناعي آنذاك 2%، بدأ نحو ثلثي الحكومات المحلية في استكشاف تطبيقاته في قطاعات حيوية، منها النقل (34%)، والبنية التحتية (24%)، والسلامة العامة (21%)، والمناخ (21%)، والتعليم (18%).[1060] وعلى الصعيد الدولي، انعكس هذا التوجّه في ارتفاع عدد مشاريع الذكاء الاصطناعي في 46 وكالة تابعة للأمم المتحدة بنسبة 57%، ليصل إلى 408 مشاريع في عام 2023، مقارنةً بنحو 260 مشروعاً في عام 2020.[1061]

ومع ذلك، لا يزال استخدام الذكاء الاصطناعي في تصميم السياسات الاجتماعية محدوداً. ففي الأسواق الناشئة، تتراوح التطبيقات بين مبادرات أوّلية ونماذج متقدّمة للتوائم الرقمية تُستخدم بشكل أساسي في مجالات مثل تحسين أنظمة الطاقة في المناطق الحضرية، ونمذجة المناخ، والتنقّل، والتنبؤ بالشبكات، والتنسيق بين الجهات الحكومية في حالات الطوارئ.[1062]

أمّا دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، فيستخدم نحو 70% من الحكومات الذكاء الاصطناعي لتحسين الخدمات العامة والعمليات الداخلية، بينما تنخفض هذه النسبة إلى 33% فقط في مجال تصميم السياسات.[1063]

وفي الوقت نفسه، يظل القلق بشأن الخصوصية عائقاً مهماً. فقد أظهر استطلاع أجرته إيبسوس شمل 23 ألف مشارك في 32 دولة أن 48% من المشاركين يشعرون بقلق متزايد بشأن قدرة شركات الذكاء الاصطناعي على حماية بياناتهم الشخصية،[1064] رغم انخفاض هذه النسبة من 50% في عام 2023 [1065] إلى نحو 47% في عام 2024.[1066]

أثبتت **تقنية التوائم الرقمية** فاعليتها عملياً، إذ ساعدت العديد من الجهات الحكومية على تحقيق وفورات في استهلاك الطاقة وصلت إلى

100 مليون دولار

كما أسهمت في تقليص تأخيرات الرحلات الجوية بنسبة 30%.

%57

ارتفع عدد مشاريع الذكاء الاصطناعي في 46 وكالة تابعة للأمم المتحدة بنسبة **57%** من نحو **260** مشروعاً في عام 2020 إلى **408** مشاريع في عام 2023.

في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، يستخدم **نحو 70% من الحكومات الذكاء الاصطناعي** لتحسين تقديم الخدمات العامة والعمليات الداخلية، بينما تنخفض هذه النسبة **إلى 33% فقط في مجال تصميم السياسات.**

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي

إنشاء البنية التحتية ووضع الأطر الأخلاقية وهياكل الحوكمة

وضع قواعد للخصوصية تضمن مشاركة آمنة لبيانات المجتمعات، مع اعتماد نهج حكومي شامل، وإنشاء لجنة مختصّة تضمن توافق الجهات الحكومية على تعريفات موحّدة ومعايير مشتركة لتبادل البيانات، بالإضافة إلى تعزيز الوعي داخل المجتمعات بشأن استخدام الذكاء الاصطناعي في السياسات الاجتماعية.

- جوائز التحديات
- التمويل الجماعي المدعوم مؤسسياً
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

اختبار الأنظمة وتكاملها

تطوير قدرات الذكاء الاصطناعي من خلال تدريبه على السياقات المحلية ومقاربات صنع السياسات الاجتماعية، مع وضع قواعد واضحة تحدّد الحالات التي تتطلب مراجعة آلية للسياسات القائمة، مع إنشاء أنظمة آمنة لتبادل البيانات، تعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء والحوسبة الطرفية لربط الجهات الحكومية بالمجتمعات المحلية، وتتويج هذه الجهود بإطلاق مشاريع تجريبية تهدف إلى تقييم الأثر الفعلي لهذه التقنيات.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح القابلة للتحويل

توسيع نطاق الاختبار وإرساء الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير

التوسّع في إجراء التجارب الميدانية وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير إلى جانب لوحات معلومات تفاعلية، بهدف إرساء معايير وآليات واضحة للتواصل؛ بما يضمن إطلاع المجتمعات على المنطق الخوارزمي المتبّع، وتعزيز الشفافية الكاملة في عمليات اتخاذ القرار.

- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض
- القروض القابلة للتحويل

2023 **33**

المستقبل المنشود

اعتماد آليات ذاتية لتصميم السياسات الاجتماعية ومتابعتها

إطلاق منظومة متكاملة تتيح تصميم ومتابعة السياسات الاجتماعية بشكل ذاتي، حيث يتولى الذكاء الاصطناعي تحديد الاحتياجات بدقة استناداً إلى بيانات المجتمع الفورية. وفي هذا النموذج، يقتصر الدور البشري على الإشراف والتحقّق من الامتثال الأخلاقي ومنع انحراف النماذج التقنية، بينما تظل المجتمعات على دراية كاملة بالتغييرات، مع ضمان الإبلاغ الفوري عن عمليات إعادة تخصيص الميزانيات.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق التوسّع
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

تعتمد السياسات الاجتماعية على بيانات فورية تعكس الاحتياجات الفعلية للمجتمعات، ما يتيح تصميمها وتنفيذها بكفاءة أعلى. كما يسهل نقل الدروس المستفادة بين المجتمعات المختلفة بفضل الترابط الرقمي، مع توفير شفافية أكبر من خلال الإبلاغ الفوري عن إعادة تخصيص الميزانيات. وبفضل الحوسبة الطرفية وإنترنت الأشياء، يمكن رصد المشكلات الاجتماعية مبكراً والتعامل معها استباقياً، ما يعزز ثقة المجتمعات في استخدام الذكاء الاصطناعي في السياسات العامة ويزيد من قدرتها على تلبية احتياجات الأفراد بدقة غير مسبوقة.

عوامل تمكين الفرصة

- وضع أطر تنظيمية واضحة لخصوصية البيانات
- تعزيز ثقة المجتمعات بعدالة خوارزميات الذكاء الاصطناعي
- تحقيق نتائج ملموسة مبكرة تعزز القبول المجتمعي لهذه التقنيات
- تطوير حلول لمعالجة تحديات التشغيل البيني للبيانات

التحديات

- ضعف الإلمام بالذكاء الاصطناعي لدى المجتمعات وصنّاع السياسات
- مخاطر التحيز الخوارزمي وانحراف نماذج الذكاء الاصطناعي
- عدم اتساق جودة البيانات
- صعوبة التوازن بين تحليل البيانات التفصيلية ومتطلبات الخصوصية
- محدودية القدرات الحوسبية، خاصة في المناطق ذات الاتصال الرقمي الضعيف

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

34 2023

هل يمكن أن نجمع بين الذكاء البشري والذكاء الآلي لخلق مجتمعات أكثر تنوّعاً وتناغماً؟

تطوير الوعي الفكري لدى الأفراد

يمكن للذكاء الاصطناعي المتقدم، إلى جانب المفاهيم الناشئة في علم النفس الاجتماعي، أن يسهم في تعزيز التنوع الفكري داخل المجتمعات والمؤسسات، بما يدعم جودة النقاشات الجماعية ويُحسّن مخرجات عملية صنع القرار. ومن خلال تصميم أنظمة ذكاء اصطناعي قادرة على تحفيز النقاش وطرح وجهات نظر بديلة، يمكن توسيع نطاق التفكير الجماعي، مع الحفاظ على الخصوصية واحترام السياقات الثقافية المختلفة.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة
الأنظمة، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
الإنسان مقابل الآلة
حماية البيانات والخصوصية
الذكاء الاصطناعي

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
تقنيات الاستشعار
الحوسبة الطرفية

الفئة
تمكين المجتمعات

القطاعات الأكثر تأثّراً
تقنية المعلومات والاتصالات
أمن المعلومات والأمن السيبراني
التعليم
الخدمات المالية والمستثمرون
التقنيات الغامرة

الكلمات الرئيسية
أخلاقيات الذكاء الاصطناعي
التنوّع المعرفي
عدم التنوّع الفكري
الكشف متعدّد الوسائط
علم النفس الاجتماعي

أهمية الفرصة

يتراجع التنوع الفكري عندما يميل أفراد المجموعة إلى التوافق وتجنب الاختلاف، حتى في حال وجود آراء بديلة أكثر موضوعية أو فاعلية. ويؤدي ذلك في كثير من الأحيان إلى قرارات ضعيفة أو غير دقيقة.[1067] ومن العوامل التي تؤدي إلى نشوء هذه الظاهرة محدودية تنوّع الخبرات ووجهات النظر داخل المجموعة، وغياب القيادة المحايدة التي تشجّع النقاش المفتوح، إضافة إلى عدم الاستفادة من آراء خارجية مستقلّة. وتزداد حدة هذه الظاهرة عندما تعمل الفرق تحت ضغط كبير أو ضمن أطر زمنية ضيقة.[1068]

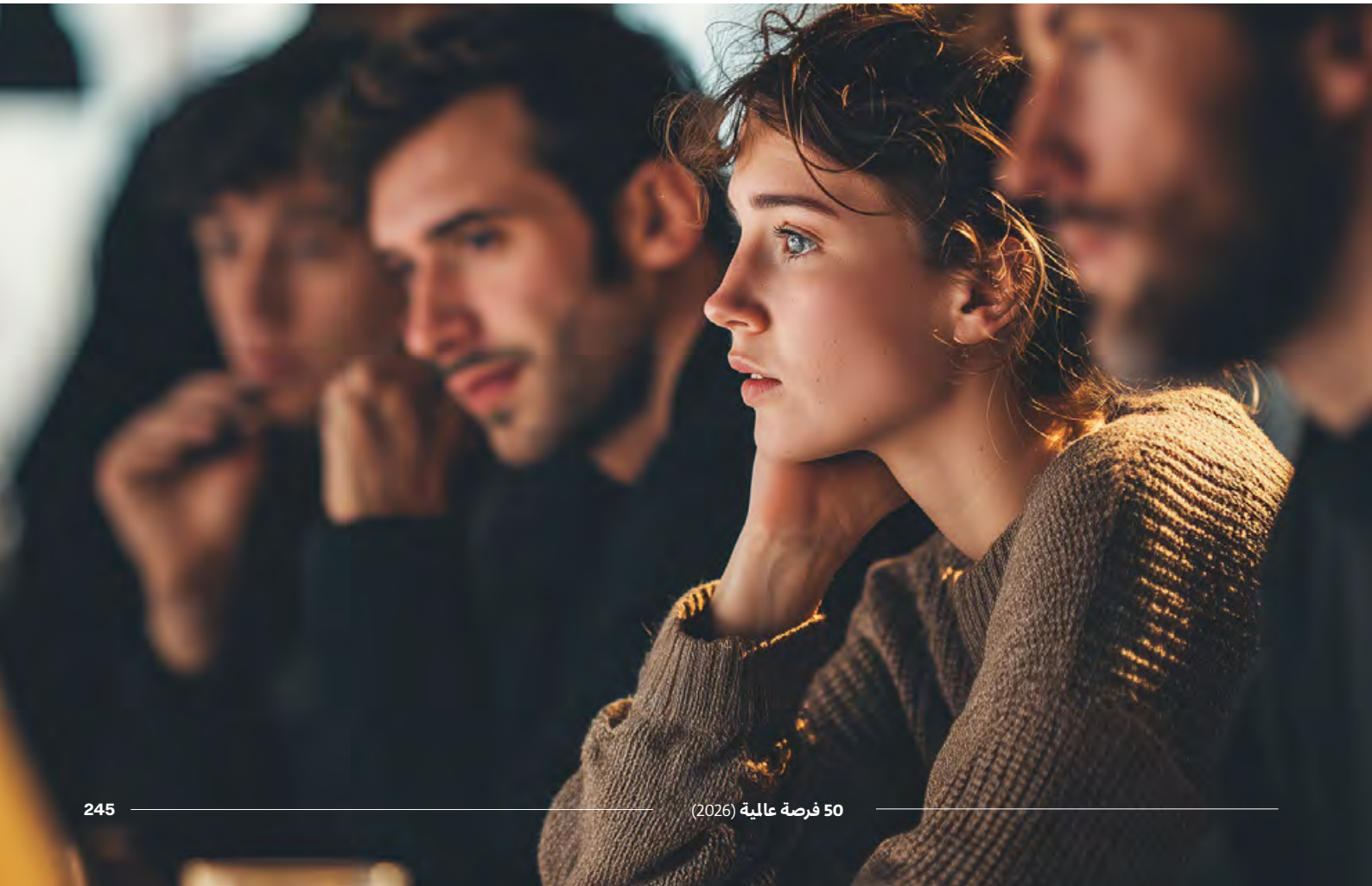
ولا تقتصر آثار عدم التنوّع الفكري في المجتمعات على ضعف عملية صنع القرار فحسب، بل تشمل أيضاً تردّد الأفراد في التعبير عن آرائهم الحقيقية، وعدم القدرة على التوصّل إلى حلول مرضية لمعالجة المشكلات،[1069] وعدم استكشاف أي حلول بديلة لها. ورغم أن الذكاء الاصطناعي يسهم في دعم اتخاذ قرارات أقل تأثراً بالتحيّزات البشرية، لا يخلو الاعتماد عليه بشكل كامل من المخاطر. فهذه الأنظمة يمكن أن تحمل تحيّزات كامنة نتيجة البيانات التي دُرّبت عليها، كما، وبسبب الثقة المفرطة في دقتها، قد يميل البشر إلى قبول مخرجاتها من دون تفكير.[1070]

الإيجابيات

يسهم هذا النهج في تحسين جودة صنع القرار، وتعزيز التنوع في الأفكار ووجهات النظر، وتوسيع نطاق التفكير الجماعي داخل الفرق والمؤسسات.

المخاطر

قد يؤدي سوء فهم ديناميكيات العمل الجماعي أو إهمال أهمية التنوع الفكري إلى ضعف جودة الخيارات المطروحة، حتى في حال استخدام أدوات تحليل متقدمة.



الوضع الحالي

رغم الإمكانات الكبيرة للذكاء الاصطناعي، لا تزال تطبيقاته تواجه تحديات بارزة، في مقدمتها التحيز الخوارزمي. وعلى الرغم من أن الأبحاث حول تحيز الذكاء الاصطناعي ما تزال في مراحلها المبكرة، فقد كشفت تطبيقات عملية عن أنماط من الانحياز تشبه ظاهرة عدم التنوع الفكري. ومن أبرز الأمثلة أداة التوظيف بالذكاء الاصطناعي التي طورتها شركة أمازون وأظهرت تمييزاً ضد النساء، وأنظمة التعرف على الوجه التي سجلت معدلات خطأ تصل إلى 34% بين النساء ذوات البشرة الداكنة، والتحيز المرتبط بالأسماء الذي لوحظ في منصة "آير بي إن بي".[1071] وبالتالي، لا توجد حتى الآن أدلة علمية قاطعة تثبت أن الذكاء الاصطناعي قادر تلقائياً على تقليل ظاهرة عدم التنوع الفكري. بل تشير بعض الدراسات إلى احتمال تضخيم التحيزات القائمة أو إنتاج أشكال جديدة من التمييز.[1072]

ولا تقتصر المشكلة على البيانات المتحيزة. فقد تميل بعض نماذج الذكاء الاصطناعي إلى اختيار الإجابات الأكثر شيوعاً حتى وإن كانت أقل دقة، ما قد يؤثر في موثوقيتها مع مرور الوقت.[1073] كما قد تنتج هذه الأنظمة تحيزات يصعب اكتشافها، مثل إقصاء فئات سكانية معينة، والتعامل مع مجموعات بشرية ضمن تصنيفات مبسطة.[1074]

وفي تجربة بحثية أجريت على طلاب في تخصصات الرعاية الصحية، استُخدم وكيل ذكاء اصطناعي لطرح آراء مثيرة للجدل أثناء النقاشات الجماعية.[1075] وأظهرت النتائج أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يعزز التنوع الفكري إذا استُخدم بطريقة مدروسة، من خلال طرح وجهات نظر مختلفة، وتوسيع نطاق النقاش، والتدخل بشكل محدود ومدروس.[1076]

ومع ذلك، واجهت التجربة عدة قيود، إذ اقتصر تدخل الذكاء الاصطناعي على 60 دقيقة فقط، ما قد يكون غير كافٍ لظهور أنماط تفاعل مستقرة بين المشاركين. كما اقتصرت التجربة على قراءة ردود الذكاء الاصطناعي ضمن إطار غير تفاعلي، ما دفع بعض الطلاب إلى انتقاد افتقاره للخبرة الإنسانية.[1077] وأشار الباحثون إلى أن هذه النتائج قد تمثل الحد الأدنى من الإمكانات الممكنة، لأن النماذج لم تُدرّب أساساً على العمل في هذا السياق التعاوني.[1078]

بشكل عام، تشير الأبحاث إلى أن علاقة الذكاء الاصطناعي بالتنوع الفكري علاقة مزدوجة. فمن جهة، قد يضخم التحيزات القائمة أو ينتج أنماطاً جديدة من التحيز الخوارزمي. ومن جهة أخرى، يمتلك إمكانات أولية للمساهمة في الحد من التفكير الجماعي إذا صُمم وضُبط بعناية لهذا الغرض.

ومع ذلك، سيظل التحيز تحدياً رئيسياً خلال العقد القادم، خصوصاً مع ظاهرة انحراف النماذج (Model Drift) التي تؤدي إلى تراجع أداء أنظمة الذكاء الاصطناعي مع مرور الوقت. وفي ظل غياب آليات واضحة لرصد التحيز أو معالجته.[1079] تظل هذه المخاطر قائمة. ورغم أن حلولاً تقنية مثل بروتوكول MCP،[1080] الذي يربط نماذج الذكاء الاصطناعي مع المنصات الأخرى. قد تتيح مستقبلاً أتمتة تدخلات تحدّ من التفكير الجماعي، فإن نجاح هذه الجهود سيعتمد على تطوير التشغيل البيني بين الأنظمة، وإدارة الحوار بشكل ذكي، والكشف المبكر عن الانحرافات، ودمج نظريات علم النفس الاجتماعي في تصميم هذه الأنظمة منذ البداية.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
الإطار العلمي

تعاون باحثي العلوم الاجتماعية مع مطوّري الخوارزميات لبناء نموذج يدمج علم النفس الاجتماعي، والتنوّع المعرفي، ونظريات عدم التنوّع الفكري، مع تحويل الأطر النظرية إلى سيناريوهات قابلة للاختبار ذات مؤشرات محدّدة.

- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- المنح
- المنح المرحلية

التدخّل الفوري

تنفيذ مجموعات نقاش مركّزة لاختبار أداء النماذج واستجابات الذكاء الاصطناعي، مع تجهيز البيئات بتقنيات معالجة اللغة الطبيعية وأجهزة استشعار لرصد أنماط الكلام وإشارات تفاعلية أخرى، بهدف اختبار تدخّلات الذكاء الاصطناعي، واستخلاص أنماط مثل توقيت التدخّل الأمثل، والمحفّزات الفعّالة، وحدود التنشيط، والأساليب غير الناجحة.

- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات

تكامل عملية الاستشعار

اعتماد معايير مفتوحة تمكّن التواصل بين وكلاء الذكاء الاصطناعي عبر منصات متعدّدة، مع اختبار الفرق للأنظمة في بيئات تنظيمية باستخدام تجارب عشوائية لقياس جودة القرارات ومستويات الرضا.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- المنح المُدمَجة

2023 **34**

المستقبل المنشود
تطوير النماذج

تحليل الباحثين بشكل مستمرّ لبيانات الاستخدام والنشر، وتنقيح الخوارزميات ودمج التغذية الراجعة، مع إتاحة برمجيات مفتوحة المصدر قابلة للتكيّف عبر سياقات متعدّدة. وتجميع بيانات مجهولة الهوية لتعزيز الفعالية عبر تأثيرات الشبكات، وترسيخ أطر واتفاقيات تضمن حلقات تغذية راجعة مستدامة وتحدّ من انحراف النماذج.

- المنح القابلة للتحويل
- صناديق رأس المال الاستثماري
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية

ملامح تطوّر الفرصة

تتلقى مجالس الإدارة وفرق العمل تنبيهات فورية عندما تفتقر النقاشات إلى تنوع كافٍ في وجهات النظر. وفي بعض الحالات، يتدخل الذكاء الاصطناعي لاقتراح أساليب تساعد الفرق على العمل بشكل أكثر فاعلية، من خلال طرح أسئلة تعزز التنوع المعرفي والجندري وغيره من أشكال التنوع. وبذلك تصبح القرارات أكثر ابتكاراً وفاعلية، بينما ينبه النظام الفرق تلقائياً عند غياب هذا التنوع في عملية اتخاذ القرار.

عوامل تمكين الفرصة

- تشغيل المنصة عبر نماذج ذكاء اصطناعي متعددة وتقنيات استشعار متنوعة
- تطوير مؤشرات متعددة الوسائط لرصد غياب التنوع الفكري
- توفير بيانات تدريب متنوعة وعالية الجودة تقلل من التحيز
- إرساء أطر واضحة لأخلاقيات الذكاء الاصطناعي والحوكمة
- الاستناد إلى نظريات راسخة في العلوم الاجتماعية قابلة للتطبيق عبر سياقات مختلفة

التحديات

- صعوبة إدارة انحراف النماذج مع مرور الوقت
- تحقيق الاستدامة المالية للأدوات دون تحفيز سلوكيات قائمة على التلاعب
- موقف الجمهور من استخدام الأنظمة الآلية لإدارة التحيز والتفكير الجماعي
- استمرار المخاوف الأخلاقية المرتبطة بمراقبة التفاعل البشري داخل الفرق

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

42 2023

كيف سيعيد الواقع الرقمي تشكيل المحاسبة المالية وأدوات كشف الاحتيال؟

الابتكار في علم المحاسبة

فقدت أساليب المحاسبة التقليدية كثيراً من فعاليتها في ظل التطوّرات التقنية والوسائل الجديدة للتقييم والقياس وإعداد التقارير، مما يفتح المجال لابتكارات جديدة في معالجة المشكلات وكشف الاحتيال.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى

إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

المتغيرات الغامضة

الأنظمة، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة

الذكاء الاصطناعي
مستقبل الأهداف والعمل
التعاون الدولي
الشراكة بين القطاعات

التكنولوجيا

إنترنت الأشياء
الذكاء الاصطناعي
الحوسبة الكمومية

الفئة

الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً

الخدمات المالية والمستثمرون
الخدمات الحكومية
التأمين وإعادة التأمين
الخدمات اللوجستية والشحن والنقل
التصنيع

الكلمات الرئيسية

تقنية البلوك تشين
تقنية دفتر الأستاذ الموزّع
معايير الاستدامة البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات
التحليلات الفورية
التكنولوجيا التنظيمية

أهمية الفرصة

يتجه سوق الذكاء الاصطناعي العالمي إلى نمو غير مسبوق، إذ يُتوقّع أن يبلغ حجمه نحو 4.8 تريليون دولار بحلول عام 2033، أي ما يعادل زيادة تقارب 25 ضعفاً خلال عقد واحد فقط.[1081] ولا يقتصر هذا التوسع على الجانب التقني، بل يُحدث تحولاً جوهرياً في مهنة المحاسبة، حيث أصبحت نسبة كبيرة من العمليات مؤتمتة بالفعل، فيما تتجه بقية المهام إلى الأتمتة الكاملة بوتيرة متسارعة.[1082] وبالتوازي مع ذلك، يشهد مجال الامتثال التنظيمي والمحاسبة تحولاً كبيراً مع تصاعد متطلبات قياس مؤشرات الاستدامة والإفصاح عنها. فقد أصبحت الشركات مطالبة بالامتثال لمعايير عالمية دقيقة، مثل معايير مجلس معايير الاستدامة الدولية (ISSB)،[1083] التي تتطلب مستويات من الدقة والموثوقية تضاهي ما هو معتمد في التقارير المالية التقليدية. وفي المقابل، تواجه مهنة المحاسبة تراجعاً واضحاً في إقبال الكفاءات الشابة، لا سيما في المراحل المهنية المبكرة.[1084] فقد انخفض عدد المتقدمين لاختبار المحاسب القانوني المعتمد بنسبة 33% بين عامي 2016 و2021، كما تراجع عدد خريجي تخصص المحاسبة بنسبة 8.4%. وتتفاقم هذه التحديات مع اقتراب نحو 75% من المحاسبين القانونيين المعتمدين حالياً من سن التقاعد.[1085]

الإيجابيات

تعزيز الشفافية والكفاءة، وتحسين تخصيص الموارد، ورفع القدرة على كشف الاحتيال، إلى جانب استيعاب التشريعات والتدفقات الجديدة ضمن عمليات المحاسبة والتسوية.

المخاطر

قد تصبح الأنظمة أكثر عرضة للهجمات السيبرانية نتيجة الإفراط في الاعتماد على التحليل المؤتمت، كما قد تعيق تبنّي التقنيات الجديدة تحديات مثل مقاومة التغيير وارتفاع التكلفة.

الوضع الحالي

اعتمدت المحاسبة التقليدية لسنوات طويلة على العمل اليدوي والجهد البشري، ما حدّ من قدرتها على مواكبة التوسع السريع في الجرائم المالية. وقد بلغت هذه التحديات ذروتها في عام 2023، حين مرّ عبر النظام المالي العالمي نحو 3.1 تريليون دولار من الأموال غير المشروعة.[1086] كما بلغت الخسائر الناتجة عن الاحتيال عالمياً 485.6 مليار دولار، كان أكثر من نصفها ناتجاً عن الاحتيال في المدفوعات الفورية، وهو ما أبرز الحاجة الملحّة إلى توظيف تحليلات البيانات كأداة وقائية أساسية.[1087]

ومع تطوّر أساليب الاحتيال واعتمادها المتزايد على الذكاء الاصطناعي، لم تعد العمليات اليدوية كافية للتصدي لهذه المخاطر بفاعلية.[1088] وظهر هذا الأثر بوضوح أكبر لدى الشركات الصغيرة، التي تتحمل عبئاً أعلى في مكافحة الاحتيال، إذ تصل التكلفة التي تتكبدها إلى 2.3% من إيراداتها، أي ما يعادل نحو خمسة أضعاف ما تتحمله الشركات الكبرى.[1089]

في المقابل، شهد استخدام الذكاء الاصطناعي في قطاع المحاسبة نمواً سريعاً، إذ ارتفعت نسبة الاعتماد عليه من 9% في عام 2024 إلى 41% في عام 2025.[1090] وأصبح جزءاً من العمل اليومي، خصوصاً في مهام مثل أتمتة إدخال القيود والمعاملات المالية وتلخيص المستندات.[1091] وفي مجال الامتثال التنظيمي، أسهمت التكنولوجيا التنظيمية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في خفض النتائج الإيجابية الخاطئة بنسبة 40%، ما عزز المراقبة الفورية والدقيقة.[1092] وانعكس هذا التطوّر مباشرة على كفاءة العمل، إذ أصبح المحاسبون الذين يستخدمون الذكاء الاصطناعي قادرين على إتمام الحسابات الشهرية أسرع بنحو سبعة أيام ونصف.[1093] كما سجلت الشركات التي استخدمت الذكاء الاصطناعي التوليدي تحسناً في جودة التقارير المالية، مع زيادة بلغت 12% في مستوى الدقة والتفصيل.[1094] وعلى صعيد التكاليف، ساعدت الأتمتة في خفض نفقات إجراءات "تعرّف على عميلك" من 22% إلى 15% من إجمالي الإنفاق.[1095]

في الوقت نفسه، يزداد ضغط المستثمرين المؤسسيين على الشركات لتوفير مستويات أعلى من الشفافية والمساءلة فيما يتعلق بالممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات، والتي أصبحت اليوم في صدارة الأولويات المحاسبية والتنظيمية.[1096] ومع ذلك، لا يزال الإفصاح عنها يشهد تغيرات مستمرة وتبايناً بين الأطر الإلزامية والطوعية من حيث النطاق والعمق.[1097] وتواجه الشركات صعوبات كبيرة في جمع هذه البيانات والتحقق منها والإفصاح عنها، نتيجة تشتت مصادر المعلومات، وتصاعد مخاطر الادعاءات البيئية المضللة (الغسل الأخضر)، وارتفاع تكاليف التكامل التقني، وهي تحديات تؤثر بشكل خاص على الشركات الصغيرة والمتوسّطة.[1098]

أما تقنية البلوك تشين، فرغم أنها كانت تُعدّ سابقاً من ركائز مستقبل القطاع المالي، لا يزال اعتمادها في مجال المحاسبة محدوداً وأبطأ بكثير من الذكاء الاصطناعي، وما تزال في مرحلة التجارب على المستوى العالمي.[1099] وكان من المتوقع أن تُحدث تحولاً جذرياً في أعمال التدقيق من خلال مفهوم التقييد الثلاثي في الدفاتر: مدين، دائن، وسجل معاملات مشفر ومختوم زمنياً، إلى جانب ما توفره من سجلات غير قابلة للتعديل وعقود ذكية.[1100] إلا أن هذا التحول الشامل لم يتحقق بعد. ومن اللافت أن شركات التدقيق الأربع الكبرى: "ديلويت" و"إرنست ويونغ"، و"كيه بي إم جي" و"برايس ووتر هاوس كوبرز"، بدأت الاستثمار في البلوك تشين منذ عام 2016، لكنها اتجهت لاحقاً إلى استخدام حلول جاهزة من أطراف خارجية بدلاً من تطوير أنظمة خاصة بها.[1101]

بلغت **تحديات الجرائم المالية** ذروتها في عام 2023، حين مرّ عبر النظام المالي العالمي نحو

3.1 تريليون دولار

من الأموال غير المشروعة.

كما بلغت الخسائر الناتجة عن الاحتيال عالمياً

485.6 مليار دولار

شهد استخدام الذكاء الاصطناعي نمواً سريعاً، إذ ارتفعت نسبة الاعتماد عليه من

%9 (2024) إلى

%41 (2025)

الشركات الصغيرة تتحمل عبئاً مالياً أكبر، إذ تبلغ التكلفة التي تتكبدها 2.3% من إيراداتها، أي ما يعادل نحو خمسة أضعاف ما تتحمله الشركات الكبرى.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
تكامل الذكاء الاصطناعي

قيام هيئات وضع المعايير وشركات التدقيق بإرساء شهادات رسمية لنزاهة الذكاء الاصطناعي، بينما تدمج الجهات الحكومية والشركات الخاصة الذكاء الاصطناعي التوليدي لأتمتة أعمال التقييد في الدفاتر الروتينية وتتبّع الأموال العامة على نطاق عالمي.

- جوائز التحديات
- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

الانتقـال إلى تقـنيات دفتر الأستاذ الموزّع

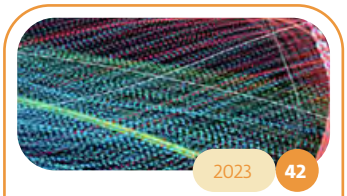
ترحيل البيانات المالية إلى تقنيات دفتر الأستاذ الموزّع بالتوازي مع التوسّع العالمي في الأصول والعملات الرقمية، مع تجاوز تدريجي للتحديات السابقة لدى الجهات العامة والخاصة، وضمان أصالة السجلات وسلامتها. وانتقال نظام الاعتماد إلى آليات تحقّق قائمة على تقنية البلوك تشين، مع تجربة هذا النموذج في مدن ودول مختارة.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات

تعزيز رأس المال الطبيعي

تسارع وتيرة الانتقال إلى تقنيات دفتر الأستاذ الموزّع، حيث تبث أجهزة إنترنت الأشياء بيانات فورية عن الموارد الطبيعية والبنية التحتية إلى دفاتر رقمية. ويضمن ذلك مواءمة المحاسبة العامة مع التغيّرات البيئية، وتمكين إعداد تقارير مؤتمتة ودقيقة لرأس المال الوطني.

- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- المنح المُدمَجة

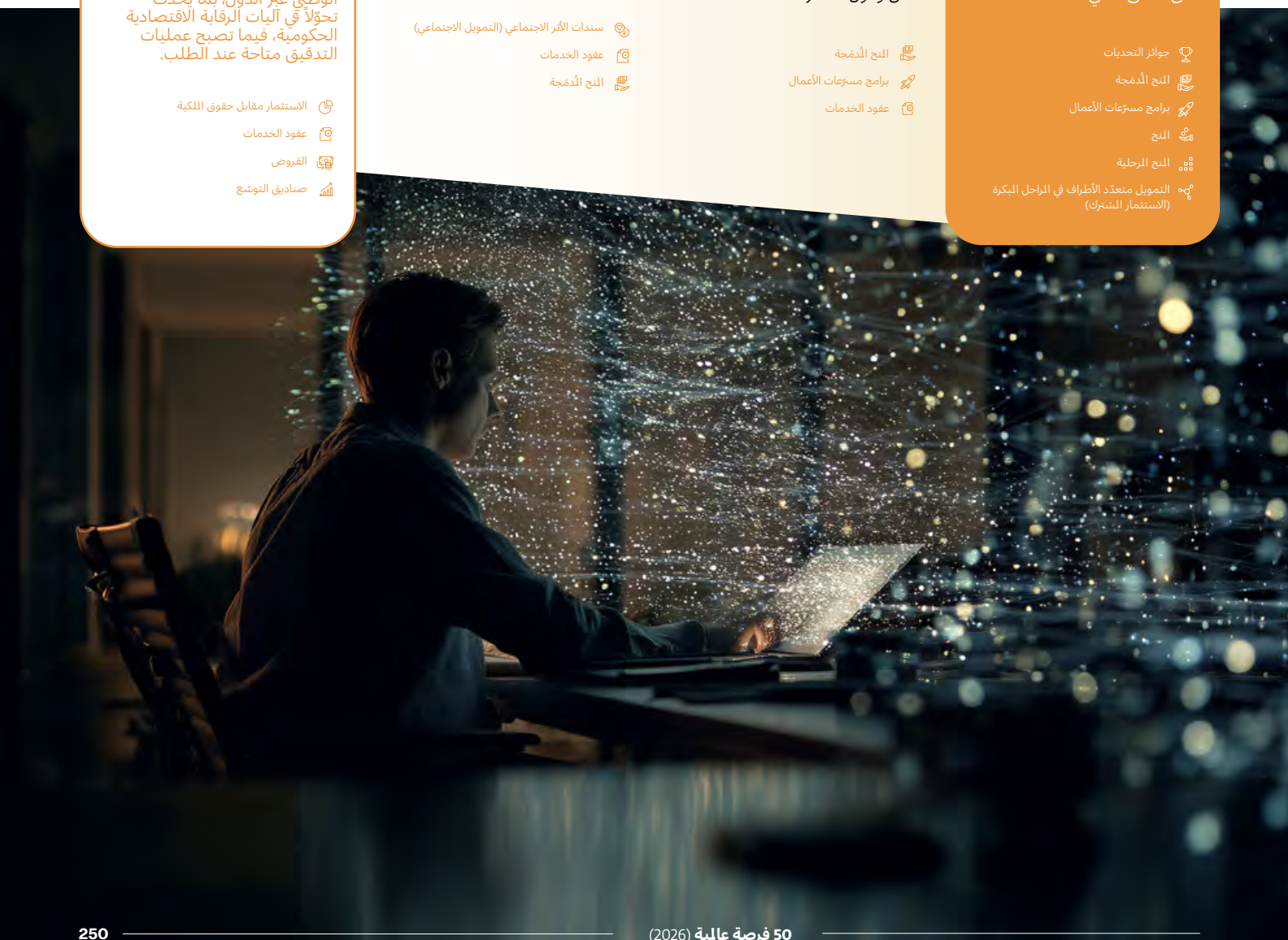


2023 **42**

المستقبل المنشود
إعادة تشكيل التمويل والمحاسبة الوطنية الذاتية

إدارة خوارزميات ذاتية لأنظمة التمويل العالمية تكشف الإحتيال والفساد وتحدّ منهما فوراً. وتوسّع نطاق التقارير المؤتمتة لرصد التقدّم الوطني عبر الدول، بما يُحدث تحوّلاً في آليات الرقابة الاقتصادية الحكومية، فيما تصبح عمليات التدقيق متاحة عند الطلب.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع



ملامح تطوّر الفرصة

تسهّل التقنيات الحديثة عمليات المحاسبة إلى حد كبير، من خلال المراقبة المستمرة للائتمان، والخصم، والإنفاق، والأنشطة الاقتصادية، فيما تتولى الخوارزميات تسوية المعاملات فور وقوعها. ونتيجة لذلك، تتراجع الحاجة إلى إقفال الحسابات شهرياً، إذ تصبح التقارير المالية متاحة عند الطلب وفي أي وقت. كما تتلقى مجالس الإدارة تنبيهات مؤتمتة، بينما تسهم الدفاتر المرتبطة بإنترنت الأشياء في أتمتة تقارير الثروة الوطنية، بما يجعل التعامل مع رأس المال الطبيعي أقرب إلى التعامل مع الأموال النقدية من حيث السيولة والموثوقية. وفي هذا السياق، لا يعود دور المحاسبين مقتصراً على تسجيل المعاملات، بل يتحولون إلى شركاء وقادة استراتيجيين داخل المؤسسات، يشاركون في تصميم أطر الضمان المؤتمتة، والتحقق من سلامة الخوارزميات، وتفسير تدفقات البيانات المستمرة. أما المدققون، فيتولون الإشراف على المنظومة بأكملها لضمان سلامتها ومصداقيتها.

عوامل تمكين الفرصة

- اعتماد معايير دولية موحدة للمقاييس المالية وغير المالية.
- تطوير منصات بيانات قابلة للتشغيل البيني.
- توفير تمويل مخصص لبناء ونشر أنظمة محاسبة وإعداد تقارير جديدة.
- تحوّل المحاسبين إلى خبراء استراتيجيين يشرفون على أنظمة الذكاء الاصطناعي.
- إنشاء بنية تحتية محاسبية قابلة للتوسع.

التحديات

- صعوبة التحقق من ممارسات الاستدامة البيئية والاجتماعية والحوكمة، بما في ذلك مكافحة الادعاءات البيئية المضللة (الغسل الأخضر).
- مخاطر انحراف النماذج في خوارزميات كشف الاحتيال الفوري.
- صعوبة توفير حلول مدروسة التكلفة للشركات الصغيرة والمتوسّطة.
- تعقيد المواءمة التنظيمية بين الولايات القضائية المختلفة.
- ضعف الإلمام بالذكاء الاصطناعي والحاجة إلى تطوير مهارات المحاسبين، لا سيما المنضمين الجدد إلى المهنة.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

45 2023

هل يمكن أن تصبح أكبر 500 شركة عالمية شركات افتراضية بالكامل؟

شركات رقمية بالكـــامل

قد يأتي وقت تحقّق فيه الشركات الافتراضية العاملة في الواقع الرقمي إيرادات تفوق نظيراتها القائمة في العالم الحقيقي.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
تسارع الانتقال إلى الواقع الرقمي الجديد

المتغيرات الغامضة
التعاون، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
الشراكة بين القطاعات
الاقتصاد الرقمي
مستقبل الأهداف والعمل
توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
التعاون الدولي

التكنولوجيا
الاتصال المتقدم
الأمن السيبراني
تقنيات دفتر الأستاذ الموزّع

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
تقنية المعلومات والاتصالات
السلع الاستهلاكية والخدمات والبيع بالتجزئة
الخدمات المالية والمستثمرون
التقنيات الغامرة
الفنون والإعلام والرياضة والترفيه

الكلمات الرئيسية
تدقيق الخوارزميات
المنظمات اللامركزية المستقلة
الأصول الرقمية
العلامات التجارية الرقمية الأصلية
المشاريع متناهية الصغر

أهمية الفرصة

أحدثت العلامات التجارية الرقمية الأصلية تحولاً جذرياً في السوق، إذ حققت معدلات نمو تفوق نمو التجارة الإلكترونية التقليدية بنحو ثلاثة أضعاف.[1102] وتمكنت بعض أسرع الشركات نمواً في هذا المجال من رفع إيراداتها من 50 مليون دولار إلى مليار دولار خلال فترة قصيرة تراوحت بين أربع وثماني سنوات فقط [1103] ويستند هذا النمو إلى الانتشار الواسع للاتصال الرقمي، إذ أصبح أكثر من 73% من سكان العالم متصلين بالإنترنت، فيما يقضي البالغ أكثر من 18 ساعة أسبوعياً على منصات التواصل الاجتماعي ومنصات مقاطع الفيديو.[1104] أما في سوق العمل، فتشير بيانات البنك الدولي إلى أن عدد العاملين في اقتصاد العمل الحر الرقمي بلغ ما بين 154 و435 مليون شخص في عام 2023.[1105] ومن المتوقع أن يواصل هذا التوجه نموه ليصل حجم اقتصاد المنصات العالمي إلى نحو 2.5 تريليون دولار بحلول عام 2035 [1106]

الإيجابيات

يوفّر هذا النموذج بيئة عمل أكثر انفتاحاً ومرونة، تساعد الشركات على استقطاب العملاء بسرعة، وتوسّع فرص العمل وأنماط التوظيف المرنة، وتدعم ريادة الأعمال، وتتيح نمواً متسارعاً يتجاوز الحدود الجغرافية.

المخاطر

قد يؤدي الاحتيال في البيئات التي تفتقر إلى تشريعات ولوائح تنظيمية كافية إلى تقويض ثقة المستهلك، كما يزيد من مخاطر الأمن السيبراني. وفي المقابل، قد تجد بعض العلامات التجارية نفسها مضطرة للعودة إلى الوجود المادي، بما يعيد إحياء نموذج الشركة متعددة الجنسيات.

المتوقع أن يواصل هذا التوجه نموه ليصل حجم اقتصاد المنصات العالمي إلى نحو

2.5 تريليون دولار بحلول عام 2035

الوضع الحالي

في 2021، رغم أن العلامات التجارية الرقمية الأصلية لم تكن واسعة الانتشار قبل سنوات قليلة، فإن التوقعات كانت تشير إلى أنها ستتفوق في معدلات نموها على شركات التجارة الإلكترونية التقليدية بنحو ثلاثة أضعاف.[1107] ومع الارتفاع الكبير في التجارة الاجتماعية بنسبة 575% بين عامي 2019 و2024، بدأت هذه العلامات تُحدث تحولاً واضحاً في سوق شركات السلع الاستهلاكية المعبأة التقليدية، مستفيدة من السرد القصصي المتفرد، والرسائل القائمة على القيم، والقدرة على بناء علاقة مباشرة مع المستهلك. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، تُرجمت هذه النجاحات إلى اكتتابات عامة أولية وعمليات خروج ناجحة خلال فترة تراوحت بين 8 و10 سنوات.[1108] وفي الوقت نفسه، عززت شركات البيع المباشر للمستهلك حضورها من خلال شراكات مع الشخصيات العامة والمؤثرين، إلى جانب التوسع في المتاجر الفعلية والمتاجر المؤقتة.[1109]

وفي قطاع مستحضرات التجميل، أصبحت العلامات التجارية الرقمية الأصلية أصولاً جاذبة للمجموعات الكبرى التي تسعى إلى دخول القطاعات الأعلى نمواً، خاصة تلك التي تتمتع بسمعة قوية وقاعدة وفية من المتعاملين من جيل الألفية وجيل زد.[1110] ويرتكز نجاح هذه العلامات على عدّة عوامل، أبرزها التفاعل المباشر مع المستهلك، وتطوير المنتجات بالاعتماد على آراء الجمهور، ووضوح قصة المؤسس وأصالتها، والشراكات الاستراتيجية، والشفافية في المنتجات والعمليات، وسرعة الوصول إلى السوق، إلى جانب نماذج التصنيع المرنة.[1111] ولا يقتصر هذا النموذج على مستحضرات التجميل، بل يمتد إلى قطاعات أخرى مثل الأزياء والملابس – التي تمثل وحدها نحو 93% من سوق البيع المباشر للمستهلك – إضافة إلى الأحذية، وأدوات المنازل، والأثاث.[1112]

وفي الوقت نفسه، تتجه هذه العلامات بشكل متزايد إلى افتتاح متاجر فعلية لتقديم تجارب تسوق تفاعلية. وقد أظهرت البيانات أن المبيعات عبر الإنترنت ارتفعت بنسبة 7% في المناطق التي افتُتحت فيها متاجر فعلية.[1113] ونتيجة لذلك، بدأت العلامات التجارية تتحول من الاعتماد على نموذج أحادي القناة إلى نموذج هجين يجمع بين القنوات الرقمية والمادية، حيث بات المستهلكون ينظرون إلى المتجر الفعلي باعتباره امتداداً طبيعياً للتجربة الرقمية.[1114]

أما المرحلة التالية للعلامات التجارية الرقمية الأصلية، فقد تتمثل في قدرتها على الاستجابة المباشرة لتأثير الذكاء الاصطناعي على مستقبل العمل، بما يجعل هذا التحول محفزاً جديداً لريادة الأعمال. ويكتسب ذلك أهمية خاصة في ظل التوقعات التي تشير إلى أن الذكاء الاصطناعي قد يقضي على نحو 50% من الوظائف الإدارية للمبتدئين في أولى مراحل المسار المهني، ويرفع معدلات البطالة بما يصل إلى 20% خلال فترة تتراوح بين عام وخمسة أعوام.[1115] وفي الوقت نفسه، يتزايد الاعتماد على أنظمة الذكاء الاصطناعي في إدارة المنصات المستخدمة حالياً في اقتصاد العمل الحر، حيث تتولى توزيع المهام، وإدارة المدفوعات، وتنظيم التواصل. ومع غياب أطر تنظيمية واضحة، قد يؤدي هذا الواقع إلى توسيع فجوة الدخل، وتفاقم عدم الاستقرار الوظيفي، وإضعاف أوضاع العاملين المستقلين.[1116] ومع تراجع الوظائف الإدارية التقليدية، قد يظهر جيل جديد من المشاريع الافتراضية، ليس بدافع الطموح فقط، بل بدافع الضرورة الاقتصادية.

ورغم أن ريادة الأعمال غالباً ما تزدهر في فترات الاضطرابات والتحوّل،[1117] فإن تأسيس المشاريع أصبح أكثر صعوبة في ظل المتغيرات الغامضة التي يُتوقع أن تظل خطراً عالمياً رئيسياً حتى عام 2036.[1118] ورغم أن 68.6% من الاقتصادات تشير إلى سهولة إجراءات تأسيس الأعمال، فقد ارتفعت نسبة الخوف من الفشل من 68% إلى 84.3%.[1119] كما لا تزال نحو 70% من الاقتصادات تفتقر إلى بيئات ريادية كافية وداعمة.[1120]

ارتفعت المبيعات عبر التجارة الاجتماعية بنسبة
%575
بين عامي 2019 و2024، ما أحدث تحوّلاً واضحاً في سوق شركات السلع الاستهلاكية العالمية التقليدية.

يوفر افتتاح متاجر فعلية فرصاً لتعزيز حضور العلامات التجارية عبر الإنترنت، حيث ارتفعت المبيعات عبر الإنترنت **بنسبة تقارب 7% في المناطق التي افتُتحت فيها متاجر فعلية.**

تشير التوقعات إلى أن الذكاء الاصطناعي قد يؤدي إلى القضاء على نحو
%50
من الوظائف الإدارية للمبتدئين في أولى مراحل السلم الوظيفي، ويرفع معدلات البطالة إلى نحو
%20
خلال خمس سنوات.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
إطـلاق البيـئة التجريبية العالمية

إطلاق بيئة تجريبية عالمية بوصفها بيئة اختبار عابرة للحدود للعلامات التجارية الرقمية الأصلية، لتمكينها من تجربة نماذج أعمال افتراضية قادرة على المنافسة على مستوى شركات جلوبال 500.

- المنح المُدمّجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- المنح

مخطّط شركات جلوبال 500

تحديد القطاعات ذات الإمكانات العالية للعلامات التجارية الرقمية الأصلية من قبل شركاء البيئة التنظيمية التجريبية، وهيكلتها لتحقيق نمو على مستوى مؤسسي، بما يمهّد الطريق لتأسيس شركات قادرة على الوصول إلى حجم أكبر 500 شركة عالية (في قائمة فورتشن)، مع تصميم هياكل قانونية للكيانات التي يُتوقع أن تتجاوز قيمتها 10 مليارات دولار في المستقبل.

- المنح المُدمّجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- جوائز التحديات
- عقود الخدمات
- المنح

تجربة نماذج العلامات التجارية الرقمية الأصلية

إطلاق علامات تجارية رقمية أصلية بهياكل حوكمة مؤسسية وقابلية توسّع مؤتمتة في عدد من المدن أو الدول الشريكة، بهدف اختبارها كنماذج تشغيلية. وقد تمتد هذه التجارب لتشمل نماذج تنظيمية جديدة، مثل المنظمات اللامركزية المستقلة.

- عقود الخدمات
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض القابلة للتحويل
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

2023 **45**

المستقبل المنشود
الترخيص والتوسّع العالمي

اعتماد إطار ترخيص عالمي موحّد بين الشركاء تحت مسمّى "الهوية الرقمية "، بما يتيح للعلامات التجارية الرقمية الأصلية العمل عبر الأسواق الدولية من دون الحاجة إلى مقرّات فعلية. وفي هذا السياق، تتحوّل البيئات التنظيمية التجريبية العالمية إلى شبكة مفتوحة تسمح بانضمام أطراف جديدة، وتسهم في دعم هذه النماذج.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض القابلة للتحويل

ملامح تطوّر الفرصة

تصبح العلامات التجارية الرقمية الأصلية النموذج العالمي القياسي للنمو، متفوقة على العلامات التقليدية بفضل قدرتها على التوسع السريع المعتمد على الخوارزميات. وتتمكن النماذج الناجحة من الانتقال بسلاسة من القنوات الرقمية إلى الواقع المادي وتحقيق انتشار واسع. كما يتيح الذكاء الاصطناعي خلق فرص عمل جديدة عبر المشاريع متناهية الصغر المدعومة بهذه العلامات. ولا يرتبط هذا التحول بثقافة المؤثرين فقط، بل بقدرة الأدوات الجاهزة للتشغيل على تمكين الأفراد من إطلاق مشاريعهم الخاصة بسهولة، بحيث يصبح أي فرد قادراً على إدارة مشروع رقمي متناهي الصغر.

عوامل تمكين الفرصة

- تفعيل هويات أعمال قائمة على البلوك تشين تدعم العقود الذكية ونماذج الحوكمة اللامركزية.
- اعتماد تراخيص هوية رقمية تتيح عمليات افتراضية سلسة وعابرة للحدود ومتعددة المنصات، مع مواءمة ضريبية.
- إنشاء سجلات تدقيق فورية تربط الإيرادات تلقائياً بالولايات القضائية التي تُنشئ القيمة الاقتصادية الفعلية.
- تطوير مجمعات تأمين لامركزية تحل محل الأصول المادية لتوفير حماية مؤتمتة للمستهلك.

التحديات

- غياب المزايا التي يمكن الاحتفاظ بها عند التنقّل بين المنصات، وضعف الحماية الوظيفية للعاملين الرقميين.
- تنافس الدول على استقطاب الشركات الرقمية عبر مناطق افتراضية خاصة.
- عدم وضوح الأطر القانونية لتحديد المساءلة عن قرارات الأعمال الذاتية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي.
- الحاجة إلى تدقيق معياري وفوري لضمان النزاهة المؤسسية وسلامة الخوارزميات.
- محدودية وصول الفئات ذات الاتصال الضعيف بالإنترنت إلى الفرص الرقمية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

6 2024

ماذا لو أصبحت خدمات طب الأشعة مصمّمة وفق البيانات الصحية لكل مريض؟

ثـــورة فـــي طب الأشعة

يسهم التقدّم في علم الجينوم وتعلّم الآلة في تمكين طب الأشعة الشخصي، بما يعزّز دقة التشخيص، ويساعد على تحديد العلاج الأنسب لكل حالة، ويدعم صياغة سياسات رعاية صحية أكثر فاعلية.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، القيم المجتمعية

الاتجاهات السائدة
الذكاء الاصطناعي
علم الجينوم
الإنسان في مواجهة الآلة
الطب الشخصي
تكنولوجيا الاستشعار

التكنولوجيا
الذكاء الاصطناعي
علم الجينوم
تقنيات الاستشعار

الفئة
الصحة

القطاعات الأكثر تأثّراً
أمن المعلومات والأمن السيبراني
علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة
الخدمات الحكومية
الصحة والرعاية الصحية
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية
تشخيصات الذكاء الاصطناعي متعدّدة الوسائط
طب الأشعة الشخصي
التشخيص الدقيق
التصوير التنبؤي
علم الجينوم الإشعاعي

أهمية الفرصة

من المتوقّع أن تتسبب الأمراض المزمنة في نحو 86% من الوفيات السنوية بحلول عام 2050,[1121] إلا أن التقدّم في وسائل التشخيص، ولا سيّما في علم الجينوم والتصوير الإشعاعي، يفتح المجال للتعامل مع هذه الأمراض بفاعلية أكبر. في المقابل، يواجه العالم نقصاً متزايداً في أعداد أطباء الأشعة،[1122] إلى جانب ارتفاع معدلات الإرهاق المهني بين العاملين في القطاع الطبي عموما.[1123] ففي الولايات المتحدة، ارتفع الطلب على أطباء الأشعة بنسبة 30% منذ عام 2017، بينما يزداد الطلب في المملكة المتحدة بمعدل 5% سنوياً، في وقت لا ينمو فيه عدد الكوادر الطبية إلا بنسبة 3% فقط.[1124] ومع هذا الضغط المتزايد، يضطّر طبيب الأشعة في المتوسّط إلى تفسير صورة واحدة كل 3 إلى 4 ثوانٍ خلال يوم عمل يمتد 8 ساعات.[1125] لكن الذكاء الاصطناعي مرشح لإحداث نقلة نوعية في هذا المجال، من خلال خفض عبء العمل على أطباء الأشعة بنسبة تصل إلى 53%، وتقليص زمن إعداد التقارير بنسبة 63%، إلى جانب تحسين دقة التشخيص بشكل عام.[1126]

الإيجابيات

يسهم طب الأشعة الشخصي في دعم التشخيص، وتحسين كفاءة العلاجات، وتطوير سياسات الرعاية الصحية.

المخاطر

إلى جانب المخاوف التقليدية المرتبطة بخصوصية البيانات في القطاع الصحي، قد يؤدي الاعتماد المفرط على تعلّم الآلة المتقدّم إلى تجاهل الحالات الاستثنائية أو التغاضي عن الأخطاء الطبية المحتملة، بما قد يهدّد صحة المريض. كما أن دمج الصور الطبية عالية الجودة مع العلامات الجينية أو المعلومات الوراثية قد يجعل فوائد طب الأشعة الشخصي محصورة بالدول الغنية فقط.

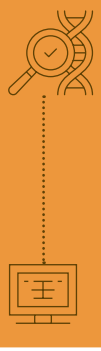
الوضع الحالي

يجمع علم الجينوم الإشعاعي بين صور الأشعة الطبية وبيانات علم الجينوم لفهم طبيعة الأمراض والتنبؤ بسلوكها من دون الحاجة إلى تدخلات جراحية. ويساعد هذا النهج على تقليل المضاعفات الطبية، وتفادي أخطاء أخذ العينات، وخفض التكاليف المرتفعة المرتبطة بالخزعات التقليدية.[1127] وبفضل تقنيات الذكاء الاصطناعي، وخاصة خوارزميات التعلّم العميق، أصبح بالإمكان التنبؤ بالطفرات الجزيئية، وتقدير مدى استجابة المرضى للعلاج، وتحديد مراحل تطوّر المرض بدقة أكبر، لا سيّما في تشخيص وعلاج السرطان.[1128]

ورغم ما حققته هذه التطبيقات من دقة مرتفعة في تشخيص الورم الدبقي وسرطان الرئة، إضافة إلى نجاحها في التصنيف الجزيئي لسرطان الثدي،[1129] لا يزال الانتقال إلى الاستخدام السريري الواسع يواجه تحديات أساسية، في مقدمتها ضمان استقرار النماذج عبر مراكز التصوير المختلفة ورفع كفاءة استخدامها في البيئات السريرية الواقعية، وتطوير أنظمة ذكاء اصطناعي قابلة للتفسير تساعد الأطباء في فهم الأساس الطبي لكل قرار. كما تبرز الحاجة إلى قواعد بيانات واسعة ودقيقة تربط بين الصور الطبية وبيانات علم الجينوم، إلى جانب إجراء دراسات متعددة المراكز للتحقّق من موثوقية هذه التقنيات خارج البيئات البحثية التي طُوّرت فيها.[1130]

ومع تطوّر دور أطباء الأشعة من خبراء في تفسير صور الأشعة التقليدية إلى مختصّين في إدارة المعلومات،[1131] أصبح من الضروري دمج كميات كبيرة ومتنوّعة من البيانات تشمل التصوير الطبي، وبيانات علم الجينوم، ونتائج علم الأمراض، وبيانات أجهزة الاستشعار القابلة للارتداء والسجلات الصحية الإلكترونية. ويتم ذلك من خلال أنظمة ذكاء اصطناعي متعدّدة الوسائط تتفوّق بوضوح على الأساليب المعتمدة على مصدر واحد للبيانات،[1132] إذ تتيح بناء ملفات صحية شاملة للمرضى عبر مختلف مراحل حياتهم. وتكمن قوة هذه الأنظمة في قدرتها على التنبؤ المبكر بالأمراض، مثل توقّع الإصابة بسرطان الثدي قبل ظهوره بسنوات، أو تقدير خطر الإصابة بسرطان البنكرياس بالاعتماد فقط على السجلات الصحية الإلكترونية.[1133] ومع ذلك، يظهر تحدٍ جديد يتمثّل في زيادة العبء الذهني على أطباء الأشعة نتيجة الحاجة إلى تفسير عدد كبير من النتائج المعقّدة، ما قد يستبدل عبء العمل التقليدي بعبء معلوماتي جديد.[1134]

ولنجاح هذا التحوّل، لا بد من معالجة فجوة المعرفة. فالتدريب التقليدي لأطباء الأشعة، القائم على تفسير الصور فقط، لم يعد كافياً. وتبرز الحاجة إلى تحديث المناهج لتشمل علوم البيانات، والمعلوماتية الحيوية، وعلم الجينوم، وبيولوجيا النظم.[1135] كما ينبغي أن يؤدي أطباء الأشعة دوراً قيادياً في تصميم أدوات الذكاء الاصطناعي بما يتناسب مع طبيعة عملهم اليومي. ويتطلب هذا التطوّر أيضاً ضمان عدالة الوصول إلى البيانات، وبناء أنظمة شفافة، ووضع أطر تنظيمية حديثة تعزز الثقة في هذه التقنيات من خلال تطبيقها العملي في البيئات السريرية.[1136]



يجمع علم الجينوم الإشعاعي بين صور الأشعة الطبية وبيانات علم الجينوم لفهم طبيعة الأمراض بشكل أعمق من خلال الدمج بين الاختلافات الجينية وبيانات الصور.

رغم ما حققته تطبيقات علم الجينوم الإشعاعي من دقة مرتفعة في تشخيص الورم الدبقي وسرطان الرئة، إضافة إلى نجاحها في التصنيف الجزيئي لسرطان الثدي، **لا يزال الانتقال إلى الاستخدام الواسع يواجه تحديات أساسية**

التدريب التقليدي لأطباء الأشعة، القائم على تفسير الصور فقط، لم يعد كافياً

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
البحث والتطوير

ترسيخ تعاون عالمي متعدّد الأطراف لوضع أطر أخلاقية واضحة تنظّم مشاركة بيانات الأشعة الجينومية وحوكمة استخدام الذكاء الاصطناعي. وتنفيذ تجارب تطبيقية مشتركة بين قطاعات مختلفة تجمع بين التصوير الطبي وبيانات علم الجينوم وتعلّم الآلة لإثبات جدوى هذه التقنيات، مع التركيز على أبرز الأمراض التي تمثّل تحديات صحية عالمية.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

تفعيل الدمج السريري والتحقّق

تفعيل البيئات التنظيمية التجريبية لإنشاء قواعد بيانات تجمع بين التصوير الطبي وبيانات علم الجينوم، مع اعتماد بروتوكولات تضمن قابلية التشغيل البيني بين الأنظمة. والتحقّق من دقّة التشخيصات المعتمدة على الذكاء الاصطناعي عبر فئات سكانية مختلفة من خلال التجارب السريرية. وبالاستناد إلى الأدلة الناتجة عن هذه البيئات، إبرام اتفاقيات ثنائية لتبادل البيانات، بالتوازي مع إعداد برامج تدريبية تمكّن أطباء الأشعة من أداء أدوارهم المتطوّرة.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

اعتماد أنظمة تشخيص مؤتمتة

نشر أنظمة تشخيص متعدّدة الوسائط تعتمد على الذكاء الاصطناعي عبر شبكات تجريبية في مناطق مختلفة، مع التحقّق في عدة مواقع لتأكيد الدقة السريرية والجدوى الاقتصادية على نطاق واسع. وتبنّي الأنظمة على نطاق أوسع في ظل تراكم الأدلّة، بالتوازي مع انتقال أطباء الأشعة بشكل منهجي إلى أدوار تركّز على تحليل الحالات الاستثنائية والمعقّدة.

- صناديق التوسّع
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- صناديق رأس المال الاستثماري

2024 **6**

المستقبل المنشود
تطوير نظام متكامل لطب الأشعة الشخصي

اعتماد طب الأشعة الشخصي بوصفه ممارسة طبية معيارية على المستوى العالمي، من خلال دمج التصوير الطبي وبيانات علم الجينوم والذكاء الاصطناعي بشكل متكامل داخل النظم الصحية. وتركيز أطباء الأشعة على تحليل الحالات المعقّدة وغير الاعتيادية، فيما تُسهم الرؤى التشخيصية المجمّعة في دعم سياسات الصحة العامة.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

تتحسن دقة التشخيص وسرعته بشكل ملحوظ، ما يقلّص الفترة الزمنية بين ظهور الأعراض والتشخيص، ويتيح التدخل المبكر بأقل قدر ممكن من الجراحة. ونتيجة لذلك، ينتقل أطباء الأشعة من قراءة الصور إلى أدوار سريرية أكثر استراتيجية، يشاركون من خلالها في معالجة الحالات المعقدة ضمن فرق متعددة التخصصات. كما تسهم التقارير المؤتمتة في التخفيف من الإرهاق المهني الذي يعاني منه خبراء الأشعة، إلى جانب تحسين النتائج الصحية. وعلى نطاق أوسع، تتيح أنظمة مراقبة الصحة العامة تنفيذ تدخلات وقائية موجّهة، فيما تحل خطط العلاج الشخصي محل أساليب التجربة والخطأ التقليدية.

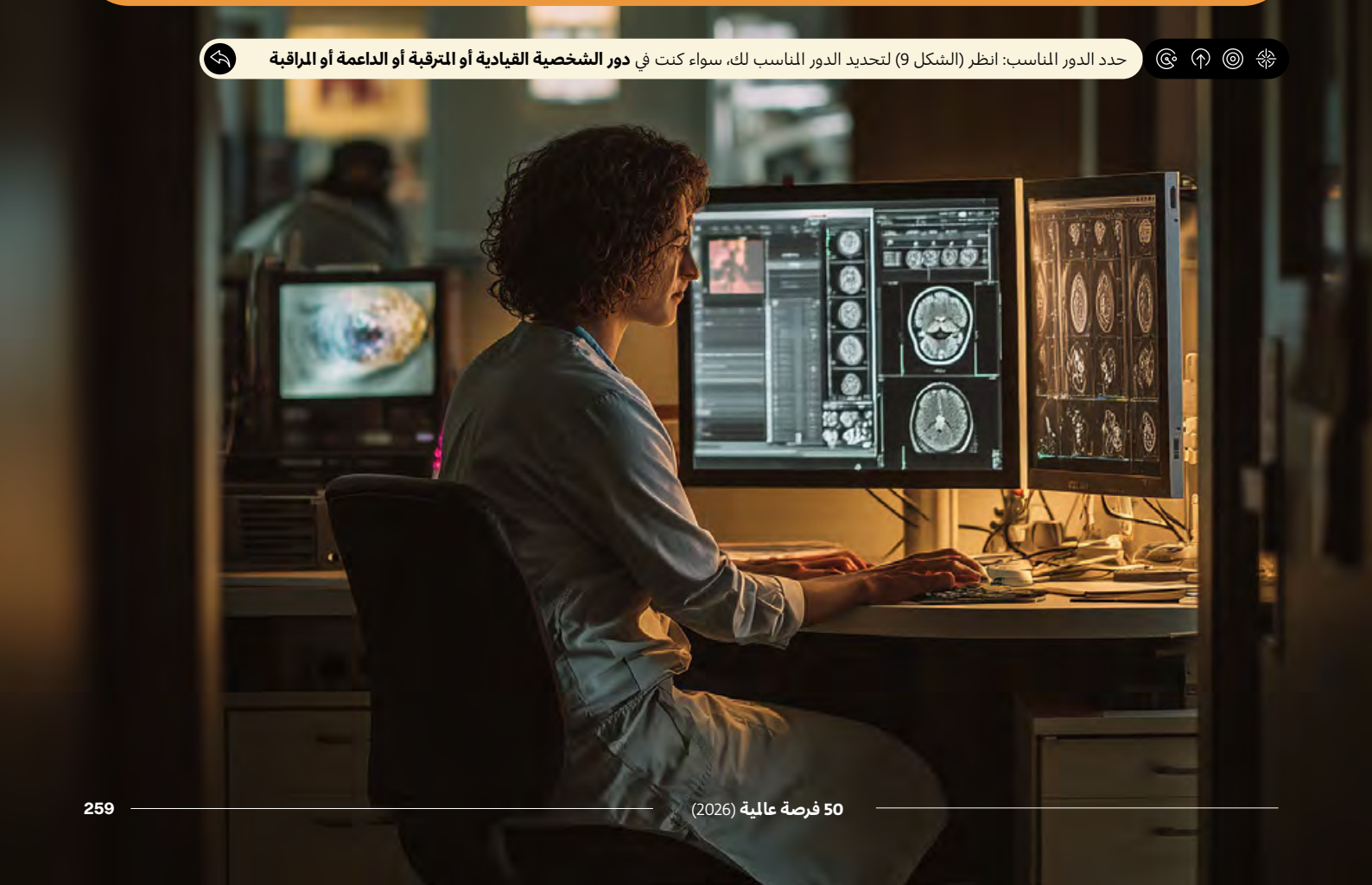
عوامل تمكين الفرصة

- تطوير أنظمة قابلة للتشغيل البيني تدمج التصوير الطبي، وعلم الجينوم، والسجلات الصحية، وأدوات الذكاء الاصطناعي.
- إرساء أطر تنظيمية واضحة تحدّد معايير التحقّق، وإرشادات المسؤولية، ومسارات اعتماد الذكاء الاصطناعي.
- اعتماد برامج تدريب متخصّصة تجهّز أطباء الأشعة لتحليل الحالات الاستثنائية ودعم اتخاذ القرارات السريرية.
- تطوير مجموعات بيانات متنوّعة وعالية الجودة تضمن خصوصية المرضى وتمثّل فئات سكانية مختلفة.
- إنشاء بنية تحتية حاسوبية فورية لمعالجة بيانات التصوير وعلم الجينوم بكفاءة عالية.

التحديات

- مخاطر انتهاك خصوصية البيانات عند دمج معلومات تصويرية وجينية حساسة عبر الحدود.
- تحيّز الخوارزميات بما يؤدي إلى أداء غير متّسق للذكاء الاصطناعي عبر الفئات المجتمعية والبيئات المختلفة.
- تخوّف أطباء الأشعة من تغيّر أدوارهم وتأثير ذلك على أمانهم الوظيفي واستقلاليتهم المهنية.
- ارتفاع التكاليف وتعقيد دمج الأنظمة القديمة مع منصات الذكاء الاصطناعي الحديثة.
- الغموض التنظيمي بشأن المسؤولية القانونية عن أخطاء أو سهوات التشخيص المدعوم بالذكاء الاصطناعي.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**



14 2024

كيف يمكن للبيئات الحيوية الافتراضية المغلقة أن تعيد تشكيل السياسات البيئية؟

بيئات حيوية افتراضية

سيشكّل إجراء التجارب والاختبارات داخل بيئات حيوية رقمية مغلقة، تُحاكى بواسطة الذكاء الاصطناعي المتقدّم – أو ما يُعرف بالقباب الحيوية الرقمية – أساساً جديداً لوضع سياسات تعطي الأولوية للحفاظ على الطبيعة، وترميمها، وتعزيز الأنشطة البشرية الصديقة للبيئة.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

التوجهات العالمية الكبرى
إدارة النُظم البيئية

المتغيرات الغامضة
الطبيعة، التكنولوجيا

الاتجاهات السائدة
الذكاء الاصطناعي
تقنيات المناخ
التعاون الدولي
استعادة الطبيعة

التكنولوجيا
النُظم البيئية المحاكاة بالذكاء الاصطناعي
التحليل الفوري للبيانات

الفئة
الطبيعة والاستدامة

القطاعات الأكثر تأثّراً
الزراعة والغذاء
الخدمات الحكومية
الخدمات المالية والمستثمرون
البنية التحتية والبناء
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية
التنوّع الحيوي
القباب الحيوية
التوائم الرقمية
مبادئ FAIR التوجيهية
الحدود الكوكبية

أهمية الفرصة

إذ يواجه 48,646 نوع من الكائنات الحية خطر الانقراض،[1137] بزيادة مقلقة قدرها 4,646 كائن مقارنةً بالتوقّعات في تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" لعام 2024.[1138] وقد ظهر هذا التدهور بوضوح خلال عام 2024، حين فقد العالم نحو 67,177 كم² (كيلومتر مربع)[S] (أصغر قليلاً من أيرلندا)[1139] من الغابات المطيرة الأولية، أي ما يعادل خسارة مساحة 18 ملعب كرة قدم كل دقيقة.[1140] وفي الوقت نفسه، أدى تحمّض المحيطات في عام 2025 إلى تجاوز سبعة من أصل تسعة حدود كوكبية تحدد نطاق الأمان البيئي لاستدامة الحياة على الأرض.[1141] ورغم خطورة هذا الوضع، لا تزال أساليب الحفاظ التقليدية تعاني من نقص البيانات الفورية اللازمة لتقييم أثر السياسات البيئية، كما لا تزال وتيرة تبنّي تقنيات إنترنت الأشياء أبطأ من المطلوب لاتخاذ قرارات فعالة تضمن حماية الطبيعة.

يواجه
48,646
نوعاً من الكائنات الحية خطر الانقراض، بزيادة مقلقة قدرها 4,646 نوع مقارنة بالتوقعات السابقة. كما تشير التقديرات إلى فقدان نحو
67,177 كم²
من الغابات المطيرة الأولية عام 2024.

الإيجابيات

تسهم القباب الحيوية الافتراضية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في تعميق الاهتمام بالطبيعة وجمالها ومواردها القيّمة، كما تمثل أداة أساسية لدعم القرارات المستدامة بيئياً. وإلى جانب ذلك، توفّر البيانات الناتجة عنها للمجتمعات العلمية المتنوعة أساساً معرفياً يتيح إجراء مزيد من الأبحاث حول الطبيعة والمناخ.

المخاطر

قد يؤدي التمويل المحدود أو الخلل في تصميم نماذج المناطق الحيوية الافتراضية إلى سلوكيات بيئية غير مرغوبة، بما يضعف جودة المخرجات ويحد من تنوع التحديثات على هذه النماذج. كما قد تمنح تحليلات القباب الحيوية الافتراضية بعض الجهات فهماً أوسع للسوق والموارد، بما قد يشجع ممارسات تؤدي إلى استغلال الطبيعة بدلاً من حمايتها.

تكشف الحسابات أن عام 2025 شهد تجاوز **سبعة من أصل تسعة حدود كوكبية تحدد نطاق الأمن البيئي لاستدامة الحياة على الأرض،** ورغم خطورة هذا الأمر لا تزال أساليب الحفاظ التقليدية تعاني نقص البيانات الفورية اللازمة لتحليل السياسات البيئية.

S محوّل من 16.6 فدان

الوضع الحالي

توجد حول العالم عدة قباب حيوية بارزة تُستخدم لأغراض البحث العلمي، وحماية الطبيعة، والتوعية العامة. ومن أبرز هذه النماذج "ذا جرين بلانيت" في دبي بدولة الإمارات العربية المتحدة،[1142] و"بيودوم مونتريال" في كندا،[1143] ومشروع "عدن" في المملكة المتحدة،[1144] و"غاردنز باي ذا باي" في سنغافورة،[1145] إلى جانب أوّل قبة حيوية تحت الماء وهي "نيموز غاردن" في إيطاليا.[1146] وعادةً ما تُصمّم هذه القباب لمحاكاة خمسة أنواع رئيسية من النُظم البيئية، هي النُظم المائية، والصحراوية، والغابات، والمراعي، والتندرا.[1147]

ورغم التوسع في استخدام المحاكاة الافتراضية في العلوم البيئية، لا تزال نماذج التوائم الرقمية المتكاملة نادرة في صنع السياسات الوطنية وفي إدارة القباب الحيوية نفسها.[1148] ويُعدّ مشروع " نيموز غاردن" مثالاً رائداً في هذا السياق، باعتباره أوّل قبة حيوية في العالم مدعومة بتقنية التوائم الرقمية عبر منصة "سيمنز إكسيليريتور"[1149] وفي هذا النموذج، يتيح التوأم الرقمي محاكاة دقيقة لتصميم الغلاف الحيوي، وظروف النمو، والتفاعلات البيئية مع المسطحات المائية، وبيئات التشغيل ككل.[1150] وبالاعتماد على أنظمة تعلّم الآلة، تُحلَّل بيانات المستشعرات ومقاطع الفيديو فورياً عبر لوحات تحكم سحابية وأجهزة حوسبة طرفية، ما يقلل الحاجة إلى جمع البيانات يدوياً ويفتح المجال أمام تحسين مؤتمت وشامل لعمليات القباب الحيوية.[1151]

ومن المتوقع أن ينمو سوق التوائم الرقمية العالمي بنحو سبعة أضعاف، من 21 مليار دولار في عام 2025 إلى 150 مليار دولار بحلول عام 2030، مدفوعاً أساساً بقطاعي الرعاية الصحية[1152] والتخطيط الحضري.[1153] لكن تطوير التوائم الرقمية يتطلّب اتصالاً دائماً بالإنترنت لدعم أجهزة إنترنت الأشياء، ويواجه تحديات تتعلّق بجودة البيانات وارتفاع تكاليف التخزين السحابي، خصوصاً في الدول التي تفتقر إلى بنية تحتية قوية للاتصالات.[1154] وعلى المستوى التنفيذي، لا يُعد بناء التوائم الرقمية حلاً سريعاً، بل هو مشروع طويل الأجل يستغرق سنوات من العمل، ويتطلب صيانة دائمة واستثمارات ممتدة لعقود. كما يعتمد نجاحه على تضافر فرق متعددة التخصصات تضم علماء البيئة، ومطوّري البرمجيات، وعلماء الاجتماع، والمستخدمين النهائيين؛ وذلك في ظل نقص واضح في مساحات العمل المشتركة، المادية والافتراضية، اللازمة لتبادل المعرفة والتنسيق. ومن هذا المنطلق، تبقى التوائم الرقمية عديمة الجدوى ما لم يمتلك أصحاب المصلحة الإرادة والقدرة على اتخاذ قرارات فعلية استناداً إلى الرؤى التي تقدمها هذه النماذج.[1155]

وتسلّط بعض التجارب وحالات الاستخدام[1156] الضوء على أهمية الحسم في قضايا مثل خصوصية البيانات، وشفافية الخوارزميات، والتحيّز، وغياب الأطر القانونية لمساءلة القرارات الآلية.[1157] ورغم أن وضع قواعد سلوك للتصميم الأخلاقي للتوائم الرقمية يمثل خطوة مهمة، فإن القيمة الحقيقية لهذه النماذج تكمن في كونها بيئات تجريبية تمكّن صناع القرار من اختبار أثر التدخلات قبل تنفيذها على أرض الواقع.[1158] ومع ذلك، يبقى نجاح هذه النماذج مرهوناً بثلاثة عوامل رئيسية هي: الثقة المتبادلة، والأطر الأخلاقية الواضحة، والتمويل المستدام طويل الأجل. فبدون هذه الركائز، قد تعجز الأنظمة – مهما بلغت درجة تطوّرها - عن إحداث تأثير حقيقي في السياسات الواقعية أو تحقيق نتائج بيئية ملموسة.[1159]

ومن المتوقع أن ينمو **سوق التوائم الرقمية العالمي** من
21 مليار دولار
في عام 2025

إلى
150 مليار دولار
بحلول عام 2030

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف الحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي

تطوير مركز للنماذج الأوّلية

تحالف من جهات متعدّدة لإنشاء بيئات تنظيمية تجريبية للسياسات، بهدف اختبار القباب الحيوية المحلية، والتحقّق من الفرضيات، وتوحيد المعايير، وإثبات القيمة التطبيقية عبر مختلف القطاعات.

- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات

توسيع نطاق المختبرات

ربط عمليات المحاكاة المحلية العالية من خلال نظام موزّع من القباب الحيوية الرقمية، بالاستفادة من البيانات الاصطناعية التوليدية لسد فجوات الاستشعار، مع مواءمة أساليب التحقّق وأطر الحوكمة عبر النُظم البيئية والولايات القضائية المختلفة.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

اعتماد القباب الحيوية لصنع السياسات

توسيع نطاق القباب الحيوية عالمياً من خلال اعتماد معايير دولية وبروتوكولات مفتوحة، وأطر تفويض متعدّدة الأطراف، مع دمج مخرجاتها بشكل منهجي ضمن أنظمة صنع السياسات، والتمويل، والتخطيط.

- صناديق التوسّع
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- القروض
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق رأس المال الاستثماري

2024 **14**

المستقبل المنشود

التوسّع العالمي للقباب الحيوية الافتراضية

اعتماد القباب الحيوية الرقمية القابلة للتشغيل البيني على المستوى العالمي، بما يسهم في دعم أهداف التنوّع البيولوجي الدولية وتوجيهها، إلى جانب وضع سياسات واستثمارات وسرديات عامة تراعي الخصوصيات البيئية والثقافية لكل منطقة.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض

ملامح تطوّر الفرصة

توفر القباب الحيوية الرقمية محاكاة بيئية فورية مدعومة بالذكاء الاصطناعي، بما يتيح صياغة سياسات استباقية قائمة على الأدلة. كما تساعد هذه القباب على ترجمة قيمة الطبيعة إلى أطر اقتصادية قابلة للتطبيق، وتوضيح الآثار المتوقعة للقرارات البيئية بطريقة تعزز مشاركة المجتمع وتقلل الأخطاء البيئية المكلفة. كما تسهم هذه الأدوات في إثراء النقاشات السياسية عالمياً، وتوليد فوائد قابلة للقياس، من بينها الحد من فقدان التنوع الحيوي. وبوصفها حلولاً جاهزة للتشغيل، تتيح القباب الحيوية الرقمية للحكومات في مختلف الدول محاكاة القرارات البيئية وتقييم آثارها قبل تنفيذها فعلياً.

عوامل تمكين الفرصة

- إرساء ميثاق مشترك للقباب الحيوية الرقمية يدمج متطلبات خصوصية البيانات، وشفافية الخوارزميات، وإرشادات واضحة للمساءلة.
- مواءمة الأطر الأخلاقية والقانونية لاعتماد تقنيات المحاكاة في دعم صنع السياسات.
- إنشاء شبكة موزّعة مستقرّة وآمنة من القباب الحيوية الرقمية.

التحديات

- صعوبة ضمان دقة النماذج في ظل تعقيد النُظم البيئية، ومحدودية البيانات، ومخاطر انحراف النماذج.
- محدودية ثقة الجمهور في اتخاذ القرارات القائمة على الذكاء الاصطناعي والمحاكاة.
- ضعف الربط بين المؤشرات المالية والاقتصادية ومخرجات المحاكاة البيئية.
- صعوبة ابتكار وسائل عرض بصرية فعّالة وواجهات تواصل تفاعلية مع الجمهور.
- صعوبة توحيد أدوات القباب الحيوية الرقمية في ظل التباينات الإقليمية والمالية والتنظيمية.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

27 2024

هل سيؤدي تخزين البيانات بالقرب من مصدرها، فيما يعرف بالحوسبة الطرفية متعددة الوصول، إلى إنهاء هيمنة مراكز البيانات التقليدية؟

سحابة لامركزية

يمكن تخزين البيانات ومعالجتها في الأجهزة المحلية القريبة من مصدرها بدلاً من نقلها عبر الشبكات إلى مراكز بيانات مركزية، وهو المبدأ الذي تقوم عليه الحوسبة الطرفية. وعند دمج هذه التقنية مع إنترنت الأشياء، يمكن تسريع معالجة البيانات، وتحسين الأداء، وتقليل زمن الاستجابة، بما يدعم اتخاذ القرار في الوقت الفعلي ويعزز كفاءة تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي، وتعلّم الآلة، والواقع المعزّز، والأنظمة المتصلة.

التأثير

قريب المدى | **متوسّط المدى** | بعيد المدى

جديد — 2024

التوجهات العالمية الكبرى

إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

المتغيرات الغامضة

التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة

الحوسبة المتقدّمة
حماية البيانات والخصوصية
الحوسبة الطرفية
تحفيز الابتكار

التكنولوجيا

الحوسبة المتقدّمة
حماية البيانات والخصوصية
الحوسبة الطرفية

الفئة

تحسين الأنظمة

القطاعات الأكثر تأثّراً

تقنية المعلومات والاتصالات
أمن المعلومات والأمن السيبراني
الصحة والرعاية الصحية
الخدمات اللوجستية والشحن والنقل
المرافق العامة

الكلمات الرئيسية

شبكات الجيل الخامس والجيل السادس
توطين البيانات وسيادة البيانات
الذكاء الاصطناعي الطرفي
الحوسبة الطرفية
زمن الاستجابة المنخفض

أهمية الفرصة

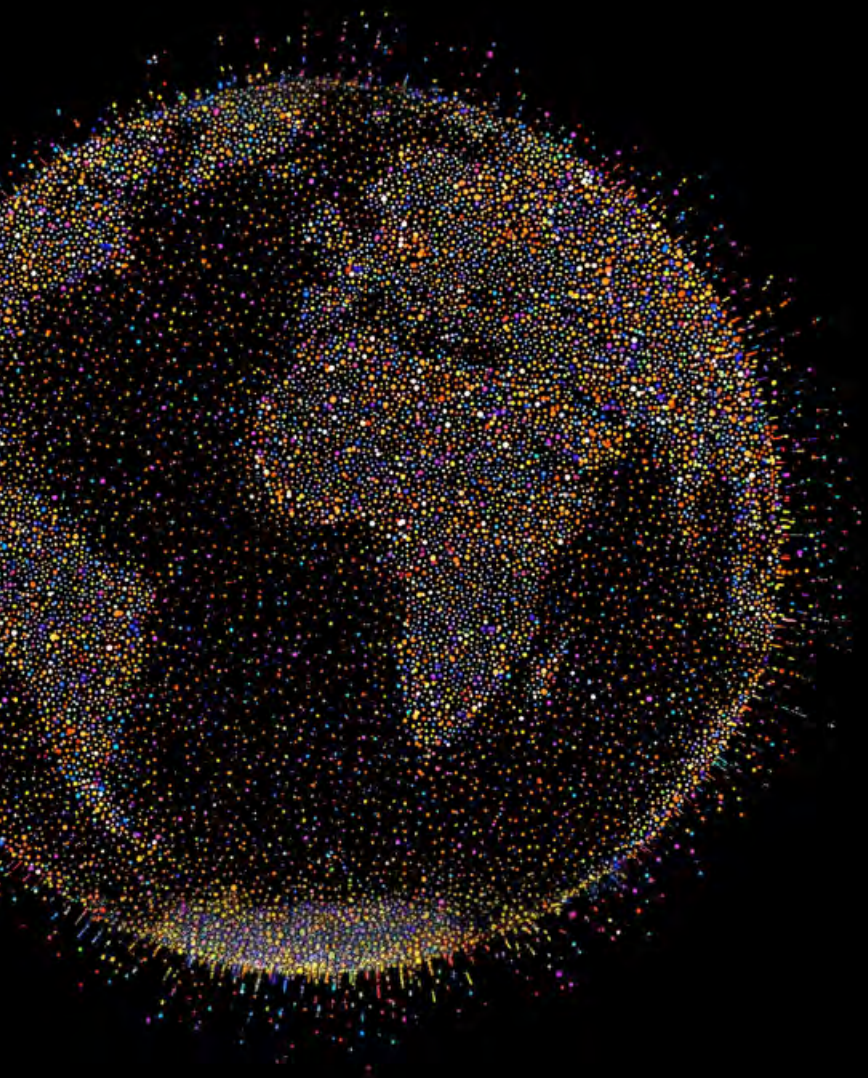
من المتوقع أن يصل عدد أجهزة إنترنت الأشياء إلى نحو 39 مليار جهاز بحلول عام 2030، وأن يتجاوز 50 مليار جهاز بحلول عام 2035.[1160] ورغم ضخامة هذه الأرقام، فإنها تبقى أقل من التوقعات السابقة.[1161] ومع هذا التوسع الهائل، تبرز مفاهيم قانونية محورية تتعلق بإدارة البيانات. فبينما تمنح سيادة البيانات الحكومات الحق في تنظيم البيانات داخل حدودها الجغرافية، يشير توطين البيانات إلى بقاء البيانات داخل الدولة وتحديد الموقع الفعلي لتخزينها والجهة القانونية المسؤولة عنها.[1162] وفي هذا السياق، تواجه الحوسبة السحابية المركزية تحديات متزايدة تتعلق بسرعة الاستجابة،[1163] إلى جانب صعوبات في الامتثال لقوانين الخصوصية ومتطلبات تخزين البيانات محلياً.[1164]

الإيجابيات

يتيح الوصول المباشر إلى البيانات الخام ومعالجتها في الوقت الفعلي للمؤسسات والأفراد تعزيز فرص الابتكار وتحسين القدرة على اتخاذ القرارات اليومية. كما تسهم الحوسبة الطرفية في تعزيز خصوصية البيانات وأمنها عبر تقليل الحاجة إلى نقل البيانات عبر الشبكات.

المخاطر

قد تفتقر البيانات المخزنة في الشبكات الطرفية القريبة من المستخدمين إلى الإجراءات الأمنية المادية المتقدمة التي تتمتع بها مراكز البيانات المركزية، مما يزيد من نقاط الضعف ومخاطر القرصنة أو سوء الاستخدام.



من المتوقع أن يصل عدد أجهزة إنترنت الأشياء إلى نحو **39 مليار جهاز بحلول عام 2030**

الوضع الحالي

مع تزايد تدفق البيانات عبر الحدود عالمياً، تبرز الحوسبة الطرفية – أي تخزين البيانات في الأجهزة المحلية القريبة من مصدرها – بوصفها حلاً عملياً لتوزيع البيانات وتحسين أدائها. فهي تقلل زمن الاستجابة، وتخفض تكاليف نقل البيانات، وتعزز أمنها، كما تدعم متطلبات سيادة البيانات.[1165]

وتشير التوقعات إلى ضرورة مضاعفة سعة مراكز البيانات ثلاث مرات بحلول عام 2030 لمواكبة الطلب المتزايد، الذي يسجل معدل نمو سنوي يقارب 22% بين عامي 2023 و2030، خصوصاً مع توسع استخدام الذكاء الاصطناعي في جمع وتخزين ومعالجة كميات هائلة من البيانات.[1166]

وفي هذا السياق، تُستخدم الحوسبة الطرفية المتنقلة عند أطراف شبكات الاتصالات أو بالقرب من أجهزة الاستشعار، مع توفير قدرات أساسية للحوسبة والتخزين،[1167] ويسهم ذلك في نقل عمليات معالجة البيانات إلى أقرب نقطة من مكان توليدها أو استخدامها، ما يفتح المجال أمام تطبيقات متقدمة مثل الألعاب والترفيه، والتحليلات الفورية، والمركبات الذاتية والمتّصلة، وتحسين جودة بث الفيديو.[1168]

وتظهر أهمية هذه التقنية في بعض الفعاليات الكبرى، مثل الفعاليات الرياضية،[1169] حيث تساعد شبكات الجيل الخامس على تحسين جودة البث واستقرار الشبكة وتقليل زمن الاستجابة. ويسهم دمج الحوسبة الطرفية في تعزيز أداء هذه الشبكات مقارنة بالاعتماد عليها وحدها، من خلال تقليص مسارات البيانات وتحسين إدارة حركة المرور.

كما تبرز أهمية الحوسبة الطرفية في تطبيقات المصانع الذكية ضمن الثورة الصناعية الرابعة،[1170] ومع ذلك، لا يزال انتشارها محدوداً حتى اليوم. فعلى الرغم من الوعود التي ظهرت منذ عام 2018 بتحقيق سرعات استجابة فائقة، لم تكن الأسواق مهيأة بالكامل، ولم تتبلور بعد حالات استخدام واسعة النطاق، كما بقيت الجدوى الاقتصادية غير محسومة رغم سنوات من التطوير.[1171]

فحتى الآن، لا توفر الحوسبة الطرفية المتنقلة سوى تحسن محدود في زمن الاستجابة، يقدَّر بنحو ميلي ثانية واحدة مقارنة بزمن يتراوح بين 30 و40 ميلي ثانية في شبكات الجيل الخامس التقليدية. ورغم أن التوقعات تشير إلى إمكانية الوصول إلى زمن استجابة أقل من 20 ميلي ثانية مستقبلاً،[1172] فإن العملاء لا يزالون غير مستعدين لدفع تكاليف إضافية مقابل هذه التحسينات في الوقت الحالي.[1173]

مع ذلك، يفتح الذكاء الاصطناعي آفاقاً جديدة أمام نمو هذا القطاع. فمع توسع الاعتماد على الأنظمة الذاتية في مجالات التنقل والمنازل والمدن الذكية،[1174] يلتقي الذكاء الاصطناعي مع الحوسبة الطرفية ليشكلا ما يعرف بـ الذكاء الاصطناعي الطرفي. ويدعم هذا النموذج تطبيقات متقدمة مثل التحقق الفوري لمواقف السيارات، وقيادة المركبات الذاتية، وإدارة أنظمة الطاقة وحركة المرور، ومراقبة المرضى، والصيانة التنبؤية، والمعالجة الفورية لبيانات أجهزة الاستشعار.[1175]

وتعتمد هذه التطبيقات على أجهزة حوسبة طرفية متنقّلة مدعومة بتقنيات الجيل الخامس والجيل السادس، إلى جانب الشبكات العصبية وأطر تعلّم الآلة.[1176] وهو ما يرسم ملامح الموجة المقبلة من الابتكار في عالم الحوسبة.

تشير التوقعات إلى ضرورة مضاعفة سعة مراكز البيانات ثلاث مرات بحلول عام 2030 لمواكبة الطلب المتزايد على البيانات

ومع تطور الحوسبة الطرفية متعددة الوصول (MEC) وشبكات 5G و6G، أصبح بالإمكان تشغيل

الذكاء الاصطناعي بالقرب من مصدر البيانات نفسه

وهو ما قد يقود الجيل القادم من الابتكار في الحوسبة.

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
دمج الذكاء الاصطناعي الطرفي

توسّع ملحوظ على المستوى العالمي في نطاق تغطية شبكات الجيل الخامس والجيل السادس والإنترنت عبر الأقمار الصناعية. وفي الوقت الحالي، تُستخدم مشاريع تجريبية للذكاء الاصطناعي الطرفي لإثبات الجدوى التقنية في عدد محدود من القطاعات. كما تعمل الجمعيات التعاونية الصناعية حالياً على تطوير أطر أوّلية تدعم قابلية التوسّع في الحوسبة الطرفية وتعزّز معايير الأمن.

- جوائز التحديات
- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض القابلة للتحويل
- المنح
- المنح المرحلية

اعتماد الذكاء الاصطناعي الطرفي

قيام التحالفات الصناعية في قطاعات النقل والطاقة والرعاية الصحية بوضع معايير قياس واضحة للذكاء الاصطناعي الطرفي، إلى جانب فرض الحكومات استخدام الحوسبة الطرفية في البنية التحتية الحيوية، ومواءمة استثمارات القطاع الخاص مع تمويل القطاع العام لدعم عمليات النشر والتنفيذ على نطاق واسع.

- المنح المُدمَجة
- صناديق رأس المال الاستثماري
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)
- المنح القابلة للتحويل

توسيع الانتشار

تركيب عُقد طرفية في أبراج الاتصالات والمحطات الأرضية للأقمار الصناعية من قِبل شركات الاتصالات، واستبدال المصانع للاتصالات السحابية بمعالجة طرفية داخل مواقع العمل، إلى جانب اعتماد الحوسبة الطرفية في أنظمة الرعاية الصحية لمراقبة المرضى بشكل أسرع وأكثر موثوقية.

- صناديق رأس المال الاستثماري
- القروض القابلة للتحويل
- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع

2024 **27**

المستقبل المنشود
توفير حوسبة طرفية سلسة

توفير شبكات طرفية ذاتية التشغيل بالكامل تعتمد على بروتوكولات مدعومة بالذكاء الاصطناعي، مع إيقاف تشغيل أو إعادة توظيف أجزاء من البنية التحتية القديمة لمراكز البيانات المركزية التي لم تعد هناك حاجة إليها. بالإضافة إلى وضع بروتوكولات طرفية عالية تتيح تقديم خدمات لحظية في الوقت الفعلي من دون الاعتماد على مراكز البيانات التقليدية.

- عقود الخدمات
- القروض
- صناديق التوسّع

ملامح تطوّر الفرصة

لم تعد الحوسبة السحابية محصورة في مراكز بيانات بعيدة، بل انتقلت إلى أطراف الشبكات، حيث أصبح العالم مترابطاً عبر تريليونات العقد الرقمية المنتشرة حولنا. وتعمل هذه العقد بشكل ذاتي على تنظيم نفسها، واتخاذ قرارات ذكية تتعلق بتوزيع قدرات الحوسبة وفق الحاجة. وفي هذا المشهد الجديد، تتيح بروتوكولات الحوسبة الطرفية العالية تقديم خدمات رقمية بزمن استجابة شبه فوري، مع الالتزام الكامل بمتطلبات توطين البيانات، ما يقلل الاعتماد على مراكز البيانات التقليدية.

عوامل تمكين الفرصة

- تمكين العقد الطرفية من إدارة قدرات الحوسبة وتقسيمها ذاتياً عبر بروتوكولات الذكاء الاصطناعي دون تحكم مركزي.
- تعزيز الأمن السيبراني وحماية الأنظمة السيبرانية الفيزيائية.
- تطوير آليات لتحديد الاستخدام وتنفيذ المدفوعات مقابل مشاركة القدرة الحاسوبية، بما في ذلك الترميز ضمن إطار واضح للإيرادات.
- توسيع قدرات شبكات الجيل الخامس والجيل السادس وتعزيز إمكانية الوصول إليها.
- إثبات العائد على الاستثمار في تطبيقات الذكاء الاصطناعي الطرفي.

التحديات

- محدودية قابلية التشغيل البيني بين الأنظمة والمواقع المختلفة.
- مخاطر تأمين المعدات والأجهزة الموزعة عبر أبراج الاتصالات والأماكن العامة.
- ارتفاع التكاليف الرأسمالية الأولية مقارنة بمزودي الخدمات السحابية.
- نقص أجهزة إنترنت الأشياء أو القدرات الحاسوبية المدمجة داخلها، إلى جانب تحديات الطاقة وإدارتها.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

32 2024

هل يتحوّل الحمض النووي إلى وسيط جديد لتخزين البيانات في المستقبل؟

أقراص الحمض النـــووي

يمكن استخدام سلاسل الحمض النووي كوسيط بديل لتخزين البيانات على المدى الطويل وبسعات ضخمة، في ظل النمو المتسارع للبيانات خلال السنوات المقبلة. ويتمتع الحمض النووي بإمكانات تتيح حفظ هذه الكميات الهائلة لآلاف السنين، مع خفض تكاليف التخزين واستهلاك الطاقة، وتقليص البصمة الكربونية المرتبطة بالأنشطة الرقمية.

التأثير

قريب المدى | **متوسط المدى** | بعيد المدى

جديد | 2024

التوجهات العالمية الكبرى

إتاحة البيانات للجميع بلا حدود وبأبعاد متعدّدة

المتغيرات الغامضة

التكنولوجيا، الأنظمة

الاتجاهات السائدة

الحوسبة المتطوّرة

علم تطوير الأساليب والأدوات البرمجية الخاصة بفهم البيانات الحيوية (المعلوماتية الحيوية)

التكنولوجيا الحيوية

حماية البيانات والخصوصية

التكنولوجيا

الحمض النووي الاصطناعي

الحوسبة المتقدّمة

تكنولوجيا النانو

الفئة

تحسين الأنظمة

القطاعات الأكثر تأثّراً

المواد الكيميائية والبتروكيماويات

أمن المعلومات والأمن السيبراني

علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة

الصحة والرعاية الصحية

التصنيع

الكلمات الرئيسية

تخزين البيانات عبر الحمض النووي

تحالف تخزين البيانات عبر الحمض النووي

تركيب الحمض النووي

رابطة صناعة شبكات التخزين (SNIA)

منصة ستوريدج- دي (Storage-D)

أهمية الفرصة

شهد العالم في السنوات الأخيرة ارتفاعاً هائلاً في إنتاج البيانات، إذ تم إنتاج 90% من إجمالي البيانات العالمية خلال العامين الماضيين فقط، ومعظمها بيانات غير منظمة.[1177] وتشير التقديرات إلى أن حجم فضاء البيانات العالمي سيصل إلى نحو 163 زيتابايت في عام 2025، مقارنةً بنحو 2 زيتابايت فقط في عام 2010، مع توليد 25% من البيانات تأتي في الوقت فعلي.[1178] ومع ذلك، تبقى هذه الأرقام تقديرية، لأن جزءاً كبيراً من البيانات يُنشأ بصورة مؤقتة ولا يُخزَّن بشكل دائم.[1179] وفي الوقت نفسه، فإن وسائط التخزين الحالية – سواء كانت مغناطيسية أو ضوئية أو ميكانيكية -[1180] تتدهور مع مرور الوقت، إذ يتراوح عمرها الافتراضي بين 5 أعوام و20 عاماً بحسب نوع الوسيط وظروف الحفظ،[1181] وهو ما يهدّد بفقدان جزء من المعرفة البشرية

الإيجابيات

من الناحية النظرية، يتيح الحمض النووي المُصنّع تخزين كميات هائلة من البيانات لفترات طويلة جداً، باستخدام مساحة أقل، ومن دون مشكلات جوهرية تعيق التوافق التشغيلي.

المخاطر

قد تؤدي هذه التكنولوجيا إلى تعقيد الوصول إلى البيانات والحد من إتاحتها، كما أن غياب إجراءات الحماية الكافية قد يزيد من مخاطر تخزين كميات هائلة من البيانات غير الدقيقة أو الخاطئة. كما تبرز تحديات تتعلق بالتوافق التشغيلي عند تبادل البيانات مع دول لا تعتمد هذه التقنية، فضلاً عن ارتفاع تكلفتها حالياً، ما قد يحدّ من انتشارها ويؤدي إلى اتساع فجوة عدم المساواة عالمياً.

الوضع الحالي

تعتمد تكنولوجيا تخزين البيانات عبر الحمض النووي على ترميز البيانات الرقمية – مثل الشفرات البرمجية، والصور، والنصوص، ومقاطع الفيديو – داخل سلاسل من الحمض النووي الاصطناعي. وتستخدم هذه التقنية القواعد النيتروجينية الأربع A وT وC وG لتمثيل البيانات الثنائية. ويتم تصنيع هذا الحمض النووي داخل المختبرات، ثم يُخزَّن في أنابيب صغيرة تضمن الحفاظ على البيانات لفترات طويلة. وعند الحاجة إلى استرجاع المعلومات، تُجرى عملية تسلسل الحمض النووي، ثم تُحوَّل البيانات المخزنة داخله مجدداً إلى صيغتها الثنائية الأصلية.[1182]

في عام 2020، تأسس تحالف تخزين البيانات عبر الحمض النووي بهدف رفع الوعي بهذه التقنية الواعدة، وتطوير معايير عالية تنظّم استخدامها، وتمهيد الطريق أمام حلول تخزين قائمة على الحمض النووي وقابلة للتشغيل البيني مستقبلاً.[1183] وتعززت هذه الجهود في عام 2022 بعد انضمام التحالف إلى رابطة صناعة شبكات التخزين (SNIA)، التي تضم أكثر من 200 منظمة متخصصة في تقنيات تخزين البيانات حول العالم.[1184]

وخلال السنوات الأخيرة، تجاوزت هذه التكنولوجيا مرحلة التجارب المعملية المحدودة، لتصل إلى نماذج أولية متكاملة تشمل سلسلة العمل كاملة: من ترميز البيانات وتركيب الحمض النووي، إلى التخزين والاسترجاع، ثم التسلسل.[1185] كما يتميز تخزين البيانات عبر الحمض النووي بمتانة تفوق الأشرطة المغناطيسية بنحو 300 مرة، إلى جانب إمكانية حفظه في درجات حرارة عادية.[1186، 1187] ولهذا تتجه شركات ناشئة عدة حالياً إلى تطوير حلول أكثر كفاءة في هذا المجال.[1188]

وتؤدي مراكز البحث الأكاديمي دوراً محورياً في تسريع تطوّر هذه التقنية، وفي مقدمتها معهد وايس للهندسة المستوحاة من علم الأحياء بجامعة هارفارد.[1189، 1190] وفي إنجاز علمي بارز، نجحت منصة ستوريدج-دي (Storage-D) الرقمية المدعومة بخوارزمية «ووكونغ» (Wukong) المحمية ببراءة اختراع، في تخزين بروتوكولات علاج كوفيد-19 بحجم بلغ 1.78 مليون بت، مع استعادة كاملة للبيانات بنسبة 100%.

في الوقت نفسه، تمكّن الباحثون من ترميز البيانات داخل الجينات وتخزينها بنجاح في كلّ من بكتيريا الإشريكية القولونية وبكتيريا «هالوموناس بلوفاجينيسس»، مع الحفاظ على دقة فك تشفير كاملة بنسبة 100% خلال فترة 7 أيام من النمو المستقرّ.[1191] كما توفر منصة ستوريدج-دي نموذجاً عملياً لتخزين البيانات عبر الحمض النووي، إذ تمكّن المستخدمين من تحويل مختلف صيغ البيانات – بما في ذلك النصوص، والصور، والصوتيات، والفيديو – إلى تسلسلات حمض نووي، ثم إعادتها إلى صيغها الرقمية الأصلية بكفاءة.[1192] وعلى صعيد الأداء، حقق برنامج ميست (MIST)، الذي انتهى عام 2023، أهدافاً استراتيجية مهمة، شملت القدرة على كتابة 1 تيرابايت وقراءة 10 تيرابايت من البيانات يومياً، بتكلفة تقل عن 1,000 دولار، ومعدل استهلاك طاقة منخفض لا يتجاوز 1 كيلووات.[1193]

ورغم هذه الإنجازات، لا تزال تكنولوجيا تخزين البيانات عبر الحمض النووي تواجه تحديات جوهرية، في مقدمتها الارتفاع الكبير في تكاليف التركيب الكيميائي التي تصل إلى نحو 3,500 دولار لكل ميجابايت[1194] مقارنة بوسائط التخزين التقليدية، إضافة إلى بطء سرعة الكتابة، إذ تقل بنحو 400,000 مرة عن سرعة التخزين باستخدام الأشرطة المغناطيسية.[1195] أما على المستوى التنظيمي، فقد أصدرت رابطة صناعة شبكات التخزين معياراً خاصاً بتقييم استقرار بيانات الحمض النووي، إلا أن هذه التقنية الناشئة لا تزال بحاجة إلى منظومة أوسع من المعايير لدعم اعتمادها على نطاق أوسع.[1196] لذلك، تتركز أفضل استخدامات تخزين البيانات عبر الحمض النووي حالياً في الأرشفة والتخزين طويل الأمد للبيانات التي نادراً ما يُرجع إليها، سواء لأغراض الامتثال والاحتفاظ التنظيمي، أو لتقليل الأثر البيئي لعمليات التخزين.[1197]

يتميز تخزين البيانات عبر الحمض النووي بمتانة تفوق الأشرطة المغناطيسية بنحو

300 مرة

نجحت منصة ستوريدج-دي (Storage-D) الرقمية المدعومة بخوارزمية «ووكونغ» (Wukong) المحمية ببراءة اختراع، في تخزين بروتوكولات علاج كوفيد-19 بحجم بلغ 1.78 مليون بت، مع استعادة كاملة للبيانات بنسبة **100%**

لا تزال تكنولوجيا **تخزين البيانات عبر الحمض النووي تواجه تحديات جوهرية،** في مقدمتها الارتفاع الكبير في تكاليف التركيب الكيميائي التي تصل إلى نحو

3,500 دولار

لكل ميجابايت

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
خفض التكاليف

تنفيذ اختبارات موسّعة داخل المختبرات، إلى جانب إطلاق مشاريع تجريبية تهدف إلى تحسين عمليات التركيب والترميز والأتمتة، مع تركيز واضح على خفض التكاليف، ورفع معدلات الإنتاج، وتعزيز الثقة، وذلك قبل الانتقال إلى مرحلة الاعتماد المؤسسي على نطاق أوسع.

- جوائز التحديات
- برامج مسرّعات الأعمال
- المنح
- المنح المرحلية

توسيع النطاق

التوسّع نحو أرشيفات المؤسسات بسعات تتراوح بين 50 و200 تيرابايت، إلى جانب إطلاق تجارب أوّلية للتركيب الإنزيمي، والعمل على تحسين تقنيات المعالجة المتوازية، وخفض التكاليف وصولاً إلى مستوى التكافؤ مع الأشرطة المغناطيسية، إضافةً إلى دمج برامج الترميز المعيارية واعتماد أنظمة المناولة الآلية.

- عقود الخدمات
- المنح الدّمجة
- المنح القابلة للتحويل

تطبيق المعايير

تحقيق التكافؤ في التكلفة والوصول إلى أهداف الموثوقية، والتحقّق من مقاييس الاستقرار على المدى الطويل، ونشر أساليب الوصول العشوائي، واستكمال المعايير، وتمكين منظومات متكاملة وقابلة للتشغيل البيني بين الموّردين والمؤسسات على المستوى العالمي.

- القروض القابلة للتحويل
- صناديق رأس المال الاستثماري
- التمويل متعدّد الأطراف في المراحل المبكرة (الاستثمار المشترك)

2024 32

المستقبل المنشود
تمكين التبنّي التجاري

تمكين الاعتماد التجاري واسع النطاق، واستبدال الأشرطة في طبقات التخزين البارد، ودعم النمو إلى مستوى الإكسابايت، وتقليل استهلاك الطاقة إلى الحد الأدنى، وتقديم حفظ بيانات قوي، ومنخفض التكلفة، ومستدام على المدى الطويل.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق التوسّع
- القروض
- عقود الخدمات

ملامح تطوّر الفرصة

ستتمكن البشرية من حماية أرصدتها المعرفية وتأمينها في مواجهة مخاطر التدهور الرقمي. كما سيشهد مفهوم مراكز البيانات تحولاً جذرياً، بالانتقال من منشآت ضخمة عالية الاستهلاك للطاقة إلى خزائن حيوية مدمجة، صديقة للبيئة ومحايدة كربونياً.

وسيسهم هذا التحول في ضمان استمرارية الإرث الثقافي والعلمي، بل وحتى الذكريات الشخصية، مع الحفاظ عليها متاحة وآمنة لآلاف السنين. كما يمكن لهذا النمط من التخزين – بفضل متانته، وانخفاض متطلبات صيانته، وطابعه اللامركزي – أن يؤدي دوراً مهماً في تقليص الفجوة الرقمية العالمية.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير تقنيات أكثر كفاءة وأقل تكلفة لتركيب الحمض النووي.
- اعتماد معايير عالمية قابلة للتشغيل البيني بين أنظمة التخزين التقليدية والتخزين عبر الحمض النووي.
- تطوير تقنيات متقدمة لاسترجاع البيانات بسرعة ودقة عاليتين.
- تمكين إنتاج قابل للتوسع للإنزيمات والمواد الكيميائية الخبرية المستخدمة في تركيب الحمض النووي.
- إرساء بروتوكولات واضحة لعلم الأحياء التركيبي والأخلاقيات المرتبطة به.

التحديات

- مخاطر الأمن السيبراني الحيوي.
- محدودية توافر الكفاءات المتخصصة في تركيب الحمض النووي وتخزينه واسترجاعه.
- صعوبة إدارة التباين بين أنظمة التخزين التقليدية وتكنولوجيا التخزين عبر الحمض النووي عبر مختلف الدول.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

45 2024

ماذا لو لم نكن بحاجة إلى شراء الأجهزة سوى مرة واحدة في العمر؟

صيانة ذاتية للأجهزة

يمكن للآلات إصلاح الأعطال التي تطرأ عليها ذاتياً من دون تدخل بشري، عبر دمج الصيانة الوقائية، والمواد الذكية، وأجهزة الاستشعار المتقدمة. ويتيح ذلك تصنيعاً مستمراً من دون توقف، ويعزز استدامة المنتجات الاستهلاكية والروبوتات، ويطيل عمرها التشغيلي.

التأثير

قريب المدى | متوسط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى
الأتمتة والتعايش مع الروبوتات المستقلّة

المتغيرات الغامضة
التكنولوجيا، التعاون

الاتجاهات السائدة
الحوسبة المتقدّمة
الذكاء الاصطناعي
الأتمتة
الشراكة بين القطاعات
المواد الجديدة

التكنولوجيا
معادن وبوليمرات ذاتية الترميم
الأجهزة الإلكترونية القابلة للتمدّد
تقنيات الاستشعار المتقدّمة

الفئة
الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً
السيارات والفضاء والطيران
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
الصحة والرعاية الصحية
الخدمات اللوجستية والشحن والنقل
التصنيع

الكلمات الرئيسية
الأنظمة الذاتية
النفايات الإلكترونية
الروبوتات الشبيهة بالبشر
حق الإصلاح
المواد الذكية

أهمية الفرصة

تؤدي محدودية القدرة على إصلاح الأجهزة إلى توليد كميات هائلة من النفايات. ففي الاتحاد الأوروبي وحده، يُنتج سنوياً نحو 35 مليون طن من النفايات،[1198] منها 4.7 ملايين طن من النفايات الإلكترونية وعلى المستوى العالمي، يبلغ حجم النفايات نحو 2.3 مليار طن سنوياً،[1199] تشمل 62 مليون طن من النفايات الإلكترونية(2000) التي تنمو بمعدل يفوق قدرات إعادة التدوير الرسمية بخمسة أضعاف منذ عام 2010.[1200]

ولا تقتصر التحديات على الأثر البيئي، إذ تواجه كثير من الأنظمة الحيوية، مثل الأقمار الصناعية وكابلات أعماق البحار ،[1201] مشكلة إضافية تتمثّل في صعوبة أو خطورة وصول البشر لإصلاحها. ورغم أن الروبوتات لا تُصنَّف حالياً ضمن النفايات الإلكترونية، فمن المرجّح أن يتغيّر ذلك مستقبلاً، لا سيّما مع التوقعات التي تشير إلى وصول عدد الروبوتات الشبيهة بالبشر إلى نحو مليار روبوت بحلول عام 2050، مع عمل معظمها – بنسبة 90% – في البيئات الصناعية والتجارية.[1202]

الإيجابيات

تعزز هذه التقنية السلامة، وتقلل الوقت المهدور بسبب الأعطال، وتطيل عمر الآلات والروبوتات، مما يسهم في خفض تكاليف الصيانة، وتحسين جودة المنتجات، وأتمتة الخدمات. كما تفتح المجال أمام الاستكشاف عن بُعد، وتدعم بناء سلاسل توريد شبه مثالية، مع الحفاظ على حقوق الملكية الفكرية.

المخاطر

قد يتسبب أي خلل في آليات الإصلاح الذاتي في أضرار غير مقصودة للمستخدمين أو للبيئة المحيطة. كما أن الآلات المستقلة تظل عرضة للتهديدات السيبرانية، وقد يؤدي تعقيد تصميمها واعتمادها على قرارات ذاتية إلى رفع التكاليف والجهود المطلوبة، والحد من الفوائد المتوقعة لهذه التقنية.

على المستوى العالمي، يبلغ حجم النفايات نحو

2.3 مليار

طن سنوياً

تشمل 62 مليون طن

من النفايات الإلكترونية

الوضع الحالي

تجمع الروبوتات ذاتية الإصلاح بين القدرة على رصد احتياجات الصيانة أو التنبؤ بها مبكراً، وترميم نفسها عبر المواد المصنوعة منها، إلى جانب تصميم يسهّل عمليات الإصلاح. وتشير التقديرات إلى أن نحو 80% من الأثر البيئي للروبوتات يُحسم في مرحلة التصميم؛[1203] ف فكلما ارتفعت موثوقية الروبوت وطال عمره التشغيلي، تراجعت حاجته إلى الصيانة والاستبدال،[1204] وانخفضت كمية النفايات الإلكترونية الناتجة عنه.[1205]

ومن خلال دمج أجهزة الاستشعار الذكية، وإنترنت الأشياء الصناعي (IIoT)، والذكاء الاصطناعي، والتوائم الرقمية، يمتلك الذكاء الاصطناعي التوليدي القدرة على إحداث تحول جذري في مفهوم صيانة الأجهزة، لينقلها من معالجة الأعطال بعد وقوعها إلى نظام استباقي يتنبأ بالمشكلات قبل حدوثها.[1206] وتُظهر التطبيقات العملية أن الصيانة الوقائية للأنظمة الروبوتية قادرة على خفض فترات التوقّف غير المخطّط لها بنسبة 50%،[1207] ومع دمج الذكاء الاصطناعي التوليدي، قد ترتفع هذه النسبة لتصل إلى 90%. كما تسهم هذه التقنيات في إطالة العمر التشغيلي للروبوتات بنسبة تصل إلى 40%.[1208]

ومن خلال محاكاة آليات الشفاء لدى الكائنات الحية، طوّر باحثون في جامعة نبراسكا–لينكولن جلداً إلكترونياً قادراً على اكتشاف التلف وعزله ثم إصلاحه بشكل مستقل.[1209] وتكمن خصوصية هذا الجلد في آلية مبتكرة، إذ يستشعر الضرر عبر قطرات من المعدن السائل تكوّن شبكة كهربائية مؤقتة عند حدوثه، ثم يُوجَّه تيار كهربائي دقيق لتسخين المنطقة المتضررة، ما يؤدي إلى ذوبان المادة والتحامها مجدداً قبل أن تستعيد خصائصها العازلة من دون أي تدخل خارجي.[1210]

ويؤكد هذا التقدم أن الذكاء الاصطناعي، ولا سيّما الذكاء الاصطناعي التوليدي، يشكل محركاً أساسياً لتقنيات الإصلاح الذاتي. ورغم تطبيق هذه القدرات في عدد من النماذج الواقعية – مثل روبوت تمكّن من شدّ مسامير ذاتياً عام 2019 - [1211] فإننا لا نزال في المراحل الأولى من تعميمها على نطاق واسع. ومع التقدم المستقبلي، قد تتجاوز هذه التقنيات مستوى الروبوتات الفردية لتشمل مجموعات من الروبوتات الذكية تعمل بتنسيق جماعي وتتعاون باستمرار لتنفيذ عمليات الإصلاح الذاتي.[1212]

تُظهر التطبيقات العملية أن الصيانة الوقائية للأنظمة الروبوتية قادرة على **خفض فترات التوقّف غير المخطّط لها بنسبة 50%**

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
البحث والتطوير

تركيز البحث والتطوير على التصميم المعياري، والصيانة التنبؤية، والالتزام بمبدأ الحق في الإصلاح، بما يحدّ من المكوّنات المغلقة غير القابلة للإصلاح، ويعزّز مبادئ الاقتصاد الدائري، ويضمن نتائج مستدامة طويلة الأمد.

- المنح
- المنح المرحلية
- جوائز التحديات

اختبار المكوّنات

الانتقال بالروبوتات من الإصلاح بعد حدوث الأعطال إلى الصيانة التنبؤية، من خلال استخدام أجهزة استشعار مدمجة، وتوائم رقمية، وذكاء اصطناعي وكيل لإدارة الضغط والتآكل الذي يصيب هيكل الروبوت ولمنع الأعطال قبل وقوعها.

- عقود الخدمات
- المنح المشروطة بتحقيق الإيرادات
- المنح القابلة للتحويل

مرحلة التنفيذ

تحقيق الاكتفاء الذاتي للروبوتات على مستوى المكوّنات المادية، من خلال استبدال معياري للأجزاء، واستخدام جلود استشعار قادرة على الإصلاح الذاتي، إلى جانب اتخاذ قرارات إصلاح مستقلة بالاستناد إلى المراقبة المستمرّة لحالة الروبوت وإلى أنظمة ذكية تعمل داخل الروبوت نفسه.

- عقود الخدمات
- القروض
- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- القروض القابلة للتحويل
- صناديق رأس المال الاستثماري

2024 45

المستقبل المنشود
تشغيل روبوتات دائرية

تشغيل مجموعات من الروبوتات قادرة على الاستعادة الذاتية للمواد، وإعادة طباعة المكوّنات، والترميم الذاتي، بما يقضي على النفايات الإلكترونية ويلغي الاعتماد على سلاسل التوريد الخارجية بفضل منظومات روبوتية تعمل بدورة مكتملة ذاتياً ومستوحاة من الأنظمة الحيوية.

- الاستثمار مقابل حقوق الملكية
- صناديق التوتنج
- صناديق رأس المال الاستثماري

ملامح تطوّر الفرصة

تعمل الروبوتات كأنظمة حيّة قادرة على ترميم نفسها باستمرار. ففي بيئات التصنيع، يكاد يختفي مفهوم توقف الأجهزة عن العمل، إذ تصبح الآلات قادرة على إصلاح أعطالها ذاتياً وجدولة صيانتها تلقائياً وفق الحاجة. وعند مواجهة مشكلات تقنية معقدة، تتعاون مجموعات من الروبوتات وتعمل كفريق واحد على إصلاح الأجزاء المتضررة، مع القدرة على تحديد التوقيت الأنسب لإخراج أي وحدة من خط الإنتاج أو من الخدمة. وبفضل هذا التطوّر، تنخفض النفايات الإلكترونية الناتجة عن الروبوتات إلى أدنى مستوياتها. كما يظهر تخصص جديد عالي المهارة يركز على تصميم روبوتات قابلة للإصلاح الكامل، وهو مجال يجمع بين الهندسة والعلوم وحتى علم النفس، بالاعتماد على البيانات والملاحظات التي توفرها الروبوتات نفسها حول أدائها وحالتها التشغيلية.

عوامل تمكين الفرصة

- توظيف الذكاء الاصطناعي التوليدي والذكاء الاصطناعي الفعّال لدعم الصيانة الفورية والصيانة الوقائية.
- تطوير مواد قادرة على الترميم الذاتي.
- إتاحة بيانات تشخيصية قابلة للتشغيل البيني يمكن تبادلها بين الروبوتات المختلفة.
- مواءمة تشريعات الحق في الإصلاح عبر مختلف الولايات القضائية.

التحديات

- محدودية القدرة على تقليل الأجزاء غير القابلة لإعادة التدوير في الروبوتات إلى أدنى حد ممكن.
- مخاطر الأمن السيبراني.
- احتمال حدوث أعطال متسلسلة نتيجة الاعتماد على الذكاء الاصطناعي والذكاء الاصطناعي التوليدي.
- مخاطر انحراف النماذج، بما قد يؤدي إلى ارتفاع تكلفة صيانة الروبوت مقارنة بتكلفة التخلص منه.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

30 2025

ماذا لو اعتمدنا في تصنيف الدول على معايير غير تقليدية تعكس إسهاماتها الفعلية في تقدّم البشرية؟

تصنيف جديد لترتيب الدول الأفضل في العالم

إطلاق نظام تصنيف جديد للدول يعتمد على مقاييس ديناميكية مبتكرة تقيس حجم شبكات التعاون التي تبنيها الدول، والشراكات المؤثرة التي تقودها، بدلاً من الاقتصار على التصنيفات التقليدية القائمة على الدخل أو مستويات التنمية. ويمكن لمثل هذا التصنيف أن يعزز التعاون الدولي، ويحسن توجيه الموارد، ويفتح مسارات جديدة لتحقيق الأهداف العالمية المشتركة.

التأثير

قريب المدى | متوسط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى

إعادة تحديد الأهداف الإنسانية

المتغيرات الغامضة

الأنظمة، التعاون

الاتجاهات السائدة

الشراكة بين القطاعات

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات، وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

الرشاقة الحكومية

التعاون الدولي

البيانات المفتوحة

التكنولوجيا

الذكاء الاصطناعي

التحليلات الفورية

تقنيات دفتر الأستاذ الموزّع

الفئة

الابتكارات المستقبلية

القطاعات الأكثر تأثّراً

علم البيانات والذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة

التعليم

الخدمات المالية والمستثمرون

الخدمات الحكومية

الخدمات المهنية

الكلمات الرئيسية

قياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي

النمو الشامل

الدول ذات الموارد المحدودة

التقدّم

النمو المستدام

أهمية الفرصة

لم تعد المقاييس التقليدية – مثل الناتج المحلي الإجمالي – كافية لفهم التحديات المعقدة والمترابطة التي يواجهها العالم اليوم، مثل تغير المناخ وعدم المساواة الاجتماعية.[1213] ويتضح هذا القصور أكثر في ظل الضغوط المتزايدة على التمويل الدولي، حيث تشير التوقعات إلى احتمال انخفاض المساعدة الإنمائية الرسمية بنسبة تصل إلى 17% في عام 2025، مع استمرار الغموض حول مستوياتها بعد ذلك، ثم احتمال تراجعها إلى مستويات عام 2020 بحلول عام 2027.[1214]

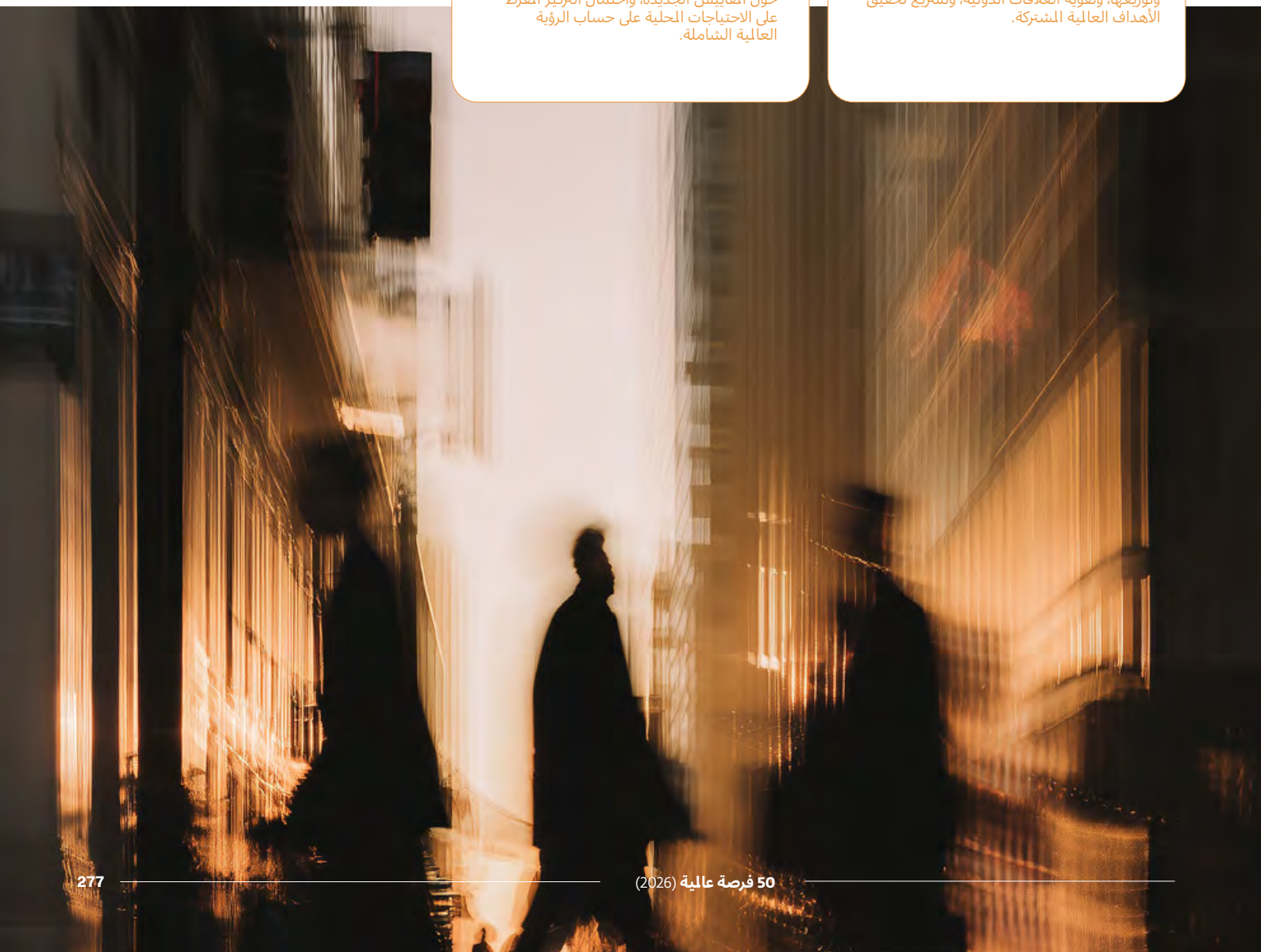
ولا يقتصر التحدي على حجم التمويل، بل يمتد إلى كفاءة توزيعه.[1215] فتصنيف أوضاع الدول يختلف بشكل واضح بين المنظمات الدولية الكبرى – مثل صندوق النقد الدولي، والبنك الدولي، وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي – حيث تتباين تقييماتها لنحو ثلث دول العالم (61 دولة من أصل 200).[1216] ويؤثر هذا التباين مباشرة في أهلية الدول للحصول على الدعم، ما يؤدي إلى ضعف توجيه الموارد، وهدر جزء منها، وعدم وصولها إلى الجهات الأكثر استحقاقاً.[1217]

الإيجابيات

تعزيز التعاون العالمي، وقياس النمو بما يتجاوز الناتج المحلي الإجمالي، وتحسين تخصيص الموارد وتوزيعها، وتقوية العلاقات الدولية، وتسريع تحقيق الأهداف العالمية المشتركة.

المخاطر

زيادة تعقيدات العلاقات الدولية وأنظمة المساعدات، وصعوبة التوصّل إلى توافق عالمي حول المقاييس الجديدة، واحتمال التركيز المفرط على الاحتياجات المحلية على حساب الرؤية العالمية الشاملة.



تضم فئة الدول ذات الموارد المحدودة نحو

44 دولة

تمثل قرابة 15% من سكان العالم، لكنها لا تسهم إلا بنسبة 2% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي و1% فقط من التجارة العالمية.

الوضع الحالي

لم تعد أنظمة التصنيف العالمية مجرد أدوات إحصائية، مثل تصنيف الدول ذات الموارد المحدودة للأمم المتحدة، أو فئات الدخل لدى البنك الدولي، أو تصنيفات الأسواق التي يصدرها مؤشر فوتسي راسل (FTSE Russell). فهذه التصنيفات تؤثر مباشرة في واقع الدول، إذ تحدد حجم الدعم الذي يمكن أن تحصل عليه، وفرصها في التنمية، وأحياناً مسارها الاقتصادي على المدى الطويل.

فعلى سبيل المثال، تضم فئة الدول ذات الموارد المحدودة نحو 44 دولة تمثل قرابة 15% من سكان العالم، لكنها لا تسهم إلا بنسبة 2% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي و1% فقط من التجارة العالمية.[1218] ورغم هذا التفاوت، تواجه هذه الدول تحديات كبيرة في الوصول إلى التمويل والدعم اللازمين لتحسين جودة الحياة ودعم النمو الاقتصادي.

وتزداد هذه التحديات عندما تخرج دولة من هذا التصنيف، إذ يؤدي ذلك غالباً إلى فقدان إمكانية الوصول إلى أدوات دعم أساسية مثل التسهيلات التجارية والتمويل التنموي.[1219] وفي الوقت نفسه، لا يضمن هذا الانتقال تحسن الأوضاع الاقتصادية أو الالتحاق بفئة الدول متوسطة الدخل، ما يضع بعض الدول في مرحلة انتقالية معقدة تتراجع فيها المساعدات قبل أن تكتسب القدرة على الاعتماد على نفسها.[1220]

ولا يقتصر تأثير التصنيفات على المساعدات، بل يمتد أيضاً إلى التدفقات الاستثمارية العالمية. إذ تؤثر هذه التصنيفات مباشرة في قرارات المستثمرين وصناديق الاستثمار، وقد تسهم في جذب رؤوس الأموال أو خروجها. فعلى سبيل المثال، عندما تم ترقية اليونان إلى فئة الدول المتقدمة ضمن مؤشر فوتسي راسل في سبتمبر 2026،[1221] ستكون صناديق تتبع مؤشرات الأسواق المتقدمة مُلزَمة بشراء أسهم يونانية .[1222] وعلى الجانب الآخر، أدى خفض تصنيف نيجيريا في عام 2023 إلى فئة «غير مصنّفة» إلى تسارع خروج رؤوس الأموال منها وتراجع الاستثمارات فيها.[1223] وتوضح هذه الأمثلة أن التصنيفات الإيجابية يمكن أن تفتح آفاقاً جديدة للتنمية وجذب الاستثمار، في حين قد يؤدي خفض التصنيف إلى مسارات تراجعية يصعب على الدول الخروج منها.[1224]

ومع ذلك، لا تعكس تصنيفات الدول دائماً الواقع الفعلي للتنمية. فقد أظهر مؤشر النمو الشامل الصادر عن مؤتمر الأمم المتحدة للتجارة والتنمية (الأونكتاد) – الذي يغطي 134 دولة تمثل 95% من سكان العالم و97% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي – أن الفجوات التنموية أكثر تعقيداً من التصنيفات التقليدية.[1225] ففي حين تحقق الدول المتقدمة في المتوسط مستويات أداء أعلى، تسجل بعض الدول الأخرى نتائج تتجاوز هذا التصنيف. فعلى سبيل المثال، تتفوق سنغافورة على العديد من الدول المتقدمة في مستوى المعيشة، كما تقترب دول مثل الإمارات العربية المتحدة، وتشيلي، والصين، وتايلاند، وأوروغواي من متوسط أداء الدول المتقدمة، البالغ 89.3، مقارنة بمتوسط 46.4 للدول ذات الاقتصادات الصاعدة.[1226] وفي المقابل، يسلط المؤشر الضوء على التحديات البيئية، إذ تنتج الدول المتقدمة ضعف كمية النفايات للفرد مقارنة بالدول النامية.[1227]

وعلى المدى الطويل، يعكس المشهد العالمي منذ عام 1987 نمواً مستداماً في مستويات الدخل؛ فقد تراجعت نسبة الدول منخفضة الدخل من 30% إلى 12%، بينما ارتفعت نسبة الدول مرتفعة الدخل من 25% إلى 40%.[1228] وتشير هذه التحوّلات إلى الحاجة الملحّة لمراجعة أنظمة التصنيف الحالية وتطويرها بما يعكس واقع التنمية بدقة أكبر ويواكب التحولات الاقتصادية والاجتماعية.[1229]

مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات المكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القيادة، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ

الواقع الحالي
إرساء مبادئ عالية للتقدّم

عمل صانعي السياسات والباحثين على تطوير مبادئ عالية جديدة لقياس التقدّم، حيث لا تقتصر على الناتج المحلي الإجمالي، بل تركّز على جودة الحياة الشاملة بأبعادها الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، بهدف بناء رؤية أكثر توازناً لتصنيف الدول.

- جوائز التحديات
- المنح

تصميم الإطار واختباره

التصميم المشترك لنموذج تصنيف مرن عبر مجموعة عمل عالية، واختبار المستخدمين الأوائل لهذه الأطر التجريبية في سياقات واقعية متنوّعة، وتعزيز تبنّي المقاييس الجديدة لضمان تطبيق عملي قابل للتوسّع.

- المنح
- عقود الخدمات
- جوائز التحديات

تنفيذ المشاريع التجريبية

اعتماد التكتلات الإقليمية لمقاييس مؤتمتة ومدعومة بالتكنولوجيا، واستخدام هذه الأطر المشتركة لبيانات فورية لتوجيه سياسات التجارة والتعاون، بما يتيح مواءمة الاستراتيجيات الاقتصادية مع الاحتياجات المحلية المحددة والتحديات العالمية المتغيرة.

- المنح المُدمَجة
- برامج مسرّعات الأعمال
- عقود الخدمات

2025 30

المستقبل المنشود
إطلاق تصنيفات جديدة

استبدال تصنيفات الدخل الثابتة بمقاييس مرنة، وتعزيز دور التكنولوجيا في تمكين المنظمات غير الحكومية الدولية والمحلية من دمج هذه المؤشرات ضمن استراتيجيات المساعدات، بما يعزّز وضوح فهم الواقع الاجتماعي والاقتصادي ويدفع الابتكار من خلال أهداف عالية مشتركة.

- عقود الخدمات
- المنح

ملامح تطوّر الفرصة

تسهم أنظمة التصنيف المرنة والواضحة في توجيه الموارد بكفاءة أكبر وبناء شراكات دولية أكثر فاعلية. فبدلاً من الاعتماد على فئات دخل ثابتة، يتجه العالم نحو مقاييس مرنة تقيم الدول والمجتمعات بناءً على قدراتها الفعلية واحتياجاتها الحقيقية، وليس فقط على موقعها الجغرافي أو تصنيفها التقليدي. وبهذا النهج، يمكن توجيه الدعم المالي نحو التحديات الفعلية التي تواجه كل دولة استناداً إلى تقييم الأثر المتوقع، ما يعزز كفاءة استخدام الموارد. كما يتراجع الاعتماد على الناتج المحلي الإجمالي كمؤشر وحيد للنجاح، لصالح مؤشرات أكثر تنوعاً وشمولاً. وفي الوقت نفسه، تعمل الاقتصادات الإقليمية على تطوير معايير نجاح تعكس ظروفها الخاصة وتقرّ بتنوع نقاط قوتها، بما يدعم تحقيق نمو مستدام طويل الأمد.

عوامل تمكين الفرصة

- تطوير ذكاء اصطناعي متقدم قادر على تتبع المقاييس الديناميكية في الوقت الفعلي.
- إنشاء أنظمة بيانات عابرة للحدود وقابلة للتشغيل البيني بين الدول والمؤسسات.
- تحقيق توافق عالمي حول مؤشرات التقدم متعددة الأبعاد.
- إرساء أطر قوية لحماية خصوصية البيانات وضمان سيادتها.
- بناء توافق دولي حول ضرورة مراجعة تصنيفات الدول.

التحديات

- صعوبة إدارة التعقيدات المتزايدة في العلاقات الدولية وأنظمة المساعدات.
- مخاطر الاعتماد على مقاييس مجمعة قد تحجب الاحتياجات الفعلية للسكان.
- تعقيد مواءمة المؤسسات التقليدية مثل صندوق النقد الدولي والبنك الدولي مع الأطر الديناميكية الجديدة.
- صعوبة الحفاظ على أنظمة بيانات عابرة للحدود وقابلة للتشغيل البيني.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

34 2025

ماذا لو أصبحت أنظمة براءات الاختراع أكثر تركيزاً على تحفيز الابتكار وتعزيز أثره الإيجابي في المجتمع؟

براءات اختراع أكثر مرونة

إنشاء نظام ملكية فكرية أكثر مرونة وقابلية للتكيّف مع الاحتياجات والمتطلبات المتنوعة، بما يضمن إتاحة التكنولوجيا على نطاق أوسع، ويحفّز الابتكار الموجّه نحو الأثر المجتمعي، ويعزز الشفافية، ويدعم التنمية المستدامة والتطوّر المجتمعي.

التأثير

قريب المدى | متوسط المدى | **بعيد المدى**

التوجهات العالمية الكبرى

نمو اقتصادات الأعمال المستقلّة

المتغيرات الغامضة

الأنظمة، التكنولوجيا

الاتجاهات السائدة

الشراكة بين القطاعات
توليد الأفكار والملكية الفكرية وريادة الأعمال
التعاون الدولي
تحفيز الابتكار
البيانات المفتوحة

التكنولوجيا

الحوسبة المتقدّمة
الذكاء الاصطناعي

الفئة

تحسين الأنظمة

القطاعات الأكثر تأثّراً

الخدمات المهنية (الخدمات القانونية والملكية الفكرية)
الخدمات الحكومية
الصحة والرعاية الصحية
الطاقة والنفط والغاز والطاقة المتجدّدة
المواد والتقنية الحيوية

الكلمات الرئيسية

الترخيص المرن
الملكية الفكرية
رموز الملكية الفكرية غير القابلة للاستبدال
تعهّدات براءات الاختراع
السلع العامة

أهمية الفرصة

تكشف بيانات السنوات الأخيرة واقعاً مقلقاً في عالم براءات الاختراع. فقد تبيّن أن 97% من البراءات لم تتمكّن حتى من تغطية تكاليف تسجيلها، بينما توقفت نحو 50% في مراحل مبكرة بسبب عجز أصحابها عن سداد الرسوم. وحتى في الجامعات، لم ينجح سوى 20% من مكاتب نقل التكنولوجيا في تحقيق أرباح تغطي تكاليفها.[1230]

ويرتبط هذا الواقع، جزئياً، بجمود نظام براءات الاختراع، الذي يحتجز الحلول التقنية ضمن حقوق ملكية حصرية قد تمتد إلى 20 عاماً. ولا يؤدي هذا التقييد إلى إبطاء الابتكار التراكمي فحسب، بل يحد أيضاً من وصول المجتمعات التي تواجه تحديات ملحّة في المناخ [1231] والصحة[1232] إلى التقنيات الأساسية التي تحتاجها.

الإيجابيات

تحفيز الابتكار وتعزيز الأثر الاجتماعي العالمي للابتكارات، وضمان التوزيع العادل لفوائد الملكية الفكرية.

المخاطر

زيادة تعقيد إدارة الملكية الفكرية، وتصاعد ثغرات الأمن السيبراني، وصعوبة تحديد القيمة العادلة للاختراع، وإحداث تحوّلات غير مدروسة في الصناعات والقطاعات القائمة.

الوضع الحالي

شهد عام 2024 ارتفاعاً ملحوظاً في طلبات براءات الاختراع عالمياً، إذ بلغ عددها 3.7 مليون طلب، بنمو قدره 4.9%، وهو أعلى معدل يُسجّل منذ عام 2018.[1233] وتصدّرت الصين هذا المشهد باستحواذها على 49% من إجمالي الطلبات، أي ما يعادل ثلاثة أضعاف عدد الطلبات المقدّمة في الولايات المتحدة.[1234] ونتيجة لذلك، وصل عدد براءات الاختراع السارية حول العالم في عام 2024 إلى نحو 19.7 مليون براءة، زيادة بنسبة 6% عن 2023 .[1235]

في المقابل، يواجه نظام الملكية الفكرية ضغوطاً متزايدة مع تسارع التطوّر التقني، ما يطرح تحديات تتعلّق بعملية الاختراع نفسها، ونَسب الملكية، وآليات التنفيذ، ودور مكاتب الملكية الفكرية. كما أسهم التوسّع الكبير في الأصول غير المادية في تعقيد تقييم حقوق الملكية الفكرية وتطبيقها، وزاد من صعوبة وصول الشركات الصغيرة والمتوسّطة إلى هذه الأنظمة.[1236]

وتزداد أهمية الملكية الفكرية اليوم بوصفها أداة محورية لدعم الاستدامة، ومواجهة تغيّر المناخ، والتصدي للأوبئة، إلى جانب قضايا كبرى[1237] مثل أمن الطاقة، والأمن الغذائي، والنمو الاقتصادي الشامل.[1238] غير أن هذه الأهمية لا تمنع تحوّل الملكية الفكرية، في بعض الحالات، إلى عائق يحدّ من الوصول إلى الأدوية واللقاحات والتقنيات الأساسية. ففي عام 2024، كانت 85% من براءات الاختراع العالمية مملوكة لعدد محدود من الدول، تصدّرتها الصين بنسبة 49%، تلتها الولايات المتحدة (16%)، ثم اليابان (8%)، وكوريا الجنوبية (7%)، وأوروبا (5%)،[1239] وقد شكّل هذا التركّز تحدياً حقيقياً أمام الدول منخفضة ومتوسطة الدخل، التي غالباً ما تكون الأكثر حاجة إلى هذه التقنيات والحلول الحيوية.[1240]

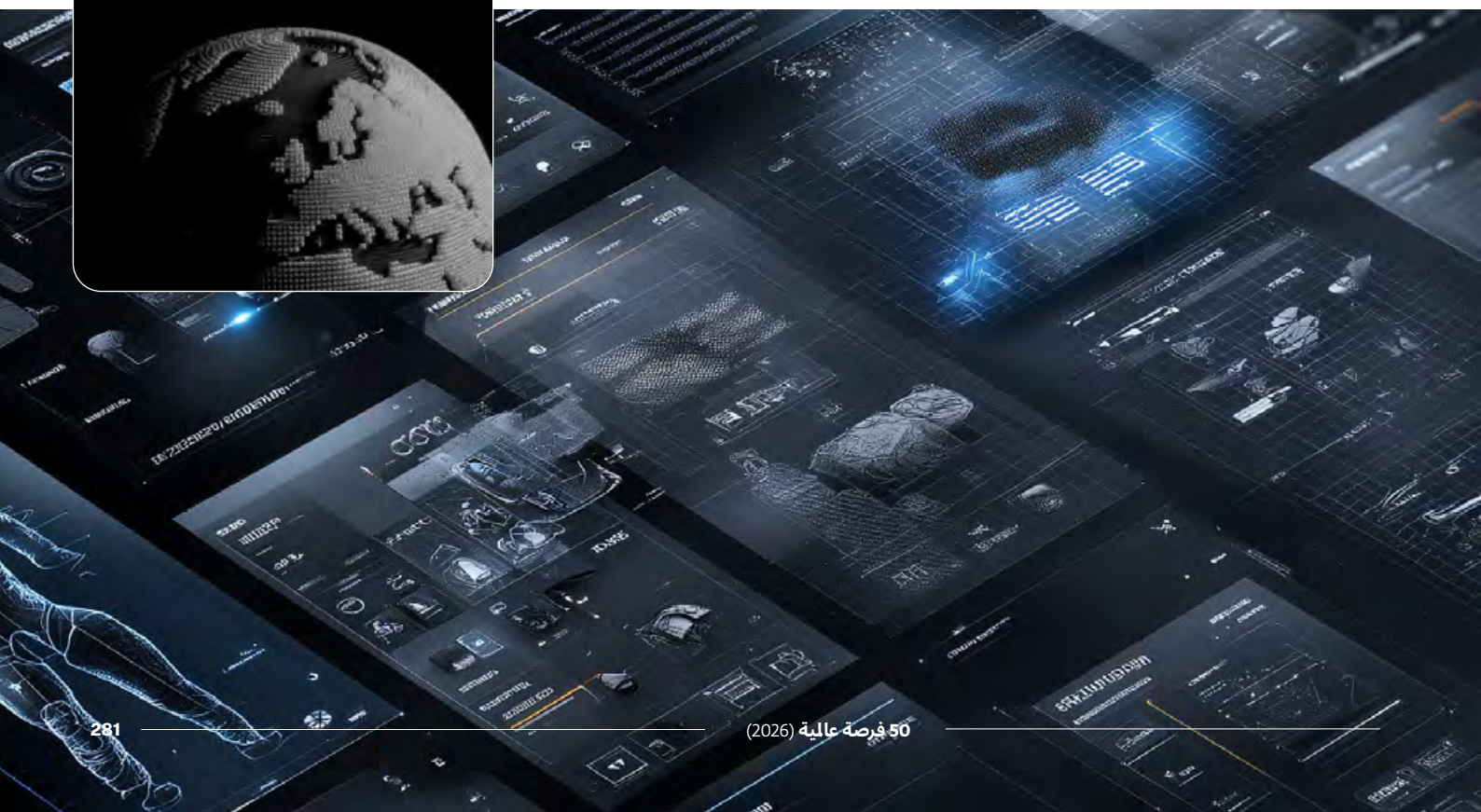
وأدى هذا الواقع إلى تنامي الاهتمام بأشكال جديدة من الملكية الفكرية وآليات طوعية أكثر مرونة. ورغم أن وضعها القانوني لم يُحسم بعد، تُعدّ تعهّدات براءات الاختراع مثالاً بارزاً على هذه الآليات. فقد بدأت الشركات تستخدمها باعتبارها التزاماً صريحاً بعدم مقاضاة أطراف أخرى عند تطبيق ابتكاراتها في حالات محددة،[1241] سواء لفترة زمنية معينة أو ضمن مجالات تقنية بعينها.[1242]

وقد تبنّت شركات عالمية، مثل «موديرنا» و «أوبن أيه آي» و «تسلا» هذا النهج في السنوات الأخيرة.[1243] غير أن حكم المحكمة العليا في المملكة المتحدة عام 2024، في قضية «موديرنا» ضد «فايزر» أظهر أن الشركات قد تتراجع عن تعهّدات البراءات رغم الاعتراف القانوني بها، من خلال بنود إخلاء المسؤولية، [1244] وهو ما يحدّ من الاعتماد عليها مستقبلاً.

3.7 مليون
عدد طلبات براءات الاختراع عالمياً في 2024

شهد عام 2024
تقديم نحو 85% من طلبات براءات الاختراع العالمية من عدد محدود من الدول:

- **%49** الصين
- **%16** الولايات المتحدة
- **%8** اليابان
- **%7** كوريا الجنوبية
- **%5** أوروبا



مسار تحقيق الفرصة

يمثّل هذا المسار أحد الخيارات الممكنة للوصول إلى المستقبل المنشود بناءً على الأدوات المالية المقترحة، مع قابلية تعدّده وفق السياقات المحلية. وتختلف سرعة التحوّل بحسب حجم التمويل، وتوفّر القدرات القيادية، وعوامل التمكين، والظروف المحيطة، لذلك لا تُحدَّد جداول زمنية ثابتة، بل يُترك المجال لاختيار أسرع مسار قابل للتنفيذ.

الواقع الحالي
مرحلة التطبيق التجريبي

عملت المؤسسات البحثية ومنظمات الملكية الفكرية على تطوير أطر ترخيص مرنة، مع تجربة نماذج عملية تُظهر تحسّن الوصول إلى التقنيات ضمن قطاعات، وعقد تحالفات بين مختلف أصحاب المصلحة، تجمع المبتكرين، وحاملي براءات الاختراع، ووكالات التنمية، والحكومات، ووضع معايير تصنيف واضحة.

- جوائز التحديات
- عقود الخدمات
- المنح

البيئات التنظيمية التجريبية

اختبار نماذج ترخيص مرنة للأدوية، وتقنيات المناخ، والابتكارات الزراعية ضمن بيئات تنظيمية تجريبية، وتحديد المعايير الدولية لتصنيفات التقنيات الأساسية، إلى جانب إبرام اتفاقيات ثنائية فيما بين الدول الرائدة، ومعالجة الأطر القانونية المرتبطة بآليات التطبيق وتسوية النزاعات.

- عقود الخدمات
- المنح

مرحلة التنفيذ

تبنّي الحكومات أطر مرنة لبراءات الاختراع على المستوى الوطني، مع إنشاء مجمّعات إقليمية مخصّصة للتقنيات الأساسية. وفي الوقت نفسه، اعتماد مكاتب البراءات على أنظمة مدعومة بالذكاء الاصطناعي لتصنيف الطلبات وتطبيق تسعير ديناميكي، إلى جانب تفعيل آليات تحقّق سريعة بالاستفادة من قواعد البيانات الحكومية القائمة.

- عقود الخدمات
- المنح
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)

2025 34

المستقبل المنشود
مرحلة التوسّع

اعتماد مكاتب براءات الاختراع عالمياً على أنظمة تصنيف مدعومة بالذكاء الاصطناعي، إلى جانب نماذج ترخيص مرنة وتلقائية. وفي هذا الإطار، تتولّى المنظمة العالمية للملكية الفكرية (الويبو) تنسيق قاعدة بيانات اتحادية تتيح التحقّق الفوري من الحقوق، مع دمج آليات نقل التكنولوجيا ضمن جميع طلبات براءات الاختراع الخاصة بالابتكارات الأساسية.

- عقود الخدمات
- سندات الأثر الاجتماعي (التمويل الاجتماعي)

ملامح تطوّر الفرصة

تسهّل المنصات المرنة للملكية الفكرية إيداع البراءات بتكلفة أقل، مع ضمان مشاركة آمنة للممتلكات الفكرية. ويُستخدم الذكاء الاصطناعي لتقييم الفائدة العامة قبل تسجيل البراءة، كما يضبط مستوى تفصيلها تلقائياً مع تغيّر الظروف، من دون الحاجة إلى اللجوء إلى المحاكم. وفي هذا النموذج، تصبح تعهّدات براءات الاختراع قابلة للتنفيذ قانونياً، بينما يتكيّف الترخيص فورياً مع طبيعة الاستخدام، والموقع الجغرافي، ومستويات الدخل، ما يسرّع نقل التكنولوجيا المرتبطة بالمناخ، والصحة، والأمن الغذائي إلى مختلف أنحاء العالم.

عوامل تمكين الفرصة

- المواءمة التنظيمية والمرونة عبر البيئات التنظيمية التجريبية، بما يمكّن التطبيق العابر للحدود لنماذج الملكية الفكرية المرنة.
- وضع تعريفات واضحة للقطاعات ذات الأولوية، مع توثيق احتياجات الابتكار ومتطلبات الوصول المستقبلية.
- تطوير نماذج ترخيص مرنة تتكيّف بحسب القطاع، والموقع الجغرافي، وشروط المصلحة العامة.
- اعتماد أنظمة تصنيف مدعومة بالذكاء الاصطناعي وقابلة للتشغيل البيني، إلى جانب قواعد بيانات حكومية تدعم الترخيص المرن على نطاق واسع.

التحديات

- صعوبة إنشاء أنظمة تصنيف وترخيص مدعومة بالذكاء الاصطناعي تكون سهلة الاستخدام، وقابلة للتشغيل البيني، وواضحة في آلية عملها.
- مقاومة نماذج الملكية الفكرية المرنة والمشتركة.
- صعوبة دمج نماذج الملكية الفكرية المرنة مع مكاتب وسجلات البراءات التقليدية.
- صعوبة الحفاظ على حوافز الابتكار مع توسيع نطاق الوصول العادل عالمياً.

حدد الدور المناسب: انظر (الشكل 9) لتحديد الدور المناسب لك، سواء كنت في **دور الشخصية القيادية أو المترقبة أو الداعمة أو المراقبة**

المنهجية المعتمدة

بدلاً من السعي إلى استشراف فرص جديدة، اختارت نسخة هذا العام من تقرير «الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية» إعادة قراءة الفرص الخمسين المطروحة في الإصدارات السابقة، وتحليلها من زاوية واحدة محددة: كيف يمكن تحصيل قيمة حقيقية من هذه الفرص؟

ولتحقيق ذلك، اعتمد التقرير نهجاً من ثلاث مراحل مترابطة: المرحلة الأولى شملت مراجعة تحليلية شاملة لتحديث رؤيتنا المستقبلية العالمية، بينما تضمنت المرحلة الثانية جلسات نقاشية واستبيانات استشرافية مع أبرز خبراء ومصممي المستقبل ضمن شبكة مؤسسة دبي للمستقبل، لرصد تصوّرات الأفراد تجاه المتغيّرات العالمية الغامضة ومؤشرات التحوّل. أمّا المرحلة الثالثة فشملت تحليلاً معمّقاً للفرص الخمسين المستخلصة من الإصدارات السابقة، مع إبراز مسارات تحصيل القيمة منها وتحويلها إلى تطبيقات ونتائج قابلة للقياس.

استخدام الذكاء الاصطناعي التوليدي في إعداد التقرير

يوثّق هذا التقرير تجربتنا ومنهجيتنا في أبحاث استشراف المستقبل مع الاستفادة من أدوات الذكاء الاصطناعي التوليدي كأدوات بحثية مساندة، لا كبديل عن الجهد البشري. وقد تم استخدام هذه الأدوات في نقاط محدّدة بعناية، وبما يخدم هدفاً واحداً: تحقيق قيمة ملموسة في كل مرحلة من مراحل البحث.

ولا يقتصر هذا النهج على تسريع العمل أو رفع الكفاءة، بل يركّز أساساً على تعزيز جودة المخرجات الاستشرافية. وانطلاقاً من أن الجودة هي معيارنا الأول عند استخدام الذكاء الاصطناعي، اعتمدنا ضوابط واضحة تشمل: تدقيق البيانات لتعزيز المصداقية، وتقديم سياقات كافية لدعم دقّة النتائج، والالتزام بمنهجية ثابتة، وتوثيق شفاف يتيح التحقق من المعلومات.[1245]

ورغم ما توفّره النماذج اللغوية الكبيرة من قدرات تحليلية متقدّمة، يظل الفكر البشري ركيزة هذا التقرير وجوهره. فجميع العمليات الذهنية المحورية — بدءاً من تصميم منهجية الاستشراف، وإجراء البحوث الأوّلية، مروراً بتحديث الرؤية المستقبلية العالمية، وتحديد مجالات الفرص ضمن التوجّهات العالمية الكبرى، وصولاً إلى الكتابة — تبقى ثمرة العقل الإنساني والتحليل البشري المباشر.

المراجعة التحليلية السنوية

اعتمدت المراجعة التحليلية السنوية الخطوات التالية:

إعداد قائمة بمؤسسات عالمية وإقليمية مرموقة تنشر تقارير حول التوجهات والسيناريوهات المستقبلية، مع ضمان التوازن بين المؤسسات الدولية الحكومية، والجهات الحكومية، والأوساط الأكاديمية، والمصادر الخاصة.

- جمع وتحليل التقارير المنشورة حول الفرص خلال الفترة بين أغسطس 2024 وسبتمبر 2025.
- تقييم هذه التقارير وفق معايير الاكتمال والمصداقية وجدوى المحتوى لخدمة أهدافنا البحثية.
- تحليل المحتوى واستخلاص البيانات الداعمة لتحديث رؤيتنا للمستقبل العالمي، وذلك باستخدام أدوات آلية مخصّصة.
- التحقق من نتائج التحليل عبر مراجعة بشرية متخصصة، مع التركيز على توضيح المصطلحات غير الدقيقة، وتصحيح الاستنتاجات غير المدعومة بالأدلة.

تقرير هذا العام

تم إعداد تقرير هذا العام بعد مراجعة مفصّلة أُجريت على 52 تقريراً من إعداد 38 مؤسسة مرموقة، من بين 185 تقريراً أوّلياً نُشرت عن 64 جهة. بما في ذلك مؤسسات من منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.

المراجع (المراجعة التحليلية):

وعند إعداد القائمة الأولية للتقارير، حرصنا على تمثيل مناطق جغرافية متعددة دون استبعاد مسبق، بهدف ضمان تنوّع واسع في وجهات النظر العالمية حول المستقبل. ولتيسير عملية المراجعة، أعددنا أوامر إرشادية مخصّصة لتحليل التقارير باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي، والتزمنا في هذه المرحلة بنموذج لغوي واحد لضمان اتّساق النتائج. وقد اضطلع فريق العمل بدورٍ محوري في التحقق من المخرجات وتفسيرها وتعميق تحليلها عند الحاجة.

نقاشات واستبيانات مع خبراء وأعضاء ضمن شبكة مؤسسة دبي للمستقبل

اختيار خبراء وأعضاء من ضمن شبكة مؤسسة دبي للمستقبل، من المقيمين في دبي ومناطق مختلفة حول العالم (يُرجى الاطلاع على قسم الشكر والتقدير).

- عقد جلسات حضورية وافتراضية، وفق قاعدة تشاتام هاوس، أُتيح فيها للمشاركين التفكير بحرية في مسارات النمو والازدهار وجودة الحياة في المستقبل، عبر أسئلة مفتوحة تناولت واقعنا اليوم، وتصور العالم بعد خمسين عاماً، وما يتطلع إليه الأفراد لمستقبل أفضل.
- تفريغ النقاشات وتحليلها دون الكشف عن هويات المشاركين لتحديد القضايا المشتركة واستخلاص الأسئلة التي تعبّر عن تصوّراتهم للمستقبل، ثم استخدام هذه المخرجات للتحقق من نتائج المراجعة التحليلية ومناقشة أبعاد التغيير مع مجموعات مختارة من الخبراء، بدعم من أدوات الذكاء الاصطناعي.
- إطلاق استبيان شمل المشاركين في جلسات النقاش، إلى جانب خبراء تقرير الفرص المستقبلية، بهدف تحديد أوجه التلاقي بين وجهات النظر، وتأكيد التصوّرات والمشاعر المرتبطة بالمتغيّرات الغامضة.

تقرير هذا العام

جاءت مخرجات تقرير هذا العام حصيلة 11 جلسة نقاش عُقدت خلال الفترة بين 7 يوليو 2025 و 20 يناير 2026، بمشاركة 189 عضواً من ضمن شبكة مؤسسة دبي للمستقبل من المقيمين في دبي ومناطق مختلفة حول العالم . وقد ساهم (70) مشاركاً منهم في تقديم تصوّراتهم عبر الاستبيان الخاص بالتقرير. وعُقدت هذه الجلسات وفق قاعدة تشاتام هاوس لضمان بيئة حوارية منفتحة تتجاوز قيود التفكير الجماعي، بينما صُمّمت جلسات الشباب بأسلوب تفاعلي يواكب اهتماماتهم ويحاكي واقعهم.[1246] ودعماً للعملية التحليلية، استُخدمت أدوات الذكاء الاصطناعي التوليدي في ترميز الموضوعات واستكشاف نقاط التقاطع والاختلاف بين الآراء، مع الالتزام باستخدام نموذج واحد طوال هذه المرحلة لضمان اتّساق التحليل ودقة نتائجه.

الإطار المرجعي لتحصيل القيمة، والتنبؤ العكسي، وتحليل الفرص

اعتمدت هذه المرحلة الخطوات التالية:

تصنيف 200 فرصة مستقبلية طُرحت خلال السنوات الأربع الماضية ضمن الأطر المرجعية الأنسب لتحصيل القيمة، ثم اختيار 49 فرصة – إلى جانب فرصة جديدة واحدة كُشف عنها في منتدى دبي للمستقبل 2025 – لتحليلها بعمق.

عند اختيار الفرص، تم التركيز على الفرص المتوسطة والبعيدة المدى لارتباطها بتحولات اجتماعية وتكنولوجية عميقة، مع الاقتصار على الفرص ذات الأثر الممتد عبر أكثر من قطاع واحد ليشمل ما لا يقل عن 9 قطاعات. واستُثنيت فرصتان: الفرصة رقم 20 من نسخة عام 2022 بعنوان: "مكتبة طبية لكوكب الأرض"، نظراً لطبيعتها الخاصة التي تبرّر إدراجها ضمن إطار الشراكات الفعالة والفرصة رقم 2 من نسخة عام 2025 بعنوان: "فيروسات آكلة للبكتيريا"، نظراً لطبيعتها الخاصة التي تبرّر إدراجها ضمن إطار الابتكارات التحوّلية وتوظيف التقنيات المتقدّمة.

- إجراء تحليل أوّلي لكل فرصة بهدف فهم وضعها الحالي دون التوسع في جميع تفاصيلها.
- رسم مسار تنبؤ عكسي لكل فرصة عبر أربع مراحل، يبدأ من الواقع الحالي ويمتد نحو المستقبل المستهدف، مع تحديد متطلبات كل مرحلة والتحديات المحتملة، بدعم من أدوات الذكاء الاصطناعي.
- ربط الأدوات المالية بأهداف كل مرحلة ضمن مسار التنبؤ العكسي، والتحقق من ملاءمة هذه الأدوات بمساعدة خبراء مختصين.

تقرير هذا العام

تم توزيع الفرص المستقبلية المختارة في نسخة هذا العام على الإطارات المرجعية الخمسة على النحو التالي:

إعادة تعريف مفهوم القيمة	11
فتح أسواق جديدة	5
تبنّي الابتكارات التحوّلية وتوظيف التقنيات المتقدّمة	16
الشراكـات	5
تعزيز المرونة	13

وفي المراحل الأولى من مسار التنبؤ العكسي، كان العقل البشري هو المحرّك الأساسي للتحليل، مع الاستعانة بالذكاء الاصطناعي التوليدي في مهام فنية محددة، شملت الحد من انحياز البيانات، وتعزيز اتّساق المخرجات، وتعميق فهم عوامل التمكين والتحديات المرتبطة بكل مسار.

ولضمان النظر إلى المسارات المستقبلية من زوايا متعددة، استُخدمت ثلاثة نماذج لغوية كبيرة مختلفة،[1247] بما أتاح مقارنة مخرجاتها ورصد نقاط التشابه والاختلاف، خصوصاً في العوامل المكنة للفرص والتحديات التي تواجهها، مما أسهم في جعل التحليل أكثر عمقاً ودقة.

أعدّ هذا التقرير فريق عمل أبحاث دبي للمستقبل الذي تصدر العديد من الدراسات والتقارير الاستشرافية باستخدام الأساليب التحليلية القائمة على الأدلة والخيال بهدف مساعدة الجهات المعنية على التنبؤ بالمستقبل والاستعداد له بشكل أفضل.

يمكنكم الاطلاع على منشوراتنا السابقة عبر الرابط الإلكتروني:

www.dubaifuture.ae/research

شكر وتقدير

أشرف على إعداد هذا التقرير كل من **الدكتورة هبة شحادة** و**الدكتور باتريك نوك** و**عبد العزيز الجزيري.** وقاد **فراس صبح** عملية التصميم، و**فابيو أراوجو** تصميم الصور. فيما تعاون **إيهاب خطاب** و**عبد الله النعيمي** لإعداد النسخة العربية.

كما استفاد التقرير من دعم إضافي قدّمته **أروبة خالد** و**الود الفلاسي** و**مياسة الشحي** من فريق أبحاث استشراف المستقبل، إلى جانب مساهمات قيّمة من الزملاء في مؤسسة دبي للمستقبل: **انستازيا رومانوفا**، و**بلال عماد**، و**بثينة العبدولي**، و**إيمان أحمد الشناوي**، و**إيمان عبد القاضي**، و**فرح الحطاب**، و**غيور أحمد**، و**جريس روجورو كابورا**، و**حصة الفهيم**، و**لانا عبد الحميد**، و**ليديا كامله**، و**مريم يوسف**، و**د. محمد قاسم**، و**نسمة الشرفي**، و**سلطان الرئيسي**، و**نورة أهلي**، و**راجيش فياكارنام**، و**راكيش كومار**، **شابين بارامباث**، و**شما المريد**، و**تالا أنشاصي**، و**يحيى محمد**، وبمشاركة خبراء من خارج المؤسسة: **فاطمة العلي** (المكتب التنفيذي - دبي)، **هيزل بيرد** (محررة)، **أماندا أنستي** (محررة)، **كاثرين بريمروز- ماثيسن** (محررة)، و**جيسيكا سميث** (خبيرة الإعاقة وإمكانية الوصول).

ونخص بالشكر الفريق الذي نجح في تحويل مخرجات التوجّه العالمي "تزايد الاهتمام بالصحة المتقدّمة والتغذية" ضمن تقرير "الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية" إلى تجربة تفاعلية ضمن مبادرة "معاً نصمّم المستقبل" في عام 2025: **زينة ديسي، حليمة جعفر، ميثاء مطر.**

كما نتقدّم بجزيل الشكر للمشاركين من مختلف أنحاء العالم على مشاركتهم في جلسات النقاش والاستبيانات، وعلى دعمهم المتواصل لرؤية مؤسسة دبي للمستقبل.

ولا يفوتنا أن نثمن الدور الحيوي الذي تؤدّيه شبكتنا من المؤسسات والبرامج الاستشرافية في رسم ملامح مستقبل النمو والازدهار وجودة الحياة.

وقد حرصنا على تحري الدقة في توثيق الأسماء والجهات، بما يعكس عضوية الأفراد والشركات ضمن شبكة مؤسسة دبي للمستقبل خلال عام 2025، وأي خطأ ورد في هذا السياق فهو غير مقصود.

خريجو برنامج دبي لخبراء المستقبل (DEEP)

برنامج دبي لخبراء المستقبل هو مبادرة سنوية تطلقها مؤسسة دبي للمستقبل بهدف إعداد وتمكين نخبة من الكفاءات الإماراتية المتخصصة في استشراف المستقبل. ويركّز البرنامج على إعداد شبكة فاعلة من الخبراء عبر مختلف قطاعات حكومة دبي.
وتضمّ شبكة البرنامج نخبة من المشاركين

عبد الله آل علي
مركز دبي للسلع المتعددة

عبد الله محمد يوسف
طيران الإمارات

عبد الله علي سعيد الشامسي
مؤسسة دبي لمشاريع الطيران الهندسيّة

أحمد عبد السلام كاظم
جمارك دبي

إحسان محمد زارعي
مجموعة شركات بترول الإمارات الوطنية (إينوك)

المهندس محمد زينل
شرطة دبي

ميثاء أحمد البلوشي
هيئة دبي الرقمية

محمد حسن بامسعود
مركز دبي للإحصاء

د. نورة عبد الرحمن
مكتب التطوير الحكومي والمستقبل

سعود سليمان الحمودي
مطارات دبي

سينا الخاجة
إنفيجون لاب

صندوق حي دبي للمستقبل

هو صندوق حكومي بقيمة مليار درهم، يوجّه استثماراته إلى صناديق رأس المال الاستثماري والشركات الناشئة المتقدمة في القطاعات التكنولوجية التي تتواءم مع أهداف أجندة دبي الاقتصادية. ويضم فريق الصندوق:

آرزو شارما

عدنان صديقي

دينا خير

هيكل وان

لي كاسلر

محمود وارد

روبرتو تابت

تيفاني بين

برنامج زمالة دبي للمستقبل

هي مبادرة نوعية تجمع نخبة مختارة من القادة ورواد الأعمال وممثلي المنظمات الدولية المقيمين في دبي من مختلف القطاعات، بهدف الإسهام برؤى معمّقة حول الاتجاهات المستقبلية، واستشراف التحديات والفرص التي ستسهم في تشكيل مسار دبي خلال السنوات المقبلة. وتضم الزمالة:

كارولين لوكا
مؤسسة إيلي خوري للفنون

كارل تلايس
آي أدفايزوري

كِنان حمزة
مجموعة الإمارات

مديحة ستار
بي إن واي

ندين مظهر
ثروة

البروفيسور مارك بير
معهد ميتيس

طارق أمين
منصة يوتيوب- الشرق الأوسط وأفريقيا وتركيا

خريجو برنامج استشعار المستقبل (FEEL)

برنامج استشعار المستقبل هو برنامج قيادي مكثف في مجال استشراف المستقبل يمتد على أربعة أسابيع، تطلقه وتنظّمه مؤسسة دبي للمستقبل بهدف إعداد قيادات تمتلك عقلية مستقبلية قادرة على الاستشراف والابتكار. ويجمع البرنامج مشاركين من داخل الدولة وخارجها في تجربة عملية تقوم على الاستشراف. ويضم خريجو البرنامج:

د. أليكسي سلوبوجانيوك
إكسبانسيو

ماج. أليكس إدواردو نومبيرتو سيرنا
موديولا

علي طاهري
إيثرنت

إدوارد سالمون
بينك فيش ™

فولاجيمي داودو
فولت هيل

هايلي (هان بيت) يون
ديفيلوب إل

هاني العيطه
سوبرنوفا أدفازيوري

جيمي بنجارا
مايكروسوفت

د. جنا بويد
المركز العالمي للذكاء الاصطناعي المسؤول

مها الخلاوي
خبيرة استراتيجيات الابتكار ومؤلفة

د. ستيفان بيرغر
مجموعة شميد/ بيغاسوس للتنقل الرقمي

سوميت مالهوترا
سينغيولاريس فنتشرز

سوميت شارما
وايز إيلث

فينكاتا رام كوثابالي
آي رايدر للذكاء الاصطناعي

يوسف الغرير
عيسى الغرير للاستثمار

خبراء تقرير 50 فرصة عالمية

يُعدّ تقرير «الفرص المستقبلية: 50 فرصة عالمية» الإصدار البحثي الاستشرافي الأبرز لمؤسسة دبي للمستقبل، ويعكس رؤيتها للتحولات الكبرى التي يُتوقّع أن تعيد تشكيل العالم. ويستعرض التقرير 50 فرصة مستقبلية من شأنها أن تسهم في رسم ملامح النمو والازدهار وجودة الحياة خلال الخمسين عاماً المقبلة. ويضم الخبراء والباحثين الدوليين، منهم:

أغاثا أتشياردو
ثينك نكست

أليكسي برازدنيشنيخ
معهد أوراسيا

د. أمينة السميطي
جامعة خليفة

برونوين ويليامز
برنامج الأمم المتحدة الإنمائي

سيسيليا مو سزي ثام
فيوتشيريتي سيستمز

د. ديبورا باروس ليال فارياس
جامعة نيو ساوث ويلز

إيغور غروسمان
جامعة واترلو

جوانا بيرتشِس هاتفيلد
مجموعة الاستدامة أفريقيا

نظيم ستيراس
فود آند كونكت – جامعة كيب تاون

نجاة أ. شاه
مجموعة شاه القابضة

د. رولاند بينيديكتَر
اليونسكو

شون كليري
ستراتيجيك كونسبتس

ثيلما إفوا كواي
سمارت أفريقيا

فيلاس دار
مؤسسة باتريك جوزيف ماكغفرن

الشبكة العالمية لمؤسسات استشراف المستقبل

هي شبكة دولية تُنسّقها مؤسسة دبي للمستقبل، وتجمع نخبة من خبراء ومؤسسات استشراف المستقبل من مختلف أنحاء العالم، بهدف تبادل الرؤى وتعزيز التعاون حول الفرص والتحولات التي من شأنها أن تُسهم في رسم ملامح المستقبل.

أندريا بوسكيتس
أرتيفاكتو جاليري

د. آندي بوه
مكتب التطوير الحكومي والمستقبل

بلاز غولوب
معهد جي إف إس

كارلوس بينا
إينوباسك

تايس بيك
سبرول إي آر سي إي

سيسيل كريمر
خبيرة في دراسات المستقبل ومستشارة في الاستشراف الاستراتيجي

ديفيد فوي
لوكزينوفيشن

إيبون زوغاستي
بروسبكتيكر – المعهد الأوروبي لدراسات واستراتيجيات المستقبل

جاكي سيليرز
معهد الدراسات الأمنية

جيروم غلين
مشروع الألفية

لويس تشنغ
فيوتريست سيركل

أولغا شايفا
ألغوريثم ترند إنتليجنس

بابلو رييس
ميميتيكا

باسكال يونكر
باسكال يونكر فورسايت

البروفيسور جوناثان كالوف
جامعة أوتاوا، والعضو المشارك في كرسي اليونسكو المعني بالأنظمة الاستباقية للابتكار والمشروعات الجديدة

سار بن عطار
أسينت غروث بارتنرز

صابرينا سوليفان
باي بلس باي فورسايت

سام دوغلاس-بيت
فورج فرونت

ستيفن ليشتي
فرونت لاين فيوتشرز

بير فورسايت جروب - حكومة دبي

شبكة متخصصة تضم ممثلين عن جهات حكومة دبي تنسّقها مؤسسة دبي للمستقبل، وتعقد اجتماعاتها مرتين سنوياً لتبادل الرؤى الاستشرافية، ورصد الإشارات المبكرة والاتجاهات الناشئة على المستويين المحلي والعالمي، إلى جانب مشاركة أفضل الممارسات الداعمة لصناعة القرار.
وتضم المجموعة ممثلين عن عدد من الجهات الحكومية، من بينهم:

عائشة عبد الرحيم أبوالشوارب*
بلدية دبي

عائشة المُلا
محاكم دبي

المهندسة آمنة طاهر
مجموعة وصل

أنيسة علي
دبي كوميرسيتي

أرجون ساركار
مسؤول النظام البيئي الرقمي والشراكات، دبي كوميرسيتي

أروى عبد الله المري*
المكتب التنفيذي لإمارة دبي

أسمهان أبو الخير
بلدية دبي

عاصم آل خاجة
دائرة الموارد البشرية لحكومة دبي

عائشة البدور*
المكتب التنفيذي لإمارة دبي

د. عائشة المطوع
مؤسسة دبي لخدمات الإسعاف

عائشة بن كلي
مجلس دبي للإعلام

إيمان الهرمودي
محاكم دبي

المهندسة هالة الخطيب
مؤسسة دبي لخدمات الملاحة الجوية

حمدة النجار
مجلس دبي للإعلام

هنادي البلوشي
محاكم دبي

د. هبة أحمد
مركز دبي للأمن الإلكتروني

هبة سيف التميمي*
دناتا - مجموعة الإمارات

جاسم الشمري
شرطة دبي

جوخة المرزوقي*
دبي الصحية

خالد أحمد أوزير
دائرة الموارد البشرية لحكومة دبي

محمود أبو الخير
مؤسسة التنمية الاقتصادية بدبي – دائرة الاقتصاد والسياحة

ميثـاء البلوشي*
هيئة دبي الرقمية

مجد خابور
هيئة الصحة بدبي

منصور العصيمي
دائرة الشؤون القانونية لحكومة دبي

د. مروة عبد الله شلواني*
دبي الصحية

مروة محمود زينل*
دبي كوميرسيتي

مروى الجوكر
سلطة دبي للمناطق الاقتصادية المتكاملة

مريم سعيد المري
دائرة الموارد البشرية لحكومة دبي

ميرة أهلي
شرطة دبي

د. محمد علي نصرالدين
بلدية دبي

مسعد أفضل
هيئة دبي الرقمية

نالا أولينيكوفا
مكتب سمو الشيخ سعيد آل مكتوم

نورة سعيد محمد العوضي*
دبي للاقتصاد والسياحة

د. أسامة يوسف حماد
الأمانة العامة للمجلس التنفيذي لإمارة دبي

راشيل ماثيو
سلطة دبي للمناطق الاقتصادية المتكاملة

رافية العفاري
جامعة حمدان بن محمد الذكية

رامز العيله**
مكتب التنظيم والرقابة - التابع لقطاع الكهرباء والمياه في دبي

سلامة الفلاحي*
هيئة دبي الرقمية

سميرة موسى الرئيسي
شرطة دبي

د. سارة الدلال*
هيئة الصحة بدبي

سيباستيان واغنر
مطارات دبي

شيخة الفلاسي
هيئة الصحة بدبي

د. شمسة بن حماد
مؤسسة دبي لخدمات الإسعاف

سينا الخاجة*
دناتا - مجموعة الإمارات

توني لوريرو
دبي للاقتصاد والسياحة

* أحد المشاركين في برنامج دبي لخبراء المستقبل
** أحد المشاركين في برنامج استشعار المستقبل

برنامج مجتمع المعرفة (TKS) – الطلبة والخريجون

يقدّم برنامج مجتمع المعرفة، في دولة الإمارات وحول العالم، تجربة تعليمية تمتد لعشرة أشهر، تصقل قدرات اليافعين ذوي الإمكانات العالية، ممن تتراوح أعمارهم بين 13 و17 عاماً، وتمنحهم الأدوات لتحويل أفكارهم إلى حلولٍ واقعية تعالج تحديات عالمية بالاستفادة من التقنيات الناشئة.

عبد الرحمن الجهني

علي آل علي

أشوين سوريش

بيبيهاجرخونيم محمودجونوفا

بينغشوان يانغ

كلوي نغوين

كولي تشين

دانة الملا

دهيريشيل دورغولي

ضحى الحريري

فرح يوسف

فلين مارتينز برادبري

غابرييلا باديلا

غاية بن غالب

حصة المهيري

حسين إسماعيلوف

حسين غنايم

إماماتدين

إيشان بهاليرايو

خديجة الجسمي

خلود البلوشي

ليا محمد

ليا إيتاني

مهرة القرق

ملك الشهاوي

مريم الشهاوي

ميا أيانا كارديناس

مسكان فاطمة

نيتيش مانوتشا
مؤسس شركة ستيلاماتيكس أيضاً

أوليفر أنتوني ف.

أومفيله ماكويتي

بريم غارغ
مؤسس شركة ريفوود أيضاً

ساهيل أرورا
مدير برنامج مجتمع المعرفة بدبي

سيف بن ظبوي الفلاسي

سيف جندران

سلامة الخييلي

سلامة الصلادي الشحي

سامارث باندي

سارة الرازي

فاروناغها لاكشمانان

شيوي يانغ

يوسف قصيبتي

زارا مسكان مجاور

زارا وسيم

طلبة جامعات في دولة الإمارات

علياء الشامسي
الجامعة الأمريكية في دبي

فاطمة كلداري
الجامعة الأمريكية في دبي

حمدة الجاسم
جامعة زايد

حمزة بركات
الجامعة الأمريكية في دبي

خولة الفردان
جامعة زايد

ريم المزروعي
الجامعة الأمريكية في دبي

فاسيق خان
جامعة أميتي دبي

زينب عبد الله
جامعة زايد

القيادات العربية الشابة

هي شبكة تجمع قادة أعمال من مختلف أنحاء العالم العربي، وتسعى إلى تمكين الشباب ورواد الأعمال عبر توفير الفرص الريادية، وتعزيز ثقافة الابتكار، وتقديم الإرشاد والدعم للجيل القادم من القادة. وتضم الشبكة نخبة من القيادات الشابة، من بينهم:

عمار رافد أحمد
مؤسسة المحطة لريادة الأعمال

أنس بومدين
أيوا

المهندس علي هاشم
رينبو أغرو

فاطمة النبهاني
لاعبة تنس وبادل محترفة

عشتار عبيد
اللجنة الأولمبية الوطنية العراقية

جميل أمير
تجارب

خالد بن بريك
بي دبليو سي- الشرق الأوسط

نافذ الدقاق
أنارا كابيتال

كما نُوَّد أن نتوجه بالشكر لكل من:

شركة "إيكوريس" في هولندا على دعمها البحثي،

وشركة "بريزلاب" في دولة الإمارات العربية المتحدة على دعمها في عملية التصميم،

وشركة "تنوين للترجمة والكتابة الإبداعية" في دولة الإمارات العربية المتحدة على دعمها في عملية الترجمة،

وشركة "ساينس أند إنك" في دولة الإمارات العربية المتحدة على دعمها في التدقيق اللغوي والتحرير باللغة العربية.

قائمة المصطلحات

إعداد مؤسسة دبي للمستقبل

الذكاء الآلي المتقدم

قدرات حاسوبية متقدمة ناتجة عن تكامل الخوارزميات والبيانات وقوة المعالجة –بما في ذلك الحوسبة الكمومية –تمكّن الأنظمة من التعلّم من البيانات وتحليلها بسرعة لحل المشكلات المعقدة.

جديد **وكلاء الذكاء الاصطناعي**

نظام ذكاء اصطناعي يعمل بشكل مستقل لتنفيذ مهام محددة اعتماداً على نماذج متقدمة، مع القدرة على التفاعل والتنقل بين التطبيقات والمنصات الرقمية.

جديد **مكافحة غسل الأموال وتمويل الإرهاب**

إطار تنظيمي يضم قوانين ولوائح ومعايير دولية لمنع غسل الأموال وتمويل الإرهاب، ويشمل الرقابة على تدفقات الأموال وأنشطة الشركات والأسواق.

جديد **واجهة برمجة التطبيقات**

مجموعة قواعد وبرمجيات تتيح للتطبيقات والأنظمة تبادل البيانات وتنفيذ وظائف مشتركة بشكل آلي، سواء مجاناً أو مقابل رسوم.

جديد **التنبؤ العكسي**

منهجية استشرافية تبدأ بتحديد مستقبل مستهدف ثم العودة إلى الحاضر لتحديد المسارات والخطوات اللازمة للوصول إليه.

البكتيريوفاج (العاثيات البكتيرية)

فيروسات تستهدف البكتيريا وتستخدم للقضاء عليها أو الحد من تكاثرها.

أجهزة الاستشعار الحيوية

أجهزة تعتمد مواد حيوية للكشف عن التغيّرات في خصائص الماء أو الهواء أو التربة.

الطباعة الحيوية

تقنية تستخدم الأحبار والمواد الحيوية لطباعة هياكل ثلاثية الأبعاد تحاكي الأنسجة الحية.

الصندوق الأسود

مفهوم تنظيمي يقوم على إبقاء بعض تفاصيل العمليات أو البنية التحتية للخدمة سرية لتحقيق ميزة تنافسية.

المياه الزرقاء

مقياس لكمية المياه العذبة في الأنهار والبحيرات والمياه الجوفية.

جديد **البصمة الكربونية**

مؤشر يقيس أثر الأفراد أو المؤسسات أو الدول على البيئة استناداً إلى كمية غازات الدفيئة الناتجة عن أنشطتهم.

جديد **أنظمة الطاقة النظيفة**

أنظمة لإنتاج الطاقة بانبعاثات معدومة أو منخفضة جداً أثناء التشغيل.

جديد **الأنظمة المغلقة**

أنظمة إنتاج لا تولّد نفايات، حيث يُعاد تدوير جميع المواد داخل النظام نفسه.

الروبوتات التعاونية

روبوتات صناعية مصممة للعمل بأمان إلى جانب البشر في بيئة عمل مشتركة.

جديد **العبء المعرفي**

مقدار الجهد الذهني الذي يبذله الدماغ لمعالجة المعلومات أثناء التعلم. وتشير زيادته أو انخفاضه إلى صعوبة أو سهولة الفهم ومعالجة المعلومات.

جديد **تقنية كريسبر**

تقنية تحرير جيني تتيح تعديل تسلسل الحمض النووي بدقة عالية.

جديد **الأصول الرقمية المشفرة**

أصول رقمية تعتمد على تقنيات التشفير للحماية، مثل العملات الرقمية، والرموز غير القابلة للاستبدال.

جديد **البيع المباشر للمستهلك**

نموذج تجاري تبيع فيه الشركات منتجاتها مباشرة إلى المستهلك دون وسطاء.

المنظمات المستقلة اللامركزية

منظمات تُدار عبر برمجيات آلية ويشارك أصحاب الرموز فيها في اتخاذ القرارات.

جديد **العلوم اللامركزية**

نهج علمي يستخدم تقنيات البلوك تشين والمحافظ الرقمية لتبادل الملكية الفكرية والمدفوعات مباشرة بين الباحثين.

محو الأمية الرقمية

القدرة على استخدام التكنولوجيا لاكتساب المعرفة وتقييم المحتوى الرقمي وحماية المعلومات الشخصية من خلال ممارسات الأمن السيبراني.

العلامات التجارية الرقمية الأصلية (معدّل)

تُعرف أيضاً بالشركات الافتراضية الأصلية، وهي علامات تجارية نشأت عبر الإنترنت بالكامل وقد تتوسع لاحقاً إلى حضور مادي.

جديد **الشراكة الرقمية بين القطاعين الحكومي والخاص**

تعاون لتطوير وإدارة البنية التحتية الرقمية وتقديم الخدمات الرقمية.

جديد **الفجوة الرقمية**

الفارق بين من يمتلكون الوصول إلى الإنترنت والمهارات الرقمية ومن يفتقرون إليها.

تقنيات دفتر الأستاذ الموزع

قواعد بيانات لامركزية تُنسخ عبر شبكة حواسيب متعددة، وتُستخدم لتسجيل المعاملات والتحقق منها مثل البلوك تشين.

جديد **الذكاء الاصطناعي الطرفي**

أنظمة ذكاء اصطناعي تعمل قرب مصدر البيانات مباشرةً بدلاً من الاعتماد على المعالجة السحابية.

الحوسبة الطرفية

معالجة البيانات وتخزينها وتحليلها بالقرب من مصدرها لتقليل زمن الاستجابة.

الحمض النووي البيئي (eDNA)

المادة الوراثية التي تُطلقها الكائنات الحيّة في محيطها.

جديد **تشفير المنحنى الإهليلجي (ECC)**

تقنية تشفير تعتمد على المنحنيات الإهليلجية، وتُعتبر أكثر تطوّراً من أسلوب التشفير التقليدي مثل خوارزمية ريفست شامير أدلمان (آر إس أيه)، ومن المتوقع أن تواجه تحديات مع ظهور تقنيات التشفير ما بعد الكم.

علم التخلّق (العلوم فوق الجينية)

فرع من علم الجينوم يدرس تأثير العوامل البيئية على التعبير الجيني دون تغيير في تسلسل الحمض النووي.

جديد **عصر التحولات الكمومية**

مرحلة تمتد إلى نحو خمسين عاماً وتتسم بتغيرات سريعة وجذرية تعيد تشكيل الأعمال والاتصالات والثقافة والحكومات والطب والتكنولوجيا وغيرها، وقد تدفع المجتمعات في اتجاهات متباينة.

الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات

إطار يدمج العوامل البيئية والاجتماعية والحوكمة في تقييم الأداء المؤسسي.

جديد **إكسا فلوب (جديد)**

وحدة قياس للحوسبة تعادل 10^{18} عملية فاصلة عائمة في الثانية، وتُستخدم لتقييم سرعة الحواسيب الفائقة.

جديد **قابلية التفسير في أنظمة الذكاء الاصطناعي (جديد)**

قدرة نماذج الذكاء الاصطناعي على توضيح كيفية اتخاذ قراراتها.

جديد **مبادئ (FAIR)**

إطار إرشادي يضم مجموعة من المعايير التي تهدف إلى جعل البيانات سهلة الاكتشاف، ومتاحة للوصول، وقابلة للتشغيل البيني بين الأنظمة المختلفة، وقابلة لإعادة الاستخدام.

جديد **الفلافونويدات**

مركبات طبيعية توجد في النباتات يُعتقد أن لها فوائد صحية.

جديد **النموذج الرائد**

نموذج ذكاء اصطناعي واسع النطاق يشكل أساساً لبناء نماذج وتطبيقات أخرى، مع احتمالية أن يرتبط في الوقت نفسه بمخاطر جديدة.

جديد **أوجه المستقبل**

إطار استشرافي ينظر إلى المستقبل من زوايا متعددة مثل المستقبل المحتمل والمفضل والمتوقع والمعقول.

جديد **علم الشيخوخة**

علم دراسة التقدم في العمر وآثاره البيولوجية.

جديد **الأدوية الواقية للشيخوخة (جيروبروتكتور)**

مواد أو علاجات تهدف إلى تأخير مظاهر الشيخوخة أو تقليل تأثيراتها الصحية.

جديد **معترف به عموماً على أنه آمن (GRAS)**

تصنيف تمنحه إدارة الغذاء والدواء الأمريكية لمكوّنات غذائية أو دوائية آمنة للاستخدام.

جديد **المياه الخضراء**

كمية المياه المخزَّنة في التربة.

جديد **متوسط العمر الصحي المتوقع عند الولادة**

عدد السنوات المتوقع أن يعيشها الفرد بصحةٍ جيدة دون أمراضٍ أو إعاقات.

جديد **مسح الأفق**

منهجية استشرافية تعتمد رصد وتحليل الإشارات الناشئة في مختلف المجالات.

جديد **الرموز غير القابلة للاسترداد المرتبطة بالملكية الفكرية**

رموز رقمية غير قابلة للاستبدال تمثل أصولاً من الملكية الفكرية، وتُسجَّل على تقنية (البلوك تشين)، وتُؤمَّن بعقود ذكية، وتحمل معرفات وبيانات وصفية فريدة تميّز كل أصل عن غيره.

إنترنت الأشياء

شبكة من الأجهزة وأجهزة الاستشعار المتصلة بالإنترنت لجمع البيانات وتحليلها لأغراض مختلفة كمراقبة الصحة وتحسينها وتوفير خدمات الرعاية الصحية، وإدارة المدن الذكية ومراقبة التصنيع وتحسينه وإدارة النقل.

جديد **الأنظمة القديمة**

أنظمة وتطبيقات تقنية تستند إلى بنية حوسبة قديمة يصعب تحديثها.

النموذج اللغوي الكبير (LLM)

نموذج ذكاء اصطناعي للتعلم العميق قادر على فهم النصوص وتوليدها.

جديد **هوية تعريف المواد**

وثيقة توضح جميع المواد والمكوّنات المستخدمة في تصنيع منتجٍ معين.

جديد **ريادة الأعمال متناهية الصغر**

نشاط ريادي صغير جداً من حيث الحجم والموارد.

جديد **انحراف النموذج**

تدهور تدريجي في أداء نموذج تعلّم الآلة نتيجة تغيّر البيانات أو بيئة التشغيل.

جديد **التغليف النانوي**

تغطية الجسيمات النانوية بطبقة واقية لتحسين استقرارها وتطبيقاتها.

جديد **المغذّيات الدوائية النانوية**

مغذيات أو فيتامينات مُصمَّمة على مقياس النانو لتوصيلها بدقة داخل جسم الإنسان.

جديد **الأصول الطبيعية**

موارد بيئية توفّر قيمة اقتصادية أو بيئية، وتوجد بطبيعتها على سطح الأرض أو في باطنها. وتشمل موارد متجددة مثل الأشجار والمحاصيل والأنهار والبحيرات، وموارد غير متجددة مثل المعادن والوقود الأحفوري ومصادر الطاقة الحرارية الجوفية.

صافي الانبعاثات الصفري (الحياد المناخي)

تحقيق توازن بين انبعاثات غازات الدفيئة والكمية التي يتم إزالتها منها، بما يحقق توازناً صافياً صفرياً للانبعاثات.

جديد **تأثيرات الشبكات**

زيادة قيمة المنتج أو الخدمة كلما ازداد عدد المستخدمين.

جديد **نهج الترابط**

أسلوب لمعالجة التحديات عبر موازنة عوامل مترابطة بدلاً من التعامل معها منفصلة. ويسهم هذا النهج في تحقيق التوازن على المستويات العالمية والإقليمية والمحلية.

معالجة اللغات الطبيعية (NLP)

فرع من الذكاء الاصطناعي يركز على فهم اللغة البشرية ومعالجتها.

الرموز غير القابلة للاستبدال (NFT)

أصول حقيقية أو رقمية يتم تأمينها بواسطة عقود ذكية عبر البلوك تشين برموز وبيانات فريدة تميزها عن بعضها، ويمكن استبدالها مع العملات المشفرة.

جديد **المنشطات الذهنية**

مواد طبيعية أو مُصنَّعة تعزز الذاكرة والتركيز والوظائف المعرفية، ويُعدّ الكافيين من أبرز أمثلتها.

جديد **التنبؤ العكسي التشاركي**

أسلوب استشرافي يقوم على مبدأ التنبؤ العكسي، مع إشراك عدّة أطراف في العملية بهدف تعزيز دقة التحليل وجودة مخرجات الاستشراف.

جديد **الخصائص الفيزيائية- الكيميائية**

خصائص تجمع بين الصفات الفيزيائية والتفاعلات الكيميائية للمادة.

جديد **التشفير ما بعد الكم**

أنظمة تشفير مُصمَّمة لمقاومة قدرات الحوسبة الكمومية.

جديد **النموذج التنبؤي**

نموذج رياضي يستخدم البيانات لتوقع النتائج المستقبلية.

جديد **النقود القابلة للبرمجة**

نقود رقمية يمكن برمجتها لاستخدامها وفق شروط وقواعد محددة.

جديد **السيرة النفسية**

تحليل لمسار حياة الفرد يجمع بين المنظورين النفسي والتاريخي لفهم الشخصية وتطوّرها مع الزمن.

جديد **أصحاب الهمم**

أفراد لديهم إعاقة قد تؤثر في قدرتهم على استخدام المنتجات أو الوصول إلى الخدمات.

جديد **التقنيات التنظيمية (RegTech)**

تقنيات تدعم تصميم اللوائح والأنظمة ومراجعتها وتنفيذها بكفاءة ومراقبة الامتثال لها.

جديد **أنظمة الطاقة المتجددة**

أنظمة لإنتاج الطاقة تعتمد على مصادر طبيعية متجددة، مثل الرياح والطاقة الشمسية والأمواج.

جديد **خوارزميات ريفست شامير أدلمان (**RSA**)**

خوارزميات تشفير تُستخدم على نطاق واسع في الخدمات المالية.

جديد **المواد ذاتية الإصلاح**

مواد، تمتلك القدرة على إصلاح التلف الذي تتعرض له كلياً أو جزئياً أثناء الاستخدام مثل البوليمرات والمعادن والسيراميك ومركّباتها.

جديد **بناء المعنى**

منهجية استشرافية لتحليل الإشارات التي يتم رصدها ضمن عملية مسح الأفق لفهم دلالتها وسياقاتها .

جديد **الذكاء الاصطناعي الخفي**

استخدام أدوات ذكاء اصطناعي داخل المؤسسات دون ترخيص أو اعتماد رسمي.

الإشارات (في استشراف المستقبل)

مؤشرات مبكرة مثل أحداث أو تقنيات ناشئة أو منتجات أو خدمات أو بيانات محلية وإقليمية أو اضطرابات، قد تتطوّر إلى محركات رئيسية أو اتجاهات مؤثرة في المستقبل.

جديد **الروبوتات اللينة**

روبوتات تُصمَّم من مواد مرنة قابلة للتشكّل تمكّنها من الحركة في بيئات معقدة.

جديد **العملات المستقرة**

عملات رقمية ترتبط قيمتها بأصول مستقرة، مثل العملات التقليدية - وغالباً ما تكون الدولار الأمريكي.

جديد **الروبوتات الجماعية**

أنظمة روبوتية متعددة تعمل بشكل منسق يحاكي سلوك الأسراب في الطبيعة.

جديد **نظام الحسابات الوطنية**

إطار دولي لإعداد الحسابات القومية يشمل مؤشرات مثل التجارة وجودة الحياة، والاستدامة، والأصول الرقمية، وغيرها. يصدر عن اللجنة الإحصائية للأمم المتحدة، ويُعد تحديث عام 2025 أحدث إصدار له منذ مراجعة عام 2008.

جديد **الترميز**

تحويل الأصول إلى رموز رقمية مسجَّلة على البلوك تشين.

جديد **إنتاجية العوامل الكلية**

مؤشر يقيس كفاءة استخدام عوامل مثل العمل ورأس المال في تحقيق الإنتاج في مؤسسة أو مدينة أو دولة.

جديد **الثورة الصناعية الرابعة**

مرحلة صناعية تتميّز بتكامل التقنيات المتقدمة مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والروبوتات والأنظمة المستقلة.

جديد **تحصيل القيمة**

تحويل المنتج أو الخدمة إلى عائدٍ اقتصادي أو أثر مجتمعي ملموس.

جديد **صناعة القيمة**

تطوير منتجات أو خدمات جديدة تحقق منفعة يدركها المستخدمون.

جديد **الأمراض المنقولة من الحيوانات**

أمراض تنشأ لدى الحيوانات ويمكن أن تنتقل إلى الإنسان عبر الاتصال المباشر أو غير المباشر.

مؤسسة دبي للمستقبل
DUBAI FUTURE FOUNDATION

نبـــذة عـن
مؤسسة دبي للمستقبل

تسعى مؤسسة دبي للمستقبل إلى تحقيق رؤية صاحب السمو الشيخ محمد بن راشد آل مكتوم، نائب رئيس الدولة رئيس مجلس الوزراء حاكم دبي، رعاه الله، لجعل دبي رائدة مدن المستقبل ومركزاً عالمياً لتقنياته وتحولاته، بالتعاون مع شركائها من الجهات الحكومية والشركات العالمية والمبتكرين والشركات الناشئة ورواد الأعمال في دولة الإمارات وخارجها.

وتتمثل ركائز استراتيجية المؤسسة في تخيّل المستقبل وتصميمه وتنفيذه، وذلك بدعم وإشراف سمو الشيخ حمدان بن محمد بن راشد آل مكتوم، ولي عهد دبي نائب رئيس مجلس الوزراء وزير الدفاع، رئيس مجلس أمناء مؤسسة دبي للمستقبل. وتطلق المؤسسة برامج ومبادرات محلية وعالمية ومشاريع مبتكرة ونوعية لتحقيق هذا الهدف، كما تتولى إعداد خطط واستراتيجيات مستقبلية وتقارير حول السيناريوهات المستقبلية المحتملة، بما يدعم مكانة دبي كمركز عالمي لتطوير وتبني أحدث الحلول والممارسات المبتكرة لخدمة الإنسانية.

وتركز المؤسسة على تحديد أبرز التحديات التي تواجه المدن والمجتمعات والقطاعات في المستقبل وتحويلها إلى فرص نمو واعدة من خلال جمع البيانات وتحليلها ودراسة التوجهات العالمية ومواكبة التغيرات المتسارعة. كما تحرص على استكشاف القطاعات الجديدة والناشئة وتكاملها مع القطاعات والصناعات القائمة.

وتشرف مؤسسة دبي للمستقبل على عدد كبير من المشاريع والمبادرات الرائدة مثل متحف المستقبل، ومنطقة 2071، ومركز دبي لاستخدامات الذكاء الاصطناعي، ومختبرات دبي للمستقبل، وأكاديمية دبي للمستقبل، ومختبر دبي للتصميم، و "ساندبوكس دبي"، ومبادرة دبي 10X، ومركز الثورة الصناعية الرابعة في الإمارات، ومنتدى دبي للمستقبل، وأسبوع دبي للذكاء الاصطناعي، وغيرها. وتسهم المؤسسة، من خلال مبادراتها المعرفية ومراكزها لتصميم المستقبل، في بناء قدرات أصحاب المواهب، وتمكينهم وصقل مهاراتهم، بما يمكّنهم من الإسهام في تحقيق التنمية المستدامة في دبي ودولة الإمارات.

إخلاء مسؤولية

تم إعداد هذا التقرير لأغراض إعلامية وتعليمية وإرشادية. ويتضمن توجهات مستقبلية مبنية على الدراسات والبحوث، وليس الهدف منها بالضرورة تبنيها كما هي أو العمل بها. وبناءً عليه، تخلي مؤسسة دبي للمستقبل مسؤوليتها بالكامل عن كل ما يتعلق بمحتوى التقرير واستخدامه. كما أن النتائج والتفسيرات والاستنتاجات الواردة في هذا التقرير لا تمثل بالضرورة آراء مؤسسة دبي للمستقبل.

المعلومات الواردة في هذا التقرير تستند إلى الدراسات والبحوث والبيانات المتاحة حتى تاريخ النشر. ويهدف التقرير إلى تقديم المعلومات وتحفيز التفكير النقدي واتخاذ القرارات المستنيرة في مجالات استشراف المستقبل. وتخلي مؤسسة دبي للمستقبل مسؤوليتها بالكامل فيما يتعلق بمحتوى واستخدام التقرير (أو أي اعتماد عليه، وخصوصاً، أي تفسير أو قرار أو إجراءات تعتمد على المعلومات الموجودة في هذا التقرير). ولا توصي مؤسسة دبي للمستقبل كما أنها لا تؤيد أي إجراءات أو استراتيجيات أو وجهات نظر تمت مناقشتها في هذا التقرير.

قد تمتلك أطراف أخرى حقوق ملكية في بعض المحتوى الوارد في هذا التقرير. وبأي حال من الأحوال، فإن مؤسسة دبي للمستقبل لا تدّعي أو تضمن امتلاكها أو سيطرتها على جميع الحقوق في المحتوى بأكمله، ولن تكون مؤسسة دبي للمستقبل مسؤولة أمام المستخدمين عن أي مطالبات تقدم ضدهم من قبل أطراف ثالثة فيما يتعلق باستخدامهم لأي محتوى.

© 2026 جميع حقوق الطبع والنشر محفوظة لمؤسسة دبي للمستقبل.

جميع المواد الواردة في هذا التقرير مرخصة بموجب رخصة المشاع الإبداعي - نَسب المصنف 4.0 دولي (رخصة المشاع الإبداعي)، باستثناء المحتوى المقدم من أطراف ثالثة أو الشعارات أو أي مادة محمية بعلامة تجارية أو مشار إليها في هذا التقرير. رخصة المشاع الإبداعي اتفاقية ترخيص نموذجية تتيح نسخ التقرير وتوزيعه ونقله وتكييفه شريطة نسب العمل لصاحبه، وهي متاحة على الرابط:

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode

يمكن الاطلاع على القائمة الكاملة لمعلومات الأطراف الثالثة المدرجة في هذا التقرير ومواردها ضمن قائمة المراجع. ويستثني إخلاء المسؤولية بصفة خاصة العلامات التجارية لكلمة مؤسسة دبي للمستقبل وشعارها من نطاق ترخيص المشاع الإبداعي هذا.

تم إعداد هذا التقرير باللغة الإنجليزية، وتمت ترجمته إلى اللغة العربية بهدف إيصال التقرير إلى أكبر شريحة ممكنة من القرّاء. ورغم الجهود المبذولة لضمان الدقة في الترجمة، إلا أنه يجب الرجوع إلى النسخة الإنجليزية في حال وجود أي تناقضات أو اختلافات بين النسختين.

المراجـــع

1 Wigglesworth, R. (2025) 'Nobel Prize for Economics awarded to Joel Mokyr, Philippe Aghion and Peter Howitt'. Financial Times. 13 October. www.ft.com/content/f392e6bd-f20740-b6-8b9a-59947d5670ab

2 Verdin, P. and Tackx, K. (2015) 'Are you creating or capturing value? A dynamic framework for sustainable strategy'. January. www.hks.harvard.edu/sites/default/files/centers/mrcbg/files/Verdin_final.pdf

3 Dubai Future Foundation (2023) 'Navigating the future for growth, prosperity and well-being: The foundation of The Global 50 report'. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/202302//GPW-Report-Eng.pdf

4 Dubai Future Foundation (2024) 'The future of progress: A foresight report on the global transition beyond GDP'. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/202409//The-Future-of-Progress-Report-English.pdf

5 Dubai Future Foundation (2023) 'Navigating the future for growth, prosperity and well-being: The foundation of The Global 50 report needs-based analysis'. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/2023/02/GPW-Report-Eng.pdf

6 Montag, C. et al. (2025) 'On the relevance of Maslow's need theory in the age of artificial intelligence'. Technological Forecasting and Social Change, 219. 21 June. www.doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124222

7 Montag, C. et al. (2025) 'On the relevance of Maslow's need theory in the age of artificial intelligence'. Technological Forecasting and Social Change, 219. 21 June. www.doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124222

8 Hickel, J., Sullivan, D. and Moatsos, M. (2025) 'Has extreme poverty really plunged since the 1980s? New analysis suggests not'. The Conversation. August 18. https://theconversation.com/has-extreme-poverty-really-plunged-since-the-1980s-new-analysis-suggests-not-261144 (retrieved 10 July 2026

9 Hickel, J., Moatsos, M., and Sullivan, D. (2024) 'New research is changing our understanding of global poverty – here's what you need to know'. LSE Inequalities. 30 April. https://blogs.lse.ac.uk/inequalities/2024/04/30/new-research-on-global-poverty/ (retrived 10 July 2026)

10 FAO (2026) '2.1.2 Prevalence of moderate or severe food insecurity in the population, based on the Food Insecurity Experience Scale'. SDG Indicators Data Portal. www.fao.org/sustainable-development-goals-data-portal/data/indicators/212-prevalence-of-moderate-or-severe-food-insecurity-in-the-population-based-on-the-food-insecurity-experience-scale/en (retrieved 10 July 2026)

11 Hickel, J. and Sullivan, D. (2024) 'How much growth is required to achieve good lives for all? Insights from needs-based analysis'. World Development Perspectives, 35. 23 July. www.doi.org/10.1016/j.wdp.2024.100612

12 Maslow, A. (1970) 'Motivation and personality'. Harper and Row.

13 Thomson Reuters (2025) 'Benefits of AI'. 14 April. www.thomsonreuters.com/en/insights/articles/benefits-of-artificial-intelligence-ai

14 Montag, C. et al. (2025) 'On the relevance of Maslow's need theory in the age of artificial intelligence'. Technological Forecasting and Social Change, 219. 21 June. www.doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124222

15 Ng, Y.-K. (2022) 'Factors affecting happiness. In Happiness—Concept, measurement and promotion' (pp. 99-144). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4972-8_10

16 van der Merwe, R. and Broadbent, A. (2022) 'The world is getting exponentially more complex - here's how we navigate it'. The Conversation. 22 August. www.theconversation.com/the-world-is-getting-exponentially-more-complex-heres-how-we-navigate-it-188554

17 Dubai Future Foundation (2024) 'The future of progress: A foresight report on the global transition beyond GDP'. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/202409//The-Future-of-Progress-Report-English.pdf

18 Dubai Future Foundation (2023) 'Navigating the future for growth, prosperity and well-being: The foundation of The Global 50 report'. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/202302//GPW-Report-Eng.pdf

19 World Economic Forum (2023) 'Living longer, better: Understanding longevity literacy'. June. www.weforum.org/publications/living-longer-better-understanding-longevity-literacy/

20 Andrade, J., Camarda, C. and Pifarré i Arolas, H. (2025) 'Cohort mortality forecasts indicate signs of deceleration in life expectancy gains'. Proceedings of the National Academy of Sciences, 122(35). 25 August. www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2519179122

21 United Nations (2022) 'World population prospects 2022: Summary of results'. www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf

22 World Economic Forum (2023) 'Living longer, better: Understanding longevity literacy'. June. www.weforum.org/publications/living-longer-better-understanding-longevity-literacy/

23 Muscedere, J. et al. (2025) 'Advancing geroscience research - A scoping review of regulatory environments for gerotherapeutics'. The Journal of nutrition, health and aging, 29(9). 23 July. www.doi.org/10.1016/j.jnha.2025.100637

24 World Health Organization (2024) 'Healthy life expectancy at birth (years)'. 2 August. https://data.who.int/indicators/i/48D9B0C/C64284D (retrieved 28 January 2026)

25 Institute for Health Metrics and Evaluation (2024) 'Global life expectancy to increase by nearly 5 years by 2050 despite geopolitical, metabolic, and environmental threats, reports new global study'. 17 May. www.healthdata.org/news-events/newsroom/news-releases/global-life-expectancy-increase-nearly-5-years-2050-despite

26 World Meteorological Organization. (2026) 'State of the global climate in 2025'. 23 March. https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate/state-of-global-climate-2025

27 Fajardo-Gonzalez, J., Nguyen, M. C., & Corral Rodas, P. A. (2025). 'The Future of Poverty: Projecting the Impact of Climate Change on Global Poverty through 2050 (No. 11173)'. 16 September 2025. The World Bank. https://www.preventionweb.net/media/108437/download?startDownload=20250916

28 Guivarch, C., Taconet, N. and Mejean, A. (2021) 'Linking climate and inequality'. International Monetary Fund. September. www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/202109//climate-change-and-inequality-guivarch-mejean-taconet

29 United Nations (2024) 'Greenland's ice sheet loses 2.5 million litres of fresh water every second'. 1 October. www.unric.org/en/greenlands-ice-sheet-loses-2-5-million-litres-of-fresh-water-every-second/

30 National Aeronautics and Space Administration (NASA) Jet Propulsion Laboratory (2024) 'NASA analysis shows irreversible sea level rise for Pacific islands'. 25 September. www.jpl.nasa.gov/news/nasa-analysis-shows-irreversible-sea-level-rise-for-pacific-islands/

31 Chancel, L. et al. (2026) 'World Inequality Report 2026', World Inequality Lab. wir2026.wid.world https://wir2026.wid.world/www-site/uploads/2026/04/World_Inequality_Report_2026.pdf

32 International Energy Agency (2025) 'World energy outlook 2025'. November. www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025

33 International Energy Agency (2025) 'World energy outlook 2025'. November. www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025

34 International Telecommunication Union (2025) 'Facts and figures 2025: Mobile network coverage'. www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2025/f

35 Pirlea, A. F., and Corso, L. (2026). The unfinished digital revolution: Expanding internet access. In A. F. Pirlea, D. Wadhwa, D. Mahler, U. Serajuddin, M. Welch, A. Thudt, & M. Lambrechts (Eds.), Atlas of global development 2026.World Bank. https://data360.worldbank.org/en/atlas/internet-access/

36 International Telecommunication Union. (2025) 'ITU report details USD 2.6–2.8 trillion cost to connect everyone meaningfully by 2030 [Press release]'. 1 September. www.itu.int/en/media-centre/Pages/PR-2025-09-01-Connecting-Humanity.aspx

37 TOP500 (2026) 'LineShine Debuts at No. 1 as the TOP500 Enters a New Global Exascale Era'. 23 June. https://top500.org/news/lineshine-debuts-no-1-top500-enters-new-global-exascale-era/ (retrieved 3 July 2026)

38 Stanford University (2026) 'Artificial intelligence index report 2026'. April. https://hai.stanford.edu/ai-index/2026-ai-index-report

39 International Energy Agency (2025) 'World energy outlook 2025'. November. www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025

40 Ali, A. et al. (2025) 'Advancements in photovoltaic technology: A comprehensive review of recent advances and future prospects'. Energy Conversion and Management: X, 26. 3 March. www.doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100952

41 UNCTAD (2026) '10 trends shaping global trade ni 2026'. 15 January. https://unctad.org/news/10-trends-shaping-global-trade-2026 (retrieved 27 March 2026)

42 IEA (2026) 'New IEA report highlights options to ease oil price pressures on consumers in response to Middle East supply disruptions'. 20 March. https://www.iea.org/news/new-iea-report-highlights-options-to-ease-oil-price-pressures-on-consumers-in-response-to-middle-east-supply-disruptions (retrieved 22 March 2026)

43 Schwartz, M. and Baskaran, G. (2026) 'Greenland, Rare Earths, and Arctic Security'. 8 January. https://www.csis.org/analysis/greenland-rare-earths-and-arctic-security

44 UNCTAD (2026) 'Global trade update (June 2026): The shifting dynamics of critical minerals trade'. https://unctad.org/system/files/official-document/ditcinfd2026d6_en.pdf

45 IEA (2025) 'Rare earth elements'. 21 May. www.iea.org/reports/rare-earth-elements-2

46 Bank for International Settlements (2025) 'III. The next-generation monetary and financial system'. www.bis.org/publ/arpdf/ar2025e3.htm

47 International Renewable Energy Agency (2019) ‘Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)’. www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-20502019-Edition

48 Dubai Future Foundation (2025) ‘Future Opportunities Report - The Global 50’. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/2025/03/The-Global-50-2025-Eng.pdf

49 IEA (2025) ‘World Energy Outlook’. 12 November. www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025

50 IEA (2025) ‘World Energy Outlook’. 12 November. www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025

51 Ngoy, K. R., et al. (2025) ‘Lithium-ion batteries and the future of sustainable energy: A comprehensive review’. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 223. 2 July. www.doi.org/10.1016/j.rser.2025.115971

52 IRENA (2025) ‘91% of New Renewable Projects Now Cheaper Than Fossil Fuels Alternatives ‘. 22 July. www.irena.org/News/pressreleases/2025/Jul/91-Percent-of-New-Renewable-Projects-Now-Cheaper-Than-Fossil-Fuels-Alternatives

53 IEA (2025) ‘Energy and AI’. 10 April. www.iea.org/reports/energy-and-ai (retrieved 11J uly 2026)

54 Deng, H. (2026) ‘What will it take to make data centres more sustainable and fit for an AI future?’ World Economic Forum. 17 June. www.weforum.org/stories/2026/06/data-centres-sustainable-ai-future/

55 Lohmeyer, R. and Buckstaff, B. (2025) ‘Accelerating through volatility: 2025 global cities report’. Kearney. www.kearney.com/service/national-transformations-institute/gcr/2025-full-report

56 Schumer, C. et al. (2025) ‘State of climate action 2025’. Systems Change Lab. www.wri.org/research/state-climate-action-2025

57 Niranjan, A. (2025) ‘EU rollback on environmental policy is gaining momentum, warn campaigners’. The Guardian. 26 June. www.theguardian.com/environment/2025/jun/26/eu-rollback-on-environmental-policy-deregulation-european-green-deal

58 Nebra, N. (2025) ‘We’re not on track for net zero by 2050. How do we get there?’. World Economic Forum. 18 November. www.weforum.org/stories/2025/11/not-on-track-for-net-zero-2050-how-we-get-there/

59 Bryan, K. and Mooney, A. (2026) Middle East war strengthens case for renewables, say clean energy experts. Financial Times. 6 March. www.ft.com/content/001a7cb8-96a9-4b6c-95ad-d609976141c9?syn-25a6b1a6=1

60 Smil, V. (2004) ‘World history and energy’. Encyclopaedia of Energy, 6: 549561-. https://vaclavsmil.com/wp-content/uploads/202410//smil-article-2004world-history-energy.pdf

61 Yang, Z. et al. (2025) ‘COF-999: A high-performance CO2 adsorbent for direct air capture technology’. Green Carbon, 3: 395397-. 9 May. www.doi.org/10.1016/j.greenca.2025.03.004

62 Yang, Z. et al. (2025) ‘COF-999: A high-performance CO2 adsorbent for direct air capture technology’. Green Carbon, 3: 395397-. 9 May. www.doi.org/10.1016/j.greenca.2025.03.004

63 Blanckart, L. et al. (2025) ‘Algae-based coatings for fully bio-based and colored textile products’. Textiles, 5(1). 8 January. www.mdpi.com/26733/1/5/7248-

64 Singh, G. et al. (2024) ‘Azo dye bioremediation: An interdisciplinary path to sustainable fashion’. Environmental Technology & Innovation, 36. https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103832

65 Cvetković, K. et al. (2025) ‘Valorization of food industry waste for biodegradable biopolymer-based packaging films’. Processes, 13(8). 14 August. www.doi.org/10.3390/pr13082567

66 Ammar, E. et al. (2025) ‘Fresh futures: Cutting-edge eco-friendly coating techniques for fruits’. Journal of Food Processing and Preservation. www.doi.org/10.1155/jfpp/5201632

67 Ammar, E. et al. (2025) ‘Fresh futures: Cutting-edge eco-friendly coating techniques for fruits’. Journal of Food Processing and Preservation. www.doi.org/10.1155/jfpp/5201632

68 European Parliament and Council of the European Union (2024) ‘Regulation (EU) 20241781/’. Official Journal of the European Union, L 20241781/. https://data.europa.eu/eli/reg/20241781//oj

69 Markou, I., Sinnott, D. and Thomas, K. (2025) ‘Current methodologies of creating material passports: A systematic literature review’. Case Studies in Construction Materials, 22. 17 January. www.doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04267

70 Markou, I., Sinnott, D. and Thomas, K. (2025) ‘Current methodologies of creating material passports: A systematic literature review’. Case Studies in Construction Materials, 22. 17 January. www.doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04267

71 Markou, I., Sinnott, D. and Thomas, K. (2025) ‘Current methodologies of creating material passports: A systematic literature review’. Case Studies in Construction Materials, 22. 17 January. www.doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04267

72 U.S. Customs and Border Protection (2025) 'Modification of the National Customs Automation Program Test concerning the submission of global business identifiers'. Federal Register, 90(151): 3847938484-. 8 August. www.federalregister.gov/documents/2025/08/08/2025-15060/modification-of-the-national-customs-automation-program-test-concerning-the-submission-of-global

73 Tserpes, K. and Sioutis, I. (2025) 'Advances in composite materials for space applications: A comprehensive literature review'. Aerospace, 12(3). 7 March. www.doi.org/10.3390/aerospace12030215.

74 Curlee, K. and Kahn, L. (2025) 'Mapping space debris: An interactive data visualization of orbital debris and its origins'. Center for Security and Emerging Technology. 3 November. https://cset.georgetown.edu/publication/mapping-space-debris/

75 Maldonado-Romo, J. et al. (2025) 'Biomaterials for aerospace applications: A sustainable technological analysis'. Journal of Physics: Conference Series, 2946. www.iopscience.iop.org/article/10.1088012006/1/2946/6596-1742//meta

76 Tserpes, K. and Sioutis, I. (2025) 'Advances in composite materials for space applications: A comprehensive literature review'. Aerospace, 12(3). 7 March. www.doi.org/10.3390/aerospace12030215

77 Tserpes, K. and Sioutis, I. (2025) 'Advances in composite materials for space applications: A comprehensive literature review'. Aerospace, 12(3). 7 March. www.doi.org/10.3390/aerospace12030215

78 International Air Transport Association (2025) 'The global commercial aircraft fleet: Shortages cap growth'. August.

79 International Air Transport Association (2025) 'The global commercial aircraft fleet: Shortages cap growth'. August. www.iata.org/en/publications/economics/reports/the-global-commercial-aircraft-fleet/

80 Habib, M. et al. (2025) 'Current practices in recycling and reusing of aircraft materials and equipment'. Materials Circular Economy, 7: 1-36. 12 April. www.doi.org/10.1007/s42824-025-00165-w

81 Habib, M. et al. (2025) 'Current practices in recycling and reusing of aircraft materials and equipment'. Materials Circular Economy, 7: 1-36. 12 April. www.doi.org/10.1007/s42824-025-00165-w

82 Habib, M. et al. (2025) 'Current practices in recycling and reusing of aircraft materials and equipment'. Materials Circular Economy, 7: 1-36. 12 April. www.doi.org/10.1007/s42824-025-00165-w

83 Habib, M. et al. (2025) 'Current practices in recycling and reusing of aircraft materials and equipment'. Materials Circular Economy, 7: 1-36. 12 April. www.doi.org/10.1007/s42824-025-00165-w

84 United Nations Conference on Trade and Development (n.d.) 'Data protection and privacy legislation worldwide'. www.unctad.org/page/data-protection-and-privacy-legislation-worldwide (retrieved 29 January 2026)

85 Deloitte (2024) 'Cross-jurisdictional data protection, cybersecurity and AI overview - third edition: Recent update and upcoming developments'. December. www.deloittelegal.de/dl/en/services/legal/analysis/cross-jurisdictional-data-protection.html

86 DLA Piper (n.d.) 'Data protection laws of the world'. www.dlapiperdataprotection.com (retrieved 29 January 2026)

87 Bain & Company (2024) 'Technology report 2024'. www.bain.com/insights/sovereign-ai-is-the-next-fault-line-in-the-global-tech-sector-tech-report-2024/

88 S&P Global (2025) 'Data Centers: Are The Winning Odds Less Certain In 2026?'. 3 December. www.spglobal.com/ratings/en/regulatory/article/data-centers-are-the-winning-odds-less-certain-in-2026-s101659690

89 S&P Global (2025) 'Data Centers: Are The Winning Odds Less Certain In 2026?'. 3 December. www.spglobal.com/ratings/en/regulatory/article/data-centers-are-the-winning-odds-less-certain-in-2026-s101659690

90 UNESCO (2025) 'Ethics of neurotechnology: UNESCO adopts the first global standard in the cutting-edge technology'. 5 November. www.unesco.org/en/articles/ethics-neurotechnology-unesco-adopts-first-global-standard-cutting-edge-technology

91 UNESCO (2025) 'Ethics of neurotechnology: UNESCO adopts the first global standard in the cutting-edge technology'. 5 November. www.unesco.org/en/articles/ethics-neurotechnology-unesco-adopts-first-global-standard-cutting-edge-technology

92 Salles, A. and Farisco, M. (2024) 'Neuroethics and AI ethics: A proposal for collaboration'. BMC neuroscience, 25. 29 August. www.doi.org/10.1186/s128687-00888-024-

93 Andreeva, K., Hadgis, K. and Bell, O. (2025) 'The evolving framework of data governance: A global perspective'. Morgan Lewis. 11 March. www.morganlewis.com/pubs/2025/03/the-evolving-framework-of-data-governance-a-global-perspective

94 International Data Center Authority (2026) 'Global digital economy report 2026'. www.idc-a.org/insights/9LfIYGn4Q7woUereky9r

95 Andrenelli, A. et al. (2025) ‘Economic implications of data regulation: Balancing openness and trust’. Organisation for Economic Co-operation and Development and World Trade Organization. www.wto.org/english/res_e/publications_e/data_regulation_e.htm

96 Andrenelli, A. et al. (2025) ‘Economic implications of data regulation: Balancing openness and trust’. Organisation for Economic Co-operation and Development and World Trade Organization. www.wto.org/english/res_e/publications_e/data_regulation_e.htm

97 Organisation for Economic Co-operation and Development (n.d.) ‘Cross-border data flows’. www.oecd.org/en/topics/cross-border-data-flows.html (retrieved 29 January 2026)

98 Davison, A. (2024) ‘Are data centers in space the future of cloud storage?’. International Business Machines. 18 November. www.ibm.com/think/news/data-centers-space.

99 Starcloud’s website: www.starcloud.com

100 Y Combinator (n.d.) ‘Starcloud’. www.ycombinator.com/companies/starcloud (retrieved 29 January 2026)

101 Sriram, A. (2026) ‘Starcloud reaches $1.1 billion valuation as AI space race heats up’. Reuters. 30 March. www.reuters.com/business/retail-consumer/starcloud-reaches-11-billion-valuation-ai-space-race-heats-up-2026-03-30/(retrieved 11 July 2026)

102 Jones, A. (2025) ‘China launches first of 2,800 satellites for AI space computing constellation’. SpaceNews. 14 Maya. www.spacenews.com/china-launches-first-of-2800-satellites-for-ai-space-computing-constellation/

103 Gunla, A. (2025) ‘Why these companies want to send data centers into space’. CNN. 21 October. www.edition.cnn.com/science/data-centers-in-space-spc

104 Madari Space (n.d.) ‘Global data centre statistics 2028’. https://madari.ae (retrieved 28 January 2026)

105 Thales Alenia Space et al. (n.d.) ‘ASCEND’. https://ascend-horizon.eu/objectives/ (retrieved 28 January 2026)

106 Babu, J. and Singh, J. (2026,) 'Google in talks with SpaceX for Suncatcher orbital data center project'. Reuters. 12 May. www.reuters.com/science/google-spacex-talks-explore-data-centers-orbit-wsj-reports-2026-05-12/ (retrieved 13 May 2026)

107 Gunla, A. (2025) ‘Why these companies want to send data centers into space’. CNN. 21 October. www.edition.cnn.com/science/data-centers-in-space-spc

108 Burm, G. (2024) ‘State of the semiconductor industry: Trends and drivers shaping the semiconductor landscape’. PwC. November. www.pwc.com/gx/en/industries/technology/state-of-the--semicon-industry.html

109 Burm, G. (2024) ‘State of the semiconductor industry: Trends and drivers shaping the semiconductor landscape’. PwC. November. www.pwc.com/gx/en/industries/technology/state-of-the--semicon-industry.html

110 Burm, G. (2024) ‘State of the semiconductor industry: Trends and drivers shaping the semiconductor landscape’. PwC. November. www.pwc.com/gx/en/industries/technology/state-of-the--semicon-industry.html.

111 Council for Science and Technology (2025) ‘Advice on building a sovereign AI chip design industry in the UK’. 21 August. www.gov.uk/government/publications/building-a-sovereign-ai-chip-design-industry-in-the-uk/council-for-science-and-technology-advice-on-building-a-sovereign-ai-chip-design-industry-in-the-uk

112 European Commission (2025) ‘Milestone in strengthening Europe’s semiconductor manufacturing capacity under Chips Act reached’. 13 October. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/milestone-strengthening-europes-semiconductor-manufacturing-capacity-under-chips-act-reached

113 Leonard, J. (2025) ‘Accenture: What we learned when our CEO got deepfaked’. TheChannelCo. 7 May. www.computing.co.uk/event/2025/accenture-what-we-learned-when-our-ceo-got-deepfaked

114 Robins-Early, N. (2024) ‘CEO of world’s biggest ad firm targeted by deepfake scam’. The Guardian. 10 May. www.theguardian.com/technology/article/2024/may/10/ceo-wpp-deepfake-scam

115 Chen, H. and Magramo, K. (2024) ‘Finance worker pays out $25 million after video call with deepfake ‘chief financial officer’’. CNN. 4 February. https://edition.cnn.com/202404/02//asia/deepfake-cfo-scam-hong-kong-intl-hnk (retrieved 25 February 2026)

116 Colman, B. (2025) ‘Why detecting dangerous AI is key to keeping trust alive in the deepfake era’. World Economic Forum. 7 July. www.weforum.org/stories/2025/07/why-detecting-dangerous-ai-is-key-to-keeping-trust-alive/

117 Colman, B. (2025) ‘Why detecting dangerous AI is key to keeping trust alive in the deepfake era’. World Economic Forum. 7 July. www.weforum.org/stories/2025/07/why-detecting-dangerous-ai-is-key-to-keeping-trust-alive/

118 Dunn, G. et al. (2025) ‘Quantum computing moves from theoretical to inevitable’. Bain & Company. 23 September. www.bain.com/insights/quantum-computing-moves-from-theoretical-to-inevitable-technology-report-2025/

119 Dunn, G. et al. (2025) ‘Quantum computing moves from theoretical to inevitable’. Bain & Company. 23 September. www.bain.com/insights/quantum-computing-moves-from-theoretical-to-inevitable-technology-report-2025/

120 International Business Machines (2025) ‘Cost of a data breach report 2025’. www.ibm.com/reports/data-breach

121 International Business Machines (2025) ‘Cost of a data breach report 2025’. www.ibm.com/reports/data-breach.

122 International Business Machines (2025) ‘Cost of a data breach report 2025’. www.ibm.com/reports/data-breach

123 International Business Machines (2025) ‘Cost of a data breach report 2025’. www.ibm.com/reports/data-breach

124 Sherwood, H. (2024) ‘British Library begins restoring digital services after cyber-attack’. The Guardian. 15 January. www.theguardian.com/books/2024/jan/15/british-library-begins-restoring-digital-services-after-cyber-attack

125 Bowie, S. (2025) ‘Don’t rely on government to save the British Library’. The London School of Economics and Political Science. 2 December. https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2025/12/02/dont-rely-on-government-to-save-the-british-library/

126 Durbin, S. (2024) ‘Key takeaways from the British Library cyberattack’. Information Security Forum. 25 June. www.securityforum.org/in-the-news/key-takeaways-from-the-british-library-cyberattack/

127 Johnson, F. (2025) ‘Museum security systems: Safeguarding priceless heritage in the digital age’. Wonderful Museums. 16 November. www.wonderfulmuseums.com/museum/museum-security-systems/

128 Matthew, P. et al. (2025) ‘A review of the state of the art for the internet of medical things’. Sci, 7(2). www.mdpi.com/241336/2/7/4155-

129 Matthew, P. et al. (2025) ‘A review of the state of the art for the internet of medical things’. Sci, 7(2). www.mdpi.com/241336/2/7/4155-

130 International Business Machines (2025) ‘Cost of a data breach report 2025’. www.ibm.com/reports/data-breach

131 Khalil, M. (2025) ‘IoMT vulnerabilities statistics & security trends 2025’. DeepStrike. 19 October. www.deepstrike.io/blog/iomt-vulnerabilities-statistics-2025

132 Khalil, M. (2025) ‘IoMT vulnerabilities statistics & security trends 2025’. DeepStrike. 19 October. www.deepstrike.io/blog/iomt-vulnerabilities-statistics-2025

133 Alsadhan, A., Alhogail, A. and Alsalamah, H. A. (2025) ‘Toward efficient health data identification and classification in IoMT-based systems’. Sensors, 25(19). 25 September. www.doi.org/10.3390/s25195966.

134 Alsadhan, A., Alhogail, A. and Alsalamah, H. A. (2025) ‘Toward efficient health data identification and classification in IoMT-based systems’. Sensors, 25(19). 25 September. www.doi.org/10.3390/s25195966

135 BTQ Technologies (2025) ‘One-shot signatures: A new paradigm in quantum cryptography’. 26 February. www.btq.com/blog/one-shot-signatures-new-paradigm-in-quantum-cryptography

136 BTQ Technologies (2025) ‘One-shot signatures: A new paradigm in quantum cryptography’. 26 February. www.btq.com/blog/one-shot-signatures-new-paradigm-in-quantum-cryptography

137 BTQ Technologies (2025) ‘One-shot signatures: A new paradigm in quantum cryptography’. 26 February. www.btq.com/blog/one-shot-signatures-new-paradigm-in-quantum-cryptography

138 McKinsey & Company (2024) ‘What is tokenization?’. 25 July. www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-tokenization

139 Higginson, M. and Spanz, G. (2025) ‘The stable door opens: How tokenized cash enables next-gen payments’. McKinsey & Company. 21 July. www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/the-stable-door-opens-how-tokenized-cash-enables-next-gen-payments

140 Nagayach, M. and Swertvaeger, R. (2025) ‘Real estate tokenization: A new era for property investment and Luxembourg's strategic role’. Ernst & Young. 24 February. www.ey.com/en_lu/insights/real-estate-hospitality-construction/real-estate-tokenization-a-new-era-for-property-investment-and-luxembourg-s-strategic-role

141 PwC (2025) ‘Transforming the ownership of masterpieces: How tokenisation is revolutionising the art world’. 7 January. www.pwc.ch/en/insights/fs/tokenization-art.html

142 Katten (2025) ‘Tokenization of real-world assets: Opportunities, challenges and the path ahead’. 7 August. www.katten.com/tokenization-of-real-world-assets-opportunities-challenges-and-the-path-ahead

143 Standard Chartered (2024) ‘Real-world asset tokenisation: A game changer for global trade’. www.sc.com/en/uploads/sites/66/content/docs/Standard-Chartered-Real-World-Asset-Tokenisation.pdf

144 Crawford, D., Hoecker, A. and Aulanier, D. (2025) 'Technology report 2025'. Bain & Company. www.bain.com/insights/topics/technology-report/

145 Deloitte (2025) 'The impact of intangibles-unlock unseen value'. 8 July. www.deloittelegal.de/dl/en/services/legal/perspectives/the-impact-of-intangibles.html

146 World Intellectual Property Organization (2025) 'Investment in intangible assets surges, led by funding for software and databases amid AI boom'. 9 July. www.wipo.int/pressroom/en/articles/2025/article_0005.html

147 Aldasoro, I. et al. (2025) 'Stablecoin growth - policy challenges and approaches'. Bank for International Settlements. 11 July. www.bis.org/publ/bisbull108.htm

148 Aldasoro, I., Frost, J., and Ito, H. (2026) 'The impact of stablecoins on the international monetary and financial system (BIS Papers No. 170)'. Bank for International Settlements. www.bis.org/publ/bppdf/bispap170.pdf

149 The White House (2025) 'Fact sheet: President Donald J. Trump signs GENIUS Act into law'. 18 July. www.whitehouse.gov/fact-sheets/2025/07/fact-sheet-president-donald-j-trump-signs-genius-act-into-law/

150 Shin, H. S. (2025) 'III. The next-generation monetary and financial system'. Bank for International Settlements. www.bis.org/publ/arpdf/ar2025e3.htm

151 Shin, H. S. (2025) 'III. The next-generation monetary and financial system'. Bank for International Settlements. www.bis.org/publ/arpdf/ar2025e3.htm

152 Shin, H. S. (2025) 'III. The next-generation monetary and financial system'. Bank for International Settlements. www.bis.org/publ/arpdf/ar2025e3.htm

153 Shin, H. S. (2025) 'III. The next-generation monetary and financial system'. Bank for International Settlements. www.bis.org/publ/arpdf/ar2025e3.htm

154 Standard Chartered (2024) 'Real-world asset tokenisation: A game changer for global trade'. www.sc.com/en/uploads/sites/66/content/docs/Standard-Chartered-Real-World-Asset-Tokenisation.pdf

155 Illes, A., Kosse, K. and Wierts, P. (2025) 'Advancing in tandem – results of the 2024 BIS survey on central bank digital currencies and crypto'. Bank for International Settlements. No. 159. www.bis.org/publ/bppdf/bispap159.pdf

156 Illes, A., Kosse, K. and Wierts, P. (2025) 'Advancing in tandem – results of the 2024 BIS survey on central bank digital currencies and crypto'. Bank for International Settlements. No. 159. www.bis.org/publ/bppdf/bispap159.pdf

157 World Economic Forum (2025) 'The Future of global fintech: From rapid expansion to sustainable growth - second edition'. June. www.weforum.org/publications/the-future-of-global-fintech-2025/

158 World Economic Forum (2025) 'The Future of global fintech: From rapid expansion to sustainable growth - second edition'. June. www.weforum.org/publications/the-future-of-global-fintech-2025/

159 Strahan, M. and Wyman, O. (2025) 'Navigating global financial system fragmentation'. World Economic Forum. January. www.weforum.org/publications/navigating-global-financial-system-fragmentation/

160 Strahan, M. and Wyman, O. (2025) 'Navigating global financial system fragmentation'. World Economic Forum. January. www.weforum.org/publications/navigating-global-financial-system-fragmentation/

161 International Monetary Fund (2026), 'IMF Data Brief: Currency Composition of Official Foreign Exchange Reserves.' 27 March 2026. https://data.imf.org/en/news/imf%20data%20brief%20march%2027

162 Gweder, A., Nephew, E. and Wei, H. (2026) 'IMF data brief: Currency composition of official foreign exchange reserves [World official foreign currency reserves largely unchanged in the first quarter of 2026]'. International Monetary Fund. 1 July. https://data.imf.org/en/news/imf%20data%20brief%20july%201

163 Swift (2024) 'Swift cross-border payment processing speed stretches further ahead of G20 target [Press release]'. 17 October. www.swift.com/news-events/press-releases/swift-cross-border-payment-processing-speed-stretches-further-ahead-g20-target (retrieved 11 July 2026)

164 Visa (n.d.) 'Stablecoin transactions. Visa Onchain Analytics'. https://visaonchainanalytics.com/transactions (retrieved 11 July 2026)

165 Shin, H.S. (2025) 'III. The next-generation monetary and financial system'. Bank for International Settlements. www.bis.org/publ/arpdf/ar2025e3.htm

166 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2024) 'National University of Singapore (NUS) Green Bond'. www.unesco.org/en/dtc-financing-toolkit/national-university-singapore-nus-green-bond-tokenization

167 World Economic Forum (2025) 'The Future of global fintech: From rapid expansion to sustainable growth - second edition'. June. www.weforum.org/publications/the-future-of-global-fintech-2025/

168 International Business Machines (2025) ‘Cost of a data breach report 2025’. www.ibm.com/reports/data-breach

169 Chancel, L. (2025) ‘A new framework to study global wealth inequality under climate change published in Nature Climate Change’. World Inequality Database. 3 March. https://wid.world/news-article/a-new-framework-to-study-global-wealth-inequality-under-climate-change-published-in-nature-climate-change/

170 Klapper, L. et al. (2025) ‘The global findex database 2025: Connectivity and financial inclusion in the digital economy’. World Bank Group. www.worldbank.org/en/publication/globalfindex

171 Lahaye, E., Abeli, T. and Hoover, J. (2017) ‘Vision of the Future: Financial Inclusion 2025’. CGAP. May. Focus Note 107. https://documents1.worldbank.org/curated/en/796941505112165126/pdf/119217-BRI-PUBLIC-Focus-Note-Vision-of-the-Future-Jun-20170-.pdf

172 Adrian, T. et al. (2025) ‘Understanding stablecoins’. International Monetary Fund. www.imf.org/en/publications/departmental-papers/issues/2025/12/02/understanding-stablecoins-570602

173 Adrian, T. et al. (2025) ‘Understanding stablecoins’. International Monetary Fund. www.imf.org/en/publications/departmental-papers/issues/2025/12/02/understanding-stablecoins-570602

174 FATF (2026) ‘Targeted report on stablecoins and unhosted wallets: Peer-to-Peer transactions’. March. www.fatf-gafi.org/en/publications/Virtualassets/targeted-report-stablecoins-unhosted-wallets.html

175 Spira, J. and Wessel, D. (2025) ‘What are stablecoins, and how are they regulated?’. Brookings. 24 October. www.brookings.edu/articles/what-are-stablecoins-and-how-are-they-regulated/

176 Arner, D.W., Auer, R. and Frost, J. (2021) ‘Stablecoins: Risks, potential and regulation’. Bank for International Settlements. 15 December. www.dx.doi.org/10.2139/ssrn.3979495

177 Spira, J. and Wessel, D. (2025) ‘What are stablecoins, and how are they regulated?’. Brookings. 24 October. www.brookings.edu/articles/what-are-stablecoins-and-how-are-they-regulated/

178 Ehrentraud, J. et al. (2024) ‘Safeguarding the financial system's spare tyre: Regulating non-bank retail lenders in the digital era’. Bank for International Settlements. 14 March. www.bis.org/fsi/publ/insights56.htm

179 FATF (2026) 'Targeted report on stablecoins and unhosted wallets: Peer-to-Peer transactions'. March. www.fatf-gafi.org/en/publications/Virtualassets/targeted-report-stablecoins-unhosted-wallets.html

180 Mishra, A. (2020) ‘Legacy system modernization: Effective strategies and best practices’. International Journal of Leading Research Publication (IJLRP), 1(3): 1-7. 10 November. www.doi.org/10.5281/zenodo.14769544

181 Asian Banking & Finance (2025) ‘Why banks leverage AI to bridge legacy systems with modern payment rails’. 13 November. https://asianbankingandfinance.net/news/why-banks-leverage-ai-bridge-legacy-systems-modern-payment-rails

182 Asian Banking & Finance (2025) ‘Why banks leverage AI to bridge legacy systems with modern payment rails’. 13 November. https://asianbankingandfinance.net/news/why-banks-leverage-ai-bridge-legacy-systems-modern-payment-rails

183 Financial Stability Board (2024) ‘The financial stability implications of artificial intelligence’. 14 November. www.fsb.org/2024/11/the-financial-stability-implications-of-artificial-intelligence/

184 Organisation for Economic Co-operation and Development (2023) ‘OECD/INFE 2023 international survey of adult financial literacy’. www.oecd.org/en/publications/oecd-infe-2023-international-survey-of-adult-financial-literacy_56003a32-en.html

185 Organisation for Economic Co-operation and Development (2023) ‘OECD/INFE 2023 international survey of adult financial literacy’. www.oecd.org/en/publications/oecd-infe-2023-international-survey-of-adult-financial-literacy_56003a32-en.html

186 Organisation for Economic Co-operation and Development (2023) ‘OECD/INFE 2023 international survey of adult financial literacy’. www.oecd.org/en/publications/oecd-infe-2023-international-survey-of-adult-financial-literacy_56003a32-en.html

187 Organisation for Economic Co-operation and Development (2023) ‘OECD/INFE 2023 international survey of adult financial literacy’. www.oecd.org/en/publications/oecd-infe-2023-international-survey-of-adult-financial-literacy_56003a32-en.html

188 Dimock, M. (2019) ‘Defining generations: Where Millennials end and Generation Z begins’. Pew Research Center. 17 January. www.pewresearch.org/short-reads/2019/01/17/where-millennials-end-and-generation-z-begins/

189 Teachers Insurance and Annuity Association of America (2025) ‘National financial literacy remains stagnant at 49% as generational gaps widen, TIAA institute-GFLEC study finds’. 29 May. www.tiaa.org/public/about-tiaa/news-press/press-releases/2025/06-09

190 European Commission (2025) ‘Financial literacy’. September. https://finance.ec.europa.eu/consumer-finance-and-payments/financial-literacy_en

191 Higginson, M. and Spanz, G. (2025) ‘The stable door opens: How tokenized cash enables next-gen payments’. McKinsey & Company. 21 July. www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/the-stable-door-opens-how-tokenized-cash-enables-next-gen-payments

192 Carbon Mapper (n.d.) ‘Our data’. https://carbonmapper.org/data (retrieved 28 January 2026)

193 National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024) 'Tanager-1 first methane and carbon dioxide plume detections'. 10 October. www.jpl.nasa.gov/images/pia26416-tanager-1-first-methane-and-carbon-dioxide-plume-detections/

194 National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024) 'Tanager-1 first methane and carbon dioxide plume detections'. 10 October. www.jpl.nasa.gov/news/first-greenhouse-gas-plumes-detected-with-nasa-designed-instrument/

195 Duren, R. et al. (2025) 'The carbon mapper emissions monitoring system'. EGUsphere. 2 June. www.doi.org/10.5194/egusphere-2025-2275

196 Satellite Imaging Corporation (n.d.) 'Carbon mapper satellite sensor (30m)'. www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/carbon-mapper/ (retrieved 28 January 2026)

197 König-Bax, C. and Gustaffson, S. (2025) 'World cities day 2025: Why does urban biodiversity matter for people?'. Interreg North Sea. 31 October. www.interregnorthsea.eu/biodiverse-cities/news/world-cities-day-2025-why-does-urban-biodiversity-matter-for-people

198 World Health Organization (2025) 'Biodiversity'. 18 February. www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/biodiversity

199 United Nations (2025) 'Biodiversity economies'. 24 January. www.unep.org/topics/nature-action/nature-economy/biodiversity-economies

200 Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025) 'G20 Initiative for Bioeconomy (GIB) final meeting'. 1 October. www.fao.org/in-action/sustainable-and-circular-bioeconomy/resources/news/details/en/c/1743149/

201 Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025) 'FAO releases the most detailed global assessment of marine fish stocks to date'. 11 June. www.fao.org/newsroom/detail/fao-releases-the-most-detailed-global-assessment-of-marine-fish-stocks-to-date/en

202 Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025) 'FAO releases the most detailed global assessment of marine fish stocks to date'. 11 June. www.fao.org/newsroom/detail/fao-releases-the-most-detailed-global-assessment-of-marine-fish-stocks-to-date/en

203 Andersen, R. and Negendahl, K. (2022) 'Lifespan prediction of existing building typologies'. Journal of Building Engineering, 65. 15 December. www.doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105696

204 Bavarsad, F.S. et al. (2025) 'Climate-resilient office buildings: Energy and comfort in Japan's future (2090s)'. Results in Engineering, 28. 15 September. www.doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107235

205 Farrell, J.A., Whitmore, L. and Duffy, D.J. (2021) 'The promise and pitfalls of environmental DNA and RNA approaches for the monitoring of human and animal pathogens from aquatic sources'. BioScience, 71(6): 609625-. 21 April. www.doi.org/10.1093/biosci/biab027

206 Farrell, J.A., Whitmore, L. and Duffy, D.J. (2021) 'The promise and pitfalls of environmental DNA and RNA approaches for the monitoring of human and animal pathogens from aquatic sources'. BioScience, 71(6): 609625-. 21 April. www.doi.org/10.1093/biosci/biab027

207 Zhang, Y. et al. (2024) 'Evaluating eDNA and eRNA metabarcoding for aquatic biodiversity assessment: From bacteria to vertebrates'. Environmental Science and Ecotechnology, 21. 10 June. www.doi.org/10.1016/j.ese.2024.100441

208 Farrell, J.A., Whitmore, L. and Duffy, D.J. (2021) 'The promise and pitfalls of environmental DNA and RNA approaches for the monitoring of human and animal pathogens from aquatic sources'. BioScience, 71(6): 609625-. 21 April. www.doi.org/10.1093/biosci/biab027

209 Farrell, J.A., Whitmore, L. and Duffy, D.J. (2021) 'The promise and pitfalls of environmental DNA and RNA approaches for the monitoring of human and animal pathogens from aquatic sources'. BioScience, 71(6): 609625-. 21 April. www.doi.org/10.1093/biosci/biab027

210 Farrell, J.A., Whitmore, L. and Duffy, D.J. (2021) 'The promise and pitfalls of environmental DNA and RNA approaches for the monitoring of human and animal pathogens from aquatic sources'. BioScience, 71(6): 609625-. 21 April. www.doi.org/10.1093/biosci/biab027.

211 Giovannetti, M. et al. (2023) 'Unearthing soil-plant-microbiota crosstalk: Looking back to move forward'. Frontiers in Plant Science 13. 24 January. www.doi.org/10.3389/fpls.2022.1082752

212 Peddle, S.D. et al. (2024) 'Practical applications of soil microbiota to improve ecosystem restoration: Current knowledge and future directions'. Biological Reviews, 100(1): 1-18. www.doi.org/10.1111/brv.13124

213 Basset, C. and Zaldo-Aubanell, Q. (2025) 'The role of AI-enhanced microscopy in soil biodiversity assessment: Advancing soil security, connectivity and governance with implications for the European Directive on Soil Monitoring and Resilience, and global agendas'. Soil Security, 21. 19 September. www.doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100203

214 Peddle, S.D. et al. (2024) 'Practical applications of soil microbiota to improve ecosystem restoration: Current knowledge and future directions'. Biological Reviews, 100(1): 1-18. www.doi.org/10.1111/brv.13124

215 Peddle, S.D. et al. (2024) 'Practical applications of soil microbiota to improve ecosystem restoration: Current knowledge and future directions'. Biological Reviews, 100(1): 1-18. www.doi.org/10.1111/brv.13124

216 Basset, C. and Zaldo-Aubanell, Q. (2025) 'The role of AI-enhanced microscopy in soil biodiversity assessment: Advancing soil security, connectivity and governance with implications for the European Directive on Soil Monitoring and Resilience, and global agendas'. Soil Security, 21. 19 September. www.doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100203

217 Basset, C. and Zaldo-Aubanell, Q. (2025) 'The role of AI-enhanced microscopy in soil biodiversity assessment: Advancing soil security, connectivity and governance with implications for the European Directive on Soil Monitoring and Resilience, and global agendas'. Soil Security, 21. 19 September. www.doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100203

218 United Nations Conference on Trade and Development (2025). 'Global trade update (September 2025): Trade policy uncertainty looms over global markets'. September. www.unctad.org/publication/global-trade-update-september-2025-trade-policy-uncertainty-looms-over-global-markets

219 Majeres, A. (2025). 'Air cargo outlook.' International Air Transport Association. September. www.iata.org/contentassets/e28d00ea3ba54be5a9ec5b34347d1c220900_20250924/_majeresandre_approved.pdf

220 United Nations Conference on Trade and Development (2025). 'Global trade update (September 2025): Trade policy uncertainty looms over global markets'. September. www.unctad.org/publication/global-trade-update-september-2025-trade-policy-uncertainty-looms-over-global-markets

221 Eurasia Group and LSEG (2025). 'Rewiring global trade for resilience and growth.' April. www.eurasiagroup.net/live-post/rewiring-global-trade-for-resilience-and-growth

222 International Air Transport Association (2026) 'Air cargo market analysis: Monthly report – May 2026'. 29 June. www.iata.org/en/publications/economics/reports/air-cargo-market-analysis-may-2026/

223 International Air Transport Association (2026) 'Air cargo market analysis: Monthly report – May 2026'. 29 June. www.iata.org/en/publications/economics/reports/air-cargo-market-analysis-may-2026/

224 Lampert, A, and Baertlein, L. (2026) 'Air freight rates soar as Middle East conflict blocks trade routes'. Reuters. 13 March. www.reuters.com/world/middle-east/air-freight-rates-soar-middle-east-conflict-blocks-trade-routes-2026-03-13

225 Singla, A. et al. (2025) 'The next innovation revolution-powered by AI'. McKinsey & Company. June. www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-next-innovation-revolution-powered-by-ai

226 National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2025) 'Open innovation at NASA'. 17 June. www.nasa.gov/open-innovation-2023/ (retrieved 30 January 2026)

227 Wu, J. (2025) 'How open innovation technology is driving collaboration across borders'. World Economic Forum. 20 March. www.weforum.org/stories/202503//how-open-innovation-technology-is-driving-collaboration-across-borders/.

228 Smith, T. et al. (2025) 'AI is capturing the digital dollar. What's left for the rest of the tech estate?'. Deloitte. 16 October. www.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/ai-tech-investment-roi.html

229 National Aeronautics and Space Administration (NASA) (n.d.) 'Open innovation: Boosting NASA higher, faster, and farther'. www.nasa.gov/wp-content/uploads/202201//fy1920openinnovationreport-final.pdf (retrieved 30 January 2026)

230 Strazzullo, S. et al. (2023) 'How open innovation can improve companies' corporate social responsibility performance?'. Business Ethics, the Environment & Responsibility, 34(1): 116-. www.doi.org/10.1111/beer.12535

231 National Institute of Standards and Technology (n.d.) 'Cyberspace'. https://csrc.nist.gov/glossary/term/cyberspace (retrieved 30 January 2026)

232 Global Commons Alliance (n.d.) 'What are the global commons?'. https://globalcommonsalliance.org/what-are-global-commons/ (retrieved 30 January 2026)

233 United Nations (n.d.) 'Global commons'. www.unescwa.org/sd-glossary/global-commons (retrieved 30 January 2026)

234 Global Commons Alliance (n.d.) 'What are the global commons?'. https://globalcommonsalliance.org/what-are-global-commons/ (retrieved 30 January 2026)

235 Pic, P., Evoy, P. and Morin, J. F. (2023) 'Outer space as a global commons: An empirical study of space arrangements'. International Journal of the Commons, 17(1): 288301-. 5 September. www.jstor.org/stable/48756452.

236 Pic, P., Evoy, P. and Morin, J. F. (2023) 'Outer space as a global commons: An empirical study of space arrangements'. International Journal of the Commons, 17(1): 288301-. 5 September. www.jstor.org/stable/48756452

237 Shih, T. (2022) 'It's getting harder for scientists to collaborate across borders - that's bad when the world faces global problems like pandemics and climate change'. The Conversation. 13 July. www.doi.org/10.64628/AAI.swt5qrx35.

238 Shilina, S. (2023) 'Decentralized science (DeSci): Web3-mediated future of science'. Medium. 23 January. www.medium.com/@sshshln/decentralized-science-desci-web3-mediated-future-of-science-2547f9a88c40

239 Weidener, L. and Spreckelsen, C. (2024) 'Decentralized science (DeSci): Definition, shared values, and guiding principles'. Frontiers in Blockchain, 7. 17 July. www.doi.org/10.3389/fbloc.2024.1375763

240 Rooney, K. (2020) 'Can data help speed our recovery from Covid? Microsoft and the WHO hope so'. Microsoft Corporation. 29 October. https://news.microsoft.com/on-the-issues/202029/10//covid-19-recovery-who-un-open-data/

241 Maurer, J. W. (2025) 'Concept and sectoral archetypes of digital public-private partnerships: Comparative insights from health, mobility, energy, and identity systems'. CINOVUM · Reflections on Public Management and Innovation, 1. August. www.doi.org/10.5281/zenodo.17109591

242 Maurer, J. W. (2025) 'Concept and sectoral archetypes of digital public-private partnerships: Comparative insights from health, mobility, energy, and identity systems'. CINOVUM · Reflections on Public Management and Innovation, 1. August. www.doi.org/10.5281/zenodo.17109591

243 Larsson, D., Grövlen, A., Parkvall, S. and Liberg, O. (2024) '6G standardization - an overview of timeline and high-level technology principles'. Ericsson. 22 March. www.ericsson.com/en/blog/20246/3/g-standardization-timeline-and-technology-principles

244 International Air Transport Association (2025) 'IATA urges ITU to strengthen safeguards for aircraft safety systems as 5G/6G expands'. 20 November. www.iata.org/en/pressroom/2025-releases/2025-11-20-01/

245 Ericsson (2026) 'Mobile data traffic outlook: Traffic growth in mobile networks continues as 5G carries a larger share'. www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/dataforecasts/mobile-data-traffic-outlook)

246 Ericsson (n.d.) 'Unleashing 6G's immense power: The spectral vision for next generational wireless networks'. www.ericsson.com/en/6g/spectrum (retrieved 2 February 2026)

247 Lee, J. and Bao, A. (2026). 'Apple veteran's Chinese smart-glasses firm becomes unicorn as Tencent, Meituan fund rival to Meta'. CNBC. 6 July. www.cnbc.com/2026/07/06/apple-veteran-takes-on-meta-with-1-billion-smart-glasses-maker.html

248 HUAWEI (n.d.) 'HUAWEI Eyewear 2'. www.consumer.huawei.com/ae-en/audio/huawei-eyewear-2/ (retrieved 2 February 2026)

249 Reuters (2025) 'Warby Parker, Google to launch AI-powered smart glasses in 2026'. 9 December. www.reuters.com/business/warby-parker-google-launch-ai-powered-smart-glasses-202608-12-2025-/

250 Popal, N., and Jeronimo, F. (2026) 'Worldwide smartphone market to decline 13.9% in 2026 as memory crisis and US-Iran war constrain growth'. IDC. 26 May. www.idc.com/resource-center/blog/worldwide-smartphone-market-to-decline-13-9-in-2026-as-memory-crisis-and-us-iran-war-constrain-growth/

251 Anzolin, E. and Lo Nostro, G. (2025) 'Ray-Ban Meta glasses take off but face privacy and competition test'. Reuters. 9 December. www.reuters.com/sustainability/boards-policy-regulation/ray-ban-meta-glasses-take-off-face-privacy-competition-test-202509-12-/

252 Zhai, N., Ma, X. and Ding, X. (2025) 'Unpacking AI chatbot dependency: A dual-path model of cognitive and affective mechanisms'. Information, 16(12). 24 November. www.doi.org/10.3390/info16121025

253 DataReportal (2026) 'Global social media statistics'. April. https://datareportal.com/social-media-users (Retrieved 11 July 2026)

254 Kassymova, M. et al. (2025) 'A Digital escapism and stress: Exploring the connection'. The Journal of Psychology & Sociology, 94(3): 413-. www.doi.org/10.26577/JPsS202594301

255 Lakhan, S. (2025) 'When software becomes medicine: Ignoring it may soon be malpractice'. Cureus, 17(4). 22 April. https://assets.cureus.com/uploads/editorial/pdf/362521-20250423/231782-sw4sxt.pdf

256 Lakhan, S. (2025) 'Decoding FDA labeling of prescription digital therapeutics: A cross-sectional regulatory study'. Cureus, 17(5). 20 May. www.cureus.com/articles/370632-decoding-fda-labeling-of-prescription-digital-therapeutics-a-cross-sectional-regulatory-study#!/

257 Liang, J. et al. (2025) 'Approved trends and product characteristics of digital therapeutics in four countries'. npj Digital Med, 8, 308. https://doi.org/10.1038/s41746-025-01660-9

258 Fassbender, A. et al. (2024) 'Adoption of digital therapeutics in Europe'. Therapeutics and Clinical Risk Management, 20: 939954-. 27 December. www.doi.org/10.2147/TCRM.S489873

259 Ludwig, S., Rausch, A., and Taub, M. (2025) 'Effects of instructional design, instructional preferences, and cognitive load on problem solving and knowledge acquisition in a computer-based office simulation'. Learning and Instruction, 101. 18 November. www.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2025.102255

260 Baxter, K., Sachdeva, N., and Baker, S. (2025) 'The application of cognitive load theory to the design of health and behavior change programs: Principles and recommendations'. Health Education & Behavior, 52(4): 469477-. www.doi.org/10.11771090198125132718 5/

261 Baxter, K., Sachdeva, N., and Baker, S. (2025) 'The application of cognitive load theory to the design of health and behavior change programs: Principles and recommendations'. Health Education & Behavior, 52(4): 469477-. www.doi.org/10.11771090198125132718 5/

262 World Health Organization (2023) 'Disability'. 7 March. www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health

263 Zhang, X., Pan, S., Tim, Y., and Jiang, Z. (2025) 'Designing an immersive virtual reality artefact for disability inclusion: An action design research'. European Journal of Information Systems, 34(5): 843872-. 27 February. www.doi.org/10.10800960085/X.2025.2460805

264 McGuire, C. (n.d.) 'How technology has been used to deny benefits to the disabled'. History & Policy. www.historyandpolicy.org/policy-papers/papers/how-technology-has-been-used-to-deny-benefits-to-the-disabled/ (retrieved 2 February 2026)

265 Shosha, A. (2025) 'The symbiotic evolution of intelligent hardware and data processing for next-generationimmersive realities'. International Journal of Advances in Engineering and Computer Science, 1(1): 1823-. 28 September. www.academianspublishers.org/wp-content/uploads/202510//IJAECS032025.pdf

266 Sigalos, M. and Elias, J. (2025) 'Google's decade-long bet on custom chips is turning into company's secret weapon in AI race'. CNBC. 7 November. www.cnbc.com/202507/11//googles-decade-long-bet-on-tpus-companys-secret-weapon-in-ai-race.html.

267 Marwala, T. (2025) 'Rethinking tech and why GPUs are not the future of AI training'. United Nations University. 2 April. www.unu.edu/article/rethinking-tech-and-why-gpus-are-not-future-ai-training

268 Bradshaw, T. (2025) 'Google's 'TPU' chip puts OpenAI on alert and shakes Nvidia investors'. Financial Times. 8 December. www.ft.com/content/d858587017-a543-a095-ef-cbebb1995107

269 Google (2026) 'Introduction to Cloud TPU'. 30 January. https://docs.cloud.google.com/tpu/docs/intro-to-tpu (retrieved 2 February 2026)

270 Dubai Future Foundation (2024) 'Future Opportunities Report - The Global 50'. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/202403//The-Global-502024--Eng.pdf

271 Dubai Future Foundation (2024) 'Future Opportunities Report - The Global 50'. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/202403//The-Global-502024--Eng.pdf

272 Shosha, A. (2025) 'The symbiotic evolution of intelligent hardware and data processing for next-generation immersive realities'. International Journal of Advances in Engineering and Computer Science, 1(1): 1823-. 28 September. www.academianspublishers.org/wp-content/uploads/202510//IJAECS032025.pdf

273 Smith, T. et al. (2025) 'AI is capturing the digital dollar. What's left for the rest of the tech estate?'. Deloitte. 16 October. www.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/ai-tech-investment-roi.html

274 Horton, R. et al. (2025) 'AI ROI: The paradox of rising investment and elusive returns'. Deloitte. 22 October. www.deloitte.com/uk/en/issues/generative-ai/ai-roi-the-paradox-of-rising-investment-and-elusive-returns.html

275 Klein, B. et al. (2025) 'Deploying agentic AI with safety and security: A playbook for technology leaders'. McKinsey & Company. October. www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/deploying-agentic-ai-with-safety-and-security-a-playbook-for-technology-leaders.

276 Rapoport, G., Bicanic, S. and Talabi, M. (2025) 'Executive survey: AI moves from pilots to production'. Bain & Company. November. www.bain.com/insights/executive-survey-ai-moves-from-pilots-to-production/

277 Morgan Stanley (2025) 'Humanoids: A $5 trillion market'. 14 May. www.morganstanley.com/insights/articles/humanoid-robot-market-5-trillion-by-2050

278 Hanbury, P., Dutt, A., and Malik, N. (2025) 'Humanoid Robots: From Demos to Deployment'. Bain & Copany. 23 September. www.bain.com/insights/humanoid-robots-from-demos-to-deployment-technology-report-2025/

279 Caporale, D. (2025) 'TII leads the charge in humanoid robotics to power the UAE's AI-driven future'. Technology Innovation Institute. 25 July. www.tii.ae/insights/tii-leads-charge-humanoid-robotics-power-uaes-ai-driven-future

280 Hanbury, P., Dutt, A., and Malik, N. (2025) 'Humanoid Robots: From Demos to Deployment'. Bain & Copany. 23 September. www.bain.com/insights/humanoid-robots-from-demos-to-deployment-technology-report-2025/

281 Popov, D. (2025) 'Chinese robotics start-up Noetix debuts 'family-friendly' US$1,400 humanoid'. South China Morning Post. 23 October. www.shorturl.at/r0Kut

282 1X Technologies. (n.d.). NEO: Home robot. Retrieved July 11, 2026, www.1x.tech/order (retrieved 11 July 2026)

283 Bhakta, S. (2025) ‘Safeguarding agentic AI: Why autonomy demands governance and security’. Thomson Reuters. 13 November. www.thomsonreuters.com/en-us/posts/technology/safeguarding-agentic-ai/.

284 Brown, A. and Saner, M. (2025) ‘The Agentic AI security scoping matrix: A framework for securing autonomous AI systems’. Amazon Web Services. 21 November. www.aws.amazon.com/blogs/security/the-agentic-ai-security-scoping-matrix-a-framework-for-securing-autonomous-ai-systems/

285 Klein, B. et al. (2025) ‘Deploying agentic AI with safety and security: A playbook for technology leaders’. McKinsey & Company. October. www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/deploying-agentic-ai-with-safety-and-security-a-playbook-for-technology-leaders

286 Arena, P., Li Noce, A. and Patanè, L. (2024) ‘Stability and safety learning methods for legged robots’. Robotics, 13(1). 17 January. www.doi.org/10.3390/robotics13010017

287 Semasinghe, C., Taylor, D. and Rezazadeh, S. (2025) ‘The design and manufacturing of Mithra: A humanoid robot with anthropomorphic attributes and high-performance actuators’. Robotics, 14(3). 28 February. www.doi.org/10.3390/robotics14030028

288 Zhou, C. (2023) ‘Special issue “legged robots into the real world, 2nd edition”’. Robotics, 14(10). 13 October. www.doi.org/10.3390/robotics14100142

289 International Federation of Robotics (2025) ‘World robotics 2025 report - industrial robots - released by IFR’. 25 September. www.ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-demand-in-factories-doubles-over-10-years

290 International Federation of Robotics (2025) ‘World robotics 2025 report - service robots - released by IFR’. 7 October. www.ifr.org/ifr-press-releases/news/service-robots-see-global-growth-boom

291 Kegeleirs, M. and Birattari, M. (2025) ‘Towards applied swarm robotics: current limitations and enablers’. Frontiers Media SA. www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2025.1607978/full

292 Kegeleirs, M. and Birattari, M. (2025) ‘Towards applied swarm robotics: current limitations and enablers’. Frontiers Media SA. www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2025.1607978/full

293 Kegeleirs, M. and Birattari, M. (2025) ‘Towards applied swarm robotics: current limitations and enablers’. Frontiers Media SA. www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2025.1607978/full

294 Nalepka, P., Patil, G; Kallen; R. and Richardson, M. (2025) ‘Human-inspired strategies for controlling swarm systems’. The Royal Society. https://royalsocietypublishing.org/rsta/article/383112774/20240147/2289//Human-inspired-strategies-for-controlling-swarm

295 Hui, P. et al. (2025) ‘Interoperability of the Metaverse: A Digital Ecosystem Perspective Review’. June. https://ieeexplore.ieee.org/document/10979319/authors#authors

296 Champion, K. et al. (2025) ‘Debate: Social media in children and young people – time for a ban? Beyond the ban – empowering parents and schools to keep adolescents safe on social media’. Child Adolescent Mental Health. 10 September. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12573062/

297 Congress.gov (2025) ‘Text - H.R.6488 - 119th Congress (20252026-): RESET Act’. 5 December. www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/6488/text

298 Lee, N., Stewart, J. and Oxenstierna, O. (2025) ‘How will bans on social media affect children?’. www.brookings.edu/articles/how-will-bans-on-social-media-affect-children/ (retrieved 29 January 2026)

299 Gov.UK (2026) ‘Social media to be banned for under-16s in landmark government move to give kids their childhood back’ 15 June. www.gov.uk/government/news/social-media-to-be-banned-for-under-16s-in-landmark-government-move-to-givekids-their-childhood-back (retrieved 19 June 2026)

300 The National (2026) ‘UAE first Arab nation to ban under-15s from using social media’. 18 June. www.thenationalnews.com/news/uae/2026/06/18/uae-sets-15-as-the-minimum-age-to-use-social-media/ (retrieved 19 June 2026)

301 Lee, N., Stewart, J. and Oxenstierna, O. (2025) ‘How will bans on social media affect children?’. www.brookings.edu/articles/how-will-bans-on-social-media-affect-children/ (retrieved 29 January 2026)

302 Mayo Clinic (2025) ‘Teens and social media use: What's the impact?’. 09 December. www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/tween-and-teen-health/in-depth/teens-and-social-media-use/art-20474437

303 Rochester, E. and Lama, A. (2025) ‘IPSOS education Monitor 2024’. IPSOS. August. www.ipsos.com/en-us/widespread-support-banning-social-media-under-14s-and-acceptance-kids-today-have-it-harder

304 United Nations (2025) ‘Social media: Age-related bans won’t keep kids safe, UNICEF warns’. 10 December. https://news.un.org/en/story/2025/12/1166557#:~:text=Bans%20could%20backfire&text=“While%20UNICEF%20welcomes%20the%20growing,agency%20said%20in%20a%20statement

305 Lee, N., Stewart, J. and Oxenstierna, O. (2025) ‘How will bans on social media affect children?’. www.brookings.edu/articles/how-will-bans-on-social-media-affect-children/ (retrieved 29 January 2026)

306 Verick, S. (2025) ‘Rethinking AI’s impact on the future of work’. International Labour Organization. 26 November. www.ilo.org/resource/article/rethinking-ai’s-impact-future-work

307 World Economic Forum (2025) ‘Future of jobs report 2025’. January. www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

308 International Labour Organization (2025) ‘World employment and social outlook: Trends 2025’. www.ilo.org/publications/flagship-reports/world-employment-and-social-outlook-trends-2025

309 Organisation for Economic Co-operation and Development (n.d.) ‘Mis- and disinformation’. www.oecd.org/en/topics/sub-issues/disinformation-and-misinformation.html (retrieved 29 January 2026)

310 International Business Machines (n.d.) ‘What are AI hallucinations?’. www.ibm.com/think/topics/ai-hallucinations (retrieved 29 January 2026)

311 Taylor & Francis (n.d.) ‘Psychobiography’. https://taylorandfrancis.com/knowledge/Medicine_and_healthcare/Psychiatry/Psychobiography/ (retrieved 29 January 2026)

312 Schwab, K. (2016) ‘The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond’. 14 January. World Economic Forum. www.weforum.org/stories/201601//the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/

313 Mayer, C. and Fouché, P. (2025) ‘Psychobiography 4.0: about robots, AI and humanoids’. International Review of Psychiatry. 37(5), 409–415. www.doi.org/10.1080/09540261.2025.2560779

314 Mayer, C. and Fouché, P. (2025) ‘Psychobiography 4.0: about robots, AI and humanoids’. International Review of Psychiatry. 37(5), 409–415. www.doi.org/10.1080/09540261.2025.2560779

315 Law, N. et al. (2024) ‘Accenture life trends 2025’. Accenture. www.accenture.com/us-en/insights/song/accenture-life-trends

316 Sushchenko, A. and Yatsenko, O. (2025) ‘Human, All Too Human: Do We Lose Free Spirit in the Digital Age?’. 09 January. www.mdpi.com/20766/1/14/0787-

317 World Health Organization (2025) ‘Social connection linked to improved health and reduced risk of early death’. 30 June. www.who.int/news/item/302025-06--social-connection-linked-to-improved-heath-and-reduced-risk-of-early-death

318 Card, K. et al. (2025) ‘Public Health Guidelines for Social Connection: An International Delphi Study’. Health Policy. December. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41176973/

319 Hickel, J., Sullivan, D. and Moatsos, M. (2025) ‘Has extreme poverty really plunged since the 1980s? New analysis suggests not’. The Conversation. 18 August. https://theconversation.com/has-extreme-poverty-really-plunged-since-the-1980s-new-analysis-suggests-not-261144

320 Raoand, N. and Min, J. (2017) ‘Decent Living Standards: Material Prerequisites for Human Wellbeing’. 23 May. Social Indicators Research. 138, 225–244 (2018). https://link.springer.com/article/10.1007/s112050-1650-017-.

321 Hickel, J. and Sullivan, D. (2024) ‘How much growth is required to achieve good lives for all? Insights from needs-based analysis’. World Development Perspectives. 35. https://doi.org/10.1016/j.wdp.2024.100612

322 Hickel, J. and Sullivan, D. (2024) ‘How much growth is required to achieve good lives for all? Insights from needs-based analysis’. World Development Perspectives. 35. https://doi.org/10.1016/j.wdp.2024.100612

323 Hickel, J., Moatsos, M. and Sullivan, D. (2024) ‘New research is changing our understanding of global poverty - here’s what you need to know’. London School of Economics. 30 April. https://blogs.lse.ac.uk/inequalities/202430/04//new-research-on-global-poverty/

324 Lonborg, J. (2026) 'March 2026 global poverty update from the World Bank: New data and updated poverty numbers'. World Bank Data Blog. 26 March. https://blogs.worldbank.org/en/opendata/march-2026-global-poverty-update-from-the-world-bank--new-data-a (retrieved 11 May 2026)

325 Rao, N.D. and Min, J. (2018) ‘Decent Living Standards: Material Prerequisites for Human Wellbeing’. Social Indicators Research, 138(1), 225–244. https://doi.org/10.1007/s11205-017-0-1650

326 Hickel, J. and Sullivan, D. (2024) ‘How much growth is required to achieve good lives for all? Insights from needs-based analysis’. World Development Perspectives. 35, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.wdp.2024.100612

327 Thomson Reuters (2025) ‘Benefits of AI: Discover the revolutionary impact of AI and understand its potential benefits and limitations’. www.thomsonreuters.com/en/insights/articles/benefits-of-artificial-intelligence-ai

329 Montag, C. et al. (2025) ‘On the relevance of Maslow's need theory in the age of artificial intelligence’. Technological Forecasting and Social Change. October, 219. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162525002537

330 Henderson, H. (2025) ‘CIRSPR clinical trials: A 2025 update’. Innovative Genomics Institute. 9 July. https://innovativegenomics.org/news/crispr-clinical-trials-2025/

331 U.S. Food and Drug Administration (2023) ‘FDA Approves First Gene Therapies to Treat Patients with Sickle Cell Disease’. 08 December. www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-gene-therapies-treat-patients-sickle-cell-disease

332 Henderson, H. (2025) ‘CIRSPR clinical trials: A 2025 update’. Innovative Genomics Institute. 9 July. https://innovativegenomics.org/news/crispr-clinical-trials-2025/

333 Kingery, K. (2025) ‘New CRISPRs Expand Upon the Original’s Abilities’. Duke University Pratt School of Engineering. 13 March. https://pratt.duke.edu/news/new-crisprs-expand-upon-the-originals-abilities/

334 Cleveland Clinic (2025) ‘Cleveland Clinic First-In-Human Trial of CRISPR Gene-Editing Therapy Shown to Safely Lower Cholesterol and Triglycerides’. 8 November. https://newsroom.clevelandclinic.org/202508/11//cleveland-clinic-first-in-human-trial-of-crispr-gene-editing-therapy-shown-to-safely-lower-cholesterol-and-triglycerides

335 Lim, Q. (2025) ‘Aging societies: Opportunities amid challenges? Part 2’. Milken Institute. August. www.milkeninstitute.org/content-hub/research-and-reports/reports/aging-socsieties-opportunities-amid-challenges-part-2

336 Furrer, R. and Handschin, C. (2025) ‘Biomarkers of aging: from molecules and surrogates to physiology and function’. Physiological Reviews, 105(2), 172-. www.doi.org/10.1152/physrev.00045.2024

337 Furrer, R. and Handschin, C. (2025) ‘Biomarkers of aging: from molecules and surrogates to physiology and function’. Physiological Reviews, 105(2), 172-. www.doi.org/10.1152/physrev.00045.2024

338 Brügger, V. et al. (2025) ‘A collagen amino acid composition supplementation reduces biological age in humans and increases health and lifespan in vivo’. npj Aging 11(1): 91. www.doi.org/10.1038/s415147-00280-025-

339 Elliehausen, C. et al. (2023) ‘Geroprotector drugs and exercise: friends or foes on healthy longevity?’. BMC Biology, 21(287). https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10709984/

340 European Commission (n.d.) ‘Artificial Intelligence in healthcare’. https://health.ec.europa.eu/ehealth-digital-health-and-care/artificial-intelligence-healthcare_en (retrieved 30 January 2026)

341 Amann, J. et al. (2024) ‘The unmet promise of trustworthy AI in healthcare: why we fail at clinical translation’. Frontiers in Digital Health 6: 1279629.https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11063331/

342 McKinsey & Company (2025) ‘Generative AI in healthcare: Current trends and future outlook’. 26 March. www.mckinsey.com/industries/healthcare/our-insights/generative-ai-in-healthcare-current-trends-and-future-outlook#/

343 Abdelwanis, M. (2026) ‘Artificial intelligence adoption challenges from healthcare providers’ perspectives: A comprehensive review and future directions’. Safety Science, 193. www.doi.org/10.1016/j.ssci.2025.107028

344 Elsevier (2025) ‘Clinician of the Future 2025’. www.elsevier.com/insights/clinician-of-the-future/20250#-the-report

345 Abdelwanis, M. (2026) ‘Artificial intelligence adoption challenges from healthcare providers’ perspectives: A comprehensive review and future directions’. Safety Science, 193. www.doi.org/10.1016/j.ssci.2025.107028

346 International Telecommunication Union (n.d.) ‘Artificial Intelligence for Health’. https://aiforgood.itu.int/ai-for-health/ (retrieved 30 January 2026)

347 Barendregt, L. (2024) ‘Public participation in futuring: A systematic literature review’. Futures, 158. www.doi.org/10.1016/j.futures.2024.103346

348 Barendregt, L. (2024) ‘Public participation in futuring: A systematic literature review’. Futures, 158. www.doi.org/10.1016/j.futures.2024.103346

349 UK Research and Innovation (2023) ‘Embedding Diversity in Research Design’. www.ukri.org/publications/embedding-diversity-in-research-design-report/

350 Holland, S. et al. (2025) ‘Critical reflections on public involvement in research: Involving involuntary recipients of social services to improve research quality’. The British Journal of Social Work, 55(5). July. https://academic.oup.com/bjsw/article/558099914/2500/5/

351 Chesbrough, H.W. (2003) ‘The Era of Open Innovation’. MIT Sloan Management Review. 15 April https://sloanreview.mit.edu/article/the-era-of-open-innovation/

352 King, A. and Lakhani, K.R. (2013) ‘Using Open Innovation to Identify the Best Ideas’. MIT Sloan Management Review. 11 September. https://sloanreview.mit.edu/article/using-open-innovation-to-identify-the-best-ideas/

353 Wu, J. (2025) ‘How open innovation technology is driving collaboration across borders’. World Economic Forum. 20 March. www.weforum.org/stories/202503//how-open-innovation-technology-is-driving-collaboration-across-borders/

354 Wu, J. (2025) ‘How open innovation technology is driving collaboration across borders’. World Economic Forum. 20 March. www.weforum.org/stories/202503//how-open-innovation-technology-is-driving-collaboration-across-borders/.

355 ydin, B. (2023) ‘Open Innovation in Schools: A New Imperative for Organising Innovation in Education?’. Technology, Knowledge and Learning, 29, 10511077- https://link.springer.com/article/10.1007/s10758-023-09705-27

356 London Institute of Business & Technology (n.d.) ‘5 Ways Open Innovation Is Transforming Higher Education: A New Era Of Collaborative Learning’. https://blog.libt.co.uk/education/5-ways-open-innovation-is-transforming-higher-education-a-new-era-of-collaborative-learning/ (retrieved 26 February 2026)

357 Harinurdin, E. et al. (2025) ‘Community Empowerment Utilizing Open Innovation as a Sustainable Village-Owned Enterprise Strategy in Indonesia: A Systematic Literature Review’. Sustainability, 17(8). www.mdpi.com/20713394/8/17/1050-

358 Dubai Future Foundation (n.d.) ‘Our futures’. https://www.dubaifuture.ae/our-futures-4 (retrieved 30 January 2026)

359 Shen, B. (2025) ‘The comprehensive clinical benefits of digital phenotyping: from broad adoption to full impact’. npj Digital Medicine, 8, 196. www.doi.org/10.1038/s417465-01602-025-

360 Wu, X. et al. (2025) ‘A Scoping Review of Artificial Intelligence for Precision Nutrition’. Advances in Nutrition, 16(4). April. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2161831325000341

361 Shen, B. (2025) ‘The comprehensive clinical benefits of digital phenotyping: from broad adoption to full impact’. npj Digital Medicine, 8, 196. www.doi.org/10.1038/s417465-01602-025-

362 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.) ‘Water and One Health’. www.fao.org/one-health/areas-of-work/water/en (retrieved 30 January 2026)

363 United Nations - Water (n.d.) ‘Water Scarcity’. www.unwater.org/water-facts/water-scarcity (retrieved 30 January 2026)

364 Parra-Lopez, C. et al. (2025) ‘Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future outlook’. Agricultural Water Management, 309(31). March. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377425000617

365 Balaska, V. et al. (2023) ‘Sustainable Crop Protection via Robotics and Artificial Intelligence Solutions’. Machines, 11(8), 774. www.doi.org/10.3390/machines11080774https://www.mdpi.com/2075774/8/11/1702-

366 Colombage, R.L., Barfoot, K.L. and Lamport, D.J. (2025) ‘Effects of Dietary Flavonoids on Mood and Mental Health: A Systematic Review’. Nutrition Reviews. www.doi.org/10.1093/nutrit/nuaf188

367 Food and Agriculture Organization (2025) ‘Forty-four emerging food innovations by 2050’. https://openknowledge.fao.org/items/7513467e-223f-464e-ab22167-b072e50e9

368 Colombage, R.L., Barfoot, K.L. and Lamport, D.J. (2025) ‘Effects of Dietary Flavonoids on Mood and Mental Health: A Systematic Review’. Nutrition Reviews. www.doi.org/10.1093/nutrit/nuaf188

369 Colombage, R.L., Barfoot, K.L. and Lamport, D.J. (2025) ‘Effects of Dietary Flavonoids on Mood and Mental Health: A Systematic Review’. Nutrition Reviews. www.doi.org/10.1093/nutrit/nuaf188

370 World Health Organization (2025) ‘11 million lives lost each year: Urgent action needed on neurological care’. 14 October. www.who.int/news/item/1411-2025-10--million-lives-lost-each-year-urgent-action-needed-on-neurological-care

371 World Health Organization (2025) ‘Dementia’ 31 March 2025 www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia

372 Nguyen, L.A.M., Simons, C.W. and Thomas, R. (2025) ‘Nootropic foods in neurodegenerative diseases: mechanisms, challenges, and future’. Translational Neurodegeneration, 14, 17. https://doi.org/10.1186/s400357-00476-025-

373 Nguyen, L.A.M., Simons, C.W. and Thomas, R. (2025) ‘Nootropic foods in neurodegenerative diseases: mechanisms, challenges, and future’. Translational Neurodegeneration, 14, 17. https://doi.org/10.1186/s400357-00476-025-

374 Verdin, P. and Tackx, K. (2015) ‘Are You Creating or Capturing Value? A dynamic framework for sustainable strategy’. Mossavar-Rahmani Center for Business & Government, Harvard Kennedy School. www.hks.harvard.edu/sites/default/files/centers/mrcbg/files/Verdin_final.pdf

375 Verdin, P. and Tackx, K. (2015) ‘Are You Creating or Capturing Value? A dynamic framework for sustainable strategy’. Mossavar-Rahmani Center for Business & Government, Harvard Kennedy School. www.hks.harvard.edu/sites/default/files/centers/mrcbg/files/Verdin_final.pdf

376 Teece, D.J. and Linden, G. (2017) ‘Business models, value capture, and the digital enterprise’. Journal of Organization Design, 6: 8.https://doi.org/10.1186/s4146900l8-017--x

377 Teece, D.J. and Linden, G. (2017) ‘Business models, value capture, and the digital enterprise’. Journal of Organization Design, 6: 8.https://doi.org/10.1186/s4146900l8-017--x

378 Alalääkkölä, T. et al. (2025) ‘From value creation to value capture practices in healthcare innovation collaborations’. Innovation: Organization & Management 27(1): 21-42. www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14479338.2023.2232996#d1e234

379 Kuan, J. (2020) ‘Open innovation’. Oxford Research Encyclopedia of Business and Management. 19 November. www.doi.org/10.1093/acrefore/9780190224851.013.38

380 Dos Santos, C.A.F. and Zen, A. C. (2023). ‘Creating and Capturing Value in Innovation Ecosystems: A Systematic Literature Review Between 2010 and 2021’. Journal of Creating Value, 10(1), 59-78. https://doi.org/10.1177/239496432311856

381 Open Innovation (n.d.) ‘Open Innovation’. www.openinnovation.eu/open-innovation/ (retrieved 30 January 2026)

382 Toroslu, A. et al. (2023) ‘Value capture in open innovation: A literature review and a research agenda’. Industrial Marketing Management, 114: 297–312.https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2023.08.012

383 Toroslu, A. et al. (2023) ‘Value capture in open innovation: A literature review and a research agenda’. Industrial Marketing Management, 114: 297–312.https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2023.08.012

384 World Economic Forum (2025) ‘Innovation Ecosystems: A Toolkit of Principles and Best Practice’ https://reports.weforum.org/docs/WEF_Innovation_Ecosystems_2025.pdf

385 Dos Santos, C.A.F. and Zen, A. C. (2023). ‘Creating and Capturing Value in Innovation Ecosystems: A Systematic Literature Review Between 2010 and 2021’. Journal of Creating Value, 10(1), 5978-. https://doi.org/10.1177239496432311856/

386 Dos Santos, C.A.F. and Zen, A. C. (2023). ‘Creating and Capturing Value in Innovation Ecosystems: A Systematic Literature Review Between 2010 and 2021’. Journal of Creating Value, 10(1), 5978-. https://doi.org/10.1177239496432311856/

387 Meynhardt, T. and Jasinenko, A. (2021). ‘Measuring public value: scale development and construct validation’. International Public Management Journal, 24(2), 222-249. www.doi.org/10.1080/10967494.2020.1829763

388 Dos Santos, C.A.F. and Zen, A. C. (2023). ‘Creating and Capturing Value in Innovation Ecosystems: A Systematic Literature Review Between 2010 and 2021’. Journal of Creating Value, 10(1), 59-78. https://doi.org/10.1177/239496432311856

389 Hoffecker, E. (2019) ‘Understanding innovation ecosystems: A framework for joint analysis and action’. MIT D-Lab and MIT Practical Impact Alliance. https://d-lab.mit.edu/sites/default/files/inline-files/Understanding_Innovation_Ecosystems_FINAL_JULY2019.pdf

390 Jonasson, L., Kruse, M. and Chenecey, S.P. (2024) ‘How to connect innovation with foresight’. World Economic Forum. 12 September. www.weforum.org/stories/202409//how-to-connect-innovation-with-foresight/

391 Ajilore, O. et al. (2022) ‘UNDP RBAP foresight playbook’. United Nations Development Programme. www.undp.org/asia-pacific/publications/undp-rbap-foresight-playbook

392 Ajilore, O. et al. (2022) ‘UNDP RBAP foresight playbook’. United Nations Development Programme. www.undp.org/asia-pacific/publications/undp-rbap-foresight-playbook

393 International Labour Organization (n.d.) ‘Anticipation of skills needs - methods: Foresight and scenario development’ https://www.ilo.org/sites/default/files/202410-/ILOPOS-document-Foresight%20and%20Scenario%20development.pdf (retrieved 30 January 2026)

394 Observatory of Public Sector Innovation (n.d.) ‘Futures & Foresight’. www.oecd-opsi.org/guide/futures-and-foresight/ (retrieved 30 January 2026)

395 United Nations Development Programme (n.d.) ‘Backcasting’. https://erc.undp.org/methods-center/methods/evaluation-techniques/backcasting (retrieved 30 January 2026)

396 United Nations Development Programme (n.d.) ‘Backcasting’. https://erc.undp.org/methods-center/methods/evaluation-techniques/backcasting (retrieved 30 January 2026)

397 Wübbelmann, T. and Kabisch, N. (2025) ‘Backcasting - a scenario approach in urban climate adaptation planning’. npj Urban Sustain, 5, 69. www.nature.com/articles/s429496-00260-025-.

398 Wübbelmann, T. and Kabisch, N. (2025) ‘Backcasting - a scenario approach in urban climate adaptation planning’. npj Urban Sustain, 5, 69. www.nature.com/articles/s429496-00260-025-

399 Bibri, S.E. (2018) ‘Backcasting in futures studies: a synthesized scholarly and planning approach to strategic smart sustainable city development’. European Journal of Future Research, 6, 13 www.doi.org/10.1186/s403090142-018--z

400 European Commission, Joint Research Centre (n.d.) ‘Foresight: What, why and how’. https://knowledge4policy.ec.europa.eu/sites/default/files/foresight_briefme.pdf (retrieved 30 January 2026)

401 Bibri, S.E. (2018) ‘Backcasting in futures studies: a synthesized scholarly and planning approach to strategic smart sustainable city development’. European Journal of Future Research, 6, 13 www.doi.org/10.1186/s40309-018-0142-z

402 Banholzer, M. and Koller, T. (2025) ‘Investing in innovation: Three ways to do more with less’c & Company. 5 June. www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/investing-in-innovation-three-ways-to-do-more-with-less

403 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

404 Hoffecker, E. (2019) 'Understanding innovation ecosystems: A framework for joint analysis and action'. MIT D-Lab and MIT Practical Impact Alliance. https://d-lab.mit.edu/resources/publications/understanding-innovation-ecosystems-framework-joint-analysis-and-action

405 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

406 Hoffecker, E. (2019) 'Understanding innovation ecosystems: A framework for joint analysis and action'. MIT D-Lab and MIT Practical Impact Alliance. https://d-lab.mit.edu/resources/publications/understanding-innovation-ecosystems-framework-joint-analysis-and-action.

407 Williamson, S.K., Babcock, A. and He, A. (2020) 'Funding the Future: Investing in Long-Horizon Innovation'. Harvard Law School Forum on Corporate Governance. www.corpgov.law.harvard.edu/202025/08//funding-the-future-investing-in-long-horizon-innovation/

408 European Commission (n.d.) 'Overview of sustainable finance'. https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/overview-sustainable-finance_en (retrieved 30 January 2026)

409 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

410 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/.

411 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

412 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

414 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

415 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

416 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

417 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

418 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

419 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

420 Markovitz, G. and Lacina, L. (2021) 'How will we fund the shift to a more sustainable future? 4 experts explain'. World Economic Forum. 17 September. www.weforum.org/stories/202109//how-will-we-fund-the-shift-to-a-more-sustainable-future-4-experts-explain/

421 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

422 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

423 Markovitz, G. and Lacina, L. (2021) 'How will we fund the shift to a more sustainable future? 4 experts explain'. World Economic Forum. 17 September. www.weforum.org/stories/202109//how-will-we-fund-the-shift-to-a-more-sustainable-future-4-experts-explain/

424 Markovitz, G. and Lacina, L. (2021) 'How will we fund the shift to a more sustainable future? 4 experts explain'. World Economic Forum. 17 September. www.weforum.org/stories/202109//how-will-we-fund-the-shift-to-a-more-sustainable-future-4-experts-explain/

425 Sellick, V., Solder, A. and Roberts, I. (2018) 'Funding innovation: A practice guide'. Nesta. www.nesta.org.uk/toolkit/funding-innovation-practice-guide/

426 Smith, S. (2025) 'Economic conditions outlook: December 2025'. McKinsey & Company. 18 December. www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/economic-conditions-outlook

427 Smith, S. (2025) 'Economic conditions outlook: December 2025'. McKinsey & Company. 18 December. www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/economic-conditions-outlook

428 Govindarajan, A. et al. (2026) 'Economic conditions outlook, June 2026'. McKinsey & Company. www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/economic-conditions-outlook

429 European Commission (2024) 'Peering into the Future: How Horizon Scanning can help shape EU Policy'. 19 January. https://policy-lab.ec.europa.eu/news/spotting-future-how-horizon-scanning-can-help-shape-eu-policy-202419-01-_en

430 International Labour Organization (2026) 'Global job quality stagnates despite resilient growth'. 14 January. www.ilo.org/resource/news/global-job-quality-stagnates-despite-resilient-growth

431 World Economic Forum (2025) 'Future of jobs report 2025'. January. www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

432 Corley-Coulibaly, M. et al. (2026) 'Employment and social trends 2026'. International Labour Organization. www.ilo.org/publications/flagship-reports/employment-and-social-trends-2026.

433 International Labour Organization (2026) 'Global job quality stagnates despite resilient growth'. 14 January. www.ilo.org/resource/news/global-job-quality-stagnates-despite-resilient-growth

434 Kumar, A. (2025) 'Why AI is replacing some jobs faster than others'. World Economic Forum. 12 August. www.weforum.org/stories/202508//ai-jobs-replacement-data-careers/

435 Hill, S. et al. (2025) 'GEM 20242025/ global report: Entrepreneurship reality check'. Global Entrepreneurship Monitor. February. www.gemconsortium.org/report/gem-20242025-global-report-entrepreneurship-reality-check-4

436 Nemlioglu, I. (2019) 'A novelty on unlocking businesses' potential growth: Intellectual Property Securitisation'. Procedia Computer Science, 158: 9991010-. www.doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.141

437 World Intellectual Property Organization (2016) 'Turn and face the strange: David Bowie and IP financial innovation'. 17 February. www.wipo.int/en/web/wipo-magazine/articles/turn-and-face-the-strange-david-bowie-and-ip-financial-innovation-39435

438 World Intellectual Property Organization (2016) 'Turn and face the strange: David Bowie and IP financial innovation'. 17 February. www.wipo.int/en/web/wipo-magazine/articles/turn-and-face-the-strange-david-bowie-and-ip-financial-innovation-39435

439 Garg, S. (2024) 'Tokenization of intellectual property'. SoluLab. 23 October. www.solulab.com/tokenization-of-ip-assets/

440 Garg, S. (2024) 'Tokenization of intellectual property'. SoluLab. 23 October. www.solulab.com/tokenization-of-ip-assets/

441 World Intellectual Property Organization (2025) 'Moving IP finance from the margins to the mainstream'. https://doi.org/10.34667/tind.58498

442 Brown, A. et al. (2025) 'The Value of Intangible Assets of Corporations Worldwide Rebounds to All-Time High of USD 80 Trillion in 2024'. 28 February. www.wipo.int/en/web/global-innovation-index/w/blogs/2025/the-value-of-intangible-assets-of-corporations (retrieved 22 March 2026)

443 World Intellectual Property Organization (2025) 'Moving IP finance from the margins to the mainstream'. https://doi.org/10.34667/tind.58498

444 Intellectual Property Office of Singapore (2023) 'IP and non-fungible tokens'. 14 June. https://isomer-user-content.by.gov.sg/61/a1ec80ce-ee1d-4ba0-b2296-ded16d99f8f/ip-and-nft-14june2023.pdf

445 Intellectual Property Office of Singapore (2023) 'IP and non-fungible tokens'. 14 June. https://isomer-user-content.by.gov.sg/61/a1ec80ce-ee1d-4ba0-b2296-ded16d99f8f/ip-and-nft-14june2023.pdf

446 Intellectual Property Office of Singapore (2023) 'IP and non-fungible tokens'. 14 June. https://isomer-user-content.by.gov.sg/61/a1ec80ce-ee1d-4ba0-b2296-ded16d99f8f/ip-and-nft-14june2023.pdf

447 Molecule Docs (n.d.) 'IP-NFT legal structure'. https://docs.molecule.to/documentation/ip-nfts/ip-nft-legal-structure (retrieved 3 February 2026)

448 Reiss, J. (2021) 'Public goods'. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 21 July. https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/public-goods/

449 Chin, M. (2021) 'What are global public goods?'. International Monetary Fund. December. www.imf.org/en/publications/fandd/issues/202112//global-public-goods-chin-basics

450 Boulton, G. (2021) 'Science as a global public good'. International Science Council. November. www.council.science/news/science-as-a-global-public-good/

451 Oyler-Yaniv, J. (2025) 'Science is a public good'. Harvard Medicine. June. www.magazine.hms.harvard.edu/articles/science-public-good

452 Reiss, J. (2021) 'Public goods'. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 21 July. https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/public-goods/

453 World Health Organization Regional Office for Europe (2023) 'Public-private partnerships for health care infrastructure and services: Policy considerations for middle-income countries in Europe'. www.who.int/europe/publications/i/item/9789289058605

454 World Bank Group (n.d.) 'Weak management'. https://ppp.worldbank.org/weak-management (retrieved 4 February 2026)

455 Beckers, F. and Stegemann, U. (2021) 'A smarter way to think about public-private partnerships'. McKinsey & Company. September. www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/a-smarter-way-to-think-about-public-private-partnerships

456 World Bank Group (n.d.) 'Weak management'. https://ppp.worldbank.org/weak-management (retrieved 4 February 2026)

457 World Bank Group (n.d.) ‘Weak management’. https://ppp.worldbank.org/weak-management (retrieved 4 February 2026)

458 Guasch, J. et al. (2014) 'The Renegotiation of PPP Contracts: An Overview of its Recent Evolution in Latin America. International Transport Forum Discussion Papers, No. 2014/18, OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/5jrw2xxlks8v-en

459 World Cooperative Monitor (2025) ‘World Cooperative Monitor 2025 highlights the power of cooperatives in transforming the global economy’. 3 November. www.ica.coop/en/media/library/press-releases/press-release-world-cooperative-monitor-2025-highlights-power

460 World Bank Group (n.d.) ‘Key issues in PPPs for the poor’. https://ppp.worldbank.org/key-issues-ppps-poor (retrieved 4 February 2026)

461 Utvik, V., Sæbø, J., Amarakoon, P. and Nielsen, P. (2025) ‘Digital public goods: Understanding the role of generativity in fostering digital innovation for development’. Information Technology for Development, 31(4): 17911809-. 17 August. www.doi.org/10.1080026811102.2025.2531494/

462 Utvik, V., Sæbø, J., Amarakoon, P. and Nielsen, P. (2025) ‘Digital public goods: Understanding the role of generativity in fostering digital innovation for development’. Information Technology for Development, 31(4): 17911809-. 17 August. www.doi.org/10.1080026811102.2025.2531494/ .

463 Green, C. (2025) ‘Why digital public goods, including AI, should depend on open data’. Creative Commons. 27 January. www.creativecommons.org/202527/01//why-digital-public-goods-including-ai-should-depend-on-open-data/

464 Digital Public Goods Alliance and United Nations Children’s Fund (n.d.) ‘Core considerations for exploring AI systems as digital public goods’. www.digitalpublicgoods.net/AI-CoP-Discussion-Paper.pdf (retrieved 4 February 2026)

465 Digital Public Goods Alliance and United Nations Children’s Fund (n.d.) ‘Core considerations for exploring AI systems as digital public goods’. www.digitalpublicgoods.net/AI-CoP-Discussion-Paper.pdf (retrieved 4 February 2026)

466 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2023) ‘UNESCO member states adopt the first ever global agreement on the ethics of artificial intelligence’. 20 April. www.shorturl.at/oUXnf

467 United Nations (2024) ‘Pact for the future, global digital compact and declaration on future generations’. September. https://unsdg.un.org/sites/default/files/202503-/sotf-pact_for_the_future_adopted.pdf

468 Moreno-García, E. and Torregrosa, R. (2025) ‘On the public and voluntary provision of public goods’. Journal of Public Economic Theory, 27(3). www.doi.org/10.1111/jpet.70031

469 United Nations Conference on Trade and Development (2025) ‘Aid at the crossroads: Trends in official development assistance’. www.unctad.org/publication/aid-crossroads-trends-official-development-assistance

470 Organisation for Economic Co-operation and Development (2026) ‘A historic decline in foreign aid: Preliminary 2025 ODA data’ . 9 April. www.oecd.org/en/data/insights/data-explainers/2026/04/a-historic-decline-in-foreign-aid-preliminary-2025-oda-data.html (retrieved 24 April 2026)

471 United Nations (2024) ‘Pact for the future, global digital compact and declaration on future generations’. September. https://unsdg.un.org/sites/default/files/202503-/sotf-pact_for_the_future_adopted.pdf

472 Gibney, E. (2023) ‘How many yottabytes in a quettabyte? Extreme numbers get new names’. Nature. 23 January. www.doi.org/10.1038/d415869-03747-022- (retrieved 4 February 2026)

473 Digital Science, Nature Springer and Figshare (2026) 'The state of open data 2025: A decade of progress and challenges'. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.30823079.v6

474 MacRae, D. (2022) ‘More than 90% of businesses are unable to properly succeed in the data economy’. CloudTech. 27 April. www.cloudcomputing-news.net/news/more-than-90-of-businesses-are-unable-to-properly-succeed-in-the-data-economy/

475 Cho, S. (2024) ‘AI and the expanding 'digital economy' will help bridge global divides. Here's why’. World Economic Forum. 2 July. www.weforum.org/stories/202407//ai-expanding-digital-economy-bridging-divides/.

476 Data Europa EU (n.d.) ‘E-learning’. www.data.europa.eu/elearning/en/#/id/co-01 (retrieved 4 February 2026)

477 Enzerink, S., Behrooz, A. and Page, M. (2025) ‘Framework for open data maturity - country profiles and clusters’. European Commission. October. www.data.europa.eu/en/publications/reports/framework-open-data-maturity-country-profiles-and-clusters

478 Enzerink, S., Behrooz, A. and Page, M. (2025) ‘Framework for open data maturity - country profiles and clusters’. European Commission. October. www.data.europa.eu/en/publications/reports/framework-open-data-maturity-country-profiles-and-clusters

479 Enzerink, S., Behrooz, A. and Page, M. (2025) ‘Framework for open data maturity - country profiles and clusters’. European Commission. October. www.data.europa.eu/en/publications/reports/framework-open-data-maturity-country-profiles-and-clusters

480 Brincat, A. and Enzerink, S. (2025) 'The use case observatory - volume III'. European Commission. September. www.data.europa.eu/en/publications/reports/use-case-observatory-0

481 UAE Government (n.d.) 'The UAE open data portal'. https://bayanat.ae (retrieved 5 February 2026)

482 UAE Government (n.d.) 'Datasets'. https://bayanat.ae/en/Datasets?entity=hSYVIjcQ2SpteNDAE971uj2gFAMxuyhuah-uTuvTlVo (retrieved 5 February 2026))

483 Digital Dubai (n.d.) 'Data'. https://www.dubaipulse.gov.ae (retrieved 5 February 2026))

484 World Bank Group (n.d.) 'World Bank open data'. https://data.worldbank.org (retrieved 5 February 2026)

485 United Nations Statistics Division (n.d.) 'UN data'. https://data.un.org (retrieved 5 February 2026)

486 Dinnage, D., Thwaites, E., Lee, T. and Newman, A. (2025) 'New open data infrastructure initiative to strengthen volunteering across communities'. Open Data Institute. 28 October. www.theodi.org/news-and-events/news/new-open-data-infrastructure-initiative-to-strengthen-volunteering-across-communities/

487 Organisation for Economic Co-operation and Development (n.d.) 'Cross-border data flows'. www.oecd.org/en/topics/sub-issues/cross-border-data-flows.html (retrieved 5 February 2026)

488 Nordic Institute for Interoperability Solutions (2019) 'Estonia and Finland heading towards real-time data exchange on taxation'. 9 March. www.x-road.global/xroad-case-studies-library/202421/10//estonia-and-finland-heading-towards-real-time-data-exchange-on-taxation

489 Hidary, J. (2025) 'We're running low on data to train AI. The good news is there's a fix for that'. World Economic Forum. 6 December. www.weforum.org/stories/202512//data-ai-training-synthetic/

490 Georgieva, K. (2026) 'New skills and AI are reshaping the future of work'. International Monetary Fund. 14 January. www.imf.org/en/blogs/articles/202614/01//new-skills-and-ai-are-reshaping-the-future-of-work

491 Georgieva, K. (2026) 'New skills and AI are reshaping the future of work'. International Monetary Fund. 14 January. www.imf.org/en/blogs/articles/202614/01//new-skills-and-ai-are-reshaping-the-future-of-work

492 Gignac, G. and Szodorai, E. (2024) 'Defining intelligence: Bridging the gap between human and artificial perspectives'. Intelligence, 104. 8 April. www.doi.org/10.1016/j.intell.2024.101832 .

493 Pauleen, D. and Intezari, A. (2023) 'Working toward wisdom in IS education: Developing an integral knowledge-to-wisdom teaching framework'. Journal of Information Systems Education, 34(4): 441455-. 15 December. https://aisel.aisnet.org/jise/vol34/iss48//

494 Mohn, E. (2024) 'Flynn effect'. EBSCO Information Services. www.ebsco.com/research-starters/education/flynn-effect

495 Sternberg, R., Reznitskaya, A. and Jarvin, L. (2007) 'Teaching for wisdom: What matters is not just what students know, but how they use it'. London Review of Education, 5(2): 143158-. July. https://journals.uclpress.co.uk/lre/article/2491/galley/16576/view/

496 Sternberg, R., Reznitskaya, A. and Jarvin, L. (2007) 'Teaching for wisdom: What matters is not just what students know, but how they use it'. London Review of Education, 5(2): 143158-. July. https://journals.uclpress.co.uk/lre/article/2491/galley/16576/view/

497 Tynjälä, P. et al. (2025) 'Pedagogical practices promoting the development of wisdom in university students'. Studies in Higher Education. 11 March. www.doi.org/10.108003075079.20/25.2476160 .

498 Jakubik, M. (2025) 'Rethinking the dimensions of wisdom in higher educational pedagogy: Grounded theory research'. Trends in Higher Education, 4. 27 April. www.doi.org/10.3390/higheredu4020020

499 Kallio, E. and Tynjälä, P. (2025) 'What is wisdom and can it be taught?'. www.doi.org/10.43249781003602149/

500 Kallio, E. and Tynjälä, P. (2025) 'What is wisdom and can it be taught?'. www.doi.org/10.43249781003602149/

501 Kallio, E. and Tynjälä, P. (2025) 'What is wisdom and can it be taught?'. www.doi.org/10.43249781003602149/

502 Farge, E. (2023) 'UN recruits robots in strive to meet global development goals'. Reuters. 6 July. www.reuters.com/technology/un-recruits-robots-strive-meet-global-development-goals-2023-07-05/.

503 Muller, C. (2025) 'World Robotics 2025: Industrial robots'. International Federation of Robotics. https://ifr.org/wr-industrial-robots/

504 International Federation of Robotics (2025) 'World Robotics 2025 report – INDUSTRIAL ROBOTS'. 25 September. https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-demand-in-factories-doubles-over-10-years

505 United Nations (n.d.) 'The 17 goals'. https://sdgs.un.org/goals (retrieved 3 February 2026)

506 Haidegger, T. et al. (2023) 'Robotics: Enabler and inhibitor of the Sustainable Development Goals'. Sustainable Production and Consumption 43(2023): 422-434. 22 November. www.doi.org/10.1016/j.spc.2023.11.011

507 Nagaraja, G. et al. (2024) 'The impact of robotics and drones on agricultural efficiency and productivity'. International Journal of Research in Agronomy SP-7(9): 1001-1009. 14 August. www.doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i9Sn.1650

508 Nagaraja, G. et al. (2024) 'The impact of robotics and drones on agricultural efficiency and productivity'. International Journal of Research in Agronomy SP-7(9): 1001-1009. 14 August. www.doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i9Sn.1650

509 Nagaraja, G. et al. (2024) 'The impact of robotics and drones on agricultural efficiency and productivity'. International Journal of Research in Agronomy SP-7(9): 1001-1009. 14 August. www.doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i9Sn.1650

510 Francis, G. (2025) '6 ways that robotics are transforming healthcare'. World Economic Forum. 12 June. www.weforum.org/stories/2025/06/robots-medical-industry-healthcare/

511 Francis, G. (2025) '6 ways that robotics are transforming healthcare'. World Economic Forum. 12 June. www.weforum.org/stories/2025/06/robots-medical-industry-healthcare/

512 Benmelech, E. and Zator, M. (2025) 'Robots and firm investment'. Journal of Financial Economics 174 (2025). 11 October. www.doi.org/10.1016/j.jfineco.2025.104183

513 Haidegger, T. et al. (2023) 'Robotics: Enabler and inhibitor of the Sustainable Development Goals'. Sustainable Production and Consumption 43(2023): 422434-. 22 November. www.doi.org/10.1016/j.spc.2023.11.011

514 Sung, S. (2024) 'Debunking the top five sustainable investing myths'. J.P. Morgan Private Bank. 4 December. https://privatebank.jpmorgan.com/nam/en/services/portfolio-management/sustainable-investing/debunking-the-top-five-sustainable-investing-myths

515 Shabana, S. et al. (2025) 'Sustainability and Robotics: A Multidisciplinary Perspective'. Women in AI and Sustainability: 47-78. 25 November. www.doi.org/10.1007/978-3-031-95890-8_3

516 Shabana, S. et al. (2025) 'Sustainability and Robotics: A Multidisciplinary Perspective'. Women in AI and Sustainability: 47-78. 25 November. www.doi.org/10.1007/978-3-031-95890-8_3

517 United Nations (n.d.). 'Global Issues: Population'. www.un.org/en/global-issues/population. (retrieved 04 February 2026)

518 Koutsogeorgopoulou, V. and Morgavi, H. (2025). 'The fiscal impact of population ageing: How can we afford getting older?'. Organisation for Economic Co-operation and Development. 7 November. www.oecdecoscope.blog/202507/11//the-fiscal-impact-of-population-ageing-how-can-we-afford-getting-older/.

519 Koutsogeorgopoulou, V. and Morgavi, H. (2025). 'The fiscal impact of population ageing: How can we afford getting older?'. Organisation for Economic Co-operation and Development. 7 November. www.oecdecoscope.blog/202507/11//the-fiscal-impact-of-population-ageing-how-can-we-afford-getting-older/.

520 Population Reference Bureau (2018). '2018 World Population Data Sheet With Focus on Changing Age Structures'. https://www.prb.org/resources/2018-world-population-data-sheet-with-focus-on-changing-age-structures/ . (retrieved 04 February 2026).

521 Park, A. (2026). 'The New Old Age'. TIME. 13 January. www.time.com/collections/the-age-of-longevity/7338545/the-new-old-age/

522 Banga, A. (2025). 'Remarks by World Bank Group President Ajay Banga at the 2025 Annual Meetings Plenary'. World Bank Group. 17 October www.worldbank.org/en/news/speech/202517/10//remarks-by-world-bank-group-president-ajay-banga-at-the-2025-annual-meetings-plenary.

523 Smith, N., Van der Werf, M., Adelson, M. and Strohl, J. (2025). 'Falling Behind: How Skills Shortages Threaten Future Jobs'. Georgetown University Center on Education and the Workforce https://cew.georgetown.edu/cew-reports/skills-shortages (retrieved 05 February 2026).

524 Smith, N., Van der Werf, M., Adelson, M. and Strohl, J. (2025). 'Falling Behind: How Skills Shortages Threaten Future Jobs'. Georgetown University Center on Education and the Workforce https://cew.georgetown.edu/cew-reports/skills-shortages (retrieved 05 February 2026).

525 Smith, N., Van der Werf, M., Adelson, M. and Strohl, J. (2025). 'Falling Behind: How Skills Shortages Threaten Future Jobs'. Georgetown University Center on Education and the Workforce https://cew.georgetown.edu/cew-reports/skills-shortages (retrieved 05 February 2026).

526 Edmondson, A. and Chamorro-Premuzic, T. (2025) 'The perils of using AI to replace entry-level jobs'. HBR.org. 11 December. https://hbsp.harvard.edu/inspiring-minds/ai-impact-entry-level-jobs

527 Smith, N., Van der Werf, M., Adelson, M. and Strohl, J. (2025). 'Falling Behind: How Skills Shortages Threaten Future Jobs'. Georgetown University Center on Education and the Workforce https://cew.georgetown.edu/cew-reports/skills-shortages (retrieved 05 February 2026).

528 World Economic Forum (2026). ‘The future of jobs: 6 decision-makers on AI and talent strategies’. 16 January. www.weforum.org/stories/202601//how-ai-will-affect-work-in-different-industries

529 World Economic Forum (2025). ‘Global Economic Futures: Productivity in 2030’. January. www.weforum.org/publications/global-economic-futures-productivity-in-2030/

530 World Economic Forum (2025). ‘Global Economic Futures: Productivity in 2030’. January. www.weforum.org/publications/global-economic-futures-productivity-in-2030/

531 World Economic Forum (2025). ‘Global Economic Futures: Productivity in 2030’. January. www.weforum.org/publications/global-economic-futures-productivity-in-2030/

532 Stanford University Human-Centred Artificial Intelligence (2026) ‘Artificial Intelligence Index Report 2026’. https://hai.stanford.edu/ai-index/2026-ai-index-report (retrieved 05 February 2026).

533 Microsoft AI Economy (2026) ‘Global AI Adoption in 2025—A Widening Digital Divide’. January. www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/topics/ai-economy-institute/reports/global-ai-adoption-2025/

534 Microsoft AI Economy (2026) ‘Global AI Adoption in 2025—A Widening Digital Divide’. January. www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/topics/ai-economy-institute/reports/global-ai-adoption-2025/

535 European Commission (2020) ‘Youth bulges in some regions’. 11 December. https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/increasing-demographic-imbalances/youth_en

536 Whitworth, M., Cangueiro, M.M., Fernández, M. and Kesh, S. (2024) ‘Artificial Intelligence and Quantum Computing: The Fundamentals’. 10 September. www.spglobal.com/en/research-insights/special-reports/artificial-intelligence-and-quantum-computing-the-fundamentals

537 Ide, E. and Talamàs, E. (2025) ‘Artificial Intelligence in the Knowledge Economy’. Journal of Political Economy 133(12):3762 – 3800. December. www.doi.org/10.1086737233/

538 IESE Business School, University of Navarra (2024) ‘How to understand AI’s potential impact on knowledge jobs’. 21 November. www.iese.edu/insight/articles/artificial-intelligence-ai-impact-knowledge-jobs/

539 IESE Business School, University of Navarra (2024) ‘How to understand AI’s potential impact on knowledge jobs’. 21 November. www.iese.edu/insight/articles/artificial-intelligence-ai-impact-knowledge-jobs/

540 World Economic Forum (2026) ‘Four Futures for Jobs in the New Economy: AI and Talent in 2030’. January. www.weforum.org/publications/four-futures-for-jobs-in-the-new-economy-ai-and-talent-in-2030/

541 Siu, E. (2025) ‘‘The knowledge economy is on the way out.’ These are the skills workers will need in the age of AI, says LinkedIn’. CNBC. 26 February. www.cnbc.com/202526/02//the-skill-humans-can-leverage-as-ai-disrupts-workforces-globally.html

542 Sampanthar, K. and Vitanova, B. (2023) ‘How to leverage your skills in the post-knowledge AI economy’. World Economic Forum. 18 April. www.weforum.org/stories/202304//how-to-leverage-skills-in-post-knowledge-ai-economy/

543 Jakubik, M. and Müürsepp, P. (2022) "From knowledge to wisdom: will wisdom management replace knowledge management?". European Journal of Management and Business Economics 31(3): 367–389. www.doi.org/10.1108/EJMBE-07-2021-0219

544 Ide, E. and Talamàs, E. (2025) ‘Artificial Intelligence in the Knowledge Economy’. Journal of Political Economy 133(12):3762 – 3800. December. www.doi.org/10.1086737233/

545 Ide, E. and Talamàs, E. (2025) ‘Artificial Intelligence in the Knowledge Economy’. Journal of Political Economy 133(12):3762 – 3800. December. www.doi.org/10.1086737233/

546 Nilsson-Andersen, P. and Koch, P. (2025) ‘Understanding the new knowledge economy: How knowledge and technology accelerate growth and wealth creation’. 9 October. www.fpol.no/understanding-the-new-knowledge-economy-how-knowledge-and-technology-accelerate-growth-and-wealth-creation/

547 World Economic Forum (2025). ‘Global Gender Gap Report 2025’. June. www.weforum.org/publications/global-gender-gap-report-2025/

548 World Economic Forum (2025). ‘Global Gender Gap Report 2025’. June. www.weforum.org/publications/global-gender-gap-report-2025/

549 Madgavkar, A. et al. (2025) ‘Tough trade-offs: How time and career choices shape the gender pay gap’. 26 February. www.mckinsey.com/mgi/our-research/tough-trade-offs-how-time-and-career-choices-shape-the-gender-pay-gap

550 World Economic Forum (2025). ‘Global Gender Gap Report 2025’. June. www.weforum.org/publications/global-gender-gap-report-2025/

551 UN Women (2024) ‘Five things to accelerate women’s economic empowerment’. 23 February. www.unwomen.org/en/articles/explainer/five-things-to-accelerate-womens-economic-empowerment

552 Kaiser, C., Muggleton, N., Quispe-Torreblanca, E. and De Neve, J. (2025) 'Two paradoxes in women's well-being.' Science advances 11(10). www.doi.org/10.1126/sciadv.adt1646

553 Kaiser, C., Muggleton, N., Quispe-Torreblanca, E. and De Neve, J. (2025) 'Two paradoxes in women's well-being.' Science advances 11(10). www.doi.org/10.1126/sciadv.adt1646

554 World Economic Forum (2025). 'Global Gender Gap Report 2025'. June. www.weforum.org/publications/global-gender-gap-report-2025/

555 Global Entrepreneurship Monitor (2025). 'Global Entrepreneurship Monitor (GEM) 20242025/ Women's Entrepreneurship Report: Navigating Challenges, Driving Change.' www.gemconsortium.org/reports/womens-entrepreneurship (retrieved 06 February 2026).

556 Valladares, C. (2025) 'Advancing gender parity in entrepreneurship: strategies for a more equitable future'. World Economic Forum. 20 January. www.weforum.org/stories/202501//advancing-gender-parity-in-entrepreneurship-strategies-for-a-more-equitable-future/

557 World Benchmarking Alliance (2024) 'The Methodology for the 2026 Gender Benchmark'. 23 October. https://archive.worldbenchmarkingalliance.org/research/the-methodology-for-the-2026-gender-benchmark/

558 Payne, C.S. and Zwijnenburg, J. (n.d.) 'Unpaid Household Service work in the 2025 SNA'. https://unstats.un.org/unsd/demographic-social/meetings/2024/tus-egm-20240130/Session6-a-IAWGNA-Jorrit-Zwijnenburg-Chris-Payne.pdf (retrieved 06 February 2026)

559 UN Women (2024) 'Five things to accelerate women's economic empowerment'. 23 February. www.unwomen.org/en/articles/explainer/five-things-to-accelerate-womens-economic-empowerment

560 UN Women (2024) 'Five things to accelerate women's economic empowerment'. 23 February. www.unwomen.org/en/articles/explainer/five-things-to-accelerate-womens-economic-empowerment

561 World Economic Forum (2026) 'The Global Gender Parity Sprint to 2030: How we are scaling parity and opportunity for 1.5 million women'. 20 January. www.weforum.org/impact/global-gender-parity-sprint-to-2030-scaling-parity-and-opportunity-for-women/

562 World Economic Forum (2026) 'The Global Gender Parity Sprint to 2030: How we are scaling parity and opportunity for 1.5 million women'. 20 January. www.weforum.org/impact/global-gender-parity-sprint-to-2030-scaling-parity-and-opportunity-for-women/.

563 International Labour Organization (2025) 'One in four jobs at risk of being transformed by GenAI, new ILO–NASK Global Index shows'. 20 May. www.ilo.org/resource/news/one-four-jobs-risk-being-transformed-genai-new-ilo–nask-global-index-shows

564 United Nations Department of Economic and Social Affairs (n.d.) 'Goal 5: Achieve gender equality and empower all women and girls'. https://sdgs.un.org/goals/goal5#overview (retrieved 06 February 2026)

565 United Nations Department of Economic and Social Affairs (n.d.) 'Gender Equality'. https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/Goal-05/ (retrieved 06 February 2026)

566 National Center for Science and Engineering Statistics (2025) 'Open-Access Publishing in a Global Context'. 06 August. www.ncses.nsf.gov/pubs/nsf25347

567 National Center for Science and Engineering Statistics (2025) 'Open-Access Publishing in a Global Context'. 06 August. www.ncses.nsf.gov/pubs/nsf25347

568 National Center for Science and Engineering Statistics (2025) 'Open-Access Publishing in a Global Context'. 06 August. www.ncses.nsf.gov/pubs/nsf25347

569 National Center for Science and Engineering Statistics (2025) 'Open-Access Publishing in a Global Context'. 06 August. www.ncses.nsf.gov/pubs/nsf25347

570 Plan S (n.d.) 'What is cOAlition S?'. www.coalition-s.org/about/ (retrieved 06 February 2026)

571 Executive Office of the President of the United States (2022) 'Ensuring Free, Immediate, and Equitable Access to Federally Funded Research'. 25 August. https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/20222022-08/08/-OSTP-Public-Access-Memo.pdf

572 McKenna, J. (2026). 'Open Access Policies and Mandates Around the World'. MDPI Blog. 27 January. https://blog.mdpi.com/202424/12//open-access-policies/

573 Frank, J., Foster, R., and Pagliari, C. (2023) 'Open access publishing – noble intention, flawed reality'. Social Science and Medicine 317. www.doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.115592 (retrieved 06 February 2026)

574 Montgomery, L., Bell, E.C., and Huang, K. (2025) 'Academic publishing is a multibillion-dollar industry. It's not always good for science'. The Conversation 24 March. www.theconversation.com/academic-publishing-is-a-multibillion-dollar-industry-its-not-always-good-for-science-250056

575 Bourguet, D. and Guillemaud, T. (2024) 'Peer-reviewed preprints and the Publish-Review-Curate model'. Plan S. 28 October. www.coalition-s.org/blog/peer-reviewed-preprints-and-the-publish-review-curate-model/

576 Frank, J., Foster, R., and Pagliari, C. (2023) 'Open access publishing – noble intention, flawed reality'. Social Science and Medicine 317. www.doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.115592 (retrieved 06 February 2026)

577 Frank, J., Foster, R., and Pagliari, C. (2023) 'Open access publishing – noble intention, flawed reality'. Social Science and Medicine 317. www.doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.115592 (retrieved 06 February 2026)

578 Nature (n.d.). 'Publishing options'. www.nature.com/nature/for-authors/publishing-options (retrieved 06 February 2026)

579 Frank, J., Foster, R., and Pagliari, C. (2023) 'Open access publishing – noble intention, flawed reality'. Social Science and Medicine 317. www.doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.115592 (retrieved 06 February 2026)

580 Jung, Y. and Ahn, S.R. (2025) 'Publish-Review-Curate Modelling for Data Paper and Dataset: A Collaborative Approach'. Learned Publishing 38(4) 16 September. www.doi.org/10.1002/leap.2024

581 Stern, B.M. and O'Shea, E.K. (2019) 'A proposal for the future of scientific publishing in the life sciences'. PLOS Biology 17(2). 12 February. www.doi.org/10.1371/journal.pbio.3000116

582 Bourguet, D. and Guillemaud, T. (2024) 'Peer-reviewed preprints and the Publish-Review-Curate model'. Plan S. 28 October. www.coalition-s.org/blog/peer-reviewed-preprints-and-the-publish-review-curate-model/

583 Skala, K. et al. (2024) 'Prospects of digital scientific publishing on blockchain: The concept of DAP.' Open research Europe 3(117). 27 November. www.doi.org/10.12688/openreseurope.15771.2.

584 Benet, J. (n.d.) 'The DeSci Movement'. DeSci Foundation. www.descifoundation.org/future-of-science-contents/the-desci-movement (retrieved 06 February 2026)

585 Emirates News Agency (2026) 'OPENSCI launches at World Laureates Summit to redesign science funding, rewards'. 4 February. www.wam.ae/en/article/1722302-opensci-launches-world-laureates-summit-redesign

586 Saad, W. (2025) 'Researchers have a responsibility to publish'. Times Higher Education. 14 January. www.timeshighereducation.com/campus/researchers-have-responsibility-publish.

587 Oparinde, K. et al. (2024) 'Key developments in global scholarly publishing: Negotiating a double-edged sword'. Learned Publishing 37(3). 08 April. www.doi.org/10.1002/leap.1604

588 Rimmer, N. (2025). 'Grant funders are monitoring IP and open access compliance – tips and pitfalls'. Farrer & Co. 24 June. www.farrer.co.uk/news-and-insights/grant-funders-are-monitoring-ip-and-open-access-compliance--tips-and-pitfalls/

589 Frontiers (2025) 'Getting to know AIRA: our digital teammate and detective'. 16 September. www.frontiersin.org/news/202516/09//getting-to-know-aira-our-digital-teammate-and-detective

590 UNESCO (2025) 'Record number of higher education students highlights global need for recognition of qualifications'. 24 June. www.unesco.org/en/articles/record-number-higher-education-students-highlights-global-need-recognition-qualifications

591 World Economic Forum (2025) 'Future of jobs report 2025'. January. www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

592 Richardson, I. (2025) 'I was wrong. Universities don't fear AI. They fear self-reflection'. Times Higher Education. https://www.timeshighereducation.com/opinion/i-was-wrong-universities-dont-fear-ai-they-fear-self-reflection

593 Clark, C., Cluver, M., Fishman, T. and Kunkel, D. (2025) '2025 Higher Education Trends'. Deloitte. www.deloitte.com/us/en/insights/industry/articles-on-higher-education/2025-us-higher-education-trends.html

594 Wit, H.de., Altbach, P.G. and Glass, C.R. (2025) 'Global Higher Education Transformation: The 2025 International Crisis'. International Higher Education. https://doi.org/10.6017895/b9e0d.789fabbc

595 UNESCO (2025) 'Record number of higher education students highlights global need for recognition of qualifications'. https://www.unesco.org/en/articles/record-number-higher-education-students-highlights-global-need-recognition-qualifications

596 UNESCO (2025) 'Record number of higher education students highlights global need for recognition of qualifications'. https://www.unesco.org/en/articles/record-number-higher-education-students-highlights-global-need-recognition-qualifications

597 Wit, H.de., Altbach, P.G. and Glass, C.R. (2025) 'Global Higher Education Transformation: The 2025 International Crisis'. International Higher Education. https://doi.org/10.6017895/b9e0d.789fabbc

598 Garisto, D. (2025) 'The great university shake-up: four charts show how global higher education is changing'. Nature, 645(8082), 836-839. https://doi.org/10.1038/d41586-025-03028-1599 Universities UK. (2025) 'Transformation and efficiency taskforce: Towards a new era of collaboration'.

599 Parr, C. (2025) 'Financial crisis worsens as 45 per cent of English universities face deficit. Research Professional News'. 20 November. www.researchprofessionalnews.com/rr-news-uk-universities-2025-11-financial-crisis-worsens-as-45-of-english-universities-face-deficit/ (retrieved 11 July 2026)

600 Universities UK. (2024). 'Opportunity, growth and partnership: A blueprint for change from the UK's universities'. https://www.universitiesuk.ac.uk/what-we-do/policy-and-research/publications/opportunity-growth-and-partnership

601 Pedró, F. (2023) 'The transformation of higher education'. UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles/transformation-higher-education

602 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2025). World fertility 2024 (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 11). www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2025_world-fertility-2024.pdf

603 UNESCO (2025) 'Record number of higher education students highlights global need for recognition of qualifications'. https://ihe.bc.edu/pub/o4qxx5y0/release/1

604 Al-Zahrani, A.M. and Alasmari, T.M. (2024) 'Exploring the impact of artificial intelligence on higher education: The dynamics of ethical, social, and educational implications'. Humanities and Social Sciences Communications, 11(1), 912. https://doi.org/10.1057/s415994-03432-024-

605 Al-Zahrani, A.M. and Alasmari, T.M. (2024) 'Exploring the impact of artificial intelligence on higher education: The dynamics of ethical, social, and educational implications'. Humanities and Social Sciences Communications, 11(1), 912. https://doi.org/10.1057/s415994-03432-024-

606 Grayling, S. and Leopold, T. (2025) 'Jobs of tomorrow: Technology and the future of the world's largest workforces'. World Economic Forum. www.weforum.org/publications/jobs-of-tomorrow-technology-and-the-future-of-the-world-s-largest-workforces/

607 Grayling, S. and Leopold, T. (2025) 'Jobs of tomorrow: Technology and the future of the world's largest workforces'. World Economic Forum. www.weforum.org/publications/jobs-of-tomorrow-technology-and-the-future-of-the-world-s-largest-workforces/

608 Galli, G. (2025) 'Know thyself to know the truth: Fighting disinformation in the age of artificial intelligence through foundational, psychological and emotional literacy'. *European View*, 24(2):224237-. www.doi.org/10.11771718168582513909 21/

609 American Psychological Association (2023) 'Speaking of psychology: Why our attention spans are shrinking, with Gloria Mark, PhD'. February. www.apa.org/news/podcasts/speaking-of-psychology/attention-spans

610 Brodsky, S. (2026) 'When AI starts to feel like someone'. International Business Machines (IBM). 2 February. www.ibm.com/think/news/love-machines-when-ai-starts-to-feel-like-someone

611 Louis-Dreyfus, M. (2025) 'Is our obsession with innovation causing a humanity deficit?'. World Economic Forum. 22 August. www.weforum.org/stories/202508//obsession-innovation-humanity-deficit/

612 Shahrzadi, L., Mansouri, A., Alavi, M. and Shabani, A. (2024) 'Causes, consequences, and strategies to deal with information overload: A scoping review'. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4. 21 June. www.doi.org/10.1016/j.jjimei.2024.100261

613 Gerlich, M. (2025) 'AI tools in society: Impacts on cognitive offloading and the future of critical thinking'. *Societies*, 15(1). 3 January. www.doi.org/10.3390/soc15010006

614 Wingate, D., Burns, B. and Barney, J. (2025) 'Why AI will not provide sustainable competitive advantage'. Massachusetts Institute of Technology (MIT). 8 May. www.sloanreview.mit.edu/article/why-ai-will-not-provide-sustainable-competitive-advantage/

615 Stiglitz, J., Fitoussi, J.P. and Durand, M. (2018) 'Beyond GDP: Measuring what counts for economic and social performance'. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). www.doi.org/10.17879789264307292/-en

616 Meyer, G. (2025) 'Cartography between worlds - The 2025 update to the system of national accounts re-opens debates on key economic measures'. London School of Economics and Political Science (LSE). 26 August. https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/202526/08//cartography-between-worlds-the-2025-update-to-the-system-of-national-accounts-re-opens-debates-on-key-economic-measures/

617 Taylor, M. (2026) 'Global economy must move past GDP to avoid planetary disaster, warns UN chief'. United Nations. 9 February. www.theguardian.com/environment/2026/feb/09/global-economy-transformed-humanity-future-un-chief-antonio-guterres

618 Meyer, G. (2025) 'Cartography between worlds - The 2025 update to the system of national accounts re-opens debates on key economic measures'. London School of Economics and Political Science (LSE). 26 August. https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/202526/08//cartography-between-worlds-the-2025-update-to-the-system-of-national-accounts-re-opens-debates-on-key-economic-measures/

619 Atiq, H. and Bizikova, L. (2026) 'Beyond GDP: Redesigning inclusive economic systems that work for all'. International Institute for Sustainable Development (IISD). 21 January. https://sdg.iisd.org/news/beyond-gdp-redesigning-inclusive-economic-systems-that-work-for-all/

620 United Nations High-level Expert Group on Beyond GDP (2026) 'Counting what counts: A compass of progress for people and planet'. United Nations. www.un.org/sites/un2.un.org/files/high-level_expert_group_on_beyond_gdp_final_report.pdf

621 Gourdine, C., Hamzany, J., House, N. and Morrison, W. (2025) 'Social capital as a Commons: Towards a new framework for leadership and governance'. *Journal of Behavioral and Applied Management*, 25(1):1321-. https://jbam.scholasticahq.com/article/133761-social-capital-as-a-commons-towards-a-new-framework-for-leadership-and-governance

622 Hanushek, E. and Woessmann, L. (2008) 'The role of cognitive skills in economic development'. *Journal of Economic Literature*, 46(3): 607668-. September. https://hanushek.stanford.edu/sites/default/files/publications/Hanushek%2BWoessmann%202008%20JEL%2046%283%29.pdf

623 He, Y. (2026) 'Beyond GDP: national intelligence quotient as a catalyst for sustainable socioeconomic welfare'. *Humanities and Social Sciences Communications*, 13. www.nature.com/articles/s4159906479-025--z

624 World Bank Group (n.d.) 'GDP (current US$) - Japan'. https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?end=2008&locations=JP&most_recent_value_desc=true&start=1960 (retrieved 19 February 2026)

625 World Bank Group (n.d.) 'GDP (current US$) - Japan'. https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=JP&most_recent_value_desc=true (retrieved 13 February 2026)

626 Nasa (2001) 'Power to the People'. https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/power-to-the-people/ (retrieved 20 February 2026)

617 GreenMatch (2025) 'Is space-based solar power our future? (October 2025)'. 14 October. www.greenmatch.co.uk/blog/202002//space-based-solar-power

628 International Energy Agency (2025) 'Access to electricity stagnates, leaving globally 730 million in the dark'. 9 October. www.iea.org/commentaries/access-to-electricity-stagnates-leaving-globally-730-million-in-the-dark?utm_campaign=IEA+newsletters&utm_medium=Email&utm_source=SendGrid (retrieved 20 February 2026)

629 International Energy Agency (2021) 'Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector'. October. www.iea.org/reports/net-zero-by-2050

630 Ali, A. et al. (2025) 'Advancements in photovoltaic technology: A comprehensive review of recent advances and future prospects'. Energy Conversion and Management: X, 26. 3 March. www.doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100952

631 Abdelilah, Y. et al. (2022) 'Special report on solar PV global supply chains'. International Energy Agency. August. www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains

632 Davidson, M., and Qian, S. (2026) 'China's solar industry is in upheaval—The effects will be global (CSIS Briefs)'. Center for Strategic and International Studies. 12 march. www.csis.org/analysis/chinas-solar-industry-upheaval-effects-will-be-global

633 Perkins, R. (2023) 'In a first, Caltech's space solar power demonstrator wirelessly transmits power in space'. Caltech. 1 June. www.caltech.edu/about/news/in-a-first-caltechs-space-solar-power-demonstrator-wirelessly-transmits-power-in-space

634 Perkins, R. (2024) 'Space solar power project ends first in-space mission with successes and lessons'. Caltech. 16 January. www.caltech.edu/about/news/space-solar-power-project-ends-first-in-space-mission-with-successes-and-lessons

635 Jones, H. (2018) 'The recent large reduction in space launch cost'. 48th International Conference on Environmental Systems. July. http://hdl.handle.net/234674082/

636 Henderson, D. (2020) 'The future of space is (or should be) private'. The Library of Economics and Liberty. 5 September, www.econlib.org/the-future-of-space-is-or-should-be-private/#:~:text=The%20private%20launch%20provider%20has,as%20five%20to%20ten%20years

637 McKinsey & Company (2025) 'Global energy perspective 2025'. October. www.mckinsey.com/industries/energy-and-materials/our-insights/global-energy-perspective#/

638 McKinsey & Company (2024) 'Space: The $1.8 trillion opportunity for global economic growth'. 8 April. www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-the-1-point-8-trillion-dollar-opportunity-for-global-economic-growth (retrieved 20 February 2026)

639 Nasa Marshall Space Flight Center (2019) 'In-space manufacturing (ISM)'. National Aeronautics and Space Administration (NASA). https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190033503/downloads/20190033503.pdf .

640 Rodgers, E. et al. (2024) 'Space based solar power'. National Aeronautics and Space Administration (NASA) Office of Technology, Policy, and Strategy. 11 January. https://ntrs.nasa.gov/citations/20230018600

641 Rodgers, E. et al. (2024) 'Space based solar power'. National Aeronautics and Space Administration (NASA) Office of Technology, Policy, and Strategy. 11 January. https://ntrs.nasa.gov/citations/20230018600

642 Abdisattar, A. et al. (2022) 'Recent advances and challenges of current collectors for supercapacitors'. *Electrochemistry Communications*, 142. 27 September. www.doi.org/10.1016/j.elecom.2022.107373

643 Dissanayake, K. and Kularatna-Abeywardana, D. (2024) 'A review of supercapacitors: Materials, technology, challenges, and renewable energy applications'. *Journal of Energy Storage*, 96. 27 July. www.doi.org/10.1016/j.est.2024.112563

644 Astute Analytica. (2026) 'Supercapacitors market set to reach US$ 55.51 billion by 2035 as EV adoption, hybridization, data centers, and micro-scale energy storage accelerate demand says Astute Analytica'. GlobeNewswire. 5 January. www.globenewswire.com/news-release/20260/3212767/05/01//en/Supercapacitors-Market-Set-to-Reach-US-5551--Billion-by-2035-as-EV-Adoption-Hybridization-Data-Centers-and-Micro-Scale-Energy-Storage-Accelerate-Demand-Says-Astute-Analytica.html

645 Dissanayake, K. and Kularatna-Abeywardana, D. (2024) 'A review of supercapacitors: Materials, technology, challenges, and renewable energy applications'. *Journal of Energy Storage*, 96. 27 July. www.doi.org/10.1016/j.est.2024.112563

646 European Space Agency (2020) 'Supercapacitors ready to deliver maximum power to space'. 27 November. www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Supercapacitors_ready_to_deliver_maximum_power_to_space

647 Dissanayake, K. and Kularatna-Abeywardana, D. (2024) 'A review of supercapacitors: Materials, technology, challenges, and renewable energy applications'. *Journal of Energy Storage*, 96. 27 July. www.doi.org/10.1016/j.est.2024.112563

648 Huijue Group (n.d.) 'Premier producer of solar energy storage solutions & site-specific products, excelling in quality & efficiency.'. www.bessinc.org/products/ (retrieved 3 February 2026)

649 National Aeronautics and Space Administration (NASA) (n.d.) 'Structural supercapacitors for energy storage in airframe components'. https://techport.nasa.gov/projects/125782 (retrieved 3 February 2026)

650 Dubai Health Authority (n.d.) 'Benefits of vitamins and minerals'. www.dha.gov.ae/uploads/022022/Benefits%20of%20vitamins%20and%20minerals_En202226733.pdf (retrieved 3 February 2026)

651 Sizar, O., Khare, S., Goyal, A. and Givler, A. (n.d.) 'Vitamin D deficiency'. www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532266/ (retrieved 3 February 2026)

652 The Times of India (2022) 'Half of Indian women anaemic, three-fourths short on Vitamin D, says survey'. 8 March. www.timesofindia.indiatimes.com/city/mumbai/half-of-indian-women-anaemic-34/-short-on-vitamin-d-survey/articleshow/90063511.cms

653 World Health Organization (n.d.) 'Micronutrients'. www.who.int/health-topics/micronutrients#tab=tab_2 (retrieved 3 February 2026)

654 World Health Organization (n.d.) 'Micronutrients'. www.who.int/health-topics/micronutrients#tab=tab_2 (retrieved 3 February 2026)

655 International Energy Agency (n.d.) '655 million people still living without electricity underscore urgent need to deliver on universal energy access target'. IEA. www.iea.org/news/655-million-people-still-living-without-electricity-underscore-urgent-need-to-deliver-on-universal-energy-access-target (retrieved 11 July 2026)

656 Rather, H. and Dar, M. (2024) 'Smart textiles with integrated biosensors for real-time health monitoring'. *Biosensors and Nanotheranostics*, 3(1): 19-. 13 February. www.doi.org/10.25163/biosensors.317337

657 Massella, D. et al. (2019) 'Bio-functional textiles: Combining pharmaceutical nanocarriers with fibrous materials for innovative dermatological therapies'. *Pharmaceutics*, 11(8). 11 August. www.doi.org/10.3390/pharmaceutics11080403

658 Massella, D. et al. (2019) 'Bio-functional textiles: Combining pharmaceutical nanocarriers with fibrous materials for innovative dermatological therapies'. *Pharmaceutics*, 11(8). 11 August. www.doi.org/10.3390/pharmaceutics11080403

659 Advanced Textiles Association (2024) 'Clothes infused with vitamins, medicine'. 1 July. https://specialtyfabricsreview.com/202401/07//clothes-infused-with-vitamins-medicine (retrieved 20 February 2026)

660 Vidal, J. (2023) 'Fevered Planet: How a shifting climate is catalysing infectious disease'. British Broadcasting Corporation, 2 December. www.bbc.com/future/article/20231201-fevered-planet-how-climate-change-spreads-infectious-disease

661 Vidal, J. (2023) 'Fevered Planet: How a shifting climate is catalysing infectious disease'. British Broadcasting Corporation, 2 December. www.bbc.com/future/article/20231201-fevered-planet-how-climate-change-spreads-infectious-disease

662 Vuurst, P.V. and Escobar, L.E. (2023) 'Climate change and infectious disease: a review of evidence and research trends'. *Infectious Diseases of Poverty*, 12(1), 51. 16 May. www.doi.org/10.1186/s402492-01102-023-

663 World Health Organization (2023) 'Climate change'. 12 October. www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health

664 Francesch, A.M. et al. (2024) 'Pharmaceuticals from marine sources: past, present and future'. *The Pharmaceutical Journal*, 313(7987). 30 July. https://pharmaceutical-journal.com/article/research/pharmaceuticals-from-marine-sources-past-present-and-future

665 Prism Sustainability Directory (2025) 'Marine-Derived Pharmaceuticals'. 4 October. https://prism.sustainability-directory.com/term/marine-derived-pharmaceuticals/

666 Newman, D.J. and Cragg, G.M. (2014) 'Marine-sourced anti-cancer and cancer pain control agents in clinical and late preclinical development'. *Marine Drugs*, 12(1), 255278-. 14 January. www.doi.org/10.3390/md12010255

667 India Pharma Outlook (2024) 'Marine Pharma Market Fueled by Biotech Funding and Natural Medicine Demand'. 4 December. www.indiapharmaoutlook.com/news/marine-pharma-market-fueled-by-biotech-funding-and-natural-medicine-demand-nwid-2876.html

668 Precedence Research (2023) 'Marine Biotechnology Industry Growing at a Remarkable CAGR of 7.09%'. 4 May. www.precedenceresearch.com/press-release/marine-biotechnology-market

669 Hall, D. (2012) 'The Deep Sea'. July. Smithsonian National Museum of Natural History. https://ocean.si.edu/ecosystems/deep-sea/deep-sea (retrieved 20 February 2026).

670 Government of India (2025) 'Deep ocean mission: India's gateway to the ocean floor'. 17 August. www.pib.gov.in/PressNoteDetails.aspx?id=155043&NoteId=155043&ModuleId=3&reg=3&lang=1

671 Mishra, V. (2025) 'UN 'high seas' treaty clears ratification threshold, to enter into force in January'. United Nations. 20 September. https://news.un.org/en/story/20251165901/09/

672 UN Water (2026) 'UN World Water Development Report 2026'. www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2026

673 World Health Organization (2023) 'Drinking-water'. 13 September. www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

674 Fortune Business Insights (2025) 'Water Purifier Market Size, Share & Industry Analysis, By Product Type (Point-of-use Filters {Under the Counter Filters, Counter Top Filters, Pitcher Filters, Faucet-mounted Filters, and Others} and Point-of-entry Filters), By Category (RO Filters, UV Filters, Gravity Filters, and Others), By Application (Residential and Light Commercial), and Regional Forecast, 20262034-' February. www.fortunebusinessinsights.com/water-purifier-market-103118

675 World Bank Group (2023) 'Water Supply and Sanitation Global Solutions Group'. 25 July. www.worldbank.org/en/news/infographic/202325/07//water-supply-and-sanitation-global-solutions-group

676 Hill, C.L. et al. (2020) 'Impact of Low-Cost Point-of-Use Water Treatment Technologies on Enteric Infections and Growth among Children in Limpopo, South Africa'. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 103(4), 14051415-. 24 August. www.doi.org/10.4269/ajtmh.200228-

677 Piaskowski, K., Świderska-Dąbrowska, R. and Dąbrowski, T. (2025) 'Carbon-Based Nanomaterials in Water and Wastewater Treatment Processes'. *Sustainability*, 17(16), 7414. 16 August. www.doi.org/10.3390/su17167414

678 Piaskowski, K., Świderska-Dąbrowska, R. and Dąbrowski, T. (2025) 'Carbon-Based Nanomaterials in Water and Wastewater Treatment Processes'. *Sustainability*, 17(16), 7414. 16 August. www.doi.org/10.3390/su17167414

679 Tiwary, S.K. et al. (2024) 'Graphene oxide-based membranes for water desalination and purification'. University of Houston. *Npj-2D Materials and Applications*, 8. 27 March. www.doi.org/10.1038/s4169900462-024--z

680 Le, V.T. et al. (2021) 'Graphene-based nanomaterial for desalination of water: A systematic review and meta-analysis'. Food Chem Toxicol. February. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33388405/

681 Khalil, A. et al. (2026) 'Graphene-based materials for water and wastewater treatment: A comprehensive review of advances in synthesis, emerging applications, and future directions'. Carbon Trends, 22.https://doi.org/10.1016/j.cartre.2026.100609

682 IEA (2025) 'World Energy Outlook 2025'. IEA. www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025

683 Jones, C. et al. (2024) 'The clock is ticking: Understanding the 'mixed feelings' about fusion energy in Europe'. *Energy Research & Social Science*, 113. 25 April. www.doi.org/10.1016/j.erss.2024.103538

684 International Energy Agency (n.d.) '655 million people still living without electricity underscore urgent need to deliver on universal energy access target. IEA. www.iea.org/news/655-million-people-still-living-without-electricity-underscore-urgent-need-to-deliver-on-universal-energy-access-target (retrieved 11 July 2026)

685 Stanford University (2025) 'Understand fusion'. 28 August. https://understand-energy.stanford.edu/news/understand-fusion (retrieved 20 February 2026)

686 ITER (n.d.) 'Fusion energy'. www.iter.org (retrieved 10 February 2026)

687 EUROfusion (n.d.) 'EUROfusion - realising fusion energy'. www.euro-fusion.org/eurofusion/ (retrieved 10 February 2026)

688 ITER (2025) 'EUROfusion and ITER plan closer ties in R&D, training'. 20 October. www.iter.org/node/20687/eurofusion-and-iter-plan-closer-ties-rd-training

689 UK Industrial Fusion Solutions, UK Atomic Energy Authority, and Department for Energy Security and Net Zero (2025) 'Fusion energy powers UK's industrial strategy'. 23 June. www.gov.uk/government/news/fusion-energy-powers-uks-industrial-strategy

690 Kline, J. (n.d.) 'Fusion energy sciences'. Los Alamos National Laboratory. www.lanl.gov/science-engineering/science-programs/office-of-science-programs/fusion-energy (retrieved 10 February 2026)

691 Liu, J. et al. (2026) 'Accessing the density-free regime with ECRH-assisted ohmic start-up on EAST'. Science Advances. www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adz3040

692 Fusion Industry Association (n.d.) 'Over $2.5 billion invested in fusion industry in past year'. www.fusionindustryassociation.org/over-25--billion-invested-in-fusion-industry-in-past-year/ (retrieved 10 February 2026)

693 Fusion Industry Association (n.d.) 'The future is fusion'. www.fusionindustryassociation.org (retrieved 10 February 2026)

694 Fusion Industry Association (2025) 'FIA launches position papers on EU public-private partnerships, regulations, and funding'. 3 July. www.fusionindustryassociation.org/fia-launches-position-papers-on-eu-public-private-partnerships-regulations-and-funding/.

695 Mumgaard, B. and Khosla, V. (2025) 'Is the world ready for the transformational power of fusion? '. World Economic Forum. 7 January. www.weforum.org/stories/202501//fusion-energy-future/

696 Mumgaard, B. and Khosla, V. (2025) 'Is the world ready for the transformational power of fusion? '. World Economic Forum. 7 January. www.weforum.org/stories/202501//fusion-energy-future/

697 Mumgaard, B. and Khosla, V. (2025) 'Is the world ready for the transformational power of fusion? '. World Economic Forum. 7 January. www.weforum.org/stories/202501//fusion-energy-future/

698 Tickner, J., Geiser, K. and Baima, S. (2021) 'Transitioning the chemical industry: The case for addressing the climate, toxics, and plastics crises'. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 63(6): 4-15. 15 November. www.doi.org/10.1080/00139157.2021.1979857

699 American Chemical Council (2023) '2023 Guide to the Business of Chemistry'. www.americanchemistry.com/chemistry-in-america/data-industry-statistics/resources/2023-guide-to-the-business-of-chemistry

700 Tickner, J., Geiser, K. and Baima, S. (2021) 'Transitioning the chemical industry: The case for addressing the climate, toxics, and plastics crises'. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 63(6): 415-. 15 November. www.doi.org/10.1080000139157.2021.1979/857

701 Tickner, J., Geiser, K. and Baima, S. (2021) 'Transitioning the chemical industry: The case for addressing the climate, toxics, and plastics crises'. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 63(6): 415-. 15 November. www.doi.org/10.1080000139157.2021.1979/857

702 Systems, Applications, and Products in Data Processing (SAP) (n.d.) 'Defining the essentials of the chemical industry'. https://learning.sap.com/courses/introducing-the-chemicals-industry/defining-the-essentials-of-the-chemical-industry (retrieved 10 February 2026)

703 Systems, Applications, and Products in Data Processing (SAP) (n.d.) 'Defining the essentials of the chemical industry'. https://learning.sap.com/courses/introducing-the-chemicals-industry/defining-the-essentials-of-the-chemical-industry (retrieved 10 February 2026)

704 Systems, Applications, and Products in Data Processing (SAP) (n.d.) 'Defining the essentials of the chemical industry'. https://learning.sap.com/courses/introducing-the-chemicals-industry/defining-the-essentials-of-the-chemical-industry (retrieved 10 February 2026)

705 Gómez, F. and Saimo, O. (2024) 'The chemical industry now - how is it transforming and why does it matter?'. World Economic Forum. 4 January. www.weforum.org/stories/202401//chemical-industry-transformation/

706 American Chemical Society Green Chemistry Institute (n.d.) 'Biobased chemicals'. www.acs.org/green-chemistry-sustainability/research-innovation/biobased-chemicals.html (retrieved 10 February 2026)

707 American Chemical Society Green Chemistry Institute (n.d.) 'Biobased chemicals'. www.acs.org/green-chemistry-sustainability/research-innovation/biobased-chemicals.html (retrieved 10 February 2026)

708 Spherical Insights (2025) 'World's top 20 companies in bio-based materials in 2025 watch list: Statistics report (2024–2035)'. July. www.sphericalinsights.com/blogs/world-s-top-20-companies-in-bio-based-materials-in-2025-watch-list-statistics-report-20242035-

709 Skoczinski, P. (2026) 'Bio-based building blocks and polymers - Global capacities, production and trends 2025 - 2030'. Nova-Institut GmBH. February. https://doi.org/10.52548/PILO4285

710 American Chemical Society Green Chemistry Institute (n.d.) 'Biobased chemicals'. www.acs.org/green-chemistry-sustainability/research-innovation/biobased-chemicals.html (retrieved 10 February 2026)

711 Dennison, M. et al. (2025) 'Biodegradable electronic materials for promoting sustainability in next-generation electronics - a comprehensive review'. *Discover Materials*, 5. 30 September. www.doi.org/10.1007/s4393900381-025--w

712 Wong, P. et al. (2024) 'Advances in microbial self-healing concrete: A critical review of mechanisms, developments, and future directions'. *Science of The Total Environment*, 947. 24 July. www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174553

713 Dennison, M. et al. (2025) 'Biodegradable electronic materials for promoting sustainability in next-generation electronics - a comprehensive review'. *Discover Materials*, 5. 30 September. www.doi.org/10.1007/s4393900381-025--w

714 S&P Global (2025) 'Bio-chemicals 2025: An evolving sustainability stream'. 17 September. www.spglobal.com/energy/en/news-research/special-reports/chemicals/bio-chemicals-2025

715 S&P Global (2025) 'Bio-chemicals 2025: An evolving sustainability stream'. 17 September. www.spglobal.com/energy/en/news-research/special-reports/chemicals/bio-chemicals-2025

716 S&P Global (2025) 'Bio-chemicals 2025: An evolving sustainability stream'. 17 September. www.spglobal.com/energy/en/news-research/special-reports/chemicals/bio-chemicals-2025

717 American Chemical Society Green Chemistry Institute (n.d.) 'Biobased chemicals'. www.acs.org/green-chemistry-sustainability/research-innovation/biobased-chemicals.html (retrieved 10 February 2026)

718 Spherical Insights (2025) 'World's top 20 companies in bio-based materials in 2025 watch list: Statistics report (2024–2035)'. July. www.sphericalinsights.com/blogs/world-s-top-20-companies-in-bio-based-materials-in-2025-watch-list-statistics-report-20242035-

719 Brogan, C. (2023) 'Prioritise tackling toxic emissions from tyres, urge Imperial experts'. Imperial College London. 23 February. www.imperial.ac.uk/news/243333/prioritise-tackling-toxic-emissions-from-tyres/

720 Michelin (2025) 'Michelin, uncontested leader in tire wear particle reduction: N ew recognition by the ADAC and its million members'. 7 March. www.michelin.com/en/publications/group/michelin-uncontested-leader-in-tire-wear-particle-reduction

721 Continental (2025) 'Continental uses vacuum technology to study tire wear particles'. 17 November. https://www.continental.com/en/press/press-releases/20251117-vacuum-technology-tire-wear/

722 Bridgestone (2025) 'Bridgestone develops cutting-edge tire and road wear particles collection method to understand environmental impact'. 7 March. www.bridgestone.com/corporate/news/2025030702.html

723 The Tyre Collective (2025) 'The Tyre Collective turns 5!'. 5 August. www.thetyrecollective.com/news/the-tyre-collective-turns-5

724 The Tyre Collective (2025) 'The Tyre Collective turns 5!'. 5 August. www.thetyrecollective.com/news/the-tyre-collective-turns-5

725 National Aeronautics and Space Administration (NASA) (n.d.) 'Startup NASA series: The SMART Tire Company'. https://technology.nasa.gov/virtual-event/startup-nasa-series-smart-tire-company (retrieved 10 February 2026)

726 The SMART Tire Company (n.d.) 'Since 1967, NASA has been developing groundbreaking tire technologies for driving on the moon, mars, and now...'. www.smarttirecompany.com (retrieved 11 February 2026)

727 Jessen, J. (2025) 'Michelin: The secret microplastics crisis inside tyres'. Sustainability Magazine. 17 November. www.sustainabilitymag.com/news/michelin-the-secret-microplastics-crisis-inside-tyres

728 Net Zero Insights (2025) 'Why materials discovery is key to the net zero transition'. 4 August. www.netzeroinsights.com/resources/materials-discovery/

729 North Carolina State University (2025) 'This AI-powered lab runs itself-and discovers new materials 10x faster'. ScienceDaily. 14 July. www.sciencedaily.com/releases/2025250714052105/07/.htm.

730 European Commission (2025) 'FULLy integrated, autonomous & chemistry agnostic Materials Acceleration Platform for sustainable batteries'. 3 April. www.cordis.europa.eu/project/id/101192848 (retrieved 11 February 2026)

731 Merchant, A. and Cubuk, E. (2023) 'Millions of new materials discovered with deep learning'. Google DeepMind. 29 November. www.deepmind.google/blog/millions-of-new-materials-discovered-with-deep-learning/.

732 Eisenstein, M. (2025) 'Self-driving laboratories, advanced immunotherapies and five more technologies to watch in 2025'. *Nature*, 637: 10081011-. 20 January. www.doi.org/10.1038/d415866-00075-025-

733 Tobias, A. and Wahab, A. (2025) 'Autonomous 'self-driving' laboratories: A review of technology and policy implications'. *Royal Society Open Science*, 12. www.doi.org/10.1098/rsos.250646

734 Tom, G. et al. (2024) 'Self-driving laboratories for chemistry and materials science'. *Chemical Reviews*, 124: 96339732-. 13 August. www.doi.org/10.1021/acs.chemrev.4c00055

735 Winn, Z. (2025) 'AI system learns from many types of scientific information and runs experiments to discover new materials'. Massachusetts Institute of Technology News Office. 25 September. https://news.mit.edu/2025/ai-system-learns-many-types-scientific-information-and-runs-experiments-discovering-new-materials-0925

736 Toyota (2024) 'Toyota Research Institute announces multimillion-dollar challenge to accelerate research in new advanced materials'. 18 April. www.pressroom.toyota.com/toyota-research-institute-announces-multimillion-dollar-challenge-to-accelerate-research-in-new-advanced-materials/

737 Ong, W. et al. (2025) 'Faster chemistry and materials discovery with AI-powered simulations using NVIDIA ALCHEMI'. NVIDIA Corporation. 18 November. www.developer.nvidia.com/blog/faster-chemistry-and-materials-discovery-with-ai-powered-simulations-using-nvidia-alchemi/

738 Microsoft Corporation (2025) 'AI meets materials discovery: The vision behind MatterGen and MatterSim'. 16 January. www.microsoft.com/en-us/research/story/ai-meets-materials-discovery/

739 Schrödinger (n.d.) 'Designing the next generation of materials starts at the molecular level'. www.schrodinger.com/materials-science/ (retrieved 11 February 2026)

740 Zhou, X. et al. (2025). 'Applications and Prospects of Muography in Strategic Deposits'. *Minerals,* 15(9), 945. 4 September. www.doi.org/10.3390/min15090945

741 Stierwalt, S. (2020). 'How Deep Is the Deepest Hole in the World?'. Scientific American. 22 February. www.scientificamerican.com/article/how-deep-is-the-deepest-hole-in-the-world/

742 Zhou, X. et al. (2025). 'Applications and Prospects of Muography in Strategic Deposits'. *Minerals,* 15(9), 945. 4 September. www.doi.org/10.3390/min15090945

743 Vlasov, A. (2023). 'Muon Imaging: How Cosmic Rays Help Us See Inside Pyramids and Volcanoes'. International Atomic Energy Agency. 14 April. www.iaea.org/newscenter/news/muon-imaging-how-cosmic-rays-help-us-see-inside-pyramids-and-volcanoes

744 Khaw, K. et al. (2025) 'Towards non-invasive sediment monitoring using muography: A pilot run at the Shanghai Outer Ring Tunnel'. Journal of Applied Physics, 138. https://doi.org/10.1063/5.0273686

745 Ideon (2025). 'Ideon Delivers High-Impact Exploration Targets for Fireweed Metals at Macmillan Pass'. 4 March. https://ideon.ai/post/202504/03//ideon-delivers-high-impact-exploration-targets-for-fireweed-metals-at-macmillan-pass/

746 Decision Sciences (2024). 'Decision Sciences International Corporation Announces Breakthrough, Passive Human Detection Capability for Discovery®'. 25 March. www.decisionsciences.com/decision-sciences-international-corporation-announces-breakthrough-passive-human-detection-capability-for-discovery/

747 Kaken (2025). 'Expanding Vision: From Cosmic-Ray Imaging to Accelerated Muon Imaging through Accelerator Innovation'. 20 June. https://kaken.nii.ac.jp/en/grant/KAKENHI-PLANNED-25H01295/

748 Lawrence, C. (2025). 'mu-ray.tech emerges from stealth and raises €325K to bring muon beam imaging to market'. Techeu. 4 November. https://tech.eu/2025/11/04/mu-raytech-emerges-from-stealth-and-raises-eur325k-to-bring-muon-beam-imaging-to-market/

749 International Business Machines (IBM) (2021). 'IBM Quantum delivers 120x speedup of quantum workloads with Qiskit Runtime'. 11 May. www.research.ibm.com/blog/120x-quantum-speedup

750 Soller, H. et al. (2025). 'The Year of Quantum: From concept to reality in 2025'. McKinsey & Company. 23 June. www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-year-of-quantum-from-concept-to-reality-in-2025

751 Soller, H. et al. (2025). 'The Year of Quantum: From concept to reality in 2025'. McKinsey & Company. 23 June. www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-year-of-quantum-from-concept-to-reality-in-2025

752 Rehman, M. U. (2025). 'First Successful Proof Of Quantum Teleportation Between Two Different Quantum Dots'. Quantum Insider. 4 December. www.thequantuminsider.com/2025/12/05/photon-teleportation-quantum-dots/

753 Liu, D. et al. (2025). 'Chip-to-chip photonic quantum teleportation over optical fibers of 12.3 km'. *Light: Science & Applications* 14(2025). 9 July. www.doi.org/10.1038/s41377-025-01920-z

754 Swayne, M. (2025). 'Quantum Network Goes the Distance Using Existing Telecom Infrastructure'. Quantum Insider. 24 April. www.thequantuminsider.com/2025/04/24/quantum-network-goes-the-distance-using-existing-telecom-infrastructure/

755 Quantum Zeitgeist (2025). 'The Quantum Internet Is Coming. Here's What It Actually Means'. 29 November. www.quantumzeitgeist.com/the-quantum-internet-is-coming-heres-what-it-actually-means/.

756 European Commission (2025). 'The EU's plan to become a global leader in quantum by 2030'. 2 July. https://commission.europa.eu/news-and-media/news/eus-plan-become-global-leader-quantum-203002-07-2025-_en

757 Fairbairn, R. et al. (2025). 'Emerging applications of quantum sensing technology in healthcare'. NIHR Innovation Observatory. January. www.io.nihr.ac.uk/resources/reports/emerging-applications-of-quantum-sensing-technology-in-healthcare/

758 Krelina, M. (2025). 'Military and Security Dimensions of Quantum Technologies: A Primer'. Stockholm International Peace Research Institute. July. www.doi.org/10.55163/ZVTL1529

759 Global Observatory on Donation and Transplantation (n.d.). 'WHO-ONT'. www.transplant-observatory.org/ (retrieved 20 February 2026)

760 Health Resources and Services Administration (2025). 'Organ Donation Statistics'. May.

761 Cook, V. (2025, September 22). 'Someone will die today waiting for a donor organ'. BBC News. www.bbc.com/news/articles/c784n878486o (retrieved 11 July 26)

762 Olawade, D. B. et al. (2024). 'Transforming organ donation and transplantation: Strategies for increasing donor participation and system efficiency'. *European Journal of Internal Medicine* 133(2025): 14-24. 20 November. www.doi.org/10.1016/j.ejim.2024.11.010

763 Dimmer, O. (2023). 'Identifying Molecular Culprits Underlying Organ Rejection'. Northwestern Medicine. 24 October. www.news.feinberg.northwestern.edu/202324/10//identifying-molecular-culprits-underlying-organ-rejection/

764 APRA-H (n.d.). 'ARPA-H launches program to revolutionize critical care and help prevent life-threatening events'. https://origin.arpa-h.gov/ (retrieved 20 February 2026)

765 UT Southwestern Medical Center (2026). 'UTSW receives ARPA-H award to create functioning artificial liver'. 12 January. www.utsouthwestern.edu/newsroom/articles/year-2026/jan-utsw-award-functioning-artificial-liver.html

766 Kostadinova, M. et al. (2025). 'Recent Advances in Bone Tissue Engineering: Enhancing the Potential of Mesenchymal Stem Cells for Regenerative Therapies'. *Current issues in molecular biology* 47(4):287. 17 April. www.doi.org/10.3390/cimb47040287

767 Kostadinova, M. et al. (2025). 'Recent Advances in Bone Tissue Engineering: Enhancing the Potential of Mesenchymal Stem Cells for Regenerative Therapies'. *Current issues in molecular biology* 47(4):287. 17 April. www.doi.org/10.3390/cimb47040287

768 Wang, X. et al. (2024). 'Progress in Organ Bioprinting for Regenerative Medicine'. *Engineering* 42(11): 129152-. 14 June. www.10.1016/j.eng.2024.04.023

769 Castañón, L. (2025). 'Designing blood vessels for 3D printed hearts'. Stanford University. 12 June. https://news.stanford.edu/stories/202506//blood-vessels-3d-printed-heart-organs

770 Tian, H. et al. (2024). 'Composite materials combined with stem cells promote kidney repair and regeneration'. *Composites Part B : Engineering* 275(2024). 5 February. www.doi.org/10.1016/j.compositesb.2024.111278

771 Tian, H. et al. (2024). 'Composite materials combined with stem cells promote kidney repair and regeneration'. *Composites Part B : Engineering* 275(2024). 5 February. www.doi.org/10.1016/j.compositesb.2024.111278

772 Federal Reserve Bank of Philadelphia (2021) 'Does monetary policy benefit certain households at the expense of others?'. 20 December. www.philadelphiafed.org/the-economy/monetary-policy/does-monetary-policy-benefit-certain-households-at-the-expense-of-others

773 Baptista, P. et al. (n.d.) 'The transmission of monetary policy: From mortgage rates to consumption'. European Central Bank. www.ecb.europa.eu/press/economic-bulletin/articles/2025/html/ecb.ebart202504_01~b621c01098.en.html (retrieved 13 February 2026)

774 Bank for International Settlements (BIS) (2024) 'II. Monetary policy in the 21st century: Lessons learned and challenges ahead'. www.bis.org/publ/arpdf/ar2024e2.htm articles/2025/html/ecb.ebart202504_01~b621c01098.en.html (retrieved 13 February 2026)

775 Bank for International Settlements (BIS) (2024) 'II. Monetary policy in the 21st century: Lessons learned and challenges ahead'. www.bis.org/publ/arpdf/ar2024e2.htm

776 Deutsche Bundesbank (2025) 'The future of monetary policy: How AI is transforming central banking'. 9 December. www.bundesbank.de/en/tasks/topics/the-future-of-monetary-policy-how-ai-is-transforming-central-banking-973394

777 Bank for International Settlements (BIS) (2025) 'The use of artificial intelligence for policy purposes'. October. www.bis.org/publ/othp100.htm

778 Bank for International Settlements (BIS) (2025) 'The use of artificial intelligence for policy purposes'. October. www.bis.org/publ/othp100.htm

779 Cipollone, P. (2024) 'Artificial intelligence: A central bank's view'. European Central Bank. 4 July. www.ecb.europa.eu/press/key/date/2024/html/ecb.sp240704_1~e348c05894.en.html

780 Wellington, W. and Resch, E. (2025) 'How financial regulators are using technology to protect consumers and strengthen the financial system'. World Economic Forum. 12 December. www.weforum.org/stories/202512//financial-regulators-technology-protect-strengthen-financial

781 International Regulatory Strategy Group (IRSG) (2026) 'AI in financial services: Emerging global norms'. January. www.theglobalcity.uk/insights/irsg/ai-in-financial-services-emerging-global-norms

782 International Regulatory Strategy Group (IRSG) (2026) 'AI in financial services: Emerging global norms'. January. www.theglobalcity.uk/insights/irsg/ai-in-financial-services-emerging-global-norms

783 International Regulatory Strategy Group (IRSG) (2026) 'AI in financial services: Emerging global norms'. January. www.theglobalcity.uk/insights/irsg/ai-in-financial-services-emerging-global-norms

784 Zhang, T. (2025) 'Artificial intelligence and central banks: Monetary and financial stability implications'. Bank for International Settlements (BIS). 8 October. www.bis.org/speeches/sp251009.htm

785 Bullock, M. (2025) 'Technology and the future of central banking at the RBA'. Reserve Bank of Australia. 3 September. www.rba.gov.au/speeches/2025/sp-gov-2025-09-03.html

786 UK Parliament (2026) 'Current approach to AI in financial services risks serious harm to consumers and wider system'. 20 January. https://committees.parliament.uk/committee/158/treasury-committee/news/211401/current-approach-to-ai-in-financial-services-risks-serious-harm-to-consumers-and-wider-system/

787 UK Parliament (2026) 'Current approach to AI in financial services risks serious harm to consumers and wider system'. 20 January. https://committees.parliament.uk/committee/158/treasury-committee/news/211401/current-approach-to-ai-in-financial-services-risks-serious-harm-to-consumers-and-wider-system/

788 UK Government Department for Science, Innovation and Technology (2025) 'Designating critical suppliers'. 12 November. www.gov.uk/government/publications/cyber-security-and-resilience-network-and-information-systems-bill-factsheets/designating-critical-suppliers.

789 Leitner, G., Singh, J., van der Kraaij, A. and Zsámboki, B. (2024) 'The rise of artificial intelligence: Benefits and risks for financial stability'. European Central Bank. May. www.ecb.europa.eu/press/financial-stability-publications/fsr/special/html/ecb.fsrart202405_02~58c3ce5246.en.html

790 Zhang, T. (2025) 'Artificial intelligence and central banks: Monetary and financial stability implications'. Bank for International Settlements (BIS). 8 October. www.bis.org/speeches/sp251009.htm

791 Giri, G.S., Maddahi, Y. and Zareinia K. (2021) 'An Application-Based Review of Haptics Technology'. *Robotics*, 10(1):29. 5 February. www.doi.org/10.3390/robotics10010029

792 World Health Organization (2026) 'Blindness and vision impairment'. 10 February. www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment

793 Quinn, R. et al. (2024) 'A shape-changing haptic navigation interface for vision impairment'. *Scientific Reports* 14. 10 December. www.doi.org/10.1038/s415987-79845-024-

794 Davis, G.L., Suzuki, E. and Rose, J. (2024) 'Where are essential surgeries being performed and monitored? A global update on volume reporting'. World Bank Blogs. 25 June. https://blogs.worldbank.org/en/opendata/where-are-essential-surgeries-being-performed-and-monitored--a-g

795 Colan, J., Davila, A. and Hasegawa Y. (2024) 'Tactile Feedback in RobotN Assisted Minimally Invasive Surgery: A Systematic Review'. *The international journal of medical robotics + computer assisted surgery* 20(6). 7 December. www.doi.org/10.1002/rcs.70019

796 Intuitive Surgical (2026). '20 Million Patients Benefit from da Vinci Surgery Globally'. 23January. https://isrg.intuitive.com/news-releases/news-release-details/20-million-patients-benefit-da-vinci-surgery-globally

797 Dalsgaard, T., Bergström, J., Obrist, M. and Hornbæk, K. (2022) 'A user-derived mapping for mid-air haptic experiences'. *International Journal of Human-Computer Studies* 168, December. www.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102920

798 Dalsgaard, T., Bergström, J., Obrist, M. and Hornbæk, K. (2022) 'A user-derived mapping for mid-air haptic experiences'. *International Journal of Human-Computer Studies* 168, December. www.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102920

799 Dalsgaard, T., Bergström, J., Obrist, M. and Hornbæk, K. (2022) 'A user-derived mapping for mid-air haptic experiences'. *International Journal of Human-Computer Studies* 168, December. www.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102920

800 NTT (2025) 'Creating Realistic Haptic Sensations in Mid-Air Using Ultrasound--No Wearable Devices Required Simulating a variety of textures--smooth, rough, and more--without physical contact'. 13 May. www.group.ntt/en/newsrelease/2025250513/13/05/b.html

801 NTT (2025) 'Creating Realistic Haptic Sensations in Mid-Air Using Ultrasound--No Wearable Devices Required Simulating a variety of textures--smooth, rough, and more--without physical contact'. 13 May. www.group.ntt/en/newsrelease/2025250513/13/05/b.html

802 NTT (2025) 'Creating Realistic Haptic Sensations in Mid-Air Using Ultrasound--No Wearable Devices Required Simulating a variety of textures--smooth, rough, and more--without physical contact'. 13 May. www.group.ntt/en/newsrelease/2025250513/13/05/b.html

803 He, S. et al. (2024) ‘Affective Stroking: Design Thermal Mid-Air Tactile for Assisting People in Stress Regulation’ *Applied Sciences*, 14(20), 17 October. www.doi.org/10.3390/app14209494.

804 Schneider, E.N., et al. (2026) ‘Impact of Noncontact Tactile Stimulation on Motion-Induced Electrodermal Responses and Subjective Motion Sickness’. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. www.doi.org/10.1109/THMS.2025.3644434

805 Schneider, E.N., et al. (2026) ‘Impact of Noncontact Tactile Stimulation on Motion-Induced Electrodermal Responses and Subjective Motion Sickness’. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. www.doi.org/10.1109/THMS.2025.3644434

806 Schneider, E.N., et al. (2026) ‘Impact of Noncontact Tactile Stimulation on Motion-Induced Electrodermal Responses and Subjective Motion Sickness’. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. www.doi.org/10.1109/THMS.2025.3644434

807 Wojna-Nowak, K., Kubczak, A., Walczak, N. and Wright M. (2025) ‘Beyond Touch: Accessibility Framework for Mid-Air Haptics in Mobile and Ubiquitous Multimedia Applications’. In Proceedings of the 24th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '25), 30 November. www.doi.org/10.11453771882.3773950/

808 Wojna-Nowak, K., Kubczak, A., Walczak, N. and Wright M. (2025) ‘Beyond Touch: Accessibility Framework for Mid-Air Haptics in Mobile and Ubiquitous Multimedia Applications’. In Proceedings of the 24th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '25), 30 November. www.doi.org/10.11453771882.3773950/

809 Wojna-Nowak, K., Kubczak, A., Walczak, N. and Wright M. (2025) ‘Beyond Touch: Accessibility Framework for Mid-Air Haptics in Mobile and Ubiquitous Multimedia Applications’. In Proceedings of the 24th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '25), 30 November. www.doi.org/10.11453771882.3773950/

810 Nsitem, N. and Sekine, Y. (2025) ‘Global Energy Storage Growth Upheld by New Markets’. Bloomberg NEF, 18 June. https://about.bnef.com/insights/clean-energy/global-energy-storage-growth-upheld-by-new-markets/.

811 Layne, R. (2026) ‘Falling Battery Storage Costs Are Quietly Reshaping Electricity Markets’. Harvard Business School, 23 January. www.library.hbs.edu/working-knowledge/falling-battery-storage-costs-are-quietly-reshaping-electricity-markets

812 Layne, R. (2026) ‘Falling Battery Storage Costs Are Quietly Reshaping Electricity Markets’. Harvard Business School, 23 January. www.library.hbs.edu/working-knowledge/falling-battery-storage-costs-are-quietly-reshaping-electricity-markets

813 Internation Energy Agency (2025) ‘Global renewable capacity is set to grow strongly, driven by solar PV’. 07 October. www.iea.org/news/global-renewable-capacity-is-set-to-grow-strongly-driven-by-solar-pv

814 Attia, P.M., Moch, E. and Herring, P.K. (2025) ‘Challenges and opportunities for high-quality battery production at scale’. *Nature Communications* 16, 12 January. www.doi.org/10.1038/s414677-55861-025-

815 Attia, P.M., Moch, E. and Herring, P.K. (2025) ‘Challenges and opportunities for high-quality battery production at scale’. *Nature Communications* 16, 12 January. www.doi.org/10.1038/s414677-55861-025-

816 McKinsey & Company (2025) ‘The hidden trends in battery supply and demand: A regional analysis’. 26 August. www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/the-hidden-trends-in-battery-supply-and-demand-a-regional-analysis

817 McKinsey & Company (2025) ‘The hidden trends in battery supply and demand: A regional analysis’. 26 August. www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/the-hidden-trends-in-battery-supply-and-demand-a-regional-analysis

818 Moseman, A. (2025) ‘AI Expands the Search for New Battery Materials: Microsoft and IBM pinpoint candidates from millions of options’. IEEE Spectrum, 01 October. https://spectrum.ieee.org/ai-battery-material

819 Moseman, A. (2025) ‘AI Expands the Search for New Battery Materials: Microsoft and IBM pinpoint candidates from millions of options’. IEEE Spectrum, 01 October. https://spectrum.ieee.org/ai-battery-material

820 The University of Chicago (2025) ‘New AI model explores massive chemical space with minimal data’. 30 October https://climate.uchicago.edu/news/new-ai-model-explores-massive-chemical-space-with-minimal-data/

821 CATL (n.d.) ‘Company Profile’. (retrieved 12 February 2026) www.catl.com/en/about/profile/

822 CATL (2025) ‘Naxtra Battery Breakthrough & Dual-Power Architecture: CATL Pioneers the Multi-Power Era’. 21 April. www.catl.com/en/news/6401.html

823 Miao, L. (2026) ‘Changan and CATL unveil world’s first mass-produced sodium-ion passenger EV’. CarNewsChina.com, 5 February. www.carnewschina.com/202605/02//changan-and-catl-unveil-worlds-first-mass-produced-sodium-ion-passenger-ev/

824 The Institute for Global Automotive Regulatory Research (2025) ‘China: New standard GB 380312025- “Safety Requirements for Power Batteries for Electric Vehicles”’. 24 April. www.igarr.com/202524/04//china-new-standard-gb-380312025--safety-requirements-for-power-batteries-for-electric-vehicles/

825 Leung, A. (2025) 'CATL confirms 2026 large-scale sodium-ion battery deployment in multiple sectors'. CarNewsChina.com, 28 December. www.carnewschina.com/202528/12//catl-confirms-2026-large-scale-sodium-ion-battery-deployment-in-multiple-sectors/

826 Vedhanarayanan, B. and Seetha Lakshmi, K.C. (2024) 'Beyond lithium-ion: emerging frontiers in next-generation battery technologies'. *Frontiers Batteries Electrochemistry* 3, 05 April. www.doi.org/10.3389/fbael.2024.1377192

827 Vedhanarayanan, B. and Seetha Lakshmi, K.C. (2024) 'Beyond lithium-ion: emerging frontiers in next-generation battery technologies'. *Frontiers Batteries Electrochemistry* 3, 05 April. www.doi.org/10.3389/fbael.2024.1377192

828 Malachi, I. O., Olawumi, A. O., Afolabi, S. O., and Oladapo, B. I. (2025) 'Looking Beyond Lithium for Breakthroughs in Magnesium-Ion Batteries as Sustainable Solutions'. *Sustainability*, 17(9), 22 April. www.doi.org/10.3390/su17093782

829 Vedhanarayanan, B. and Seetha Lakshmi, K.C. (2024) 'Beyond lithium-ion: emerging frontiers in next-generation battery technologies'. *Frontiers Batteries Electrochemistry* 3, 05 April. www.doi.org/10.3389/fbael.2024.1377192

830 The University of Chicago (2025) 'New AI model explores massive chemical space with minimal data'. 30 October https://climate.uchicago.edu/news/new-ai-model-explores-massive-chemical-space-with-minimal-data/

831 The Design Museum (n.d.) 'Graphene. Will it change the world?'. www.designmuseum.org/discover-design/all-stories/graphene-will-it-change-the-world (retrieved 12 February 2026)

832 The University of Manchester (n.d.) 'Discovery of graphene'. www.graphene.manchester.ac.uk/learn/discovery-of-graphene/ (retrieved 12 February 2026)

833 Johnson, L. and Meany J.E. (2018). 'Mass-Producing Graphene'. American Scientist 106(3):176. www.doi.org/10.15112018.106.3.176/

834 Batra, G., Santhanam, N. and Surana, K. (2018) 'Graphene: The next S-curve for semiconductors?'. McKinsey & Company, 10 April. www.mckinsey.com/industries semiconductors/our-insights/graphene-the-next-s-curve-for-semiconductors

835 Singh, H. et al. (2025) 'Graphene for next-generation technologies: Advances in properties, applications, and industrial integration'. *Results in Engineering* 27, September. www.doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106865

836 The University of Manchester (n.d.) 'Applications'. www.graphene.manchester.ac.uk/learn/applications/ (retrieved 12 February 2026)

837 Zheng, Z. et al. (2020). 'Unconventional ferroelectricity in moiré heterostructures'. *Nature* 58: 7116-, 23 November. www.doi.org/10.1038/s415869-2970-020-

838 Barzler, C. (2024) 'Researchers Create First Functional Semiconductor Made From Graphene'. Georgia Institute of Technology, 4 January. www.research.gatech.edu/feature/researchers-create-first-functional-semiconductor-made-graphene

839 Barzler, C. (2024) 'Researchers Create First Functional Semiconductor Made From Graphene'. Georgia Institute of Technology, 4 January. www.research.gatech.edu/feature/researchers-create-first-functional-semiconductor-made-graphene

840 Viana, D. et al. (2024) 'Nanoporous graphene-based thin-film microelectrodes for in vivo high-resolution neural recording and stimulation'. *Nature nanotechnology* 19:514253-, 11 January. www.doi.org/10.1038/s415655-01570-023-

841 Viana, D. et al. (2024) 'Nanoporous graphene-based thin-film microelectrodes for in vivo high-resolution neural recording and stimulation'. *Nature nanotechnology* 19:514253-, 11 January. www.doi.org/10.1038/s415655-01570-023-

842 Das. S. et al. (2025) 'Graphene-infused copper: A flash-induced far-from-equilibrium phase transformation'. *Journal of the American Ceramic Society* 109(1), 29 October www.doi.org/10.1111/jace.70327

843 World Construction Network (2024) 'Salgenx explores new graphene and hard carbon-coated sand applications'. 16 August. www.worldconstructionnetwork.com/news/salgenx-explores-new-applications/

844 Bindu M. and Periyat, P. (2024) 'Graphene and its derivatives for air purification: A mini review'. *Results in Engineering* 21, 24 January. www.doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101809

845 Tiwary, S.K., Singh, M., Chavan, S.V. and Karim, A. (2024) 'Graphene oxide-based membranes for water desalination and purification'. *Npj 2D materials and applications* 8, 27 March. www.doi.org/10.1038/s4169900462-024--z

846 Kollewe. J. (2023) ''Graphene will change the world': the boss using the 'supermaterial' in the global microchip war'. The Guardian. 19 December. www.theguardian.com/business/2023/dec/19/graphene-will-change-the-world-the-boss-using-the-supermaterial-in-the-global-microchip-war

847 Wu, D. et al. (2025) 'Mass production of graphene using high-power rapid joule heating method'. *Chemical Engineering Journal* 505, 24 January. www.doi.org/10.1016/j.cej.2025.159725

848 Stanford Advanced Materials (2025) 'China Triumphs In Graphene Development'. 24 July www.samaterials.com/content/china-triumphs-in-graphene-development.html

849 Bishen, S. (2025) 'Are we acting fast enough on antimicrobial resistance?'. World Economic Forum. 18 November. www.weforum.org/stories/202511//antimicrobial-resistance-superbugs-antibiotics/

850 Rawson, T.M., Moore, L.S. and Lamorde, M. (2025). 'Addressing the challenge of antimicrobial resistance.' Communications Medicine 5, 06 March. www.doi.org/10.1038/s43856-025-00758-1

851 GBD 2021 Global Sepsis Collaborators (2025) 'Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990–2021: A systematic analysis'. The Lancet Global Health, 13(12). https://doi.org/10.1016/S2214109-X(25)003560-

852 GBD 2019 Antimicrobial Resistance Collaborators (2022) 'Global mortality associated with 33 bacterial pathogens in 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019'. The Lancet, 400(10369), 2221–2248. https://doi.org/10.1016/S01407-02185(22)6736-

853 Organisation for Economic Co-operation and Development (n.d.) 'Antimicrobial resistance'. www.oecd.org/en/topics/sub-issues/antimicrobial-resistance.html (retrieved 13 February 2026)

854 Resch, G. et al. (2024) 'Between Centralization and Fragmentation: The Past, Present, and Future of Phage Collections.' *PHAGE* 5(1):2229-. 18 March. www.doi.org/10.1089/phage.2023.0043

855 Resch, G. et al. (2024) 'Between Centralization and Fragmentation: The Past, Present, and Future of Phage Collections.' *PHAGE* 5(1):2229-. 18 March. www.doi.org/10.1089/phage.2023.0043

856 Bacteriophage News (n.d.) 'Phage Banks & Collections'. www.bacteriophage.news/phage-banks-collections/ (retrieved 13 February 2026)

857 UK Health Security Agency (n.d.) 'The National Collection of Type Cultures (NCTC)'. www.culturecollections.org.uk/about-us/nctc/ (retrieved 13 February 2026)

858 UK Health Security Agency (2024) 'How bacteria-munching viruses could offer an alternative to antibiotics'. 12 March. https://ukhsa.blog.gov.uk/202412/03//how-bacteria-munching-viruses-could-offer-an-alternative-to-antibiotics/

859 Government of UK (2024). 'Confronting antimicrobial resistance 2024 to 2029'. 8 May. www.gov.uk/government/publications/uk-5-year-action-plan-for-antimicrobial-resistance-2024-to-2029/confronting-antimicrobial-resistance-2024-to-2029#theme-2---optimising-the-use-of-antimicrobials-1

860 Berryhill, B.A., Gil-Gil, T, Smith, A.P. and Levin B.R. (2025). 'The future of phage therapy in the USA'. *Trends in Molecular Medicine* 31(11):982991-, 5 November. www.doi.org/10.1016/j.molmed.2025.03.013

861 Singh, S., Samson, R. and Hassard, F. (2025) 'Phage therapy for environmental biotechnology applications'. *Frontiers in Microbiology* 16, 03 September. www.doi.org/10.3389/fmicb.2025.1621103

862 European Medicines Agency (2025) 'Draft guideline on quality aspects of phage therapy medicinal products'. 16 October. www.ema.europa.eu/en/quality-aspects-phage-therapy-medicinal-products

863 European Medicines Agency (2025) 'Draft guideline on quality aspects of phage therapy medicinal products'. 16 October. www.ema.europa.eu/en/quality-aspects-phage-therapy-medicinal-products

864 Resch, G. et al. (2024) 'Between Centralization and Fragmentation: The Past, Present, and Future of Phage Collections.' *PHAGE* 5(1):2229-. 18 March. www.doi.org/10.1089/phage.2023.0043

865 Gencay, Y.E. et al. (2024), 'Engineered phage with antibacterial CRISPR–Cas selectively reduce E. coli burden in mice'. *Nature biotechnology* 42:265274-, February. www.doi.org/10.1038/s4158701759-023--y

866 Gencay, Y.E. et al. (2024), 'Engineered phage with antibacterial CRISPR–Cas selectively reduce E. coli burden in mice'. *Nature biotechnology* 42:265274-, February. www.doi.org/10.1038/s4158701759-023--y

867 Gencay, Y.E. et al. (2024), 'Engineered phage with antibacterial CRISPR–Cas selectively reduce E. coli burden in mice'. *Nature biotechnology* 42:265274-, February. www.doi.org/10.1038/s4158701759-023--y

868 Doud, M.B., Robertson, J.M. and Strathdee S.A. (2025). 'Optimizing phage therapy with artificial intelligence: a perspective'. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 15, 27 May. www.doi.org/10.3389/fcimb.2025.1611857

869 Doud, M.B., Robertson, J.M. and Strathdee S.A. (2025). 'Optimizing phage therapy with artificial intelligence: a perspective'. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 15, 27 May. www.doi.org/10.3389/fcimb.2025.1611857

870 Zhang, Y. et al. (2024). 'Discovery of Antimicrobial Lysins from the "Dark Matter" of Uncharacterized Phages Using Artificial Intelligence'. *Advanced Science,* 20 June. www.doi.org/10.1002/advs.202404049

871 United Nations Environment Programme (n.d.) 'Plastic Pollution'. www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/plastic-pollution (retrieved 11 February 2026)

872 Pew Research Center (2025) 'Pew and Partners: Plastic Pollution Growing at Troubling Rate With Significant Environmental, Human Health Consequences' www.pew.org/en/about/news-room/press-releases-and-statements/202503/12//pew-and-partners-plastic-pollution-growing-at-troubling-rate

873 United Nations Environment Programme (n.d.) 'Plastic Pollution'. www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/plastic-pollution (retrieved 11 February 2026)

874 Savchuk, K. (2025) 'Microplastics and our health: What the science says'. Stanford Medicine. www.med.stanford.edu/news/insights/202501//microplastics-in-body-polluted-tiny-plastic-fragments.html

875 Bexeitova, K. et al. (2024) 'Microplastics in freshwater systems: A review of classification, sources, and environmental impacts'. Chemical Engineering Journal Advance, 20. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666821124000668

876 Savchuk, K. (2025) 'Microplastics and our health: What the science says'. Stanford Medicine. www.med.stanford.edu/news/insights/202501//microplastics-in-body-polluted-tiny-plastic-fragments.html

877 Mason, T.J. (2007) 'Developments in ultrasound - Non-medical'. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93(13-), 166175-. www.doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.007

878 Mason, T.J. (2007) 'Developments in ultrasound - Non-medical'. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93(13-), 166175-. www.doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.007

879 H&M Foundation (n.d.) 'Acousweep - sound wave technology that separates microplastics from water'. www.hmfoundation.com/project/acousweep-sound-wave-technology-separates-microplastics-from-water/

880 H&M Foundation (n.d.) 'Acousweep - sound wave technology that separates microplastics from water'. www.hmfoundation.com/project/acousweep-sound-wave-technology-separates-microplastics-from-water/

881 Kako, S. et al. (2026) 'Remote sensing and image analysis of macro-plastic litter: A review'. Marine Pollution Bulletin, 222(Part 1), https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118630

882 Mukonza, S.S. (2025) 'Mapping plastic pollution in water from space: Potential opportunities and challenges for the application of NASA's PACE mission'. *Emerging Contaminants and Environmental Health*, 4, 16. www.doi.org/10.20517/eceh.2025.15

883 Kako, S. et al. (2026) 'Remote sensing and image analysis of macro-plastic litter: A review'. Marine Pollution Bulletin, 222(Part 1), https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118630

884 Kako, S. et al. (2026) 'Remote sensing and image analysis of macro-plastic litter: A review'. Marine Pollution Bulletin, 222(Part 1), https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118630

885 Kako, S. et al. (2026) 'Remote sensing and image analysis of macro-plastic litter: A review'. Marine Pollution Bulletin, 222(Part 1), https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118630

886 Kako, S. et al. (2026) 'Remote sensing and image analysis of macro-plastic litter: A review'. Marine Pollution Bulletin, 222(Part 1), https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118630

887 Moyano, D.B., Arranz-Paraiso, D. and González-Lezcano, R.A. (2022) 'Possible effects on health of ultrasound exposure, risk factors in the work environment and occupational safety review'. *Healthcare*, 10(3), 423. https://doi.org/10.3390/healthcare10030423

888 Moyano, D.B., Arranz-Paraiso, D. and González-Lezcano, R.A. (2022) 'Possible effects on health of ultrasound exposure, risk factors in the work environment and occupational safety review'. *Healthcare*, 10(3), 423. https://doi.org/10.3390/healthcare10030423

889 UN-Water. (2026). UN World Water Development Report 2026. www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2026

890 Hemingway-Jaynes, C. (2023). 'Global freshwater demand will exceed supply 40% by 2030, experts warn'. World Economic Forum. 22 March . www.weforum.org/stories/202303//global-freshwater-demand-will-exceed-supply-40-by-2030-experts-warn/

891 Rockström, J. and Strauss, T. (2024) '7 facts about the global water crisis and water resilience that COP29 leaders should know'. World Economic Forum. 19 November. www.weforum.org/stories/2024/11/7-facts-about-the-global-water-crisis-that-cop29-leaders-should-know/

892 Harvey, F. (2024) 'Global water crisis leaves half of world food production at risk in next 25 years'. The Guardian. 16 October. www.theguardian.com/environment/2024/oct/16/global-water-crisis-food-production-at-risk

893 Vardon, M.J. et al. (2023) 'Water Accounts and Water Accounting'. Global Commission on the Economics of Water. February. www.watercommission.org/publication/water-accounts-and-water-accounting/

894 Mazzucato, M., Okonjo-Iweala, N., Rockström, J. and Shanmugaratnam, T. (2024) 'The economics of water: Valuing the hydrological cycle as a global common good'. Global Commission on the Economics of Water. www.watercommission.org/publication/the-economics-of-water/

895 Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2025) 'Embedding Water-related Risks in Financial Stability Frameworks'. https://doi.org/10.1787/ee1757f9-en

896 Mazzucato, M., Okonjo-Iweala, N., Rockström, J. and Shanmugaratnam, T. (2024) 'The economics of water: Valuing the hydrological cycle as a global common good'. Global Commission on the Economics of Water. www.watercommission.org/publication/the-economics-of-water/

897 World Meteorological Organization (2025) 'State of global water resources 2024'. www.doi.org/10.59327/WMO/WATER/2024

898 World Meteorological Organization (2025) 'State of global water resources 2024'. www.doi.org/10.59327/WMO/WATER/2024

899 Mehta, A., Podest, E. and McCartney, S. (2020) 'Groundwater monitoring using observations from NASA's Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellites'. National Aeronautics and Space Administration (NASA). https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/202011-/GRACE_Final.pdf

900 European Commission - DG Environment. (2024) 'Degraded ecosystems to be restored across Europe as Nature Restoration Law enters into force'. 15 August. https://environment.ec.europa.eu/news/nature-restoration-law-enters-force-202415-08-_en

901 European Commission - DG Environment. (n.d.) 'Water Framework Directive'. https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en (retreived 12 February 2026)

902 Global Water Monitor (2026) https://www.globalwater.online/globalwater/about-us/

903 Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2025) 'Embedding Water-related Risks in Financial Stability Frameworks'. www.doi.org/10.1787/ee1757f9-en

904 Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2025) 'Embedding Water-related Risks in Financial Stability Frameworks'. www.doi.org/10.1787/ee1757f9-en

905 UN-Water (2025) '2026 UN Water Conference'. United Nations. 19 May. www.unwater.org/2026-un-water-conference

906 Kassem, M.A. and Moscariello, A. (2025) 'Geothermal energy: A sustainable and cost-effective alternative for clean energy production and climate change mitigation. *Sustainable Futures*, 10. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101247

907 Schulz, R., Lyons, M., Ugur, D., Bennett, S. and Turich, C. (2026) 'Investment in next-generation geothermal is surging: Policies are key to further growth'. International Energy Agency (IEA). 23 January. www.iea.org/commentaries/investment-in-next-generation-geothermal-is-surging-policies-are-key-to-further-growth

908 Gabel, E. and Liu, Q. (2024) 'Five trends that will define global power markets in the next 10 years'. S&P Global Commodity Insights. www.spglobal.com/energy/en/news-research/blog/energy-transition/053024-five-trends-that-will-define-global-power-markets-in-the-next-10-years

909 International Atomic Energy Agency (2025) 'Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050' IAEA. https://doi.org/10.61092/iaea.gwov-o544

910 Stanford University (2025) 'Understand geothermal energy'. https://understand-energy.stanford.edu/news/understand-geothermal-energy

911 Li, J., Tarpani, R.R.Z., Gallego-Schmid, A. and Stamford, L. (2024) 'Life cycle assessment of repurposing abandoned onshore oil and gas wells for geothermal power generation'. *Science of the Total Environment*, 907. www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167843

912 Schulz, R., Lyons, M., Ugur, D., Bennett, S. and Turich, C. (2026) 'Investment in next-generation geothermal is surging: Policies are key to further growth'. International Energy Agency (IEA). 23 January. www.iea.org/commentaries/investment-in-next-generation-geothermal-is-surging-policies-are-key-to-further-growth

913 Schulz, R., Lyons, M., Ugur, D., Bennett, S. and Turich, C. (2026) 'Investment in next-generation geothermal is surging: Policies are key to further growth'. International Energy Agency (IEA). 23 January. www.iea.org/commentaries/investment-in-next-generation-geothermal-is-surging-policies-are-key-to-further-growth

914 Schulz, R., Lyons, M., Ugur, D., Bennett, S. and Turich, C. (2026) 'Investment in next-generation geothermal is surging: Policies are key to further growth'. International Energy Agency (IEA). 23 January. www.iea.org/commentaries/investment-in-next-generation-geothermal-is-surging-policies-are-key-to-further-growth

915 Schulz, R., Lyons, M., Ugur, D., Bennett, S. and Turich, C. (2026) 'Investment in next-generation geothermal is surging: Policies are key to further growth'. International Energy Agency (IEA). 23 January. www.iea.org/commentaries/investment-in-next-generation-geothermal-is-surging-policies-are-key-to-further-growth

916 Jaeger, J., McLaughlin, K., Bird, L. and Hausker, K. (2024) 'Next-generation geothermal can help unlock 100% clean power'. World Resources Institute. https://www.wri.org/insights/next-generation-geothermal-energy-explained

917 Jaeger, J., McLaughlin, K., Bird, L. and Hausker, K. (2024) 'Next-generation geothermal can help unlock 100% clean power'. World Resources Institute. https://www.wri.org/insights/next-generation-geothermal-energy-explained

918 Jaeger, J., McLaughlin, K., Bird, L. and Hausker, K. (2024) 'Next-generation geothermal can help unlock 100% clean power'. World Resources Institute. https://www.wri.org/insights/next-generation-geothermal-energy-explained

919 Jaeger, J., McLaughlin, K., Bird, L. and Hausker, K. (2024) 'Next-generation geothermal can help unlock 100% clean power'. World Resources Institute. https://www.wri.org/insights/next-generation-geothermal-energy-explained.

920 Jaeger, J., McLaughlin, K., Bird, L. and Hausker, K. (2024) 'Next-generation geothermal can help unlock 100% clean power'. World Resources Institute. https://www.wri.org/insights/next-generation-geothermal-energy-explained

921 Fervo Energy (2025) 'Fervo Energy raises $462 million Series E to accelerate geothermal development and meet surging energy demand with clean, firm power'. 10 December. www.fervoenergy.com/fervo-energy-raises-462-million-series-e-to-accelerate-geothermal-development-and-meet-surging-energy-demand-with-clean-firm-power/

922 Meta. (2024) 'New geothermal energy project to support our data centers'. 26 August. www.about.fb.com/news/202408//new-geothermal-energy-project-to-support-our-data-centers/

923 Fervo Energy (2025) 'Fervo Energy raises $462 million Series E to accelerate geothermal development and meet surging energy demand with clean, firm power'. 10 December. www.fervoenergy.com/fervo-energy-raises-462-million-series-e-to-accelerate-geothermal-development-and-meet-surging-energy-demand-with-clean-firm-power/

924 Fervo Energy (2025) 'Fervo Energy raises $462 million Series E to accelerate geothermal development and meet surging energy demand with clean, firm power'. 10 December. www.fervoenergy.com/fervo-energy-raises-462-million-series-e-to-accelerate-geothermal-development-and-meet-surging-energy-demand-with-clean-firm-power/

925 European Investment Bank (EIB) (2025) 'Germany: Vulcan Energy secures €250 million EIB financing for landmark lithium project. 3 December. www.eib.org/en/press/all/2025486--vulcan-energy-secures-eur250-million-eib-financing-for-landmark-lithium-project-in-germany

926 European Investment Bank (EIB) (2025) 'Germany: Vulcan Energy secures €250 million EIB financing for landmark lithium project. 3 December. www.eib.org/en/press/all/2025486--vulcan-energy-secures-eur250-million-eib-financing-for-landmark-lithium-project-in-germany

927 International Energy Agency (n.d.) '655 million people still living without electricity underscore urgent need to deliver on universal energy access target'. IEA. www.iea.org/news/655-million-people-still-living-without-electricity-underscore-urgent-need-to-deliver-on-universal-energy-access-target

928 International Energy Agency, International Renewable Energy Agency, United Nations Statistics Division, World Bank, & World Health Organization (2026) 'Tracking SDG7: The energy progress report 2026'. World Bank. https://trackingsdg7.esmap.org/sites/default/files/download-documents/SDG7-Report2026-0623-V4-4Web.pdf

929 World Health Organization (WHO) (2025) 'Energy access has improved, yet international financial support still needed to boost progress and address disparities'. 25 June. www.who.int/news/item/252025-06--energy-access-has-improved--yet-international-financial-support-still-needed-to-boost-progress-and-address-disparities.

930 World Health Organization (WHO) (2025) 'Energy access has improved, yet international financial support still needed to boost progress and address disparities'. 25 June. www.who.int/news/item/252025-06--energy-access-has-improved--yet-international-financial-support-still-needed-to-boost-progress-and-address-disparities

931 Charron, B. and Wadhwa, D. (2025) 'From water to electricity: The rural-urban infrastructure gap in seven charts'. World Bank Blogs. 26 August. https://blogs.worldbank.org/en/opendata/from-water-to-electricity--the-rural-urban-infrastructure-gap-in

932 World Bank (2026) 'Electric power transmission and distribution losses (% of output)'. https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS

933 Regulatory Assistance Project (2015) 'Reduce losses in the transmission and distribution system. In Implementing EPA's Clean Power Plan: A menu of options (Chapter 10)'. www.4cleanair.org/wp-content/uploads/Documents/Chapter_10.pdf

934 World Bank (2026) 'Electric power transmission and distribution losses (% of output)'. https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS

935 Charron, B. and Wadhwa, D. (2025) 'From water to electricity: The rural-urban infrastructure gap in seven charts'. World Bank Blogs. 26 August. https://blogs.worldbank.org/en/opendata/from-water-to-electricity--the-rural-urban-infrastructure-gap-in

936 Regulatory Assistance Project (2015) 'Reduce losses in the transmission and distribution system. In Implementing EPA's Clean Power Plan: A menu of options (Chapter 10)'. www.4cleanair.org/wp-content/uploads/Documents/Chapter_10.pdf

937 Smart, L. and Hsu, S. (2025) 'The AI-energy nexus will determine AI's impact. We must account for it better'. World Economic Forum. December 1. www.weforum.org/stories/202512//ai-energy-nexus-ai-future/

938 Tata Power (2025) 'Transmission and distribution'. www.tatapower.com/glossary/t/transmission-and-distribution

939 Dubai Future Foundation (2025) 'The future of energy: Space solar'. www.dubaifuture.ae/reports/the-future-of-energy-space-solar/

940 International Energy Agency (IEA) (2025) 'Building the future transmission grid'. https://www.iea.org/reports/building-the-future-transmission-grid/executive-summary

941 Hevia-Koch, P., Rawlins Bilbao, A. and Morris, D. (2024). 'The clean energy economy demands massive integration investments now'. International Energy Agency (IEA). 25 January. www.iea.org/commentaries/the-clean-energy-economy-demands-massive-integration-investments-now

942 Hevia-Koch, P., Rawlins Bilbao, A. and Morris, D. (2024). 'The clean energy economy demands massive integration investments now'. International Energy Agency (IEA). 25 January. www.iea.org/commentaries/the-clean-energy-economy-demands-massive-integration-investments-now

943 Purton, M. (2024) 'Wind energy projects waiting years for electricity grid connection, and other nature and climate stories you need to read this week'. World Economic Forum (WEF). 10 July. www.weforum.org/stories/202407//nature-climate-news-renewable-energy/

944 International Energy Agency (IEA) (2023) 'Energy technology perspectives 2023: Enabling infrastructure'. January. www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023/enabling-infrastructure

945 International Energy Agency (IEA) (2023) 'Energy technology perspectives 2023: Enabling infrastructure'. January. www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023/enabling-infrastructure

946 International Energy Agency (IEA) (2025) 'Building the future transmission grid: Strategies to navigate supply chain challenges'. February. https://www.iea.org/reports/building-the-future-transmission-grid/executive-summary

947 Energetics Incorporated (2015) 'Materials innovation for next generation T&D grid components: Scoping document' October. U.S. Department of Energy. www.energy.gov/sites/prod/files/201606//f32/OE%20ORNL%20Materials%20Innovation%20for%20Grid%20Workshop%20Scoping%20Document%20FINAL.pdf

948 Oberdick, J. (2025) 'Unified theory may reveal more superconducting materials'. Penn State University. 15 August. www.psu.edu/news/materials-research-institute/story/unified-theory-may-reveal-more-superconducting-materials

949 World Economic Forum (2025). 'How data-driven digital healthcare tools cut costs and boost outcomes'. 3 June. www.weforum.org/impact/how-digital-healthcare-tools-cut-costs-boost-outcomes/

950 Senbekov, M. et al. (2020) 'The Recent Progress and Applications of Digital Technologies in Healthcare: A Review'. International Journal of Telemedicine and Applications 2020(1). 04 December. www.doi.org/10.11558830200/2020/.

951 World Economic Forum (2025). 'How data-driven digital healthcare tools cut costs and boost outcomes'. 3 June. www.weforum.org/impact/how-digital-healthcare-tools-cut-costs-boost-outcomes/

952 World Economic Forum (2025). 'How data-driven digital healthcare tools cut costs and boost outcomes'. 3 June. www.weforum.org/impact/how-digital-healthcare-tools-cut-costs-boost-outcomes/

953 World Health Organization (2023). 'WHO releases the largest global collection of health inequality data'. 20 April. www.who.int/news/item/202023-04--who-releases-the-largest-global-collection-of-health-inequality-data

954 World Health Organization (n.d.). 'Global health estimates'.www.who.int/data/global-health-estimates. (retrieved 20 February 2026)

955 Institute for Health Metrics and Evaluation (n.d.). 'Global Burden of Disease'. www.healthdata.org/research-analysis/gbd (retrieved 04 February 2026).

956 GBD 2023 Disease and Injury and Risk Factor Collaborators (2025) 'Burden of 375 diseases and injuries, risk-attributable burden of 88 risk factors, and healthy life expectancy in 204 countries and territories, including 660 subnational locations, 1990–2023: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2023'. The Lancet, 406(10513), 1873–1922. https://doi.org/10.1016/S014001637(25)6736--X

957 Organisation for Economic Co-operation and Development (2025), "Facilitating the secondary use of health data for public interest purposes across borders". June. www.doi.org/10.1787/d7b90d15-en.

958 Lindquist, M. (2024). Interoperability in Healthcare Explained. Oracle Cloud Infrastructure (OCI). 24 June. www.oracle.com/ae/health/interoperability-healthcare/.

959 Pylypchuk, Y. and Everson, J. (2023). 'Interoperability and Methods of Exchange among Hospitals in 2021'. ONC Data Brief, no. 64. Office of the National Coordinator for Health Information Technology. January. www.healthit.gov/data/data-briefs/interoperability-and-methods-exchange-among-hospitals-2021.

960 Zhang, M.Y. ‘How the AI Race Is Rewiring the Digital Order’. The Diplomat. 15 August. www.thediplomat.com/202508//how-the-ai-race-is-rewiring-the-digital-order/.

961 Romanello, M. et al. (2025). ‘The 2025 report of the Lancet Countdown on health and climate change: climate change action offers a lifeline’. The Lancet 406(10521):2804 – 2857. 11 December. www.doi.org/10.1016/S01401-01919(25)6736-.

962 Romanello, M. et al. (2025). ‘The 2025 report of the Lancet Countdown on health and climate change: climate change action offers a lifeline’. The Lancet 406(10521):2804 – 2857. 11 December. www.doi.org/10.1016/S01401-01919(25)6736-.

963 Romanello, M. et al. (2025). ‘The 2025 report of the Lancet Countdown on health and climate change: climate change action offers a lifeline’. The Lancet 406(10521):2804 – 2857. 11 December. www.doi.org/10.1016/S01401-01919(25)6736-.

964 World Health Organization (2025). ‘Dengue’. 21 August. www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue.

965 World Wildlife Fund (n.d.). ‘Threats: Water scarcity’. www.worldwildlife.org/our-work/freshwater/water-scarcity/ (retrieved 04 February 2026).

966 Durden, J.M. (2025). ‘Environmental management using a digital twin’. Environmental Science & Policy 164. 5 February. www.doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104018.

967 Durden, J.M. (2025). ‘Environmental management using a digital twin’. Environmental Science & Policy 164. 5 February. www.doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104018.

968 Wilkinson, M.D. et al. (2016). ‘Comment: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship’. Scientific Data. 15 March. www.doi.org/10.1038/sdata.2016.18.

969 Siraparapu, S.R. and Azad, S.M.A.K. (2024). ‘Securing the IoT Landscape: A Comprehensive Review of Secure Systems in the Digital Era’. e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy 10. 1 October. www.doi.org/10.1016/j.prime.2024.100798.

970 Sinha, S. (2025). ‘State of IoT 2025: Number of connected IoT devices growing 14% to 21.1 billion globally’. IoT Analytics. 28 October. www.iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/

971 United Nations Statistics Division (2025). ‘System of National Account 2025 – 2025 SNA’. https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/sna2025.asp (retrieved 04 February 2026).

972 World Wildlife Fund (2025). ‘EEA Report: Europe's nature in crisis - but Commission pursues deregulation drive’. 29 September. www.wwf.eu/?19361941/EEA-Report-Europes-nature-in-crisis---but-Commission-pursues-deregulation-drive.

973 United States Environmental Protection Authority (2025). ‘EPA Launches Biggest Deregulatory Action in U.S. History’. 12 March. www.epa.gov/newsreleases/epa-launches-biggest-deregulatory-action-us-history.

974 The White House (2025). ‘PUTTING AMERICA FIRST IN INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL AGREEMENTS’. 20 January. www.whitehouse.gov/presidential-actions/202501//putting-america-first-in-international-environmental-agreements/.

975 Kemp, S. (2026) ‘Digital 2026 mid-year global update report’. DataReportal. 22 April. https://datareportal.com/reports/digital-2026-mid-year-global-update-report (retrieved 11 July 2026)

976 World Economic Forum (2025). ‘The Future of Jobs Report 2025’. January. www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/.

977 World Economic Forum (2025). ‘The Future of Jobs Report 2025’. January. www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/.

978 International Data Corporation (2025). ‘From Gaming to Gaining: AR/VR Headsets and Smart Glasses Go Mainstream, says IDC’. 17 September. https://my.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS53809325

979 Wilms, M (2025). ‘Connectivity and financing gaps: Assessing the challenge’. The International Telecommunication Union. 21 January. www.itu.int/hub/202501//connectivity-and-financing-gaps-assessing-the-challenge/.

980 The United Nations Office for Digital and Emerging Technologies (n.d.). ‘Intergovernmental process led by the co-facilitators Sweden and Zambia’. www.un.org/digital-emerging-technologies/global-digital-compact/intergovernmental-process. (retrieved 04 February 2026)

981 United Nations Global Digital Compact (n.d.). ‘Global Digital Compact’. https://www.un.org/global-digital-compact/en (retrieved 04 February 2026)

982 United Nations Global Digital Compact (n.d.). ‘Global Digital Compact’. https://www.un.org/global-digital-compact/en (retrieved 04 February 2026)

983 United Nations Global Digital Compact (n.d.). ‘Stakeholder meeting on the Global Digital Compact’. www.un.org/global-digital-compact/en/events/stakeholder-meeting-global-digital-compact (retrieved 20 February 2026)

984 World Economic Forum (2024). ‘World Economic Forum’s EDISON Alliance Impacts Over 1 Billion Lives, Accelerating Global Digital Inclusion’. 24 September. www.weforum.org/press/202409//world-economic-forum-s-edison-alliance-impacts-over-1-billion-lives-accelerating-global-digital-inclusion/.

985 World Economic Forum (2024). 'World Economic Forum's EDISON Alliance Impacts Over 1 Billion Lives, Accelerating Global Digital Inclusion'. 24 September. www.weforum.org/press/202409//world-economic-forum-s-edison-alliance-impacts-over-1-billion-lives-accelerating-global-digital-inclusion/.

986 World Economic Forum (2025). 'Accelerating digital inclusion for 1 billion people by 2025'. 3 June. www.weforum.org/impact/digital-inclusion/.

987 World Economic Forum (2024). 'World Economic Forum's EDISON Alliance Impacts Over 1 Billion Lives, Accelerating Global Digital Inclusion'. 24 September. www.weforum.org/press/202409//world-economic-forum-s-edison-alliance-impacts-over-1-billion-lives-accelerating-global-digital-inclusion/.

988 International Telecommunications Union (2022) 'Mobile network coverage'. www.itu.int/itu-d/reports/statistics/202224/11//ff22-mobile-network-coverage/

989 Yanofsky, D. (2022) 'The speed, coverage, cost, and future of satellite internet'. Quartz. 20 July. www.qz.com/772972/the-speed-coverage-cost-and-future-of-satellite-internet (retrieved 5 February 2026)

990 Supan, J. (2025) 'Despite Starlink's Improved Speeds, It Still Misses the FCC's Broadband Standard'. CNET. 28 July. www.cnet.com (retrieved 5 February 2026)

991 Satellite Industry Association. (2025). State of the satellite industry report (FY 2024 executive summary). https://sia.org/news-resources/state-of-the-satellite-industry-report/

992 Starlink (n.d.) 'World's Most Advanced Broadband Satellite Internet'. www.starlink.com/technology (retrieved 9 January 2024)

993 Pultarova, T. (2025) 'Starlink satellites: Facts, tracking and impact on astronomy'. Space.com. 19 December. www.space.com/spacex-starlink-satellites.html

994 Lemole, A. (2021) 'SpaceX launches first Starlink mission of 2021'. NASASpaceflight. 20 January. www.nasaspaceflight.com/202101//spacex-launch-first-starlink-mission-2021/

995 Starlink (n.d.) 'Starlink network update'. www.starlink.com/updates/network-update?srsltid=AfmBOooTO_KYW71tp_xUtr7cNMK0vq7s-Q16jyiZ11LijlaIvbXAbqs5 (retrieved 5 February 2026)

996 Eutelsat (n.d.) 'Eutelsat'. www.eutelsat.com/ (retrieved 5 February 2026))

997 Farrar, T. (2025) 'Satellite direct-to-device: A supplement for terrestrial cell coverage'. Telecom, Media and Finance Associates. October. www.wia.org/satellite-d2d-and-terrestrial/

998 MediaTek (2025) 'ESA, MediaTek, Eutelsat, Airbus, Sharp, ITRI, and R&S announce world's first Rel-19 5G-advanced NR-NTN connection over OneWeb LEO satellites'. 3 November. www.mediatek.com/press-room/esa-mediatek-eutelsat-airbus-sharp-itri-and-rs-announce-worlds-first-rel-195-g-advanced-nr-ntn-connection-over-oneweb-leo-satellites

999 European Space Agency (2024) 'Space for 5G/6G partners with GSMA for funding opportunities and launch of connectivity initiatives'. 26 February. https://connectivity.esa.int/eventsnewsevergreenpages/space-5g6g

1000 One data and analysis (n.d.) 'The Trillions Tracker'. https://data.one.org/trillionstracker/ (retrieved 18 December 2024)

1001 World Bank Group (2024) 'Developing Countries Paid Record $1.4 Trillion on Foreign Debt in 2023'. Press Release. 3 December. www.worldbank.org/en/news/press-release/202403/12//developing-countries-paid-record-14--trillion-on-foreign-debt-in-2023

1002 United Nations Climate Change (n.d.) 'The Paris Agreement'. www.unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement (retrieved 6 February 2026)

1003 United Nations (n.d.) 'The 17 Goals'. https://sdgs.un.org/goals (retrieved 6 February 2026)

1004 Lee, N. and Matthews, S. (2024) 'How Multilateral Development Banks Measure their Institutional Success'. Centre for Global Development. 1 February. www.cgdev.org/blog/how-multilateral-development-banks-measure-their-institutional-success.

1005 Hongkong and Shanghai Banking Corporation (n.d.) 'Building the future together: Tackling Climate Change'. https://www.assetmanagement.hsbc.bm/en/institutional-investor/capabilities/esg-and-ri-strategies/global-equity-climate-change (retrieved 6 February 2026)

1006 'Schroder ISF* Global Climate Change Equity' https://www.schroders.com/en-sg/sg/individual/funds-and-strategies/thematics/global-climate-change-equity/

1007 BlackRock (n.d.) 'BGF Emerging Markets Sustainable Equity Fund'. https://www.blackrock.com/ae/intermediaries/products/319260/blackrock-emerging-markets-sustainable-equity-fund (retrieved 6 February 2026)

1008 Allianz (n.d.) 'Allianz Emerging Markets Equity SRI'. https://lu.allianzgi.com/en-lu/pro/our-funds/funds/list/allianz-emerging-markets-equity-sri-p-eur (retrieved 6 February 2026)

1009 Al Mulla Lawyer & Legal Consultants (2025) 'DIFC Collective Investment Law' https://legalconsultantuae.ae/blog/collective-invest-law-difc/

1010 United Nations (n.d.) 'Goal 2: Zero hunger'. www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/ (retrieved 11 February 2026)

1011 World Health Organization and United Nations Children's Fund (2025) 'Fast facts: 1 in 4 people globally still lack access to safe drinking water - WHO, UNICEF'. 25 August. www.unicef.org/press-releases/fast-facts-14--people-globally-still-lack-access-safe-drinking-water-who-unicef

1012 International Energy Agency. (n.d.). 655 million people still living without electricity underscore urgent need to deliver on universal energy access target. IEA. www.iea.org/news/655-million-people-still-living-without-electricity-underscore-urgent-need-to-deliver-on-universal-energy-access-target (11 July 2026)

1013 Ramones, S., Thomas, S. and Corichi, M. (2025) '5 facts about global fertility trends'. Pew Research Center. 15 August. www.pewresearch.org/short-reads/2025/08/15/5-facts-about-global-fertility-trends/

1014 Population Division of the United Nations Department of Economic and Social Affairs (2024) 'World population prospects 2024: Ten key messages'. July. www.un.org/development/desa/pd/world-population-prospects-2024

1015 MELiSSA Foundation (n.d.) 'MELiSSA space research program'. www.melissafoundation.org/page/melissa-project (retrieved 11 February 2026)

1016 Lonsdale, J. and Downs, J. (2025) 'Living off grid is not a dream, it's a nightmare'. British Broadcasting Corporation (BBC). 9 December. www.bbc.com/news/articles/cvgd9l8wxjpo

1017 Lonsdale, J. and Downs, J. (2025) 'Living off grid is not a dream, it's a nightmare'. British Broadcasting Corporation (BBC). 9 December. www.bbc.com/news/articles/cvgd9l8wxjpo.

1018 Shuvo, I. et al. (2025) 'High-efficiency atmospheric water harvesting enabled by ultrasonic extraction'. Nature Communications, 16. 18 November. www.doi.org/10.1038/s41467-025-65586-2

1019 Kearns, F. (2025) 'The future of atmospheric water harvesting'. Arizona State University Julie Ann Wrigley Global Futures Laboratory. 4 March. https://azwaterinnovation.asu.edu/future-atmospheric-water-harvesting

1020 Shuvo, I. et al. (2025) 'High-efficiency atmospheric water harvesting enabled by ultrasonic extraction'. Nature Communications, 16. 18 November. www.doi.org/10.1038/s41467-025-2-65586

1021 World Economic Forum and Imperial College London (2025) 'Water-BOOST: Enabling innovation for future-ready cities'. October. www.weforum.org/publications/water-boost-enabling-innovation-for-future-ready-cities/

1022 World Economic Forum and Imperial College London (2025) 'Water-BOOST: Enabling innovation for future-ready cities'. October. www.weforum.org/publications/water-boost-enabling-innovation-for-future-ready-cities/

1023 Jiang, G. (2025) 'Vertical farming - no longer a futuristic concept'. U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service. 10 January. www.ars.usda.gov/oc/utm/vertical-farming-no-longer-a-futuristic-concept/

1024 Jiang, G. (2025) 'Vertical farming - no longer a futuristic concept'. U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service. 10 January. www.ars.usda.gov/oc/utm/vertical-farming-no-longer-a-futuristic-concept/

1025 Lindemulder, G. and Kosinski, M. (n.d.) 'What is interoperability?'. International Business Machines (IBM). www.ibm.com/think/topics/interoperability (retrieved 11 February 2026)

1026 Cano-Benito, J., Cimmino, A. and García-Castro, R. (n.d.) 'Towards quantitative measures of interoperability'. www.semantic.internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/2024/08/Towards-quantitative-measures-of-interoperability.pdf (retrieved 11 February 2026)

1027 McKinsey & Company (2025) 'What is SaaS?'. January. www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-saas

1028 e-Estonia (n.d.) 'X-road - Interoperability services'. www.e-estonia.com/solutions/interoperability-services/x-road/ (retrieved 11 February 2026)

1029 European Commission Directorate-General for Migration and Home Affairs (2025) 'Interoperability'. 13 October. https://home-affairs.ec.europa.eu/policies/schengen/interoperability_en

1030 The Office of the National Coordinator for Health Information Technology (n.d.) 'What is HL7 FHIR?'. www.healthit.gov/sites/default/files/page/2021-04/What%20Is%20FHIR%20Fact%20Sheet.pdf (retrieved 11 February 2026)

1031 ISO 20022 Registration Authority (n.d.) 'ISO 20022'. www.iso20022.org (retrieved 11 February 2026)

1032 IHealth Level Seven International (n.d.) 'About HL7'. www.hl7.org/about/index.cfm?ref=common (retrieved 11 February 2026)

1033 Gazzarata, R. et al. (2024) 'HL7 Fast Healthcare Interoperability Resources (HL7 FHIR) in digital healthcare ecosystems for chronic disease management: Scoping review'. International Journal of Medical Informatics, 189. 4 June. www.doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2024.105507

1034 Assistant Secretary for Technology Policy (n.d.) 'United States Core Data for Interoperability (USCDI)'. https://isp.healthit.gov/united-states-core-data-interoperability-uscdi (retrieved 11 February 2026)

1035 Financial Stability Board (2024) ‘Recommendations to promote alignment and interoperability across data frameworks related to cross-border payments: Final report’. 12 December. www.fsb.org/202412//recommendations-to-promote-alignment-and-interoperability-across-data-frameworks-related-to-cross-border-payments-final-report/.

1036 Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication (SWIFT) (2025) ‘ISO 20022: A new era for global payments’. 25 November. www.swift.com/news-events/news/iso-20022-new-era-global-payments

1037 Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication (SWIFT) (2025) ‘ISO 20022: A new era for global payments’. 25 November. www.swift.com/news-events/news/iso-20022-new-era-global-payments

1038 GovTech Intelligence Hub (2025) ‘Smarter data exchange: How X-Road became a model for digital public infrastructure’. 18 June. www.govtechintelhub.org/case-study-details/smarter-data-exchange:-how-x-road-became-a-model-for-digital-public-infrastructure/aJYTG0000000o014AA

1039 Nordic Institute for Interoperability Solutions (2021) ‘Estonia and Finland launch automated data exchange between population registers’. 8 January. www.x-road.global/xroad-case-studies-library/tag/Finland

1040 Nordic Institute for Interoperability Solutions (2021) ‘Estonia and Finland launch automated data exchange between population registers’. 8 January. www.x-road.global/xroad-case-studies-library/tag/Finland

1041 Feng-Ji, S. (2025) ‘Navigating the digital frontier: Singapore’s strategy for data interoperability and AI in government’. Ministry of Digital Development and Information. 22 May. https://thedocs.worldbank.org/en/doc/033a79cc8233622769bc381d16c661b7-0090012025/original/03-Feng-Ji-Sim-World-Bank-Event-Plenary-Session.pdf

1042 International Financial Reporting Standards (IFRS) Foundation (n.d.) ‘International Sustainability Standards Board’. www.ifrs.org/groups/international-sustainability-standards-board/ (retrieved 11 February 2026)

1043 Global CBPR Forum (n.d.) ‘Global cross-border privacy rules (CBPR) framework (2023)’. www.globalcbpr.org/wp-content/uploads/Global-CBPR-Framework-2023.pdf (retrieved 11 February 2026)

1044 Surapaneni, R., Jha, M., Vakoc, M. and Segal, T. (2025) ‘Announcing the Agent2Agent Protocol (A2A)’. Google. 9 April. https://developers.googleblog.com/en/a2a-a-new-era-of-agent-interoperability/.

1045 OpenAI (2025) ‘OpenAI co-founds the Agentic AI Foundation under the Linux Foundation’. 9 December. www.openai.com/index/agentic-ai-foundation/.

1046 Salesforce (2025) ‘Agents unleashed: Interoperability to power a $6 trillion economy’. 30 June. www.salesforce.com/news/stories/agentic-interoperability-powers-ai-agent-market/

1047 Mohsini, M. and Lopez, A. (2025) ‘Community data is trusted evidence’. Stanford University. 24 November. www.ssir.org/articles/entry/community-data-trusted-evidence

1048 Bloodgood, E. (2025) ‘Data aggregation: An overview of opportunities and obstacles from the national to the global’. 133146-. www.doi.org/10.100712_7-67896-031-3-978/.

1049 Vrkić, E. (2025) ‘The business case for disability inclusion: Why we cannot afford to wait’. United Nations Development Programme (UNDP). 3 December. www.undp.org/malaysia/blog/business-case-disability-inclusion-why-we-cannot-afford-wait

1050 United Nations Women (2025) ‘Gender equality in 2025: Gains, gaps, and the USD 342 trillion choice’. 15 September. www.unwomen.org/en/articles/explainer/gender-equality-in-2025-gains-gaps-and-the-342t-choice

1051 United Nations Women (2025) ‘Gender equality in 2025: Gains, gaps, and the USD 342 trillion choice’. 15 September. www.unwomen.org/en/articles/explainer/gender-equality-in-2025-gains-gaps-and-the-342t-choice.

1052 Bloodgood, E. (2025) ‘Data aggregation: An overview of opportunities and obstacles from the national to the global’. 133-146. www.doi.org/10.1007/978-3-031-67896-7_12

1053 Organisation for Economic Co-operation and Development (2025) ‘Governing with artificial intelligence: The state of play and way forward in core government functions’. www.doi.org/10.1787/795de142-en

1054 Dubey, A. (2025) ‘How AI can enhance digital inclusion and fight inequality’. World Economic Forum. 4 June. www.weforum.org/stories/2025/06/digital-inclusion-ai/

1055 Green, A. et al. (2025) ‘Digital twins: Boosting ROI of government infrastructure investments’. McKinsey & Company. July. www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/digital-twins-boosting-roi-of-government-infrastructure-investments

1056 Organisation for Economic Co-operation and Development (2025) ‘Governing with artificial intelligence: The state of play and way forward in core government functions’. www.doi.org/10.1787/795de142-en

1057 Green, A. et al. (2025) ‘Digital twins: Boosting ROI of government infrastructure investments’. McKinsey & Company. July. www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/digital-twins-boosting-roi-of-government-infrastructure-investments

1058 Green, A. et al. (2025) 'Digital twins: Boosting ROI of government infrastructure investments'. McKinsey & Company. July. www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/digital-twins-boosting-roi-of-government-infrastructure-investments

1059 Digital Dubai Authority (2025) 'Dubai's state of AI report: The public sector version'. www.digitaldubai.ae/docs/default-source/publications/dubai-state-of-ai-report.pdf?sfvrsn=a486e23f_5

1060 Jackley, M. (2024) 'Using AI in local government: 10 use cases'. Oracle. 7 August. www.oracle.com/ae/artificial-intelligence/ai-local-government/

1061 Persons, T., Russo, K. and Sethi, B. (2025) 'AI works for governments: A digital sprinters report'. PricewaterhouseCoopers (PwC). October. www.pwc.com/gx/en/services/alliances/google/ai-for-gov-digital-sprinters.html

1062 Persons, T., Russo, K. and Sethi, B. (2025) 'AI works for governments: A digital sprinters report'. PricewaterhouseCoopers (PwC). October. www.pwc.com/gx/en/services/alliances/google/ai-for-gov-digital-sprinters.html

1063 Organisation for Economic Co-operation and Development (2025) 'Governing with artificial intelligence: The state of play and way forward in core government functions'. www.doi.org/10.1787/795de142-en

1064 Ipsos (2025) 'The Ipsos AI monitor 2025'. June. www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2025-06/Ipsos-AI-Monitor-2025.pdf

1065 Ipsos (2025) 'The Ipsos AI monitor 2025'. June. www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/202506-/Ipsos-AI-Monitor-2025.pdf

1066 Ipsos (2024) 'The Ipsos AI monitor 2024'. June. www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2024-06/Ipsos-AI-Monitor-2024-final-APAC.pdf

1067 Gerner, M. (2020) 'Don't let groupthink hold you back'. Raconteur. 27 October. https://www.raconteur.net/growth-strategies/groupthink-decision-making

1068 Mueller-Saegebrecht, S. (2024) 'Business model innovation decisions: The role of group biases and risk willingness'. Management Decision, 62(13):69-108. www.doi.org/10.1108/MD-05-2023-0726

1069 Mueller-Saegebrecht, S. (2024) 'Business model innovation decisions: The role of group biases and risk willingness'. Management Decision, 62(13):69108-. www.doi.org/10.1108/MD-05-0726-2023

1070 Varsha, P. S. (2023) 'How can we manage biases in artificial intelligence systems - A systematic literature review'. International Journal of Information Management Data Insights, 3. www.doi.org/10.1016/j.jjimei.2023.100165

1071 Varsha, P. S. (2023) 'How can we manage biases in artificial intelligence systems - A systematic literature review'. International Journal of Information Management Data Insights, 3. www.doi.org/10.1016/j.jjimei.2023.100165

1072 Varsha, P. S. (2023) 'How can we manage biases in artificial intelligence systems - A systematic literature review'. International Journal of Information Management Data Insights, 3. www.doi.org/10.1016/j.jjimei.2023.100165

1073 Sonnenfeld, J. and Lipman, J. (2025) 'Grok and groupthink: Why AI is getting less reliable, not more'. TIME. 16 July. www.time.com/7302830/why-ai-is-getting-less-reliable/

1074 Varsha, P. S. (2023) 'How can we manage biases in artificial intelligence systems - A systematic literature review'. International Journal of Information Management Data Insights, 3. www.doi.org/10.1016/j.jjimei.2023.100165

1075 Wiss, A. et al. (2025) 'Utilizing generative AI to counter learner groupthink by introducing controversy in collaborative problem-based learning settings'. Montclair State University Scholarship & Creative Works, 29(3): 39-65. 1 September. https://digitalcommons.montclair.edu/allpubs/3/

1076 Wiss, A. et al. (2025) 'Utilizing generative AI to counter learner groupthink by introducing controversy in collaborative problem-based learning settings'. Montclair State University Scholarship & Creative Works, 29(3): 3965-. 1 September. https://digitalcommons.montclair.edu/allpubs/3/

1077 Wiss, A. et al. (2025) 'Utilizing generative AI to counter learner groupthink by introducing controversy in collaborative problem-based learning settings'. Montclair State University Scholarship & Creative Works, 29(3): 3965-. 1 September. https://digitalcommons.montclair.edu/allpubs/3/

1078 Wiss, A. et al. (2025) 'Utilizing generative AI to counter learner groupthink by introducing controversy in collaborative problem-based learning settings'. Montclair State University Scholarship & Creative Works, 29(3): 3965-. 1 September. https://digitalcommons.montclair.edu/allpubs/3/

1079 Nicoud, A. (2026) 'The trends that will shape AI and tech in 2026'. International Business Machines (IBM). 1 January. www.ibm.com/think/news/ai-tech-trends-predictions-2026

1080 MCP Market (n.d.) 'Patch file'. www.mcpmarket.com/server/patch-file (retrieved 12 February 2026)

1081 UN Trade & Development (UNCTAD) (2025). 'AI market projected to hit $4.8 trillion by 2033, emerging as dominant frontier technology'. 7 April. https://unctad.org/news/ai-market-projected-hit-48-trillion-2033-emerging-dominant-frontier-technology

1082 International Accounting Association Group (2024). '2025 Accounting Trends Shaping the Industry'. 29 November. www.inaa.org/2025-accounting-trends-shaping-the-industry/.

1083 IFRS Foundation (2025). 'IFRS Foundation publishes jurisdictional profiles providing transparency and evidencing progress towards adoption of ISSB Standards'. 12 June. www.ifrs.org/news-and-events/news/202506//ifrs-foundation-publishes-jurisdictional-profiles-issb-standards/.

1084 Li, J. and Kilincarslan, E. (2025). 'How to reshape the accounting profession to attract younger talent'. The London School of Economics and Political Science. 28 May. https://blogs.lse.ac.uk/businessreview/2025/05/28/how-to-reshape-the-accounting-profession-to-attract-younger-talent/

1085 Burke, J. A. and Polimeni, R. S. (2025). 'ICYMI | The Accounting Profession Is in Crisis'. The CPA Journal. August. www.cpajournal.com/202515/08//the-accounting-profession-is-in-crisis-3/

1086 Nasdaq (2024). 'Global Financial Crime Report'. www.nasdaq.com/global-financial-crime-report#download

1087 Nasdaq (2024). 'Global Financial Crime Report'. www.nasdaq.com/global-financial-crime-report#download

1088 Shah, B. et al. (2025). 'Global Financial and Economic Crime Outlook 2025'. Secretariat. 10 April. https://secretariat-intl.com/insights/global-financial-and-economic-crime-outlook-2025/

1089 Oxford Economics (2024). 'The True Cost of Compliance'. 24 July. www.oxfordeconomics.com/resource/the-true-cost-of-compliance/

1090 Wolters Kluwer (2025). 'Wolters Kluwer releases its 2025 Future Ready Accountant report, highlighting key trends in the global tax & accounting industry'. 8 October. www.wolterskluwer.com/en/news/wolters-kluwer-releases-its-2025-future-ready-accountant-report#:~:text=Advisory%20Services:%2093%25%20of%20firms,AI%20in%20improving%20client%20guidance

1091 Wolters Kluwer (2025). 'Wolters Kluwer releases its 2025 Future Ready Accountant report, highlighting key trends in the global tax & accounting industry'. 8 October. www.wolterskluwer.com/en/news/wolters-kluwer-releases-its-2025-future-ready-accountant-report#:~:text=Advisory%20Services:%2093%25%20of%20firms,AI%20in%20improving%20client%20guidance.

1092 Alessa (2025). 'How AI Is Improving AML Software in 2026'. 10 October. https://alessa.com/blog/how-ai-is-improving-aml-software-in-2026/

1093 Murray, S. (2025). 'AI Is Reshaping Accounting Jobs by Doing the "Boring" Stuff'. Stanford Business. 26 June. www.gsb.stanford.edu/insights/ai-reshaping-accounting-jobs-doing-boring-stuff

1094 Murray, S. (2025). 'AI Is Reshaping Accounting Jobs by Doing the "Boring" Stuff'. Stanford Business. 26 June. www.gsb.stanford.edu/insights/ai-reshaping-accounting-jobs-doing-boring-stuff

1095 Oxford Economics (2024). 'The True Cost of Compliance'. 24 July. www.oxfordeconomics.com/resource/the-true-cost-of-compliance/

1096 Shah, B. et al. (2025). 'Global Financial and Economic Crime Outlook 2025'. Secretariat. 10 April. https://secretariat-intl.com/insights/global-financial-and-economic-crime-outlook-2025/

1097 Barker, R. (2025). 'Corporate sustainability reporting'. Journal of Accounting and Public Policy 49(2025). 3 January. www.doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2024.107280

1098 Alshi, CA S. (2025). 'Artificial Intelligence, ESG, And the Future of Financial Reporting'. Journal of Marketing & Social Research 2(5): 442446-. 28 July. www.doi.org/10.61336/jmsr/2549-05-

1099 Youssef, W. A. B., Bouebdallah, N. and El Bouhali, M. (2025). 'Blockchain technology adoption intention among the Big Four audit firms'. The British Accounting Review. 23 June. www.doi.org/10.1016/j.bar.2025.101692

1100 Association of Chartered Certified Accountants (n.d.). 'Blockchain: is it still the great accountancy disruptor?'. www.accaglobal.com/middle-east/en/student/sa/features/blockchain.html (retrieved 13 February 2026)

1101 Youssef, W. A. B., Bouebdallah, N. and El Bouhali, M. (2025). 'Blockchain technology adoption intention among the Big Four audit firms'. The British Accounting Review. 23 June. www.doi.org/10.1016/j.bar.2025.101692

1102 Broitman, A., Hunter, E. and Schmidt, J. (2021) 'Digitally native brands: Born digital, but ready to take on the world' McKinsey & Company. 27 October. www.mckinsey.com/industries/private-capital/our-insights/digitally-native-brands-born-digital-but-ready-to-take-on-the-world

1103 Broitman, A., Hunter, E. and Schmidt, J. (2021) 'Digitally native brands: Born digital, but ready to take on the world' McKinsey & Company. 27 October. www.mckinsey.com/industries/private-capital/our-insights/digitally-native-brands-born-digital-but-ready-to-take-on-the-world

1104 Kemp, S. (2025) 'Digital 2026: Global overview report'. DataReportal. 15 October. https://datareportal.com/reports/digital-2026-global-overview-report

1105 International Labour Organization. (2025). Exploring the gig economy: Challenges and opportunities: A self-guided resource. www.ilo.org/sites/default/files/2025-06/ILO%20-%20Mini%20Guide_%28Digital%29_13jun.pdf

1106 International Labour Organization. (2025). Exploring the gig economy: Challenges and opportunities: A self-guided resource. www.ilo.org/sites/default/files/2025-06/ILO%20-%20Mini%20Guide_%28Digital%29_13jun.pdf

1107 Broitman, A., Hunter, E. amd Schmidt, J. (2021) 'Digitally native brands: Born digital, but ready to take on the world' McKinsey & Company. 27 October. www.mckinsey.com/industries/private-capital/our-insights/digitally-native-brands-born-digital-but-ready-to-take-on-the-world

1108 Yasmeen, R. (2025) 'Digital Native Brands: The next frontier of CPG disruption'. Euromonitor. 25 February. https://go.euromonitor.com/rs/805-KOK-719/images/Euromonitor_E-Commerce_Digital%20Native%20Brands_Website.pdf?version=0

1109 Institutional Real Estate Inc. (2024) 'Retail stores helping power 'digitally native brands''. 1 February. www.irei.com/publications/article/retail-stores-helping-power-digitally-native-brands/

1110 Simmons, J. and Djaad, L. (2019) 'How Digitally Native Brands in Cosmetics Drive Growth Through Social Media'. L.E.K. Insights. 28 June. www.lek.com/sites/default/files/insights/pdf-attachments/2142_Digitally-Native-Brands.pdf

1111 Simmons, J. and Djaad, L. (2019) 'How Digitally Native Brands in Cosmetics Drive Growth Through Social Media'. L.E.K. Insights. 28 June. www.lek.com/sites/default/files/insights/pdf-attachments/2142_Digitally-Native-Brands.pdf

1112 Shalabi, C. (2024) 'Digitally native vertical brands: What they are and how they benefit retailers'. EMARKETER. 04 September. www.emarketer.com/learningcenter/guides/dnvb-explained/

1113 McLinden, S. (2025). 'Where Do Digitally Native Brands Stand Among Tenants Competing for Space?'. ICSC. 03 February. www.icsc.com/news-and-views/icsc-exchange/where-do-digitally-native-brands-stand-among-tenants-competing-for-space

1114 McLinden, S. (2025). 'Where Do Digitally Native Brands Stand Among Tenants Competing for Space?'. ICSC. 03 February. www.icsc.com/news-and-views/icsc-exchange/where-do-digitally-native-brands-stand-among-tenants-competing-for-space

1115 Jacquard, A. (2025) 'The gig economy is booming, but is it fair work? And other trends in jobs and skills this month'. World Economic Forum. 4 June. www.weforum.org/stories/202506//the-gig-economy-ilo-labour-platforms/

1116 Jacquard, A. (2025) 'The gig economy is booming, but is it fair work? And other trends in jobs and skills this month'. World Economic Forum. 4 June. www.weforum.org/stories/202506//the-gig-economy-ilo-labour-platforms/

1117 Neo, G.H. (2025) 'Why entrepreneurship is key in shaping tomorrow's world'. 24 June. World Economic Forum. www.weforum.org/stories/202506//annual-meeting-new-champions-entrepreneurship/

1118 World Economic Forum (2026) 'Global Risks Report 2026'. 14 January. www.weforum.org/publications/global-risks-report-2026/digest/

1119 Global Entrepreneurship Monitor (2025) 'GEM 20242025/ Global Report: Entrepreneurship Reality Check'. 17 February. www.gemconsortium.org/report/gem-20242025-global-report-entrepreneurship-reality-check-4

1120 Global Entrepreneurship Monitor (2025) 'GEM 20242025/ Global Report: Entrepreneurship Reality Check'. 17 February. www.gemconsortium.org/report/gem-20242025-global-report-entrepreneurship-reality-check-4

1121 United Nations News (2023) 'Chronic diseases taking 'immense and increasing toll on lives', warns WHO'. 19 May. https://news.un.org/en/story/20231136832/05/.

1122 Goh, C.X.Y. and Ho, F.C.H. (2023) 'The Growing Problem of Radiologist Shortages: Perspectives From Singapore'. Korean Journal of Radiology 24(12):11761178-, 21 November. www.doi.org/10.3348/kjr.2023.0966

1123 Parikh, J.R. et al. (2024) 'Prevalence of Burnout of Radiologists in Private Practice'. Journal of the American College of Radiology 20(7):712718-, 9 March. www.doi.org/10.1016/j.jacr.2023.01.007

1124 Achour, N. et al. (2025) 'The role of AI in mitigating the impact of radiologist shortages: a systematised review'. Health and technology 15(3): 489501-, 25 April. www.doi.org/10.1007/s1255300970-025--y

1125 Achour, N. et al. (2025) 'The role of AI in mitigating the impact of radiologist shortages: a systematised review'. Health and technology 15(3): 489501-, 25 April. www.doi.org/10.1007/s1255300970-025--y

1126 Achour, N. et al. (2025) 'The role of AI in mitigating the impact of radiologist shortages: a systematised review'. Health and technology 15(3): 489501-, 25 April. www.doi.org/10.1007/s1255300970-025--y.

1127 He, W. et al. (2024). ‘Radiogenomics: bridging the gap between imaging and genomics for precision oncology’. MedComm 5(9). 9 September. www.doi.org/10.1002/mco2.722

1128 He, W. et al. (2024). ‘Radiogenomics: bridging the gap between imaging and genomics for precision oncology’. MedComm 5(9). 9 September. www.doi.org/10.1002/mco2.722

1129 He, W. et al. (2024). ‘Radiogenomics: bridging the gap between imaging and genomics for precision oncology’. MedComm 5(9). 9 September. www.doi.org/10.1002/mco2.722

1130 He, W. et al. (2024). ‘Radiogenomics: bridging the gap between imaging and genomics for precision oncology’. MedComm 5(9). 9 September. www.doi.org/10.1002/mco2.722

1131 Nensa, F. (2025). ‘The future of radiology: The path towards multimodal AI and superdiagnostics’. European Journal of Radiology Artificial Intelligence 2(2025). 12 March. www.doi.org/10.1016/j.ejrai.2025.100014

1132 Nensa, F. (2025). ‘The future of radiology: The path towards multimodal AI and superdiagnostics’. European Journal of Radiology Artificial Intelligence 2(2025). 12 March. www.doi.org/10.1016/j.ejrai.2025.100014

1133 Antonopoulos, L. (2025). ‘The Future of Radiology: AI's Transformative Role in Medical Imaging’. Radiological Society of North America. 22 January. https://www.rsna.org/news/2025/january/role-of-ai-in-medical-imaging

1134 Nensa, F. (2025). ‘The future of radiology: The path towards multimodal AI and superdiagnostics’. European Journal of Radiology Artificial Intelligence 2(2025). 12 March. www.doi.org/10.1016/j.ejrai.2025.100014

1135 Nensa, F. (2025). ‘The future of radiology: The path towards multimodal AI and superdiagnostics’. European Journal of Radiology Artificial Intelligence 2(2025). 12 March. www.doi.org/10.1016/j.ejrai.2025.100014

1136 Antonopoulos, L. (2025). ‘The Future of Radiology: AI's Transformative Role in Medical Imaging’. Radiological Society of North America. 22 January. https://www.rsna.org/news/2025/january/role-of-ai-in-medical-imaging

1137 International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2025). ‘Arctic seals threatened by climate change, birds decline globally – IUCN Red List’. 10 October. www.iucn.org/press-release/202510/arctic-seals-threatened-climate-change-birds-decline-globally-iucn-red-list

1138 Dubai Future Foundation (2024) ‘Future Opportunities Report – The Global 50’. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/202403//The-Global-502024--Eng.pdf

1139 European Union (2026) 'Ireland'. 9 May. https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/eu-countries/ireland_en (retrieved 24 April 2026)

1140 World Wildlife Fund (n.d.) ‘Deforestation and forest degradation’. www.worldwildlife.org/our-work/forests/deforestation-and-forest-degradation/ (retrieved 13 February 2026)

1141 Planetary Boundaries Science (2025). ‘Planetary Health Check 2025: A Scientific Assessment of the State of the Planet’. www.planetaryhealthcheck.org/wp-content/uploads/PlanetaryHealthCheck2025_ExecutiveSummary.pdf

1142 The Green Planet (n.d.) ‘Conservation’. www.thegreenplanetdubai.com/en/conservation-and-research (retrieved 13 February 2026)

1143 Space for Life (n.d.) ‘Space for Life Montreal’. www.espacepourlavie.ca/en (retrieved 13 February 2026)

1144 Eden Project (n.d.) ‘Rainforest Biome’. www.edenproject.com/visit/things-to-do/rainforest-biome (retrieved 13 February 2026).

1145 Gardens by the Bay (n.d.) ‘Cloud Forest’. www.gardensbythebay.com.sg/en/things-to-do/attractions/cloud-forest.html (retrieved 13 February 2026).

1146 Nemo’s Garden (n.d.) ‘The world’s first underwater cultivation of terrestrial plants’. www.nemosgarden.com (retrieved 13 February 2026)

1147 National Geographic (2025). ‘The Five Major Types of Biomes’. 7 May. https://education.nationalgeographic.org/resource/five-major-types-biomes/

1148 Siemens (2022) ‘Siemens enables underwater farming revolution with digital twin solutions’. 7 April. https://news.siemens.com/en-us/siemens-xcelerator-nemos-garden-sustainability/

1149 Siemens (2022) ‘Siemens enables underwater farming revolution with digital twin solutions’. 7 April. https://news.siemens.com/en-us/siemens-xcelerator-nemos-garden-sustainability/

1150 Siemens (2022) ‘Siemens enables underwater farming revolution with digital twin solutions’. 7 April. https://news.siemens.com/en-us/siemens-xcelerator-nemos-garden-sustainability/

1151 Siemens (2022) ‘Siemens enables underwater farming revolution with digital twin solutions’. 7 April. https://news.siemens.com/en-us/siemens-xcelerator-nemos-garden-sustainability/

1152 Richardson, H. (2025). ‘The Rise of Digital Twins in Ecology’. Nature, 16 October. https://media.nature.com/original/magazine-assets/d4158603314-025--y/d4158603314-025--y.pdf.

1153 PricewaterhouseCoopers (n.d.) ‘How digital twins can make smart cities better’. www.pwc.com/m1/en/publications/documents/how-digital-twins-can-make-smart-cities-better.pdf (retrieved 13 February 2026)

1154 Richardson, H. (2025). 'The Rise of Digital Twins in Ecology'. Nature, 16 October. https://media.nature.com/original/magazine-assets/d4158603314-025--y/d4158603314-025--y.pdf

1155 Richardson, H. (2025). 'The Rise of Digital Twins in Ecology'. Nature, 16 October. https://media.nature.com/original/magazine-assets/d4158603314-025--y/d4158603314-025--y.pdf.

1156 Durden J.M. (2025) 'Environmental management using a digital twin'. Environmental Science & Policy 164, 5 February. www.doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104018

1157 van Meerten, J. and Smith, K. (2025) 'The Impact of Digital Twin Technology on the Policy Lifecycle in Government Agencies and the Role of Value-Sensitive Design in Guiding its Ethical Development.' In Proceedings of the 2024 8th International Conference on Software and e-Business (ICSeB '24), 29 March. www.doi.org/10.11453715885.3715891/

1158 Shephard, J. (n.d.) 'Digital twins and public policy'. Fujitsu. www.fujitsu.com/uk/imagesgig5/digital-twins-and-public-policy.pdf (retrieved 13 February 2026)

1159 Durden J.M. (2025) 'Environmental management using a digital twin'. Environmental Science & Policy 164, 5 February. www.doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104018

1160 Dubai Future Foundation (2024). 'Opportunity 27 What if mobile edge computing (MEC) made data centres obsolete?'. www.dubaifuture.ae/wp-content/uploads/202427/03/-Opportunity-Global-502024-.pdf

1161 Sinha, S. (2025). 'State of IoT 2025: Number of connected IoT devices growing 14% to 21.1 billion globally'. IoT Analytics. 28 October. www.iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/

1162 Fisher, T. (n.d.) 'Data residency: What is it and why is it important?'. International Business Machines. www.ibm.com/think/insights/data-residency-why-is-it-important (retrieved 13 February 2026)

1163 Alex, A. (2025) 'Network Latency in Cloud Computing Data Centers: Challenges and Innovations'. European Journal of Computer Science and Information Technology, 13(12):106-115, 3 May. www.doi.org/10.37745/ejcsit.2013/vol13n12106115

1164 Exoscale (2025) 'CLOUD Act vs. GDPR: The Conflict About Data Access Explained'. 21 October www.exoscale.com/blog/cloudact-vs-gdpr/

1165 Yee, L., Chui, M., Roberts, R. and Smit, S. (2025). 'Technology Trends Outlook 2025'. McKinsey & Company. July. www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-top-trends-in-tech

1166 Yee, L., Chui, M., Roberts, R. and Smit, S. (2025). 'Technology Trends Outlook 2025'. McKinsey & Company. July. www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-top-trends-in-tech

1167 Yee, L., Chui, M., Roberts, R. and Smit, S. (2025). 'Technology Trends Outlook 2025'. McKinsey & Company. July. www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-top-trends-in-tech

1168 Ericsson (n.d.) 'Exploring the edge: a must for 5G success'. www.ericsson.com/en/edge-computing. (retrieved 13 February 2026)

1169 Intel (n.d.) 'Real-World Impact of Mobile Edge Computing (MEC)'. www.builders.intel.com/docs/networkbuilders/Real-world-impact-of-mobile-edge-computing-MEC.pdf (retrieved 13 February 2026)

1170 Rekoputra, N.M. et al. (2023) 'Implementation and Evaluation of 5G MEC-Enabled Smart Factory'. Electronics 12(6):1310, 9 March. www.doi.org/10.3390/electronics12061310

1171 Alleven, M. (2024) 'Verizon breathes new life into MEC with Nvidia AI deal. Woot!?'. Fierce Network. 18 December. www.fierce-network.com/wireless/verizon-breathes-new-life-mec-nvidia-ai-deal-woot

1172 Webb, W. (2025) 'Why Edge Computing and 6G Intelligence Will Continue to Be 'Aspirations'. EE Times. 19 March. www.eetimes.com/why-edge-computing-and-6g-intelligence-will-continue-to-be-aspirations/

1173 International Business Machines (n.d.) 'What is Multi-Access Edge Computing?'. www.ibm.com/think/topics/multi-access-edge-computing (retrieved 13 February 2026)

1174 Gandham, R. (2024) 'Innovation at the Edge: 8 Megatrends Influencing the Future of Private Multi-Access Edge Computing (MEC)'. Frost & Sullivan. 29 November. www.frost.com/growth-opportunity-news/information-communications-technology/iot-edge/innovation-at-the-edge-8-megatrends-influencing-the-future-of-private-multi-access-edge-computing-mec-topsi-cim-rg/

1175 Singh, R. and Gill, S.S. (2023) 'Edge AI: A survey'. Internet of Things and Cyber-Physical Systems 3:7192-, 3 March. www.doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.02.004

1176 Singh, R. and Gill, S.S. (2023) 'Edge AI: A survey'. Internet of Things and Cyber-Physical Systems 3:7192-, 3 March. www.doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.02.004

1177 International Business Machines (n.d.) 'Master the data. Master the market.' www.ibm.com/case-studies/hsbc-usa (retrieved 13 February 2026)

1178 Reinsel, D., Gantz, J. and Rydning, J. (2017) 'Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical'. IDC White Paper, April. www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/Seagate-WP-DataAge2025-March-2017.pdf

1179 Reinsel, D., Gantz, J. and Rydning, J. (2017) 'Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical'. IDC White Paper, April. www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/Seagate-WP-DataAge2025-March-2017.pdf

1180 Susnjara, S. and Smalley, I. (n.d.) 'What is data storage?'. International Business Machines. www.ibm.com/think/topics/data-storage (retrieved 13 February 2026)

1181 Arcserve (2024) 'Data Storage Lifespans: How Long Will Media Really Last?'. 16 July. www.arcserve.com/blog/data-storage-lifespans-how-long-will-media-really-last

1182 National Geographic (2025) 'DNA could revolutionize how we store our data'. 21 August. www.nationalgeographic.com/science/article/dna-data-storage-biotechnology

1183 DNA Data Storage Alliance (n.d.) 'FAQ'. www.dnastoragealliance.org/about-us/faq/ (retrieved 13 February 2026)

1184 Storage Networking Industry Association (n.d.) 'SNIA' www.snia.org (retrieved 13 February 2026)

1185 Storage Networking Industry Association (2025) 'DNA Data Storage Technology Review'. 30 June. www.snia.org/sites/default/files/DNA/SNIA-DNA-Data-Storage-Technology-Review-v1.0.pdf

1186 Storage Networking Industry Association (2025) 'DNA Data Storage Technology Review'. 30 June. www.snia.org/sites/default/files/DNA/SNIA-DNA-Data-Storage-Technology-Review-v1.0.pdf

1187 Storage Networking Industry Association (2025) 'DNA Data Storage Technology Review'. 30 June. www.snia.org/sites/default/files/DNA/SNIA-DNA-Data-Storage-Technology-Review-v1.0.pdf

1188 Wyss Institute (n.d.) 'DNA Data Storage'. www.wyss.harvard.edu/technology/dna-data-storage/ (retrieved 13 February 2026)

1189 Huang. X. et al. (2024) 'Storage-D: A user-friendly platform that enables practical and personalized DNA data storage'. iMeta 3(2), 21 January. www.doi.org/10.1002/imt2.168

1190 Huang. X. et al. (2024) 'Storage-D: A user-friendly platform that enables practical and personalized DNA data storage'. iMeta 3(2), 21 January. www.doi.org/10.1002/imt2.168

1191 Office of the Director of National Intelligence (n.d.) 'MIST: Molecular Information Storage'. www.iarpa.gov/research-programs/mist (retrieved 13 February 2026)

1192 Church, G. and Ingber, D. (n.d.) 'DNA data storage'. Wyss Institute. https://wyss.harvard.edu/technology/dna-data-storage/

1193 Storage Networking Industry Association (2025) 'DNA Data Storage Technology Review'. 30 June. www.snia.org/sites/default/files/DNA/SNIA-DNA-Data-Storage-Technology-Review-v1.0.pdf

1194 Storage Networking Industry Association (2025) 'DNA Data Storage Technology Review'. 30 June. www.snia.org/sites/default/files/DNA/SNIA-DNA-Data-Storage-Technology-Review-v1.0.pdf

1195 Storage Networking Industry Association (2025) 'DNA Data Storage Technology Review'. 30 June. www.snia.org/sites/default/files/DNA/SNIA-DNA-Data-Storage-Technology-Review-v1.0.pdf

1196 European Parliament (2023) 'New EU rules encouraging consumers to repair devices over replacing them'. 21 November. www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20231117IPR12211/new-eu-rules-encouraging-consumers-to-repair-devices-over-replacing-them

1197 Szabó, Á. (2025) 'Opening black boxes: A user-centered approach to repair household products'. Proceedings of the Nineteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction. www.doi.org/10.11453689050.3706005/

1198 United Nations (n.d.) 'Towards zero waste in fashion and textiles'. www.un.org/en/observances/zero-waste-day (retrieved 16 February 2026).

1199 Baldé, C.P. et al. (2024) 'The global e-waste monitor 2024'. International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). www.ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/

1200 European Space Agency (ESA) (2025) 'ESA Annual Space Environment Report' www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/ESA_Space_Environment_Report_2025

1201 Clare, M.A. et al. (2025) 'Environmental considerations for the decommissioning of subsea cables'. Journal of Environmental Management, 396. www.doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127962

1202 Morgan Stanley (2025) 'Humanoids: A $5 trillion market'. 14 May. www.morganstanley.com/insights/articles/humanoid-robot-market-5-trillion-by-2050.

1203 University of Bristol (2025) 'Robots should be repurposed rather than recycled to combat rising scale of e-waste, scientists warn'. EurekAlert! January 16. www.eurekalert.org/news-releases/1070730

1204 Fritschi, B (2022) 'Prepare to repair'. International Federation of Robotic (IFR). 20 April. https://ifr.org/post/prepare-to-repair

1205 Makin, S. (2024) 'Robot, repair thyself: Laying the foundations for self-healing machines'. Nature. www.doi.org/10.1038/d415865-00597-024-

1206 Farioli, S., Caliste, D., Federici, M. and Steffens, T. (2025) 'Rewiring maintenance with gen AI'. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/rewiring-maintenance-with-gen-ai

1207 Farioli, S., Caliste, D., Federici, M. and Steffens, T. (2025) 'Rewiring maintenance with gen AI'. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/rewiring-maintenance-with-gen-ai

1208 Farioli, S., Caliste, D., Federici, M. and Steffens, T. (2025) 'Rewiring maintenance with gen AI'. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/rewiring-maintenance-with-gen-ai

1209 Lee, T. (2025) 'Husker engineers advance work on intelligent, self-healing technology'. University of Nebraska. 29 May. https://news.unl.edu/article/husker-engineers-advance-work-on-intelligent-self-healing-technology

1210 Shah, A. (2025) 'The rise of self-healing robots'. The American Society of Mechanical Engineers (ASME). www.asme.org/topics-resources/content/the-rise-of-self-healing-robots

1211 IEEE Spectrum (n.d.) 'PR2. Robots Guide'. https://robotsguide.com/robots/pr2 (retrieved 16 February 2026)

1212 Roberts, J. (2023) 'Our future could be full of undying, self-repairing robots. Here's how'. The Conversation. 31 January. www.theconversation.com/our-future-could-be-full-of-undying-self-repairing-robots-heres-how-196664

1213 Wellbeing Economy Alliance (2024) 'Beyond GDP - Rethinking economic success for a sustainable future'. 23 September. www.weall.org/towards-a-sustainable-future-calls-for-wellbeing-metrics-to-address-climate-impacts

1214 Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2025) 'Cuts in official development assistance: OECD projections for 2025 and the near term'. 26 June. https://www.oecd.org/en/publications/202506//cuts-in-official-development-assistance_e161f0c5/full-report.html

1215 Dreher, A. (2025) 'When aid misses the target: Competing objectives, new classifications, and smarter delivery'. World Development, 196. www.doi.org/10.1016/j.worlddev.2025.107159

1216 Farias, D.B.L. (2022) 'Which countries are 'developing? Comparing how international organizations and treaties divide the world'. Political Geography Open Research, 1. www.doi.org/10.1016/j.jpgor.2022.100001

1217 Dreher, A. (2025) 'When aid misses the target: Competing objectives, new classifications, and smarter delivery'. World Development, 196. www.doi.org/10.1016/j.worlddev.2025.107159

1218 United Nations (n.d.) 'Frequently asked questions on graduation'. www.un.org/ldcportal/content/frequently-asked-questions-graduation (retrieved 16 February 2026)

1219 Dreher, A. (2025) 'When aid misses the target: Competing objectives, new classifications, and smarter delivery'. World Development, 196. www.doi.org/10.1016/j.worlddev.2025.107159

1220 Dreher, A. (2025) 'When aid misses the target: Competing objectives, new classifications, and smarter delivery'. World Development, 196. www.doi.org/10.1016/j.worlddev.2025.107159

1221 Rana, J. (2025) 'FTSE equity country classification process'. FTSE Russell (London Stock Exchange Group). October. www.lseg.com/content/dam/ftse-russell/en_us/documents/country-classification/ftse-equity-country-classification-paper.pdf

1222 Nikas, S. and Tugwell, P. (2025) 'Greek stocks win back developed-market status after decade away'. Bloomberg. October 8. www.bloomberg.com/news/articles/202508-10-/greek-stocks-win-back-developed-market-status-after-decade-away

1223 Rana, J. (2025) 'FTSE equity country classification process'. FTSE Russell (London Stock Exchange Group). October. www.lseg.com/content/dam/ftse-russell/en_us/documents/country-classification/ftse-equity-country-classification-paper.pdf

1224 Rana, J. (2025) 'FTSE equity country classification process'. FTSE Russell (London Stock Exchange Group). October. www.lseg.com/content/dam/ftse-russell/en_us/documents/country-classification/ftse-equity-country-classification-paper.pdf

1225 United Nations Trade and Development (UNCTAD) (2025) 'Beyond GDP: New data reveals persistent gaps but progress in inclusive growth'. 25 March. www.unctad.org/news/beyond-gdp-new-data-reveals-persistent-gaps-progress-inclusive-growth

1226 United Nations Trade and Development (UNCTAD) (2025) 'Beyond GDP: New data reveals persistent gaps but progress in inclusive growth'. 25 March. www.unctad.org/news/beyond-gdp-new-data-reveals-persistent-gaps-progress-inclusive-growth

1227 United Nations Trade and Development (UNCTAD) (2025) 'Beyond GDP: New data reveals persistent gaps but progress in inclusive growth'. 25 March. www.unctad.org/news/beyond-gdp-new-data-reveals-persistent-gaps-progress-inclusive-growth

1228 Metreau, E., Young, K. E. and Eapen, S.G. (2025) 'Understanding country income: World Bank Group income classifications for FY26'. World Bank Blogs. 01 July. https://blogs.worldbank.org/en/opendata/understanding-country-income--world-bank-group-income-classifica

1229 Khan, T., Abimbola, S., Kyobutungi, C. and Pai, M. (2022) 'How we classify countries and people - and why it matters'. BMJ Global Health, 7(6). www.gh.bmj.com/content/76//e009704

1230 Key, S. (2017) 'In today's market, do patents even matter?'. Forbes. 13 November. www.forbes.com/sites/stephenkey/2017/11/13/in-todays-market-do-patents-even-matter/

1231 Hilty, R. M. and Batista, P.H.D. (2023) 'Potential and limits of patent law to address climate change'. GRUR International, 72(9), 821839-. www.doi.org/10.1093/grurint/ikad066

1232 Hodgson, T. et al. (2021) 'Decolonising human rights: How intellectual property laws result in unequal access to the COVID-19 vaccine'. BMJ Global Health, 6(7). www.doi.org/10.1136/bmjgh-2021006169-

1233 World Intellectual Property Organization (WIPO) (2025) 'World intellectual property indicators 2025: Highlights - Patents highlights'. www.wipo.int/web-publications/world-intellectual-property-indicators-2025-highlights/en/patents-highlights.html

1234 World Intellectual Property Organization (WIPO) (2025) 'World intellectual property indicators 2025: Highlights - Patents highlights'. www.wipo.int/web-publications/world-intellectual-property-indicators-2025-highlights/en/patents-highlights.html

1235 World Intellectual Property Organization (WIPO) (2025) 'World intellectual property indicators 2025: Highlights - Patents highlights'. www.wipo.int/web-publications/world-intellectual-property-indicators-2025-highlights/en/patents-highlights.html

1236 World Intellectual Property Organization (WIPO) (2025) 'WIPO Pathfinders report: Exploring the futures of IP driven innovation and creativity'. www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4795

1237 World Intellectual Property Organization (WIPO) (2025) 'WIPO Pathfinders report: Exploring the futures of IP driven innovation and creativity'. www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4795

1238 World Intellectual Property Organization (WIPO) (2023) 'Intellectual property offices and sustainable innovation: Implementing the SDGs in national intellectual property systems'. www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4654&plang=EN

1239 World Intellectual Property Organization (WIPO) (2025) 'World intellectual property indicators 2025: Highlights - Patents highlights'. www.wipo.int/web-publications/world-intellectual-property-indicators-2025-highlights/en/patents-highlights.html

1240 World Intellectual Property Organization (WIPO) (n.d.) 'PATENTSCOPE: Search international and national patent collections'. https://patentscope.wipo.int/search/en/result.jsf?_vid=P10-MKKYST-55188

1241 Lenarczyk, G. and Aboy, M. (2025) 'OpenAI's patent pledge: A post-Moderna analysis'. Journal of Intellectual Property Law & Practice, 20(6), 392397-. www.doi.org/10.1093/jiplp/jpaf006

1242 Contreras, J.L. and Handley, L. (2025) 'Patent pledges as portfolio management tools: Benefits, obligations and enforcement'.www.dx.doi.org/10.2139/ssrn.4473807

1243 Lenarczyk, G. and Aboy, M. (2025) 'OpenAI's patent pledge: A post-Moderna analysis'. Journal of Intellectual Property Law & Practice, 20(6), 392397-. www.doi.org/10.1093/jiplp/jpaf006

1244 Contreras, J.L. (2024) 'Moderna's U.K. vaccine patent pledge cut short by boilerplate'. Harvard Law School. https://petrieflom.law.harvard.edu/202412/07//modernas-u-k-vaccine-patent-pledge-cut-short-by-boilerplate/

1245 Dubai Future Foundation (2025) 'Future Opportunities Report - The Global 50'. www.dubaifuture.ae/the-global-50

1246 United Nations Children's Fund (2023) 'Designing a Youth-centred Journey to the Future: a youth foresight playbook' www.unicef.org/innocenti/reports/designing-youth-centred-journey-future

1247 Duygan, M., Binder, C.R., Meylan, G. and Fischer, M. (2025) 'Carving the transformation pathways to sustainable futures: A novel analytical framework for backcasting in sustainability transitions'. Sustainable Futures, 9. www.doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100553

مؤسسة دبي للمستقبل
DUBAI FUTURE FOUNDATION

2026