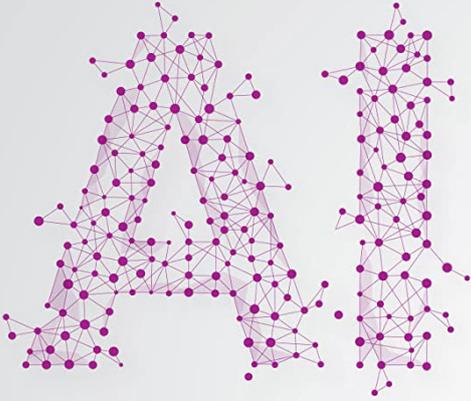




عالم الذرة

الذكاء الاصطناعي



تطبيقات

الإنزيمات الصناعية

تقنية الزرع الأيوني

وتطبيقاتها في الصناعة

مطيافية رمان للعباب

لكوفيد-19:

نهج مبتكر للكشف عن

الإصابات الحالية والسابقة

بكوفيد-19



AECS

عالم الذرة

AECS

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

المدير المسؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية السورية

AECS

AECS

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناديا حيدر

أعضاء هيئة التحرير

أ. د. فواز كرد علي

أ. د. محفوظ البشير

أ. د. عادل باكير

أ. د. عبد الحميد الرئيس

أ. د. جمال أصفهاني

أ. د. محمد طلاس

أ. د. محمد بهاء الصوص

أ. د. محمد سوقية

أ. د. إياد غانم

أ. د. عبد الغفار الالافي

أ. د. سامي حداد

AECS

AECS

AECS

AECS

الإخراج الفني

أمل قيروط

بشار مسعود

راما الكاج

التدقيق اللغوي

ريما سنديان

التنضيد والأرشفة

غفران ناووز - هنادي كنفاني

AECS

AECS

المحتويات

28



المواد المركبة النانوية nanocomposite وتطبيقاتها

37



مطيافية رامان للعباب لكوفيد-19: نهج مبتكر للكشف عن الإصابات الحالية والسابقة بكوفيد-19

44

أخبار علمية

العلماء يبنون روبوتات رهيبة تتحرك باستخدام عضلات الفئران

44

حل ذهبي للتلوث: العلماء يطورون طريقة جديدة للتقليل من غاز ثاني أكسيد الكربون

45

اكتشاف العلماء لأول ميكروبات معروفة يمكنها التخلص من الفيروسات

47

اكتشف تلسكوب جيمس ويب وجود مجرات "البازلاء الخضراء" في الكون المبكر: يمكن أن تكون هذه المجرات مسؤولة جزئياً عن "إعادة تأين" الكون

48

أكاديمية العلوم العالمية تمنح الباحثة ناديا حيدر جائزة الدكتوراة فايزة الخرافي لعام 2022 في مجال العلوم الزراعية والبيولوجيا

50

مقالات



تقنية الزرع الأيوني وتطبيقاتها في الصناعة

8



الذكاء الاصطناعي لتسريع التقنيات النووية وتطبيقاتها

17



تطبيقات الإنزيمات الصناعية

22

قواعد النشر في مجلة عالم الذرة

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 ومعبراً عن المضمون.
- ◀ يلي ذلك ملخص، لا يتجاوز مئة وخمسين كلمة، باللغة العربية وملخص باللغة الإنجليزية، على صفتين 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.
- ◀ الجدول: 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:

- ▶ Lodhi MA, Ye GN, Weeden NF et al. (1994). A simple and efficient method for DNA extraction from grapevine cultivars and Vitis species. Plant Molecular Biology Reporter 12(1): 6-13.

الكتب:

- ▶ Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV (2015). Date Palm Genetic Resources and Utilization, vol 2. Asia and Europe. Dordrecht: Springer.

فصول في كتب:

- ▶ Haider N (2011). Identification of plant species using traditional and molecular-based methods, pp. 162-. In: Wild Plants: Identification, Uses and Conservation (ed. Davis RE). Nova Science Publishers, Inc., New York, USA.

أطروحات:

- ▶ Haider N (2003). Development and Use of Universal Primers in Plants. PhD thesis. The University of Reading, Reading, UK.

مراجع الانترنت:

- ▶ Beauchamp FJC (2016). The history and origin of coffee. Available at: www.fjcollao.com/documents/HistoryOfCoffee.pdf (accessed 25 June 2019).

- ◀ 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 29.7×21 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 أماكن 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 المنضد 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 التقيد بمضمون هذا التعميم تلافياً لكل إشكال قد يواجه كادر التنضيد. وسنورد في طيه مثلاً 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 تجري 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 وتوخيماً من الإخراج المتناسق والموحد فإننا نأمل التقيد 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 مبين أدناه:

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

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

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

- مثال: ولذلك فإن علماء المناة 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 المتصلة 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 الشرح والتفسير دون ترك فراغ قبلها.

- 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 التّعجب أو النداء أو ما يدل على الفرح أو الألم أيضاً دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

النقاط المتتالية (...): تدل على أن الكلام فيه حذف أو أنه 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 خطآن 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 -الجيل الرابع من المفاعلات- مبادرة مهمة.
- علامة الاقتباس ("..."):** وهي قوسان صغيران يوضع بينهما ما ننقله من كلام بنصّه دون تغيير.
- مثال: أنجز الباحث مقالاً بعنوان "سوق اليورانيوم ومصادره" وهو في طريقه إلى النشر.
- الواصلة الصغيرة (-):** توضع في أول الجملة وبأول السطر للدلالة على تغير المتكلم 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-معديّة.
- وكذلك توضع بين رقمين.
- مثال: انظر المراجع 154-161.
- الأقواس {...} [...] (...):** عند كتابة أي من هذه الأقواس يُترك 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.
- الشَّرْطَةُ المائِلة (/): لا يُترك 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: Syria, superconductivity). 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 إلا 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 وودعتهم في المطار).
- أما في حالة الأسماء، نضع حرف الواو (و) منفصلاً بين اسم المؤلف وبين الاسم الذي يليه (مثال: طريف شرجي و زهير أيوبي و فاطر محمد).
- في حالة (أو)، ينبغي ترك فراغ بعدها (مثال: حُدِّت 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%).
- الوحدات (ميغاهرتز، سم، كيلوواط، ...):** إذا كانت بالعربية نضعها على يسار الرقم وإذا كانت بالإنكليزية نضعها على يمين الرقم ونترك فراغاً بينها وبين الرقم ونذكر مثلاً: (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.



تقنية الزرع الأيوني وتطبيقاتها في الصناعة

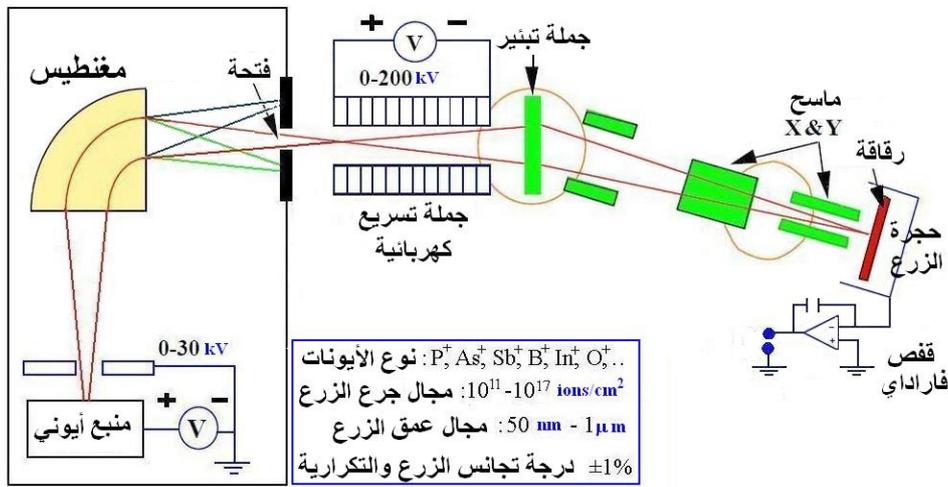
ملخص

نعرض في هذه المقالة لمحة موجزة عن مكونات مُسرّع الزرع الأيوني والحزم الأيونية وأهم وسائل عملية الزرع الأيوني في المواد الصلبة المختلفة، كما نقدم موجزاً عن استثمار تقانة الزرع الأيوني في التطبيقات المختلفة، مثل: استخدامها في تصنيع العناصر الإلكترونية المختلفة ومحاكاة التخریب الإشعاعي في السبائك ومعالجة سطوح المواد الصلبة المختلفة لتعديل بنية سطوحها بهدف تحسين خواصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية. كما نوضح في هذه المقالة أهم مميزات تقانة الزرع الأيوني وبعض مثالبها.

الكلمات المفتاحية: التخریب الإشعاعي، الرقائق الإلكترونية النانوية، الزرع الأيوني، العناصر الإلكترونية، المُسرّعات، تعديل الطبقات السطحية.

مقدمة

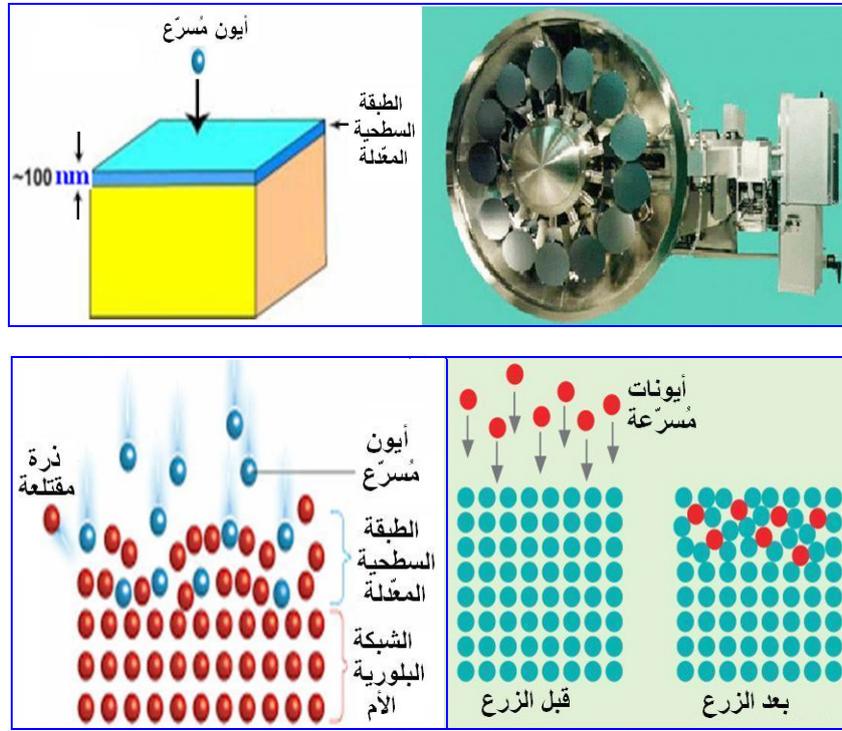
تُعد تقنية الزرع الأيوني ion implantation technique إحدى التقنيات الفعالة لتعديل بنية الطبقات السطحية لمجموعة كبيرة من المواد الصلبة، وتعتمد هذه التقنية على إشابة الطبقة السطحية لعينة صلبة بحزمة أيونات محددة النوع؛ إذ يمكن الزرع بطيف واسع من الأيونات من أيونات الهيدروجين H^+ حتى أيونات اليورانيوم U^{+} وتكون مُسرَّعة بطاقة محددة بدقة ضمن المجال 0.5–200 keV وبتركيز ذريّ معين بدقة ضمن المجال 0.5–50 at.% مع طيف توزع محدد بدقة في عمق هذه الطبقة السطحية وعند أية درجة حرارة ضمن حجرة مخلاة من الهواء، وتُمكن هذه التقانة من إشابة سطح مادة ما بأيّ عنصر والتغلب على الحواجز الترموديناميكية المختلفة مثل حد الانحلال في المادة ومعامل الانتثار وغيرها؛ مما يُمكن من تشكيل العديد من الأطوار السطحية التي لا يمكن تحضيرها باستخدام طرائق السباكة التقليدية عند درجة الحرارة العادية. أُجريت أولى تجارب الزرع الأيوني في مختبرات بل Bell Labs في عام 1950 م. وعموماً يجري زرع سطوح المواد باستخدام حزمة الأيونات المُسرَّعة الصادرة عن منبع أيوني ion source أو مُسرَّع أيوني ion implanter كما هو مبين في الشكل 1.



الشكل 1. مخطط مكونات مُسرَّع الزرع الأيوني.

يتكوّن مُسرَّع الزرع الأيوني من منبع أيوني يعمل على تأيين الذرّات، إضافة إلى منظومة أولية لتسريع الأيونات بواسطة حقل كهربائي في المجال 0-30 kV ومنظومة فصل كتلي للأيونات mass separation مكونة من مغناطيس كبير يؤدي مرور الحزمة الأيونية عبره إلى انعطافها بزوايا 90° وفتحة حاجز resolving aperture لانتقاء حزمة الأيونات المطلوب زرعها ومنظومة ثانوية لتسريع هذه الأيونات المنتقاة باستخدام حقل كهربائي في المجال 0-200 kV وحجرة chamber زرع مُخلّاة للدرجة 10^{-6} Torr أو أفضل، كما يتضمن المُسرَّع الأيوني قفص فاراداي Faraday cup لقياس شدة التيار الأيوني I_{ion} وتقدير جرعة الزرع الأيوني Φ ، إضافة إلى منظومة ماسحة scanning system للحزمة الأيونية على سطح العينات المراد زرع سطحها والمثبتة على قرص دوار ضمن حجرة الزرع؛ إذ تعمل هذه المنظومة على تجانس توزع الزرع الأيوني على سطح العينات، وعملياً تتراوح قيمة شدة التيار الأيوني في أغلب المُسرَّعات الأيونية ضمن المجال 1-10 μA، كما صُمّمت بعض المُسرَّعات الأيونية لتُصدر حزمةً أيونية بشدة تيار أيوني عالية في المجال 1-5 mA وأخرى لتُصدر حزمةً أيونية عالية الطاقة في المجال 1-10 MeV، ويسلك كل أيون مزروع مساراً عشوائياً في الطبقات السطحية للعينة حتى تتخادم طاقته نتيجة تفاعله مع إلكترونات ذرّات الطبقات السطحية ونواها، ويؤدي التخادم السريع لطاقة الأيونات المزروعة ضمن الطبقات السطحية إلى حدوث عمليات فيزيائية-كيميائية معقدة؛ تشمل تصادمات عشوائية مرنة ولا مرنة للأيونات المزروعة مع ذرّات الطبقات السطحية للعينة المعالجة وإشابة وتسخين موضعي لمنطقة الزرع وتذرية أو رشاشة sputtering وغيرها، كما هو مبين في الشكل 2، كما يتشكل في هذه الطبقات السطحية المزروعة طيف واسع من العيوب البنيوية مثل: الفجوات vacancies والحشوات interstitials الذرية وتجمعاتها والفقاعات bubbles الغازية أو المسام voids وأطوار جديدة وغيرها. تتوزع الأيونات المزروعة في الطبقات السطحية غالباً وفق توزع غوص Gaussian، ويعتمد توزع الأيونات المزروعة في الطبقات السطحية على وسائط عملية الزرع مثل: كتلة الأيونات المُسرَّعة وطاقاتها وزاوية ورودها وكثافة شدة تيار الحزمة الأيونية وجرعة الزرع الأيوني ودرجة حرارة العينات خلال عملية الزرع ودرجة الخلاء في حجرة الزرع وغيرها، كما يعتمد على كثافة الطبقات السطحية للعينة المعالجة. يمكن أن يؤدي

أي اختلاف في هذه الوسائط إلى الوصول إلى نتائج مختلفة في بنية الطبقات السطحية المزروعة وخواصها، كما طُوِّرت طريقة الزرع الأيوني عند درجات حرارة عالية؛ مما يؤدي إلى التخلص من أغلب العيوب البنيوية المتشكلة في بنية الطبقات السطحية خلال عملية الزرع، إضافة إلى إعادة تبلور الأطوار المتشكلة في بنية هذه الطبقات السطحية.



الشكل 2. مخطط عملية الزرع الأيوني في الطبقات السطحية للمينة وتثبيت العينات على قرص دوار ضمن حجرة الزرع وأهم العمليات الجارية بين الحزمة الأيونية وذرات الطبقة السطحية.

تُعرف جرعة الزرع الأيوني $\Phi(\frac{ions}{cm^2})$ ؛ بأنها عدد الأيونات التي تتوغل في وحدة السطح، ويمكن أن تُقدر باستخدام العلاقة التالية:

$$\Phi(\frac{ions}{cm^2}) = \frac{Q}{e} = \frac{I_{ion}(A) \times t(sec)}{1.6 \times 10^{-19} (Coulomb)}$$

حيث Q كثافة الشحنات المتراكمة في وحدة السطح، A مساحة مقطع الحزمة الأيونية، t زمن عملية الزرع، e شحنة الإلكترون.

تتراوح قيم جرع الزرع الأيوني اللازمة لتعديل بنية المواد الصلبة المختلفة ضمن المجال $10^{11} - 10^{17} \frac{ions}{cm^2}$ ، وتتناسب فترة إنجاز عملية الزرع طردياً مع زيادة كثافة شدة تيار الحزمة الأيونية؛ فمثلاً تستغرق عملية الزرع بأيونات الفسفور P^+ $10^{16} \frac{ions}{cm^2}$ بجرعة من أجل شدة تيار أيوني $1 \mu A$ زمن نحو 1600 sec، في حين تستغرق نحو 3.2 sec عند استخدام تيار أيوني شدته $500 \mu A$ ، من ناحية أخرى يتراوح عمق توغل الأيونات المزروعة في الطبقات السطحية ضمن المجال $1 \mu m - 50 nm$ وفقاً لطاقة الأيونات ونوعها وكثافة مادة العينة. يمكن تقدير طيف توزيع الأيونات المزروعة في الطبقات السطحية المعالجة بالعلاقة التالية:

$$N(x) \left(\frac{at}{cm^3} \right) = \frac{\Phi(\frac{ions}{cm^2})}{\sqrt{2\pi} \times \Delta R_p} \times \exp\left(-\frac{(x - R_p)^2}{2 \times \Delta R_p^2}\right) = N_p \left(\frac{at}{cm^3} \right) \times \exp\left(-\frac{(x - R_p)^2}{2 \times \Delta R_p^2}\right)$$

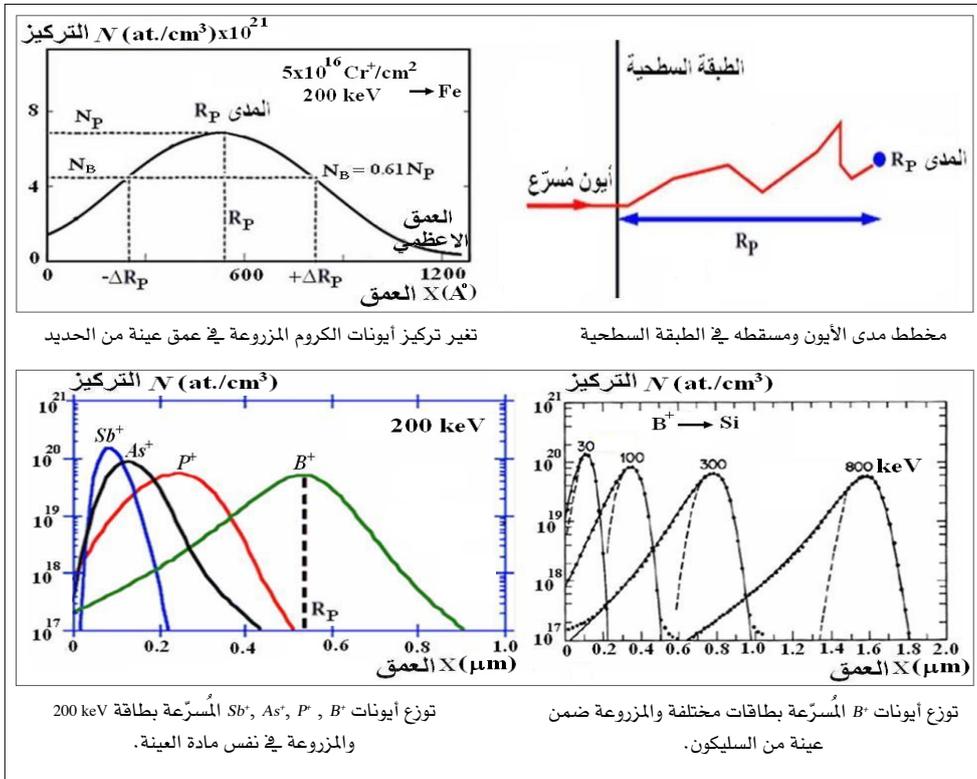
حيث x عمق التوغل، R_p مدى range عمق توضع ذروة التركيز الأعظمي للأيونات المزروعة، كما هو مبين في الشكل 3، ΔR_p الانحراف المعياري straggling Range، N_p التركيز الأعظمي للأيونات المزروعة في الطبقة السطحية عند العمق R_p .

صُممت بعض البرامج مثل Stopping and Range of Ions in Matter (SRIM) لمحاكاة عملية زرع أي أيون في عمق أي طبقة سطحية للعينة وتحديد طيف توزيع هذه الأيونات المزروعة في الطبقات السطحية للعينة، وقد ساهم فهم الأسس الفيزيائية-الكيميائية لتفاعل الحزم الأيونية

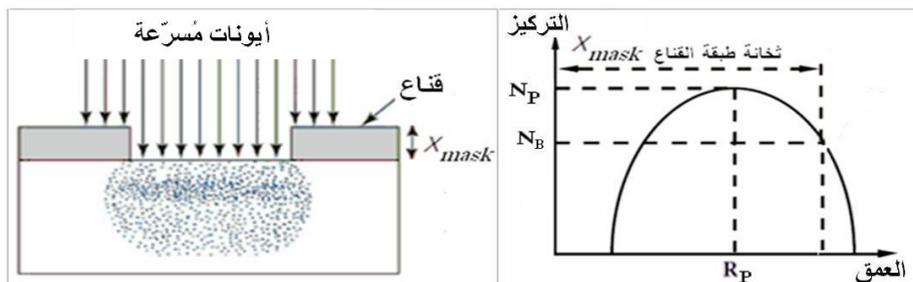
مع مكونات سطوح العينات المزروعة في استثمار الحزم الأيونية في الكثير من التطبيقات مثل تصنيع العناصر الإلكترونية المختلفة وهو أكثر التطبيقات مساهمة في تقدم الصناعات الإلكترونية المختلفة في العالم وأيضاً محاكاة التخریب الإشعاعي في المواد النووية المختلفة ومعالجة سطوح المواد الصلبة لتعديل بنية طبقاتها السطحية بهدف تحسين خواصها وغيرها.

استخدام تقانة الزرع الأيوني في تصنيع العناصر الإلكترونية

تعد عملية الزرع الأيوني في المواد نصف الناقلة مهمة جداً في تصنيع العناصر الإلكترونية المختلفة، فمثلاً يؤدي زرع أيونات البور B^+ في رقاقة سيليكونية إلى تحويلها إلى نصف ناقل مشاب من النوع p ، وبالمثل يؤدي زرع أيونات الفسفور P^+ إلى تحويل الرقاقة السيليكونية إلى نصف ناقل مشاب من النوع n ؛ لذلك يعد الزرع الأيوني تقنية فريدة لإشابة مناطق صغيرة أبعادها من رتبة الميكرون أو أقل من سطح رقاقة wafer نصف ناقلة وتشكيل عنصر إلكتروني من أجل ذلك، وتستخدم لحجب المناطق من سطح الرقاقة غير المرغوب في زراعتها أقنعة mask كامدة للزرع الأيونية، ومن أهم المواد المستخدمة كأقنعة في هذا المجال نذكر نتريد السيليكون Si_3N_4 أو أكسيد السيليكون SiO_2 وينبغي أن يكون سُمك طبقة القناع X_{mask} كبيراً كفاية بحيث يساوي العمق الأعظمي لتوغل الأيونات المزروعة في الرقاقة، ويمكن تقدير سُمك القناع من العلاقة التالية $X_{mask} = R_p + \Delta R_p \times \sqrt{(N_p / N_B)}$ ، كما هو مبين في الشكل 4.

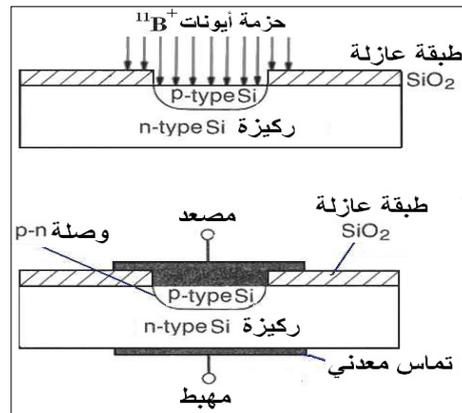
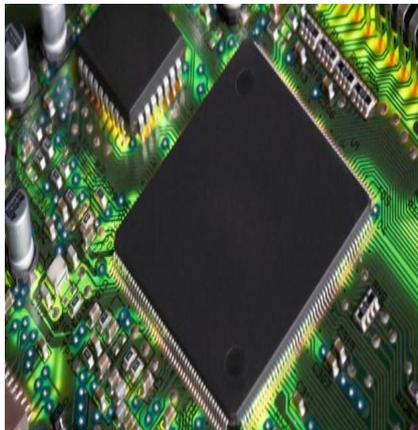


الشكل 3. بعض طيوف توزع الأيونات المُسرَّعة بطاقات مختلفة في الطبقات السطحية المزروعة.



الشكل 4. استخدام قناع لحجب مناطق من سطح الرقاقة غير مرغوب بزراعتها وتقدير X_{mask} .

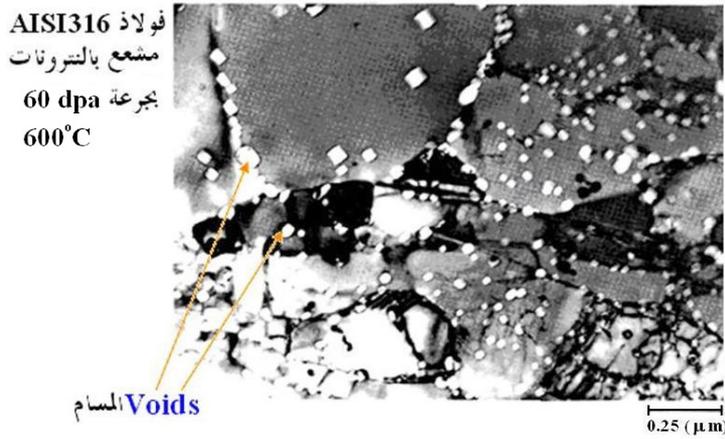
يعد الـ diode من أبسط العناصر الإلكترونية وهو يُحضّر بطريقة الزرع الأيوني في مخابر عالية النقاظة وفق المرحلتين التاليتين؛ إذ تتضمن الأولى تنميش منطقة صغيرة أو مناطق مراد زرعها من سطح الرقاقة نصف الناقلية بطريقة الليثوغرافيا lithography، وتشمل المرحلة الثانية إشابة هذه المناطق بتقانة الزرع الأيوني بتركيز وعمق محددين لتشكيل الـ diode المطلوب في هذه المنطقة من الرقاقة؛ أي تشكيل الوصلة p-n كما هو مبين في الشكل 5، ويؤدي تكرار هذه العملية في مناطق أخرى من الرقاقة نصف الناقلية إلى تحضير ديودات أخرى أو ترانزستورات لتشكيل دارات متكاملة (IC) integrated circuit. ويتحدد عدد عمليات تكرار عملية الزرع اللازمة لتحضير دارة متكاملة IC وفقاً لتعقيدها، فمثلاً جرى في سبعينيات القرن الماضي إنجاز ست عمليات زرع في رقاقة نصف ناقلية، وفي تجربة أخرى جرى تشكيل 2300 ترانزستور p-n-p في رقاقة لتصنيع أول معالج processor، وفي عام 2010 م بلغ عدد الترانزستورات MOSFET المُشكّلة في معالج Intel نحو نصف مليار ترانزستور؛ مما يدل على مدى التقدم الهائل في صناعة مثل هذه العناصر الإلكترونية، من ناحية أخرى توجد أسرار تقنية كثيرة مرتبطة بمراحل تحضير العناصر الإلكترونية المختلفة وأمثلة وسائط تحضيرها وشروط معالجتها للوصول لأعلى جودة وأفضل أداء، فمثلاً طوّرت شركة Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) التايوانية طريقتها الخاصة في تحضير الرقائق الإلكترونية والمعالجات النانوية (أبعادها نانوية من رتبة 5 nm) وهي أكثر تطوراً وتقدماً بجيل على الأقل مقارنةً مع منتجات الشركات العالمية الأخرى المصنعة للعناصر الإلكترونية، مثل AMD, IBM, Intel, ...، وتستخدم منتجات هذه الشركة التايوانية في تصنيع مكونات الأجهزة الإلكترونية والكهربائية المحضرة في أغلب الشركات العالمية، بدءاً من الهواتف الذكية مروراً بالأجهزة المنزلية والعلمية والطبية وصولاً للسيارات والطائرات وغيرها، ومن ناحية أخرى ساعدت هذه الشركة في تحويل تايوان من جزيرة زراعية فقيرة إلى واحدة من أهم دول العالم الصناعية وأغناها اقتصادياً، وما زالت الأبحاث مستمرة في مخابر هذه الشركة والمخابر العالمية لتصغير أبعاد الرقائق الإلكترونية والمعالجات إلى رتبة 2 nm~ وأمثلة وسائطها لزيادة كفاءتها حيث يساعد حقن مثل هذه الرقائق الإلكترونية النانوية في الجسم الحي في الكشف عن تركيز الجزيئات الحيوية في خلاياه مع الزمن للاستفادة منها في التشخيص الطبي والأبحاث البيولوجية. ولكن من ناحية أخرى، يؤدي تصغير حجم هذه العناصر الإلكترونية إلى زيادة كثافة التدفق الحراري الصادر عنها، الأمر الذي يؤثر سلباً على سلوكها وكفاءتها، مما يتطلب تبديد حرارتها وتبريدها. وتستخدم حالياً لهذا الغرض أنظمة تبريد مختلفة، مثل وحدات التبريد الكهروحراري thermoelectric نصف ناقلية، والتي تُسمى مبردات بلتير Peltier أو غيرها.



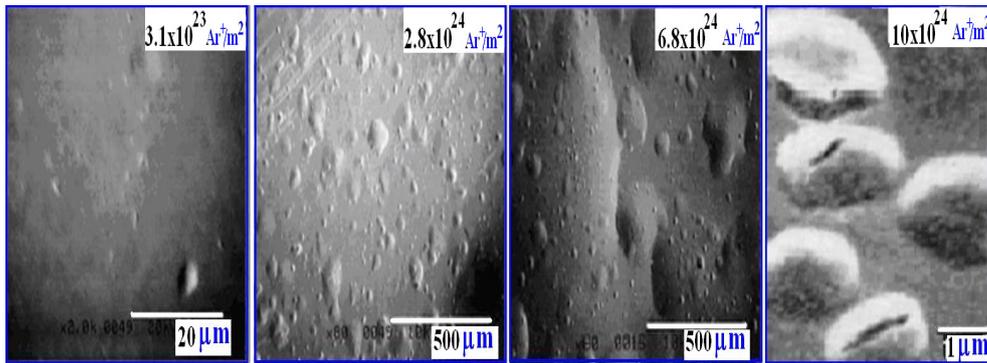
الشكل 5. مخطط تحضير الوصلة p-n بتقانة الزرع الأيوني وشكل الدارات المتكاملة IC وصور لمخابر عالية النقاظة للتحكم في عمليات الزرع الأيوني.

استخدام تقانة الزرع الأيوني في محاكاة التخریب الإشعاعي في المواد النووية

تتعلق التغيرات في بنية السبائك الإنشائية المشععة؛ أي التخریب damage الإشعاعي بإزاحة ذرات هذه السبائك المشععة من مواقع توازنها في شبكتها البلورية، وعملياً يُعبر عن معدل عدد الإزاحات الذرية في بنية السبائك بوحدة (dpa) displacement per atom، وتكافئ الوحدة 1 dpa على سبيل المثال تشعيع سبيكة الفولاذ AISI316 بالنترونات بجرعة $2 \times 10^{21} \frac{n}{cm^2}$ ، في حين تكافئ الوحدة 60 dpa تشعيع سبيكة الفولاذ في قلب مفاعل نووي لنحو 25 عاماً كما هو مبين في الشكل 6، والذي يؤدي إلى حدوث ظاهرة التورم swelling الإشعاعي؛ أي تشكل فقاعات غازية أو مسام في بنية هذه السبيكة، ويمكن محاكاة ظاهرة التورم الإشعاعي في بنية السبائك المختلفة باستخدام الحزم الأيونية، ولكن خلال زمن قصير جداً يبلغ عدة ساعات، ويتم ذلك بزرها بأيونات خاملة مثل الأيونات Ar^+ بطاقة 30 keV أو بأيونات النيكل Ni^+ بطاقة 5 MeV عند جرع مختلفة، وتساعد محاكاة ظاهرة التورم الإشعاعي باستخدام الحزمة الأيونية في دراسة تأثير وسائط التشعيع وبنية السبيكة على تشكل ظاهرة التورم في بنيتها وفهم آلية تشكلها وإيجاد سبل خفض احتمالية تشكلها، كما تمكن تقانة الزرع الأيوني من محاكاة التأثيرات المختلفة لتفاعلات الأشعة النووية مع السبائك المختلفة، مثل ظاهرة التبر blistering الإشعاعي باستخدام حزم مُسرَّعة من أيونات Ar^+ كما هو مبين في الشكل 7 وظاهرة التمتين hardening الإشعاعي وظاهرة القصفة embrittlement الإشعاعية وغيرها.



الشكل 6. التورم الإشعاعي في بنية الفولاذ AISI316 المشع بالنترونات بجرعة 60 dpa.

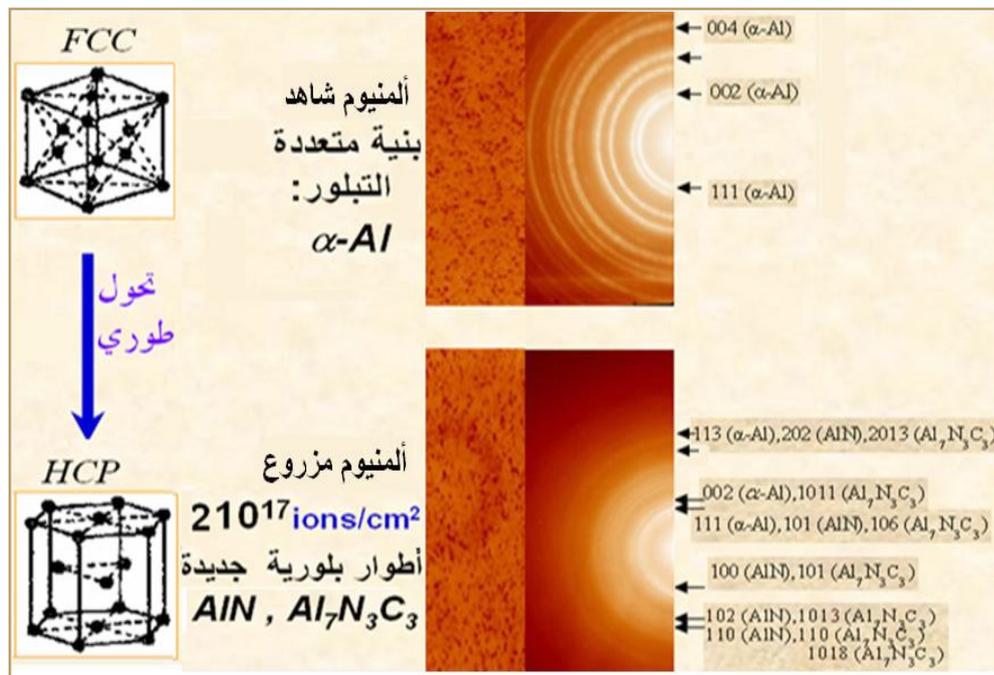


الشكل 7. صور مجهرية لبثور في سبيكة المولبيديوم المزروعة بأيونات Ar^+ بطاقة 36 keV.

استخدام تقانة الزرع الأيوني لتحسين متانة السطوح ومقاومتها للتآكل والاهتراء

عموماً يؤدي زرع سطوح الفولاذ بأيونات فعالة كيميائياً مثل: B^+ و C^+ و N^+ بطاقة في المجال 10-100 keV وكثافة تيار أيوني $1-3 \mu A/cm^2$ إلى تحسين خواصه الميكانيكية، فيمكن أن تزداد قساوته بنحو 50-500% ومقاومته للاهتراء بنحو 10 مرات وتحسن مقاومته للتآكل المنتظم والنقري pitting، كما تُزرع سطوح الأدوات الطبية المستخدمة في جراحة العظام orthopedics بأيونات النتروجين لتحسين متانتها ومقاومتها

للتآكل والاهتراء، كما أن للطبقات التريديية المحضرة بطريقة الزرع الأيوني مثل نتريد الألمنيوم AlN أو نتريد كربيد الألمنيوم $Al_7N_3C_3$ الكثير من التطبيقات في مجال البصريات والصناعات الإلكترونية والطاقات المتجددة، ويمكن تحضيرها من زراعة سطح الألمنيوم بأيونات النتروجين بجرعة $2 \times 10^{17} \frac{\text{ions}}{\text{cm}^2}$ كما هو مبين في الشكل 8، كما تستخدم الحزم الأيونية الصادرة عن منابع أيونية، مثل منبع كوفمان Kaufman خلال عمليات طلاء سطوح العينات بهدف خلط mixing جزء من طبقة الطلاء مع ذرات الطبقة السطحية للركيزة أو العينة، كما هو مبين في الشكل 9، كما تستخدم تقانة الزرع الأيوني لدراسة اهتراء أو تآكل سطوح القطع والأدوات الميكانيكية خلال عملها؛ وذلك من خلال زرع أيونات مُشعة في طبقتها السطحية وتشكيل ما يُسمى الطبقة السطحية المنشطة إشعاعياً (TLA) thin layer activation، فمثلاً يمكن مراقبة اهتراء سطح قطعة فولاذية عن طريق زرع سطحها بحزمة من أيونات الهدروجين عالية الطاقة (~5 MeV)، حيث تتفاعل أيونات الهدروجين مع الحديد وفق التفاعل $^{56}Fe(p,n)^{56}Co$ التالي مُشكلة ذرات الكوبالت ^{56}Co المُصدرة لأشعة غاما، ويستخدم كاشف أشعة غاما للكشف عن نسبة ذرات الكوبالت المتشكلة في هذه القطعة، يتناسب سُمك الطبقة السطحية المهترئة من القطعة الفولاذية مع تناقص النشاطية الإشعاعية النسبية للقطعة، كما هو مبين في الشكل 10، بسبب تحرر جزء من ذرات الكوبالت المشع ^{56}Co إلى الوسط المحيط نتيجةً لاهتراء الطبقة السطحية للقطعة.



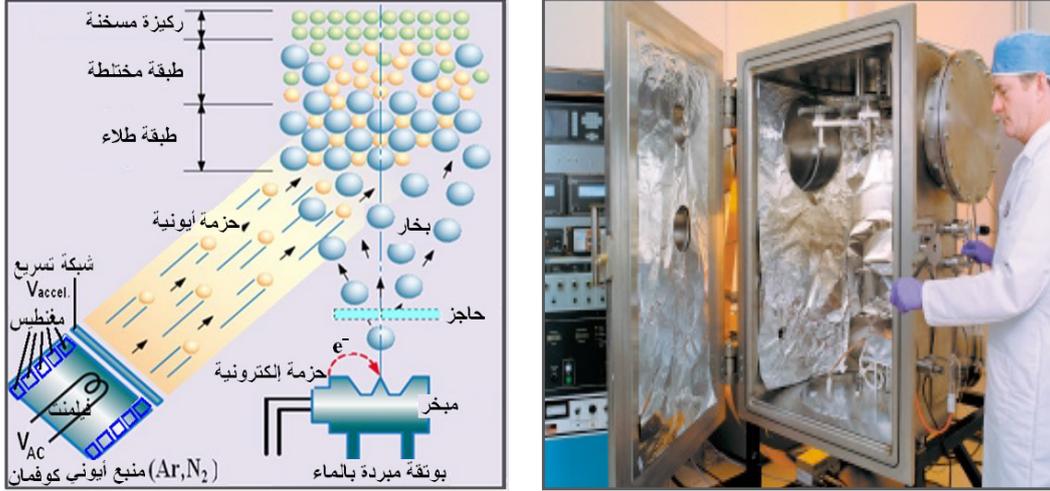
الشكل 8. تحليل حلقات الانعراج للألمنيوم الشاهد والمزروع بالنتروجين بجرعة $2 \times 10^{17} \frac{\text{ions}}{\text{cm}^2}$.

كما ظهر في الآونة الأخيرة توجه علمي جديد؛ يتلخص بزراعة سطوح المواد بنوعين أو أكثر من الأيونات المختلفة معاً، مثل الزرع بأيونات الكربون والنتروجين $N^+ + C^+$ أو أيونات الفسفور والكروم $Cr^+ + P^+$ أو أيونات البور والكربون والنتروجين $N^+ + C^+ + B^+$ أو زرع سطوح العينات بأيونات مختلفة النوع ولكن بشكل متعاقب بهدف تشكيل أطوار سطحية جديدة لتحسين متانة سطوحها ومقاومتها للتآكل والاهتراء، ومازال هذا الموضوع في طور الدراسة والبحث. وعلى الرغم من هذه المحاسن الكثيرة لتقنية الزرع الأيوني إلا أن لها بعض العيوب أو المثالب نذكر منها:

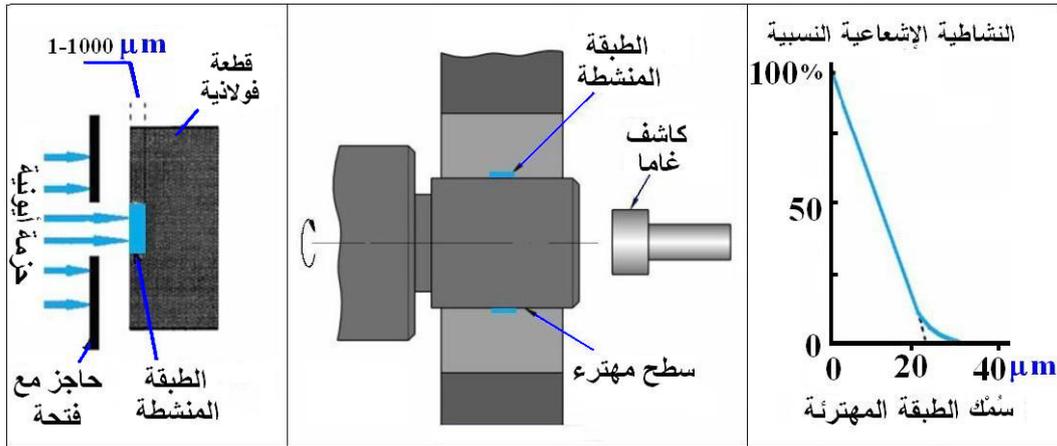
* أنها تستخدم لمعالجة سطوح صلبة صغيرة نسبياً $2 \times 2 \text{ cm}^2$ وطبقات سطحية فقط.

* يلزم لتنفيذ عملية الزرع الأيوني استخدام أجهزة معقدة جداً مع خلاء من رتبة 10^{-6} Torr .

* تستثمر من قبل كادر فني متدرب وكلفة تشغيلها عالية.



الشكل 9. مخطط عملية ترسيب طبقة طلاء مع تسليط حزمة أيونية لخلط ذرات الطبقة السطحية للركيزة أو العينة مع ذرات طبقة الطلاء خلال عملية طلي سطح العينة.



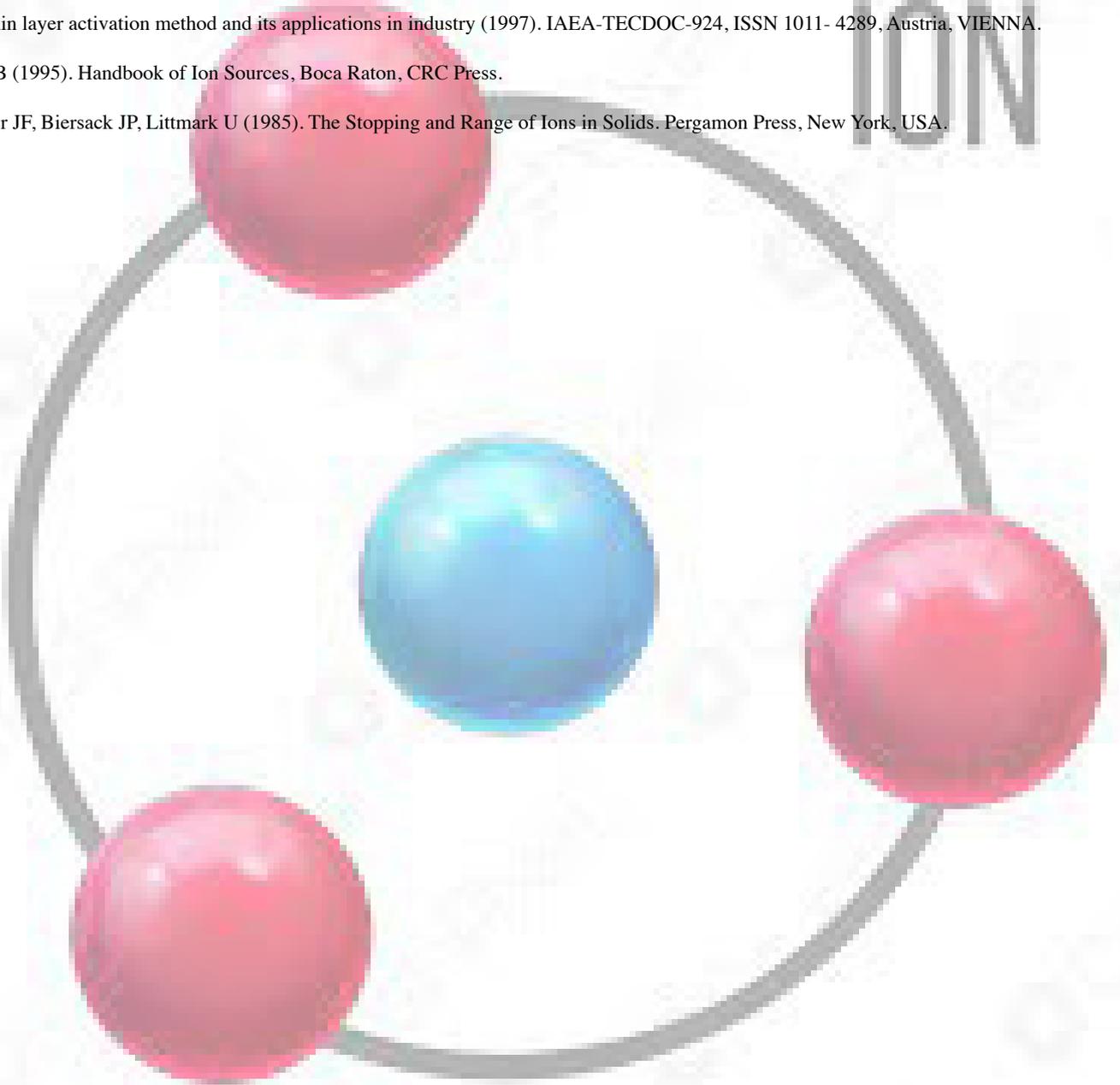
الشكل 10. مخطط زرع ذرات مُشعة في الطبقة السطحية لقطعة فولاذية، ودراسة اهترائها من خلال تغير نشاطها الإشعاعي النسبي كتابع لسُمك الطبقة السطحية المهترئة.

المراجع

- Current MI (2012). Ion Implantation for fabrication of semiconductor devices and materials, in Industrial Accelerators and Their Applications, Hamm RW, Hamm ME (ed.), World Scientific, pp. 9-56.
- Goorsky M (2012). Ion implantation, In Tech, Croatia.
- Gospodinov D, Hdjiiski V, Dishliev S, Mare S (2021). Thin layer activation method. Potential applications and benefits for the food processing industry, Internat. Sci. J. Machine Technologies Materials, Issue 7, pp. 256.
- Hong X (2001). Introduction to Semiconductor Manufacturing Technology, Pearson Prentice Hall.
- Ion Implantation Science and Technology (1984), Ziegler J F (ed.), Academic press Inc. USA.
- Nastasi M, Mayer JW (2006). Ion Implantation and Synthesis of Materials, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Rimini E (1995). Ion Implantation: Basics to device fabrication, Springer science, business MEDIA, LLC.
- Ryssel H, Ruge I (1986). Ion Implantation; John Wiley and Sons: New York, USA.

- Sigmund P (1972). Collision theory of displacement damage, ion ranges and sputtering. Rev Roum Phys, 17.
- Soukieh M (2004). Structural-Phase Changes in Al6061-T6 Alloy during High Dose N_2^+ implantation. Radiation Effects & Defects in Solids, 159: 73-79.
- The thin layer activation method and its applications in industry (1997). IAEA-TECDOC-924, ISSN 1011- 4289, Austria, VIENNA.
- Wolf B (1995). Handbook of Ion Sources, Boca Raton, CRC Press.
- Ziegler JF, Biersack JP, Littmark U (1985). The Stopping and Range of Ions in Solids. Pergamon Press, New York, USA.

ION



◀ تأليف: د. محمد سوقية، قسم الهندسة النووية، هيئة الطاقة الذرية السورية.



الذكاء الاصطناعي لتسريع التقنيات النووية وتطبيقاتها

ملخص

يشير الذكاء الاصطناعي إلى مجموعة من التقنيات التي تنتج أنظمة قادرة على تتبع المشكلات المعقدة بطرق تشبه المنطق والاستدلال البشري. وتسهم تقنيات التعلم الآلي في تعلم كيفية إكمال مهمة معينة بناءً على كميات كبيرة من البيانات، كما تتطور تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل كبير ويمكنها بالفعل فرز وتفسير كميات هائلة من البيانات من مصادر مختلفة لتنفيذ مجموعة واسعة من المهام والمساعدة في مواجهة أكثر التحديات إلحاحاً في العالم، ويمتلك الذكاء الاصطناعي إمكانات هائلة لتسريع التطور التكنولوجي في العديد من المجالات النووية، من الطب النووي إلى إدارة الموارد المائية ثم العلوم والصناعة النووية.

الكلمات المفتاحية: الحماية من الإشعاع، صحة الإنسان، الذكاء الاصطناعي، السلامة النووية، الصناعة النووية، تسريع التطبيقات النووية.

مقدمة

كان لطرق الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML) machine learning تأثيرات كبيرة في العلوم والتكنولوجيا في السنوات الأخيرة، ويمكن لأساليب توليد النماذج من مجموعات البيانات أو الخوارزميات المنطقية التي تحاكي جوانب الأداء البشري أن تسرع مجالات التطبيقات النووية والعلوم والتكنولوجيا للمساهمة في الأمان والصحة والازدهار، ويمكن الاستفادة من استخدام الذكاء الاصطناعي في العديد من مجالات التطبيقات النووية؛ ففي صحة الإنسان تشمل هذه المجالات البحوث السريرية وعلم الأوبئة والتغذية والتصوير الطبي والعلاج الإشعاعي وتعليم المهنيين الصحيين، كما تُستخدم الأدوات القائمة على الذكاء الاصطناعي لتسهيل المهام السريرية المختلفة في التصوير والتشخيص بمساعدة الحواسيب في برامج التصوير الشعاعي للثدي وفحص سرطان الرئة والتنبؤ بالجرعات في إجراءات الطب النووي، وقد تزيد طرق التعلم الآلي على وجه الخصوص من كفاءة ودقة تحليل التصوير المقطعي المحوسب ومسح امتصاص الطاقة المزدوجة لتكوين الجسم وتحليل العظام، ويمكن أن يؤدي تطبيق أساليب الذكاء الاصطناعي على التقنيات النووية والتقنيات ذات

الصلة في الأغذية والزراعة إلى التقدم الكبير وتحسين الكفاءة في تحسين الإنتاج الزراعي وتطوير المنتجات الغذائية وإدارة سلاسل التوريد وسلامة الأغذية ومراقبة أصالة الأغذية. أما في قطاع المياه والبيئة يمكن للذكاء الاصطناعي المساعدة في توجيه السياسات للتخفيف من مشاكل المياه في العالم، ومن المتوقع أن يؤدي تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على الهيدرولوجيا والعلوم البيئية إلى تحسين تحديد الأنماط وتمكين التنبؤات النموذجية في ظل مناخ متغير. وفي مجال الطاقة النووية يمكن أن نستفيد في الصناعة من الذكاء الاصطناعي في مجالات الأتمتة وتحسين التصميم وتحليلات البيانات والتنبؤ واستخراج الرؤى، حيث تركز الجهود الحالية على نقل تقنيات الذكاء الاصطناعي من الدراسات التجريبية إلى التطبيقات الأوسع، ومن المتوقع في مجال الحماية من الإشعاع أن تؤدي تطبيقات الذكاء الاصطناعي مع دمجها في عمليات التحكم والمراقبة مثل قياس الجرعات الفردية للتعرض الخارجي إلى عمليات أسرع وأكثر مرونة وكفاءة مع إمكانية حدوث تحول تكنولوجي عميق في هذا المجال. وعلى وجه الخصوص يتيح الذكاء الاصطناعي محاكاة الإدراك البشري في تحليل عمليات العمل المعقدة وتفسيرها وفهما بما في ذلك التعرض للإشعاع.

الذكاء الاصطناعي في صحة الإنسان

تستخدم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التصوير الطبي لتسهيل المهام السريرية المختلفة مثل معالجة الصور والتشخيص بمساعدة الحاسب CAD للكشف عن الأمراض أو تسجيل الصور أو قياس الجرعات الخاصة بالمريض أو التنبؤ بالنتائج السريرية، وقد أظهرت خوارزميات الذكاء الاصطناعي بالفعل نتائج واعدة في برامج فحص سرطان الثدي والرئة، وفيما يتعلق بفحص سرطان الرئة تم تنفيذ تطبيقات الذكاء الاصطناعي كأداة بحث، ولاسيما الفحص باستخدام التصوير المقطعي المحوسب CT؛ حيث تم استخدام الذكاء الاصطناعي بنجاح كقارئ ثانٍ لاكتشاف العقيدات الرئوية، كما تم تطوير نماذج التصوير متعددة الوسائط بالذكاء الاصطناعي تجارياً لاستبعاد الأمراض المختلفة التي لا تقتصر على السرطان، خاصة في الصدر المقطعي المحوسب، كما تم تطوير تطبيقات التصوير بالذكاء الاصطناعي للكشف عن مضاعفات COVID-19 وتقييمها، وذلك بشكل أساسي للتعرف على أنماط الالتهاب الرئوي وأحياناً المرضية.

يتزايد استخدام الذكاء الاصطناعي في مجال التغذية، لا سيما في مجالات البحوث السريرية وبيانات التغذية والتغذية الشخصية. إن حالات الاستخدام الرئيسية للذكاء الاصطناعي فيما يتعلق بالتقنيات النووية هي تقنيات التصوير مثل قياس امتصاص الأشعة السينية ثنائي الطاقة DXA والتصوير المقطعي المحوسب، والتي توفر تكوين الجسم وبيانات صحة العظام، وبما أن التحليل اليدوي لعمليات الفحص يستغرق وقتاً طويلاً، مما يحد من التطبيق في بيئة سريرية، فيمكن أن يؤدي استخدام ML إلى أتمتة العملية، مما يسهل جمع بيانات أكثر دقة وجدوى في البيئات السريرية. يتمثل التحدي الذي يواجهه الذكاء الاصطناعي في تقنيات تقييم الغذاء في أن الأداء جيد فقط عند توافر جودة البيانات التي توجه العملية.

الذكاء الاصطناعي في قطاع الأغذية والزراعة

أدى التنفيذ الأخير لسياسات البيانات المفتوحة والأساليب المبتكرة للحصول على البيانات وتحسين توافرها إلى تمكين استخدام الذكاء الاصطناعي. إضافة إلى ذلك، يمكن أن يساعد الذكاء الاصطناعي في تحسين التنبؤ التحليلي بناءً على القياسات الكيميائية التقليدية، ودعم معايرة المعدات التحليلية، ومعايرة القياسات التي يتم إجراؤها عبر نوع المعدات نفسه ولكن من مزودين مختلفين، وهو أمر ضروري لإنشاء مجموعات البيانات الكبيرة اللازمة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي. كما يمكن أن توفر الأطر التعاونية آلية لدعم تطوير مناهج الذكاء الاصطناعي في علوم الأغذية والزراعة، وتحفيز التقدم من خلال التبادل متعدد التخصصات للخبرات والتجارب عبر المجالات والتخصصات العلمية لتبادل الخبرات ومناقشة دراسات الحالة داخل المجتمع وخارجه. ويمكن نشر أساليب الذكاء الاصطناعي التي تم تطويرها في إطار هذا التعاون على نطاق واسع، مما يؤدي إلى المزيد من التطورات من خلال اختبار وتوسيع نطاق التطبيقات المطورة، كما يمكن أن يوفر ذلك مزايا وكفاءات كبيرة في تحسين الإنتاج الزراعي وتطوير المنتجات الغذائية وإدارة سلاسل التوريد وسلامة الأغذية ومراقبة أصالتها وتسريع الوصول إلى أهداف التنمية المستدامة.

الذكاء الاصطناعي في دراسات الهيدرولوجيا والبيئة

لم يتم بعد استغلال الإمكانيات الكاملة للذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في هذا المجال، حيث تتوفر بيانات واسعة النطاق من الأقمار الصناعية والمركبات المحمولة جواً غير المزودة بالعاملين وشبكات الاستشعار؛ مما يوفر فرصة كبيرة لطرائق الذكاء الاصطناعي والتعلم

الآلي ليتم تطبيقها بالاقتران مع قواعد بيانات النظائر العالمية الحالية. ويمكن تحسين تطبيق أساليب الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي على دراسات المياه والبيئة من خلال التحكم في الإرشاد والجودة لقواعد بيانات النظائر الحالية وتنقيح مجموعات البيانات ذات الصلة مكانياً وزمناً وسد الفجوات في بيانات السلاسل الزمنية الحالية، ويمكن لقواعد البيانات هذه أن تسهل الوصول الفعال إلى واضعي نماذج أنظمة الأرض باستخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي. بهذه الطريقة يُمكن الجمع بين تقنيات النظائر والبيانات عالية التردد والاستشعار عن بعد والموارد مفتوحة المصدر والذكاء الاصطناعي من توجيه السياسات للتخفيف من مشاكل المياه في العالم، فضلاً عن القضايا المتعلقة بالبيئة وتغير المناخ، كما يمكن أن تؤدي الاتصالات المركزة بين جامعي البيانات وواضعي النماذج ومديري المياه إلى تسريع التقدم.

يتم تطبيق نظائر الماء في الدراسات الهيدرولوجية لتوفير معلومات عن وقت ومكان إعادة شحن المياه ومكان تخزينها وكيفية تقسيمها، كما تعمل هذه النظائر كمتتبعات بيئية وسطوح مكانية أساسية يمكن تطبيقها لتتبع الحيوانات المهاجرة والأصل الغذائي وظروف النمو السابقة للنباتات، ومن ثم فإن معرفة التركيب النظائري لمصادر المياه ذات الاستبانة الزمانية والمكانية العاليتين أمر بالغ الأهمية للعديد من مجالات العلوم البيئية وما بعدها. وتشمل مناهج ML المطبقة على بيانات النظائر البيئية ما يلي: الغابات العشوائية و XGBoost وآلات ناقلات الدعم والبرمجة الجينية وخرائط التنظيم الذاتي والشبكات العصبية التكرارية طويلة المدى للذاكرة قصيرة المدى (LSTM) long short-term memory.

الذكاء الاصطناعي في العلوم النووية

تهدف جهود الذكاء الاصطناعي في البيانات النووية إلى أتمتة أجزاء من قنوات البيانات النووية. إن مكونات القنوات التي ستستفيد أكثر من الذكاء الاصطناعي هي: التجميع والتقييم والتحقق من الصحة. وفي الوقت الحالي، يمثل الحاجز الأساسي أمام تقدم الذكاء الاصطناعي في البيانات النووية وجود واجهة يدوية مع مجموعات البيانات. يعد تطوير واجهات برمجة التطبيقات أمراً بالغ الأهمية للنهوض بالذكاء الاصطناعي في البيانات النووية. ولتجميع مجموعات البيانات من المنشورات يجري استكشاف تطبيقات معالجة اللغة الطبيعية، كما سيتيح وضع معايير لمجموعات البيانات المجمعّة تطويراً أسرع للذكاء الاصطناعي للبيانات النووية. ولتقييم مجموعات البيانات هذه هناك عمل نحو استخدام أساليب ML للاستدلال القوي مع تنبؤات عدم اليقين ذات المغزى. إضافة إلى ذلك، يمكن للذكاء الاصطناعي المساعدة في مهام التحقق من الصحة باستخدام تجارب متكاملة، والمساعدة في تصميم تجارب مستقبلية متكاملة للتحقق من الصحة.

ولتسريع الاكتشاف العلمي في الفيزياء النووية هناك جهود واسعة النطاق نحو تطبيقات الذكاء الاصطناعي. وتشمل هذه الجهود تشغيل المنشأة والتحسين التجريبي والتصميم ومعالجة البيانات والإدارة والتحليل والنمذجة النظرية، في حين أن مجتمع الفيزياء النووية قد حقق فعالية في أساليب الذكاء الاصطناعي لأكثر من خمسين عاماً، فقد شهدت السنوات الخمس الماضية زيادة هائلة في تطوير واستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. إن التطلع إلى الأمام سيكون الفهم الأعمق والاستفادة من أساليب الذكاء الاصطناعي التي تتضمن تحديداً كميًا قوياً لعدم اليقين أمراً بالغ الأهمية. كما سيساعد توجيه الجهود نحو دمج أساليب الذكاء الاصطناعي في أنظمة الوقت الفعلي، مثل عمليات التسريع وأنظمة الكاشف، على زيادة المخرجات العلمية من التجارب. ومن أجل تعزيز استخدام الذكاء الاصطناعي في الفيزياء النووية يجب إنشاء جهود تعليمية مستمرة ومنظمة وموارد مركزية منسقة. إضافة إلى ذلك، هناك حاجة إلى فرص تمويل لشغل وظائف متعددة التخصصات عند تقاطع الذكاء الاصطناعي والفيزياء النووية.

الذكاء الاصطناعي في أبحاث علوم الاندماج

أثبت الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي فعالتهما العالية في معالجة المشكلات المتعلقة في توقع اضطراب توكاماك والنماذج البديلة لتسريع الأدوات الحسابية والنماذج الهجينة التي تجمع بين النماذج القائمة على الفيزياء والنماذج القائمة على البيانات. يشير نجاح هذه الجهود في مجالات طاقة الاندماج المغنطيسي وأبحاث طاقة الاندماج بالقصور الذاتي إلى أن التطبيق الواسع النطاق لمثل هذه الأساليب قادر على دفع تحقيق الاندماج كمصدر تجاري للطاقة. في الوقت الحالي، يمكن للجهود العالمية في مجال البحث والتطوير أن تستفيد من خلال تمكين مشاركة أوسع في إيجاد حلول لمشكلات الاندماج من خلال الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي. يمكن تسهيل هذه المشاركة ذات النطاق الواسع من خلال توفير وصول أوسع إلى بيانات الاندماج المنسقة جنباً إلى جنب مع تحديد المشكلات الرئيسية القابلة للتعديل التي تعتمد على البيانات وتوفير معايير البيانات ذات الصلة وتوسيع القوى العاملة بخبرات مجال الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لمواجهة تحديات الاندماج من خلال التعليم والمشاركة ودعم تطبيق الخبرة الفنية على الاندماج من خلال مشاركة أوسع للخبراء.

الذكاء الاصطناعي في الطاقة النووية

تستفيد صناعة الطاقة النووية من الذكاء الاصطناعي في مجالات مثل الأتمتة وتحسين التصميم وتحليلات البيانات والتنبؤ واستخراج الرؤى. وتؤدي الأتمتة عبر الذكاء الاصطناعي إلى زيادة الموثوقية وتقليل مخاطر السلامة في المواقف شديدة الضغط أو المتطلبات، من ثم تقليل وقت تعطل العمليات الشائعة بسبب الخطأ البشري، كما تشمل الأمثلة أتمتة تحليل البيانات لعيوب قضبان التحكم واكتشاف العيوب في عمليات محطات الطاقة النووية NPPs، ويمكن أن يؤدي التحسين المدفوع بالذكاء الاصطناعي إلى زيادة كفاءة NPPs ويمكن أن يتيح تصميم العمليات المعقدة مثل عمليات التحكم الأساسية للأغراض التنبؤية، بحيث يمكن الاستفادة من النمذجة التنبؤية في NPPs لإبلاغ أنشطة الصيانة بشكل أفضل. ومع ذلك، فهي أداة غير مستغلة بالكامل في صناعة الطاقة النووية لأن الطول النموذجية يتم تبنيها حالياً على نطاق أوسع. أخيراً، تتيح الكمية الكبيرة من البيانات المتوافرة حول تشغيل محطات الطاقة النووية اكتشاف أفضل الممارسات الجديدة لتحسين كفاءة التشغيل والصيانة. ومع ذلك، غالباً ما يتم إعاقة نشر حلول الذكاء الاصطناعي بسبب صعوبة إثبات الامتثال للمعايير التنظيمية، حيث بدأ مجتمع الطاقة النووية في مواجهة هذه التحديات من خلال إنشاء لجان فرعية متخصصة لـ ISO/IEC تعمل على تعزيز النقل السريع لتقنيات الذكاء الاصطناعي من الدراسات التجريبية إلى التطبيقات الواسعة. وتبقى هذه التقنيات أداة في غاية الأهمية لحماية مصداقية وسلامة كل من النماذج والبيانات المستخدمة للتدريب وصنع القرار من هجمات الأمن السيبراني المحتملة.

الذكاء الاصطناعي في الحماية من الإشعاع والأمن النووي

ينصب تركيز الحماية من الإشعاع على تكامل متطلبات ومعايير السلامة في أماكن العمل المعرضة للإشعاع. يجري حالياً تحديد نطاق تطبيقات الذكاء الاصطناعي الحالية ودمجها في معايير السلامة. يمكن استغلال خوارزميات ML وأدوات الواقع الافتراضي لمواجهة تحديات محددة في الحماية من الإشعاع مثل تطبيقات المحاكاة وتخطيط الوظائف فيما يتعلق بحسابات جرعة العمال، أو تحسين الجرعة أثناء تصميم المرافق والأنشطة بما في ذلك المرافق النووية للامتثال للمتطلبات التنظيمية. يمكن أن تعزز الأبحاث التي يجرها الذكاء الاصطناعي الحماية من الإشعاع من خلال إنتاج خوارزميات وبرامج تحاكي الإدراك البشري في تحليل عمليات العمل وتفسيرها بما في ذلك التعرض للإشعاع. إضافة إلى ذلك، من خلال جمع البيانات الإشعاعية وتحليلها عبر العديد من الأجهزة المختلفة، سيتم تمكين عمليات أسرع وأكثر مرونة وأكثر كفاءة لإنشاء برامج الحماية من الإشعاع، مما يؤدي إلى تحول تكنولوجي عميق في هذا المجال.

هناك فوائد ومخاطر محتملة لاستخدام الذكاء الاصطناعي في تطبيقات الأمن النووي، وتشمل الأمثلة إمكانية تحسين الكشف عن المواد الخارجة عن الرقابة التنظيمية والاستجابة لها وإمكانية تحسين أنظمة حساب المواد النووية ومراقبتها وإمكانية تحديد التهديدات الداخلية والخارجية المحتملة في المنشآت النووية. ومع ذلك، قد يؤدي استخدام الذكاء الاصطناعي في أنظمة الأمن النووي إلى ظهور نقاط ضعف محتملة لا يمكن التعرف عليها على الفور لمشغل بشري أو لنظام الذكاء الاصطناعي نفسه. ونتيجة لذلك، هناك حاجة لزيادة فهم قيود تطبيقات الذكاء الاصطناعي في أنظمة الأمن النووي، كما أن إجراء تحقيق كبير في تهديد الهجمات الإلكترونية على التقنيات التي تدعم الذكاء الاصطناعي أمر بالغ الأهمية في هذا المجال. وفي مجال الأمن النووي، يجب أن تركز الجهود الأساسية على تحليل فوائد الذكاء الاصطناعي مقابل المخاطر التي يقدمها الذكاء الاصطناعي، حيث يشجع الخبراء التفكير الدقيق عند تطوير الذكاء الاصطناعي وتنفيذه ووضع أهداف ومقاييس واضحة للحفاظ على الأمن بدلاً من تعريضه للخطر، كما يثير الذكاء الاصطناعي عدداً من المخاوف الأخلاقية المتعلقة بالخصوصية للأمن النووي، إضافة إلى الأسئلة المتعلقة بإمكانية الوصول إلى البيانات وقيود الملكية الفكرية وحتى سيادة البيانات.

الذكاء الاصطناعي في التحقق من الضمانات

من المتوقع أن يؤدي تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى زيادة كفاءة عمليات الحماية، لا سيما تلك التي تتضمن تصنيف البيانات وإيجاد الأنماط وتحديد القيم المتطرفة في البيانات، حيث تم استخدام طرائق ML في تحليل أطياف أشعة غاما لاكتشاف المصادر الشاذة للمواد النووية وتحديد أو لتحديد كمية الكتلة الانشطارية. إضافة إلى ذلك، يعد التحقق من الوقود المستهلك باستخدام أشعة غاما والنترونات وإشعاع سيرينكوف Cerenkov مهمة هامة ضمن الضمانات التي يمكن أن تستفيد من تطبيق الذكاء الاصطناعي. ومن خلال الجمع بين تقنيات الذكاء الاصطناعي والتكنولوجيا الروبوتية للمهام، مثل جمع البيانات أو المعايرة، يمكن إضافة زيادة أخرى في الكفاءة. وقد تستفيد عمليات ضمانات المراقبة بالفيديو أيضاً من تطبيق الذكاء الاصطناعي لأن مراجعتها صعبة وتستغرق وقتاً طويلاً، ولأن

الخوارزميات التقليدية عرضة للإنذارات الكاذبة. ومن خلال تقليل عدد المهام المتكررة التي يؤديها حالياً المفتشون والخبراء، فإن تطبيقي ML و AL سيزيدان من سرعة إنجاز الإجراءات الوقائية.

في الوقت الحالي، غالباً ما تكون دقة التنبؤات القائمة على ML غير كافية للسماح باتخاذ قرارات مستقلة، ولذا فهي تتطلب مساهمة بشرية مستمرة. وسيحتاج المفتشون والخبراء إلى العمل عن كثب مع المتخصصين من مجتمع الذكاء الاصطناعي لتحسين دقة الخوارزميات القائمة على الذكاء الاصطناعي والإبلاغ عن تطورها، وهذا له أهمية خاصة لأن الإنذارات الكاذبة تؤثر على ثقة المستخدمين في الخوارزميات وكذلك الثقة بين المفتشين والدول الأعضاء. إضافة إلى ذلك، فإن السلبيات الكاذبة ستفقد أحداثاً مهمة لها عواقب وخيمة على الضمانات. ونظراً لأن جزءاً صغيراً من البيانات الموجودة ضمن الضمانات ليست مفتوحة المصدر، فإن التحدي الآخر في تنفيذ الذكاء الاصطناعي ضمن الضمانات يتعلق بمشاركة البيانات. وبمجرد التغلب على التحديات التي تمت مناقشتها يمكن إنشاء الخوارزميات القائمة على الذكاء الاصطناعي كأدوات موثوقة لعمليات الحماية، كما يشكل الوقود المستهلك جزءاً كبيراً من المواد الخاضعة للضمانات وتتزايد مخزوناتهما باستمرار، ويتم قياس الوقود المستهلك باستخدام النترونات وأشعة غاما المنبعثة من الوقود المستهلك، وتولد عمليات التفطيش هذه كمية كبيرة من البيانات، كما يمكن إجراء التحقق من الوقود المستهلك باستخدام بيانات تصوير Cerenkov.

ويمكن إجراء التحقق من الوقود المستهلك بشكل أكثر كفاءة باستخدام الروبوتات والذكاء الاصطناعي. على سبيل المثال، يمكن أن تساعد التكنولوجيا الروبوتية، مثل Robotized Cerenkov Viewing Device (RCVD)، في التحقق من الوقود المستهلك، ويمكن استخدام الروبوتات ضمن الإجراءات الوقائية لزيادة الكفاءة التشغيلية من خلال جمع البيانات وتنفيذ الخرائط ثلاثية الأبعاد ومعايرة البيانات وما إلى ذلك. ومن خلال استخدام الروبوتات للمساعدة في مهام الإجراءات الوقائية يمكن زيادة كفاءة العمليات، لا سيما في المناطق الصعبة، حيث يصعب الحصول على البيانات للحفاظ على سلامة المفتشين. كما سيسمح تطبيق الذكاء الاصطناعي باستخدام الفيديو بتسريع الإجراءات الوقائية، حيث تعد مراجعة المراقبة صعبة وتستغرق وقتاً طويلاً بالنسبة لمفتشي الإجراءات الوقائية.

أخيراً، يمكن أن يؤدي التقارب بين الذكاء الاصطناعي والتقنيات النووية إلى تفاقم المخاوف الأخلاقية الحالية وكذلك إثارة مخاوف جديدة في التخصصات. ونظراً لاهتمام كلا التخصصين بالمخاطر وعدم اليقين وامتلاكهما لإمكانات هائلة من الفوائد والضرر المجتمعي والبيئي الخطير المحتمل، فهناك حاجة إلى نظام جديد على الواجهة ألا وهو أخلاقيات التقنيات النووية والذكاء الاصطناعي Ethics of Nuclear and AI Technologies (ENAI). تهدف ENAI إلى إنشاء أخلاقيات غير ثنائية، والتي يمكن أن تكون في المقدمة في تصميم تطبيقات الذكاء الاصطناعي وتطويرها ونشرها واستخدامها في المجال النووي، ويساهم ذلك في خلق الوعي بين الممارسين حول التأثير الأخلاقي لتقارب الذكاء الاصطناعي والتقنيات النووية مع إنشاء آليات حوار قوي مع أصحاب المصلحة. ويمكن لـ ENAI ضمان اتخاذ قرارات مستنيرة أخلاقياً ومقبولة اجتماعياً تُمكن في النهاية من التحكم المسؤول لتطبيق الذكاء الاصطناعي في المجال النووي.

المراجع

- Bailey S et al. (2021). The identification of alpha-clustered doorway states in 44, 48, 52 Ti using machine learning. European Physics Journal A, 57: 1–12.
- Burrell J (2016). How the machine ‘thinks’: understanding opacity in machine learning algorithms. Big Data & Society, 3: 1- 5.
- Smith at et al. (2021). “Isotope mapping of groundwater pollution and renewal”, paper presented at IAEA Technical Meeting on Artificial Intelligence for Nuclear Technology and Applications, Vienna.
- Virkkunen I et al. (2021). ENIQ recommended practice 13: qualification of nondestructive testing systems that make use of machine learning, ENIQ Report 65.
- World Health Organization (2021). Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health: WHO guidance, WHO.

تطبيقات الإنزيمات الصناعية



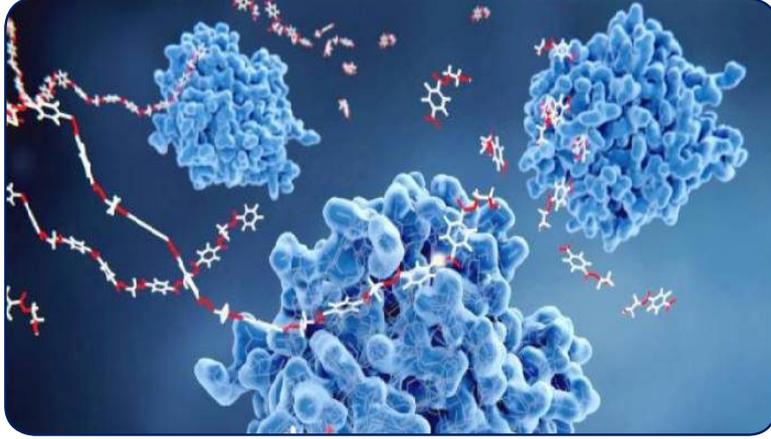
ملخص

تعرف الإنزيمات *enzymes* على أنها مواد حيوية ذات طبيعة بروتينية مكوّنة من سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية توجد في الخلية، وتعمل على خفض طاقة التنشيط اللازمة لإدامة التفاعلات الحيوية التي تجري داخل الخلايا الحية، والإنزيمات المقيدة *immobilized enzymes* على سطح المادة الساندة أو داخل شبكة هلامية هي التي يمكن إعادة استعمالها باستمرار وتختلف طرق تقييد الإنزيمات حسب الغرض المراد استعمالها من أجله، وتبعاً لأهمية هذه الإنزيمات فقد اتجهت الأنظار إلى استعمالها في العديد من الصناعات مثل المستحضرات الصيدلانية وإنتاج المواد الكيميائية والوقود الحيوي والأغذية والمشروبات والمنتجات الاستهلاكية. ونتيجة للتقدم السريع في هذا المجال فقد أصبح التحفيز الحيوي من خلال الإنزيمات المعزولة من الخلايا أكثر فائدة اقتصادية من استخدام الخلايا الكاملة، حيث تستخدم الإنزيمات في المرحلة الأساسية في عملية إنتاج المنتجات المرغوب فيها؛ إذ شهد التحفيز البيولوجي الصناعي من خلال الإنزيمات نمواً سريعاً في السنوات الأخيرة بسبب قدرتها على العمل في ظروف معتدلة وخصوصية الموقع الاستثنائية، وهي أمور تفتقر إليها العمليات الكيميائية التقليدية، وعادة ما تستخدم الإنزيمات المعزولة في تفاعلات التحلل المائي والأيزومري *isomerization*، كما تستخدم الخلايا بأكملها عندما يتطلب التفاعل عاملاً مساعداً، وعلى الرغم من أن العوامل المساعدة يمكن إنتاجها في المختبر، فإن استخدام الخلايا النشطة أيضاً عادة ما يكون أكثر فعالية من حيث التكلفة. يتجه العالم في الآونة الأخيرة إلى البحث عن إمكانية استعمال تقنية الإنزيمات المقيدة في مجال المتحسسات الحيوية والعدد التشخيصية وتحضير الأغذية العلاجية، ويوجد في الأسواق العالمية العديد من الإنزيمات بشكل مساحيق تجارية للاستعمالات الصناعية أو قد تكون ذات نقاوة عالية لاستعمالها في مجالات البحث العلمي والتطبيقات المختبرية.

الكلمات المفتاحية: الإنزيمات، الإنزيمات المقيدة، التصنيع الغذائي، الفعالية الحيوية.

مقدمة

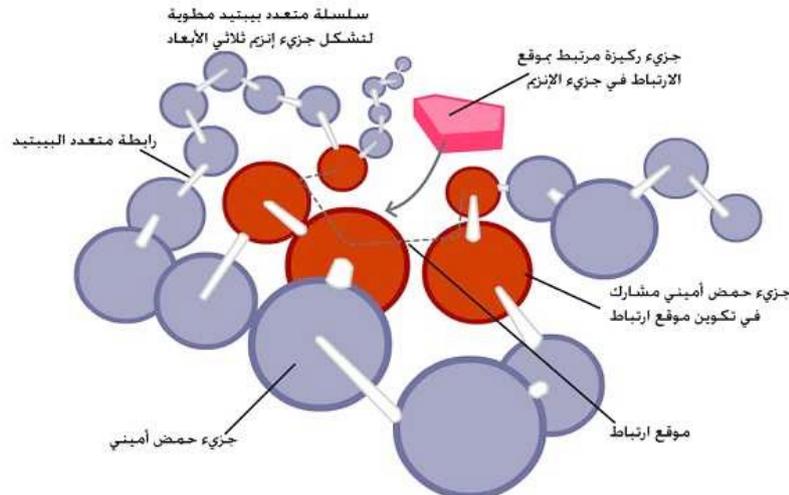
تُعد الإنزيمات عوامل محفزة بيولوجية كبيرة الجزيئات مسؤولة عن آلاف العمليات الأيضية ضمن الخلية الحية، والإنزيمات انتقائية بشكل كبير، فهي تسرع معدل التفاعلات الأيضية وخصوصيتها بدءاً من هضم الطعام (تحلل النشاء أو البروتينات أو الدهون أو السكريات) ووصولاً إلى تركيب الحمض النووي DNA دون أن تُستهلك هي نفسها (الشكل 1)، فقد وجد هناك المئات من الإنزيمات المختلفة التي يتخصص كل منها بالعمل على مادة محددة تسمى المكوّن الأولي (المادة الأساسية)، والتي تتحول بعد استخدامها من قبل الإنزيم لتصبح المنتج النهائي، مثال ذلك: إنزيم الهضم الأميلاز amylase الذي يوجد في اللعاب، والذي يعمل على تحليل النشاء (المكون الأولي) لتصنيع الغلوكوز (المنتج النهائي).



الشكل 1. الإنزيمات.

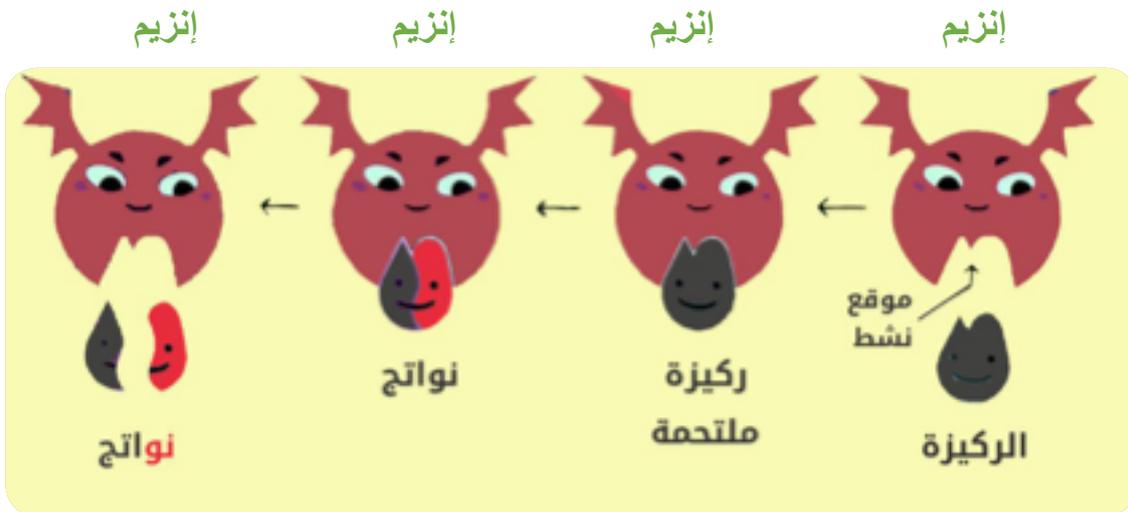
تسمى الإنزيمات عادة اعتماداً على اسم المادة الأساسية التي تعمل عليها ويضاف إليها النهاية ase مثل البروتينايز proteinase وهو الإنزيم الذي يقوم بهضم البروتينات والليباز lipase الذي يقوم بهضم الدهون والسكرياز sucrose الذي يهضم السكر والمالتايز maltase الذي يحلل المالتوز. هناك حالات أخرى لا تسمى الإنزيمات فيها بهذه الطريقة الواضحة التي ترتبط بالمادة التي تعمل عليها، مثل التربسين trypsin وهو أحد إنزيمات هضم البروتين الأساسية، وإنزيم الرينين renin الذي يحطم البروتين ويسبب ارتفاع ضغط الدم وغيرها.

وللإنزيمات دور مهم في العمليات الحيوية التي تجرى في مجالات متنوعة (الشكل 2)، فهي تساعد جسم الإنسان على الهضم الأمثل للغذاء من خلال تحطيم الجزيئات الكبيرة للمواد التي يستهلكها إلى وحدات صغيرة تستطيع الأمعاء امتصاصها والاستفادة منها، وفي المجالات الصناعية يمكن للإنزيمات العمل على المنتجات الغذائية مثل الحليب أو المنتجات غير الغذائية مثل الخشب وذلك بهدف تحويل هذه المواد الأولية إلى منتجات نهائية تلبى حاجة السوق والمجتمع.



الشكل 2. دور الإنزيمات في العمليات الحيوية.

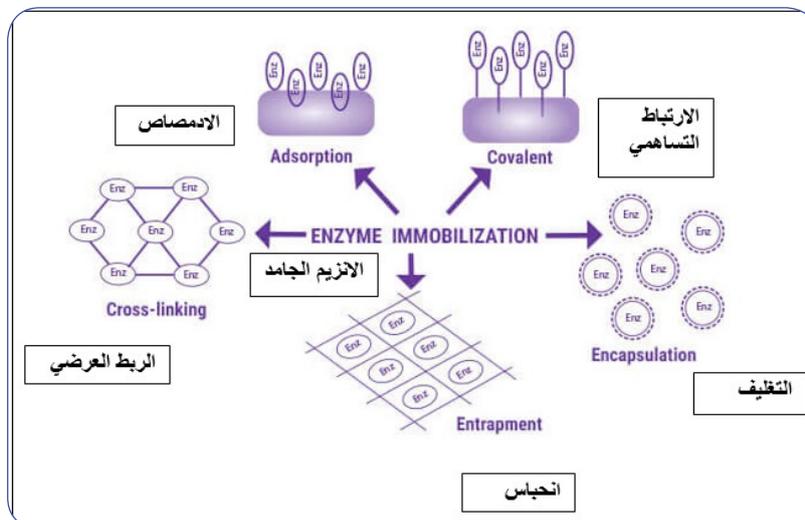
فنظراً لدور الإنزيمات المهم فقد اتجهت الأنظار إلى استعمالها في العديد من التطبيقات في مجالات صناعية وطبية مختلفة مثل صناعة الأغذية ودباغة الجلود ومستحضرات التجميل وتحضير المواد الطبية والصيدلانية فضلاً عن إمكانية استعمال تقنية الإنزيمات المقيدة في مجال المتحسسات الحيوية والعدد التشخيصية وتحضير الأغذية العلاجية، وتوجد في الأسواق العالمية العديد من الإنزيمات بشكل مساحيق تجارية للاستعمالات الصناعية أو قد تكون ذات نقاوة عالية لاستعمالها في مجالات البحث العلمي والتطبيقات المختبرية، وتكون جزيئات الإنزيم عادةً أكبر من جزيئات المكون الأولي الذي تعمل عليه، وفي الحقيقة فإن جزءاً صغيراً من جزيء الإنزيم هو الذي يكون على اتصال مع مادة المكون الأساسي (الأولية). هذا الجزء من الإنزيم يسمى الموقع النشط، وهو عبارة عن شق (ثلم-صدع) صغير يكون فيه عدد قليل من الحموض الأمينية على تماس مع جزيئات مادة المكون الأساسي. تتوضع جزيئات المكون الأساسي في الموقع النشط مكونة ما يسمى بمعقد «إنزيم-مادة أساسية»، عندها يمكن للتفاعل الكيميائي أن يبدأ، وتتكون المواد المنتجة التي تغادر الموقع النشط تاركة الإنزيم حراً وجاهزاً ليستقبل جزيئات أخرى من المادة الأساسية (الشكل 3).



الشكل 3. طريقة عمل الإنزيمات.

خصائص الإنزيمات المقيدة

تمتلك الإنزيمات المقيدة أهمية صناعية كبيرة وذلك بسبب سهولة فصلها عن مكونات التفاعل، على النقيض من الأنظمة التي تحتوي على إنزيمات قابلة للذوبان؛ إذ يمكن إيقاف التفاعل عن طريق الإزالة الفيزيائية للإنزيم الثابت دون الحاجة إلى إجراءات مثل تثبيط الحرارة التي قد تؤثر على نواتج التفاعل. إضافة إلى ذلك، سيظل الإنزيم نشطاً وغير ملوث إلى حد كبير، لذلك يمكن استخدامها مرة أخرى؛ ولهذه الأسباب تعدّ الإنزيمات المقيدة مثالية للاستخدام في العمليات الصناعية التي يتم تشغيلها باستمرار في الوقت الحالي.



الشكل 4. طرائق تثبيت الإنزيم.

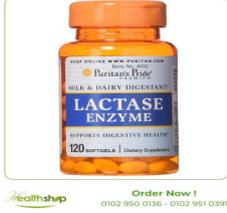
تستعمل الإنزيمات في مجالات متعددة منها ما يأتي:

أ- في مجال إنتاج الأغذية

منذ الثمانينيات يستخدم عدد من شركات إنتاج الأغذية الإنزيمات لتحسين خواص المنتجات إضافة إلى خفض تكاليف الإنتاج، ومن أهم هذه المواد الغذائية:

1- منتجات الحليب

يتميز الحليب بغناه بالكازئين casein، وهو البروتين الذي يساعد على المحافظة على الصفة السائلة للحليب. أثناء إنتاج الأجبان يتم إضافة إنزيم البروتياز protease لضمان عدم تخثر الحليب، حيث تؤدي إضافته إلى حلمة casein؛ وهو من بروتينات حليب الثدييات المعنية بعدد من العمليات الفيزيولوجية المهمة، مما يؤدي إلى ثباتية تكوّن الميسلات؛ وهي التجمعات الجزيئية المكونة للدقائق شبه الغروية colloidal particles، كما تضاف إنزيمات الليباز بهدف إعطاء الأجبان النكهات الجيدة والمرغوبة، وكمثال على أهمية الإنزيمات في منتجات الألبان، فإنه يستخدم اللاكتاز كإنزيم هضمي يساعد على تكسير السكر في الحليب ومنتجات الألبان (الشكل 5).



الشكل 5. إنزيم اللاكتاز التجاري.

2- تصنيع الخبز

يستخدم عدد من الإنزيمات في عملية تصنيع الخبز، حيث تعمل إنزيمات ألفا أميلاز alpha amylases على تفكيك النشاء وإنتاج المالتوز، ويعمل البروتيناز على تفكيك البروتينات بعملية الطبخ، ويضاف إنزيم المالتوجينيك أميلاز maltogenic amylase لزيادة الزمن الذي يبقى فيه الخبز طازجاً (الشكل 6).



الشكل 6. استخدام الإنزيمات في صناعة الخبز.

3- تخمير البيرة

تستخدم مجموعة الإنزيمات alpha amylases و beta-glucanase و proteases و maltogenic amylases و cellulases في عملية تصنيع البيرة (البيرة) بهدف المحافظة على سيولتها وإعطائها المظهر الرائق، إضافة إلى دعم إنزيمات الشعير المنبت الموجودة مسبقاً، كما تستخدم هذه الإنزيمات أيضاً بصناعة عصائر الفاكهة والنبيذ والكحول.

ب- في مجال الصناعة

1- الإنزيمات والجلود

تستخدم الإنزيمات في بعض مراحل صناعة الجلود، حيث يساعد البروتياز على إزالة الشعر dehairing من جلد الحيوانات المدبوغة، كما تستخدم الإنزيمات في تلوين جلود الحيوانات وصباغتها ودباغتها بديلاً عن المواد الكيميائية المؤذية، وتساعد على تثبيت منتج الجلد النهائي وحفظه.

2- الإنزيمات والصناعات النسيجية

في صناعة المنسوجات القطنية المتينة (الجيّنزات) يتم عادة حك الألبسة بوساطة حجارة النسفة (الخفان) pumice stones؛ وهو عبارة عن زجاج بركاني خفيف جداً بهدف إعطاء اللون الباهت للجيّنز، حيث يؤدي إلى التخریب الفيزيائي للألياف في ألبسة الجينز ليسمح لجزيئات الصباغ زرقاء اللون بالخروج من النسيج، ويخفف استخدام إنزيم السيلولاز cellulase من نسبة تلف النسيج، وتعرف هذه التقنية بفرك الحجارة الحيوي biostoning ويمكنه أن يضمن بهتان النسيج من دون حدوث التلف الناتج من المواد الكاشطة الذي يؤثر في النسيج وملحقاتها المستخدمة كالأزرار والسحابات وما شابهها، كما أن الاستخدام الصحيح لإنزيم السيلولاز يمكن أن يجعل الألياف السيلولوزية (كألياف القطن) أكثر نعومة ولعناً وصقلاً، وتُعرف هذه التقنية باسم التلميع أو الصقل الحيوي bio-polishing.

3- الإنزيمات والوقود الحيوي

تستخدم الإنزيمات في إنتاج الكحول الإيتيلي الحيوي، وهو وقود حيوي ينتج من استخدام إنزيمات معينة تقوم بتحويل النشاء النباتي إلى إيثانول حيوي bioethanol قابل للتطلل الحيوي. ما زال هذا المنتج في مراحله الأولية، وإحدى معوقاته هي صعوبة توفير الكمية الكافية من النشاء النباتي الذي يستخلص من الذرة الصفراء والقمح وبعض الأعشاب، إلا أن الأبحاث مستمرة لجعل الوقود الحيوي هو الخيار البديل للوقود الأحفوري المستخدم حالياً.

4- الإنزيمات ومساحيق الغسيل

أغلب الملوثات التي تتعرض لها الألبسة هي ذات أصل عضوي، مثل البروتينات والدهون والكربوهيدرات التي توجد جميعها في المواد الغذائية، وهي التي يُراد إزالتها من الألبسة الملوثة؛ لذلك تحتوي بعض مساحيق التنظيف الحيوية على إنزيمات البروتياز والليباز والكربوهيدراز carbohydrase الذي يمكن أن يحتوي على إنزيم الأميلاز الفعّال في إزالة ترسبات النشاء الغذائية. إضافة إلى ما ذكر تحتوي بعض مساحيق التنظيف على إنزيم السيلولاز الذي يبيض لون النسيج ويجعلها أكثر إشراقاً كما يلبّنها ويجعلها أكثر مرونة وطراوة.

أما في غسّالات الصحون الآلية فتستخدم منظفات خاصة تحتوي على إنزيمات البروتياز والأميلاز لكونها فعالة في إزالة جزيئات الأغذية، وهذه المنظفات صديقة للبيئة ومزودة بقليل من مواد التبييض والفسفات التي تسمح للإنزيمات بأن تعمل بكفاءة أعلى مع الحفاظ على أقل نسبة من التأثير في الصحة العامة والبيئة. وتجرى أبحاث علمية للحصول على إنزيمات تتحمل درجات الحرارة العالية و pH المرتفع، بل تزداد كفاءة عملها في هذه الظروف، كما يتم البحث عن إنزيمات متحملة لحرارة المنخفضة وثابتة على درجات حرارة مرتفعة؛ بهدف استخدامها لتحسين عمليات الغسيل في درجات حرارة مرتفعة أو منخفضة للتخلص من الأوساخ والبقع الملونة.

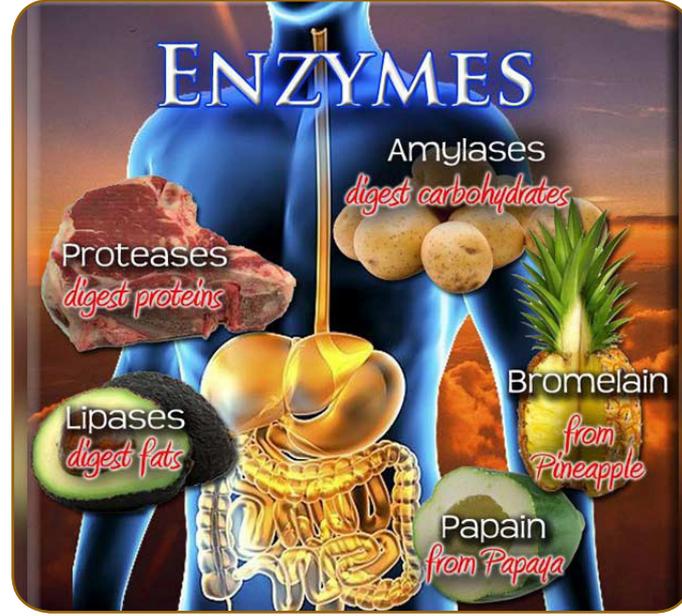
ج- في مجال الصحة

1- الإنزيمات والوزن

يمكن استعمال الإنزيمات في معالجة زيادة الوزن، والتي يُعتقد أنها ناتجة من خلل في عمل بعض الإنزيمات ونشاطها في جسم الإنسان. يتمثل الخلل بأن عدم نشاط عمل البروتياز في هضم البروتينات يجعل من الممكن للبروتين غير المهضوم أن يؤدي إلى نمو بكتريا أو طفيليات تؤثر في الجهاز المناعي، وفي الوقت ذاته إلى زيادة في الوزن، كذلك الأمر بالنسبة إلى إنزيم الليباز الذي يعمل على تحطيم الدهون وخاصة الغليسريد الثلاثي triglycerides، في حال نشاطه تتم عملية تفكيك الدهون وامتصاصها من قبل الأمعاء، إلا أن توقفه عن العمل يعوق عملية تحطم الدهون فتتراكم مؤدية إلى زيادة في الوزن. هناك إنزيمان آخران معنيان بعملية فقد الوزن هما الأميلاز والسيلولاز حيث يحطم الأول الكربوهيدرات ويسهم الثاني في تحليل الألياف؛ لذلك تتضمن عملية المعالجة الإنزيمية للتخلص من زيادة الوزن تناول تركيبة معينة مكونة من عدة إنزيمات لإعادة التوازن إلى الجسم (الشكل 7)، وتعدّ هذه الإنزيمات مكمّلات غذائية طبيعية، كما تتضمن أغلب أنظمة إنقاص الوزن إضافة أربعة إنزيمات نباتية هي السيلولاز والأميلاز والليباز والبروتياز.

2- الإنزيمات والعلاج

تسهم إضافة إنزيمات الهضم إلى وجبات بعض الأطفال في تفكيك الغلوتين gluten الموجود في القمح والشوفان والشعير والشيلم، وكذلك في تفكيك بروتين الكازئين الذي يوجد في منتجات الألبان، ويسبب وجود هذين البروتينين مشاكل هضمية للأشخاص المصابين بمرض التوحّد، كما يمكن أن يزيدا من أعراض المرض ومن حدته فيجعل الفرد أكثر عدوانية.



الشكل 7. أهمية الإنزيمات من أجل المحافظة على صحة الجسم.

وفي الختام، تُوظف الإنزيمات في العمليات الصناعية المتنوعة لأنها تسرّع التفاعلات الكيميائية مع كونها انتقائية وفعالة وكذلك صديقة للبيئة في كثير من الحالات. تمر الصناعة في العالم بمرحلة ظهور وكذلك نضج في مختلف القطاعات حيث تُستخدم الإنزيمات على نطاق واسع في الصناعات الناشئة والديناميكية مثل الوقود الحيوي والأدوية ومعالجة الأغذية. إضافة إلى ذلك، استخدمت الإنزيمات في تحسين جودة المنتجات في الأسواق مثل المنسوجات ومعالجة اللب والورق وما إلى ذلك. وعلاوة على ذلك، نشر العديد من المنشورات حالياً في هذا المجال لدرجة أنه أصبح الاعتقاد السائد في العديد من دول العالم أن تكنولوجيا الإنزيمات المقيدة هي موجة المستقبل.

المراجع

– عبد الجليل م ي (2018). الإنزيمات المقيدة وتطبيقاتها الغذائية. منظمة المجتمع العلمي العربي.

- Buchholz K, Kasche V, Bomscheuer UT (2005). Biocatalysts and Enzyme Technology, Wiley -VCH.
- Kent M (2000). Advanced Biology, OUP Oxford.
- Kumar A, Garg S (2009). Enzymes and Enzyme Technology, Anshan, Ltd.
- Polaina J, MacCabe AP (2010). Industrial Enzymes, Springer.

← تأليف: د. ياسر بكري وم. محمد جوهر، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرية السورية.

المواد المركبة النانوية nanocomposite وتطبيقاتها

ملخص

نستعرض في هذه المقالة المعلومات الأساسية المتعلقة بالمواد النانوية والمواد المركبة النانوية، من حيث طرائق اصطناعها ومعالجتها وتوصيفها وخواصها وتطبيقاتها المختلفة، وخصوصاً التطبيقات الصناعية والبيئية والبيولوجية والضوئية؛ مما يعطي فكرة أولية عامة للمهتمين من الباحثين والأكاديميين والطلاب والقطاعات الحكومية والخاصة والذين ليس لديهم فكرة عن المواد النانوية من قبل عن أهميتها وخواصها الفريدة كونها مواد وتقانة القرن الحادي والعشرين، إذ تُصرف سنوياً مليارات الدولارات فيما يخص علوم النانو وتطبيقاته في مجال البحث والتطوير، ويُشار إلى أنه حتى نهاية عام 2016 صُرف أكثر من ربع تريليون دولار على أبحاث التقانة النانوية والمواد النانوية وتطبيقاتها المختلفة وتطويرها. ولمزيد من المعلومات يمكن العودة للمراجع المذكورة في نهاية المقالة.

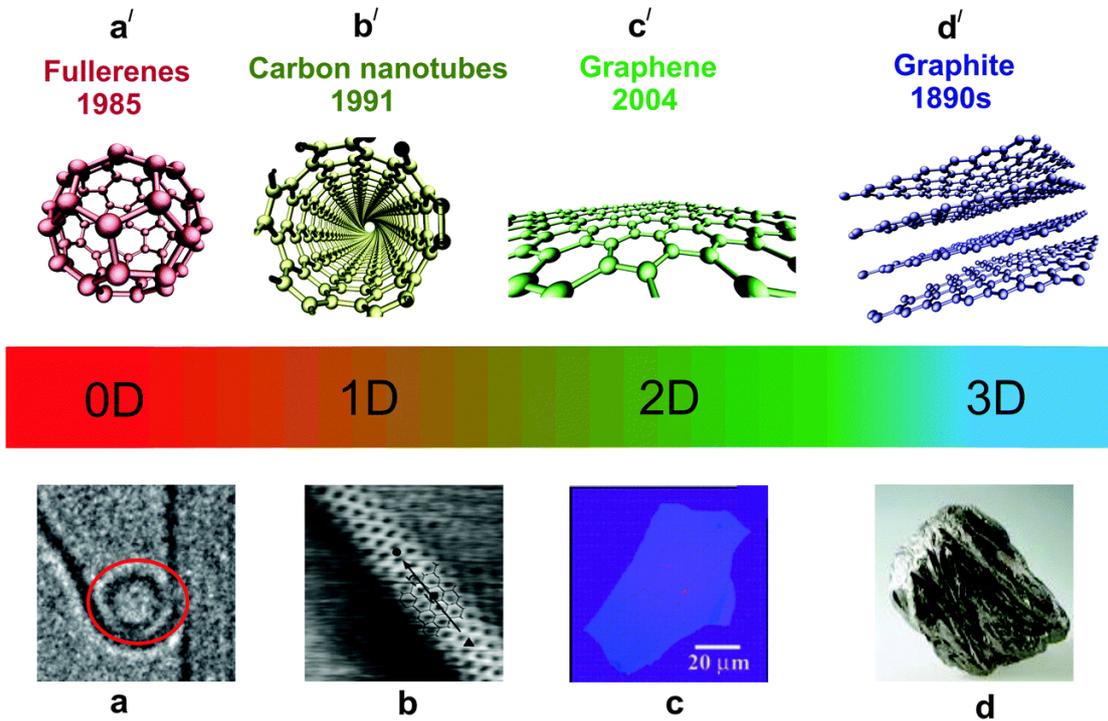
الكلمات المفتاحية: الأبعاد النانوية المختلفة، المواد المركبة النانوية، المواد النانوية البوليميرية المركبة، أنابيب الكربون النانوية.

مقدمة عن المواد النانوية والمواد النانوية المركبة

المواد النانوية

يهتم الباحثون في جميع دول العالم بالمواد النانوية من حيث تحضيرها وتطبيقاتها الفريدة، وتعني كلمة النانو «القزم» وهي جزء واحد من مليار جزء أي أن النانومتر الواحد يساوي $1/10000000000$ من المتر أي 10^{-9} m. عند هذه الأبعاد (قطر الشعرة الواحدة عند الإنسان 80000 نانومتر) تتغير جميع الخواص الفيزيائية والكيميائية، حيث تتمتع تلك المواد بخواص وتطبيقات فريدة نتيجة تلك الأبعاد ولا يمكن رؤيتها بالعين المجردة أو التقانات والمجاهر الضوئية التقليدية وتحتاج لتقنيات متطورة جداً والتي سنأتي على ذكرها لاحقاً.

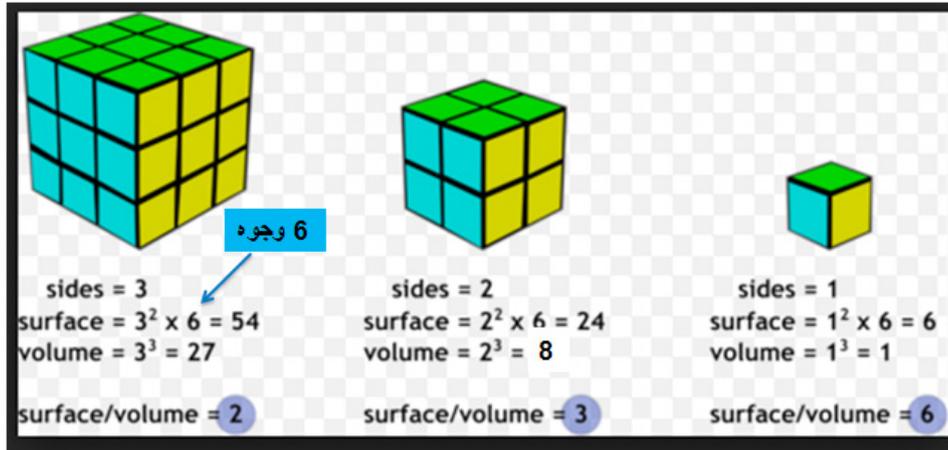
لكي تكون المادة المدروسة نانوية فمن الضروري جداً أن يكون قياس أحد أبعادها على الأقل موجوداً على السلم النانوي، وتختلف أشكالها وأحجامها وتطبيقاتها تبعاً لذلك، وتُدعى الجسيمات التي تقع جميع أبعادها على السلم النانوي بـ 0D، ومثالاً على ذلك الفلرينات أو مركبات الكربون القفصية التي اكتشفت عام 1985 وعزلت عام 1991، كما تُدعى الجسيمات التي تمتلك بُعدين على السلم النانوي ويكون البعد الثالث في مجال السلم المكروي بـ 1D، ومثالاً على ذلك أنابيب الكربون النانوية التي اكتشفت عام 1991. أما الجسيمات التي يقع أحد بُعديها على السلم النانوي ويكون البعدان الآخران في مجال السلم المكروي بـ 2D، ومثالاً على ذلك الغرافين الذي اكتشف عام 2004، وأخيراً تُدعى الجسيمات التي لا يكون أي من أبعادها على السلم النانوي وتكون جميع أبعادها في مجال السلم المكروي بـ 3D مثل الغرافيت الذي اكتشف منذ زمن بعيد؛ أي في التسعينيات من القرن قبل الماضي، ويوضح الشكل 1 بُنى الأبعاد النانوية المختلفة الأبعاد للجسيمات المشار إليها آنفاً.



الشكل 1. بُنى الجسيمات النانوية المختلفة الأبعاد 0D و1D و2D و3D.

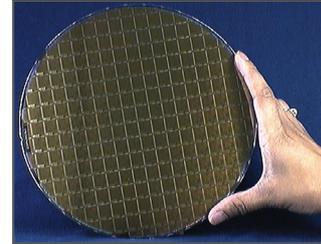
بسبب تقارب الأبعاد للجسيمات النانوية فمن الممكن أن يحدث تداخل نتيجة تقارب الأبعاد بين الجسيمات النانوية المختلفة والحصول على مواد نانوية جديدة أخرى مثل المساحيق والألياف والطبقات والأنابيب المتعددة الجدران النانوية. يمكن اصطناع المواد النانوية المختلفة وتصميمها وفق الرغبة والتطبيق المطلوب مثل اصطناع أنابيب الكربون النانوية CNTs وألياف الكربون النانوية CNFs والغرافين والفلرينات fullerenes وأكاسيد المعادن النانوية والغضار النانوي وغيرها، وتجدر الإشارة إلى إمكانية الحصول على مواد نانوية بمختلف الأبعاد المذكورة سابقاً نتيجة عوامل طبيعية ويحدث ذلك عند درجات حرارة مرتفعة مثل اندفاعات البراكين وحرائق الغابات.

تتميز المواد النانوية بخاصة مهمة للغاية، وهي أن نسبة السطح للحجم كبيرة جداً في المواد النانوية مقارنة مع المواد الأخرى؛ لتوضيح ذلك نأخذ كرة نصف قطرها "r" على سبيل المثال فإن مساحة سطح الكرة هو $4\pi r^2$ وحجم الكرة عندئذ $\frac{4}{3}\pi r^3$ وتكون نسبة السطح للحجم σ مساوية $3/r$ لذلك عندما يتناقص نصف قطر الكرة فإن نسبة السطح/الحجم σ تزداد لأن التناسب عكسي، ولنوضح ذلك بمثال آخر: في المكعبات الثلاثة الآتية تكون نسبة السطح للحجم للمكعب في المكعب الصغير أعلى ما يمكن في المكعب الصغير حيث يمثل العدد 6 عدد الوجوه الموجودة في كل مكعب (عدد وجوه المكعب) وتكون نسبة السطح إلى الحجم أعلى ما يمكن في المكعب الصغير مقارنة مع المكعبين الآخرين كما هو واضح في الشكل 2.



الشكل 2. توضيح نسبة السطح إلى الحجم لثلاث مكعبات مختلفة.

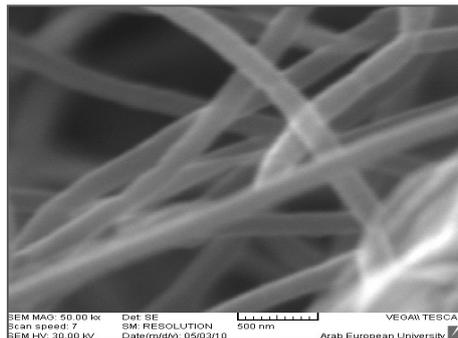
يعيش على سطح الكرة الأرضية التي قطرها ما يقارب 8000 ميل حوالي 7.5 مليار شخص، لكن يمكن أن نضع وفقاً للسلم النانوي 10 مليارات من الجسيمات النانوية في قطر يصل فقط إلى 8 إنش لأن $\text{Nanoscale} = \text{billionths} (10^{-9})$ كما هو واضح في الشكلين 3 و 4.



الشكل 4. 7.3 مليار شخص موجودة في قطر ثمانية آلاف ميل.

الشكل 3. عشر مليارات مكون موجودة بقطر ثمانية بوصات.

لذلك تزداد الفعالية الكيميائية بشكل كبير جداً لزيادة سطح التفاعل وهذا ما يحصل في الجسيمات ذات الأبعاد النانوية، لذلك يهتم علم النانو بشكل كبير بدراسة خواص الجسيمات النانوية وفهمها، في حين تركز تقانة النانو على تحضير هذه الجسيمات ذات الأبعاد النانوية وإنتاجها وتوصيفها وتطبيقاتها. يُبين الشكل 5 أنابيب كربونية نانوية أحادية الجدار SWCNT مأخوذة بالمجهر الإلكتروني الماسح SEM.



الشكل 5. أنابيب كربون نانوية أحادية الجدار SWCNT مأخوذة عن المجهر الإلكتروني الماسح.

التقانة النانوية

من المفيد أن نعلم أن هناك اختلافاً بين المواد النانوية والتقانة النانوية، فالمواد النانوية هي جسيمات أبعادها من مرتبة النانومتر تقع أبعادها حصراً بين 1-100 نانومتر، وتدعى التكنولوجيا التي تهتم بها من حيث التطبيق والخواص في مختلف المجالات بالتكنولوجيا أو التقانة النانوية.

ما إن يُخفصُ مقاس المادة إلى ما دون 100 نانومتر حتى تبدأ مكوناتها بإظهار سمات غير معتادة ترتكز على ميكانيك الكم أكثر منه على الميكانيك النيوتوني المكروسكوبي التقليدي، وهذا ما يؤثر على العديد من خواص المادة مثل الناقلية والانتقال الحراري ودرجة الانصهار والخواص الضوئية والمغنطة وغيرها؛ فمثلاً يلمع الذهب ك معدن وهو خامل كيميائياً لكن عندما تُصبح جسيماته بأبعاد نانوية فإنه لا يلمع ويصبح فعالاً كيميائياً وينصهر عند درجة حرارة أقل بكثير من نقطة انصهاره المعتادة، ويهدف العمل في الحقل النانوي إلى الاستفادة من تلك الخواص الفريدة لتطوير منتجات وآليات اصطناع جديدة، ويُعد هذا الأمر الهدف الرئيس للتقانة النانوية في القرن الحالي وخمسين سنة قادمة.

تكمُن أهمية المواد النانوية إضافة إلى نسبة السطح للحجم الكبير بمعامل آخر متعلق بتأثير الحصر الكمي quantum confinement effect. يؤثر هذان السببان على الفعالية والخواص الكهربائية والضوئية والبيولوجية والميكانيكية والتطبيقات العديدة للمواد النانوية. تكون السويات الطاقية الإلكترونية في المواد النانوية غير مستمرة؛ أي مكتمة، على عكس المواد العادية ذات الكثافة الطاقية محدودة السويات وتعدّ هذه ميزة وخاصة مهمة للمواد النانوية، وذلك بسبب حصر التابع الموجي الإلكتروني المتعلق بالأبعاد الفيزيائية للجسيمات، وتدعى هذه الظاهرة بالحصر الكمي كما يشار إلى البلورات النانوية التي تتمتع بهذه الخاصة بالنقاط الكمومية quantum dots.

المواد المركبة النانوية

عموماً، إن المواد المركبة هي عبارة عن مواد صُنعية متعددة الأطوار تتميز فيها مكوناتها كيميائياً وتكون مفصولة بسطوح بينية interface متميزة بسهولة. أما المواد المركبة النانوية فهي صنف جديد من المواد المركبة ذو حاضنة بوليميرية أو معدنية أو سيراميكية أو غيرها، بحيث يكون بداخلها المادة النانوية على شكل طور متشتت شريطة أن يكون أحد أبعاد المادة النانوية المتشتتة داخلها مكونة من جسيمات يقع أحد أبعادها على المستوى النانومتري.

نظراً لامتلاك المواد النانوية خواص استثنائية، فهي تُمزج عادة مع مواد بوليميرية أو غيرها بنسب وتراكيز مختلفة لتحسين تلك الخواص، حيث تتراوح نسبة المزج للمواد النانوية المستعملة بين 10-1%، إذاً، المواد النانوية المركبة هي أي مادة ناتجة عن مزج أي مادة مع مادة نانوية للحصول على خواص جديدة، ووفقاً لطبيعة المادة المزوجة يمكن أن يتم تصنيف المواد المركبة النانوية إلى خلائط بوليميرية نانوية وخلائط معدنية نانوية وخلائط سيراميكية نانوية وغيرها من الخلائط المركبة النانوية المختلفة. تنتج عن تلك الخلائط مركبات جديدة تتمتع بخواص ميكانيكية مختلفة فريدة مثل القساوة ومقاومة الكسر والمتانة والخواص الميكانيكية عند درجات الحرارة العالية كالتقسية hardness، وقد تصل قوتها وقساوتها ومتانتها إلى آلاف المرات زيادة عن المادة الأولية المستعملة قبل عملية المزج بالمادة النانوية. يتم التركيز في الخلائط البوليميرية المركبة النانوية إلى توزيع متجانس للمادة النانوية المضافة لأن ذلك سيساعد على تحسين الخواص بشكل مطرد، لكن إذا حصل أي تكتل agglomeration فينشأ عن ذلك ضعف في قوى فاندرفالس بين الجسيمات النانوية وتتدهور نتيجة ذلك خواص المادة المركبة النانوية المطلوبة. نذكر في الجدول التالي بعض الأمثلة للمواد المركبة النانوية، يشار إلى أنه يمكن الحصول على المواد المركبة من المواد البوليميرية النانوية نتيجة التلدن بالحرارة/تصليد بالحرارة أو مع هيدروكسيدات والحصول على طبقات متعددة ذات تطبيقات واسعة.

أمثلة عن المواد المركبة النانوية

مواد مركبة	مواد نانوية
المواد المعدنية النانوية	Fe-Cr/Al ₂ O ₃ , Ni/Al ₂ O ₃ , Co/Cr, Fe/MgO, Al/CNT, Mg/CNT
المواد السيراميكية النانوية	Al ₂ O ₃ /SiO ₂ , SiO ₂ /Ni, Al ₂ O ₃ /TiO ₂ , Al ₂ O ₃ /SiC, Al ₂ O ₃ /CNT
المواد البوليميرية النانوية	بوليمير/طبقات من السيليكا بوليستر/TiO ₂ بوليمير/أنابيب الكربون النانوية بوليمير/هيدروكسيدات ثنائية الطبقات

على سبيل المثال، تزداد الخواص الميكانيكية والحرارية والكهربائية والضوئية وخواص النفوذية الغازية ومثبطات اللهب flame retardancy للخلائط المركبة النانوية عندما تتبعثر أنابيب الكربون النانوية أو الغرافين أو ألياف الكربون النانوية أو الغضار النانوي أو أي مادة نانوية بشكل متجانس في البوليمير المستعمل، ومن المؤكد الآن أنه من أجل حدوث تبعثر متجانس للمواد النانوية في رُكازة البوليمير المستعمل مثلاً فلا بد من القيام بتعديل على سطح المادة النانوية المستعملة ووظائفها، وقد تبين حديثاً أن إضافة مُلائم compatibilizer سيساعد كثيراً ويُحسن من التبعثر المتجانس للمواد النانوية في البوليمير، كما يُحسن تعديل سطح المادة النانوية المستعملة ووظائفها في حدوث التبادل أو الملازمة بين وجهي المادة النانوية المألثة والرُكازة المستعملة، الأمر الذي ينتج عنه تبعثر أفضل، مما يزيد من فعالية الإجهاد stress الحاصل بين الرُكازة والمادة النانوية والحصول نتيجة ذلك على مواد مركبة نانوية خفيفة ذات كفاءة أداء عالية لتطبيقات عديدة متقدمة في صناعة الطائرات والمركبات الفضائية والسيارات والأدوات والأطراف الصناعية وغيرها من التطبيقات، وتستعمل العديد من تقنيات التوصيف والتحليل لمعرفة الحجم والخواص والمواصفات وكيفية توزع المادة النانوية المألثة في الرُكازة البوليميرية ومنها على سبيل المثال لا الحصر: المجهر الإلكتروني النافذ TEM والمجهر الإلكتروني الماسح SEM ومجهر القوة الذرية AFM والمجهر النفقي الماسح STM وانعراج الأشعة السينية بزوايا مختلفة XRD ومطيافية الأشعة تحت الحمراء لتحويلات فورييه FTIR ومطيافية التبعثر الطاقوي energy dispersive spectroscopy EDS ومطيافية الإلكترون الضوئي ذي الأشعة السينية XPS ومطيافية فقدان طاقة الإلكترون electron energy loss spectroscopy EELS.

إذا كان الهدف من المادة المركبة التطبيقات البيولوجية والحيوية فإنه يُراعى في تلك الخلائط التوافق أو التلاؤم الحيوي بين المادة المألثة والرُكازة، وتُستعمل بعض المواد البوليميرية لتصنيع الجسيمات النانوية المطعمة بالنشاء الذي يتم استخلاصه من الذرة أو البطاطا أو الرز حيث يتم التحكم في مورفولوجيا التجميع الذاتي للبوليمير الناتج بهدف الحصول على جسيمات نانوية كروية مليئة أو مجوفة حسب التطبيق المرغوب.

المواد المركبة النانوية المتلدنة حرارياً thermoplastic nanocomposites

يتطلب لتطوير المواد المركبة النانوية المتلدنة حرارياً والحصول على خواص متعددة لاستعمالها في تطبيق محدد وجود نوع أو أكثر من المواد النانوية المألثة، ويمكن الوصول لتلك الخواص المتعددة بوجود المادة النانوية المألثة في البوليمير على سبيل المثال لا الحصر لتعزيز الخواص الميكانيكية والمقاومة الكيميائية ونفوذية الأكسجين والرطوبة والتلاؤم بين مختلف الأطوار في البوليمير المزوج إضافة إلى تعزيز خواص الناقلية الكهربائية والحرارية. يؤدي حجم وبنية ومورفولوجيا المادة النانوية المألثة المحددة دوراً كبيراً في رزين resin المادة المتلدنة حرارياً، وينتج عن ذلك خواص مهمة مختلفة في اللزوجة والناقلية والثباتية الحرارية والأداء الميكانيكي والتبلور، ويظهر ذلك جلياً في مواد نانوية مألثة أبعادها بالتحديد ضمن الأبعاد 1D و2D على السُّلم النانوي إضافة إلى نسبها التي تُعد نقطة مهمة في تعيين الخواص النهائية للمادة المركبة. سيعزز إدخال مادة نانوية مألثة من كربونات الكالسيوم CaCO_3 في نسيج البوليميرات المتلدنة حرارياً مثل متعدد الأُولوفين polyolefins أو متعدد الأميد polyamide أو متعدد إيثيلنتيرفيتالات poly ethylene terephthalate أو متعدد الكربونات polycarbonate من قساوة البنية والثباتية الحرارية والناقلية الحرارية والكهربائية إضافة إلى الحصول على ألبسة مقاومة. نظراً لانخفاض ثمن كربونات الكالسيوم فسيعكس ذلك على التكلفة النهائية للمنتج، وقد تبين حديثاً أن إضافة جسيمات كربونات الكالسيوم النانوية إلى متعدد الأُولوفين وانتشارها بشكل متجانس فيه سيعزز بشكل كبير من صلابة المادة المركبة وكفائها. يهتم الباحثون في مختلف أنحاء العالم بتصنيع مواد لها خواص وظيفية فريدة وغير تقليدية مكونة من بوليميرات متلدنة حرارياً مع أسلاك من مواد نانوية وذلك لتصنيع رؤوس الطابعات المستعملة في الطباعة الثلاثية الأبعاد حيث تمنع هذه المواد انسداد رؤوس الطابعة المستعملة على عكس الطابعات التقليدية التي تعاني من تلك المشكلة، وبذلك تستثمر الطابعة لفترة طويلة دون أي عوائق.

المواد المركبة النانوية المتصلدة حرارياً thermoset nanocomposites

يمكن الحصول على العديد من المواد المركبة النانوية بمزج البوليميرات المتصلدة حرارياً مع مواد نانوية وينتج عن ذلك خواص فريدة لهذه المواد، وتُستعمل عادة تلك البوليميرات في مختلف المجالات كمواد لاصقة وفي طلي السطوح والعزل، وعند إقحام المواد النانوية في بنيتها مثل أنابيب الكربون النانوية والغرافين فإنها تتمتع بمواصفات فائقة أكثر وتصبح أكثر قساوة وصلابة ومتانة وغير قابلة للكسر مع خواص كهربائية وحرارية عالية جداً.

من الممكن الحصول على مواد مركبة نانوية مختلفة ناتجة عن مزج بوليميرات متصلدة حرارياً مع نسب مختلفة من جسيمات نانوية مختلفة الأبعاد 0D و1D و2D تستخدم في تطبيقات مختلفة. من أجل تحسين خواص التَّقْوُس وتخفيض عتبة التزحيل percolation الكهربائية لمواد نانوية محضرة من البوليميرات المتصلدة حرارياً مع الإيبوكسي تُضاف أنابيب الكربون النانوية إلى الغرافين بنسبة 2:8 على الترتيب، كما يساعد إقحام صفائح الغرافين النانوية في البنى الهجينة على تحسين المواصفات والخواص بشكل ملموس، وتساعد إضافة جسيمات السيليكا النانوية في صفائح الغرافين بنسبة 2% وزناً كمواد مالئة في الحصول على مواد ناقلة حرارياً وذات عزل كهربائي جيد، كما تسهم إضافة جسيمات الفضة النانوية إلى البوليميرات المتصلدة حرارياً في تعويض أنسجة الجلد المتهدمة ومعالجتها مع منع حصول أية عدوى جرثومية. إن إضافة 10 wt % من السيليكات النانوية إلى البوليميرات المتصلدة حرارياً ستزيد من ثلاث إلى أربع مرات من فترة استعمالها.

المواد المركبة النانوية المرنة elastomeric nanocomposites

تُستعمل المواد المركبة النانوية المرنة على نطاق واسع، حيث تتميز بكفاءة ميكانيكية وكهربائية ومقاومة للتمزق فريدة ويمكن أن تكون المواد المألوفة النانوية عضوية أو لاعضوية أو سيراميكية. ومن الممكن الحصول على مواد مركبة نانوية مرنة مختلفة ناتجة عن مزج بوليميرات مرنة (لدائن) مع نسب مختلفة من جسيمات نانوية مختلفة الأبعاد 0D و1D و2D والحصول على مواد مركبة نانوية مرنة من أجل تطبيقات عديدة.

استعملت الجسيمات النانوية المعدنية من الحديد أو النيكل في الحصول على خواص عزل كهربائية ومغناطيسية للبوليميرات المرنة؛ فمثلاً سيزيد مزج جسيمات النيكل النانوية التي أبعادها تتراوح بين 25-40 نانومتر من خواص العزل الكهربائي والمغناطيسية للمادة المركبة وتتحسن بشكل واضح عند وصول التحميل إلى مائة جزء من الماط أي 100 phr لذلك فإن إقحام المواد النانوية داخل البوليميرات المختلفة يُحسن بالتأكيد من الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكهربائية للمادة المركبة.

طرائق عامة لتحضير المواد المركبة النانوية

قبل عرض الطرائق المتبعة لا بد من الإشارة إلى بعض المفاهيم المعتمدة في عمليات تحضير المواد المركبة النانوية:

1- المواد المركبة النانوية المُقْحَمَة intercalated nanocomposites: يتم في هذه الطريقة إدخال المادة النانوية إلى مصفوفة الركازة بعملية متبلورة منتظمة، وتكون طبقات الركازة متناوبة مع طبقة المادة النانوية وتتراوح المسافات فيما بينها من 1 إلى 4 nm، وهي مسافة تساوي حدود طول سلسلة الركازة المستعملة.

2- المواد المركبة النانوية المندفئة أو المُتَكَبِّدَة flocculated nanocomposites: وهي المواد المركبة النانوية المُقْحَمَة نفسها باستثناء أن بعض طبقات المادة النانوية المألوفة تكون أحياناً مُتَلَبِّدَة بسبب التأثيرات المتبادلة بين الزمر الوظيفية الموجودة على سطح المادة النانوية والركازة.

3- المواد المركبة النانوية المُقَشَّرَة exfoliated nanocomposites: في المواد المركبة النانوية المُقَشَّرَة تكون الطبقات الفردية الفلزية للمادة النانوية متوزعة عشوائياً ضمن حاضنة الركازة ومستمرة بمسافة متوسطة تعتمد على طريقة تحميل المادة النانوية. عموماً، تكون كمية المادة النانوية في المواد المركبة النانوية المُقَشَّرَة أقل بكثير كما هو في حالة المواد المركبة النانوية المُقْحَمَة.

تستعمل أربع طرائق عامة في تحضير المواد المركبة النانوية لكن يمكن تطوير طريقة خاصة لأغراض معينة، وهي:

الطريقة الأولى: البلمرة في الموقع، إذ يُستعمل المونومير في هذه الطريقة على أنه وسط لتشتيت المادة النانوية المألوفة ويجري تحقيق ظروف مناسبة لإجراء البلمرة بين طبقات الركازة البوليميرية والمادة النانوية إما بالحرارة أو الإشعاع أو وجود مبادر إما مضاف بشكل حر أو مثبت على جسيمات النانو بشكل مسبق.

الطريقة الثانية: تبعثر المحلول، ويحدث في هذه الطريقة عزل المواد النانوية إلى طبقات أحادية باستعمال مذيب يكون فيه البوليمير أو المادة الحاملة منحلين، ويمكن لمثل هذه الطبقات النانوية أن تبقى متحدة، وبسبب القوى الضعيفة فيما بينها فإنها تتبعثر بسهولة في المذيب بفعل زيادة الأنتروبية الناتجة عن عدم انتظام تلك الطبقات في الوسط. يحدث امتزاز البوليمير على الطبقات النانوية بعد تبخير المذيب وترسيب المادة النانوية المركبة لتجتمع الطبقات ثانياً ممتلئة بالبوليمير لتشكل في أفضل الحالات بنية مرتبة متعددة الطبقات؛ أي مورفولوجيا مُقْحَمَة.

الطريقة الثالثة: إقحام المصهور، ويتم في هذه الطريقة مزج المادة النانوية ضمن الركيزة الحاملة المصهورة، ويجب أن يكون تحت هذه الظروف توافق تام بين المادة النانوية المضافة والركيزة المصهورة الحاملة لها. تخضع آلية التحضير في عملية إقحام المصهور إلى القوة المحركة المتبادلة بسبب مساهمة إنتالبية التأثيرات المتبادلة بين المادة المصهورة والمادة النانوية وميزة هذه الطريقة هي عدم استعمال أي مذيب.

الطريقة الرابعة: وهي أقل الطرائق شيوعاً، حيث يجري فيها مزج المعلقات النانوية مباشرة مع البوليمير وفق الطريقة الآتية؛ إذ تقوم فكرة هذه الطريقة على زيادة الفراغات في المعلق النانوي المستعمل أولاً ومن ثم بلمرة المونومير وبعد ذلك تتم عملية إقحام الركيزة البوليميرية ضمن الفراغ المتزايد في المادة النانوية المعلقة التي جرت زيادة فراغاتها مسبقاً.

بعض التطبيقات المهمة للمواد المركبة النانوية

هناك العديد من التطبيقات المهمة للمواد المركبة النانوية اعتماداً على خواصها الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية المتميزة مقارنة مع المواد المركبة التقليدية بسبب أبعادها خصوصاً المواد النانوية التي تتراوح أبعادها بين 1-100 nm. نورد فيما يلي بعض التطبيقات دون المضي في التفاصيل:

- 1- بطاريات بطاقة عالية مصنوعة من سليكون- كربون نانوي.
- 2- تسريع عملية شفاء العظام المكسورة وهذه المادة المركبة مصنوعة من أنابيب الكربون النانوية أو ألياف الكربون النانوية مع البوليميرات، كما يمكن تصنيع أطراف صناعية من هذا المزيج أيضاً كونها مزائج قوية وخفيفة.
- 3- مواد مركبة تكون فيها نسبة القوة إلى الوزن عالية أي خفيفة وقوية، وهي مستعملة في تصنيع شفرات طواحين الهواء وأجزاء من السيارات والطائرات ومصنوعة أيضاً من الجسيمات النانوية للمعادن وأنابيب الكربون النانوية مع البوليميرات.



- 4- مواد قاسية جداً وقوية مصنوعة من الغرافين مع الأوكسي والبوليمير، وتكون فيها نسبة القوة للوزن عالية جداً، وتُستعمل في صناعة الطائرات الحربية والشبح.



- 5- خلائط سيراميكية قوية تُستعمل في التوصيلات وقطع الغيار والتمديدات.
- 6- حساسات خفيفة وقوية تتحمل جميع الصدمات دون ضرر.
- 7- بطاريات مرنة وفق الشكل المرغوب وكذلك صفائح ناقلة مصنوعة من مواد طبيعية كالسلولوز cellulose ممزوجة مع مواد نانوية معدنية.

8- الكشف عن السرطان وإزالته بالمواد المركبة النانوية، وهي عبارة عن جسيمات نانوية مغناطيسية تتألق بالضوء مثل جسيمات الذهب النانوية وغيرها؛ فعلى سبيل المثال عندما تُحقن نقاط كمومية نانوية الأبعاد من CdSe فإنها تتسلل إلى داخل الورم ويحدث توهج للنقاط الكمومية لدى إسقاط ضوء فوق البنفسجي من ليزر على منطقة الورم ويعني هذا حدوث فلورة، ونتيجة لذلك يستطيع الجراحون تحديد منطقة الورم بدقة ثم العمل على إزالته بأقل ضرر ممكن للأنسجة المحيطة به؛ أي أنها مواد مركبة انتقائية موجهة وهذا ما تتميز به المواد النانوية بالتحديد.

9- صناعة الدهانات والألبسة والمكياج وفلاتر الماء وخلايا الطاقة والوقود والطلاء الخارجي للأبنية التي لا تتغير خواصها المختلفة مع الزمن وبمختلف المتغيرات المناخية ومواد عازلة إضافة إلى معالجة التصحر بالمواد السيراميكية النانوية الكارهة للماء.

المراجع

- Chabot V, Higgins D, Yu A, Xiao X, Chen Z, Zhang J (2014). A review of graphene and graphene oxide sponge: Material synthesis and applications to energy and the environment. *Energy Environ Sci* 7: 1564–1596.
- Domun N, Hadavinia H, Zhang T, Sainsbury T, Liaghat GH, Vahid S (2015). Improving the fracture toughness and the strength of epoxy using nanomaterials—A review of the current status. *Nanoscale*, doi:10.1039/C5NR01354B.
- Hashim A, (2011). *Advances in Nanocomposite Technology*. Intechweb.org, published by InTech Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia (Book with 386 pages about nanocomposite).
- Jyotishkumar P, Logakis E, George S, M, Pionteck J, Häussler L, Haßler R, Pissis P, Thomas S (2013). Preparation and properties of multiwalled carbon nanotube/epoxy–amine composites. *J Appl Polym Sci* 127: 3063–3073.
- Koninti RK, Sengupta A, Gavvala K, Ballav N, Hazra P (2014). Loading of an anti-cancer drug onto grapheme oxide and subsequent release to DNA/RNA: A direct optical detection. *Nanoscale* 6: 2937–2944.
- Lai X, Halpert JE, Wang D (2012). Recent advances in micro-/nano-structured hollow spheres for energy applications: From simple to complex systems. *Energy Environ Sci* 5: 5604–5618.
- Liu H, Kuila T, Kim NH, Ku B, Lee JH (2013). In situ synthesis of the reduced graphene oxide–polyethyleneimine composite and its gas barrier properties. *J Mater Chem A* 1: 3739–3746.
- Liu L, Yu M, Zhang J, Wang B, Liu W, Tang Y (2015). Facile fabrication of color-tunable and white light emitting nano-composite films based on layered rare-earth hydroxides. *J Mater Chem C* 3: 2326–2333.
- Liu Z, Xu J, Chen D, Shen G (2015). Flexible electronics based on inorganic nanowires. *Chem Soc Rev* 44: 161–192.
- Parameswaranpillai J, Hameed N, Kurian T, Ying Y (2017). *Nanocomposite Materials, Synthesis, Properties and Applications*. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487–2742. (Book with 440 pages about nanocomposite).
- Parameswaranpillai J, Joseph G, Shinu KP, Jose S, Salim NV, Hameed N (2015). Development of hybrid composites for automotive applications: Effect of addition of SEBS on the morphology, mechanical, viscoelastic, crystallization and thermal degradation properties of PP/PS–x GnP composites. *RSC Adv* 5: 25634–25641.
- Polshettiwar V, Varma RS (2010). Green chemistry by nano-catalysis. *Green Chem* 12: 743–754.
- Schilling K, Bradford B, Castelli D, Dufour E, Nash JF, Pape W, Schulte S, Tooley I, Bosch J, Schellauf F (2010). Human safety review of “nano” titanium dioxide and zinc oxide, *Photochem. Photobiol Sci* 9: 495–509.
- Yang W, Wan P, Meng H, Hu J, Feng L (2015). Supersaturation-controlled synthesis of diverse In₂O₃ morphologies and their shape-dependent sensing performance. *Cryst Eng Comm* 17: 2989–2995.

- Xu S, Shi J, Feng D, Yang L, Cao S (2014). Hollow hierarchical hydroxyapatite/Au/polyelectrolyte hybrid microparticles for multi-responsive drug delivery. *J Mater Chem B* 2: 6500–6507.
- Zhao Z, Huang D, Yin Z, Chi X, Wang X, Gao J (2012). Magnetite nanoparticles as smart carriers to manipulate the cytotoxicity of anticancer drugs: Magnetic control and pH-responsive release. *J Mater Chem* 22: 15717–15725.
- Zhou K, Jiang S, Bao C, Song L, Wang B, Tang G, Hu Y, Gui Z. Preparation of poly(vinyl alcohol), (2012). nanocomposites with molybdenum disulfide (MoS₂): Structural characteristics and markedly enhanced properties. *RSC Adv* 2: 11695–11703.

◀ تأليف: د. عبد الوهاب علاف، قسم الكيمياء، هيئة الطاقة الذرية السورية.

مطيافية رامان للعباب لكوفيد-19: نهج مبتكر للكشف عن الإصابات الحالية والسابقة بكوفيد-19

ملخص



تنتشر جائحة كوفيد-19 حالياً باستمرار، وقد أعلنت حالة الطوارئ الصحية العالمية عام 2019؛ لذلك لاحقاً نتيجة لتسريع انتشار كوفيد-19 جرت التوصية بالقيام بإجراءات تشخيص مبكر وسريع للأشخاص المصابين بعدوى حالية أو سابقة وذلك للإبطاء من التوسع الوبائي. في هذه المقالة أعلن عن نهج قائم على مطيافية رامان لتحليل اللعاب؛ هذه الطريقة قادرة على التمييز بشكل كبير بين إشارة المرضى المصابين بعدوى حالية عن الأشخاص الأصحاء و/أو الأشخاص المصابين بعدوى سابقة. أظهرت النتائج الفروق في التركيب الكيميائي الحيوي للعباب في المجموعات الثلاث التجريبية: مجموعة المصابين بعدوى حالية ومجموعة الأشخاص الأصحاء ومجموعة الأشخاص المصابين بعدوى

سابقة، مع تعديل الانحرافات الطفيفة في مناطق طيفية معينة. كان نموذج التصنيف المستند إلى مطيافية رامان قادراً على تمييز الإشارة التي جمعت من مرضى كوفيد-19 بدقة وحساسية عاليتين تزيدان عن 95%. هذه النتائج لها آثار على إنشاء أداة تشخيصية قائمة على مطيافية رامان، وذلك باستخدام اللعاب كسائل حيوي بكمية عينة قليلة ومعلومات وفيرة من النتائج.

الكلمات المفتاحية: اللعاب، إصابة، بصمة، كوفيد-19، مطيافية رامان.

في كانون الأول من عام 2019، ظهر فيروس كورونا المستجد المسمى متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد SARS-COV-2 في مقاطعة هوبي الصينية، وقد كان الفيروس المسبب للمرض هو فيروس كورونا (كوفيد-19)، ولاحقاً انتشر الفيروس بسرعة في جميع أنحاء العالم؛ مما استدعى إلى إعلان حالة الطوارئ الصحية العالمية من قبل منظمة الصحة العالمية¹.

إن الاختبارات التشخيصية الموصى بها لتشخيص فيروس كورونا هي حسب طريقة التفاعل التسلسلي للبوليميراز PCR بالزمن الحقيقي مسبقاً بالنسخ العكسي، وهي اختبارات تحتاج إلى مسحات لعينات من الأنف والبلعوم، مع أنها كطريقة تسبب عدم الراحة لمن تؤخذ منه العينة وفي بعض الأحيان تسبب السعال والتهاب، كما يتطلب جمع هذه العينات اتصالاً وثيقاً بين عمال الرعاية الصحية والمرضى مما يشكل خطراً لانتقال الفيروس لطاقتهم المرضات والأطباء. إضافة إلى ذلك، يتطلب البروتوكول التحليلي المطلوب لاكتشاف متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد من خلال الاختبار التشخيصي PCR بالزمن الحقيقي وقتاً ومختبرات متخصصة وكوادر باهظة الثمن وموظفين مناسبين، وكل ذلك في عملية قد تتعرض بشدة لخطأ المشغل والتي بدورها يمكن أن تؤثر على الدقة في النتائج النهائية.

حالياً يركّز الباحثون على الدراسات المتعلقة بالتقنيات الجديدة للكشف عن الفيروسات في السوائل الحيوية الأخرى والتي يسهل الوصول إليها وتكون غنية بالمعلومات التحليلية، وقد اكتسبت هذه الدراسات الأهمية لأن مسحات البلعوم والأنف غير مرغوب فيها للمراقبة التسلسلية للحمل الفيروسي والفحص الشامل. وبعد العديد من الأبحاث على طريقة انتشار فيروس كورونا التي أظهرت أن طريقة انتشار الفيروس تكون عبر الرذاذ التنفسي فقد جرى اقتراح للعب كبديل صالح لمسحات الأنف والبلعوم^{3,4}.

واللعاب هو سائل حيوي يمكن الوصول إليه بسهولة ويمكن جمعه دون إجراءات جراحية كما يمكن جمعه من قبل أفراد غير متخصصين. إن مكونات اللعاب هي عبارة عن مزيج مائي من المكونات الجزيئية التي تفرزها الغدد اللعابية الرئيسية بنسبة 90% والثانوية بنسبة 10%، وتحتوي المكونات أيضاً على خلايا سطحية وإفرازات تنفسية وجزيئات تدور في الأوعية الدموية وأحماض المعدة وهرمونات كما تحتوي على الكائنات الحية الدقيقة والفيروسات الحية.

ومن خلال الدراسات فقد أُثبت أن عينات اللعاب ذات معدل توافق عالٍ مع عينات الأنف والبلعوم في اكتشاف الفيروسات بما في ذلك فيروسات كورونا⁵. إضافة إلى ذلك، جرى بالفعل اقتراح اختبارات مولد المضاد للعاب كاختبارات تمييزية لكوفيد-19 لكن حساسيتها لا تزال غير قابلة للمقارنة مع تلك المقدمة من خلال الاختبار التشخيصي PCR بالزمن الحقيقي⁶. لكنه وفي الواقع، ودراسة على المرضى المصابين بفيروس كوفيد-19، تم إثبات أن اللعاب عينة موثوقة للتشخيص النوعي لكوفيد-19 من خلال الاختبار التشخيصي PCR بالزمن الحقيقي^{3,7}.

وبالنظر إلى المعلومات الزمنية للحمل الفيروسي لفيروس متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد في اللعاب، وجد أن الحمل الفيروسي في اللعاب قد وصل إلى ذروته خلال الأسبوع الأول من بداية الأعراض ثم انخفض. وتجدر الإشارة إلى أن استخدام اللعاب يمكن أن يقلل بشكل كبير من وقت جمع العينات وتكاليفها، ذلك أن اختبار PCR بالزمن الحقيقي لكوفيد-19 هو إجراء مستهلك للوقت بسبب إجراء تحضير العينة المطلوب قبل التحليل، كذلك رغم كون هذا الاختبار شديد الحساسية، إلا أن معدل الخطأ فيه واسع. وللتغلب على هذه العيوب المنهجية للاختبار التشخيصي PCR بالزمن الحقيقي تم تطوير اختبارات تعتمد بعملها على وجود الأجسام المضادة من الأنواع: IgM و IgA و IgG والتي لوحظت زيادة نسبتها لدى معظم المرضى بعد الأسبوع الأول من الإصابة بالعدوى في كل من الدم واللعاب مع بقاء أنماط تعبيرية لهذه الأجسام حتى ثلاثة أشهر بعد الإصابة بالعدوى.

إن استخدام اللعاب بوصفه بديلاً لمصل الدم لاختبار الأجسام المضادة لمتلازمة الالتهاب الرئوي الحاد أظهر توافقاً جيداً في النتائج^{10,12,13}. في الحقيقة وبالرغم من إيجابيات طريقة تشخيص انتقال العدوى بفيروس كورونا عن طريق تحديد الأجسام المضادة من حيث عدم الحاجة لاستخراج الحمض النووي للفيروس وقصر زمن الكشف، إلا أن هذه الطريقة لا يمكن استخدامها للكشف المبكر عن فيروس كورونا وذلك بسبب انخفاض تركيز الأجسام المضادة عند بداية الإصابة بالعدوى. في هذا الإطار، تعد المطيافيات التي تعمل على مستوى الرابطة مثل مطيافية رامان بدائل واعدة في التشخيص الجزيئي. لقد أثبتت هذه التقنيات بالفعل قابليتها للتطبيق في تشخيص العدوى في نقطة الرعاية الصحية مع نتائج واعدة أيضاً للتشخيص المبكر ومراقبة الأمراض

البشرية المتعددة¹⁴، وإلى جانب استخدام مطيافية رامان في تحليل الخلايا والأنسجة للكشف عن السرطان، فقد أثبتت هذه المطيافية موثوقية وقابلية للتطبيق الواعد أيضاً في تحليل العينات البيولوجية المعقدة مثل اللعاب للكشف عن الأمراض ومراقبتها¹⁵. في الحقيقة قد أظهر استخدام اللعاب كعينة لتحليل مطيافية رامان مزايا لا مثيل لها تتعلق أساساً بمعالجة العينات المحدودة المطلوبة والتداخلات القليلة أثناء جمع العينات إلى جانب العديد من الجزيئات والعلامات الحيوية للأمراض التي يمكن أن توفر معلومات تساعد في العلاج السريري¹⁶. ومن خلال الاستفادة من مطيافية رامان المحسنة تستطيع مطيافية رامان أن تكون أفضل من طرائق الكشف الحالية القائمة على الفلورة وذلك من حيث الحساسية والقدرة على تعدد الإرسال لمجموعة من المعلومات التحليلية، وتستطيع هذه الطريقة اكتشاف مكونات متعددة في الخليط بما في ذلك الفيروسات عند العلاج السريري¹⁷⁻¹⁹.

جرى اقتراح مطيافية رامان المحسنة لدراسة فيروس متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد باستخدام الحساسات الحيوية المعتمدة في حساسيتها على الجسيمات النانوية للكشف عن بروتينات السارس²⁰، ورغم ذلك لاتزال هذه المزايا الرائعة للتحليل الطيفي غير مقترحة للتطبيق السريري في جائحة كوفيد-19. في الحقيقة هناك احتمال أن يستفاد من خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق في إدارة وفك تشفير الكمية الهائلة من البيانات من نتائج مطيافية رامان²¹. جرى بالفعل اقتراح النهج الحسابي لإنشاء نماذج التصنيف في المجالات البيولوجية والطيفية وتطبيقه في تطبيقات مختلفة بما في ذلك كل من علوم التشخيص والاستقلاب والبروتينات والجينات²²⁻²⁵. يوفر تطبيق أساليب التعلم الآلي والتعلم العميق أداة قوية لتحليل البيانات، مما يوفر معلومات حول الاتجاهات المخفية والصلات والارتباطات. في هذه الدراسة يقترح استخدام مطيافية رامان المحسنة لتحديد بصمة رامان لفيروس متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد في لعاب المرضى المصابين بكوفيد-19. ومن المثير للاهتمام أن بيانات المقالة تقدم دليلاً على أن لعاب المرضى المصابين بالعدوى الحالية بفيروس متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد يمثل توقيعاً كيميائياً حيوياً يسمح باكتشافهم السريع والتمييز بينهم وبين الأشخاص المصابين بعدوى سابقة والأشخاص الأصحاء بدقة وحساسية عاليتين تزيدان عن 90%. كما أكدت العلاقة مع البيانات المستخرجة موثوقية الطريقة، مما يدل على الارتباط الإحصائي بالمقاييس السريرية المستخدمة لتصنيف خطورة كوفيد-19 خلال العلاج السريري، ومع الوقت يمكن استخدام هذا الارتباط لتحديد أول اختبار إيجابي لفيروس متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد وآخر اختبار سلبي.

النتائج

بصمة رامان لكوفيد-19

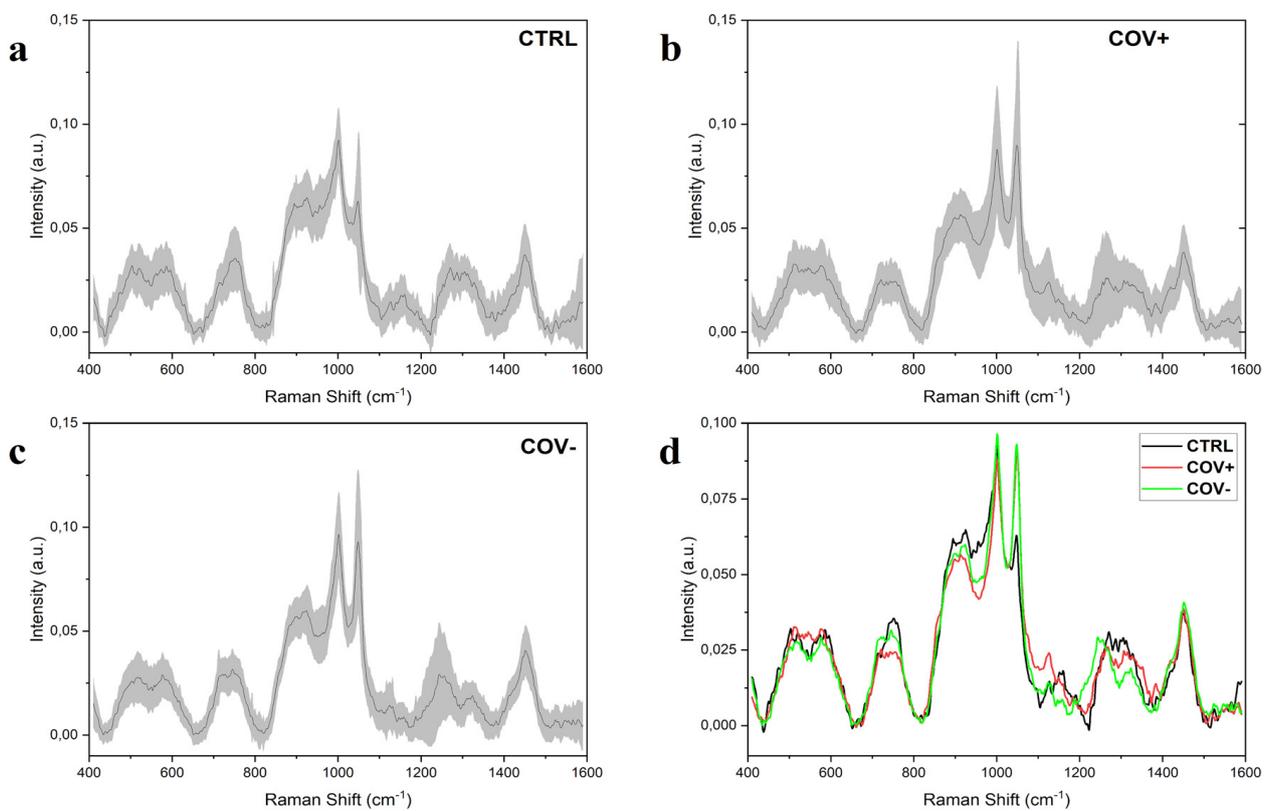
أجري تحليل رامان لللعاب حسب البروتوكول التحليلي المعدل والذي طور هنا، مما سمح باستخدامه كبروتوكول لمراقبة النمط الكيميائي الحيوي لللعاب. جرى في هذا العمل تقليل عدد إجراءات تحضير العينة وتجنب خطوة الترشيح، مما يجعل التحليل بهذه الطريقة أسرع وأرخص وأكثر إفادة بالمعلومات التحليلية، كما تم تعديل بارامترات التحليل بجهاز رامان. وقد كان الغرض من هذه الإجراءات أيضاً جمع عينة اللعاب بأمان والحد من التعامل مع العينة والحد من الصعوبات والتعقيدات. يوضح الشكل 1 أطياف رامان للعينات اللعابية التي جرى الحصول عليها من المجموعات التجريبية المدروسة، وهي: حالة الأصحاء CTRL (الشكل 1a)، وحالة الأشخاص أصحاب اختبار إيجابي لفيروس الالتهاب COV+ (الشكل 1b) وحالة المرضى بفيروس كوفيد-19 مع إصابة سابقة بفيروس كوفيد-19 الرئوي الحاد COV- (الشكل 1c).

تقع القمم الأساسية الموصفة للعينة عند 905، 716، 748، 748، 897، 922، 1000، 1048، 1126، 1155، 1249، 1288، 1317، 1384 و 1453 سم⁻¹، وتظهر مقارنة الأطياف للحالات الثلاث في الشكل 1d. تعود القمم الأساسية في طيف رامان إلى تمديد الرابطة C-N، واهتزاز المجموعة CH₃ على سطح بنية البروتين وذلك عند 897 و 1155 سم⁻¹ والقمم عند 1453 سم⁻¹ المميزة لتمديد C-H للبروتينات السكرية المنتجة غالباً من بروتين الموسين^{26,27}.

تمتلك القمم عند 748، 922، 1048، 1249 و 1126 سم⁻¹ أهمية حاسمة في التمييز بين المجموعات التجريبية المختلفة والتي تقدم اختلافات كبيرة وذلك عبر المقارنة الطيفية البصرية الأولية (الشكل 1d). ترتبط القمم عند 748 سم⁻¹ بشكل أساسي بتمدد الرابطة O-O في البروتينات المؤكسجة والبروتينات السكرية التي تتضمن الميوسينات والبروتين السكري الغني بالحمض الأميني البرولين

والتربتوفان المشاركة في الاصطناع البيولوجي²⁷، في حين أن القمة عند 922 سم⁻¹ تعود إلى الكربوهيدرات البسيطة والمتفرعة بما في ذلك الغلوكوز والجليكوجين²⁸. وغالباً ما تقع أكثر القمم أهمية عند 1048 و1126 سم⁻¹ التي في الغالب تعود على التوالي إلى الحمض الأميني الترتوفان والحمض الأميني فينيل ألانين وأيضاً لتمدد الرابطة C-N وC-C^{29,30}.

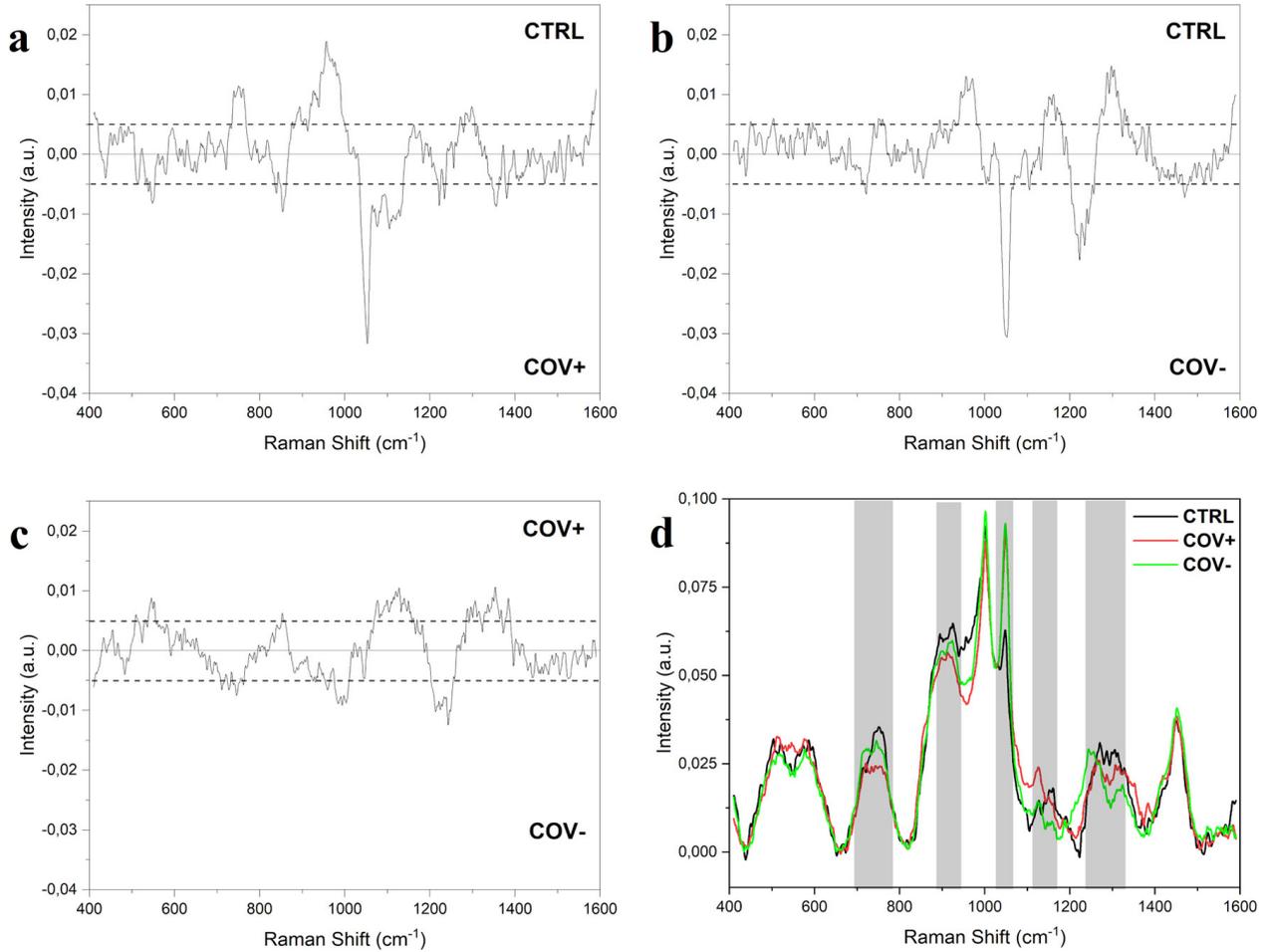
يشار إلى الاختلافات الرئيسية بين المجموعات التي جرى تحليلها من حيث الشدة في القمم وذلك من خلال أطياف الطرح التي أُجريت بين متوسطات قمم رامان والتي جرى الحصول عليها كما هو مبين في الشكل 2، كما يمكن ملاحظة الفروق في القمم عند المقارنة بين مجموعة CTRL مع مجموعتي COV+ وCOV- وذلك موضح في الشكل 1a,b. عُولجت جميع الاختلافات في الشدة عند ΔI تساوي $0.005 \pm$ وذلك عند القمم 748، 897، 922، 1048، 1126، 1249، 1317 و1348 سم⁻¹. ومن المثير للاهتمام، أن القمم عند 1048 و1126 سم⁻¹ تهيمن على أطياف الطرح، مع وجود اختلافات مهمة بين المجموعات التجريبية CTRL وCOV+ وCOV- وعادة ما ترتبط هذه الإشارات القوية عند هاتين المنطقتين ببيئة غنية بالأحماض الأمينية العطرية، ولا سيما الترتوفان والفينيل ألانين (الشكل 2).



الشكل 1. متوسط أطياف رامان التي جرى الحصول عليها. حالة الأصحاء CTRL (1a)، حالة المرضى بفيروس كوفيد-19 COV+ (1b). حالة الأشخاص أصحاب اختبار سلبي لفيروس الالتهاب الرئوي الحاد مع إصابة سابقة بفيروس كوفيد-19 COV- (1c)، مقارنة الأطياف للحالات الثلاث (1d).

ومن المثير للاهتمام، أنه جرى تحديد القمتين نفسها أيضاً على أنهما إشارات مميزة للفيروسات التاجية، وربما هذا يدل على أن هذه الإشارات لها علاقة ببنية البروتين الفيروسي أو التفاعلات الفيزيولوجية داخل الجزيئة³¹.

أظهرت الدراسات الحديثة التي أُجريت على فيروس متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد وأنواع أخرى من فيروسات كورونا الوجود المهم للأحماض الأمينية العطرية، بما في ذلك الترتوفان في البروتينات السكرية للفيروس وتحديدًا في المناطق الغنية بالترتوفان. وهي تشارك في التفاعل بين الفيروس ومستقبلات الأنجيوتنسين المحول للأنزيم من النوع 2 (ACE2)؛ لذلك من حيث إشارات طيف رامان، فإن وفرة الأحماض الأمينية والسكريات العطرية في اللعاب يمكن أن تفسر الشدة المختلفة لقمم طيف رامان التي كُشِف عنها في المناطق النسبية للمجموعات التجريبية COV- وCOV+ (الشكل 2).



الشكل 2. a، طرح أطياف رامان لمتوسط إشارة CTRL مقابل متوسط إشارة COV+ .
b، طرح أطياف رامان لمتوسط إشارة CTRL مقابل متوسط إشارة COV- .
c، طرح أطياف رامان لمتوسط إشارة COV+ مقابل متوسط إشارة COV- .
d، مقارنة متوسط الأطياف للحالات الثلاث.

يمكن تفسير وجود جزيئات فيروسية محتملة بكميات كبيرة في المجموعة COV+ بسهولة من خلال الوجود الفيروسي المرتفع أثناء حالة العدوى بكوفيد-19 حيث توجد الفيروسات في تجويف الفم كأحد مواقع الإصابة الأولى جنباً إلى جنب مع الجهاز التنفسي العلوي والسفلي بسبب التعبير العالي عن مستقبلات (ACE2). إضافة إلى ذلك يمكن تفسير الاختلافات الرئيسية لأنواع البروتين والتعديلات أيضاً بالتعبير عن جزيئات مختلفة من الاستجابة المناعية حسب المراحل الأولى والمتأخرة من العدوى. كما يمكن أن يستمر التعبير المعقد والمحدد لبروتينات المناعة مثل IgA و IgM و IgG لمدة تصل إلى 3 أشهر؛ مما يؤدي إلى ظهور إشارات يمكن اكتشافها في كل من المصل واللعاب. وكنتيجة يمكن القول أن اللعاب يمثل سائلاً حيوياً موثقاً به لاكتشاف الفيروس في المراحل الأولى من العدوى مع استمرار وجود الجزيئات البيولوجية المشاركة بشكل مباشر في وجود فيروس متلازمة التهاب الرئوي الحاد.

كما كشفت البيانات السريرية التي جمعت من المرضى المصابين بفيروس كورونا COV+ عن وجود إشارات الإصابة لفترات تتراوح بين 8 و90 يوماً وذلك عن طريق مقارنة طيف رامان لها مع أطياف CTRL و COV- كما هو موضح في الشكل 2. جرى تأكيد هذه النتائج من خلال الاختلافات في القمم من حيث شدة الذروة في طيف الطرح لـ COV+ و COV- وذلك فيما يتعلق بالقمم عند 1048 و1126 سم⁻¹ كما هو موضح في الشكل 2c، ومن الممكن أيضاً ملاحظة الاختلاف في طيف الطرح لـ COV+ و COV-، عند القمم التي تعود إلى الدهون 509 سم⁻¹ والكربوهيدرات 922 و1155 سم⁻¹ والبنى البروتينية 1317 سم⁻¹.

من خلال هذه المعلومات التي جرى الحصول عليها من أطياف الطرح، من الممكن تحديد أربع مناطق ذات أهمية خاصة في الأطياف لمجموعات CTRL وCOV+ وCOV- كما هو موضح في الشكل 2d وذلك حسب الاختلافات في شدة القمم المحددة.

المراجع

1. Cucinotta, D. & Vanelli, M. WHO declares COVID-19 a pandemic. *Acta Biomed.* 91, 157–160 (2020).
2. Nagura-Ikeda, M. et al. Clinical evaluation of self-collected saliva by quantitative reverse transcription-PCR (RT-qPCR), direct RT-qPCR, reverse transcription-loop-mediated isothermal amplification, and a rapid antigen test to diagnose COVID-19. *J. Clin. Microbiol.* 58 (2020).
3. Azzi, L. et al. Saliva is a reliable tool to detect SARS-CoV-2. *J. Infect.* 81, e45–e50 (2020).
4. Xu, R. et al. Saliva: Potential diagnostic value and transmission of 2019-nCoV. *Int. J. Oral Sci.* 12, 11 (2020).
5. To, K. K. W. et al. Saliva as a diagnostic specimen for testing respiratory virus by a point-of care molecular assay: A diagnostic validity study. *Clin. Microbiol. Infect.* 25, 372–378 (2019).
6. Dinnes, J. et al. Rapid, point-of-care antigen and molecular-based tests for diagnosis of SARS-CoV-2 infection. *Cochrane Database Syst. Rev.* <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013705> (2020).
7. To, K. K. W. et al. Consistent detection of 2019 novel coronavirus in saliva. *Clin. Infect. Dis.* <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa149> (2020).
8. To, K. K. W. et al. Temporal profiles of viral load in posterior oropharyngeal saliva samples and serum antibody responses during infection by SARS-CoV-2: an observational cohort study. *Lancet Infect. Dis.* 20, 565–574 (2020).
9. Iglói, Z. et al. Comparison of commercial realtime reverse transcription PCR assays for the detection of SARS-CoV-2. *J. Clin. Virol.* 129, 104510 (2020).
10. Isho, B. et al. Persistence of serum and saliva antibody responses to SARS-CoV-2 spike antigens in COVID-19 patients. *Sci. Immunol.* 5 (2020).
11. Younes, N. et al. Challenges in laboratory diagnosis of the novel coronavirus SARS-CoV-2. <https://doi.org/10.3390/v12060582>.
12. Faustini, S. E. et al. Detection of antibodies to the SARS-CoV-2 spike glycoprotein in both serum and saliva enhances detection of infection. *medRxiv Preprint Serv. Health Sci.* 2020.06.16.20133025, <https://doi.org/10.1101/2020.06.16.20133025> (2020).
13. Randad, P. R. et al. COVID-19 serology at population scale: SARS-CoV-2-specific antibody responses in saliva. *medRxiv Preprint Serv. Health Sci.* 2020.05.24.20112300, <https://doi.org/10.1101/2020.05.24.20112300> (2020).
14. Pahlow, S. et al. Application of vibrational spectroscopy and imaging to point-of-care medicine: A review. *Appl. Spectrosc.* 72, 52–84 (2018).
15. Carlomagno, C. et al. Human salivary Raman fingerprint as biomarker for the diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis. *Sci. Rep.* 10, 10175 (2020).
16. Derruau, S. et al. Vibrational spectroscopy saliva profiling as biometric tool for disease diagnostics: A systematic literature review. *Molecules* 25, 4142 (2020).
17. Yeh, Y.-T. et al. A rapid and label-free platform for virus capture and identification from clinical samples. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 117, 895–901 (2020).
18. Xu, K., Zhou, R., Takei, K. & Hong, M. Toward flexible surface-enhanced Raman scattering (SERS) sensors for point-of-care diagnostics. *Adv. Sci.* 6, 1900925 (2019).
19. Granger, J. H., Schlotter, N. E., Crawford, A. C. & Porter, M. D. Prospects for point-of-care pathogen diagnostics using surface-enhanced Raman scattering (SERS). *Chem. Soc. Rev.* 45, 3865–3882 (2016).

20. Zhang, D. et al. Ultra-fast and onsite interrogation of severe acute respiratory 1 syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in environmental 2 specimens via surface enhanced Raman scattering (SERS) 3 corresponding author 2 0. medRxiv 2020.05.02.20086876, <https://doi.org/10.1101/2020.05.02.20086876> (2020).
21. LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. Deep learning. *Nature* 521, 436–444 (2015).
22. Chatzidakis, M. & Botton, G. A. Towards calibration-invariant spectroscopy using deep learning. *Sci. Rep.* 9, 2126 (2019).
23. Alakwaa, F. M., Chaudhary, K. & Garmire, L. X. Deep learning accurately predicts estrogen receptor status in breast cancer metabolomics data. *J. Proteome Res.* 17, 337–347 (2018).
24. Eraslan, G., Avsec, Ž, Gagneur, J. & Theis, F. J. Deep learning: New computational modelling techniques for genomics. *Nat. Rev. Genet.* 20, 389–403 (2019).
25. Lussier, F., Thibault, V., Charron, B., Wallace, G. Q. & Masson, J.-F. Deep learning and artificial intelligence methods for Raman and surface-enhanced Raman scattering. *TrAC Trends Anal. Chem.* 124, 115796 (2020).
26. Virkler, K. & Lednev, I. K. Forensic body fluid identification: The Raman spectroscopic signature of saliva. *Analyst* 135, 512–517 (2010).
27. Gonchukov, S., Sukhinina, A., Bakhmutov, D. & Minaeva, S. Raman spectroscopy of saliva as a perspective method for periodontitis diagnostics. *Laser Phys. Lett.* 9, 73–77 (2012).
28. Wiercigroch, E. et al. Raman and infrared spectroscopy of carbohydrates: A review. *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 185, 317–335 (2017).
29. Naumann, D. FT-Infrared and FT-Raman spectroscopy in biomedical research. *Appl. Spectrosc. Rev.* 36, 239–298 (2001).
30. Rygula, A. et al. Raman spectroscopy of proteins: A review. *J. Raman Spectrosc.* 44, 1061–1076 (2013).
31. Fan, C. et al. Detecting food- and waterborne viruses by surface-enhanced raman spectroscopy. *J. Food Sci.* 75, 302–307 (2010).
32. Lu, Y., Neo, T. L., Liu, D. X. & Tam, J. P. Importance of SARS-CoV spike protein Trp-rich region in viral infectivity. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 371, 356–360 (2008).
33. Liao, Y., Zhang, S. M., Neo, T. L. & Tam, J. P. Tryptophan-dependent membrane interaction and heteromerization with the internal fusion peptide by the membrane proximal external region of SARS-CoV spike protein. *Biochemistry* 54, 1819–1830 (2015).
34. Howard, M. W. et al. Aromatic amino acids in the juxtamembrane domain of severe acute respiratory syndrome coronavirus spike glycoprotein are important for receptor-dependent virus entry and cell-cell fusion. *J. Virol.* 82, 2883–2894 (2008).
35. Xu, H. et al. High expression of ACE2 receptor of 2019-nCoV on the epithelial cells of oral mucosa. *Int. J. Oral Sci.* 12, 8 (2020).
36. Chen, L. et al. Detection of SARS-CoV-2 in saliva and characterization of oral symptoms in COVID-19 patients. *Cell Prolif.* <https://doi.org/10.1111/cpr.12923> (2020).
37. Fan, J. et al. Hock-a-loogie saliva as a diagnostic specimen for SARS-CoV-2 by a PCR-based assay: A diagnostic validity study. *Clin. Chim. Acta* <https://doi.org/10.1016/j.cca.2020.10.004> (2020).

المصدر

Carlomagno, C. Bertazioli, D. Gualerzi, A. Picciolini, S. Banfi, P.I. Lax, A. Messina, E. Navarro, J. Bianchi, L. Caronni, A. Marengo, F. Monteleone, S. Arienti, C. Bedoni, M. (2021). COVID-19 salivary Raman fingerprint: innovative approach for the detection of current and past SARS-CoV-2 infections. *Scientific Reports* 11(1): 4943–4946.

العلماء يبنون روبوتات رهيبة تتحرك باستخدام عضلات الفئران



تمكن العلماء من بناء روبوتات حيوية هجينة تتحرك باستخدام الخلايا العضلية للفئران ويمكن التحكم بها عن بعد، وفيما يبدو هو أحدث تطور في عالم دمج الروبوتات في الأنظمة الحيوية الأساسية، الأمر الذي من شأنه أن يمهّد الطريق لبناء روبوتات أكثر تعقيداً في المستقبل. وحسب ما نشر مؤخراً في مجلة متخصصة في مجلة عالم الروبوتات Science Robotics فقد سجل الروبوت الحيوي الهجين رقماً قياسياً في سرعة التحرك والتي بلغت أقل بقليل من 1 مم/ثا، وفي حين تبدو هذه السرعة قليلة إلا أنها كبيرة جداً مقارنة مع سرعات أنظمة روبوتات حيوية مشابهة سابقة.

وقد جرى بناء هذه الروبوتات التي لا يتجاوز حجمها حبة الحمص انطلاقاً من خلايا عضلية لفئران جرت تنميتها في المختبر ومن هيكل عظمي ثلاثي الأبعاد جرت طباعته باستخدام مواد لينة ومن رقائق تحكم لاسلكي مصنعة بتقانة الصمامات الكهربائية الثنائية LED. وباعتبار أن الخلايا العضلية للفأر تستجيب للمؤثرات الخارجية مثل الضوء والحرارة، فإن إسقاط الضوء على رقائق التحكم اللاسلكي سمح بتحريك الروبوتات؛ بمعنى آخر يمكن التحكم بالروبوت عن بعد دون الحاجة لمصدر طاقة أو بطارية.

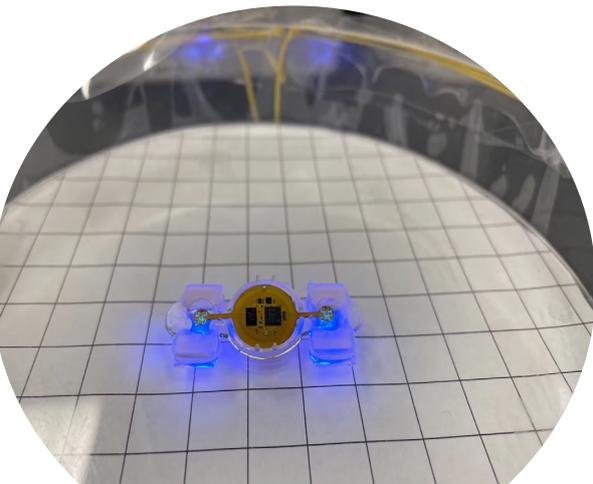
ويقول الباحث ماتيا غازولا Mattia Gazzola، المهندس الميكانيكي في جامعة إيلينوي Illinoi بأمریکا والذي شارك في نشر البحث، في سياق حديثه لمجلة Inverse: "إننا وبكل بساطة نقوم بإسقاط الطاقة على الرقائق دون الحاجة لتوافر مصدر طاقة مدمج مع الروبوت". ولم يتمكن فريق العمل من توجيه مسار الروبوت ضمن متاهة فحسب، بل تمكّن أيضاً من إسقاط مجموعة من الحواجز التي وضعت أمامه.

ويرى غازولا وزملاؤه بأن عملهم يشكل الخطوة الأولى وأنهم يعملون حالياً على بناء روبوتات أكثر تعقيداً باستخدام خلايا عصبونية ستمكن الروبوتات من اتخاذ القرارات من تلقاء نفسها.

ترجمة: د. عماد خضير، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Futurism, 24.1.2023

<https://futurism.com/the-byte/scientists-robots-move-mouse-muscles>





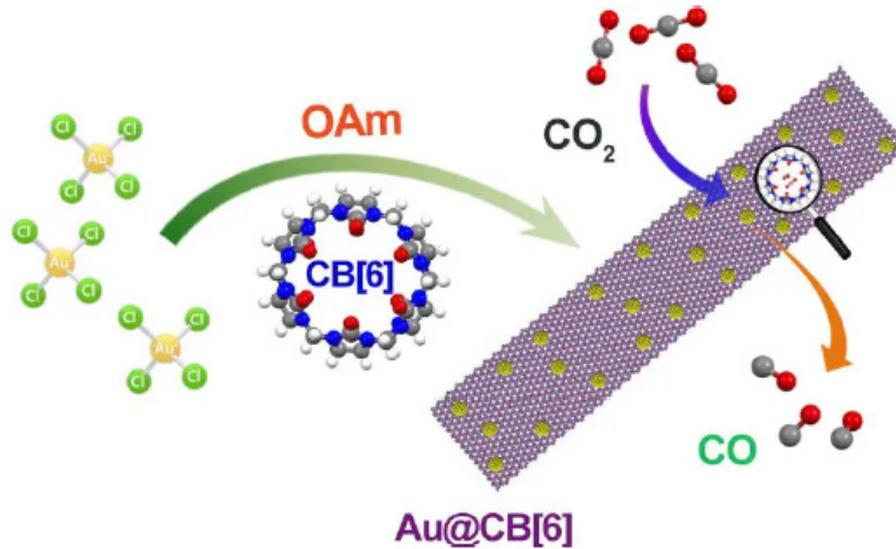
يُعد غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 عديم اللون والرائحة، وهو ضروري للحياة على الأرض. يُوجد بشكل طبيعي في الغلاف الجوي وهو مهم للحفاظ على درجة حرارة الأرض للحد من تأثير الاحتباس الحراري. ومع ذلك، أدى الانبعاث المفرط من هذا الغاز نتيجة الأنشطة البشرية مثل احتراق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض، وهذا ما يُعرف باسم تغير المناخ. يسهم تحويل غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 إلى غاز أول أكسيد الكربون CO من خلال التفاعلات الكهركيميائية بشكل كبير في تخفيض مستويات التلوث من غاز ثاني أكسيد الكربون وإزالته من الغلاف الجوي، كما يوفر مصدراً بديلاً للطاقة. ومع ذلك، فإن المحفزات الكيميائية المستخدمة حالياً في هذا النوع من التفاعلات ليست فعالة أو انتقائية بما يكفي لجعل هذه الطريقة حلاً عملياً وتطبيقياً.

طور فريق من الباحثين من معهد فوجيان the Fujian Institute of Research on the Structure of Matter للأبحاث على بنى المواد التابع للأكاديمية الصينية للعلوم مادة هجينة تعتمد على جسيمات الذهب النانوية وجرى إقحامها مع مركب حلقي ضخم يُدعى cucurbit[6]uril أو مختصر بـ (CB[6])، حيث تسمح هذه المادة بانبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 بكفاءة أكبر مما كان ممكناً في السابق. وقد نشرت هذه النتائج في مجلة أبحاث النانو Nano Research.

«هدف هذا العمل إلى حل مشكلة التلوث البيئي والنقص في الطاقة من خلال التحويل الكهركيميائي لثاني أكسيد الكربون إلى نواتج ذات قيمة مضافة عبر هذه المادة الجديدة وهذا ما ذكره السيد مينا كاو Minna Cao من مختبر كيمياء البنى التابع للأكاديمية الصينية للعلوم ومعهد فوجيان لبحوث بنية المادة والجامعة الأكاديمية الصينية للعلوم: "بهدف تعزيز وزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون على سطح المحفز الهجين مع مركب حلقي ضخم يُدعى cucurbit[6]uril أو مختصر بـ (CB[6]) وذلك لتفعيل سطح جسيمات الذهب النانوية، وهي السمة المميزة لعملنا عن تلك التي تم القيام بها سابقاً".

جرى تعديل المادة الهجينة التي أساسها الذهب (Au@CB[6]) إلى CB[6] لتكون أكثر كفاءة، وذلك لتحويل غاز CO_2 إلى CO . وفقاً للباحثين، يُعد الذهب نشيطاً للغاية لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى أحادي أكسيد الكربون مقارنة بالمحفزات الأخرى. ومع ذلك، فإن طاقة الارتباط لكل من ثاني أكسيد الكربون وأحادي أكسيد الكربون على سطح حفاز الذهب تكون مترابطة بالشكل الإيجابي (كاتيوني)،

مما يتعارض مع الحاجة لـ CO₂RR لامتزاز غاز ثاني أكسيد الكربون وانتزاز desorption غاز أول أكسيد الكربون، إذ لا يحدث انتزاز لغاز أول أكسيد الكربون بسبب طاقة الارتباط الموجبة مع المحفز.



طور الباحثون طريقة محكمة لتصنيع الجسيمات النانوية من خلال تعديل CB[6] الذي يمتلك شحنة سالبة وسطحاً ذا شحنة موجبة، مما يساعد على المساهمة في نتيجة التبادل الإلكتروني بين CB[6] والمعدن منظمًا بذلك عمل العامل الحفزي وأدائه وكفاءته.

حدد الباحثون مورفولوجياً بنية السطح للجسيمات النانوية المحضرة باستعمال الفحص بالمجهر الإلكتروني؛ حيث أثبتت القياسات أن المادة الهجينة (Au@CB[6]) التي أساسها الذهب تعزز النشاط التحفيزي لـ CO₂RR.

وأضاف كاو: «لقد أثبتنا أيضاً حدوث التفاعل المتبادل الذي يحصل بين cucurbit[6]uril وثاني أكسيد الكربون من خلال قياس الأثر الكهروكيميائي باستعمال مطيافية أوبرناردو Operando تحت شروط التجربة وأيضاً حسابات نظرية تابع الكثافة DFT.

وفقاً للباحثين، هناك عوامل متعددة تؤدي إلى تحسين الأداء التحفيزي. من ضمن هذه العوامل أنه يمكن لـ CB[6] أن يساعد في زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون بالقرب من سطح المعدن وتجميع CO₂، مما يعني قابلية الـ Au@CB[6] للتوليف والتحكم وإغناء غاز ثاني أكسيد الكربون. إضافة إلى ذلك، يسمح تعديل CB[6] بتحسين دور CO₂RR من خلال تحطيم الخطوات المذكورة سابقاً وعلاقة ألفة الترابط بين سطح الحفاز و CO₂/CO.

كما يعود أحد أسباب محدودية الكفاءة لـ CO₂RR مع محفزات سطح الذهب إلى أن غاز ثاني أكسيد الكربون لديه القابلية المنخفضة للذوبان في الكهرليات المائية، وهي مشكلة قام بحلها الباحثون باستخدام قوة ربط انتقائية في الحلقات الضخمة لادمصاص أنواع معينة بشكل انتقائي بتطبيق التحفيز الكهربائي المنتظم.

"أظهرت النتائج إمكانية أن يقوم CB[6] بتجميع غاز ثاني أكسيد الكربون وزيادة تركيزه بالقرب من السطح المعدني المتبادل، إضافة إلى تعزيز ادمصاص ثاني أكسيد الكربون، وهي الأسباب المهمة واللازمة لتحسين كفاءة وأداء CO₂RR" كما أضاف كاو؛ إذ يؤدي استعمال الحلقات الضخمة من cucurbit[n]uril إلى تعديل سطح الحفاز وسيشكل ذلك مساراً واعداً لتحسين الأداء التحفيزي الكهربائي وكفاءته، ويخطط الباحثون لمواصلة العمل لتعديل المحفز من أجل زيادة وتحسين كفاءة CO₂RR.

ذكر كاو أيضاً: "نأمل في الخطوة التالية بتعديل شكل وحجم محفز الذهب بوجود cucurbit[n]uril لزيادة تعزيز الأداء التحفيزي نحو الحد والتخفيف من غاز ثاني أكسيد الكربون بالطرائق الكهروكيميائية وتحويله لمنتجات ذات قيمة مضافة".

ترجمة: د. عبد الوهاب علاف، هيئة الطاقة الذرية السورية.

SciTechDaily, 23.1.2023

<https://scitechdaily.com/a-golden-solution-to-pollution-scientists-have-developed-a-new-method-of-reducing-carbon-dioxide/>



اكتشاف الطماء لأول ميكروبات معروفة يمكنها التغصن من الفيروسات نظام غذائي فيروسي جديد

أفاد باحثون من الأكاديمية الوطنية للعلوم بتاريخ 27 كانون الأول، أن أحد أنواع العوالق الصغيرة *Halteria ciliates* والتي تعيش في البحيرات والمستنقعات المائية تعد من الكائنات الحية التي تتغذى على الفيروسات، فهي قادرة على البقاء على قيد الحياة على نظام غذائي يقتصر على الفيروسات فقط؛ وبذلك فهي أول الكائنات الحية وحيدة الخلية التي تُعرف بقدرتها على النمو بوجود مُغذٍّ واحد فقط في قائمة غذائها menu.

يوضح عالم البيئة جون ديلونج John DeLong من جامعة نبراسكا لينكولن Nebraska- Lincoln أن هناك بعض الكائنات الحية الدقيقة المعروفة التي تتغذى على الفيروسات المائية مثل فيروسات chloroviruses التي تصيب الطحالب وتقتلها، ولكن لم يتضح ما إذا كانت الفيروسات وحدها تستطيع توفير ما يكفي من العناصر الغذائية لنمو هذه الكائنات الحية وتكاثرها.

وجد العالم ديلونج وزملاؤه أثناء التجارب العلمية التي أجروها أن جنس العوالق *Halteria* الذي كان يعيش في قطرات الماء وأُعطي فيروسات chloroviruses فقط من أجل التغذية أنه لا زال يتكاثر وينمو. ولاحظ أنه مع تضائل عدد الفيروسات في الماء ارتفعت أعداد العوالق المستعملة في التجربة. أما العوالق التي لم تتمكن من الوصول إلى اللقاحات الفيروسية أو أي وسيلة تغذية أخرى لم تستطع التكاثر. بالمقابل فإن البارامسيوم *Paramecium*، وهو كائن حي من حقيقيات النوى ووحيد الخلية، لم يزدهر في نظام غذائي يحتوي على الفيروسات فقط، مما يشير إلى أن الفيروسات لا يمكنها تلبية المتطلبات الغذائية لنمو جميع العوالق.

يقول ديلونج أن الفيروسات يمكن أن تكون مصدراً جيداً للفوسفور، وهو أمر ضروري لتكوين نسخ من المادة الوراثية لكن من المحتمل أن يتطلب الأمر الكثير من الفيروسات لحساب الوجبة الكاملة.

بحسب تقديرات الفريق العلمي فإن كل كائن حي واحد من عوالق الهالتيريا يتغذى على ما يقارب 10000 إلى مليون فيروس يومياً في المختبر. أما في الأحواض المائية الصغيرة التي توجد فيها الفيروسات بوفرة فقد تتغذى هذه العوالق على حوالي كوادريليون (10^{14}) فيروس يومياً.

وذكر ديلونج "يرى العلماء أنه يمكن لطريقة التغذية هذه تحويل الطاقة غير المعترف بها سابقاً إلى شبكة الغذاء وإضافة طريقة جديدة إلى الطريقة التي تنقل بها الفيروسات الكربون عبر النظام البيئي - إذا حدث ذلك في البيئة". يخطط الفريق العلمي للبدء في هذه الاكتشافات في بحيرات نبراسكا.

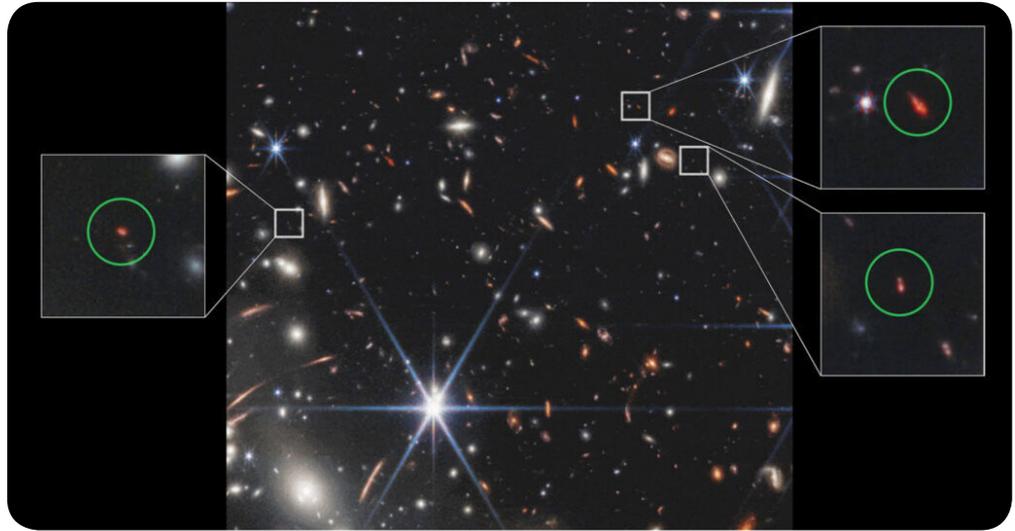
ترجمة: د. أيمن المري، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Science News, 18.1.2023

<https://www.sciencenews.org/article/first-microbes-eat-virus-virovory-algae>

اكتشف تلسكوب جيمس ويب وجود مجرات "البازلاء الخضراء" في الكون المبكر: يمكن أن تكون هذه المجرات مسؤولة جزئياً عن "إعادة تأين" الكون

التقط تلسكوب جيمس ويب الصورة الأولى لثلاث مجرات "البازلاء الخضراء" في الكون المبكر (محاطة بدائرة باللون الأخضر). وقد تمدد ضوء المجرات بسبب تمدد الكون؛ مما جعلها تظهر باللون الأحمر.



قد تكون المجرات التي ساعدت في تغيير الكون المبكر صغيرة ومستديرة وخضراء.

سلط علماء الفلك الضوء على مجرات البازلاء الخضراء التي يعود تاريخها إلى 13.1 مليار سنة باستعمال تلسكوب جيمس ويب؛ هذه الأقزام الضاربة إلى الخضرة التي تكثفت تماماً بعد 700 مليون سنة من بدء الانفجار العظيم، ربما تكون قد ساعدت في إطلاق واحدة من أعظم التحولات في التاريخ الكوني، هذا ما صرّح به علماء الفلك في مؤتمر صحفي عُقد في 9 كانون الثاني/يناير في سياتل في الاجتماع السنوي للجمعية الفلكية الأمريكية.

ظهرت مجرات البازلاء الخضراء أول مرة في عام 2009 في صور مسح مرصد سلوان Sloan الرقمي للسماء، وهو مشروع طموح لرسم خريطة لجزء كبير من السماء. في حين أطلق متطوعون علميون على هذه الأجسام اسماً نابضاً بالحياة، حيث إنّ لونها المخضر ناجم عن كون الضوء الصادر عنها بمعظمه ينبعث من غيوم غاز متوهج، وليس من النجوم مباشرة، وهذه المجرات نادرة الوجود الآن في كوننا الحالي، حيث يعتقد علماء الفلك أن المجرات التي كانت موجودة بالفعل لها مثيلات لتلك المجرات التي كانت موجودة بوفرة في بدايات الكون. قال عالم الفيزياء الفلكية جيمس رودز James Rhoads من مركز جودارد لرحلات الفضاء Goddard Space Flight Center التابع لناسا في جرينبيلت Greenbelt بولاية ماريلاند: "إنها تشبه إلى حد ما المستحاثات الحية"، كسمك السيلاكاث "إذا صح التعبير"، في إشارة إلى أنّ هذه السمكة كان يُعتقد أنها قد انقرضت إلى أن ظهرت قبالة سواحل جنوب إفريقيا في عام 1938.

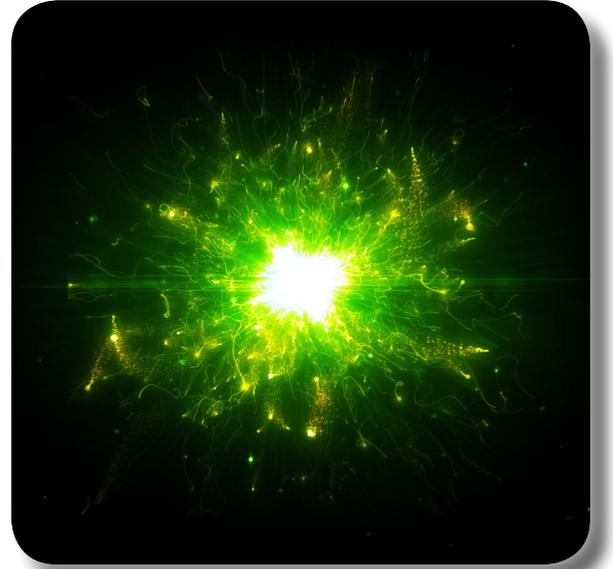
إنّ هذه المجرات تسرب المزيد من الضوء فوق البنفسجي، ويمكنها أن تقتلع الإلكترونات من الذرات أكثر مما تصدره المجرات التقليدية، في حين أنّ مجرات البازلاء الخضراء التي يرجع تاريخها إلى المليار سنة الأولى من عمر الكون أو نحو ذلك، يمكن أن تكون مسؤولة جزئياً عن انتقال كوني مثير وغامض يسمى إعادة التأين، وذلك عندما انتزعت إلكترونات معظم ذرات الهيدروجين في الكون المبكر.

ظهرت مجرّات البازلاء الخضراء الثلاث القديمة في الصورة الأولى لـ JWST، والتي تم نشرها في تموز/يوليو 2022. تبدو الأجسام حمراء في صور JWST الملتقطة في مجال الأشعة تحت الحمراء، لكن الأطوال الموجية لضوئها الصادر منها تشبه تلك الموجودة في مجرّات البازلاء الخضراء المكتشفة سابقاً، والتي قد نُشرت في 1 كانون الثاني/يناير في مجلة Astrophysical Journal Letter. يساعدنا هذا في تفسير كيفية إعادة تأين الكون، هذا ما قاله رودز. "أعتقد أنّ هذا جزء مهم من هذا اللغز".

ترجمة: د. سامي الشيخ سلو، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Sciencenews, 12.1.2023

<https://www.sciencenews.org/article/webb-telescope-green-pea-galaxies-universe>



أكاديمية العلوم العالمية تمنح الباحثة ناديا حيدر جائزة الدكتورة فايذة الخرافي لعام 2022 في مجال العلوم الزراعية والبيولوجيا

2022 TWAS- FAYZAH M. AL-KHARAFI AWARD

(SHARED)

Awarded for her remarkable
contribution to the field
of DNA barcoding of plants
and the whole-genome
sequencing of date palms



Nadia HAIDER
Research Director
Department of Molecular Biology and Biotechnology
Atomic Energy Commission of Syria
Syrian Arab Republic



تعد إزالة الغابات ورعي الماشية والتنمية الحضرية من التهديدات الرئيسية للحياة النباتية المحلية في سورية. إضافة إلى ذلك، هناك مخاطر أخرى مثل تلوث المياه والجفاف الناجم عن تغير المناخ تعيق بشدة التنمية الزراعية والاقتصادية في المستقبل. لأبحاثها المتميزة في الاستجابة لهذه التحديات، فازت عالمة التقانة الحيوية السورية ناديا حيدر (مناصفة) بجائزة:

"The World Academy of Sciences-Fayzah M. Al-Kharafi" لعام 2022 في مجال العلوم الزراعية والبيولوجيا؛ وهي جائزة سنوية تحمل اسم عضو في TWAS فايذة محمد الخرافي التي تكرم العالمات البارزات من البلدان المتأخرة علمياً وتكنولوجياً.

حصلت حيدر على درجة الدكتوراه في التكنولوجيا الحيوية النباتية عام 2003 من كلية علوم النبات بجامعة ريدينغ (كلية العلوم البيولوجية حالياً) في المملكة المتحدة، وهي مديرة بحوث في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية في هيئة الطاقة الذرية السورية (AECS) في دمشق، سورية.

في عام 2015، صنفتها قاعدة البيانات العالمية Scopus كواحدة من «أفضل مئة باحث سوري حول العالم». ركزت حيدر اهتمامها العلمي على تحليل دنا DNA النباتات بمختلف التطبيقات؛ فهي تقوم بتصنيف النباتات المفيدة اقتصادياً للمساعدة في حمايتها من الضغوطات البشرية والبيئية، وبالكشف عن الاختلافات الوراثية في المحاصيل والنباتات البرية لتسهيل وتسريع وأمثلة برامج حفظ وتحسين المحاصيل التي ينتج عنها أنواعاً تتحمل الضغوطات المختلفة، بما في ذلك المحتوى الملحي العالي في المياه التي تحتاجها للنمو.

لقد بحثت حيدر بعمق في الترميز الشريطي لدينا DNA barcoding النباتات، وهي طريقة لتمييز الأنواع النباتية من خلال المقارنة الجزيئية لمناطق محددة من الدنا. أوضحت حيدر أن الترميز الشريطي لدينا يشير إلى استخدام تسلسل موحد قصير من الدنا "يسمح بتحديد هوية الأنواع بطريقة سريعة ودقيقة ورخيصة نسبياً". "إنها تمثل الطريقة الأكثر موثوقية ضمن الطرائق المتوافرة لتحليل العينات وبيانات هذه العينات في أبحاث التصنيف".

كما بحثت حيدر في مجال كشف الاحتيال في المنتجات الغذائية؛ حيث يمكن اكتشاف غش هذه المنتجات بمواد ذات منشأ نباتي أو حيواني لاحتواء الأخيرة على دنا. طبقت حيدر تقنية تفاعل البوليميراز المتسلسل (PCR) Polymerase Chain Reaction للكشف عن مواد ذات منشأ نباتي أو حيواني استخدمت في غش اللحوم والتوابل والفسستق الحلبي والشاي والبن والورد الدمشقي، وكلها ذات صلة بالاقتصاد السوري.

تضمن التزام حيدر بحماية المحاصيل السورية القيمة إجراءها لتوصيف جزيئي للقمح والبقوليات، وذلك بمقارنة الأنواع البرية والأصناف المزروعة، وتوصيف جزيئي للإجاص السوري إضافة إلى أنواع السحلب السوري البري.

كما قامت حيدر بتوصيف جزيئي للأصناف السورية من النخيل المزروع، وباستخدام تقنيات تحليل الدنا، تمكنت حيدر والمتعاونون معها من معرفة التسلسل الكامل للدنا في 100 صنف من النخيل، وهذا يساعد في توضيح العلاقة التطورية بين نخيل التمر ونخيل الزيت، وبالتالي يمهد الطريق لتطوير خطط تحسين نخيل التمر. وقد نشر الباحثون نتائج دراستهم في مجلة Nature Communications. ويعد نخيل التمر عرضة للإصابة بمرض "البيوض" الناجم عن عدوى فطرية تدمر مزارعه، وقد استخدمت حيدر تقنية PCR للتحليل السريع لنخيل التمر السوري (والجزائري) لاكتشاف معلمات دنا مرتبطة بالحساسية أو المقاومة لهذا المرض. ويدعو من محرري كتاب "المصادر الوراثية لنخيل التمر والاستفادة منها"، قامت حيدر بتأليف فصل للنشر في هذا الكتاب حول واقع نخيل التمر في سورية.

اليوم، حيدر حاصلة على خمس براءات اختراع لتصميم مرئسات عامة لنباتات الأرض، بما في ذلك الأعشاب، وتطوير معلمات الدنا للكشف عن المواد ذات المنشأ النباتي أو الحيواني التي تستخدم في غش المنتجات الغذائية، وهي تعمل كمستشارة حكومية للقيام بتحليل تأكيد خلو بعض الأغذية من الغش بمواد ذات منشأ نباتي أو حيواني وتحاليل تأكيد هوية الورد الدمشقي.

قالت حيدر: "أتوجه بخالص شكري إلى TWAS والبروفيسورة الخرافي لمكافأتي. إن الفوز بهذه الجائزة المشرفة يجعلني أشعر بمزيد من الثقة، ويسعدني أن عملي قد تم تقديره من قبل هذه الأكاديمية والعضو في TWAS حسنتي السمعة".

ترجمة: د. ناديا حيدر، هيئة الطاقة الذرية السورية.

The Whorld Academy of Sciences, 9.1.2023

<https://twas.org/article/shielding-plants-stress>





No. 159
Print ISSN 1607-985X

Online ISSN 2790-8100

Atomic Energy Commission of Syria