رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

هيئة تنمية البحث والتطوير والابتكار
Research, Development & Innovation Authority

تقرير التقنيات الحديثة 2025

تقرير سنوي يصدر عن هيئة تنمية البحث والتطوير والابتكار

هيـــئة تنـــمية
البحـث والتطــوير
والابتــكار

The Research,
Development &
Innovation Authority

المحتـويات

01 المقـــــــــــدمة 06
02 منهجيـــة التقـــريـــر 08
03 النقلات التقنية المرصودة 16
04 الخاتمـــة 100

3.1 صحـــــــــة الإنســـــان

قصة نجاح سعودية في صحة الإنسان 20
3.1.1 اكتشاف الأدوية باستخدامـ الذكاء الاصطناعي 24
3.1.2 التعديل الجيني 26
3.1.3 الطب النفسي الدقيق 28
3.1.4 أجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز 30
3.1.5 الكشف المبكر عن السرطان 32
3.1.6 الأنظمة الروبوتية الجراحية 34
3.1.7 الحمض النووي الريبوزي الدائري 36

3.2 اســـتدامة البيـــئة والاحتياجات الإنسانية

قصة نجاح سعودية في استدامة البيئة والاحتياجات الأساسية 40
3.2.1 تنقية المياه المتقدمة 42
3.2.2 الزراعة الذكية المستدامة 44
3.2.3 المواد المرنة الحرارية 46
3.2.4 مواد التقاط الكربون 48
3.2.5 معالجة المياه وإعادة تدويرها 50
3.2.6 الحفازات المتقدمة لحماية البيئة 52
3.2.7 نمذجة المناخ بالذكاء الاصطناعي 54

3.3 الطـــاقـــــــة والصناعـــة

قصة نجاح سعودية في الطاقة والصناعة 58
3.3.1 إنتاج وتخزين الهيدروجين 62
3.3.2 بطاريات تخزين الطاقة 64
3.3.3 الشبكات الذكية 66
3.3.4 الطاقة الحرارية الأرضية 68
3.3.5 خلايا الطاقة الشمسية 70
3.3.6 الطباعة ثلاثية الأبعاد والتصنيع الإضافي 72
3.3.7 التصنيع المستدامـ للصُّلب 74
3.3.8 الميتافبرس الصناعي 76

3.4 اقتـــصاديـــــــات المستقـــبل

قصة نجاح سعودية في اقتصاديات المستقبل 80
3.4.1 اتصالات الأقمار الصناعية 84
3.4.2 الاتصالات اللاسلكية 86
3.4.3 الذكاء الاصطناعي التوليدي 88
3.4.4 المدن الذكية وتقليل الازدحامـ المروري 90
3.4.5 الطائرات بدون طيار 92
3.4.6 بنية الشبكة الأمنية السيبرانية 94
3.4.7 الحوسبة الكمية 96
3.4.8 حوسبة مجموعة التعليمات المختزلة 98

01
المقدمة

يشهد العالـم اليـوم نـقلات تقنيـة متسـارعة بـوتيرة غير مسـبوقة، مدفوعـة بالابتـكارات المزعزعـة التي تعيـد تشـكيل الاقتصـادات والمجتمعـات على حـد سـواء. وللتنقل في هذا المشهد الديناميكي، توظّف المنظمات والمؤسسـات «الاسـتشراف التـقني» بوصفـه عمليـة تخطيط استراتيجي تتوقع التطورات التقنية المستقبلية وتقيّـم تأثيراتها المحتملة. يمكّـن هـذا النهـج الاسـتباقي من اتخاذ قـرارات مستنيرة، وضمـان الاستعداد للفرص والتحديـات الناشـئة.

وفي رحلـة التحـول الرقمـي والابتـكار المسـتدامـ، تسـعى المنظمـات والمؤسسـات في مختلـف أنحـاء العالـم إلى تعزيـز التنافسـية مـن خلال تـبني التقنيـات المتقدمـة. وفي المملكـة العربيـة السـعودية، تسـهمـ رؤيـة 2030 في توجيـه الأنظـار نحـو الاسـتثمار في التقنيـات الناشـئة، ممـا يعـزز مكانـة المملكـة كمركـز إقليمـي وعالمـي للابتـكار والتطويـر التـقني.

وانطلاقًـا مـن أحـد أدوار هيئـة تنميـة البحـث والتطويـر والابتـكار في التنسـيق مـع الجهـات ذات العلاقـة؛ لتحديـد سُـبل الاسـتغلال الأمثـل للتقنيـات الحديثـة التي تُرصـد، بمـا يتوافـق مـع التطلعـات الوطنيـة للقطـاع، يقـدمـ المرصـد الـوطني للبحـث والتطويـر والابتـكار هـذا التقريـر الـذي يهـدف إلى تسـليط الضـوء على أبـرز الاتجاهـات التقنيـة لعـامـ 2024 - 2025.

بالإضافـة إلى قصـص النجـاح السـعودية التي تعـزز مكانـة المملكـة كمركـز عالمـي للابتـكار، يعـرض هـذا التقريـر 30 نقلـة تقنيـة تغطـي الأولويـات الوطنيـة للبحـث والتطويـر والابتـكار: صحـة الإنسـان، اسـتدامة البيئـة والاحتياجـات الأساسـية، الريـادة في الطاقـة والصناعـة، واقتصاديـات المسـتقبل.

أولًا: صحة الإنسان، حيث نشهد تطورًا كبيرًا في استخدامـ الـذكاء الاصطناعـي لاكتشـاف الأدويـة، والتعديـل الجـيني لـعلاج الأمـراض الوراثيـة، والطـب النـفسي الدقيـق الـذي يتيـح علاجـات مخصصـة للأفـراد. كمـا تتقـدمـ تقنيـات مراقبـة الجلوكـوز المسـتمرة، والكشـف المبكـر عـن السرطـان، والأنظمـة الروبوتيـة الجراحيـة، إلى جانـب الابتكار في الحمـض النـووي الريبـوزي الدائـري الـذي يعـد واعـدًا في مجـالات الـعلاج والتشـخيص.

ثانيًـا: اسـتدامة البيئـة والاحتياجـات الأساسـية، ويشـمل ذلك تنقية المياه المتقدمة، والزراعة الذكية المستدامة، والمـواد الحراريـة المرنـة، ومـواد التقـاط الكربـون، وإعـادة تدويـر الميـاه، والحفـازات البيئيـة المتقدمـة، ونمذجـة المنـاخ باسـتخدامـ الـذكاء الاصطناعـي.

ثالثًـا: الطاقـة والصناعـة، حيـث تتقـدمـ تقنيـات إنتـاج وتخزيـن الهيـدروجين، وبطاريـات تخزيـن الطاقـة، والشـبكات الذكيـة، والطاقـة الحراريـة الأرضيـة، وخلايـا الطاقـة الشمسـية، والطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد، وتصنيـع الصلـب المسـتدامـ، إلى جانـب الميتـافيرس الصناعـي، ضمـن إطـار تحـولات المملكـة نحـو تعزيـز مصـادر الطاقـة المتجـددة والصناعـة المسـتدامة.

رابعًـا: اقتصاديـات المسـتقبل، ويغطـي ذلـك مجـالات متقدمـة تشـمل اتصـالات الأقمـار الصناعيـة، والاتصـالات اللاسـلكية، والـذكاء الاصطناعـي التوليـدي، والمـدن الذكيـة، والطائـرات بـدون طيـار، والشـبكات السـيبرانية الآمنـة، والحوسـبة الكميـة، والمعالجـات فائقـة الأداء.

يمثـل هـذا التقريـر جزءً مـن جهـود دراسـة وتحليـل مسـار التقنيـات المستقبلية، مـع التركيـز على الاسـتفادة القصـوى مـن الفـرص الناشـئة. ومـن خلال اسـتعراض تطبيقـات هـذه التقنيـات وتأثيراتهـا المختلفـة، يقـدّمـ هـذا التقريـر دليلاً لصانعـي القـرار والمختـصين للتمكـن مـن التكيـف مـع التحـولات المسـتقبلية بوعـي واسـتباقية. في هـذا السـياق، يـأتي هـذا التقريـر ليكـون أداة تسـاهمـ في فهـمٍ أعمـق للاتجاهـات التقنيـة الحديثـة، وتحديـد المجـالات ذات الأولويـة، وتمـكين المؤسسـات مـن تحقيـق نمـو مسـتدامـ ومواكبـة التطـورات العالميـة، ممـا يضمـن بنـاء مسـتقبل تـقني مزدهـر ومسـتدامـ.

02 | منهجية التقرير

محاور منهجية الاستشراف التقني

تتألف منهجية الاستشراف التقني المتبعة في هذا التقرير من أربعة محاور رئيسة: الرصد، التحليل، التقييم، والربط الاستراتيجي؛ كما هو مبين في الشكل (1).

الشكل (1): محاور منهجية الاستشراف التقني.

02 | منهجية التقرير

1. الرصد

في نشاط رصد التقنيات الناشئة، يدمج المرصد الوطني للبحث والتطوير والابتكار بين نهجين: الرصد الاستباقي (Proactive Monitoring) والرصد التفاعلي (Reactive Monitoring)؛ مما يعزز دقة ومرونة استجابة الاستشراف التقني للتغيرات المختلفة؛ كما هو مبين أدناه.

الرصـــد الاســـتباقي (Proactive Monitoring)
- مســـح الأفـــق (Horizon Scanning)
- طريـــقة دلفـــي (Delphi Method)
- تحـــليل الاتجاهـــات (Trend Analysis)
- تتبع مستوى الجاهزية التقنية (TRL)

الرصـــد التفـــاعلي (Reactive Monitoring)
- جمع البيانات المستمر في الوقت الفعلي (Continuous Real-Time Data Collection)
- اكتشـاف الإشـارة (Signal Detection)
- تحليل وسائل التواصل الاجتماعي والأخبار (Social Media and News Analysis)
- التقييم بعد الإطلاق (Evaluation after Release)

دمـج الرصـد الاستـباقي والرصـد التفـاعلي
- إنشـاء إطـار تنـبؤ متكـيف (Adaptive Forecasting Framework)
- استخدام المؤشرات المتقدمة والمتأخرة (Leading and Lagging Indicators)

ونظرًا لسعة نطاق النقلات التقنية وتنوع مصادرها وتعدد أشكال تأثيرِها، فقد ضمنتْ منهجيةُ رصدِ الإشارات استيعابَ أكبر قدر ممكن منها، حيث تُستكشف النقلات التقنية الواعدة من أوعية وقنوات مختلفة تشمل المنشورات العلمية، والاكتشافات وبراءات الاختراع، والتوجهات التجارية، والشركات الناشئة، والمصادر الإخبارية، والمواقع الحكومية. وقد تم رصد نقلات التقنيات الناشئة من خلال ثلاثة مسارات رئيسة:

01
استبيان الجهات المحـــلية

02
المـسح العـــام للتـــقارير العالمية

03
الرصد المتخصص للنقـلات التقـنية

المسار الأول

استبيان الجهات المحلية

• تـم إرسال استبيان حول التقنيات الحديثة الواعدة إلى **85 وحدة من وحدات البحث والتطوير والابتكار** في الجهات المختلفة في المملكة. وتـم استقبال قرابة 275 مشاركة في الاستبيان من قبل 42 جهة حكومية وخاصة، مصنفة حسب التالي:

11 جامـعة

18 كلـــية

3 هيئات ومعامل وطنية

3 معـــاهد

3 مستشفيات

3 شركـــات

1 جمعية غير ربحية

• تـم اقتراح 67 مجالًا تقنيًّا من قبل المشاركين في الاستبيان تغطي الأولويات الوطنية الأربع للبحث والتطوير والابتكار، حسب التوزيع التالي:

13 تقـــنية
صـحة الإنســـان

9 تقنـــيات
اســتدامة البيئـــة والاحتياجات الأساسية

15 تقـــنية
الطاقـة والصنـــاعة

30 تقـــنية
اقتصاديات المستقبل

المسار الثاني

المسح العامـ للتقارير العالمية الخاصة بتوجهات التقنيات الناشئة

تضمَّنَ ذلك مسح العديد من تقارير المنظمات والشركات العالمية؛ لاستخلاص أهمـ توجهات التقنيات المستقبلية. على سبيل المثال، تـمـ مسح تقارير الجهات التالية:

- منتدى الاقتـــصاد العالمي (WEF)
- مؤتمر الأممـ المتحدة للتجـــارة والتنـــمية (UNCTAD)
- منظمة الأممـ المتحدة للتنـــمية الصنـــاعية (UNIDO)
- برنـــامج الأمـــمـ المتحدة الإنـــمائي (UNDP)
- معـــهد المســتقبل اليومـ (Future Today Institute)
- شركة كلاريفيت (Clarivate)
- شركة ماكينزي (McKinsey)
- شركة ديلويت (Deloitte)
- شركـــة غـــارتنر (Gartner)
- شركة إنفو-تك (Info-Tech)

وتـمـ مسح المجلات والمواقع المعنية بالاستشراف التقني والتقنيات الناشئة، مثل:

- مـجلـة التنبـؤ التقنـي والتغيـر الاجـــتمـاعـي (Technological Forecasting & Social Change)
- مجـــلة المستقبل (Futures)
- مجلة الاســتشراف (Foresight)
- مجـــــلة التنـــــبؤ (Journal of Forecasting)
- مجـــــلـــــة إدارة التقنـــيـــة والابتكـــــار (Journal of Technology Management and Innovation)
- مجلة الاستشراف وحوكمة العلومـ والتقنية والابـــتكار (Foresight and STI Governance)
- مجلة الابتكار التقني (Technovation)
- مجلة علمـ المســـــتقبل والاستـــــــــشراف (Futures and Foresight Science)

المسار الثالث

الرصد المتخصص للنقلات التقنية

تـمـ استكشاف أكثر مـن 600 نقلة تقنية تغطي الأولويات الوطنية في البحث والتطوير والابتكار: صحة الإنسان، استدامة البيئة والاحتياجات الأساسية، الطاقة والصناعة، واقتصاديات المستقبل. وتضمنت أوعية الرصد المصادر التالية -وغيرها-:

- مجلة نيتـــشر (Nature)
- مجلة ساينس (Science)
- مراجـــعة معـــــهد ماساتشوستس للتقنية (MIT Technology Review)
- موقـــع العـــلومـ اليومية (Sciencedaily)
- موقع استكشاف التقـــنية (Techxplore)
- موقـــع العـــــلومـ والتـــــقنية اليومية (Scitechdaily)
- منصة لينكنوفيت (Linknovate)

2. التحليل

يتألف نشاط التحليل في منهجية الاستشراف التقني المتبعة في المرصد الوطني للبحث والتطوير والابتكار من العناصر التالية:

عناصر تحليل التقنيات الناشئة

01 التحلـــيل التقـــني

يتضمـن التحليـل التـقني تقديـم نبـذة حـول المجـال الـذي تنـدرج تحتـه النقلـة التقنيـة لوضعهـا في سـياق أوسـع. كمـا يتضمـن التحليـل التقني تقديـم نبـذة عـن النقلـة التقنيـة مـن حيـث وصفهـا، وشرح مبادئهـا ومزاياهـا، ونقـاط تفوقهـا على التقنيـات المنافسـة والبديلـة.

ويتضمـن التحليـل الاقتصادي تقدير حجـم السـوق العالمـي، وحجـم السـوق المحلي، والعوامـل الدافعـة لسـوق التقنيـة، وأبـرز الشركات ذات العلاقـة، وقيمهـا السـوقية، وتحليـل آثـار التقنيـة الناشـئة على التقنيـات الأخـرى.

02 التحلـــيل الاقتصادي

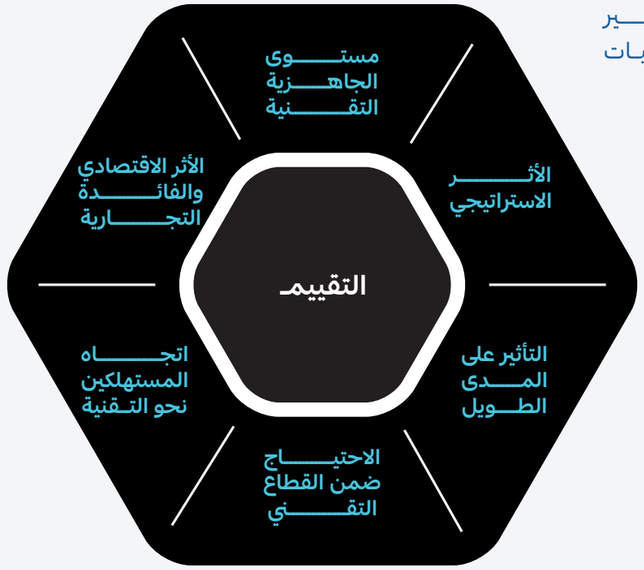
03 تحليل المخاطر والتحديـــات

ويتضمـن تحليـل المخاطـر والتحديـات تقييـم المخاطـر والتحديـات المرتبطـة بالتقنيـات الناشـئة، سـواءً أكانـت اسـتراتيجيـة، قانونيـة، بيئيـة، أو اجتماعيـة، أو غير ذلـك.

3. التقييم

تُقيَّم النقلات التقنية كمّيًا ونوعيًّا من خلال عدة معايير رئيسة تهدف إلى قياس مدى تأثيرها وجدواها من جوانب مختلفة، كما هو مبين في الشكل (2). تُستخدم هذه المعايير بشكل تكاملي لتقييم النقلات التقنية من عدة زوايا، بحيث تُحَدَّد التقنيات التي تستحق التبني والاستثمار والاهتمام على أساس تأثيرها الاستراتيجي، الاقتصادي، والاجتماعي. كل معيار يعكس جزءً من قيمة التقنية ويساعد في اتخاذ قرارات مبنية على أدلة فيما يتعلق بتبني التقنيات الجديدة وتوجيه الموارد.

الشـكل (2): معايـير تقييـم رصـد التقنيـات الناشـئة.



ويؤخـذ في الاعتبـار تحديـد مسـتوى الجاهزيـة لـكل تقنيـة (TRL) عـن طريـق مقيـاس مـن 9 درجـات، كمـا هـو مبين في الشـكل (3).

01 المبـــادئ الأساســـية الملاحـــظة

02 صيـــاغة المفـــهوم أو التطبـــيق

03 إثبـــات المفـــهوم تحلـــيليًا وتجريـــبيًا

04 التحـــقق الأســـاسي في المختـــبر

05 التحـــقق الأســـاسي في بيئـــة ذات صـــلة

06 عـــرض النمـــوذج الأولي في بيـــئة ذات صـــلة

07 عـــرض النمـــوذج الأولـــي في بيـــئة تشغيـــلية

08 التقنية المكتملة المؤهلة من خلال الاختبار والعرض

09 التقـنية الفعـلية المؤهلة من خـلال عمليات ناجحة

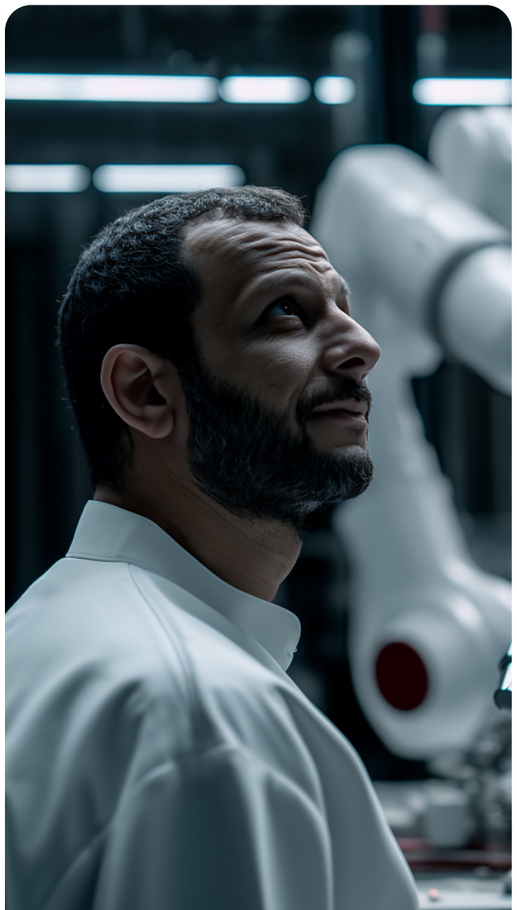
الشكل (3): مستوى الجاهزية التقنية (TRL)

4. الربط الاستراتيجي

تُربط النتائج المستخلصة من الاستشراف التقني بالخطط الاستراتيجية والخطوات التنفيذية التي يمكن اتخاذها على مستوى السياسات أو الاستثمارات، حيث يُترجَم ذلك عمليًّا من خلال:

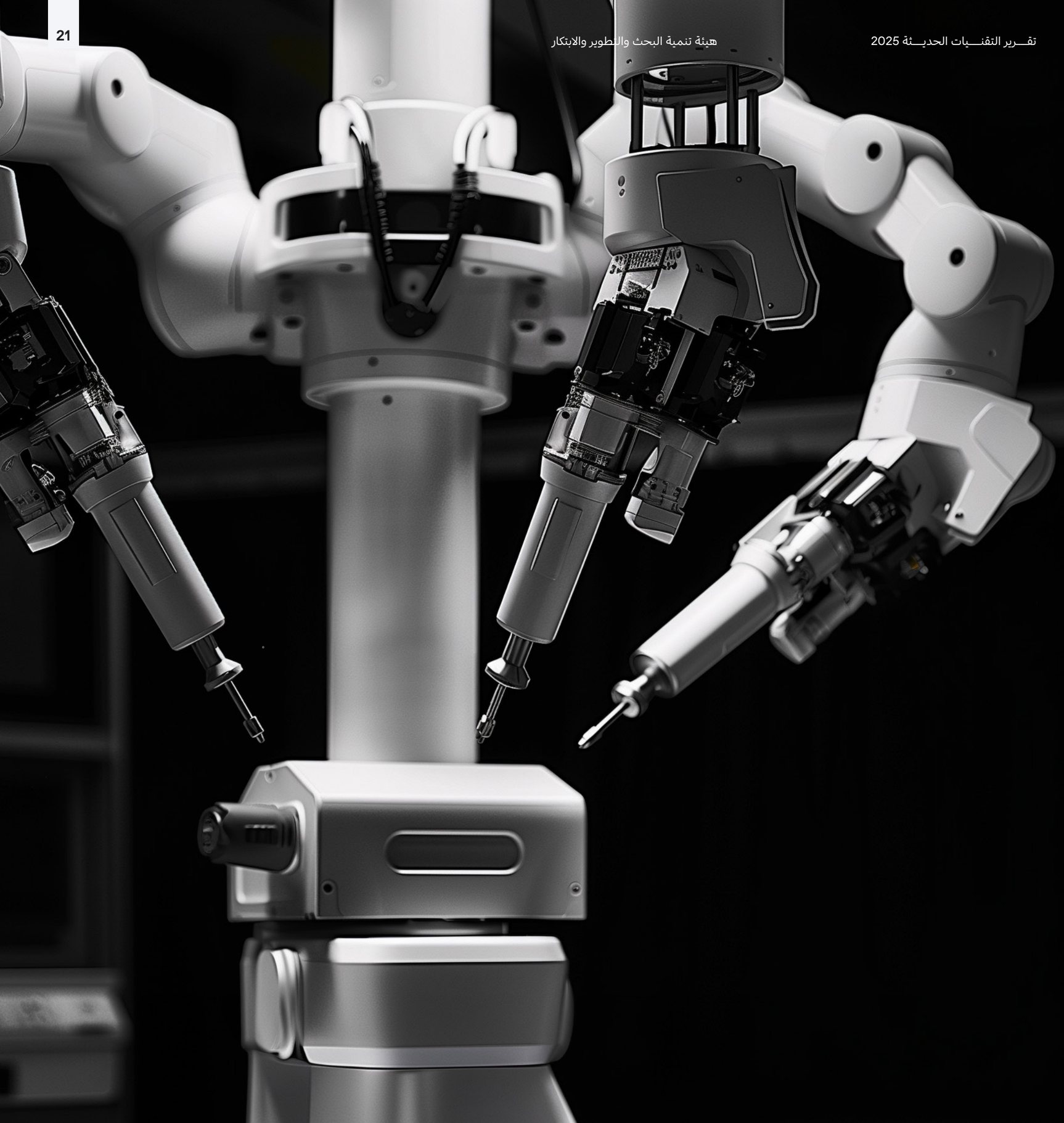
- تحديد الصلة بأهداف رؤية المملكة 2030: حيث يُربط تبني التقنية بتحقيق الأهداف الفرعية برؤية المملكة 2030، والمواءمة مع المبادرات الوطنية والاستراتيجيات الحكومية ذات العلاقة.
- مواءمة التقنية مع الاستراتيجية الوطنية للبحث والتطوير والابتكار: توضع التقنيات أيضًا ضمن أُطر المهام الوطنية للبحث والتطوير والابتكار.

ويقدم الفصل التالي عرضًا وتحليلًا لأهم النقلات التقنية المرصودة في هذا التقرير والتي تتضمن 30 نقلة تقنية، مصنفة حسب الأولويات الوطنية للبحث والتطوير والابتكار، ويستهل ذلك بعرض قصة نجاح سعودية في كل أولوية وطنية، تعكس مكانة المملكة كمركز عالمي للابتكار.



03 | النقلات التقنية المرصودة

3.1
صحـــــــة الانســـــان



قصص نجاح سعودية | صحة الإنسان

ريادة سعـــودية في الطـــب الروبـوتي: مستشفى الملك فيصل التخصصي يصنع تاريخ الطب

في إنجـازات طبيـة غير مسـبوقة، سـطّر مستشـفى الملـك فيصـل التخصصي ومركز الأبحاث بالرياض فصلاً جديدًا في عالـم الجراحة المتقدمة، مؤكدًا ريادة المملكة العربية السعودية في تقنيات الطب الروبـوتي وزراعـة الأعضاء المعقـدة.

ففـي سـبتمبر 2024، تمكـن الفريـق الـطبي في المستشـفى مـن إجـراء أول عمليـة زراعـة قلـب كاملـة بالروبـوت في العالـم، لطفـل في السادسـة عشرة مـن عمـره كان يعـاني مـن فشـل قـلبي في المرحلة الرابعـة. هـذه الخطـوة الاسـتثنائية، التي واجهـت تحديـات طبيـة هائلـة، لـم تفتـح بـاب الأمـل للمريـض وعائلتـه فحسـب، بـل أثبتـت أيضًـا قـدرة المملكـة على قيـادة الابتـكار في قطـاع الرعايـة الصحيـة عالميًـا.[1]

توالـت النجاحـات، حيـث أعلـن المستشـفى في ديسـمبر 2024 عـن أول عمليـة لزراعـة بنكرياس باسـتخدام الروبوت في المنطقـة، نُفـذت لشـاب يعـاني مـن النـوع الأول مـن السـكري. العمليـة لـم تكـن مجـرد تدخـل جراحـي، بـل كانـت لحظـة تحريـر للمريـض مـن الاعتمـاد الطويـل على الأنسـولين، وعـودة إلى نمـط حيـاة طبيعـي.[2]

وفي ينايـر 2025، كتـب المستشـفى إنجـازًا جديـدًا في سـجله المتـميز، حين أجـرى أول عمليـة في العالـم لزراعـة مضخـة قلـب اصطناعيـة (HeartMate 3) بالروبـوت بالكامـل، لمريـض يبلـغ مـن العمـر 35 عامًـا قضى 120 يومًـا منومًـا بسـبب فشـل قـلبي حـاد، تطـور لاحقًـا إلى فشـل في الكلى والرئتين. وبفضـل الله ثـم بفضـل الجهـود الطبيـة الدقيقـة، أصبـح بإمـكان هـذا الشـاب العـودة إلى منزلـه، يحمـل بين أضلعـه نبضًـا جديـدًا وحيـاة متجـددة. [3]

1. spa.gov.sa
2. www.kfshrc.edu.sa
3. www.kfshrc.edu.sa

قصص نجاح سعودية | صحة الإنسان

شركـات (كاكسـت) تعيـد تعريـف عـــلاج السرطان من خلال التقنـيات الجيـــنية والذكاء الاصطناعي

في زمـن تتسـابق فيـه دول العالـم نحـو ابتـكار علاجـات أكثر أمانًـا وفعاليـة لمواجهـة السرطـان، بـزغ شـعاع أمـل مـن مدينـة الملـك عبدالعزيز للعلـوم والتقنية (كاكست) يقوده برنامج كاكست لإنشاء الشركات (KVP)، حيث ولدت مبادرات سعودية واعدة تعيد رسـم خريطـة الطـب الحيـوي بـأدوات مـن التراث والابتـكار الجـيني.

شركـة "بلاك سـيد" (Black Seed) جسـدت هـذا الـتلاقي الفريـد بين الحكمـة القديمـة والعلـم الحديـث، عندمـا طـورت نهجًـا علاجيًـا يسـتند إلى الخصائـص العلاجيـة للحبـة السـوداء، المعروفـة منـذ قـرون بقدرتها على دعـم جهاز المناعـة. عملت الشركة على تحويل هـذه المـادة الطبيعيـة إلى علاجـات منخفضـة التكلفـة، آمنـة، وفعّالـة موجهـة لـعلاج أنـواع السرطـان المعقـدة، مساهمةً بذلـك في توسـيع دائـرة الخيـارات العلاجيـة أمـام المـرضى، وخاصـة في البيئـات التي يصعب فيها الوصول إلى علاجات باهظة أو ذات آثار جانبية مرهقة.

أمـا شركـة "كانسراس" (CANCERas)، فـكان لهـا بصمـة أخـرى مدفوعة بأدوات الذكاء الاصطناعي. انطلقت الشركة في مسار دقيق يسـتهدف الطفـرات الجينيـة في الخلايـا السرطانيـة، عبر اسـتخدام تقنيـة كريـسبر (CRISPR) الرائـدة، لتعديـل الحمـض النـووي واسـتهداف الخلايـا المريضـة دون المسـاس بالخلايـا السـليمة. مـا يجعـل نهجهـا فريـدًا هـو الدمـج بين هـذه التقنيـة الحيويـة الدقيقـة وبين نمـاذج تعلـم عميـق قـادرة على التنبـؤ بسلامـة وفعاليـة كل تدخـل علاجـي، وصـولًا إلى علاجـات مخصصـة حسـب الطفـرات الجينيـة لـكل مريـض.[1]

1. kacst.gov.sa

3.1.1 اكتشاف الأدوية باستـــخدام الذكـــاء الاصطـــناعي

التـجارب الحاسـوبية لتقيـيم الأدوية والعلاجات الجديدة

TRL: 5

أسهمت التجارب الحاسوبية، التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي، في تسريع تطوير الأدوية وتخفيض التكاليف من خلال محاكاة الأمراض والمرضى باستخدام "توائم رقمية". أثبتت شركات مثل نوفاديسكفري (Novadiscovery) جدوى هذا النهج، حيث تنبأت بدقة بنتائج تجربة لعلاج سرطان الرئة. بالإضافة إلى ذلك، طُوِّر منصات جديدة مثل "جينكو" (jinkō) لتحسين التجارب السريرية باستخدام آلاف المرضى الرقميين قبل اختبارها على البشر. كما أسهمت عدة جامعات في تطوير نماذج ذكاء اصطناعي للتنبؤ بالتفاعلات الكيميائية. مع دعم المنظمين لهذه التقنيات، يُتوقع أن تحدث نقلة نوعية في البحث السريري، مما يتيح تقديم علاجات مبتكرة للمرضى بشكل أسرع وأقل تكلفة.

طور باحثون في جامعة لودفيغ ماكسيميليان في ميونيخ (Ludwig-Maximilians-Universität München) نموذجًا للذكاء الاصطناعي يتنبأ بالأماكن التي يمكن فيها تغيير الجزيئات كيميائيًا. ومن خلال تقليل التجارب المطلوبة، يتيح هذا تركيبًا أكفأ وأكثر استدامة. كما أنشأ فريق آخر من جامعة كامبريدج (University of Cambridge) منصة تعمل على أتمتة التجارب، ثم تستخدم الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالتفاعلات الكيميائية. وحتى وقت قريب، كانت هذه العملية عملية تجربةٍ وخطأ - مما يعني أنها كانت بطيئة وغير فعالة.[1]

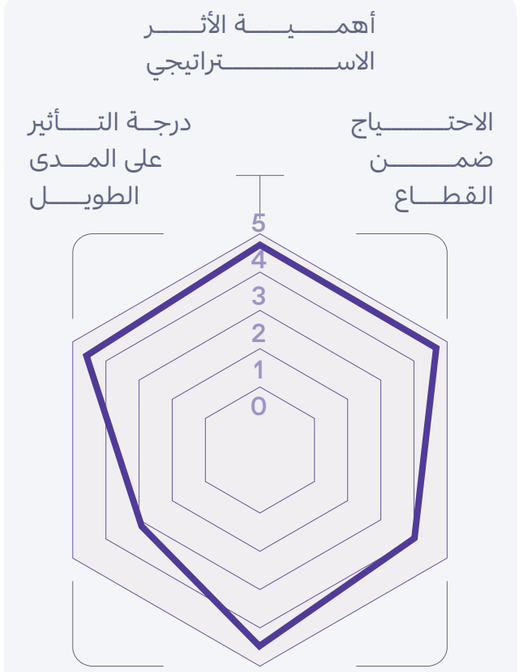
ومن خلال دمج المعرفة البيولوجية والطبية الواسعة مع النمذجة الحاسوبية للأمراض، هدفت منصة جينكو (jinkō) إلى تعزيز كفاءة التجارب السريرية. ونظرًا لحساسية التعامل مع المرضى، فإن التجارب التقليدية تختبر فرضيةً واحدة فقط في كل مرة. تسمح منصة جينكو باختبار بروتوكولات التجارب ومقارنتها وتحسينها باستخدام آلاف المرضى الرقميين قبل إشراك أشخاص حقيقيين. يعمل هذا النهج على تقليل المخاطر في عملية اتخاذ القرار في كل مرحلة، مما يمكّن مطوري الأدوية في النهاية من طرح الأدوية المبتكرة في السوق بشكل أسرع وأكفأ، وبتكلفة أقل.[2]

واستخدمت نوفاديسكفري (Novadiscovery) أدوات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بدقة بنتائج تجربة سريرية من المرحلة الثالثة، مما يدل على أن هذا نهج واعد. وقد تحلُّ التجارب الحاسوبية ذات يومٍ محلَّ ما يصل إلى نصف الاختبارات البشرية. ويبحث المنظمون عن كيفية تضمين هذه النتائج الافتراضية في عملية الموافقة (Approval). وستكون الأطر الجديدة للتحقق من صحة التجارب الحاسوبية مهمة لضمان الموثوقية. ومن خلال تحديث التجارب السريرية بالذكاء الاصطناعي والمحاكاة، يمكن تقديم علاجات مبتكرة للمرضى بشكل أكفأ وأسرع.[1]

تأثير التقنية

يسلط هذا الابتكار الضوء على الإمكانات التحويلية للتجارب الحاسوبية في تحسين تصاميم التجارب السريرية وتسريع تطوير العلاجات المبتكرة. وقد أثبت النموذج التنبئي المطور جدارته بشكل خاص في استكشاف السيناريوهات التي يصعب اختبارها في الإعدادات السريرية التقليدية، مثل تلك التي تنطوي على طفرات جينية نادرة.

التقييم متعدد المحاور
التجارب الحاسوبية لتقييم الأدوية والعلاجات الجديدة



حجم السوق العالمي[3]

قدر حجم السوق العالمي للتجارب السريرية الحاسوبية بنحو

3.6 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

5.6 مليار دولار
في عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 7.74 %

1. futuretodayinstitute
2. novainsilico
3. www.grandviewresearch.com

3.1.2
التعديل الجيني باستخـــــدام تقنـــــية كريـسبر-كاس

نقلة رائدة في العلاجات الجينية وفقر الدمـ المنجلي

TRL: 5

ترمـز تقنية كريسبر (CRISPR) إلى "متكررات متكتلة بانتظامـ قصيرة التواتر". وهي عبارة عن نظامـ مناعي ميكروبي يسمح للبكتيريا والعتائق (archaea) بالتعرف على الفيروسات المهاجِمة وتدميرها. وقد تـمـ تكييف هذا النظامـ لتعديل الجينات، مما يتيح إجراء تغييرات دقيقة على الحمض النووي.

وقد أحدثت تقنية كريسبر-كاس9 نقلة نوعية في التعديل الجيني، إذ تتيح حذف أو تعديل الجينات بدقة فائقة باستخدامـ نظامـ موجه للحمض النووي. تُستخدمـ لعلاج الأمراض الوراثية كفقر الدمـ المنجلي، حيث تـمـ تطوير علاجات مثل "كاسجيفي" (CASGEVY) و"ليفجينيا" (LYFGENIA) لتحرير خلايا الدمـ الجذعية، ما يمنع تشوه خلايا الدمـ الحمراء. كما تُستخدمـ تقنية كريسبر لتقليل البروتينات المشوهة المسببة لأمراض مثل اعتلال الأعصاب النشواني. يمكن للنظامـ أيضًا استهداف الأمراض التشخيصية أو توصيل العلاجات بدقة لأنسجة معينة.

أوضحت الورقة المنشورة في المجلة الأمريكية للطب بعنوان "التعديل الجيني باستخدامـ تقنية كريسبر-كاس لإنقاذ الجينات"، الإمكانات التحويلية لأنظمة كريسبر-كاس، وخاصة كريسبر-كاس9 ومتغيراتها، في الطب السريري. تعمل مجموعة كريسبر-كاس9 عن طريق استهداف تسلسلات الحمض النووي المحددة لحذف أو إضافة أو تعديل الجينات، وهي تستخدمـ الآن لمعالجة أمراض وراثية مختلفة. تشرح المقالة المكونات الأربعة الرئيسة لنظامـ كريسبر-كاس9: مصفوفة كريسبر للحمض النووي (CRISPR DNA array)، ونوكلياز كاس9 (Cas9 nuclease)، والموجه الفردي للحمض النووي الريبوزي (sgRNA)، والنمط المجاور للفاصل الأولي (protospacer adjacent motif PAM)، والتي تسمح معًا بتحرير الجينات بدقة.

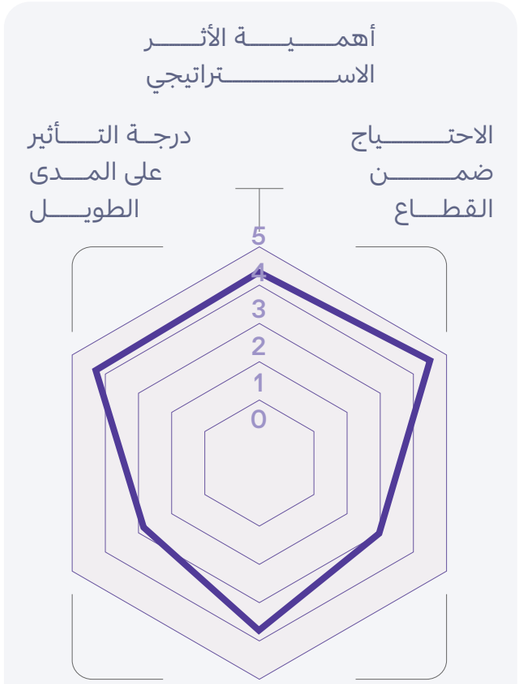
إحدى التطورات المهمة التي نوقشت تتمثل في استخدامـ كريسبر-كاس12أ (CRISPR-Cas12a)، والذي بخلاف كاس9، يمكن تطبيقه للأغراض التشخيصية وتوصيل العلاج. يتمـ تنشيط كريسبر-كاس12أ عندما يتفاعل مع الحمض النووي المستهدف، مما يسمح بتوصيل الأدوية أو الإنزيمات أو الخلايا إلى أنسجة معينة. هذا النظامـ له أيضًا تطبيقات تشخيصية، مثل اكتشاف مقاومة الميثيسيلين (methicillin) في الإصابة بالمكورات العنقودية الذهبية (Staphylococcus aureus infections).

وخلصت الدراسة إلى أن أنظمة كريسبر-كاس أثبتت بالفعل فائدتها في تحرير الجينات وتشخيص الأمراض وتقديمـ العلاجات لأنسجة معينة، وأن مستقبل هذه التقنيات يحملـ المزيد من الوعود للتطبيقات السريرية.[1]

تأثير التقنية

تعدّ تقنية كريسبر أسهل في البرمجة من تقنيات تعديل الجينات السابقة لها، حيث تستخدمـ في المقامـ الأول الحمض النووي الريبوزي للعثور على هدفها، مما يسمح بتعديل أسرع وأكثر دقة. تتمتع تقنية كريسبر بإمكانات هائلة للتطبيقات السريرية، وخاصة للأمراض الوراثية التي لا يمكن علاجها بالطرق التقليدية. تجعلها دقتها أداة جذابة في العلومـ الطبية الحيوية، مع إمكانية علاج الأمراض من جذورها الوراثية. تُظهر العلاجات القائمة على تقنية كريسبر، والمعتمَدة لعلاج فقر الدمـ المنجلي، قدرتها على توفير حلول طويلة الأجل للاضطرابات الوراثية.

التقييمـ متعدد المحاور
التعديل الجيني باستخدامـ تقنية كريسبر



حجمـ السوق العالمي [2]

بلغ حجمـ السوق العالمي للتعديل الجيني

9.88 مليار دولار في عامـ 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

40.48 مليار دولار في عامـ 2033

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر بـ

16.96 %

1. www.amjmed.com
2. www.biospace.com

3.1.3 الطـــــب النفـــسي الدقيـــق

تحـديد سـتة أنمـــاط حيـــوية للاكتئاب

TRL: 4

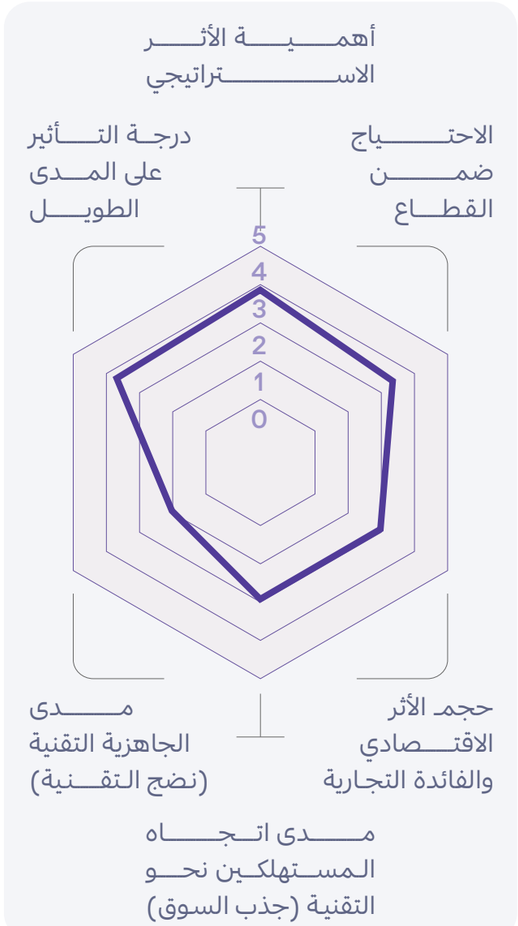
الطب النفسي الدقيق هو مجال ناشئ يجمع بين التقدم في علوم الأعصاب، تصوير الدماغ، علم الوراثة، والذكاء الاصطناعي لتخصيص علاجات الصحة العقلية وفقًا لحالة كل مريض بشكل فردي. يبتعد هذا المجال عن النهج التقليدي "الشيء الواحد يناسب الجميع" في علاج الاضطرابات النفسية مثل الاكتئاب والقلق، ويعتمد بدلاً من ذلك على التدخلات الشخصية استنادًا إلى ملفات تعريف بيولوجية وعصبية خاصة. إحدى المبادئ الأساسية لهذا المجال هي أن الاضطرابات النفسية تظهر بطرق مختلفة من شخص لآخر، سواء في الأعراض أو في وظيفة الدماغ الأساسية. هذا التنوع يجعل من الضروري تطوير طرق علاجية مخصصة.

أحد الأمثلة الرائدة في هذا المجال هو الدراسة التي أجرتها جامعة ستانفورد، والتي حددت ستة أنواع بيولوجية مختلفة للاكتئاب باستخدام تصوير الدماغ بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI) وخوارزميات تعلم الآلة. تشير هذه الدراسة إلى أن كل نوع بيولوجي يرتبط بدوائر دماغية معينة وأنماط نشاط محددة تؤثر على استجابة الأفراد للعلاجات المختلفة، مثل مضادات الاكتئاب أو العلاج السلوكي المعرفي. على سبيل المثال، المرضى الذين يعانون من فرط النشاط في مناطق الدماغ المعرفية أظهروا استجابة أفضل للأدوية، بينما استجابت فئات أخرى بشكل أفضل للعلاج النفسي. يمثل هذا النهج جزءً من التوجه الأوسع في أبحاث علوم الأعصاب والصحة العقلية، حيث يُعتقد أن فهم الأسس البيولوجية والعصبية للاضطرابات النفسية هو المفتاح لتحسين نتائج العلاج.

هذا الاكتشاف، الذي يستفيد من التصوير الدماغي وتعلم الآلة، يمكن أن يمهد الطريق لعلاجات أكثر تخصيصًا وفعالية للاكتئاب. وقد شملت الدراسة، التي نشرت في مجلة نيتشر للطب (Nature Medicine) ، 801 مشاركًا تم تشخيصهم بالاكتئاب أو القلق. باستخدام عمليات مسح التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI)، قيّمَ الباحثون نشاطَ الدماغ أثناء الراحة وأثناء المهام المصممة لاختبار الأداء المعرفي والعاطفي.

من خلال التركيز على مناطق معينة من الدماغ معروفة بأنها ضالعة في الاكتئاب واستخدام طريقة في تعلم الآلة تسمى تحليل العنقود (cluster analysis)، حدد الفريق ستة أنماط فريدة من نشاط الدماغ، كل منها يتوافق مع نوع فرعي مختلف من الاكتئاب. يتميز كل نمط حيوي بأنماط نشاط دماغي مميزة واستجابات للعلاج، وهذه الأنماط كالتالي: فرط النشاط المعرفي؛ معالجة المشاعر؛ حل المشكلات؛ تنظيم الانتباه؛ أعراض مختلطة؛ ونمط بيولوجي غير محدد. [1]

التقييم متعدد المحاور
الطب النفسي الدقيق



تأثير التقنية

لا يقدم هذا النهج المبتكر الأمل في علاجات أكثر فعالية للاكتئاب فحسب، بل يؤكد أيضًا على أهمية فهم الأسس البيولوجية لاضطرابات الصحة العقلية. من خلال تصميم العلاجات لتتناسب مع أنماط نشاط الدماغ الفردية، يمكن لمجال الطب النفسي أن يشهد تحولاً كبيراً نحو تدخلات أكثر تخصيصاً ونجاحاً لعلاج الاكتئاب.

حجم السوق العالمي [2]

بلغ حجم السوق العالمي للطب النفسي الدقيق

1.22 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

4.27 مليار دولار

في عام 2033

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 14.9 %

1. www.nature.com
2. www.imarcgroup.com

3.1.4 الرعـــــاية الصحـــــية لـــــمرض الســـكري

أجـــهزة المراقـــبة المســـتمرة للجلوكـوز

TRL: 5

يؤثر مرض السكري على حوالي 537 مليون بالغ في جميع أنحاء العالم. تم تشخيص حوالي 90 % من مرضى السكري بمرض السكري من النوع الثاني. وقد أحدثت أجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز (CGM) نقلة في الطريقة التي يتعامل بها المصابون بالسكري مع حالتهم. توفر هذه الأجهزة قراءات مستمرة في الوقت الفعلي لمستويات السكر في الدم، مما يوفر للمرضى فهمًا أشمل لتقلبات الجلوكوز طوال اليوم.

تتطلب الطرق التقليدية لمراقبة سكر الدم، مثل وخز الإصبع، فحوصاتٍ يومية متعددة ويمكن أن تكون غير مريحة ومؤلمة. تلغي أجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز الحاجة إلى وخز الإصبع المتكرر، مما يسمح للمرضى بعيشِ نمطِ حياةٍ أكثر نشاطًا ومرونة. من خلال مراقبة مستويات الجلوكوز بشكل مستمر، تساعد أجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز الأفراد على تحديد الأنماط، وتوقع أحداث نقص السكر في الدم أو ارتفاعه، واتخاذ قرارات مستنيرة بشأن جرعات الأنسولين أو التعديلات الغذائية.[1]

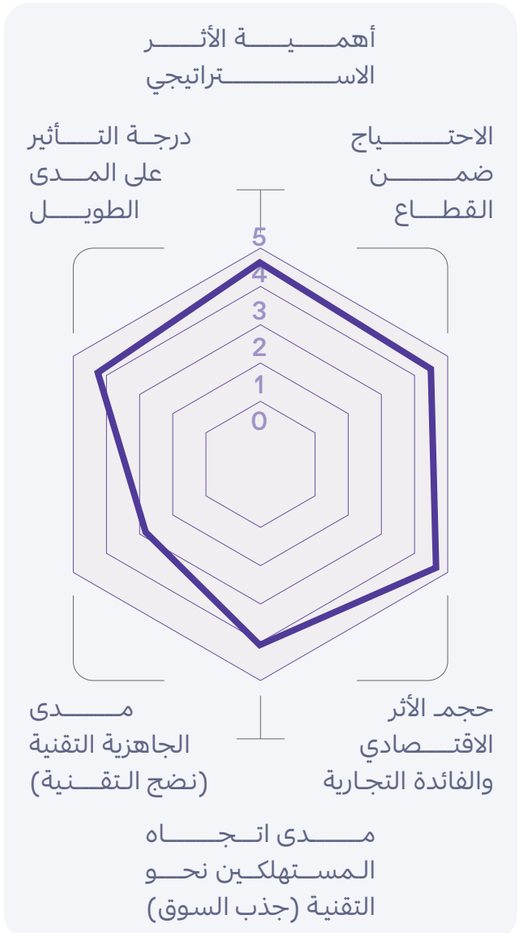
1. Clarivate.com

أجهـــزة المراقـــبة المســـتمرة للجـــلوكوز (Continuous Glucose Monitors - CGM) هي أجهزة مطورة تُستخدم لمتابعة مستويات السكر في الدم على مدار الساعة، خاصة للأشخاص المصابين بالسكري. تعتمد هذه الأجهزة على مستشعر صغير يُزرع تحت الجلد لقياس نسبة الجلوكوز في السائل الخلالي، وترسل البيانات إلى جهاز محمول أو تطبيق على الهاتف الذكي. تُساعد أجهزة CGM في الكشف عن التغيرات في مستويات السكر في الوقت الفعلي، مما يُتيح إدارة أفضل للسكري وتجنب نوبات الارتفاع أو الانخفاض الحاد. توفر هذه الأجهزة تنبيهات فورية، وتقارير دورية، مما يُسهم في تحسين جودة الحياة وتقليل مضاعفات المرض على المدى الطويل.

تعتبر أجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز (CGM) واحدة من أسرع القطاعات نموًا في تقنيات رعاية مرضى السكري. على سبيل المثال، في مارس 2024، حصلت شركة (Dexcom) على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) على جهاز استشعار الجلوكوز (Stelo)، والذي يعد أول جهاز للمراقبة المستمرة للجلوكوز بدون وصفة طبية.

أيضاً، حصل جهاز (Simplera CGM) من شركة ميدترونيك (Medtronic) مؤخرًا على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية بعد حصوله على علامة (CE) مما يعني موافقته للمعايير الأوروبية للصحة والسلامة وحماية البيئة. وقد أظهر الجهاز تحسنًا كبيرًا مقارنة بنماذجه السابقة من حيث الحجم وسهولة الاستخدام والدقة.

التقييم متعدد المحاور
أجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز



تأثير التقنية

في حين لا تزال في المراحل التجريبية، فإن أجهزة مراقبة الجلوكوز المستمرة غير الجراحية تحمل وعدًا بتوفير مراقبة مستمرة للجلوكوز دون الإزعاج أو المضاعفات المحتملة المرتبطة بأجهزة الاستشعار الجراحية. إذا نجحت، يمكن لهذه التقنيات إحداث نقلة في رعاية مرضى السكري من خلال جعلها أكثر سهولة وملاءمة وأقل إرهاقًا للمصابين بالسكري.

حجم السوق العالمي[1]

بلغ حجم السوق العالمي لأجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز نحو

5.36 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

10.65 مليار دولار في عام 2034

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر بـ **7.0 %**

1. www.precedenceresearch.com

3.1.5 الكشـــــف المبـــكر عن السرطـــان

الخزعـة السـائلة: ابتـكار رائـد للكشـف المبكـر عـن السرطـان

TRL: 5

الخزعة السائلة هي تقنية حديثة وواعدة تُستخدم للكشف المبكر عن السرطان من خلال تحليل عينات من الدم بدلاً من الاعتماد على الخزعات التقليدية. تعتمد هذه التقنية على اكتشاف آثار الحمض النووي الدوراني الحر (cfDNA) أو الحمض النووي للورم المنتشر (ctDNA) في مجرى الدم، والذي يُطلقه الورم في المراحل المبكرة. تُعتبر الخزعة السائلة أقل تدخلاً وأكثر أمانًا ودقة، مما يُتيح مراقبة تطور المرض واستجابته للعلاج بمرور الوقت.

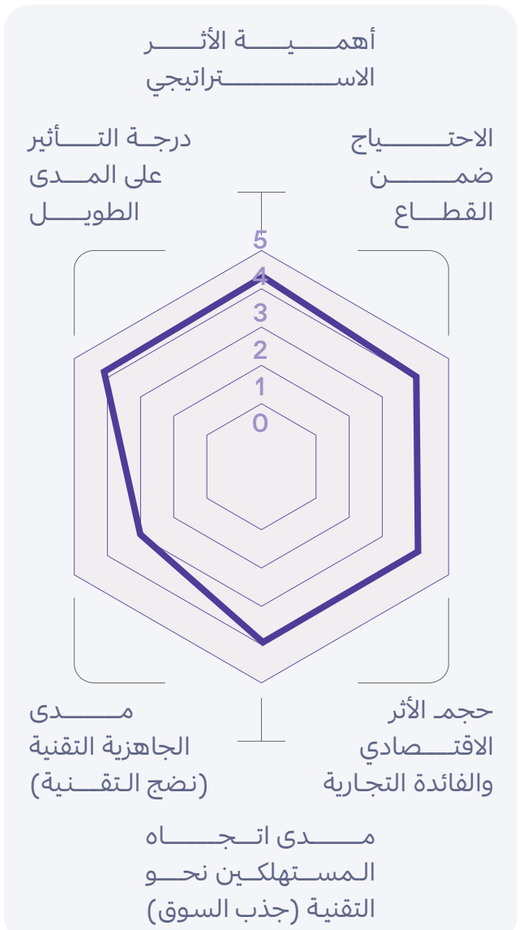
الخزعة السائلة Liquid Biopsy (LBx) تمثل أداة تشخيصية غير جراحية تتضمن تحليل السوائل البيولوجية، وخاصة الدم، للكشف عن المؤشرات الحيوية المرتبطة بالسرطان مثل الخلايا السرطانية المنتشرة (CTCs) أو الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين السرطاني الدوراني (ctDNA). مع نمو الأورام السرطانية، غالبًا ما تُطلق أجزاء من الحمض النووي في مجرى الدم. يمكن للخزعة السائلة اكتشاف هذا الحمض النووي، مما يوفر رؤى بالغة الأهمية حول التركيبة الجينية للورم، ويساعد في تحديد ما إذا كان علاجٌ معين يثبت فعاليته.[1]

1. www.cancer.gov

نشرت مجلة نيتشر للتقارير العلمية (Nature Scientific Reports) مقالاً بعنوان: "الخزعة السائلة: من المفهوم إلى التطبيق السريري" والذي يقدم استكشافًا متعمقًا لاستخدام الخزعة السائلة كطريقة غير جراحية لمراقبة السرطان واكتشافه من خلال المؤشرات الحيوية المتداولة في الدم. ويشمل ذلك الخلايا السرطانية المنتشرة (CTCs) والحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين السرطاني الدوراني (ctDNA)، والحمض النووي الريبوزي (RNA).[2]

كما نشرت مجلة نيتشر للطب (Nature Medicine) ورقة بحثية بعنوان: "تحويل مسار الكشف المبكر عن السرطان" والتي تناقش الإمكانات التحويلية لتقنيات الخزعة السائلة من الجيل التالي (LBx)، والتي تكتشف الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين السرطاني الدوراني (ctDNA) في الحمض النووي الخالي من الخلايا (cfDNA) من عينات الدم. ومع ذلك، تسلط الورقة الضوء على ضرورة إجراء المزيد من التجارب السريرية للتحقق من فائدتها السريرية ومعالجة المخاوف بشأن المزايا غير المثبتة والإفراط في التشخيص.[3]

التقييم متعدد المحاور
الكشف المبكر عن السرطان



تأثير التقنية

مقارنةً بالطرق التقليدية مثل خزعات الأنسجة، تقدم الخزعة السائلة (LBx) مزايا مثل أوقات استجابة أسرع، وتسجيل أفضل لتباين الورم، وتقليل التدخل الجراحي. تم اعتماد هذه التقنية في اختيار العلاج ومراقبته، وهي تظهر كأداة واعدة للفحص المبكر للسرطان. تُستخدم هذه التقنية للكشف عن أنواع مختلفة من السرطانات مثل الرئة والثدي والقولون. يمكن أن تؤدي هذه الابتكارات إلى إحداث نقلة في الكشف المبكر عن السرطان من خلال توفير بديل أقل تدخلاً للخزعات التقليدية، وتحديد أنواع متعددة من السرطان قبل ظهور الأعراض.

حجم السوق العالمي[4]

تم تقييم حجم السوق العالمي لتشخيص السرطان بـ

19.5 مليار دولار في عام 2023

ومن المتوقع أن يصل إلى

54.6 مليار دولار

في عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر بـ

12.1 %

2. www.nature.com
3. www.nature.com
4. aws.amazon.com

3.1.6 الأنظـــــمة الروبـــوتيـــــة الجراحيـة

تطـورات تقـــنية في الجراحـــة بمساعدة الروبوتـات

TRL: 5

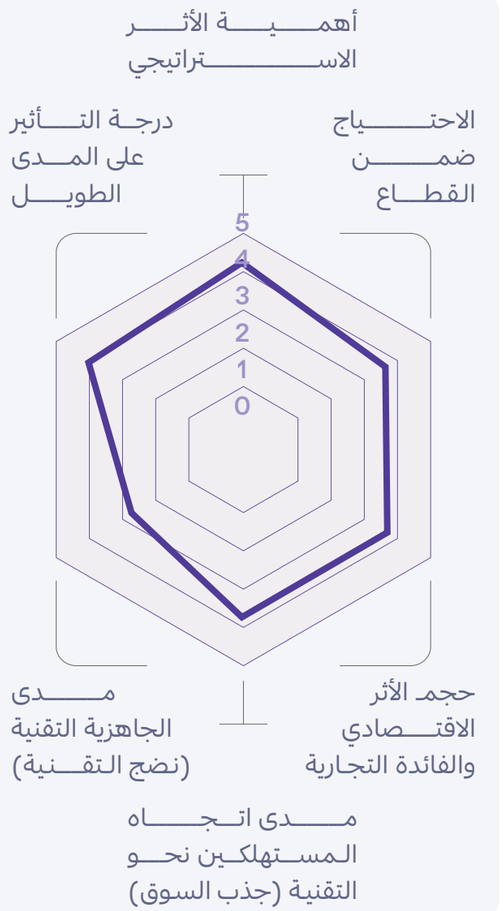
نُعـد الأنظمـة الروبوتيـة الجراحيـة نقلـة مهمـة في عالـم الطـب، حيـث تُوظـف تقنيـات الـذكاء الاصطناعـي والدقـة الميكانيكيـة لتحسين النتائـج الجراحيـة. يتركـز التطويـر في مجال الجراحة بمساعدة الروبوت بشكل متزايد على تصغير حجـم الأجهزة. في حين أن الأنظمـة الروبوتيـة الحاليـة غالبًا ما تكون كبيرة وضخمة، يتجه القطاع نحو تطوير نماذج أصغـر وأكثر تماسكًا. تعـد هـذه التطـورات بزيادة المرونـة وإمكانيـة الوصـول، مما يجعـل العمليات الجراحيـة أقـل تـوغلاً في الجسـد ويوسـع نطـاق الإجـراءات التي يمكـن تطبيقهـا باسـتخدام الروبوتـات.

مؤخرًا، توسّع استخدام الجراحة الروبوتية لتشمل مؤشرات طبية جديدة. على سبيل المثال، قدمت شركة زيمر بايومت (Zimmer Biomet) تطبيقًا لجراحة الكتف الكامل لنظامها الروبوتي (ROSA). وبالمثل، تعمل عدة شركات ناشئة على تطوير حلول روبوتية لعلاج الأطراف مثل القدم والكاحل، وكذلك لإصلاح الأنسجة اللينة. كما تنشط الشركات المصنعة في المراحل الأولى من دمج الذكاء الاصطناعي (AI) وتعلم الآلة (ML) لتعزيز التخطيط الجراحي.

يُتوقع مستقبلًا أن هذه التقنيات ستغير كل مرحلة من مراحل الجراحة، من خلال استخدام المستشعرات، الواجهات الحدسية "intuitive interfaces"، والخوارزميات المتقدمة. كما يُستكشف استخدام الواقع المعزز (AR) كوسيلة للتغلب على قيود الشاشات ثنائية الأبعاد في غرف العمليات، مما يمكن أن يدفع لاعتماد واسع النطاق للأنظمة الروبوتية في الجراحة.

ومع انتشار الجراحة بمساعدة الروبوت، سيكون هناك توجه لتقليل التكاليف، مما يزيد من إمكانية وصول هذه التقنية إلى المزيد من المرافق الصحية والمرضى. الجراحة عن بُعد، الممكنة بفضل الروبوتات، يمكن أن تحدث نقلة في هذا المجال عن طريق جعل الرعاية الجراحية المتخصصة متاحة حتى في المناطق النائية أو غير المخدومة بشكل كافٍ، مما يحسن بشكل كبير من نتائج المرضى. مثال على ذلك، نشر روبوت سبيس ميرا (spaceMIRA) التابع لشركة فيرتشوال إنسيشن (Virtual Incision) مؤخرًا في محطة الفضاء الدولية، حيث تم تشغيله عن بُعد من قبل الجراحين لتنفيذ عدة عمليات جراحية. هذا العرض للتقنية الروبوتية التي يُتَحَكَّم فيها عن بُعد له دلالات كبيرة لاستخدامها على الأرض، خاصة في المواقع الصعبة أو التي يصعب الوصول إليها.[1]

التقييم متعدد المحاور
الأنظمة الروبوتية الجراحية



تأثير التقنية

تشمل الأنظمة الحديثة ميزات متقدمة مثل التصوير ثلاثي الأبعاد عالي الوضوح، وأدوات جراحية دقيقة تُتيح للطبيب التحكم الكامل عبر واجهات مخصصة. من أبرز الابتكارات القدرة على إجراء جراحات معقدة مثل جراحة القلب والأعصاب من خلال شقوق صغيرة، مما يقلل من الألم ووقت التعافي. تُسهم هذه الأنظمة في تعزيز الأمان الطبي وتقليل الأخطاء، مما يُحدث نقلة في عالم الجراحة ويوفر رعاية صحية أكثر تطورًا.

حجم السوق العالمي [2]

من المتوقع أن ينمو سوق الروبوتات الجراحية من

8.1 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

26.8 مليار دولار

في عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 16.2 %

1. clarivate.com
2. www.gminsights.com

3.1.7 الحمـــــض النـــــووي الريبـــــوزي الدائـري

نقلـة في العلاجـــات القائـمة على الحمض النـووي الريـبوزي الدائري (circRNA)

TRL: 5

الحمض النووي الريبوزي -أو الريبي- الدائري (circRNA) هو نوع من الحمض النووي الريبوزي غير المشفر، يتميز بشكله الدائري المغلق الذي يفتقر إلى نهايات حرة، مما يجعله أكثر استقرارًا مقارنة بالـ RNA الخطي. يلعب دورًا هامًا في تنظيم التعبير الجيني من خلال العمل كـ "إسفنجة" تمتص الميكرو RNA، مما يمنعه من تثبيط الجينات المستهدفة. أظهرت الدراسات الحديثة أن circRNA له تأثيرات مهمة في العمليات البيولوجية مثل نمو الخلايا، التمايز، والاستجابة للإجهاد.

يمكن أن تمتد تقنية الحمض النووي الريبوزي الدائري (circRNA) إلى ما هو أبعد من اللقاحات إلى العلاجات الجينية. على سبيل المثال، تعمل شركة سيرسيو (Circio)، وهي شركة للتقنيات الحيوية، على تطوير علاجات جينية تعتمد على (circRNA) لحالات مثل نقص ألفا1- أنتيتريبسين (AAT). بخلاف علاجات الجينات القائمة على الفيروس الغُدّي المرتبط (AAV)، قد تسمح تقنية (circRNA) بتعبير بروتيني أكثر ديمومة وتركيزًا، مما يقلل من متطلبات الجرعات والتكاليف المرتبطة بها. ومع ذلك، قد تتطلب علاجات الجينات (circRNA) عمليات ضخ متعددة على مدار حياة المريض.

إلى جانب ذلك، تعمل شركات أخرى مثل أورنا ثيرابيوتكس (Orna Therapeutics) بنشاط على تطوير تقنية (circRNA). ودخلت أورنا (Orna) في شراكة مع ميرك (Merck) في عام 2022 واستحوذت على (ReNAgade Therapeutics) لتعزيز مكانتها في هذا المجال. كما تعكف شركة أوربيتال ثيرابيوتكس (Orbital Therapeutics) حاليًا على تطوير علاجات قائمة على الحمض النووي الريبي الدائري المعدَّل. أيضًا هناك شركة سترانـد ثيرابيوتكس(Strand Therapeutics) ، وهي من الشركات التي تُدخل الحمض النووي الريبي الدائري في برامجها الدوائية.

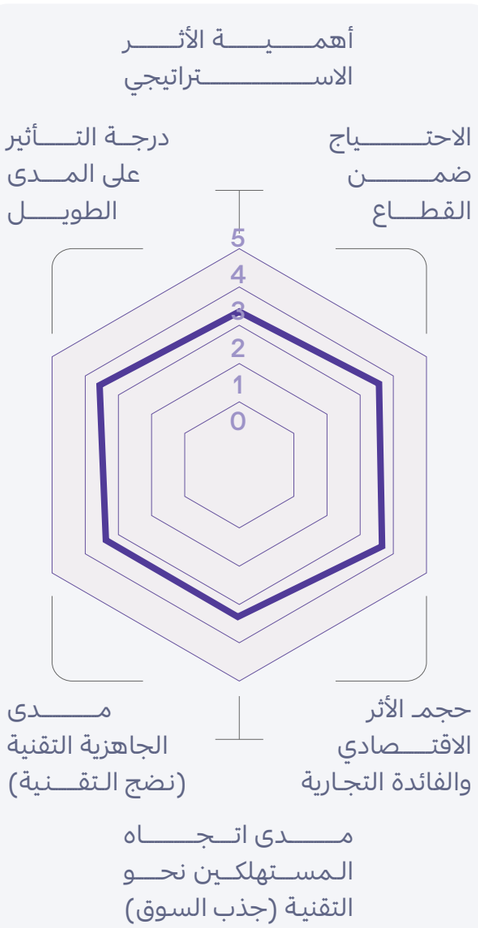
وفي حين أن جميع الأعمال الحالية على الحمض النووي الريبي الدائري (circRNA) لا تزال في مرحلة ما قبل السريرية، يعتقد الخبراء أنها تحمل إمكانات كبيرة. ومع اقتراب تقنية (circRNA) من التجارب السريرية، قد تحتاج التصميمات إلى تعديلات لمراعاة خصائصها الفريدة، مثل التأثيرات الأطول أمدًا واستراتيجيات الجرعات المحسنة. ويتوقع بعض الخبراء أنه في غضون 10 إلى 20 عامًا، يمكن أن تهيمن تقنية (circRNA) على مجال لقاحات الحمض النووي الريبوزي (RNA)، مما يمثل تحولًا كبيرًا في الأساليب العلاجية. [1]

تأثير التقنية

يُعد الحمض النووي الريبي الدائري (circRNA) مجالًا واعدًا في الطب الحيوي، حيث يُستكشف استخدامه كعلامة تشخيصية للأمراض أو كهدف للعلاجات الجينية، خاصة في السرطان وأمراض الجهاز العصبي. ويتوقع أن يرشّح (circRNA) مكانته بوصفه المنصّة المفضَّلة، من بين المنصّات القائمة على الحمض النووي الريبي، في صناعة الأدوية، وأن تفضي في نهاية المطاف إلى تطبيقات ومنتجات عدّة، من اللقاحات المتطورة وعلاجات الأمراض النادرة، إلى المواد الفعَّالة في علاج السرطان، وغيره من الأمراض. [2]

1. www.labiotech.eu
2. www.natureasia.com
3. www.verifiedmarketreports.com

التقييم متعدد المحاور
العلاجات القائمة على الحمض النووي الريبوزي الدائري



حجم السوق العالمي [3]

بلغ حجم سوق أبحاث الحمض النووي الريبوزي الدائري

1.5 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يـــصل إلى

5.2 مليار دولار

في عام 2033

معدل النمو السنوي المركب خـــلال فـــترة التنـــبؤ يقدر

بـ 15.2 %

3.2
استدامة البيئة والاحتـــياجات الأساســية

قصة نجاح سعودية | استدامة البيئة والاحتياجات الأساسية

تيراكسي: من رمال الصحراء إلى أرض خضراء – ابتكارات تغيّر معادلة البيئة والاستدامة

في قلب التحديات البيئية التي تواجه المملكة العربية السعودية، برزت شركة "تيراكسي" (Terraxy) كقصة نجاح ملهمة في مجال الابتكار البيئي والاستدامة. انطلقت هذه الشركة الناشئة من جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية (KAUST)، وتهدف إلى تحويل الصحارى القاحلة إلى أراضٍ خصبة تدعم الزراعة والتشجير، وذلك من خلال تقنيات متقدمة ومستدامة.[1]

تهدف "تيراكسي" إلى معالجة تحدّيين رئيسيين، إذ يواجه العديد من الأراضي القاحلة مشاكل خطيرة في مجال الأمن المائي، ففي المناطق الصحراوية مثل تلك التي تتمتع بها السعودية، تؤدي درجات الحرارة المرتفعة والرياح الجافة إلى تسريع عملية التبخر من الطبقة السطحية للتربة وزيادة نتح النباتات، وبالتالي تحتاج كميات إضافية من المياه إلى الحفاظ على درجة حرارتها المثالية وامتصاص العناصر الغذائية، ما يؤدي بالمزارعين إلى الاعتماد على مصادر مكلفة وغير مستدامة للحصول على المياه.

التحدّي الآخر الذي يواجه الزراعة الصحراوية في المملكة هو طبيعة التربة نفسها، إذ تفتقد أحيانًا المادة العضوية المغذية، وهي ذات درجة ملوحة مرتفعة (قلوية)، ومعدل امتصاصها للعناصر المغذية والأسمدة منخفض جدًا.[2]

للتغلب على هذه التحديات، طورت "تيراكسي" منتجين رئيسيين:

كاربوسويل (CarboSoil) : مادة محسنة للتربة تُنتج من تحويل النفايات الحيوية إلى فحم حيوي معالج خصيصًا ليتناسب مع التربة القلوية في المملكة. يساهم هذا المنتج في تحسين خصوبة التربة، وزيادة احتفاظها بالمياه بنسبة تصل إلى 11%، واحتفاظها بالعناصر الغذائية بنسبة 53%، مع بقاء 73% من المادة فعالة بعد مرور 100 عام.

ساندإكس (SandX) : طبقة تغطية للتربة مستوحاة من الطبيعة، تتكون من حبيبات رملية مغطاة بطبقة نانوية من شمع البارافين القابل للتحلل الحيوي. تقلل هذه التقنية من تبخر المياه من التربة بنسبة تصل إلى 80%، مما يحافظ على رطوبة التربة ويعزز نمو النباتات.

حظيت "تيراكسي" بتقدير دولي، حيث تم اختيارها ضمن قائمة ديلويت "Deloitte Technology Fast 50" للشركات الناشئة ذات التأثير في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا وقبرص لعام 2024. [3]

أثبتت "تيراكسي" فعالية تقنياتها من خلال تجارب ميدانية بالتعاون مع شركاء صناعيين مثل أرامكو ونيوم، حيث ساهمت في زراعة أكثر من 60,000 نبتة محلية. كما نفذت مشروعًا بحثيًا على مساحة 1.3 هكتار في منتزه وادي قديد الوطني، بالتعاون مع المركز الوطني لتنمية الغطاء النباتي ومكافحة التصحر، لدراسة تأثير تقنيات الري وتعديل التربة على نمو الأشجار المحلية. تجسّد "تيراكسي" رؤية طموحة لمستقبل أكثر خضرة واستدامة في المملكة، من خلال تحويل التحديات البيئية إلى فرص للنمو والابتكار.

1. www.kaust.edu.sa
2. hbrarabic.com
3. www.deloitte.com

3.2.1 تنقـــــية المـــــياه المتقدمة

طريقة مبتكرة لتنقية المياه من الملوثات الدقيقة باستخدام الهلاميات المائية الزويتيرية (ثنائية القطب)

TRL: 5

الهلاميات المائية الزويتيرية (ثنائية القطب) تمثل ابتكارًا مهمًا في تنقية المياه، إذ تتميز بقدرتها على امتصاص الملوثات الدقيقة بسرعة وكفاءة بفضل بنيتها الفريدة. باحتوائها على أيونات موجبة وسالبة، فإنها تسمح بإزالة مجموعة واسعة من الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة وحتى البلاستيك الدقيق. تتميز الهلاميات بامتصاص عالي للماء ومرونة في الاستخدام دون الحاجة لضغط عالٍ أو إضافات كيميائية، مما يجعلها صديقة للبيئة وقابلة لإعادة الاستخدام.

طور فريق بحثي في معهد ماساتشوستس للتقنية (MIT) طريقة رائدة لإزالة الملوثات الدقيقة بسرعة وكفاءة من المياه باستخدام الهلاميات المائية ثنائية القطب (الزويتيرية). يمثل هذا الابتكار تقدمًا كبيرًا في مجال تنقية المياه، حيث يعالج تحدي إزالة المواد الضارة مثل المبيدات الحشرية والأدوية وغيرها من الملوثات الكيميائية من إمدادات المياه. تشكل هذه الملوثات، حتى في تركيزاتها الضئيلة، تهديدًا لصحة الإنسان والنظم البيئية المائية. تقدم الهلاميات المائية الزويتيرية الجديدة حلاً واعدًا لهذه المشكلة من خلال توفير طريقة فعالة للغاية وقابلة للتطوير لتنقية المياه. وقد نُشر هذا العمل في مجلة نيتشر للمياه (Nature Water).

وأظهر فريق البحث في معهد (MIT) أن هذه الهلاميات المائية الزويتيرية يمكنها إزالة أكثر من 99% من مجموعة متنوعة من الملوثات الدقيقة من عينات المياه في غضون دقائق. يعد معدل الامتصاص السريع تحسنًا كبيرًا مقارنة بالطرق التقليدية، مثل مرشحات الكربون المنشط أو التناضح العكسي، والتي يمكن أن تكون أبطأ وأقل كفاءة في التقاط أنواع معينة من الملوثات.[1]

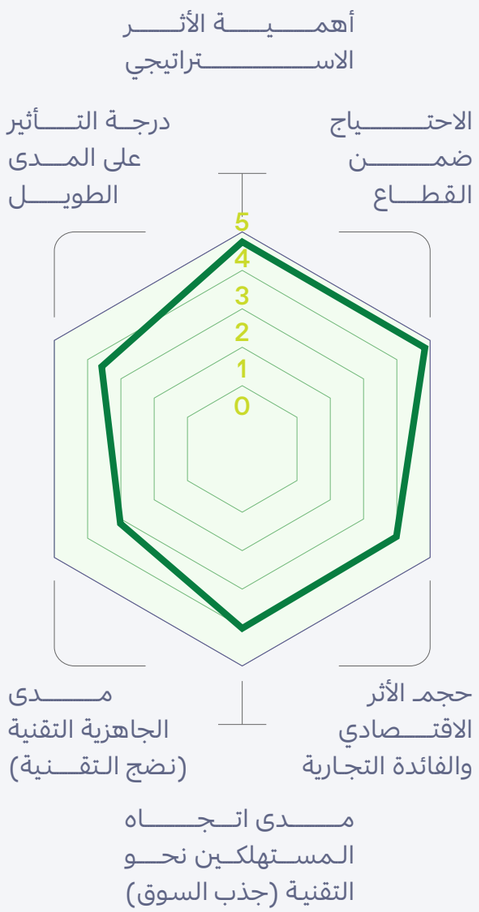
تأثير التقنية

تتمثل إحدى المزايا الأساسية للهلاميات المائية الزويتيرية في تعدد استخداماتها. فعلى عكس طرق معالجة المياه التقليدية التي قد تتطلب خطوات متعددة أو أنواعًا مختلفة من المرشحات لإزالة مجموعة واسعة من الملوثات، يمكن لهذه الهلاميات المائية استهداف مجموعة واسعة من الملوثات بفعالية في خطوة واحدة. بالإضافة إلى ذلك، فهي لا تعتمد على الضغط العالي أو الإضافات الكيميائية، مما يجعلها أكثر كفاءة في استخدام الطاقة وملاءَمة للبيئة. كما يمكن تجديد الهلاميات المائية وإعادة استخدامها عدة مرات دون انخفاض كبير في الأداء، مما يقلل التكاليف والنفايات المرتبطة بتنقية المياه.

وعلاوة على ذلك، فإن قابلية التوسع للهلاميات المائية الزويتيرية تجعلها مناسبة لتطبيقات مختلفة، من محطات معالجة المياه العادمة إلى مرشحات المياه المحمولة للاستخدام المنزلي أو سيناريوهات الإغاثة من الكوارث. ويتصور الباحثون أنه يمكن دمج هذه الهلاميات المائية في أنظمة الترشيح الحالية أو استخدامها كأجهزة مستقلة، مما يوفر حلاً مرنًا وقابلًا للتكيف لمسائل تلوث المياه في جميع أنحاء العالم.

1. www.nature.com
2. www.futuremarketinsights.com

التقييم متعدد المحاور
تنقية المياه المتقدمة باستخدام الهلاميات المائية



حجم السوق العالمي [2]

قُدِّرَ حجم السوق العالمي للهلاميات المائية بـ

3.9 مليار دولار في عام 2025

ومن المتوقع أن يصل إلى

7.5 مليار دولار

في عام 2035

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 6.6 %

3.2.2 الزراعـــــة الذكـــــية المســتدامة

تطبيقـــات الذكـــاء الاصطناعي المتقدم في الزراعة المستدامة

TRL: 5

يساهم الذكاء الاصطناعي المتقدم في تعزيز الزراعة المستدامة من خلال تحسين إدارة المحاصيل باستخدام البيانات في الوقت الفعلي، وتقليل استخدام الموارد مثل المياه والأسمدة، وزيادة سلامة الغذاء. تقنيات مثل الطائرات بدون طيار وأجهزة الاستشعار تُسرع اتخاذ القرارات وتُحسن الكفاءة. ومع التحديات البيئية المتزايدة، يمثل الذكاء الاصطناعي حلاً واعدًا لتحقيق استدامة زراعية شاملة.

إن صعود الذكاء الاصطناعي المتقدم (Edge AI) قد يمثل بداية عصر جديد للزراعة المستدامة. تقترح دراسة حديثة أجراها باحثون في جامعة لييج (University of Liège) البلجيكية خارطة طريق لدمج هذه التقنية في ممارسات الزراعة بهدف تحسين كفاءة وجودة وسلامة الإنتاج الزراعي، مع معالجة مجموعة من التحديات البيئية والاجتماعية والاقتصادية.

يمكن لتطبيقات الذكاء الاصطناعي أن تجلب فوائد كبيرة للزراعة من خلال تحسين الممارسات التي يمكن أن تزيد من كفاءة وإنتاجية وجودة وسلامة الإنتاج الزراعي. يمكن لهذه التقنية إجراء الحسابات بالقرب من مكان جمع البيانات، بدلاً من منشأة حوسبة سحابية مركزية أو مركز بيانات خارج الموقع. وهذا يعني أن الأجهزة يمكنها اتخاذ قرارات أكثر ذكاءً بشكل أسرع، دون الاتصال بالسحابة أو مراكز البيانات خارج الموقع.

إن نشر الذكاء الاصطناعي في الزراعة ليس خاليًا من التحديات. فهو يتطلب حلولاً مبتكرة والبنية الأساسية المناسبة. وفي دراسة نُشرت مؤخرًا في مجلة نيتشر للاستدامة (Nature Sustainability)، يوضح فريق بحثي كيفية التغلب على هذه التحديات وكيف يمكن دمج الذكاء الاصطناعي عمليًا في الأنظمة الزراعية لتلبية الاحتياجات المتزايدة للإنتاج الغذائي المستدام. طور خبراء من جامعة دلفت للتقنية (TU Delft) أنظمة منخفضة الطاقة قادرة على العمل بشكل مستقل. وعلى الرغم من استمرار التحديات، وخاصة في سياق تغير المناخ، فإن الآفاق التي أتاحتها هذه التطورات واعدة.[1]

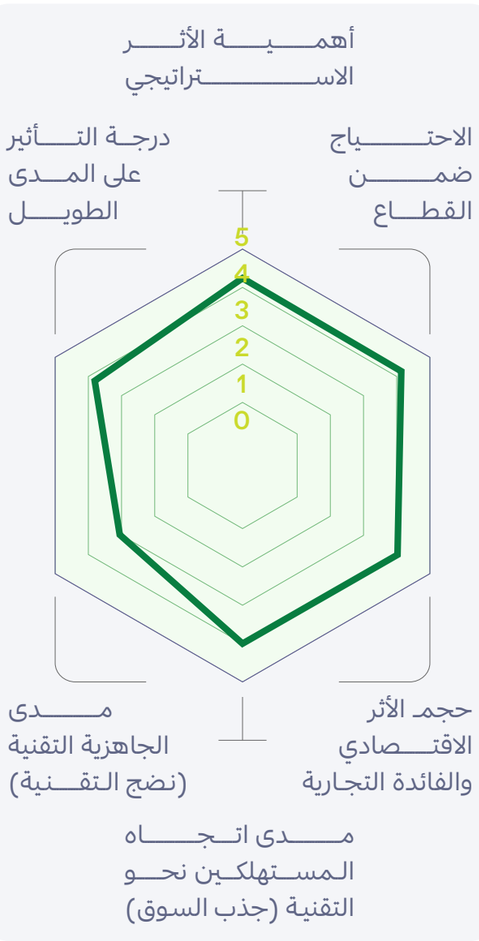
وقد تناولت الورقة البحثية التي تحمل عنوان "الزراعة الإنتاجية المستدامة القائمة على الذكاء الاصطناعي: استكشاف تطبيقات الذكاء الاصطناعي وتأثيراته في الممارسات الزراعية" التي نُشرت في مجلة تقنيات الزراعة الذكية (Smart Agricultural Technology)، موضوعَ تكامل الذكاء الاصطناعي في الزراعة لمواجهة التحديات وتعزيز الممارسات المستدامة. ويبحث المؤلفون في كيفية تعزيز الذكاء الاصطناعي للإنتاجية الزراعية والاستدامة من خلال تطبيقات مختلفة.[2]

تأثير التقنية

يمكن أن يؤدي اعتماد تطبيقات الذكاء الاصطناعي المتطورة إلى تحويل الممارسات الزراعية من خلال زيادة كفاءة الموارد وتحسين جودة المحاصيل والحد من التأثيرات البيئية. تتضمن التطبيقات واسعة النطاق تحسين إدارة المحاصيل باستخدام البيانات في الوقت الفعلي، وتحسين استخدام الموارد مثل المياه والأسمدة، والحد من خسائر ما بعد الحصاد وزيادة سلامة الغذاء، أو تعزيز قدرات الرصد والاستجابة لظروف الطقس المتغيرة. تمهد هذه الدراسة الطريق لزراعة أكثر ذكاءً وصداقة للبيئة. [3]

1. www.nature.com
2. www.sciencedirect.com
3. www.sciences.uliege.be
4. www.statista.com

التقييم متعدد المحاور
تنقية المياه المتقدمة باستخدام الهلاميات المائية



حجم السوق العالمي [4]

قُدِّرَ حجم السوق العالمي لأنظمة الذكاء الاصطناعي في الزراعة بحوالي

1.7 مليار دولار في عام 2023

ومن المتوقع أن يصل إلى

4.7 مليار دولار

في عام 2028

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 22.6 %

3.2.3 المـــــــواد المرنـــــــة الحراريـــة

المـــواد المرنـــــة الحراريـــــة (Elastocalorics) لتطبـــيقات التبريـد والتدفئـة

TRL: 4

التبريد المرن الحراري يعتبر تقنية تبريد في الحالة الصلبة (Solid-state cooling). وهو يستخدم التأثير المرن الحراري، حيث تخضع مواد معينة - مثل السبائك ذات الذاكرة الشكلية فائقة المرونة - لتغير قابل للعكس في درجة الحرارة عند تطبيق إجهاد ميكانيكي ثم إزالته. تقدم تقنية المواد المرنة الحرارية (Elastocalorics) حلاً مستدامًا لأنظمة التبريد والتدفئة، حيث تعتمد على تغيرات حرارية ديناميكية نتيجة للإجهاد الميكانيكي. توفر هذه التقنية كفاءة طاقة أعلى بنسبة 50% مقارنة بالأنظمة التقليدية، مع تقليل استخدام المبردات الضارة.

المواد المرنة الحرارية (Elastocalorics) هي مواد تُظهر تغيرًا معتبرًا في درجة الحرارة عند تطبيق الضغط عليها أو إزالتها. تُعرف هذه الظاهرة باسم التأثير المرن الحراري (elastocaloric effect). عندما تتعرض المواد المرنة الحرارية للضغط، فإنها تمتص الحرارة من محيطها وتبرد. وعلى العكس من ذلك، عندما يتم إطلاق الضغط، فإنها تطلق الحرارة مرة أخرى إلى محيطها وتسخن. [1]

يمكن الاستفادة من هذه القدرة على امتصاص وإطلاق الحرارة لتطوير أنظمة التدفئة والتبريد ذات الحالة الصلبة. ستكون هذه الأنظمة أكفأ وأكثر ملاءمة للبيئة من أنظمة ضغط البخار التقليدية، والتي تُستخدم حاليًا في معظم الثلاجات ومكيفات الهواء. تتمتع أنظمة الحرارة المرنة بكونها أكفأ لأنها لا تتطلب ضاغطًا. تعد الضواغط أجهزة كثيفة الطاقة تستخدم الكثير من الكهرباء. تعتبر أنظمة الحرارة المرنة أيضًا أكثر ملاءمة للبيئة لأنها لا تستخدم مبردات ضارة. تستخدم أنظمة ضغط البخار التقليدية مبردات يمكن أن تساهم في تغير المناخ. [2]

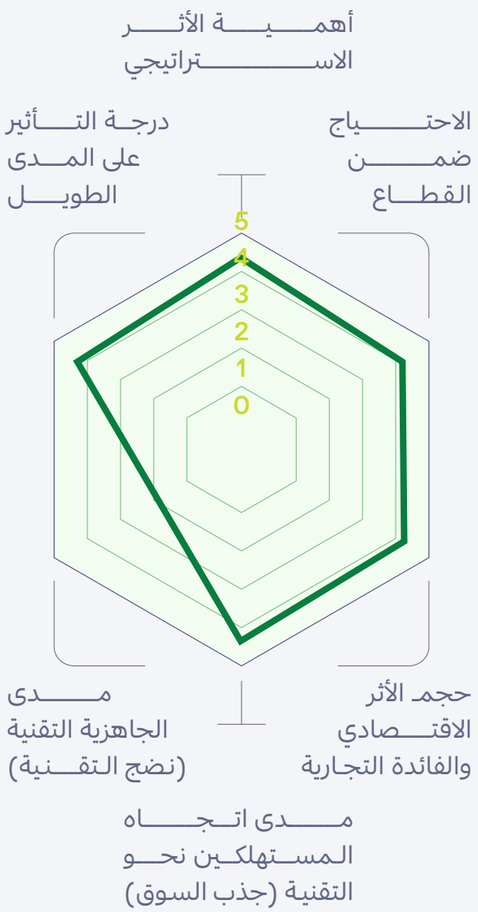
وقد نشر فريق بحثي من جامعة ماريلاند (University of Maryland) ورقة بحثية في المجلة الدولية للتبريد (International Journal of Refrigeration) تناقش التبريد الحراري المرن، وهي تقنية توفر بديلاً موفرًا للطاقة لأنظمة ضغط البخار التقليدية، وتسخير الحرارة الكامنة من انتقال الطور في سبائك الذاكرة الشكلية (SMAs). تستعرض الورقة الديناميكا الحرارية لدورات التبريد الحراري المرن، والمواد المستخدمة، والتقدم المحرز في أداء النظام، بما في ذلك نقل الحرارة وآليات التشغيل. يقدم المؤلفون معلمة أداء غير بُعدية (non-dimensional) لتقييم النماذج الأولية ومناقشة الاستراتيجيات لتعزيز كفاءة الأجهزة في المستقبل. [3]

تأثير التقنية

من بين التطبيقات الواعدة للمواد المرنة الحرارية استخدامها في أنظمة التكييف والمضخات الحرارية. يمكن أيضًا استخدام هذه المضخات الحرارية للتبريد في المناطق التي تعاني من نقص البنية الأساسية لشبكة الكهرباء أو عدم وجودها. ووفقًا لدراسة حديثة، تستهلك المضخات الحرارية التقليدية قرابة 10% من الكهرباء العالمية. [4] ويمكن أن تكون المواد المرنة الحرارية بديلاً مباشرًا لهذه المضخات لكفاءتها في استخدام الطاقة، وإلغائها للمخاطر البيئية المرتبطة بتسرب المبردات.

1. www.pv-magazine.com
2. www.ipm.fraunhofer.de
3. www.sciencedirect.com
4. www.glaciergrid.com
5. www.grandviewresearch.com

التقييم متعدد المحاور
المواد المرنة الحرارية لتطبيقات التبريد والتدفئة



حجم السوق العالمي [5]

قُدِّرَ حجمُ السوق العالمي للتبريد بالحالة الصلبة بقرابة

788 مليون دولار في عام 2023

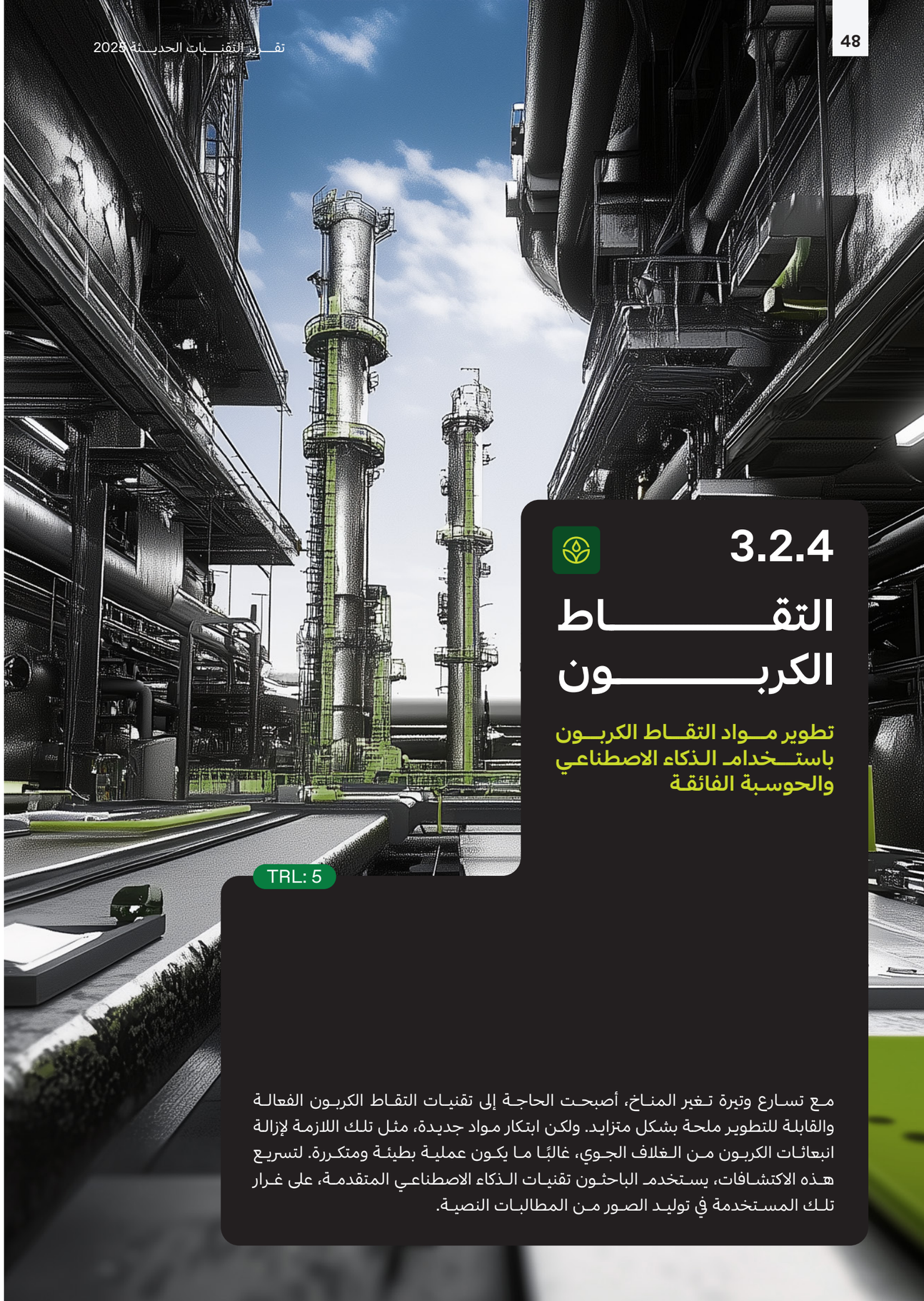
ومن المتوقع أن يصل إلى

1.20 مليار دولار

في عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 6.2 %



3.2.4 التقـــــاط الكربـــــون

تطوير مـــواد التقـــاط الكربـــون باستـــخدام الـذكاء الاصطناعـي والحوسبة الفائقـة

TRL: 5

مـع تسـارع وتيرة تـغير المنـاخ، أصبحـت الحاجـة إلى تقنيـات التقـاط الكربـون الفعالـة والقابلة للتطوير ملحة بشكل متزايد. ولكن ابتكار مواد جديدة، مثل تلك اللازمة لإزالة انبعاثـات الكربـون مـن الـغلاف الجـوي، غالبًـا مـا يكـون عمليـة بطيئـة ومتكـررة. لتسريـع هـذه الاكتشـافات، يسـتخدم الباحثـون تقنيـات الـذكاء الاصطناعـي المتقدمـة، على غـرار تلـك المسـتخدمة في توليـد الصـور مـن المطالبـات النصيـة.

يتعـاون الباحثـون في جامعـة إلينـوي شـيكاغو (University of Illinois Chicago) ومختـبر أرجـون الـوطني (Argonne National Laboratory) وعـدة مراكـز أخـرى لتسـخير نفـس أسـاليب الـذكاء الاصطناعـي لتشـغيل الأنظمـة التي انـتشرت مؤخـرًا والتي تـنشئ صـورًا مـن المطالبـات النصيـة.

وفقًـا لفريـق البحـث، فـإن سـباق التقـاط الكربـون يتوقـف على العثـور على الإبـر في كومـة القـش، وأسـلوب التجربـة والخطـأ بطـيء للغايـة؛ إذ إن هنـاك مليـارات مـن الاحتمـالات. وبعـد ذلـك، يسـتلزم الأمـر تضييـق نطـاق المـواد المرشحة لالتقـاط الكربـون بشـكل جيـد. مـن خـلال هـذا الـمشروع، اتُّخِـذَت الخطـوة الأولى المهمـة نحـو سـد هـذه الفجـوة باسـتخدام الـذكاء الاصطناعـي التوليـدي.

وقـد أنتـج الإطـارُ مفتـوح المصـدر، الموصـوف في ورقـة بحثيـة جديـدة في مجلـة (Nature Communications Chemistry)، ستةَ مـواد مرشحة واعـدة لالتقـاط الكربـون.[1]

يتعمـق نمـوذج الـذكاء الاصطناعـي لفريـق البحـث في المسـاحة الشاسـعة للترتيبـات الكيميائيـة المحتملـة التي يمكـن اسـتخدامها لإنشـاء مـواد تسـمى الأطـر المعدنيـة العضويـة (MOFs)، ويقـدم هياكـل واعـدة لمزيـد مـن التحقـق. بعـد أن اقترح النمـوذج عشرات الآلاف من المواد المرشحة المحتملة، اختـبر الفريـق الخصائـص الفيزيائيـة للهيـاكل وقدرتهـا على التقـاط جزيئـات الكربـون في سلسـلة مـن النمـاذج الحسـابية.

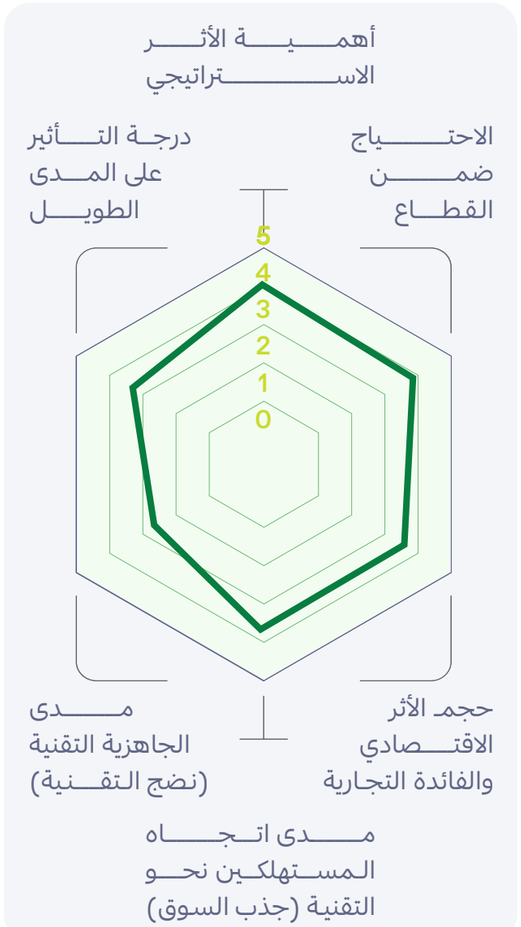
الأطـر العضويـة المعدنيـة (MOFs) هـي مـواد مسـامية متقدمـة اكتسـبت الاهتمـام لإمكاناتها في تخزيـن الغـاز وفصلـه وتحفيزه. تجعل مساحتها السطحية العالية وحجم المسام القابل للضبط وتعدد استخداماتها الكيميائية الأطرَ العضوية المعدنية فعالةً بشكل خاص في التقاط وتخزين ثاني أكسيد الكربـون، ممـا يقـدم نهجًـا قـابلاً للتطبيـق للتخفيـف مـن انبعاثـات الغـازات المسـببة للاحتبـاس الحـراري العالمـي.

تأثير التقنية

يُسـهم الـذكاء الاصطناعـي والحوسـبة الفائقـة بشـكل كـبير في تطويـر مـواد التقـاط الكربـون لتحسـين كفاءتهـا واسـتدامتها. تُستخدم خوارزميات التعلم الآلي لتحليل ملايين التركيبات الكيميائيـة والمـواد المسـامية لتحديـد الأنسـب لالتقـاط ثـاني أكسـيد الكربـون بفعاليـة. تُسرّع الحوسـبة الفائقـة عمليـات المحـاكاة الدقيقـة لتفاعـل الكربـون مـع هـذه المـواد، ممـا يقلـل مـن الوقـت والتكاليـف المرتبطـة بالتجـارب التقليديـة. تشـمل المـواد المطـورة أطـرًا معدنيـة عضويـة (MOFs) وأغشـية مسـامية قـادرة على امتصـاص الكربـون في الظـروف البيئية المختلفة. يُسهم هذا النهج في مواجهة تحديات تغير المناخ عبر تصميم حلول مخصصة لالتقاط الكربون بكفاءة أعلى، ممـا يدعـم تحقيـق أهـداف الحيـاد الكربـوني عالميًـا.

1. www.nature.com
2. www.statista.com

التقييم متعدد المحاور
تطوير مواد احتجاز الكربون بالحوسبة الفائقة



حجم السوق العالمي [2]

قُـدِّرَ حجـم السـوق العالمـي لالتقـاط وتخزيـن الكربـون بـ

2.4 مليار دولار في عام 2023

ومن المتوقـع أن يـــصل إلى

16.5 مليار دولار

في عام 2031

معدل النمو السنوي المركب خـلال فـترة التنـبؤ يقدر

بـ 13.5 %

3.2.5 المعالجـــــة المتقـــدمـــة للمـيـاه وإعـادة تدويرها

اســتدامة المــياه باستــخدام تقنية الفقاعات النانوية

TRL: 6

حاليًا، يعاد استخدام 11 % فقط من مياه الصرف الصحي المنزلية والصناعية. ومن العوائق المهمة لإعادة تدوير المياه أن مياه الصرف الصحي الصناعية يمكن أن تحتوي على معادن ثقيلة ومواد كيميائية سامة تتطلب عمليات معالجة متخصصة. إحدى التقنيات التي تغير قواعد اللعبة فيما يتعلق بكفاءة المعالجة هي الفقاعات النانوية (Nanobubbles)؛ حيث تتميز بحجمها الصغير للغاية، مما يسمح لها بنقل الغازات بكفاءة أكبر. لتحسين إدارة الموارد المائية، تُعد الفقاعات النانوية تقنية واعدة تُستخدم لتنقية المياه، حيث تعمل فقاعات بحجم نانوي على إزالة الملوثات الدقيقة وزيادة تشبع الأكسجين، مما يُحسّن كفاءة المعالجة.[1]

1. www.weforum.org

تتضمن تقنية الفقاعات النانوية توليد فقاعات غازية فائقة الصغر، يقل قطرها عادة عن 100 نانومتر. تعمل هذه الفقاعات على تعزيز كفاءة نقل الغاز في الماء، مما يسمح بالأكسجين بشكل أفضل وتحسين العمليات مثل معالجة مياه الصرف الصحي والزراعة وتربية الأحياء المائية. تظل الفقاعات النانوية معلقة في الماء لفترة أطول بسبب حجمها الصغير واستقرارها، مما يجعلها فعالة في تقليل استخدام المواد الكيميائية، وتعزيز كفاءة الري، وتعزيز تنقية المياه.[2]

وقد عملت شركة كران (Kran) الناشئة، التي نوّه بها المنتدى الاقتصادي العالمي (WEF)، على تطوير تقنية الفقاعات النانوية المبتكرة. تم تصميم حلول الفقاعات النانوية (nanobubble) من كران (Kran) لتناسب قطاعات مختلفة مثل الزراعة وتربية الأحياء المائية والعمليات الصناعية، مما يعزز كفاءة المياه ويقلل من الحاجة إلى المواد الكيميائية والطاقة. تعمل هذه التقنية على تعزيز الفوائد البيئية الكبيرة، بما في ذلك توفير استهلاك المياه، وتحسين الإنتاجية الصناعية، وخفض البصمة الكربونية. تسهم شركة كران (Kran) في الابتكار بهدف تحسين إعادة استخدام المياه، وتجديد البيئات الملوثة، وتقليل استخدام المواد الكيميائية الضارة.[3]

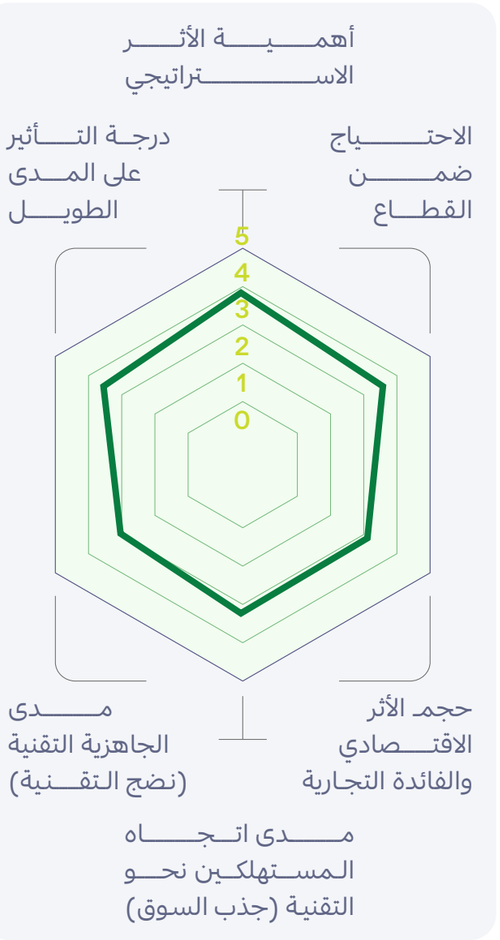
تأثير التقنية

تقدم فقاعات النانو فوائد مهمة، بما في ذلك تحسين كفاءة الري، مما قد يؤدي إلى توفير المياه بنسبة تزيد عن 50%. كما تعمل على تحسين عمليات الغسيل في مصانع الأغذية من خلال تقليل استخدام المياه والمواد الكيميائية، وتمكين توفير الطاقة في معالجة مياه الصرف الصحي، مما يسمح بإعادة استخدام المياه الصناعية للري. كما تهدف الشركة إلى تعزيز الإنتاجية الزراعية بشكل أكبر، وتقليل الاعتماد على مياه الشرب للعمليات الصناعية، واستعادة البيئات الملوثة، وخفض استخدام المواد الكيميائية الضارة بالبيئة من خلال تقنية فقاعات النانو المبتكرة.[4]

تقدم هذه التقنية أيضًا فوائد بيئية محتملة من خلال تحسين كفاءة الموارد ودعم الممارسات الصناعية المستدامة.

2. www.sciencedirect.com
3. kran-nanobubble.com
4. www.weforum.org
5. www.globenewswire.com

التقييم متعدد المحاور
معالجة المياه وإعادة تدويرها



حجم السوق العالمي[5]

قُدِّرَ حجم السوق العالمي لأنظمة تنقية المياه بـ

53.8 مليار دولار في عام 2023

ومن المتوقع أن يصل إلى

95.2 مليار دولار في عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 6.5 %

3.2.6 الحـــفازات المتقـدمـــة لحـــمايـــة البيـئة

تطوير حـــفاز من الكتلة الحيوية لتخفيض التلوث البيئي بكفاءة

TRL: 5

مع استمرار توسع الأنشطة الصناعية العالمية، يظل التلوث البيئي يشكل تحديًا بالغ الأهمية، وخاصة بسبب وجود الملوثات العضوية الثابتة. ومع تزايد النفايات العضوية -البلاستيكية على سبيل المثال- اكتسبت كيفية التعامل مع هذه النفايات العضوية اهتمامًا علميًا وصناعيًا متزايدًا. يجري البحث حاليًا في تحويل النفايات البلاستيكية إلى وقود هيدروجيني، حيث تعمل ممارسة "تحويل النفايات إلى قيمة" على تسريع الاقتصاد الدائري. يمكن أن يعزِّزَ تطبيقُ الحفازات (Catalysts) المصممة بشكل مدروس الإنتاجَ الانتقائي للهيدروجين من المواد البلاستيكية. وهناك حاجة إلى مزيد من الدراسات حول تحسين العملية وتصميم الحفاز الفعال من حيث التكلفة والأداء.[1]

1. www.sciencedirect.com

يُعتبر ثنائي بنزو باراديوكسين متعدد الكلور (Polychlorinated dibenzo-p-dioxins) وثنائي بنزوفيوران متعدد الكلور (polychlorinated dibenzofurans) ملوثات خطيرة بسبب قدرتها على التسبب في السرطان وبقائها في البيئة. وتواجه طرق الأكسدة الحفزية التقليدية لإزالتها تحديات مثل التكلفة العالية وعدم الكفاءة عند درجات حرارة منخفضة. وقد أظهرت الأبحاث أن استخدام المواد الكربونية، مثل الأنابيب النانوية الكربونية والكربون النشط، يحسّن الأداء الحفزي من خلال تعزيز امتصاص وتوزيع المواقع النشطة. ومع ذلك، فإن تطبيقها محدود بسبب التكاليف ومتطلبات الصيانة.

تقدم المواد الكربونية المضاف إليها النيتروجين، والمشتقة من الكتلة الحيوية (biomass-derived)، بديلاً واعداً بمساحتها السطحية العالية ومساميتها، مما قد يؤدي إلى خفض درجات الحرارة التشغيلية وزيادة الكفاءة. وقد طور الباحثون حفازًا جديدًا يعزز تحلل الملوثات الضارة في درجات حرارة منخفضة، باستخدام كربون الكتلة الحيوية المضاف إليه النيتروجين. تقدم هذه التقنية في دراسة أجرتها جامعة تشجيانغ (Zhejiang University) الصينية، نهجًا مستدامًا وفعّالاً من حيث التكلفة للتخفيف من التلوث البيئي، مع التأكيد على إمكانات المواد المشتقة من الكتلة الحيوية في تحسين جهود حماية البيئة.

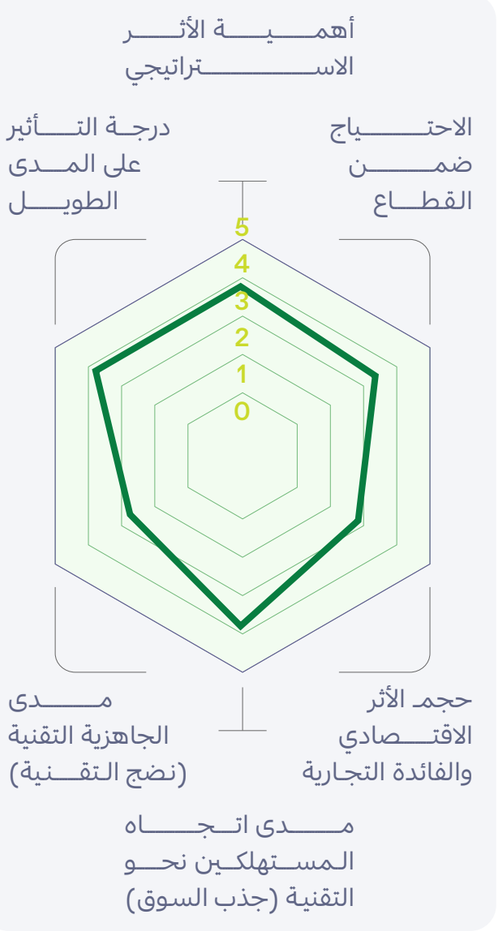
تقدم هذه الدراسة حفازًا يجمع بين مكونات تعتمد على الفاناديوم وكربون الكتلة الحيوية المضاف إليه النيتروجين (NHPC). يعزز هذا التطور بشكل كبير نشاط تحلل الفُوران (decomposition of furan) في درجات الحرارة المنخفضة، مما يوفر حلاً جديدًا للتحلل الفعال للملوثات العضوية الثابتة، مما يمثل خطوة مهمة إلى الأمام في جهود الحماية البيئية.[2]

تأثير التقنية

يمثل تطبيق الكربون المسامي الهرمي المضاف إليه النيتروجين (NHPC) في الحفازات تقدمًا محوريًا في التقنية البيئية، حيث يوفر طريقة فعالة من حيث التكلفة ومنخفضة الحرارة لإزالة الملوثات الخطرة. لا يضع هذا الابتكار معيارًا جديدًا للسيطرة على التلوث فحسب، بل يسلط الضوء أيضًا على إمكانات المواد الكربونية المشتقة من الكتلة الحيوية في التحلل التحفيزي، وتعزيز كفاءة تحلل الملوثات وتعزيز حلول حماية البيئة المستدامة.

2. link.springer.com
3. www.futuremarketinsights.com

التقييم متعدد المحاور
الحفازات المتقدمة لحماية البيئة



حجم السوق العالمي [3]

قُدِّرَ حجم السوق العالمي للحفازات البيئية بقيمة

43.9 مليار دولار في عام 2025

ومن المتوقع أن يصل إلى

68.2 مليار دولار في عام 2035

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 4.5 %

3.2.7 نمـــذجـــة المنـــــاخ بالذكـــــاء الاصطناعي

تطويـــر نظـــام إنـــذار لنقـــاط التحـول المناخيـة

TRL: 4

نمذجة المناخ باستخدام الذكاء الاصطناعي تُعد نقلة نوعية في فهم ديناميكيات المناخ وتوقع تغيراته المستقبلية بدقة أعلى. تُستخدم خوارزميات التعلم الآلي لتحليل كميات هائلة من البيانات المناخية مثل درجات الحرارة، والضغط الجوي، والرطوبة، وأنماط الرياح. تتيح هذه التقنيات الكشف عن العلاقات المعقدة بين العوامل المناخية التي يصعب تحديدها باستخدام النماذج التقليدية.

وقد أطلقت المملكة المتحدة برنامجًا بقيمة 81 مليون جنيه إسترليني لتطوير أنظمة إنذار مبكر لنقاط التحول المناخية، تحت إشراف وكالة الأبحاث والاختراعات المتقدمة (ARIA). يركز هذا المشروع على نقطتي تحول حاسمتين: ذوبان الصفائح الجليدية في غرينلاند بشكل سريع، وضعف التيار شبه القطبي (Subpolar) الأطلسي الشمالي. يمكن أن تتسبب هذه النقاط في آثار متفاقمة على النظم البيئية العالمية، مما يؤثر بشكل كبير على مستويات سطح البحر، أنماط الطقس، والمجتمعات البشرية. يهدف برنامج (ARIA) إلى تقليل عدم اليقين (uncertainty) المتعلق بهذه النقاط من خلال تطوير أجهزة استشعار منخفضة التكلفة، نشر شبكات مراقبة، وإنشاء نماذج حاسوبية متقدمة للكشف عن علامات الإنذار المبكر.

تعتبر الصفائح الجليدية في غرينلاند، التي تذوب بمعدلات متزايدة بسبب التسارع في الاحترار (warming) في القطب الشمالي، تهديدًا كبيرًا. في حال انهيارها بالكامل، قد يرتفع مستوى سطح البحر بأكثر من 20 قدمًا (قرابة 6 أمتار)، مما يؤدي إلى نزوح ملايين الأشخاص وظهور موجات هجرة مناخية جماعية. بالإضافة إلى ارتفاع مستويات سطح البحر، قد يتسبب تدفق المياه العذبة إلى شمال المحيط الأطلسي من ذوبان الجليد في إبطاء التيارات المحيطية الرئيسية، بما في ذلك التيار شبه القطبي، الذي يلعب دورًا حيويًا في تنظيم الأنماط المناخية العالمية. قد يؤدي ضعف التيار إلى أنماط طقس غير منتظمة، وتعطيل الزراعة ومصايد الأسماك.

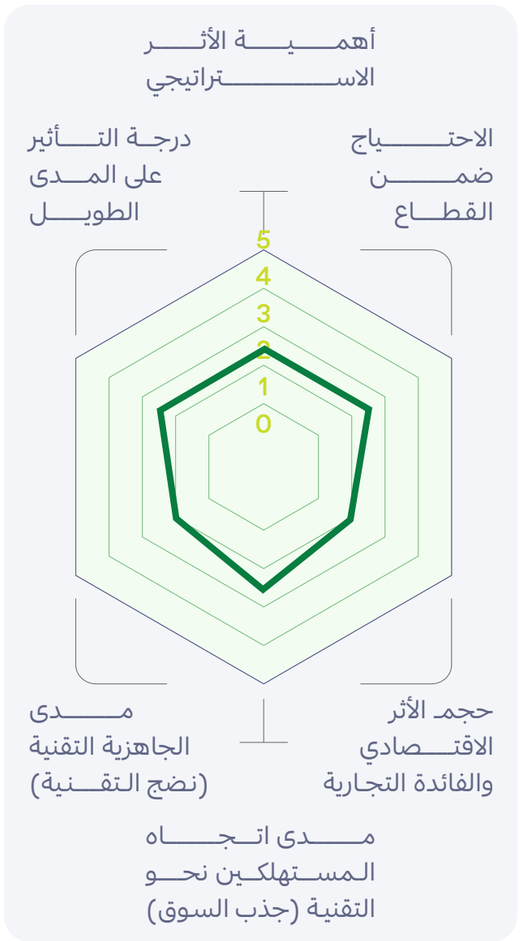
يهدف برنامج نقاط التحول الذي تديره وكالة (ARIA) إلى إنشاء أنظمة إنذار مبكر تكون ميسورة التكلفة، ومستدامة، وقائمة على أسس علمية. إذا تم تطوير أنظمة إنذار مبكر بنجاح، فقد توفر وقتًا ثمينًا للتكيف مع هذه التغيرات. [1]

تأثير التقنية

يُسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين الدقة الزمنية والمكانية لتوقعات المناخ، مما يساعد في التنبؤ بالكوارث الطبيعية مثل الأعاصير والجفاف. تُسرّع الحوسبة الفائقة عمليات التدريب للنماذج، مما يدعم اتخاذ قرارات مستنيرة للحد من تأثيرات التغير المناخي ودعم السياسات البيئية المستدامة عالميًا.
تعمل تقنيات الذكاء الاصطناعي على تحسين التنبؤ بالأحداث المتطرفة مثل موجات الحر والعواصف. كما يمكن تدريب خوارزميات التعلم الآلي على بيانات المناخ التاريخية لتحديد الاتجاهات وتعزيز دقة التنبؤ، مما يوفر رؤى قيمة للاستعداد للكوارث والاستجابة لها.

1. egusphere.copernicus.org
2. www.gminsights.com

التقييم متعدد المحاور
مراقبة التغير المناخي والإنذار المبكر



حجم السوق العالمي [2]

قُدّرت قيمة السوق العالمي للنمذجة المناخية القائمة على الذكاء الاصطناعي بنحو

266.4 مليون دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

2.47 مليار دولار

في عام 2034

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 23.1 %

3.3
الطـــــاقة والصناعـــــة

قصص نجاح سعودية | الريادة في الطاقة والصناعة

ديـــما إنيرجـــي: تحويـــل الطاقـة المهـدرة إلى قـــوة حوسبة مستدامة في المملكـة

في قلـب التحـول الرقمـي والانتقـال إلى الطاقـة النظيفـة في المملكـة العربيـة السـعودية، بـرزت شركـة "ديمـا إنيرجـي" (DEMA Energy) كمبتكـر رائـد في مجـال الطاقـة والتقنيـة. تعمـل الشركـة على تحويـل الطاقة المهدرة من مصادر متنوعة -مثل الغاز المحترق، والنفايات العضوية، والطاقة الشمسية والرياح- إلى طاقة تُستخدم في تشغيل مراكز بيانات متنقلة عالية الأداء، تُعرف باسـم "DEMA Box".

تتميز هذه المراكز بتصميمها القابل للتوسع والتكيف مع مختلف البيئات، مما يتيح نشرها في مواقع متعددة لتلبية احتياجات الحوسبة المتزايدة، خاصة في مجالات الذكاء الاصطناعي والحوسبة الدُّفعية (Batch Computing). تُسهم هذه الحلول في تقليل تكاليف الطاقة، ودمج مصادر الطاقة المتجددة، وخفض الانبعاثات الكربونية، مع تعزيز كفاءة قطاع الحوسبة.[1]

وبدعم من هيئة الاتصالات والفضاء والتقنية، طورت شركة "ديما إنيرجي" مركز بيانات متنقل صديق للبيئة يهدف إلى توفير الطاقة.[2]

من خلال هذه الابتكارات، تُسهم "ديما إنيرجي" في تحقيق أهداف رؤية المملكة 2030، من خلال تعزيز الاستدامة البيئية، وتطوير البنية التحتية الرقمية، ودعم الاقتصاد الدائري للطاقة.

1. www.demaenergy.com.sa 2. www.alriyadh.com

قصص نجاح سعودية | الريادة في الطاقة والصناعة

ساهر فلو سولوشنز: ابتكار يُعيد تشـــكيل مستـــقبل قيـــاس التدفـــق في قطـــاع الطاقة

انطلقت الشركة الناشئة "ساهر فلو سولوشنز" (Saher Flow Solutions) من أروقة جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية (KAUST)، حيث بدأت الشركة كمشروع بحثي مدعوم من كاوست وشركة أرامكو السعودية، وتهدف إلى تقديم حلول مستدامة وذكية لقياس وتحسين أداء آبار النفط والغاز من خلال التقنية العميقة (Deep Tech).

طورت الشركة تقنية فريدة تُعرف بـ: "المِرْنَان المزدوج المتعامد المتـــبادل Dual Mutually Orthogonal Resonator (DMOR) وهي مستشعرات ميكروويف متقدمة تُركب على رؤوس الآبار لقياس نسب الماء والغاز والنفط في الوقت الحقيقي. تتميز هذه التقنية بأنها غير إشعاعية، غير تدخّلية، وتعمل بكفاءة عالية دون الحاجة إلى معايرة متكررة، مما يقلل من التكاليف التشغيلية ويزيد من كفاءة الإنتاج.[1]

حظيت "ساهر فلو سولوشنز" بتقدير دولي، حيث تم اختيارها ضمن قائمة ديلويت (Deloitte Technology Fast 50) للشركات الناشئة ذات التأثير في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا وقبرص لعام 2024.[2]

تسعى الشركة إلى تقليل الاعتماد على الواردات وتوفير فرص عمل محلية، مما يساهم في تحقيق أهداف رؤية المملكة 2030. وتُجسد "ساهر فلو سولوشنز" مثالًا حيًا على كيفية استقطاب المواهب وتحويل البحث العلمي إلى حلول عملية تُحدث فرقًا حقيقيًا في الصناعة، مما يجعلها نموذجًا يُحتذى به في مجال ريادة الأعمال التقنية في المملكة العربية السعودية.

1. impacts.kaust.edu.sa
2. www.deloitte.com

3.3.1 إنتـــــاج وتخـــزيـــن الهيـــدروجين

اكتشـــاف يمكّـــن مـــن إنتـــاج الهيدروجـــين الأخـــضر بطريقة اقتصادية وصديقة للبيئة

TRL: 5

يُعد الهيدروجين ناقل طاقة حيويًا لتطبيقات النقل، الصناعة، وتخزين الطاقة. يتم إنتاجه بطرق متعددة تشمل: العمليات الحرارية كإعادة تشكيل الميثان؛ العمليات الكهربائية مثل التحليل الكهربائي لإنتاج "الهيدروجين الأخضر"؛ والعمليات البيولوجية باستخدام الكائنات الحية الدقيقة. تخزين الهيدروجين يُواجه تحديات كبيرة، ويتم عبر طرق كالتخزين بالغاز المضغوط، التخزين السائل عند درجات حرارة منخفضة، أو باستخدام مواد مبتكرة كالأطر العضوية المعدنية (MOFs) لتحسين الكفاءة وتقليل التكاليف. يمثل الهيدروجين حلاً واعدًا للتحول إلى اقتصاد منخفض الكربون عند إنتاجه وتخزينه بطرق فعالة ومنخفضة التكلفة.

ظهرت تقنية رائدة تتيح إنتاج الهيدروجين الأخضر بطريقة فعّالة من حيث التكلفة وصديقة للبيئة، من خلال استبدال حفازات المعادن الثمينة باهظة الثمن. وقد قام فريق بحثي تعاوني من معهد أولسان الوطني للعلوم والتقنية (UNIST) والمعهد الكوري المتقدم للعلوم والتقنية (KAIST) بتطوير حفاز تحليل كهربائي ثنائي الوظائف مصمم لإنتاج الهيدروجين الأخضر عالي النقاء بكفاءة وثبات. يوفر هذا الحفاز الجديد، المكون من الروثينيوم والسيليكون والتنغستن (RuSiW)، متانة كبيرة حتى في البيئات الحمضية شديدة التآكل. يقدم ذلك بديلاً أكثر اقتصادًا لحفازات البلاتين (Pt) أو الإيريديوم (Ir) التقليدية مع انبعاث غازات دفيئة أقل، مما يجعله خيارًا صديقًا للبيئة.[1]

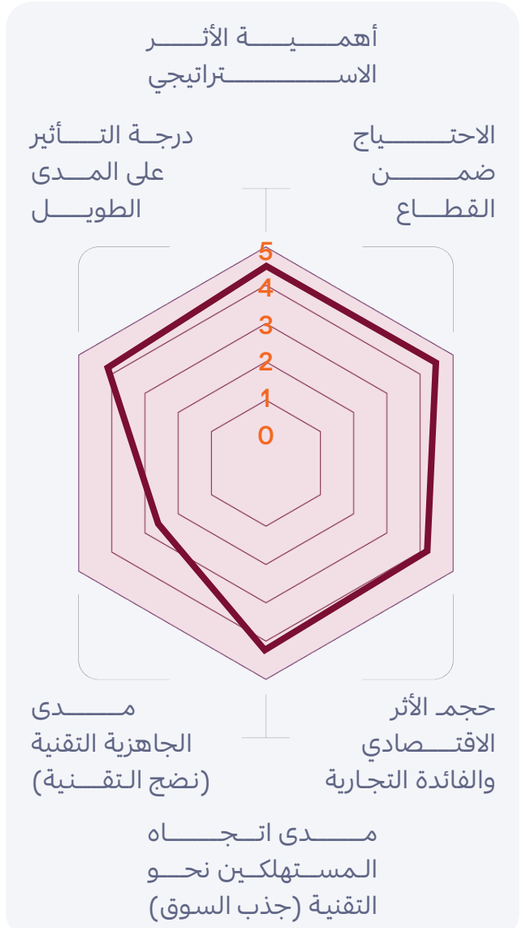
كما حقق فريق بحثي آخر في جامعة ولاية أوريجون (OSU) تقدمًا كبيرًا في إنتاج الهيدروجين الأخضر، حيث طور الفريق حفازًا ضوئيًا / مادة قادرة على تحويل ضوء الشمس والماء إلى طاقة نظيفة بكفاءة ملحوظة. يعد هذا الابتكار في إنتاج الهيدروجين أداة حاسمة في مكافحة انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري ومعالجة تغير المناخ. ويمكن استخدام هذا الهيدروجين النظيف في خلايا الوقود للسيارات وفي تصنيع المواد الكيميائية وتكرير المعادن وإنتاج البلاستيك.

تمثل النتائج التي توصل إليها هذا البحث خطوة واعدة نحو حلول طاقة أكثر استدامة وكفاءة. إن إنتاج الهيدروجين بسرعة وكفاءة عالية باستخدام ضوء الشمس والماء يمكن أن يلعب دورًا مهمًا في الانتقال إلى الطاقة الخضراء، مما يوفر بديلاً أنظف للوقود الأحفوري ويقلل من البصمة الكربونية العالمية.[2]

تأثير التقنية

الهيدروجين، العنصر الأكثر وفرة في الكون، يُعتبر ناقلَ طاقةٍ متعددَ الاستخدامات يتمتع بإمكانيات كبيرة في مختلف التطبيقات، بما في ذلك النقل، العمليات الصناعية، وتخزين الطاقة. تعد التطورات في تقنيات إنتاج وتخزين الهيدروجين ضرورية لاعتماد الهيدروجين على نطاق واسع كناقل طاقة نظيف. تهدف الجهود المستمرة في البحث والتطوير إلى تحسين الكفاءة، خفض التكاليف، ومعالجة التحديات التقنية المرتبطة بهذه العمليات، مما يسهم في تسريع التحول نحو اقتصاد هيدروجين مستدام.

التقييم متعدد المحاور
إنتاج وتخزين الهيدروجين



حجم السوق العالمي[3]

قُدّرت قيمة السوق العالمي لإنتاج الهيدروجين بنحو

148 مليار دولار في عام 2023

ومن المتوقع أن يصل إلى

259 مليار دولار

في عام 2033

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 5.75 %

1. advanced.onlinelibrary.wiley.com
2. www.innovationnewsnetwork.com
3. www.precedenceresearch.com

3.3.2 تخـزيـــــن الطـــاقة

تصميـم بطارية الحالة الصلبة تُشحن في دقائق، وتدوم لآلاف الدورات

TRL: 5

تحتل بطاريات الحالة الصلبة (solid-state batteries) مكانة متقدمة في طليعة ابتكارات تخزين الطاقة. تستخدم بطاريات الحالة الصلبة إلكتروليتات صلبة (solid electrolytes) بدلاً من الإلكتروليتات السائلة الموجودة في بطاريات أيون الليثيوم التقليدية. يعزز هذا التصميم السلامة من خلال تقليل مخاطر الاشتعال وتمكين كثافات طاقة أعلى، وهو أمر بالغ الأهمية لتطبيقات مثل المركبات الكهربائية. ومع ذلك، لا تزال التحديات مثل تكاليف التصنيع المرتفعة وقابلية التوسع قائمة.

وتركز الأبحاث الحديثة على تطوير إلكتروليتات صلبة ذات موصلية أيونية واستقرار عاليين، كما تناقش التطورات في الإلكتروليتات الصلبة والأنودات، وتسلط الضوء على إمكانات بطاريات الحالة الصلبة لتلبية الطلب المتزايد على تخزين الطاقة بكفاءة وأمان في المركبات الكهربائية والإلكترونيات المحمولة.[1]

1. www.mdpi.com

وقد طوَّر باحثون من جامعة هارفارد بطارية ليثيوم معدنية جديدة يمكن شحنها وتفريغها 6000 مرة على الأقل - أكثر من أي خلية بطارية أخرى - ويمكن إعادة شحنها في غضون دقائق. لا يصف البحث، الذي نُشر في مجلة نيتشر للمواد (Nature Materials)، طريقةً جديدة لصنع بطاريات الحالة الصلبة مع أنود معدن الليثيوم فحسب، بل يقدم أيضًا فهمًا جديدًا للمواد المستخدمة في هذه البطاريات المحتملة.[2]

قام الباحثون ببناء نسخة من البطارية بحجم طابع بريدي، وهي أكبر من الخلية المعدنية المصنوعة في معظم مختبرات الجامعات بعشرة إلى عشرين مرة. احتفظت البطارية بنسبة 80٪ من سعتها بعد 6000 دورة، متفوقة على بطاريات الخلايا الجيبية الأخرى الموجودة في السوق اليوم. تم ترخيص التقنية من خلال مكتب تطوير التقنيات في جامعة هارفارد لشركة أدن إنيرجي (Adden Energy)، وهي شركة أسسها أربعة خريجين من جامعة هارفارد. قامت الشركة بتطوير التقنية لبناء بطارية خلية جيبية بحجم الهاتف الذكي.[3]

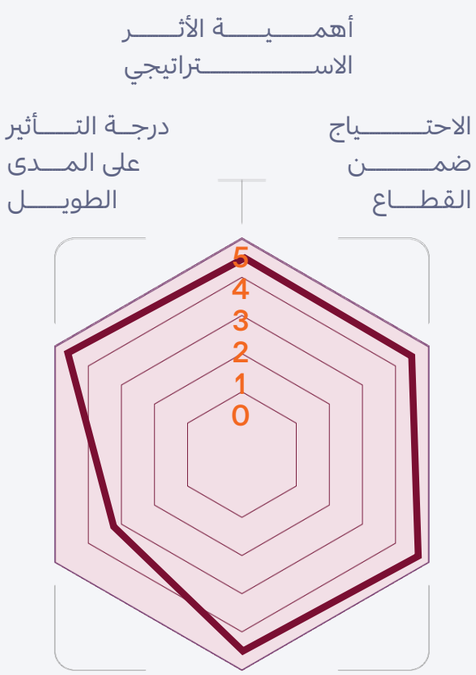
على صعيد آخر، أعلنت شركة صناعة السيارات الصينية GAC Group عن نقلات كبيرة في متانة وسلامة البطاريات "الصلبة بالكامل"، وتتوقع أن تقدم أكثر من 620 ميلاً لكل شحنة بحلول عام 2026. وتميزت شركة GAC باستخدام إلكتروليت هجين من الحالة الصلبة يجمع بين الأكاسيد والكبريتيدات. ومن المفترض أن هذه البطاريات تتمتع بسلامة وكثافة طاقة أفضل (400 واط/كجم)، مقارنة بالبدائل الأخرى.[4]

تأثير التقنية

تُحدث بطاريات الحالة الصلبة تحولًا كبيرًا في تقنيات تخزين الطاقة بحيث تعزّز السلامة وتقلّل من خطر الاشتعال. كما توفر كثافة طاقة أعلى، ما يعني عمرًا أطول للبطارية وزمنًا أطول للتشغيل، وهو ما يعزز أداء المركبات الكهربائية والأجهزة المحمولة. تسهم هذه التطورات أيضًا في تسريع الانتقال إلى الطاقة النظيفة عبر دعم تقنيات النقل الكهربائي والتخزين الفعال للطاقة المتجددة، مما يدعم الاستدامة ويقلل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

2. www.nature.com
3. techxplore.com
4. technode.com
5. straitsresearch.com

التقييم متعدد المحاور
بطاريات الحالة الصلبة



حجم السوق العالمي[5]

قُدِّر حجم السوق العالمي لبطاريات الحالة الصلبة بـ

1.50 مليار دولار في عام 2023

ومن المتوقع أن يصل إلى

24.48 مليار دولار في عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 36.4 %

3.3.3 الشبـــــكات الذكيـــــة

توظيـــف قـــدرات الذكـــاء الاصطناعـي في الشبكات الذكية

TRL: 6

في سياق تحول المشهد العالمي لأنظمة الطاقة توجد مفاهيم من قبيل: "الشبكات الذكية"، "الشبكات المرنة"، و"المنازل الذكية". تتميز أنظمة الطاقة الحديثة هذه بمجموعة من العناصر المبتكرة بما في ذلك تقنيات الاستشعار المتقدمة، ودمج مصادر الطاقة المتجددة، وتوظيف إنترنت الأشياء، وتفعيل الأجهزة الذكية.

تعمل هذه التطورات التقنية بشكل جماعي على إعادة تشكيل كيفية عمل أنظمة الطاقة، مما يجعلها أقدر على التكيف والكفاءة والمرونة. ومن المحددات الحاسمة لهذه الشبكات الحديثة الاستخدام المكثف للمستشعرات والبيانات الضخمة، إلى جانب أنظمة التحكم الذكية وأُطُر اتخاذ القرار الموزعة. يهدف هذا التكامل التقني إلى إنشاء بنية تحتية للطاقة قادرة على الحفاظ على وظائفها الأساسية بالرغم من الحالات الطارئة، مثل الكوارث الطبيعية.

وقد طوّر باحثون في جامعة تكساس في أوستن (University of Texas at Austin) نظام ذكاء اصطناعي يُدعى "ميرلين" (Merlin) يهدف إلى تحسين استخدام الطاقة في المباني. يتعلم نظام "ميرلين" أنماط استهلاك الطاقة في المنازل ويضبط عمل الأجهزة مثل منظِّمات الحرارة وبطاريات المنازل لإدارة الطلب على الكهرباء بكفاءة أعلى. يهدف هذا النظام إلى تقليل الضغط على الشبكة الكهربائية، خاصة خلال أوقات الطلب العالي، من خلال نقل استخدام الطاقة إلى فترات يكون فيها الضغط على الشبكة أقل واستخدام مصادر طاقة أنظف.[1]

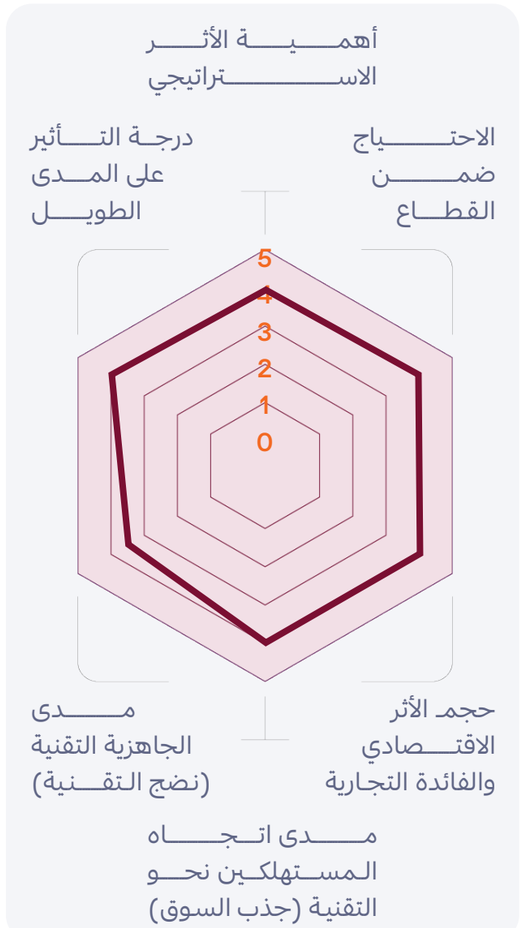
وفي السياق ذاته، طور باحثون في جامعة تكساس في دالاس (University of Texas at Dallas)، بالتعاون مع مهندسين من جامعة بوفالو (University at Buffalo)، نموذجًا للذكاء الاصطناعي يمكن أن يساعد في منع انقطاع التيار الكهربائي عن طريق إعادة توجيه الكهرباء بسرعة. نُشر هذا النظام في مجلة نيتشر للاتصالات (Nature Communications)، وهو خطوة نحو إنشاء "شبكة ذاتية الإصلاح" تكتشف المشكلات، مثل الأضرار الناتجة عن العواصف، وتقوم بحلها تلقائيًا دون تدخل بشري.[2]

تأثير التقنية

توظيف الذكاء الاصطناعي في الشبكات الذكية يُحدث تحولًا جذريًا في إدارة أنظمة الطاقة، مما يُعزز الكفاءة والاستدامة. تُستخدم تقنيات التعلم الآلي لتحليل بيانات استهلاك الطاقة بشكل لحظي، مما يُتيح توقع الطلب المستقبلي وتحسين توزيع الطاقة بشكل ديناميكي. كما يُساهم الذكاء الاصطناعي في اكتشاف الأعطال في الشبكات بشكل أسرع، مما يقلل من وقت الانقطاع ويُعزز موثوقية الشبكة. إضافة إلى ذلك، تُوظف خوارزميات الذكاء الاصطناعي في دمج مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والرياح، من خلال التنبؤ بمستويات إنتاجها وضبطها لتلبية الطلب. يدعم الذكاء الاصطناعي الشبكات الذكية في تحقيق استدامة أكبر وتقليل الانبعاثات الكربونية، مما يُسهم في بناء مستقبل طاقة أكثر ذكاءً وكفاءة.

1. theconversation.com
2. www.nature.com
3. www.statista.com

التقييم متعدد المحاور
توظيف الذكاء الاصطناعي في الشبكات الذكية



حجم السوق العالمي[3]

قُدِّرَ حجم سوق تقنية الشبكات الذكية إلى نحو

50 مليار دولار في عام 2022

ومن المتوقع أن يصل إلى

130 مليار دولار

في عام 2028

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 17.4 %

3.3.4 الطاقة الحرارية الأرضية

نقطة في تحسين أداء وكفاءة الطاقة الحرارية الأرضية

TRL: 5

الطاقة الحرارية الأرضية هي مصدر طبيعي ومستدام للطاقة يعتمد على الحرارة المخزنة في باطن الأرض. تنشأ هذه الحرارة نتيجة النشاط الإشعاعي الطبيعي وتحلل المواد المشعة في نواة الأرض، مما يولد كميات هائلة من الطاقة الحرارية. في مشروع بحثي ممول بقيمة 218 مليون دولار، يهدف فريق بحثي إلى جعل الطاقة الحرارية الأرضية المحسنة جزءً رئيسيًا من محفظة الطاقة العالمية.

في مشروع بحثي ممول بقيمة 218 مليون دولار، يهدف علماء جامعة يوتا (University of Utah) إلى جعل الطاقة الحرارية الأرضية المحسنة جزءً رئيسيًا من محفظة الطاقة العالمية. يشارك في مشروع يوتا فورج (Utah FORGE) -الممول بمنحة من وزارة الطاقة الأمريكية لمعهد الطاقة وعلوم الأرض التابع لجامعة يوتا- العديدُ من المؤسسات وشركاء الصناعة، بهدف تطوير وتقليل مخاطر تقنيات الطاقة الحرارية الأرضية الجديدة التي يمكن نشرها في جميع أنحاء العالم، وليس فقط حيث توجد محطات الطاقة الحرارية الأرضية التقليدية.

حقق هذا المشروع اختراقًا حاسمًا بعد تحفيز المياه وتدويرها هيدروليكيًا عبر التكوينات الصخرية الساخنة على بعد ميل ونصف تحت موقع الحفر في صحراء يوتا وجلب الماء الساخن إلى السطح. تُعتبر نتائج الاختبار خطوة مهمة إلى الأمام في البحث عن طرق جديدة لاستخدام حرارة باطن الأرض لإنتاج الماء الساخن لتوليد الكهرباء الخالية من الانبعاثات. ومن المتوقع أنه مع ملء نظام الكسر (fracture system)، فإن الكفاءة ستصل إلى ما يتراوح بين 85 % و90 %.[1]

وتعمل حاليًا العديد من الشركات والمختبرات الأخرى على تطوير مشاريع تجريبية وأبحاث في هذا المجال. على سبيل المثال، تعمل شركة ألتا روك إنيرجي (AltaRock Energy) التي تتخذ من واشنطن مقراً لها على تطوير تقنيات متخصصة للوصول إلى الصخور شديدة الحرارة، وهو ما قد يزيد بشكل كبير من إنتاج الطاقة.[2]

وحققت أنظمة الطاقة الحرارية الأرضية المحسنة إنجازات مهمة. على سبيل المثال، أكملت شركة فيرفو إنيرجي (Fervo Energy) مشروعًا تجريبيًا في نيفادا، حيث تولدت 3.5 ميجاواط من الطاقة المستمرة من خلال تطبيق تقنيات الحفر الأفقي.[3]

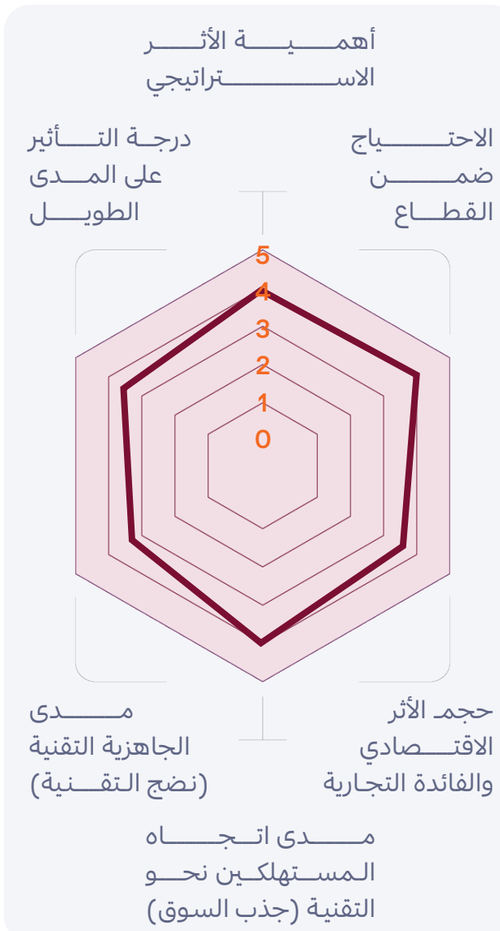
ولا تزال العديد من هذه المشاريع في مرحلة تجريبية، ولكن يتبين بشكل متزايد أن الطاقة الحرارية الأرضية المحسنة تشكل موضوعًا نشطًا في عالم الطاقة.[4]

تأثير التقنية

تُستخدم الطاقة الحرارية الأرضية لتوليد الكهرباء أو التدفئة المباشرة عبر استخراج الحرارة من الصخور أو المياه الجوفية الساخنة من خلال آبار عميقة. تُعتبر هذه الطاقة صديقة للبيئة بسبب انخفاض انبعاثاتها الكربونية واستدامتها على المدى الطويل. تتميز الطاقة الحرارية الأرضية بالكفاءة والاستمرارية مقارنة بمصادر الطاقة المتجددة الأخرى، مما يجعلها خيارًا مثاليًا لدعم التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون.

1. science.utah.edu
2. AltaRock Energy
3. fervoenergy.com
4. www.technologyreview.com
5. straitsresearch.com

التقييم متعدد المحاور
الطاقة الحرارية الأرضية



حجم السوق العالمي[5]

بلغت قيمة السوق العالمي للطاقة الحرارية الأرضية

8.75 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

12.68 مليار دولار

في عام 2033

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 4.2 %

3.3.5 خلايا الطاقة الشمسية

الإنتاج التجاري للطاقة الكهروضوئية باستخدام البيروفسكايت/السيليكون

TRL: 5

تمثل الخلايا الشمسية الترادفية المصنوعة من البيروفسكايت والسيليكون نقلة مهمة في تقنيات الخلايا الشمسية. تجمع هذه الخلايا بين فوائد الخلايا الشمسية التقليدية المصنوعة من السيليكون ومزايا البيروفسكايت الذي يُعَدُّ مجموعةً من المواد التي لها هيكل بلوري مشابه لمركب تيتانات الكالسيوم ($CaTiO_3$). وقد حظيت باهتمام كبير في مجتمع الخلايا الشمسية بسبب خصائصها المميزة في امتصاص الضوء، وضبط فجوة الطاقة، وإمكانية إنتاجها بتكلفة منخفضة. يشير مصطلح "ترادفي" إلى تكديس خليتين شمسيتين أو أكثر لهما أطياف امتصاص مختلفة، مما يسمح لهما بحصاد نطاق أوسع من الطيف الشمسي، وبالتالي تحقيق كفاءات أعلى من الخلايا ذات الوصلة الواحدة.

وقد قدّمت ورقة فريق جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KAUST) المنشورة في مجلة ساينس (Science) خارطة طريق لتحويل هذه الخلايا الشمسية الترادفية من الأبحاث المختبرية إلى التطبيقات التجارية. لا يمهد هذا العمل الطريق للطاقة النظيفة بأسعار معقولة فحسب، بل يضع المملكة العربية السعودية أيضًا في طليعة مطوري الطاقة الشمسية.[1]

تجمع الخلايا الشمسية الترادفية المصنوعة من البيروفسكايت/السيليكون بين مادتين متكاملتين: البيروفسكايت، المعروفة بخصائص امتصاص الضوء الفعالة، والسيليكون، المعروف باستقراره على المدى الطويل. يتيح هذا المزيج كفاءة تحويل الطاقة التي تتجاوز تلك الموجودة في أفضل خلايا السيليكون أحادية الوصلة. حقق معمل الخلايا الكهروضوئية في جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KPV-LAB) تقدمًا كبيرًا في هذا المجال، حيث سجل رقمين قياسيين عالميين لكفاءة تحويل الطاقة، مما ساهم في تحقيق خمسة أرقام قياسية عالمية في ذلك العام. وتسلط هذه التطورات الضوء على وتيرة التطور السريع وإمكانات خلايا الترادف المصنوعة من البيروفسكايت/السيليكون.

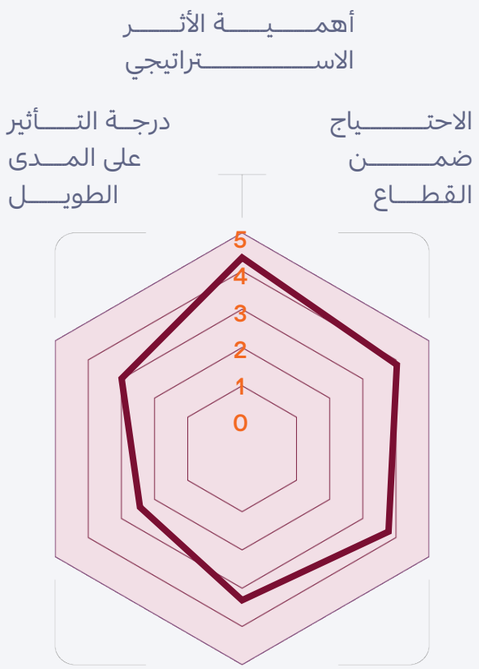
وعلى الرغم من نتائجها المختبرية الواعدة، فإن ترجمة هذه التطورات إلى منتجات تجارية تتطلب التغلب على العديد من التحديات الرئيسة، وتتمثل إحداها في ضمان الاستقرار والأداء في ظل ظروف العالم الحقيقي، والتي تتنوع على نطاق واسع من حيث درجة الحرارة وأشعة الشمس والعوامل البيئية. ولمعالجة هذه المشكلة، يقترح الباحثون نهج "الاختبار الجغرافي"، على غرار الطب الشخصي للخلايا الشمسية، والذي ينطوي على اختبار وتحسين أداء الخلايا لمواقع جغرافية محددة.[2]

تأثير التقنية

إن المزايا الفريدة لمواد البيروفسكايت تعد محورية لنجاح الخلايا الشمسية الترادفية. يمكن تصنيع البيروفسكايت باستخدام عمليات قائمة على المحاليل في درجات حرارة منخفضة، مثل الطلاء الدوار أو الطباعة بالحبر النفاث، مما يجعلها أرخص وأسهل في التصنيع من الخلايا الشمسية التقليدية المصنوعة من السيليكون. بالإضافة إلى ذلك، يمكن ضبط فجوة الطاقة في البيروفسكايت، مما يسمح للباحثين بتحسين خصائص امتصاص وتحويل الطاقة للطبقة البيروفسكايتية لتصاميم خلايا ترادفية مختلفة. توفر هذه المرونة ميزة كبيرة في تصميم الخلايا الترادفية ذات الخصائص المخصصة للأداء؛ لتناسب مختلف الظروف الجغرافية والمناخية.

1. www.science.org
2. techxplore.com
3. www.globenewswire.com

التقييم متعدد المحاور
الطاقة الكهروضوئية باستخدام البيروفسكايت والسيليكون



حجم السوق العالمي[3]

قُدّرت قيمة السوق العالمي للطاقة الشمسية بـ

145.72 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

541.84 مليار دولار

في عام 2031

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 19.68 %

3.3.6 الطـــــباعـــة ثلاثيـة الأبعـــاد والتصـــــنيع الإضـافي

عـرض أول طابعـة ثلاثيـة الأبعـاد قائمـة على الرقائـق

TRL: 6

تمثـل الطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد المعتمـدة على الرقائـق (chip-based 3D printing) نقلـة مهمـة في مجـال التصنيـع الإضـافي (additive manufacturing)، حيـث تجمـع بين دقـة وقابليـة تصنيـع الإلكترونيـات الدقيقـة وتعدديـة تقنيـات الطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد. تطـورت الطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد التقليديـة، التي تـبني الأجسـام طبقـة تلـو الأخـرى مـن النمـاذج الرقميـة، بشـكل كـبير خلال العقـد المـاضي. ومـع ذلـك، فـإن الطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد المعتمـدة على الرقائـق تقـدم نموذجًـا جديـدًا مـن خلال دمـج رقائـق أشباه المـوصلات مباشرة في عمليـة الطباعـة، ممـا يعـزز قـدرات الطابعـات ثلاثيـة الأبعـاد لخلـق هيـاكل أكثر تعقيـدًا ووظيفيـة وذكاءً.

طـوّر فريـق بحثي مـن معهـد ماساتشوسـتس للتقنيـة (MIT) أول طابعـة ثلاثيـة الأبعـاد تعتمـد على الرقائـق (chip-based 3D printer)، ممـا يمثـل تقدمًـا كـبيرًا في تقنيـة التصنيـع المحمولـة. الجهـاز المبتكَـر، الـذي لا يزيـد حجمـه عـن العملـة المعدنيـة، يمكِّـن المسـتخدمين مـن إنشـاء أجـزاء مخصصـة ومنخفضـة التكلفـة بسرعـة في أي مـكان. تعمـل الطابعـة باسـتخدام رقاقـة فوتونيـة (photonic chip) صـغيرة تنبعـث منهـا حـزم مـن الضـوء لمعالجـة صمـغ راتِنجـي (resin) إلى أشـكال صلبـة. بخـلاف الطابعـات ثلاثيـة الأبعـاد التقليديـة التي تعتمـد على آلات ضخمـة بأجـزاء متحركـة، تسـتخدم هـذه الطابعـة الجديـدة مجموعـة ثابتـة مـن الهوائيـات البصريـة الصـغيرة لتوجيـه شـعاع الضـوء.

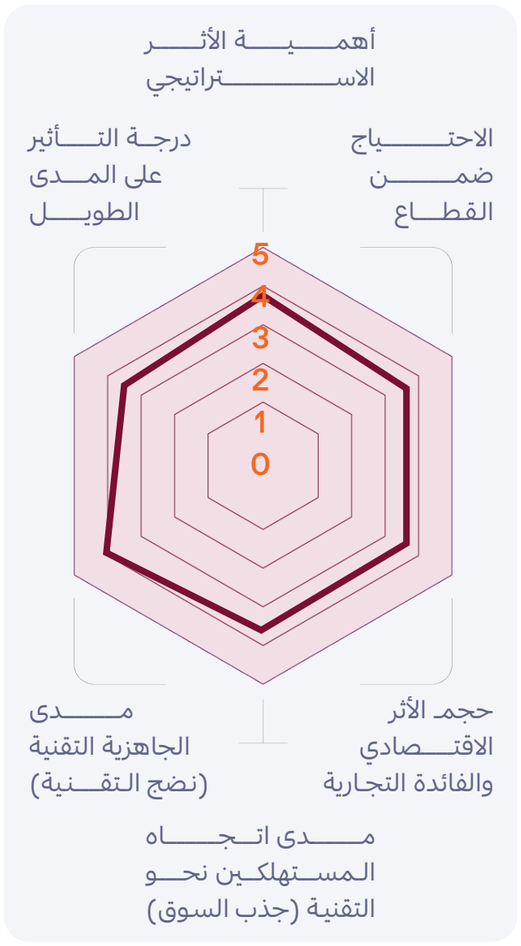
مـن خلال دمـج الفوتونيـات السـيليكونية مـع الراتنجـات الجديـدة التي تُعالَـج كيميائيًـا بالضـوء، تمكـن فريـق البحـث متعـدد التخصصات مـن تطوير رقاقـة قـادرة على توجيـه حـزم الضوء للطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد لأنمـاط ثنائيـة الأبعـاد في غضـون ثـوانٍ. يمهـد هـذا الابتـكار الطريـق للنمـاذج الأوليـة السريعـة في بيئـات متعـددة، مـن الإعـدادات الطبيـة التي تحتـاج إلى مكونـات مخصصـة، إلى مواقـع البنـاء والتشـييد التي قـد تتطلـب تصنيعًـا سريعًـا للأجـزاء.

يتطلـع الباحثـون إلى تطويـر نسـخة مسـتقبلية مـن الجهـاز حيـث تنبعـث الشريحـة الفوتونيـة مـن هولوغـرام ثلاثي الأبعـاد مـن الضـوء المـرئي في وعـاء مـن الراتنـج، ممـا يتيـح الطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد في خطـوة واحـدة. يتحـدى هـذا المفهـوم للطابعـةِ ثلاثيـةِ الأبعـادِ المحمولـةِ الفكـرةَ التقليديـةَ للطابعـات باعتبارهـا آلاتٍ كـبيرة وثابتـة. بـدلاً مـن ذلـك، يُعـد التصميـم الجديـد محمـولاً وصـغير الحجـم، مـع تطبيقـات يمكـن أن تحدث نقلة في مجالات مثل الطب والهندسة والتصنيع. نُشر هذا البحث في مجلة نيتشر لعلـم الضوء وتطبيقاته (Nature Light Science and Applications).[1]

تأثير التقنية

مـن خلال دمـج الفوتونيـات المتقدمـة مـع علـم المـواد المبتكَـر، تمثـل الطابعـة ثلاثيـة الأبعـاد القائمـة على الشريحـة قفـزة كـبيرة نحـو جعـل التصنيـع السريـع والمحمـول حقيقـة عمليـة. يمكـن أن تفتـح هـذه التقنيـة فرصًـا جديـدة للتصنيـع حسـب الطلـب، ممـا يقلـل التكاليـف ويعـزز المرونـة في مجموعـة واسـعة مـن التطبيقـات.

التقييم متعدد المحاور
الطباعة ثلاثية الأبعاد



حجـم السوق العالمي [2]

تـم تقييـم حجـم السـوق العالمـي للطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد بـ

23.41 مليار دولار في عـام 2025

ومن المتوقع أن يصل إلى

101.74 مليار دولار

في عـام 2032

معدل النمو السنوي المركب خـلال فـترة التنـبؤ يقدر

بـ 23.4 %

1. www.nature.com
2. www.fortunebusinessinsights.com

3.3.7
التصـــــنيع المســـــتدام للصُّـــلب

طريـــقة مبتـــكرة للتصـــنيع المستدام للصُّـــلب بواسطة الكهرباء

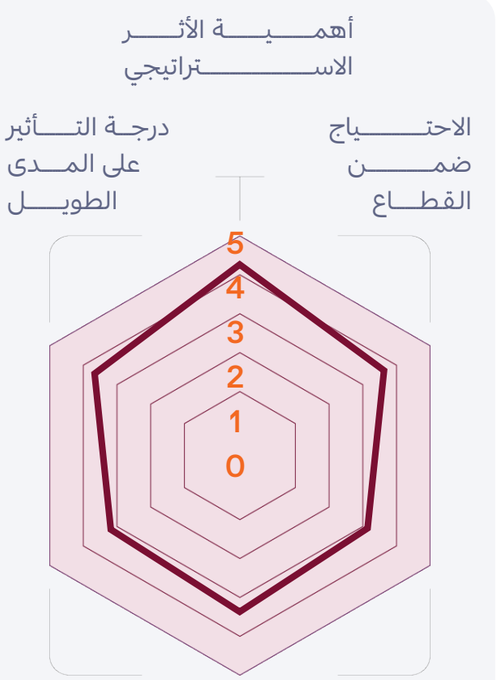
TRL: 6

تستهلك عمليات التصنيع الحديثة كميات كبيرة من الطاقة والمياه وغالباً ما تنتج نفايات ومواد ثانوية ضارة، مما يجعل مبادرات الاستدامة ذات أهمية متزايدة. مع زيادة وعي المستهلكين بالقضايا البيئية وفرض الحكومات لوائح أكثر صرامة لتقليل انبعاثات الكربون وحماية البيئة، يواجه المصنّعون ضغوطًا متزايدة لتبني ممارسات أكثر استدامة، مثل تحقيق الحياد الكربوني وتقليل التأثير البيئي الإجمالي. ويستكشف العديد من منتجي الصلب طرقًا مختلفة لإزالة الكربون من عملياتهم، مثل استخدام الهيدروجين كعامل اختزال أو تحسين كفاءة الطاقة. ومع ذلك، تقدم تقنية التحليل الكهربائي للأكسيد المنصهر (MOE) حلاً مباشرًا وأكثر تأثيرًا، حيث تعالج جذر مشكلة الانبعاثات من خلال القضاء على الحاجة إلى الكربون في عملية الاختزال تمامًا.

قدّمت شركة بوسطن ميتال (Boston Metal)، وهي شركة نشأت عن معهد ماساتشوستس للتقنية (MIT)، نقلة في صناعة الصُّلب من خلال تطوير طريقة مبتكرة لإنتاج الصلب باستخدام الكهرباء بدلاً من العمليات التقليدية كثيفة الكربون. وتعالج هذه النقلة أحد أهم مصادر انبعاثات الكربون الصناعية في جميع أنحاء العالم، حيث تمثل عملية تصنيع الصلب التقليدية حوالي 8٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية. وتُعِد تقنية (Boston Metal) الجديدة بجعل إنتاج الصلب أكثر استدامة وفعالية من حيث التكلفة مع الحفاظ على الخصائص الأساسية للمادة التي تجعلها حجر الزاوية في الإنشاءات الحديثة والنقل والبُنى الأساسية.

إن الابتكار الأساسي في نهج (Boston Metal) هو استخدام التحليل الكهربائي للأكسيد المنصهر (MOE) وهي عملية تم تطويرها في الأصل في معهد (MIT). تتضمن هذه الطريقة تمرير تيار كهربائي عبر حمام من أكسيد الحديد المنصهر لفصل الأكسجين والحديد. وعلى عكس الطرق التقليدية التي تعتمد على الكوك (coke)، وهو مشتق من الفحم، لتقليل خام الحديد في أفران الصهر، يستخدم التحليل الكهربائي لأكسيد المنصهر الكهرباء لكسر الروابط الكيميائية في الخام، وإنتاج الحديد السائل والأكسجين كمنتجات ثانوية. ولأن هذه العملية لا تتطلب الكربون، فإنها تقضي تمامًا على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بصناعة الصلب التقليدية.

التقييم متعدد المحاور
التصنيع المستدام للصُّلب بواسطة الكهرباء



تأثير التقنية

تُصمَّم هذه التقنية للعمل بالكهرباء المتجددة، مما يجعلها قابلة للتطبيق في المستقبل الذي يعتمد على مصادر الطاقة النظيفة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. علاوة على ذلك، يمكنها استخدام خامات منخفضة الجودة يُتَخَلَّصُ منها غالبًا في العمليات التقليدية، مما يقلل من النفايات ويخفض تكاليف المواد الخام المحتملة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن دمج التحليل الكهربائي في مرافق إنتاج الصلب الحالية، مما يمكن الشركات من تحديث عملياتها بدلاً من بناء مصانع جديدة كليًا، مما قد يقلل بشكل كبير من تكاليف رأس المال المرتبطة بالانتقال إلى طرق أكثر استدامة.

حجم السوق العالمي [2]

بلغ حجم سوق الصلب العالمي

1.55 تريليون دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

12.68 مليار دولار

في عام 2034

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 5.32 %

1. news.mit.edu
2. www.precedenceresearch.com

3.3.8
الميـــتافيرس الصناعـي

توظيف الميتافيرس في التصنيع المتقدم

TRL: 4

في تقاطعٍ بين الصناعة والتقنية الرقمية، يمثل (الميتافيرس الصناعي) مفهومًا تحويليًّا يدمج العالمين الرقمي والمادي، مستفيدًا من تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، والتوائم الرقمية. يُمكّن هذا الابتكار الصناعات من محاكاة وتحسين العمليات في بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد، مما يعزز الكفاءة، الإنتاجية، والاستدامة. يتيح الميتافيرس الصناعي التعاون العالمي في الوقت الفعلي، تقليل التكاليف، ودعم الابتكارات بمخاطر أقل.

يَعِدُ عالم الميتافيرس بإحداث نقلة تقنية من خلال تقديم عصر جديد من الكائنات ثلاثية الأبعاد. لقد جعلت التطورات في الذكاء الاصطناعي والتقنيات الغامرة من عالم الميتافيرس موضوعًا رائجًا في العديد من المجالات، بما في ذلك التصنيع.

من خلال استكشاف حالات الاستخدام الحالية، هدفت ورقة نُشرت في مجلة (ICT Express) إلى تسليط الضوء على الآثار العملية لعالم الميتافيرس. وتناولت هذه الدراسة أيضًا القيود ومسائل الخصوصية والآثار الأمنية المرتبطة بعالم الميتافيرس.[1]

كما نشر المنتدى الاقتصادي العالمي (World Economic Forum) تقريرًا بعنوان: "تصفح الميتافيرس الصناعي: مخطط للابتكارات المستقبلية". يسلط التقرير الضوء على دور الميتافيرس الصناعي في قيادة الثورة الصناعية القادمة من خلال التوائم الرقمية والحوسبة المكانية والذكاء الاصطناعي وسلاسل الكتل (البلوك تشين). كما يحدد التقرير الفرص ، ويعرض تطبيقات الصناعة، ويناقش العناصر الأساسية لمستقبل رقمي تعاوني ومسؤول ومستدام، مع معالجة تحديات مثل الخصوصية والأمان والحاجة إلى التعاون بين الصناعات. [2]

ونشر معهد ماساتشوستس للتقنية (MIT) بالتعاون مع سيمنس (Siemens) تقرير "الميتافيرس الصناعي الناشئ"، الذي أُعِدَّ من خلال مقابلات مع خبراء التقنية ومحللي الصناعة والأكاديميين في جميع أنحاء العالم. ويبحث التقرير في ظهور الميتافيرس الصناعي الناشئ، وحالات استخدامه والتحديات والفرص المستقبلية، والتأثيرات التي سيخلفها على كل من الشركات والحياة اليومية. [3]

تأثير التقنية

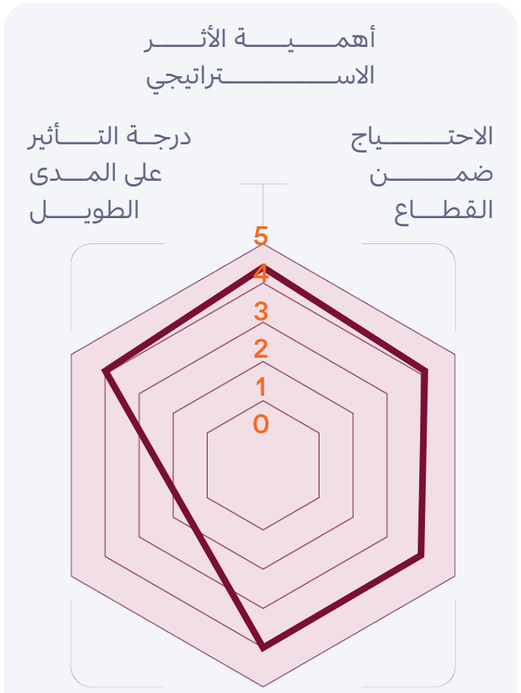
تتنوع تطبيقات الميتافيرس الصناعي لتشمل قطاعات مختلفة مثل التصنيع واللوجستيات والرعاية الصحية والتعليم وتخطيط المدن الذكية. في مجال التصنيع، تمكن التوائم الرقمية لخطوط الإنتاج أو المصانع الكاملة من المراقبة في الوقت الفعلي وتحديد الاختناقات (bottlenecks) ومحاكاة الاستجابات لمختلف المحفزات، مما يعزز الإنتاجية والموثوقية.

يمكن للميتافيرس الصناعي أيضًا دمج خوارزميات تعلم الآلة القائمة على الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالأعطال المحتملة واقتراح الصيانة الاستباقية، مما يقلل من وقت التوقف عن العمل. بالإضافة إلى ذلك، يوفر منصة افتراضية لتصميم واختبار وتخصيص المنتجات، مما يقلل من التكاليف الاقتصادية والبيئية.

في مجال اللوجستيات، يوفر الميتافيرس الصناعي رؤية غير مسبوقة ودقة من خلال رقمنة سلسلة التوريد بأكملها. يمكن للشركات مراقبة حالة الموقع الفعلي للبضائع في الوقت الفعلي، ومحاكاة أفضل مسارات النقل، والتنبؤ بالاضطرابات المحتملة، مما يؤدي إلى شبكة لوجستية أكثر قوة وموثوقية.

1. www.sciencedirect.com
2. www3.weforum.org
3. assets.new.siemens.com
4. www.grandviewresearch.com
5. www3.weforum.org

التقييم متعدد المحاور
توظيف الميتافيرس الصناعي في التصنيع المتقدم



حجم السوق العالمي [4-5]

بلغت قيمة السوق العالمي للميتافيرس الصناعي حوالي

27.75 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

100 مليار دولار

في عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 23.9 %

3.4

اقتصاديـــات المستـــقبل

قصص نجاح سعودية | اقتصاديات المستقبل

إنتلمـــــاتكس: أول شركة ذكاء اصطناعي إقليـــمية تنضـــم لقائمـة المنـــــتدى الاقتصادي العالمي

إنتلماتكس(Intelmatix) هـي شركـة تقنيـة عميقـة تطـوّر الجيـل القـادم مـن منصـات الـذكاء الاصطناعـي المـؤسسي، معتمـدة على وكلاء ذكاء اصطناعـي متخصـصين وواعين للبيئـة التي يعملـون بهـا. تعمل المنصة كالعقل الرقمي للمؤسسة، حيث تستوعب البيانات، وتتنبأ بالسيناريوهات، وتوصي بالقرارات، وتنسق الإجراءات الذكية.[1]

تأسست إنتلماتكس عام 2021 على يد مجموعة من خريجي MIT، ويقـع مقرهـا الرئيسي في الريـاض، ولهـا مكاتـب في لنـدن وبوسـطن. تهـدف الشركـة لسدِّ فجـوة مهمـة في الـذكاء الاصطناعـي المـؤسسي بمنطقـة الشرق الأوسـط وشـمال أفريقيـا. وقـد أطلقـت الشركـة منصـة الـذكاء الرقمـي المـؤسسي (EDIX)، منصـة الـذكاء القـراري المـؤسسي؛ لدعـم التحـول الإدراكي داخـل المؤسسـات. وإلى جانـب ذلـك، تطـوّر إنتلماتكـس حلـول ذكاء اصطناعـي مخصصـة لتلبيـة الاحتياجـات النوعيـة في كل مـن القطـاعين الحكومـي والخـاص.[2]

وفي يونيو 2025، ظهرت الشركة السعودية إنتلماتكس(Intelmatix) ضمـن القائمـة العالميـة لـ "رواد التقنيـة المئـة" مـن قِبـل المنتـدى الاقتصـادي العالمـي (WEF)،[13] لتكـون أول شركـة في منطقـة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا تنال هذا التقدير الذي يؤكد مكانة المملكة كمركـز عالمـي للـذكاء الاصطناعـي، ضمـن جهـود رؤيـة السـعودية 2030 .[3]

1. intelmatix.ai
2. www.weforum.org
3. intelmatix.ai

قصص نجاح سعودية | اقتصاديات المستقبل

سايـــــفر: شركـــة سعـــودية تحـــقق الريـــادة في الأمـــن السـيبراني

في عـام 2022، انطلقـت الشركـة السـعودية "سـايفر" (Cipher) مـن مجموعـة "ون" للاتصـال والتسـويق، بهـدف سـد الفجـوة بين قطاعَي الاتصـال والتسـويق وقطـاع الأمـن السـيبراني في المملكـة. تأسسـت الشركـة لتـوفير بيئـة آمنـة سـيبرانيًا تعـزز الثقـة والحوكمـة في هـذه القطاعـات، ممـا يُسـهم في نموهـا وازدهارهـا.[1]

وأصبحت شركة "سايفر" أول شركة في الشرق الأوسط معتمدة من قبـل منظمـة "كريسـت" في مجـال مراكـز العمليـات السـيبرانية، كمـا حصلـت على جائـزة "أسرع شريـك نمـو في مجـال الأمـن السـيبراني لعـام 2024" مـن جوائـز التقنيـة الماليـة الدوليـة "International Finance Technology Awards"، ممـا يعكـس التزامهـا بتقديـم حلـول مبتكـرة وفعّالـة في مجـال الأمـن السـيبراني.[2]

وقد حظيت "سايفر" بتقدير دولي، حيث تـم اختيارها ضمـن قائمـة ديلويـت "Deloitte Technology Fast 50" لـلشركات الناشـئة ذات التـأثير في منطقـة الشرق الأوسـط وشـمال إفريقيـا وقبرص لعـام 2024. [3]

مـن خلال هـذه الرحلـة، يتـجلى كيـف يمكـن للابتـكار والتعـاون بين القطاعات المختلفة أن يُسهـم في بناء بيئة رقمية آمنة ومستدامة، تُعـزز مـن مكانـة المملكـة في مجـالي الـذكاء الاصطناعـي والأمـن السـيبراني على المسـتويين الإقليمـي والـدولي.

1. maaal.com
2. one1.sa
3. www.deloitte.com

3.4.1 اتصـــــالات الأقـــــمار الصناعيـة

إطلاق خدمـة الاتصال المباشر بالهواتـــف المحـــمولة عـــبر الأقمار الصـــناعية ذات المـــدار المنخفـض

TRL: 5

الأقمـار الصناعيـة ذات المـدار الأرضي المنخفـض (LEO) تقـع على ارتفـاع يتراوح بين 180 و2000 كيلومتر فـوق سـطح الأرض. تتـميز هـذه الأقمـار بسرعتها الكبيرة ودورانها حـول الأرض في فترة تتراوح بين 90 و120 دقيقـة. مـن أهـم مـيزاتها تقليـل زمـن التـأخير في الإشارات وزيادة عـرض النطـاق الترددي، مما يجعلها مثالية لخدمات مثل الإنترنت عـالي السرعـة والمراقبـة الأرضيـة والتطبيقـات الدفاعيـة.

في مطلـع عـام 2024، حققـت شركـة سـتارلينك (Starlink) بالتعـاون مـع تي موبايـل (T-Mobile) تقدمًـا كـبيرًا مـن خلال إطلاق تقنية الاتصال المباشر بالهاتف المحمول عبر الأقمار الصناعيـة. تهـدف هـذه التقنيـة إلى تـوفير الاتصـال بالهواتـف المحمولة العادية باستخدام الأقمار الصناعية، دون الحاجة إلى هواتـف متخصصـة للاتصـال بالأقمـار. بفضـل هـذه التقنيـة، سـيتمكن المسـتخدمون في المناطـق النائيـة أو التي لا تغطيهـا أبـراج الاتصـالات الأرضيـة مـن إرسـال واسـتقبال الرسـائل النصيـة باسـتخدام هواتفهـم الحاليـة.

تعمـل هـذه التقنيـة عبر أقمـار سـتارلينك الصناعيـة ذات المـدار المنخفـض، والتي تـم تزويدها بتقنيـات متقدمـة مـن السـيليكون ومصفوفـات مرحليـة لضمـان الاتصـال المسـتمر مـع الهواتـف المحمولـة، على الرغـم مـن أن هـذه الهواتـف تحتـوي على هوائيـات ضعيفـة نسـبياً مقارنـة بالهوائيـات المتخصصـة. في البدايـة، سـتوفر الخدمـة الرسـائل النصيـة، ومـن المتوقـع أن يتـم توسيعها لتشمل المكالمات الصوتية ونقـل البيانـات في مراحـل لاحقـة.[1]

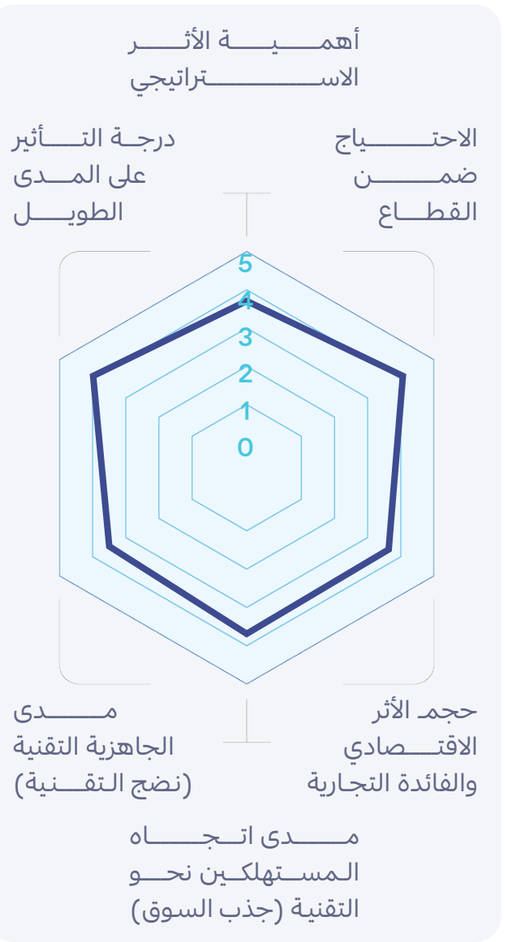
ومـن بين الشركات التي تسـتثمر في هـذه التقنيـة وَن ويـب (OneWeb) ومشروع كويبر من أمازون (Amazon's Project Kuiper)، حيـث تقـوم بتطويـر مجموعـات مـن الأقمـار الصغيرة لتوفير تغطية إنترنت واسعة النطاق. تتميز الأقمار الصناعيـة ذات المـدار المنخفـض بأنهـا أصغـر وأرخـص مـن الأقمار التقليدية، مما يجعل من السهل إطلاقها واستبدالها عنـد الحاجـة.[2]

تأثير التقنية

الأقمـار الصناعيـة ذات المـدار الأرضي المنخفـض (LEO) تُحدث نقلة نوعية في الاتصالات والبحث العلمي. تعمل هذه الأقمار على تقليل التأخير وزيادة عرض النطاق، مما يجعلها مثاليـة للإنترنـت عـالي السرعـة والمراقبـة الأرضيـة. مشـاريع مثـل سـتارلينك توفـر تغطيـة إنترنـت عالميـة، تسـد الفجـوة الرقميـة وتُحسّـن الاتصـال في المناطـق النائيـة. تُسـتخدم في مراقبة تغيرات المناخ وإدارة الكوارث وتقديم بيانات دقيقة. كمـا تتيـح تقنيـات الاتصـال المبـاشر بالهواتـف والخدمـات الجويـة اتصـالًا موثوقًـا في المواقـع النائيـة والـرحلات.
تلعـب هـذه الأقمـار أيضًـا دورًا حيويًـا في البحث العلمي، حيث تُسـتخدم في مراقبـة تـغيرات المنـاخ وتتبـع أنمـاط الطقـس وتوفير بيانات مهمة للاستجابة للكوارث الطبيعية. على سبيل المثـال، تسـاعد الأقمـار الصناعيـة ذات المـدار المنخفـض في مراقبة الأرض والتقـاط صـور عاليـة الدقـة تُسـتخدم لدراسـة إزالـة الغابـات، ومراقبـة الأغطيـة الجليديـة، أو الاسـتجابة للحرائـق. تُعـزز هـذه الابتكارات الاسـتدامة، الكفـاءة، وإمكانـات الاتصـالات العالميـة بشـكل غير مسـبوق.

1. starlinkinsider.com
2. OneWeb's Satellite Constellation
3. www.fortunebusinessinsights.com

التقييم متعدد المحاور
الاتصال المباشر بالهواتف المحمولة عبر الأقمار الصناعية ذات المدار المنخفض



حجم السوق العالمي[3]

بلـغ حجـم السـوق العالمـي للاتصـالات عبر الأقمـار الصناعيـة

33.98 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقـع أن يـصل إلى

70.89 مليار دولار

في عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خـلال فـترة التنـبؤ يقدر

بـ 9.6 %

3.4.2 الاتصـــــالات اللاسلـــــكية

استخـــدام الأســـطح الذكـــية القابلـة لإعـادة التشـكيل (RIS) لتحديـد المواقـع الداخليـة

TRL: 5

الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل هي أسطح قابلة للبرمجة وتتمتع بالقدرة على التحكم في الموجات الكهرومغناطيسية، مما يوفر مزايا كبيرة في تحسين الإشارات في الاتصالات اللاسلكية. إحدى التطبيقات الأساسية لتقنية (RIS) تتمثل في المدن الذكية والمصانع، حيث تكون الحاجة إلى الاتصال السلس ذي الكُمُون المنخفض (low-latency) أمرًا بالغ الأهمية. في هذه البيئات، يمكن لتقنية (RIS) تحسين الاتصال اللاسلكي لمجموعة متنوعة من الأجهزة مثل المستشعرات والكاميرات والمركبات ذاتية القيادة. التقنية من المتوقع أن تكون هذه الأسطح حيوية لتحسين أداء شبكات الجيل السادس (6G)، التي ستعتمد على الاتصال الموثوق والزمن القصير جدًا للاستجابة (URLLC).[1]

1. www.weforum.org

وقد نشر فريق بحثي من جامعة غلاسكو (University of Glasgow) بالتعاون مع آخرين ورقة بعنوان "البيئات المرمّزة: التحديد الداخلي القائم على البيانات باستخدام الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل"، في مجلة نيتشر لهندسة الاتصالات (Nature Communications Engineering). تستكشف الورقة إمكانيات الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل (RIS) في تحسين دقة أنظمة التحديد الداخلي للمواقع.[2]

مع استمرار تطور هذه التقنية، من المرجح أن تلعب دورًا رئيسيًا في تمكين الجيل القادم من الشبكات المحمولة، بالإضافة إلى دعم التقدم في المدن الذكية والمركبات ذاتية القيادة وإنترنت الأشياء (IoT). مع استمرار الاستثمار والبحث، يمكن أن تصبح الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل(RIS) حجر الزاوية في البنية التحتية الرقمية، مما يساعد على مواجهة بعض أكبر التحديات في مجال الاتصالات اللاسلكية مثل ازدحام البيانات وتداخل الإشارات وكفاءة الطاقة.

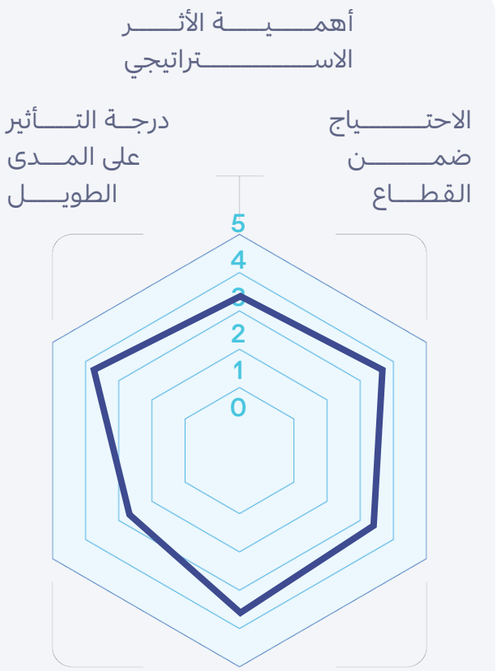
على الرغم من أن الطريق إلى تبني تقنية الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل(RIS) على نطاق واسع ليس خاليًا من التحديات، إلا أن الوعد باتصالات لاسلكية أكفأ وأسرع يقود اهتمامًا كبيرًا واستثمارات ضخمة في هذه التقنية. إذا استمر الابتكار بنفس الوتيرة الحالية، يمكن أن تصبح الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل(RIS) جزءًا لا يتجزأ من المشهد الرقمي في المستقبل، مما يعزز طريقة التفاعل مع كل من العوالم الرقمية والمادية.[3]

تأثير التقنية

تعتبر الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل(RIS) تقنية ناشئة أحدثت نقلة في الاتصالات اللاسلكية من خلال التحكم في الموجات الكهرومغناطيسية. يمكن لأسطح (RIS) ضبط البيئات اللاسلكية بشكل ديناميكي، مما يعزز الكفاءة والسرعة عبر تقليل التشويش وزيادة معدلات البيانات. بدمج المواد الذكية والخوارزميات المتقدمة، يمكن استخدام هذه الأسطح في البيئات المختلفة مثل المدن الذكية والمصانع وشبكات الجيل السادس (6G). يمكن لتقنية (RIS)أن تعزز كفاءة الطاقة بشكل كبير في شبكات الاتصالات من خلال تقليل استهلاك الطاقة عن طريق توجيه الإشارات في الاتجاهات المطلوبة دون الحاجة إلى طاقة نقل إضافية.

2. www.gla.ac.uk
3. www.rohde-schwarz.com
4. www.verifiedmarketresearch.com

التقييم متعدد المحاور
الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل لمستقبل الاتصالات اللاسلكية



حجم السوق العالمي[4]

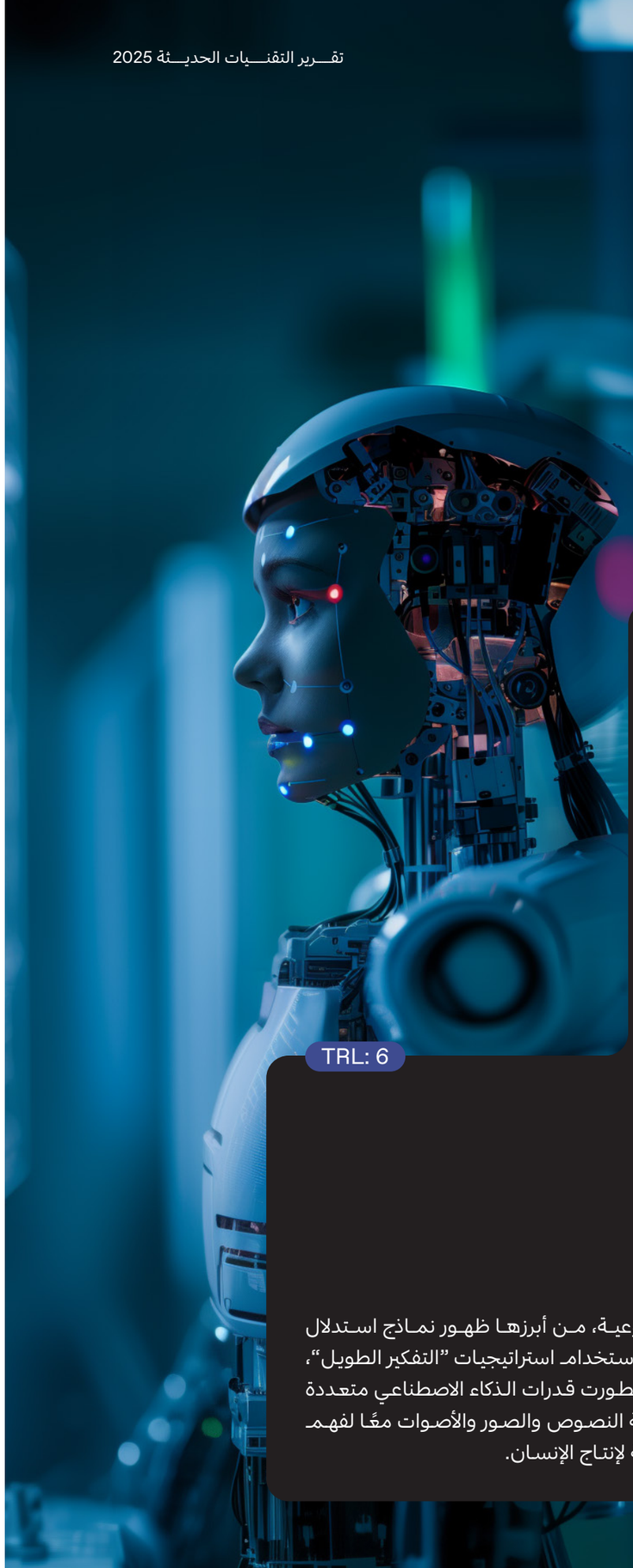
تم تقييم حجم السوق العالمي لتقنية الأسطح الذكية القابلة لإعادة التشكيل (RIS) بنحو

57.1 مليار دولار في عام 2023

ومن المتوقع أن يصل إلى

88.48 مليار دولار في عام 2031

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر بـ **5.33 %**



3.4.3 الذكـــــاء الاصطـــناعي التوليـدي

جيـــل جديـــد مـــن نمـــاذج الاستدلال للـــذكاء الاصطناعي التوليدي

TRL: 6

شـهد الـذكاء الاصطناعـي التوليـدي تطـورات نوعيـة، مـن أبرزهـا ظهـور نمـاذج اسـتدلال متقدمة قادرة على معالجة المهام المعقدة باستخدام استراتيجيات "التفكير الطويل"، مما يعزز كفاءة البحث وحل المشكلات. كما تطورت قدرات الذكاء الاصطناعي متعددة الوسائط، حيث أصبح بإمكان النماذج معالجة النصوص والصور والأصوات معًا لفهم وتوليد محتوى شامل يعكس تفاعلات شبيهة لإنتاج الإنسان.

كما ظهر الذكاء الاصطناعي الوكيل (Agentic AI) الذي يشير إلى أنظمة البرمجيات المصممة خصيصًا لاتخاذ القرارات بشكل مستقل وتنفيذ الإجراءات لتحقيق أهداف محددة. تدمج هذه الأنظمة مجموعة من تقنيات الذكاء الاصطناعي جنبًا إلى جنب مع قدرات مثل الذاكرة والتخطيط والوعي البيئي واستخدام الأدوات والالتزام ببروتوكولات السلامة، مما يمكنها من إكمال المهام بشكل مستقل في السعي لتحقيق أهدافها.[1]

وحققت شركات مختلفة مؤخرًا العديد من التطورات الملحوظة في الذكاء الاصطناعي التوليدي. تتضمن الأمثلة:

نماذج xAI: أطلقت شركة xAI نموذج Grok-2 وإصداره المبسط، Grok-2 mini، كترقية كبيرة من Grok-1.5، حيث قدمت قدرات محادثة وترميز واستدلال متقدمة. تتفوق هذه النماذج على المنافسين مثل GPT-4-Turbo و Claude 3.5 في معايير رئيسة، وتتفوق في مجالات مثل التفكير الرياضي البصري والإجابة على الأسئلة المستندة إلى المستندات. يتوفر Grok-2 الآن لمستخدمي منصة X Premium، حيث يوفر معالجة نصية ومرئية محسنة.[2]

نموذج Movie Gen: من شركة ميتا (Meta)، وهو نموذج ذكاء اصطناعي قادر على إنشاء مقاطع فيديو وصوت واقعية بناءً على مطالبات المستخدم. يمكن لهذه الأداة إنشاء مقاطع تصور أنشطة مختلفة وتضيف تأثيرات صوتية متزامنة. تقول الشركة إن نموذج Movie Gen يتفوق على نماذج مماثلة من منافسين مثل OpenAI وGoogle في التقييمات البشرية.

إصدار Claude 3.5 : أصدرت شركة أنثروبيك (Anthropic) سلسلة Claude 3.5 من نماذج اللغة الكبيرة، بما في ذلك Claude 3.5 Sonnet، والتي أظهرت أداءً محسّنًا في مجالات مثل الترميز وسير العمل متعدد الخطوات وتحليل الصور. أظهرت هذه النماذج تقدمًا كبيرًا في قدرات الذكاء الاصطناعي، مما ساهم في المشهد التنافسي للذكاء الاصطناعي التوليدي.

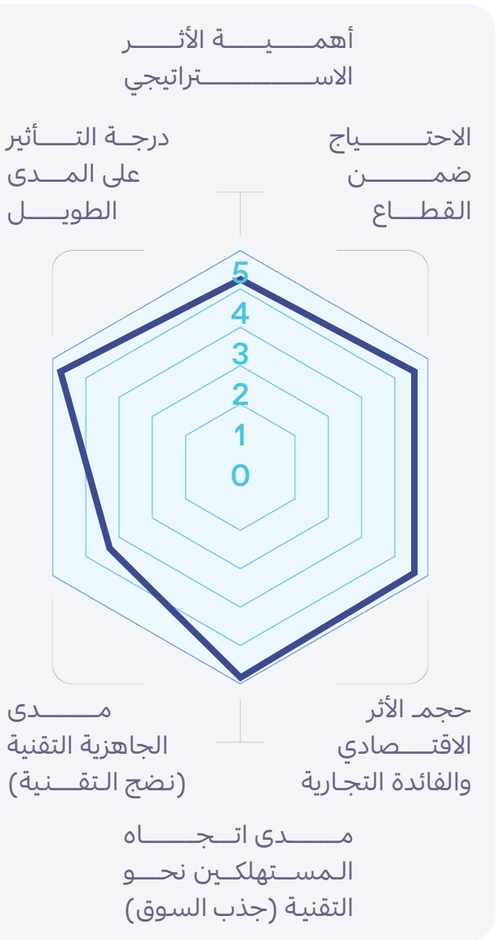
نموذج Fugatto: من شركة انفيديا (NVIDIA)، وهو يعبر عن محول الصوت التوليدي الأساسي(Fugatto Foundational Generative Audio Transformer Opus 1)، وهو نموذج ذكاء اصطناعي قادر على تعديل الأصوات وإنشاء أصوات جديدة. يستهدف برنامج Fugatto المحترفين في مجال إنتاج الأفلام وألعاب الفيديو. إن برنامج Fugatto يمثل تقدمًا كبيرًا في توليد الصوت باستخدام الذكاء الاصطناعي.

تأثير التقنية

تُستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي التوليدي في تسريع الاكتشاف العلمي، مثل تصميم البروتينات وتحرير الجينات واستكشاف المواد فائقة الأداء، مما يفتح آفاقًا جديدة للابتكار.

1. www.weforum.org
2. www.communeify.com
3. www.fortunebusinessinsights.com

التقييم متعدد المحاور
الذكاء الاصطناعي التوليدي



حجم السوق العالمي[3]

تم تقييم حجم السوق العالمي للذكاء الاصطناعي التوليدي بنحو

67.18 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقع أن يصل إلى

967.65 مليار دولار

في عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 39.6 %

3.4.4
المـدن الذكـيـة وتقلـــــيل الازدحـــــام المـروري

تقلـيل الازدحـــام المـــروري والانبعاثات: نظام جديد يُحدث نقلة في توقيت إشارات المرور

TRL: 6

يعيـش حالياً 55% مـن سـكان العالـم في المناطـق الحضريـة، ومـن المتوقـع أن ترتفـع هـذه النسـبة إلى 68% بحلـول منتصـف القـرن الحالي. ويضـع الاتجـاه نحـو زيـادة التحضر ضغوطـاً على المـوارد المتاحـة لضمـان بقـاء المـدن قابلـة للعيـش ومسـتدامة ونابضـة بالحيـاة.[1]

وقد استفاد مجال المدن الذكية بشكل كبير من التقدم السريع في تقنيات المستشعرات. هـذه التقنيـات تدعـم أسـاس البيئـات الحضريـة القائمـة على البيانـات، حيـث تتكامـل بسلاسـة مـع إنترنـت الأشـياء (IoT). وقـد اسـتعرضت ورقـة منشـورة في مجلـة البنـاء الـذكي والمـدن المسـتدامة (Smart Construction and Sustainable Cities) الـدورَ الحاسـم الـذي تلعبـه المستشـعرات في تطويـر المـدن الذكيـة، متناولـة موضوعـات مهمـة مثـل البيانـات، الأطـر التنظيميـة، والآفـاق المسـتقبلية.[2]

1. www.bcg.com
2. link.springer.com

تعمـل معظـم إشـارات المـرور بنـاءً على خطـة توقيـت تسـتند إلى وقـت اليـوم، حيـث توجـد أنمـاط محـددة مسـبقاً للصبـاح وبعـد الظهـر والمسـاء وفتـرة الليـل. يحـاول مخططـو المـرور تنسـيق هـذه الـدورات مـع التقاطعـات المحيطـة للسـماح بتدفـق السـيارات بين التقاطعـات بأقـل قـدر ممكـن مـن التوقـف والانـطلاق. والسـبب في أن هـذه الإشـارات يجـب أن تتغير في كثير مـن الأحيان هـو أن حركـة المـرور دائمـاً في تغير.

لحـل هـذه المعضلـة، وباسـتخدام بيانـات GPS مـن أقـل مـن 6% مـن المركبـات على الطريـق، تمكـن فريـق بحثي في جامعـة ميشـيغان (University of Michigan) مـن إعـادة ضبـط إشـارات المـرور بشـكل يقلـل بشـكل كبير مـن الازدحـام والتـأخير عنـد التقاطعـات. في دراسـة تجريبيـة، أدى تطبيـق النظـام إلى انخفـاض بنسـبة 20% إلى 30% في عـدد التوقفـات عنـد التقاطعـات ذات الإشـارات الضوئيـة.

يُعـد هـذا النظـام رسـمياً الأول مـن نوعـه في العالـم لإعـادة ضبـط توقيـت إشـارات المـرور على نطـاق واسـع باسـتخدام السحابة الإلكترونيـة، ويمثـل فرصـة كبيـرة للمجتمعـات لإعـادة ضبـط أنمـاط إشـاراتها بتكلفـة منخفضـة. نُشـر البحـث في مجلـة نيـتشر للاتصـالات(Nature Communications).[3]

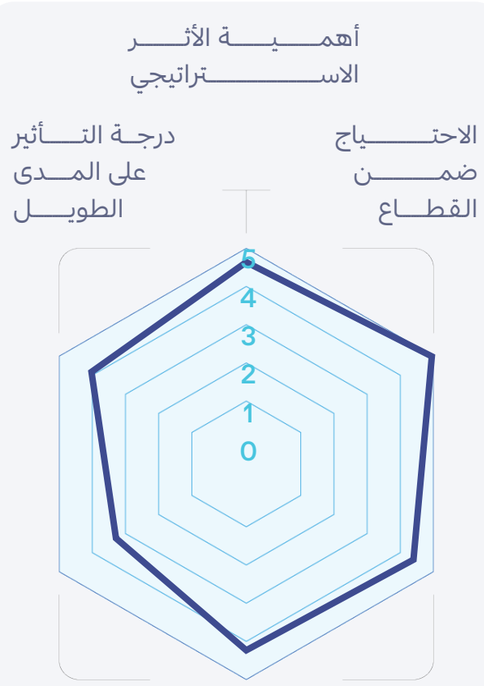
يعتمـد هـذا النظـام على بيانـات GPS مـن نسـبة معينـة مـن المركبـات على الطريـق لاسـتنباط أنمـاط الحركـة المروريـة. على سـبيل المثـال، تـشير مركبـة متصلـة تتوقـف على بعـد حـوالي 30 مترًا مـن التقاطـع بقـوة إلى أنهـا خلـف ثلاث أو أربـع مركبـات أخـرى على الأقـل. وبينمـا يمكـن لأجهـزة الكشـف عنـد التقاطعـات توفير عـدد المركبـات وسرعتهـا المقـدرة، فإن الوصـول إلى معلومـات مسـار المركبـات، حتى بمعـدلات اختـراق منخفضـة، يوفـر بيانـات أكثـر قيمـة تشـمل تـأخير المركبـات، وعـدد التوقفـات، واختيـار المسـار.[4]

تأثير التقنية

يوفـر هـذا النظـام حلاً قـابلاً للتوسـع ومسـتداماً وفعـالاً لتحسـين إشـارات المـرور وتقليـل الزحـام، ويمكـن أن يُطبـق بشـكل محتمـل على كل تقاطـع مـروري مُـزود بإشـارات ثابتـة التوقيـت.

3. www.nature.com
4. www.sciencedaily.com
5. www.precedenceresearch.com

التقييم متعدد المحاور
المدن الذكية وتخفيف الزحام المروري



حجم السوق العالمي[5]

بلـغ حجـم السـوق العالمـي لنظـم إدارة حركـة المـرور الذكيـة

12.91 مليار دولار في عام 2024

ومن المتوقـع أن يـصل إلى

47.10 مليار دولار

في عام 2034

معدل النمو السنوي المركب خـلال فـترة التنـبؤ يقدر

بـ 13.82 %

3.4.5 الطائـــــرات بـــــدون طيـار

نقـــلات تقنـــيّة: الأســـــراب المســـــتقلة، دمـــج الذكـــاء الاصطـــناعي، واتصـــالات الجيل الخامس

TRL: 6

حدثت مؤخرًا تطورات بارزة في تقنيات الطائرات بدون طيار (UAV)، منها تطوير الأسراب المستقلة التي تُنسق عملياتها بذكاء اصطناعي لإجراء مهام مثل الاستجابة للكوارث دون تدخل بشري مباشر. كما عززت معالجة الصور العصبية قدرتها على التنقل بكفاءة في البيئات المعقدة، مما يدعم تطبيقات في الزراعة وإدارة المستودعات. أتاح الاتصال المدعوم بشبكة الجيل الخامس نقل بيانات هائلة بزمن استجابة منخفض، ما يُعزز البث المباشر والتنسيق بين الطائرات. بالإضافة إلى ذلك، ظهرت المسيّرات الخضراء التي تعمل بالطاقة المتجددة، مما يساهم في مراقبة البيئة مع تقليل البصمة الكربونية، لتصبح أداة محورية في الاستدامة البيئية.

مع تقنية الجيل الخامس، يمكن للطائرات بدون طيار نقل البيانات في الوقت الفعلي، مما يتيح الاتصال والتنسيق السلس لمهام مثل إدارة المرور والاستجابة للطوارئ وتفتيش البنية التحتية.[1]

كما شهد القطاع التجاري أيضًا زيادة في استخدام الطائرات بدون طيار. كانت شركات مثل (Zipline) رائدة في خدمات توصيل الطائرات بدون طيار، وخاصة في مجال الخدمات اللوجستية للرعاية الصحية. وقد أثبتت عمليات الشركة كفاءة الطائرات بدون طيار في توصيل الإمدادات الطبية إلى المناطق النائية. [2]

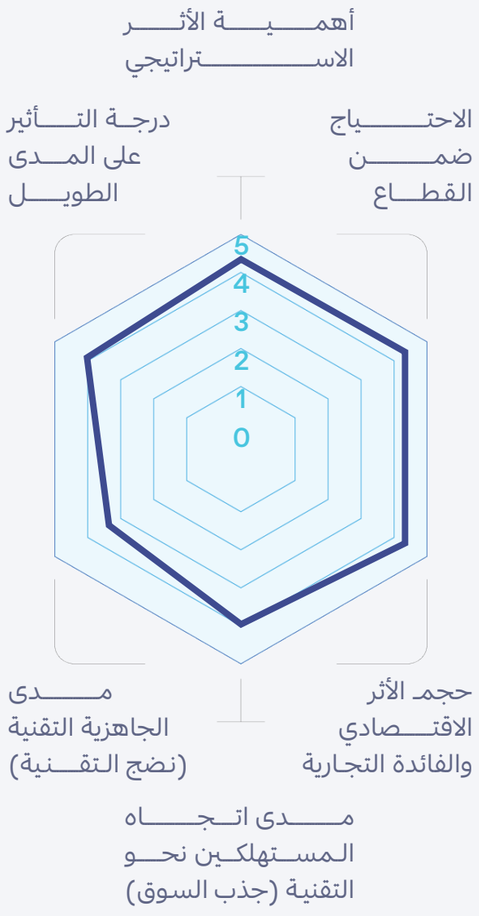
وامتدّت تطبيقات الطائرات بدون طيار إلى تفتيش البنى التحتية الحيوية مثل الجسور وخطوط الكهرباء، حيث توفر بديلاً أكفأ وأكثر أمانًا لطرق التفتيش التقليدية، مما يقلل من الحاجة إلى عمليات التفتيش اليدوية في المواقع الخطرة. طورت شركات مثل (Drone Volt) مسيّرات قادرة على فحص خطوط الطاقة ذات الجهد العالي دون انقطاع التيار الكهربائي، مما يعزز كفاءة الصيانة والسلامة.

كما تبنّت صناعة الخدمات اللوجستية تقنية الطائرات بدون طيار لتسريع عمليات التسليم، وخاصة في المناطق النائية أو المزدحمة. بدأت شركات مثل أمازون (Amazon) وونج من ألفابيت (Alphabet's Wing) في تقديم خدمات التوصيل بالطائرات بدون طيار، بهدف تقليل أوقات التسليم وتكاليف التشغيل. في المملكة المتحدة على سبيل المثال، حصلت أمازون على موافقة لاختبار عمليات التسليم بالطائرات بدون طيار للطرود التي يقل وزنها عن 5 أرطال، مما يمثل خطوة مهمة نحو دمج الطائرات بدون طيار في الخدمات اللوجستية السائدة. [3]

تأثير التقنية

يمكن للطائرات بدون طيار أداء مهام معقدة بشكل متزايد مع الحد الأدنى من التدخل البشري والتأثير الأدنى على البيئة. ومع ذلك، فإن معالجة التحديات المتعلقة بالأمن والاستخدام الأخلاقي والتأثير البيئي ستكون حاسمة لتسخير إمكاناتها بالكامل.

التقييم متعدد المحاور
الطائرات بدون طيار



حجم السوق العالمي [4]

بلغ حجم السوق العالمي للطائرات بدون طيار

41.26 مليار دولار في عام 2025

ومن المتوقع أن يصل إلى

125.91 مليار دولار

في عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال فترة التنبؤ يقدر

بـ 17.3 %

1. Sentrycs.com
2. www.barrons.com
3. The 2024 Forecast in Drone Technology & Drone Security
4. www.fortunebusinessinsights.com

3.4.6 بنيـــــة الشبـــكة الأمنـــية السـيبرانية

بنية الشبكة الأمـنية السـيبرانية

TRL: 5

بنيـة الشـبكة الأمنيـة السـيبرانية (Cybersecurity Mesh Architecture (CSMA، هـي نظـام بـيئي تعـاوني مـن الأدوات والتحكمـات التي تهـدف إلى تـأمين المؤسسـات الحديثـة والموزعـة. تعتمـد على استراتيجيـة دمـج أدوات الأمـان الموزعـة والمركبـة مـن خلال مركزيـة مسـتوى البيانـات والتحكـم لتحقيـق تعـاون أكثر فعاليـة بين الأدوات. وتشـمل النتائج قـدرات محسـنة للكشـف عـن التهديـدات، واسـتجابات أكثر كفـاءة، وإدارة متسـقة للسياسـات والوضـع الأمني وخطـط الاسـتجابة، وتحكمـات وصـول أكثر تكيفًـا ودقـة؛ وكل ذلـك يـؤدي إلى أمـان أفضـل. [1]

1. www.gartner.com

تسـتند بنيـة الشـبكة الأمنيـة السـيبرانية (CSMA) على مبـدأ دمـج أدوات الأمـان الموزعـة في بنيـة مركبـة تركـز على توحيـد مسـتويي البيانـات والتحكـم، ممـا يتيـح تعاونًـا محسـنًا بين مختلـف الحلـول الأمنيـة. يهـدف هـذا النهـج المركـزي إلى تحقيـق إدارة متسـقة للسياسـات، وتحسـين الكشـف عـن التهديـدات، وتحسـين كفـاءة الاسـتجابة، وتقديـم تحكـم أكثر تكيفًـا ودقـة في الوصـول، ممـا يؤدي في النهايـة إلى تعزيـز الوضـع الأمني العـام للمؤسسـات. [2]

شـهد عـام 2024 تحـولًا في الأمـان السـحابي (cloud security) مـع اعتمـاد بنيـة الشـبكة الأمنيـة السـيبرانية (CSMA) لدمـج بيئـات السـحابة مـع البنيـة التحتيـة لتقنيـة المعلومـات. يتمـاشى هـذا مـع التوقـع بنمـو التشـغيل البيني (interoperability) بنسـبة تصـل إلى 45%. تعمـل بنيـة CSMA بشـكل أسـاسي كطبقـة أمـان مركزيـة، تربـط وتؤمّـن مجموعـة متنوعـة مـن حلـول الأمـان عبر المؤسسـة. تشـمل المكونـات الرئيسـية لبنيـة CSMA الأمـان المـدرك للسـياق (context-aware security)، والمحيطـات الأمنيـة المرتكـزة على الهويـة (identity-centric perimeters)، بالإضافـة إلى الدفـاع الاسـتباقي في الوقـت الحقيقـي.

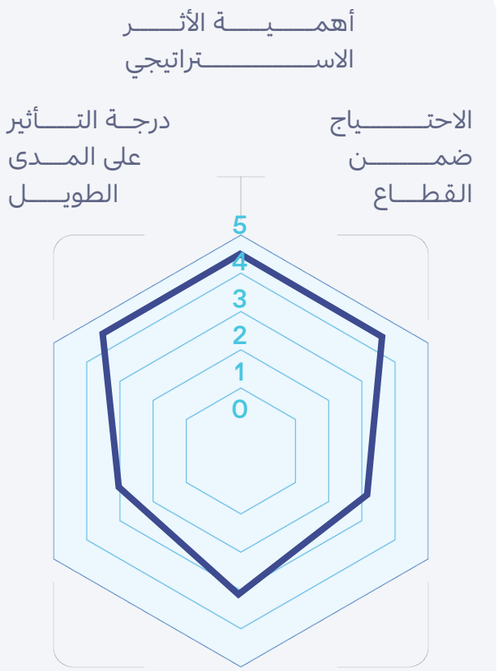
كمـا تدعـم بنيـة الشـبكة الأمنيـة السـيبرانية نمـاذج الأمـان ذات الثقـة الصفريـة (zero trust security)، والتي تتطلـب التحقـق مـن كل طلـب وصـول، بغـض النظـر عـن مصـدره. تسـهل البنيـة تنفيـذ مبـادئ الثقـة الصفريـة مـن خلال تـوفير إدارة هويـات قويـة، ومصادقـة مسـتمرة، وتحكمـات وصـول تكيفية. يعتبر هذا ذا قيمة خاصة في بيئات العمل المختلطة والبعيـدة، حيـث تكـون نمـاذج الأمـان التقليديـة القائمـة على المحيـط غير كافيـة.

تأثير التقنية

تمكّـن بنيـة CSMA مـن تحويـل مجموعـة مجـزأة مـن حلـول الأمـان عبر تقنيـة المعلومات/التقنيـة التشـغيلية (IT/OT) والسحابة إلى شبكة أمنية سيبرانية متكاملة لتحقيق تشغيل بيني عـالٍ واتصـال متكامـل مـن بيئـات السـحابة إلى الأجهـزة الطرفيـة وأنظمـة تقنيـة المعلومـات/التقنيـة التشـغيلية (IT/OT). يضمـن التكامـل الـذي تسـهله بنيـة CSMA تحسـين الاسـتثمارات الأمنيـة الحاليـة. هـذه الكفـاءة لا تحسـن الأمـان فحسـب، بـل تزيـد أيضًـا مـن قيمـة النفقـات الأمنيـة السـابقة. تسـمح بنيـة CSMA المتكاملـة والقابلـة للتشـغيل البيني أيضًـا للمؤسسـات بفهـم وضـع أمـان السـحابة مـن منظـور مخاطـر الأعمـال، بمـا في ذلـك الامتثـال. تدعـم عمليـات التكامـل إدارة فعالـة للمخاطـر وتحديـد الأولويـات.

2. www.checkpoint.com
3. www.precedenceresearch.com

التقييم متعدد المحاور
بنية الشبكة الأمنية السيبرانية



حجم السوق العالمي [3]

قـدر حجـم السـوق العالمـي للشـبكات السـيبرانية (Cybersecurity Mesh) بحـوالي

3.67 مليار دولار في عام 2025

ومن المتوقـع أن يـــصل إلى

9.28 مليار دولار

في عام 2034

معدل النمو السنوي المركب خـــلال فـــترة التنـبؤ يقدر

بـ 10.83 %

3.4.7 الحـــوسبـــة الكمـــية

نقلات تقنية في تصحيح الأخطاء وتحسين الأداء

TRL: 5

الحوسبة الكمية مجال ناشئ يقع عند تقاطع الفيزياء وعلوم الحاسب، ويعد بتحويل الطريقة التي تعالَج بها المعلومات. بخلاف الحواسيب التقليدية التي تعتمد على البتات (0 أو 1)، تستخدم الحواسيب الكمية الكيوبتات (qubits)، والتي يمكن أن تكون في حالات متعددة في نفس الوقت بسبب ظاهرة تسمى التراكب (superposition). وهذا يمكّن الحواسيب الكمية من إجراء بعض الحسابات بشكل أسرع بكثير من الحواسيب التقليدية.

وقد شهد عام 2024 تطورات بارزة في الحوسبة الكمية، تضمنت تقنيات لتصحيح الأخطاء باستخدام كيوبتات منطقية تتطلب عددًا أقل من الكيوبتات الفيزيائية، كما تم تطوير رقائق سيليكون فائقة النقاء لزيادة استقرار الكيوبتات وتحقيق دقة قياسية بنسبة 99.9%. وشهدت الهندسة الكمية ابتكارات في التصميم المعياري لتوسيع نطاق البتات الكمية. كما طُورت أكبر شريحة كمية في الصين لدعم السحابة الكمية، مما يُعزز التطبيقات العلمية في مجالات مثل الذكاء الاصطناعي واكتشاف الأدوية.[1]

وعلى سبيل المثال، أعلنت شركة جوجل مؤخرًا عن تقدم كبير في الحوسبة الكمية مع طرح معالجها الكمي الجديد (Willow). حققت هذه الشريحة التي تحتوي على 105 كيوبت إنجازًا حسابيًا مهمًّا من خلال حل مشكلة معقدة في أقل من خمس دقائق - وهي مهمة تستغرق أسرع الحواسيب العملاقة التقليدية ما يقدر بنحو 10 سبتليون عام (السبتليون: 1024). [2]

تتمثل إحدى السمات الرئيسية لمعالج Willow في قدراته المحسنة على تصحيح الأخطاء. يقلل معالج Willow الأخطاء من خلال تقليل معدلات الخطأ بشكل كبير مع إضافة المزيد من الكيوبتات، مما يمثل معلمًا مهمًا في تطوير الحواسيب الكمية القابلة للتطوير والموثوقة. [3]

وتم تحقيق تقدم كبير من خلال التعاون بين شركتي كوانتينيوم (Quantinuum) ومايكروسوفت (Microsoft)، والذي قدم نظامًا عالي الكفاءة لتحويل البتات الكمية (quantum bits or qubits) إلى افتراضية. قلل هذا النظام بشكل كبير من عدد البتات الكمية المادية المطلوبة لإنشاء بت كمي منطقي، من المئات أو الآلاف المقدرة سابقًا إلى 30 بت كمي فقط. [4]

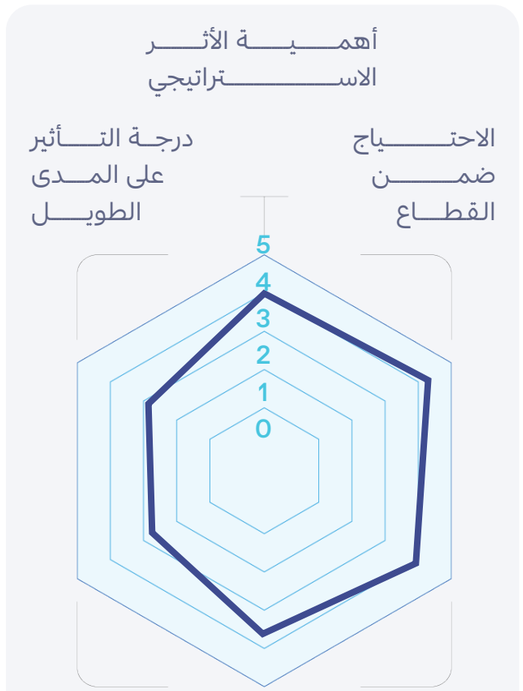
تأثير التقنية

يمتد تأثير الحوسبة الكمية إلى مجالات عدة، منها:

- علم المواد: يمكن للحواسيب الكمية محاكاة سلوك الجزيئات والمواد على المستوى الكمي، مما يسرع من اكتشاف مواد جديدة ذات خصائص مرغوبة.
- مسائل التحسين: يمكن أن تحل خوارزميات الكم مسائل التحسين (optimization)، مثل اللوجستيات والجدولة، بشكل أكثر فعالية من الطرق التقليدية، مما يؤدي إلى مكاسب كبيرة في الكفاءة.
- التشفير: في حين أن الحواسيب الكمية تشكل تهديدًا للخوارزميات التشفيرية التقليدية، يمكن أيضًا استخدامها لتطوير طرق تشفير جديدة مقاومة للكم.

1. www.livescience.com
2. www.reuters.com
3. www.nature.com
4. www.quantinuum.com
5. www.bcg.com
6. www.mckinsey.com

التقييم متعدد المحاور
الحوسبة الكمية



حجم السوق العالمي [5 - 6]

يقدّر بأن الحوسبة الكمية ستدعم سوقًا بقيمة تتراوح بين

90 و 170 مليار دولار دولار لمقدمي الأجهزة والبرامج بحلول عام 2040

ويُتوقّع أن يصل هذا السوق إلى ما بين

45 و 131 مليار دولار بحلول عام 2040

3.4.8 حوسبة مجموعة التعليمات المختزلة

تطـــورات في النظـــام البيئي لحاسـوب مجموعة التعليمـات المختزلـة (RISC-V)

TRL: 6

حاسوب (RISC) يعبر عن بنية مجموعة تعليمات Instruction Set Architecture (ISA) مفتـــوحة ومتجـــذرة في مبـــادئ حوســـبة مجمـــوعة التعليمـــات المختـزلـة Reduced Instruction Set Computer (RISC)، وتتـميز بأنهـا مفتوحـة المصـدر ولا تتطلـب رســـومـ ترخيـص، ممـا يتيـح الاســتخدامـ غـير المقـــيد في التطـــبيقات الأكاديميـة والتجاريـة.

1. All About Circuits

شـهد الجيـل الخامـس مـن حاسـوب مجموعـة التعليمـات المختزلـة (RISC-V) تطـورات ملحوظـة تشـمل التعـاون الصناعـي والابتـكارات التقنيـة. تـمـ إطلاق مبـادرات لتوحيـد تقنيات RISC-V ودعمها تجاريًا، مما عزز اعتمادها في أنظمة متقدمـة مثـل معالجـات الرسـوميات وأشـباه المـوصلات للجيـل القـادمـ. تضمنـت الابتـكارات إصـدار منصـات تجمـع بين تقنيـات متعـددة، مثـل معـــالجة الأنظمـة المدمـــجة الآمنـة والتشـفير مـا بعـد الكمـي. كمـا تـمـ تطويـر معالجـات متكاملـة تجمـع بين وظائـف المعالجـة والـذكاء الاصطناعـي والرسـوميات، مـا يعـزز الكفـاءة والتكلفـة. في مجـال الحوسـبة عاليـة الأداء، أظهـرت الشرائح متعـددة النـواة قـدرات RISC-V في التطبيقات المتقدمة. تؤكد هذه التطورات دور RISC-V في إعادة تشكيل مستقبل الحوسبة من خلال الابتكار المفتوح.

أدت التطـــورات الأخيرة إلى تقـــدمـ كـبير في النظـــامـ البـيئي لحوسـبة مجموعـة التعليمـات المختزلـة RISC-V، ومـن الأمثلـة على ذلـك:

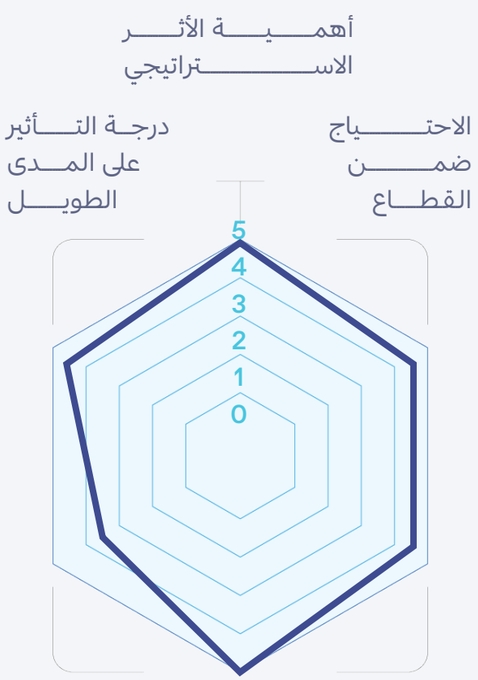
- المبـادرات التعاونيـة: شركاتُ أشـباه الموصـلات الرائـدة، بمـــا في ذلـــك بـوش (Bosch) وإنفـــينيون (Infineon) ونورديـك (Nordic Semiconductor) و إن إكـس بي (NXP) وكوالكومـ (Qualcomm)، أسستْ مجتمعةً شركةَ كوينتوريس (Quintauris GmbH). ويهدف هذا المشروع المشـترك إلى دفـع نظـامـ RISC-V البيـئي إلى الأمـامـ مـن خـلال دعـمـ وتوحيـد تقنيـات RISC-V تجاريًا.[2]
- تبـــني الصناعـة: تتبـنى شركات التقنـــية الكـبرى نظـــامـ RISC-V بشـكل متزايـد. عـلى سـبيل المثـال، في أكتوبـر 2024، أعلنت إنفيديا (NVIDIA) عـن خططها لاستبدال معالجـات Falcon عـلى بطاقـات الرسـوميات GeForce بأنويـة RISC-V.[3] واعتبـارًا مـن ديسـمبر 2024، تعمـل سامسـونج (Samsung Electronics) بنشـــاط عـلى توظيـف خـبراء RISC-V في الصـين لتعزيـز تطويـر أشـباه الموصـلات مـن الجيـل التـالي.[4]
- الابتـكارات التقنيـة: يُظهـر إصـدار منصـات مثـل سـوناتا (Sonata v1.0)، التي تجمع بين الدوائر المتكاملة AMD Artix-7 FPGA ومعالج Raspberry Pi RP2040 MCU، تكامـل نظـامـ RISC-V مـع تقنيـة CHERIoT للأنظمـة المضمنـة الآمنـة.[5]

تأثير التقنية

بخلاف بنية مجموعة تعليمات (ISAs) المغلقة (غير المفتوحة) مثـل x86 وARM، تعـزز الطبيعـة المفتوحـة لحوسـبة RISC-V الابتكار والتعاون، مما يمكِّن المصممين من تخصيص وتوسيع البنية لتلبية احتياجات محددة دون قيود الأنظمة المغلقة. أدّت هـذه المرونـة إلى تبنيها عبر العديـد مـن الصناعـات، بمـا في ذلـك صناعـة السـيارات، والإلكترونيـات الاسـتهلاكية، ومراكـز البيانـات، حيث تعـد الحوسـبة عاليـة الأداء وقابليـة التوسـع أمـرًا ضروريًا. [6]

2. quintauris
3. techpowerup
4. Digitimes
5. CNX Software
6. Moschip

التقييمـ متعدد المحاور
حاسوب مجموعة التعليمات المختزلة (RISC-V)



حجمـ السوق العالمي [3]

يقدر حجمـ سوق تقنية RISC-V بـ

1.41 مليار دولار في عامـ 2025

ومن المتوقـع أن يـــصل إلى

7 مليارات دولار

في عامـ 2030

معدل النمو السنوي المركب خـلال فـترة التنـبؤ يقدر

بـ 37.85 %

04
الخاتمة

في ظل التحولات التقنية السريعة التي يشهدها العالم، بات من الواضح أن التقنيات الناشئة تحمل إمكانات هائلة لإحداث تأثيرات جوهرية على مختلف القطاعات. وقد سلّط هذا التقرير الضوء على مجموعة من التقنيات الحديثة والابتكارات التي تشكل الأساس لمستقبل واعد في مختلف المجالات.

من خلال استعراض التقنيات المتعلقة بصحة الإنسان، مثل اكتشاف الأدوية باستخدام الذكاء الاصطناعي، والتعديل الجيني، وأجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز، وصولًا إلى الكشف المبكر عن السرطان والأنظمة الروبوتية الجراحية، يبرز دور التقنيات الحديثة في تحسين جودة الحياة وتعزيز الرعاية الصحية.

وفي مجال استدامة البيئة والاحتياجات الأساسية، تبرز حلول مثل تنقية المياه المتقدمة، والزراعة الذكية المستدامة، ومعالجة المياه وإعادة تدويرها، إضافة إلى مواد التقاط الكربون والحفازات البيئية. هذه الابتكارات تمثل خطوة حيوية نحو تحقيق التوازن البيئي وتلبية الاحتياجات المتزايدة للسكان بشكل مستدام.

أما في مجال الطاقة والصناعة، فقد تناول التقرير تقنيات رائدة مثل إنتاج وتخزين الهيدروجين، وبطاريات تخزين الطاقة، والطاقة الحرارية الأرضية، والشبكات الذكية، مما يتيح فرصًا كبيرة لتحسين الكفاءة وتقليل التأثير البيئي للصناعات. كما ألقى التقرير الضوء على الابتكارات التي تسهم في تطوير قطاع التصنيع، مثل التصنيع المستدام للصُّلب، والطباعة ثلاثية الأبعاد، والميتافيرس الصناعي.

وفي مجال اقتصاديات المستقبل، استعرض التقرير تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي التوليدي، والمدن الذكية، والطائرات بدون طيار، واتصالات الأقمار الصناعية. هذه الابتكارات تعيد تشكيل الاقتصاد العالمي، مع تعزيز الابتكار وتحسين الاتصالات والبنية التحتية.

يُظهر هذا التقرير جليًّا أن هذه التقنيات ليست مجرد أدوات لتحسين القطاعات المختلفة، بل هي ركيزة لتحقيق أهداف أكبر، مثل الاستدامة، والنمو الاقتصادي، والرفاهية الإنسانية. من خلال تبني هذه التقنيات والاستثمار فيها، يمكن للدول والمؤسسات قيادة مستقبل مشرق ومزدهر.

يمكن أن تكون هذه التقنيات ركيزة أساسية لتحقيق أهداف رؤية المملكة العربية السعودية 2030، لا سيما في مجالات التنويع الاقتصادي، تحسين جودة الحياة، وتعزيز الابتكار. يدعو التقرير إلى تكثيف الاستثمارات في البحث والتطوير، بناء القدرات البشرية، وتعزيز التعاون لاستشراف المستقبل التقني وتبني أفضل الممارسات العالمية.

يعكس هذا التقرير الأهمية الاستراتيجية لاستشراف التقنيات الناشئة، ليس بمجرد اعتبارها محركًا للنمو الاقتصادي، بل بوصفها أداة أيضًا لخلق حلول مستدامة للتحديات الراهنة. يُعدّ الاستعداد لهذه التحولات التقنية عبر تبني الابتكار بمثابة خطوة أساسية نحو مستقبل مشرق.

هيـــئة تنـــمية البـــحث
والتـــــطوير والابتـــكار
Research, Development
& Innovation Authority

© 2024 هيئة تنمية البحث والتطوير والابتكار. جميع الحقوق محفوظة.