هيئة تنمية البحث
والتطوير والابتكار
Research Development
and Innovation Authority

رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

تقرير التقنيات المبتكرة الحديثة

لعام 2023

تقرير سنوي يصدر عن هيئة
تنمية البحث والتطوير والابتكار

تقرير التقنيات المبتكرة الحديثة

لعام 2023

تقرير سنوي يصدر عن هيئة
تنمية البحث والتطوير والابتكار

المشاركون في إعداد التقرير

هيئة تنمية البحث والتطوير والابتكار

د. رامي بن خليل نيازي
أ.د. محمد بن راشد الشريف
د. إبراهيم بن عبد الله الرماح
أ. نوف بنت صالح الجهني
أ. مريم بنت خير الله السعيد
أ. مها بنت إبراهيم التركي

اللجنة العلمية لمرصد البحث والتطوير والابتكار

د. مشاعل بنت محمد الغامدي
د. حسين بن علي السلمان
د. أحمد بن عبد الله المالكي
د. فجر بنت عبد الرحمن العيسى

فريق التصميم والإخراج

أ. ريم بنت سعد الشهري

المحتـــويات

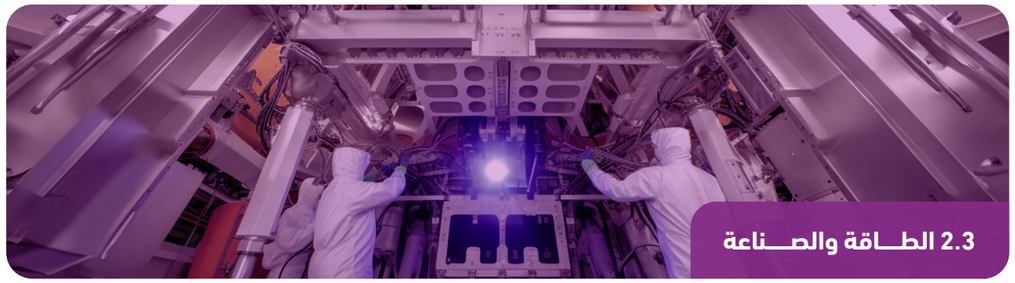
التمـــــهيد 08
1 الملـــخص التنـــــفيذي 10
2 الإشارات التقنية المرصودة 16

2.1 صـــــحة الإنـــــسان

نجاح باهر لباحثة سعودية في اكتشاف مؤشرات الأمراض المزمنة 20
2.1.1 نجاح اختبار بنكرياس اصطناعي لمرضى السكري من النوع الثاني 22
2.1.2 توظيـف أدوات الذكـــاء الاصـــطناعي لتـــطوير الأدوية 24
2.1.3 اكتشاف آلية خلوية قد تساعد في زيادة فعالية أدوية السرطان 26
2.1.4 استـخدام الأجـهزة القابلـة للارتداء لتقيـيم الصحة النفسية 28
2.1.5 استخـدام الواقـــع المـــعزز في الرعـــاية الصحـــية 30
2.1.6 اكتـشاف بروتيـن يسـهم في تأخيـر ظـهور أعراض الشيخـوخة 32
2.1.7 العُضَـيّات القلـبية لتـسريع اخـتبار وتـطوير أدوية القـلب 34
2.1.8 الموافـقة على إجراء تجـارب رقـاقة الدمـاغ البـشري 36

2.2 البـيئة والاســتدامة

شركـة (Hyrec) وإعادة تعريف تعـدين ومعالـجة المحـلول الملـحي 40
2.2.1 تحويل المواد البلاستـيكية والغـازات الدفيئة إلى وقود مستـدام 42
2.2.2 تـطوير نظام اقتصـادي لالتـقاط الكربون وتـحويله إلى ميـثانول 44
2.2.3 ابتـكار مستـــشعرات النباتـات لجـمع البيـانات وتحلـيلها 46
2.2.4 الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة للتـنبؤ بالطقـس والأحداث النـادرة 48
2.2.5 بناء أول محطة في العالم لحرق النفايات مع احتجاز الكربون وتخزينه 50
2.2.6 إنـــتاج الأســـمدة الخالـــية من الانبـعاثات الكربونـــية 52
2.2.7 ابتـــكار الإنـــتاج الزراعـــي العـــضوي والمتـــجدد 54
2.2.8 ابتـكار طريـقة مسـتدامة واقتـصادية لمعالجة مياه الرجـيع الملحي 56



2.3 الطـــاقة والصـــناعة

فريق كاوست يسجل رقماً قياسياً عالمياً في كفاءة الخلايا الشمسية المزدوجة 60
2.3.1 تطـوير طريـقة لتحـسين أداء خلايا البيروفـسكايت الشمـسية 62
2.3.2 تحـــــسين كـــــفاءة استـــــخلاص الليثـــــيوم 64
2.3.3 إنتاج الهيدروجين الأخـضر الاقتـصادي والـموفر للـموارد 66
2.3.4 تطويـــر ترانزسـتورات لأشـــباه الموصـــلات المستـــقبلية 68
2.3.5 أشبـــاه موصلات نيتـــريد الغالـيوم لمركـبات المـــستقبل 70
2.3.6 تصميم مواد مسامية فائقة الثبات بواسطة النمذجة الحاسوبية 72
2.3.7 تحقـيق الاشـتعال الاندماجي لأول مرة في منـــشأة نوويـــة 74

2.4 اقتصاديات المستقبل

شركـــة Thya Tech | رؤيـــة تقـنية تتخـطى حـدود المألـــوف 78
2.4.1 إطـــلاق منـــصات الذكـــاء الاصـــطناعي التوليـــدي 80
2.4.2 إطلاق أقـمار صناعية بأحدث معايـير الجيل الخامـس من الاتصالات 82
2.4.3 تطبـيق سلاســـل الكـتل (بلوكـــتشين) للتـجارة الالكـــترونية 84
2.4.4 إطـــلاق أجهـــزة الواقـــع المـــعزز والواقـــع المخـــتلط 86
2.4.5 تطـبيق الحوسـبة الكـمومية للحـماية ضد الهـجمات السـيبرانية 88
2.4.6 منـــصة الذكـــاء الاصـــطناعي لتحـسين التعـــليم الالكـتروني 90
2.4.7 الحوسبة الضوئية لتـقليل الطاقة اللازمة لتعدين العملات الرقـمية 92

التمهيـــد

كلمـــــــة المشـــــــرف العـــام علـى الهيـــــئة

د. محمد بن عويض العتيـبي

المشـــرف العـــام على هيـــئة تنمـــية البحـــث والتطـــوير والابتـــكار

يُعتبـر استشـراف المسـتقبل التقنـي أحـد المجـالات المهمـة للتخطيـط الاسـتراتيجي الفعـال الـذي يتيـح لنا التعامل مـع عالم يزداد فيه التنافس بين الأمم. وانطلاقـاً مـن دور هيئـة تنميـة البحـث والتطويـر والابتـكار فـي إعداد الخطـط الوطنيـة لقطاع البحث والتطويـر والابتـكار، ووضـع الاسـتراتيجيات اللازمـة لتنفيذهـا، وإجـراء الدراسـات والبحـوث ذات العلاقـة، يقـدم المرصـد الوطنـي للبحـث والتطويـر والابتـكار التابـع للهيئـة، بالتعـاون مـع خبـراء مدينـة الملـك عبـد العزيـز للعلـوم والتقنيـة، تقريـر "التقنيـات المبتكـرة الحديثـة لعـام 2023".

يقـدم هـذا التقريـر الـذي بيـن أيديكـم رصـدًا لعـدة نـقلات تقنيـة حديثـة بنـاءً علـى إشـارات وأحـداث وقعت مؤخـرًا في قطاع البحث والتطوير والابتكار، وقـد تـم اختيار كل مـن هـذه الإشارات التقنيـة وفقـاً لمنهجيـة علميـة متبعـة تستكشـف آخـر الإنجـازات العلميـة والابتـكارات والتطـورات التقنيـة التـي قـد تـؤدي إلـى إحـداث تغييـرات مسـتقبلية؛ ليوفـر التقريـرُ بذلـك البصائـرَ الضروريـة للتخطيـط للمسـتقبل والإمسـاك بزمـام المبـادرة لاغتنـام الفـرص الواعـدة والاسـتثمار فـي هـذه التقنيـات، أو الاسـتعداد لهـا ودرء المخاطـر المحتملـة.

يغطـي هـذا التقريـر مجموعـةً مـن أبـرز النـقلات التقنيـة الحديثـة ضمـن الأولويـات الوطنيـة للبحـث والتطوير والابتكار، والتي تتمثل في: صحة الإنسان، واسـتدامة البيئـة والاحتياجـات الأساسـية، والريـادة فـي الطاقـة والصناعـة، واقتصاديـات المسـتقبل. كما يقدم التقرير قصَص نجاحٍ سعودية ملهمة في كل مـن هـذه الأولويـات الوطنيـة.

ولتضمين وجهات النظر لكافة الأطراف الفاعلة في منظومـة البحـث والتطويـر والابتـكار، واعتبـار الآراء الفرديـة والجماعيـة، ولضمـان أن يكـون الاستشـراف التقني عمليـة تشـاركية؛ تخطـط الهيئـة فـي تقاريرهـا المسـتقبلية الخاصـة بالاستشـراف التقنـي أن توسـع نطـاق المشـاركة فـي إعـداد هـذه التقاريـر، لتتضمـن الخبـراء مـن سـائر الجامعـات والمعاهـد البحثيـة ومراكـز الابتـكار فـي المملكـة.

وتتطلـع هيئـة تنميـة البحـث والتطويـر والابتـكار لأن يكـون محتـوى التقريـر ملبِّيًـا لتوقعـات أصحـاب القـرار، وأن يسـهم فـي رسـم السياسـات واتخـاذ القـرارات الاسـتراتيجية المناسـبة فيمـا يتعلـق بأولويـات البحـث والتطوير والابتكار في المملكة. ونأمل بأن يكون هذا التقرير خطوة في طريق حافل بالطموحات والإنجازات لمـا فيـه الخيـر لمملكتنـا الحبيبـة والبشـرية جمعـاء.

1

الملخص التنفيذي

1 | الملخص التنفيذي

يوصف الاستشراف بأنه طريقة منظمة ومنهجية لاستخدام الأفكار حول المستقبل التقني لتوقع التغيير والاستعداد له بشكل أفضل. يتعلق الأمر باستكشاف مختلف الفرص المستقبلية المعقولة التي يمكن أن تنشأ والفرص والتحديات التي يمكن أن تطرحها، ثم استخدام تلك الأفكار لاتخاذ أمثل القرارات بالتصرف الآن. ويعتبر الاستشراف إطاراً لتحديد وتقييم الاحتمالات المستقبلية وتحديد أفضل مسار للعمل. وهو بمثابة مدخل للتخطيط الاستراتيجي، وليس بديلاً عنه؛ فهو يساعد على كشف الفرص والتهديدات التي قد تُغفلها الأساليب التقليدية .

كما يُعدّ الاستشراف بمثابة نهج لصنع السياسات يعتمد على المدخلات الجماعية بطريقة منظمة ومنهجية للمساعدة في تطوير مسارات التحول المحتملة بشكل أفضل، والإعداد لتحمل الصدمات وتشكيل المستقبل الذي نعيشه. كما يتوقع الاستشراف الاتجاهات والمخاطر والقضايا الناشئة وآثارها المحتملة والفرص من أجل استخلاص رؤى مفيدة للتخطيط الاستراتيجي وصنع السياسات والتأهب ومراجعة السياسات الحالية بما يتماشى مع أدوات التنظيم الأفضل. [1]

وقد أدى ظهور الثورة الصناعية الرابعة إلى فرص واسعة النطاق من التقنيات المتقدمة. وهناك أدلة متزايدة على أن الحكومات الديناميكية والشركات التي تحركها أهداف النمو مستعدة لتشكيل حقبة جديدة من التعاون بين القطاعين العام والخاص. ويتطلب الأمر اتباع نهج استباقي وتخطيط استراتيجي أكبر من أجل إنشاء «أسواق الغد» التي تلبي الاحتياجات المجتمعية الأساسية. وتتمتع الحكومات بالقدرة على إطلاق وتوجيه المبادرات لحشد اهتمام القطاع الخاص على نطاق أوسع والاستثمار في التقنيات والقطاعات التي تتمتع بأعلى الإمكانات لبناء أسواق الغد. [2]

وبالنظر إلى المبادئ الأساسية التي تساعد على صياغة المبررات والأهداف، فإن إحدى أهم المراحل أو الخطوات في أي مشروع استشرافي هي خطوة (المسح). ترتبط مصطلحات مختلفة في أدبيات وممارسات الاستشراف بأنشطة المسح هذه، مثل المسح البيئي أو مسح الأفق، مما يساعد في تحديد القوى الدافعة أو الاتجاهات أو إشارات التغيير المحددة. يشير (المسح) في الاستشراف إلى القدرة على التقاط وتحديد وتصنيف وفهم العديد من دوافع التغيير أو الرؤى أو الإشارات التي يمكن أن تكون ذات صلة عند استكشاف مستقبل موضوع معين. يمكن أن تشمل بعض هذه العناصر اتجاهات كبرى أو اتجاهات أكثر تحديدًا، أو إشارات ضعيفة أو تحذيرات مبكرة، والتي يمكن استخدامها كمدخلات لبناء السيناريوهات ووصفها. [3]

وبناءً على ذلك، يقدّم المرصد الوطني للبحث والتطوير والابتكار هذا التقرير الذي يتضمن نتائج رصد ومسح وتحليل وتقييم أهم الإشارات التقنية خلال العام 1444هـ/1445هـ (2023م). حيث شملت أنشطة الدراسة والتقييم في المرصد أهم النقلات التقنية ضمن الأولويات الوطنية للبحث والتطوير والابتكار، والمتمثلة في: صحة الإنسان، واستدامة البيئة والاحتياجات الأساسية، والريادة في الطاقة والصناعة، واقتصاديات المستقبل.

ويتضمن هذا التقرير تحليل 30 إشارة تقنية نتجت من مسح مئات الإشارات التقنية التي تغطي الأولويات الوطنية للبحث والتطوير والابتكار، نظراً لأثرها الممتد وأهميتها الخاصة. يعرض التقرير الآثار المحتملة لهذه التقنيات ، بالإضافة إلى إبراز بعض قصص النجاح السعودية في كل من قطاعات الأولويات الوطنية للبحث والتطوير والابتكار.

1 European Commission, R&I Foresight Policy and Practice: Future Studies, Disruptions and Twin Transition

2 WEF, Markets of Tomorrow Report 2023: Turning Technologies into New Sources of Global Growth.

3 European Commission, R&I Foresight Policy and Practice: Future Studies, Disruptions and Twin Transition

1 | الملخص التنفيذي

وبعـد إقـرار منهجيـة الاستشـراف التقنـي، أُعِـدَّ هـذا التقريـر عبـر عـدة مراحـل، بـدأت بمسـح الفريـق التنفيـذي لأكثـر مـن 2800 إشـارة منتقـاة مـن عشـرات المصـادر الدوليـة وقواعـد البيانـات المختلفـة، حيـث تـم تحليلهـا وترشـيحها إلـى قائمـة أوليـة شـملت 1396 إشـارة تغطـي الأولويـات الوطنيـة للبحـث والتطويـر والابتـكار. وتجـدر الإشـارة هنـا إلـى أن هـذه الإشـارات التقنيـة تتفـاوت فـي مـدى أهميتهـا وتأثيرهـا الممتـد، حيـث تـم فـرز وترشـيح فـرز وترشـيح هـذه الإشـارات مـن قبـل الفريـق التقنـي والاقتصـادي والخبـراء المسـتقلين. وتلا ذلـك عـرض الإشـارات وتقييمهـا مـن قبـل اللجنـة العلميـة المرصـد الوطنـي للبحـث والتطويـر والابتـكار، حيـث تمـت التوصيـة بإدراج 30 إشـارة تقنيـة فـي هـذا التقريـر.

شـارك فـي إعـداد هـذا التقريـر عشـرات الخبـراء فـي مختلـف التخصصـات العلميـة. وقـام بأعمـال الرصـد والاسـتطلاع وفحـص وتحليـل الإشـارات مختصـون مـن الفريـق التقنـي مـن المرصـد الوطنـي للبحـث والتطويـر والابتـكار، كمـا تـم تقييـم الإشـارات مـن قبـل أعضـاء اللجنـة العلميـة مـن منسـوبي مدينـة الملـك عبدالعزيـز للعلـوم والتقنيـة

يبيـن الشـكل (1) مسـتوى أهميـة النـقلات التقنيـة حسـب سـتة معاييـر (بلـون مميـز لـكل قطـاع ضمـن الأولويـات الوطنيـة للبحـث والتطويـر والابتـكار):

1. أهميـة الأثـر الاسـتراتيجي (ودور التقنيـة فـي حلـول التحديـات العالميـة)
2. درجة الاحتياج ضمن القطاع
3. مدى اتجاه المـستهلكين نحو التقـنية (جذب السـوق)
4. حـجم الأثـر الاقتـصادي والـفائدة التـجارية
5. مـدى الجاهـزية التـقنـية (نـضج التقـنية)
6. درجـة الـتأثيـر عـلى المـدى الطويـل

ويحـتوي تحليل كل نـقلة تقنـية على تفصيل لذلك.

الشكل (1):

مستوى أهمية النقلات التقنية المرصودة

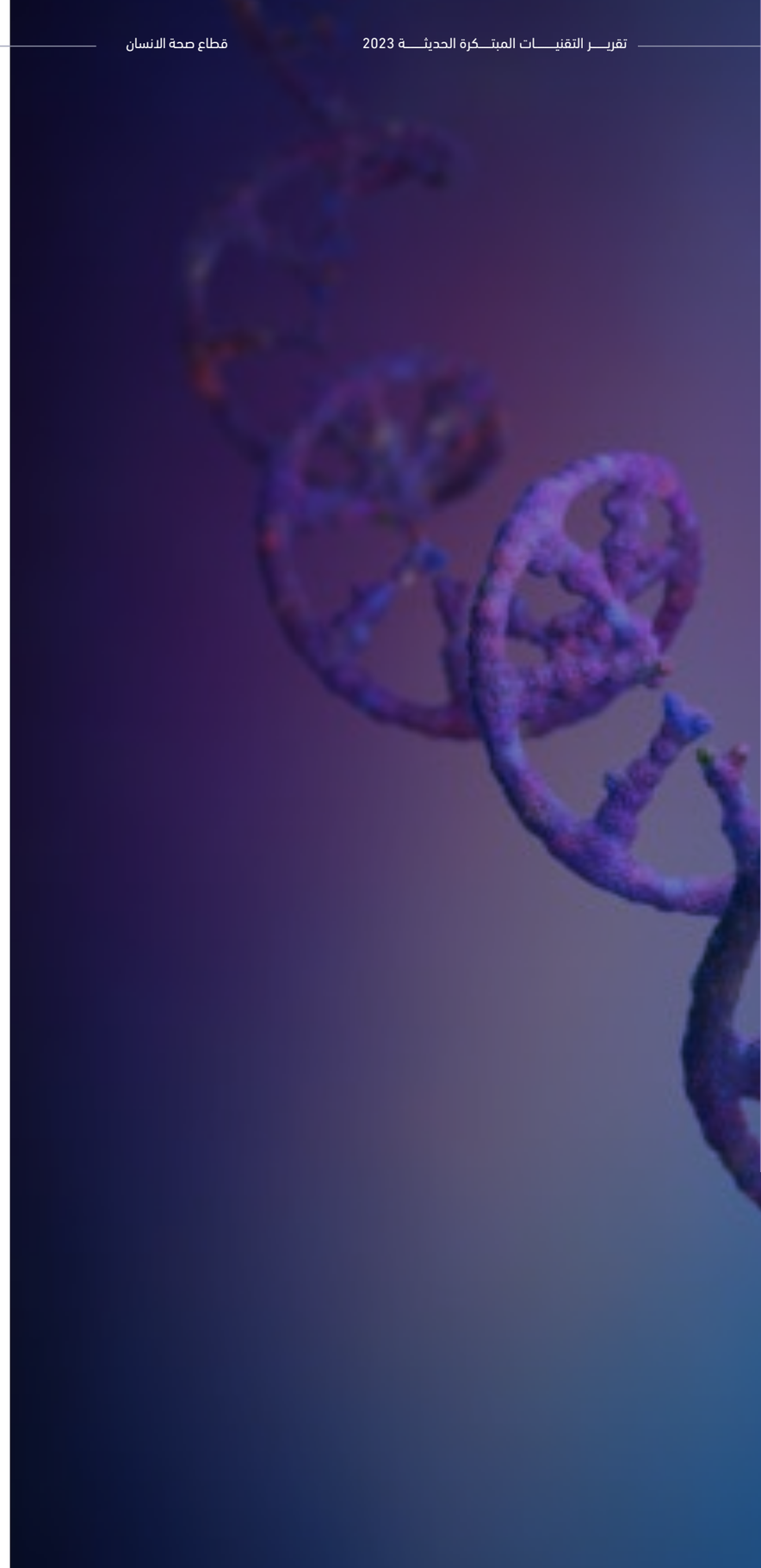
2

الإشارات التقنية المرصودة

2.1

قطاع صحة الانسان

قصـــة نجـــاح سعوديـــة



نجـــاح باهـــر لبـاحثـــة سعـــوديـــة في اكتـشاف مـــؤشـــرات الأمـــراض المزمـــنة

د. دانة السليمان، أستاذة باحثة في جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية، تسهم في تحسين حياة المرضى المصابين بالأمراض المزمنة من خلال استخدام منصات الاستشعار الحيوي لتحديد المؤشرات الحيوية كالأحماض النووية الخالية من الخلايا، بما في ذلك الأحماض الريبوزية النووية الميكروية (microRNAs). تهدف هذه الطريقة إلى اكتشاف وتوصيف مؤشرات الأمراض المزمنة والمتعلقة بالعمر.

كما قادت د. دانة السليمان، التي تعتبر أصغر أستاذة في جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية، أبحاثًا شملت علوم المواد، الهندسة الحيوية والتقنيات الدقيقة، وأسهمت في تطوير الهلاميات المائية (hydrogels)، الجزيئات والإبر المجهرية لمواجهة الاحتياجات السريرية العاجلة، لا سيما في الكشف المبكر ومراقبة السرطان وأمراض الزهايمر. إضافة إلى ذلك، تركز د. السليمان على خلق أجهزة طبية مصغرة للاستعمال غير الجراحي للقاحات والأدوية عبر الجلد.

طورت د. السليمان طريقة منخفضة التكلفة وبسيطة لتشخيص السرطان، باستخدام مواد النانو المتقدمة والمواد الحيوية الاصطناعية. في هذه التقنية، تفسر تقنيات الاستشعار الحيوي نتائج الاختبارات من عينات سائلة، إلى أنماط قابلة للتفسير بسهولة من النقاط على شريحة مخبرية. تلك الأنماط قادرة على كشف وجود السرطان.

تبسيط وتقليل تكلفة تقنيات اكتشاف السرطان قد يمهد الطريق لإجراء اختبارات على نطاق أوسع. ونتيجة لذلك، تصبح مراقبة المرض واستجابة المريض للعلاج ممكنة، مما قد يسهم –بإذن الله- في زيادة متوسط عمر الإنسان على مستوى العالم، خصوصًا في الدول التي تفتقر إلى خدمات طبية كافية.

هذه التقنيات المبتكرة توفر حلولاً ميسرة وغير جراحية قد تفيد عددًا كبيراً من المرضى؛ ويمكنها أن تترجم إلى مشاريع رائدة وتقنيات طبية عالية الجودة لخدمة المجتمع والإنسانية، تهدف إلى تزويد القطاع الصحي بأدوات للكشف المبكر والدقيق عن العديد من الأمراض الخطيرة بما في ذلك السرطان، لتحقيق الارتقاء بالخدمات الصحية، أحد أهداف رؤية المملكة 2030.[1]

1 https://www.arabnews.com/node/2476251/saudi-arabia

2.1 | صحة الإنسان | علاج السكري

2.1.1 نجـــاح اختبـــار بنكريـاس اصطناعـي لمرضى السكـري من النـــوع الثانـــي

نجح مؤخرًا فريق بحثي من جامعة كامبريدج (University of Cambridge) في تجربة بنكرياس اصطناعي لاستخدامه من قبل مرضى السكري من النوع الثاني. ضاعف الجهاز -المدعّم بخوارزمية تم تطويرها في الجامعة ذاتها- مقدارَ الوقت الذي كان يقضيه المرضى ضمن النطاق المستهدف للجلوكوز مقارنةً بالعلاج القياسي، وقلَّصَ الوقت -بمقدار النصف- الذي كانوا يقضونه معانين من مستويات عالية من الجلوكوز. [1]

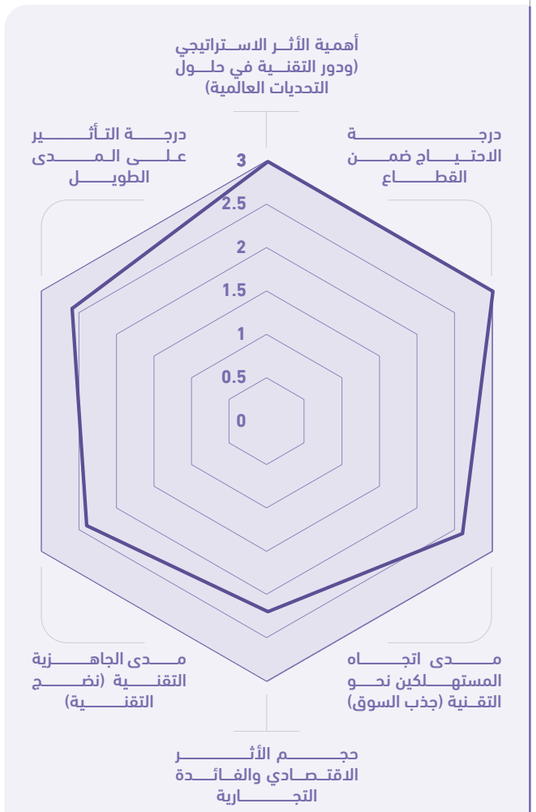
طوّر فريق بحثي من معهد (Wellcome-MRC) بجامعة كامبريدج جهازَ بنكرياس اصطناعيًا للتحكم في مستوى الجلوكوز، حيث يعمل هذا الجهاز على قياس نسبة السكر في الدم وضخ هرمون الإنسولين لإيصاله إلى النسب الطبيعية بشكل تلقائي، مما يريح المرضى ويعطي نتائج أفضل مقارنة بالتقنيات المستخدمة حاليًا للتحكم في مستوى السكر، إضافة إلى سهولة تركيب واستخدام الجهاز في المنزل. والمحفز في الأمر هو نجاح تجربة الجهاز على مريض مصاب بالنوع الثاني من السكري ويعاني من فشل كلوي. كما أثبتت التجربة نجاحها على 26 مريضاً آخرين (لا يعانون من فشل كلوي)، حيث تمكن المرضى خلال فترة تجربة استخدام الجهاز من الحصول على مستوى متوازن من السكر عن طريق إفراز الهرمون بشكل تلقائي من الجهاز متى احتاج المريض لذلك. الجدير بالذكر هو عدم تسجيل أي حالة هبوط حاد في مستوى السكر في الدم لدى هؤلاء المرضى. [2]

آثـــار التقنـــية

من المتوقع أن تسهم التقنية المشار إليها في تخفيف معاناة المرضى وتحسين جودة النتائج المقدمة من الخدمات الصحية، حيث ترتبط زراعة البنكرياس بنوعية حياة أفضل للمصابين. [3]

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

نجاح اختبار بنكرياس اصطناعي لمرضى السكري من النوع الثاني



يقدر حجم السوق العالمي لعلاجات مرض السكري بـ

61.60 مليار دولار

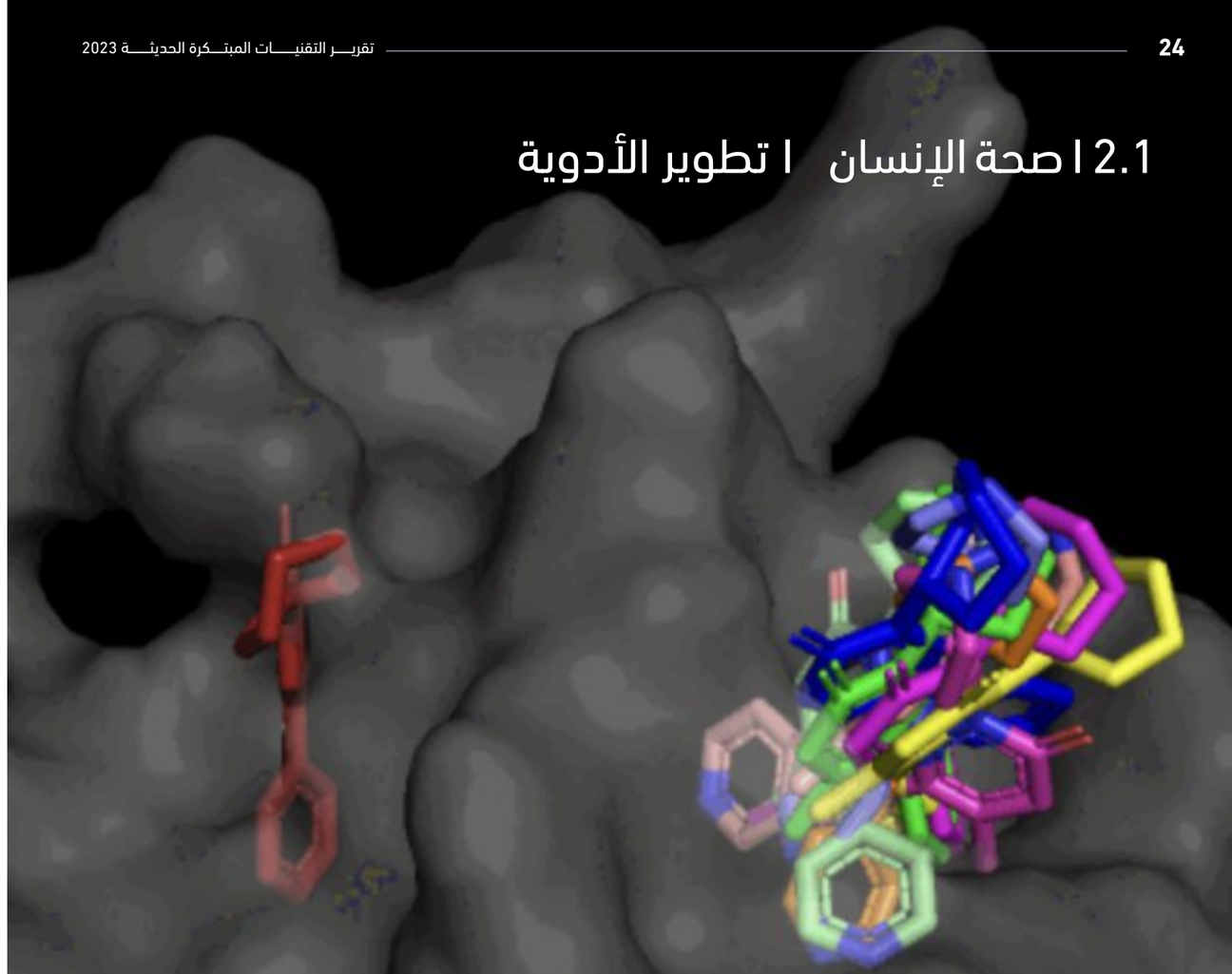
بحلول عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2022 إلى 2030 يقدر بـ

% 8.40 [4]

1 www.cam.ac.uk
2 https://www.nature.com/articles/s4159102144--022-
3 www.kfshrc.edu.sa
4 www.precedenceresearch.com

2.1 | صحة الإنسان | تطوير الأدوية



2.1.2 توظيـف أدوات الـذكـــــاء الاصطـــــناعي لتطويـــــر الأدويـــــة

توصـل فريـق بحثـي مـن معهـد ماساتشوسـتس للتقنيـة (MIT) لنموذج سُمِّيَ بـ (DiffDock) من شأنه تسريع عملية اكتشـاف الأدويـة وبدقـة أعلـى. فبدلًا مـن نسـبة نجـاح لا تتجـاوز 23% للطـرق التقليديـة و 20% للتعلـم العميـق، تمكـن الباحثـون مـن الوصـول لنسـبة نجاح تصل لـ 38%، مـع دقـة تصل لـ 21.7% مقارنـة بـدقة 10.4% للطـرق السـابقة. [1] **وعلـى صعيـد آخـر، فـإن نمـاذج الـذكاء الاصطناعـي الخاصـة بتحويـل النـص إلـى صـورة، المدرَّبـة علـى إنشـاء صـور فريـدة حسـب الطلـب، قـد تـم توظيفهـا فـي عـدة تطبيقـات، ومنهـا التقنيـة الحيويـة، التـي بـدأت فـي اسـتخدام هـذا النـوع مـن الـذكاء الاصطناعـي التوليـدي، المعـروف باسـم «نمـوذج الانتشـار» (Diffusion Model)، لإنشـاء تصاميـم لأنـواع جديـدة مـن البروتينـات. أعلـن مؤخـراً مختبـران –بشـكل مسـتقل- عـن برامـج تسـتخدم نمـاذج الانتشـار لإنشـاء تصاميـم لبروتينـات جديـدة بدقـة أكبـر مـن أي وقـت مضـى.** [2] **وقـد كشـفت شـركة «جينيريـت بايوميديسـنس» (Generate Biomedicines)، وهـي شـركة ناشـئة مقرهـا بوسـطن، عـن برنامـج يسـمى «كروما» (Chroma). في الوقـت نفسـه، قـام فريـق مـن جامعـة واشـنطن (University of Washington) ببنـاء برنامـج مشـابه يسـمى (RoseTTAFold Diffusion) يمكـن أن يولـد تصاميـم دقيقـة لبروتينـات جديـدة لوظائـف محـددة يمكـن تصنيعهـا بعـد ذلـك فـي المختبـر.** [3]

تنـدرج هـذه النقلـة التقنيـة تحـت حقـل «المعلوماتيـة الحيويـة» الـذي يعـدُّ مزيجًـا مـن علـم الأحيـاء وتقنيـة المعلومـات، الـذي يربـط البيانـات الحيويـة بتقنيـات تخزيـن المعلومـات وتوزيعهـا وتحليلهـا لدعـم مجـالات متعـددة مـن البحـث العلمـي، بمـا فـي ذلـك تصميـم الأدويـة. تسـتخدم المعلوماتيـة الحيويـة أدوات برمجيـة لإنشـاء قواعـد البيانـات وإدارتهـا وتخزينهـا واسـتخراجها.

آثـــار التقنـــية

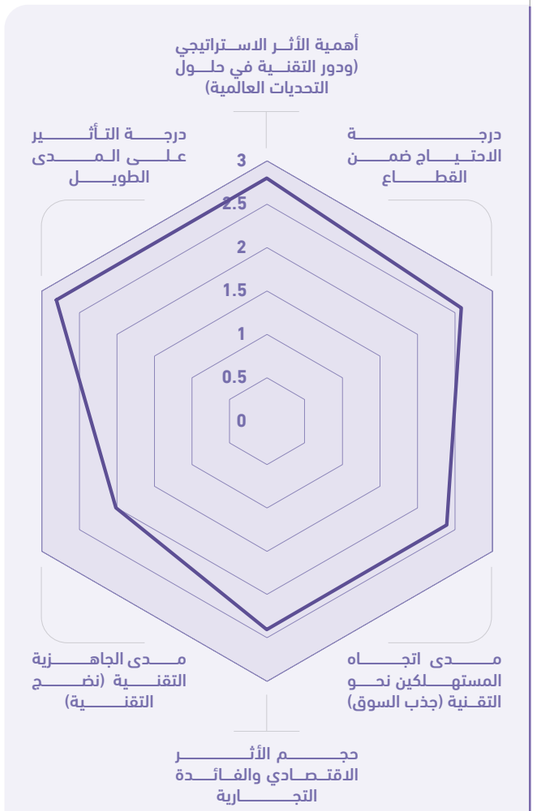
يـؤدي تطـور مجـال المعلوماتيـة الحيويـة إلـى اكتشـافات علميـة تُسـتخدم فـي دراسـة علـم الوراثـة والجينـوم. تتوفـر العديـد مـن أدوات المعلوماتيـة الحيويـة فـي السـوق التـي تصنـف علـى أنهـا أدوات تحليـل وظيفيـة للبروتينـات، وأدوات تحليـل التسلسـل، وغيـر ذلـك. يغطـي المجـال العديـد مـن المجـالات الحيويـة المتقدمـة والمتخصصـة مثـل هيكلـة الجينـوم، وعلـم الجينـوم الوظيفـي، والمصفوفـات الدقيقـة للحمـض النـووي، وعلـم الجينـوم المقـارن. ومـن ثـم، فـإن هـذه العوامـل المذكـورة أعلاه تعـزز الفـرص الواعـدة للمعلوماتيـة الحيويـة.

وتلعـب البروتينـات دوراً كبيـراً فـي صناعـة العديـد مـن الأدويـة، والتـي تتعلـق عـادة بإنتـاج الأجسـام المضـادة وغيرهـا مـن الأدويـة الحيويـة والكيمائيـة لتسـهم فـي علاج الأمـراض المختلفـة

1 arxiv.org
2 www.technologyreview.com
3 www.bakerlab.org
4 www.precedenceresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

توظيـــف أدوات الذكـــاء الاصطـــناعي لتطـــوير الأدويـــة



يقـدر حجـم السـوق العالمـي لأنظمـة الـذكاء الاصطناعـي لاكتشـاف الأدويـة بـ

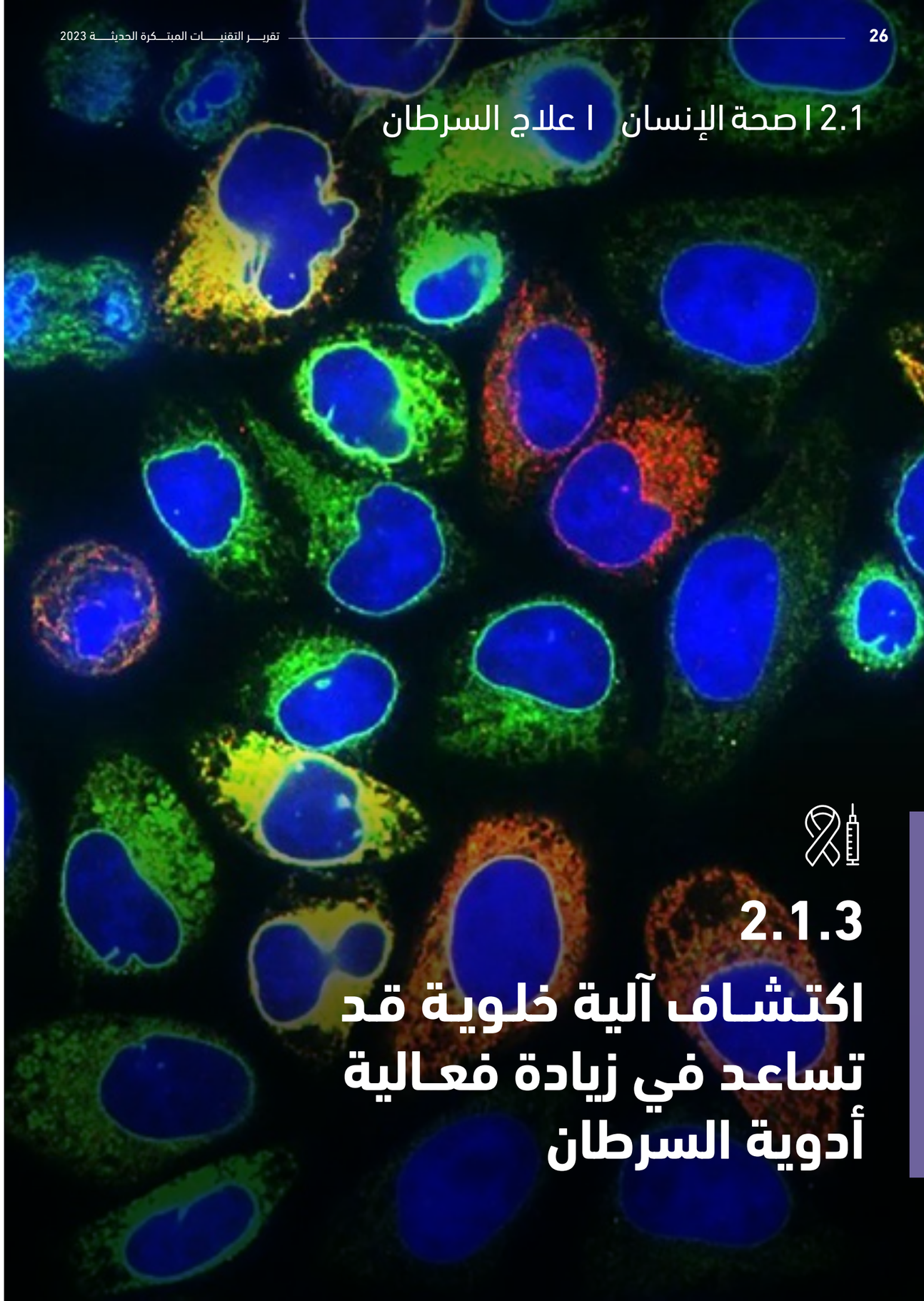
8.75 مليار دولار

بحلول عام 2030

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2023 إلـى 2030 يقـدر بـ

% 29.60 [4]

2.1 | صحة الإنسان | علاج السرطان



2.1.3
اكتشاف آلية خلوية قد تساعد في زيادة فعالية أدوية السرطان

اكتشف فريق بحثي من كلية الطب بجامعة واشنطن (Washington University School of Medicine) طريقة جديدة لحماية جينوم الخلية أثناء انقسامها، حيث إن الخلية تقوم بآليات متعددة لضمان حماية الجينوم أثناء عملية الانقسام الخلوي. ويعتمد هذا الاكتشاف على تحديد آلية جديدة (لم تكن معروفة مسبقاً) تقوم بها الخلية لحماية الجينوم. إن هذا الاكتشاف من شأنه مساعدة العلماء في تطوير مثبطات لهذه الآلية يمكن أن تمثل عاملًا مساعدًا ومحفزًا لعمل أدوية السرطان على الخلايا مما قد يعزز فعالية علاجات السرطان. 1

تلعب العديد من البروتينات في المسار المكتشَف دورًا في العمليات البيولوجية الحرجة الأخرى أيضًا، بما في ذلك المناعة، والتمثيل الغذائي، والالتهام الذاتي، وهي العملية التي تقوم بها الخلايا بتفكيك موادها غير المرغوب فيها. ويقوم العلماء الآن بمزيد من الدراسات لفهم آليات العمليات الخلوية للربط بين هذه العمليات الأساسية ومعرفة مدى علاقتها بصحة الإنسان والمرض.

ويحدد هذا الاكتشاف مسارًا جديدًا للخلية تحمي بها حمضها النووي عن طريق إنتاج بعض البروتينات التي تحد من حدوث خلل أو تغيير للحمض النووي سواءً في الحالات الطبيعية أو أثناء عملية الانقسام. وهذا اكتشاف مهم لعلاج السرطان؛ حيث إن أدوية العلاج الكيميائي التي تستخدم في حالات السرطان مثل سيسبلاتين (Cisplatin) أو دوكسوروبيسين (Doxorubicin) تعمل عن طريق إتلاف الحمض النووي وزيادة إجهاد النسخ المتماثل. ولذلك فإن تحفيز البروتينات الحامية للحمض النووي أثناء العلاج الكيميائي قد يزيد من فعالية الأدوية ويقلل من مخاطرها. 2

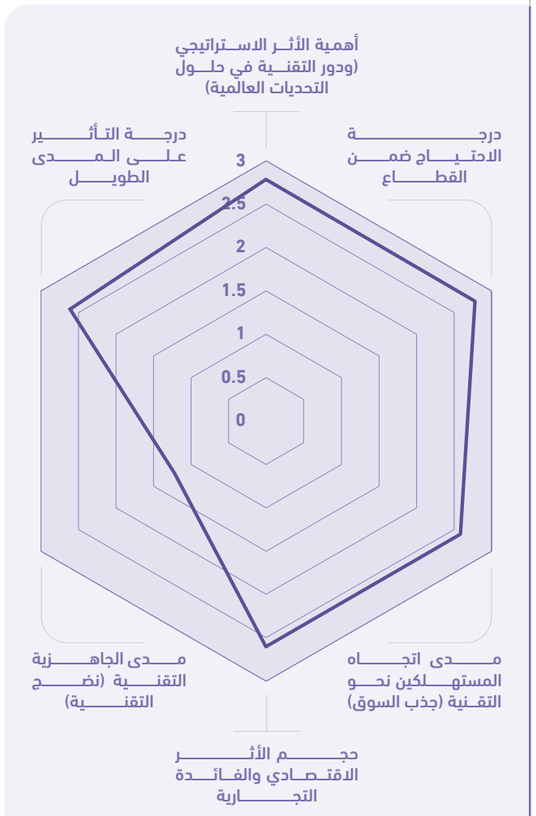
آثـــار التقنـــية

انقسام الخلايا عالٍ جدًّا في مرض السرطان، وحيث اكتُشفت الآلية الخلوية لحماية الجينوم أثناء عملية انقسام الخلايا، فإن العلماء يتوقعون أنه في حال تم تثبيط هذه الآلية في الخلايا السرطانية فإن ذلك سيؤدي إلى تحسين فعالية أدوية السرطان (العلاج الكيميائي) مما يمثل فتحًا جديدًا في عالم صناعة الأدوية.

1 www.scitechdaily.com
2 www.cell.com
3 www.precedenceresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

اكتشاف آلية خلوية قد تساعد في زيادة فعالية أدوية السرطان



يقدر حجم السوق العالمي لأدوية الأورام السرطانية بـ

289.2 مليار دولار

بحلول عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2022 إلى 2030 يقدر بـ

% 8.40

3

2.1 | صحة الإنسان | الصحة النفسية

2.1.4

استخـــــدام الأجهـــــزة القابلـــة للارتـــداء لتقيـــيم الصـــحة النفســية

يُعَدُّ استكشاف الأمراض النفسية وتقييم الصحة العقلية محدودًا وصعبًا لقلة المصادر المتاحة وصعوبة الوصول للمرضى للحديث معهم واستبيان حالاتهم الفردية لتشخيصها وعلاجها. ولحل ذلك، تمكن الباحثون من معهد أبحاث ماونت سايناي الطبي (Mount Sinai School of Medicine) في نيويورك من طرح حل لهذه المشكلة من خلال توظيف نماذج تعلم الآلة وتطوير خوارزميات قادرة على تقييم الحالة النفسية ومدى مرونتها وقدرتها على الصمود والتخطي والتكيف تحت ضغوط الحياة المختلفة. عن طريق الاعتماد على معلومات سابقة من دراسة مجموعة (Cohort Study)، تم استخدام ساعات شركة أبل (Apple Watch) لتحديد درجة المرونة النفسية وغيرها من سمات الصحة العقلية، من خلال قياسات الإشارات الفسيولوجية الصادرة من الساعات الذكية. وقد وُظِّفَت هذه البيانات من المشاركين في الدراسة لاشتقاق وبناء نماذج تعلم الآلة للتنبؤ بالحالة النفسية للأفراد [1]

الساعات الذكية ليست الأجهزة الوحيدة القابلة للارتداء التي لديها إمكانات لصناعة الرعاية الصحية. تتمتع الأجهزة الطبية الحيوية والمعينات السمعية الذكية بمستويات مماثلة من التأثير. يمكن أن توفر الملصقات الحيوية (Bio patches) فهماً أفضل للعناصر الحيوية للشخص دون استخدام ساعة ذكية. [2]

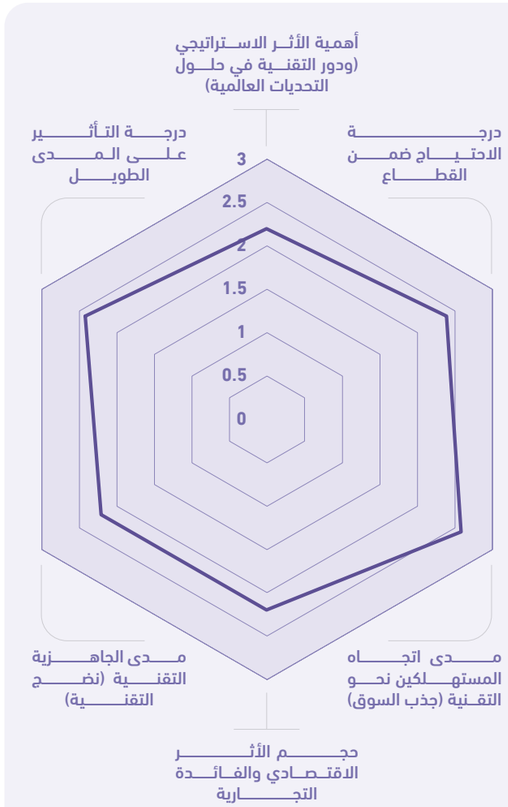
آثـــار التقنـــية

تعتبر التقنيات القابلة للارتداء من الابتكارات المهمة في مجال الرعاية الصحية. إن القدرة على مراقبة حالة المريض على مدار اليوم عن بعد أو حتى يتمكن الأفراد من مراقبة حالتهم الخاصة أمر ذو قيمة كبيرة. ومع توفر الساعات الذكية للمستهلكين على نطاق واسع، ينبغي ملاحظة إمكانية استخدامها في تطبيقات الرعاية الصحية، وتقييم الحالة النفسية على وجه الخصوص.

1 www.sciencedaily.com
2 https://m-quality.net/?p=46593
3 www.grandviewresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

استخـــدام الأجـــهزة القابـــلة للارتـــداء لتقيـــيم الصحـــة النفســية



يقدر حجم السوق العالمي لتطبيقات الصحة النفسية بـ

16.9 مليار دولار

بحلول عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2022 إلى 2030 يقدر بـ

% 15.9 [3]

2.1 | صحة الإنسان | الصحة الرقمية

2.1.5

استـــخدام الواقـــع المعـــزز فـــي الرعـــايـــة الصحيـــة

جمعت شركة ميديفيس (Medivis) مؤخرًا 20 مليون دولار في جولة تمويل تضمنت استثمارات من مايو كلينك (Mayo Clinic) وغيرها. يمكن اعتبار تقنية الشركة التي تتخذ من نيويورك مقراً لها بمثابة «نظام GPS افتراضي» للجراحين، إذ توظف الواقع المعزز لرؤية الأعضاء التشريحية المعقدة أثناء العمليات وتمنح فهمًا أدق لطبيعة التشريح الذي يتعامل معه الأطباء. 1

الواقع المعزز والواقع المختلط (أو الهجين) مفيدان في مجموعة متنوعة من أماكن الرعاية الصحية. يعد استخدام أجهزة الواقع المختلط مثل (Microsoft Hololens 2) من قبل الجراحين أحد أكثر الأشكال شيوعًا وفائدة لهذه التقنية. يمكن أن يوفر جهاز الواقع المختلط معلومات وجها لوجه للجراح مع السماح له باستخدام كلتا يديه أثناء العملية. يمكن استخدام البيئة ثلاثية الأبعاد للجهاز لإثراء التدريب أيضًا. تطبيقات مماثلة ممكنة مع أجهزة الواقع المعزز المطورة. ومن المتوقع أن يكون لصناعة الرعاية الصحية في المستقبل استخدامات أوسع للتقنيات المتطورة مثل الروبوتات التي ستساعد المهنيين الطبيين في وضع خطط لعلاجات أفضل وإيجاد طرق مناسبة لكل مريض، فضلاً عن مساعدة الممرضين والأطباء في المهام المتكررة ليكونوا قادرين على التركيز على وظائفهم الرئيسة، مما يساهم في تحسين الرعاية الصحية. 2

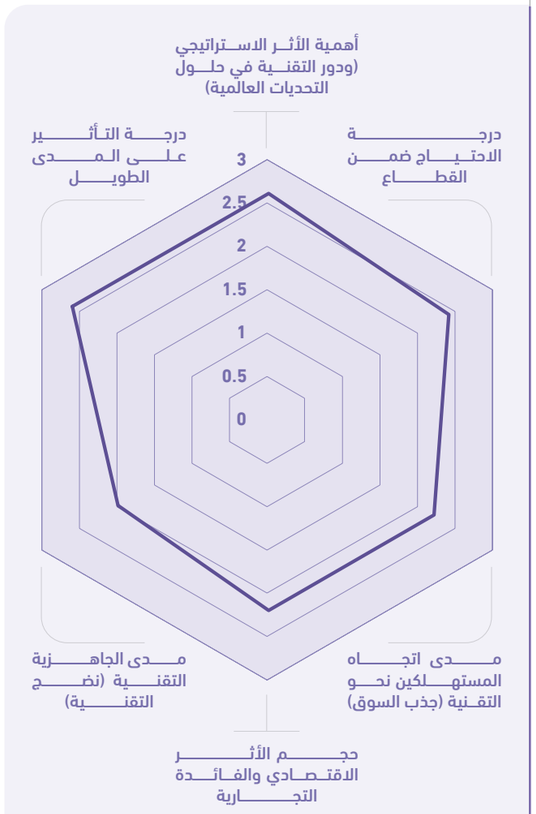
آثـــار التقنـــية

أصبحت أدوات الواقع المعزز عاملاً مهماً لزيادة الكفاءة والدقة على عدة أصعدة، مثل: المساعدة في العمليات، الجراحات الافتراضية، التشخيص، التدريب، صناعة الأدوية، التأهيل العلاجي... إلخ. كما يمكن أن تساهم تقنيات الواقع المعزز في توفير تكاليف الإجراءات الطبية وذلك من خلال تقليل نسبة الأخطاء والهدر الذي يصاحب تلك العمليات. 3

1 medcitynews.com
2 www.almana.com.sa
3 www.eos-intelligence.com
4 www.researchandmarkets.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

استخـدام الواقـع المعزز في الرعـاية الصحـــية



يقدر حجم السوق العالمي لأنظمة الواقع المعزز في الرعاية الصحية بـ

9.14 مليار دولار

بحلول عام 2028

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2022 إلى 2028 يقدر بـ

% 24.2 4

2.1 | صحة الإنسان | مكافحة الشيخوخة

2.1.6

اكتشـــاف بروتـــين يســـهم فـــي تأخيـــر ظهـــور أعـــراض الشـــيخوخة

قـدَّم فريـق بحثـي مـن جامعـة هونـغ كونـغ للعلـوم والتقنيـة (HKUST) دراسـة تبيّـن دور بروتيـن (CPEB4)، وهـو أحـد بروتينـات الميتوكونديـا الخلويـة، فـي اسـتعادة فعاليـة التمثيـل الغذائـي فـي الخلايـا الجذعيـة المسـنة إلـى درجـة تقـارب -إلـى حـد كبيـر- مـا عليـه الحـال فـي مرحلـة مـا قبـل الشـيخوخة، كمـا اكتُشـف دور هـذا البروتيـن فـي تحسـين وظائـف هـذه الخلايـا ومنـع ظهـور أعـراض الشـيخوخة فـي عـدة أنـواع مـن الخلايـا الأخـرى. اسـتخدم الباحثـون تقنيـات متقدمـة فـي دراسـة شـيخوخة خلايـا الفئـران وإدراج هـذا البروتيـن الخلـوي بكفـاءة عاليـة فـي الخلايـا المسـنة، وتـم إثبـات عـودة الخلايـا لنشـاطها المعتـاد كمـا فـي مرحلـة مـا قبـل الشـيخوخة. [1]

وقـد تـم فـي هـذه الدراسـة تحديـد دور بروتيـن (CPEB4)، وهـو بروتيـن يرتبـط بالحمـض النـووي الريبـوزي المرسـال (mRNA)، فـي المسـاعدة علـى الوقايـة مـن الأمـراض المرتبطـة بتقـدم العمـر، حيـث يمكـن أن يسـهم فـي مكافحـة عمليـة الشـيخوخة ومنـع الأمـراض المرتبطـة بهـا، وقـد تـم ذلـك الاكتشـاف باسـتخدام الخلايـا الجذعيـة العضليـة البالغـة (MuSCs) كنظـام مرجعـي. يسـاعد هـذا البروتيـن فـي الحفـاظ علـى التمثيـل الغذائـي للميتوكونديـا مـن خلال تعزيـز التخليـق الحيـوي لبروتينـات الميتوكونديـا، وبالتالـي ضمـان إنتـاج الطاقـة الكافيـة. تمثـل نتائـج هـذه الدراسـة أساسًـا متينًـا للتطـورات المسـتقبلية المحتملـة فـي علاج الاضطرابـات المرتبطـة بالشـيخوخة. [2]

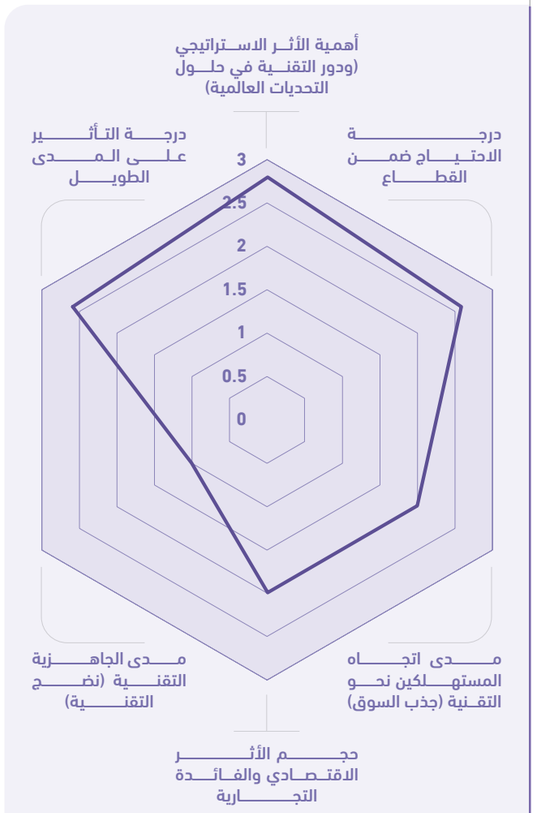
آثـــار التقنـــية

فـي حيـن يكمـن الخلـل الوظيفـي فـي الميتوكونديـا فـي جوهـر العديـد مـن الأمـراض التـي تصيـب الإنسـان، بمـا فـي ذلـك الأمـراض الشـائعة المرتبطـة بتقـدم العمـر، مثـل الزهايمـر ومـرض باركنسـون، [3] تقـدم هـذه الدراسـة فهمـاً أفضـل لهـذه العمليـات الحيويـة، ممـا يعـد بحلـول فعالـة لتأخيـر ظهـور أعـراض الشـيخوخة، وبالتالـي إطالـة العمـر المتوقـع للإنسـان .

1 www.cell.com
2 www.revyuh.com
3 neurosciencenews.com
4 www.globenewswire.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

اكتشـاف بروتيـن يسـهم فـي تأخيـر ظهـور أعـراض الشـيخوخة



يقـدر حجـم السـوق العالـمي لمضـادات الشيـخوخة بـ

2.47 مليار دولار

بحلول عام 2031

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2023 إلـى 2031 يقـدر بـ

% 17.5 [4]

2.1 | صحة الإنسان | الهندسة الحيوية

2.1.7

العُضَيّات القلبية لتسريع تطوير أدوية القلب

قام فريق من جامعة ميونيخ التقنية (TUM) بتحفيز الخلايا الجذعية لمحاكاة تطور القلب البشري، حيث تم تطوير ما يشبه «القلب المصغر» أو العُضَيّ (organoid). [1] **يبدأ قلب الإنسان بالتشكل بعد حوالي ثلاثة أسابيع من الحمل، وفي هذه المرحلة المبكرة من نمو القلب لا يُعرف إلا القليل من التفاصيل حول كيفية تكوين القلب. نتائج الدراسات على الحيوانات لا تنطبق بشكل كامل على البشر. يمكن للعُضَيّ (organoid) الذي تم تطويره أن يكون مفيداً للباحثين؛ حيث سيسمح ذلك بدراسة مرحلة التطور الأولى للقلب ويسهل البحث عن الأمراض.** [2]

العضيات القلبية البشرية هي تركيبات خلوية ثلاثية الأبعاد مصنعة معملياً بشكل مصغر بحيث تكون مشابهة في خصائصها ووظائفها إلى حد كبير لخصائص القلب البشري ووظائفه البيولوجية، وذلك نتيجة للتطور المستمر للتقنية الحيوية. تعد العضيات القلبية البشرية تقنية ناشئة ويمكن توظيفها مستقبلاً في تطوير بيولوجيا القلب، اختبار وتطوير الأدوية، نمذجة الأمراض، والطب التجديدي. [3]

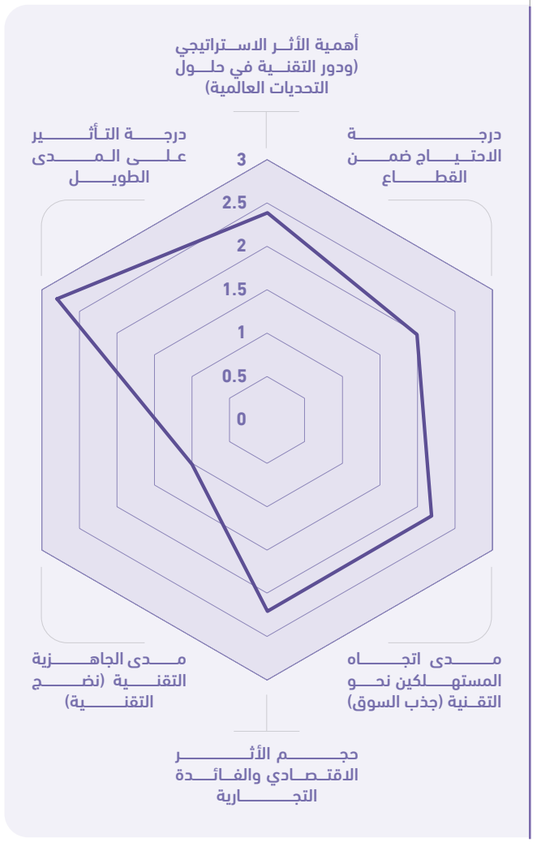
آثـــار التقنـــية

تعتبر أمراض القلب وعيوب القلب الخلقية من أسباب الوفاة، يتوقع أن تساهم تقنية العضيات القلبية بشكل كبير في التغلب على هذه الأمراض عن طريق تسريع اكتشاف الأدوية الفعالة من خلال تقليل الوقت اللازم للتطوير السريري للأدوية المبتكرة من 15 سنة إلى 5 سنوات تقريباً وتقليل التكلفة المادية بشكل كبير. [4] وعلى الرغم من أهمية ذلك، تعتبر تقنية العضيات القلبية محدودة ومتأخرة بشكل كبير عن تقنيات العضيات الأخرى مثل الأمعاء والكلى والدماغ. [5]

1 www.nature.com
2 www.tum.de
3 www.nature.com
4 www.ncbi.nlm.nih.gov
5 www.nature.com
6 https://finance.yahoo.com/

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

العُضَيّات القلبية لتسريع اختبار وتطوير أدوية القلب



يقدر حجم السوق العالمي للعضيات بـ

12.8 مليار دولار

بحلول عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2020 إلى 2030 يقدر بـ

% 13.1 [6]

2.1 صحة الإنسان | واجهات الدماغ والحاسوب

2.1.8 الموافقـــة على إجـــراء تجارب رقاقـــة الدمـــاغ البشـــري

نيورالينـك (Neuralink) هـي شـركة تقنيـات عصبيـة أسسـها إيلـون ماسـك فـي عـام 2016 مـع سـبعة مـن العلمـاء والمهندسـين؛ تهـدف إلـى تطويـر واجهـات الدمـاغ والحاسـوب (BCIs) والتـي تمكّـن مـن التواصـل بيـن البشـر وأجهـزة الحاسـب مـن خلال الإشـارات العصبيـة، عـن طريـق زراعـة مصفوفـات أقطـاب كهربائيـة فـي الدمـاغ والتـي يمكـن أن تسـجل وتحفـز النشـاط العصبـي.[1] **أجـرت الشـركة سـابقاً تجـارب حيوانيـة ناجحـة، وقـد صـدرت مؤخـراً موافقـة إدارة الأغذيـة والعقاقيـر الأمريكيـة (FDA) علـى إجـراء شـركة نيورالينـك لتجـارب الرقاقـة المطـورة علـى الدمـاغ البشـري. قـد تُحـدث هـذه التقنيـة ثـورة فـي التفاعـل بيـن الإنسـان والحاسـوب وتفتـح إمكانيـات جديـدة فـي التعليـم والاتصـالات والرعايـة الصحيـة وغيـر ذلـك.** [2]

وتهـدف شـركة نيورالينـك (Neuralink) إلـى إنشـاء اتصـال سـلس بيـن الدمـاغ البشـري والتقنيـة، ممـا يمنـح القـدرة علـى التحكـم فـي الأشـياء، وتلقـي المعلومـات ونقـل البيانـات دون اسـتخدام الأطـراف البشـرية أو الأصـوات. تعتمـد التقنيـة التـي تسـتخدمها نيورالينـك علـى خارطتـي كهربائيـة الدمـاغ وكهربائيـة القلـب، باكتشـاف النشـاط الكهربائـي فـي الدمـاغ وترجمتـه إلـى إشـارات يمكـن قراءتهـا آليّـا. يمكـن بعـد ذلـك اسـتخدام هـذه الإشـارات للتحكـم فـي الأجهـزة أو التواصـل مـع الحاسـوب باسـتخدام برنامـج يفسـر أنمـاط الدمـاغ. الهـدف النهائـي هـو إنشـاء «تعايـش بيـن الدمـاغ والآلـة» مـن شـأنه إحـداث ثـورة فـي الطريقـة التـي يتفاعـل بهـا البشـر مـع التقنيـة، وتعزيـز القـدرات المعرفيـة.

آثـــار التقنـــية

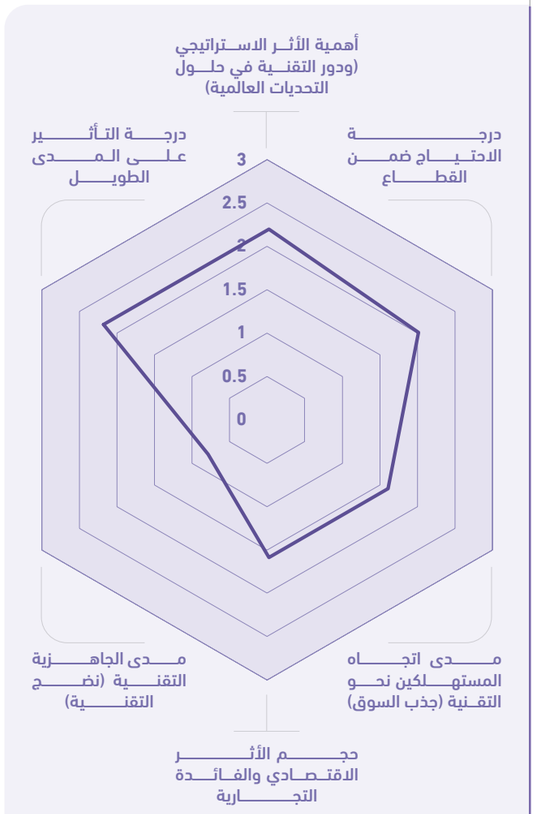
تقـدم تقنيـات واجهـات الدمـاغ والحاسـوب مجموعـة مـن الفـرص لمختلـف القطاعـات. علـى سـبيل المثـال:

1. صناعـة الرعايـة الصحيـة: يُتوَّقـع أن تُحـدِث واجهـات الدمـاغ والحاسـوب ثـورة فـي طريقـة عـلاج الاضطرابـات والأمـراض العصبيـة.
2. الصناعـة الخدميـة: إذا أثبتـت تقنيـات واجهـات الدمـاغ والحاسـوب نجاحهـا، فيمكـن مـن خلالهـا ابتـكار منتجـات أو خدمـات جديـدة كليـاً يمكـن تسـويقها تجاريـاً.
3. فـرص العمـل: مـع نمـو تقنيـات واجهـات الدمـاغ والحاسـوب، سـيكون هنـاك طلـب علـى مجموعـة مـن المهنييـن بمـا فـي ذلـك علمـاء الأعصـاب ومطـوري البرمجيـات.

1 www.theguardian.com
2 www.reuters.com
3 www.marketresearchfuture.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

الموافـقة على إجـراء تجـارب رقاقـة الدماغ البشـري



يقـدر حجـم السـوق العالمـي لواجهـات الدمـاغ والحاسـوب بـ

6.05 مليار دولار

بحلول عام 2030

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2022 إلـى 2030 يقـدر بـ

% 15.5

3

2.2

قطاع البيئة والاستدامة

قصـــة نجـــاح سعوديـــة

شركة Hyrec وإعـــــادة تعـــريـــف تعـــديـــن ومعـالجـــة المحـــلول الملحـــي

تتصدر المملكة دول العالم في إنتاج المياه المحلاة بإنتاج تجاوز ثلاث مليارات متر مكعب من المياه سنوياً بنسبة 18 % من الإنتاج العالمي. وتواجه محطات تحلية المياه المالحة باستخدام تقنية التناضح العكسي (RO) حدوداً في مقدار الضغط التناضحي، مما يحول دون تقليل كمية المحلول الملحي المتبقي باستخدام أغشية التناضح العكسي الحالية. لكن مع تقنية (Hyrec) للتناضح العكسي المساعد أسموزيًا (OARO)، يمكن تجاوز هذه العقبات من خلال تحسين تقنية التناضح العكسي لتعزيز كفاءة معالجة المحاليل شديدة الملوحة.

تأسست شركة هايرك لتقنيات المياه (Hyrec) بشراكة بين د. باسل أبو شرخ، المخترع ورئيس قسم التقنيات، ورجل الأعمال السعودي م. سامي البكري، المؤسس لعديد من الشركات الابتكارية في مجالات المياه، التعدين، الطاقة المتجددة والأسمدة. تعتمد تقنية (Hyrec) على استخدام الضغط لدفع الماء المحلاة عبر الغشاء، لكن بخفض فرق الضغط التناضحي بين جانبي التغذية والنفاذ، مما يمكن من معالجة المياه فائقة الملوحة بضغوط منخفضة تصل إلى 70 بار. يمكن لهذه التقنية التعامل مع مياه بملوحة تصل إلى 260,000 جزء في المليون (ppm)، وهي تستهلك ثلث الطاقة المستخدمة في الطرق الحرارية وتقلل الاحتياج للمواد الكيميائية.

تمكنت تقنية (Hyrec) من خفض تكلفة رأس المال بنسبة 40 % وتكاليف التشغيل بنسبة 60 % مقارنةً بالطرق الحرارية وطرق الضغط الميكانيكي، مما يجعلها الحل الأمثل لتركيز المحاليل الملحية ضمن أنظمة تصفير النفايات السائلة (ZLD) لتحسين كفاءة الطاقة وخفض التكاليف.

تم تسجيل براءة الاختراع لتقنية (Hyrec) في عام 2016، وتم تطوير النموذج الصناعي الخاص بها في عام 2017، ومن ثم التشغيل الناجح للمصنع التجريبي في عام 2018، في موقع المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة في أملج. وفي عام 2020، أقيمت المشاريع التجارية الأولى لهذه التقنية في إندونيسيا والكويت، كما تم تعميدها تقنياً في نيوم، ويتم التوسع إلى أسواق اليابان والصين والكويت وأمريكا الجنوبية. 1

1 Water Today, January 2020

2.2 | البيئة والاستدامة | إعادة التدوير

2.2.1
تحويـــل المـواد البلاســـتيكية والغـازات الدفيـئة إلـى وقـود مســـــتدام

طـور فريـق بحثـي مـن جامعـة كامبريـدج (University of Cambridge) نظامًا يعمـل بالطاقـة الشمسـية قـادرًا علـى تحويـل منتجيـن كيميائييـن مـن البلاسـتك وغـاز ثانـي أكسـيد الكربـون فـي آن واحـد إلـى منتجـات خاليـة مـن الانبعاثـات الكربونيـة وذات قيمـة اقتصاديـة تكـون أكثـر اسـتدامة. وحيـث تشـكل مخلفـات البلاسـتك خطـرًا علـى صحـة الإنسـان والكائنـات الحيـة وتلحـق أضـرارًا بالبيئـة بسـبب التخلـص منهـا بطريقـة غيـر آمنـة، كان الهـدف هنـا تطويـر نظـام مدمـج يعمـل علـى تحويـل المخلفـات الناتجـة عـن احتـراق الوقـود مـن المصانـع، والمركبـات، ومحطـات الطاقـة إلـى مـواد مفيـدة وغـازات تخليقيـة آمنـة يمكـن اسـتخدامها كوقـود لإنتـاج الطاقـة الكهربائيـة وتشـغيل المركبـات فـي المسـتقبل. 1

يعتبر هـذا النظـام الأول مـن نوعـه فـي العالـم الـذي يحـول نوعيـن مختلفيـن مـن النفايـات (البلاسـتك – ثانـي أكسـيد الكربـون) إلـى مادتيـن كيميائيتيـن مختلفتيـن لهمـا قيـم اقتصاديـة مضافـة فـي نفـس الوقـت باسـتخدام مفاعـل يعمـل بالطاقـة الشمسـية. كمـا يتميـز هـذا النظـام باسـتخدام البيروفسـكايت بـدلاً مـن السـيليكون (الأعلـى تكلفـة) لامتصـاص الضـوء الـذي يمـد المفاعـل بالطاقـة الشمسـية والـذي يسـمح باسـتخدام محفـزات مختلفـة يمكنهـا المسـاهمة فـي إنتـاج مـواد جديـدة تدعـم الاسـتدامة والاقتصـاد الدائـري للكربـون. يقـوم هـذا النظـام بإعـادة تدويـر المخلفـات البلاسـتيكية وتحويلهـا إلـى حمـض الجليكوليـك ($C_2H_4O_3$) الـذي يسـتخدم بشـكل واسـع فـي صناعـة مسـتحضرات التجميـل. كمـا يعالـج النظـام غـازات الاحتبـاس الحـراري فـي الـغلاف الجـوي، ومنهـا ثانـي اكسـيد الكربـون (CO_2)، وتحويلـه إلـى غـاز تخليقـي (syngas) الـذي هـو عبـارة عـن خليـط مـن الهيدروجيـن (H_2) وأول أكسـيد الكربـون (CO) يمكـن الاسـتفادة منـه كوقـود لإنتـاج الطاقـة وتقليـل تركيـز ثانـي أكسـيد الكربـون فـي الـغلاف الجـوي. 2

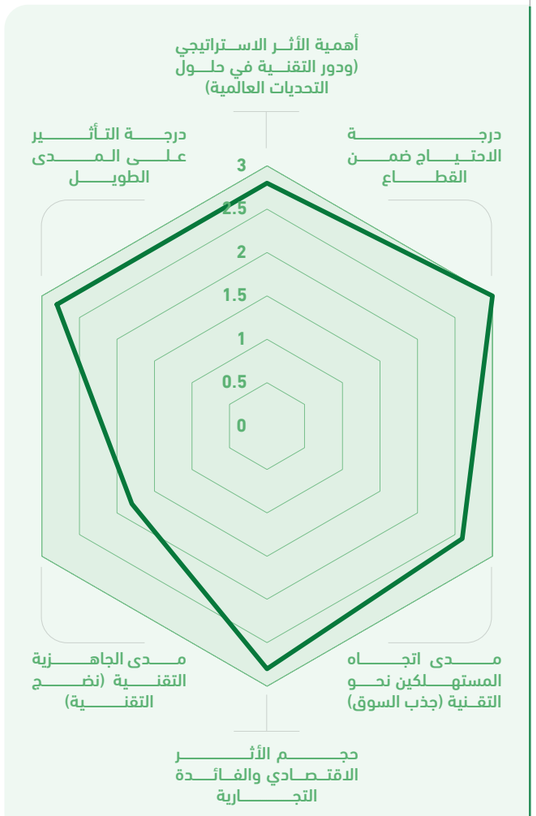
آثـــار التقنـــية

تسـاعد هـذه التقنيـة علـى تعـدد مصـادر الطاقـة وتقليـل الاعتمـاد علـى مصـدر النفـط فـي تصنيـع البلاسـتك وإنتـاج الطاقـة حـول العالـم، حيـث أشـارت دراسـة مـن جامعـة سـتانفورد إلـى أن إعـادة تدويـر طـن واحـد مـن مخلفـات البلاسـتك تقلـل مـن اسـتهلاك مـا يقـارب 16.3 برميـلاً مـن النفـط وتوفـر مـا يعـادل 5,774 كيلـو واط مـن الطاقـة و 23 مترًا مكعبًـا مـن مسـاحة مكـب النفايـات.

1 techxplore.com
2 www.nature.com
3 www.marketresearchfuture.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تحويـل المـواد البلاسـتيكية والغـازات الدفيئـة إلـى وقـود مسـتدام



يقدر حجم السوق العالمي لخدمات إعادة تدوير النفايات بـ

90 مليار دولار

بحلول عام 2028

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2021 إلى 2028 يقدر بـ

% 15.5

3

2.2 | البيئة والاستدامة | التقاط الكربون

2.2.2
تطويـــر نظـــام اقتـــصادي لالتـــقاط الكربـــون وتحويـــله إلـى ميثانـول

كشـف فريـق بحثـي مـن قسـم الطاقـة بالمختبـر الوطنـي شـمال غـرب المحيـط الهـادئ (PNNL) عـن نظـام لتقليـل التكاليـف المرتبطـة بالتقـاط الكربـون، بفعاليـة تصـل إلـى 90% وقـد صُمِّـمَ النظـام ليمكـن اسـتخدامه فـي التقـاط الكربـون مـن الهـواء أو مـن انبعاثـات محطـات الكهربـاء العاملـة بالفحـم أو الغـاز أو مصانـع الصلـب أو الاسـمنت؛ ليتـم تحويـل الكربـون المحتجـز إلـى ميثانـول. وبحسـب تقديرات فريـق العمـل فإن هـذه التقنية سـتقلل من تكلفـة التقاط الكربـون إلـى 39 دولار أمريكي للطـن المتري الواحـد مـن الكربـون. وهـذه التكلفـة تعتبـر أقـل بحوالـي 75% مـن التكلفـة باسـتخدام الطـرق التقليديـة لالتقـاط الكربـون. [1]

وقـد طـور الفريـق البحثـي نظامًـا يدمـج وحدتـي الالتقـاط والتحويـل للكربـون فـي نظـام واحـد، وذلـك مـن خلال أنـواع خاصـة مـن المحاليـل التـي قـد طُـورت بواسـطة نفـس الفريـق البحثـي. تتميـز هـذه التقنيـة مقارنـة بالتقنيـات التقليديـة بعـدة ميـزات منهـا انخفـاض التكلفـة، حيـث يُلتقـط الكربـون فـي التقنيـات التقليديـة فـي نظـام مسـتقل مـن غـازات الانبعاثـات ثـم يُفصـل مـن محلـول الالتقـاط قبـل أن يُضغـط ثـم يُشـحن إلـى وحـدة أخـرى ليُحـوَّل إلـى مـواد ذات قيمـة مضافـة .

فـي هـذا النظـام، يمكـن اسـتخدام نفـس المحلـول الـذي تـم اسـتخدامه لالتقـاط الكربـون فـي نظـام التحويـل مـن غيـر الحاجـة إلى فصله، وهـذا يقلل التكلفة بشـكل كبيـر، حيث إن عملية فصل الكربـون مـن محلـول الالتقـاط تعتبـر عمليـة مسـتهلكة للطاقـة بشـكل كبيـر مقارنـة بالعمليـات الأخـرى المرتبطـة بالتقنيـة.

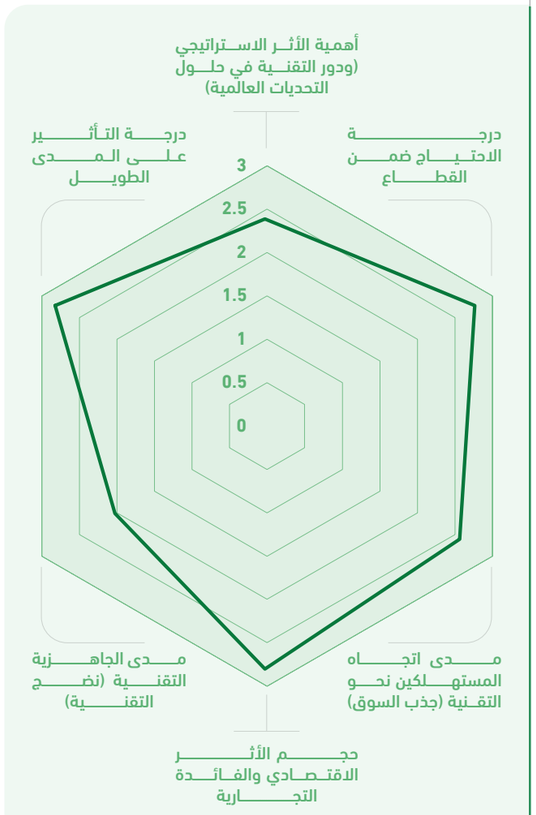
آثـــار التقنـــية

تشـير نتائـج الفريـق البحثـي إلـى أن النمـوذج المشـار إليـه فـي هـذه التقنيـة قابـل للتطبيـق اقتصاديًّـا، خصوصًـا أن مـادة الميثانـول التـي تـم إنتاجهـا عـن طريـق تحويـل الكربـون تعتبـر مـادة كيمائيـة مهمـة ويمكـن اسـتخدامها فـي كثيـر مـن تطبيقـات الطاقـة النظيفـة، مثـل اسـتخدامها كوقـود للسـيارات، إضافـة قيمـة بيـع الميثانـول يسـاعد فـي جعـل النظـام أكثـر اقتصاديـة واسـتدامة. بالإضافـة إلـى الهـدف الأساسـي وهـو تقليـل الانبعاثـات الصـادرة مـن عمليـات إنتـاج الطاقـة باسـتخدام الوقـود والغـاز. [2]

1 www.sciencedaily.com
2 www.karmactive.com
3 www.alliedmarketresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تطوير نظام اقتصادي لالتقاط الكربون وتحويله إلى ميثانول



يقـدر حجـم السـوق العالمـي لاحتجـاز الكربـون واسـتخدامه وتخزينـه بـ

7.0 مليار دولار

بحلول عام 2030

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2021 إلـى 2030 يقـدر بـ

% 13.8 [3]

2.2 | البيئة والاستدامة | مراقبة المحاصيل

2.2.3

ابتـكار مستشـعرات النبـاتات لجـــمع البيـــانات وتحلـــيلها

قامـت -بشـكل مسـتقل- كل مـن شـركتي غروفيـرا (Growvera) وفايتـك (Phytech) بتطويـر مستشـعرات إبـر صغيـرة الحجـم تُغـرس فـي أوراق أو سـيقان النبـات لقيـاس التغيـرات في المقاومـة الكهربائيـة. تُرسـل البيانـات لاسـلكيًا إلـى جهـاز حاسـب محمـول، حيـث يتـم تحليلهـا لتكويـن تصـوّر حـول صحـة النبـات، وبالتالـي يمكـن للمزارعيـن مراقبـة المحاصيـل فـي الوقـت الفعلـي وإجـراء تـدخلات دقيقـة بنـاءً علـى المتطلبـات المحـددة للنباتـات، مثـل تعديـل الـري أو اسـتخدام الأسـمدة اسـتجابةً لمسـتويات الرطوبـة أو بيانـات المغذيـات. وقـد اختيـرت هـذه التقنيـة ضمـن أهـم 10 تقنيـات ناشـئة لعـام 2023 حسـب تقريـر المنتـدى الاقتصـادي العالمـي (WEF)[1].

جـرت العـادة بمراقبـة المحاصيـل عـن طريـق الاختبـار والتفتيـش البصري للتربة، وكلاهما مكلف ويستغرق وقتًا طويلاً. وقد أدت التطورات التقنية الحديثة إلى تسهيل مراقبة المحاصيل، وتمكين المزارعين من مراقبة ظروف المحاصيل على نطاق أوسع. لعدة سـنوات، تمـت مراقبـة صحـة الأراضـي الزراعيـة باسـتخدام بيانـات الأقمـار الصناعيـة منخفضـة الدقـة. واليـوم، توفـر الطائـرات بـدون طيـار المجهـزة بأجهـزة الاستشـعار معلومـات عاليـة الدقـة حـول ظـروف المحاصيـل. يمكـن معالجـة المعلومـات الناتجـة مـن جميـع أشـكال المراقبـة باسـتخدام الـذكاء الاصطناعـي. التوجـه القـادم فـي مراقبـة المحاصيـل يتمثـل فـي تحقيـق دقـة أعلـى بمراقبـة النباتـات المفـردة -كل علـى حـدة-.

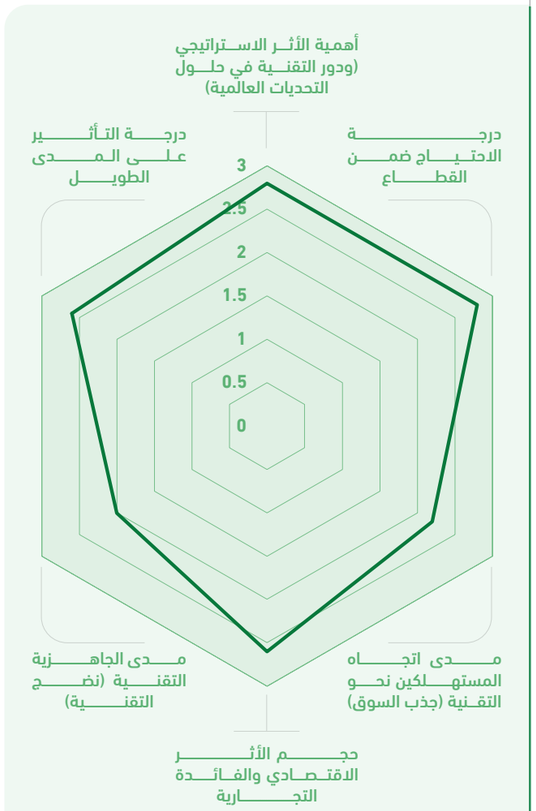
آثـــار التقنـــية

تَعِـدُ المستشـعرات اللصيقـة بالنباتـات بتحسـين صحـة النباتـات وزيـادة الإنتاجيـة الزراعيـة، كمـا تُعتبـر ابتـكاراً مهمـاً فـي حقـل إنتـاج المحاصيـل وإدارتهـا، مـن خلال توفيـر بيانـات فـي الوقـت الفعلـي حـول صحـة النبـات والظـروف البيئيـة.

1 www.weforum.org
2 www.verifiedmarketresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

ابتـــكار مستشـــعرات النباتـــات لجـــمع البيانـات وتحليلهـا



يقـدر حجـم السـوق العالمـي لأنظمـة مراقبـة المحاصيـل بـ

8.17 مليار دولار

بحلول عام 2030

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2023 إلـى 2030 يقـدر بـ

% 14.69 [2]

2.2 البيئة والاستدامة | التنبؤ بالطقس

2.2.4
الـذكاء الاصطنـاعـي وتعلـم الآلـة للتنـــبؤ بالطقـــس والأحـــداث النـادرة

عندما يتعلق الأمر بالتنبؤ بالكوارث النادرة، مثل الزلازل الشديدة أو الأعاصير أو الفيضانات أو الجوائح، فإن النمذجة الحسابية تواجه تحديًا صعبًا؛ حيث إن هذه الأحداث من الناحية الإحصائية نادرة جدًا، لدرجة أنه لا توجد بيانات كافية لاستخدامها في النماذج الحاسوبية للتنبؤ بتوقيت وقوعها بدقة. بواسطة مفاهيم الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة، توصل فريق بحثي من جامعة براون (Brown University) ومعهد ماساتشوستس للتقنية (MIT) إلى إطار يجمع بين مخططات التدريب الجديدة في التصميم التجريبي البايزي (Bayesian Experimental Design (BED) مع مجموعة من العوامل العصبية العميقة (Deep Neural Operators (DNOs) بهدف التنبؤ الدقيق بالأحداث النادرة. [1]

من جهة أخرى، قام فريقان من مختصي الذكاء الاصطناعي بتصميم وبناء واختبار نظامين جديدين للتنبؤ بالطقس يعتمدان على الذكاء الاصطناعي، وقد وجد أنهما دقيقان مثل الأنظمة الحالية. [2] وقد نشر كل من الفريقين -على حدة- ورقة بحثية في مجلة نيتشر (Nature) تصف أنظمتهما ومدى نجاحها أثناء تجارب الاختبار. قام الفريق الأول، المكون من مهندسين في شركة هواوي كلاود (Huawei Cloud) الصينية ببناء نظام يسمى بانغو-ويذر (Pangu-Weather). وقد تم تصميمه للتنبؤ بالطقس لمدة أسبوع. أما الفريق الآخر، الذي يضم مشاركين من جامعة تسينغهوا (Tsinghua University) وإدارة الأرصاد الجوية الصينية وجامعة كاليفورنيا في بيركلي، فقد قام ببناء نظام يسمى ناوكاستنت (NowcastNet). وقد تم تصميمه للتنبؤ بمستويات هطول الأمطار خلال ست ساعات مستقبلية.

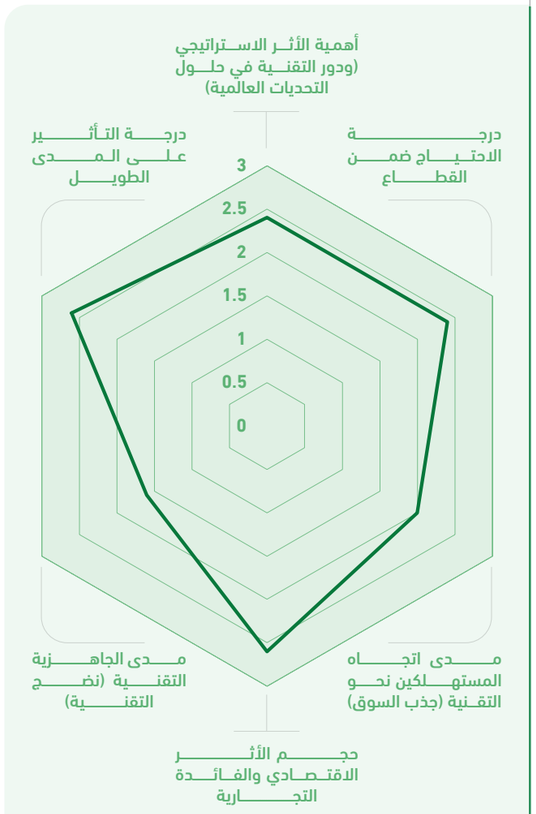
آثـــار التقنـــية

الإطار الجديد المستند على تعلم الآلة قد يوفر طريقة لتفادي عقبة عدم وجود كميات هائلة من البيانات اللازمة للنمذجة الرياضية، حيث يحل التحدي الكبير الخاص بالتنبؤ بالأحداث النادرة. في حال توظيف النماذج الحاسوبية الجديدة يمكن تفادي الأضرار المالية والمادية والحفاظ على الأرواح والممتلكات -بإذن الله- في حال نجاح التنبؤ بالكوارث قبل حدوثها أو الأوبئة قبل انتشارها.

1 www.nature.com
2 phys.org
3 www.globenewswire.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تنبـؤ خوارزميـات تعلـم الآلـة بالأحـداث الكارثيـة النـادرة



يقـدر حجـم السـوق العالـمي للتحـليلات التنـبؤية بـ

55.5 مليار دولار

بحلول عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2022 إلى 2032 يقدر بـ

% 15.8 [3]

2.2 | البيئة والاستدامة | معالجة النفايات

2.2.5

بـــناء أول محـــطة فـي العالـم لـحرق النـفايـــات مع احتـــجاز الكربـون وتخزينـه

يعمـل المعهـد التقنـي النرويجـي (SINTEF) علـى بنـاء أول محطـة تجريبيـة فـي العالـم تدمـج عمليتـي الحـرق الأوكسـيجيني للنفايـات مـع التقـاط وتخزيـن الكربـون مـن خلال مشـروع (NETOX) والـذي يتوقـع تشـغيله خلال عـام 2030. المشـروع نتـج عـن تحالـف بيـن معهـد (SINTEF) وبلديـة اردال (Ardal) بهـدف تقليـل الانبعاثـات الكربونيـة الناتجـة مـن حـرق النفايـات. الجديـد فـي هـذه التقنيـة دمـج طريقتيـن معروفتيـن سـابقًا وهمـا الحـرق الأوكسـيجيني والتقـاط الكربـون، حيـث تُحـرق النفايـات باسـتخدام غـاز الأكسـجين النقـي -بـدلاً مـن اسـتخدام الهـواء الـذي يحتـوي أغلبـه علـى النيتروجيـن (78% تقريبـاً)- ممـا يسـهم بشـكل كبيـر مـن خفـض الانبعاثـات حيـث ينتـج ثاني أكسـيد الكربـون بنقـاوة عاليـة والـذي يسـهل التقاطـه وتخـــزينه. 1

تعتبر تقنية الاحتراق الأوكسيجيني من التقنيات التي لا تزال في طـور التجربـة والتطويـر. 2 وقـد لاقـت التقنيـة اهتمامًـا كبيـرًا خلال العقـد الماضـي وذلـك لقدرتهـا علـى تسـهيل عمليـة فصـل ثانـي أكسـيد الكربـون بنقـاوة عاليـة وذلـك لعـدم وجـود النيتروجيـن فـي غـاز التغذيـة المسـتخدم بعمليـة حـرق النفايـات.

تقـوم التقنيـة علـى مبـدأ التكامـل بيـن عمليـة حـرق النفايـات باســتخدام الأكـسيجين النـقي والتي تعرف بالحرق الأوكـسيجيني (Oxy-fuel combustion) وعمـلية التقاط واحتجاز الكربون. 3 ينتج عـن عمليـة الحـرق الأوكسـيجيني غـاز ثاني أكسـيد الكربـون بنقـاوة عاليـة (+90%) وكذلـك حرارة احتراق عاليـة يمكـن الاسـتفادة منهـا.

آثـــار التقنـــية

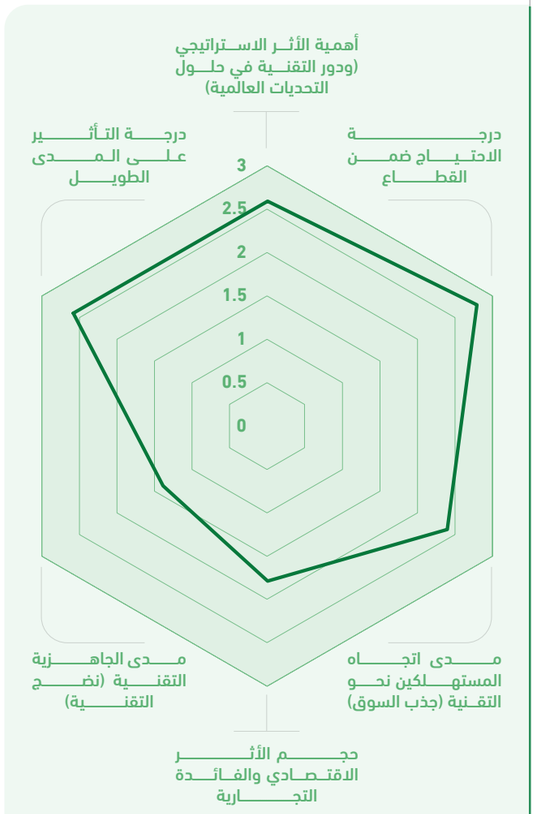
النقاوة العالية لثاني أكسيد الكربون تسهّل التقاط الكربون حيث تتـم هـذه العمليـة بتكثيـف الكربـون وتبريـده ثـم ضغطـه وتخزينـه ليُسـتخدم مسـتقبلًا.

تتميـز هـذه الطريقـة المبتكـرة بإمكانيـة الوصـول إلـى درجـات حـرارة عاليـة مـن حـرق النفايـات ممـا يتيـح توليـد طاقـة أكبـر ممـا توفـره المحطـات البخاريـة.

1 innovationorigins.com
2 www.sciencedirect.com
3 www.sintef.no
4 www.alliedmarketresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

بنـاء أول محـطة في العالم لحـرق النفايات مع احتجاز الكربون وتخزينه



يقـدر حجـم السـوق العالمـي لأنـــظمة حـرق النفايـات بـ

22.6 مليار دولار

بحلول عام 2031

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2022 إلـى 2031 يقـدر بـ

% 4.2 4

2.2 البيئة والاستدامة | إنتاج الأسمدة

2.2.6
إنـــــتاج الأسمـــــدة الخاليـــة من الانبعاثـــات الكربونيـــة

نشـر باحثـون مـن المعهـد الفدرالـي للتقنيـة بزيـورخ (ETH Zürich) دراسـة حـول إنتـاج الأسـمدة النيتروجينيـة الخاليـة مـن الانبعاثـات الكربونيـة للمسـاهمة فـي اسـتدامة وحمايـة البيئـة مـن التلـوث؛ حيـث توصـل الباحثـون إلـى إمكانيـة إنتـاج الأسـمدة النيتروجينيـة باسـتخدام التحليـل الكهربائـي للمـاء، إذ يُعتقـد أن مثـل هـذا التحـول سيسـهم فـي تحقيـق الأمـن الغذائـي. كمـا سـعى الباحثـون إلـى تحديـد الـدول التـي قـد تواجـه مخاطـر فـي إنتـاج الغـذاء نظـراً لاعتمادهـا علـى النيتروجيـن أو الغـاز الطبيعـي ممـا قـد يتسـبب فـي ارتفـاع سـعر الطلـب علـى مصـادر الطاقـة. [1]

تعتبـر خصوبـة التربـة، وخاصـة محتواهـا مـن العناصـر الضروريـة لتغذيـة النبـات مثـل النيتروجيـن، مـن أهـم العوامـل المؤثـرة علـى زيـادة إنتاجيـة محاصيـل الحبـوب التـي تعـد مـن أهـم مقومـات الأمـن الغذائـي. ونظـراً لزيـادة الطلـب علـى هـذه الأسـمدة النيتروجينيـة، ارتفعـت تكلفـة الإنتـاج والتصنيـع نظـراً لاعتمادهـا علـى الغـاز الطبيعـي والمرتبـط بأسـعار الطاقـة عالميـاً، والـذي بـدوره يسـبب زيـادة الانبعاثـات الكربونيـة، لكـن هـذه التقنيـة الجديـدة تعتمـد علـى إنتـاج الأسـمدة النيتروجينيـة عـن طريـق اسـتخدام التحليـل الكهربائـي للمـاء، حيـث تسـمح هـذه التقنيـة بتقليـص الاعتمـاد علـى الغـاز الطبيعـي، ليـس فقـط لتلبيـة الأهـداف المناخيـة والمحافظـة علـى البيئـة، ولكـن للمسـاهمة فـي اسـتدامة القطـاع الزراعـي وتحقيـق الأمـن الغذائـي. [2] الجديـر بالذكـر أنـه يصـدر عـن أنظمـة الصناعـات الغذائيـة حاليـاً ثلـث انبعاثـات الغـازات الدفيئـة عالميـاً. [3]

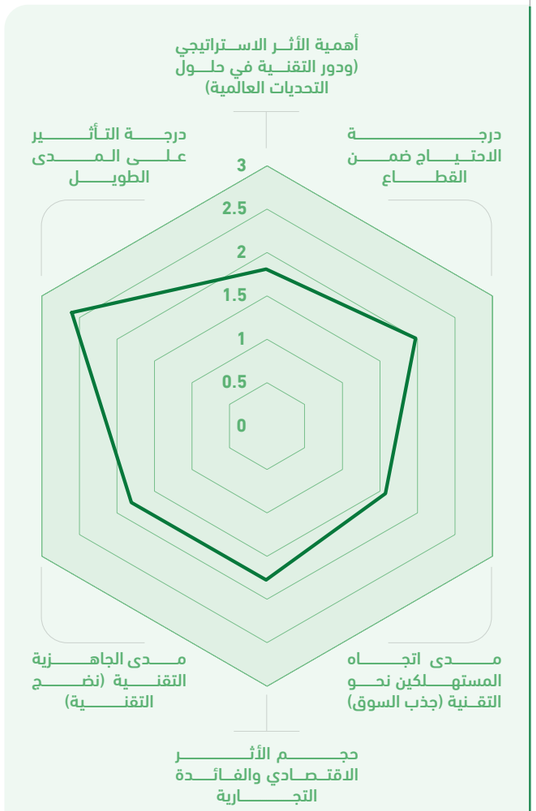
آثـــار التقنـــية

إضافـة إلـى انخفـاض تكلفتهـا نسـبيًا، فـإن مـن الآثـار الاقتصاديـة لإنتـاج الأسـمدة النيتروجينيـة الخاليـة مـن الانبعاثـات الكربونيـة المساهمة في تحقيق الأمن الغذائي واستدامة القطاع الزراعي. كمـا يسـهم اسـتخدام التحليـل الكهربائـي للميـاه –فـي إنتـاج الأسـمدة- فـي المحافظـة علـى المـوارد الطبيعيـة غيـر المتجـددة كالغـاز الطبيعـي.

1 iopscience.iop.org
2 www.sciencedaily.com
3 www.nature.com
4 www.precedenceresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

إنتـاج الأسمدة الخـالية من الانبـعاثات الكربونية



يقـدر حجـم السـوق العالمـي للأسـمدة النيتروجينيـة بـ

92 مليار دولار

بحلول عام 2030

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2022 إلـى 2030 يقـدر بـ

% 5.3

4

2.2 | البيئة والاستدامة | الزراعة العضوية والمتجددة

2.2.7

ابتكـــــار الإنـــــتاج الزراعـــــي العـــــضوي والمتـــــجدد

نشر فريق بحثي مشترك من كل من جامعة لينكولن البريطانية (University of Lincoln)، وجامعة البحر الأبيض المتوسط اليونانية (Hellenic Mediterranean University)، وجامعة ساوثرن كروس الأسترالية (Southern Cross University)، وجامعة أوسلو النرويجية (University of Oslo) ورقةً علمية حول تنامي التوجه للزراعة العضوية المتجددة والمبتكرة، بدلاً من الزراعة العضوية التقليدية، حيث لا تُستخدم في النظام الزراعي المتجدد المواد الكيمياوية المصنعة من الأسمدة المعدنية، المبيدات، منظمات النمو، مضافات الأغذية الحيوانية. وإنما يعتمد على الدورات الزراعية، الأسمدة العضوية (الحيوانية، النباتية والخضراء)، والمقاومة الحيوية للآفات للمحافظة على الكائنات الحية الدقيقة وتوفير العناصر الغذائية للنبات. 1

تعمل أنظمة الزراعة المتجددة العضوية على إدارة التربة والمحاصيل والثروة الحيوانية والنباتية بشكل متكامل من خلال استخدام الأصناف المقاومة والمنافسة للأعشاب الضارة وتطبيق الدورات الزراعية المتنوعة من المحاصيل المختلفة والتي لها القدرة على تثبيت النيتروجين مثل المحاصيل البقولية، بالإضافة إلى استخدام المدخلات المنتظمة مثل المخلفات الحيوانية والنباتية التي تعمل على تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة ورفع مستوى الرطوبة لتقليل كميات الري المستخدمة، وبالتالي ترشيد استهلاك المياه في الزراعة وتقليل التكلفة بسبب تقليل استخدام المدخلات الكيميائية، مما يسهم في ضمان غذاء خالٍ من بقايا المبيدات والأسمدة الكيميائية، مما يؤدي إلى تحقيق الاستدامة الزراعية والمحافظة على البيئة من التلوث. 2

آثـــار التقنـــية

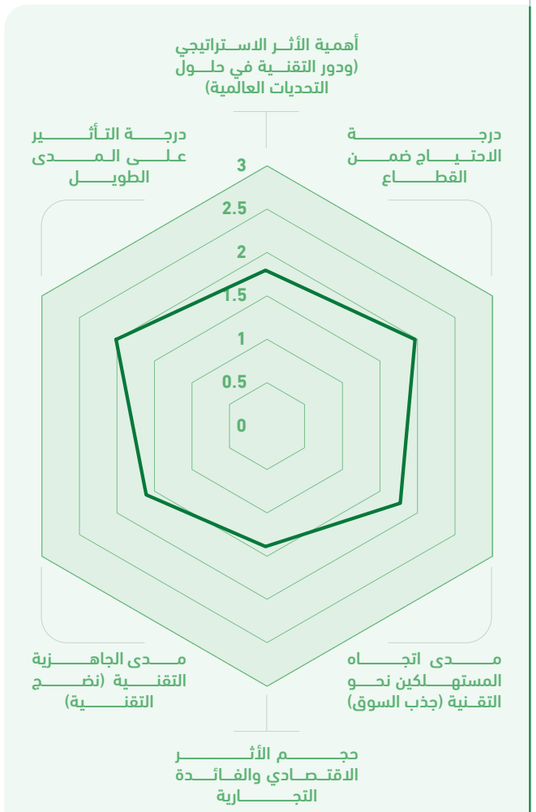
يسهم نهج الزراع العضوية المتجددة في تحقيق كل من الأمن الغذائي والاستدامة البيئية من خلال الحفاظ على التربة الزراعية من التدهور والحفاظ على الموارد المائية من الاستنزاف. كما يسهم هذا النهج في تحقيق الحياد المناخي من خلال ممارسات زراعية تقلل من تلوث التربة والمياه والهواء، مما يجعل الزراعة العضوية أداة لحماية البيئة ومحفزًا للتنمية المستدامة. يمكن أيضاً تحسين مستوى الدخل من الزراعة، وذلك عن طريق رفع كمية وجودة الإنتاج الزراعي وتعزيز استغلال الأراضي الزراعية وترشيد استهلاك الطاقة.

ويمكن للزراعة المتجددة أيضًا أن تقلل من الانبعاثات الناجمة عن الزراعة وتحويل أراضي المحاصيل والمراعي، التي تغطي ما يصل إلى 40% من مساحة الأراضي الخالية من الجليد على الأرض، إلى مُلتقِطات للكربون. هذه هي البيئات التي تمتص ثاني أكسيد الكربون بشكل طبيعي من الغلاف الجوي.

1 www.mdpi.com
2 ahdb.org.uk
3 www.globenewswire.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

ابتكـــار الإنـــتاج الزراعـــي العضـــوي والمتـــــجدد



يقدر حجم السوق العالمي للزراعة المتجددة بـ

21.03 مليار دولار

بحلول عام 2029

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2023 إلى 2029 يقدر بـ

% 14.6 3

2.2 ا البيئة والاستدامة ا معالجة المياه

2.2.8

ابتـــكار طريقـــة مـــستدامة واقتصاديـــة لمعالجـــة ميـــاه الرجيـــع الملحـــي

في الحين الذي قطعت فيه تحلية المياه بواسطة التناضح العكسي خطوات هائلة -مما سمح بإزالة الأملاح من مياه البحر بتكلفة أقل من بنس واحد للغالون- إلا أنها لم تصل إلى نفس المستوى من الكفاءة لإزالة الأملاح من مياه الرجيع الملحي الناتجة عن صناعات مثل التعدين والنفط والغاز وتوليد الطاقة. يتم حاليًا حقن المحاليل الملحية الصناعية في التكوينات الجيولوجية العميقة أو نقلها إلى برك التبخر، وتواجه كلتا طريقتي التخلص المزيد من التحديات التنظيمية والبيئية. 1 **وقد طور فريق بحثي من جامعة فاندربيلت (Vanderbilt University) وجامعة ولاية كولورادو (Colorado State University) طريقةً تهدف إلى جعل إزالة الأملاح من المياه العادمة شديدة الملوحة أكثر كفاءة في استخدام الطاقة وفعالية من حيث التكلفة.**

إن نهج تحقيق الحد الأدنى من السوائل في التصريف، أو تصريف السوائل الصفري (zero liquid discharge)، والذي يستخدم أنظمة معالجة هندسية للتخلص من المحاليل الملحية أو تقليل حجم المياه المالحة، مطلوب بالفعل في بعض البلدان لبعض الصناعات، ومن المتوقع أن يُعتمد على نطاق أوسع قريبًا. تتضمن معالجات (ZLD/MLD) الحالية تقنية تسمى ضغط البخار الميكانيكي، والتي تولد الحرارة من الكهرباء لتبخير المحاليل الملحية حتى يصبح الملح هو كل المتبقي. نظرًا لارتفاع تكاليف رأس المال والتشغيل، لا يستطيع العديد من المستخدمين تحمل تكاليف هذه العمليات. ولحل هذه المعضلة، تم تقديم تقنية جديدة لمعالجة المحلول الملحي بواسطة البلورة بالتحليل الكهربائي (electrodialytic crystallization)، والتي تمتاز بالقدرة على تقليل استهلاك الطاقة وخفض تكلفة تبلور المحلول الملحي. المبدأ الأساسي لهذه الطريقة، يشبه التحليل الكهربائي، وهي عملية تم استخدامها في مختلف العمليات الصناعية كتحلية المياه. وقد نُشرت النتائج الخاصة بالبلورة بالتحليل الكهربائي في مجلة نيتشر (Nature Water). 2

آثـــار التقنـــية

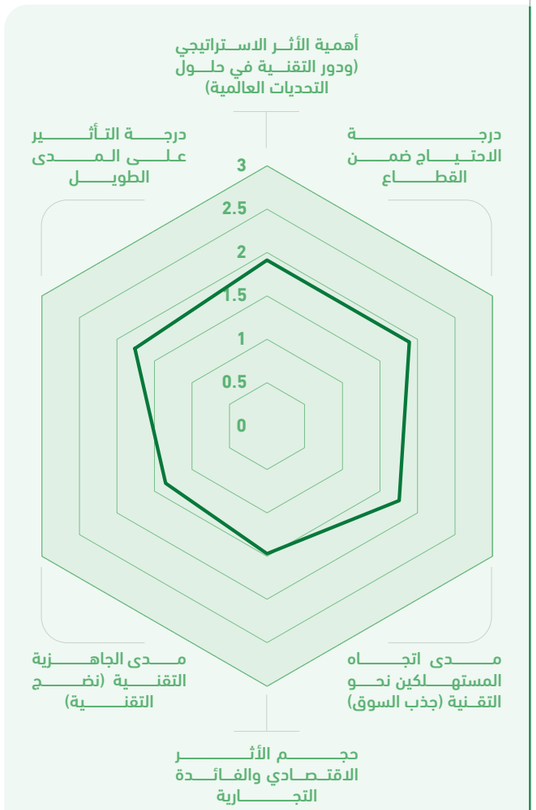
تمثل إدارة المياه العادمة ذات الملوحة العالية تحديًا تقنيًا حظي باهتمام متزايد نظرًا لتزايد حجمها وتأثيراتها البيئية السلبية. إن تقليل كثافة الطاقة المستهلكة في تحلية المياه يؤدي إلى خفض كبير في التكلفة الكلية للمعالجة.

يتمثل التأثير البيئي لتقنيات التحلية المبتكرة في إزالة نسب عالية من الانبعاثات الكربونية بسبب الاستهلاك العالي للطاقة في عمليات المعالجة، وكذلك إمكان الاستفادة من الأملاح المركزة لاستخلاص المعادن ذات القيمة الاقتصادية.

1 techxplore.com
2 www.nature.com
3 https://www.mdpi.com/2077221/9/10/0375-

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

ابتـكار طريقـة مستدامة واقتصاديـة لمعالجـة ميـاه الرجيـع الملحـي



يقدر حجم السوق العالمي لأنظمة التحليل الكهربائي بـ

458 مليون دولار

بحلول عام 2025

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2020 إلى 2025 يقدر بـ

% 5.6 3

2.3

قطاع الطاقة والصناعة

قصـــة نجـــاح سعوديـــة

فريق كاوست يسجل رقماً قياسياً عالمياً في كفاءة الخلايا الشمسية المزدوجة

تهدف المملكة إلى توليد 50 % من الطاقة الكهربائية من مصادر متجددة بحلول عام 2030، ومن أهم تلك المصادر المتجددة: الطاقة الشمسية. وتهيمن الخلايا الشمسية السيليكونية البلورية على سوق الطاقة الكهروضوئية العالمية بكفاءات تصل إلى 20-22 %. ومع ذلك، يسعى مجال الطاقة الشمسية لابتكار مواد جديدة تحقق كفاءات أعلى لدعم الأهداف العالمية للطاقة المتجددة.

يعتبر الجمع بين خلايا السيليكون والبيروفسكايت في خلايا شمسية مزدوجة بديلاً واعدًا، عالي الأداء وقابلًا للتطبيق بدلاً من الخلايا الشمسية البلورية التقليدية، وبقيادة جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية (KAUST) لهذه المبادرة، أنتج الباحثون في مختبر الخلايا الكهروضوئية بمركز الطاقة الشمسية بالجامعة، خليةً شمسية مزدوجة من البيروفسكايت/السيليكون بكفاءة تحويل طاقة (PCE) تبلغ 33.2 %، وهي أعلى كفاءة في العالم لنظام مزدوج حتى وقت إصدار التقرير، متجاوزةً الرقم القياسي السابق لمركز هلمهولتز في برلين (HZB) الذي كان 32.5 %.

تم اعتماد الجهاز المزدوج من قبل منشأة اختبار الطاقة الشمسية الأوروبية (ESTI) وتم إدراجه في صدارة مخطط كفاءة الخلية البحثية الأفضل من المختبر الوطني للطاقة المتجددة (NREL).

يقود الفريق د. ستيفان دي وولف، أستاذ علوم المواد والهندسة والمدير المشارك المؤقت لمركز الطاقة الشمسية بالجامعة، وقد عمل الفريق بإصرار منذ عام 2016 على تحسين مفهوم خلية البيروفسكايت/السيليكون المزدوجة، من خلال تطوير مواد وطرق وهياكل أجهزة جديدة، ومواجهة التحديات الأساسية مثل كيفية تغطية سطح الخلايا السيليكونية ذات السطح الهرمي الصغير بمادة البيروفسكايت بشكل موحد.

هذا الابتكار يمثل اختراقاً كبيراً في مجال الطاقة الشمسية في وقت تقدر فيه التوقعات السوقية أن تقنية البيروفسكايت/السيليكون المزدوجة ستشكل أكثر من 10 مليارات دولار من حصة السوق الكهروضوئية العالمية بحلول عام 2032. [1]

1 https://www.kaust.edu.sa/en/news/kaust-team-sets-world-record-for-tandem-solar-cell-efficiency

2.3 | الطاقة والصناعة | الخلايا الشمسية

2.3.1

تطويـــر طريقـــة لتحسين أداء خلايـــا البيروفسكايت الشمسية

تعد خلايا البيروفسكايت الشمسية (PVSCs) بديلاً واعدًا للخلايا الشمسية التقليدية القائمة على السيليكون نظرًا لكفاءتها العالية في تحويل الطاقة وتكلفتها المنخفضة. ومع ذلك، كان أحد التحديات الرئيسية في تنميتها هو تحقيق الاستقرار على المدى الطويل. مؤخراً، حقق فريق بحثي من جامعة مدينة هونغ كونغ (City University of Hong Kong) تقدمًا كبيرًا من خلال تطوير مادة مضافة مبتكرة متعددة الوظائف وغير متطايرة يمكنها تحسين كفاءة واستقرار خلايا البيروفسكايت الشمسية عن طريق تعديل نمو غشاء البيروفسكايت. هذه الإستراتيجية الفعالة لديها إمكانات كبيرة لتسهيل تسويق خلايا البيروفسكايت الشمسية. [1]

تتمثل إحدى طرق خفض تكلفة الإنتاج في تطوير خلايا شمسية تستخدم مواد أقل تكلفة من النماذج الحالية القائمة على السيليكون. لتحقيق ذلك، ركزت بعض الجهود البحثية على هاليد البيروفسكايت (halide perovskite)، وهي مادة بلورية على شكل مكعبات يمكنها تحمل الضوء والحرارة بشكل أفضل [2]

خلايا البيروفسكايت الشمسية عبارة عن خلايا مكونة من عدة طبقات ذات خصائص بصرية وكهربائية متوافقة من أجل تحويل الطاقة الضوئية إلى كهربائية. وقد اجتذبت خلايا البيروفسكايت (PVSCs) اهتمامًا كبيرًا نظرًا لكفاءتها الجيدة في تحويل الطاقة الشمسية (PCE).

آثـــار التقنـــية

نظرًا لإمكان ترسيب البيروفسكايت من المحاليل على الأسطح المصنَّعة، فإن خلايا (PVSCs) يمكن استخدامها في الخلايا الكهروضوئية المتكاملة للمباني (BIPV)، والأجهزة القابلة للارتداء، وتطبيقات المزارع الشمسية.

ومن جهة أخرى، فإنه يمكن -نظرياً- تصنيع الخلايا الشمسية القائمة على البيروفسكايت من مواد خام تكلفتها أقل وتكون متاحة بسهولة أكبر من السيليكون. كما يمكن إنتاجها باستخدام طاقة أقل وعمليات تصنيع أبسط.

1 www.sciencedaily.com
2 www.scitechdaily.com
3 www.alliedmarketresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تطويـــر طريـــقة لإنـــتاج خلايـــا بيروفســـكايت شمســـية أكثـــر متانـــة وأقـــل تكلفـــة

يقدر حجم السوق العالمي لخلايا البيروفسكايت الشمسية بـ

6.6 مليار دولار

بحلول عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2021 إلى 2030 يقدر بـ

% 32.4 [3]

2.3 | الطاقة والصناعة | استخلاص الليثيوم

2.3.2
تحسين كفاءة استخلاص الليثيوم

قدم فريق خبراء صناعة النفط والغاز في شركة فولت ليثيوم (Volt Lithium) الكندية تقنية جديدة لاستخلاص الليثيوم؛ حيث كان الهدف الأساسي للفريق إنشاء شركة فعالة لاستخلاص الليثيوم من المحاليل الملحية عبر طيف التركيز. ومن خلال الاستفادة من الخبرة في حركة السوائل المكتسبة من صناعة النفط والغاز، تم تطوير تقنية أظهرت معدلات استخلاص عالية أثناء الاختبار في منشأة الليثيوم في بحيرة رينبو (Rainbow Lake) شمال غرب ألبرتا، حيث تم تحقيق معدلات استخلاص تصل إلى 90% من المحاليل الملحية ومن عمليات استرداد الليثيوم بتركيزات شديدة الملوحة في حقول النفط تصل إلى 34 ملجم لكل لتر. [1]

كان استخراج الليثيوم في السابق ممكنًا فقط من المحاليل الملحية عالية التركيز، ثم تحقَّقَ الاستخراج بنجاح من تركيزات منخفضة تصل إلى 300 ملجم لكل لتر. وقد قاد هذا الإنجاز إلى استكشاف الاحتمالات الأخرى. وفي نتيجة غير مسبوقة، أثبت المشروع التجريبي لشركة فولت ليثيوم إمكانية الحفاظ على 90% من استخلاص الليثيوم بتركيزات منخفضة تصل إلى 34 ملجم / لتر بكفاءة تجارية، وهو إنجاز لم يتم الإبلاغ عنه بعد من قبل منتجي الليثيوم الآخرين.

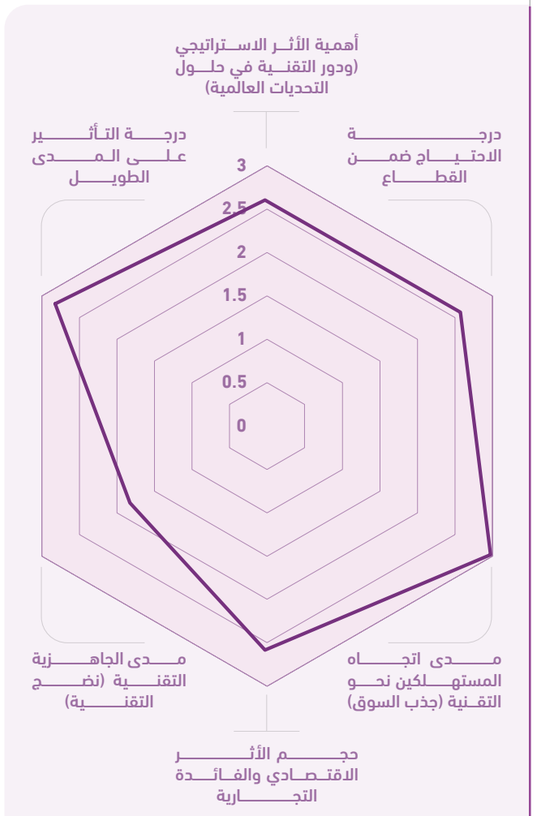
آثـــار التقنـــية

يُعد معدن الليثيوم مكونًا أساسياً لإنتاج جميع بطاريات السيارات الكهربائية والإلكترونيات الاستهلاكية. كما ينتشر استخدام بطاريات أيون الليثيوم في تطبيقات عديدة أخرى كتخزين الطاقة وتصنيع الزجاج والسيراميك المقاوم للحرارة، والسبائك المعدنية عالية الأداء المستخدمة في الطائرات.

1 www.mining.com
2 www.grandviewresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تحسين كفاءة استخلاص الليثيوم



يقدر حجم السوق العالمي لليثيوم بـ

19 مليار دولار

بحلول عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2023 إلى 2030 يقدر بـ

% 12.3 [2]

2.3 | الطاقة والصناعة | إنتاج الهيدروجين

2.3.3

إنتـاج الهيدروجيـن الأخضـر الاقتصـــادي والموفـــر للمـــوارد

تلخص الإشارة المرصودة أهم المشاريع التي يعمل عليها فريق التعاون الألماني النيوزيلندي، الممول في إطار «تعاون أبحاث الهيدروجين الأخضر مع نيوزيلندا» من قبل وزارة التعليم والبحث الاتحادية الألمانية (BMBF). يركز مشروع (HighHy) على استخدام مركب مبتكر من النيكل والمنغنيز كمحفز لإنتاج الهيدروجين الأخضر على نطاق صناعي واسع عبر التحليل الكهربائي باستخدام أغشية تبادل الأنيون (AEM). يتميز هذا المركب بمزايا أساسية، منها: انخفاض تكلفة المعدنين ووفرة وجودهما كمواد خام، كما يتميزان بنشاط كيميائي واعد. [1]

وعلى صعيد آخر، فإن الإنتاج الفعال للهيدروجين والوقود وحتى مياه الشرب على الأسطح المنزلية أو في مجمعات الطاقة الشمسية، قد هدفَ إلى تحقيقه الفريقُ البحثي من معهد كارلسروه للتقنية (KIT) وشركاؤه، وذلك عن طريق استخدام وحدات مفاعل ضوئي منخفضة التكلفة وعالية الكفاءة، حيث تم إحراز تقدم كبير بهذا الصدد على النطاق المخبري، كما تشير إليه النتائج المنشورة. [2] **ولتقليل التكاليف، يتم استخدام مواد وأشكال هندسية غير مكلفة يمكن إنتاجها على شكل سلسلة متوالية. ووفقًا للتقديرات الأولية للباحثين، تبلغ تكلفة المتر المربع من وحدة المفاعل الضوئي حوالي 22 دولارًا.** [3]

يمكن إنتاج الهيدروجين من خلال التحليل الكهربائي على نطاق صناعي واسع، حيث تُستخدم الطاقة الكهربائية لفصل جزيئات الماء إلى هيدروجين وأكسجين عند غمرها في ماء ممزوج بملح موصِّل، ويتم امتصاص الطاقة وتخزينها في الهيدروجين كروابط كيميائية. لذلك يعتبر هذا الغاز وسيلة واعدة لتخزين الطاقة على المدى الطويل من أجل الطاقة المولدة .

وبخصوص ابتكار معهد (KIT)، فإن التمثيل الضوئي الاصطناعي يعني أن التفاعلات الكيميائية تتم بمساعدة ضوء الشمس. إلى وقت قريب، اقتصر تطبيق هذه التقنية بشكل رئيسي في المختبر؛ لأن تكاليف إنتاج الهيدروجين الشمسي كانت مرتفعة للغاية. والآن، وصل الفريق البحثي إلى تقدم حاسم من خلال مفهومه الخاص بألواح المفاعلات الضوئية عالية الكفاءة والتي يمكن إدراجها في وحدات غير مكلفة. [4]

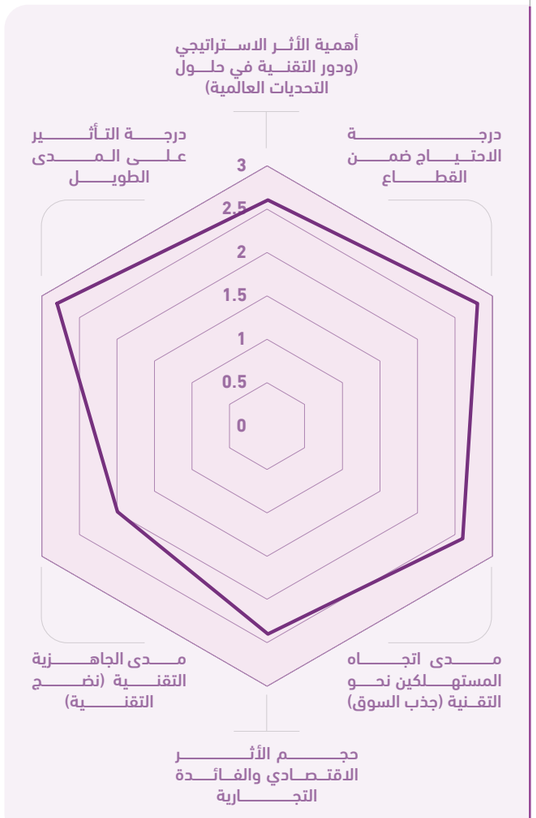
آثـــار التقنـــية

من شأن الهيدروجين النظيف إحداث تحول بالغ في البيئة الجغرافية للطاقة كما هي اليوم، فقد تنشأ جغرافيات جديدة للتجارة تتمحور حول الهيدروجين النظيف ومشتقاته، مثل الأمونيا. وقد تصبح البلدان التي تنعم بوفرة الشمس والرياح من كبار مصدري الوقود الأخضر أو من مواقع التصنيع الأخضر. ويمكن أن تتزايد المنافسة الصناعية في ظل طموح الدول لقيادة التقنية في قطاعات مهمة من سلسلة القيمة للهيدروجين.

1 techxplore.com
2 www.sciencedirect.com
3 www.kit.edu
4 www.kit.edu
5 www.globenewswire.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

إنتـاج الهيدروجيـن الأخضـر الاقتصـادي والموفـر للمـوارد



يقـدر حـجم السـوق العالمـي للهيدروجـين الأخضـر بـ

7.3 مليار دولار

بحلول عام 2027

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2023 إلـى 2027 يقـدر بـ

% 61.0

5

2.3 | الطاقة والصناعة | الترانزستورات وأشباه الموصلات

2.3.4
تطوير ترانزستورات لأشباه الموصلات المستقبلية

تعتبر الترانزستورات القادرة على تغيير الخصائص عناصر مهمة في تطوير أشباه الموصلات في المستقبل. ومع اقتراب الترانزستورات القياسية من الحد الأقصى لصغر حجمها، فإن وجود المزيد من الوظائف على نفس العدد من الوحدات يصبح ذا أهمية متزايدة في تمكين تطوير دوائر صغيرة موفرة للطاقة لتحسين الذاكرة وأجهزة حاسوبية أكفأ. وقد أظهر الباحثون في جامعة لوند السويدية (Lund University) كيفية إنشاء ترانزستورات جديدة قابلة للتكوين والتحكم على مستوى جديد أدق، وهذا المستوى العالي من إمكانية التحكم يجعل هذه الترانزستورات مناسبة لعدد من التطبيقات مثل الحوسبة والاتصالات اللاسلكية المستقبلية وإنترنت الأشياء. وقد نشرت النتائج في مجلة نيتشر (Nature Communications).[1]

الترانزستور هو جهاز شبه موصل يستخدم لتضخيم أو تبديل الإشارات الكهربائية والطاقة، وهو أحد اللبنات الأساسية للإلكترونيات الحديثة. وفي ضوء الحاجة المتزايدة إلى دوائر الكترونية أكفأ، هناك اهتمام متزايد بالترانزستورات القابلة لإعادة التشكيل. وتتمثل ميزة ذلك في أنه، على عكس أشباه الموصلات القياسية، من الممكن تغيير خصائص الترانزستور بعد تصنيعه. تعد جامعة لوند من بين الجهات الرائدة في تطوير أشباه الموصلات من الفئة (III-V)، والتي تعد بديلاً للسيليكون .

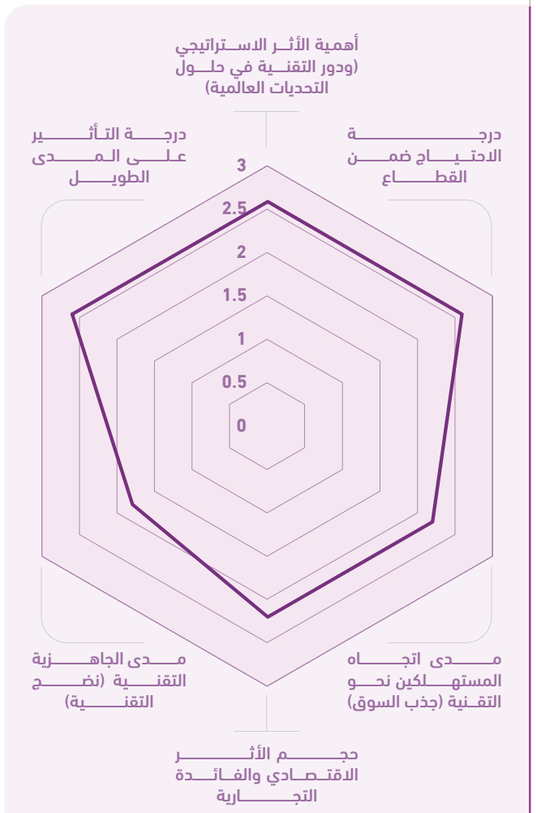
آثـــار التقنـــية

تقنية أشباه الموصلات تُستخدم في العديد من التطبيقات بما في ذلك الطاقة والحوسبة وتخزين البيانات وأجهزة الاستشعار والاتصالات والإضاءة والخلايا الكهروضوئية. مواد أشباه الموصلات المستخدمة هي مواد ذات إمكانات كبيرة في تطوير التقنيات عالية التردد، مثل أجزاء شبكات الجيل السادس (6G) والجيل السابع (7G) المستقبلية، والتطبيقات البصرية والمكونات الإلكترونية الموفرة للطاقة.

1 www.nature.com
2 www.globenewswire.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تطويـــر ترانزســـتورات لأشـــباه المـــوصلات المستقـــبلية



يقـدر حجـم السوق العالـمي للترانزسـتورات بـ

26.83 مليار دولار

بحلول عام 2030

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2023 إلى 2030 يقدر بـ

% 10.0 [2]

2.3 | الطاقة والصناعة | أشباه الموصلات

2.3.5

أشـــباه موصـــلات نيـتريد الغاليـــــوم لمركـــــبات المسـتقبل

أعلنـت شـركة أوديسـي سـيمي كوندكتـر تيكنولوجيـز (Odyssey Semiconductor Technologies Inc) فـي إيثاكا - نيويـورك، والتي تعمـل على تطويـر مكونـات تبديـل الطاقـة الرأسية ذات الجهـد العالي بناءً على تقنية معالجة نيتريـد الغاليـوم (GaN)، أن تصنيـع عينـات منتجـات (GaN) ذات الجهـد 650 فولـت و 1200 فولـت قـد اكتمـل كمـا هـو مخطـط فـي الربـع الرابـع مـن عـام 2022 وأن الشـحنات للعـملاء سـتبدأ فـي الربـع الأول مـن عـام 2023. تكمـن أهميـة أشـباه المـوصلات مـن نيتريـد الغاليـوم (GaN) فـي كونها توفر مزايا تجارية أفضل من كربيد السيليكون (SiC)، كما تتميز بمستويات أداء مرتفعة مع تكلفة منخفضة قد لا يمكـن تحقيقهـا مـن خلال التقنيـات المنافسـة. [1]

نيتريـد الغاليـوم (GaN)، عبـارة عـن مركـب لأشـباه المـوصلات ذات فجـوة النطـاق العريـض، يسـتخدم فـي ترانزسـتورات الطاقـة عاليـة الكفـاءة والدوائـر المتكاملـة. مـع ميـزات الاسـتقرار الميكانيكـي، وسـرعة التحويـل الأعلـى، والموصليـة الحراريـة الأعلـى والمقاومـة الأقـل، تتفـوق أجهـزة الطاقـة القائمـة علـى الغاليـوم بشـكل كبيـر علـى الأجهـزة القائمـة علـى السـيليكون. يُسـتخدم (GaN) كذلـك فـي مكونـات التـردد اللاسـلكي والصمامـات الثنائيـة الباعثـة للضـوء (LED)، وتطبيقـات تحويـل الطاقـة. [2]

تؤثـر هـذه التقنيـة بشـكل إيجابـي كبيـر فـي انتشـار السـيارات الكهربائيـة، حيـث تسـمح باسـتخدام بطاريـات أصغـر وأرخـص، تسـمح بقطـع السـيارات الكهربائيـة مسـافات أكبـر ممـا يقلـل الحاجـة للشـحن المتكـرر. [3]

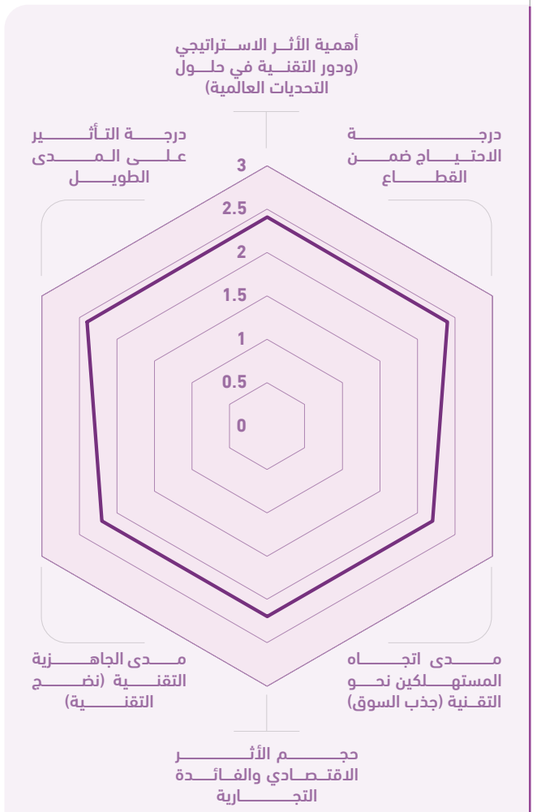
آثـــار التقنـــية

تمثـل أشـباه المـوصلات مـن نيتريـد الغاليـوم خيـارًا واعـدًا لزيـادة كفـاءة الأنظمـة وتقليـل الحجـم والتعقيـدات الالكترونيـة، وبالتالـي تقليـل التكلفـة عنـد تصميـم وتصنيـع الوحـدات المختلفـة. يمكـن أن تعـزى فرصـة نمـو السـوق إلـى المزايـا التـي توفرهـا أشـباه موصـلات نيتريـد الغاليـوم علـى أشـباه مـوصلات السـيليكون. تـم اسـتخدام مـواد السـيليكون لتصنيـع الأجهـزة الإلكترونيـة مثـل الهواتـف الذكيـة وأجهـزة الحاسـب والكاميـرات وأجهـزة التلفزيـون. ومـع ذلـك، فـإن التباطـؤ فـي الخصائـص المبتكـرة المحتملـة للسـيليكون خلـق فرصـة لأشـباه مـوصلات نيتريـد الغاليـوم. [4]

1 semiconductor-today.com
2 epc-co.com
3 epc-co.com
4 marketsandmarkets.com
5 www.grandviewresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

أشـــباه موصلات نيتـــريد الغاليـــوم لمركـــبات المسـتقبل



يقدر حجم السوق العالمي لأشباه موصلات نيتريد الغاليوم بـ

24.9 مليار دولار

بحلول عام 2030

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2022 إلـى 2030 يقـدر بـ

% 24.4 [5]

2.3 | الطاقة والصناعة | الأطر العضوية المعدنية

2.3.6
تصميم مواد مسامية فائقة الثبات بواسطة النمذجة الحاسوبية

عَمِلَ الباحثون على تطوير وبناء مواد جديدة صديقة للبيئة أكفأ في استخدام الطاقة وأقل تكلفة عن طريقة النمذجة الحاسوبية بدلاً من الطرق التقليدية والمعتمدة على التجربة والخطأ. من بين هذه المواد: الهياكل الفلزية العضوية أو الأطر العضوية المعدنية (MOFs). كانت هذه المواد تتأثر أثناء عملية التحضير والتنقية بالعديد من الظروف الخارجية (درجة الحرارة، الرطوبة، تفريغ المسامات، التنشيط)، وهذا بدوره يؤثر على استقرار هيكل أو إطار المادة بالتكسير الكلي أو الجزئي. وبالاستفادة من بيانات التجارب التقليدية السابقة وبناء وتدريب نماذج حاسوبية، يمكن التنبؤ وتحديد السمات المتعلقة باستقرار الأطر العضوية المعدنية. هذه الطريقة أتاحت لفريق معهد ماساتشوستس للتقنية (MIT) الوصول للعديد من المواد الواعدة والمستقرة في الظروف المختلفة والمتوقع استخدامها في العديد من التطبيقات العملية مثل التقاط الغازات الدفيئة. [1]

تشتمل المواد المسامية على عائلات واسعة من الهياكل التي من بينها الأطر العضوية المعدنية (MOFs) والأطر العضوية التساهمية (COFs). الهياكل المسامية تستخدم في العديد من التطبيقات الصناعية (كاحتجاز ثاني أكسيد الكربون والميثان، استخلاص الماء من الهواء، الحفز الكيميائي، وتخزين الهيدروجين) والتطبيقات الطبية (كتوصيل الدواء، والاستشعار والتصوير البيولوجي) والتطبيقات الأخرى المتعلقة بالزراعة (كالكشف عن المبيدات). [2]

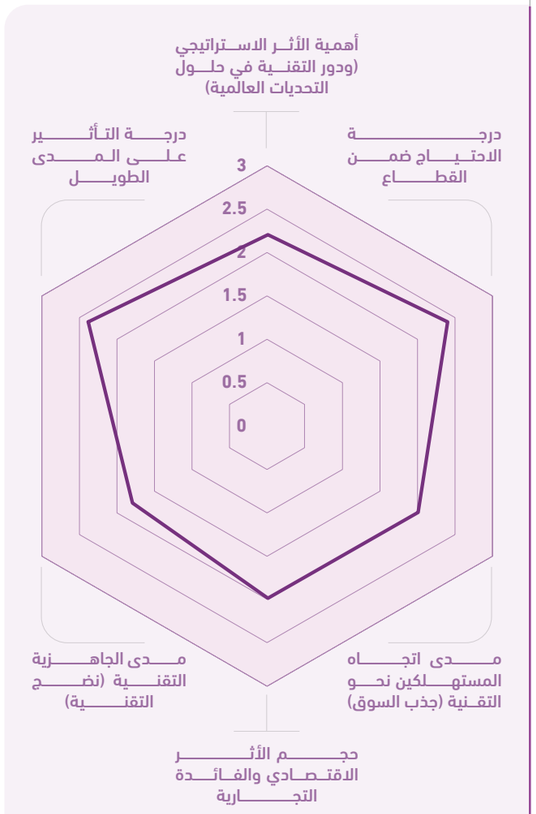
آثـــار التقنـــية

يمكن من خلال الأطر المعدنية العضوية تخزين ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى، كما تُستخدم هذه الأطر كمحفزات للتفاعلات المختلفة. إن الهياكل المرتبة، والاستقرار الحراري العالي، والوظيفة الكيميائية القابلة للتعديل، والمسامية العالية للأطر المعدنية العضوية (MOFs) تجعل منها مواد فائقة لالتقاط وتخزين ثاني أكسيد الكربون، مما يقلل آثار الاحتباس الحراري على الغلاف الجوي، كما يمكن استخدام ثاني أكسيد الكربون الملتقَط في إنتاج المواد الكيميائية المفيدة ذات القيمة المضافة، وإنتاج الميثانول وتعزيز استخلاص النفط من خلال تطبيق استرداد النفط المعزز بثاني أكسيد الكربون. [3]

1 news.mit.edu
2 www.sciencedirect.com
3 kfupm.edu.sa
4 www.gminsights.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تصميم مواد مسامية فائقة الثبات بواسطة النمذجة الحاسوبية



يقدر حجم السوق العالمي للأطر العضوية المعدنية بـ

26.8 مليار دولار

بحلول عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2023 إلى 2032 يقدر بـ

% 13.0 [4]

2.3 | الطاقة والصناعة | الاندماج النووي

2.3.7

تحقيق الاشتعال الاندماجي لأول مرة في منشأة نووية

أعلنت وزارة الطاقة الأمريكية بتاريخ 13 ديسمبر 2022 عن نجاح مختبر لورانس ليفرمور الوطني (Lawrence Livermore National Laboratory) - منشأة الاشتعال الوطني (National Ignition Facility) في تحقيق عملية اشتعال اندماجي لأول مرة تاريخيًّا على مستوى العالم.[1] استخدم مختبر لورانس ليفرمور الوطني مجموعته المكونة من 192 ليزرًا لإرسال 2.05 ميغا جول من الطاقة إلى اسطوانة (حاوية) ذهبية تحمل كبسولة صغيرة جداً تحتوي على حبيبات مجمدة من نظائر الهيدروجين: الديوتيريوم والتريتيوم، حيث تسببت نبضات الطاقة المركزة في انهيار الكبسولة وظهور درجات حرارة لا تُرى إلا في النجوم والأسلحة النووية الحرارية.

في الخبر المشار إليه، اندمجت نظائر الهيدروجين لتكوين الهيليوم، مما أدى إلى إطلاق طاقة إضافية وخلق سلسلة من تفاعلات الاندماج، حيث يشير تحليل المعمل إلى أن التفاعل أطلق حوالي 3.15 ميغا جول من الطاقة – أكثر مما يقرب 54% من طاقة الليزر المستخدمة في إنتاج التفاعل، وأكثر من ضعف الرقم القياسي السابق البالغ 1.3 ميغا جول.

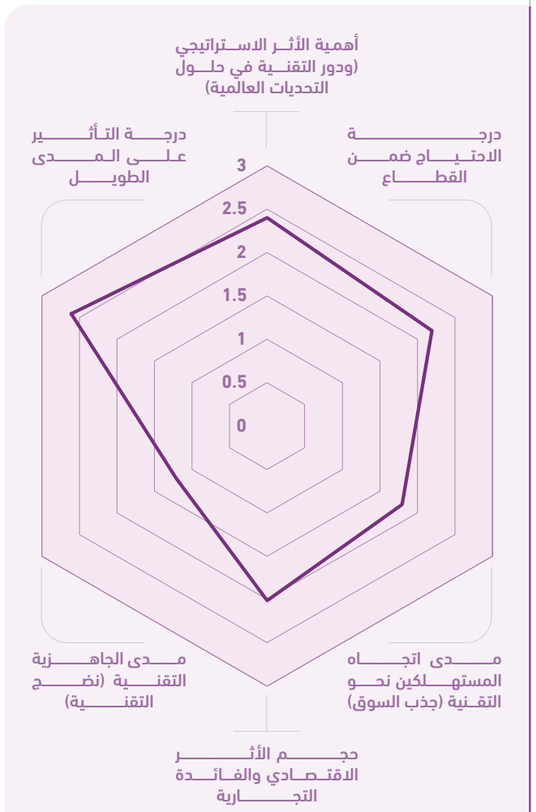
آثـــار التقنـــية

تتميز الطاقة النووية الاندماجية بعدة ميزات، فهي طاقة نظيفة؛ إذ تنتج كميات كبيرة من الطاقة دون انبعاث غازات الكربون الضارة المرتبطة باحتراق الوقود الأحفوري، بالإضافة إلى قلة المخلفات. وهي طاقة آمنة؛ إذ يحوي وعاء الاندماج على بضع جرامات فقط من وقود الاندماج خلال الإنتاج، على عكس مفاعلات الانشطار التي تُعبأ بكميات كبيرة من الوقود. لا توجد أيضًا إمكانية لحصول كارثة شبيهة بحادثة تشيرنوبيل أو فوكوشيما؛ إذ أن أي خلل في ظروف البلازما ستعطل على الفور دورة الاندماج. وهناك أيضًا ميزة توفر الوقود النووي الاندماجي؛ إذ يوجد ما يكفي من الهيدروجين ونظائره لإمداد الطلب الحالي للطاقة على الأرض من مياه البحر، لمدة 100 مليار سنة قادمة، وكمية كافية من الليثيوم لإنتاج التريتيوم لمدة 60 مليون سنة. لا يزال هذا المصدر من الطاقة قيد البحث والتطوير، وحين ينجح إنتاج الطاقة الاندماجية على المستوى التجاري، فسيكون ذلك مزعزعاً لسوق الطاقة العالمي.

1 www.energy.gov
2 www.nature.com
3 www.altenergymag.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تحقيـــق الاشـــتعال الاندماجـــي لأول مـرة فـي منشـأة نوويـة



يقدر حجم السوق العالمي لطاقة الاندماج النووي بـ

843 مليار دولار

بحلول عام 2040

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2031 إلى 2040 يقدر بـ

% 6.1

3

2.4

قطاع اقتصاديات المستقبل

قصـــة نجـــاح سعوديـــة

شـــركـــة Thya Tech رؤيـــة تقـــنيـــة تتـــخطـــى حـــدود المألـــوف

تمكنت شركة (Thya Technology)، وهي شركة ناشئة في مجال الذكاء الاصطناعي بجامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية (KAUST)، من تطوير نموذج متقدم للكشف البصري يعالج مجموعات كبيرة من الصور بكفاءة عالية، مما يوفر حلولاً مبتكرة لتحديات تحليل البيانات الضخمة.

تستخدم (Thya Technology) خوارزميات تعلم آلي متقدمة لتحليل الصور، مما يوفر الوقت والجهد والتكاليف بشكل كبير. ويستفيد من حلول (Thya Tech) مستخدمون من مجالات متنوعة مثل الزراعة، علوم الأعصاب، والتخطيط الحضري. أخيرًا، أطلقت الشركة منصة سحابية سهلة الاستخدام تتيح التحليل الآلي بدقة عالية.

تأسست الشركة بجهود من الدكتورة جاستين براغوي، الرئيسة التنفيذية وخريجة الدكتوراه من (KAUST)، والدكتور سيلفيو جيانكولا، الخبير في رؤية الحاسوب، بالإضافة إلى البروفيسور برنارد غانم، المستشار والخبير في الرؤية الحاسوبية بالذكاء الاصطناعي. ففي عام 2019، توجهت د. براغوي إلى د. جيانكولا لإيجاد حل يختصر الوقت في عدّ بذور العذار (Striga) يدويًا، ونتج عن ذلك تطوير نموذج الذكاء الاصطناعي الذي تمكن من عدّ البذور بدقة وسرعة عالية.

تعاونت الشركة مع مسرعة تقدم (TAQADAM) للشركات الناشئة في كاوست، وقامت الشركة بتطوير وتجارب نموذجها التقني ليصبح متاحًا على نطاق واسع. يتيح هذا النموذج للمستخدمين إمكانية تحليل الصور الأفقية والعمودية بفعالية.

وقد جذبت هذه التقنية عملاءَ جدد في قطاعات أخرى. على سبيل المثال، يتعاون الفريق مع وزارة الثقافة السعودية لتحليل الصور الفوتوغرافية عبر الأقمار الصناعية للهياكل الحجرية القديمة والمواقع الأثرية، مع قدرة النموذج على معالجة مليوني صورة في حوالي خمس ساعات.

هذه الرحلة من الأكاديميا إلى الريادة ليست فقط قصة نجاح لشركة، ولكنها أيضًا مثال لكيفية دمج العلم بالمهارات الريادية لتحقيق أقصى استفادة من البحث العلمي.[1]

1 https://innovation.kaust.edu.sa/thya-tech-computer-vision-more-than-meets-the-eye/

2.4 | اقتصاديات المستقبل | الذكاء الاصطناعي التوليدي

2.4.1

إطـــلاق منـــصات الذكـــاء الاصطناعـي التوليـدي

أطلقـت شـركة أوبـن أي آي (OpenAI) نسـخة مطـورة مـن أداة (ChatGPT) باسـم (ChatGPT Plus) مبنـي علـى نمـوذج اللغـة (GPT-4) بـدلًا مـن (GPT-3.5) الـذي بُنيـت عليـه النسـخة الأولـى من أداة (ChatGPT)، وهـو نظام محادثات آلي مبني على الذكاء الاصطناعي التوليدي. وقـد أثار النمـوذج السـابق زخمًا إعلاميًا كبيـرًا بسـبب قدرتـه علـى توليـد محادثـات قريبـة مـن المحادثـات البشـرية. ويمكـن اسـتخدام نظـام GPT-4 بمقابـل مدفـوع (تجـاري) عـن طريـق الواجهـة البرمجيـة API. وتتميـز النسـخة الأحـدث (ChatGPT Plus) بأنهـا تدعـم مـدخلات ومخرجـات غيـر النصـوص، مثـل الصـور والفيديـو، بـخلاف النسـخة السـابقة التـي تدعـم النصـوص فقـط. [1]

كمـا أطلقـت شـركة غوغـل (Google) نمـوذج (Bard AI) وبعـده نمـوذج (Gemini) للمحادثـات وذلـك للمنافسـة مـع نموذجـي (ChatGPT) مـن شـركة (OpenAI) و(Bing Chat) مـن مايكروسـوفت (Microsoft)، وذلـك بعـد دمـج النمـوذج مـع محـرك بحـث غوغـل، ممـا يحسـن تجربـة المسـتخدم فـي البحـث والإنتاجيـة وتسـريع تطويـر الأفـكار. وتهـدف خطـوة غوغـل إلـى تعزيـز مكانتهـا المهيمنـة حاليًـا علـى سـوق محـركات البحـث عالميًـا. يسـمح النمـوذج بعـرض نتائـج بحـث غوغـل بطريقـة مثـل المحادثـات البشـرية الطبيعيـة بـدلًا مـن مجـرد سـرد الصفحـات ذات العلاقـة. [2] ولا تـزال أدوات الذكـاء الاصطناعـي التوليـدي فـي تجـدد مسـتمر حيـث طرحـت عشـرات الشـركات الأخـرى منصـات خاصـة لذلـك. وهـذه التطـورات قيـد الرصـد منـذ بداياتهـا الأولـى.

يتميـز نمـوذج (ChatGPT Plus) المبنـي علـى نظـام (GPT-4) بـأن احتمـال توليـد محتـوى غيـر ملائـم أقـل بنسـبة 82%، واحتمـال الـرد بالحقائـق أعلـى بنسـبة 40% مـن النسـخة السـابقة (ChatGPT) المبنيـة علـى نظـام (GPT-3.5).

آثـــار التقنـــية

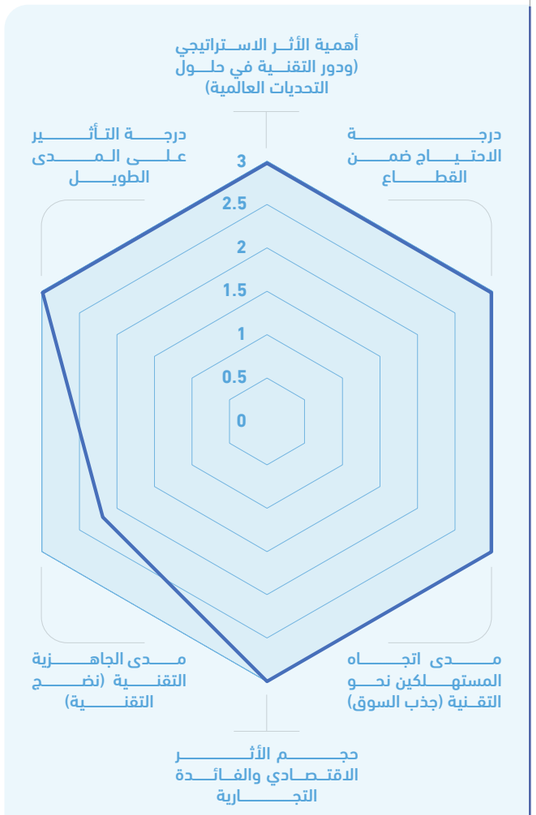
ينمـو مجـال معالجـة اللغـات الطبيعيـة (NLP) بشـكل كبيـر فـي السـنوات الأخيـرة نظـرًا لتطـور القـدرات الحاسـوبية وسـهولة الوصـول للبيانـات، فـضلًا عـن تطويـر خوارزميـات متقدمـة مثـل نمـاذج اللغـة المبنيـة علـى المحـولات (Transformers). إن إنشـاء منطقـة اقتصاديـة خاصـة بالحوسـبة السـحابية سيسـاهم بشـكل كبيـر فـي توفيـر بنيـة تحتيـة جيـدة لتطويـر مثـل هـذه النمـاذج. ويمكـن توظيـف أدوات الـذكاء الاصطناعـي التوليـدي فـي عـدة مجـالات، مثـل:

- الإعـلام: حيـث يمكـن اسـتخدامها لكتابـة مقـالات إخباريـة و تقاريـر بطريقـة سـريعة ودقيقـة.
- التعليـم: حيـث يمكـن إنشـاء مـواد تعليميـة تفاعليـة، وتطويـر أدوات تعليميـة مخصصـة لـكل طالـب.
- التسـويق وخدمـة العمـلاء: حيـث يمكـن اسـتخدامها للإجابـة علـى أسـئلة العمـلاء بطريقـة سـريعة وفعالـة.
- البحـث العلمـي: حيـث يمكـن اسـتخدامها لفهـم وتحليـل البيانـات بشـكل أسـرع.

openai.com 1
www.searchenginejournal.com 2
www.marketsandmarkets.com 3

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

إطـلاق منـصات الذكـاء الاصطـناعي التوليـدي



يقـدر حجـم السـوق العالمـي لأنظمـة الـذكاء الاصطناعـي التوليـدي بـ

51.8 مليار دولار

بحلول عام 2028

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2024 إلـى 2028 يقـدر بـ

% 35.6

3

2.4 | اقتصاديات المستقبل | الأقمار الصناعية

2.4.2

إطلاق أقمار صناعية بأحدث معايـير الجيل الخامس من الاتصالات

أطلقت شركة ساتليوت (Sateliot) مؤخراً مجموعة من الأقمار الصناعية على المدار الأرضي المنخفض (LEO)، وذلك بهدف تغطية قياسية لتقنيات إنترنت الأشياء ضيق النطاق (NB-IoT)، كما ذكرت الشركة أن تقنيتها هي الأولى التي تعتمد على أحدث إصدار لمعايير 3GPP 5G NB-IoT NTN Release 17 ، حيث يسمح هذا المعيار بإمكانية توصيل عدة أجهزة من موزّدين مختلفين على نفس الشبكة غير الأرضية (NTN)، وذلك بخلاف السائد في السوق حيث تتفرد كل شركة بالخدمة في نطاق الشبكة، مما يؤدي إلى زيادة تكاليف الخدمات على المشتركين. يذكر الخبر تعاون شركة ساتليوت (Sateliot) مع كل من كوالكوم (Qualcomm) وأبل (Apple) وسوني (Sony) وسامسونج (Samsung) لتمكين المستخدمين من الاستفادة من اتصالات الأقمار الصناعية، وذلك من خلال استخدام تقنيات (NB-IoT) بشكل موسع ومنتشر بتكلفة منخفضة تبلغ دولاراً واحداً فقط شهرياً. [1]

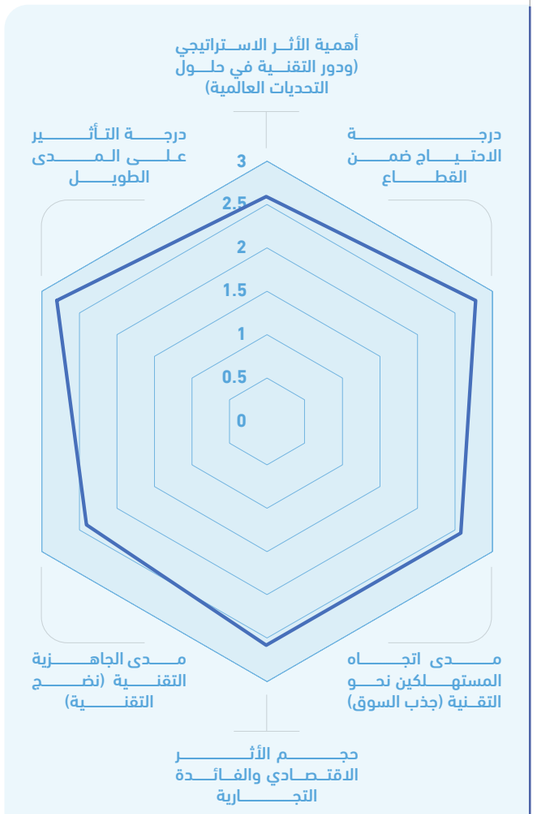
الأقمار الصناعية ذات المدار المنخفض (LEO) تتميز بخفة وزن القمر نسبياً (500 كجم)، وقرب الدوران من الأرض (ارتفاع بين 500- 2000 كلم). ونظراً لقرب مدار القمر حول الأرض، فإن زمن نقل البيانات يتم بوقت أقصر (يصل إلى 10 ملي ثانية)، مما يلاءم تقنيات الجيل الخامس وتطبيقات إنترنت الأشياء. [2]

آثـــار التقنـــية

تتظافر الجهود لمدّ تغطية شبكات الجيل الخامس عبر شبكات غير أرضية، بحيث تعمل كوكبة من الأقمار الصناعية كأبراج خلوية في الفضاء. هذا التوجه من شأنه تجسير الفجوة الرقمية وفتح الآفاق للعديد من التطبيقات المدنية والعسكرية.

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

إطـلاق أقمـار صناعية بأحـدث معايـير الجيل الخامـس مـن الاتصـالات



يقدر حجم السوق العالمي لاتصالات الجيل الخامس عبر الأقمار الصناعية بـ

22.7 مليار دولار

بحلول عام 2032

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2023 إلى 2032 يقدر بـ

% 28.6 [3]

1 spaceref.com
2 https://sateliot.space/en/
3 www.statista.com

2.4 | اقتصاديات المستقبل | سلاسل الكتل التجارة الكترونية

2.4.3

تطبيـق سلاسـل الكـتل (بلـوكتـشين) فـي التجـارة الالكترونيـة

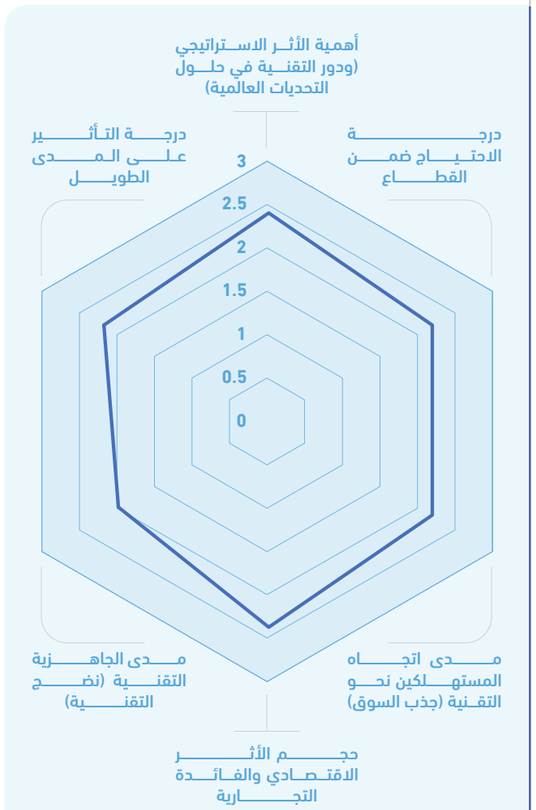
تتيح منصات التجارة الإلكترونية لمختلف الشركات بيع سلعها والترويج لعلاماتها التجارية لجمهور أوسع. ينمو قطاع التجارة الإلكترونية بشكل مستمر، حيث تتطور التقنيات والأساليب الجديدة في شراء وبيع الخدمات والأصناف. يعاني نظام التجارة الإلكترونية التقليدي من مشاكل، مثل نزاعات الدفع، ورد المبالغ المدفوعة، والاحتيال، وانعدام الشفافية؛ بينما يمكن لسلاسل الكتل (blockchain) تعزيز التجارة الإلكترونية من خلال جعل المعاملات أكثر كفاءة وأماناً. يمكن استخدام سلاسل الكتل لبناء شبكة لامركزية تسمح للأشخاص بتخزين الأصول الرقمية ومشاركتها بشكل آمن. وهذا من شأنه تمكين المشترين من الوصول إلى تفاصيل المنتج مثل أصل المنتج ومصدره، فضلاً عن تقليل مخاطر الاحتيال. على الرغم من أن تطبيق سلاسل الكتل في التجارة الإلكترونية لا يزال في مراحله الأولى، فقد نُشرت مؤخراً ورقة مراجعة في مجلة الإلكترونيات (Electronics) تتناول الأبحاث المتعلقة بالتجارة الإلكترونية القائمة على سلاسل الكتل، مع التركيز على قابلية التطبيق والمشاكل في سياق البحوث المتاحة والمنشورة. [1]

آثـــار التقنـــية

يعتبر استخدام تقنية سلاسل الكتل كبنية تحتية أو مساعدة للتجارة الإلكترونية إضافة ذات قيمة عالية تحل عدداً من المشاكل المرتبطة بتقنيات التجارة الإلكترونية، ولها استخدامات وتطبيقات عديدة. من هذه التطبيقات ما له علاقة بسلاسل الإمداد وتتبعها وجودة عملياتها وأتمتة طلبات المستخدمين وفق شروط محددة مرتبطة بأنظمة أخرى. كذلك يمكن من خلالها إدارة قواعد بيانات العملاء وسجلات مشترياتهم وبياناتهم المالية وتخزينها بمأمونية عالية. أيضاً، تقوم سلاسل الكتل بتحقيق قدر عالٍ من الأمان في مستوى الخدمة وتوفرها وحماية العمليات بها، وتتيح الربط بموثوقية عالية مع الأنظمة المختلفة .

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تطبيق سلاسل الكتل (بلوكتشين) في التجارة الالكترونية



يقدر حجم السوق العالمي لتقنيات سلاسل الكتل بـ

40 مليار دولار

بحلول عام 2025

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2023 إلى 2025 يقدر بـ

% 58.6 [2]

1 www.mdpi.com
2 www.arabianbusiness.com

2.4 | اقتصاديات المستقبل | الواقع المعزز والواقع المختلط

2.4.4

إطـلاق أجهـــزة الواقـع المعزز والواقـع المختـلط

أعلنت شركة أبل (Apple) في شهر يونيو 2023 عن أحدث منتجاتها وهي أجهزة الواقع المختلط أو الهجين (MR) الأولى من نوعها والمسماة بـ (Vision Pro) والتي تم إطلاقها في بداية عام 2024. تتميز النظارة بتوفير خيار استخدام خاصية تم الواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضي (VR) بالإضافة إلى تقنيات الواقع المختلط. وقد مثّل هذا الإعلان تشجيعًا للمطورين على تطوير تطبيقات تستفيد من تقنيات هذا الجهاز في عرض المحتوى، مما يسهل للمستخدم رؤية المحتوى الافتراضي مع بيئته المحيطة. تحوي النظارة مجموعة مستشعرات وحساسات تتبع العين واليد لتسهل من عمليات التفاعل مع البيئة الافتراضية أو المعززة والأوامر الصوتية للتحكم في تطبيقاتها. 1

وعلى صعيد آخر، تمكن فريق بحثي من معهد ماساتشوستس للتقنية (MIT) من تطوير نظارة واقع معزز مدمجة تمكّن مرتديها من التعرف وتحديد أماكن الأشياء والأجسام المخفية عن مجال رؤية العين، إما بسبب وجودها داخل صناديق أو أسفل أجسام أخرى. تعمل التقنية عبر استخدام هوائيات إشارات التردد اللاسلكي (RF) المدمجة في النظارة والتي بإمكانها التقاط الموجات الصادرة من بطاقات تحديد الهوية بموجات الراديو (RFID) المرنة والمثبتة في الأجسام المخفية وتحديد مكانها والمسافة بينها وبين مرتدي النظارة. 2

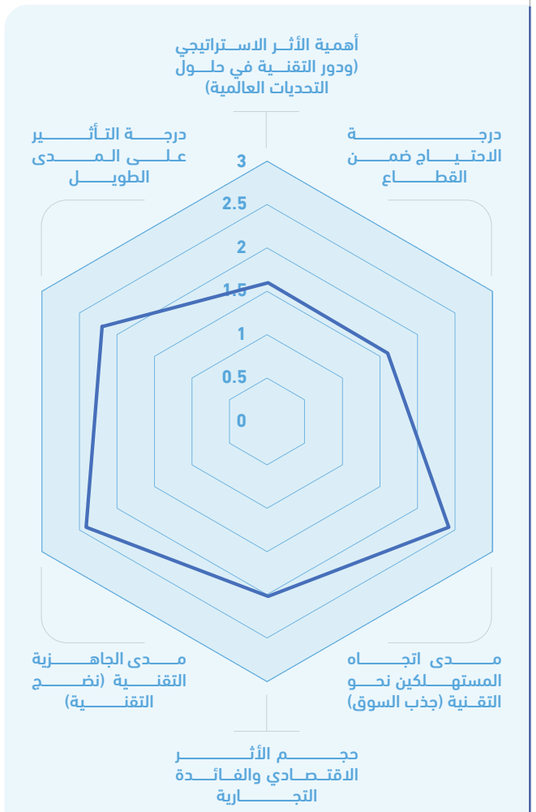
آثـــار التقنـــية

تلعب تقنيات الواقع المعزز (AR) في التعليم والتدريب دورًا مهمًا في تعزيز تجربة التعلم، حيث أن أجهزته وتطبيقاته تساهم في إضافة قيمة ثرية تفاعلية خلال التدريب والتعليم في أي مجال علمي أو صناعي. كما أن الواقع المعزز يعد عنصرًا أساسيًا في تطوير الاقتصاد الرقمي.3 أيضاً، يمكن تفعيل أجهزة وتطبيقات الواقع الافتراضي (VR) في عدة قطاعات مثل الرعاية الصحية، وقطاع التجزئة، والتجارة الإلكترونية.4

1 www.apple.com
2 news.mit.edu
3 seu.edu.sa
4 blueweaveconsulting.com
5 marketsandmarkets.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

إطـلاق أجهـزة الواقع المعزز والواقع المخـتلط



يقـدر حجـم السـوق العالمـي للواقـع المـعزز بـ

88.4 مليار دولار

بحلول عام 2026

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2023 إلى 2026 يقدر بـ

% 31.5

5

2.4 | اقتصاديات المستقبل

الحوســبة الكمومـــــية الأمـــــن السيـــــبراني

2.4.5

تطبيق الحوسبة الكمومية للحماية ضـــد الهجـــمات السيبرانية

نشر فريق بحثي من جامعة ملبورن (University of Melbourne) ورقة علمية في مجلة (Physical Review Research)، تقترح استخدام نماذج تعلم الآلة الكمومية (quantum machine learning) للدفاع ضد الهجمات العدائية (adversarial attacks) التي تولدها أجهزة الحاسب التقليدية.[1] تعمل الهجمات العدائية من خلال تحديد واستغلال الميزات التي يستخدمها نموذج تعلم الآلة. لكن الميزات التي تستخدمها نماذج تعلم الآلة الكمومية العامة لا يمكن الوصول إليها من قبل أجهزة الحاسب التقليدية، وبالتالي فهي غير مرئية لخصم مزوَّد فقط بموارد الحوسبة التقليدية. ويمكن أيضًا استخدام هذه الأفكار للكشف عن وجود هجمات معادية، وذلك باستخدام الشبكات التقليدية والكمومية في نفس الوقت. في ظل الظروف العادية، يُفترض أن كلا الشبكتين تقدمان نفس التنبؤات، ولكن في حالة وجود هجوم، فإن مخرجاتهما ستتباين لصالح النموذج الجديد المطور.[2]

أيضا يمكن لخوارزميات التعلم الآلي الكمومي تحسين قوة نماذج الذكاء الاصطناعي ضد الهجمات العدائية. بفضل الخصائص الكمومية للكيوبتات (qubits)، يمكن لهذه الخوارزميات اكتشاف الانحرافات الدقيقة في البيانات المدخلة، مما يتيح تحديد العينات المتعارضة. أيضا يمكن للحوسبة الكمومية أيضًا تعزيز تقنيات الكشف عن الحالات الشاذة من خلال تحليل الأنماط والعلاقات المعقدة في البيانات، مما يساعد على تحديد التهديدات المحتملة بشكل أكثر فعالية.[3]

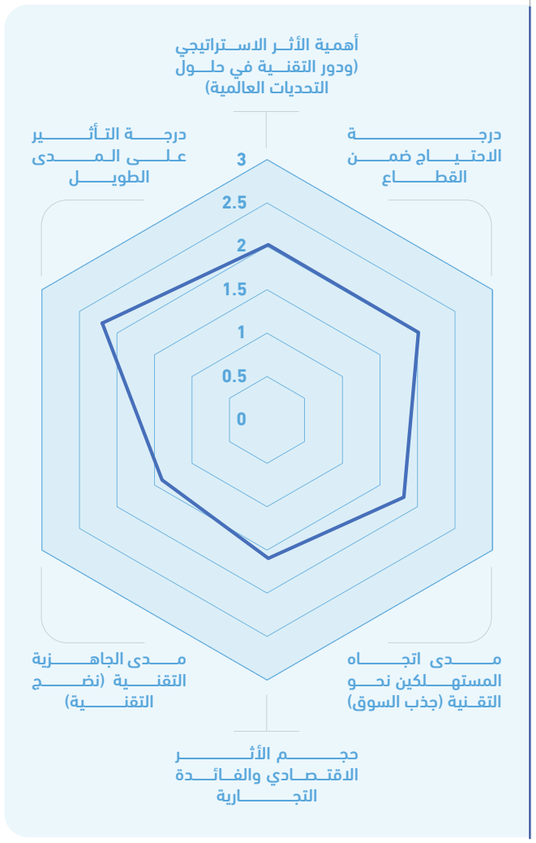
آثـــار التقنـــية

ستعمل أجهزة الحاسب الكمومية واسعة النطاق على توسيع قوة الحوسبة بشكل كبير، مما يخلق فرصاً جديدة لتحسين الأمن السيبراني. سيتمتع الأمن السيبراني في العصر الكمومي بالقدرة على اكتشاف الهجمات الإلكترونية وصدها قبل أن تسبب أي ضرر. ولكنها يمكن أن تصبح سلاحًا ذا حدين، حيث قد تؤدي الحوسبة الكمومية أيضًا إلى ظهور اكتشافات جديدة، مثل القدرة على حل المشكلات الرياضية الصعبة بسرعة، والتي تشكل أساس بعض أشكال التشفير.

1 journals.aps.org
2 techxplore.com
3 www.farvest.com
4 www.mordorintelligence.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

تطبـــيق الحوســـبة الكمومـــية للحمـــاية ضـــد الهجمـــات الســـيبرانية



يقـــدر حجـــم الســـوق العالـــمي للأمـن السـيبراني بـ

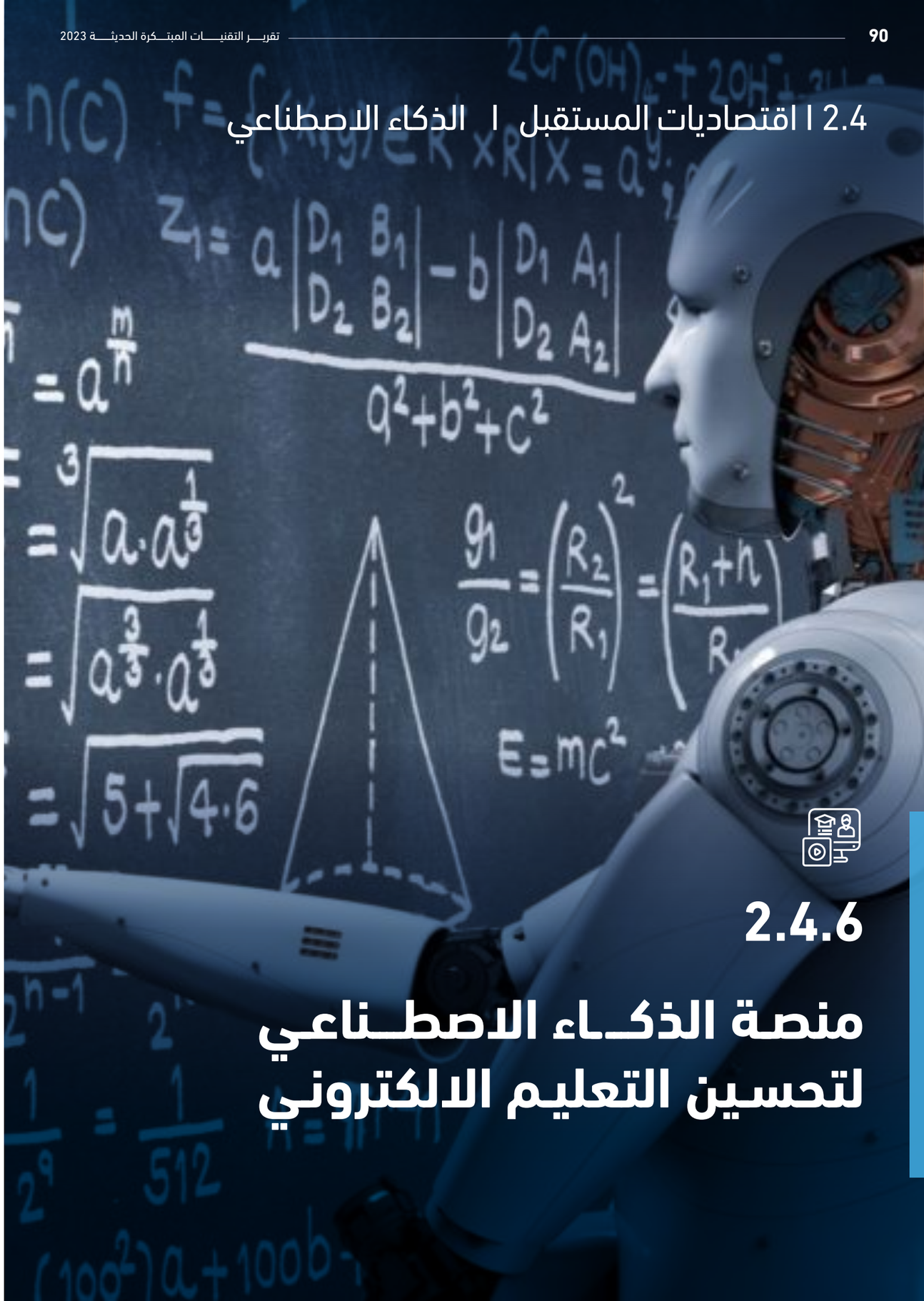
314 مليار دولار

بحلول عام 2028

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2024 إلـى 2028 يقدر بـ

% 11.44

2.4 | اقتصاديات المستقبل | الذكاء الاصطناعي



2.4.6

منصة الذكـاء الاصطـناعي لتحسين التعليم الالكتروني

قـام فريـق مـن جامعـة مدريـد المسـتقلة (Universidad Autónoma de Madrid) ببنـاء منصـة معتمـدة علـى الـذكاء الاصطناعـي بغـرض تحسـين التعليـم الالكترونـي عـن بعـد. النمـوذج الأولـي للمنصـة يوفـر أدوات للمعلميـن تمكنهـم مـن مراقبـة الـطلاب والتأكـد مـن تواجدهـم فـي الـدروس والامتحانـات عـن بعـد. بالإضافـة إلـى ذلـك، تقـوم المنصـة بتحليـل سـلوك الـطلاب باسـتخدام بيانـات مختلفـة صـادرة مـن الأجهـزة الخاصـة بهـم وذلـك للتعـرف علـى قائمـة محـددة مـن الأحـداث، مثـل افتقـاد التركيـز ومسـتوى الضغـط النفسـي للطالـب. تشـتمل المنصـة علـى تنبيهـات للمعلـم فـي حـال تـم اكتشـاف حـدث مـن القائمـة المحـددة مسـبقاً، مثـل ارتفـاع نبضـات القلـب. وهـذا ممـا يسـمح للمعلـم بالتعامـل مـع الطالـب بشـكل أفضـل مـن الطريقـة التقليديـة فـي التعليـم الإلكترونـي والتـي لا يتوفـر بهـا هـذه المؤشـرات. [1]

تسـاعد هـذه المنصـة المعلميـن فـي مجاليـن رئيسـيين: 1) التعـرف علـى الـطلاب والتحقـق مـن هوياتهـم. 2) الفهـم الأفضـل لسـلوك الـطلاب. لتحقيـق هـذه الأهـداف تقـوم المنصـة بجمـع وتحليـل بيانـات مـن أدوات مختلفـة مثـل لوحـة المفاتيـح، الفـأرة، الكاميـرا، اللاقـط، السـاعة الذكيـة، وسـوار قيـاس النشـاط الكهربائـي للدمـاغ. التعـرف علـى الـطلاب يتـم بتوظيـف تقنيتيـن فـي نفـس الوقـت وهمـا التعـرف علـى الوجـه والتعـرف باسـتخدام ضربـات لوحـة المفاتيـح. للتعـرف علـى الوجـه يتـم اسـتخدام نمـوذج ذكاء اصطناعـي يسـمى (ResNet50). وللتعـرف علـى ضربـات لوحـة المفاتيـح تـم اسـتعمال نمـوذج ذكاء اصطناعـي تـم تدريبـه علـى أكثـر مـن 4 ملاييـن عينـة بيانـات. للتعـرف علـى سـلوك الطالـب يتـم اسـتخدام نمـاذج مختلفـة. مـثلاً، لتقديـر مسـتوى التركيـز يتـم تحليـل صـور الفيديـو مـن الكاميـرا والتعـرف علـى إيمـاءات الوجـه مثـل معـدل رمـش العيـن ووضعيـة الـرأس. كذلـك يتـم تحليـل قياسـات النشـاط الكهربائـي للدمـاغ، وباسـتخدام هـذه البيانـات يُقـدَّر مسـتوى تركيـز الطالـب.

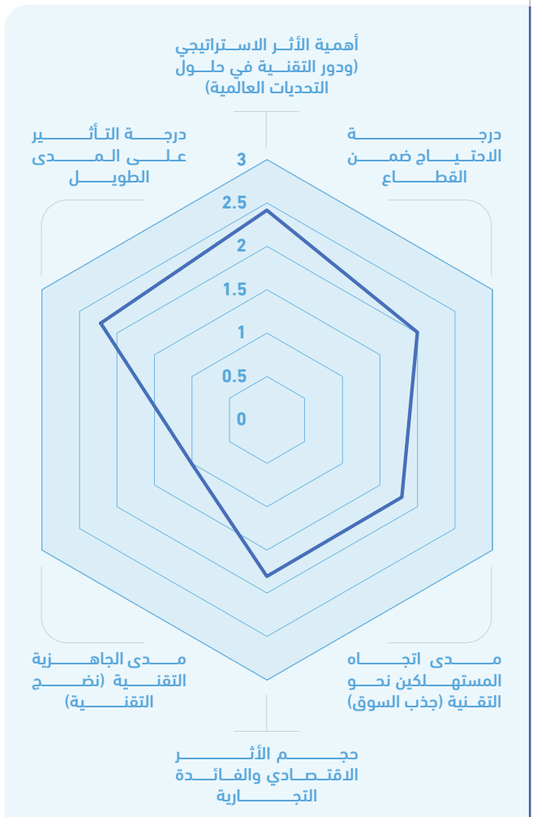
آثـــار التقنـــية

التعليـم الإلكترونـي كان ينمـو بمعـدل كبيـر خلال العقـد الماضـي. حيـث وجـدت إحصائيـة أن أكثـر مـن 77% مـن الأشـخاص قـد أخـذوا دروسـاً عـن بعـد. وفـي السـنوات الأخيـرة، تحـول التعليـم الإلكترونـي مـن خيـار هامشـي فـي التعليـم الأساسـي إلـى مكـون رئيسـي فـي منظومـة التعليـم.

1 https://arxiv.org/abs/2211.09210
2 www.grandviewresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

منصـة الـذكاء الاصطـناعي لتحـسين التعـليم الالكترونـي



يقـدر حجـم السـوق العالمـي للتعليـم بالـذكاء الاصطناعـي بـ

29 مليار دولار

بحلول عام 2030

معـدل النمـو السـنوي المركـب خلال الفتـرة مـن 2022 إلـى 2030 يقـدر بـ

% 6.0 [2]

2.4 | اقتصاديات المستقبل | الحوسبة الضوئية

2.4.7

الحوسبة الضوئية لتقليل الطاقة اللازمة لتعدين العملات الرقمية

استخدم فريق بحثي من جامعة ستانفورد (Stanford University) الحوسبةَ الضوئية (photonic computing) والتي تعتمد على الفوتونات لمعالجة البيانات الخاصة بتقنية سلاسل الكتل (Blockchain) لتحقق خفضاً لمعدل الهدر واستهلاكاً أقل للطاقة، والذي ينعكس إيجابياً على كفاءة الطاقة في تعدين العملات الرقمية، مما يساهم في رواجها بشكل أكبر نظراً لتقليل التكلفة مقارنة بالتعدين باستخدام الحوسبة التقليدية. كما تتميز الطريقة المبتكرة بحاجتها الأقل لمعالجة للأخطاء وتصويبها، لما تتمتع به الحوسبة الضوئية من خصائص تساهم في ذلك. كما يمكن استخدام الحوسبة الضوئية في مجالات أخرى خلاف العملات المشفرة، كتبادل الملفات الطبية بشكل سري والعقود الذكية وعمليات التصويت والأنظمة اللوجستية متعددة الأطراف. 1

طور الباحثون مخططًا للحوسبة يعتمد على الضوء يسمى (LightHash) والذي يستخدم دائرة ضوئية لتقليل الطاقة اللازمة لتطبيقات سلاسل الكتل والعملات المشفرة. يستهلك تعدين العملات المشفرة -وهي عملية للتحقق من المعاملات وإضافة عملة مشفرة جديدة إلى سلاسل الكتل- ما يصل إلى 1% من طاقة العالم، ومن المتوقع أن تزداد النسبة مع ازدياد الاستخدام. يتوقع الباحثون أن هذا التصميم إذا تم تنفيذه على نطاق واسع يمكن أن ينتج عنه تحسن بنحو عشرة أضعاف في استخدام الطاقة.

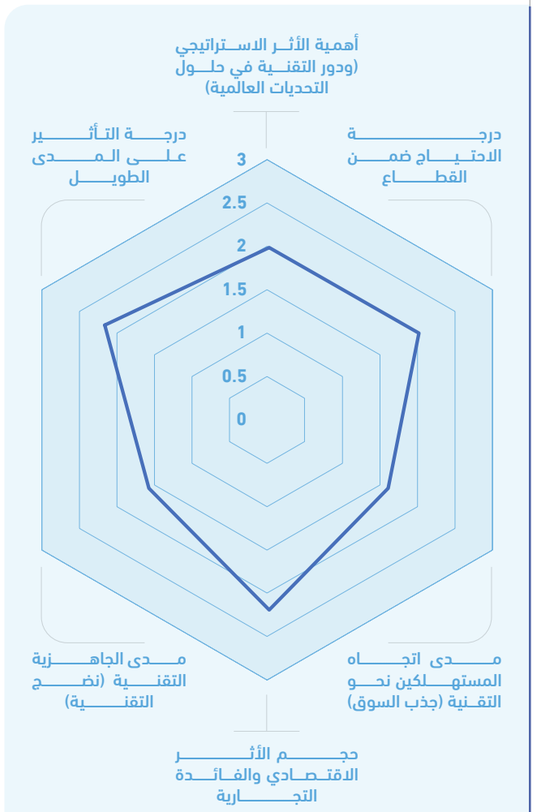
آثـــار التقنـــية

تقنية سلاسل الكتل تعتبر من أكثر التقنيات صعوبة في تعديل البيانات المدخلة فيها، نظراً لتوزيعها على عدد كبير من السجلات التي تحفظ البيانات بدلاً من سجل مركزي واحد لذلك. وبالتالي لإجراء أي تعديل، يجب أن تضاف البيانات الجديدة وتربط بالبيانات السابقة ويشار لها بأنها معدلة، ويلزم تسجيلها في جميع السجلات ذات العلاقة، مما أكسب هذه التقنية مناعة ضد التلاعب والتزوير لتصبح مستقبل التعاملات وعمليات التوثيق الرقمية. ويستلزم ذلك تحسين جودة استخدامها وتقليل تكاليف الطاقة اللازمة لتعدينها لتصبح متداولة على نطاق واسع بين المؤسسات والأفراد. وتعتبر تجربة استخدام الحوسبة الضوئية رائدة في تذليل هذه العقبات.

1 opg.optica.org
2 www.precedenceresearch.com

التقييم متعدد المحاور للنقلة التقنية:

الحوسبة الضوئية لتقليل الطاقة اللازمة لتعدين العملات الرقمية



يقدر حجم السوق العالمي لتعدين العملات المشفرة بـ

7.0 مليار دولار

بحلول عام 2031

معدل النمو السنوي المركب خلال الفترة من 2023 إلى 2031 يقدر بـ

% 12.9 2

هيئة تنمية البحث
والتطوير والابتكار
Research Development
and Innovation Authority

@RDIA | 2024

The Research Development and Innovation Authority | www.rdia.gov.sa | هيـــئة تنمـــية البحـــث والتطـــوير والابتـــكار
4019 King Abdullah Road - Al-Raed District - Riyadh - KSA
4019 طريق الملك عبدالله - حي الرائد - الرياض - المملكة العربية السعودية

جميع الحقوق محفوظة © لهيئة تنمية البحث والتطوير والابتكار 2024
All rights reserved © Research, Development, and Innovation Authority