163

عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

2025

استخدام الذكاء الصنعي لتوثيق الفيروسات المخفية في الحمض النووي الريبوزومي

متلازمة التعب المعلوماتي والإرهاق الرقمي

استخدام التقنيات النووية لتحديد الجودة البروتينية لأغذية الأطفال من أجل مكافحة سوء التغذية

http://aec.org.sy/atomicmag.php

عالم الذرّة

مجلة دورية تصدر عن هيئة الطاقة الذرّية السورية. وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين الذرّي والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

المدير المسؤول

د. مضر العكلة

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية السورية

رئيس هيئة التحرير

د. فواز كرد علي

أعضاء هيئة التحرير

د. رامي جرجور
د. دانا جودت
د. عماد خضير
د. محمد بهاء الصوص
د. سعدو الظواهرة
د. عبد القادر عبادي
د. بشار عبد الغني
د. ماهر عبودي
د. عبد الوهاب علاف
د. وليد الفارس
د. عبد الغفار اللافي
د. يحيى لحفي

التدقيق اللغوي

ريما سنديان

الإخراج الفني

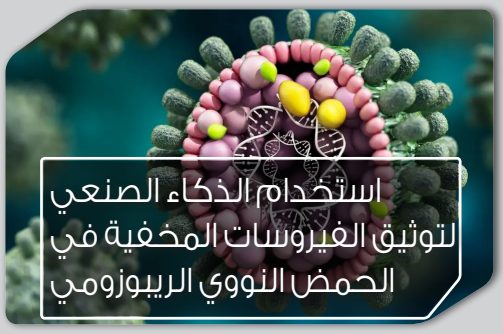
بشار مسعود

المحتويات

مقـــالات

متلازمة التعب المعلوماتي والإرهاق الرقمي 8

مبادئ إدارة الجودة السبعة 14


استخدام الذكاء الصنعي لتوثيق الفيروسات المخفية في الحمض النووي الريبوزومي 21

تعليم العلوم النووية وتقاناتها: المستجدات والآفاق المستقبلية 32

التصوير الجزيئي للثدي نحو آفاق جديدة في الكشف المبكر عن سرطان الثدي 44

فطريات تأكل البلاستيك .. بارقة أمل جديد لإنقاذ الأرض من النفايات 52

ثورة في علم البروتينات: مستخدمو الذكاء الصناعي يحصدون جائزة نوبل في الكيمياء 61

الذّكاء الصنعي في القطاع الزراعي: التطبيقات الحالية والآفاق المستقبلية 72

أخبار علمية

من المزرعة إلى طاولة الطعام
التقنيات النووية التي تسهم في وضع الغذاء على موائدنا 89

ثلاث من أبرز حالات الغش الغذائي
وكيف يسهم علماء المجال النووي في اكتشافها 93

استخدام التقنيات النووية
لتحديد الجودة البروتينية لأغذية الأطفال من أجل مكافحة سوء التغذية 96

قواعد النشر في مجلة عالم الذرّة

شروط النشر

- أن يتوجه المقال لأكبر شريحة علمية ولم يسبق نشره أو إرساله للنشر في مجلة أخرى.
- أن يكتب المقال بمنهجية علمية صحيحة وبلغة سليمة.

شروط الإعداد

- يفضل أن يكون عنوان المقال مقتضباً ومعبّراً عن المضمون.
- يلي ذلك ملخص، لا يتجاوز مئة وخمسين كلمة، باللغة العربية وملخص باللغة الإنجليزية، على صفحتين منفصلتين، يتضمن كل منهما عنوان المقال، واسم مقدم العمل وصفته العلمية، والمؤسسة العلمية التي يعمل بها وعنوان المراسلة باللغتين العربية والأجنبية tapo@aec.org.sy. يتبع كل ملخص الكلمات المفتاحية على الصفحة نفسها.
- الجداول: يكتب عنوان الجدول فوق الجدول ويعطى رقماً متسلسلاً. تشرح الرموز الواردة في الجدول إذا لم يرد ذلك في متن النص.
- الأشكال: يكتب عنوان الشكل تحت الشكل ويعطى رقماً متسلسلاً. تشرح الرموز الواردة في الشكل إذا لم يرد ذلك في متن النص. وتوضع الأشكال في ملف منفصل وتوضع التسميات في الشكل باللغة العربية أو توضع تحت الشكل ترجمة باللغة العربية للكلمات في الشكل.
- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالة (*،+، x،..) في الصفحة ذاتها.
- المراجع: توضع المراجع إذا كانت موجودة آخر النص وترتب أبجدياً. ويتم إعدادها في قائمة على النحو التالي:

الأوراق العلمية:

- Murad H, Ali B, Twair A, Baghdadi K, Alhalabi M and Abbady A (2023). "In House" assays for the quantification of Annexin V and its autoantibodies in patients with recurrent pregnancy loss and in vitro fertilisation failures. Science Report 13, 22322. https://doi.org/10.1038/s4159849768--023-w.

الكتب:

- Zaman M, Heng L, Müller C (2021). Measuring Emission of Agricultural Greenhouse Gases and Developing Mitigation Options Using Nuclear and Related Techniques .377 pages. Springer. ISBN 9781-55395-030-3-, https://doi.org/10.10078-55396 030--3-978/.

فصل في كتاب:

- Mettam G R and Adams L B (2020). How to prepare an electronic version of your article, in: B S Jones, R Z Smith (Eds.), Introduction to the Electronic Age, E-Publishing Inc., New York, pp. 281 - 304.

أطروحات:

- Khoder H (2020). Research and development of multi-aspect modeling method for bus-modular radio-electronic systems. The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT).152 pages, Saint-Petersburg/Russia.

مراجع الانترنت:

- University of Liège (2024). Advanced artificial intelligence: A revolution for sustainable agriculture. Available at: www.sciencedaily.com/releases/2024240618115419/06/.htm. Science Daily (accessed 18 June 2024).

تقارير:

- International Atomic Energy Agency, Enhancement of Modelling Approaches for the Assessment of Radionuclide Transfer in the Marine Environment, IAEA-TECDOC-2060, IAEA, Vienna (2024), https://doi.org/10.61092/iaea.pjuc-aha9.

نشرات إخبارية:

- International Atomic Energy Agency, Food and Environmental Protection Newsletter Vol. 25 No. 1, January 2022, Food and Environmental Protection Newsletter No. 2501, IAEA, Vienna.

- تراعى في كتابة النص على الحاسوب إرشادات التنضيد حول علامات الترقيم والحالات الأخرى الواردة في المجلة والموجودة على موقع مجلة عالم الذرة.
- يذكر مرة واحدة في المقال، المقابل الأجنبي للمصطلح العربي.
- تستخدم وحدات قياس الجملة الدولية (SI) في القياس.
- عدم تأطير الأشكال والخطوط البيانية بأي إطار.
- كتابة الرموز الأجنبية على شكل نص أو إدراج الرموز المعقدة والمعادلات على شكل صورة، وعدم استعمال محرر المعادلات.
- استخراج وتصدير المنحنيات البيانية على شكل صور بدقة عالية (أكبر من 300dpi).
- إرفاق الصور والأشكال البيانية المدرجة في النص بصيغة صورة بدقة عالية (أكبر من 300dpi)، كملفات منفصلة إضافة لوجودها في سياق النص.
- اختيار الورق بقياس 21×29.7 سم (A4)، واختيار نوع الخط Simplified Arabic وحجم 14 للنص العربي، وخط نوع Times New Roman وحجم 12 للنص الأجنبي، واختيار فراغ مضاعف بين السطور.
- يجب ألا يتجاوز عدد صفحات المقال 20 صفحة.

شروط الإيداع والتحكيم

- تقدم نسخة ورقية من مادة النشر منضدة بالحاسوب ومطبوعة على ورق بقياس A4. يرافق ذلك نسخة إلكترونية بصيغة Word، (ويفضل إرسال نسخة إلكترونية إضافية بصيغة pdf).
- يحق لإدارة المجلة إعادة البحث لتحقيق المنهجية العلمية وشروط النشر.
- تخضع مادة النشر للتحكيم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر، و تلتزم هيئة التحرير بإشعار معد المقال بنتيجة التحكيم و يعطى الباحث مدة شهر كحد أقصى للأخذ بملاحظات المحكمين أو الرد على ما تطلبه رئاسة التحرير وتسليم المقال بشكله النهائي للنشر.

إرشادات منشودة إلى المشاركين في المجلة

حول علامات الترقيم وبعض الحالات الأخرى عند كتابة النصوص باستخدام الحاسوب

بقلم المرحوم أ. د. زياد القطب

تساعد علامات الترقيم الكاتب على تقسيم كلامه وترتيبه وتوضيح مقصوده، كما تساعد القارئ على فهم ما يقرأ ومعرفة أماكنِ التوقف وأداء النبرة المناسبة.

غير أن المقصود من استعراض علامات الترقيم هنا هو كيفية توظيفها وتلافي الأخطاء عندما نستخدم الحاسوب في كتابة النصوص، الأمر الذي يواجه المنضّد لدى التحكم في مكان الفراغات بين الكلمات وعلامات الترقيم، ولطالما انعكس ذلك سلباً على كادر التنضيد في مكتب الترجمة بالهيئة عند عدم مراعاة الإرشادات المدرجة أدناه.

لذا فإننا نهيب بالعاملين في أقسام الهيئة ودوائرها ومكاتبها المختلفة التقيّد بمضمون هذا التعميم تلافياً لكل إشكال قد يواجه كادر التنضيد. وسنورد في طيّه مثالاً عن كل واحدة من علامات الترقيم لبيان القاعدة التي ينبغي اتباعها، ذاكرين في هذا السياق الإشكالية التي قد تحصل في حالة عدم التقيد بالقواعد المدونة أدناه. فمثلاً عندما نترك فراغاً بين القوس والكلمة التي تلي قوس البداية أو تسبق قوس النهاية في المثال التالي: "في الواقع قلبت المعالجة بسلفيد الهدروجين الفئران التي نجري عليها تجاربنا من حيوانات ذات دم حار إلى حيوانات ذات دم بارد [3m]"، يتضح الإرباك الذي قد يقع فيه القارئ نتيجة ترك فراغ مفروض من الحاسوب بين الرقم 3 والقوس النهائي دونما قصد من جانب المنضد.

وبهدف تجنب مثل هذه الحالات وتوخّياً منّا للإخراج المتناسق والموحّد فإننا نأمل التقيّد بالملاحظات التالية المتعلقة بقواعد كتابة العلامات المدرجة أدناه:

البند الأول

علامات الترقيم: النقطة (.)، الفاصلة (،)، الفاصلة المنقوطة (؛)، النقطتان (:)، علامة الاستفهام (؟)، علامة التعجب (!)، النقاط المتتالية (...)، علامة الاعتراض (-...-)، علامة الاقتباس ("...")، الواصلة الصغيرة (-)، الأقواس ({}، []، ())، الشرطة المائلة (/).

وذلك مع التنبيه إلى ترك فراغ واحد بعد علامة الترقيم وليس قبلها، كما هو مبيّن أدناه:

النقطة (.): توضع في نهاية الجملة لتدلَّ على تمام المعنى، وفي نهاية الكلام.

- مثال: صدر اليوم العدد الجديد من مجلة عالم الذرّة. نأمل أن يحوز هذا العدد رضاء القارئ الكريم.

الفاصلة (،): توضع بين الجمل القصيرة المتعاطفة أو المتّصلة المعنى.

- مثال: ولذلك فإن علماء المناعة لديهم اهتمام شديد، ليس فقط باكتشافات ماهية الجزيئات المشتركة في هذه الحوارات، ولكن أيضاً بكيفية تفاعلها لتتمكن من اتخاذ مثل تلك القرارات الحاسمة.

الفاصلة المنقوطة (؛): توضع بين الجمل الطويلة المتّصلة المعنى، أو بين جملتين تكون إحداهما سبباً في الأخرى.

- مثال: من أهدافنا نشر المعرفة العلمية؛ بمعنى إتاحتها لجميع الراغبين بالمعرفة.

النقطتان (:): توضعان بعد كلمة قال أو ما في معناها وعند الشّرح والتفسير دون ترك فراغ قبلهما.

- مثال: الهدفان المهمان هما: إنتاج عمل مهم وإيصاله إلى القارئ الكريم.

علامة الاستفهام (؟): توضع بعد الجملة الاستفهامية مباشرة دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: أين ذهبت المادة المضادة بكاملها؟

علامة التعجب (!): توضع بعد التَّعجب أو النداء أو ما يدلُّ على الفرح أو الألم أيضاً دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

النقاط المتتالية (...): تدلُّ على أنَّ الكلام فيه حذف أو أنَّه لم ينته ويترك فراغ قبلها وبعدها.

- مثال: يرى هولستون وأبادوراي "أن في بعض الأماكن، لا تكون الأمة وسيطاً ناجحاً للمواطنة ... وأن مشروع المجتمع القومي للمواطنين، خاصة الليبرالي ... يبدو، أكثر فأكثر، كأنه استنفد أغراضه وفقد مصداقيته".

علامة الاعتراض (-...-): وهي خطَّان صغيران توضع بينهما جملة معترضة داخلة بين شيئين متلازمين من الجملة كالفعل والفاعل أو الفعل والمفعول به، أو المبتدأ والخبر، أو المتعاطفين.

- مثال: إن المؤتمر الدولي -للجيل الرابع من المفاعلات- مبادرة مهمة.

علامة الاقتباس ("..."): وهي قوسان صغيران يوضع بينهما ما ننقله من كلام بنصِّه دون تغيير.

- مثال: أنجز الباحث مقالاً بعنوان "سوق اليورانيوم ومصادره" وهو في طريقه إلى النشر.

الواصلة الصغيرة (-): توضع في أوَّل الجملة وبأوَّل السَّطر للدَّلالة على تغير المتكلِّم اختصاراً لكلمة (قال أو أجاب) أو للإشارة إلى بند جديد. ونشير هنا إلى ضرورة وضع فراغ بعدها.

- مثال: - المقدمة.

وتوضع للوصل بين كلمتين أو للوصل بين رقمين وذلك بدون ترك فراغ قبلها أو بعدها.

- مثال: مركبات عضوية-معدنية.

وكذلك توضع بين رقمين.

- مثال: انظر المراجع 154-161.

الأقواس {...} [...] (...): عند كتابة أي من هذه الأقواس يُترَك فراغ قبلها وآخر بعدها وليس بينها وبين ما بداخلها.

- مثال على واحد من هذه الأقواس: يجب أن يشمل مفهوم الإنتاجية كلاً من القيمة (الأسعار) والكفاءة.

الشَّرطَةُ المائلة (/): لا يُترَك فراغ قبلها ولا بعدها.

- مثال: نيسان/أبريل.

البند الثاني (حالات أخرى):

الأرقام: يجب التقيد بكتابة الأرقام العربية (0، 1، 2، ...، 9) وليس الهندية (٠، ١، ٢، ....، ٩) وعدم ترك فراغ بين الرقم والفاصلة في حين يترك الفراغ بالضرورة بعد الفاصلة والرقم الذي يليها.

الأرقام التي نكتبها داخل الأقواس لا يترك فراغ قبل الأول منها ولا بعد الأخير منها (مثال: [1، 4، 7]، أما إذا كانت متتابعة فتكتب على النحو التالي [1-5]).

الكلمات الأجنبية في النص العربي: داخل النص العربي لا تبدأ الكلمات الأجنبية بحرف كبير إلا إذا كانت اسم علم أو بلد (مثال: superconductivity، Syria). ولطالما خلقت لنا هذه الإشكالية متاعب جمّة.

الكلمات المفتاحية: نضع الفاصلة بين الكلمة المفتاحية والتي تليها، وإذا كانت الكلمات المفتاحية مترجمة إلى الإنكليزية أو الفرنسية فنبدؤها بالحروف الصغيرة إلاّ إذا كانت الكلمة اسم علم أو بلد عندها نكتب الحرف الأول من الكلمة كبيراً (مثال: Alfred.)

حرفا العطف (و) و (أو): لا يترك فراغ بعد حرف العطف (و)، مثال: إن التنافسية الاقتصادية هي ضرورة للسوق، وهي أساسية لمنظومات الجيل الرابع، أمّا إذا بدأت الكلمة التالية لحرف العطف (و) بحرف الواو أيضاً فإنه يُفضّل ترك فراغ بين الواو والكلمة التي تليه (مثال: تركت أهلي صباح اليوم و ودّعتهم في المطار).

أما في حالة الأسماء، نضع حرف الواو (و) منفصلاً بين اسم المؤلف وبين الاسم الذي يليه (مثال: طريف شربجي و زهير أيوبي و فاطر محمد).

في حالة (أو)، ينبغي ترك فراغ بعدها (مثال: حُدِّدت المسائل المتوقع حلّها سواء على المستوى الثقافي أو التنظيمي أو الإداري).

النسبة المئوية (%): نجعلها دائماً على يسار الرقم وبدون فراغ بينها وبين الرقم (مثال: 40%).

الواحدات (ميغاهرتز، سم، كيلوواط، ...): إذا كانت بالعربية نضعها على يسار الرقم وإذا كانت بالإنكليزية نضعها على يمين الرقم ونترك فراغاً بينها وبين الرقم ونذكر مثالاً: (15 كيلوغراماً (15 kg)).

أشهر السنة الميلادية: نكتبها كما يلي دون ترك فراغات بينها وبين الشرطة المائلة:

كانون الثاني/يناير، شباط/فبراير، آذار/مارس، نيسان/أبريل، أيار/مايو، حزيران/يونيو، تموز/يوليو، آب/أغسطس، أيلول/سبتمبر، تشرين الأول/أكتوبر، تشرين الثاني/نوفمبر، كانون الأول/ديسمبر.

متلازمة التعب المعلوماتي والإرهاق الرقمي

منذ حوالي 2000 عام مضت لاحظ الفيلسوف الروماني سينيكا أن أقرانه يضيعون وقتهم ومالهم في جمع عدد كبير من الكتب، وحذر أن كثرة الكتب تعدّ لهواً، وبدلاً من ذلك أوصى بالتركيز على عدد قليل من الكتب، ولكن بجودة عالية وأن تتم قراءتها بعمق وتكرار. وبعد اختراع الآلة الطابعة في القرن الخامس عشر، فقد اعتبر البعض أن فرط المعلومات التي أنتجتها الآلة كان يعد لبعض الناس لهواً ومضيعة للوقت.

في يومنا هذا، أدى الحمل الزائد من المعلومات والإفراط في التحفيز الرقمي إلى الإرهاق الرقمي، وهو وضع يتعرض فيه المرء للإرهاق الفكري والجسدي وذلك بسبب قضاء وقت طويل أمام الشاشات. تتلخص أعراض هذا الوضع بالفتور واللامبالاة أو الإرهاق الفكري الذي ينجم عن التعرض لكم كبير من المعلومات. إن الضغط المتولد من محاولة استيعاب كم كبير جداً من المعلومات من وسائل التواصل الاجتماعي والإنترنت والعمل يسبب لنا المرض، حيث يتدخل في نومنا ويخرب تركيزنا ويهدم نظام المناعة لدينا. وقد أطلق الطبيب النفسي ديفيد لويس على هذا المرض اسم متلازمة التعب المعلوماتي.

يتناول هذا البحث متلازمة التعب المعلوماتي وبالتحديد دور الأدب الرمادي في التسبب بهذه المتلازمة. ولفهم أفضل للأدب الرمادي حولنا من الكافي النظر فقط إلى الموقع الرمادي على النت وفيه مايزيد عن 150 نوعاً من الأدب الرمادي. وتتضمن مقالات ومدونات وصور ومقاطع فيديو وبريد إلكتروني ومواقع ويب وبيانات صحفية ومحاضرات ودليل مستخدم وأطروحات أكاديمية وأمور أخرى عديدة. وفي الوقت الحالي يلعب الأدب الرمادي دوراً مهماً، ويعدّ من أهم المسببات في الإرهاق الرقمي. ويتناول هذا البحث أشكال الأدب الرمادي والحجم الذي يتم توليده من المعلومات وتتم مشاركته وعدد مرات الإنشاء والتغيير والانتشار والموثوقية والحجم. كما يقدم هذا البحث مقترحات تتعلق بكيفية التعامل بنجاح مع متلازمة الإرهاق المعلوماتي، ومقترحات تتعلق بكيفية الاستمرار في استخدام أدب رمادي ذي قيمة بكفاءة عالية ومقترحات عن كيفية القيام بكل ذلك دون التسبب في ضغط غير ضروري أو هدر للوقت.

الكلمات المفتاحية: *الإرهاق الرقمي، الأدب الرمادي، متلازمة الإرهاق المعلوماتي.*

مقدمة

هل جربت اليوم ذلك الشعور المزعج بأنه لديك الكثير من المعلومات والقليل من الوقت للتعامل معها؟ وهل تشعر أحياناً بالإرهاق الفكري جراء التعرض لكمٍّ كبير من المعلومات؟
أنت تطلب مهامَّ متنوعة لكن ذلك يضعف ذاكرتك وتركيزك في حين تزداد سرعة الانفعال والتوتر لديك. كما يتنامى لديك الشعور بالعجز مترافقاً مع مشكلات في العلاقات مع زملائك في العمل وأهلك في المنزل.

أنت إذاً تتعرض لمتلازمة التعب المعلوماتي والإرهاق الرقمي حيث يؤدي الكم المحير من الأدب الرمادي دوراً هاماً.

نحن نعتقد أن التعب المعلوماتي هو ظاهرة جديدة وشيء فريد من نوعه وخاص بالقرن الواحد والعشرين. إلاّ أنه منذ حوالي 2000 سنة اشتكى الفيلسوف الروماني سينيكا الأصغر من أن أقرانه يضيعون الوقت والمال في جمع عدد كبير من الكتب محذِّراً من أن وفرة الكتب هي نوع من اللهو وتشتيت الانتباه. وقد أوصى بالتركيز على عدد أقل من الكتب بنوعية أفضل وقراءتها بعمق وتكرار.

وبعد أن قام جوهان غوتنبيرغ باختراع آلة الطباعة في القرن الخامس عشر، فإن وفرة المعلومات التي تم إنتاجها ومشاركتها ونشرها على نطاق واسع كان أمراً ذا نتائج عكسية معوقاً لبلوغ الهدف. وكذلك فإن اختراع الحواسب الشخصية وإنشاء الشبكة العالمية للمعلومات قد زاد بشكل كبير من حجم المعلومات المتوافرة بسهولة لنا جميعاً.

متلازمة التعب المعلوماتي information fatigue syndrome (IFS)

من المؤكد أن التحميل الزائد للمعلومات وفرط التحفيز الرقمي يسببان إرهاقاً رقمياً، وهو وضع يتعرض فيه الشخص للإعياء الجسماني والفكري بسبب قضائه وقتاً طويلاً امام الشاشات.

إن التوتر والإجهاد الذي تسببه محاولات استيعاب كم كبير من المعلومات من وسائل الإعلام، خاصة وسائل التواصل الاجتماعي والإنترنت والعمل يجعلنا نشعر بالمرض ويتدخل في أسلوب نومنا ويخرب تركيزنا وذاكرتنا بل إنه قد يهدم نظام المناعة لدينا ووضعنا الصحي الجيد بشكل عام. ويمكن تعريف متلازمة التعب المعلوماتي بأنها شعور مزعج وضجر من جراء مواجهة كم كبير من المعلومات غير المنظمة وغير المفهومة.

إذا ما بحثنا في مصطلح متلازمة التعب الذي يعرف أيضاً بفرط أو تسمم المعلومات فسوف نصادف ديفيد لويس، وهو عالم نفس بريطاني عاش ما بين عام 1941 إلى 2001 وهو يعدّ أول من استخدم هذا المصطلح، وقد قال: "إن الحصول على كمّ كبير من المعلومات يمكن أن يكون خطراً كالحصول على كمّ قليل منها". ومن بين المشكلات التي يسببها هذا المرض شلل القدرة على التحليل؛ حيث يواجه المرء صعوبة في إيجاد الحلول الصحيحة أو اتخاذ القرارات السليمة.

وفي تقريره المعنون بـ "هل ستموت من أجل الحصول على المعلومات؟" الذي تم نشره في عام 1998 ذكر لويس أن فرط المعلومات يخنق ويعرقل العديد من الأعمال ويؤدي إلى تشوش فكري وحتى إلى مرض جسماني لدى المديرين في مختلف المستويات. وقد توقع لويس أن الأمر سوف يزداد سوءاً، ويبدو أن توقعاته كانت صحيحة. وقد حصل على نتائجه من استقصاء جرى على 1300 رجل أعمال في بريطانيا وأمريكا وسنغافورة وهونغ كونغ وأستراليا، وقد تضمن رجال أعمال كباراً ومتوسطين وصغاراً في العديد من قطاعات الصناعة، حيث إن ثلثي هؤلاء أثبتوا أن الضغط الناتج عن التعامل مع كمّ كبير من المعلومات قد خرب علاقاتهم الشخصية وزاد من التوتر في التعامل مع زملائهم في العمل وأدى إلى انحدار في الرضا الوظيفي. وقد شعر أربعون بالمئة منهم بأن القرارات المهمة قد تم تأجيلها وأن القدرة على الاختيار قد تعرقلت بسبب فرط المعلومات. وقد صرح ثلثا الأشخاص الذين خضعوا للاستقصاء بأنهم قد عانوا من مشاكل صحية كنتيجة مباشرة للتوتر الناجم عن فرط المعلومات.

متلازمة التعب الناجم عن الأدب الرمادي grey literature fatigue syndrome (GLFS)

لنبحث الآن في الأدب الرمادي والدور الذي يؤديه كجزء من متلازمة التعب المعلوماتي. يعد فرط الأدب الرمادي جزءاً مهماً من فرط المعلومات مسبباً في متلازمة التعب المعلوماتي.

ثمة أمران أساسيان يجعلان من الأدب الرمادي عاملاً أساسياً يؤدي إلى متلازمة التعب المعلوماتي، وهما التنوع الواسع النطاق لوثائق الأدب الرمادي وأنواعه وكمياته الكبيرة من جهة ونوعية مخرجات الأدب الرمادي من جهة أُخرى. كما أن الأدب الرمادي هو سياقي وغالباً ما يعتمد على البرمجيات، لذلك فمن الصعب جمعه وتجهيزه حتى أنه من الأصعب أن تجعل له معنى وتحفظه للاستعمال المستقبلي.

نذكر أمثلة على الأدب الرمادي كوسائل التواصل الاجتماعي والبريد الإلكتروني والتقارير والبيانات.

أشكال الأدب الرمادي grey literature types

لإعطاء صورة أوضح عن أشكال الأدب الرمادي بإمكاننا العودة إلى موقع GREY NET على الشبكة العنكبوتية، حيث يضع الموقع قائمة بأكثر من 150 نوعاً من أنواع الوثائق، تتضمن قواعد البيانات ومجموعات البيانات وأوراقها وأطروحاتها وبيانات الأقمار الصناعية وبيانات تعداد السكان وبيانات الإنتاج الفكري.

أعراض التعب المعلوماتي information fatigue symptom

إذاً، ماهي الأعراض الرئيسية المرئية والسلوكية والتغييرات الأخرى التي تطرأ على المرء الذي يعاني من متلازمة التعب الذي يسببه ضغط المعلومات بما فيه الأدب الرمادي؟

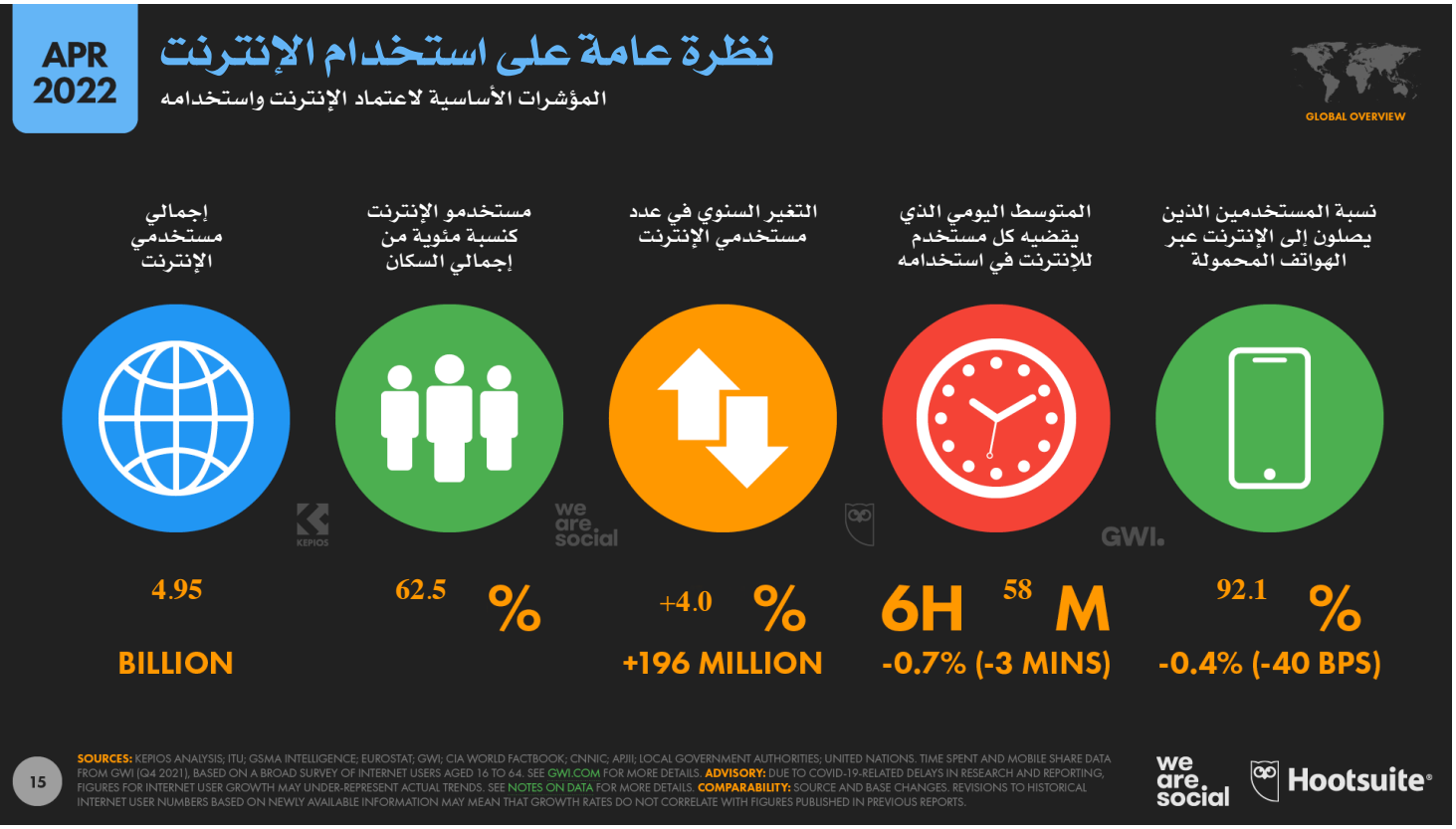
- الفتور.
- اللامبالاة.
- التعب الفكري الناجم عن التعرض لوفرة المعلومات.
- ضعف التركيز.
- إخفاق في الذاكرة القريبة.
- مهام متعددة كثيرة ينتج عنها مهام غير مكتملة.
- التحفيز المفرط الذي يسبب صداعاً وغثياناً.
- التوتر.
- مشاكل في العلاقات المنزلية.
- سرعة الانفعال.
- الشعور بالعجز.
- الشعور بحاجة ملحة للاتصال بالإنترنت.

الأسباب الرئيسية لمتلازمة التعب المعلوماتي:

كما عبر عنها الروائي والشاعر الكبير غيرترود شتاين بقوله: "يحصل المرء على كمٍّ هائل من المعلومات طيلة اليوم بحيث يفقد فطرته السليمة"، وأما أسبابها الرئيسية فهي بالدرجة الأولى:

① العالم الرقمي

وبما أننا نعيش في عالم مختلف هذه الايام وهو العالم الرقمي، فإن سماته الرئيسية تشكل الإرهاق الرقمي وتكوّنه. في كانون الثاني/يناير/ من عام 2022 كان عدد سكان العالم 7,19 بليون نسمة، 57 بالمئة منهم يعيشون في مناطق متحضرة، ومايزيد



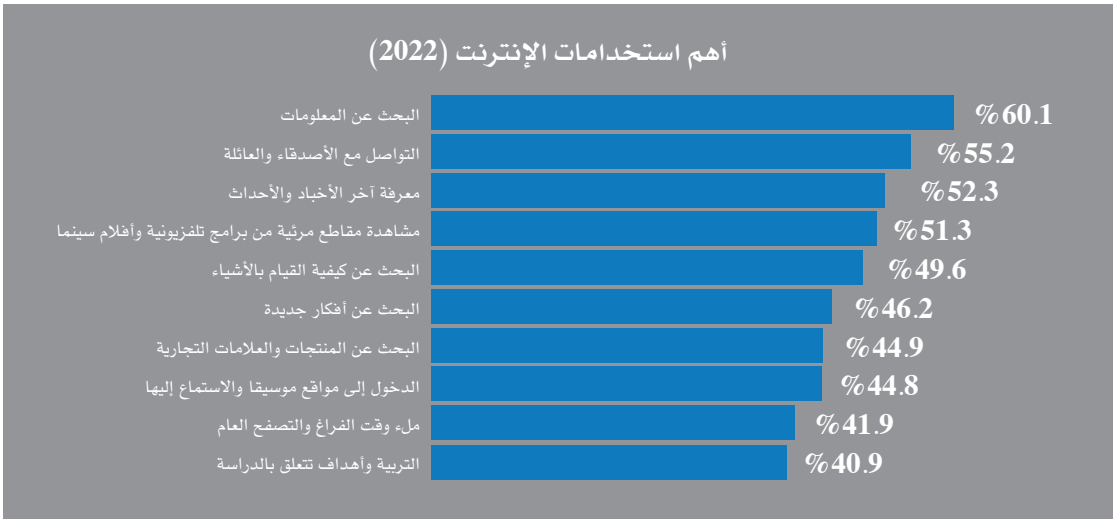
عن 67 بالمئة منهم أو حوالي 5,31 بليون نسمة يستخدمون الهواتف المحمولة. وأما 4,95 بليون من الناس وتقدر نسبتهم ب 60 بالمئة فهم يستخدمون الإنترنت. وتقريبا فإن جميع المتصلين بالإنترنت هم نشطاء في استخدام وسائل التواصل الاجتماعي.

② استخدامات الإنترنت

بالعودة إلى الشكل التوضيحي السابق فيما يتعلق باستخدام الإنترنت دعنا نركز على الرقمين الأخيرين، وسوف نلاحظ ما يلي:

يبلغ المعدل الوسطي اليومي لاستخدام الإنترنت من قبل كل مستخدم حوالي 7 ساعات. هذا رقمٌ عالٍ جداً وبشكل صادم، حيث يتم استهلاك عدد كبير من الساعات، الأمر الذي يدعونا جميعاً الى التفكير ملياً في فائدة النت، والسبب الذي يدعونا لقضاء وقت طويل في استخدامها. بالنسبة لنا جميعاً نحن الذين ننشئ المعلومات ونزودها ونرتبها فإن إحصائية أن 92,1 بالمئة من مستخدمي النت عبر هواتفهم النقّالة يجب أن تولى أهمية فائقة. حيث لم تعد الحواسب الشخصية ذات دور كبير بل حلت محلها الهواتف النقالة؛ لذلك علينا أن نركز جهودنا على هذه الوسيلة الجديدة وأن ننظم استخدامنا للإنترنت.

يوضح الرسم البياني (أوبرلو 2022) لأهم استخدامات الإنترنت أن الغالبية العظمى من الأشخاص يستخدمون الإنترنت للبحث عن المعلومات والتواصل والترفيه، كما أن هناك نسبة عالية من الاستخدام موجهة نحو التعليم والدراسة، وهو ما ينبغي تشجيعه، وخاصة لمستخدمي الإنترنت في مرحلة الدراسة.



③ وسائل التواصل الاجتماعي

كم من الوقت يتم إهداره في تصفح تطبيقات التواصل الاجتماعي؟ تظهر الإحصائيات أنه نمضي شهرياً ما يعادل 24 ساعة على اليوتيوب و20 ساعة على التيكتوك ومثلها على الفيس بوك، فيما يتم قضاء 19 ساعة أخرى شهرياً على الواتس أب، وهو التطبيق الأكثر شيوعاً من تطبيقات التواصل. عموماً يقضي مستخدم الإنترنت ما بين 80 إلى 90 ساعة شهرياً على تطبيقات التواصل الاجتماعي المتنوعة، وإذا ما حولناها إلى ساعات عمل أسبوعية فتبلغ حوالي أسبوعي عمل نمضيها متصفحين وسائل التواصل الاجتماعي أو قراءة الرسائل التي تردنا.

إذاً، يمضي كل مستخدم للإنترنت معدل نصف ساعة من ساعات عمله المنتجة على وسائل التواصل الاجتماعي وهو يتصفح محتوى غالباً ما يكون غير ذي موثوقية.

وإذا ما ألقينا نظرة سريعة على إحصائيات اليوتيوب عام 2022 نجد الحقائق التالية:

- يوجد 2,6 بليون مستخدم لليوتيوب.
- يشاهد مستخدمو اليوتيوب ما يزيد عن 1 بليون ساعة فيديو كل يوم.
- يوجد هؤلاء في أكثر من 100 بلد وبما يزيد على 80 لغة.
- 63 بالمئة من مدة المشاهدة تكون من الهاتف الجوال.
- يتم تحميل 400 ساعة فيديو كل دقيقة.
- اليوتيوب هو أكثر منصة فيديو شيوعاً واستخداماً بين الناس.

④ البيانات

بلغ حجم البيانات المتوافرة حول العالم عام 2020 مقدار 59 زيتابايت بحلول عام 2025.

يعادل الزيتابايت الواحد واحد تريليون غيغابايت. إذا كان كل بايت الزيتابايت ZB المكون من مجموع قطع يمكن أن يصل إلى 2.550 سنة 36 ألف سنة من مشاهدة فيديوهات عالية الدقة.

⑤ البريد الإلكتروني

في بيئة العمل ربما تمثل كميات الرسائل الإلكترونية المرسلة والواردة المساهم الأكبر في متلازمة التعب المعلوماتي. وثمة إحصائية تفيد أنه يوجد 4.3 بلايين مستخدم للبريد الإلكتروني حول العالم في عام 2022. ومن الواضح أن العدد في ازدياد؛ حيث يرسل الناس حول العالم ما يزيد عن 333 بليون رسالة إلكترونية يومياً.

⑥ المجلات

فيما يتعلق بالمجلات، ففي عام 2009 بلغ العدد الإجمالي للورقات العلمية المنشورة في العديد من المجلات ما يزيد عن 50 مليوناً تقريباً، يتم نشر 2.5 مليون من الورقات العلمية كل عام. أما في عام 2014 فكان يوجد حوالي 28.100 مجلة محكمة، وهذا باستثناء عدد من المجلات العلمية المزيفة والتي تنتج كمّاً هائلاً من بحوث غير جيدة.

⑦ الكتب

أظهرت الإحصائيات لعام 2022 أنه يتم نشر ما بين 500.000 إلى مليون كتاب سنوياً. أما ما ينشره المؤلفون أنفسهم فقد بلغ عدد الكتب 4 ملايين كتاب جديد يتم نشره كل عام. ولسوء الحظ فإن المؤلف الذي ينشر كتابه بنفسه يبيع فقط حوالي خمس نسخ من الكتاب. أما معدل بيع الكتب في أمريكا فهو أقل من 200 نسخة لكل سنة وأقل من 1000 نسخة خلال مدة طرح الكتاب.

وبحسب جوجل فقد تم نشر 130 مليون كتاب منذ إنشاء مطبعة غوتنبرغ عام 1440. وهذا لا يتضمن الكتب المنشورة بعد

عام 2010 ولا عناوين الكتب المنشورة من قبل كتّابها.

وفي عام 2021 تم بيع مايقدر بـ 826 مليون كتاب في أمريكا، وثمة حقيقة مشوقة وهي أن 25 بالمئة من الأشخاص الذين تم إشراكهم في استقصاء في الولايات المتحدة يفضلون الكتب المطبوعة أكثر من الكتب المسموعة أو الإلكترونية.

لنذكر أنفسنا برسالة الفيلسوف سينيكا، وهي أنه لا يهم كم كتاب لدينا وإنما ما يهم هو فائدة هذه الكتب.

علاج متلازمة التعب المعلوماتي

هل ثمة علاج لمتلازمة التعب المعلوماتي؟ إن الحل ليس سهلاً او بسيطاً. ثمة أمور عديدة يجب القيام بها من أجل العلاج، وهي:

- يجب فلترة المعلومات التي تصادفك والتأكد من أنك لا تتسبب في الإرهاق الرقمي. للآخرين وأنك لا تقوم بنشر معلومات غير مهمة ومشاركتها.
- عليك أن تزيد من تركيزك عندما تبحث وتستخدم الأدب الرمادي وأي معلومات أخرى.
- ركز على ما هو مهم من المعلومات وليس ما هو ممتع.
- حدد أولوياتك.
- اختر مصدراً موثوقاً للأدب الرمادي.
- اطلب المساعدة.
- تعلم أن تقول لا.
- أغلق الأجهزة التي تسبب عراقيل.
- افصل وقت العمل عن وقتك الخاص.
- استرخ، واذهب في نزهة مشياً على الأقدام وتأمل.

يمكن أن يؤدي المختصون في المعلومات دوراً مهماً، حيث بإمكانهم:

- تقديم المساعدة في فلترة المعلومات.
- الحفاظ على قوائم فيها مراجع ذات أهمية كبيرة.
- تحديد أولويات أدوات البحث.
- القيام ببحث تمهيدي.
- تحديد المصادر ذات المصداقية.
- تقديم فرص من أجل الحصول على خبرة في بيئات تكنولوجيا المعلومات المعاصرة.
- توفير معلومات وفرص تدريب حول إدارة المعلومات.
- التشجيع على الاستكشاف والإبداع والتعاون.
- توفير فضاءات هادئة خالية من الضغط والتوتر.
- أن يصبحوا دعائم للبحث المفتوح والعلم المفتوح.

وأخيراً، دعونا نفكر في سلة مهملات ضخمة كحل محتمل لمتلازمة التعب المعلوماتي، فكما قال ألبرت أينشتاين: "المعلومات ليست معرفة"!.

المصدر:

- نُشر هذا المقال في مجلة: ***Dobrica Savi (2023). Information Fatigue Syndrome and Digital Burnout: The Grey Journal. TGJ Volume 19, No 2, 95-101.***
- ترجمة **غادة سمير**، دائرة المكتبات، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

مبادئ إدارة الجودة السبعة

قدمت سلسلة الأيزو ISO 9000 سبعة مبادئ أساسية لإدارة الجودة، وهي: التركيز على العميل، القيادة، اندماج العاملين، نهج العملية، التحسين، اتخاذ القرارات القائمة على الأدلة، إدارة العلاقات، ويعدّ الهدف الأساسي من هذه المبادئ هو تحفيز وتطوير ثقافة الجودة في جميع الجوانب المتعلقة بعمل المنظمة، وذلك من أجل ضمان استمرار تقديمها للمنتجات والخدمات التي تلبي توقعات العملاء، كما تساعد هذه المبادئ المنظمة على تعزيز كفاءتها وفعاليتها وسمعتها وتؤدي في النهاية إلى تحقيق هدف المنظمة وهدف نظام إدارة الجودة وهو زيادة رضا العملاء وولائهم للمنظمة وتحسين الأداء والنجاح المستدام، ولابد من أجل تحقيق هذا الهدف العمل على تطبيق جميع مبادئ إدارة الجودة والتعامل معها ككل وليس بمعزل عن بعضها بعضاً حيث لا يوجد مبدأ أكثر أهمية من الآخر، وهذا الترابط بين المبادئ السبعة جعلها وسيلة استراتيجية وذكية لجعل المنظمات تنمو وتتطور وتستمر.

الكلمات المفتاحية: *مبادئ إدارة الجودة، أيزو، نظام إدارة الجودة، الجودة.*

مقدمة

تعدّ مبادئ إدارة الجودة السبعة الأساس الذي بنيت عليه معايير أنظمة إدارة الجودة مثل المعيار ISO 9001 والمعيار ISO 9000، وبالتالي لابد من تطبيق هذه المبادئ عند وضع نظام لإدارة الجودة داخل المنظمة، وإن هذه المبادئ السبعة هي جزء واحد مترابط لا يتجزأ وجميعها على مستوى واحد من الأهمية في إدارة الجودة لدى المنظمة.

ويعرف «المبدأ» بأنه اعتقاد أو نظرية أو قاعدة ثابتة لها تأثير كبير على الأسلوب الذي ينفذ به شيء ما، كما تعرف «مبادئ إدارة الجودة» بأنها مجموعة من المعتقدات والمعايير والقواعد والقيم المقبولة عالمياً والتي تؤثر في بناء وتطور إدارة الجودة في المنظمة.

وقد تم تطوير وتحديث هذه المبادئ من قبل اللجنة التقنية في منظمة الأيزو ISO/TC 176، وهي اللجنة المسؤولة عن وضع معايير إدارة الجودة وتطويرها ضمن منظمة الأيزو.

وإن تطبيق مبادئ إدارة الجودة السبعة يعدّ

من الاستراتيجيات الأساسية للمنظمات لتحسين الأداء وتحقيق النجاح المستدام، وإن هذه المبادئ تطبق على جميع أنواع المنظمات بغض النظر عن نوعها أو حجمها أو تعقيدها أو طبيعة عملها، وهي تراعي نوعية المنتجات أو الخدمات المقدمة، كما تراعي طبيعة الهياكل التنظيمية المختلفة لكل منظمة، وتساعد على مواجهة التحديات اليومية لتطوير الأداء بشكل مستمر وعلى زيادة مستوى التركيز في تحقيق أهداف المنظمة للوصول إلى النتائج المرجوة المخطط لها بشكل مستمر.

وإن مبادئ إدارة الجودة السبعة هي:

المبدأ الأول: التركيز على العميل.

المبدأ الثاني: القيادة.

المبدأ الثالث: اندماج العاملين.

المبدأ الرابع: منهجية العملية.

المبدأ الخامس: التحسين.

المبدأ السادس: اتخاذ القرار المبني على الأدلة.

المبدأ السابع: إدارة العلاقات.

حيث سيتم عرض أهمية كل مبدأ وفوائده وإجراءات تطبيقه، وذلك من أجل مساعدة منظمة ما على دراسة وتفهم هذه المبادئ السبعة عند تأسيس نظام لإدارة الجودة داخل هذه المنظمة، حيث إن ترتيب المبادئ ليس له غرض محدد مع العلم أنه يجب تطبيق جميع المبادئ، ولكن تختلف أهمية كل مبدأ وفق طبيعة عمل كل منظمة.

المبدأ الأول

1 التركيز على العميل customer focus

يركز المبدأ الأول من مبادئ إدارة الجودة بشكل أساسي على تلبية متطلبات العميل والسعي الدائم لتجاوز توقعاته.

أهمية مبدأ التركيز على العميل:

يتحقق نجاح المنظمة واستمراريتها عندما تستحوذ على ثقة العميل ودائرة المتعاملين معها والمساهمين في نجاح عمل المنظمة، ويتم هذا من خلال تعامل المنظمة وتفاعلها مع متطلبات العميل؛ مما يعطي فرصة لتفهم احتياجات العميل والتنبؤ بمتطلباته المستقبلية وتجاوز توقعاته، ويزيد في رضا العميل وولائه وتعامله مع المنظمة.

فوائد مبدأ التركيز على العميل:

- تعظيم وزيادة القيمة التي يحصل عليها العميل مقابل ما يدفعه.
- زيادة رضا العملاء.
- تحسين ولاء العملاء للمنظمة.
- زيادة فرص تكرار التعامل العميل مع المنظمة.
- تعزيز السمعة الحسنة للمنظمة.
- توسيع قاعدة العملاء.
- زيادة نسبة الإيرادات المالية والحصة السوقية للمنظمة.

إجراءات تطبيق مبدأ التركيز على العميل:

- التعرف على العميل المباشر وغير المباشر للمنظمة.
- تفهم الاحتياجات الحالية والتوقعات المستقبلية للعميل.
- ربط أهداف المنظمة باحتياجات العميل وتوقعاته المستقبلية.
- التأكد من تفهم العاملين داخل المنظمة لاحتياجات العميل وتوقعاته المستقبلية.
- التأكد من أن احتياجات العميل وتوقعاته المستقبلية متضمنة في جميع مراحل العمل من تخطيط وتصميم وتطوير أثناء تقديم الخدمة أو المنتج وبعدها.
- وضع إجراءات ملائمة لمراقبة وقياس رضا العميل.
- تحديد متطلبات الجهات المتعاملة مع المنظمة والتي يمكن أن تؤثر على رضا العميل واتخاذ ما يلزم من إجراءات لذلك.
- إدارة العلاقات مع العميل بشكل فعال وبحكمة للحفاظ على نجاح المنظمة.

المبدأ الثاني

2 القيادة leadership

يجب على القيادة داخل المنظمة أن توجد وحدة بين هدف المنظمة وتوجهها وبين مشاركة العاملين من أجل تمكين المنظمة في السير وفقاً لخططها وسياساتها في تحقيق أهدافها.

أهمية مبدأ القيادة:

يشير هذا المبدأ إلى أهمية القيادة في وضع رؤية واضحة لتحقيق متطلبات الجودة في المنظمة ودعم مشاركة العاملين لديها في تحقيق هذه المتطلبات من خلال التوجيه والتحفيز والإرشاد لضمان دمج متطلبات الجودة ضمن العمليات الروتينية اليومية للمنظمة، مما يساعد المنظمة في مواجهة التحديدات والتغيرات في البيئة الخارجية والبيئة الداخلية بكفاءة وفعالية، ويمكّن المنظمة من ضبط استراتيجياتها وسياساتها وعملياتها ومواردها لتحقيق أهدافها وتحقيق أهداف الجودة في المنظمة.

فوائد مبدأ القيادة:

- زيادة الفعالية والكفاءة من أجل تلبية أهداف الجودة في المنظمة.
- تنسيق أفضل لتنفيذ الأعمال وزيادة التعاون داخل المنظمة.
- تحسين التواصل بين العاملين ضمن مختلف المستويات الوظيفية داخل المنظمة.
- تطوير وتحسين قدرة المنظمة والعاملين لديها لتحقيق النتائج المرجوة.

إجراءات تطبيق مبدأ القيادة:

- توضيح رسالة المنظمة ورؤيتها والاستراتيجية والسياسات والعمليات لجميع العاملين داخل المنظمة.
- وضع قيم مشتركة والحفاظ على العدالة وأخلاقيات العمل بين المستويات كافة داخل المنظمة.
- تعزيز ثقافة الثقة المتبادلة والنزاهة.
- تشجيع الالتزام بالجودة على مستوى المنظمة بكاملها.
- التأكد من إيجابية القادة على جميع المستويات تجاه العاملين في المنظمة.
- توفير الموارد والتدريب والصلاحيات المطلوبة للعاملين ليتمكنوا من العمل بمسؤولية.
- تشجيع العاملين على الابتكار والمساهمة بالأفكار وتقدير مساهمتهم.

المبدأ الثالث

3 اندماج العاملين engagement of people

يعد اندماج ومشاركة العاملين الأكفاء في تحقيق أهداف المنظمة أساساً لإعطاء قيمة مضافة للمنظمة ولتعزيز قدرة المنظمة على الإبداع.

أهمية مبدأ اندماج العاملين:

إن تحقيق أهداف الجودة بفعالية وكفاءة على جميع المستويات داخل المنظمة يتحقق من خلال مشاركة العاملين لديها والاعتراف بكفاءاتهم وتعزيز هذه الكفاءات، وذلك من أجل كسب احترامهم كأفراد لإدارة المنظمة.

فوائد مبدأ اندماج العاملين:

- تفهم العاملين لأهداف الجودة في المنظمة وزيادة الدافع لديهم لتحقيق هذه الأهداف.
- تعزيز مشاركة العاملين في أنشطة التطوير والتحسين.
- تعزيز روح المبادرة والإبداع وتطوير المهارات لدى العاملين.
- تعزيز رضا العاملين.
- تعزيز الثقة المتبادلة والتعاون بين العاملين داخل المنظمة.
- زيادة الاهتمام بالمشاركة في نشر الثقافة والقيم في جميع أنحاء المنظمة.
- إجراءات تطبيق مبدأ اندماج العاملين:
- التواصل مع العاملين لتعزيز أهمية مساهماتهم الفردية.
- تعزيز التعاون والتشارك في جميع أنحاء المنظمة.
- تسهيل عملية المناقشة المفتوحة ومشاركة المعرفة والخبرة.
- تمكين العاملين من أجل تحديد معوقات أداء العمل واتخاذ زمام المبادرات لحل هذه العقبات دون تردد.
- شكر العاملين وتقدير مساهماتهم وتعلمهم وتطويرهم.
- تقييم الأداء مقابل الأهداف.
- وضع استبيان لتقييم رضا العاملين ونشر نتائج الاستبيان واتخاذ الإجراءات المناسبة وفق النتائج المعلنة.

المبدأ الرابع

4 منهجية العملية process approach

يؤكد مبدأ منهجية العملية على ضرورة الانتقال من إدارة مختلف الأنشطة داخل المنظمة بشكل منفصل إلى إدارة هذه الأنشطة وفق منهجية العمليات المترابطة مع بعضها ضمن نظام متماسك؛ مما يحقق إنجاز هذه العمليات بكفاءة وفعالية أكبر، ويساعد في التنبؤ بالانحرافات عن النتائج المطلوب تحقيقها.

الغاية من مبدأ منهجية العملية:

يتكون نظام إدارة الجودة من مجموعة من العمليات المترابطة فيما بينها، وإن النتائج الصادرة عن هذا الترابط يساعد المنظمة في تحسين إدارة الجودة بشكل كامل والوصول بالأداء إلى الوضع الأمثل.

فوائد مبدأ منهجية العملية:

- تعزيز التركيز على العمليات الرئيسية وفرص التحسين من أجل التطوير.
- الحصول على مخرجات متماسكة وإمكانية التنبؤ بهذه المخرجات من خلال نظام العمليات المترابط.
- الوصول إلى الأداء الأمثل للعمليات من خلال إدارة الموارد بفعالية وتقليل تعددية الوظائف داخل المنظمة.
- تعزيز الثقة بفعالية وكفاءة أداء المنظمة لدى المتعاملين مع المنظمة.

إجراءات تطبيق منهجية العملية:

- تحديد الأهداف والعمليات اللازمة لتحقيقها.
- وضع لوائح المسؤوليات والصلاحيات وقواعد المساءلة لإدارة العمليات.
- تحديد الصعوبات لدى موارد المنظمة في قدرتها على إنجاز العمليات قبل التنفيذ.
- تحديد الترابط المتبادل للعمليات ونتائج تأثير إدخال تعديل على العمليات المنفردة على النظام ككل.
- إدارة العمليات وعلاقاتها المتبادلة كنظام واحد لتحقيق أهداف الجودة في المنظمة بفعالية وكفاءة.
- ضمان توفر المعلومات الضرورية لتنفيذ العمليات وتطويرها وأيضاً من أجل مراقبة وتحليل وتقييم الأداء بشكل كامل.
- تطبيق نظام إدارة المخاطر على جميع مدخلات ومخرجات العمليات.

المبدأ الخامس

5 التحسين improvement

إن النجاح المستدام للمنظمة يتحقق من خلال التحسين المستمر لتطوير الأداء.

الغاية من مبدأ التحسين:

يعد مبدأ التحسين جوهر عمل المنظمة وامراً بالغ الأهمية للمنظمات كي تحافظ على أدائها الحالي، ولتتمكن من الاستجابة والتكيف مع الظروف المتغيرة داخل المنظمة وخارجها، وكذلك من أجل خلق فرص جديدة للتحسين.

فوائد مبدأ التحسين:

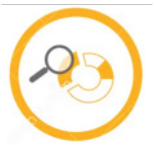
- تحسين أداء العملية وزيادة قدرة المنظمة في تحسين رضا العميل.
- تحسين التركيز على تحليل الأسباب الجذرية للحالات السلبية وتعزيز تنفيذ الأعمال التصحيحية والوقائية.
- تحسين تعزيز قدرة المنظمة في تحديد وتوقع المخاطر الداخلية والخارجية والتعامل معها وإيجاد فرص للتحسين.
- تحسين تعزيز أهمية كلٍّ من التحسين الحالي والتحسين التراكمي.
- تحسين استخدام وسائل التعليم المختلفة والحديثة والاستفادة منها في التحسين.
- تحسين تعزيز الدافع للابتكار.

إجراءات تطبيق مبدأ التحسين:

- تعزيز التحسين على المستويات كافة داخل المنظمة.
- تعليم العاملين وتدريبهم على كيفية استخدام وتطبيق الأدوات الأساسية والمنهجيات لتحقيق التحسين.
- التأكد من أن العاملين يتمتعون بكفاءة لتعزيز نجاح المنظمة ولاستكمال خطط التحسين الموضوعة.

- تطوير عمليات التحسين ونشرها داخل المنظمة.
- متابعة أداء مشاريع التحسين من خلال مراجعة خطط التحسين وتدقيق نتائج تطبيق هذه الخطط وتطويرها باستمرار.
- الاستفادة من منهجيات وأدوات التحسين في تطوير أو تعديل المنتجات والخدمات والعمليات.
- الاطلاع على التحسينات المنفذة وتقديرها في المنظمة.

المبدأ السادس



6 اتخاذ القرار المبني على الأدلة evidence-based decision making

إن القرارات المبنية على تحليل وتقييم البيانات والمعطيات الدقيقة تكون أكثر ملاءمة في الحصول على النتائج المطلوبة وذلك لتحقيق أهدف نظام إدارة الجودة في المنظمة.

الغاية من مبدأ اتخاذ القرار المبني على الأدلة:

إن القرار المبني على المشاعر والتحليل الذاتي يغلب عليه التأويل وربما يكون غير موضوعي، ولكن القرار المبني على الأدلة هو عملية معقدة تبنى على المعرفة الكاملة بجميع أنواع ومصادر ومدخلات العملية وتحليلاتها، وبالتالي يساعد على فهم العلاقة بين الأسباب والأدلة المؤثرة مما يعزز الموضوعية والثقة في اتخاذ القرار.

فوائد مبدأ اتخاذ القرار المبني على الأدلة:

- تحسين عملية اتخاذ القرار.
- تحسين تقييم أداء العملية والقدرة على تحقيق الأهداف.
- تحسين كفاءة وفعالية العمليات التنفيذية.
- زيادة القدرة على مراجعة الآراء وتغييرها وتعديل القرارات.
- زيادة القدرة على إثبات مدى فعالية القرارات المتخذة.

إجراءات تطبيق مبدأ اتخاذ القرار المبني على الأدلة:

- تحديد مؤشرات أداء المنظمة وتقييمها ومراقبتها.
- السماح بإيصال البيانات وجعلها متاحة أمام الأشخاص المعنيين بها.
- التأكد من أن البيانات والمعلومات المعتمد عليها كافية ودقيقة وذات مصداقية وموثوقية ومؤمن عليها من التعديل.
- تحليل وتقييم البيانات والمعلومات باستخدام طرائق ملائمة لطبيعة هذه البيانات.
- التأكد من كفاءة العاملين المنفذين لعمليات تحليل البيانات وتقييمها.
- التوزان بين الأدلة والخبرة والحدس عند اتخاذ القرار.

المبدأ السابع

7 إدارة العلاقات relationship management

يجب على المنظمة إدارة علاقاتها مع أصحاب المصلحة مثل الموردين، وذلك من أجل تحقيق النجاح المستدام.

الغاية من مبدأ إدارة العلاقات:

تأتي أهمية هذا المبدأ من منطلق تأثير الموردين والأطراف المعنية على أداء المنظمة، حيث يجب على المنظمة إعطاء أهمية

كبرى لإدارة علاقاتها مع الموردين وأصحاب المصلحة وشبكات المتعاملين معها.

فوائد مبدأ إدارة العلاقات:

- الاطلاع على فرص التحسين وعلى التهديدات.
- فرص لتحسين العلاقات وتخفيف القيود المتعلقة بكل جهة.
- الوصول إلى توافق مشترك على الأهداف والقيم بين جميع الجهات.
- زيادة قدرة المنظمة على إدارة المخاطر المتعلقة بالجودة وعلى مشاركة الموارد والكفاءات من أجل تقديم قيمة مضافة لأصحاب المصلحة.
- العلاقة الجيدة تحافظ على التزام الموردين باستمرارية تقديم الخدمات بوتيرة زمنية ثابتة وبالوقت المناسب.

إجراءات تطبيق مبدأ إدارة العلاقات:

- تحديد أصحاب المصلحة والأطراف المعنية ذات الصلة (الموردين، الشركاء، العملاء، المستثمرين، الموظفين، والمجتمع ككل).
- تحديد العلاقات مع أصحاب المصلحة وإدارتها حسب أولوية المنظمة.
- تحقيق التوازن بين المنافع القريبة والاعتبارات طويلة المدى.
- تجميع وتبادل المعلومات والخبرات والموارد مع أصحاب المصلحة ذات الصلة.
- قياس أداء أصحاب المصلحة وعرض النتائج لهم وفق ما هو ملائم، وذلك من أجل تعزيز مبادرات التحسين لديهم.
- تنفيذ أنشطة للتحسين والتطوير وذلك بالتعاون مع الموردين وأصحاب المصلحة.
- تقييم وتقدير الإنجازات والتحسينات المنفذة من قبل الموردين وأصحاب المصلحة.

خاتمة

قدم هذا المقال عرض مرتب للمبادئ السبعة التي بنيت عليها أنظمة إدارة الجودة، وإن تطبيق هذه المبادئ وترتيبها يختلف حسب طبيعة العمل والتحديات التي تواجه كل منظمة، وبالتالي عندما ترغب منظمة ما بتنمية ثقافة الجودة وتأسيس نظام لإدارة الجودة لديها لابد لهذه المنظمة من تفهم المبادئ السبعة لإدارة الجودة وتبنيها داخل المنظمة وفق أهداف المنظمة لضمان استمرار عملها بتقديم المنتجات والخدمات وزيادة رضا العميل وتحسين أداء المنظمة حتى الوصول إلى تمام التميز المؤسساتي.

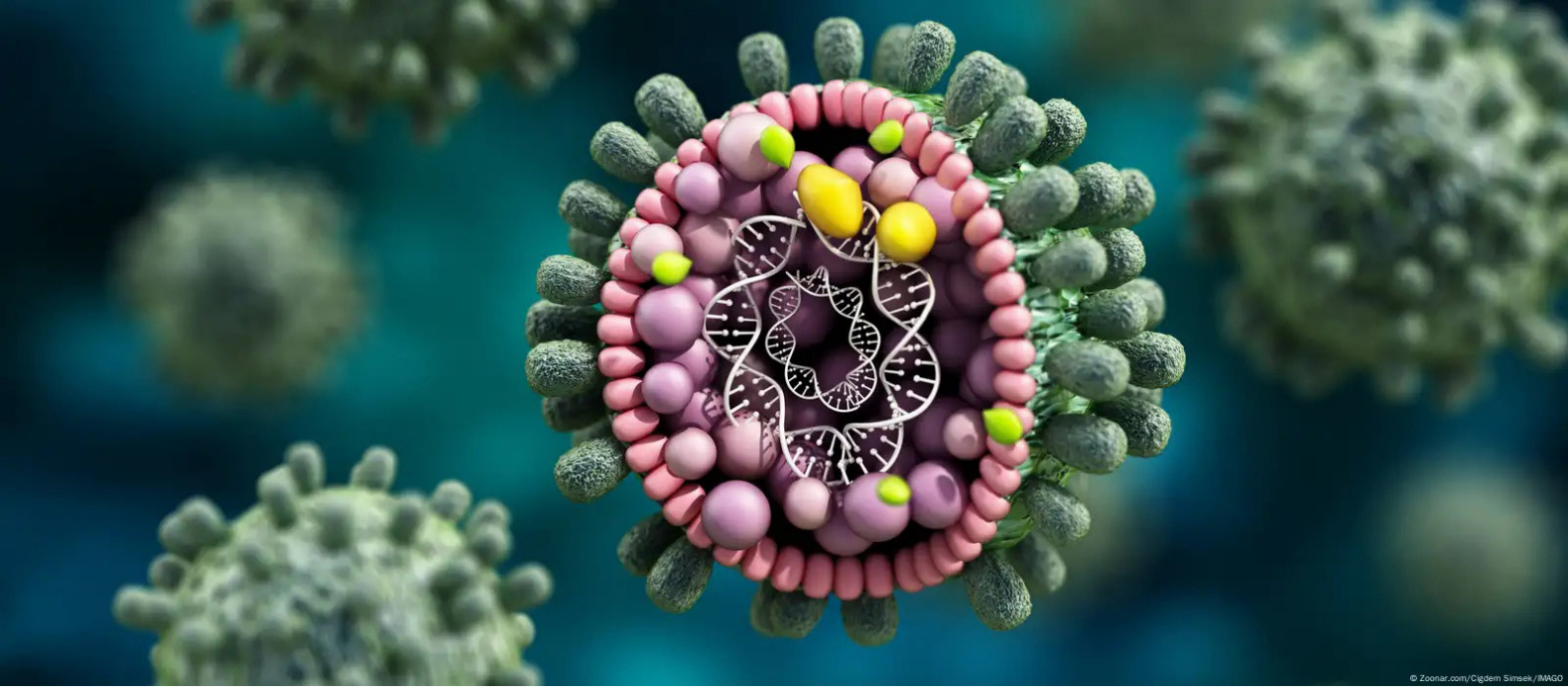
المراجع

1. Quality management principles, International Organization for Standardization.pdf (2015)

2. ISO/ IEC 9001:2015 Quality management systems-Requirements, Fifth edition 2015-09-15.

المصدر:

- *ترجمة وإعداد: **محمد غالب حواصلي**، مكتب ضمان الجودة، هيئة الطاقة الذرية السورية*



استخدام الذكاء الصنعي لتوثيق الفيروسات المخفية في الحمض النووي الريبوزومي

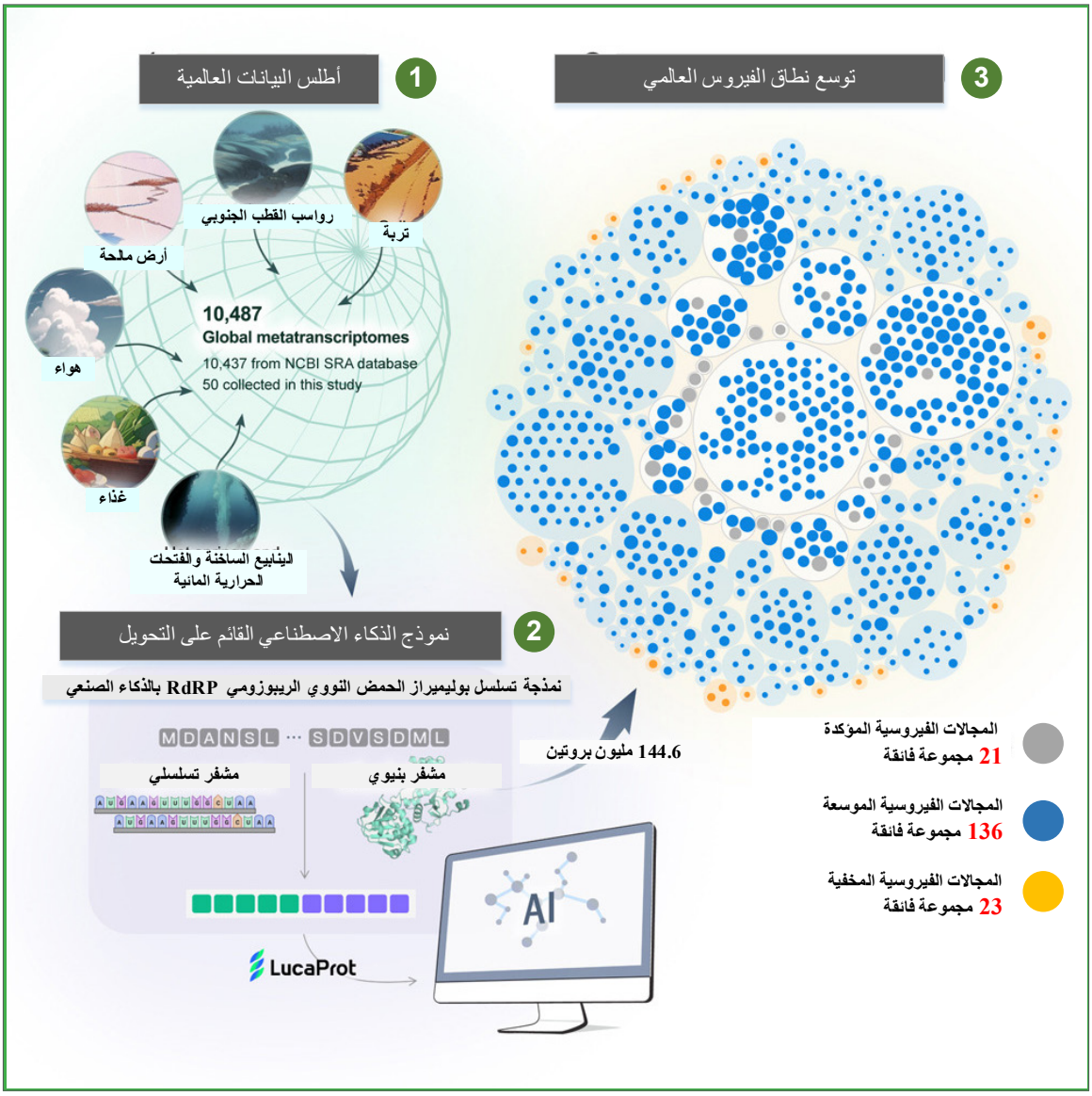
سلطت أكبر دراسة من نوعها الضوء على النطاق الهائل للفيروسات التي تسكن العديد من البيئات على الأرض. وتم التعرف على أكثر من 160 ألف فيروس لم تكن معروفة للعلماء من قبل باستخدام برنامج ذكاء صنعي متخصص. استخدم الباحثون برنامج ذكاء صنعي يسمى LucaProt، والذي حدد فيروسات الحمض النووي الريبوزومي غير المعترف بها سابقاً والمخزنة في قواعد بيانات المواد الوراثية المأخوذة من النظم البيئية في جميع أنحاء العالم.

تُظهر الدراسة كيف أصبح الذكاء الصنعي تحويلياً transformational للعلماء «الذين يتطلعون إلى تحديد هياكل البروتين والعثور على فيروسات متباينة»، كما قال عالم الفيروسات إيدي هولمز، من جامعة سيدني في أستراليا، والذي شارك في قيادة البحث.

تعمل خوارزمية الذكاء الصنعي LucaProt المستخدمة في هذه الدراسة بطريقة مماثلة لنظام AlphaFold الذي تم الاعتراف به في جائزة نوبل للكيمياء لهذا العام. كما تم الاعتراف بالعمل في مجال الذكاء الصنعي في جائزة نوبل للفيزياء.

وقال البروفيسور هولمز: «تم بالفعل سلسلة الغالبية العظمى من هذه الفيروسات وكانت موجودة في قواعد البيانات العامة، لكنها كانت متباينة للغاية لدرجة أن لا أحد يعرف ما هي». كانت تتألف مما يشار إليه غالباً باسم «المادة المظلمة» التسلسلية. تمكنت طريقة الذكاء الصنعي من تنظيم وتصنيف كل المعلومات المتباينة، مما ألقى الضوء على معنى هذه المادة المظلمة للمرة الأولى.

الكلمات المفتاحية: *الذكاء الصنعي، LucaProt، الحمض النووي الريبوزومي RNA، فيروس.*



الشكل 1. ملخص رسومي لاستخدام خوارزمية الذكاء الصنعي LucaProt في اكتشاف أنواع جديدة من الفيروسات.

مقدمة

لقد تم تطوير خوارزمية تعلم عميق تسمى LucaProt، لاكتشاف تسلسلات بوليميراز الحمض النووي الريبوزومي المعتمدة على الحمض النووي الريبوزومي divergent RNA-dependent RNA polymerase (RdRP) في 10487 ميتاترانسكريبتوم metatranscriptomes تم إنشاؤها من أنظمة بيئية عالمية متنوعة. يدمج LucaProt كلّاً من التسلسل والمعلومات البنيوية المتوقعة، مما يتيح الكشف الدقيق عن تسلسلات RdRP.

قد تفشل أدوات الميتاجينوم Metagenomics الحالية في تحديد فيروسات الحمض النووي الريبوزومي شديدة التباين. والميتاجينوم هو مصطلح يُطلق على دراسة بنية ووظيفة تسلسلات النوكليوتيدات الكاملة المعزولة والمحللة من جميع الكائنات الحية (عادةً الميكروبات) في عينة كبيرة. وغالباً ما يُستخدم الميتاجينوم لدراسة مجتمع محدد من الكائنات الحية الدقيقة، مثل تلك التي تعيش على الجلد البشري أو في التربة أو في عينة من الماء. أما علم الميتاترانسكريبتوم فهو يتعلّق بدراسة استخراج وتحليل mRNA الميتاجينومي (الميتاترانسكريبتوم) الذي يوفر معلومات حول ملفات التنظيم والتعبير للمجتمعات الميكروبية المعقدة الموجودة في العينة البيئية.

وباستخدام هذا النهج، تم تحديد 161979 نوعاً محتملاً من فيروسات الحمض النووي الريبوزومي و180 مجموعة

فرعية من فيروسات الحمض النووي الريبوزومي، بما في ذلك العديد من المجموعات التي تمت دراستها بشكل سيئ سابقاً، إضافة إلى جينومات فيروسات الحمض النووي الريبوزومي ذات الطول الاستثنائي (ما يصل إلى 47250 نكليوتيداً) والتعقيد الجينومي. تم تأكيد مجموعة فرعية من فيروسات الحمض النووي الريبوزومي الجديدة هذه من خلال تسلسل تفاعل البوليميراز المتسلسل العكسي وتسلسل الحمض النووي الريبوزومي/الحمض النووي. كانت الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي المكتشفة حديثاً موجودة في بيئات متنوعة، بما في ذلك الهواء والينابيع الساخنة والفتحات الحرارية المائية، ومع تنوع الفيروسات ووفرتها بشكل كبير بين النظم البيئية. تعمل هذه الدراسة على تعزيز اكتشاف الفيروسات، وتسليط الضوء على حجم المجال الفيروسي، وتوفر أدوات حسابية لتوثيق فيروس الحمض النووي الريبوزومي العالمي بشكل أفضل.

تصيب الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي مجموعة متنوعة من الأنواع المضيفة. وعلى الرغم من انتشارها في كل مكان، فإن الدور المحوري للفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي كمكونات رئيسية للنظم البيئية العالمية لم يتم الاعتراف به إلا مؤخراً بسبب البدء باكتشاف الفيروسات على نطاق واسع في الحيوانات والنباتات والفطريات والبيئات المائية والبيئات البحرية وبيئات التربة والميتاترانسكريبتومات الكوكبية. ومن السمات المشتركة لهذه الدراسات اعتمادها على تحليل تسلسلات بوليميراز الحمض النووي الريبوزومي المعتمدة على الحمض النووي الريبوزومي (RdRP)، وهو مكون أساسي لجينومات الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي.

وقد أدت هذه الدراسات مجتمعة إلى تحديد عشرات الآلاف من أنواع الفيروسات الجديدة، مما أدى إلى التوسع في مجال الفيروسات بمقدار عشرة أضعاف على الأقل واقتراح مجموعات فيروسية جديدة على مستوى الشعبة مثل «Taraviricota" (أي "quenyaviruses"). وعلى نحو مماثل، كشف استخراج البيانات من الميتاترانسكريبتومات من النظم البيئية المتنوعة عن عدة مجموعات متباينة من البكتريا العاثية (الملتهمة للفيروسات) ذات الحمض النووي الريبوزومي، في حين أدت الدراسات الحديثة في الميتاترانسكريبتومات إلى توسع ملحوظ بمقدار خمسة أضعاف في تنوع الحمض النووي الريبوزومي الدائري الشبيه بالفيروسات. وعلى الرغم من هذا التقدم في الكشف عن تنوع فيروس الحمض النووي الريبوزومي من خلال أخذ العينات البيئية والتسلسل، فمن المحتمل أن تظل هناك مجموعات أكثر تبايناً من فيروسات الحمض النووي الريبوزومي لم يتم اكتشافها بعد. ويرجع هذا جزئياً إلى أن الأدوات الحالية للتعريف الميتاجينومي لفيروسات الحمض النووي الريبوزومي قد تفوّت بعض RdRPs شديدة التباين، لذلك من الضروري تطوير استراتيجيات مبتكرة للتعريف الفعال للطيف الكامل لتنوع فيروس الحمض النووي الريبوزومي.

على مدى العقد الماضي، كان للأساليب المرتبطة بالذكاء الصنعي، وخاصة خوارزميات التعلم العميق، تأثير كبير على مجالات بحثية مختلفة في علوم الحياة، مثل الالتحام الجزيئي، وفحص المركبات والتفاعل، وتوقع بنية البروتين وتسمية الوظائف، ونمذجة الأمراض المعدية. ويمكن أن يُعزى هذا التقدم إلى مزايا خوارزميات التعلم العميق مقارنة بالأساليب المعلوماتية الحيوية الكلاسيكية، بما في ذلك الدقة المحسنة والأداء المتفوق والاعتماد المنخفض على هندسة الميزات وهندسة النماذج المرنة وقدرات التعلم الذاتي. في الآونة الأخيرة، تم تطوير وتطبيق أساليب التعلم العميق، مثل CHEER وVirHunter وVirtifier وRNN-VirSeeker لتحديد الفيروسات من البيانات الجينومية والميتاجينومية.

تستخدم هذه الأدوات الشبكات العصبية التلافيفية (CNNs) والشبكات العصبية المتكررة (RNNs). تم تصميم CNNs خصيصاً لمعالجة البيانات المكانية مثل: الصور والاستفادة من الالتفافات لاستغلال الارتباطات المحلية، في حين أن RNNs بارعة في التعامل مع البيانات المتسلسلة من خلال التقاط التبعيات الزمنية وذاكرة الترتيب التسلسلي. وعلى الرغم من تنوعها، فإن كلاهما يواجه قيوداً في معالجة التسلسلات البيولوجية: قد تواجه CNNs تحديات مع مدخلات ذات أطوال متفاوتة والتقاط الارتباطات العالمية، في حين تتعامل RNNs مع التسلسلات الأطول بسبب التدرجات المتلاشية والصعوبات في التقاط التبعيات طويلة الأجل. من الضروري مراعاة هذه العيوب عند تقييم مدى ملاءمتها لمهام محددة. إضافة إلى ذلك، تركز العديد من هذه المنهجيات حصرياً على تسلسلات النكليوتيدات، متجاهلةً تسلسلات البروتين أو المعلومات البنيوية، وبالتالي تقييد قدرتها على تحديد فيروسات الحمض النووي الريبوزومي شديدة التباين.

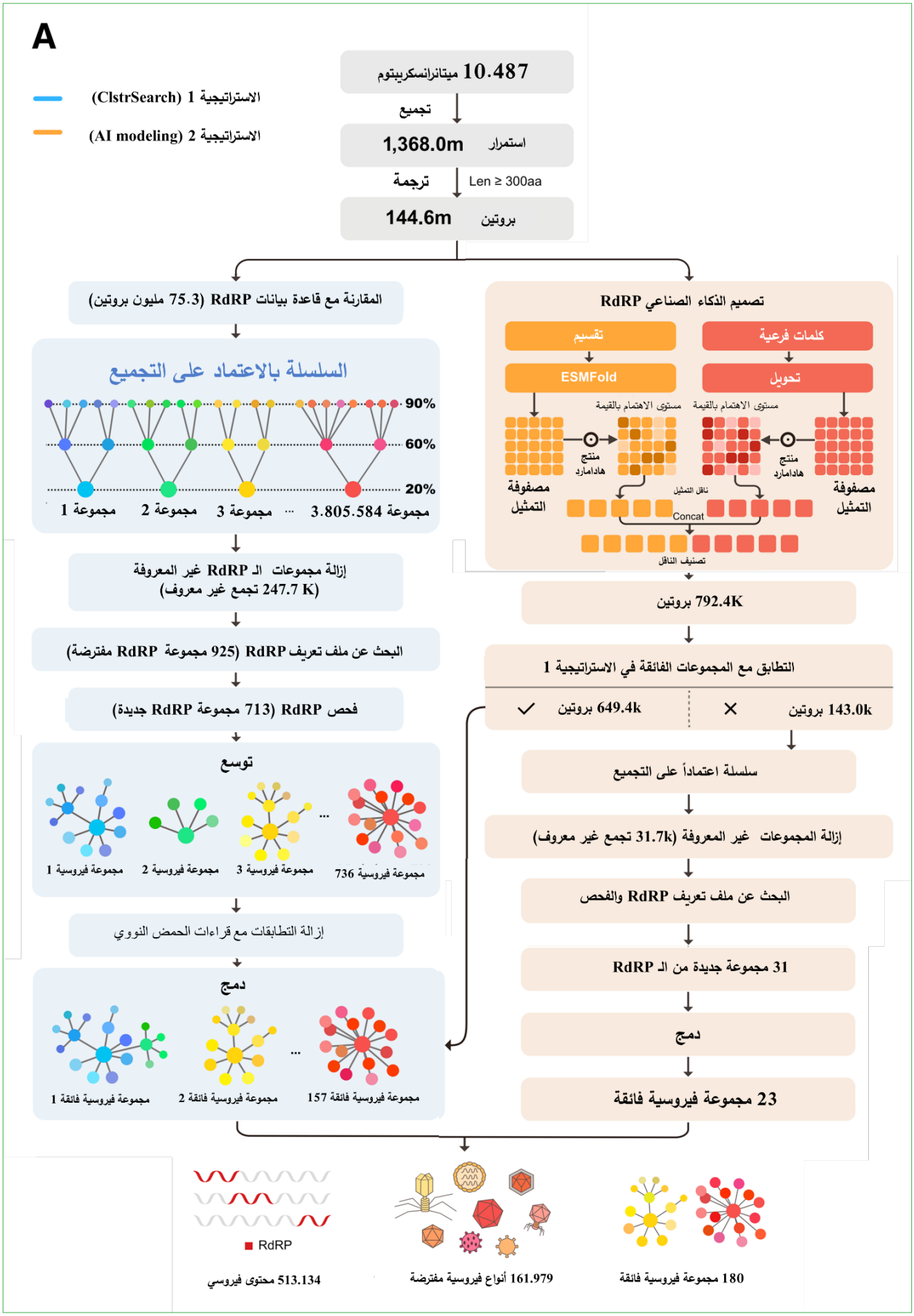
ظهرت في الآونة الأخيرة طريقة للتعلم الآلي تستعمل في مجال معالجة اللغة بالحاسوب، مثل الشبكات العصبية المعادة، تُستعمل لمعالجة المعطيات المتسلسلة مثل اللغات والترجمة والتلخيص، كبنية قوية بديلة للتنبؤ بوظائف البروتين استناداً إلى بيانات التسلسل، حيث تستوعب بشكل فعال تسلسلات ذات أطوال مختلفة وتلتقط بكفاءة العلاقات المحلية وطويلة المدى عبر مواضع التسلسل، متجاوزة قدرات CNN وRNNs، ومن ثمّ، يمكن الاستفادة من هذه البنية لتصميم أدوات أفضل لتحديد فيروسات الحمض النووي الريبوزومي شديدة التباين.

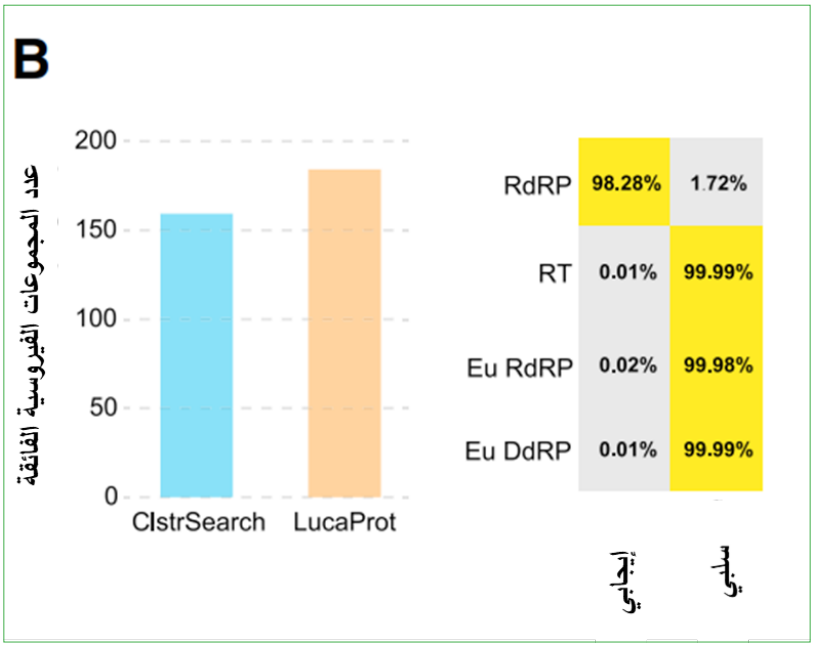
وفي هذا الصدد، تم تقديم أداة تعتمد على المحول لاكتشاف فيروس الحمض النووي الريبوزومي والتي تستخدم تسلسلات البروتين والخصائص البنيوية لتسلسلات RdRP الفيروسية. وقد تم تطبيق هذه الأداة على مجموعة بيانات تضم 10487 نسخة ميتاترانسكريبتوم من أنظمة بيئية متنوعة. وللتحقق من صحة التحليل المقارن وإجرائه، تمت معالجة مجموعة البيانات نفسها باستخدام أدوات المعلوماتية الحيوية الأخرى المتاحة، وتم تحليل 50 عينة باستخدام تسلسل الحمض النووي الريبوزومي والحمض النووي الريبوزومي. من خلال استخدام هذه الأداة بالتزامن مع بيانات التسلسل المكثفة، تم توضيح كيف يمكن للذكاء الصنعي اكتشاف الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي (RNA) التي تظهر تباعداً وراثياً يتجاوز قدرات طرق التشابه التقليدية، مما يكشف عن التنوع الفيروسي الذي لم يتم التعرف عليه سابقاً.

التعلم العميق يكشف عن المادة المظلمة في الغلاف الفيروسي للحمض النووي الريبوزومي

أجريت عمليات بحث منهجية لتوسيع تنوع فيروسات الحمض النووي الريبوزومي في مجموعة متنوعة من الأنظمة البيئية التي تم أخذ عينات منها على نطاق عالمي (الشكلان 2 و3). وبناءً على ذلك، تم تجميع ما مجموعه 10487 نسخة ميتاترانسكريبتوم (51 تيرابايت من إجمالي بيانات التسلسل)، مما أسفر عن أكثر من 1368 مليون وحدة متجاورة و872 مليون بروتين متوقع. واستناداً إلى مجموعة البيانات هذه، تم الكشف عن RdRPs الفيروسية المحتملة والتحقق من صحتها باستخدام استراتيجيتين مختلفتين. الخوارزمية الرئيسية للذكاء الصنعي التي تم استخدامها هنا، والتي يشار إليها باسم «LucaProt"، هي نموذج قائم على المحولات يعتمد على التعلم العميق ويعتمد على تسلسل وخصائص هيكلية لـ 5979 RdRPs فيروسية موصوفة جيداً (عينات إيجابية) و229434 تسلسل بروتيني لم تكن RdRPs فيروسية (عينات سلبية)، بما في ذلك البروتينات الفيروسية غير RdRP، والنسخ العكسي (RTs)، والبروتينات الخلوية. أظهر LucaProt دقة استثنائية (0.014% إيجابيات كاذبة) وخصوصية (1.72% سلبيات كاذبة) عند تقييمه على مجموعة بيانات الاختبار (الشكل B2). إضافة إلى ذلك، تم تأكيد قابلية تعميم LucaProt وقوته من خلال تحليل التحقق المتبادل 10 أضعاف. وبشكل مستقل عن LucaProt، تم تطبيق نهجاً أكثر تقليدية؛ أي «ClstrSearch" الذي قام بتجميع جميع البروتينات بناءً على تشابه تسلسلها ثم تم استخدام BLAST أو نماذج ماركوف المخفية (HMMs) لتحديد التشابه مع RdRPs الفيروسية أو بروتينات RdRP غير الفيروسية.

من خلال دمج نتائج استراتيجيتي البحث، تم اكتشاف 513,134 مجموعة فيروسية مكونة من RNA، تمثل 161,979 نوعاً فيروسياً مفترضاً (أي أكثر من 90% من هوية RdRP)، و180 مجموعة فيروسية فائقة مكونة من RNA قابلة للمقارنة بالفئات والشعب الفيروسية الموجودة كما حددتها اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات. بعد ذلك، تم إجراء مقارنة تلقائية لتسلسلات بروتين RdRP بتعريف موحد بين هذه الدراسة وغيرها من الدراسات للكشف عن إجمالي 70,458 نوعاً فيروسياً فريداً مفترضاً تم تحديده حديثاً بواسطة LucaProt. والجدير بالذكر أنه تم الكشف عن 60 مجموعة لم يتم تحديدها أو استكشافها من قبل والتي لم تحظ إلا باهتمام محدود حتى الآن. ومن بين هذه الفيروسات، تم التعرف على 512,690 من الفيروسات المتجاورة (99.9% من إجمالي الفيروسات المتجاورة) و157 مجموعة عظمى (87.2%) بواسطة كل من LucaProt وClstrSearch، بينما تم التعرف على 444 من الفيروسات المتجاورة و23 مجموعة عظمى إضافية بواسطة LucaProt فقط.


A
الاستراتيجية 1 (ClstrSearch)
الاستراتيجية 2 (AI modeling)
10.487 ميتانرانسكريبتوم
تجميع
1,368.0m استمرار
ترجمة
Len ≥ 300aa
144.6m بروتين
المقارنة مع قاعدة بيانات RdRP (75.3 مليون بروتين)
السلسلة بالاعتماد على التجميع
90%
60%
20%
مجموعة 1
مجموعة 2
مجموعة 3
مجموعة 3.805.584
إزالة مجموعات الـ RdRP غير المعروفة
(247.7 K تجمع غير معروف)
البحث عن ملف تعريف RdRP (925 مجموعة RdRP مفترضة)
فحص RdRP (713 مجموعة RdRP جديدة)
توسع
مجموعة فيروسية 1
مجموعة فيروسية 2
مجموعة فيروسية 3
مجموعة فيروسية 736
إزالة التطابقات مع قراءات الحمض النووي
دمج
مجموعة فيروسية فائقة 1
مجموعة فيروسية فائقة 2
مجموعة فيروسية فائقة 157
تصميم الذكاء الصناعي RdRP
تقسيم
كلمات فرعية
ESMFold
تحويل
مستوى الاهتمام بالقيمة
مستوى الاهتمام بالقيمة
منتج هادامارد
منتج هادامارد
مصفوفة التمثيل
مصفوفة التمثيل
ناقل التمثيل
Concat
تصنيف الناقل
792.4K بروتين
التطابق مع المجموعات الفائقة في الاستراتيجية 1
649.4k بروتين
143.0k بروتين
سلسلة اعتماداً على التجميع
إزالة المجموعات غير المعروفة (31.7k تجمع غير معروف)
البحث عن ملف تعريف RdRP والفحص
31 مجموعة جديدة من الـ RdRP
دمج
23 مجموعة فيروسية فائقة
RdRP
513.134 محتوى فيروسي
161.979 أنواع فيروسية مفترضة
180 مجموعة فيروسية فائقة



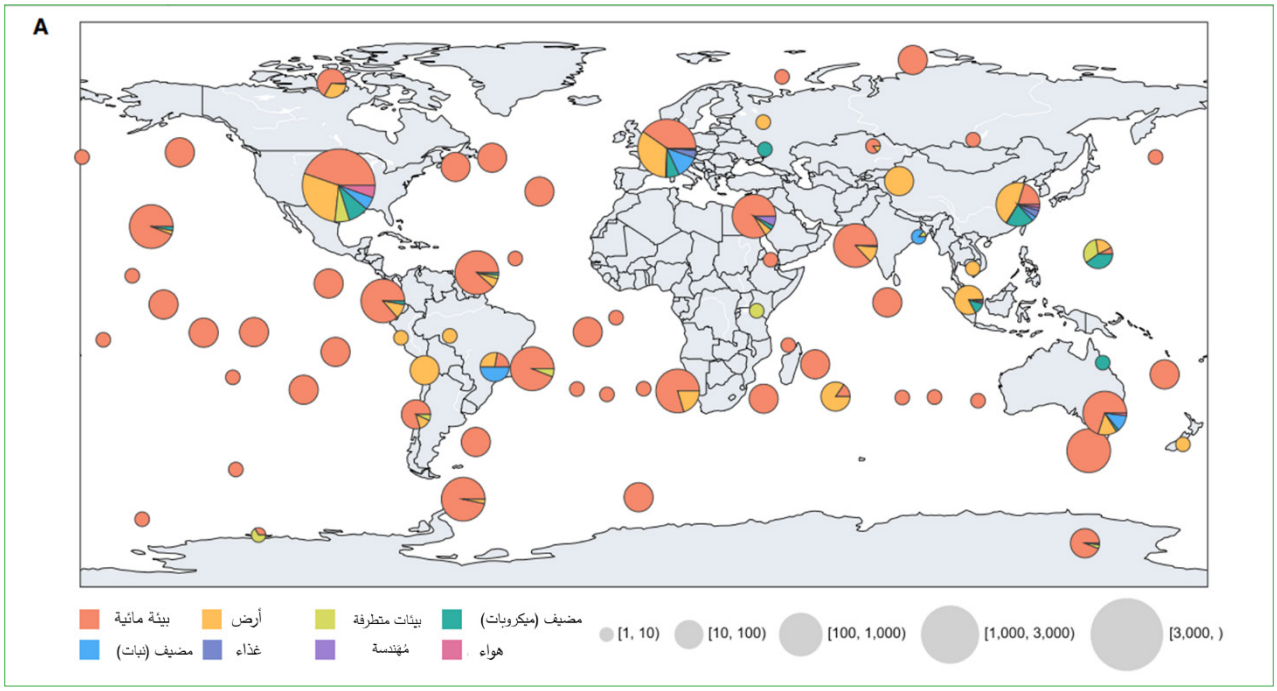
الشكل 2. الغلاف الفيروسي العالمي للحمض النووي الريبوزومي.
(A) خط اكتشاف فيروس الحمض النووي الريبوزومي. تم تسليط الضوء على مسار اكتشاف الفيروس القائم على تسلسل التماثل باللون الأزرق على اليسار، بما في ذلك خطوات التجميع والتوسيع والدمج. تم تسليط الضوء على مسار نمذجة الذكاء الصنعي RdRP باللون البرتقالي على اليمين، بما في ذلك خطوات النمذجة والتجميع والدمج. **(B)** عدد المجموعات الفيروسية الفائقة التي تم اكتشافها باستخدام طريقتين (على اليسار) وتحديد دقة الاكتشاف LucaProt على اليمين.

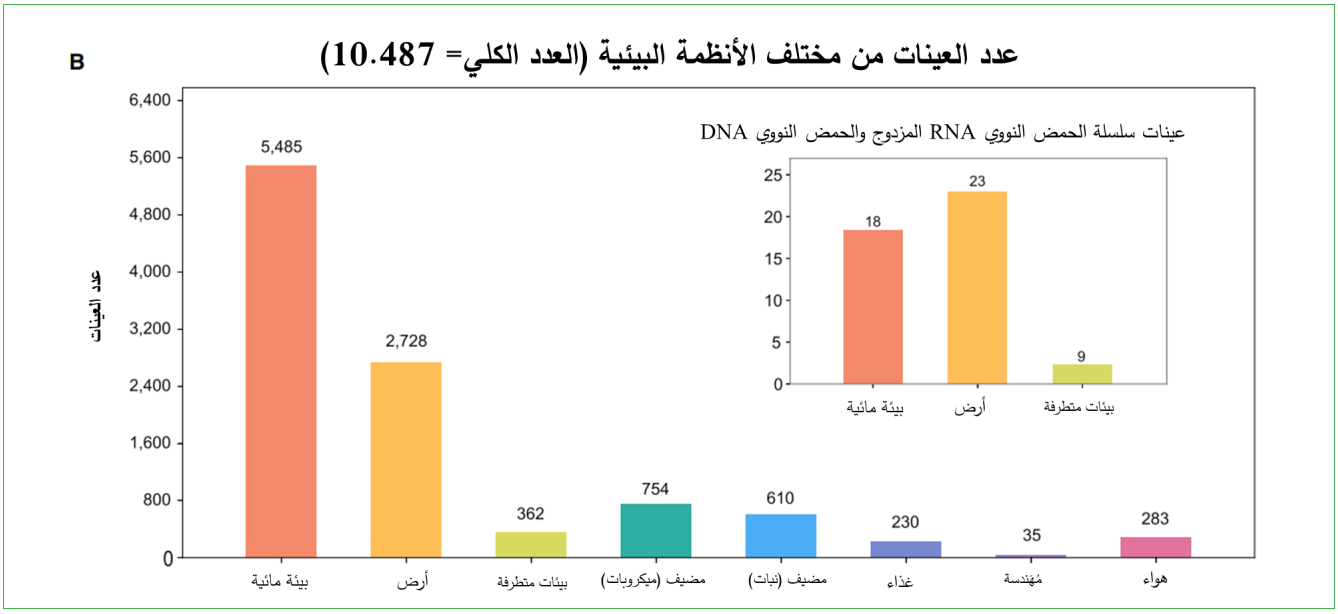
المقارنة المعيارية لـ LucaProt مع أدوات أخرى لاكتشاف الفيروسات

تمت مقارنة LucaProt بأربع أدوات أخرى لاكتشاف الفيروسات، من أجل تقييم حساسيته ونوعيته وذلك باستخدام نفس مجموعة البيانات وقاعدة بيانات RdRP. أظهر LucaProt أعلى معدل (أي نسبة النتائج الإيجابية الحقيقية المتوقعة بشكل صحيح)، مع الحفاظ على معدل نتائج إيجابية كاذبة منخفض نسبياً (أي نسبة النتائج السلبية الحقيقية المتوقعة بشكل غير صحيح على أنها نتائج إيجابية)، إلى جانب كفاءة حسابية معقولة. وأظهر HMMscan وPalmScan أعلى معدلات دقة (99.80% و99.46%) ولكن أدنى معدلات تذكر (65.00% و65.03%)، بينما أظهر Diamond BLAST و HH-suite أعلى معدل نتائج إيجابية كاذبة (0.195% و0.573%). عند النظر في جميع أدوات RdRPs التي تم تحديدها، أظهر LucaProt اكتشافاً شاملاً للفيروسات (98.22%)، في حين لم تتمكن أدوات اكتشاف الفيروسات الأربعة الأخرى من تحديد سوى جزء من المجموعة بأكملها (76.82%–87.81%). ومن المهم أن نتائج المقارنة المعيارية أظهرت أن أدوات اكتشاف الفيروسات الأخرى حددت أقلية فقط (<42%) من الفيروسات الجديدة التي تم تحديدها بواسطة LucaProt فقط (وليس بواسطة ClstrSearch).

من الجدير بالذكر أن LucaProt نجح في استدعاء أكثر من 98% من RdRPs الفيروسية التي تم تحديدها بواسطة ست دراسات أخرى منشورة، على الرغم من عدم استخدام أي منها في تدريب أو اختبار النماذج.

كشف الفحص اليدوي ومحاذاة التسلسل أن التسلسلات التي لم يتم اكتشافها بواسطة LucaProt تفتقر إلى منطقة مجال RdRP الأساسية. كما تفوق LucaProt على أدوات اكتشاف فيروسات RNA CHEER وVirHunter وVirtifier وRNN-VirSeeker من حيث التذكر والدقة ومعالجة التسلسل الطويل. وسمحت بنية المحول المتقدمة المدمجة في LucaProt بالمعالجة المتوازية لتسلسلات الأحماض الأمينية الأطول، والتي يمكنها التقاط العلاقات بين البقايا من أجزاء بعيدة من مساحة التسلسل بشكل أفضل من مشفرات CNN و/أو RNN المطبقة في أدوات المعلوماتية الحيوية الأخرى المقارنة.





الشكل 3. التغطية الجغرافية لبيانات النسخ الجيني التي تم تحليلها في هذه الدراسة.
(A) التوزيع الجغرافي للعينات التي تم تحليلها على مستوى النظام البيئي. يرتبط حجم الفطيرة بشكل إيجابي بعدد العينات (log10). تم تطبيق خوارزمية التجميع DBSCAN على تجميع 1837 نقطة عرض وطول من جميع النسخ الجينية في 70 نقطة مجمعة. **(B)** العدد الإجمالي للعينات في النظم البيئية المختلفة. يمثل الرسم البياني الشريطي المضمن العينات المستخدمة لتسلسل الحمض النووي الريبوزومي المزدوج والحمض النووي في هذه الدراسة.

التحقق من صحة وتأكيد المجموعات الفيروسية الفائقة التي تم التعرف عليها حديثاً

لقد تم إثبات أن المجموعات الفيروسية الفائقة الـ 180 التي تم التعرف عليها تمثل تسلسلات الحمض النووي الريبوزومي RNA وليس الحمض النووي DNA من خلال خطوط متعددة من الأدلة. فعلى مستوى التسلسل، تم استخدام معيارين لتأسيس مجموعة فيروسية فائقة: عدم وجود تشابه مع البروتينات الخلوية ووجود أنماط رئيسية لـ RdRP. إضافة إلى ذلك، فإن غالبية المجموعات الفيروسية الفائقة (60/180) التي تم التعرف عليها حديثاً، بما في ذلك

تلك الموجودة في LucaProt، تشترك في درجات متفاوتة من تشابه التسلسل مع RdRPs المرجعية الموجودة. وللتحقق من صحة التنبؤات الحسابية، تم إجراء استخلاص وتسلسل الحمض النووي الريبوزومي والحمض النووي الريبوزومي في وقت واحد على 50 عينة بيئية لفحص وجود 115 مجموعة فيروسية فائقة تم تحديدها في هذه العينات. وقد كشف هذا عن أن قراءات تسلسل الحمض النووي الريبوزومي فقط تم تعيينها على مجموعات متجاورة مرتبطة بـ RdRPs الفيروسية، في حين تم تعيين قراءات تسلسل الحمض النووي الريبوزومي والحمض النووي على مجموعات متجاورة مرتبطة بفيروسات الحمض النووي. وقد تم تأكيد 17 من 115 مجموعة فيروسية فائقة من خلال طريقة PCR-RT الأكثر حساسية، وقد كشف هذا عن غياب التسلسلات المشفرة لـ RdRP الفيروسي في عمليات استخراج الحمض النووي، مما يشير إلى أن هذه المجموعات الفيروسية الفائقة هي كائنات RNA حقيقية.

وتم استخدام محاذاة ثلاثية الأبعاد لمقارنة RdRPs الفيروسية التي تم تحديدها حديثاً مع RdRPs الفيروسية المعروفة، وRdRPs حقيقية النواة (Eu RdRPs)، وبوليميرازات RNA المعتمدة على الحمض النووي حقيقية النواة (Eu DdRPs)، وRTs لتحديد درجة التشابه البنيوي. تحتوي مجموعات RdRP الفائقة الجديدة من LucaProt على ثلاثة مكونات مميزة على الأقل من هياكل RdRP الفيروسية التي أدت إلى تشابه بنيوي أعلى بشكل ملحوظ مع بروتينات فيروس الحمض النووي الريبوزومي المعروفة (متوسط تشابه البنية= 3.0) من نظيراتها الخلوية (متوسط تشابه البنية= 5.8)

تكشف الهياكل الجينومية عن الوحدات النمطية والمرونة داخل الغلاف الفيروسي للحمض النووي الريبوزومي

تم تحليل بنية جينومات فيروس الحمض النووي الريبوزومي المفترضة التي تم اكتشافها، واختلف طول الجينومات أو أجزاء الجينوم المشفرة لـ RdRP بشكل ملحوظ داخل المجموعات الفيروسية الفائقة وفيما بينها، على الرغم من أن معظمها كان يتركز حول 2131 نوكليوتيداً. ومع ذلك، إن مجموعة البيانات الجديدة تحتوي أيضاً على جينومات فيروس الحمض النووي الريبوزومي الطويلة بشكل استثنائي تم تحديدها من التربة التي تنتمي إلى المجموعة الفائقة الشبيهة بـ Nido. كان أحد هذه الجينومات 47.3 kb، مما يجعله أحد أطول فيروسات الحمض النووي الريبوزومي التي تم تحديدها حتى الآن. ومن المثير للاهتمام أنه تم تحديد قالب قراءة مفتوح إضافي open reading frame (ORF) بين الطرف 50 من جينوم هذا الفيروس وقالب القراءة المفتوح الذي يشفر RdRP، على الرغم من أن وظيفة البروتين المشفر غير واضحة بسبب عدم وجود تشابه تسلسلي مع البروتينات المعروفة. إضافة إلى RdRP، تم توصيف البروتينات الأخرى المتوقعة المشفرة بواسطة جينومات الفيروسات التي تم تحديدها حديثاً. وبينما لم يكن لدى معظمها نظائر في قواعد البيانات الموجودة، فقد تم تحديد بعض البروتينات التي كانت مرتبطة ببروتينات بنيوية (مثل: الغلاف، والغطاء، والغليكوبروتين، وبروتينات الغلاف) وغير بنيوية (مثل: الهيليكاز، والبروتياز، وميثيل ترانسفيراز، وبروتين الحركة، والبروتينات المناعية، أو البروتينات التنظيمية المرتبطة بالمضيف) من الفيروسات المعروفة. ومن المهم أن وجود هذه البروتينات الفيروسية الإضافية في المجموعات الفائقة التي تم تحديدها حديثاً قدم دليلاً إضافياً على أنها من فيروسات RNA الحقيقية. كما يشير وجود البروتينات المرتبطة بالعاثيات إلى أن بعض الفيروسات من المحتمل أن تصيب العوائل البدائية، على الرغم من الحاجة إلى مزيد من التحقق. إضافة إلى ذلك، كان حدوث هذه البروتينات غير متوافق مع التاريخ التطوري للفيروس كما استُنتج من تسلسلات RdRP (الشكل 5E)، مما يشير إلى تكوين شبيه بالمعيار لجينومات فيروس الحمض النووي الريبوزومي.

التنوع التطوري الموسع لفيروسات الحمض النووي الريبوزومي

تم اكتشاف توسع في مجال فيروسات الحمض النووي الريبوزومي على مستوى أنواع الفيروسات بزيادة مقدارها 55.9 ضعفاً (251,846/4,502) عن تلك التي حددها ICTV وزيادة بمقدار 1.4 ضعفاً (251,846/181,388) عن جميع

تسلسلات RdRP الموصوفة سابقاً، وكان من الواضح في كل من توسع مجموعات الفيروسات المعروفة (على سبيل المثال، الشُعب والرتب والعائلات) أنه تم تحديد مجموعات جديدة تماماً. وشكلت العديد من الفيروسات المكتشفة مجموعات مختلفة عن الأنساب التي لوحظت في مجموعات الفيروسات الفائقة الموصوفة سابقاً. ومن المثير للاهتمام أن العديد من المجموعات التي كانت ممثلة سابقاً بعدد محدود فقط من الجينومات-وهي مجموعات AstroPoty وHypo وYang وCysto -شهدت توسعاً كبيراً لتشمل مجموعات فيروسية أكبر ذات تنوع تطوري أكبر. كما أظهرت العديد من المجموعات الفائقة التي تم تحديدها حديثاً مستويات عالية من التنوع التطوري، بما في ذلك SG023 (1232 نوعاً من الفيروسات)، وSG025 (466 نوعاً من الفيروسات)، وSG027 (475 نوعاً من الفيروسات)، مما يشير إلى أنه سيتم اكتشاف المزيد من الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي الأكثر تبايناً في العينات البيئية. وكانت المجموعات الفائقة التي تحتوي على أكبر عدد من أنواع الفيروسات هي Narna-Levi (58063 نوعاً من الفيروسات)، وPicorna-Calici (19970 نوعاً من الفيروسات)، وTombus-Noda (15520 نوعاً من الفيروسات).

البنية البيئية لفيروس الحمض النووي الريبوزومي العالمي

تم الكشف عن وجود فيروسات الحمض النووي الريبوزومي في كل مكان عبر الأنواع الفرعية المتنوعة من النظم البيئية (32 فئة) وفي 1612 موقعاً على مستوى العالم. وعلى الرغم من الجهود المتكررة للكشف عن تنوع فيروسات الحمض النووي الريبوزومي من هذه العينات البيئية، فإن 33.3% من المجموعات الفيروسية التي اكتشفها LucaProt لم يتم وصفها مسبقاً. والواقع أنه على الرغم من التباطؤ العام، فإن معدل اكتشاف فيروس الحمض النووي الريبوزومي لم يصل إلى معدل استقرار عام، مما يسلط الضوء على التنوع الهائل غير المستغل في مجال فيروس الحمض النووي الريبوزومي العالمي. وهذا واضح بشكل خاص في بيئات التربة، حيث كانت هناك زيادة ملحوظة في اكتشاف الفيروسات. للمساعدة في تحديد أي أنماط بيئية، تمت مقارنة تنوع ألفا (مقاساً بمؤشر شانون) ومستويات الوفرة (مقاسة بعدد القراءات لكل مليون من rRNA الإجمالية غير المقروءة، أي RPM) لفيروس الحمض النووي الريبوزومي بين الأنواع الفرعية المتنوعة للأنظمة البيئية، وكان متوسط تنوع ألفا أعلى في بيئات مخلفات الأوراق والأراضي الرطبة والمياه العذبة ومياه الصرف الصحي، بينما بلغت وفرة الفيروسات ذروتها في الأنواع الفرعية للأنظمة البيئية للرواسب القطبية الجنوبية والرواسب البحرية والمياه العذبة، مع متوسط RPM يتراوح من 18424.6 إلى 46685.5. وعلى النقيض من ذلك، كان أدنى متوسط تنوع ووفرة في بيئات التربة الصخرية المعدنية والبيئات تحت السطحية، وهو ما كان متوقعاً بسبب كتلتها الحيوية المنخفضة (أي الخلايا المضيفة). بالنسبة للأنواع البيئية المتطرفة مثل الينابيع الساخنة والفتحات الحرارية المائية، تميزت الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي المرتبطة بها بتنوع منخفض ووفرة معتدلة (RPM 3726.9-1528.9). ومن الجدير بالذكر أيضاً أن المجموعات الفيروسية الجديدة تم العثور عليها بشكل أساسي في العينات المائية والرواسب مع حدوث عدد قليل فقط في عينات الحيوانات الفقارية واللافقارية.

كما كشفت النتائج عن مستويات انتشار ووفرة مجموعات فيروسية معينة عبر الأنواع الفرعية للأنظمة البيئية. وكانت غالبية الفيروسات المكتشفة (85.9%) فقط في نوع فرعي واحد من الأنظمة البيئية. ومع ذلك، قد تكون الفيروسات الأخرى عامة بيئياً. على سبيل المثال، تم العثور على أفراد المجموعات الفائقة Narna-Levi وPartiti-Picobirna و Picorna إضافة إلى المجموعة الفائقة Tombus-Noda في أكثر من 32 نوعاً فرعياً من الأنظمة البيئية. وتم تحديد أنواع فيروسات لها دلالة بيئية أو "marker" التي أظهرت انتشاراً ووفرة عالية حصرياً داخل أنواع فرعية محددة من الأنظمة البيئية، ومن بين هذه الأنواع، ارتبط Partiti-Picobirna sp.1991 وPartiti-Picobirna sp. 5447 بالينابيع الساخنة، بينما ارتبط Tombus-Noda sp. 2765 والمجموعة الفائقة sp 026. ارتبطت 2205 من الفيروسات بالفتحات الحرارية المائية، مما يشير إلى وجود علاقة محتملة مع مضيفين متخصصين يتكيفون مع هذه البيئات. ومع ذلك، نظراً لأن مجموعات البيانات التي جرى تحليلها تم إنشاؤها بواسطة مختبرات مختلفة تستخدم معالجة عينات مميزة، وإعداد مكتبة، وإجراءات تسلسل، فإن مقارنات التنوع الفيروسي ووفرته بين الأنواع الفرعية المختلفة للنظام البيئي

كانت بالضرورة عرضة للتحيزات النظامية.

يظل التحديد الدقيق للفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي شديدة التباين يشكل تحدياً كبيراً، مما يعيق الفهم الشامل للتنوع الجيني في مجال الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي، ويعيق التقدم في تطور الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي وبيئتها. في الواقع، اعتمد النهج التقليدي لاكتشاف الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي بشكل كبير على مقارنات التشابه التسلسلي واكتمال قواعد بيانات التسلسل. لمعالجة هذه المشكلات، تم تطوير نموذج التعلم العميق القائم على البيانات (أي LucaProt) والذي يتفوق على الأساليب التقليدية في الدقة والكفاءة، والأهم من ذلك اتساع تنوع الفيروسات المكتشفة. ومن المهم أن LucaProt لم يدمج بيانات التسلسل فحسب، بل قام أيضاً بدمج المعلومات البنيوية، وهو أمر بالغ الأهمية للتنبؤ الدقيق بوظيفة البروتين، وخاصة في حالة RdRP دون تنفيذ النموذج البنيوي، كان لدى LucaProt 41.8% و94.9% فقط من النوعية والدقة، على التوالي، في مجموعة بيانات الاختبار، ولم يتمكن سوى من اكتشاف 44.5% من بروتينات RdRP المتوقعة. ومن ثم، فإن الحفاظ على بنية RdRP يفوق أهمية تسلسلات RdRP في تحديد فيروسات الحمض النووي الريبوزومي شديدة التباين. كما تم إنشاء نموذج إطار عمل الذكاء الصنعي لاكتشاف فيروس الحمض النووي الريبوزومي على نطاق واسع، والذي يمكن توسيعه بسهولة إلى الوصف الدقيق لأي «مادة مظلمة» بيولوجية بمجرد إعداد مجموعة البيانات التدريبية. تم تصنيف جميع تسلسلات فيروسات الحمض النووي الريبوزومي التي تم تحديدها إلى مجموعات ومجموعات عظمى، إضافة إلى اكتشاف 60 مجموعة فائقة التباين للغاية والتي تم تجاهلها إلى حد كبير في مشاريع اكتشاف الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي السابقة.

كانت مجموعات الفيروسات الفائقة التي تم تحديدها قابلة للمقارنة إلى حد كبير بنظام التصنيف الحالي على مستوى الشعبة (على سبيل المثال، شعبة Lenarviricota في حالة المجموعة الفائقة Narna-Levi) أو الطبقة (على سبيل المثال، فئات Stelpaviricetes وAlsuviricetes وFlasuviricetes للمجموعات الفائقة Astro-Poty وHepe-Virga وFlavi)، مما يسلط الضوء على مدى التنوع التطوري الذي تم تحديده هنا.

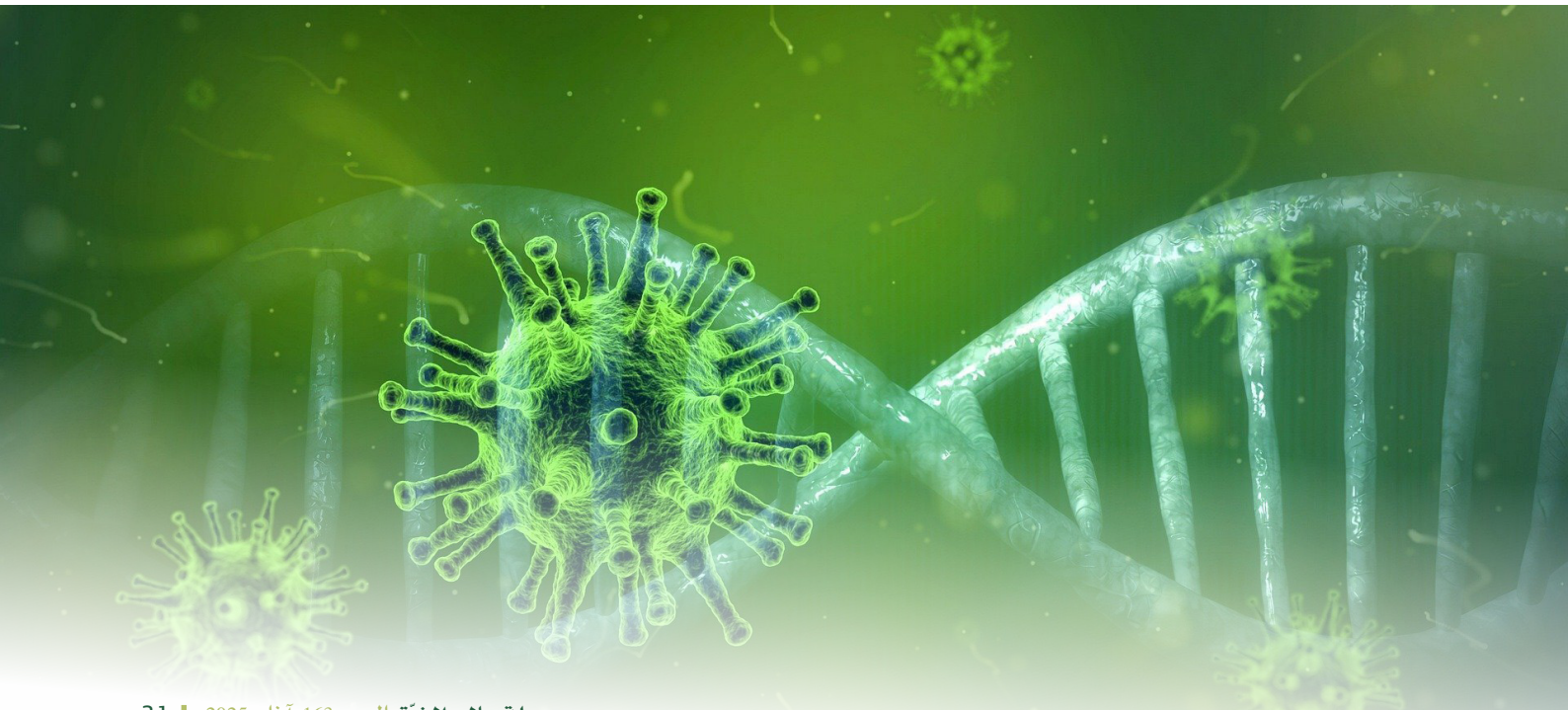
على الرغم من التوسع الكبير في تنوع فيروسات الحمض النووي الريبوزومي الموثق، لا تزال هناك فجوات كبيرة في فهمنا لتطور الفيروسات المكتشفة حديثاً وبيئتها. وعلى وجه الخصوص، لا تزال العوائل لأغلب الفيروسات التي تم تحديدها غير معروفة. وبما أن غالبية الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي المعروفة حالياً تصيب حقيقيات النوى الموجودة بكثرة وتنوع كبيرين في البيئات الطبيعية، فمن الممكن أن تكون المجموعات الفيروسية والمجموعات الفائقة المحددة مرتبطة إلى حد كبير بمضيفات حقيقية النوى الميكروبية المتنوعة. ومن المرجح أيضاً أن نسبة كبيرة من الفيروسات الجديدة المكتشفة مرتبطة بمضيفات بكتيرية (وربما قديمة). والواقع أن الأدلة المتزايدة، تدعم بقوة فكرة أن المزيد من مجموعات الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي أكثر من تلك الموثقة حالياً المرتبطة بالبكتريا. ويؤكد وجود البكتريا ذات الحمض النووي الريبوزومي في مجموعات فائقة متعددة من الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي على الارتباط التطوري بين الفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي من مضيفات بكتيرية وحقيقية النوى. وإذا نظرنا إلى الأمر من خلال عدسة التباين المشترك بين الفيروس والمضيف، فإن مثل هذا الارتباط يشير إلى أن التاريخ التطوري للفيروسات ذات الحمض النووي الريبوزومي طويل على الأقل، إن لم يكن أطول، من تاريخ الكائنات الخلوية.

يظل تصنيف الفيروسات على مقياس تطوري عميق مهمةً معقدة وصعبة بسبب المستويات العالية جداً من التباين الجيني الذي تظهره هذه الفيروسات. وهذا التباين واضح لدرجة أن التسلسل أو التشابه البنيوي لا يمكنهما الكشف بشكل كافٍ عن تاريخها التطوري الحقيقي. كما أن النجاح في تأكيد طبيعة الحمض النووي الريبوزومي لبعض مجموعات الفيروسات الفائقة من خلال تسلسل الحمض النووي الريبوزومي والحمض النووي للعينة نفسها، لا يمكن بالضرورة نجاحه على مجموعات فيروسية فائقة أخرى. وذلك لأن المجموعات الفائقة تم تحديدها باستخدام بيانات

من قاعدة بيانات أرشيف قراءة التسلسل (SRA) التي تفتقر إلى بيانات تسلسل الحمض النووي المطابقة، كما أن الجينومات الفيروسية المحددة تحتوي فقط على أجزاء مرتبطة بـ RdRP. بالنسبة للفيروسات المجزأة، هذا يعني أنه تم اكتشاف جينومات جزئية فقط، مع تباعد التسلسل الأكبر في الأجزاء غير RdRP مما يعيق تحديدها. إن الجهود المستقبلية التي تستخدم نماذج أكثر عمومية قد تحدد جميع المقاطع الفيروسية. ويمكن توسيع نماذج الذكاء الصنعي للكشف عن البروتينات الوظيفية الفيروسية بما يتجاوز RdRP، مما يتيح تحديد المقاطع التي تشفر بروتينات فيروسية متباينة للغاية. وبدلاً من ذلك، نظراً لأن جميع مقاطع الجينوم الفيروسي يجب أن يكون لها مستويات متطابقة على نطاق واسع من الوفرة مثل RdRP، يمكن استخدام اكتشاف التسلسلات ذات الوفرة المماثلة لـ RdRP لتحديد مقاطع إضافية، خاصةً إذا تم العثور على هذا النمط من الوجود المشترك في مكتبات متعددة.

المصدر:

- نُشر هذا المقال في مجلة: ***Hou et al., 2024. Using artificial intelligence to document the hidden RNA virosphere. Cell 187, 1–14 November 27, 2024. Published by Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.09.027..***
- ترجمة: **د. أيمن المريري**، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.



تعليم العلوم النووية وتقاناتها: المستجدات والآفاق المستقبلية

تنضوي العلوم النووية على أساسيات مفاهيم ومبادئ فهم بنية الذرة ونواتها وخصائص القوى النووية ودراسة الاستقرار النووي وما يرافقها من تفككات وإصدار إشعاعات نووية مؤينة. في حين تغطي التكنولوجيا النووية طيفاً واسعاً من التطبيقات المستندة على التفاعلات النووية والأشعة المؤينة الصادرة عن النوى، طبيعياً أو صنعياً.

الكلمات المفتاحية: *تعليم، علوم نووية، تطبيقات.*

تؤدي العلوم النووية وتقاناتها Nuclear Science & Technology – NST دوراً حيوياً في العديد من المجالات التي تؤثر بشكل مباشر على حياتنا اليومية وتساهم في التنمية المستدامة. ومن التطبيقات المستندة للعلوم النووية نذكر منها، على سبيل المثال لا الحصر، الاستخدامات الطبية التشخيصية والعلاجية عبر التصوير الطبي بالأشعة السينية وغيرها وبالرنين المغنطيسي والعلاج الإشعاعي للأورام السرطانية وغيرها. كما نذكر أيضاً تطبيقات توليد الكهرباء بالطاقة النووية والتي يرافقها مستويات منخفضة جداً من إطلاقات غازات الكربون، مما يساعد في تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والحد من التغير المناخي. وهناك تطبيقات للطاقة النووية في مجال ازالة ملوحة الماء وإنتاج الهدروجين والتدفئة للأحياء والمناطق وغيرها. أما على صعيد الأمن الغذائي، فتساعد العلوم النووية في ضمان سلامة الأغذية من خلال الكشف عن الملوثات والمواد الضارة في المنتجات الغذائية وإطالة العمر التخزيني لها. كما تستخدم التقانات النووية في العلوم الزراعية لتحسين جودة المحاصيل الزراعية وزيادة إنتاجيتها ومكافحة الآفات الزراعية بطرق صديقة للبيئة. وفي إطار البحوث العلمية، تساهم البحوث النووية في فهم أعمق للكون من حولنا من خلال دراسة الجسيمات الأولية والتفاعلات النووية، الأمر الذي سمح بفتح آفاق جديدة في علم فيزياء الفلك وغيرها.

وقد تأثرت النظرة المجتمعية السلبية للعلوم النووية وتطبيقاتها بعدم الفهم والتقدير لإسهاماتها في تنمية المجتمع؛ فعلى سبيل المثال، تعارض العديد من المجتمعات إنشاء

محطات لتوليد الكهرباء بالطاقة النووية انطلاقاً من عدة عوامل منها المخاوف البيئية (النفايات النووية) والصحية (التعرض للإشعاع) والعسكرية (انتشار السلاح النووي). تاريخياً، سجلت أربعة حوادث نووية كبيرة في محطات طاقة لتوليد الكهرباء، الأمر الذي ترك أثراً عميقاً في وعي عموم الناس مما أدى إلى مخاوف كبيرة بشأن سلامة تطبيقات التقانات النووية. وقد تسببت هذه النظرة المجتمعية السلبية التي اكتنفت جوانب العلوم النووية وتقاناتها، غالباً انطلاقاً من الجهل المرتبط بجوانب الأمن والأمان والتنظيم المحكم المرافق لاستخدام تطبيقات التقانات النووية من خلال اتفاقيات الضمانات النووية والأطر القانونية لحظر التسلح، إلى عزوف العديد من الطلبة عن الانخراط الدراسي الجامعي في العلوم والهندسة النووية وتفضيل الدراسات الطبية والهندسية والمعلوماتية. وبالنظر لتدهور أعداد خريجي الاختصاصات العلمية اللازمة لرفد القوى البشرية العاملة في تطبيقات العلوم النووية في العديد من دول العالم فقد لجأت تلك الدول إفرادياً أو إقليمياً، في بعض الحالات بمساعدة الوكالة الدولية للطاقة الذرية وهي الجهة الأممية المعنية بضمان التشغيل الآمن للتطبيقات الطاقية وغير الطاقية للعلوم النووية في الدول الأعضاء، إلى تنشيط التعليم النووي والسعي الحثيث نحو تهيئة الجيل القادم المتخصص وتزويده بالمعارف والخبرات النووية بغية رفد القطاع النووي بالموارد البشرية الشابة وضمان استدامة التشغيل الآمن للمفاعلات والمسرعات وغيرها من التجهيزات المستندة للتقانات النووية.

وبناءً على ماسبق كان لزاماً على صانعي القرار في القطاعات المرتبطة بالتطبيقات النووية ربط العلوم النووية وتقاناتها بالمناهج المدرسية ونشاطاتها الإثرائية مما له تأثير إيجابي كبير على التعلم وتعزيز الوعي العلمي لدى الطلبة (والمجتمع بطبيعة الحال) وتشجيعهم على متابعة دراساتهم في مجالات العلوم النووية وتقاناتها. وفي هذا المسعى، تعد الشراكة الاستراتيجية بين كل من وزارات التربية والتعليم وهي الجهات الوطنية المعنية بتطوير المناهج التدريسية ومهارات المعلمين وآليات التعليم ووسائله ومخرجاته العملية والتعليمية من جهة، وبين الهيئات والمراكز البحثية الوطنية المتخصصة في دراسات وأبحاث وتطبيقات العلوم النووية وتقاناتها من جهة ثانية منطلقاً لتوفير الكوادر البشرية الشابة التي ستساهم في التصدي لتحديات القرن العشرين والمرتبطة بالأمن الطاقي والغذائي والبيئة والمناخ والتنمية المستدامة وغيرها.

وقد جرى، وعلى أعلى المستويات الأممية، تسليط الضوء على الحاجة الملحة لتحقيق التحول نحو التعليم النوعي والذي يضمن التعليم الجيد المنصف والشامل وتعزيز فرص التعلم مدى الحياة وللجميع. والتعليم النوعي هو الهدف

الرابع من أهداف التنمية المستدامة SDG الـ 17 التي وضعتها الأمم المتحدة عام 2015 لتحقيق مستقبل أفضل للجميع بحلول عام 2030. ويتطلب تحقيق التعليم النوعي بكل مراحله العمرية، الأساسي والإعدادي والثانوي والتقني والمهني والعالي، نقلة نوعية في قطاع التعليم يكون أساسها التحول الجذري في استراتيجيات ومقاربات وأساليب وطرق التعليم لتحقيق نتائج أفضل وفعالية أكبر. ويشمل هذا التحول عدة محاور تستلزم إقحام عدة تقانات في مجالي المعلومات والاتصالات ونذكر منها:

① استخدام الأدوات التكنولوجية كالحواسب والأجهزة اللوحية والبرمجيات التعليمية لتحسين تجربة التعلم.

② تصميم مناهج تعليمية (رقمية في أغلب الأحيان) مخصصة ومرنة تسمح للطلاب بالتقدم في دراستهم بناءً على مقدراتهم الفردية.

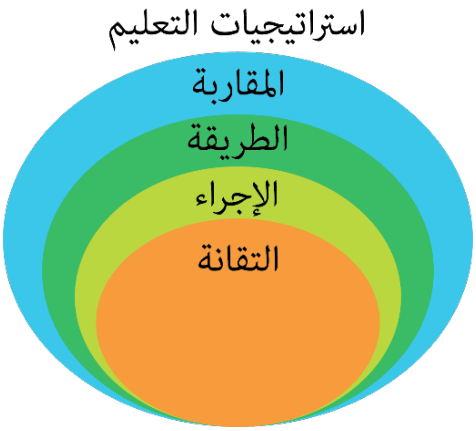
③ تشجيع الطلاب على المشاركة الفعالة في العملية التعليمية من خلال الأنشطة التفاعلية والمشاريع الجماعية.

④ توفير فرص التعليم عبر الإنترنت مما يتيح للطلاب التعلم من أي مكان وفي أي وقت عبر منصات إدارة التعليم الإلكتروني.

⑤ استخدام أساليب تقييم مستمرة لمتابعة مسار العملية التعليمية وسبر معارف الطلاب ومكتسباتهم المعرفية وتحديد نقاط القوة والضعف لديهم.

يركز التعليم الحديث على تطوير مهارات الطلاب وقدراتهم الفردية من خلال استخدام أساليب وطرائق تعليمية مبتكرة وتفاعلية توظف التفكير الناقد وحل المسائل وتطوير مهارات الاتصال ومحو الأمية المعلوماتية والرقمية والمواطنة العالمية. ولا ينبغي إغفال التطوير المهني للمعلمين أنفسهم من خلال عملية مستمرة تهدف إلى تحسين مهارات المعلمين ومعارفهم وأساليب وطرق التدريس التي يستخدمونها في سبيل رفعة جودة التعليم. ويشكل التعليم والتدريب عنصراً أساسياً في استدامة الصناعة النووية وما يرافقها من تقانات تطبيقية. وتختلف استراتيجيات التعليم عن استراتيجيات التعلّم، ففي استراتيجيات التعليم يكون للمعلّم الدور المركزي في توجيه العملية التعليمية والمتعلمين، فيما تركز استراتيجيات التعلّم على المتعلّم كمكون رئيسي في العملية التعليمية مع تعديل لدور المعلّم ليصبح ميسراً لها ومشرفاً عليها. وتعرّف استراتيجية التعليم بأنها الخطة الشاملة الهادفة لتحقيق أهدافاً تعليمية محددة من خلال استخدام مجموعة من الموارد والأدوات والأنشطة التعليمية التي يستخدمها المعلمون في إعداد الخطة الدراسية والتي تعد من أهم عناصر مواد المناهج التعليمية التي تشمل أيضاً الموارد والأدوات كالكتب وكراسات التمارين والتدريبات والدراسات الفردية والخطط الدراسية والنمذجات الرقمية والتجارب الافتراضية الحاسوبية وكتابة المقالة والصور والجداول التوضيحية والفيديوهات والمصورات الجدارية والعروض التقديمية وأية موارد وأدوات تعليمية متاحة عبر الإنترنت.

وهناك نهجان مختلفان في مقاربات التعليم وهما المقاربة المباشرة والمقاربة التجريبية؛ فالمقاربة المباشرة على التعليم التقليدي حيث يقوم المعلّم بنقل المعلومات مباشرة إلى الطلبة عبر الدروس والشروحات والتمارين الصفية وذلك بالاستعانة بالكتب المدرسية. ويتلقى الطلبة المعلومات فيقومون بحفظها واستذكارها دون أية تفاعلية في معظم الأحوال. أما المقاربة التجريبية، فتعتمد على التعلّم بالملاحظة والتجربة مما يشجع الطلبة على المشاركة الفعالة والاستكشاف



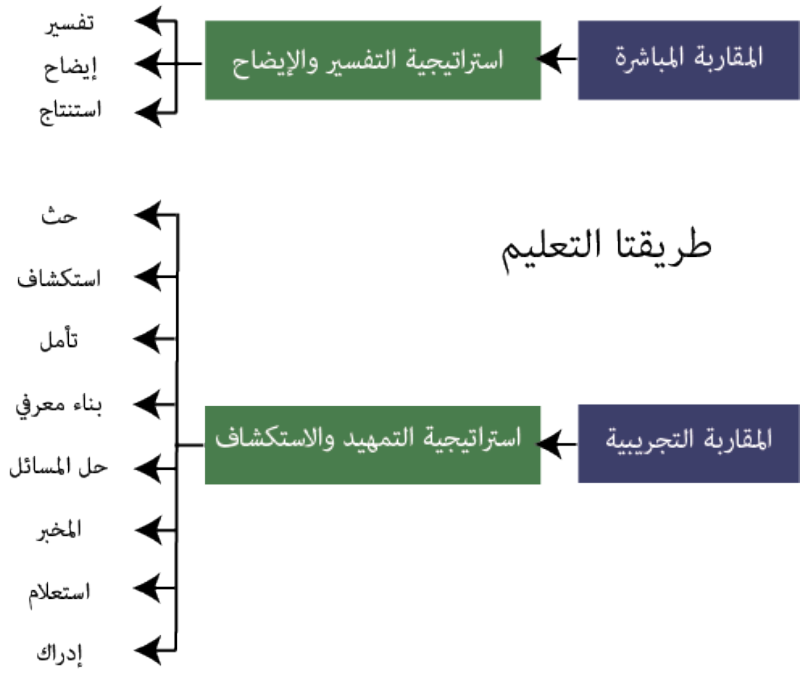
وحل المشكلات عبر الأنشطة العملية والمشاريع والتجارب. ولكلا المقاربتين مزاياها وعيوبها مما دعا بعض التربويين للجمع بينهما لتحقيق تعليم مبتكر وشامل وفعّال وهو ما يحتاجه معلّمو العلوم النووية.

وفي حين كانت الاستراتيجيات والطرائق التقليدية المتبعة في العملية التعليمية تركز على حفظ الطلبة للحقائق العلمية عن ظهر قلب وفق المقاربة التقليدية المباشرة، فإن الاستراتيجيات التعليمية الحديثة الابتكارية، والتي تتبع نهج المقاربة التجريبية، تساهم في زيادة اهتمام المتعلّمين بتوظيف تفكيرهم الناقد واستكشافهم العلمي للوصول للفهم الشامل للمواضيع النووية مما يحث المتعلّمين على متابعة تحصيلهم العلمي في مجال العلوم النووية وتقاناتها ودخول سوق العمل المرتبط بالتقانات النووية. وتوجد عدة محاولات لاعتماد استراتيجيات تعليم متطورة تعتمد على مزيج طريقتين للتعليم الصفي واللاصفي. ومن الطرائق التي يمكن من خلالها دمج العلوم النووية وتقاناتها في المناهج الدراسية الثانوية، على وجه الخصوص، نذكر:

1. **البرامج التخصصية:** وتركز في مراحل مبكرة من التعليم على العلوم النووية وتطبيقاتها المختلفة كالطاقة النووية والطب النووي والزراعة والصناعة.
2. **الزيارات الميدانية:** لمحطات الطاقة النووية أو مراكز الأبحاث النووية أو غيرها مما يوفر تجربة تعليمية عملية وفهماً أعمق للتقانات المستخدمة.
3. **ورش العمل والندوات:** وتعقد بالتعاون مع خبراء في العلوم النووية وتطبيقاتها مما يساعد في توسيع معارف الطلبة وإثارة اهتمامهم وتحفيزهم.
4. **المسابقات والمشاريع:** بمشاركة الطلبة في مسابقات علمية ومشاريع بحثية تتعلق بالتقنيات النووية مما يعزز من مهاراتهم البحثية والعلمية.
5. **الموارد التعليمية الرقمية:** من خلال دمجها في التعليم مثل الفيديوهات والمحاكاة مما يبسط المفاهيم النووية ويجعلها أكثر شغفاً للطلبة.

ويمكن لهذه الطرائق أن تساعد في تعزيز الوعي العلمي لدى الطلبة وتشجيعهم على متابعة دراساتهم الجامعية والعليا في مجالات العلوم النووية وتقاناتها. ويلزم تطوير مفهوم التعلّم وتسهيل تعليم العلوم النووية، حيث لن تجدي الطرق التقليدية في التعليم المعتمدة على الاستذكار والحفظ عن ظهر قلب في تعليم المحتوى التعليمي الذري والنووي وتطبيقاتهما. ولا بد من اللجوء إلى تقانات تعليمية وأساليب تدريسية خلاقة في إيصال المفاهيم وجعل عملية التعليم أكثر شمولية وتفاعلية. كما يمكن الاستفادة من البرامج النووية الإثرائية للمنهاج المدرسي الثانوي والتي تساهم في تحسين جودة التعليم النووي وتطوير معارف الطلبة بشكل أفضل.

عموماً، هنالك عدة أنماط في التعليم والتي تهدف إلى تعزيز تعلّم الطلاب كالتعليم التعاوني أو التعليم العملي

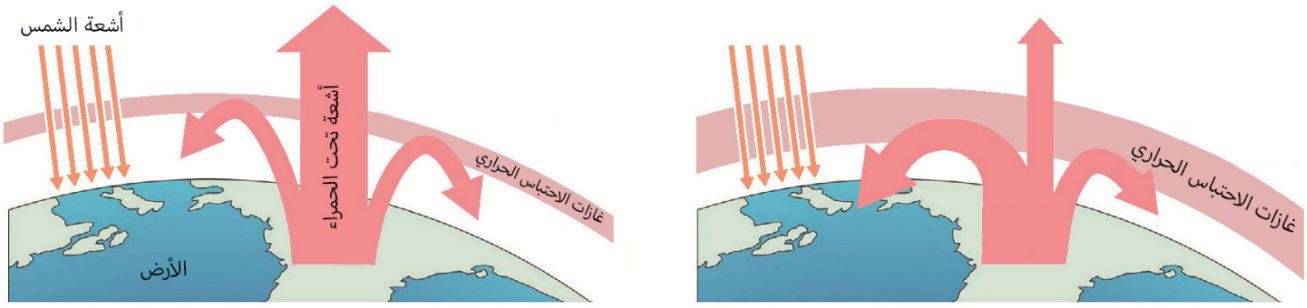


أو التعليم الاستقصائي أو التعليم المدمج أو التعليم التفاعلي. ويشجع التعليم التعاوني على العمل الجماعي ضمن مجموعات صغيرة من الطلبة متجانسي القدرات الاستيعابية. وتستخدم في هذا النوع من التعليم مجموعة من الطرائق التي تساعد على التفاعل بين الطلبة وتعزز مهارات التواصل والتفكير النقدي لديهم بغرض تحقيق هدف تعليمي محدد. ويحقق الطلبة مجموعة من الفوائد الإجتماعية والعلمية من خلال التعلم التعاوني كالوصول إلى مستوى أعلى من الإنجاز ونقل المعرفة وتقليص زمن الواجبات وبناء صداقات متنوعة وتعلم احترام الذات وبناء مهارات تواصل وتفاعل مستدامة إضافة إلى اكتساب المهارات المطلوبة في التعامل مع المجتمع مثل الإبداع واحترام الذات وقبول الانتقاد. ويساعد التعليم العملي الطلبة في تطبيق المعرفة النظرية في مشاهدات تطبيقية حقيقة من خلال تنفيذ مشاريع عملية، وأكثر الأمثلة المتداولة في هذا السياق تجربة الحجيرة الضبابية (السحابية) لرصد مسارات الجسيمات المشحونة. أما التعليم الاستقصائي فيعتمد على قيام الطلبة بطرح الأسئلة والبحث عن الإجابات بأنفسهم، مما يعزز مهارات البحث والاستقصاء لديهم. كما يجمع التعليم المدمج بين التعليم التقليدي والتعليم الإلكتروني، مما يوفر تجربة تعليمية شاملة ومتنوعة تستند إلى دمج التقانات الرقمية في مختلف جوانب العملية التعليمية. أما التعليم التفاعلي فيستخدم الألعاب كوسيلة تعليمية تعطي المتعلمين متعة وتفاعلية. ولا بد من التطرق لموضوع حديث جدا يعرف بالتعليم وفق الكفاءات والذي يعتمد نهجاً تربوياً يركز على تطوير المهارات والمعارف الضرورية للنجاح في الحياة العملية، وهذا النهج يختلف عن التعليم التقليدي بتركيزه على إتقان الكفاءات المحددة بدلاً من مجرد اجتياز المقررات الدراسية ومواد المنهاج المدرسي.

من جهتها، احتضنت الوكالة الدولية للطاقة الذرية مساعي بعض الدول الآسيوية، كاليابان وإندونيسيا واستراليا وسريلانكا، في تطوير الوثائق والموارد والأدوات الرقمية التي تساهم في رفد العملية التعليمية النووية في القطاع المدرسي الأساسي والثانوي. ووقعت مساعي الدول في عدة تصنيفات رئيسية مثل مواقع الإنترنت ووثائق تسهيل التعليم وتجهيز/تصنيع وسائل إيضاحية بسيطة للاستخدامات الصفية أو المخبرية. وكان لهذه المساعي الموجهة للمتعلّمين وللمعلّمين الأهمية القصوى في إيصال المعرفة المرتبطة بالعلوم النووية وترسيخ فهم تقانات الاستخدامات السلمية في المجتمع.

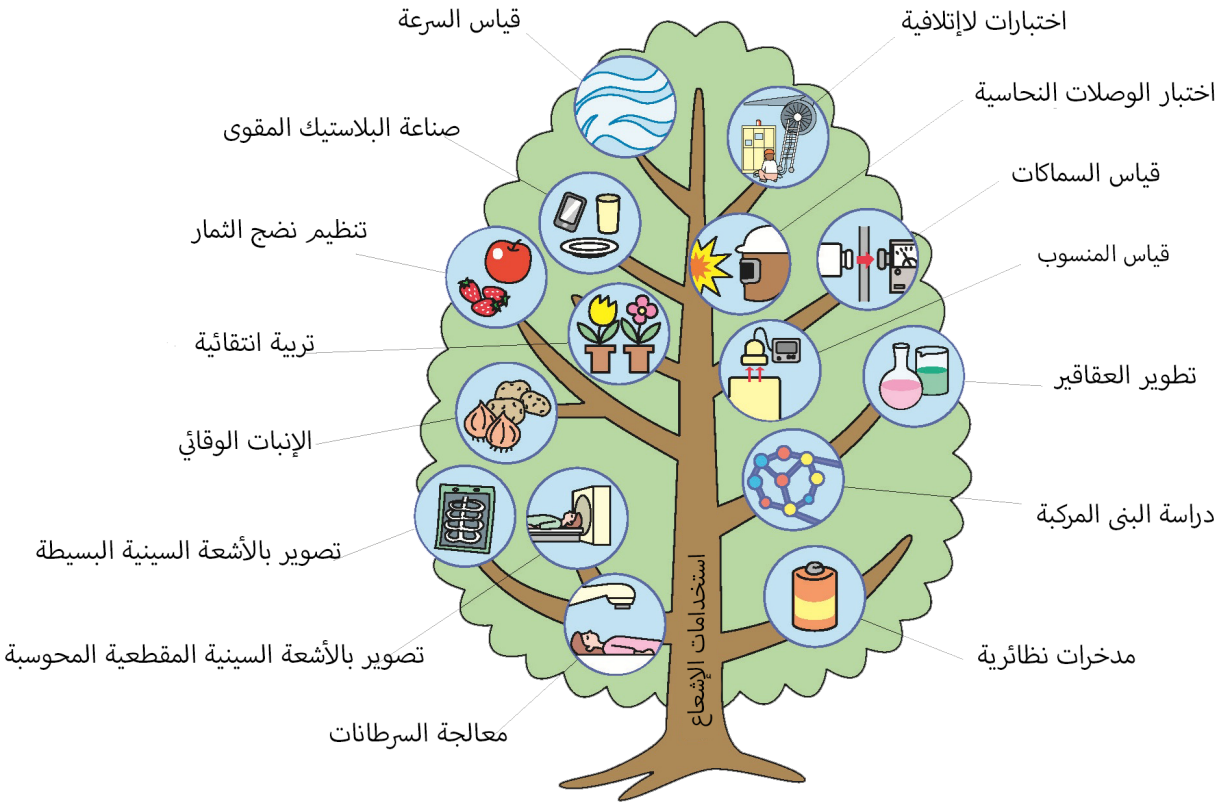
ففي اليابان، وبعد فترة وجيزة من الحادث النووي في محطة الطاقة النووية اليابانية «فوكوشيما–دايشي»، أصدرت وزارة التربية بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية اليابانية في عام 2014 أربعة كتيبات مدرسية لتشكل مصادر علمية

ارشادية حول العلوم النووية وتطبيقاتها زوّدت بها معلمي المدارس والمتعلمين ولمرحلتي التعليم الأساسي والثانوي بهدف زيادة وعي الطلبة وأهاليهم. وفي الفترة نفسها، أصدرت هيئة الطاقة الذرية اليابانية MAP وهي مكونة من عشر وثائق تثقيفية مدعّمة بالمخططات التوضيحية والبيانات الإحصائية حول مواضيع مرتبطة بالطاقة النووية وتطبيقات العلوم النووية. ومن هذه المواضيع التشغيل الآمن للطاقة النووية وحلقة الموقود النووي وإدارة النفايات المشعة وحوادث محطات الطاقة النووية والمشكلة المناخية المرتبطة بارتفاع نسب إطلاق غازات الاحتباس الحراري وزيادة سماكة طبقتها المحيطة بالكرة الأرضية.



وبمبادرة من مؤسسة العلوم النووية ومتحف العلوم في طوكيو، أُطلق موقع RADI على الإنترنت لدعم التعليم المتعلق بالإشعاع المؤين واستخداماته. ويضم هذا الموقع عشرة أفلام تعليمية تشرح مفاهيم الإشعاع وقياسه والخلفية الطبيعية له وتجارب مرتبطة بالإشعاع المؤين مثل الحجيرة الضبابية وقياس منسوب السوائل والتدريع.

أما في استراليا، فقد طورت المنظمة الأسترالية للعلوم النووية وتقاناتها ANSTO مجموعة من الموارد التعليمية الموجهة للمعلمين والمتعلمين في المراحل المدرسية الأساسية والثانوية وما بعد الثانوي. ومن جملة الموارد المتاحة وثائق إيضاحية ومصورات حائطية وألعاب تعليمية وبرمجيات



يمكن تشغيلها من موقع المنظمة عبر متصفح وتطبيقات متوفرة لأنظمة تشغيل الهواتف والأجهزة اللوحية المحمولة Android/iOS. فمثلاً، يسمح تطبيق Elementals بتعلم الجدول الدوري للعناصر وهو مفيد للمراجعة، ويمكن استخدامه كأداة توضيحية واختبارية وإجراء ألعاب علمية في مواضيع رموز العناصر والأعداد الذرية والكتلية وتصنيفات العناصر. وبرنامج ANSTO XR يجمع بين الواقعين الافتراضي والمعزز لشرح بنية الذرة والنواة وإتاحة إجراء زيارة افتراضية معززة للمسرع السنكروتروني الأسترالي والتعرف على أجزائه وطريقة توليد الأشعة السينكروترونية انطلاقاً من تسريع الإلكترونات ضمن مجال مغنطيسي شديد.

من جهتها، طورت أندونيسيا تطبيق الواقع المعزز NucleAR الذي يشرح آليات عمل عدد من التقانات النووية وهي محطة الطاقة النووية وتشعيع الأغذية ومعالجة الأورام الخبيثة وطفرات الدنا. كما عملت الوكالة الوطنية للبحث والابتكار في أندونيسيا على تطوير برمجية تسمح بإجراء زيارة افتراضية لمفاعل نووي طاقي قد تستغرق ساعتين يجري من خلالها الاطلاع على أقسام المفاعل والأبنية الخدمية الملحقة به وإجراءات الوقاية الاشعاعية. كما يمكن مشاهدة تسجيلات مرئية تعليمية والخضوع لجلسات تفاعلية يجري خلالها طرح الأسئلة والاستفسارات من الطلبة وتلقي الإجابات عليها من قبل الفريق التدريسي والبحثي المشرف على الزيارة العلمية.

أما في الفيليبين، فقد طورت وزارة التربية منصة إدارة التعليم الإلكتروني https://lrmds.deped.gov.ph/ والتي يمكن استخدامها من قبل المعلّمين لبناء قاعات دراسية افتراضية تضم موارد تعليمية عديدة مثل الخطط التدريسية والمواد والمناهج التعليمية والاختبارات المؤتمتة وأطر الكفاءات والأهداف التعليمية. وتوفر هذه المنصة موارد تعليمية لكل الفئات العمرية من رياض الحضانة وحتى المرحلة الثانوية.

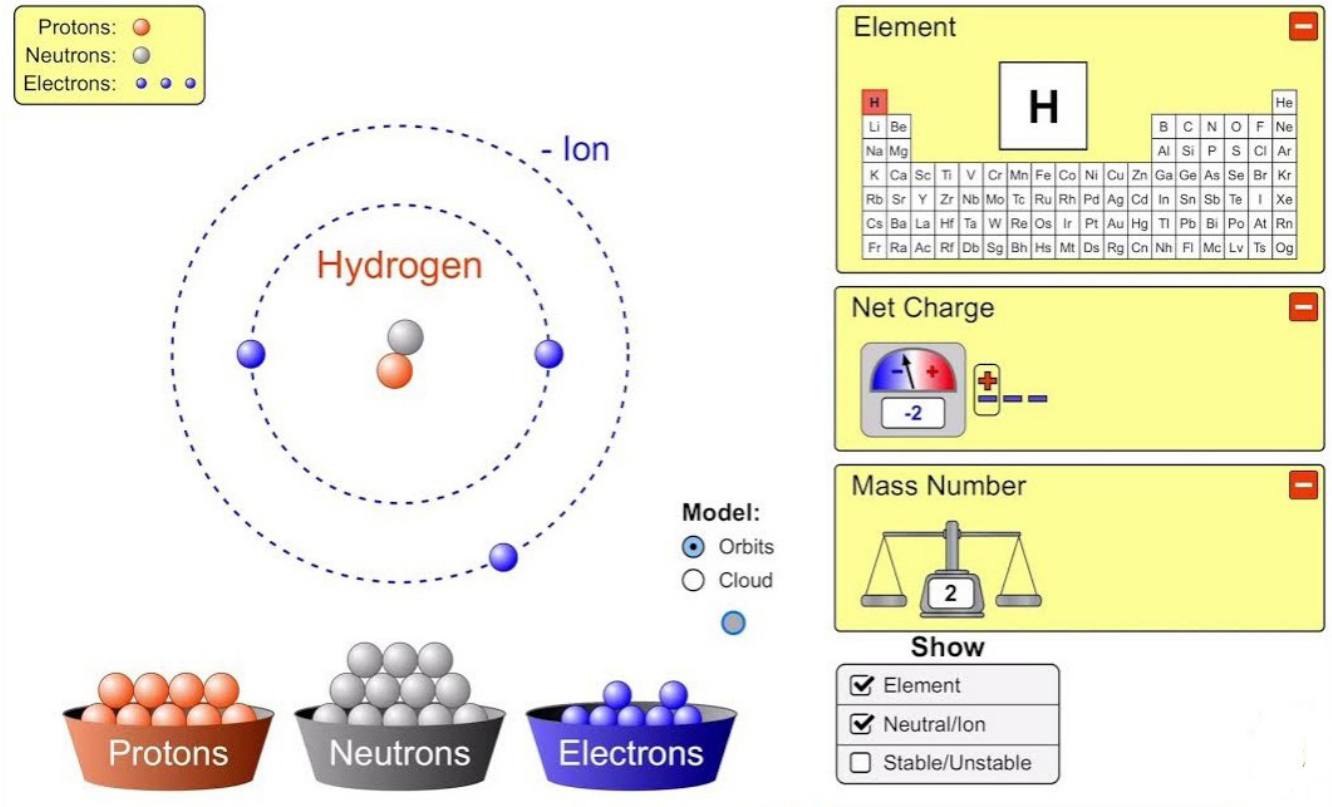
وقد ركزت سيريلانكا إسهامها في دعم التعليم النووي على تطوير أجهزة نووية مدرسية لمساعدة المعلمين في شرح الإشعاع النووي، حيث طورت هيئة الطاقة الذرية السريلانكية جهاز الكشف والعد الإشعاعي RADI-Count وهو من الحجم الصغير بحيث يمكن نقله ببساطة، ضمن شنطة مخصصة له، بين المدارس والمدن وتنفيذ التجارب النووية في الصفوف المدرسية أو مختبراتها. ومن التجارب النووية المدرسية التي يمكن تنفيذها بواسطة هذا الجهاز كشف إشعاع α و β و γ وتقدير معدل التعرض للإشعاع وقياس سماكة النصف وحساب الزمن الميت ودراسة مفهوم التبعثر العكسي والتدريع من الإشعاع.

وقد طورت الوكالة الدولية للطاقة الذرية في عام 2018 الخلاصة الوافية وهي عبارة عن رزمة من الموارد والنشاطات المخصّصة لمعلمي العلوم النووية وتقاناتها. وقد كانت الرزمة من نتائج مشروع تعاون تقني RAS0065 في منطقتي آسيا والباسيفيك والذي هدف لتوفير المعلومات والتدريب والتشبيك للمعلمين في المرحلة المدرسية الثانوية في مجالي العلوم النووية وتقاناتها. ساعدت هذه الرزمة من الموارد التعليمية والنشاطات التعليمية الصفية وخارجه. ومما ميز هذه البرامج إدراج نشاطات علمية خارج المدارس خصصت لها بعض أيام العطل كأيام السبت SoS – Science

on Saturday إضافة إلى مسابقات وورشات عمل وزيارات حقلية يشارك فيها الطلبة ومعلموهم. وقد شارك في هذا المشروع قرابة 10 آلاف طالب و900 معلم مدرسي والذين استفادوا من فرص تدريب داخل دولهم وخارجها.

تجدر الإشارة إلى موقع الإنترنت PhET والذي أطلقته جامعة كولورادو في أمريكا والمتخصص في النمذجات العلمية التفاعلية وفق بروتوكول HTML5. تعد مئات النمذجات الحاسوبية المتوفرة من الموقع (باللغة العربية وبأكثر من لكنة) https://phet.colorado.edu/ أدوات مفيدة للمعلمين والمتعلمين في فهم المبادئ وتصميم التجارب الافتراضية وتنفيذها وتحليل مخرجاتها انسجاماً مع الأهداف التعليمية النظرية. وتتوفر النمذجات في مجالات الفيزياء والكيمياء والرياضيات والإحصاء وعلوم الأرض والفضاء والعلوم الحيوية. إضافة إلى التصنيف الموضوعي، يمكن فرز النمذجات وفق المراحل الدرسية كالابتدائي والإعدادي والثانوي وحتى المستوى الجامعي. وفي مجال العلوم النووية وتقاناتها نذكر تجارب محاكية لتطور فهمنا للنموذج الذري من تومسون إلى بور ومن ثم شرودينغر. كما يمكن محاكاة تجربة رذرفورد التي رسخت فهمنا للذرة ودراسة ذرة الهدروجين وظاهرة التفكك النووي، طبيعياً، وتفكك ألفا وبيتا وحساب عمر النصف للتفكك النووي وشرح مفهوم ازدواجية السلوك (جسيم – موجة) وتجربة الشقين وتداخل الأمواج الكوانتية والانشطار النووي والتفاعل المتسلسل وفهم آليات التصوير الطبي ثلاثي الأبعاد بالتجاوب المغنطيسي النووي.

وتؤمن نمذجات PhET للطلبة بيئة استكشاف علمي ومخرجات تعليم ذاتي تسمح بطرح الاستفسارات وإعطاء التوقعات واختبار الأفكار وتصميم التجارب ورصد الشواهد الداعمة أو المنافية لتلك الأفكار. يمكن للطلبة ومعلميهم تطوير مجال الاستفادة من هذه النمذجات لتعلم المفاهيم والتحقق من العلاقة (سبب–تأثير) وبالأخص الترسيخ البصري للنماذج والتجارب العلمية.

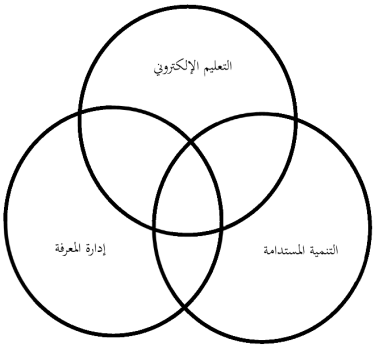


أما في الجمهورية العربية السورية، فقد أُطلق المركز الوطني لتطوير المناهج التربوية التابع لوزارة التربية عام 2018 المنصات التربوية السورية تحت «شعار نحو معرفة إنسانية تشاركية مستدامة حتى عام 2030»، وذلك من خلال رؤية تربوية استراتيجية تؤمن بالمشاركة المعرفية والمهارية بين المعلمين والمتعلّمين من كافة شرائح المجتمع

بطريقة تفاعلية جذابة ومجانية وباللغة العربية. وتهدف المنصات التربوية السورية بأفرعها الأربعة (المركزية ودمشق وطرطوس وحماه) لزيادة الناتج المعرفي وتطوير المهارات بأشكال حديثة متطوّرة وإبداعية https://sep.edu.sy. وتسهل المنصات الرقمية عملية مشاركة هذه الموارد التعليمية بين مختلف شرائح المجتمع من المعلمين والمتعلمين والأهالي، حيث تحتوي هذه المنصة على قاعدة معطيات معرفية صريحة تضم كلاً من المناهج التربوية ومصادر التعلّم كالكتب والدروس الإثرائية والعروض التقديمية، إضافة إلى المؤتمرات العلمية والمشاركات التعليمية والتربوية التفاعلية المرئية والسمعية، إضافة إلى إمكانيات النقاش من خلال المنصة بغية نقل المعرفة المضمرة.

ولعل ما يميز منصة التربية السورية هو توافر المختبرات الافتراضية في مختلف الاختصاصات كالفيزياء والكيمياء والعلوم الحيوية. فيمكن للدارس، على سبيل المثال، التعرف على بنية الذرة من خلال تطبيق الواقع الافتراضي EON XR المتوافر ضمن بيئة تشغيل Windows لتشغيل الحواسب. ويمكن تطوير الاستفادة من التجربة المخبرية باستخدام أجهزة داعمة للواقع الافتراضي كالنظارات. وتوجد مئات التجارب الافتراضية المتاحة للطلبة ولكل المستويات العمرية في مجالات الرياضيات والفيزياء والكيمياء والعلوم الحيوية والتكنولوجيا والجغرافيا والتاريخ والاجتماعيات والفنون والرياضة.

عالمياً، وبالنظر لتراكم المعارف في شتى المجالات العلمية بما فيها النووية، فقد أضحى التحول الرقمي ضرورة لحفظ المعارف ومشاركتها مما أكسب التعلم الإلكتروني زخماً كبيراً في العقدين الماضيين. إلا أن مفهوم التعليم والتدريب الإلكتروني كان قد طرح للمرة الأولى عام 1999 من قبل التربوي الأمريكي «ايليوت ماسي» الذي أشار آنذاك إلى التعليم الإلكتروني والتقانات الرقمية المستندة عليه كوسيلة لرفع كفاءة المؤسسات بأنواعها وتطوير حلقة التعليم والتدريب للكوادر البشرية العاملة في المؤسسات والهيئات. ورافق هذا الطرح ما عرف عندئذ بالمقاربة 10-20-70 في التعلم والتدريب والتي أفرزت نسبة 20% من أقنية الاستحواذ المعرفي عن طريق التعلم الذاتي المتاح عبر منصات إدارة التعلم الإلكتروني. وتتقاطع مفاهيم التعلّم الإلكتروني مع كل من التنمية المستدامة وإدارة المعرفة في حلقة تنمية وتطوير العاملين والإدارات على السواء.



ويجمع الباحثون التربويون على إمكانية تحقيق سبع فوائد من اتباع التعليم الإلكتروني الذي يوظف الوسائط المتعددة كالرسومات والصور المتحركة والمواد السمعية والمرئية والتطبيقات التفاعلية لتقديم المحتوى التعليمي والتدريبي بطريقة تفاعلية لتحقيق أهداف التعليم. والجدير بالتنويه إلى قوة المرئيات المستخدمة في التعليم الإلكتروني والتي من شأنها إطالة فترة استبقاء المعلومات في أذهان المتعلمين.

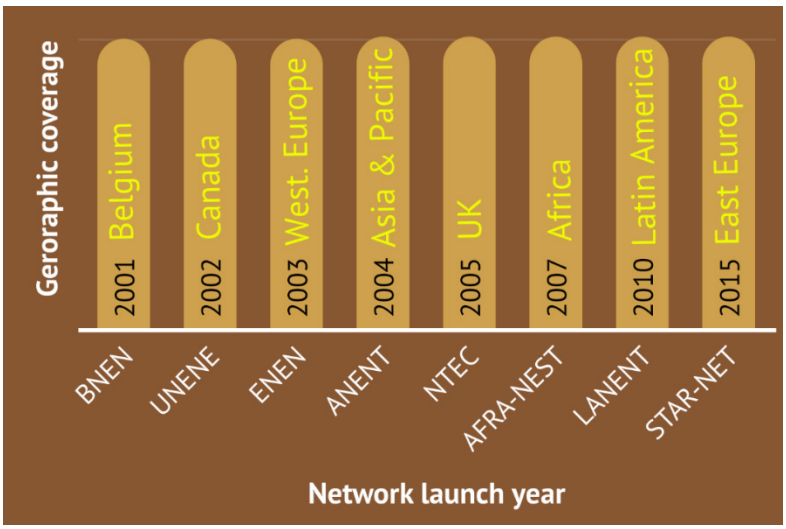
ومن الإيجابيات التي رافقت التعليم الإلكتروني، برزت الاختبارات الإلكترونية المؤتمتة بأنواعها كأدوات مهمة جداً في قياس جودة التعلم الإلكتروني، حيث وفرت للتربويين والمعلمين العديد من المزايا التي تجعلها أكثر فعالية من الاختبارات التقليدية. فمن مزايا الاختبارات الإلكترونية يذكر توفير الوقت والجهد للمعلمين والمتعلمين وتوفير في النفقات المالية والموارد المادية وتحسين جودة التقييم والتشخيص وتحسين مستوى التفاعل بين المعلم والمتعلم وتحسين مستوى الأداء الأكاديمي للمتدربين والمؤسسات التعليمية أو التدريبية.

وتوجد عدة تصنيفات للإختبارات الإلكترونية وذلك تبعاً للغاية المرجوة من قياس التعلم، حيث تستخدم **اختبارات التحصيل** لقياس المكتسب التعلمي أو التدريبي لدى المتعلّم، وقد تكون هذه الاختبارات موضوعية Quiz وهي أكثر الاختبارات شيوعاً، وتتضمن أعداداً كبيرة من الأسئلة ذات الإجابات القصيرة التي تغطي معظم المنهاج التعلمي، أو مقالية Assignment وهي تحتوي على أسئلة مفتوحة يجب على الطالب فيها كتابة إجابة مفصلة في عدد محدد من الكلمات. أما **اختبارات التقويم** فتستخدم لقياس مدى تحقق الأهداف التعليمية وفاعلية طرق التدريس المتبعة وقدرات المتعلم واستعداداته وفاعلية الموارد التعليمية المستخدمة في عملية التعليم. وتوجد **اختبارات التشخيص** والتي تستخدم لسبر مستوى المتعلم في مجال محدد قبيل بدء التدريب وهناك **اختبارات الشخصية** التي تستخدم لتقييم بعض جوانب شخصية المتعلّم.

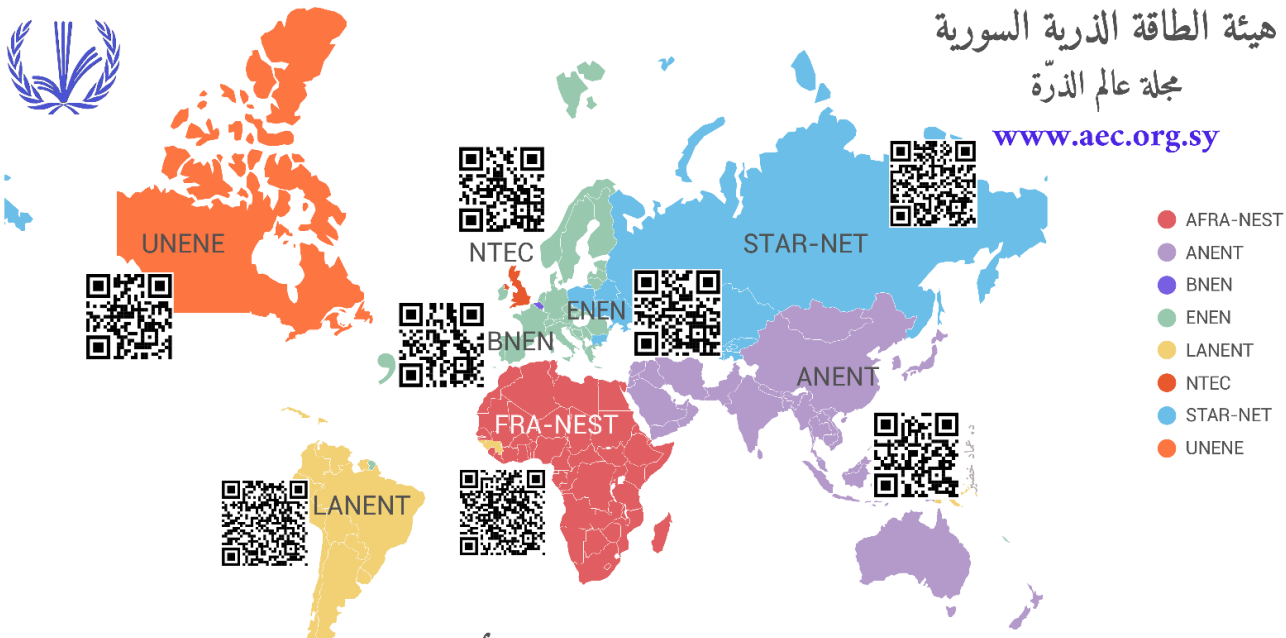
إن شكل الإنفاق على التعليم النووي والتدريب على التقانات النووية هو أحد أهم تحديات الفترة الماضية ودون شك الفترة المستقبلية. وتوجد عدة جوانب للإنفاق مثل تطوير المناهج الدراسية وتوفير المعدات والتجهيزات الصفية والمخبرية المدرسية وتدريب الكوادر التعليمية من المدرسيين والموجهين. وتتفاوت ميزانيات الإنفاق العام على التعليم النووي من بلد لآخر بناءً على الأولويات الوطنية وفق البرامج النووية الموطّنة فيها والموارد المتاحة. فعلى سبيل المثال، في الولايات المتحدة، تخصص ميزانيات كبيرة جداً لدعم برامج التعليم والتدريب النووي في المدارس والجامعات والمراكز البحثية، بينما في دول أخرى، قد تكون الميزانيات أقل ولكنها تركز على تطوير القدرات المحلية وتدريب الكوادر.

وتحتل الولايات المتحدة الأمريكية المركز الأول بمعدلات الإنفاق على التعليم النووي والبحث والتطوير النوويين، وتليها الصين الشعبية بالمركز الثاني ثم الاتحادي الروسي بالمركز الثالث، وذلك تبعاً لإحصاء عام 2022. وستشكل مسابقة الأولمبياد للعلوم النووية والتي ستقام دورتها الثانية في ماليزيا صيف عام 2025 فرصة مهمة لكشف واقع التعليم النووي المدرسي في قارة آسيا (على أن توسع مستقبلاً لتصبح مسابقة عالمية) حيث ستتنافس فرق طلابية من المرحلة المدرسية الثانوية في حصد ميداليات الأولمبياد https://inso.science، وانطلاقاً من التحديات التي واجهتها وتواجهها العديد من الدول والمتمثلة بعدم توفر الكوادر البشرية المؤهلة والخبيرة لتقديم الدعم الفعّال للتطبيقات الطاقية وغير الطاقية في مجال العلوم النووية وتقاناتها. وتأكيداً على تعزيز أهمية التعليم والتدريب وبناء القدرات للأجيال المستقبلية في مجال العلوم النووية وتقاناتها لدعم المعرفة النووية وبناء القدرات، فقد لجأت بعض الدول النووية لإطلاق شبكات تعليم وتدريب في العلوم النووية وتقاناتها، على المستويين الوطني والإقليمي، بغية تحقيق مصلحة متبادلة؛ وذلك من خلال مشاركة الأفكار والمعلومات بين المتخصصين بالتعليم والتدريب النووي من جهة، وبين شريحة كبيرة من العاملين النوويين في المؤسسات والهيئات والمنظمات المتخصصة وذلك من خلال التشاركية في التعليم والتدريب والتطبيق العملي للتقانات النووية، من جهة ثانية. ويستفاد من الشبكات التعليمية في تخطي صعوبات شح الموارد البشرية الخبيرة والمخصصات المالية المتاحة لتأهيل وتطوير الكوادر البشرية على المستوى الوطني في بناء محتوى تعليمي وتدريبي رقمي تشاركي وإتاحة الموارد التعليمية والتدريبية مما يوسع مجال

الشريحة الاستثمارية للموارد التعليمية النووية المفتوحة. وتجدر الإشارة إلى أن التحديات والمخاطر التي ترافق إطلاق هذه الشبكات التعليمية وضمان استمراريتها تحتم ضرورة إشراك العديد من الجهات المحلية ذات المصلحة والتي تعمل على حوكمتها وتمويلها وتشغيلها وتوفير البيئة التحتية الفنية والبشرية اللازمة لها من اختصاصي العلوم النووية وتقانات المعلومات والاتصالات.



فعلى مر 15 عاماً، أُطلقت ثماني شبكات متخصصة بالتعليم والتدريب النووي حول العالم، حيث بدأت بلجيكا عام 2001 بإطلاق الشبكة الوطنية للتعليم العالي النووي BNEN ثم تلاها في العام التالي إطلاق الشبكة الكندية UNENE. وفي عام 2003 أطلقت الشبكة الأوروبية ENEN وأعقبها إطلاق الشبكة البريطانية للتقانة النووية NTEC في عام 2005. أما على المستوى الإقليمي والأقاليمي، فقد رعت الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومن خلال عدد من مشاريع التعاون الفني إطلاق شبكة التعليم النووي في آسيا وأوقيانوسيا ANENT عام 2004، ثم إطلاق الشبكة الأفريقية لتعليم العلوم النووية وتقاناتها AFRA-NEST عام 2007 فإطلاق شبكة أمريكا اللاتينية للتعليم في مجال التقانة النووية LANENT عام 2010 وأخيراً شبكة STAR-NET عام 2015 والتي ضمت الاتحاد الروسي ومجموعة الدول التي انفصلت عن الاتحاد السوفييتي وعدداً من دول أوروبا الشرقية.



شبكات التعليم النووي الوطنية والأقليمية

وأخيراً، ومن الدروس المستقاة حول العالم فيما يتعلق بالتعليم النووي، برزت ستة محاور تساهم في تعزيز التعليم النووي، وهي: تطوير الموارد البشرية كالموجهين والمدرسين على مستوى المعارف والتأهيل وإطلاق برامج تعاون بين المؤسسات التعليمية والهيئات البحثية أو التدريبية وتفعيل التشبيك الافتراضي بين الأطراف المهتمة (المستفيدة والداعمة) في التعليم النووي والحرص على تطوير محتوى التعليم والتدريب والتأكد من جودته واستخدام التكنولوجيا الرقمية والواقعين الافتراضي والمعزز، وأخيراً دعم النشاطات الداعمة مثل إشراك الطلبة في حلقات عرض المخرجات التعليمية والتواصل مع مكونات المجتمع الأهلي والسعي للتأثير على التغيرات المسلكية للأفراد والمجتمع وتوسيع آفاق الربط بين العلوم النووية وتقاناتها مثلاً مع قضايا العصر كالتغير المناخي والحد من انتشار التسلح النووي والأمن الغذائي والكشف المبكر عن الأورام الخبيثة ومعالجتها وغيرها.

المراجع

[1] Teaching methods and strategies: The complete guide, Kris MacDonald, Aug 26, 2024

[2] Enhancing Secondary Education in Nuclear Science Technology: Exploring effective practices & Capacity-building strategies, S. Abbas, J. Education and Practice, Vol 14, No 25, 2023

[4] Understanding the historical origins of public distrust surrounding nuclear energy, Intersect, Vol 17, No1, 2023

[5] IAEA Guidebook series for introducing NST in secondary education, Vol. 1, Strategic partnership, 2023

[6] IAEA Guidebook series for introducing NST secondary education, Vol. 2, Linking NST with school curriculum, 2023

[7] IAEA Guidebook series for introducing NST in secondary education, Vol. 3, Co-curriculum development, 2023

[8] IAEA Guidebook series for introducing NST in secondary education, Vol. 4, Teaching strategies & tools, 2023

[9] Good practices in nuclear educations, 2019

[10] Nuclear education and training: key elements of a sustainable European strategy, ETKM, 2010

[11] Nuclear education and training: cause for concern, Summary report, NEA, OECD, 2000

المصدر:

- *ترجمة وإعداد* **د. عماد خضير**، *قسم الخدمات العلمية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.*

التصوير الجزيئي للثدي نحو آفاق جديدة في الكشف المبكر عن سرطان الثدي

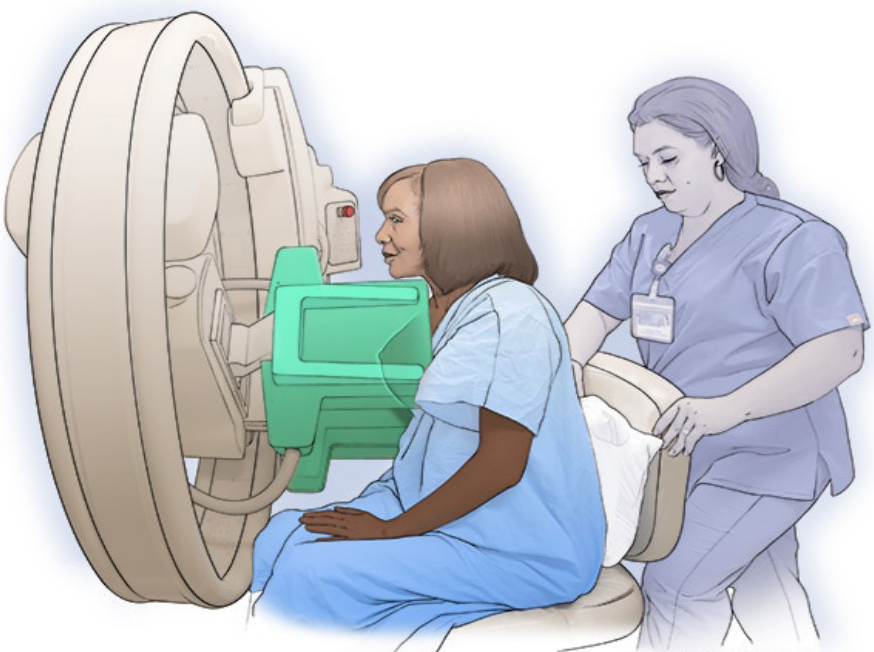
يعد التصوير الجزيئي للثدي Molecular breast imaging, MBI إحدى الدراسات السريرية التي تجرى في قسم الطب النووي باستخدام كاميرا غاما مخصصة ومُحسّنة لتصوير قبط فوتونات أشعة غاما الصادرة عن Tc-99m sestamibi في أنسجة الثدي، وهو بالتالي طريقة تصوير وظيفية منخفضة التكلفة نسبياً وبسيطة للثدي يمكن بواسطتها الكشف عن سرطانات الثدي التي تحجبها الأنسجة الليفية الغدية الكثيفة في التصوير الإشعاعي للثدي. إضافة إلى ذلك فإن مستويات القبط في أنسجة الثدي الكثيفة الحميدة قد تعطي دلالات مبكرة عن خطر إصابتها بسرطان الثدي.

الكلمات المفتاحية: *التصوير الجزيئي، الطب النووي، الثدي الكثيف، الكشف المبكر عن سرطان الثدي*

مقدمة

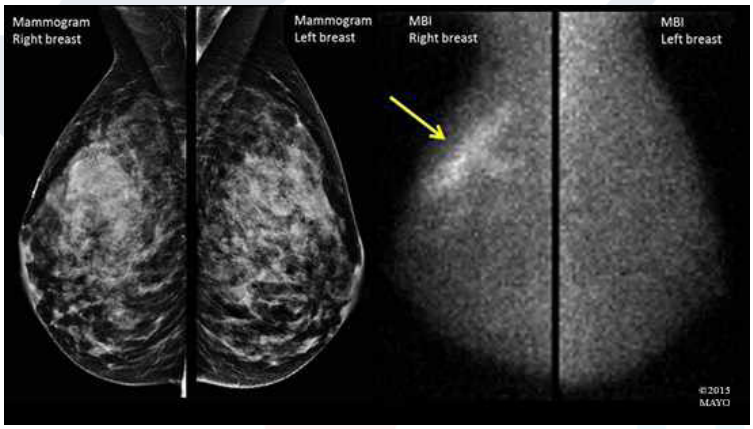
تعد الطرائق المصنفة على أنها تصوير جزيئي قادرةً على سبر وتوصيف الجوانب الوظيفية للأنسجة المصورة، والتي تعكس حالة العمليات الكيميائية والبيولوجية الأساسية على المستوى الخلوي لها. ويمكن أن يكون التصوير الجزيئي مكملاً أساسياً لطرائق التصوير التشريحية الأخرى مثل تلك الطرائق القائمة على الأشعة السينية والتي تعطي معلومات عن الهيكل التشريحي للنسج؛ لذلك اعتمدت طرائق الطب النووي في تصوير الثدي مصطلح التصوير الجزيئي للثدي لأنها تعطي صورة للقبط التفريقي للمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية في أنسجة الثدي والتي تعكس جوانب تشخيصية عدة مثل زيادة تدفق الدم والنشاط الانقسامي والتكاثر الخلوي، وقد تحسن أيضاً من إمكانية اكتشاف السرطانات وتوصيفها بما يتجاوز ما يُرى عند تصوير الثدي بالأشعة السينية.

اعتمدت تقنيات التصوير الجزيئي للثدي في البداية على كاميرات أشعة غاما التقليدية وأنظمة التصوير المقطعي بالإصدار الفوتوني الوحيد (SPECT) والمصممة لتصوير كامل الجسم، وكانت تدعى هذه التقنية في الأصل "بالتصوير الومضاني للثدي scintimammography" بسبب اعتمادها على الكواشف الومضانية من يود الصوديوم NaI. في الوقت الراهن، تعتمد أنظمة التصوير الجزيئية للثدي الحالية على كاميرات غاما أصغر حجماً ومصممة خصيصاً لتصوير الثدي ومجهزة بأحدث كواشف أنصاف النواقل من تيلورايد زنك الكادميوم (CZT) ذات الدقة المكانية المرتفعة وإمكانية التصوير بجرعات إشعاعية أخفض من تلك المطلوبة للتصوير بالأنظمة المعتمدة على كاميرات أشعة غاما التقليدية. وتجدر الإشارة إلى أنه يوجد أيضاً أنظمة مخصصة لتصوير الثدي بالإصدار البوزيتروني (PEM) والمصممة لتصوير النظائر المصدرة للبوزيترونات مثل السكر منقوص الأكسجين والموسوم بالفلور 18.



وتماشياً مع التصنيفات الأخيرة من قبل الكلية الأمريكية للأشعة (American College of Radiology, ACR) وجمعية الطب النووي والتصوير الجزيئي (Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, SNMMI) والرابطة الأوروبية للطب النووي (European Association of Nuclear Medicine, EANM)، فإنه ستجري الإشارة للتصوير الجزيئي للثدي هنا من أجل استخدام كاميرا غاما مخصصة للتصوير التخطيطي لقبط أشعة غاما الناتجة عن سيستاميبي Tc-99m في الثدي.

يعكس قبط مادة Tc-99m sestamibi في التصوير الجزيئي للثدي، كما هو معلوم، تدفق الدم والنشاط الانقسامي لأنسجة الثدي، ومن ثَمّ القدرة على الكشف عن سرطانات الثدي، كما وجد مؤخراً أنه يمكن أن يحدد حالة الأنسجة الحميدة ذات التكاثرية العالية proliferative التي قد تكون أكثر عرضة لخطر الإصابة بسرطان الثدي. وتتمثل الميزة السريرية الأساسية للتصوير الجزيئي للثدي في قدرته على تحديد السرطانات التي لا يمكن مشاهدتها في التصوير الإشعاعي للثدي نظراً لوجود الأنسجة الليفية الغدية الكثيفة أو بسبب التغيرات التالية للجراحة فيها (الشكل 1). كما أظهر التصوير الجزيئي للثدي فائدته في المراقبة لاستجابة العلاجات المساعدة الجديدة. ومع ذلك، وبعد عقود من التطوير وظهور وحدات التصوير الجزيئي للثدي الحالية والعديد من التقارير عن النتائج السريرية الواعدة، لا تزال هذه التقنية تُستخدم بشكل روتيني في عدد محدود من المراكز فقط، علماً بأن العمل جارٍ للتغلب على العوائق التي تحول دون تطبيقها على نطاق واسع وتمكين التقدم المستقبلي في مساهمتها في رعاية سرطان الثدي.



الشكل 1. الصورة إلى اليمين توضح صورة جزيئية للثديين في حين الصورة إلى اليسار هي صورة الثديين بالأشعة السينية.

أجهزة التصوير الجزيئي للثدي

تتمتع أنظمة كاميرات غاما ذات مجال الرؤية الصغير Field-of-View والمخصصة لتصوير الثدي بميزة أساسية تتمثل في الحد الأدنى من "المساحة الميتة" أو منطقة التصوير غير القابلة للاستخدام على طول حافة الكاشف، كما هو الحال في كاميرات غاما التقليدية. ويسمح التخلص من هذه المساحة الميتة بوضع الثدي مباشرة على الكاشف بشكل مشابه عند تصوير الثدي بالأشعة السينية. ونظراً لتقلص الدقة المكانية في كاميرات غاما مع المسافة كلما ابتعدنا عن الكاشف، فإن تخفيض المسافة بين نسيج الثدي والكاميرا سيؤدي إلى حدوث تحسينات كبيرة في الدقة المكانية مقارنة بكاميرات غاما التقليدية، كما يؤدي تطبيق ضغط خفيف على الثدي إلى تخفيض حركة النسيج وتقريب أنسجة الثدي البعيدة من الكاشف، ومن ثَمّ زيادة أكبر في الدقة المكانية.

مع وجود عدد من الكواشف والتوليفات الخاصة بالتصوير الجزيئي للثدي في إطار البحث والتطوير، إلا أنه يوجد حالياً ثلاثة أنواع من تقنيات التصوير الجزيئي للثدي المتاحة تجارياً؛ فأول نظام تجاري مخصص كان نظام Dilon 6800 الذي جرى بيعه في الأصل من قبل شركة Dilon Technologies، يباع حالياً من قبل شركة SmartBreast باسم نظام Eve Clear Scan e680 كما هو موضح بالشكل (2)، والذي يتكون من رأس كاشف وحيد مع كواشف نقطية من يود الصوديوم NaI وأنابيب مضاعف ضوئي حساسة للموضع. ومن مزايا هذا النظام أنه مركب على عربة متحركة تسمح بإمكانية إجراء للخزعة أيضاً.

الشكل 2. جهاز تصوير الثدي الجزيئي Eve Clear Scan e680 من شركة SmartBreast.

في حين يعتمد جهازا التصوير الجزيئي للثدي الآخران على رأسين يضمان كواشف نقطية من CZT مع مسددات متطابقة مصممة للحفاظ على حساسية عالية في العد ودقة مكانية مناسبة للكشف عن أورام الثدي الصغيرة (من رتبة 3 إلى 5 مم وأكبر من ذلك). إن أحد هذه الأجهزة القائمة على هذه الكواشف هو جهاز Discovery NM 750b من قبل GE Healthcare، كما تصنع شركة CMR Naviscan جهاز يعتمد على كواشف CZT هو LumaGem، وفي حين يوفر الجهاز الأول إمكانية إجراء خزعة مباشرة، يجري تطوير هذه التقنية لجهاز LumaGem، يوضح الشكل (3) كلا الجهازين المذكورين.

الشكل 3. الصورة إلى اليمين جهاز التصوير الجزيئي للثدي GE Healthcare's Discovery NM 750b، والصورة إلى اليسار جهاز LumaGem من CMR Naviscan.

الشكل 4. مكونات رأسي جهاز التصوير الجزيئي للثدي GE Healthcare's Discovery NM 750b.

المواد الصيدلانية المشعة المستخدمة في التصوير الجزيئي للثدي

خلال تسعينيات القرن الماضي، وجد أن المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية المستخدمة في تصوير نضح عضلة القلب في الطب النووي والمعتمدة على التغنيشيوم المشع Tc-99m sestamibi وTc-99m tetrofosmin يمكن استعمالها أيضاً في تصوير آفات الثدي، مما أدى إلى القيام بالعديد من الدراسات من أجل تقييم استخدامها في الكشف عن سرطان الثدي. وفي الممارسة الحالية، يُستخدم السيستاميبي في معظم الحالات من أجل التصوير الجزيئي للثدي بالرغم من استخدام التيتروفوسمين في بعض المراكز في أوروبا. حصل السيستاميبي Tc-99m sestamibi على موافقة الاستخدام من قبل إدارة الغذاء والدواء الأمريكية كوسيلة تشخيصية من المرتبة الثانية بعد التصوير الإشعاعي للثدي، وذلك للمساعدة في تقييم آفات الثدي عند المرضى الذين يعانون من صورة شعاعية للثدي غامضة أو غيرٍ كافية أو غير محددة. كما يمكن استخدام هذه المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية من أجل استطبابات أخرى أيضاً بما في ذلك توظيفها كأداة إضافية لمسوحات التحري عن سرطانات الثدي. تجرى فحوصات التصوير الجزيئي للثدي حالياً بشكل روتيني باستخدام نشاطية إشعاعية تبلغ حوالي 300 ميغا بيكرل من Tc-99m sestamibi أو أقل، والتي تعد أخفض بكثير مما هو مذكور على عبوات هذه المستحضرات الصيدلانية المشعة (740-1110 ميغا بيكرل حسب إرشادات إدارة الغذاء والدواء الأمريكية و700-1000 ميجا بيكرل حسب إرشادات الوكالة الأوروبية للأدوية) حيث لم يعد هناك حاجة إلى هذا المقدار المرتفع من النشاطية بسبب تحسن حساسية كاميرات غاما المستخدمة.

يصدر عن مماكب التغنيشيوم Tc-99m فوتونٌ أحاديٌ من أشعة غاما بطاقة رئيسية تبلغ 140 كيلو فولت، ويبلغ عمر النصف الفيزيائي له 6 ساعات؛ فبعد الحقن الوريدي يجري قبط Tc-99m sestamibi في أنسجة الثدي وإلى حد كبير عن طريق الاستخلاص خلال مروره الأول فيها ويزول من مجرى الدم في غضون 2 إلى 3 دقائق، ويكون هذا القبط عند أدنى مستوى من التفكك خلال فترة الفحص النموذجية (أقل من ساعة واحدة)، لذا يمكن أن يبدأ اقتباس الصور الجزيئية للثدي في غضون دقائق بعد الحقن ولا يشكل التأخير البسيط بين الحقن والتصوير مشكلة. إن الآلية الدقيقة لقبط sestamibi في سرطان الثدي ليست واضحة تماماً، ولكن أثبتت الدراسات السابقة أنه يجري احتجازه في الميتوكوندريا الخلوية للأورام ويرتبط احتباسه بالنضح وبقدرة الخلية على البقاء حية. يؤدي حقن 300 ميغا بكرل (8 ملّي كوري) من Tc-99m sestamibi في التصوير الجزيئي للثدي إلى تقديم جرعة إشعاعية للثدي تقدر بـ 1.1 ملّي غراي، وتقدر الجرعة الفعالة للمريضة بـ 2.1 ملي سيفرت باستخدام أحدث نماذج قياس الجرعات في الطب النووي. يعد الحمل و رد الفعل التحسسي السابق من مستحضر sestamibi الموانع الوحيدة لاستخدامه. ومع ذلك، تعد الأحداث السلبية بعد حقنة نادرة (من 1 إلى 6 حدث لكل 100,000 مريض؛ 0.006% >) والتي يمكن أن تشمل رد فعل تحسسي ولكنه عادة ما يكون خفيفاً في شدته كاحمرار أو طفح جلدي أو التهاب موضع الحقن أو طعم معدني لفترة قصيرة.

الاستطبابات السريرية

جرى تقييم استخدام التصوير الجزيئي للثدي من أجل مجموعة متنوعة من الاستطبابات السريرية شملت المسح الإضافي، وحل المشكلات المتعلقة بالتصوير أو الملاحظات السريرية غير المحددة، وتحديد مراحل سرطان الثدي، ومراقبة الاستجابة للعلاج المساعد الجديد، إضافة إلى مراقبة حالات نكس سرطان الثدي. ونظراً لأن قدرة التصوير الجزيئي للثدي على الكشف عن سرطان الثدي لا تتأثر بالأنسجة الليفية الغدية الكثيفة كما هو الحال في التصوير الإشعاعي للثدي، فقد ثبت أنه مفيد للغاية في الحالات التي يكون فيها التصوير التقليدي مثل التصوير الإشعاعي للثدي، بما في ذلك التصوير الإشعاعي للثدي ثلاثي الأبعاد (tomosynthesis)، والتصوير بالأمواج فوق الصوتية غير كاف، خاصة عند النساء اللاتي يعانين من أنسجة الثدي الكثيفة أو التغيرات التي تلي الجراحة. يعطي التصوير الجزيئي للثدي تصويراً وظيفياً مع منحنى تعليمي سريع لأخصائي الأشعة وبتكلفة منخفضة نسبياً؛ لذلك، قد يكون مفيداً بشكل خاص عندما يكون التصوير بالرنين المغناطيسي للثدي (MRI) مطلوباً ولكن لا يمكن استخدامه أو غير متاح أو لا يتم اتباعه بسبب مخاوف المريض من تكلفته المرتفعة.

قامت العديد من الدراسات بتقييم استخدام التصوير الجزيئي للثدي كطريقة مسح إضافية لدى النساء اللاتي يعانين من ثدي كثيف يصعب تصويره بالتصوير الإشعاعي للثدي أو زيادة خطر الإصابة بسرطان الثدي أو كليهما. وجدت تجربة أجريت على 1585 مريضة في مركز واحد من ذوات الثدي الكثيف أن إضافة التصوير الجزيئي للثدي إلى التصوير الإشعاعي ثنائي الأبعاد يزيد من كشف السرطانات بمعدل 6.9 للسرطانات الغازية و8.8 لجميع أنواع السرطان، وقد كشفت سرطانات إضافية غير تلك المكتشفة بالتصوير الشعاعي للثدي لكل 1000 امرأة جرى فحصها). كما أدت إضافة التصوير الجزيئي للثدي إلى التصوير الإشعاعي ثنائي البعد إلى زيادة الحساسية لتبلغ 90% (19/21) مقارنة بـ 24% (5/21) في التصوير الإشعاعي للثدي وحده ($p<0.001$). وانخفضت النوعية specificity من 89% للتصوير الشعاعي للثدي وحده إلى 83% عند الجمع بين التصوير الإشعاعي للثدي والتصوير الجزيئي للثدي ($p<0.001$). وكان معدل الإصابة بالسرطان 1.3 حالة سرطان لكل 1000 امرأة جرى فحصها. وقد تمت الإشارة إلى نتائج مماثلة من دراسة بأثر رجعي لعينة من 1696 مريضة خضعن للمسح الإضافي بالتصوير الجزيئي للثدي في الممارسة السريرية؛ فبعد النتيجة السلبية من التصوير الإشعاعي للثدي الرقمي ثنائي البعد الكامل، أعطى التصوير الجزيئي للثدي معدل اكتشاف إضافياً للسرطان بلغ 6.5 للسرطانات الغازية و7.7 لجميع أنواع السرطان. ومن خلال أربع دراسات حول أداء الفحص بالتصوير الجزيئي للثدي، جرى اكتشاف ما مجموعه 41 حالة سرطان فقط عن طريق التصوير الجزيئي للثدي؛ من بينها 31 (76%) كانت سرطانات غازية و18 (44%) كانت أصغر من 1 سم.

أظهر التصوير الجزيئي للثدي عند المرضى الذين جرى تشخيص إصابتهم حديثاً بسرطان الثدي فائدة كبيرة في تقييم مدى انتشار المرض وفي الكشف عن مواقع إضافية له. كما أظهرت دراسة مقارنة حديثة لأداء التصوير الجزيئي للثدي ومع كل من التصوير الإشعاعي المعزز بالتباين والتصوير بالرنين المغناطيسي من أجل تحديد مرحلة سرطان الثدي أن الطرائق الثلاث تعطي كشفاً متماثلاً لـ 110 آفة دلالية بحساسية 92% للتصوير الجزيئي للثدي و91% للتصوير بالرنين المغناطيسي و93% للتصوير الإشعاعي المعزز بالتباين [10]، كما أعطى التصوير الجزيئي للثدي قيمة تنبؤية إيجابية بالنسبة للآفات غير الدلالية بنسبة 44% مقارنة بـ 52% للتصوير الإشعاعي المعزز بالتباين و28% للتصوير بالرنين المغناطيسي. كما لوحظ أنه يمكن للتصوير الجزيئي للثدي أن يبالغ في تقدير مدى المرض مقارنة بالحجم المرضي؛ كما زاد التصوير الجزيئي للثدي في تقدير انتشار الورم بمقدار 1.5 سم في 15% من الحالات مقارنة بمقدار 24% من المبالغة في التقدير بواسطة التصوير بالرنين المغناطيسي. ووفقاً لدراسة أخرى حول تقييم مدى انتشار المرض أعطى كلٌ من التصوير الجزيئي للثدي والتصوير بالرنين المغناطيسي تقييماً متماثلاً قبل العلاج الكيميائي المساعد الجديد قبل العلاج وبعده، ولم تعطِ أي من الطريقتين دقة كافية في الكشف عن المرض بعد العلاج لتجنب أخذ عينات من الأنسجة لتشخيص المرض المتبقي في الثدي.

بالإضافة إلى الكشف عن سرطان الثدي، أظهرت التحليلات الأخيرة أن القبط البارانشيمي الخلفي (BPU)، والذي يشير إلى مستوى القبط في الأنسجة الليفية الغدية للثدي مقارنةً بالقبط في النسيج الشحمي، قد يوفر معلومات مهمة

حول خطر إصابة المريضة بسرطان الثدي، فمن بين 2992 امرأة خضعن للتصوير الجزيئي للثدي وتمت متابعتهن لتشخيص سرطان الثدي لاحقاً لمدة 7.3 سنوات في المتوسط، ارتبط ارتفاع مستوى القبط البارانشيمي الخلفي (خفيف أو متوسط أو ملحوظ) مع زيادة خطر الإصابة بسرطان الثدي (وكانت نسبة الخطر 2.4)، ولوحظ ذلك بشكل خاص عند النساء بعد انقطاع الطمث (نسبة الخطر 3.5). كان الخطر المطلق للإصابة بسرطان الثدي لمدة 5 سنوات 4.3% (95% من مؤشر مدركات المرض، 2.9-5.7%) للنساء اللاتي لديهن نسبة مرتفعة من القبط البارانشيمي الخلفي مقارنة بـ 2.5% (95% من مؤشر مدركات المرض، 1.8-3.1%) للنساء اللاتي لديهن نسبة منخفضة منه. تشير هذه البيانات إلى أنه من بين النساء ذوات الثدي الكثيف، قد تكون النساء اللاتي لديهنّ نسبة مرتفعة من القبط البارانشيمي الخلفي في التصوير الجزيئي للثدي أكثر عرضة للخطر وأكثر عرضة للاستفادة من المسح الإضافي أو الخيارات الوقائية الأخرى.

الجرعة الإشعاعية المرافقة للتصوير الجزيئي للثدي

تعد الجرعة الإشعاعية الفعالة الحالية المرافقة للتصوير الجزيئي للثدي باستخدام 8 ملّي كوري من Tc-99m sesta-mibi (2.1 ملي سيفرت) أخفض من مستويات الخلفية الإشعاعية السنوية (والمقدرة وسطياً بـ 3 ملي سيفرت؛ يتراوح مجالها بين 2 و10 ملي سيفرت) وهي كذلك أخفض بمرتين من الحد الذي يرتبط عنده الإشعاع بخطر حدوث آثار ضارة له (100 ملي سيفرت). ولذلك، يعد إجراؤه كما يتم حالياً آمناً للاستخدام الروتيني حتى من أجل المسح. ومع ذلك، يقدم التصوير الجزيئي للثدي جرعة إشعاعية أعلى من تلك الناتجة عن التصوير الشعاعي ثنائي البعد والتصوير المقطعي الرقمي للثدي (حوالي 0.5 ملي سيفرت لكل منهما)، وقد حالت المخاوف بشأن هذه الجرعة المرتفعة نسبياً من اعتماده وتأييده على نطاق أوسع. ونظراً لأن الكلية الأمريكية للطب الإشعاعي تعتبر الفحوصات ذات الجرعات الفعالة الأقل من 1 ملّي سيفرت، بما في ذلك التصوير الشعاعي للثدي، منخفضة الخطورة ومناسبة للمسح، فإن تحقيق هذه الجرعة الفعالة باستخدام التصوير الجزيئي للثدي أمر مرغوب فيه. ويجري العمل على التحقق من صحة الخوارزميات الجديدة التي تسمح بإزالة الضجيج من الصور ومن ثَمّ تخفيض كل من النشاطية الإشعاعية المحقونة وزمن التصوير اللازم في التصوير الجزيئي للثدي أو كليهما.

إشادات في الممارسة العملية للتصوير الجزيئي للثدي

تتضمن العديد من الوثائق إرشادات لتقديم أفضل الممارسات في التصوير الجزيئي للثدي والاستطبابات السريرية له، بما في ذلك معيار ممارسة التصوير الجزيئي للثدي لعام 2017 الصادر عن الكلية الأمريكية للأشعة والمعيار المشترك لإجراءات التصوير الجزيئي للثدي والذي صدر حديثاً عن جمعية الطب النووي والتصوير الجزيئي SNMMI ودليل الممارسة للرابطة الأوروبية للطب النووي EANM. وتقدم منشورات أخرى إرشادات مفصلة مصممة خصيصاً لتفسير الصور الناتجة عن التصوير الجزيئي للثدي والفنيين الشعاعيين الذين يجرون التصوير ومسؤولي مراقبة الجودة.

غالباً ما تجرى فحوصات التصوير الجزيئي للثدي بواسطة تقنيي الطب النووي الحاصلين على تدريب تخصصي إضافي حول كيفية التصوير الإشعاعي للثدي. وبحسب اللوائح التنظيمية المحلية، قد يكون من الممكن أن يتلقى المرضى الحقن بالمواد الصيدلانية المشعة من قبل طاقم الطب النووي ويتم إجراء التصوير بواسطة تقنيي التصوير الإشعاعي للثدي. وعلى الرغم من أن ذلك ليس مطلوباً، قد يحسن الصيام لمدة 3 ساعات (عدم تناول السعرات الحرارية) قبل الحقن للتصوير الجزيئي للثدي من قبط Tc-99m sestamibi في أنسجة الثدي، كما أظهرت دراسة أن وضع بطانية دافئة حول كتفي المريضة لمدة 5 دقائق تقريباً قبل الحقن يمكن أن يزيد من تدفق الدم المحيطي ويزيد من قبط Tc-99m sestamibi في الثدي. كما يجب على التقني الشعاعي التأكد من أن المريضة ليست حاملاً وليس لديها موانع مثل رد فعل تحسسي سابق تجاه Tc-99m sestamibi قبل البدء بالحقن.

يجب على المرضى عند إجراء فحص التصوير الجزيئي للثدي ارتداء لباس خاص بحيث تخلع جميع الملابس من الخصر إلى الأعلى. يجري حقن المريض بمستحضر Tc-99m sestamibi عن طريق قسطرة وريدية أو إبرة فراشة موصولة في وريد الطرف العلوي. يشيع استخدام حوالي 300 ميغابكريل (8 ملّي كوري) مع أنظمة التصوير الجزيئي للثدي الحديثة المعتمدة على كواشف CZT. يمكن أن يبدأ التصوير على الفور وفي غضون 5 دقائق من الحقن، وليس

من الضروري تحديد توقيت معين للاقتباس بعد الحقن. تجلس المريضة أمام جهاز التصوير الجزيئي للثدي وتضع ثدياً واحداً في كل مرة مباشرة على الكاشف، مع وجود كاشف ثانٍ (للأنظمة ثنائية الرأس)، ويستخدم مجداف ضغط لتوفير استقرار لطيف أثناء عملية الاقتباس. وعادةً ما يتم الحصول على المناظر القحفية الخلفية والمائلة الإنسية الجانبية المشابهة لتلك في مساقط تصوير الثدي الإشعاعي، ولكن يمكن أيضاً الحصول على مساقط تصويرية أخرى خاصة حسب الحاجة، ويتراوح الوقت النموذجي للحصول على الصورة ما بين 7 إلى 10 دقائق لكل مسقط. ونظراً لطول زمن التصوير الجزيئي للثدي نسبياً مقارنةً بالتصوير الإشعاعي للثدي، يمكن وضع كرسي داعم مثل ذلك المصمم خصيصاً للتصوير الإشعاعي للثدي مع وجود وسائد إضافية لدعم ظهر المريضة كي تتنفس المريضة أثناء الفحص بشكل طبيعي ويمكنها القراءة أو مشاهدة مقاطع الفيديو مع الحفاظ على وضعية الثدي. وبشكل عام، يتحمل المرضى التصوير الجزيئي للثدي بشكل جيد.

الخاتمة

يعد التصوير الجزيئي للثدي تقنية تصوير وظيفية قادرة على توفير معلومات إضافية للتصوير الشعاعي ثنائي الأبعاد للثدي والتصوير المقطعي الرقمي للثدي، مع معدل مرتفع من الكشف الإضافي عن السرطان لدى النساء ذوات الثدي الكثيف. كما يعد خياراً منخفض التكلفة والتعقيد وآمناً للمرضى الذين يعانون من صعوبة في الحصول على معلومات من التصوير الإشعاعي التقليدي أو المرضى الذين لديهم ما يبرر إجراء التصوير بالرنين المغناطيسي للثدي ولكن لا يتمكنون من إجرائه. وسيستمر العمل لتقييم نتائج تطبيق هذه التقنية في مسوحات التحري عن سرطان الثدي في مراكز متعددة والعمل أيضاً على تخفيض الجرعة الإشعاعية الناتجة عنه مما سيساعد في الاستخدام السريري له على نطاق أوسع.

المراجع

[1] Covington MF, Parent EE, Dibble EH, Rauch GM, Fowler AM. (2022). Advances and Future Directions in Molecular Breast Imaging. J Nucl Med., 63(1):17-21. doi: 10.2967/jnumed.121.261988. Epub 2021 Dec 9.

[2] Hruska CB (2017). Molecular Breast Imaging for Screening in Dense Breasts: State of the Art and Future Directions. AJR Am J Roentgenol. 208(2):275–283.

[3] Hruska CB (2022). Updates in Molecular Breast Imaging. Semin Roentgenol.,57(2):134-138. doi: 10.1053/j.ro.2021.12.006. Epub 2021 Dec 31.

[4] Hruska CB, Geske JR, Conners AL, et al. (2021). Background Parenchymal Uptake on Molecular Breast Imaging and Breast Cancer Risk: A Cohort Study. AJR Am J Roentgenol., 216(5):1193– 1204.

[5] Hsu DF, Freese DL, Levin CS (2016). Breast-Dedicated Radionuclide Imaging Systems. J Nucl Med.; 57 Suppl 1:40S-5S. doi: 10.2967/jnumed.115.157883.

[6] Hunt KN, Conners AL, Goetz MP, et al. (2019). Comparison of (99m)Tc-Sestamibi Molecular Breast Imaging and Breast MRI in Patients With Invasive Breast Cancer Receiving Neoadjuvant Chemotherapy. AJR Am J Roentgenol., 213(4):932–943.

[7] Huppe AI, Mehta AK, Brem RF. (2018). Molecular Breast Imaging: A Comprehensive Review. Semin Ultrasound CT MR., 39(1):60-69. doi: 10.1053/j.sult.2017.10.001. Epub 2017 Oct 20.

[8] Katherine A Smith, Katie N Hunt, Gaiane M Rauch, Amy M Fowler (2023). Molecular Breast Imaging in the Screening Setting, Journal of Breast Imaging. 5(3) 240–247.

[9] Katie N Hunt (2021). Molecular Breast Imaging: A Scientific Review, Journal of Breast Imaging. 3(4), 416–426. https://doi.org/10.1093/jbi/wbab039

[10] Rhodes DJ, Hruska CB, Conners AL (2015). Journal club: molecular breast imaging at reduced radiation dose for supplemental screening in mammographically dense breasts. AJR. 204-241.

[11] Santo Maimone, Andrey P Morozov, Haley P Letter, Kristin A Robinson, Martha C Wasserman, Zhuo Li, Robert W Maxwell (2022). Abbreviated Molecular Breast Imaging: Feasibility and Future Considerations, Journal of Breast Imaging. 4 (6), 590–599,

[12] Shermis RB, Wilson KD, Doyle MT, et al. (2016). Supplemental Breast Cancer Screening with Molecular Breast Imaging for Women with Dense Breast Tissue. AJR Am J Roentgenol., 207(2):450– 457.

[13] Sumkin JH, Berg WA, Carter GJ, et al. (2019). Diagnostic Performance of MRI, Molecular Breast Imaging, and Contrast-enhanced Mammography in Women with Newly Diagnosed Breast Cancer. Radiology. 293(3):531–540.

المصدر:

- ترجمة وإعداد **د. يحيى لحفي**، قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

فطريات تأكل البلاستيك..

بارقة أمل جديد لإنقاذ الأرض من النفايات

تعد النفايات البلاستيكية في العصر الحالي مشكلة بيئية كبيرة في جميع أنحاء العالم، فهي لا تتحلل بشكل طبيعي، وقد تستغرق العملية مئات السنين؛ الأمر الذي يؤدي إلى عواقب سلبية على صحة الإنسان والنظام البيئي للكوكب بشكل عام. وتشير التقديرات الأخيرة إلى أن 12.000 مليون طن من النفايات البلاستيكية قد تتراكم على سطح الأرض بحلول عام 2050؛ لذلك كان من الضروري البحث لتطوير عملية تحلل بيولوجي فعالة من أجل تسريع معدل التحلل الطبيعي للبلاستيك، فقد بدأ العلماء في التعمق في دراسة علم الفطريات، حيث وجدوا أن أشكال الحياة الغريبة للفطريات لها خصائص مفيدة للمساعدة في أشكال الحياة الأخرى على الأرض، حيث بدأ بعض الخبراء يبحثون احتمالية أن تحدث الفطريات والمركبات الأخرى التي تنتجها ثورة في علم النفس البشري، فقد لوحظت قدرة نمو الفطريات الدقيقة على بعض مواد البلاستيك من دون وجود أي مصدر آخر للكربون تتغذى عليه، مما

أظهر بوضوح قدرة بعضها على تحليل البوليمرات الاصطناعية، وبذلك بدأت الفطريات تجذب قدراً لابأس به من الاهتمام لتعدد استخداماتها وقدرتها على تحطيم جميع أنواع الركائز الاصطناعية بتركيبة قوية من الإنزيمات. يعتقد حديثاً بأن الفطور يمكن أن تكون جزءاً من الحل لمشكلة النفايات المتنامية في العالم، والخطوة المستقبلية التالية التي سيتخذها الباحثون هي تطوير نوع من التكنولوجيا يمكن تطبيقه على نطاق صناعي.

الكلمات المفتاحية: *الفطور، البلاستيك، البيئة، معالجة النفايات البلاستيكية، سلالات واعدة.*

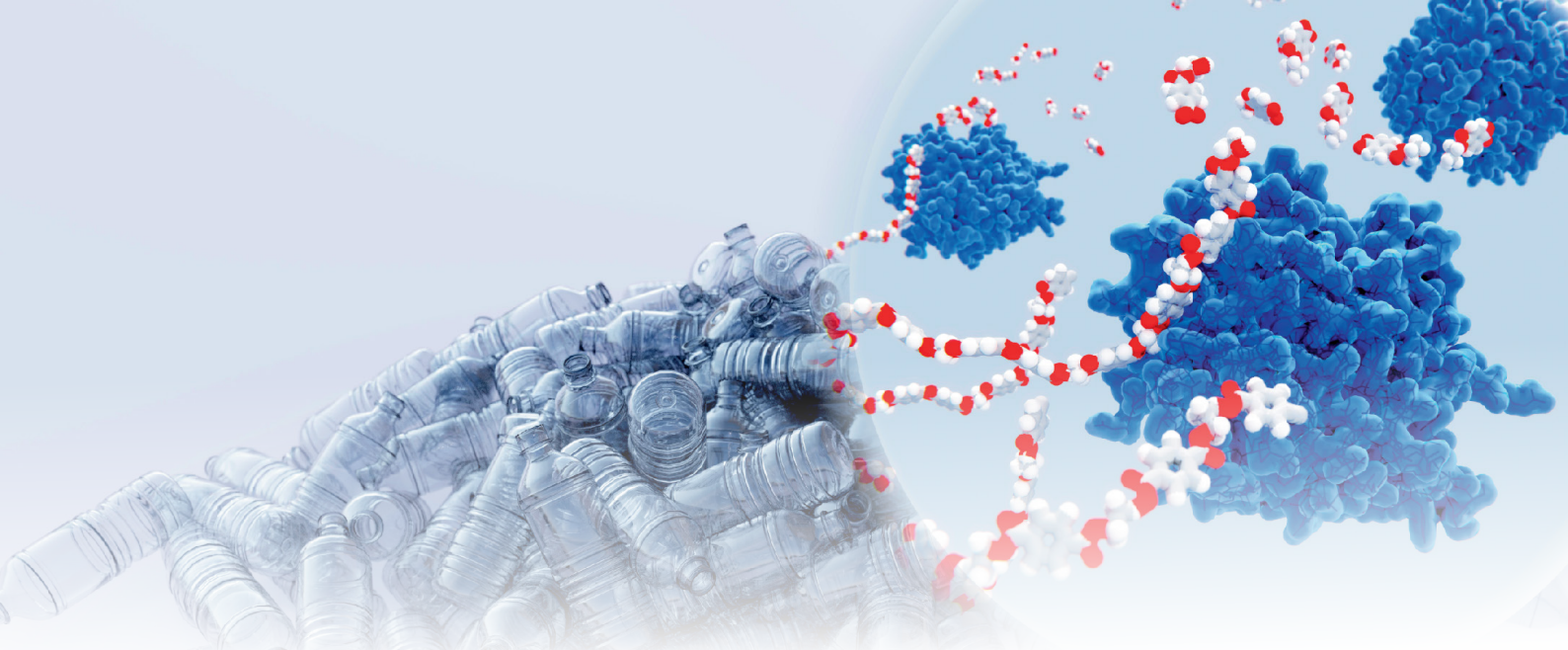
البلاستيك

البلاستيك هو ترجمة حرفية لكلمة إنكليزية مشتقة من كلمة يونانية تعني الشيء القابل للتشكيل والصب، ويرجع السبب في ذلك للخواص التي يتمتع بها البلاستيك من إمكانية وسهولة التشكيل وصبه في القوالب المخصصة لتصنيعه. ظهرت مادة البلاستيك للمرة الأولى في العام 1868، وتم إنتاجها من مادة (السيلولويد) والتي حصل عليها العالم جون ويسلي من تفاعل عشبة الكافور مع نترات السليلوز في تجربة كان الغرض منها استبدال العاج الموجود في كرات البلياردو بمادة أخرى إلا أن هذه المادة لم يكن بالإمكان صبها لتشكيلها بالشكل المطلوب واقتصر الحصول عليها في شكل رقائق استخدمت في صناعة الهيكل الداخلي لنوافذ السيارات وأفلام الرسوم المتحركة.

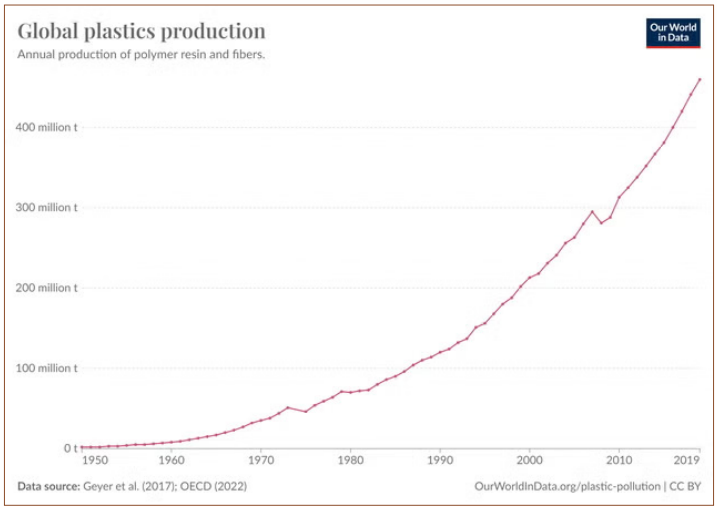
ولما كانت نترات السليلوز من المواد سريعة الاشتعال وشديدة الانفجار فقد استبدلت فيما بعد بمواد بلاستيكية أخرى صعبة الاشتعال، وظهرت ثاني مادة بلاستيكية في العام 1909م عندما أعلن (د. باكلاند) عن اكتشاف مادة أطلق عليها اسم (باكلايت) والتي أصبحت فيما بعد من اللدائن الرئيسية في هذه الصناعة نظراً لإمكانية تشكيل عدة أشكال مختلفة تحت تأثير الحرارة والضغط لصنع منتجات ذات مقاومة عالية للحرارة كمقابض المقالي والبرادات وفيش الكهرباء.

يتكون البلاستيك من سلسلة من الجزيئات التي يرتبط بعضها مع بعض تحت اسم البوليميرات. ولهذه البوليميرات أنواع عديدة منها البولي إيثيلين والبولي بروبيلين وبولي كلوريد فينول وغيرها، ويضاف إلى هذه المواد مواد كيماوية أخرى لأهداف كثيرة منها: الملونات التي تعطي العبوات البلاستيكية الألوان المختلفة ومادة (الباي اسيفينول-أ) التي تعطي البلاستيك الشفافية والصلابة والملدنات التي تعطي البلاستيك الليونة والطراوة وقابلية الانثناء، وهناك مواد أخرى لإزالة الشحنات الكهربائية الساكنة عن سطح البلاستيك، ومواد مزيتة، ومضادات أكسدة.

تم تصنيع النايلون للمرة الأولى عام 1937 حيث حلت أكياس النايلون كبديل لأكياس الورق التي كانت تستخدم في السابق، ومن أهم المميزات التي ساهمت

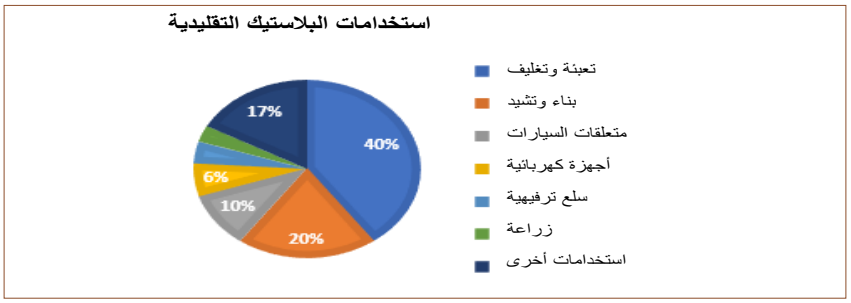


بالتحوّل شبه التام إلى استخدم أكياس النايلون هو كلفته الرخيصة وإمكانيات التصنيع المتنوعة إضافة إلى التوفير في الطاقة أثناء صناعتها حيث يحتاج صنع أكياس البلاستيك إلى 40% طاقة أقل مما تحتاجه الأكياس المصنوعة من الورق، ومع مرور السنوات حل البلاستيك محل النايلون كمادة لصناعة الأكياس ووسائل التغليف، وتقدر الإحصائيات الدولية بأن ما يعادل 500 مليون كيس من أكياس البلاستيك يتم بكافة استخدامها سنوياً في دول العالم كافة، مما دعا إلى ازدياد إنتاج البلاستيك بشكل كبير عبر السنين (الشكل 1).



الشكل 1. رسم بياني يوضح تطور إنتاج الراتنجات البوليميرية والألياف على مدى السنين من 1950 إلى 2019.

إن الأكياس البلاستيكية غير قابلة للتحلل الحيوي؛ الأمر الذي يؤدي إلى إحداث تلوث كيميائي أو بيولوجي إلا أن لها آثاراً ضارة ناتجة عن مخلفاتها الصلبة والتي تحتوي في تركيبها النهائي على مواد الكربون والهدروجين والكلور والنتروجين وغيرها. إن استخدام البلاستيك هو جزء لا يتجزأ من حياتنا اليومية، فهو موجود في كل شيء بدءاً من أكياس البقالة وأدوات المائدة وصولاً إلى زجاجات المياه ومواد تغليف السندويتشات (الشكل 2)، لكن البحث عن الراحة قد تجاوز الحد، وفشلنا في استخدام المواد البلاستيكية بكفاءة، مما أدى إلى إهدار موارد قيمة وإلحاق الضرر بالبيئة.



الشكل 2. نسب استخدام البلاستيك في مجالات مختلفة.

وعلى أية حال، رغم المميزات المختلفة للمواد البلاستيكية مثل: القوة والمرونة وخفة الوزن وانخفاض التكلفة وسهولة التشكيل وفعالية عزل الحرارة والكهرباء ومقاومتها للتآكل بفعل الأحماض والقلويات والمذيبات إلّا أن مخلفاتها تشكل إحدى المصادر الرئيسة لتلوث البيئة والخطورة على صحة الإنسان. إن مادة البلاستيك لا تتحلل بفعل العوامل الطبيعية كالحرارة والرطوبة والضوء أو أشعة الشمس والأكسجين والمواد الكيميائية وغيرها، ويعزى عدم تأثر هذه المادة أو مقاومتها للتحلل بفعل هذه العوامل وخاصة البيولوجية منها إلى عدة عوامل من أهمها: كبر حجم جزئيات هذه المادة وعدم قابليتها للذوبان في الماء، فمثلاً تقدر مدة تحلل المواد البلاستيكية التي يتم طمرها في الأرض من مئة إلى ألف سنة. ويُمثل الإفراط في استهلاك البلاستيك وسوء إدارة النفايات البلاستيكية تهديداً متنامياً، وهنا لا بد من ذكر بعض الإحصائيات الحديثة حول ذلك:

أرقام كارثية

- بحسب الأمم المتحدة، فقد ازداد الإنتاج السنوي للبلاستيك خلال 20 عاماً أكثر من الضعف، ليتخطى 430 مليون طن سنوياً، ويمكن لهذا الرقم أن يرتفع 3 أضعاف بحلول العام 2060 إن لم يتم تدارك الوضع.

- أكدت دراسة أجراها البنك الدولي مؤخراً أن الفرد في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا يطرح الفرد في المتوسط أكثر من 6 كيلو غرام من النفايات البلاستيكية في كل عام. ويعد البحر المتوسط أحد أكثر المناطق الأكثر تلوثاً بالنفايات البلاستيكية في العالم.

- يقدر بنحو 19 إلى 23 مليون طن سنوياً، من البلاستيك في البحيرات والأنهار والبحار، حيث تعاني قيعان المحيطات والبحار من تراكم ملايين الأطنان من المخلفات البلاستيكية التي تهدم هذه البيئة، وتستنزف الكائنات البحرية من حيث التأثير على نشاطها، مثبطة من عملية إنتاج الأكسجين في الغلاف الجوي، علماً أن البيئة البحرية تعد مصدره الأول على سطح الكوكب.

- تطرح في قاع المحيطات بحسب تقديرات الأمم المتحدة ما يقارب 15 مليون طن بلاستيك سنوياً، وبمجموع بلغ 200 مليون طن في قاع المحيطات فقط، وتتصدر المنطقة العربية المشهد حيث تساهم في 60 في المئة من مجمل المطروح من المخلفات البلاستيكية تلك (الشكل 3).

الشكل 3. تكدس النفايات البلاستيكية في الطبيعة

الآثار البيئية للنفايات البلاستيكية

لا تتحلل النفايات البلاستيكية بشكل طبيعي، وقد تستغرق مئات السنين لتتحلل، حيث يؤدي تراكمها إلى مشاكل خطيرة وكبيرة على البيئة مثل:

- **تلوث الهواء:** يؤدي حرق النفايات البلاستيكية إلى إطلاق غازات سامة في الغلاف الجوي، مما قد يكون له آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة.

- **تلوث التربة:** جعل التربة غير صالحة للزراعة، مما يؤدي إلى فقدان الأراضي الخصبة.

- **تلوث المياه:** تشكل النفايات البلاستيكية التي يتم إلقاؤها في الأنهار والمحيطات تهديداً كبيراً للحياة البحرية.

الآثار الصحية للنفايات البلاستيكية

تؤثر النفايات البلاستيكية تهديداً كبيراً لصحة الإنسان وتسبب المشاكل الصحية التالية:

- **التعرض للمواد الكيميائية:** يمكن أن تتسبب النفايات البلاستيكية بدخول مواد كيميائية سامة، بما في ذلك بيسفينول أ (BPA) والفثالات، إلى جسم الإنسان؛ الأمر الذي يؤدي إلى اضطرابات هرمونية ومشاكل في النمو وحتى السرطان.

- **ابتلاع اللدائن الدقيقة:** تم العثور على الجسيمات البلاستيكية الدقيقة في الطعام والماء، والتي يؤدي في حال ابتلاعها إلى آثارٍ صحية خطيرة غير معروفة.

آثار النفايات البلاستيكية على الحياة البرية والبحرية

تعد النفايات البلاستيكية سبباً رئيسياً في وفاة الملايين من الكائنات البحرية والبرية سنوياً؛ وذلك بسبب ابتلاعها أو تعلقها حول أجسادها. إضافة إلى هذه الآثار الفيزيائية، تسبب المواد الكيميائية السامة الموجودة في البلاستيك إصابة الأحياء البحرية بتفاعلات حادة ومزمنة تتداخل مع استقلابها ووظائف أعضائها.

لذلك وعلى ضوء الآثار المدمرة على صحة الإنسان والتنوع البيولوجي والنظم البيئية، فإن هناك حاجة ملحة لمعالجة الأزمة العالمية للنفايات البلاستيكية والبحث عن طرائق وأساليب جديدة للتخلص من البلاستيك ونفاياته الضارة، ومن هذه الطرائق الحديثة استخدام الفطريات كحل واعد لمستقبل نظيف، وهنا سنركز بإسهاب عن هذا النوع من الكائنات الحية.

اكتشاف فطريات آكلة للبلاستيك

الفطريات

تصنف الفطْريات ضمن نطاق حقيقية النوى من مملكة الكائنات الحية والتي تتميز بأنها تهضم طعامها خارجياً (وليس داخلياً ضمن جوف هضمي) وتمتص الجزيئات المغذية ضمن خلاياها بعد إتمام عملية الهضم، ويتم ذلك من خلال إفراز هيدرولازات تذيب خلايا الأنسجة النباتية أو الحيوانية أو المواد العضوية التي تتغذى عليها. تنتشر الفطريات انتشاراً واسعاً في بيئات مختلفة كالترب الرطبة والجافة، وفي المياه العذبة والمالحة وفي الهواء حتى ارتفاعات شاهقة منه.

غالباً ما يرتبط اسم الفطريات بالأمراض والآفات لدى البعض. وبالرغم من أن منها ما هو سام وقد يشكل خطراً، إلاّ أنّ لها مكاناً مهماً في النظام البيئي والكثير من الفوائد المهمة التي قد يجهلها الكثيرون، فقد تساهم في تسوية وإنضاج بعضها مثل جبن الرُّكْفُور، ومن الفطريات ما يعمل كغذاء مثل أنواع من فطر عيش الغراب؛ إذ تشكل زراعته مصدراً مهماً في العديد من البلدان. للفطور أيضا أهمية بيئية فهي المفككات الأولية لجثث الحيوانات والنباتات الميتة في العديد من الأنظمة البيئية. كما تظهر على سطوح الخبز القديم بشكل عفن. استخدمت بعض أنواع الفطور في بدايات القرن الماضي كمصدر أساسي للمضادات الحيوية مثل البنسيلين، حيث بدأ بعض العلماء يبحثون احتمالية أن تحدث الفطريات والمركبات الأخرى

التي تنتجها ثورة في علم النفس البشري، فقد لوحظ قدرة نمو الفطريات الدقيقة على بعض مواد البلاستيك من دون وجود أي مصدر آخر للكربون تتغذى عليه.

الفطريات تتغذى على البلاستيك

رصد علماء في ألمانيا حديثاً فطريات تتغذى على البلاستيك قد تضيء بارقة أمل في معالجة مشكلة ملايين الأطنان من النفايات التي تلوث محيطات العالم كل عام. وقال قائد فريق العلماء: إن تحليلاً أجري في بحيرة شتشلين في شمال شرق ألمانيا عن مدى نمو وازدهار الفطريات الدقيقة عندما عاشت على بعض مواد البلاستيك من دون وجود مصدر آخر للكربون تتغذى عليه، أظهر بوضوح أن بعضها قادر على أن يحلل البوليميرات الاصطناعية.

وقال هانز بيتر جروسارت، رئيس مجموعة البحث في معهد ليبنتس لعلم بيئة المياه العذبة ومصائد الأسماك الداخلية: «النتيجة الأكثر إثارة للدهشة في عملنا... هو أن الفطريات المختبرة لديها القدرة أن تنمو بالاعتماد فقط على بعض البوليميرات الاصطناعية، بل تشكل كتلة عضوية».

ويعتقد جروسارت أن هذه التأثيرات الفطرية على البلاستيك يمكن أن توظف في محطات معالجة مياه الصرف الصحي أو غيرها من المرافق التي يتم التحكم في ظروفها وأوضاعها، لكن من غير المرجح أن تكون الفطريات حلاً لوقف الكميات الضخمة من النفايات في العالم. وقال جروسارت لرويترز: «يجب علينا بالتأكيد أن نحاول ضخ أقل قدر ممكن من البلاستيك في البيئة». ومن بين 18 من سلالات الفطريات المنتقاة، ثبت أن أربع منها كانت «شرهة» بشكل خاص، بمعنى أنها قد تستهلك البلاستيك بكفاءة، وخاصة البولي يوريثين المستخدم في اصطناع الرغوة المستخدمة في أعمال البناء (الفوم).

وتمكّن العلماء من جامعة «سيدني» في الآونة الأخيرة، من تكسير مادة البولي بروبيلين تماماً في 140 يوما فقط، وذلك باستخدام سلالتيْن من الفطريات المجهرية التي تعيش في التربة، وقد أكل النوعان الفطريان Aspergillus terreus و Engyodontium المواد البلاستيكية في أثناء التجارب المختبرية. تم العثور حتى الآن على أكثر من 400 من الكائنات الحية الدقيقة التي تحلل البلاستيك بشكل طبيعي، حيث تجذب الفطريات قدراً لا بأس به من الاهتمام لتعدد استخداماتها وقدرتها على تحطيم جميع أنواع الركائز الاصطناعية بتركيبة قوية من الإنزيمات (الشكل 4).

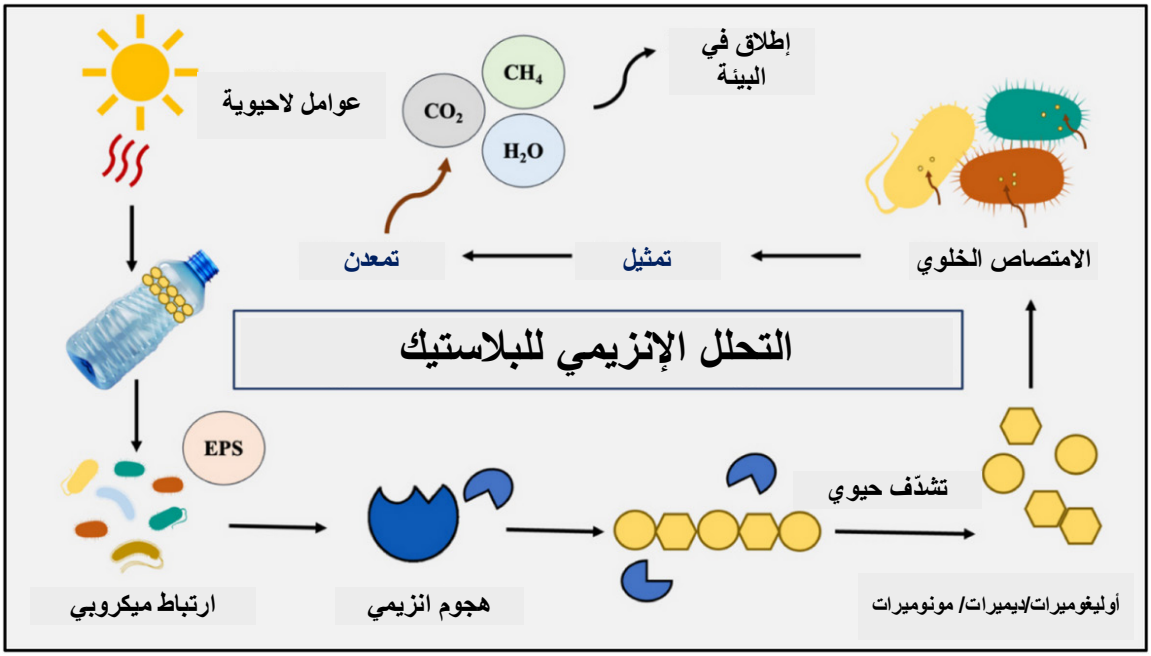
الشكل 4. الفطريات تحلل البلاستيك.

اختبار قدرة الفطريات على استهلاك البلاستيك

ولاختبار ما إذا كانت الفطريات المدروسة ستأكل البلاستيك، عالج الباحثون عينات البولي بروبيلين بالحرارة أو بالضوء فوق البنفسجي أو بكاشف فينتون وهو محلول بيروكسيد الهدروجين والحديد، ثم تمت إضافة العينات إلى طبق يحتوي على الفطريات وحضنت لمدة 30 و90 يوماً. لوحظ خلال شهر استهلاك خُمس البلاستيك، وفي غضون ثلاثة أشهر اختفى أكثر من ربع كمية البلاستيك.

كيف تمكنت الفطريات من استهلاك البلاستيك؟

تتلخص العملية التي تمت ملاحظتها في الإنزيمات الفريدة التي تنتجها هذه الفطريات، والتي تمكنهم من تحليل مادة البولي بروبيلين إلى جزيئات أبسط يمكن للفطريات أن تتغذى عليها، وتتم دراسة هذه الإنزيمات الآن عن كثب كجزء من التجربة. تقول أميرة فرزانا صامات التي أجرت التجارب في كلية الهندسة الكيميائية والجزيئية بجامعة سيدني تحت إشراف البروفيسور علي عباس: «نريد أن نرى مدى فعالية هذه الإنزيمات التي تساعد بالفعل في تحلل البلاستيك. في الأساس، هناك العديد من أنواع الإنزيمات التي يمكن أن تنتجها الفطريات، لكننا نركز على إنزيم اللاكتيز بالتحديد المعروف أنه ينتج عن طريق العديد من أنواع الفطريات الأخرى». كما تشير الدلائل الأولية إلى أن الهدروجين وثاني أكسيد الكربون والميثان هي النواتج الأولية لهذه العملية، إضافة إلى بعض القطع البلاستيكية الدقيقة (الشكل 5).



الشكل 5. آلية الهضم الإنزيمي الميكروبي لمادة البلاستيك.

الدراسة التي تعدّ الأولى من نوعها نُشرت في مجلة Materials Degradation العلمية. وبحسب التجارب الأولى، جرى التهام حوالي 30% من العيّنات البلاستيكية بعد 90 يوماً من التحليل الفيزيائي والبيولوجي، في حين أن عملية التفكيك شبه التام لم تستغرق أكثر من 140 يوماً. ويقوم فريق العمل بتطوير الاختبارات والتوسّع في التدقيق من أجل معرفة مصير الفطريات على المدى الطويل وما إذا كانت ستتعرّض لتعديل جنائي يمكن أن ينتج عنه آثار سلبية.

العملية طبيعية وبيئية بشكل كامل ومن المفترض عدم وجود أي مخاطر مستقبلية، لكن يجب التأكّد من ذلك من أجل أمانة وسلامة الاستخدام، لذا وجب التدقيق في شتى التفاصيل بدءاً بفحص المواد البلاستيكية المفككة كافة وصولاً إلى مورثات الفطريات لحسم عدم حصول أي تبدّل فيها. أما عن الكميات القليلة المتبقية من البلاستيك (في حال وُجدت)، فيُرجَّح أن تكون صديقة للبيئة رغم إصرار فريق العمل للوصول إلى تفكيك كلّي للمادّة عبر تطوير الحجم الصناعي لعملية التفكيك هذه. في حين أن الباحثين لا يعرفون حتى الآن كيف بالضبط هضمت الفطريات البلاستيك، يمكن أن يكون هذا هو محور البحث المستقبلي، فإن التفكير هو أن الفطريات تحلل المواد مثل البلاستيك إلى جزيئات أبسط يمكن أن تمتصها أو تفرزها بعد ذلك. تتطلب الطريقة خطوة معالجة مسبقة إما باستخدام ضوء الأشعة فوق البنفسجية أو الحرارة أو الكاشف الكيميائي لإضعاف مادة النفايات حتى تتمكن الفطريات من مهاجمتها. تحاكي هذه الخطوة الظروف البيئية اللازمة للفطريات لتلتصق بالبلاستيك وتفتحه وهي مصممة لجعل عملية التحلل أكثر كفاءة.

تشمل الخطوات التالية للباحثين بناء نموذج أولي على الطاولة، واختبار التعديلات لتسريع العملية، وتقييم الجدوى الاقتصادية والتأثير البيئي لاستخدام طريقتهم على المقاييس التجارية. ستحتاج هذه الاكتشافات المثيرة إلى المزيد من العمل إذا كانت ستحدث تأثيراً فعلياً في الكميات الهائلة من النفايات البلاستيكية التي تتراكم بسرعة.

العثور على أنواع أخرى تأكل البلاستيك

تتطور البكتريا بسرعة ولذلك ستجد طريقة للتكيف مع بيئتها وتناول ما يتوفر من مصادر كربونية، بما في ذلك البلاستيك، يشرح المهندس رونان مكارثي في جامعة برونيل في المملكة المتحدة إن سلالة البكتريا Ideonella sakaiensis 201-F6 تتغذى على البلاستيك من خلال إنزيمات استرات حمض الفيروليك. ويقول مكارثي: إن البكتريا هي أدوات قوية لمعالجة بعض الملوثات البيئية المهمة «بإسلوب مثير للإعجاب» بطريقة مستدامة وصديقة للبيئة (الشكل 6).

الشكل 6. البكتريا تحلل البلاستيك

وفي العام الماضي، كشف فريق بحثي من الحدائق الملكية للنباتات في لندن عن 184 نوعاً من الفطريات و55 نوعاً من البكتريا قادرة على تحليل البوليكابرولاكتون، وهو بوليستر قابل للتحلل يستخدم كثيراً في صناعة البولي يوريثان. وتعد «إديونيلا ساكينسيس» Ideonella sakaiensis من أبرز الأمثلة على البكتريا الآكلة للبلاستيك تم اكتشافها في اليابان عام 2016، حيث يمكن لهذه البكتريا أن تكسر البولي إيثيلين تيريفثالات الذي يستخدم بكثرة في زجاجات البلاستيك التي يصعب إعادة تدويرها بطرق تقليدية. وقد حقق علماء آخرون أيضاً بعض النجاح في هذا المجال؛ حيث يستخدم فريق في مركز هيلمهولتز للأبحاث البيئية في لايبزيغ في ألمانيا بكتريا اسمها «بسودوموناس» موجودة أصلاً في مكب نفايات محلي، لتفكيك النفايات المصنوعة من مادة البولي يوريثين.

وفي تلك العملية تستهلك البكتريا حوالي نصف البلاستيك لزيادة كتلتها الحيوية، مع إطلاق الباقي على شكل ثاني أكسيد الكربون. وبشكل مشابه للكائنات الحية الأخرى التي تتغذى على البلاستيك، فإن بكتريا «بسودوموناس» تكسر البولي يوريثين باستخدام الإنزيمات. يجري الفريق البحثي الآن تحليلاً وراثياً للبكتيريا بهدف تحديد المورثات المعينة التي ترمز لهذه الأنزيمات.

إمكانيات واستخدامات مستقبلية

على الرغم من أن اكتشاف فطريات قادرة على التغذي على البلاستيك يمثل خطوة مهمة في فتح آفاق جديدة مستقبلية لمكافحة مشكلة ملايين الأطنان من النفايات التي تلوث البيئة في العالم كل عام، إلا أن الباحثون يحذرون من أن هذا الاكتشاف يشكل جزءاً صغيراً فقط من الحل النهائي لمشكلة التلوث بالبلاستيك، فالعالم الذي ينتج سنوياً أكثر من 430 مليون طن من البلاستيك –المادة التي تحتاج إلى ما لا يقل عن ألف سنة كي تتحلل– لم يعد يملك الكثير من الوقت كي يُخرج أزماته البيئية من عنق الزجاجة، فهل يكون هذا الابتكار أحد المنافذ لإنقاذ ما تبقّى من حياة بحرية وبرّية وجوّية تتربّص بها استهلاكات البشر العشوائية قبل فوات الأوان؟

على أية حال، إن الفطريات أساسية للحفاظ على التوازن في البيئة بكل ما تحمله الكلمة من معنى، حيث أظهرت العديد من الاكتشافات الحديثة أن هناك فطريات تساعد في الحفاظ على أكبر الاختلالات البيئية، والتي تعاني منها الأرض حالياً وهي الكمية الهائلة من البلاستيك التي ينتجها البشر. يعتقد الباحثون أن الفطور يمكن أن تكون جزءاً من الحل لمشكلة النفايات البلاستيكية المتنامية في العالم، والخطوة التالية هي تطوير نوع من التكنولوجيا يمكن تطبيقه على نطاق صناعي.

المراجع

[1] Archita R, Swati C (2024). A comprehensive review on sustainable approach for microbial degradation of plastic and its challenges. SCENV., 7, 1000153.

[2] Brunner I, Fischer M, Rüthi J, Stierli B, Frey B (2018). Ability of fungi isolated from plastic debris floating in the shoreline of a lake to degrade plastics. PLoS ONE., 13, e 0202047.

[3] Chamas A, Moon H, Zheng J, Qiu Y, Tabassum T, Jang JH, Abu-Omar M, Scott SL, Suh S (2020). Degradation rates of plastics in the environment. ACS Sustain. Chem. Eng., 8, 3494–3511.

[4] Dhali SL, Parida D, Kumar B et al. (2024). Recent trends in microbial and enzymatic plastic degradation: a solution for plastic pollution predicaments. Biotechnol. Sustain. Mater., 1, 11.

[5] Guan P, Xuesong L, Mingyue D, Siqi J, Peijie C, Zheng Z, Renwei G, Bin S, Xiaowei X, Qirong S, Feng MC, Irina SD (2023). The distinct plastisphere microbiome in the terrestrial-marine ecotone is a reservoir for putative degraders of petroleum-based polymers, J. Hazard. Mater., 453,131399.

[6] Johnson B (2024). Plastic-eating bacteria boost growing business of bioremediation. Nat. Biotechnol., 42, 1481–1485.

[7] Kale SK, Deshmukh AG, Dudhare MS, Patil VB (2015). Microbial degradation of plastic: a review. J. Biochem. Technol., 6, 952–961.

[8] Ekanayaka AH, Tibpromma S, Dai D, Xu R, Suwannarach N, Stephenson SL, Dao C, Karunarathna SC (2022). A Review of the fungi that degrade plastic. J. Fungi., 8, 772.

[9] Pathak VM, Navneet (2017). Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach. Bioresour. Bioprocess., 4, 15.

[10] Temporiti MEE, Nicola L, Nielsen E, Tosi S (2022). Fungal enzymes involved in plastics biodegradation. Microorganisms., 8, 1180.

المصدر:

- *تأليف: **د. محمد جوهر**، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.*

ثورة في علم البروتينات:

مستخدمو الذكاء الصنعي يحصدون جائزة نوبل في الكيمياء

تعّد البروتينات لبنات بناء الحياة، وقد أسفرت الجهود الرامية إلى فك أسرارها عن منح ثلاثة علماء جائزة نوبل في الكيمياء لعام 2024، وفق ما أعلنته الأكاديمية الملكية السويدية للعلوم في مؤتمر صحفي في ستوكهولم في 9 أكتوبر من هذا العام.

مُنحت نصف الجائزة للباحثين ديميس هاسابيس وجون جامبر مناصفة، وكلاهما يعمل في شركة google-DeepMind في لندن، وذلك لتطويرهما برنامج AlphaFold2، وهو برنامج ذكاء صنعي قادر على التنبؤ بالشكل الفراغي والهيكل الجزيئي للبروتينات انطلاقاً من مكوناتها الكيميائية الأساسية المعروفة بالأحماض الأمينية. وبما أن شكل البروتين يحدد وظيفته، فإن هذه التنبؤات تحمل أهميةً بالغةً جداً في مختلف المجالات. أما النصف الآخر من الجائزة، فقد مُنح لعالم البيولوجيا التركيبية ديفيد بيكر من جامعة واشنطن لاكتشافه طرقاً جديدة تماماً لتصميم بروتينات لم تُرَ من قبل في الطبيعة. يمكن لبعض هذه البروتينات الاصطناعية أن تعمل كمستشعرات دقيقة، بينما يمكن لأخرى أن تعيق فيروس كورونا المسبب لمرض كوفيد-19. إن قائمة أدوار البروتينات في الجسم تكاد تكون لا نهائية، لذا فإن القدرة على تصميم بروتينات اصطناعية جديدة لتؤدي وظائف محددة يعد أمراً مذهلاً للغاية.

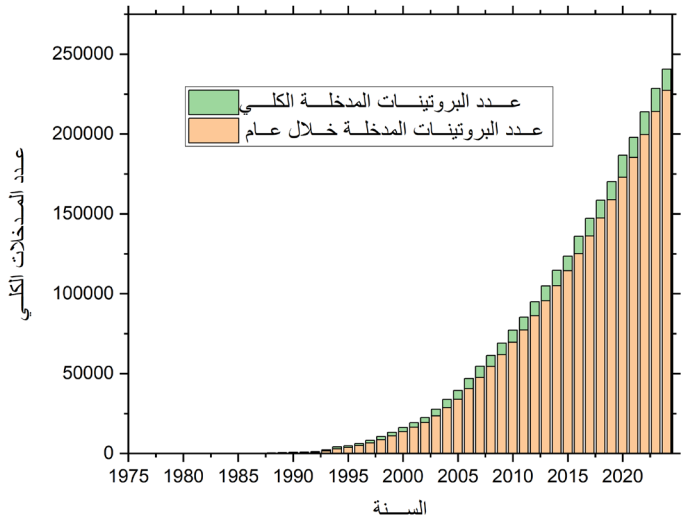
الكلمات المفتاحية: *جائزة نوبل، الكيمياء، الذكاء الاصطناعي، برنامج ألفا فولد 2، البروتينات*

مقدمة

تم تحديد أولى البُنى ثلاثية الأبعاد (3D) للبروتينات بواسطة تقنية الأشعة السينية قبل حوالي 65 عاماً [1, 2]. منذ ذلك الحين، أبدى العلماء اهتماماً كبيراً بكيفية طيّ السلاسل متعددة الببتيدات لتكوين أنماط ثلاثية الأبعاد محددة ومعقدة للغاية. ومن المعروف أن هذه الهياكل المميزة هي التي تمنح البروتينات وظيفتها. وبالتالي، أصبح من الواضح أن القدرة على التنبؤ بالبنية ثلاثية الأبعاد للبروتين ستمكّن أيضاً من التنبؤ بوظيفته وخصائصه البيوكيميائية.

في عام 1972، حصل كريستيان أنفينسن على جائزة نوبل في الكيمياء لاكتشافه المذهل أن الهياكل ثلاثية الأبعاد للبروتينات مُشفّرة بشكل أساسي بواسطة تسلسل الأحماض الأمينية في سلسلة الببتيدات؛ أي أنه وجد أن البروتينات إذا تم نزعها بشكل قابل للانعكاس، فإنها ستعاود الطي بنفس الشكل ثلاثي الأبعاد دائماً [3]. قاد هذا الاكتشاف إلى رحلة علمية طويلة للتنبؤ بالبُنى ثلاثية الأبعاد مباشرة من تسلسل الأحماض الأمينية الأساسية. تعّد هذه المشكلة مهمة لدرجة أن الحائز على جائزة نوبل، فينكي راماكريشنان، وصفها بأنها تحدٍّ كبير في علم الأحياء يمتد على مدار 50 عاماً [4].

يعد تحديد هياكل البروتينات بوسائل تجريبية عملية تتطلب جهداً ووقتاً كبيراً. ومن الجدير بالذكر أنه بينما يقارب عدد تسلسلات البروتينات التي تم تحديدها تجريبياً في قواعد البيانات العامة حالياً حوالي 3 مليارات، حيث تم التعرف على أكثر من 200 مليون تسلسل بروتيني في الكائنات الحية، لا يزال بنك بيانات البروتين يحتوي على جزء صغير فقط من الهياكل البروتينية التي تم تحديد بنيتها ثلاثية الأبعاد المقابلة (~200000؛) [5]. لذلك فإن القدرة على التنبؤ بهياكل البروتين مباشرة من تسلسل الأحماض الأمينية سيكون إنجازاً مهماً للغاية.



الشكل 1. التطور الزمني لعدد هياكل البروتين المحددة تجريبياً والمودعة في بنك بيانات البروتين (PDB).

تكمن المشكلة هنا في أن عدد التشكيلات النظرية الممكنة للبروتين اعتماداً على تسلسل الأحماض الأمينية المشكلة له هو عدد فلكي؛ فعلى سبيل المثال يقدّر عدد التشكيلات الممكنة لبروتين يحتوي فقط على 100 حمض أميني بحوالي 1047 تشكيل، ولاختيار التشكيل الأمثل الذي يفترض أنه مطابق للتشكيل الطبيعي الحقيقي، يجب اختبار كل هذه التشكيلات، وهذا أمر شبه مستحيل باستخدام التكنولوجيات المتوافرة حالياً. وهذا ما يطلق عليه اسم «مفارقة ليفينثال» [6] (Levinthal's paradox). وبالتالي، فإن الاستنتاج الحتمي هو أن البروتينات لا تقوم بطي نفسها بطريقة عشوائية، بل عبر مسارات طيّ متحيّزة [7].

تعدّ دراسة عملية طيّ البروتينات الفعلية تحدياً علمياً كبيراً جداً، وقد أحرزت البحوث العلمية في هذا المجال تقدماً كبيراً على مر السنين من خلال تظافر العمل التجريبي والحسابات النظرية العالية الأداء. ومع ذلك، فإن التنبؤ بهياكل البروتين من التسلسل هو مشكلة مختلفة حيث الهدف النهائي هو الحصول على الهيكل الثابت النهائي لعملية الطيّ، كما يمكن صياغة مشكلة

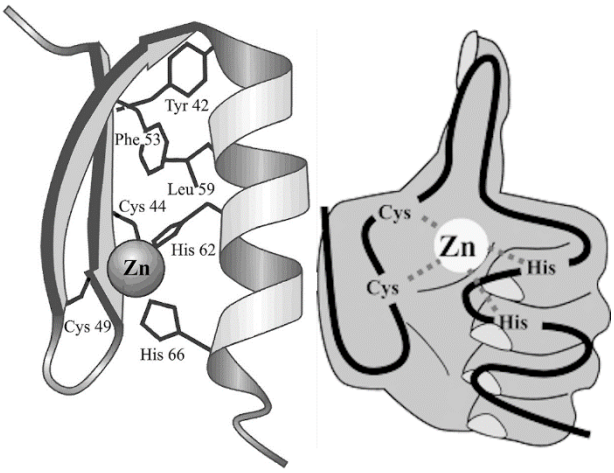
التنبؤ بالهيكل بطريقة عكسية، حيث يُسأل بدلاً من ذلك عن تسلسل الأحماض الأمينية الذي سينتج عنها نمط طيّ معين. هذا السؤال هو جوهر تصميم البروتينات، وهو مجال يتم فيه تصور هيكل مستهدف، ثم يتم تحديد التسلسلات التي ستنتج هذا الهيكل بوسائل حاسوبية.

جائزة نوبل في الكيمياء لهذا العام تعترف بالاختراقات الحاسمة في حل كلا المشكلتين: التنبؤ بالهيكل من التسلسل والتنبؤ بالتسلسل من الهيكل، والتطبيقات الناجمة عن ذلك عميقة جداً. يمكن الآن التنبؤ بمعظم هياكل البروتينات الأحادية بدقة عالية، حيث تم إنشاء قواعد بيانات ضخمة جداً تضم مئات الملايين من الهياكل، مما كان له تأثير هائل على الأبحاث البيوكيميائية والبيولوجية. وبالمثل، يمكن الآن تصميم هياكل بروتينية جديدة تماماً لم تُرَ في الطبيعة باستخدام التصميم الحاسوبي؛ ليتم لاحقاً تحديد التسلسل البروتيني الذي ينتج هذا التصميم، وبالتالي إنتاج هذا التصميم واستخدامه في تطبيقات بيولوجية وتقنية حيوية متنوعة.

التطور التاريخي لتصميم البروتين الحاسوبي

يُعرف تصميم البروتينات الجديدة التي لا تشبه أي تسلسلات طبيعية موجودة باسم تصميم البروتين de novo protein design.

تم نشر أول تصميم ناجح لبروتين صغير عبر الحوسبة بواسطة دهيات ومايو في عام 1997 [8]، فلقد اختارا نموذجاً يُسمى زنك فنغر الذي يحتوي على أيونات متناسقة من الزنك. Zn2+ تعتمد ثباتية هذا الهيكل بشكل كبير على التفاعلات مع أيونات الزنك، وكان الهدف من التصميم هو إيجاد تسلسل جديد يعتمد على الهيكل نفسه ولكن دون أيونات الزنك. إن هيكل زنك فنغر صغير نسبياً، مكون من حوالي 30 حمضاً أمينياً، ويحتوي على جزء حلزوني α واثنين من الألواح β، الإضافة إلى الحلقات القصيرة التي تربطهم (الشكل 2).

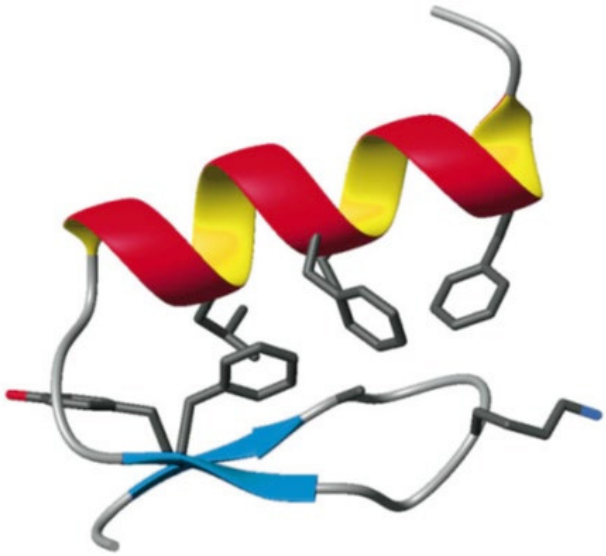


الشكل 2. هيكل زنك فنغر

اعتمد الباحثان بالكامل على نهج حاسوبي لحل المشكلة. لقد قاما بتثبيت العمود الفقري للببتيد، وأزالا أيونات الزنك وبحثا حاسوبياً عن تسلسلات الأحماض الأمينية التي يمكن أن تحقق الهيكل الثلاثي الأبعاد المرغوب. تضمن هذا العمل البحث في عدد هائل من التسلسلات الممكنة (~2710)، وأيضاً تحسين توجيه السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية من حيث التغيرات الدورانية (الزوايا الالتوائية). لاستخدام هذا البحث التوافقي، استخدما خوارزمية الإزالة النهائية dead-end elimination جنباً إلى جنب مع محاكاة مونت كارلو، مع وظيفة تقييم تجريبية لتقدير طاقات التشكل.

كان التصميم الأمثل الناتج يحتوي على 6 من أصل 28 حمضاً أمينياً مشتركاً مع تسلسل زنك فنغر الأصلي (21% تطابق) وتم تحديد هيكله الثلاثي الأبعاد بواسطة مطيافية الرنين المغنطيسي النووي، مما أظهر تشابهاً كبيراً مع الهيكل المتوقع

حاسوبياً (الشكل 3). تعدّ هذه الدراسة نقطة حاسمة في عمليات تصميم البروتينات، إلا أن الخوارزمية المستخدمة كانت محدودة بتسلسلات بروتينية قصيرة نسبياً، لذلك لم يتم اعتمادها كطريقة عامة لحل مشكلة تصميم البروتينات.



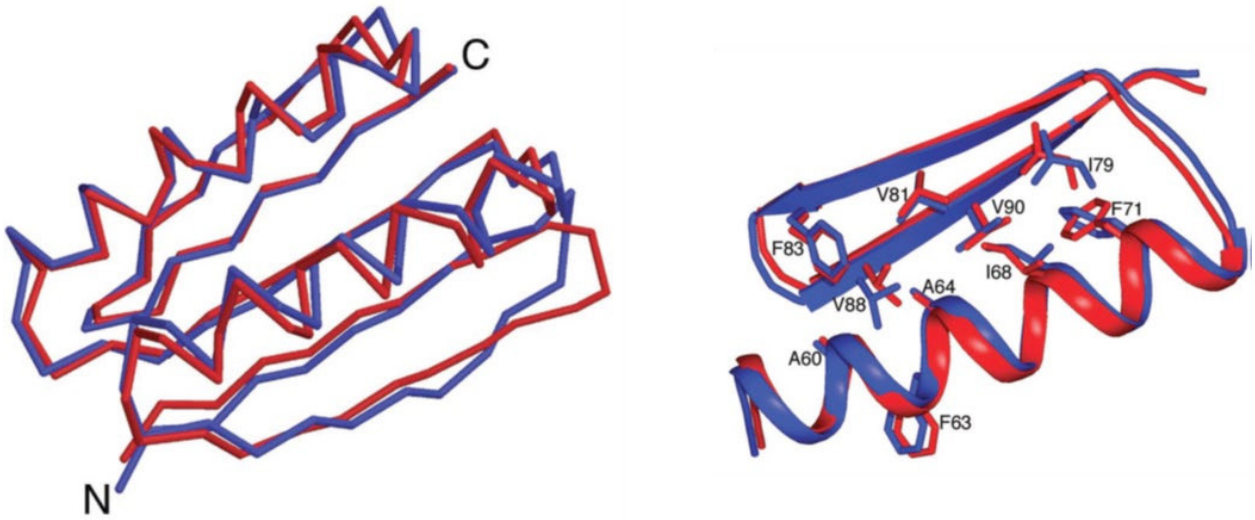
الشكل 3. الهيكل ثلاثي الأبعاد لبروتين زنك فنغر المصمم حاسوبياً من قبل دهيات ومايو.

في العام 2003 حدث الاختراق الكبير في تصميم البروتينات حاسوبياً، عندما نشر ديفيد بيكر وزملاؤه تصميماً لبروتين α/β–يتكون من 93 حمضاً أمينياً أطلقوا علية الاسم Top7 [9]، ولقد تحققوا من التطابق بين البنية النظرية والتجريبية للبروتين المصمم باستخدام تقنية تبعثر الأشعة السينية المحددة. لقد كان هذا إنجازاً مذهلاً لأسباب عديدة:

أولاً، كان بروتيناً كبيرا نسبياً مكوناً من اثنين من الحلزونات α وخمس سلاسل بيتا، وكان هيكله المتوقع متوافقاً بشكل مذهل مع الهيكل المحدد تجريبياً، بما في ذلك تفاصيل مواقع السلاسل الجانبية (الشكل 4).

ثانياً، سعى المؤلفون لتصميم نمط طي غير موجود لأي بروتين كروي في بنك بيانات البروتين.

ثالثاً، لم يكن تصميم Top7 النهائي يحتوي على أي تشابه تسلسلي كبير مع أي بروتين طبيعي في قواعد البيانات التسلسلية.



الشكل 4. اليسار: مقارنة البنية الأساسية المتوقعة لـ Top7 (الأزرق) مع بنية الأشعة السينية المحددة تجريبياً، (الأحمر). على اليمين: منظر للسلاسل الجانبية المتراكبة في قلب النموذج المصمم والبنية التي تم حلها تجريبياً.

ومن ثم، كان Top7 بروتيناً جديداً تماماً من حيث البنية والتسلسل، تم تصميمه بواسطة حوسبة كاملة مع تحسين كامل لكل من العمود الفقري والسلاسل الجانبية.

ولكن السؤال كيف حقق بيكر وزملاؤه إنجازهم؟

كان المفتاح النجاح هو تطويرهم الأولي قبل بضع سنوات (1999) لبرنامج الحاسوب روزيتا [10]. يجمع هذا البرنامج أجزاء هيكلية قصيرة من هياكل بروتين غير مرتبطة مع تسلسلات محلية مشابهة في بنك بيانات البروتين ويقوم بتحسين التسلسل والهيكل فيما يتعلق بتكوين العمود الفقري المستهدف. تم استخدام طريقة مونت كارلو المحسنة في الحسابات مع دالة طاقة تتعامل مع تفاعلات فان در فالز، الروابط الهيدروجينية وتأثيرات المحلات، كما تم أخذ عينات توجيه السلاسل الجانبية من مكتبة كبيرة من التغيرات الدورانية.

ينتج البرنامج العديد من الحلول المفترضة ويقوم بترتيبها بحسب طاقاتها المحسوبة. والأهم من ذلك، تم تصميم روزيتا ليكون برنامجاً عاماً لكل من التنبؤ بهيكل البروتين والتصميم في آن معاً، وتم تطويره بشكل مستمر مع مرور الزمن. ومع وجود عدد كبير جداً من المستخدمين والمطورين المشاركين تبين أن بناء نماذج البروتينات بالاعتماد على تجميع البروتينات من البنى الفرعية المعروفة هو استراتيجية فعالة للغاية.

ومضى بيكر وزملاؤه ليظهروا أن مجموعة واسعة من هياكل البروتين يمكن تصميمها باستخدام برنامج روزيتا. في حين كان التصميم البروتيني يركز في البداية على تصميم الهياكل فقط، فإن العمل الأحدث يهدف أيضاً إلى تصميم وظائف بروتينية متقدمة. لا تزال هذه تشكل تحديات كبيرة من حيث فهم ديناميكية البروتينات والتحولات الهيكلية والتآثرات التوافقية والتأثيرات التحفيزية، وغيرها، لذلك فهي مجال بحث نشط.

في عام 2018 [11]، أبلغ بيكر وزملاؤه عن المحاولات الأولى لتصميم الإنزيمات أو تصميم إنزيمات جديدة يمكنها تحفيز تفاعلات لا توجد لها إنزيمات طبيعية. على الرغم من أن الإنزيمات المصممة أظهرت معدلات تحفيز متزايدة مقارنة بالتفاعلات غير المحفزة، إلا أن معدلاتها العامة منخفضة نسبياً مقارنة بالإنزيمات الطبيعية. وعلى الرغم من ذلك، يمكن تحسين الإنزيمات المصممة بشكل كبير من خلال جولات متتالية من التطوير الموجه التجريبي؛ الأمر الذي حصلت من أجله فرانسيس أرنولد على جائزة نوبل في الكيمياء لعام 2018.

إلا أن المجال الذي قدمت فيه تقنيات التصميم الحاسوبي نتائج رائعة بشكل فوري هو بروتينات ربط الليجندات؛ حيث تمكن بيكر وزملاؤه من تصميم هياكل بروتينات تربط الستيرويدات بانتقائية وانجذاب عاليين للغاية [12]. أظهرت التصاميم الأولية انجذاباً في نطاق الميكرومولار، وتم تحسينها من خلال التطوير المخبري للوصول إلى نطاق النانو وحتى البيكومولار، كما أظهروا كيف يمكن تصميم مواد نانوية بروتينية جديدة يمكنها أن تنشئ جزيئات فيروسية متجمعة ذاتياً على نطاق ميجادالتون.

التنبؤ ببنية البروتين من التسلسل–تقدم بطيء لسنوات عديدة

كانت المبادرة المهمة جداً في مجال التنبؤ بالبنية ثلاثية الأبعاد للبروتينات هي مبادرة CASP (التقييم النقدي لتنبؤ بنية البروتين) التي أسسها جون مولت وكريستوف فيدليس في عام 1994 [13]. تعتمد هذه المبادرة نصف السنوية على إجراء تنبؤات عمياء حقيقية وتقييمها من خلال المقارنة بين الهياكل المحددة حاسوبياً مع الهياكل التجريبية الجديدة التي تم تحديدها تجريبياً بالأشعة السينية والرنين المغنطيسي النووي والمحفوظة بشكل سري إلا ما بعد انتهاء موعد تقديم الإدخالات. هذه المبادرة جعلت من الممكن تقييم التقدم في تنبؤ البنية بطريقة غير متحيزة. في المراحل الأولى من هذه المبادرة كان التقدم بطيئاً بالتأكيد، ولكن ظهرت عدة أفكار جديدة ومهمة عن كيفية التعامل مع مشكلة تنبؤ البنية. اختلفت الاستراتيجيات المستخدمة من قبل المشاركين بشكل كبير، مع استخدام أساليب قائمة على المعرفة وتقنيات بحث مثل الخوارزميات الجينية وطرق مونت كارلو. ومن الجدير بالذكر أن الشبكات العصبونية الاصطناعية دخلت في تنبؤ البنية الثانوية للبروتينات منذ عام 1988.

إحدى المنهجيات التي اكتسبت بعض الزخم على مر السنين هي محاكاة الديناميكا الجزيئية لطي البروتين في المحاليل بدءاً من حالة غير مطوية عشوائية. في عام 1998، أبلغ دووان وكولمان عن محاكاة استمرت ميكروثانية لبروتين صغير مكون من 36 حمضاً أمينياً ولاحظوا طيّه إلى حالة تشبه الحالة الأصلية، وفي عام 2010، أظهر شاو وزملاؤه أنه يمكن طي عدة بروتينات صغيرة إلى الهيكل الصحيح خلال محاكاة ديناميكية جزيئية استمرت ملّي ثانية. ومع ذلك، كانت الجهود الحسابية المطلوبة لهذه المحاكاة الشاملة الذرات باهظة من حيث الوقت والقدرة الحسابية المطلوبة، وأظهرت بوضوح أن محاكاة الديناميكا الجزيئية العادية لن تكون قابلة للتوسع للبروتينات الأكبر حجماً في المستقبل القريب. ومع ذلك، أظهرت هذه الدراسات أن مجالات القوة المستخدمة كانت جيدة بما يكفي لتحقيق الطي إلى الهياكل التي حددت تجريبياً [14].

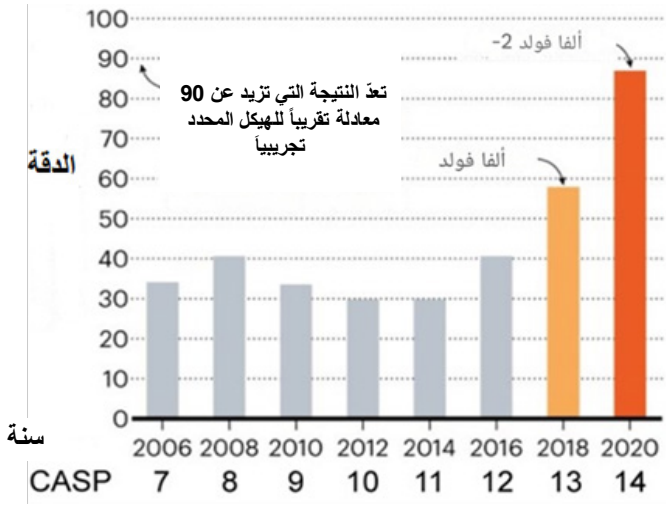
مع تقدم تقنيات تسلسل الحمض النووي في أوائل التسعينيات، زاد عدد تسلسلات البروتين المتاحة بشكل كبير. هذا التطور سمح للباحثين بمحاذاة ومقارنة عدد أكبر من التسلسلات لعائلات بروتينية معينة، مما يعرف بمحاذاة متعددة التسلسلات. وقد أدرك العلماء أن الطفرات المتزامنة الموجودة في هذه المحاذاة تحتوي على معلومات قيمة حول الأحماض الأمينية التي ترتبط ببعضها في شكل ثلاثي الأبعاد. اعتبر هذا المفهوم مهماً لدرجة أنه تم تقديم فئة جديدة لتوقع الاتصال في مؤتمر CASP2 عام 1996. ومع ذلك، ظلت موثوقية توقعات الاتصال منخفضة لعدة سنوات، حتى حدثت قفزة كبيرة في الدقة خلال CASP12 في عام 2016. تبين أن الأساليب المستخدمة لتحليل الطفرات المتزامنة كانت مبسطة للغاية، حيث لم تتمكن من التمييز بين البقايا المرتبطة مباشرة وتلك المرتبطة بشكل غير مباشر، فالبقايا المرتبطة بشكل غير مباشر تتصل ببعضها عبر بقايا أخرى مرتبطة مباشرة. ومن خلال فصل الاعتماد الإحصائي المباشر عن غير المباشر، يمكن تحقيق تحسينات ملحوظة. في CASP12، أصبحت الأساليب التي تعتمد على التعلم الآلي والشبكات العصبونية شائعة، ومع تحسين طرق تحليل الطفرات المتزامنة، تمكن الباحثون من الوصول إلى دقة تنبؤ اتصال تجاوزت 45%.

التنبؤ ببنية البروتين وAlphaFold

بعد القفزة في دقة التنبؤ بالبنية ثلاثية الأبعاد للبروتينات التي لوحظت في عام 2016، شهدت الجولة التالية من CASP13 في عام 2018 تحسيناً كبيراً آخر في الدقة، حيث وصلت حينها إلى 70%. أصبحت الدقة مرتفعة بما يكفي للسماح بترجمة خرائط الاتصال أو المسافات إلى هياكل ثلاثية الأبعاد. كان السبب الرئيسي لهذا التحسين هو تأثير أساليب التعلم العميق باستخدام الشبكات العصبونية التلافيفية. أصبح من الواضح أن مشكلة تدريب شبكة للتنبؤ بخرائط المسافات ثنائية الأبعاد لها تشابهات واضحة مع مهام التعرف على الصور، حيث تُستخدم الشبكات التلافيفية على نطاق واسع. تقوم هذه الشبكات بتطبيق تحسين الفلاتر لاستخراج الميزات بطريقة هرمية، مما يبسط عدد الاتصالات المطلوبة في الشبكة العصبونية.

في مبادرة CASP13 في عام 2018، قامت شركة DeepMind التي أسسها ويقودها ديميس هاسابيس، بإنشاء برنامج حاسوبي يعتمد على شبكة عصبية تلافيفية أطلقوا عليها اسم AlphaFold المعروفة الآن باسم AlphaFold1. تم تدريب البرنامج على هياكل بنك بيانات البروتينات كاملاً لإنتاج خريطة مسافة بين البقايا، أو بالأحرى خريطة لتوزيعات الاحتمالات للمسافات، بناءً على محاذاة متعددة التسلسلات. من هذه الخريطة، يمكن بناء إمكانات القوة المتوسطة وتعديلها باستخدام خوارزمية الانحدار التدريجي لتوليد الهياكل. مع دخول التعلم العميق إلى مجال تنبؤ البنية، ارتفعت الدقة إلى درجة تبلغ حوالي 60% (الشكل 5)، وكان فريق AlphaFold واضحاً في تفوقه الكبير على المشاركين الآخرين.

وقد أحدث هاسابيس وفريقه ضجة كبيرة في مجتمع لاعبي الشطرنج في عام 2018 عندما نشروا برنامج AlphaZero الذي أظهر أداءً لا مثيل له في هذه الألعاب الثنائية وغيرها. ومع ذلك، كان لا يزال هناك طريق طويل لنقطعه قبل أن يصل تنبؤ بنية البروتين إلى دقة قريبة من التجريبية.



الشكل 5. أداء AlphaFold2 مقارنةً بأفضل 15 مشاركة من مجموعات أخرى في CASP14.

AlphaFold2 – الاختراق الحقيقي

في الجولة التالية من مسابقة CASP في عام 2020 (CASP14)، حققت مجموعة DeepMind قفزة جديدة في دقة التنبؤ، حيث تمكنت من تقديم دقة تنافس الهياكل التجريبية لمعظم الأهداف، حيث وصلت درجة الدقة لأفضل التنبؤات على الأهداف الصعبة إلى حوالي 90%، وذلك بفضل البرنامج الجديد AlphaFold2، تعدّ هذه الدرجة من الدقة معادلة تقريبياً للدقة التجريبية، حيث يرتبط تحديد الهيكل التجريبي للبروتين ببعض الأخطاء.

نجح الفريق بقيادة جون جمبر وهاسابيس في حل مشكلة التنبؤ بهياكل البروتينات الأحادية بدقة هيكلية تصل إلى حوالي 1 أنغستروم. من المهم الإشارة إلى أن نموذج الشبكة العصبونية لـ AlphaFold2 قد تمت إعادة تصميمه بالكامل مقارنةً بـ AlphaFold1، حيث تم التخلي عن النهج التلافيفي واستخدام بنية المحولات بدلاً من ذلك. تعتمد هذه البنية على تقييم الأجزاء الأكثر أهمية بالنسبة لهدف الشبكة.

تحتوي شبكة AlphaFold2 على كتلتين رئيسيتين تُسمى الأولى Evoformer والثانية وحدة الهيكل. تعمل الـ Evoformer بالتزامن مع تمثيل محاذاة متعددة التسلسلات (مصفوفة ثنائية الأبعاد للتسلسلات المتراصفة من أنواع مختلفة) وتمثيل الأزواج (مصفوفة ثنائية الأبعاد لمسافات الأزواج). تتبادل تمثيلات المحاذاة المتعددة والتزاوج المعلومات خلال عملية التعلم وتقوم بتحديث بعضها بعضاً، مما يسمح لهما بالتطور معاً (الشكل 6) ، ثم تعمل وحدة الهيكل مباشرة على إنشاء هيكل ثلاثي الأبعاد باستخدام تمثيل الأزواج والتسلسل المستهدف، حيث يتم تعريف هندسة الهيكل من حيث المثلثات التي تتشكل بواسطة ذرات N-Cα-C لكل البقايا. تتحرك هذه المثلثات بحرية كأجسام صلبة ويتم تعديلها بواسطة الشبكة لتشكيل الهيكل النهائي. يتم تحديث هذا التمثيل «لغاز البقايا» بشكل تكراري باستخدام مصفوفات متجانسة تدور وتنقل البقايا في الفضاء، مع استخدام آلية «الانتباه للنقاط الثابتة».

أخيراً، يتم توقع زوايا دوران السلسلة الجانبية التي تحدد التكوينات التفصيلية للسلاسل الجانبية، مما يتيح حساب إحداثيات الذرات ثلاثية الأبعاد. تتم إعادة تدوير الهيكل الناتج إلى Evoformer عدة مرات لتحسين النتيجة النهائية.

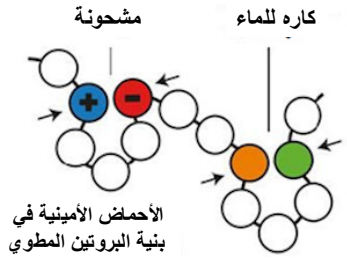
كيف يعمل
Alpha Fold 2

كجزء من تطوير Alpha Fold2 تم تدريب نموذج AI على جميع تسلسلات الأحماض الأمينية المعروفة وهياكل البروتين المحددة

1- إدخال البيانات والبحث في قواعد البيانات
يتم إدخال تسلسل الأحماض الأمينية ذي البنية غير المعروفة إلى AlphaFlod2 الذي يبحث في قواعد البيانات عن تسلسلات الأحماض الأمينية وبنى البروتين المماثلة.

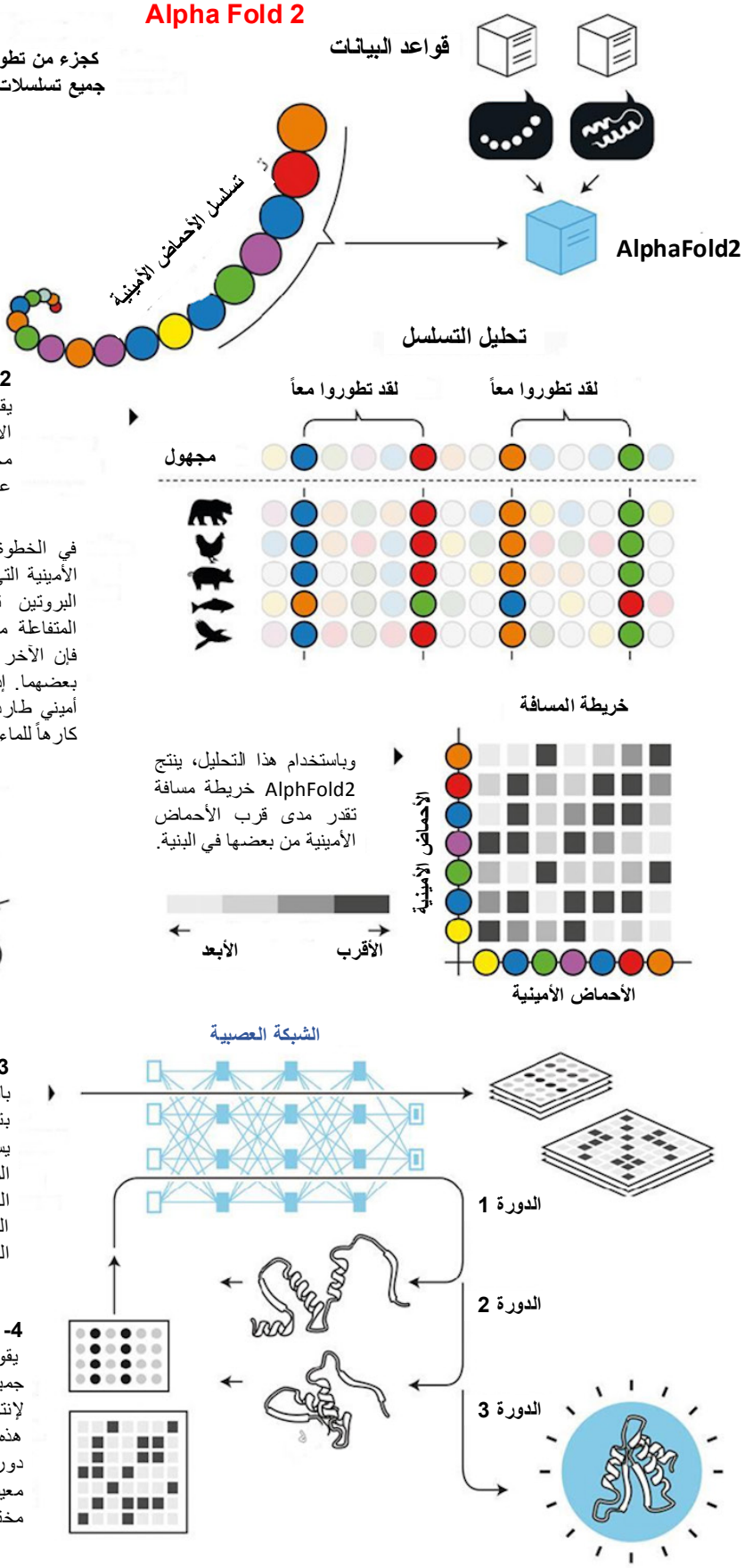
2- تحليل التسلسل
يقوم نموذج AI بترتيب جميع تسلسلات الأحماض الأمينية المتشابهة - غالباً من أنواع مختلفة – ويبحث في الأجزاء التي تم الحفاظ عليها أثناء التطور.

في الخطوة التالية، يستكشف AlphaFold2 الأحماض الأمينية التي يمكن أن تتفاعل مع بعضها بعضاً في بنية البروتين ثلاثية الأبعاد. تتطور الأحماض الأمينية المتفاعلة معاً. إذا كان أحد الأحماض الأمينية مشحوناً، فإن الآخر يحمل شحنة معاكسة، وبالتالي ينجذبان إلى بعضهما. إذا تم استبدال أحد الأحماض الأمينية بحمض أميني طارد للماء (كاره للماء) أيضاً، يصبح الزوج كارهاً للماء.



3- تحليل الذكاء الاصطناعي
باستخدام عملية تكرارية، يقوم AlphaFold2 بتحسين تحليل التسلسل وخريطة المسافة.
يستخدم نموذج AI شبكات عصبية تسمى المحولات، وأتي تتمتع بقدرة كبيرة على تحديد العناصر الهامة للتركيز عليها. كما يتم استخدام البيانات حول هيكل البروتين الأخرى- إذا تم العثور عليها في الخطوة 1.

4- البنية الافتراضية
يقوم برنامج AlphaFold2 بتجميع لغز من جميع الأحماض الأمينية واختبار المسارات لإنتاج بنية بروتينية افتراضية. يتم إعادة تشغيل هذه العملية من خلال الخطوة 3. بعد ثلاث دورات، يصل برنامج AlphaFold2 إلى بنية معينة. يحسب نموذج AI احتمالية تطابق أجزاء مختلفة من هذه البنية مع الواقع.



الشكل 6. مخطط توضيحي لآلية عمل البرنامج AlphaFold2.

يمكن وصف بنية AlphaFold2 بأنها إنجاز مذهل في مجال هندسة الشبكات العصبونية، حيث قام جمبر وهاسابيس وزملاؤهم بتطويره مع إدخال العديد من الابتكارات الجديدة. يعدّ هذا النظام بمثابة اختراق علمي حقيقي في مجال الذكاء الاصطناعي. وقد أدت عملية جعل برنامج AlphaFold2 مفتوح المصدر و متاحاً للباحثين في جميع أنحاء العالم دوراً حاسماً في تطويره، حيث أصبح بالإمكان اختباره والتحقق من نتائجه بشكل واسع جداً.

قد يتساءل البعض عما إذا كانت منهجية التعلم العميق المستخدمة في AlphaFold2 تعادل فقط التعرف على الأنماط، لكن الواقع ليس كذلك. فعدد التكوينات الممكنة لبروتين نموذجي يفوق بكثير عدد التشكيلات الموجودة في قواعد بيانات البروتينات. بدلاً من ذلك، يمكن تفسير أداء البرنامج المذهل بأنه يتعامل بفعالية مع توزيعات الاحتمالات للمسافات بين أزواج أنواع الذرات المشكلة للبروتينات من خلال التعلم العميق لتقدير القوى بين هذه الذرات. وبالتالي، هناك ارتباط مباشر مع المبادئ الفيزيائية التي تحدد بنية البروتين، حيث يمكن استخدام «المعرفة» المكتسبة بواسطة البرنامج لتحديد الهياكل بدقة.

كما قد يتساءل البعض أيضاً، لماذا يبدو أن مجال تصميم البروتين متقدماً على تنبؤ البنية لسنوات عديدة. التفسير المحتمل هو أن الهياكل المستهدفة لتصميم البروتين عادة ما تكون منتظمة جداً ومثالية. بمجرد تحسين تسلسل الهيكل المستهدف، يصبح من المرجح أن يكون الهيكل المتوقع دقيقاً إلى حد كبير. بينما في تنبؤ البنية من الصفر، يبدأ المرء من تسلسل بروتيني فقط دون أي معلومات حول ما قد تكون بنيته ثلاثية الأبعاد، وقد تكون هذه البنية غير منتظمة إلى حد كبير أو أكثر تعقيداً مما قد يتوقعه الباحث بسبب كثرة عدد البارمترات التي تحدد طريقة طي البروتين.

تنبؤ بنية البروتين باستخدام حاسبات الكم

مؤخراً، حققت تقنيات التعلم الآلي والتعلم العميق تقدماً كبيراً في مجال التنبؤ ببنية البروتينات. تعتمد هذه الأساليب بشكل عضوي على بيانات تدريبية (قاعدة بيانات تحتوي على هياكل بروتينات تم تحديدها تجريبياً) لتدريب هذه البرنامج، ومن ثم إجراء التنبؤات لهياكل البروتينات المجهولة. وهذا يعني أن هذه البرامج مقيدة بعدد البروتينات التي تم تدريب البرنامج عليها، مما قد يؤدي إلى انخفاض مستويات الدقة عند مواجهة البرنامج أو الخوارزمية لبروتين متحور أو مختلف بشكل كبير عن تلك التي تم تدريبها عليها، وهو أمر شائع في حالات الاضطرابات الجينية والتحورات الفيروسية.

الطريقة البديلة هي إجراء محاكاة فيزيائية كاملة لعملية طي البروتين. تتيح هذه المحاكاة للباحثين استكشاف الأشكال المختلفة المحتملة لبروتين معين والعثور على الشكل الأكثر استقراراً، وهو ما يعد أمراً حيوياً في تصميم الأدوية في حالات تحور الفيروسات.

تتمثل التحديات في أن هذا النوع من المحاكاة يكاد يكون مستحيلاً على الحواسيب التقليدية للبروتينات الضخمة. حيث إن زيادة حجم البروتين المستهدف تعادل زيادة أبعاد مكعب روبيك. فعلى سبيل المثال، بالنسبة لبروتين صغير يتكون من 100 حمض أميني فقط، يحتاج الحاسوب التقليدي إلى زمن يعادل عمر الكون للبحث بشكل شامل في جميع النتائج الممكنة.

لمواجهة هذه القيود، يمكن استخدام مزيج من طرق الحوسبة الكمية والتقليدية. يمكن أن يسمح هذا النهج الجديد للخوارزميات الكمية بمعالجة المجالات التي تمثل تحديات مستحيلة للحوسبة التقليدية، بما في ذلك حجم البروتين والاضطرابات الداخلية والطفرات. وقد تم التحقق من صحة هذا النهج من خلال التنبؤ بدقة كبيرة جداً بعملية طي جزء صغير من بروتين فيروس زيكا على حاسوب كمي، مقارنةً بأحدث الطرق التقليدية.

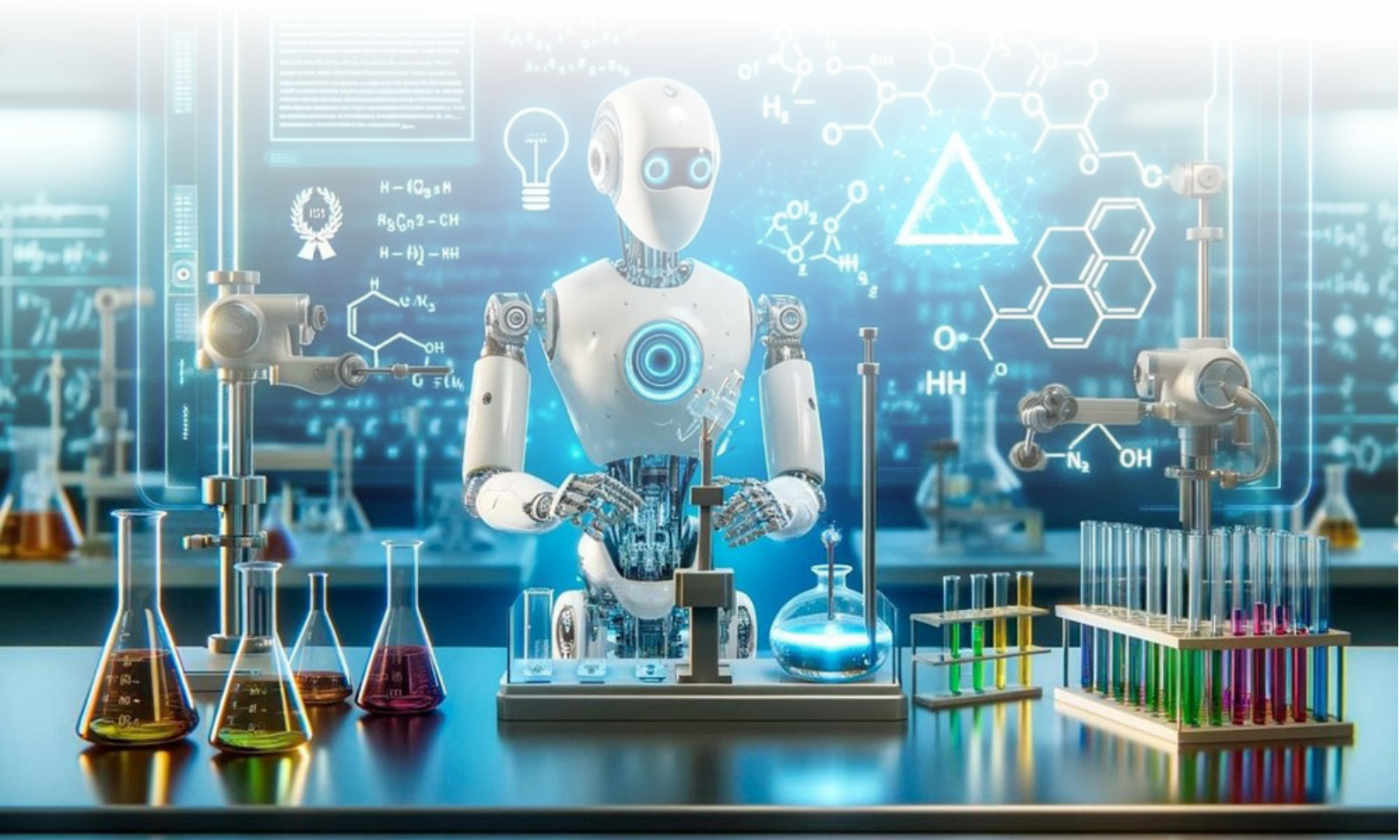
أظهرت النتائج الأولية للنهج الهجين بين الحوسبة الكمية والتقليدية تفوقها على كل من الطريقة التقليدية المعتمدة على الفيزياء وحتى على AlphaFold 2، على الرغم من أن الأخير مصمم ليعمل بشكل دقيق مع البروتينات الضخمة حجماً، إلا أنه يظهر قدرة هذا النهج على إنشاء نماذج دقيقة للغاية دون الاعتماد المباشر على بيانات تدريب كبيرة.

في هذا النهج، يتم استخدم خوارزمية كمية لنمذجة الهيكل ذي الطاقة الصغرى للبروتين، وهو عادةً الخطوة الأكثر تطلباً حسابياً في عمليات نمذجة البروتينات، ثم تم استخدام الأساليب التقليدية لتحويل النتائج المستخلصة من الحاسوب الكمي، وإعادة بناء البروتين مع سلاسل جانبية له، وإجراء التنقيح النهائي للبنية باستخدام ميكانيك الجزيئات التقليدي المستخدم على نطاق واسع في الكيمياء الحسابية [15].

يظهر هذا النهج إحدى الطرق التي يمكن بها تفكيك المعضلات المستحيلة إلى أجزاء أقل تعقيداً، حيث تتعامل طرق الحوسبة الكمية مع الأجزاء المعقدة بينما تعالج الحوسبة التقليدية الأجزاء الأخرى للوصول إلى حل للمعضلة بدقة عالية.

ملخص وآفاق المستقبل

نحن الآن في مرحلة تم فيها حل مشكلتي تصميم وتنبؤ البنية بشكل كبير. إن تداعيات ذلك بعيدة المدى. قام فريق AlphaFold2 بإنشاء قواعد بيانات كبيرة من الهياكل البروتينية المتوقعة، أولاً للبروتينات البشرية ثم لأغلب التسلسلات المتاحة (أكثر من 200 مليون) في قاعدة بيانات UniProt (الموقع العالمي للبروتينات). وهذا يعني أننا حصلنا تقريباً بين عشية وضحاها على معلومات هيكلية تفوق بكثير ما كان متاحاً سابقاً. كذلك، وصل مجال تصميم البروتينات إلى مرحلة أصبحت فيها بعض المجالات المثيرة للاهتمام في البحث هي التطبيقات الطبية الحيوية، مثل اللقاحات والمثبطات القائمة على البروتين، إضافة إلى التطبيقات في البيولوجيا التركيبية.لم يكن التقدم الموصوف آنفاً ممكناً، بالطبع، دون جهود علماء الأحياء التركيبية الذين قدموا جميع الهياكل التي تم تحديدها تجريبياً والتي أُدرجت في بنك بيانات البروتينات. وقد تم تكريم عدد من الباحثين الذين عملوا على تحديد هذه الهياكل البروتينية بجوائز نوبل في الكيمياء على مر السنين. هذه البيانات الناتجة عن عقود من البحث في تحديد بنية البروتينات، وضعت الأساس للاختراقات الحاسمة في تصميم البروتين وتنبؤ البنية التي حققها الفائزون بجوائز هذا العام. باختصار، إن إنجازات ديفيد بيكر وديميس هاسابيس وجون جمبر في مجالات تصميم البروتينات الحسابي وتنبؤ بنية البروتينات عميقة جداً. لقد فتحت أعمالهم عصراً جديداً من البحث الكيميائي والبيولوجي، حيث يمكننا الآن التنبؤ وتصميم هياكل البروتين بطرق لم تكن ممكنة من قبل. وبالتالي، تم تحقيق هدف طويل الأمد أخيراً، وسيكون لهذا تأثير بعيد المدى.



المراجع

[1] Kendrew, J. C., Bodo, G., Dintzis, H. M., Parrish, R. G., Wyckoff, H. and Phillips, D. C.,(1958). Nature, vol. 181, no. 4610, p. 662-666.

[2] Perutz, M. F., Rossmann, M. G., Cullis, A. F., Muirhead, H., Will, G. and North, A. C. T., (1960). Nature, vol. 185, no. 4711, p. 416-422.

[3] Anfinsen, C. B., Science, 1973, vol. 181, no. 4096, p. 223-230.

[4] Bouatta, N., Sorger, P. and AlQuraishi, M., (2021). Acta Crystallographica Section D: Structural Biology, vol. 77, no. 8, p. 982-991.

[5] Velankar, S., Burley, S. K., Kurisu, G., Hoch, J. C. and Markley, J. L., (2021). Structural Proteomics: High-Throughput Methods, p. 3-21.

[6] Finkelstein, A. V., Bogatyreva, N. S., Ivankov, D. N. and Garbuzynskiy, S. O., (2021). Biophysical reviews, vol. 14, no. 6, p. 1255-1272.

[7] Ben-Naim, A., (2012). Open Journal of Biophysics, vol. 2, no. 2, p. 23-32.

[8] Dahiyat, B. I. and Mayo, S. L., (1997). Science, vol. 278, no. 5335, p. 82-87.

[9] Accuracy, A.L. (2003). science, vol. 1089427, no. 1364, p. 302.

[10] Simons, K. T., Bonneau, R., Ruczinski, I. and Baker, D., (1999). Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics, vol. 37, no. S3, p. 171-176.

[11] Röthlisberger, D., Khersonsky, O., Wollacott, A. M., Jiang, L., DeChancie, J., Betker, J., Gallaher, J. L., Althoff, E. A., Zanghellini, A. and Dym, O., (2008). Nature, vol. 453, no. 7192, p. 190-195.

[12] Tinberg, C. E., Khare, S. D., Dou, J., Doyle, L., Nelson, J. W., Schena, A., Jankowski, W., Kalodimos, C. G., Johnsson, K. and Stoddard, B. L., (2013). Nature vol. 501, no. 7466, p. 212-216.

[13] Moult, J., Pedersen, J. T., Judson, R. and Fidelis, K., (1995). Wiley Online Library vol. 23, p. ii-iv.

[14] Duan, Y. and Kollman, P. A., (1998). Science, vol. 282, no. 5389, p. 740-744.

[15] Doga, H., Raubenolt, B., Cumbo, F., Joshi, J., Di Filippo, F. P., Qin, J., Blankenberg, D. and Shehab, O., (2024). Journal of Chemical Theory and Computation, vol. 20, no. 9, p. 3359-3378.

المصدر:

- *إعداد:* **د. باسم عصفور**، *قسم الكيمياء، هيئة الطاقة الذرّية السورية.*

الذكاء الصنعي في القطاع الزراعي: التطبيقات الحالية والآفاق المستقبلية

يخضع قطاع الزراعة لتحول سريع بفضل الذكاء الصنعي artificial intelligence (AI) لما يمتلكه من تطبيقات متنوعة تهدف إلى زيادة إنتاجية المحاصيل وسلامة المنتجات الغذائية وفي اتخاذ قرارات أفضل لإدارة الإنتاج الزراعي. تعمل تقنيات الذكاء الصنعي التي تشمل التعلم الآلي machine learning وتحليل البيانات والروبوتات robots والطائرات المسيّرة drones على إحداث ثورة في ممارسات الزراعة التقليدية؛ إذ تستخدم الطائرات المسيّرة لمسح الحقول ومراقبة المحاصيل والتربة وفي تحديد الآفات الزراعية ومكافحتها. كما يتم استخدام الروبوتات التي تعمل بالذكاء الصنعي لأتمتة المهام مثل إزالة الأعشاب الضارة والزراعة والحصاد والتعبئة وفي إدارة الثروة الحيوانية. أما التعلم الآلي فيتم توظيفه لتطوير نماذج يمكنها التنبؤ عن إنتاجية المحاصيل وتحسين جدولة الري والتسميد وغيرها. تمكن هذه الرؤى المزارعين من اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن الأعمال الزراعية، مما يؤدي إلى زيادة الغلة وتقليل التأثيرات البيئية، وذلك بإنجاز العمليات الزراعية بفعالية أكبر وبزمن قليل. تتناول هذه المقالة التطبيقات والفوائد الرئيسية لاستعمالات الذكاء الصنعي في القطاع الزراعي إضافة إلى التحديات المحتملة والتوجهات المستقبلية له.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الصنعي، الزراعة، إنترنت الأشياء، الطائرات المسيّرة، روبوتات، تعليم آلي.

تعدُّ الزراعة الركن الأساسي للحضارة الإنسانية لما تشكله من قدرة الإنسان على تسخير الطبيعة من أجل تأمين مقومات الحياة؛ فمنذ قديم الزمان اعتمد الإنسان في الزراعة على تجاربه السابقة في تحسين كمية محاصيله الزراعية وجودتها. ومع مرور الوقت، ظهرت طرائق وتخصصات جديدة ساهمت في التطور الزراعي من حيث الكمية والجودة. ونذكر منها، على سبيل المثال: علم التربة وحماية النباتات والمكننة الزراعية وتقنية الري وغيرها. كل ذلك البحث العلمي كان له الأثر الايجابي في القطاع الزراعي وأحدث نقلة نوعية فيه. إلاّ أنه، ومع ظهور أولى علامات التغير المناخي والاحتباس الحراري، أصبح العالم بحاجة لتكنولوجيا متطورة تسمح له بمواجهة هذا التغير ومضاعفة الإنتاج والمحافظة عليه لتلبية الطلب العالمي على الغذاء؛ فوفقاً لتقارير منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، يجب أن ننتج 60 في المئة من الغذاء لإطعام سكان العالم حيث سيصل عددهم لقرابة 10 مليار نسمة وذلك بحلول عام 2050. ومع هذه الزيادة، برزت الحاجة إلى طرائق أكثر تطوراً للإنتاج الزراعي لتلبية الأمن الغذائي العالمي، تؤدي التقنيات الرقمية فيها دوراً مهماً في تعزيز القدرة على إنتاج الغذاء وتسهيل الاستخدام الفعّال للموارد الطبيعية، مما يساعد على تحسين إنتاجية المحاصيل الزراعية وتوفير الوقت وتكاليف العمالة وغيرها. ومن هنا، اتجه العالم إلى ما يسمى بالذكاء الصنعي artificial intelligence كما يرمز له AI، وهي الزراعة الذكية smart agriculture، تتم بواسطة روبوتات robots، ومن أهم وظائفها: تحليل التربة ميدانياً ومراقبة المحاصيل الزراعية وحمايتها والتنبؤ بالطقس والعوامل المناخية وغيرها؛ فالذكاء الصنعي هو عبارة عن خوارزميات algorithm، أي عبارة عن أرقام، ولكن بواسطة التكنولوجيا الحديثة نذكر منها: المستشعرات «المحسّات» sensors والكاميرات والطائرات المسيّرة الذكية drones وغيرها من الأدوات المزروعة في الحقل، تجمع ما يسمى بالبيانات data وهي التي يستخدمها الروبوت لأداء وظيفته في الحقل وفي توقع العوامل المناخية والآفات الزراعية ...إلخ، بحيث يتم تعليم الروبوت إدخال كل البيانات التي ستساعده في أداء وظيفته، ويكون هذا عبارة عن تقنيات خاصة تسمى بتعلم الآلة machine learning وهو ما يسمح للروبوت بالتعلم دون أن تتم برمجته لأداء وظيفته، وهذه الخاصية هي الميزة في الذكاء الصنعي ونقطة قوته.

فالزراعة الذكية هي مجموعة من الممارسات والتقنيات الزراعية والحديثة بما فيها التقنيات النووية، وتؤدي التقنيات الرقمية فيها دوراً مهماً، والتي يمكن استخدامها لزيادة الإنتاجية على نحو مستدام وتكييف النظم الزراعية ونظم الأمن الغذائي وتدعيم القدرات على الصمود في مواجهة المناخ والحد من انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن الزراعة.

تعمل تقنيات الذكاء الصنعي على إحداث تغير في ممارسات الزراعة التقليدية؛ إذ يتميز بأنه مجال سريع التطور ذو إمكانية بإحداث ثورة في الصناعة الزراعية، حيث يمكن استخدامها في أتمتة المهام وتعزيز عملية صنع القرار وتحسين إنتاجية المحاصيل وخفض تكاليف المدخلات، وبالتالي المساعدة في تلبية الطلب المتزايد على الغذاء في العالم. ومن المتوقع أن ينمو سوق الذكاء الصنعي في الزراعة من 1.7 مليار دولار في عام 2023 إلى 4.7 مليار دولار بحلول عام 2028، مما يسلط الضوء على الدور المحوري للتقانات المتقدمة في تعزيز الإنتاج الزراعي وتحسين كفاءته على نحو مستدام.

يتوافر حالياً العديد من الطرائق التي يتم من خلالها استخدام الذكاء الصنعي في الزراعة. تستخدم الطائرات المسيّرة لمسح الحقول ومراقبة المحاصيل بحثاً عن المؤشرات المرضية أو الآفات الزراعية. كما يتم استخدام الروبوتات لأتمتة المهام مثل حلب الأبقار وحصاد المحاصيل وقطاف ثمار الفاكهة وفرزها. أما التعلم الآلي فيتم استخدامه لتطوير نماذج يمكنها التنبؤ عن إنتاجية المحاصيل وتحسين أساليب الري والتسميد وجدولتهما.

ومع استمرار التطور التكنولوجي، يمكننا أن نتوقع رؤية المزيد من التطبيقات المبتكرة في السنوات القادمة. تساعد خوارزميات التعرف على الصور والتعلم الآلي المدعومة بالذكاء الصنعي في تحديد الأمراض والآفات والأعشاب الضارة التي تهدد صحة المحاصيل؛ إذ يمكن للكاميرات والمستشعرات المزودة برؤية حاسوبية مسح المحاصيل بحثاً عن علامات

الإجهاد التي تتعرض له النباتات، مما يسمح بالتدخل في الوقت المناسب. يقلل هذا النهج من الحاجة إلى استخدام مبيدات الآفات على نطاق واسع ويعزز من الممارسات الزراعية الأكثر استدامة؛ إذ يؤدي الذكاء الصنعي دوراً محورياً في هذا النهج من خلال تحليل البيانات من مصادر مختلفة، بما في ذلك الأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار والطائرات المسيّرة. تمكن هذه الرؤى المزارعين من اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن عمليات الري والتسميد ومكافحة الآفات، مما يؤدي إلى زيادة الغلة وتقليل التأثيرات البيئية. تتناول هذه المقالة التطبيقات والفوائد الرئيسية لاستعمالات الذكاء الصنعي في الزراعة إضافة إلى التحديات المحتملة والاتجاهات المستقبلية له.

التحديات الرئيسة التي يواجهها المزارعون

يواجه المزارعون عدداً متزايداً من التحديات الناجمة عن التغير المناخي والاحتباس الحراري، من بينها، على سبيل الذكر لا الحصر: أنماط الطقس غير المنتظمة وتحوّل دورات تساقط الأمطار وارتفاع درجات الحرارة والظواهر المناخية المتطرفة، مما يؤدي إلى انخفاض الإنتاج وتراجع الأمن الغذائي. ومن بين العديد من التحديات التي تواجه المزارعين، تبرز ثلاث قضايا رئيسية بسبب اتساع رقعة انتشارها الجغرافي وما تشكله من تداعيات مالية عالمياً:

- **الآفات الزراعية:** تلتهم الآفات الزراعية حوالي 40% من الإنتاج الزراعي في العالم سنوياً، بتكلفة لا تقل عن 70 مليار دولار، كأسراب الجراد التي تقضي على الحقول في أفريقيا وحشرة ذبابة الفاكهة التي تصيب أشجار الفاكهة، مسببةً خسائر مادية كبيرة للمزارعين.
- **جودة التربة والري:** يؤثر تدهور التربة على ما يقرب من 33% من تربة الكرة الأرضية، مما يحد من قدرتها على زراعة المحاصيل، وهذا يؤدي إلى خسارة حوالي 400 مليار دولار. كما أن ندرة المياه وأسلوب الري غير الفعال يؤديان إلى انخفاض الإنتاج الزراعي، حيث تستخدم الزراعة حوالي 70% من المياه العذبة المتاحة في العالم ولكن 60% منها تهدر بسبب أنظمة الري التقليدية المتبعة.
- **الأعشاب الضارة:** على الرغم من التقدم في الممارسات الزراعية، فإن الأعشاب الضارة تسبب انخفاضاً كبيراً في غلة المحاصيل وجودتها. وفقاً للتقديرات العالمية، هناك ما يقرب من 1800 نوع من الأعشاب الضارة التي تسبب في خفض إنتاج النباتات بنسبة 30%، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية تقدر بنحو 32 مليار دولار سنوياً.

كيف يعمل الذكاء الصنعي على تغيير مستقبل الزراعة

الزراعة الذكية هي استخدام التكنولوجيا الحديثة والرقمية في إدارة المحاصيل والتربة وغيرها لتحسين الإنتاج الزراعي مع الحفاظ على الموارد الطبيعية. ترتكز الزراعة الذكية على تطبيق البيانات وتقانة المعلومات لتحسين جودة الإنتاج الزراعي وكميته. يمكن للذكاء الصنعي تغيير مستقبل الزراعة، قد دخل فعلياً في معظم العمليات الزراعية بدءاً من اختبار التربة فالزراعة إلى الكشف عن الآفات وأمراض النبات، إلى الري الذكي وغيرها. وتشتمل الزراعة الذكية المبادئ الرئيسة التالية:

- المراقبة واتخاذ القرارات المبنية على البيانات.
- إدارة المدخلات الدقيقة كالمياه والأسمدة ومبيدات الآفات وغيرها.
- أتمتة الأنشطة الزراعية والتحكم فيها عن بعد.
- تكامل التقنيات الناشئة المتعددة كالمستشعرات ووسائل الاتصال والطائرات المسيّرة وغيرها.

الزراعة الذكية هي ثورة في الزراعة، تمكن المزارعين من اتخاذ قرارات مبنية على البيانات للحصول على إنتاج زراعي أفضل وأكثر استدامة.

❶ مراقبة خصوبة التربة

تعد المراقبة المستمرة وتحليل خصوبة التربة أمراً ضرورياً لضمان ظروف النمو المثالية وممارسات الزراعة المستدامة. يتيح الذكاء الصنعي من خلال بيانات أجهزة الاستشعار الموضوعة في التربة، أو صور الهواتف الذكية إمكانية اكتشاف عيوب التربة، والتعرّف على نقص المغذّيات فيها. ومن الأمثلة التطبيقية على ذلك نذكر «بلانتكس» Plantix، وهو تطبيقٌ يتيح للمزارعين تحديد كمية ونوع المواد العضوية التي ينبغي إضافتها لجعل التربة مناسِبة لمحاصيل معيّنة. إضافة إلى أنه يقدّم النصائح على شكل فيديوهات وذلك بحسب الحالة التي تواجه المزارعين. وجديرٌ بالذكر أنّ التطبيق متاح في 18 لغة بينها اللغة العربية. ومع أداة «فارم بيتس» farm beats من شركة «مايكروسوفت»، ما على المزارعين سوى التقاط صورة من خلال هواتفهم ثم تحميلها. وبعد تقييم المشكلة، يتمّ تزويد المزارعين بالحلول التي تساعدهم في تحسين نوعية التربة من خلال تحديد كميات المواد العضوية والمغذيات الواجب إضافتها. إضافة إلى ذلك، قامت شركة CropX ببناء منصة متخصصة في مراقبة صحة التربة من خلال الاستفادة من البيانات في الوقت الفعلي لمساعدة المستخدمين على مراجعة ومقارنة المعطيات المهمة جنباً إلى جنب مع أداء المحاصيل، مما يتيح للمزارعين اكتساب رؤىً حول نوع التربة ومؤشرات الغطاء النباتي ورطوبة التربة لتحسين استراتيجيات إدارة محاصيلهم. وأفادت الشركة أن حلولها أدت إلى انخفاض استخدام المياه بنسبة 57% والأسمدة بنسبة 15% مع زيادة الغلة بنسبة وصلت إلى نحو 70%.

❷ زراعة البذور

يمكن للذكاء الصنعي مساعدة المزارعين على تحديد الأماكن الأنسب لزرع محاصيل معينة؛ وذلك بناءً على الخصائص الجغرافية للحقل أو التركيب الكيميائي للتربة وغيرها. ويتمّ ذلك من خلال تحليل الصور التي توفرها الطائرات المسيّرة. كما بإمكان المزارعين استخدام أدوات تخطيط المحاصيل مثل «eAgronom» لتحديد كميات البذار التي تحتاجون إليها والموعد المناسب للزراعة. وعلى الرغم من أنّ خطة المحاصيل الشاملة تتجاوز عملية وضع البذور، إلّا أنه لا يزال من الجيد معرفة أنه باستخدام مثل هذه الأدوات يمكن للمزارعين تقليل استهلاك مبيدات الأعشاب والأسمدة بنسبة تتراوح بين 25% و35% إضافة إلى زيادة إنتاجية المحصول.

إضافة إلى ذلك، يستطيع الذكاء الصنعي إجراء عمليات مسح ضوئي للبذور لتحديد نوعها وجودتها وقابليتها للإنبات، وتتيح القدرة على التمييز بين البذور السليمة الصالحة وغير الصالحة قبل بدء عملية الزرع، حيث تحدّد خوارزميات التعلّم الآلي جودتها. وباستخدام هذه البيانات، يمكن توجيه روبوتات الزراعة مثل آلة فرز البذور ذات الرؤية الحاسوبية للتخلص من البذور غير السليمة أو فرز البذور إذا اختلطت مع بعضها.

❸ حماية المحاصيل من الآفات الزراعية

يؤدي الذكاء الصنعي دوراً في اكتشاف الأعشاب الضارة والأمراض النباتية التي قد تصيب وتقضي على المحاصيل الزراعية. ويتمّ التنبؤ عن هذه الآفات من خلال تحليل صور الأقمار الصناعية أو الطائرات المسيّرة وكشف أنماط نشاطها، مما يتيح للمزارعين مكافحتها. على سبيل المثال، قامت شركة Trapview بابتكار جهاز يعمل على اصطياد الآفات وتحديد نوعها، حيث تستخدم الجاذبات الجنسية «الفرومونات» لجذبها، ويتم تصوير هذه الآفات بواسطة كاميرا مزودة بالجهاز. ومن خلال الاستفادة من قاعدة البيانات، قام الذكاء الصنعي بتحديد أكثر من 60 نوعاً من الآفات، مثل فراشة التفاح التي تصيب التفاحيات ودودة القطن التي يمكن أن تلحق الضرر بمحصول القطن وبعض الخضروات كالخس والبندورة. وبمجرد تحديدها، يستخدم النظام البيانات المتاحة عن الموقع والطقس لرسم خريطة للتأثير المحتمل للحشرات وإعلام المزارعين من خلال إرسال النتائج باستخدام تطبيق خاص بذلك. تمكن هذه الرؤى التي يقودها الذكاء الصنعي من التدخلات المستهدفة في الوقت المناسب، مما يقلل من خسائر المحاصيل واستخدام المواد الكيميائية بشكل كبير.أفادت هذه الشركة أن عملاءها شهدوا زيادة بنسبة 5%

في الغلة والجودة وتحقيق وفر مادي إجمالي قدره 118 مليون يورو من التكاليف. وفي الهند يتم الاستعانة بنظام إنذار مبكر للآفات لحماية محصول القطن. من ناحية أخرى، استفادت شركة Carbon Robotics الناشئة من الخوارزميات التعلم العميق في ايجاد حل وفق رؤية حاسوبية، فهي تحدد الأعشاب الضارة من خلال تحليل البيانات من أكثر من 42 كاميرا عالية الدقة تقوم بمسح الحقول في الوقت الفعلي، ثم تستخدم الروبوتات والليزر لتوفير مكافحة عالية الدقة للأعشاب الضارة. يعمل نظام laser weeder على إزالة الأعشاب الضارة حتى الهكتار الواحد في الساعة، وتقضي على ما يصل إلى 5000 عشبة ضارة في الدقيقة بدقة 99% وتحقيق نسبة وفر مادي للمزارعين بحدود 80% من التكاليف.

4 التسميد والري وإدارة المياه

يعمل الذكاء الصنعي من خلال الاستعانة بمجموعات البيانات datasets في تحديد كميات وأنواع الأسمدة المناسبة. وتعدّ الطائرات المسيّرة أداة ممتازة في رش المحاصيل؛ إذ يجري الاستعانة بها لمسح الحقل بأكمله ورش الكمية المناسبة من الماء أو السماد في المواضع المستهدفة بدقة. ووفقاً للخبراء، يمكن إنجاز عملية الرش عبر هذه الطائرات بنحو خمس مرات أسرع مقارنةً مع عمليات الرش التقليدية. يعدّ الري المدعوم بالذكاء الصنعي واحداً من الأساليب المستخدمة لتوفير المياه في الزراعة لتحقيق أعلى استفادة من الماء ورفع نسبة الإنتاج، فاستناداً إلى البيانات التي توفرها أنظمة الري الذكية smart irrigation المدعومة بالبرمجيات والذكاء الصنعي يمكن للمزارع تحديد كمية المياه التي يحتاجها النبات بدقة وتوفير في المياه والطاقة. كما يمكن برمجة كل منطقة بشكل مختلف وعلى نحوٍ متخصص وفقاً لاحتياجات النباتات ونوع التربة ومدى تعرضها لأشعة الشمس. يستخدم الذكاء الصنعي في التنبؤ عن أنماط الطقس وضبط عمليات الري مما يؤدي إلى توفير كبير في المياه. يمكن لأنظمة الري الذكية التي يتم التحكم فيها بواسطة خوارزميات الذكاء الصنعي مراقبة محتوى المياه الجوفية والمياه السطحية لاتخاذ قرارات الري المناسبة وضبط كميات مياه الري الواجب إضافتها بدقة بناءً على متغيرات مختلفة مثل رطوبة التربة ودرجة الحرارة والملوحة وحالة المحاصيل ومؤشر الغطاء النباتي وغيرها، حيث تمكن البيانات في الحصول على معلومات دقيقة تفيد في جدولة الري مما يضمن الاستخدام الأمثل للمياه، ويبين الشكل التالي فوائد الري الذكي.

إضافة إلى ذلك، يعد الري التسميدي الذكي smart fertigation طريقة يتم من خلالها توصيل الأسمدة المذابة بالماء إلى المحاصيل من خلال نظام ري مؤتمت يعمل آلياً؛ إذ يضمن تأمين الكميات المثالية من المياه والمغذيات مباشرة إلى الجذور وفق احتياجات النبات الفعلية، مما يؤدي إلى تحسين كفاءة استخدام الموارد الزراعية وزيادة إنتاجية المحاصيل (Shanmugavel et al., 2023). من ناحية أخرى، تتيح البرمجيات ذات الصلة بالذكاء الصنعي إدارة معدات الري عن بُعد، ومراقبة الأجهزة والصمامات وأنابيب التنقيط والمضخات، والقيام بفحوصات دورية عليها للتحقق من جاهزيتها، واكتشاف العيوب والتسربات في أنظمة الري وتصحيح المشاكل قبل تفاقمها.

5 الحصاد وجني الثمار وحفظ المنتج

يستطيع الذكاء الصنعي التنبؤ بموعد الحصاد بشكلٍ دقيق حتى ستة أشهر قبل الحصاد، كما يعمل الذكاء الصنعي على أتمتة حصاد المحصول وتعبئته، إضافة إلى ذلك، قام العلماء بتطوير روبوتات آلية مزودة بأذرع لجني ثمار الفاكهة والتي تمثل نقلة نوعية في أتمتة الحصاد. تجمع هذه التقنية الرائدة بسلاسة بين الذكاء الصنعي والروبوتات وقدرات الرؤية الآلية لجني ثمار الفاكهة بشكل مستقل بدقة وكفاءة ملحوظة. تستخدم هذه الروبوتات ماسحاً ضوئياً بالاستشعار الثلاثي الأبعاد مع أجهزة

استشعار متكاملة قصيرة المدى للألوان والأشعة تحت الحمراء لرصد التفاصيل وتحديد التوقيت الذي تصبح فيه الثمار جاهزة للجني؛ إذ تعمل على قطف الثمار الناضجة فقط وفق المعايير النوعية المعتمدة بناءً على لونها وحجمها ومقدار نضجها. من ناحية أخرى، تستخدم التقانة النانوية في التغليف الذكي للمواد الغذائية من خلال إنتاج عبوات ذكية تعمل على مراقبة جودة الغذاء داخل العبوة من خلال أجهزة مدمجة في العبوة أو ملحقة لها. ويمكن أن تسجل المستشعرات النانوية المتوافرة فيها درجة الحرارة ونضارة الغذاء ونضجه وقياس الملوثات التي قد توجد فيها والكشف عن وجود مسببات الأمراض أو التلف وتنبيه المستهلكين، وذلك من خلال وضع لصاقات نانوية ذكية على منتجها الغذائي للاستدلال على جودته بناءً على تغير لونها؛ إذ قامت بعض الشركات بتطوير حبر ذكي يحتوي على جزيئات نانوية حساسة للأكسجين وللأشعة الضوئية، فإذا تعرضت للأشعة فوق البنفسجية فإن لون الحبر يتغير، وفي حالة نفاد الأكسجين داخل العبوة الغذائية يتغير اللون بسرعة، وبالتالي يتم تحذير المستهلك بفساد المادة الغذائية وأنها ستفقد صلاحيتها للاستهلاك البشري خلال وقت قصير. من ناحية أخرى، يمكن للذكاء الصنعي من خلال تطبيق خوارزميات التعلم الآلي الكشف عن غش الأغذية من خلال التعرف على الانحرافات عن الأنماط المعمول بها.

❻ تلقيح الأزهار بالذكاء الصنعي

قام باحثون في عُمان باستخدام طائرات مسيّرة مزودة بكاميرات ذكية لجمع حبوب اللقاح من الأزهار الذكرية لنبات النخيل ونثرها على الأزهار الأنثوية. تعد هذه الطريقة سريعة وفعالة وتوفر الوقت والجهد. تتميز الطائرة المسيَّرة التي تعمل بالذكاء الصنعي التابعة لمؤسسة Wakan Tech بخزانات وفوهات مصممة خصيصاً لتحسين توصيل حبوب اللقاح السائلة إلى كل شجرة نخيل. وباستخدام الطائرات المسيَّرة في مزرعة واحدة، تكون عملية تلقيح كل شجرة أسرع بمعدل 30 مرة من التلقيح بالطرق التقليدية.

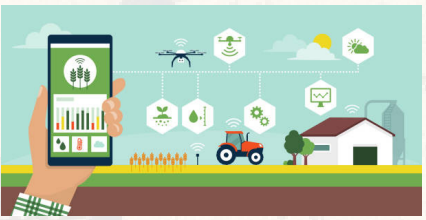
من ناحية أخرى، تستخدم روبوتات بحجم النحل لتلقيح النباتات بدلاً من النحل الحقيقي؛ إذ تجهز هذه الروبوتات بتقنيات الذكاء الصنعي والاستشعار لتحديد الأزهار المستهدفة وتنفيذ عملية التلقيح، وهذا يساهم في زيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية. وتقوم الفكرة على بناء روبوتات تكون لديها مجسات تقوم بدور الحواس الموجودة لدى النحلة الطبيعية، حيث سيكون للنحلة الروبوت القدرة على استشعار رائحة الزهور وغيرها من الروائح الأخرى بالطريقة نفسها التي لدى النحلة الطبيعية، فضلاً عن قدرتها على الاستجابة للمؤثرات البصرية.

التطبيقات الحالية للذكاء الصنعي في الزراعة

① الزراعة الدقيقة precision agriculture

إن الهدف من الزراعة الدقيقة هو زيادة المخرجات وتقليل المدخلات كالأسمدة والمبيدات، من خلال مراقبة التغيرات المناخية واتخاذ بعض الإجراءات المستهدفة، وتستخدم فيها الحساسات التي توزع في الحقول وتراقب حالات التربة والتسميد والمواد الكيميائية والآفات واستخدام المياه وغيرها، كل هذا سيؤدي إلى إنتاج زراعي أفضل وبتكاليف أقل والحد من التلوث البيئي.

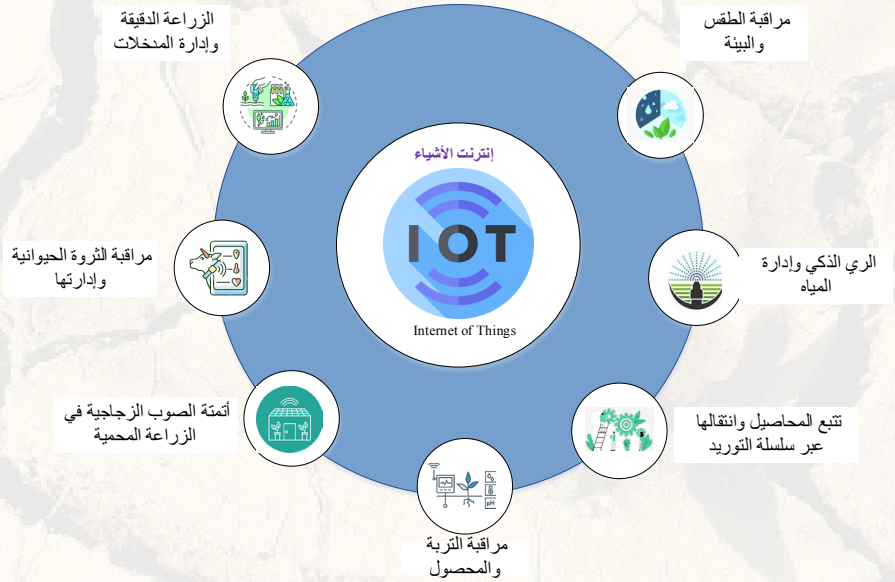
يستخدم الذكاء الصنعي لجمع وتحليل البيانات حول المحاصيل والتربة وظروف الطقس، حيث يمكن توظيفها لتحسين الممارسات الزراعية مثل: الري والتسميد ومكافحة الآفات، كما يمكن استخدام الطائرات المسيّرة التي تعمل بالذكاء الصنعي لمسح المحاصيل وتحديد المناطق التي تحتاج إلى المزيد من المياه أو الأسمدة. ويمكن أيضاً استخدام الذكاء الصنعي لتطوير نماذج تتنبأ بغلة المحاصيل بناءً على الظروف الجوية وعوامل أخرى. ويمكن أن تساعد هذه المعلومات المزارعين على اتخاذ قرارات أفضل بشأن زراعة محاصيلهم وحصادها وتسويقها. من ناحية أخرى، يُعرف استخدام إنترنت الأشياء Internet of Things (IoT) في الزراعة باسم «الزراعة الذكية» smart agriculture، وهو عنصر أساسي في الزراعة الدقيقة. يمكّن إنترنت الأشياء المزارعين من جمع البيانات في الوقت الفعلي عن الظروف الجوية ورطوبة التربة ودرجة



الحرارة وغيرها من الظروف لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن الزراعة والري والحصاد. يشير إنترنت الأشياء في الزراعة إلى استخدام الأجهزة والحسّاسات (المستشعرات) المتصلة بها لجمع البيانات حول الجوانب المختلفة للعمليات الزراعية؛ إذ يمكن تحليل هذه البيانات التي يتم جمعها لتوفير رؤىً واتخاذ قرارات استناداً إليها لتحسين العمليات وزيادة الكفاءة وتحسين إنتاجية المحاصيل وجودتها.على سبيل المثال، تستخدم تقانة إنترنت الأشياء لمراقبة التربة بهدف تمكين المزارعين والمنتجين من زيادة الغلة؛ إذ يمكن لأجهزة استشعار إنترنت الأشياء قياس درجة حرارة التربة ومستوى النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم ومحتوى الرطوبة والإشعاع الضوئي وغيرها، ثم يتم إرسال البيانات من أجهزة استشعار إنترنت الأشياء مرة أخرى إلى نقطة مركزية (أو السحابة) للتحليل، ليصار إلى استخدام البيانات الناتجة عنها في تحسين العمليات الزراعية. وفي البيوت الزراعة المحمية، يتيح إنترنت الأشياء ضبط الظروف المناخية تلقائياً وفقاً لمجموعة معينة من التعليمات حيث تتيح مستشعراتها للمزارعين بجمع البيانات المختلفة بدقة داخل المحمية الذكية وخارجها واتخاذ القرارات اللازمة بشأنها.

من ناحية أخرى، تعدّ القدرة على التتبع الرقمي للمحاصيل عبر سلسلة التوريد الزراعية باستخدام إنترنت الأشياء ذات أهمية كبيرة؛ إذ تمكن المنتجين والموزعين من معرفة موقع ومسار انتقال المحاصيل وحالتها بشكل آني، مما يعزز من الشفافية وتحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل الفاقد.

ويبين المخطط التالي أهم التطبيقات العملية لإنترنت الأشياء في الزراعة:



② الروبوتات robotics

الروبوتات الزراعية هي آلات متقدمة مبرمجة لأداء مهام زراعية محددة بشكل آلي وفعّال. تستخدم هذه الروبوتات تقنيات الذكاء الصنعي AI والرؤية الحاسوبية وأجهزة الاستشعار لتقديم حلول مبتكرة للمزارعين، مما يساعدهم في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف. يمكن استخدام الروبوتات التي تعمل بالذكاء الصنعي لأتمتة المهام مثل إزالة الأعشاب الضارة والحصاد وجني الثمار وتعبئتها. إن استخدام الروبوتات في مكافحة الأعشاب الضارة دون إتلاف المحصول يمكن أن يوفر للمزارعين كثيراً من الوقت والمال والجهد، إضافة إلى المساهمة في تقليل استخدام المبيدات الكيميائية. يتم اعتماد الأنظمة الروبوتية المجهزة بالذكاء الصنعي بشكل متزايد في الزراعة لأداء المهام المختلفة؛ إذ تستخدم هذه الروبوتات خوارزميات متقدمة للتنقل عبر الحقول وتحديد المحاصيل ومعالجتها، وحتى إضافة المبيدات الحشرية بشكل انتقائي.

③ الطائرات المسيّرة drones

يمكن استخدام الطائرات المسيّرة المزودة بكاميرات تعمل بالذكاء الصنعي لمراقبة المحاصيل الحقلية والبحث عن الآفات والأمراض التي تصيبها وتقييم صحتها، مما يسمح بالتعرف السريع على المشاكل وإيجاد الحلول وتنفيذها، ومساعدة المزارعين على اتخاذ خطوات مناسبة لوقف انتشار الأمراض والآفات من خلال رصد إشارات الإنذار المبكر التي تقوم بها هذه الطائرات.

④ التعلم الآلي machine learning

يمكن استخدام خوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بغلة المحاصيل والتنبؤ بظروف الطقس وتحسين جدولة ري المحاصيل الزراعية حيث يستفاد منها في عملية اتخاذ القرار وتحسين الممارسات الزراعية. إضافة إلى ذلك، يمكن استخدام خوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بكمية المياه التي يحتاجها المحصول للظروف الجوية وعوامل أخرى، حيث تفيد هذه المعلومات المزارعين في تجنب الإفراط في ري محاصيلهم أو نقصها.

⑤ تحليلات البيانات الضخمة big data analytics

يمكن استخدام الذكاء الصنعي لتحليل مجموعات كبيرة من البيانات الزراعية وتحليلها للحصول على معلومات مفيدة للممارسات الزراعية وذلك من خلال محطات الأرصاد الجوية ومستشعرات التربة والطائرات المسيّرة لتحديد المناطق المعرضة لخطر الجفاف أو الفيضانات، مما يمكن المزارعين من اتخاذ قرارات أفضل بشأن الزراعة والري.

أهمية التعلم الآلي في الزراعة machine learning in agriculture

يتناول التعلم الآلي جوانب عديدة في إدارة العمليات الزراعية منها:

أولاً: إدارة المحصول crop management

1- الكشف عن الأعشاب الضارة weed detection: تكمن الحلول التي تعمل بتقنية الرؤية الحاسوبية تحديد النباتات غير المرغوب فيها، مما يسمح للمزارعين بتطبيق مبيدات الأعشاب على مناطق محددة بدلاً من الحقل بأكمله، مما يقلل كثيراً من الآثار الضارة لمبيدات الأعشاب.

2- الكشف عن الأمراض disease detection: تعدّ أمراض المحاصيل إحدى التهديدات الرئيسية في الزراعة والتي تقلل بشكل كبير من جودة وكمية المحصول. تقليدياً، يقوم المزارعون بفحص الحقول يدوياً والبحث عن أعراض أمراض المحاصيل مثل التفاف الأوراق أو ذبولها، وهو أمر يستغرق زمناً طويلاً وعرضة للخطأ. يمكن لأدوات تحليل الصور القائمة على التعلم الآلي تقييم صحة التربة والمحاصيل، مما يساعد على رش المبيدات على النباتات المريضة فقط بدلاً من الحقل بأكمله.

3- التنبؤ بالغلة yield prediction: يعد التنبؤ بالغلة أمراً بالغ الأهمية للاقتصاد على المستوى العالمي والإقليمي. إن معرفة أفضل وقت لحصاد المحصول والمحاصيل التي تجب زراعتها لتلبية متطلبات السوق أمر بالغ الأهمية لأي مزرعة. يمكن للعديد من المعايير أن تؤثر في كمية المنتج، بما في ذلك العوامل البيئية والبيانات خلال أطوار النبات الفينولوجية ومعلومات الطقس، حيث يمكن لنماذج التعلم الآلي الحديثة تحليل جميع العوامل لزيادة دقة التنبؤ بالمنتج الزراعي.

التطبيقات الشائعة لاستخدام الذكاء الصنعي في الزراعة وسبل تنفيذها		
الذكاء الصنعي	الاستخدام	التنفيذ
الروبوتات الزراعية	الحراثة وزراعة البذور	تعمل الجرارات ذاتية الحركة (دون سائق) على حراثة التربة مما يوفر في الجهد والعمالة وتكاليف الوقود. كما توجد روبوتات متخصصة في زراعة البذور مجهزة بتقنيات متقدمة مثل نظام تحديد المواقع العالمي GPS وأنظمة القياس والذكاء الصنعي، مما يسمح بوضع البذور بدقة. في حالة نباتات الفاكهة والخضروات يمكن برمجة روبوتات لتحقيق التباعد الأمثل بين النباتات. كما تم تصميم روبوتات مزودة بأذرع آلية لأداء مهام دقيقة مثل زرع الشتلات وهي مفيدة في البيوت البلاستيكية الزراعية.
	إزالة الأعشاب الضارة	تقوم روبوتات مصممة خصيصاً لخربشة الطبقة العليا من التربة لمنع إنبات بذور الأعشاب الضارة
	أتمتة الحصاد والقطاف	جرى تصميم روبوتات لحصاد ثمار الفاكهة والخضروات مزودة بأجهزة استشعار وكاميرات تعمل على تحدد موقع الثمار على النباتات ومعرفة موعد جنيها وجاهزية نضجها، وتعمل الأذرع الروبوتية وملحقاتها على جنيها بعناية دون إتلافها. كما تقوم الروبوتات أيضاً بفرز المنتجات وفرزها بناءً على الجودة والحجم وغيرها، مما يسهم في تزويد السوق بمنتجات عالية الجودة.
	متطلبات خدمة الحيوانات	تساعد الروبوتات في تغذية الحيوانات الزراعية وفي حلب الأبقار وغيرها. كما يمكن للروبوتات ذات الأذرع الميكانيكية المزودة بقاطع أن تساعد في جز صوف الأغنام.
	تلقيح الأزهار	تستخدم روبوتات بحجم النحل لتلقيح النباتات بدلاً من النحل الحقيقي؛ إذ تجهز هذه الروبوتات بتقنيات الذكاء الصنعي والاستشعار لتحديد الأزهار المستهدفة وتنفيذ عملية التلقيح وهذا يساهم في زيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية.
الطائرات المسيّرة	المراقبة وتحليل البيانات	تقوم الطائرات المسيّرة بجمع البيانات النباتية والبيئية من خلال مسح المنطقة والتقاط صور عالية الجودة يمكن تحويلها إلى خرائط تفصيلية ثلاثية الأبعاد، مما يسمح للمزارعين بالتخطيط بشكل أفضل لأنماط زراعة البذور وإجراء تحليل للتربة ومراقبة نمو النباتات. وتمكّن هذه الطائرات من جمع عينات التربة، ليصار إلى تحليلها لمعرفة محتواها من العناصر الغذائية ومستويات قيم الحموضة فيها والعوامل الأخرى التي تؤثر في صحة التربة ونمو النبات. كما تعمل هذه الطائرات على فحص معدات الري وتقييم محتوى الرطوبة في التربة، إضافة إلى توفير بيانات تفيد بالتنبؤ بالغلة في المواسم المستقبلية.
	إدارة الثروة الحيوانية	تعدّ لطائرات المسيّرة مفيدة في إدارة الماشية حيث تحتوي أجهزة الاستشعار الخاصة بها على كاميرات تعمل بالأشعة تحت الحمراء عالية الدقة، كما يمكنها اكتشاف الحيوانات المريضة واتخاذ الإجراءات السريعة وفقاً لذلك. كما تُستخدم الكاميرات لحماية الحيوانات في المزارع من خلال تحديد أماكن قطعان الحيوانات المفقودة أو المصابة في مناطق الرعي البعيدة.
	رش المحاصيل	تعدّ الطائرات المسيّرة بديلاً مهماً عن اتباع أساليب الرش التقليدية للمحاصيل، وتنجز المهمة بشكل أسرع وأكثر كفاءة لرش المواد الكيميائية مقارنة بالطرائق التقليدية نظراً لاحتوائها على خزانات يمكن ملؤها بالأسمدة والمبيدات الحشرية، وخاصة في المناطق التي يصعب الوصول إليها.
	الزراعة على نطاق واسع	تُستخدم الطائرات المسيّرة لنثر البذور والمغذيات مباشرة على التربة، وخاصة في المناطق التي يصعب الوصول إليها، حيث يمكن نشر البذور على مساحات كبيرة، مما يجعلها مثالية لإعادة التحريج أو زراعة الحبوب على نطاق واسع.
	تلقيح الأزهار	قام باحثون بتطوير طائرات مسيّرة مزودة بكاميرات ذكية لجمع حبوب اللقاح من الأزهار الذكرية لنبات النخيل ونثرها على الأزهار الأنثوية. تعد هذه الطريقة سريعة وفعالة وتوفر الوقت والجهد.

4- التربية الانتقائية selective breeding: تتبنى التربية التقليدية للمحاصيل مبدأ الوراثة المندلية الذي ينص على أن جيناً واحداً يتحكم في كل سمة. ومع ذلك، أظهرت الأبحاث الحديثة أن معظم السمات تتحكم فيها جينات متعددة، تتفاعل مع بعضها ومع البيئة بطرائق معقدة. وهذا يعني أن طرق التربية التقليدية للمحاصيل غالباً ما تكون غير فعّالة وقد تستغرق أجيالاً عديدة للحصول على الصفات المرغوبة. من ناحية أخرى، يمكن للذكاء الصنعي تحديد الأنماط في البيانات التي قد لا تكون واضحة للعيان. وبالتالي، يمكنه تحديد السمات المرغوبة للتربية بشكل أسرع وأكثر فعالية.

ثانياً: إدارة المياه water management

1- الري irrigation: يمكن للتعلم الآلي في الزراعة تبسيط عملية الري من خلال تحسين استخدام المياه بتحليل عوامل عديدة مثل الطقس ونوع التربة ونوع النبات؛ إذ يمكن لخوارزميات التعلم الآلي التنبؤ بكمية المياه التي يحتاجها المحصول ومتى يحتاج إليها. تساعد هذه المعلومات في ضبط جدولة الري، مما يؤدي إلى استخدام أكثر كفاءة للموارد المائية.

2- الكشف عن تسرب المياه detecting leaks: من خلال الجمع بين أجهزة إنترنت الأشياء والتعلم الآلي والرؤية الحاسوبية، من الممكن اكتشاف العيوب والتسربات في أنظمة الري وتصحيح المشاكل قبل تفاقمها. كما يمكن لأجهزة استشعار إنترنت الأشياء مراقبة حالة وأداء الآلات والمعدات الزراعية ونقل تلك البيانات إلى موقع مركزي عبر الاتصال المحمول لتزويد المزارعين ببيانات في الوقت الفعلي حول كيفية استخدام المعدات ومقدار الوقود الذي تستهلكه الآلات وتوفير البيانات للصيانة الوقائية.

3- مراقبة الطقس weather monitoring: يسهم استخدام التعلم الآلي في مراقبة الظروف الجوية وتوفير رؤى لتحسين استخدام المياه؛ إذ من الممكن تحليل البيئة والتنبؤ بكمية وموعد إضافة مياه الري، وذلك من خلال جمع البيانات حول هطول الأمطار ودرجة الحرارة ومستويات رطوبة التربة والرطوبة الجوية وسرعة الرياح واتجاهها. وبهذه الطريقة، يوفر المزارعون الوقت والموارد من خلال ري محاصيلهم بشكل أكثر منهجية، مما يقلل من تلف المحصول بسبب الجفاف أو الغدق.

ثالثاً: إدارة التربة soil management

1- استخدام الأسمدة use of fertilizers: تعدّ الأسمدة من المدخلات الأساسية في الزراعة الحديثة، ومع ذلك، فإن إضافة الكمية المناسبة من الأسمدة إلى المحاصيل قد يشكل تحدياً مهماً؛ إذ تعتمد على عدة عوامل مثل الظروف الجوية ونوع التربة. يمكن للتعلم الآلي تحليل البيانات من هذه العوامل المختلفة والتنبؤ بكمية الأسمدة اللازمة للحصول على نتائج مثالية. حيث يمكن استخدام هذه المعلومات لضبط كمية الأسمدة الواجب إضافتها، مما يوفر الوقت والمال.

2- مراقبة التربة soil monitoring: تعدّ رطوبة التربة من أهم العوامل المؤثرة في الإنتاجية الزراعية، فقلة المياه تؤدي إلى ذبول النباتات وموتها، كما أن الإفراط في الري يؤدي إلى تعفن الجذور ومشاكل أخرى. يلجأ المزارعون عادةً إلى مراقبة رطوبة التربة باستخدام الخبرة والحدس. ومع ذلك، فإن هذه العملية تستغرق وقتاً طويلاً وغالباً ما تكون غير دقيقة. يمكن لخوارزميات التعلم الآلي مراقبة مستويات رطوبة التربة تلقائياً وتحليلها، بما في ذلك بيانات الطقس ونوع النبات ونوع التربة ومواصفاتها. ومن خلال مراقبة هذه العوامل باستمرار، يمكن للخوارزمية أن تقدم للمزارعين معلومات في الوقت الفعلي حول موعد ري محاصيلهم وكمية المياه التي يجب استخدامها.

3- التحري عن الحشرات insect detection: تتسبب الحشرات بأضرار جسيمة للمحاصيل، ويعدّ الكشف المبكر عنها مهماً للحد من الخسائر. يمكن لخوارزميات التعلم الآلي الكشف عن الحشرات من الصور، وبالتالي مساعدة المزارعين على تحديد الإصابات بشكل أسرع وأكثر دقة. إضافة إلى ذلك، يمكن للتعلم الآلي تحليل البيانات من أجهزة الاستشعار الموضوعة في الحقول، والتي توفر معلومات عن درجة الحرارة والرطوبة وغيرها من الظروف التي قد تؤثر على نشاط الحشرات. فمن خلال فهم أنماط سلوك الحشرات، يمكن للمزارعين استهداف جهود مكافحة الآفات بشكل أفضل والحد من استخدام المبيدات الحشرية الضارة.

ثالثاً: إدارة الثروة الحيوانية livestock managements

1- الكشف عن أمراض الحيوانات detecting animal diseases: في السنوات الأخيرة، كانت هناك زيادة كبيرة في استخدام خوارزميات التعلم الآلي في الكشف عن أمراض الحيوانات وكيفية معالجتها، وذلك من خلال التحليل المستمر لصور ومقاطع فيديو الحيوانات بمساعدة الرؤية الحاسوبية؛ إذ يمكن للأنظمة القائمة على التعلم الآلي تقييم صحة الحيوانات وسلوكها، مما يسمح بالتعرف المبكر على الأمراض ومنع انتشارها.

2- تتبع التغذية tracking feeding: تتيح أنظمة إنترنت الأشياء أتمتة عملية تغذية الحيوانات الزراعية، مما يضمن حصولها على الكمية المناسبة من الطعام في الوقت المناسب. كما يمكن للأدوات القائمة على إنترنت الأشياء والتعلم الآلي أن تساعد في مراقبة عادات تغذية الحيوانات، حيث يمكن استخدام هذه المعلومات للكشف عن الحيوانات ذات أنماط التغذية الشاذة، والتي يمكن أن تكون مؤشراً على وجود مشاكل صحية. كما تمكن هذه الأدوات من فهم أفضل عن كيفية تأثير أنواع وكميات مختلفة من الأعلاف على وزن الحيوانات وكفاءتها الاستقلابية وإنتاجيتها.

3- التحكم في الرعي grazing control: يمكن أن يؤدي الإفراط في الرعي تدهوراً في التربة، مما قد يقلل من معدلات الرشح وزيادة في جريان المياه. يمكن للأدوات القائمة على التعلم الآلي التنبؤ بكيفية تأثير سيناريوهات الرعي المختلفة على موارد المياه، فمن خلال تحليل العديد من العوامل بما في ذلك نوع الغطاء الأرضي والتضاريس وأنماط هطول الأمطار وكثافة الماشية، يمكن للمزارعين ومربي الماشية اتخاذ قرارات أكثر استنارة حول مكان وتوقيت رعي حيواناتهم.

تحليل البيانات والنماذج التنبؤية data analytics and predictive models

1- البيانات الضخمة في الزراعة: تولّد الزراعة الحديثة كميات هائلة من البيانات المتعلقة بالطقس وظروف التربة وصحة المحاصيل وغيرها. تتم معالجة هذه البيانات وتحليلها باستخدام الذكاء الصنعي لإعطاء معلومات ورؤىً للمزارعين لاتخاذ قرارات مفيدةٍ عن الموعد المناسب للزراعة واختيار المحصول للحصول على نتائج أفضل.

2- النماذج التنبؤية ودعم القرار: يتم تسخير قدرات الذكاء الصنعي للتنبؤ بالإنتاجية وانتشار الأمراض ومتطلبات السوق، فمن خلال تحليل البيانات التاريخية والظروف الحالية، تساعد نماذج الذكاء الصنعي المزارعين في اتخاذ قرارات استباقية، مما يمكنهم من تقليل المخاطر وتعظيم الأرباح.

مخاوف استخدام الذكاء الصنعي في الزراعة وسبل تفاديها

يتميز استخدام الذكاء الصنعي في الزراعة بفوائد عديدة ولكنه لا يخلو من المخاطر الكامنة، كفقدان العمل وتركيز الملكية والمخاوف الأخلاقية. عندما يقوم الذكاء الصنعي بأتمتة المهام التي يقوم بها البشر تقليدياً بأعداد كبيرة، فقد يؤدي ذلك إلى فقدان الوظائف في الأعمال وخاصة اليدوية وإلى تفاقم تركيز الملكية، مما يفيد الشركات الكبيرة أو الأفراد الأثرياء على حساب المزارع الأصغر، عندما تتحول الأراضي الزراعية إلى حاضنة لجمع البيانات سواءً تحت الأرض أو على مستوى المحصول

أو من السماء، فقد يؤدي هذا إلى مشاكل تتعلق بخصوصية البيانات، وتؤكد هذه التحديات الحاجة إلى دراسة متأنية وحوكمة لموازنة مزايا الذكاء الصنعي مع سلبياته المحتملة. وهذا لا ينطبق فقط على القطاع الزراعي فحسب، بل على جميع المجالات التي يتم فيها تطبيق الذكاء الصنعي.

أولاً: المخاوف

- الفلسفة التقليدية للمزارع: تتعارض الزراعة الرقميّة مع فكر المزارع والدخول إلى «فلسفته» التقليديّة، وهذا سبب رئيسي لفشل الكثير من الشركات الكبيرة التي تعاطت مع الزراعة الدقيقة، ولم تكترث بإقناع المزارع، أو وضع برامج تدريبية لمحو الأمّيّة الرقميّة.
- التكلفة: نظراً لارتفاع تكلفة حيازة تقنيات الاستثمار في الزراعة الدقيقة التقنيات فقد يتعرض المزارعون إلى خسائر باهظة وخاصة في الدول النامية مع ظل غياب الدعم المادي.
- تسرب البيانات: القدرة المحدودة للسيطرة على الأخطار الجيوسياسية، كالهجمات السيبيرانيّة واعتماد المتسللين استراتيجيات تحطيميّة للبرامج الرقميّة، وتخريب الخوارزميات الخاصة بالذكاء الصنعي الزراعي.
- فقدان اليد العاملة: يهدّد الاعتماد المفرط على الذكاء الصنعي العديد من المزارعين واليد العاملة بفقدان مصادر أرزاقهم؛ إذ يجدون أنفسهم مضطرين لمغادرة مناطقهم والنزوح إلى مناطق أخرى.
- النفايات الإلكترونية: يتم طرح كميات كبيرة من النفايات الإلكترونيّة، فأغلب الأجهزة الإلكترونية المستخدمة غير قابلة لإعادة التدوير، مما يؤدي إلى مشاكل بيئية وصحية.

ثانياً: الحلول

- تنوع المهارات: إن الحل الأمثل لتفادي المخاطر الناتجة عن الذكاء الصنعي في الزراعة ووضعه في خانة آمنة هو الاعتماد على مهارات عديدة، ليس على المهندسين الرقميين والميكانيكيين فحسب، بل أيضاً على المهندسين والخبراء الزراعيين والمحامين ورجال القانون والخبراء والاستشاريين العسكريين وخبراء الاقتصاد والاجتماع والسياسة، إضافة إلى الأساتذة والمجازين بعلوم الأخلاقيات، حيث يساعد ذلك في إحداث توافق بين القيم الإنسانيّة والتكنولوجيا الذكيّة.
- اتباع سياسات تضمن سلامة البيانات: إن تحقيق الاستخدام النهائي للذكاء الصنعي في الإنتاج الزراعي، لا يمكن تحقيقه إلا من خلال إقرار سياسات، تضمن سلامة البيانات، وتحمي المزارعين من الهجمات السيبرانية، إذ لا ينبغي المساس بالبيانات عن طريق تسريبها أو إساءة استخدامها.
- الدعم المادي والتدريب: إن تحقيق الاستخدام الأمثل للذكاء الصنعي يكمن في ضرورة تطوير حلول تتعلق في التعامل مع التكنولوجيا الجديدة بأسعار معقولة تضمن الوصول إليها من مختلف المزارعين الذين يجب إخضاعهم لدورات تدريبية تساعدهم في التعامل معها.

معالجة مخاطر الأتمتة tackling the risks of automation

① خصوصية البيانات وأمنها data privacy and security:

إن جمع البيانات ومشاركتها على نطاق واسع والتي يتطلبها الذكاء الصنعي في الزراعة تثير مخاوف بشأن خصوصيتها وأمنها، وهذا يقتضي ضرورة حماية البيانات الزراعية الحساسة من الوصول غير المصرح به وضمان الامتثال لقواعد حمايتها.

② إمكانية الوصول والتبني accessibility and adoption:

نظراً لأهمية تقنيات الذكاء الصنعي الكبيرة وفوائدها، فإن تبنيها قد يكون تحدياً للمزارعين الصغار محدودي الموارد. إن ضمان إمكانية الوصول إلى أنظمة الذكاء الصنعي وتوفير التدريب على استعمالاتها أمر بالغ الأهمية للتبني العادل عبر قطاعات الزراعة المختلفة.

③ الاعتبارات الأخلاقية ethical considerations:

من المهم معالجة المخاوف الأخلاقية المتعلقة بالتغيير الوظيفي وبالتأثير البيئي للعمل. رغم أن الذكاء الصنعي يعمل على تبسيط العديد من العمليات، إلا أنه قد يؤدي إلى فقدان العمل في مناطق معينة. إن إيجاد التوازن بين الكفاءة التي تعتمد على الذكاء الصنعي وتشغيل العمالة البشرية أمر بالغ الأهمية، لذلك ينبغي نشر الذكاء الصنعي بطرائق تقلل من آثاره في بيئة العمل وتساهم في ممارسات الزراعة المستدامة.

الاتجاهات الحديثة والمستقبلية في الذكاء الصنعي في الزراعة

لا يزال استخدام الذكاء الصنعي في الزراعة في مراحله المبكرة، ولكن الفوائد المرجوة منه كبيرة، فمع استمرار تطور هذه التكنولوجيا من المرجح أن نرى المزيد من التطبيقات المبتكرة في هذا القطاع المهم. وفيما يلي بعض الاتجاهات المستقبلية في الذكاء الصنعي في الزراعة:

❶ تطوير أصناف محاصيل جديدة:

توفر تقنيات الذكاء الصنعي والتعلم الآلي والتعلم العميق في مجال تربية النبات فرصاً فريدةً في فك رموز بيانات الجينومات المعقدة وفهم الآليات الجزيئية للدفاع عن النبات وأتمتة تحليل السمات الظاهرية واكتشاف الأمراض النباتية، مشكّلةً ثورة في ممارسات تربية النبات. تمكن هذه التقنيات من الكشف عن أسرار الحمض النووي للنباتات وتحديد المورثات المرتبطة بالسمات المرغوبة في المحاصيل، حيث تمكن هذه المعلومات من تطوير أصناف جديدة من محاصيل أكثر مقاومة للآفات والأمراض وذات احتياجات أقل من المياه وإنتاجية أعلى، إضافة إلى تطوير أصناف أكثر تحملاً للجفاف أو للغدق، مما يساعد المزارعين على مواجهة التحديات البيئية والتقليل من خسائرهم في الظروف الجوية غير المناسبة والمساهمة بالتالي في تعزيز الأمن الغذائي العالمي.

❷ تحسين إدارة الثروة الحيوانية:

يمكن استخدام الذكاء الصنعي لمراقبة صحة الماشية وتتبع تحركاتها وتحسين برامج التغذية والتربية، مما يساعد على تحسين أساليب رعاية الحيوانات وإنتاجيتها. كما يمكن استخدام الذكاء الصنعي في الكشف المبكر عن الأمراض التي تصيب الحيوانات الزراعية، مما يمكن المزارعون من اتخاذ الإجراءات اللازمة لمنع انتشارها.

❸ تطوير ممارسات الزراعة المستدامة:

يمكن استخدام الذكاء الصنعي لمساعدة المزارعين على التقليل من الآثار البيئية. على سبيل المثال، يمكن استخدام الذكاء الصنعي لتحسين جدولة الري وتقليل استخدام المبيدات الحشرية وغيرها، حيث يسهم ذلك في تقليل التأثر بالتغيير المناخي والمشاكل البيئية الأخرى.

❹ استخدام الذكاء الصنعي في الممارسات الزراعية ذات الطبيعة الخاصة:

يمكن استخدام الذكاء الصنعي في الممارسات الزراعية لتلبية الاحتياجات المحددة والخاصة لكل مزرعة على حدة، مما يساعد في تحسين الغلة وخفض التكاليف وحماية البيئة، كما يمكن الاستفادة من الذكاء الصنعي لتقديم توصيات متعلقة باختيار نوع المحصول المناسب زراعته ضمن حقل معين وجدولة الري الأفضل له.

5 تطوير خلايا نحل ذكية:

أوضحت البيانات العالمية تراجع أعداد نحل العسل عالمياً نتيجة الأمراض والآفات وتغير المناخ واختلال النظام البيئي بسبب الأنشطة البشرية. وبناءً على ما سبق، تتسابق المختبرات العالمية لابتكار سبل للحفاظ على هذه الحشرات الصديقة للبيئة التي تعمل لتوفير الغذاء للإنسان واستمرار بقائه. وقد انطلق سباق تكنولوجي لتقديم حلول للمخاطر التي تهدد مستعمرات النحل، مثل بناء «خلايا ذكية» وتعقب مسارات النحل بهدف حمايته وجعل تربيته وإنتاج العسل أكثر كفاءة من الناحية الاقتصادية. ومن أبرز الحلول التي طرحت مؤخراً ابتكار باحثين أسراباً من الروبوتات التي تبدو مثل النحل وتتصرف مثله من أجل خداع النحل وتصحيح الاختلالات في دورة حياته. وتساعد الخوارزميات المستلهمة من العمليات الحيوية هذه الروبوتات على إرسال محفزات جسدية مختلفة للنحل بهدف معرفة ردود فعله. ويهدف هذا المشروع البحثي إلى برمجة الروبوتات الصغيرة في محاولة لجعل النحل يستجيب لمنبهات مثل الاهتزازات، والتغيرات في تدفق الهواء، وبشكل خاص الاختلافات في درجة الحرارة. ويطمح الباحثون إلى أن تتمكن الروبوتات الصغيرة المجهزة بأجهزة الاستشعار من العيش داخل خلايا النحل من أجل جمع البيانات البيئية للنحل، مثل تلك التي تشير إلى وجود مبيدات أو ملوثات في البيئة المحيطة، والعمل على اتخاذ الإجراءات المناسبة لضبط سلوك العاملات والملكة وحماية المستعمرات وتحسين سبل رعايتها وزيادة إنتاجيتها من العسل. إضافة إلى ذلك، يتم حالياً إجراء تجارب مماثلة لتطوير روبوتات على شكل نحلة العسل ذات مقدرة على استشعار رائحة أنواع محددة من الأزهار ليصار إلى استخدامها في عملية التلقيح.

6 الكشف عن غش الأغذية

يمكن تعريف الغش الغذائي بأنه أي عمل يهدف إلى خداع العملاء بشأن هوية المواد الغذائية وجودتها وتركيبها لتحقيق مكاسب مادية. ومن الصعب حساب التكلفة الدقيقة لهذا النوع من الغش على قطاع الأغذية العالمي نظراً لطبيعته السرية. يمكن استخدام التقنيات النووية والتقنيات ذات الصلة للتصدي للغش الغذائي عن طريق تعقب منشأ الأغذية والتحقق من أصالتها واختبار احتوائها على مواد مغشوشة. ويمكن أن تساعد أساليب التحقق من أصالة الأغذية واقتفاء أثرها مثل تحليل النظائر المستقرة في اكتشاف الغش الغذائي ومنعه وحماية الصحة العامة. من ناحية أخرى، يوفر الذكاء الصنعي حلولاً متطورة للكشف عن غش الأغذية بسرعة ودقة وكفاءة أكبر من الطرائق التقليدية. وفيما يلي بعض الطرائق التي يعمل بها الذكاء الصنعي في الكشف عن غش الأغذية (Goyal et al., 2022):

- ✓ يعزز الذكاء الصنعي تحليل البيانات من تقنيات التحليل الطيفي المتقدمة مثل الأشعة تحت الحمراء Near-Infra-Red (NIR) والتحليل الطيفي رامان Raman spectroscopy من خلال تطبيق خوارزميات التعلم الآلي. إذ يمكن للذكاء الصنعي اكتشاف الاختلافات الدقيقة في البيانات الطيفية التي قد تشير إلى وجود مواد غش، وهذا يسمح بإجراء اختبارات سريعة لاإتلافية للمنتجات الغذائية.
- ✓ يمكن دمج أجهزة الاستشعار التي تعمل بالذكاء الصنعي وأجهزة إنترنت الأشياء في خطوط إنتاج الأغذية لمراقبة مؤشرات الغش بشكل مستمر. يمكن لهذه الأنظمة اكتشاف الشذوذ في الوقت الفعلي، مثل التغييرات غير المتوقعة في التركيب الكيميائي أو الخصائص الفيزيائية، مما يؤدي إلى إطلاق تنبيهات وإجراءات فورية لمنع المنتجات الملوثة من الوصول إلى السوق.
- ✓ تدريب نماذج الذكاء الصنعي على مجموعات بيانات كبيرة تحتوي على معلومات حول عينات أغذية أصلية ومغشوشة. وبمجرد تدريبها، يمكن لهذه النماذج تحديد الغش بدقة في العينات الجديدة من خلال التعرف على الانحرافات عن الأنماط المعمول بها.

- ✓ يمكن للذكاء الصنعي تحليل البيانات الضخمة المتولدة عن صناعة الأغذية لتحديد الارتباطات والمخاطر المحتملة المتعلقة بغش الأغذية، مما يمكّن الشركات والهيئات التنظيمية من التنبؤ بمخاطر الغش والتخفيف منها قبل أن تتحقق.
- ✓ تطوير تطبيقات الهاتف المحمول التي تعتمد على الذكاء الصنعي لتمكين المستهلكين من اكتشاف غش الأغذية بأنفسهم، من خلال مسح الباركود الخاص بالمنتج أو استخدام كاميرات الهواتف الذكية، مما يمكنهم من الوصول إلى قواعد البيانات التي تعمل بالذكاء الصنعي والتي تحلل مكونات المنتج وتاريخه، وتوفر معلومات فورية عن صحته وسلامته.

حقبة جديدة للزراعة

توفر تطبيقات الذكاء الصنعي للمزارعين الأدوات التي يحتاجون إليها لاتخاذ قرارات مستنيرة وتخصيص الموارد بكفاءة وزيادة الإنتاجية، من الزراعة الدقيقة إلى النماذج التنبؤية. لا يؤدي دمج الذكاء الصنعي في الزراعة إلى إعادة تشكيل الممارسات الحالية فحسب، بل يمهد الطريق أيضاً لمستقبل مستدام ومرن؛ إذ يمكن أن يصبح الذكاء الصنعي بستانياً رئيسياً، حيث يراقب باستمرار ويضبط كل مرحلة من مراحل النمو في المزرعة، بدءاً من اختيار البذور إلى الحصاد وما بعده. كما يمكن أن يساعد في تعديل الممارسات الزراعية في الوقت الفعلي وفقاً للتغيرات المناخية، مما يضمن كلاً من صحة المحصول وإنتاجيته على نحوٍ أمثل. ويلخص المخطط التالي أهم تطبيقات الذكاء الصنعي في العلوم الزراعية بشقيها النباتي والحيواني.

تشكل الدراسات الحديثة جزءاً من اتجاه متزايد لدمج التقنيات المتقدمة في الزراعة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة؛ إذ يمكن أن يؤدي اعتماد الذكاء الصنعي إلى إحداث تحول في الممارسات الزراعية من خلال زيادة كفاءة الاستفادة من الموارد المتاحة وتحسين جودة المحاصيل وتقليل التأثيرات البيئية، حيث تضع هذه التكنولوجيا نفسها كركيزة أساسية لمستقبل الزراعة المستدامة.

تتمثل التطبيقات واسعة النطاق للذكاء الصنعي في الزراعة في تحسين إدارة المحاصيل من خلال الحصول على البيانات في الوقت الحقيقي وفي تحسين استخدام الموارد مثل المياه والأسمدة، وتقليل خسائر ما بعد الحصاد وزيادة سلامة الأغذية أو من خلال تعزيز قدرات المراقبة والرصد والاستجابة للظروف الجوية المتغيرة. تمهد هذه الدراسات الطريق لحقبة جديدة من الزراعة أكثر ذكاءً وصديقة للبيئة، وذلك بفضل اعتماد نهج الذكاء الصنعي المتقدم الذي يمثل ثورة تكنولوجية يمكن أن تغير طرائق الإنتاج والاستهلاك المتبعة.

توصيات

يمكن لراسمي السياسات الحكومية ولصانعي القرار تأدية دور استراتيجي في تسريع اعتماد الذكاء الصنعي في القطاع الزراعي من خلال ما يلي:

1- الاستثمار في البحث والتطوير، وإعطاء الأولوية للتمويل في مجال تقنيات الذكاء الصنعي في الزراعة لتشجيع الابتكارات التي يمكن بها مواجهة التحديات الدقيقة في المنطقة.

2- ضرورة الاهتمام بالتعليم والتدريب والارتقاء بالبرامج التعليمية والتدريبية وتطبيقات الذكاء الصنعي في الزراعة وإعداد القوى العاملة المستقبلية في هذا القطاع المهم.

3- تحفيز بناء الشراكات بين القطاعين العام والخاص وتسهيل التعاون وتنسيقه بينهما.

4- وضع مبادئ توجيهية ولوائح واضحة بشأن خصوصية البيانات والاستخدام الأخلاقي للذكاء الصنعي والتنفيذ المسؤول لهذه التقنيات.

المراجع

[1] Eftekhari M, Ma C and Orlov YL (2024). Editorial: Applications of artificial intelligence, machine learning, and deep learning in plant breeding. Front. Plant Sci. 15:1420938.doi: 10.3389/fpls.2024.1420938

[2] Goyal, K., Kumar, P. & Verma, K. (2022). Food Adulteration Detection using Artificial Intelligence: A Systematic Review. Arch Computat Methods Eng 29, 397–426. https://doi.org/10.1007/s11831-021-09600-y

[3] Henrietta H M (2024). Artificial Intelligence in Agriculture: A Review of Current Applications and Future Trends, Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences. IIP Series, Volume 3, Book 11, Part 1, Chapter 1, e-ISBN: 978-93-5747-553-2. https://www.doi.org/10.58532/V3BCAG11P1CH1

[4] https://mentormate.com/blog/the-future-of-agriculture-how-ai-is-transforming-the-agtech-landscape/

[5] Kaushal S, Kumar S, Tabrez S (2022). Artificial Intelligence in Agriculture. International Journal of Science and Research (IJSR) 11 (5), 1682-1688.

[6] Kesari G (2024). The future of farming: AI innovations that are transforming agriculture. https://www.forbes.com/sites/iansayson/2024/08/07/this-billionaire-beer-baron-wants-to-rebuild-the-philippines/?

[7] Shanmugavel D, Rusyn I, Solorza-Feria O, Kamaraj S K, (2023). Sustainable SMART fertilizers in agriculture systems: A review on fundamentals to in-field applications, Science of The Total Environment, 904, 166729, ISSN 0048-9697,https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166729.

[8]. University of Liège (2024). “Advanced artificial intelligence: A revolution for sustainable agriculture.” Science Daily. <www.sciencedaily.com/releases/2024/06/240618115419.htm>.

المصدر:

- *إعداد: **د.فواز كردعلي**، مكتب التأليف والترجمة والنشر، هيئة الطاقة الذرّية السورية.*

الأخبار العلمية

من المزرعة إلى طاولة الطعام

التقنيات النووية التي تسهم في وضع الغذاء على موائدنا

هل تعلمون أن التقنيات النووية تؤدي دوراً حاسماً في وضع الغذاء على موائدنا؟ فمن تعزيز إنتاج المحاصيل إلى ضمان سلامة الأغذية، تعد العلوم النووية جزءاً لا يتجزأ من الزراعة المستدامة.

يستكشف هذا الدليل المصور التقنيات النووية التي تحمي إمداداتنا الغذائية وتساعد على التأكد من سلامة طعامنا وقيمته الغذائية.

استيلاد النباتات

من خلال المركز المشترك بين الفاو والوكالة الدولية للطاقة الذرية لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة (المركز المشترك بين الفاو والوكالة)، تستخدم الوكالة التقنيات النووية لبناء القدرات الوطنية في مجال استيلاد النباتات (تربية النباتات) من أجل استحداث محاصيل أكثر مقاومة للأمراض والآفات وعوامل الإجهاد البيئي.

وعن طريق حث الطفرات بالإشعاع، يبتكر العلماء أصنافاً نباتية جديدة تحسن جودة المنتجات، وتزيد من الإنتاجية وتدعم مستويات استقرار الغلة، وتكفل قدرة أكبر على الصمود في مواجهة تغير المناخ وتحمل عوامل الإجهاد البيئي، مما يسهم في تدعيم متانة الإمدادات الغذائية وتعزيز إمداداتها.

قاعدة بيانات السلالات الطافرة هي مستودع مشترك بين الفاو والوكالة للمعلومات عن الأصناف النباتية المستحدثة باستخدام تقنيات الاستيلاد الطفري.

وتحتوي قاعدة البيانات على معلومات عن 3433 صنفاً أطلقت من 75 بلداً، بما يشمل 238 نوعاً مختلفاً من المحاصيل.

مكافحة الآفات الحشرية

من خلال المركز المشترك بين الفاو والوكالة، تقود الوكالة الجهود العالمية الرامية إلى تطبيق وتطوير تقنية الحشرة العقيمة، والتي تقوم على استخدام الإشعاق لتعقيم ذكور الآفات.

تصل نسبة الفاقد من إنتاج المحاصيل العالمي بسبب الآفات والأمراض النباتية إلى 40%

ويجري إطلاق الذكور العقيمة للتزاوج مع الإناث البرية، مما يقلل من أعداد الآفات. وتعد هذه التقنية طريقة مراعية للبيئة في مكافحة الآفات الزراعية، حيث تقلل من الحاجة إلى استخدام المبيدات الكيميائية، ومن ثم تحمي كلاً من المحاصيل والبيئة.

صحة الحيوان

من خلال المركز المشترك بين الفاو والوكالة، تستخدم الوكالة التقنيات النووية والتقنيات ذات الصلة بالمجال النووي لرصد الأمراض الحيوانية ومكافحتها، ومن ثم تحسين صحة حيوانات المزارع وزيادة إنتاجيتها.

تدعم الوكالة شبكة مختبرات التشخيص البيطري وتنسق عملها، وتضم الشبكة **46 من المختبرات البيطرية في أفريقيا و19 في آسيا**.

ويُقدم الدعم من خلال شراء الكواشف والمعدات المختبرية وعقد دورات تدريبية لتعزيز كفاءة المختبرات البيطرية الوطنية في تنفيذ اختبارات تشخيص الأمراض الحيوانية والأمراض الحيوانية المصدر العابرة الحدود، وتوكيد جودة اللقاحات.

الزراعة الذكية مناخياً

الزراعة الذكية مناخياً هي مجموعة من الممارسات والتكنولوجيات الزراعية التي يمكن استخدامها لزيادة الإنتاجية الزراعية عيل نحو مستدام. وتعزز الوكالة قدرات البلدان فيما يتعلق باستخدام التقنيات النووية والنظيرية لزيادة الإنتاجية الزراعية على نحو مستدام، وتكييف النظم الزراعية ونظم الأمن الغذائي وتدعيم قدرتها على الصمود في مواجهة تغير المناخ، والحد من انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن الزراعة.

يبلغ عدد البلدان التي تعمل حاليًا مع الوكالة على مشاريع للتعاون التقني بهدف التكيف مع تغير المناخ 146 بلداً.

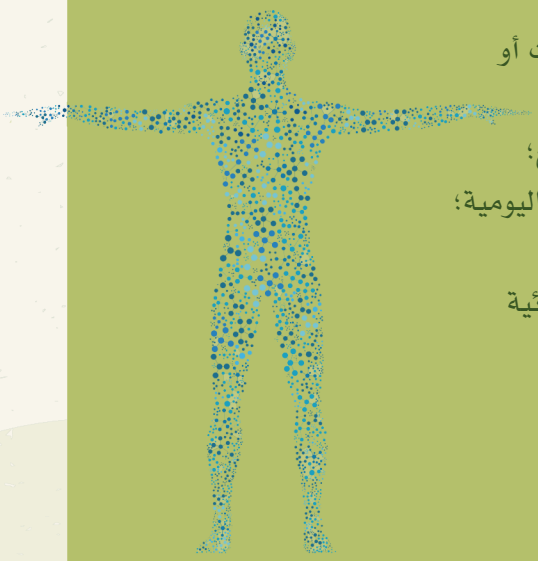
إدارة التربة والمياه

تسهم التقنيات النووية في إدارة الأراضي والمياه على الوجه الأمثل عن طريق تتبع حركة التربة والمياه. وتساعد الوكالة البلدان عيل تطوير الممارسات الزراعية المستدامة وتطبيقها، وتحسين كفاءة استخدام المياه، ومكافحة تدهور التربة، مبا يسهم في زيادة الإنتاج الزراعي والأمن الغذائي على الصعيد العالمي مع الحفاظ على الموارد الطبيعية.

تستأثر الزراعة بنسبة تفوق 70% من استهلاك المياه في العالم، لأغراض الري في المقام الأول، لكن كفاءة استخدام هذه المياه أقل من 40%.

التغذية

لا شك أن سلامة التغذية السليمة عنصر جوهري في سلامة الصحة. وتزود الوكالة البلدان بما يلزمها من المعدات والتدريب من استخدام التقنيات النووية لفهم المشاكل المتعلقة بالتغذية، حتى يتمكن أخصائيو التغذية والصحة من وضع الإجراءات اللازمة وتقييم الإجراءات المتخذة لمكافحة جميع أشكال سوء التغذية



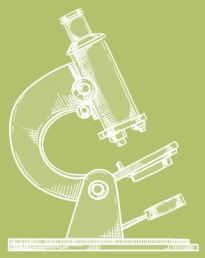
يمكن استخدام التقنيات النووية:

- لتقييم نسبة الدهون أو الماء أو العضلات أو العظام في تركيب الجسم؛
- وكمية حليب الثدي التي يستهلكها الرضع؛
- ومقدار الطاقة التي ننفقها في أنشطتنا اليومية؛
- وكمية فيتامين (A) المخزنة في الجسم؛
- ومدى استفادة الجسم من العناصر الغذائية المستمدة من مختلف أنواع الأغذية؛
- والقيمة البروتينية الحقيقية للأغذية؛
- وكثافة العظام وصحتها

سلامة الأغذية

من خلال المركز المشترك بين الفاو والوكالة، تساعد الوكالة البلدان على استخدام الأساليب النووية للكشف عن الملوثات والمخلفات في الأغذية، والتحقق من منشأ الأغذية وأصالتها، والوفاء بالمعايير الدولية. وتتلقى البلدان الدعم أيضاً في استخدام الإشعاعات المؤينة، حيث تُستخدم تقنيات مثل التشعيع للقضاء على البكتريا والآفات الضارة، وتطيل مدة صلاحية الأغذية، وتقلل من هدر الغذاء. وتضمن هذه التدابير سلامة الأغذية وقيمتها الغذائية، وتعزز التجارة الدولية.

في عام 2023، دربت الوكالة 417 عالماً من أكثر من 43 بلداً على هذه التقنيات والتكنولوجيات.



المصدر:

- نُشر هذا المقال في مجلة: ***From farm to fork: The nuclear techniques involved in putting food on our tables. IAEA Bulletin, Atom 4 Food. September 2024 Vol. 65-2.***

ثلاث من أبرز حالات الغش الغذائي وكيف يسهم علماء المجال النووي في اكتشافها

هل تعلمون أن الأطعمة الموجودة في مطبخكم قد تكون في واقع الأمر غير ما يدل عليه مظهرها، وقد لا تكون مطابقة للمعلومات الموجودة في الملصق الموضوع على العبوة؟

فقد تسلل المحتالون خلسةً إلى أسواق الأغذية العالمية الرائجة واستحدثوا أساليب لخداع مستهلكي الأغذية من أجل تحقيق الربح. وتشمل هذه الأساليب إنتاج مواد غذائية مزيفة تقلد صفات أو علامات تجارية معينة؛ وإضافة مواد غير معلنة إلى الأغذية؛ وتخفيف المكونات العالية القيمة أو تبديلها بمكونات أقل قيمة؛ وإخفاء المكونات الرديئة الجودة؛ ووضع ملصقات تحتوي على معلومات مضلّلة. ولا يقتصر تأثير الغش الغذائي على سلب أموال المستهلكين والإضرار بالتجارة الدولية فحسب، بل يمكن أن يمتد أيضاً إلى تعريض الصحة العامة وسلامة الجمهور للخطر.

ويمكن تعريف الغش الغذائي بأنه أي عمل يهدف إلى خداع العملاء بشأن هوية المواد الغذائية وجودتها وتركيبها لتحقيق مكاسب مالية. ومن الصعب حساب التكلفة الدقيقة لهذا النوع من الغش على قطاع الأغذية العالمي نظراً لطبيعته السرية، ولكن التقديرات تشير إلى أنه يكلف المنتجين ٤٠ مليار دولار سنوياً.

وتعمل الوكالة، من خلال برامجها البحثية وبرامج التعاون التقني، والجهود التي تبذلها مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، على تقديم الدعم للبلدان في استخدام التقنيات النووية والتقنيات ذات الصلة للتصدي للغش الغذائي عن طريق تعقب منشأ الأغذية والتحقق من أصالتها واختبار احتوائها على مواد مغشوشة. ويمكن أن تساعد أساليب التحقق من أصالة الأغذية واقتفاء أثرها، مثل تحليل النظائر المستقرة، في اكتشاف الغش الغذائي ومنعه وحماية الصحة العامة.

1

يمكن غش زيت الزيتون **ببدائل أرخص.**

كيف يمكن لعلماء المجال النووي أن يسهموا في كشف الغش الغذائي؟

لكل عنصر هوية كيميائية تحددها تركيبته الذرية، أي ما تحتوي عليه ذراته من النيوترونات والبروتونات والإلكترونات. وتُعرف الذرات التي تحتوي على العدد نفسه من البروتونات مع اختلاف عدد النيوترونات باسم النظائر. والنظائر المستقرة هي أشكال غير مشعة من الذرات تتيح خصائصها الفريدة إمكانية استخدامها في طائفة واسعة من التطبيقات، بما يشمل التحليل الجنائي للأغذية وكشف الغش الغذائي.

وبالمقارنة بين الأغذية من حيث نسب النظائر المستقرة، يمكن للعلماء التمييز بين الأغذية الأصلية والمغشوشة، وكشف الملصقات المحتوية على معلومات مضلّلة بشأن المنشأ الجغرافي للأغذية والادعاءات الكاذبة بشأن عملية إنتاجها. وتقاس النظائر المستقرة باستخدام تقنية قياس الطيف الكتلي لنسبة النظائر، التي تمكن من اكتشاف فروقات بالغة الضآلة في نسب الأشكال الثقيلة والخفيفة من النظائر. وتعتبر هذه النسب بمثابة «بصمات» أو «توقيعات» تتركها الطبيعة في الأغذية. ويمكن استخدام هذا الدليل الخفي للتأكد من أن الأغذية المشتراة تحتوي بالفعل على المكونات الواردة على الملصق أو أنها قد تعرضت للتزييف.

وقالت السيدة سيلفاراني إلهي، نائبة كبير الكيميائيين الحكوميين في حكومة المملكة المتحدة والمديرة التنفيذية للشبكة المعنية بأصالة الأغذية، مؤكدة أهمية الجهود التعاونية التي تبذلها الشبكة لمنع الغش الغذائي: «من خلال الاستفادة مما تتيحه هذه الشبكة العالمية من المعلومات المجانية والتدريب والأدوات، يمكن للبلدان أن تعزز قدرتها على اكتشاف الغش الغذائي والتقليل من تعرضها له». وتعمل شبكة أصالة الأغذية على تيسير التعاون بين العلماء وقطاع صناعة الأغذية والهيئات الحكومية والأوساط الأكاديمية.

يعد غش العسل من الممارسات الشائعة، حيث تضاف إلى العسل الطبيعي مُحليات أرخص ثمناً مثل شراب الذرة العالي الفركتوز.

2

زيت الزيتون والعسل والمأكولات البحرية: ما يستهدفه المحتالون

من بين أكثر المواد الغذائية تضرراً من الغش الغذائي زيت الزيتون (الذي يقدره المستهلكون لآثاره المفيدة على القلب)؛ والمأكولات البحرية (المرغوب فيها لما تحتوي عليه من أحماض أوميغا ٣ الدهنية الأساسية)؛ والعسل (الذي تكمن قيمته في حلاوته الطبيعية وخصائصه المفيدة للصحة).

ويمكن غش زيت الزيتون ببدائل أرخص مثل زيت عباد الشمس أو زيت بذور اللفت أو حتى زيت البندق، مما يشكل مخاطر صحية على الأفراد الذين يعانون من الحساسية تجاه هذه الزيوت البديلة. ولهذه الممارسة تداعيات على سلامة الأغذية، إذ إن الزيت المغشوش قد يحتوي على مركبات أخرى يمكن أن تكون سامة أو ضارة.

وبفضل تحليل النظائر المستقرة، يمكن للعلماء أن يتتبعوا بفعالية المنشأ الجغرافي لأي منتج غذائي، وأن يميزوا بين الأغذية العضوية والأغذية المنتجة بالطرق التقليدية، وأن يكشفوا عن الغش عن طريق اكتشاف حالات التضارب في البصمات النظيرية المتوقعة.

3

في حالة المأكولات البحرية، غالباً ما تتخذ عمليات الغش شكل الوسم بملصقات مضللة، حيث يباع صنف رخيص الثمن من الأسماك أو المأكولات البحرية على أنه صنف آخر أغلى ثمناً.

وتمثل نُهج الفحص السريع طريقة أخرى للكشف عن الغش والتحقق من أصالة المواد الغذائية ومصدرها.

فعن طريق قياس الطيف بالأشعة المقاربة للأشعة دون الحمراء، تمكن العلماء في المركز المشترك بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة (المركز المشترك بين الفاو والوكالة) من التمييز بين زيت الزيتون البكر المستخرج من سلوفينيا والمستخرج من بلدان أخرى بمستوى حساسية بلغ ٩٤ في المائة ومستوى تحديد بلغ ٨٦ في المائة.

وقالت السيدة كريستينا فلاشو، رئيسة مختبر سلامة الأغذية ومراقبتها في المركز المشترك بين الفاو والوكالة: «يمكن استخدام قياس الطيف بالأشعة دون الحمراء وتقنيات أخرى مثل الاستشراب الغازي وقياس طيف حركة الأيونات من أجل تحليل العينات في المختبر أو في الميدان مباشرة. وتوفر هذه التقنية معدلاً مرتفعاً لكمية العينات التي يمكن تحليلها وتتسم بانخفاض تكاليفها التشغيلية لأنها إما تتطلب جهداً ضئيلاً لتحضير العينات أو لا تتطلب أي جهد على الإطلاق، كما أنها لا تتطلب أي مواد كيميائية أو مرافق مختبرية متخصصة».

ويتسم غش العسل بنفس الدرجة من الشيوع، حيث تضاف إلى العسل الطبيعي مُحليات أرخص ثمنا مثل شراب الذرة العالي الفركتوز. ويمكن استخدام تحليل النظائر المستقرة وأدوات الفحص السريع للمساعدة على اكتشاف الغش في العسل، والتحقق من الادعاءات حول المنشأ الزهري أو الجغرافي، والتمييز بين عسل مانوكا الأصلي الغالي الثمن والمنتجات المزيفة المزعومة.

وأما في حالة المأكولات البحرية، فغالباً ما تتخذ عمليات الغش شكل الوسم بملصقات مضللة، حيث يباع صنف رخيص الثمن من الأسماك أو المأكولات البحرية على أنه صنف آخر أغلى ثمناً. وهذه الممارسة لا تخدع المستهلكين فحسب، بل تقوض أيضاً جهود الحفاظ على الموارد السمكية والتي ترمي إلى منع الصيد الجائر للأصناف المعرضة للخطر. ويتيح تحليل النظائر المستقرة للعلماء التحقق من صحة الملصقات الموضوعة على المنتجات، بل يمكن استخدامه للتمييز بين الأسماك المستزرعة والمصيدة في عرض البحر.

تدعم الوكالة سلامة الأغذية وجودتها على الصعيد العالمي وتقيم شراكات لمكافحة الغش الغذائي في إطار مبادرة Atoms4Food (تسخير الذرة من أجل الغذاء)، وهي مبادرة رائدة جديدة أُطلقت العام الماضي.

المصدر:

- نُشر هذا المقال في مجلة: ***Top three food frauds and how nuclear scientists can help detect them. IAEA Bulletin, Atom 4 Food. September 2024 Vol. 65-2.***

استخدام التقنيات النووية لتحديد الجودة البروتينية لأغذية الأطفال من أجل مكافحة سوء التغذية

تشهد نظم إنتاج الأغذية الزراعية تغيرات سريعة على الصعيد العالمي، بفعل عوامل عديدة مثل تغير المناخ. ويمكن أن تترتب على هذه التغييرات تداعيات سلبية سواء من حيث قدرة المستهلكين على الحصول على الأغذية ذات القيمة الغذائية العالية أو من حيث توافر هذه الأغذية من الأصل. ويُعدُّ تراجع تركيزات المغذيات الأساسية في الأغذية، مثل البروتين في المحاصيل الغذائية الرئيسية، من الآثار السلبية المترتبة على تغير المناخ والتي تؤدي إلى تقويض الأمن التغذوي حول العالم، لا سيما في حالة الفئات السكانية الأضعف، مثل الرضع وصغار الأطفال.

ولا تزال الهند تتحمل وطأة العبء المزدوج لسوء التغذية. ووفق تقرير التغذية العالمي لعام 2022، يعاني 35 في المائة من جميع الأطفال دون سن الخامسة من التقزم، أي فرط قصر القامة بالنسبة إلى العمر، في حين يعاني 17 في المائة من الهزال، أي فرط النحافة بالنسبة إلى طول القامة.

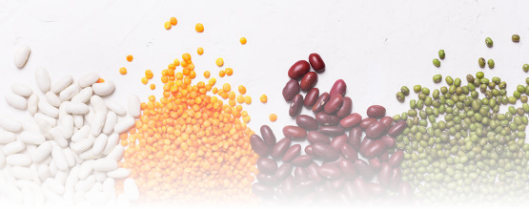
وتوصي منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأمم المتحدة للطفولة بأن تقتصر تغذية الأطفال على الرضاعة الطبيعية الخالصة إلى أن يبلغوا ستة أشهر من العمر، دون إضافة أي أغذية أو سوائل أخرى غير الأدوية التي يصفها الطبيب.

والأطفال في عمر 6 أشهر إلى 23 شهراً هم الأكثر تضرراً من الأغذية ذات المستويات المتدنية من المغذيات الأساسية؛ إذ يتزامن هذا العمر مع بدء تناول الأغذية المكملة بالإضافة إلى حليب الثدي. وفي قرابة 80 في المائة من الحالات في الهند، تتألف هذه الأغذية الأساسية من الحبوب والبقوليات، ولا تتجاوز نسبة الغذاء المأخوذ من مصادر حيوانية، مثل اللحوم والأسماك والدواجن والبيض، 20 في المائة. ونادراً ما تكفل هذه الأغذية النباتية قدراً متوازناً بما فيه الكفاية من المغذيات، لا سيما من الأحماض الأمينية الأساسية اللازمة للنمو الجسدي والعقلي السريع الذي يحتاجه الأطفال.

ومن خلال بناء القدرة على القياس الدقيق للجودة البروتينية لأغذية الرضع والأطفال الصغار، يمكن معالجة سوء التغذية على أساس البيانات القائمة على الأدلة وتحسين التوصيات الغذائية بشأن استهلاك البروتين. ولتحديد الجودة البروتينية للأغذية النباتية أهمية خاصة بالنظر إلى العواقب البيئية لاستهلاك الأغذية الحيوانية المصدر.

والمقصود بالجودة البروتينية لنوع من الغذاء هو نسبة البروتين أو الأحماض الأمينية التي يمتصها الجسم ويستخدمها بعد تناول ذلك النوع من الغذاء. والخيارات المتوافرة لقياس الجودة البروتينية لدى الإنسان محدودة، فالطريقة النمطية تقوم على إجراء تدخلي يتطلب إدخال أنبوب إلى الأمعاء لأخذ عينة من الأغذية المبتلعة أثناء هضمها. وتخضع العينة للتحليل من أجل تحديد تركيز الأحماض الأمينية الحرة بعد فترة من تناول الوجبة المحتوية على نوع الغذاء المعني. وعقب مشاورات عقدتها منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) في عام 2014، أوصى الخبراء باتباع أساليب

ومن خلال بناء القدرة على القياس الدقيق للجودة البروتينية لأغذية الرضع والأطفال الصغار، يمكن معالجة سوء التغذية على أساس البيانات القائمة على الأدلة وتحسين التوصيات الغذائية بشأن استهلاك البروتين.



جديدة، بما في ذلك استخدام نُهُج قائمة على النظائر المستقرة لقياس الجودة البروتينية بناء على مؤشر مستحدث يُعرف بمستوى الأحماض الأمينية الأساسية القابلة للهضم (مستوى DIAAS). وشملت الأساليب الموصى بها أيضا تقنية المقتفيات النظيرية المزدوجة (DSIT)، التي استُحدثت وخضعت للاختبار والتحسين في سياق مشروع بحثي منسق مدعوم من الوكالة في سبعة بلدان.

وباستخدام هذه التقنية، أجرى فريق بحثي من أكاديمية سانت جون الوطنية للعلوم الصحية في بنغالور بالهند قياساً لمستوى هضم البروتين والأحماض الأمينية الأساسية المتوافرة في أغذية الرضع الشائعة، مثل الأرز والدُّخن الإصبعي Finger millet واللوبياء Mung bean. وقورنت هذه الأغذية ببيض الدجاج الذي يحتوي على بروتين سهل الهضم للغاية كثيراً ما يستخدم كبروتين مرجعي.

رويت المحاصيل أولاً بأكسيد الديوتريوم، وهو مادة تشبه الماء من الناحيتين الفيزيائية والكيميائية لكنه أكثر كثافة بقليل. وبعد حصادها، تُستخدم المحاصيل في تحضير وجبات اختبار ملائمة لثقافة الجمهور المستهدف بعد إضافة حمض أميني قياسي موسوم بالكربون-13. وأُعطيت وجبات الاختبار المحتوية على النظيرين (أي الديوتيريوم والكربون-13) لأطفال تتراوح أعمارهم بين 6 أشهر و24 شهراً.

وقالت السيدة نيروباما شيفاكومار، الباحثة الرئيسية والمؤلفة بأكاديمية سانت جون الوطنية للعلوم الصحية: "إن الجودة البروتينية مهمة للغاية لنمو الطفل الجسدي والعقلي".

وأضافت قائلة: «إن طريقة الوسم بالنظيرين هي أفضل نهج يمكن اتباعه مع الأطفال لأنها تنطوي على أقل قدر ممكن من التدخل. وقد وجدنا أن البيض يكفل أعلى معدل لهضم البروتين مقارنة بمصادر البروتين الأخرى، وهو استنتاج ليس مفاجئاً ويؤكد مجددا الجودة البروتينية العالية للمصادر الحيوانية. وبالنظر إلى بطء معدل التحسن في المؤشرات التغذوية للأطفال، فإن اشتمال النظام الغذائي اليومي للطفل على بروتين حيواني المصدر قد يكون مفيدا لنموه الجسدي والعقلي، لا سيما في حالة الفئات السكانية التي تعاني من انعدام الأمن الغذائي".

وبعد تناول وجبات الاختبار، خضع تركيز النظيرين للقياس في كلٍّ من الدم والنَّفَس باستخدام مطياف كتلي لتحديد نسب النظائر. ومن ثم احتُسبت قابلية الهضم لكلٍّ من الأحماض الأمينية الأساسية باعتبارها تساوي نسبة الإثراء النظيري في الدم/النَّفَس مقارنة بالإثراء النظيري في وجبة الاختبار. وأظهرت النتائج أن قابلية هضم الأحماض الأمينية الأساسية – أي الميتيونين، والفينيل ألانين، والثريونين، والليزين، واللوسين، والإيزولوسين، والفالين – كانت أقل بكثير في الأرز والدُّخن الإصبعي واللوبياء مقارنة بالبيض. وبالإضافة إلى ذلك، فقد تبين أنه كلما انخفض مستوى DIAAS ازداد خطر التقزم.

وقالت السيدة كورنيليا لوكل، رئيسة قسم الدراسات البيئية المتعلقة بالتغذية والصحة في الوكالة: "إن هذه الاستنتاجات مهمة للغاية من أجل صياغة المبادئ التوجيهية بشأن استهلاك البروتين في نظم التغذية في الهند وخارجها".

وقد استُرشد بنتائج البحوث المدعومة من الوكالة في الهند لاستحداث تركيبات غذائية مكملة لتحقيق استهلاك متوازن من الأحماض الأمينية الأساسية.

والآن أُدمجت في السياسات الحكومية في العديد من الولايات في الهند خططاً تتعلق بالتنمية الغذائية للأطفال، بحيث يُكفل توفير الحليب والبيض للأطفال الصغار والأطفال في سن المدرسة في أماكن ما قبل الالتحاق بالمدرسة وفي المدارس التي تديرها الحكومية.

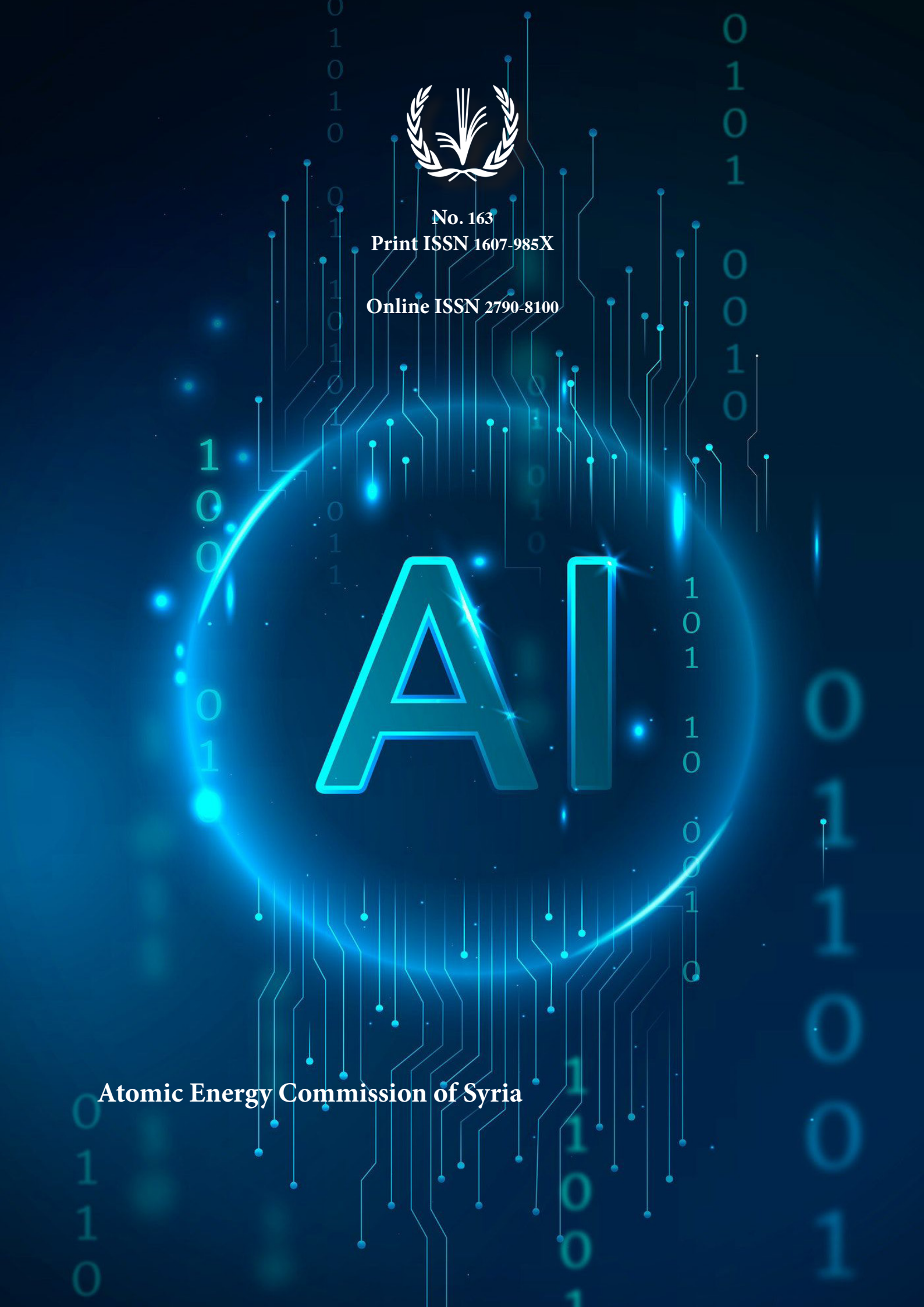
إضافة إلى ذلك، فسوف تُدرج البيانات المستخلصة من هذه الدراسة في قاعدة بيانات بشأن قابلية هضم البروتين في الأغذية البشرية ستعدها الوكالة في المستقبل بالاشتراك مع الفاو، وذلك بغية إثراء المناقشات في المستقبل حول متطلبات البروتين حسب التصنيف العمري والفسيولوجي. ويجري العمل حالياً على إعداد قاعدة البيانات الجديدة.

المصدر:

- نُشر هذا المقال في مجلة: ***Victor Owino (2024). How nuclear techniques can determine the protein quality of children's food to combat malnutrition. IAEA Bulletin, Atom 4 Food. September Vol.65-2.***

No. 163
Print ISSN 1607-985X

Online ISSN 2790-8100



Atomic Energy Commission of Syria