161
مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية
2024

عالم الذرّة

ذاكرة الماء

الفضة النانوية :
طرائق تصنيعها وأهم تطبيقاتها

زلزال قهرمان مرعش 2023
ومنعكساته في سورية

ظاهرة التشابك الكمي والحواسيب

www.saec.sy/aznis/Slider.aspx

عـالـم الـذرّة

AECS AECS

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

المديـر المسـؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية السورية

رئيس هيئـة التحرير

د. فواز كرد علي

أعضاء هيئـة التحرير

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

التدقيق اللغوي

ريما سنديان

التنضيد والأرشفة

غفران ناوروز – هنادي كنفاني

الإخـراج الفنـي

أمل قيروط
بشار مسعود
راما الكاج

AECS AECS AECS AECS AECS AECS

المحتويات

مقـالات

المراقبة البيئية طويلة الأمد بين التحديات ودورها في تطوير البحوث المستقبلية 8

زلزال قهرمان مرعش 2023 ومنعكساته في سورية 15

إشعاع تشيرينكوف وتطبيقاته 23

ذاكـرة المـاء
نموذجٌ فيزيائي للغز بيولوجيٍ 28

التأريخ بالكربون 14 المشع فتحٌ في عالم المعرفة 33

ظاهرة التشابك الكمّي والحواسيب الكميّة 40

من تقنية السلسلة من الجيل الثاني إلى تقنية السلسلة عن طريق الثقوب النانوية: تمهيد الطريق للطب الجيني الفرداني 52

الفضة النانوية: طرائق تصنيعها وأهم تطبيقاتها 59

أخبار علمية

76

تطاير الميكروبلاستيك الناتج عن الأسمدة الطبيعية في الهواء أكثر مما كان يُعتقد من قبل 76

حطم العلماء التعقيدات الصبغية القديمة 78

المحتوى الوراثي للنباتات المضيفة ودوره في تحديد نوعية الكائنات الحية الدقيقة التي تنجذب إليها 79

أمثلة الطباعة ثلاثية الأبعاد للبنى النانوية الفعّالة ضوئياً 81

قواعد النشر في مجلة عالم الذرّة

شروط النشر

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

شروط الإعداد

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

الأوراق العلمية:

- 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 21×29.7 سم (A4)، واختيار نوع الخط Simplified Arabic وحجم 14 للنص العربي، وخط نوع Times New Roman وحجم 12 للنص الأجنبي، واختيار فراغ مضاعف بين السطور.
- يجب ألا يتجاوز عدد صفحات المقال 20 صفحة.

شروط الإيداع والتحكيم

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

إرشادات منشودة إلى المشاركين في المجلة

حول علامات الترقيم وبعض الحالات الأخرى عند كتابة النصوص باستخدام الحاسوب

بقلم المرحوم أ. د. زياد القطب

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

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

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

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

البند الأول

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

– مثال: أين ذهبت المادة المضادة بكاملها؟

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

– مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

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

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

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

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

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

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

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

- مثال: - المقدمة.

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

- مثال: مركبات عضوية–معدنية.

وكذلك توضع بين رقمين.

- مثال: انظر المراجع 154-161.

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

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

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

- مثال: نيسان/أبريل.

البند الثاني (حالات أخرى):

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

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

الكلمات الأجنبية في النص العربي: داخل النص العربي لا تبدأ الكلمات الأجنبية بحرف كبير إلا إذا كانت اسم علم أو بلد (مثال: 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 إلاّ إذا كانت الكلمة اسم علم أو بلد عندها نكتب الحرف الأول من الكلمة كبيراً (مثال: Alfred.)

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

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

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

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

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

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

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

المراقبة البيئية طويلة الأمد بين التحديات ودورها في تطوير البحوث المستقبلية

«الالتزام بتمويل برامج المراقبة البيئية الجيدة سيوفر إرثاً لا يقدر بثمن للعلماء والمواطنين في المستقبل»

ملخص

تعد برامج المراقبة البيئية طويلة الأمد من المحاور الرئيسة في مجال حماية الإنسان والبيئة، ولكنها تتعرض للعديد من التحديات المرتبطة بصعوبات التخطيط والتنفيذ فضلاً عن التكاليف المادية المرتفعة لها. من جهة أخرى تساهم نتائج المراقبة البيئية في توفير المعطيات اللازمة للتعرف على الحالة العامة للوسط البيئي وتقدير المخاطر المحتملة على الإنسان، كما تساهم نتائج برامج المراقبة في تقييم الخطط المستقبلية والتوجهات العلمية والبحثية مما يسمح بالاستثمار الأمثل للطاقات المادية والبشرية. إن الهدف من هذه المقالة هو المقاربة بين هذه التحديات وغيرها والفوائد التي يمكن الحصول عليها من نتائج المراقبة البيئية وخاصة البرامج طويلة الأمد.

الكلمات المفتاحية: مراقبة بيئية، التغير المناخي، نظام بيئي، برامج مراقبة، تلوث إشعاعي.

المراقبة البيئية: علم التغيرات البطيئة

تستخدم مراقبة البيانات بشكل روتيني في الحياة اليومية، نحن نراقب سوق الأوراق المالية والطقس وضغط الدم وإحصائيات الألعاب الرياضية. ولكن يبقى السؤال الأهم في مجال البيئة: ما هو دور المراقبة البيئية الروتينية في مجال العلوم البيئية؟

قبل الإجابة عن هذا السؤال لابد من التطرق لأهم الانتقادات الشائعة التي تتعرض لها المراقبة البيئية:

1- هي ليست علماً حقيقاً، وإنما مجرد طريقة لإضاعة التمويل الممنوح للعلوم الحقيقية.

2- معظم بيانات المراقبة لا تستخدم أبداً.

3- لا يمكن للمراقبة البيئية أن تكون مفيدة في المستقبل لأنّنا لا نملك أدنى فكرة عن الاحتياجات المستقبلية أو المشاكل البيئية التي يمكن أن تطرأ في المستقبل.

4- تسهم المراقبة البيئية غير المنظمة في إعطاء سمعة سيئة للعلوم البيئية.

ربما تفتح الإجابة عن مثل هذه الانتقادات مجالاً واسعاً للنقاش، ولكنّ المؤكد أن العلم لا يكتفي فقط بوضع الفرضيات وإجراء التجارب لإثباتها، وإن كان هذا جزءاً مهماً من العلم فإنّ الأنظمة البيئية عموماً تحتاج لمراقبة طويلة ومستمرة للتمكن من ملاحظة التغيرات البيئية التي تكون في معظمها بطيئة جداً. من جهة ثانية، من الصعب الحكم على نتائج التجارب البيئية قصيرة الأمد إذا لم يسبقها معطيات واضحة حول التغيرات البيئية في المنطقة المدروسة، فعلى سبيل المثال: أجريت دراسة عن الاستفادة من طريقة جديدة لري المزروعات وتأثيرها على إنتاج النبات، وكانت النتائج سلبية حيث لم يلاحظ أية استجابة. عند مراجعة سجلات مراقبة الهطل المطري تبين أنّ التجربة أجريت خلال العام الأكثر رطوبة على الإطلاق. إذاً، ساعدت بيانات المراقبة في توفير معلومات مهمة لتفسير النتائج التجريبية غير المتوقعة.

كما أنّ المراقبة البيئية تساعد بشكل كبير في تحديد ما إذا كان الحدث غير عادي أو استثنائياً، وهي مفيدة في تطوير التصاميم التجريبية المناسبة. على سبيل المثال، توفر المراقبة طويلة الأمد للأوزون في الغلاف الجوي معلومات مهمّة عن متوسط الأوزون الوسطي وتركيزه اللازم لتصميم تجربة مناسبة تفحص تأثيرات الأوزون على النباتات.

عموماً، قد لا تكون فرصة المراقبة البيئية في الحصول على التمويل اللازم مشابهة لفرصة الأبحاث العلمية الأساسية، ولكنّ هذا لا ينفي أنها تستند إلى جميع معايير البحث العلمي الأصيل من حيث الفرصة والتصميم وجودة البيانات والتفسير الدقيق للنتائج، كما أنّ تكلفة برامج المراقبة أقل بكثير من تكلفة تنفيذ السياسة أو الفوائد المالية المرتبطة بالتحسن البيئي.

المراقبة البيئية طويلة الأمد: التفكير في المستقبل

ربما يساعدنا في الإجابة عن دور المراقبة البيئية طويلة الأمد أن نطرح سؤالاً آخر وبشكل أبسط:

عندما نصل لعام 2050، ما هي التغيرات في النظام البيئي التي سنأسف لعدم قياسها؟

من الواضح أن الإجابة عن هذا السؤال تؤكد ضرورة البدء في قياس العديد من المتغيرات البيئية وعلاقتها بالأنشطة والعمليات البشرية والطبيعية التي تؤثر عليها، وذلك للتمكن من تتبع مسار التغيير مع مرور الوقت. ستؤدي هذه القياسات إلى تسهيل الخيارات المتاحة في كيفية إدارة التغييرات البيئية، وما هي التدخلات التي يلزمها، وتعزيز فهم أفضل بحلول عام 2050 عن كيفية تشكل الأنظمة البيئية مع مرور الوقت، وقدرتنا على التدخل في هذه العملية. إذاً، ستكون هناك قيمة كبيرة للبعد الزمني للمعلومات المسجلة من خلال برامج المراقبة البيئية طويلة الأمد.

الكوكب يتغير بسرعة نتيجة تزايد عدد السكان وتحولات الأرض والمحيطات والمناخ وفقدان التنوع الحيوي، ومعدل التغير الحالي أكبر من أي فترة سابقة عرفتها البشرية. بناء على ذلك، يشير بعض المؤلفين إلى عام 2050 باعتباره وقتاً حاسماً للبشرية من حيث التعامل مع المتطلبات المتعددة لعدد كبير من السكان الذين يستخدمون بشكل كبير الموارد الطبيعية المتناقصة بسرعة.

تحتاج هذه الخيارات المتوقعة إلى فحص دقيق حتى يمكن التحقق من صحتها أو تكييفها أو رفضها. وهذا يعني أنه إضافة إلى وضع تنبؤات عن التغيير بناءً على نماذج غير معروفة الدقة، سنحتاج أيضاً إلى قياس ما يتغير بشكل مباشر، وكيف يتغير ولماذا يتغير. فالتوقعات المستقبلية المبنية على المراقبة طويلة الأمد يمكن أن تكون أكثر فاعلية في تحسين قدرة المجتمع على التكيف والابتكار وتجنب حدوث أسوأ السيناريوهات المتوقعة.

إن المراقبة البيئية طويلة الأمد ستساعد المجتمع العلمي في تحديد المشاكل وحلولها بشكل أفضل، ومن ثمّ تقليل احتمالات وقوع حوادث مؤسفة باهظة الثمن، وسيكون إنفاق مبلغ صغير نسبياً من المال على المراقبة طويلة الأمد عاملاً مساعداً في تقييم العديد من السياسات البيئية وتكاليفها التي يمكن أن تصل في العديد من الدول حول العالم لملايين الدولارات.

تعد المراقبة والأبحاث البيئية طويلة المدى الملائمة للغرض ضرورية إذا أردنا الإجابة عن الأسئلة الرئيسية حول التغيرات البيئية، وخاصة التغيرات التدريجية التي تحدث خلال فترات طويلة من الزمن بدلاً من التغير المفاجئ الناتج عن التغير المفاجئ في البيئة.

الانحرافات في المراقبة البيئية

إذا كانت المراقبة البيئية طويلة الأمد ستساعد في الحصول على كميات كبيرة من المعطيات البيئية، فإنّ حدوث بعض الانحرافات فيها يمكن أن تحد من فائدة المعلومات التي تحويها. من أهم الانحرافات التي يمكن أن تحدث في المراقبة البيئية: التحيز المكاني غير الكمي، واستخدام أساليب جمع العينات غير الموحدة، والافتقار إلى الدقة التصنيفية أو الدقة المكانية في جمع البيانات.

ما الذي يجب مراقبته؟

المراقبة البيئية طويلة الأمد: ماذا يجب أن نراقب؟

كما هو الحال في العديد من دول العالم، لا تتوافر في سورية برامج مراقبة بيئية شاملة أو كافية للوصول إلى معطيات يمكن الاستناد إليها في فهم التغيرات البيئية الحاصلة أو التنبؤ بها مستقبلاً أو حتى دراسة فاعلية الحلول المقترحة حولها. وبناء على ماسبق فإنّ السؤال الأهم الذي نحتاج لطرحه اليوم هو:

ما الذي ينبغي البدء بقياسه الآن والذي يمكن أن يساعد المجتمع على فهم الموارد الطبيعية وإدارتها بشكل أفضل بحلول عام 2050 وما بعده؟

يمكن تلخيص السمات العامة التي من شأنها أن تميز مبادرة مراقبة وطنية ناجحة قادرة على خدمة المصلحة العامة حتى عام 2050، وبعض المبادئ العامة التي ينبغي أن توجه الجهود المبذولة لجمع قياسات بيئية ذات معنى على النحو التالي:

1- البدء في قياس المكونات الرئيسية للنظم البيئية بشكل منهجي وهادف.

2- إنشاء البنية التحتية اللازمة على الأرض لتسهيل المراقبة البيئية.

3- مواصلة تطوير إدارة المعلومات من خلال بنية متكاملة لأرشفة البيانات وتحليلها وإعادة استخدامها على المستويات المناسبة.

تبقى المعايير المتعلقة باختيار النظم البيئية الواجب مراقبتها والمؤشرات التي تجب مراقبتها في كل منها من مهام الجهات المسؤولة عن عملية التخطيط والمراقبة.

خصائص المراقبة الفعالة للنظام البيئي بحلول عام 2050

قبل البدء في أية مجموعة موثوقة من برامج المراقبة البيئية، يعدّ من الضروري تحديد النظام البيئي بشكل صحيح، وذلك لضمان أن جميع أصحاب المصلحة يعملون بمفاهيم ووحدات مشتركة للرصد والإبلاغ. كما يجب مراجعة برامج المراقبة الحالية والأبحاث البيئية طويلة المدى لتحديد العمل الذي تم إنجازه وأين تم ومن قام به، مما يسمح بالاستفادة من المزايا البيئية والمالية والسياسية من العمل طويل الأمد الموجود مسبقاً مع سلسلة زمنية موثقة بالفعل من المعلومات.

المراقبة البيئية طويلة الأمد: ما الذي يجعل برنامج المراقبة ناجحاً؟

لا يوجد نموذج موحد يمكن اعتماده في تنفيذ برنامج المراقبة، إذ يمكن أن تتم المراقبة من قبل أفراد أو مجموعات صغيرة من العلماء أو مؤسسات بحثية أو خدمية كبيرة، كما يمكن أن يتم التركيز على مواقع خاصة أو على مناطق كبيرة، وحتى عبر دول أو قارات بأكملها. إذاً، كيف يمكن ضمان أن برنامج المراقبة الذي سيستهلك الوقت والموارد المالية سيكون مفيداً في المستقبل؟

من الأمور الأساسية التي يجب أخذها بالحسبان هو الحفاظ على استمرارية البرنامج في جميع الأوقات التي يمكن أن تمر على الجهة المنفذة بما في ذلك صعوبات التمويل. بناء على ذلك يجب تصميم البرنامج ليكون ناجحاً من خلال الحفاظ على قاعدة تمويل قوية ومجموعة أساسية من القياسات غير المكلفة، ومجموعة من الأفراد المتخصصين لجمع البيانات وتفسيرها واستخدامها. إضافة إلى هذه الشروط الأساسية يجب أن يتمتع برنامج المراقبة الناجح بالعديد من الخصائص أهمها:

1- تصميم البرنامج حول أسئلة واضحة ومقنعة علمياً، إذ تعد الأسئلة حاسمة لأنها تحدد المتغيرات المقيسة ومكان جمع العينات وتكرارية القياسات ومدى فائدة البيانات.

2- الاعتماد على المراجعة الدورية والتغذية الراجعة والتكيف في التصميم، فقد تتغير الأسئلة التوجيهية مع مرور الوقت، وينبغي تصميم القياسات لاستيعاب مثل هذه التغييرات. ينبغي أن يستمر مصممو البرنامج في التساؤل حول الأسئلة ومدى قدرة البيانات على تقديم إجابات، ويجب أن يتمتع البرنامج بالقدرة على التكيف مع الأسئلة المتغيرة ودمج التكنولوجيا المتغيرة دون فقدان استمرارية قياساته الأساسية.

3- اختيار القياسات بعناية مع وضع المستقبل في الاعتبار؛ إذ لا يمكن رصد كل المتغيرات، ويجب أن تكون القياسات الأساسية المختارة مهمة إما كمقاييس أساسية لوظيفة النظام أو مؤشرات للتغيير أو متغيرات ذات أهمية إنسانية معينة. إذا كان السؤال يتضمن مراقبة التغيير في مجتمع إحصائي، فيجب اختيار القياسات بعناية لتوفير عينة ممثلة إحصائياً لتلك المجموعة، وينبغي أن تكون القياسات غير مكلفة قدر الإمكان لأن تكلفة البرنامج قد تحدد استدامته على المدى الطويل.

4- الحفاظ على جودة البيانات واتساقها إن أفضل طريقة لضمان عدم الاستفادة من البيانات هي المساس بالجودة أو تغيير طرائق القياس أو مواقع التجميع بشكل متكرر. ستعتمد ثقة مستخدمي البيانات في المستقبل اعتماداً كاملاً على برنامج ضمان الجودة الذي تم تنفيذه في البداية، ويجب أن تكون مجموعات العينات والقياسات دقيقة وقابلة للتكرار وموثقة جيداً وتستخدم طرائق مقبولة، كما يجب أخذ الحيطة والحذر عند تغيير الطرائق وتوثيق أي تغييرات وإرفاقها بفترة ممتدة يتم فيها استخدام كل من الأساليب الجديدة والقديمة على التوازي، لإثبات إمكانية المقارنة.

5- التخطيط لإمكانية الوصول إلى البيانات على المدى الطويل وأرشفة العينات؛ إذ ينبغي أن توفر البيانات الوصفية جميع التفاصيل المتعلقة بجمع البيانات وتحليلها وخفض حجمها، كما يجب تخزين البيانات الأولية والبيانات الوصفية وأوصاف الإجراءات في مواقع متعددة، وينبغي إتاحة البيانات المجمعة بتمويل عام للجمهور على الفور، كما ينبغي وضع سياسات السرية وملكية البيانات وأوقات احتجاز البيانات منذ البداية. يعد تخزين العينات المختلفة من التربة والرسوبيات والنباتات والحيوانات والمياه والهواء فرصة لا تقدر بثمن لإعادة تحليل هذه العينات في المستقبل.

6- فحص بيانات المراقبة وتفسيرها وتقديمها باستمرار: إن أفضل طريقة لكشف الأخطاء أو ملاحظة التوجهات هي أن يستخدم العلماء وغيرهم من الأفراد المعنيين البيانات بدقة وبشكل متكرر، كما ينبغي تخصيص الموارد الكافية لإدارة البيانات وتقييم النتائج وتفسيرها ونشرها. وتعد هذه مكونات حاسمة لبرامج المراقبة الناجحة، لكن التخطيط لها غالباً ما يحظى بأولوية منخفضة مقارنة بجمع البيانات الفعلي.

7- تضمين المراقبة ضمن برنامج بحثي متكامل؛ إذ قد يتضمن البرنامج المتكامل النمذجة والتجريب والمقارنات بين المواقع، ويعد هذا النهج المتعدد الأوجه هو أفضل وسيلة لضمان الاستفادة من البيانات بشكل فعال.

هل تستطيع برامج المراقبة الحالية الإجابة عن أسئلة الغد؟

باعتبار أن برامج المراقبة الجيدة صممت حول أسئلة جيدة، ولكن هل ستظل الأسئلة التي يتم طرحها اليوم مهمة في المستقبل؟

لسوء الحظ، لا أحد يعرف بشكل مؤكد ما هي القضايا البيئية التي ستظهر والتي ستنحسر مع مرور الوقت. لا شك أنّ بعض علماء العقود المقبلة سيحتاجون إلى البيانات التاريخية لمعالجة مشكلة مهمة، وسينظرون إلى الوراء ويتساءلون كيف يمكن لعلماء البيئة أن يفشلوا في أخذ بعض القياسات الحاسمة مسبقاً.

لحسن الحظ أن الدراسات المعمقة والفهم الجيد للأنظمة البيئية يمكن أن ينتج عنه بيانات مراقبة ذات قيمة دائمة، وذلك من خلال توقع المشكلات البيئية المحتملة في المستقبل واختيار القياسات الرئيسة التي من المحتمل أن تكون مفيدة في المستقبل. ومن المؤكد أنّ علماء المستقبل سينظرون إلى الوراء بامتنان عميق إذا تمكنوا من الحصول على العينات وليس فقط البيانات، مما سيتيح لهم الفرصة للاستفادة من تقنياتهم التحليلية الجديدة في تحسين النتائج أو الحصول على معطيات لم يكن ممكناً تحليلها آنذاك.

من يحتاج المراقبة البيئية؟

ربما يعد من الأسئلة الأكثر تكرارية حول المراقبة البيئية وخاصة برامج المراقبة طويلة الأمد، هو من يحتاج المراقبة البيئية؟. والجواب في الحقيقة سهل وبسيط **وهو جميعنا نحتاج المراقبة البيئية.**

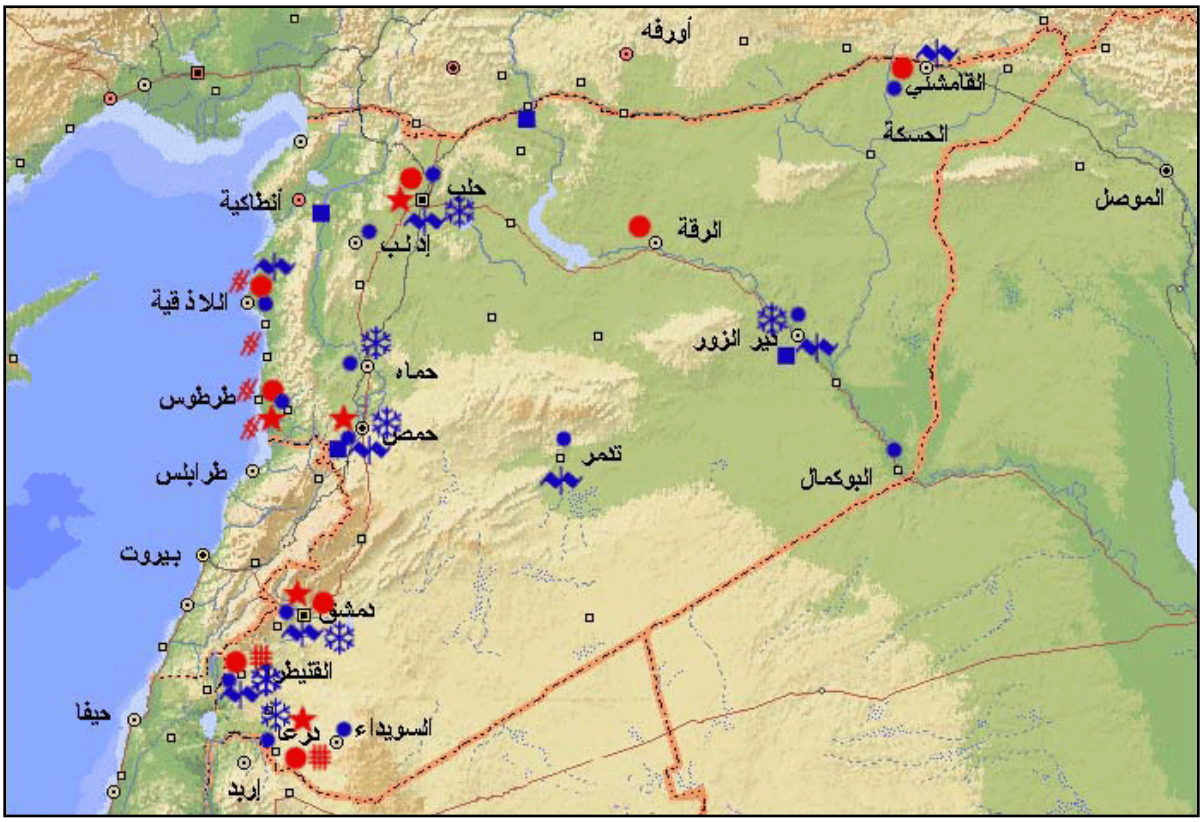
يحتاج العلماء لبرامج المراقبة باعتبارها جزءاً من برامج البحوث البيئية المتكاملة، ويحتاج صناع السياسات إلى المراقبة لتصميم السياسات البيئية الفعالة وتنفيذها وتقييمها. كما يحتاج الجمهور إلى التعرف على الموارد الطبيعية في بلاده وكيفية حمايتها.

إن المراقبة ليست علماً من الدرجة الثانية، بل إنها عنصر أساسي في العلوم البيئية وتستحق الاهتمام الدقيق من العلماء ودعم أكبر من الوكالات الحكومية ومصادر التمويل الأخرى.

إذا كنت عالماً يدير برنامج مراقبة، فإن مسؤوليتك هي التأكد من أن البيانات ذات جودة عالية، وأن تكون البيانات والأساليب متاحة على نطاق واسع، وأن يكون البرنامج فعالاً من حيث التكلفة قدر الإمكان، كما أن فحص البيانات التي يتم جمعها وتفسيرها وتطبيقها يحتاج إلى تعاون مع علماء آخرين بهدف تشكيل شبكات مراقبة مصممة لتعزيز قابلية المقارنة بين البيانات عبر المواقع وعبر مقاييس المكان والزمان.

برنامج مراقبة البيئة السورية إشعاعياً: النموذج الوطني الخاص بمراقبة التلوث الإشعاعي

تعمل هيئة الطاقة الذرية السورية ومن خلال مهامها الواردة في قانون إحداث الهيئة على دراسة الإجراءات المناسبة للوقاية من الإشعاع واتخاذ التدابير المناسبة للحد من أخطار الإشعاعات واقتراح القواعد والتشريعات الكفيلة بحماية الأشخاص والبيئة من مصادر الإشعاع، كما تسعى جاهدة لإبقاء البيئة والمواطنين في الجمهورية العربية السورية محميين من أي تلوث إشعاعي.



يوفر برنامج مراقبة البيئة السورية إشعاعياً الأساس الموثق لتحديد توزع النكليدات المشعة في مختلف المكونات البيئية (هواء، ماء، تربة، رسوبيات وغيرها)، والذي يمكّن القائمين على البرنامج من حساب الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها عموم الناس من هذه المصادر ومراقبتها، وتقدير مخاطرها.

يهدف برنامج مراقبة البيئة السورية إشعاعياً إلى تحقيق ما يلي:

1- توفير نظام للإنذار المبكر للتصدي لأي شذوذات طارئة.

2- جمع المعلومات عن مستويات النشاط الإشعاعي البيئي في جميع أنحاء القطر وتسجيلها.

3- مراقبة الإصدارات المشعة وانتقال النكليدات المشعة في البيئة.

ويتضمن البرنامج مجموعة من النقاط الرئيسة التي تتوافق مع المعايير العالمية المذكورة آنفاً وأهمها:

1- مقدمة عامة عن القائمين على العمل والأهداف الرئيسة للبرنامج.

2- مراجعة نظرية مختصرة تتضمن التعريف بأهم المصادر التي يمكن أن تؤدي إلى تلوث البيئة السورية إشعاعياً.

3- التعريف بأهداف البرنامج.

4- الهيكل الإداري ضمن البرنامج مع تحديد للمسؤوليات وصلاحيات كل مستوى.

5- الإجراءات الرئيسة المتبعة في تنفيذ البرنامج.

6- المتطلبات التقنية اللازمة لتنفيذ البرنامج.

7- الإجراءات المتبعة لضمان استمرارية البرنامج وزيادة موثوقية النتائج المسجلة.

8- المراجع الرئيسة التي يستند البرنامج عليها والتي يمكن الرجوع إليها عند الضرورة.

المراجع

- Why We Need to Invest in Large-Scale, Long-Term Monitoring Programs in Landscape Ecology and Conservation Biology, D. B. Lindenmayer, T. Lavery, B. C. Scheele, Biology. Curr. Landscape Ecol. Rep., 2022, 7: 137-146.

https://doi.org/10.1007/s40823-022-00079-2

- Distinguishing between research and monitoring programs in environmental science and management, T. J. Arciszewski, D. R. Roberts, A. Mahaffey, R. R. O. Hazewinkel, J. Environ. Sci., 2023, 13: 674-681.

https://doi.org/10.1007/s13412-023-00859-0

- Who needs environmental monitoring?, G. M. Lovett, D. A. Burns, Ch. T. Driscoll, J. C. Jenkins, M. J. Mitchell, L. Rustad, J. B. Shanley, G. E. Likens, R. Haeuber, Front. Ecol. Environ., 2007; 5(5): 253-260.

https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[253:WNEM]2.0.CO;2

- Experimenting With the Past to Improve Environmental Monitoring, E. R. White and Ch. A. Bahlai, Front. Ecol., 2021, 8:572979.

ttps://doi.org/10.3389/fevo.2020.572979

تأليف: د. جمال العبدالله، قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

زلزال قهرمان مرعش 2023 ومنعكساته في سورية

ملخص

شهدت سورية في صباح 6 شباط 2023 زلزالاً مدمراً أوقع آلاف الضحايا وخلف دماراً كبيراً في الأبنية السكنية والبنية التحتية. وقد وقعت البؤرة السطحية في الأراضي التركية في مدينة قهرمان مرعش حيث كانت الشدة الزلزالية الأعظمية فبلغ عدد الضحايا عشرات الآلاف وحدث دمار هائل للأبنية في تلك المنطقة. جاء هذا الزلزال بعد فترة هدوء زلزالية طويلة امتدت لحوالي القرنين تقريباً ليذّكر الناس بمعايير السلامة الزلزالية والتعايش مع الخطر الزلزالي. أظهرت المشاهدات الحقلية في المناطق المتأثرة في سورية مدى كفاءة كود البناء المطبق فيها، فبقيت معظم الأبنية المصممة وفقه صامدة بينما أرجعت تلك المشاهدات معظم الدمار في الأبنية لوجود مخالفات وعدم تلبية متطلبات الكود أو لأسباب جيولوجية أدت لتضخيم الاهتزاز الزلزالي مثل منطقة دامسرخو في محافظة اللاذقية.

الكلمات المفتاحية: *زلزال قهرمان مرعش، صدع شرق الأناضول، الخسائر الزلزالية، سورية.*

لقد استشعرت هيئة الطاقة الذرية السورية باكراً الأهمية الكبرى للمخاطر الزلزالية بشكل عام، فكانت هي الإدارة الوطنية السباقة في هذا المجال على الصعيد الوطني، حيث بدأت بالاهتمام في علم الزلازل ومخاطره منذ بدايات عام 1986 وتم الاهتمام بمجالات عديدة في علم الزلازل ومنها الزلزالية التاريخية والرصد الزلزالي وذلك عملاً بتوصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية بما يخص أمان المنشآت النووية. تم رُكّبت أول محطة للرصد الزلزالي في سورية في قرية الجابرية شرقي حمص، وكانت المحطة الوحيدة العاملة في هذا المجال إلى أن تم تأسيس المركز الوطني للزلازل في نهاية عام 1994. إضافة إلى ذلك فقد تأسست شبكة للرصد الزلزالي خاصة بالهيئة ومنشآتها في بداية عام 1995 وكانت من النوع التشابهي analogue، وفيما بعد تم تطوير هذه الشبكة من خلال دعمها بمحطات رقمية Digital: أربعة محطات لرصد الحركات الأرضية الخفيفة weak motion وثلاثة محطات لرصد الحركات الأرضية القوية strong motion. أما على صعيد الدراسات والبحث العلمي فقد تم تنفيذ العديد من المشاريع البحثية التي تخص المخاطر الزلزالية سواء عن طريق الوكالة الدولية للطاقة الذرية أم مشاريع في مجال تحديد وتقدير الخطر الزلزالي لمواقع تخص الهيئة أو جهات وطنية أخرى. كما تم إعداد خرائط المخاطر الزلزالية على مستوى القطر ومشاركتها في كود البناء الصادر عن نقابة المهندسين في سورية في إصداراته كافة. ومن أهم النتائج للبحوث والدراسات الزلزالية المتنوعة المنجزة والمنشورة في مجلات علمية دولية محكمة نذكر: سجل للزلازل التاريخية في سورية والزلزالية القديمة والتكتونيك النشط وسجل للحوادث الزلزالية المسجلة آلياً منذ بداية عام 1900 حتى عام 1995 كذلك أرشيف للمناطق الأثرية التي عانت من الزلازل التاريخية المدمرة، أضف إلى ذلك القيام بالعديد من الأبحاث في مجال الزلزالية الآلية والاستجابة الديناميكية للمواقع والمنشآت.

لقد أظهرت الأبحاث والدراسات المنجزة مدى العنف والدمار الذي سببته الزلازل التاريخية في معظم المدن السورية، ومن أهم تلك الحوادث الزلزالية: زلزال أوغاريت 1365 ق.م، زلزال حماه وأفاميا 1156 مـ، زلزال مصياف 1170 م، زلزالي اللاذقية 1408 م، زلزال دمشق 1759 م، زلازل حلب 1822 مـ، حيث تسببت هذه الزلازل المدمرة بالعديد من الخسائر الفادحة سواءٌ على الصعيد البشري أم المادي. لقد أشار تموضع البؤر السطحية للزلازل التاريخية ونتائج دراسات التكتونيك النشط إلى وجود أنظمة صدعية نشطة زلزالياً وقادرة على توليد زلازل مدمرة، ومنها الامتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت في سورية ولبنان والمتمثل بصدوع اليمونة وسرغايا ومصياف والغاب والروج، وكذلك صدع اللاذقية–كلس، ونظام الطي التدمري والفراتي، والرصافة. كما تأثرت سورية تاريخياً بنظام صدع شرق الأناضول الذي يقع إلى الشمال من الحدود السورية التركية، وهذا الصدع هو المسؤول عن زلزال تركيا–سورية 2023 في قهرمان مرعش Kahramanmaras.

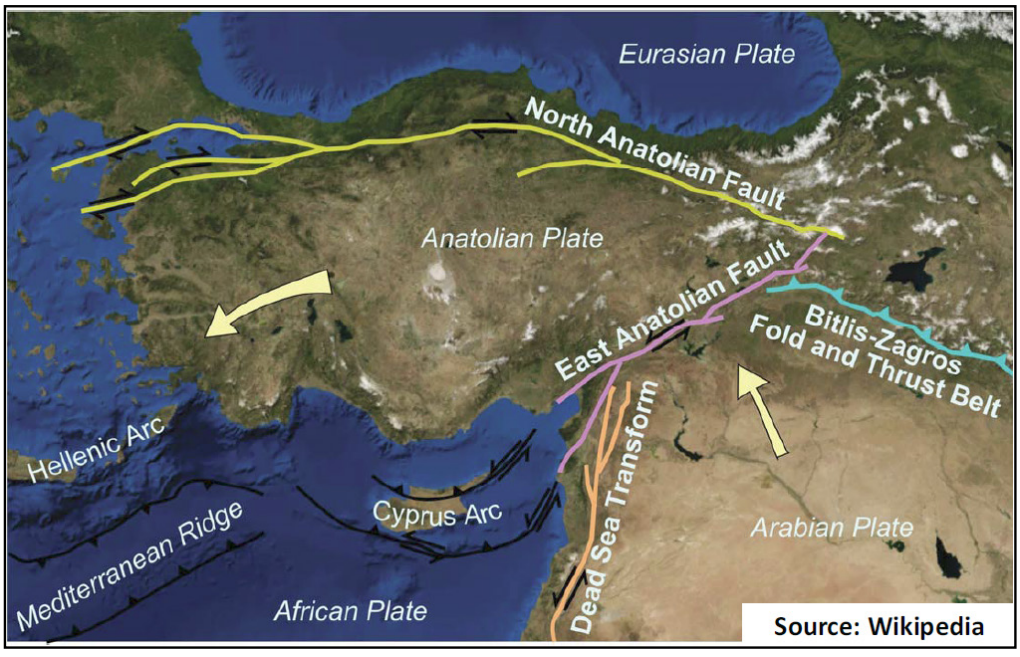
على الرغم من هذا التاريخ الحافل بالزلازل المدمرة إلا أن الرصد الزلزالي الآلي الممتد لمئة عام المنصرمة لم يبد أي نشاط عنيف بل أظهر هدوءاً نسبياً طويل الأمد، فكان أقوى التسجيلات الزلزالية: زلزال تدمر 1996 والذي لم يتعد قدره 5.6 على مقياس ريختر. إن طبيعة النشاط الزلزالي التاريخي في المنطقة تشير إلى فترات زمنية طويلة من الهدوء تمتد على مدى أكثر من قرنين، وكان آخرها زلزال 1822 الذي دمر مدينة حلب والعديد من المدن والمناطق المجاورة في شمال غرب سورية، وبالتالي فإن الزلزالية الآلية لا تظهر الوجه الحقيقي للخطر الزلزالي الكامن للأنظمة الصدعية المسيطرة في القطر. يُعد زلزال قهرمان مرعش نهوضاً مفاجئاً من السبات الطويل للنشاط الزلزالي في المنطقة، فكان من المناسب دراسته كما نبين لاحقاً نظراً لأهمية هذا الحدث وتأثيره على سورية.

معاملات الزلزال

وقع زلزالان عنيفان في جنوب تركيا في منطقتي بازارجق وألبستان بكهرمان مرعش في 6 شباط 2023 وكان الأول عند الساعة 04:17 بالتوقيت المحلي ثم الثاني في الساعة 13:24، وقد بلغ قدرهما Mw7.8 للأول وMw7.5 للثاني. وقد وقع الزلزال الأول على عمق 8.6 كيلومتر والثاني على عمق 7 كيلومتر، ولهذا يُعد كلاهما زلزالين ضحلين لقربهما من سطح الأرض، لذلك كانت الأضرار أكبر نسبياً من المنتظر. وجرى تصنيف زلازل قهرمان مرعش ضمن قائمة أقوى الزلازل لعام 2023، وهو من بين أكبر الزلازل في القرن الحادي والعشرين بعد زلزال إندونيسيا 2004 والذي أوقع 227 ألف ضحية وزلزال هايتي 2010 الذي أوقع 220 ألفاً وزلزال سيتشوان بالصين 2008 الذي أوقع 87 ألفاً وزلزال كشمير 2005 الذي أوقع 87 ألفاً. فيما يقدر المعهد الجيولوجي الأمريكي USGS الخسائر الاقتصادية للزلزال بحوالي عشر مليارات دولار. لكن نظراً لكون الدمار شمل مساحة كبيرة جداً فإن البيانات المتاحة يُعتقد أنها غير كافية لهذه التقديرات الاقتصادية.

الوضع التكتوني

وتكتونياً، وقع زلزال بازارجق على جزء من صدع نارلي والذي ينتمي لنظام صدع شرق الأناضول East anatolian Fault (الشكل 1)، وقد

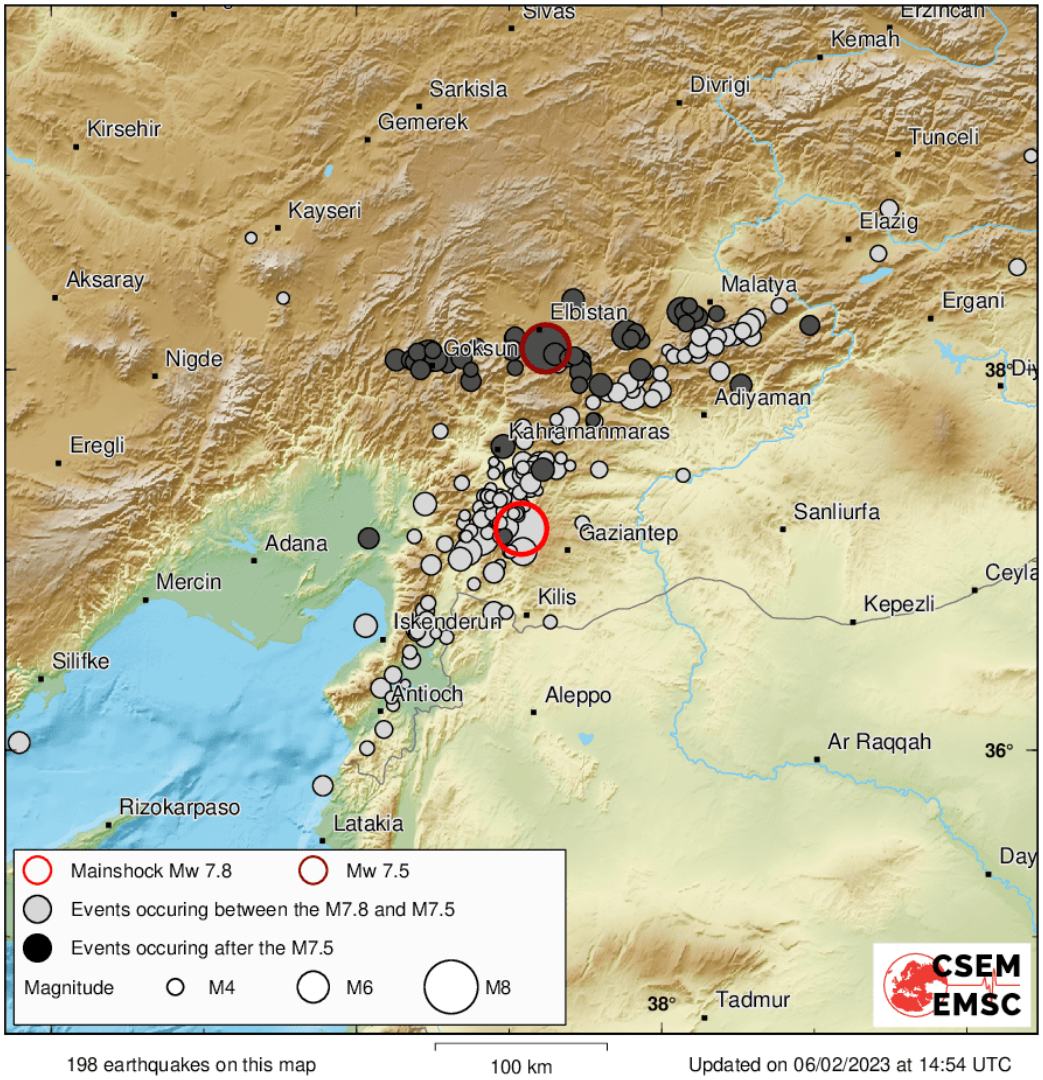


الشكل **1.** خارطة تكتونية تُظهر الأنظمة الصدعية الإقليمية سورية وتركيا.

أثر هذا الزلزال بشكل كبير على الصدوع الأخرى في المنطقة محفّزًا الزلزال الثاني زلزال ألبستان الذي حدث على صدع جارداق، علماً بأن المسافة بين بؤرتي الزلزالين تبلغ حوالي 90 كيلومتراً. إن تأثير التحفيز للزلازل الكبيرة وتسببها في إحداثها زلازل صغيرة هي ظاهرة جيولوجية معروفة في الأدبيات العلمية وقد تمت دراستها في مناطق عديدة من العالم مثل صدع سان أندرياس بالولايات المتحدة وصدع شمال الأناضول بتركيا. وعلى سبيل المثال نذكر زلزال كولجك (شمال غرب تركيا) الذي وقع في 17 آب 1999، وقد أدى إلى تحفيز زلزال دوزجة في 12 تشرين الثاني 1999 (شمال غرب تركيا)، أي بعد نحو ثلاثة أشهر، لكن الاختلاف الأكثر أهمية في زلزال قهرمان مرعش هو أن المدة بين الزلزالين الرئيسيين لم تتعد 9 ساعات. ومن ناحية أخرى، في قهرمان مرعش وقع الزلزال الأول في منطقة الصدع الرئيسي بينما وقع الثاني في منطقة الصدع الفرعية الثانوية المتفرعة عنه. وفي زلزال قهرمان مرعش الذي يوصف بأنه متعدد الطوابق أي ذو قوة تدميرية كبيرة؛ إذ وقعت هزتان كبيرتان متتاليتان، ما أدى إلى تضرر المباني في الزلزال الأول الذي استمر 75 ثانية فيما انهارت أو زادت الأضرار في الزلزال الثاني الذي دام 25 ثانية فقط، وأثر على منطقة جغرافية شاسعة شملت 10 ولايات تركية يبلغ عدد سكانها نحو 13.5 مليون نسمة. كما زادت الطبيعة الهشة لبنية التربة من القدرة التدميرية للزلزال، فسبب خسائر فادحة في الأرواح وعدد الجرحى ومعدلات الأضرار.

الهزات الارتدادية

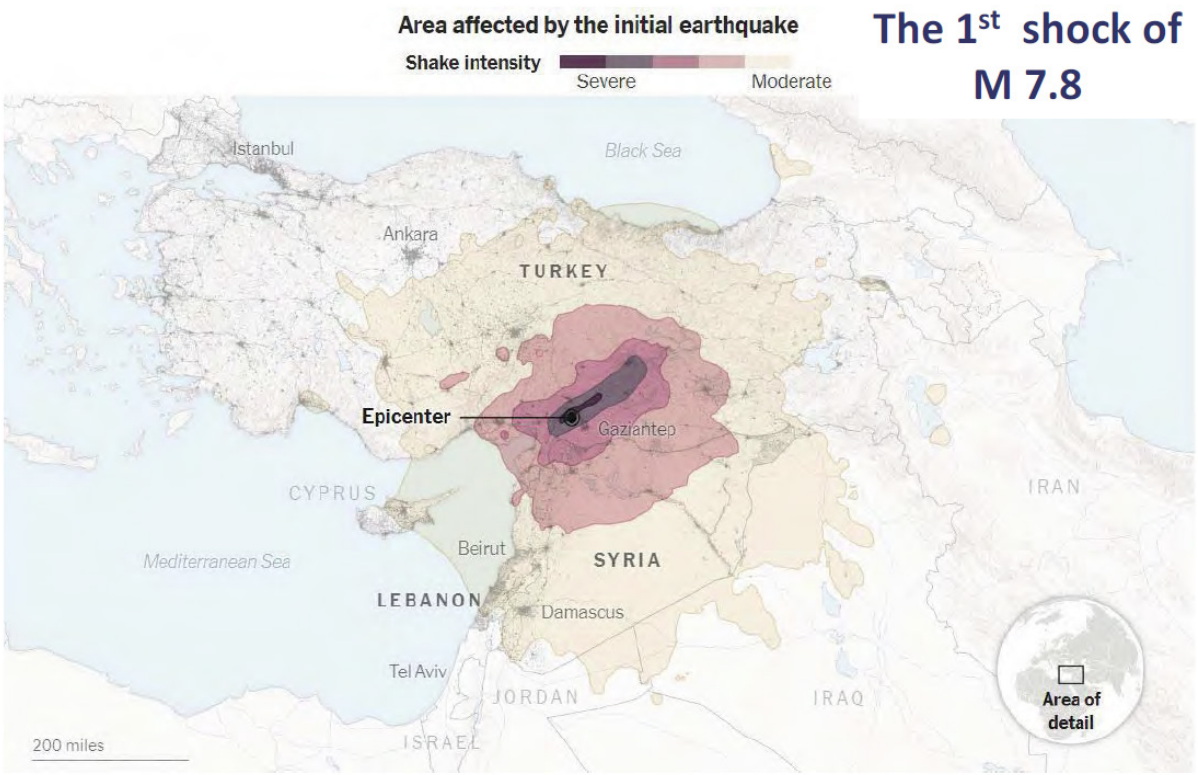
تظهر كل من البيانات الأولية وتوزّع الهزات الارتدادية أن المساحة المتأثرة بالزلزال تبلغ 350 كيلومتراً على طول صدع شرق الأناضول و150 كيلومتراً على صدع جارداق (الشكل 2). وقد وقعت أكثر من 11020 هزة ارتدادية في منطقة الزلزال حتى الأول من آذار وضمن مسافة 200 كم حول المركز السطحي للزلزال، وكان أكثر من 400 من هذه الهزات قد تجاوز القدر M 5.0



الشكل **2.** خارطة البؤر الزلزالية للهزات الارتدادية المسجلة في اليوم الأول بعد وقوع زلزال قهرمان مرعش في 6 شباط 2023.

الشدة الزلزالية

بينت نتائج التحريات الحقلية التي نفذت في كلٍّ من تركيا وسورية أن الشدة الزلزالية على المقياس الأوربي وميركالي المعدل، قد تجاوزت عشر درجات في العديد من المناطق والمدن التركية وبعض المناطق في سورية مثل دمسرخو وبعض الأحياء في مدينة جبلة وتجاوزت ثماني درجات في بعض أحياء مدينة حلب واللاذقية وجبلة والمناطق الريفية المحيطة. على الرغم من بعد بؤرة الزلزال عن تلك المدن السورية إلا أنه أحدث دماراً كبيراً فيها وأدى إلى العديد من الضحايا والجرحى، ويعود ذلك لعدة أسباب أهمها: القدر الكبير لهذا الزلزال والتأثير المحلي لبنية الطبقات السطحية للأرض التي استخدمت للبناء (جبلة)، وسيتم تفصيل ذلك لاحقاً. تبين الخارطة في الشكل 3 توزع الشدة الزلزالية بحسب ألوان متدرجة في كلٍّ من سورية وتركيا حيث نلاحظ الامتداد الواسع لتأثير الزلزال وأن معظم المناطق السورية تجاوزت الشدة الزلزالية فيها ستَّ درجات وأعظمها في شمال غرب سورية.



Source: The New York Times & U.S. Geological Survey

الشكل **3.** خارطة الشدة الزلزالية الملاحظة في المناطق المتأثرة بالزلزال في سورية وتركيا. تدل التدرجات اللونية من الأصفر إلى البني الغامق على تزايد الشدة من الدرجة السادسة (VI) أي معتدلة إلى الدرجة العاشرة (X) أي مدمرة.

التصدعات الأرضية

وتشير الدراسات الأولية إلى أن الأزاحات الصدعية التي نشأت على صدع شرق الأناضول نتيجة الزلزال الذي بلغت قوته 7.8 درجات بدأت من منطقة بازارجق–نارلي باتجاه جليك خان ثم باتجاه منطقتي تورك أوغلو وقرق خان. وخلال الأيام التالية للزلزال حُدّد العديد من المناطق التي شُوهد فيها حدوث انزياحات في طبقات الأرض تجاوزت الخمسة أمتار كما هو موضح في الشكلين 4 و5. وباستخدام صور الأقمار الصناعية تم تحديد إزاحة على طول مقطع صدعي بطول 250 كيلومترا على الفرع الرئيسي لخط صدع الأناضول الشرقي الممتد من قرق خان(هاتاي) إلى أركنك (ملاطيا). ونتيجة لفحص موجات الزلزال، جرى الكشف عن حدوث تصدعات في أجزاء الصدع الرئيسي. ويتميز صدع شرق الأناضول بأنه ذو حركة أفقية يسارية المضرب، فيما توجد صدوع أخرى ذات حركة أفقية يمينية المضرب، وتُعرف باسم الصدوع ذات الانزلاق الجانبي الأيمن وأحدث الزلزالان في قهرمان مرعش تصدعات سطحية يزيد مداها على 3 م.

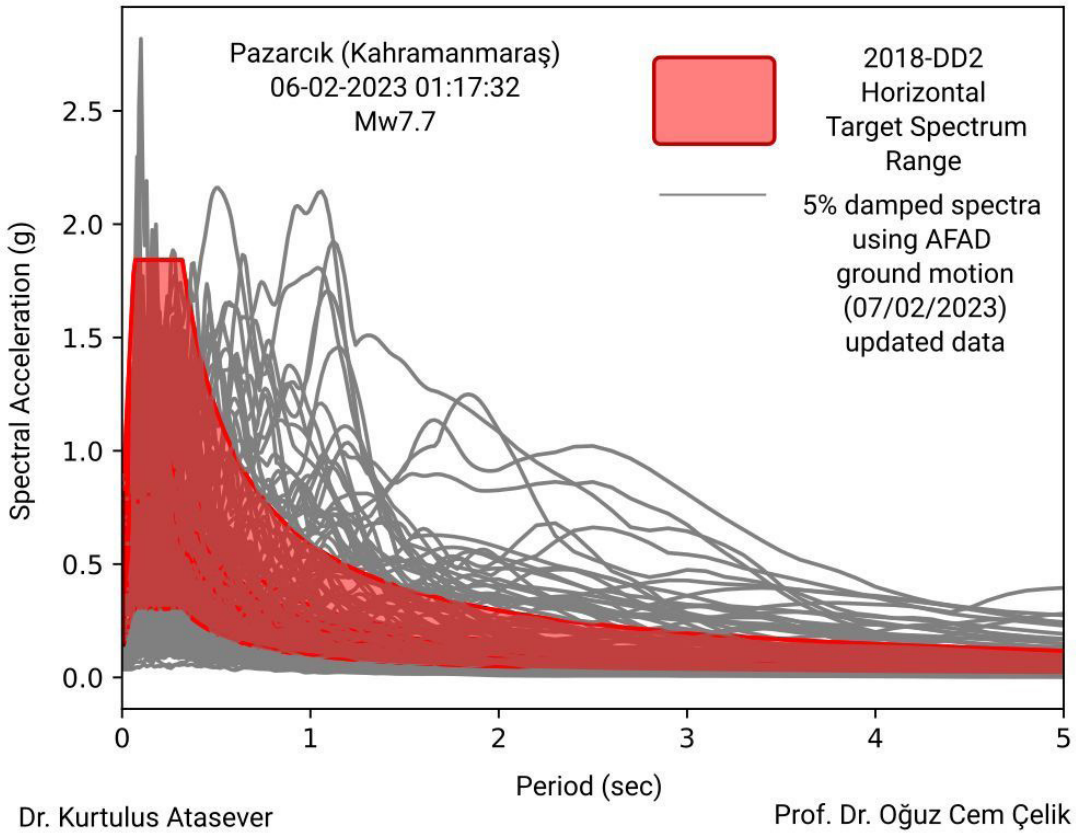
الشكل **4.** إزاحة صدعية قدرها حوالي 3 م قاطعة أحد الطرق في تركيا.

الشكل **5.** إزاحة صدعية بحوالي 3.5 م قاطعة لأحد الطرق في تركيا.

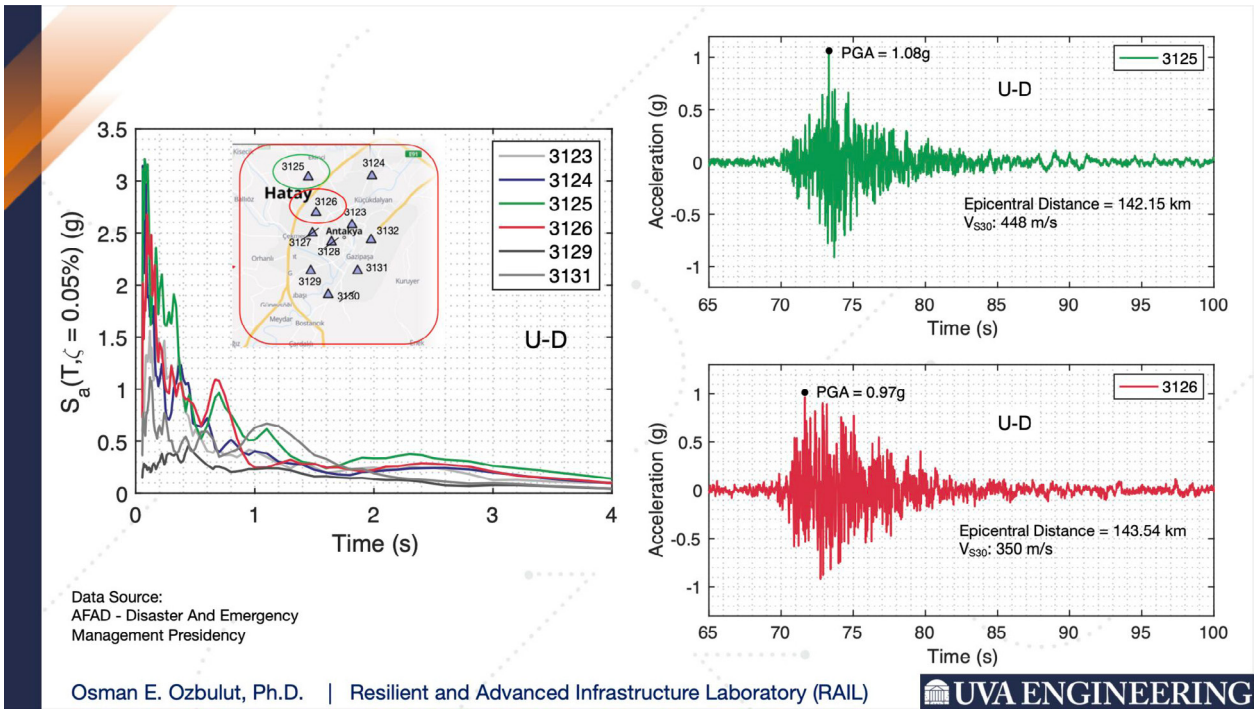
التسارعات الأرضية

إن تسارع سطح الأرض الناتج عن الزلازل يعدّ أهم عامل في قياس شدة الزلزال وتأثيره على البنى التحتية والفوقية، فبلغ تسارع الأرض أكثر من 0.7 g أي واحدة تسارع الجاذبية الأرضية، أما التسارع الطيفي فتجاوز (2 g)، وهذا يعني أن القوة التدميرية لهذا الزلزال أشد بكثير مما كان متوقعا في الدراسات السابقة التي اعتمدت في كود البناء التركي والسوري، إذ أن المحتوى الطيفي المعتمد في التصميم في تركيا هو أضيق بكثير من المحتوى الطيفي المسجل لهذا الزلزال في محطات الرصد الزلزالي في تركيا كما هو مبين في الشكلين 6 و7.

يبين الشكل 7 تسجيلات التسارعات الأرضية لمحطتي رصد في منطقة اسكندرون Hatay، وهي على مسافة 143 كم من موقع البؤرة الزلزالية، حيث بلغ التسارع الأرضي فيها 0.97 g و 1.08 g من واحدة تسارع الجاذبية الأرضية، كما يبين المحتوى الطيفي لتسجيلات المحطات في تلك المنطقة.

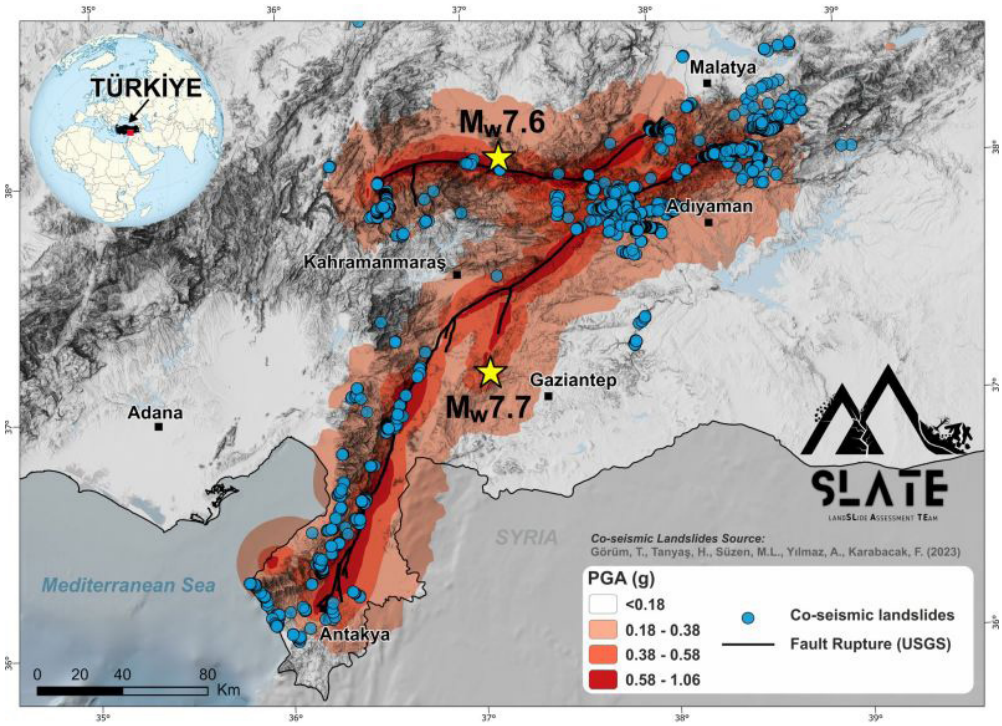


الشكل 6. مقارنة بين أطياف الحركة الأرضية القوية لزلزال قهرمان مرعش (باللون الرمادي) مع مجال طيف الاستجابة التصميمي التركي (باللون الأحمر) في منطقة قهرمان مرعش.



الشكل 7. تسجيلات التسارعات الأرضية لمحطتي رصد في منطقة اسكندرون Hatay والمحتوى الطيفي لتسجيلات المحطات في تلك المنطقة.

تبين الخارطة التالية في الشكل 8 موقع الحدثين الزلزاليين والصدعين المولدين لهما وقيم التسارعات الأرضية المسجلة مقدرة بواحدة الجاذبية الأرضية ($g=9.81\ m/s^2$)، إضافة إلى توزع الانزلاقات الأرضية الملاحظة.



الشكل 8. خارطة التسارعات الأرضية المسجلة في المناطق المصابة بالزلزال مقدرة بواحدة الجاذبية الأرضية ($g=9.81\ m/s^2$). تدل النجمة على موقع الحدثين الزلزاليين، ويدل الخط الأسود الغامق على مسار الصدعين المولدين لهما، كما تدل الدوائر الزرقاء على أماكن الانزلاقات الأرضية الملاحظة وتدل التدرجات اللونية على تزايد تسارع سطح الأرض من أقل من 0.18 (باللون الأبيض) إلى 1.06.0.58 g

منعكسات الزلزال على سورية

لقد تأثرت سورية بشكل كبير بهذا الزلزال وأحدث أضراراً كبيرة سواء في المنشآت العمرانية أم في عدد الضحايا والجرحى، وكانت معظم المناطق المتضررة في محافظتي حلب واللاذقية، وشعر به في معظم مناطق القطر بشكل قوي. وبناءً على الدراسات والتحريات الحقلية التي تمت في تلك المحافظات، يعزى السبب في جسامة الأضرار والتهدمات إلى عدة عوامل مهمّة والتي منها:

1- قدر الزلزال العالي M 7.8، والوضع الجيولوجي المحلي لمواقع البناء ووضعية الأبنية المهدمة والمتضررة بشكل عام، على الرغم من بعد بؤرة الزلزال عن المناطق المتضررة إلا أن قدره الكبير غير المتوقع أحدث تحرراً كبيراً لطاقة اهتزازية بتسارعات أرضية كبيرة تجاوزت في بعض المناطق القريبة من البؤرة الـ (1 g) من تسارع الجاذبية الأرضية.

2- طبيعة التربة السطحية التي بنيت عليها المباني والبيوت السكنية، حيث إنها تؤدي دور المضخم للأمواج والتسارعات الزلزالية إضافة إلى تصرفها كمادة الهلام مما يطيل المدى الزمني للتعرض للاهتزاز. ويحدث مايسمى بالتجاوب الطنيني بين المنشأة والتربة، وهذا ما لوحظ في العديد من المواقع في مدينة جبلة.

3- المخالفات في الأبنية سواء من ناحية جودة المواد المستخدمة (الحديد والاسمنت والرمل) أم من ناحية مطابقة البناء لقواعد التصميم الإنشائي الواردة في الكود العربي السوري وإصداراته المتعددة، ولوحظ ذلك في العديد من الأبنية في منطقة اللاذقية.

4- إن الحرب الإرهابية على سورية أثرت بشكل واضح على الخواص الإنشائية للأبنية السكنية كما هو ملاحظ في مدينة حلب، حيث انهار عدد كبير من الأبنية القديمة جداً في حلب والتي سبق لها أن تعرضت للعدوان الإرهابي.

5- إن الأبنية الحديثة التي طبقت كود البناء السوري لم تبد أية أضرار أو تشققات، وهذا ما يشير إلى جودة وكفاءة الاشتراطات الفنية للكود.

6- انتشار ظاهرة السكن العشوائي في معظم المحافظات السورية، فهي لا تخضع لمعايير السلامة وذات حالة فنية متردية، فهي تعد كمصائد بشرية لا قدر الله.

التوصيات

إن هذا الحدث على الرغم من ضخامته إلا أنه قد وقع خارج الأراضي السورية، أي أنه كان بعيداً نسبياً عن معظم مناطق القطر ومدنه الرئيسة كالعاصمة دمشق وحلب وحماه وحمص وطرطوس، وهذا لا يعني أننا بعيدين عن الخطر الزلزالي الكامن على امتداد صدع البحر الميت الممتد من خليج العقبة جنوباً إلى وادي الأردن واليمونة في لبنان ومصياف والغاب في سورية، فهو يشكل الخطر الأكبر بالنسبة لنا، إضافة إلى صدع سرغايا المتفرع عنه ومجموعة صدوع الطي التدمري؛ لذلك يمكننا أن نوصي بمايلي:

1- إعادة حساب خرائط المخاطر الزلزالية بناءً على المعطيات الجديدة التي تم التوصل إليها حديثاً بناءً على المحتوى الطيفي الواسع لهذا الزلزال.

2- إن الأبنية الحديثة المطبقة لكود البناء في الجمهورية العربية السورية لم تبدِ أي تأثر بالزلزال في مناطق القطر كافة، لذلك نؤكد على ضرورة الالتزام بكود البناء والتشدد على المخالفات العمرانية.

3- يجب عند التخطيط العمراني مراعاة الوضع الجيولوجي للمنطقة بما يسمح التوجه لتحديد مناطق الحدائق والأبنية المرتفعة والسكنية والعامة، ومن هنا يجب التركيز على إعطاء الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية الأهمية المستحقة في هذا المجال من خلال نقابة تنظم العمل الجيولوجي في القطر، لاسيما أن الدول المجاورة كافة قد سبقتنا في هذا المجال كالعراق والأردن ومصر.

4- زيادة عدد محطات الرصد الزلزالي للحركات القوية لتغطي مناطق القطر كافة بشكل وافٍ؛ حيث يمكن لهذه المحطات تسجيل أطياف الاستجابة الزلزالية الفعلية، مما يسهم في تطوير الكود الزلزالي في سورية.

المراجع

- Abdul-Wahed M. K. & Al-Tahan I., (2010), Preliminary outlining of the seismological active zones in Syria, Annals of geophysics, 53, 4, PP. 1-9, https://doi.org/10.4401/ag-4683.

- Abdul-wahed M. K., Asfahani J., (2018), The recent instrumental seismicity of Syria and its implications, Geofísica Internacional Vol. 57-2, PP. 121-138, https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2018.57.2.1655.

- Abdul-Wahed M. K., Alissa M., (2020), Present-day stress state in northwestern Syria, Geofísica Internacional Vol. 59-4, 299-316. https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2020.59.4.2038.

- Darawcheh, R., Sbeinati, M.R., Margottini, C. & Paolini, S., (2000), The 9 July 551 AD Beirut earthquake, eastern Mediterranean region, J. Earthquake Eng., 4, 403–414.

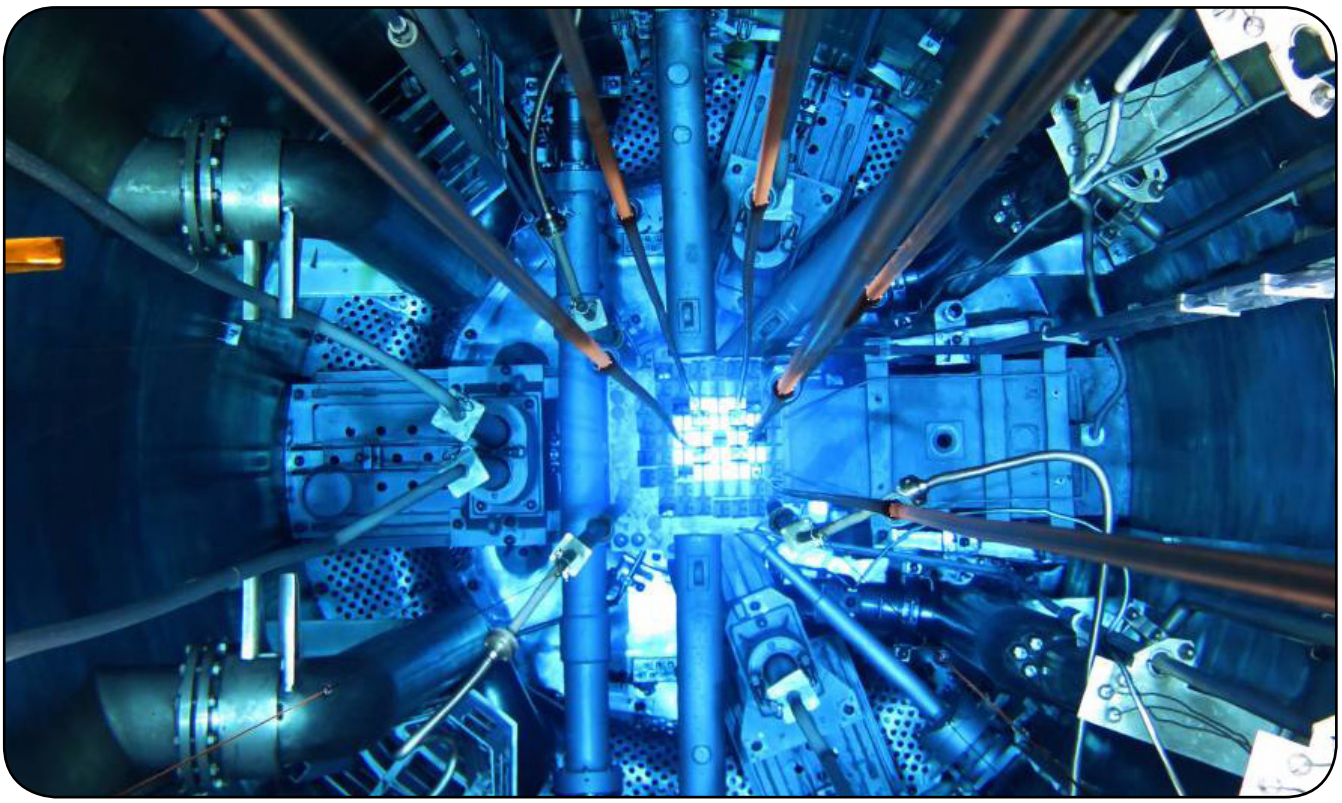
- Darawcheh R., Abdul-Wahed M. K. and Hasan A., (2022), The Great 1822 Aleppo Earthquake: New Historical Sources and Strong Ground Motion Simulation, Geofísica Internacional Vol. 61-3, 201-228. https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2022.61.3.2198.

- Sbeinati M. R., Darawcheh R., Mouty M., (2005), The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D., Ann. Geofis., Vol. 48, N. 3, PP 347-435.

- Sbeinati, Mohamed Reda & Ghada, Suleyman & Gomez, Francisco & Grootes, P. & Nadeau, Marie-Josée & Alnajjar, Haitham & Al-Ghazzi, Riad. (2010). Timing of earthquake ruptures at the Al Harif Roman Aqueduct (Dead Sea fault, Syria) from archeoseismology and paleoseismology. Geological Society of America Bulletin.

تأليف: د. محمد خير عبد الواحد، د. محمد رضا سبيناتي، قسم الجيولوجيا، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

إشعاع تشيرينكوف وتطبيقاته

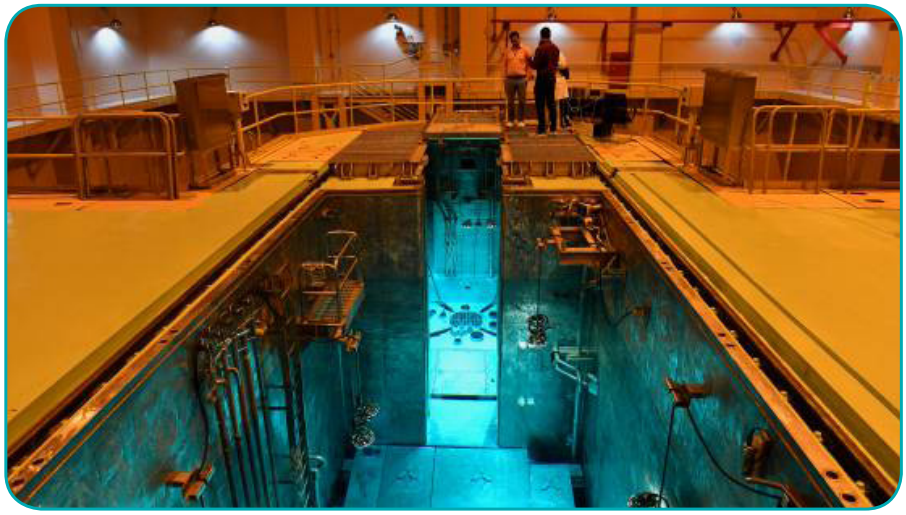


ملخص

إشعاع تشيرينكوف Cherenkov هو شكل من أشكال الطاقة التي يمكننا إدراكها على أنها توهج أزرق ينبعث عندما تتحرك الجسيمات المشحونة كهربائياً التي تتكون منها الذرات (الإلكترونات والبروتونات) بسرعات أكبر من سرعة الضوء في وسط معين. وقد تمت تسمية إشعاع تشيرينكوف على اسم الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1958 بافيل تشيرينكوف الذي شارك الجائزة مع إيليا فرانك وإيغور تام، لكونه أول من أظهر وشرح هذا التوهج تجريبياً. ويستخدم هذا الإشعاع في الكثير من التطبيقات منها: الكشف عن كميات الوقود النووي المستهلكة وتحليل النوكليدات المشعة والتطبيقات الفيزيائية الفلكية وفي تصوير الأورام وعلاجها وكواشف النترينو.

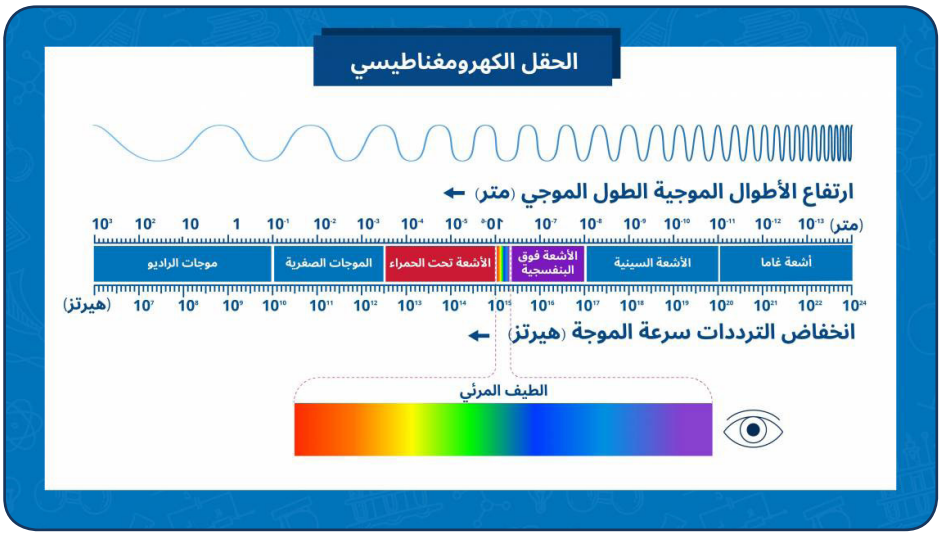
الكلمات المفتاحية: إشعاع تشيرينكوف، الوقود المستهلك، الأورام، الضمانات، كواشف النترينو.

لا شيء يمكنه السفر بسرعة أكبر من سرعة الضوء في الفراغ. ومع ذلك، في الأوساط الأخرى، من المحتمل أن تتحرك الجسيمات بشكل أسرع من الضوء. ففي الماء مثلاً تتناقص سرعة الضوء بنسبة 75% من سرعته الطبيعية، ولكن هناك جسيمات أخرى تتباطئ بالقدر نفسه وينتهي بها الأمر للتحرك بشكل أسرع من الضوء. وعندما يحدث ذلك يحدث توهج أزرق أو بنفسجي. فعندما تتحرك الجسيمات المشحونة بسرعة أكبر من سرعة الضوء، على سبيل المثال في الماء، فإنها تشوه توازن الطاقة للذرات التي تعترض طريقها، ومن أجل استعادة التوازن، تطلق تلك الذرات الفوتونات (جسيمات تشكل الضوء المرئي)، مما يخلق «موجة صادمة» من الضوء المرئي. وهذا التأثير مماثل للتأثير الذي يحدثه الانفجار الصوتي عند حدوث حركات أسرع من الصوت، لكن على المستوى المرئي. ويحيط الماء ببعض المفاعلات النووية وذلك لإيقاف النترونات المنبعثة من المفاعل بسبب عمليات الانشطار النووية. إضافة إلى النترونات تنبعث من المفاعل جسيمات بيتا وهي إلكترونات سريعة تصدر عن نواتج الانشطار النووي، وهي التي تسبب توهج الماء المحيط بالمفاعل، وفي معظم الأوساط يهيمن اللون الأزرق على الوسط وذلك لأن الأطوال الموجية أو ترددات الإشعاعات المنبعثة تكون في حدود الإشعاعات تحت البنفسجية وما وراءها (الشكل 1).



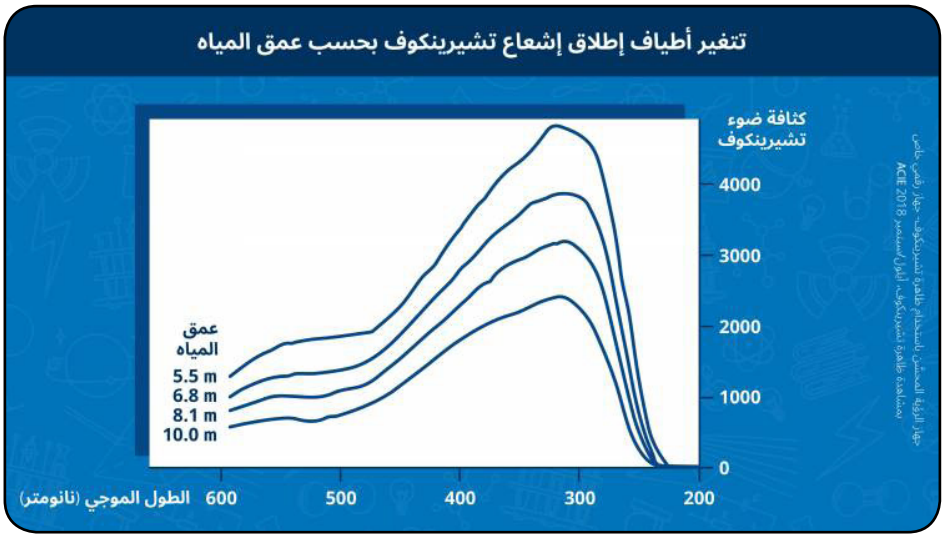
الشكل **1.** صورة من داخل مفاعل البحوث مع وجود إشعاع تشيرينكوف باللون الأزرق في المياه التي تحيط بحوض وقود المفاعل النووي؛ حيث تنتج الجسيمات المشحونة كهربائياً المتحركة بسرعة عالية جداً والمولدة لإشعاع تشيرينكوف كنتيجة ثانوية للتفاعلات داخل هذا المفاعل.

إن الألوان المختلفة التي تراها العين المجردة هي في الواقع أنواع مختلفة من الموجات المكونة من الفوتونات. ونظراً للطاقات العالية المؤثرة أثناء إشعاع تشيرينكوف، تنتقل الفوتونات كموجات ذات ترددات عالية وأطوال موجية قصيرة، وهي نموذجية للألوان البنفسجية والزرقاء. وكلما زادت الترددات وقلت الأطوال الموجية، ظهر الضوء للعين المجردة باللون الأزرق أو البنفسجي (الشكل 2)، ولا يمكن للعين المجردة أن ترى الأشعة فوق البنفسجية لكن يمكن التقاطها بأدوات محددة تُستخدم لقياس إشعاع تشيرينكوف.



الشكل **2.** ظهور اللون الأزرق أو البنفسجي بشكل أوضح للعين المجرَّدة عند زيادة الترددات وقصر الأطوال الموجية.

ينبعث إشعاع تشيرينكوف الناتج في الماء عبر طيف واسع ومستمر، ويتم إنتاج معظم الضوء في الغالب في المنطقة الزرقاء والبنفسجية وفوق البنفسجية من الطيف الكهرومغناطيسي (الشكل 3).



الشكل **3.** طيف إشعاع تشيرينكوف الناتج في الماء.

تطبيقات إشعاع تشيرينكوف

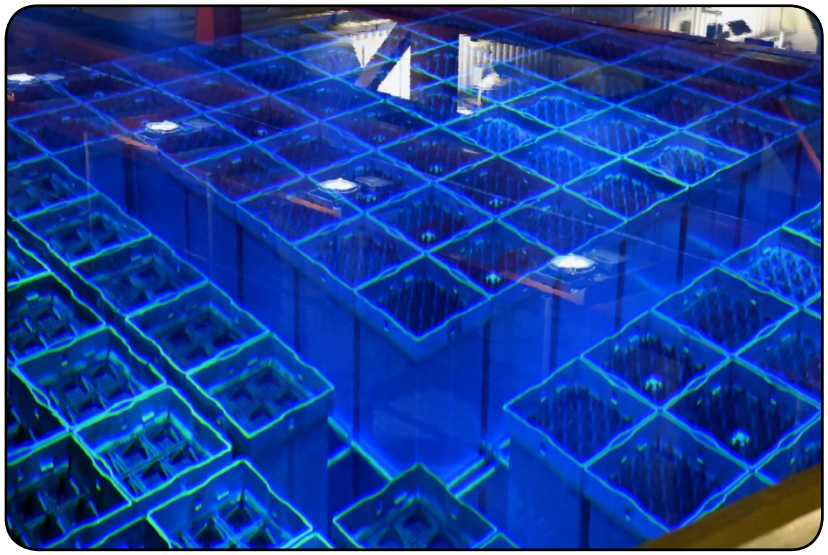
تمت ملاحظة ضوء تشيرينكوف للمرة الأولى على الرغم من أنه لم يتم فهمه على الفور منذ أكثر من 100 عام مضت، وتم تفسيره تجريبياً وفهمه نظرياً بشكل كامل ضمن النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية بعد حوالي ثلاثة إلى أربعة عقود. اليوم، وبعد مرور أكثر من عدة سنوات على تشغيل عدادات تشيرينكوف الأولى، يستمر تطوير أجهزة كشف جديدة تستغل الخصائص الخاصة لإشعاع تشيرينكوف. تشمل الخصائص المهمة للإشعاع التي تستخدمها هذه الأجهزة بطرق مختلفة: الانبعاث السريع لنبضة ضوئية حادة ووجود عتبة سرعة للإشعاع والاعتماد المباشر بين طول المسار وعدد الفوتونات المنبعثة واعتماد نصف زاوية مخروط تشيرينكوف وعدد الفوتونات المنبعثة على سرعة الجسيم ومعامل انكسار الوسط. إن توفر مواد بصرية ومشعات طبيعية كبيرة (مثل الماء والغلاف الجوي) شفافة تنبعث من خلالها أعداد مفيدة من الفوتونات في نطاق الفوتون المرئي والأشعة فوق البنفسجية قد سمح بتطوير أجهزة كشف ضوئية عالية الكفاءة.

لقد استفادت كاشفات تشيرينكوف بشكل كبير من العديد من التطورات التكنولوجية على مدى نصف القرن الماضي، وكانت أنابيب المضاعف الضوئي الأولي التي أتاحت عد الفوتونات بكفاءة، حاسمة بشكل خاص في الاعتماد المبكر على أجهزة تشيرينكوف. أما أجهزة PMT الحديثة photomultiplier tube فهي أكثر كفاءة بكثير وتتمتع بخصائص أفضل لحساب الفوتون الواحد، وتأتي بأحجام وأشكال مختلفة، وتتضمن عدداً من الأنواع السريعة جداً، وتوجد الآن كاشفات تشيرينكوف في مجموعة واسعة من التطبيقات الفريدة في جميع أنحاء الفيزياء والفيزياء الفلكية، والطب الحيوي مع استمرار تطوير وتنفيذ أجهزة أكثر قوة وأكبر. وتشمل الأمثلة العملية على العديد من الكواشف في مسرعات الجسيمات التي تعتمد على أجهزة الكشف التصويرية القوية لتحديد هوية الجسيمات الهادرونية وكاشفات تشيرينكوف المائية الكبيرة المستخدمة للكشف عن النترينو في كل من الفيزياء الفلكية ودراسات المسرعات وتلسكوبات تشيرينكوف لتصوير الهواء المستخدمة لدراسة الطاقة العالية جداً لأشعة غاما في الإشعاع الكوني.

في الكشف عن كميات الوقود النووي المستهلكة

يحدث إشعاع تشيرينكوف عادة في المواد المشعة المغمورة في الماء. ويمكن استخدام المواد النووية التي تعدّ المواد المشعة منتجاً ثانوياً لها للأغراض السلمية مثل إنتاج الطاقة، ولكن أيضاً تستخدم لصنع الأسلحة النووية. وتتمثل مهمة الوكالة الدولية للطاقة الذرية في التحقق من أن المواد والمنشآت النووية لا تزال قيد الاستخدام السلمي. وتعلن الدول للوكالة الدولية للطاقة الذرية عن موقع موادها النووية وكميتها وتركيبها الكيميائي وشكلها المادي واستخدامها بموجب اتفاقات الضمانات الخاصة بها، وتتحقق الوكالة من أن المعلومات التي أبلغت عنها الدولة كاملة وصحيحة. ومن خلال مجموعة من التدابير الفنية أو الضمانات تتحقق الوكالة الدولية للطاقة الذرية من احترام الدول لالتزاماتها

القانونية الدولية باستخدام المواد والتكنولوجيا النووية للأغراض السلمية فقط. إن عملها المستقل في مجال التحقق يسمح للوكالة الدولية للطاقة الذرية بأداء دور لا غنى عنه في منع انتشار الأسلحة النووية. وتشكل ضمانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية عنصراً أساسياً في نظام الأمن الدولي. إن كمية المواد النووية وعدد المرافق النووية الخاضعة لضمانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية تتزايد باطراد. ومن خلال استخدام المعدات المتخصصة وخاصة الجيل القادم من أجهزة عرض تشيرينكوف XCVDs أو أجهزة عرض تشيرينكوف الرقمية DCVDs التي تلتقط الضوء المنبعث، يستطيع مفتشو الضمانات النووية تحليل المواد النووية في المنشآت النووية والمواقع الأخرى ومقارنة تلك البيانات بالمعلومات التي أبلغت عنها الدولة. وعلى سبيل المثال، يمكنهم قياس إشعاع تشيرينكوف الموجود في أحواض تخزين الوقود المستهلك من المفاعلات النووية وتحديد ما إذا كانت الكمية المعلن عنها من الوقود النووي المستهلك دقيقة أم لا (الشكل 4). وبهذه الطريقة يمكنهم اكتشاف ما إذا تمَّ استخدام أي من المواد النووية الناتجة عن الوقود المستهلك لأغراض غير سلمية.



الشكل **4.** أشعة تشيرنيكوف (اللون الأزرق) في حوض تخزين الوقود النووي المستهلك.

في تصوير الأورام وعلاجها

إشعاع تشيرينكوف CR هو التوهج الأزرق المميز الذي يتولد أثناء العلاج الإشعاعي، وهو علاج شائع يستخدم الإشعاع لقتل الخلايا السرطانية أو تفكك النظائر المشعة وهي العملية التي ينبعث منها الإشعاع من النظائر المشعة ويمكن استخدام CR لمراقبة جرعة العلاج الإشعاعي وتوزعها لمنع الأحداث الضارة المرتبطة بالعلاج الإشعاعي. إضافة إلى ذلك يمكن استخدام CR الناجم عن النظائر المشعة كمصدر للضوء لتحديد موقع منطقة الورم لتصويره. ومن خلال مزيج من تقنيات التصوير والمسابر الجزيئية والطب النانوي يُظهر CR إمكانات هائلة ومزايا فريدة كالدقة والتكلفة المنخفضة والراحة والسرعة في مراقبة وتصوير العلاج الإشعاعي للأورام. إضافة إلى ذلك، تم تطوير بعض المواد النانوية الحساسة للضوء لامتصاص CR لتوليد مركبات الأكسجين التفاعلية التي يمكن أن تؤدي إلى موت الخلايا. تُعرف هذه الاستراتيجية العلاجية باسم العلاج الديناميكي الضوئي. يستخدم العلاج الديناميكي الضوئي للتكامل مع العلاج الإشعاعي أو تصوير الأورام، مما يوفر أساليب جديدة لتشخيص الأورام وعلاجها.

في كواشف رصد النترينو

تستفيد هذه الكواشف من ظاهرة إشعاع تشيرينكوف حيث تحاط كمية هائلة من مادة نقية كالماء أو الثلج بأنابيب مضاعف ضوئي (حساس ضوئي)، فعندما تتفاعل جسيمات النترينو والتي هي ليبتونات غير مشحونة مع جزيئات الماء من الممكن أن تشكل ليبتونات مشحونة والتي بدورها ممكن أن تصدر إشعاع تشيرينكوف، ويمكن بعد ذلك الكشف عن الضوء باستخدام أنبوب المضاعف الضوئي. يعد كاشف سوبر كاميوكاندي في اليابان أكبر كاشف من هذا النوع، ويتكون من 12.5 مليون غالون من الماء محاطة بأكثر من 11000 أنبوب مضاعف ضوئي وصفوف من الحساسات الضوئية لالتقاط الإشعاع الناجم عن التفاعل بين جسيمات النترينو وجزيئات الماء، كما يعمل مرصد سدبري بشكل مشابه ولكن يستخدم الماء الثقيل أي يستعاض عن الهدروجين بنظيره الديوتيريوم الأثقل كوسط كاشف.

في تحليل النوكليدات المشعة

يمكن استخدام إشعاع تشيرينكوف عند إنتاجه بمستويات كبيرة لقياس النشاط الإشعاعي بكفاءة. وقد أثبت ذلك للمرة الأولى إرنست هيو بيلشر عام 1953، حيث استخدم بيلشر مضخماً ضوئياً مبرداً بالنتروجين السائل لقياس كثافة إشعاع تشيرينكوف من حيث معدلات العد لكل ملي كوري (mCi) للنوكليدات المشعة المختلفة في المحاليل المائية.

ومع ذلك، لم يكن الأمر كذلك حتى أصبحت أجهزة التحليل الوميضية السائلة ذات المضاعف الضوئي المزدوج متاحة تجارياً وتم استخدامها على نطاق واسع في أوائل الستينيات من القرن الماضي، ومن بعدها بدأت الأبحاث العملية في عد تشيرينكوف لقياس النشاط الإشعاعي. وعلى الرغم من أن إنتاج إشعاع تشيرينكوف لا يتضمن ظاهرة الوميض، إلا أن عداد الوميض السائل التقليدي يمكنه اكتشاف وحساب فوتونات تشيرينكوف المنبعثة من عينة معينة في أنبوبة عد قياسية. ويمكن عد بعض النوكليدات المشعة في الماء أو أي وسط شفاف مناسب آخر دون استخدام الفلور أو أي كواشف كيميائية أخرى، ويمكن أن يتم عدها في الحالة الجافة في الهواء، وإن كان ذلك بكفاءة عد متدنية، حيث يعمل جدار الأنبوبة الزجاجية أو البلاستيكية الذي يحتوي على العينة كوسيط شفاف. إن عد أشعة تشيرينكوف في وسط مائي يترك العينة في حالة غير ملوثة مما يجعلها مناسبة لأي اختبارات كيميائية أخرى ضرورية في دراسة بحثية معينة، كما تحظى هذه التقنية بشعبية كبيرة في الاختبار الإشعاعي للنوكليدات التي تنبعث منها جسيمات عالية الطاقة نسبياً. إن سهولة تحضير العينة، والتكلفة المنخفضة إذ لا حاجة للفلور ومذيبات الفلور وتقنيات العد التلقائي المتاحة مع المحلل الوميضي السائلي هي من بين الأسباب الرئيسية للاستخدام الواسع النطاق لطريقة العد هذه.

في الفيزياء الفلكية

يمكن استخدام كاشفات إشعاع تشيرينكوف لقياس أطياف الطاقة للأشعة الكونية وأشعة غاما. فعندما تضرب الأشعة الكونية الغلاف الجوي العلوي للأرض تنتج حزمة من الجسيمات المشحونة. تصدر هذه الجسيمات المتحركة نسبياً التي تم إنشاؤها في هذه السلسلة أشعة تشيرينكوف ضمن زاوية صغيرة في اتجاه حركتها، ويمكن استخدام قياسات ومضات تشيرينكوف التي تصل إلى الأرض للحصول على معلومات حول طاقة واتجاه انتشار الأشعة الكونية/أشعة غاما الأصلية، كما تعد كاشفات تشيرينكوف أيضاً فئة مهمة جداً من كاشفات النترينو. سجلت أجهزة كشف تشيرينكوف المائية ومضات إشعاعية بسبب النترينو القادم من سوبرنوفا SN 1987A قبل ساعات من وصول الفوتونات الأولى منه.

المراجع

- J V Jelley (1955). Cerenkov radiation and its applications British Journal of Applied Physics. Br. J. Appl. Phys. 6 227.

- Antonello E. Spinelli and Federico Boschi (2014). Novel biomedical applications of Cerenkov radiation and radioluminescence imaging. Physica Medica 1-10.

- Claus Ascheron (2012). Handbook of Particle Detection and Imaging. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

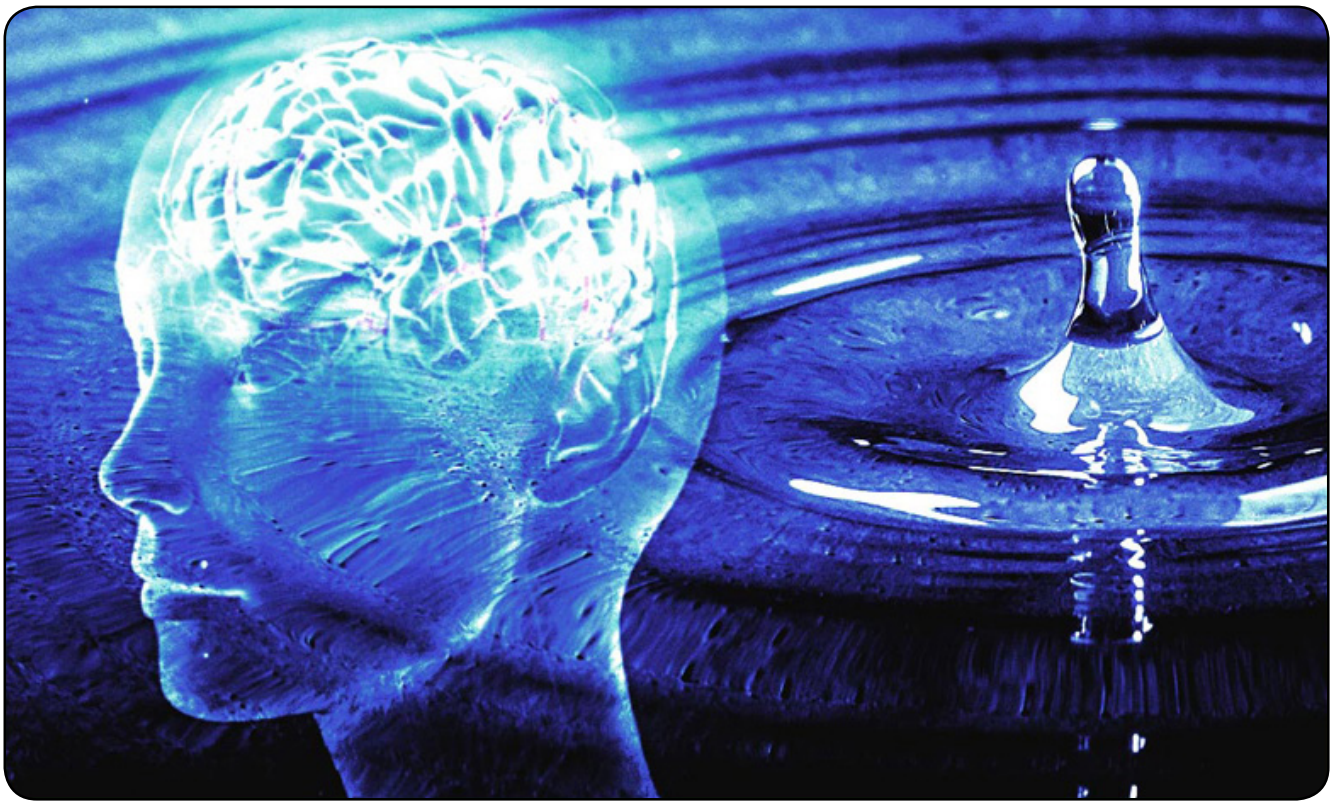
- Shima El (2021). Production of intensifying blue light by Cherenkov radiation phenomena and their use as power source applications. Research Square. March 30th, DOI: 10.21203/rs.3.rs-344211/v1.

- Xiaowei Ma (2014). Cerenkov radiation :a multi-functional approach for biological sciences. Frontiers in Physics. February,Volume2.

- Wang, X.(2022). Cherenkov Luminescence in Tumor Diagnosis and Treatment: A Review. Photonics, 9, 390.

تأليف: د. سعدو الظواهرة، قسم الهندسة النووية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

ذاكـــرة المـــاء
نموذجٌ فيزيائي للغزٍ بيولوجيٍّ



ملخص

إنّ جميع المؤهّلات الأساسية المتعلقة بالماء والتي لا غنى عنها لكلّ أشكال الحياة عبر رقصة الإلكترونات والفوتونات يتمّ شرحها عبر الرقصة الجذّابة الفائقة التعقيد والمتناغمة داخل الجزيئات وحولها. وفقاً لرأي Vihn Luu «يعدّ الماء بنية ديناميكيّة نُظّمت للتنفس كالرّئة تماماً وفقاً لإيقاع Yin-Yang الين- اليانغ.

الكلمات المفتاحية: أصل الحياة، إلكترونات، ذاكرة الماء، الفوتونات، الأصل المجهول

مقدمة

لم يتم وصف "ذاكرة الماء" بشكل جيّد كما وصفت في الوقت الحالي. فعلى المستوى النظري كان المكتشف الحقيقي لهذه الظاهرة البروفيسور Vinh Luu الذي وصف نموذجه على المستوى الفيزيائي باستخدام مصطلحات كهرمغناطيسية. وعلى المستوى العملي فقد تحقق فريق البروفيسور Luc Montagnier الحائز على جائزة نوبل في الطب عام 2008 في كانون الأول من عام 2010 من أنّ الإشعاع الكهرمغناطيس يستطيع نقل معلومة جزيئية معقدة أي متتالية من الحمض النووي DNA من زجاجة ماء إلى أخرى.

من المهم ذكره والإشارة إليه أنّ لدى الماء ذاكرة ولديه المقدرة على استقبال المعلومة والاحتفاظ ونقلها عن طريق الكهرمغناطيسية. هذا ما شرحه البروفيسور Vinh Luu مع أعضاء هيئته التدريسيّة لتخزين المعلومات أو الطاقة واستعادتها عند الطّلب. وجزيئات الماء هي الوحيدة على الأرض القادرة على الارتباط والانفصال دون توقف بموجب عملية المعلومات التي يتلقاها أو التي يرسلها. فمن خلال ارتباطها أو انفصالها تتشكل هيئات أو بالأحرى تشكيلات هندسيّة configurations géomètriques ثلاثية الأبعاد أي تكتلات، وكل هيئة تطابق معلومة. وهذا ما يشرح الدور المهمّ للماء في جميع العمليات البيولوجية، فهي تضمن حركية المعلومات الضرورية عملياً بشكل جيد إلى جميع الأجسام من الخلية إلى المحيط الحيوي الأرضي.

الأصل المجهول

ترجع شهرة فرضية ذاكرة الماء إلى البروفيسور *jaques Benvenist* 1935-2004 البيولوجي في معهد Inserm أثناء نشر مقالة له في مجلة Nature من حزيران عام 1988 التي كان لها صدى منقطع النظير في الوسط العلمي. وعلى الرّغم من ذلك فقد كان البروفيسور *Vinh Luu* أوّل من صاغ هذه الفرضية في بداية السّبعينيات 1970.

وُلد Vinh Luu عام 1935 في سيغون *Saigon* في الهند الصينية الفرنسية، وشرع بالتعرّف على تاو من خلال جدّه الصّيني الطّبيب الطاوي التقليدي. وصل إلى باريس وهو بعمر التاسعة عشرة، وحصل على الدّراسات العليا في وحدة العلوم الفيزيائية، وكان اهتمامه منصبّاً على الماء، واعتزم بنفسه الإجابة عن تساؤل أثارته زوجته الشّابة، بينما هي تدرس الصّيدلة، في بداية السبعينيات: ماهي آلية عمل الطّب التجانسي أو المعالجة المثلية *homéopathie* ؟ ومع استخدام تقنية مقياس التحليل الطيفي رامان الليزري *Raman laser spectroscope* الذي يسمح بقياس تغيرات طاقة الجزيء وصولاً إلى الفوتون قاس العالم Vinh Luu- - القيمة الكهرمغناطيسية لعدّة تراكيز أي جزيئات الماء التي تحتوي على تراكيز منخفضة للمادة المنحلة، ولاحظ الاختلاف في التردّد بين كل تركيز منخفض وآخر. وعرفنا أنّ المعالجة المثلية تبدأ من التركيز الثاني عشر لهذه المحاليل إذ لم يكن هناك أقلّ أثر لوجود المادة المخفف تركيزها في المحلول. والاختلاف هذا بالقيمة الكهرومغناطيسية لا يمكن أن يفسّر إلا عبر تعديلات في المذيب؛ أي الماء. وما يراد قوله: إن الماء يحفظ بصمة المادّة الأوليّة التي أذيبت في الماء وتمّ نقلها إلى محاليل لانهاية لها من التراكيز المنخفضة التي نرغبها. وهذا يشير إلى أنهّا إشارة كهرمغناطيسية؛ أي بصمة اهتزاز طاقية لكلّ مادّة مهما كان وجودها ضئيلاً في المحلول المائي حيث تبقى البصمة الخاصة بها القابلة للقياس. والانطباع المتشكل هو المعلومة التي تسجل ضمن الماء على شكل هيئة نانوية: إنّه تشكيل جزيئي؛ أي هندسة ثلاثية الأبعاد تم تشكيلها عبر جزيئات الماء. وهذا كلّه لم يكن لولا تسليط الضّوء عليها من قبل العالم Vinh Luu.

وانطلاقاً من ذلك هنالك خمس هيئات أساسيّة يمكن من خلالها أن تتكيف الجزيئات لتشكل عدداً غير محدود من النماذج: من رباعي الوجوه *le tétraèdre* وسداسي الوجوه *l'hexaèdre* وثماني الوجوه *l'octaèdre* واثني عشر وجهاً *l'dodécaèdre* وعشريني الوجوه *l'Icosaèdre* إنّها الأشكال الأفلاطونية الخمسة التي فترة حياتها لا تتجاوز 10^{-11} من الثانية؛ لذلك فالماء هو السّائل الوحيد على الأرض من يسلك هذا السلوك كسائل ذي بنية نانوية تمثّل كل منها معلومة. والماء هو السّائل الفريد بالعالم الذي لديه هذه المقدرة على إدارة هذه الحركة غير معقولة للرّسائل من جميع الأنواع وهذه الإدارة الكاملة والدقيقة من المعلومات هي التي تشرح بالحقيقة كل البيولوجية التي تسمح بالحياة على الأرض.

الإلكترونات هي من تقوم بالمهمة

كلّ شيء يشير إلى أنّ الماء هو الذي يدير المعلومة من خلال بنيته النانوية أي هيئاته الجزيئية. والكهرمغناطيسية هي التي تشرح قدرة جزيئات الماء السّريعة على تشكيل بنى نانوية بشكل أكبر.

ويعود السّبب في ذلك إلى الاستقطاب المبهر للجزيئات، فسرعة التغييرات في القطبية الكهرمغناطيسية. والقطبية التي تتمتع بها جزيئات الماء تقودنا للتفكير بأنّ التغيير السريع يرجع غالباً للقطبية أي الشحنة الكهربائية الموجبة أو السالبة والمجال المغناطيسي (القوة الجاذبة أو النابذة).

تعكس هذه التغيرات المتعلقة بذرتي الهدروجين وذرة الأكسجين المكوِّنة لجزيء الماء H_2O تغيّرات في القطبية لا تتوقف أبداً، وكلّ تغيّر في القطبية لحظة ثنائية القطب يتوافق مع قفزة كوانتية للإلكترون ضمن الذرة التي عبّر عنها بوضوح العالم شرود ينغر، و تحدث هذه القفزة عندما ينتقل الإلكترون من مستوى طاقة إلى آخر أي يغير اللحظة الحركية، فإذا انتقل من مستوى أدنى إلى أعلى يكتسب طاقة، وإذا انتقل إلى مستوى أدنى يحرر الطاقة. وبالتّالي فالتغيرات في الوضع المداري للإلكترون تتوافق مع التغيّرات في قطبية ذرات الهدروجين H و الأكسجين وتغيرات قطبية جزيئات الماء. ففي كلّ لحظة ثنائية القطب لكل جزيء تتوافق مع بنية نانوية فريدة، و تعبر عن معلومة فريدة. هذا النقل الإلكتروني بين ذرتين هو الذي يسمح بربطهما ويسمح بهيكليتهما نانوياً باعتبارهما جزيئة أو مجموعات من الجزيئات.

الضّبط الدّائم للقطبيّة

إذاً، يرتكز الضّبط المستمر لقطبية «عمل ذاكرة الماء» على النشاط الكهرمغناطيسي داخل جزيئات الماء، وفيما بينها أيضاً. في الواقع تسمح الثنائية القطبية بوجود رابطة هدروجينية أو ما نسميها رابطة H. تتشكل من نقل الإلكترونات بين ذرات الهدروجين H وذرات O وهي تتكوّن من الضبط الدائم للقطبية حيث إنّ ضمان هذا الضبط المستمر يكون من خلال النقل الإلكتروني. ومن ناحية أخرى، نحن نعلم، من خلال ما أشار إليه عالم الفيزياء الفلكي *jean-Pierre Petit* أنّ الكهرباء ليست أبداً إلاّ غازاً من الإلكترونات، وإنّ كلّ شحنة وكل تيار كهربائي مصحوب بشحنة وحقل مغناطيسي والخصائص الفريدة للماء السائل بصورة عامة وذاكرته بصورة خاصة يمكن أن تفهم كأنّها ظاهرة كهرمغناطيسية. من قفزات كوانتية قطبية ورابطة H- هدروجينية وكلّ شيء يتم تنظيمه عبر النشّاط الكهرومغناطيسي لذرّات ومابينها الهدروجين، وذرات الأكسجين التي تشكل هذه الهيئات الهندسية التي لا تحصى؛ إذ إنّ كل منها يتوافق مع معلومة بيوفيزيائية biophysique.

نقل المعلومة

في الآونة الأخيرة تمّت المصادقة بإصرار على آلية النقل الكهرومغناطيسي للمعلومة عبر الماء. من خلال ما أثبته فريق البروفيسور Pr *Montagnier* الحائز على جائزة نوبل في الطب عام 2008 أنّه يمكن لمعلومات جزيئة DNA أن تتنقل ضمن الماء من خلال الكهرمغناطيسية. وصرّح بقوله: «الحقائق تبقى حقائق ومهما كان تفسيرهم الفيزيائي يمكننا نقل معلومات جزيئية من 100 إلى 400 زوج من أسس شريط DNA الوراثي بوساطة الأمواج الكهرمغناطيسية المنخفضة التردّد عبر عمليات تخفيف تراكيز المادة المنحلة بالماء». إن الوسط الكهرومغناطيسي المحيط والمفعم بضجيج الخلفية الكهرومغناطيسية يسمح بنقل المعلومة، في هذا السياق يكون تسلسل الشريط الوراثي للبكتريا أو لفيروس من نقطة A وهي عينة مائية يوجد فيها تسلسل الدنا إلى نقطة B وهي عينة للماء النقي، حيث تتلقى الجزئية إشعاعاً كهرمغناطيسياً منخفض التردّد ما يقارب 7 هرتز فيحدث هذا رنيناً وبالتّالي يؤدّي إلى حدوث تغييرات في البنية الجزيئية يمكن قياسه ضمن مجال قريب من الأشعة تحت الحمراء، حيث إنّ كل جزيئة تصدر إشارة خاصّة بها، يعني إشارتها الاهتزازية التي تميزها، تنقل هذه الإشارة عبر موجات ناقلة، تسجل هذه الإشارة بواسطة إشعاع وبالتالي يتمّ نقلها إلى نقطة B، وهناك تسجّل ضمن الماء وفقاً لهيئة هندسيّة نانوية.

التفاعل المتسلسل

لم يتبقَ إلاّ أن نُدخل الآن في هذه الزّجاجة أنزيمة البوليمراز التي تؤدي دوراً ضامناً لمضاعفة سلسلة الدنا أثناء عمليّة التكاثر الخلوي، و أوضح العالم Montagnier أنّ هذه الأنزيمة تعلّمت قراءة تشكيل الماء منذ مليارات السنين إذ تحفّز التفاعل المتسلسل انطلاقاً من المعلومة المسجّلة داخل الماء الذي من شأنه أن يجمع النيكليوتيدات، يعني كسيرات الـ DNA التي ستتشكل بالنهاية سلسلة الـ DNA بمعنى آخر، إنّ المعلومات المنطبعة داخل الماء تقرأ وتفهم – إن جاز التعبير – عبر الأنزيمة، والتحفيز يكون عبر البوليميراز أو بالتضخيم الجزيئي المسرع PCR.

وهنا نحن أمام جزيئة الـ DNA الأولية التي أعيد إنتاجها بشكل مطابق داخل الزجاجة الثانية بعد بضع ثوان من الإضاءة كالنتيجة التي توصل إليها مونتانيه الفرنسي تماماً، «إنّها التغيرات في التشكيل التي تعكس متتاليات من DNA حاملة لإشارة البداية «حيث الإشارة الصادرة عن DNA تتجسد عبر جزيئات الماء القابلة لانطباع المعلومة أو تجسيدها. يعدّ هذا شيئاً منطقياً،» فجزيئات الـ DNA نفسها لم تكن لتحيا أبداً دون الماء ويشير مونتانيه بالفرنسي إلى أنها محاطة بجزئيات الماء المسؤولة عن استقرارها. وهي نوع من الهلام أو القوقعة على امتداد شريط الـ DNA وأيّ دارس للحمض النووي DNA يعرف كيف يمكنه صنع هذه الهلاميات والماء المنظم حول خيط الحمض النووي الرقيق. وإن دلّ ذلك على شيء فإنّما يدل بشكل واضح أنّ شريط الـ DNA قادر على تنظيم جزيئات الماء «عبر مسافات بعيدة مهما كان

البعد؟ وعلى وجه التحديد عدة أمتار، بل نظرياً مئات آلاف الكيلومترات لأنّ الإشارة تتحرك عبر مسار الكهرومغناطيسية، وبسرعة الضوء 300000 كم /ثانية.» بالحقيقة إنّ أنزيمة البوليميراز هي التي تقرأ تشكيل الماء. والنقطة الحاسمة التي أظهرناها أنه يمكننا وانطلاقاً من الماء المهيكل» أو المنظم بإشارة محدّدة جيداً إنتاج مقاطع متسلسلة من الـ DNA بقراءة البوليميرات الكلاسيكية، ومن ثم تضخيم جزيئة DNA لمليون مرة عبر التفاعل المتسلسل PCR polymerase chain reaction. وهذا ما حيّر زملاءنا لكنّنا أعدنا تكرار هذه العملية مئات المرات».

بنفنيست كان على حق

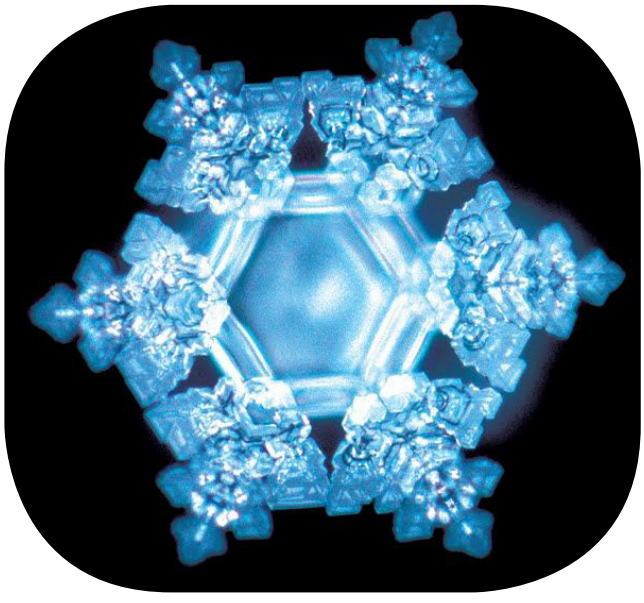
«يتابع العالم الفرنسي قوله: من هنا فعلاً كان بنفنيست على حق. ليس عبر الاتصالات بين الجزيئات التي يمكن تحقيقها بل من خلال إمكانية اتصال الأنزيم بالنيكليوتيدات عن بعد بمنحها المكان المناسب. إذاً فعلياً سيستخدم الأنزيم أيضاً في الإشعاعات الكهرومغناطيسية عبر الماء، و سيكون بذلك بالغ الفعالية؛ إذ يمكن صناعة سلسلة من الـ DNA في بضع ثوان وبسرعة فائقة، وهذا اختراع عظيم في الحياة! فما تظهره هذه التجارب هو أنّ أنزيم البوليميراز يقرأ التشكيل الجزيئي للماء، ويستند في واقع الحال على هذه البنية الأساسية، وهذا ما أجبرَنا على الاعتراف بعد تجاربنا أنّ هذا ليس أبداً فرضية، فالبوليميرات تعرف ما يجب أن تفعله بفضل المعلومات المنقولة ضمن الماء بطريقة كهرمغناطيسية. ويخلص مونتانيه بالفرنسي إلى نتيجة مفادها: «المشكلة التي ربّما أثارت خوف علماء الأحياء ووضعتهم في موقع التساؤل عن أشياء كثيرة» وهي أنه من الضروري بالنسبة لهم «وجود أنموذج جديد في البيولوجية « يجري استخدامه في الفيزياء.

الماء يتنفس

وهنا نجد أنفسنا أمام عالم الفيزياء الطاوي *Vinh luu* الذي طوّر نموذجاً لبنية الماء، وتستند هذه البنية على دعامتين كوانتيتين، الإلكترون والفوتون معاً. وأظهر أنّ الفيزياء لا يمكن الاستغناء عنها لفهم الماء على المستوى البيولوجي. إن العالم لوك مونتانيه يزخر بهذه المعنى ويعرف الكثير عن هذا الموضوع.

فعندما ناقش بالفرنسي فين لو لأوّل مرّة آلية سير عمل الماء انطلق من فكرة بسيطة يقول فيها: «كانت وجهة نظري المبدئية هي أن جزيئات الماء لها الشكل الكروي ولها طاقة أساسية»، فوفقاً للتقليد الطاوي «كل ما هو كروي يتنفس» بموجب مبدأ –الين yin واليانغ yang (زفير/ شهيق – انكماش/ تمدد –هدم / بناء الخ). إنها «الحركة الإشعاعية النبّاضة (MPR) movement de pulsation radial:»، و «الماء هو بدقة بنية ديناميكية منظمة للتنفس كالرئة تماماً وفقاً لإيقاع الين واليانغ».

تعبّر هذه الحركة الإشعاعية النبّاضة عن مستوى طاقة جزيء الماء، وتظهر بشكل واضح عبر الفوتونات الحيوية *biophotons* وانتقال الإلكترونات ضمن الذّرات وبينها، و هذا ما يفسر الحركة المستمرة ذهاباً وإياباً لجزيئات الماء، والتغيرات الفائقة السرعة لهيئاتها المتشكلة من خلال اللحظات ثنائية القطب والروابط H الهيدروجينية. والجدير ذكره أنّ حركة الإلكترونات عبر مداراتها والفوتونات الحيوية أي الفوتونات المنبعثة من داخل الجسم الحي كان العالم *Fritz-Albert Pope* هو أوّل من سلّط الضوء عليها بوضوح من خلال الحركة بين النواة والإلكترون، أنّها الوحيدة التي تضطلع بكل هذه المهمة، وتشرح كيف تكون آلية عملية الماء.



البنية البللورية للماء

الماء يرقص

من المزايا المهمّة للماء ضرورته في كل الأشكال؛ انطلاقاً من تأثيره المذيب إلى مقدرته على الترطيب وطابعه المؤكسد أو المرجع وحمضيته وقاعديته وقدرته المحايدة وأخيراً تتصدّر ذاكرته، وكل هذه المؤهلات لا غنى عنها لكلّ العمليات الحيوية، وتشرح عبر الرقصة الدوارة الفائقة التعقيد والمتناغمة للإلكترونات والفوتونات في داخل الجزيئات وحولها. إن البروفيسور *Vinh Luu* هو الوحيد من تطرّق بدقة وبطريقة تجريبية، واعتبر الحالات الأربع للماء: الحالة الصلبة والسائلة والغازية والمنفصلة حيث تكون الجزيئات حرة، بين هيئتين متبدلتين، ومن ثمّ ما لديه من قدرة على تحديد مستويات الاهتزاز التي تتوافق

مع كل حالة، وبالتّالي، استطاع أن يستنتج ويقول: » لقد خلفتُ *Fritz Albert Pope* الذي تنبأ بوجود هذه التردّدات لكنه لم يكن متحققاً منها ولا حتى من قياسها. وما هو عليه الآن أنّ بحوزتنا للمرة الأولى نموذجاً فيزيائياً وبيولوجياً ودلائل تجريبية داعمة تشرح وتصف سير آلية عمل الماء، وبشكل خاص ذاكرته الفائقة على التخزين، وأيضاً نماذج النبض الإشعاعي العديدة التي يتلقاها ويرسلها في كل ثانية عبر الكهرمغناطيسية على شكل فوتونات وإلكترونات، فتبادل المعلومات يحدث اهتزازاً للماء بحسب حالته (السائلة، أو اللاسائلة) يتم فهم MPR أي الحركة الإشعاعية النبّاضة التّي تعبر عن الحالة الطاقية للماء وتكون مرهونة بالمعلومات التي يتلقاها ويرسلها.

أصل الحياة

وعلى اعتبار أنّ الفرضية الأخيرة التي تفترض النبضات الإشعاعية هي المعبرة عن ذاكرة الماء، و قياس النبضات الإشعاعية التي أجراها البروفيسور فين لو ستكون المعطى الوحيد في العالم بطريقة علمية على فكرة ذاكرة الماء. يمكننا القول إنها ستسمح بفهم، وارتباط الفيزياء والبيولوجية وتطور الحياة. يصرح مونتانيه بالفرنسي بقوله الشهير: «أنا عالم أحياء قضيتي هي شرح التمايز الجنيني؛ كيف أنّه انطلاقاً من بيضة وخلية واحدة يمكننا أن نحصل على جسم بالغ التعقيد، وليس هنالك من يصنع هذا إلاّ DNA لوحده، فكيف يجري ذلك؟» يجيب: يجري ذلك عبر النبضات الكهرمغناطيسية بفعل الفوتونات والإلكترونات، وبالنسبة لظهور الحياة على الأرض لاحظ مونتانيه بالفرنسي أيضاً أنه يمكن تصور أصل الحياة على كوكبنا بأن الماء عمل بمرحلة ما كقالب أوّلي لشريط مضاعف من الـ DNA مع تكرار هذه التسلسلات بشكل عشوائي أو إملائي من خلال الأمواج القادمة من الفضاء وهذا سيضمنا إلى نظرية *Panspermie* التي تفترض أنّ الحياة انتشرت في جميع أنحاء الكون على شكل جراثيم متحركة من خلال الكهرمغناطيسية. لكن هذا موضوع آخر.

نحو أنموذج جديد

في مقابلة أخيرة أُجريت مع *Luc Montagnier* في كانون الأول من عام 2010 صرّح فيها عن اكتشافه الجديد بقوله :" يجب على علماء البيولوجية منطقياً أن يقودوا التحوّل العقلي إلى أنموذج جديد *nouveau paradigm* ويجب على الفيزيائيين تطوير النظرية عبر اختبارها لمرّات عديدة دون شكّ على أساس مفاهيم الحقول الكمومية". وبصورة عامة أضاف من الواضح أنّ هذه الظواهر يجب أن تُدرس ضمن منهج متعدّد الاختصاصات يجمع بين علماء الأحياء وعلماء الفيزياء من مهارات مختلفة بشكل خاص لتحليل الإشارات والفيزياء الحيوية لدراسة مستحاثات الهياكل المائية وتأثيراتها على الأمراض الكبيرة وأيضاً على الأجسام المختلفة"، ومن جهة *Benveniste* في ردٍّ فعل له على جبن زملائه في إجابته على رأي حرّ نشر في اللوموند *Le Monde* عام 1996 ضمن تفسيرٍ أنّ البيولوجية الرّقمية بدت له أنّها تمثل باباً للخروج من أزمة البيولوجية البنيوية. وخلُص العالم *Axel Kahn* إلى أنّ هذا الاقتراح ليس مبتكراً جديداً، فأثناء حكم لويس السادس عشر أكّد *Mesmer* بشكل قاطع أنّ المغناطيسية هي علاج لكل ألم. "واستحضر الفطرة السليمة ودمجها مع الدّجل لدعم هذه الفكرة. وهذا كان شائعاً جداً: فالاستخدام السّهل لكلمة الكهرومغناطيسية من شأنه أن يقود وبشكل لا يمكن تداركه إلى إجراءات دلالية فيما لو تمّ الاعتراف أنّ الذرات والجزيئات تمارس على بعضها وفيما بينها قوى كهرومغناطيسية. والكلمة الأخيرة محظورة؛ لأنّها تصف الإشارة الجزيئية في مصطلح ديناميكي ولم تعد بعد ثابتة. وبالتالي فإن العلم الرسّمي الذّي نفهمه لا يحب الحركة. ولايوجد الاّ قلة من العلماء بمستوى Alex لكي يتجاهل أن المغناطيسية في الواقع هي الطريقة الأكثر قدماً وموثوقية في العلاج!!.

المصدر

NEXUS 81 juillet-août 2012، Mémoire de énigme: un modéle Physique poune énigme biologigue

ترجمة: سلام الوسوف، كيميائية في مخابر الرقابة والبحوث الدوائية، وزارة الصحة.

التأريخ بالكربون-14 المشع فتحٌ في عالم المعرفة

ملخص

شكّل التأريخ بالكربون-14 المشع واحداً من أفضل اكتشافات القرن العشرين ونقطة تحول في عالم المعرفة. توفر طريقة التأريخ بالكربون تقديراً زمنياً موضوعياً للمواد التي يدخل في تركيبها هذا النظير، إذ يُقدر عمر المادة من خلال قياس الفعالية الإشعاعية للكربون-14 الموجودة في العينة ومقارنتها مع مقياس مرجعي عالمي. لقد وفرت هذه الطريقة أهم الأدوات المؤثرة في تطور العديد من العلوم، مثل: علم الآثار والجيولوجيا والهيدرولوجيا والطب الحيوي وعلم المحيطات وعلم المناخ القديم والأنثروبولوجيا والكيمياء النووية. تسمح تقنية التأريخ بالكربون-14 بدراسة آخر 50000 سنة من تاريخ البشرية وتحديد التحولات الرئيسة في عصور ما قبل التاريخ، مثل نهاية العصر الجليدي الأخير وبداية العصر الحجري الحديث والعصر البرونزي في مناطق مختلفة من العالم. كما كان للتأريخ بالكربون المشع دور فعال في اكتشاف تغير المناخ الذي يسببه الإنسان، إذ استخدمه العلماء لتتبع مصادر الكربون في الغلاف الجوي مع مرور الوقت. فضلاً عن ذلك، شكّل تطبيق التأريخ بالكربون-14 أداة مهمة في دراسات إعمار المياه الجوفية وخاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة، جنباً إلى جنب مع القياسات الأولية للتحليلات الهيدرولوجية والكيميائية الكلاسيكية بغرض الإحاطة بالإفراط في الضخ من الخزان الجوفي المائي قبل أن يصبح ملوثاً أو مستغلاً بقدر مفرط.

الكلمات المفتاحية: الكربون-14، الآثار والجيولوجيا، طرق القياس، التحديات الحالية.

الكربون المشع أهم نظير للحياة

يقول العالم الأمريكي جون مارا J. Marra أستاذ علوم الأرض والبيئة في كلية بروكلين، نيويورك ومؤلف كتاب (Hot Carbon: Carbon -14, 2019). إن الكربون-14 المشع هو أهم نظير للحياة اكتشف على الارض، ويشكل أداة مذهلة للتعمق في معظم جوانب الوجود على الأرض وربما الكون. وحسب مارا، فقد ساعد الكربون 14 في الكشف عن تسلسلات زمنية جديدة للحضارة الإنسانية والزمن الجيولوجي. فكما نعلم يدخل الكربون في تكوين كل شيءٍ حي وهو أساس كل أشكال الحياة، ويمكن وضعه بالتالي في الوقت المناسب وفقاً لساعة الاضمحلال الإشعاعي للكربون. يتوفّر الكربون بقدر كبير في الطبيعة، فهو يحتلّ المرتبة الخامسة عشرة في ترتيب وفرة العناصر في القشرة الأرضيّة من ناحية التركيز، وهو الرابع في الوفرة في الكون من ناحية الكتلة. كما يعدّ الكربون ثاني أكثر العناصر وفرةً في جسم الإنسان من ناحية الكتلة. يوجد الكربون في العديد من المواد الطبيعيّة، مثل صخور الكربونات وثاني أكسيد الكربون، وكذلك في النفط والفحم، إضافة إلى وجوده على شكل هيدرات الميثان في قاع المحيطات. ونظراً للأهميّة الحيويّة للكربون، وتنوّعه وتشكيله لعدد كبير وضخم من المركّبات العضويّة، فإنّه يعدّ من العناصر الأساسيّة لوجود الحياة.

بدأ اكتشاف الكربون-14 المشع الطبيعي على يد العالم الكيميائي الأمريكي ويلارد ليبي W. Libby. ففي عام 1946 أظهر ليبي أن الأشعة الكونية في الغلاف الجوي العلوي تنتج آثاراً من التريتيوم، وهو أثقل نظائر الهدروجين، يمكن استخدامه كمتتبع للمياه الجوفية، ومن خلال قياس محتوى التريتيوم، طور طريقة لتأريخ مياه الآبار والنبيذ، وكذلك لقياس أنماط دوران المياه واختلاط مياه المحيطات. ولأنه كان من المعروف منذ عام 1939 أن الأشعة الكونية تنتج وابلاً من النيوترونات على الذرات الموجودة في الغلاف الجوي، ولأن الغلاف الجوي يحتوي على نحو 78% من النتروجين الذي يتفاعل مع النيوترونات متحولاً إلى النظير المشع للكربون-14، فقد استنتج ليبي أن اشكال وجود الكربون -14 توجد دائماً على شكل ثاني أكسيد الكربون المشع $^{14}CO_2$ المنتشر في الغلاف الجوي. وهكذا تم تصور أن الكربون المشع $^{14}CO_2$ يكون مترافقاً مع غاز ثاني أوكسيد الكربون الذي يتم تمثله من قبل النباتات البرية عن طريق عملية التمثيل الضوئي إلى الحيوانات التي تتغذى على النباتات ثم وإلى المياه البحرية والعذبة كمكون مذاب ومن ثم إلى النباتات والحيوانات المائية. بعد موت النبات أو أي كائن حي آخر لا يحصل دمج أي كربون-14 إضافي في أنسجته، في حين أن الكربون المشع الموجود بالفعل يبدأ بالاضمحلال بمعدل ثابت. تم تحديد عمر النصف للكربون-14 بـ 5730 عاماً وهو وقت قصير مقارنة بعمر الأرض، ولكنه طويل بما يكفي لإنتاج الكربون واضمحلاله. وهذا الاكتشاف يعده العلماء المختصون أهم إنجازات علم الكيمياء في القرن العشرين ألا وهو «التأريخ بالكربون المشع».

في عام 1947 حصل ليبي وفريق عمله على أول تحديد للعمر باستخدام تقنية التأريخ بالكربون-14 إذ تحقق ليبي من دقة طريقته عن طريق قياس الفعالية الإشعاعية للكربون المشع في العينات العضوية المؤرخة تاريخياً، وهي مواد يصل عمرها إلى 5000 عام من مصادر محددة مثل المقابر المصرية. وكان استنتاجه أنه على مدى السنوات الخمسة آلاف الماضية بقيت قيمة الفعالية الاشعاعية للكربون-14 في المواد الحية في حالة توازنية ضمن دقة قياس بلغت 5% وبالتالي كانت طريقة التأريخ متاحة، وتخضع للتثبت من خلال التطبيق الفعلي لمشكلات زمنية محددة فقط. وعلى هذا الأساس طبقت الطريقة على عينات من أشجار التنوب والخشب الأحمر مقارنة مع حساب حلقاتها السنوية وعلى المصنوعات اليدوية ايضاً، مثل الخشب المأخوذ من القارب الجنائزي للفرعون سيزوستريس الثالث، التي كانت أعمارها معروفة بالفعل. وقد قام عام 1955 بتأريخ بعض لفائف مخطوطات البحر الميت المحتوية على كتابات عبرية وآرامية قديمة عام 1955 بعمر قدره 1917 سنة، ثم أعيدت الدراسة، وأجريت دراسات على لفائف أخرى عام 1990 بواسطة مطياف الكتلة المسرع في مركزين متخصصين مختلفين، وبينت النتائج أنَّ أعمار هذه اللفائف متوائمة مع تحديد الأعمار السابق. كما أن الفحص المهم الآخر كان فحص بقايا عظام ببغائية من صحراء غوبي في الصين أجراها متحف مونت بلانكو للأحافير في تكساس بغرض تقدير عمرها، وتم الوثوق من عمرها الكربوني باستخدام مطياف الكتلة المسرع، فجاء التقدير بعمر 50 ± 22020 سنة. إضافة إلى تقدير أعمار كل من الخبز من بومبي المدفون في ثوران بركان فيزوف 79 م، والفحم من موقع تخييم ستونهنج، وأكواز الذرة من كهف نيو مكسيكو. وأظهر تقدير العمر بواسطة الكربون المشع أن العصر الجليدي الأخير في أمريكا الشمالية قد انتهى منذ حوالي 10.000 عام، وليس منذ 25.000 عام كما كان يعتقد الجيولوجيون سابقاً. ومن خلال قياس النشاط الإشعاعي للمواد النباتية والحيوانية التي تم الحصول عليها عالمياً من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، تبين أن الكربون 14 الناتج عن قصف الأشعة الكونية يختلف قليلاً باختلاف خط العرض. ونتيجة لتلك الأبحاث حصل ليبي في العام 1960 على جائزة نوبل في الكيمياء، وذلك لقيادته الفريق الذي اكتشف طريقة التأريخ بالكربون المشع، حيث وفّرَتْ تلك التقنية التوثيق التأريخي بالكربون المشع، وشكلت أداة قيمة للمختصين في علم الآثار القديمة وعلم الإنسان ولعلماء الجيولوجيا أيضاً، تُعتمد في تحديد زمن المكتشفات الآثارية وأعمارها .أما في الهيدرولوجيا، يُستخدم الكربون المشعّ في تقدير أعمار المياه الجوفية حتى 40 ألف سنة

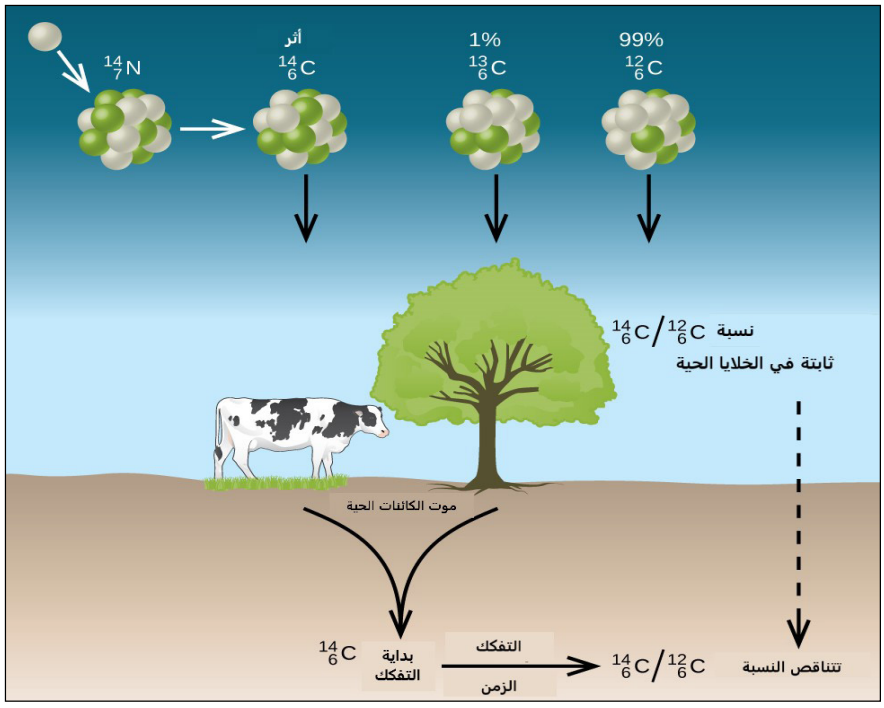
ومعرفة فيما إذا كانت هذه المياه متجددة أو غير متجددة، ويستخدم في تحديد الظروف الباليومناخية المغذية لها. ولما كان الكربون المشعّ يضمحل على مرّ الزمن، فإن توافره يتضاءل مع مرور السنين في الحوامل المائية الحبيسة، فالقيم الأعلى تعني أن المياه «حديثة» بينما القيم الأدنى تعني أن المياه «قديمة». يعد تحديد أعمار المياه الجوفية ومدى تجددها ذا أهمية كبيرة في التخطيط لديمومة المياه الجوفية وطبيعة الاستثمار الأمثل لها، وخاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة.

المبادئ الأساسية للتأريخ بالكربون

يوجد الكربون في الطبيعة على شكل ثلاثة نظائر، اثنين مستقرين: ^{12}C ويشكل 98.9%، و ^{13}C ويشكل 1.1%، والكربون ^{14}C المعروف أيضاً باسم «الكربون المشع» وهوأقل وفرة وتبلغ كميته الموجودة طبيعيًا في الغلاف الجوي حوالي ذرة واحدة من بين تريليون ذرة من الكربون المستقر ^{12}C. يبلغ عمر النصف للكربون المشع 5730±40 سنة، وعُمْر النصف لأي مادة يُمَثّلُ المدة الزمنية اللازمة لاضمحلال المادة المشعة إلى نصف ما كانت عليه يتم توليد ^{14}C في طبقة الستراتوسفير السفلى وأعلى التروبوسفير باستمرار، وخاصة عن طريق الأشعة الكونية التي تنتج نيوترونات في أثناء انتقالها عبر الغلاف الجوي والتي تصطدم بالنتروجين 14 وتتحول إلى الكربون-14 المشع حسب التفاعل النووي التالي:

$$n + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{14}_{6}C + p$$

يتقلب معدل الإنتاج الطبيعي للكربون المشع في الغلاف الجوي بسبب التباين في كثافة الأشعة الكونية الناتج عن عوامل مختلفة لم يتم فهمها جيداً بعد، ولكنها تشمل بوجه أساسي الدورة الشمسية وعلى نطاق زمني أكبرتشمل الاختلافات في المجال المغنطيسي الأرضي؛ إذ تُؤثّر قوّة المجال المغنطيسي الأرضي في كمية الإشعاعات الكونية التي تدخل الغلاف الجوي. تتأكسد ذرات الكربون المشع بسرعة لتشكل ثاني أكسيد الكربون $^{14}CO_2$ الذي ينتشر بسرعة داخل الغلاف الجوي، ويدخل إلى السلسلة الغذائية الأرضية من خلال عملية التمثيل الضوئي (الشكل 1).



الشكل 1. تشكل الكربون المشع ^{14}C في الغلاف الجوي العلوي نتيجة تفاعل النيوترونات الصادرة عن الأشعة الكونية مع ^{14}N، وامتصاصه في المحيط الحيوي الأرضي من خلال عملية التمثيل الضوئي وابتلاع الحيوانات للنباتات.

وهذا يعني أن الفعالية الإشعاعية للكربون-14 في النباتات التي تعيش على الأرض والحيوانات التي تأكل النباتات في حالة توازن مع الغلاف الجوي المعاصر، وتبقى في حالة اتزان مستقرة ضمنها وهي على قيد الحياة وبعد الموت يضمحل الكربون-14 عن طريق إصدار جسيمات بيتا وذرات النيتروجين ^{14}N وبما أن الكربون-12 هو نظير مستقر، فهو معيار جيد يمكن من خلاله قياس اضمحلال الكربون-14

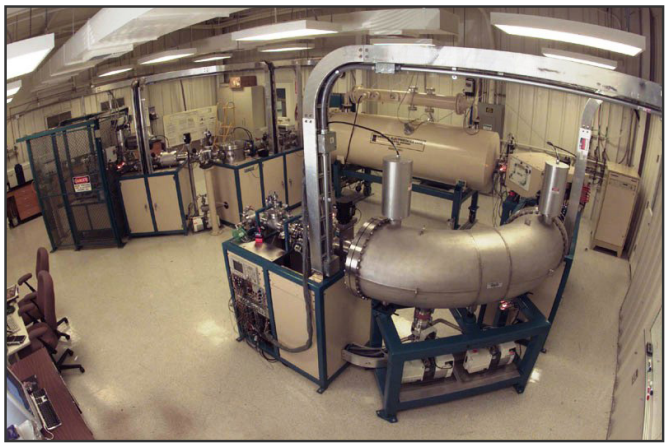
بما أن نسبة $^{14}C/^{12}C$ تنخفض في البقايا العضوية. تتيح لنا مقارنة هذه النسبة مع نسبة $^{14}C/^{12}C$ في الكائنات الحية تحديد الفترة الزمنية التي عاش فيها الكائن الحي (ومات) بالمقارنة مع مادة معيارية عالمية، وذلك باستخدام الصيغة الأسية لاضمحلال الكربون المشع. إضافة إلى ذلك، يمكن أن يتحول $^{14}CO_2$ إلى بيكربونات وكربونات في الماء مما يفيد في تقدير اعمار المياه الجوفية.

قياس الكربون المشع

منذ أواخر القرن العشرين تواصل تطور طريقة التأريخ بالكربون المشع من جهة دقة القياسات والتحسينات في طرق معالجة فصل الكربون المشع وتحضيره وقياسه بهدف إجراء دراسات كرونولوجية عالية الدقة للأحداث الأثرية. وتعّد الإجراءات المستخدمة في إعداد العينات وتأريخها في المختبر أمراً بالغ الأهمية لتحديد التأريخ الدقيق بالكربون المشع بضوء الفعالية الاشعاعية المنخفضة جداً للكربون المشع في المواد العضوية واللاعضوية. تتضمن المعالجة المسبقة مزيجاً من العمليات الفيزيائية والكيميائية وفقاً لنوع المادة التي تتم معالجتها بغية الحصول على جزء خالٍ من الملوثات من العينة المراد تأريخها. حتى منتصف الثمانينيات، أجريت جميع أعمال التأريخ بالكربون المشع باستخدام التقنيات التقليدية التي تشمل طريقتين: الطريقة الأولى تحسب اضمحلال ذرات ^{14}C باستخدام مِعْداد انبعاث جسيمات بيتا (أي الإلكترونات) المنبعثة عن اضمحلال ذرات ^{14}C في وحدة الكتلة وفي وحدة الزمن للنموذج قيد الدرس. أما الطريقة الثانية، فهي تقنية العد الوميضي السائل liquid scintillations counter وهي أكثر الطرق شيوعاً للتأريخ بالكربون المشع وهي المستخدمة في هيئة الطاقة الذرية السورية الشكل 2؛ إذ يصنع مركب البنزن اعتماداً على العينات الواردة إلى المخبر بنوعيها العضوي واللاعضوي في خط تصنيع البنزن المفرغ والمحكم الإغلاق بغرض إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون المتضمن $^{14}CO_2$، وليصار إلى تحضير الإسيتيلين الذي تتم بلمرته للحصول على مركب البنزن C_6H_6. يتم تحميل عينة البنزن في جهاز العداد الوميضي السائل بعد إضافة مادة ومضاءة خاصة بغية عد الكربون المشع. تتفاعل جسيمات بيتا مع هذه المادة الومضاءة التي تصدر فوتونات يقوم الجهاز بعدّها والتي تعبر عن الفعالية الإشعاعية للكربون-14 الموجود في العينة قيد الدراسة. يتم قياس العمر لعينة مجهولة من خلال قياس الفعالية الإشعاعية للكربون-14 ومقارنته بقيم الفعالية الإشعاعية للكربون-14 في عينات حديثة. المعيار الرئيسي الذي تستخدمه مختبرات التأريخ بالكربون هو حمض الأكساليك 1 الذي يُحصَل عليه من المكتب الوطني للمعايير والتكنولوجيا في ولاية ماريلاند–أمريكا والذي أُخذ من محصول للشمندر السكري عام 1955. إن حوالي 95% من نشاط الكربون المشع في حمض الأكساليك يساوي نشاط الكربون المشع المقيس في خشبة اكتشفت في ولاية أريزونا الأمريكية عام 1890 التي لم تتأثر بعمليات الإغناء الضخمة الناتجة عن مساهمة الوقود الأحفوري. عندما أُستهلِك مخزون حمض الأكساليك 1 بالكامل تقريباً، صُنِع معيار جديد عام 1977 باستخدام محصول لدبس الشمندر الفرنسي. أثبت المعيار الجديد (حمض الأكساليك 2) أن فيه اختلافاً صغيراً عن حمض الأكساليك 1 من ناحية محتوى الكربون المشع، يلي ذلك استخدام مجموعة من المعادلات الرياضية بهدف حساب الفعالية الإشعاعية للكربون المشع وتحديد عمر العينة.

الشكل 2. تصنيع البنزن وعدّ جسيمات بيتا الصادرة عن اضمحلال الكربون المشع لتحديد الفعالية الاشعاعية لـ^{14}C المستخدمة في هيئة الطاقة الذرية السورية.

لقد أصبح التأريخ بالكربون المشع أعلى سرعة و دقة في منتصف عقد الثمانينيات من القرن الماضي مع إدخال مطياف الكتلة المسرع accelerator mass spectrometer, AMS وتوسع نطاق استخداماته عبر تقليل كمية العينة المطلوبة لقياس الفعالية الإشعاعية للكربون المشع فيها. وهذا ما يتيح تأريخ عينات ذات قدر صغير جدا، إذ يكفي 1 ملّي غرام من الكربون العظام فقط، بينما قد تتطلب الطريقة التقليدية ما يصل إلى 25 غراماً من العظام الشكل 3. تتم آلية العمل من خلال استخلاص المادة العضوية ومن ثم المعالجة الكيميائية للحصول على الجرافيت الذي يتم تحميله في المسرع. يتم شحن ذرات الكربون بشحنة كهربائية محددة، ويتم تسريعها إلى سرعات فائقة جداً تبلغ بضعة أجزاء في المئة من سرعة الضوء، قد تصل إلى نحو 10%، فَيُمكِّنهُ ذلك من فصل النظائر النادرة الوجود وتفريقها عن بقية الجسيمات الدقيقة الأخرى الوفيرة في النموذج، فمثلاً يُمكِّنهُ من فصل النظير النادر الوجود ^{14}C عن النظير ذي الوفرة الكبيرة ^{12}C والمتمايزة بالكتلة باستخدام مجال مغنطيسي يؤدي إلى تقويس مساراتها، إذ يتقوس مسار الأيونات الثقيلة بصورة أقل من تقوس مسار الأيونات الخفيفة. وبهذا تخرج الأيونات المختلفة من المجال المغنطيسي إلى مواضع مختلفة، بحسب قيمة كتلتها فيقاس تركيز كل منها. ويتفوق مطياف الكتلة المسرع على الطرائق التقليدية في تعدادهِ لعدد الانبعاثات الصادرة عن نظائر ذات عُمْر نصف طويل. وفي الواقع، ثبت أنَّ طريقة مطياف الكتلة المسرع تتمتع بحساسية التقاط للأيونات المشعة تفوق بمقدار 1000 مرة حساسية مقارنة بالطرائق التقليدية.

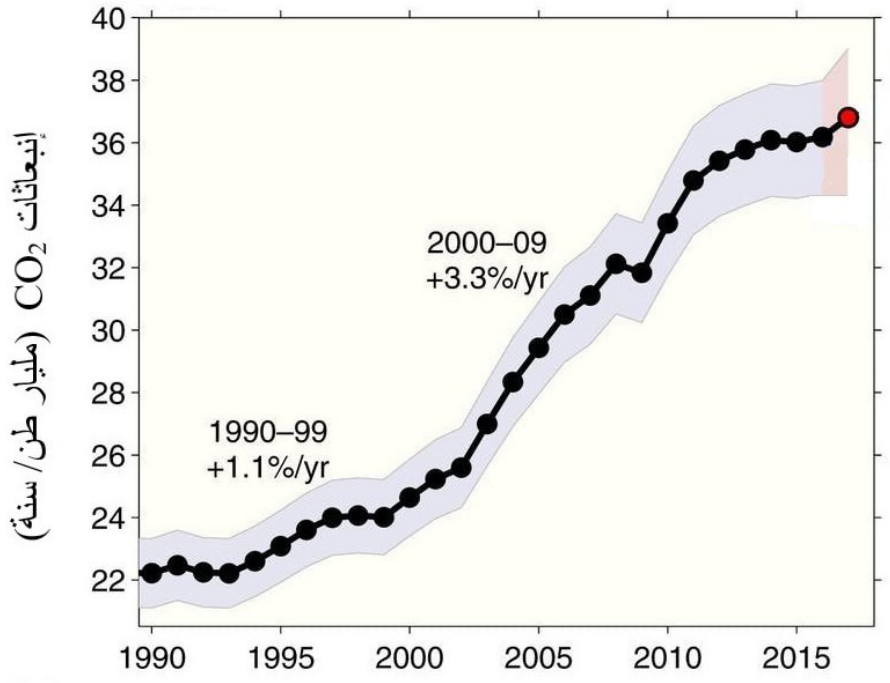


الشكل **3.** مطياف الكتلة المسرع في مختبر لورانس ليفرمور، كاليفورنيا–أمريكا حيث يتم إجراء تحاليل ^{14}C.

والخاصية المهمة الأخرى لهذا المطياف هي قابليته لمنع مرور المُتَكاتلات الجزيئية بالكامل أيضاً . ويسمح في حالات أخرى بفصل بعض المُتَكاتلات الذرية atomic isobars مثل ذرات ^{14}N عن ذرات ^{14}C. والمُتَكاتلات الذرية هي ذرات متساوية في وزنها الذري؛ أي عددها الكتلي، لكنها مختلفة في عددها الذري. لقد أتاح تطوير مطياف الكتلة المسرع فرصاً جديدة لاستكشاف نظائر نادرة أخرى ولتطبيقات أخرى، مثل تأريخ المياه الجوفية بالكلور-63 (^{36}Cl)، وتأريخ الرواسب البحرية بالبريليوم-11 (^{11}Be)، وتأريخ الجليد الجليدي بالكريبتون-18 (^{81}Kr). وبشكل عام، فإن تطبيق مثل هذه التقنيات محدود بسبب التكلفة الهائلة للمعدات المطلوبة.

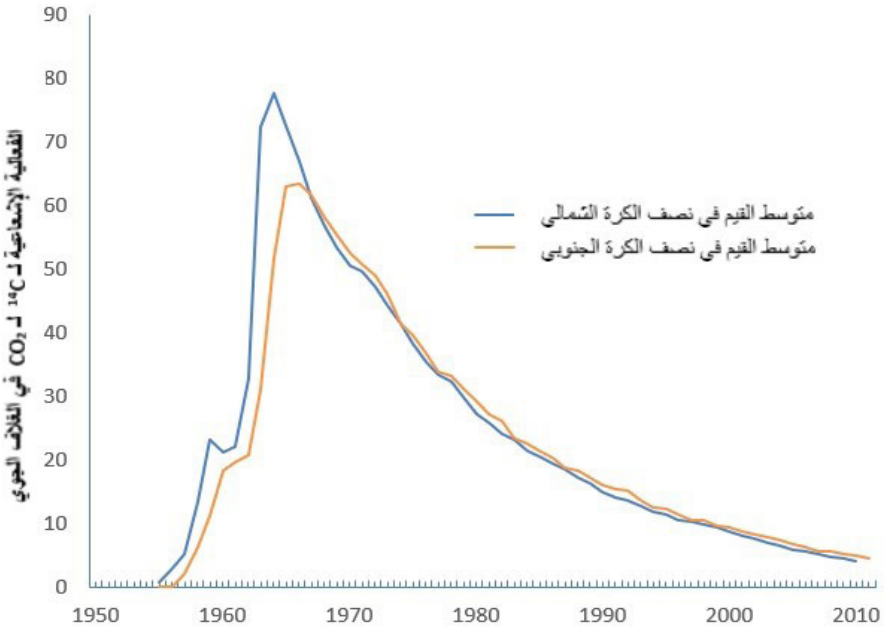
تحديات تواجه التأريخ بالكربون المشع

عند استخدام التأريخ بالكربون المشع يجب أن نأخذ في الاعتبار الأنشطة البشرية الحديثة التي غيرت المستويات العالمية لـ ^{14}C، وتشمل حرق الوقود الأحفوري واختبارات الأسلحة النووية. فحسب دراسة علمية نشرتها الأكاديمية الأمريكية الوطنية للعلوم عام 2015 أنَّ الوقود الأحفوري، مثل الفحم الحجري والنفط والغاز، قد يصبح عائقاً فعلياً أمام تقنية تحديد العمر الكربوني بشكل صحيح، لأن عمر الكربون الموجود في ثاني أكسيد الكربون الذي يتم نفخه في الهواء عند حرق النفط والفحم والغاز الطبيعي يبلغ ملايين السنين نتيجة اضمحلال الكربون المشع الموجود فيه. يؤدي هذا الكربون «القديم» إلى تخلخل (تخفيف) الكربون-14 الموجود في الغلاف الجوي. وسيصبح من الصعب التمييز بين ما هو حديث وما هو بعمر مئات السنين، فالكربون غير المُشع المنبعث نتيجة حرق الوقود الأحفوري سيتسبب بتقليل النسبة بين مقدار الكربون المشع ^{14}C إلى الكربون غير المُشع ^{12}C، نظراً لأن الوقت الذي يستغرقه تحول المواد البيولوجية إلى وقود أحفوري أطول بكثير من الوقت الذي يستغرقه الكربون المشع ليضمحل إلى ما دون المستويات التي يمكن اكتشافها (الشكل 4)، والذي يوحي بقِدَم النموذج متسبباً بزيادة تقدير عمر النماذج قيد الدرس من آثار وأشياء أخرى. عندما تختلط غازات الوقود الأحفوري المحترق في الجو ستكون خالية من الكربون المُشع، وستبدو الفعالية الإشعاعية لـ ^{14}C أقل، مما يعني أنَّ الغلاف الجوي سيبدو أقدم مما هو عليه لقلة الكربون المُشع فيه.



الشكل 4. الانبعاثات الغازية من الوقود الأحفوري والصناعة، إذ وصلت إلى مستويات قياسية بلغت 37 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون، وفقاً لميزانية الكربون العالمية لعام 2017.

وعلى العكس من ذلك، فإن التجارب النووية من جهة أخرى، قد أدت إلى زيادة ^{14}C وبلوغه حده الأقصى بحلول عام 1965 (الشكل 5) بما يقارب أضعاف الكمية الموجودة في الغلاف الجوي قبل التجارب النووية. وتعني هذه التأثيرات أن تواريخ الكربون المشع يجب حسابها حتى عمر «ما قبل الانفجارات النووية » وهو عام 1950. وتفادياً لتلك التأثيرات على دقة النتائج فقد بدأ العلماء استعمال ما يُسمى «الكسر الحديث the fraction modern». ويُعَرّف هذا الكسر بأنَّه النسبة بين تركيزي ^{14}C و ^{12}C في النموذج القديم قيد الدرس إلى النسبة بين التركيزين في نموذج حديث قيس قبل عام 1950، إذ كان استعمال الوقود الأحفوري وإجراء التجارب النووية أقل ما يمكن، وبذلك ينتفي تأثيرها على النتائج.



الشكل 5. الفعالية الإشعاعية للكربون–14 لـ CO_2 في الغلاف الجوي في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي والزيادة الكبيرة لـ الكربون–14 نتيجة التفجيرات النووية.

الخلاصة

يستخدم التأريخ بالكربون المشع حالياً في كل شيء قديم يراد تأريخه كدليل لجمع المعلومات المتعلقة بالعالم والحضارات الغابرة. ومن أجل الحصول على دقة التأريخ بالكربون المشع، من الضروري تقييم تقلبات الكربون-14 في الغلاف الجوي بأكبر قدر ممكن من الدقة، وتصحيح قيم الكربون-14 المقيسة على أساس منحنيات المعايرة التي يتم تحسينها باستمرار والمعتمدة على محتوى الكربون-14 الموجود في الطبقات الرسوبية في البحيرات القديمة وحلقات الأشجار التي يُعرف عمرها المطلق الذي يمكن أن يصل إلى آلاف أو حتى عشرات الآلاف من السنين. إن تطور طرائق القياس عبرمطياف الكتلة المسرع قد انعكس بشكل واضح جداً على دقة القياس وسرعته ومقارنة تواريخ الأحداث عبر مسافات زمنية بعيدة.

المراجع

J. Maraa (2019) Hot Carbon: Carbon-14 and a Revolution in Science. Columbia University Press.280pp.

G. Kauffman (2023) Encyclopedia Britannica Last Updated: Sep 4, 2023.

B . Sheridan (1990), Radiocarbon Dating: Interpreting the Past , University of California Press.

W. F., Libby, E. C Anderson and J. R. Arnold, (1949). Age determination by radiocarbon content: World-wide assay of natural radiocarbon. Science 109 (2827), 227–228.

W. F. Libby (1955). Radiocarbon dating. Chicago: University of Chicago Press.

H. Quan; B.Mike; R.Andrzej (2013). Atmospheric Radiocarbon for the Period 1950-2010. Radiocarbon. 55 (4): 2059–2072.

➤ *تأليف: د. عبد الرحمن شريدة، ك. حامد حافظ، قسم الجيولوجيا – دائرة هيدرولوجيا النظائر، هيئة الطاقة الذرّية السورية.*

ظاهرة التشابك الكمّي والحواسيب الكميّة

ملخص

بدأ يتردد كثيراً على مسامعنا مصطلح التشابك الكمومي quantum entanglement من قبل وسائل الإعلام والإنترنت. فما المقصود بالتشابك الكمومي الذي أدى إلى حصول ثلاثة علماء لجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2022 وما هي أهم تطبيقاته المحتملة؟ يعدّ التشابك الكمومي أحد أهم مميزات ميكانيكا الكم، وأحد الاكتشافات الاستثنائية في القرن العشرين، وأحد أهم الوسائل الواعدة القادرة على مساعدة العلماء في البحث عن التقنيات المتقدمة في الاتصالات والحوسبة والعديد من المجالات الأخرى. وظاهرة التشابك الكمومي هي ظاهرة فيزيائية ترتبط فيها بعض الجسيمات الكمومية، مثل الفوتونات والإلكترونات والجزيئات ببعض رغم وجود مسافات كبيرة تفصل بينها، فإذا تغيرت الحالة الكموميّة لأحد الجسيمات المترابطة كمومياً، فإنّ هذا التغيّر سوف يطرأ على الجسيم الآخر، ولو كانت المسافة بينهما فلكية، وهذا التغيّر آني مناقض بذلك لنسبية آينشتاين.

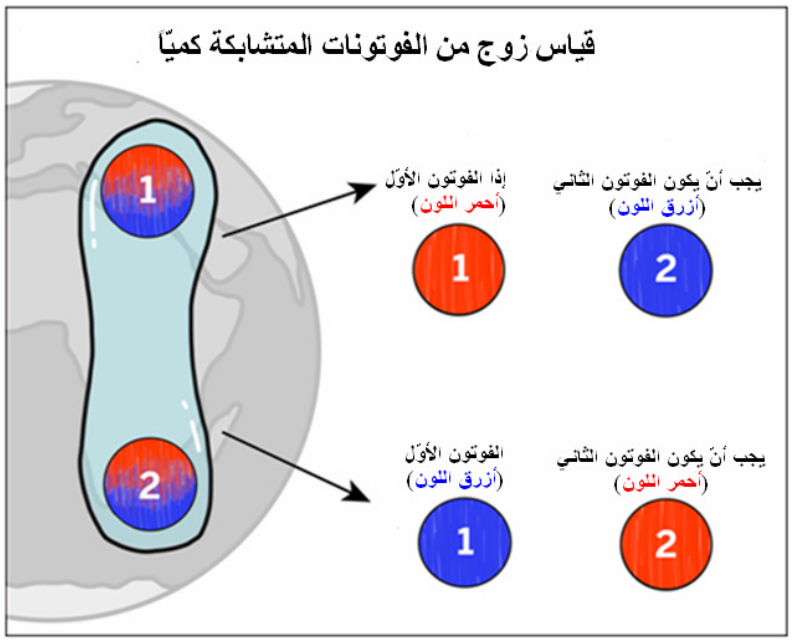
الكلمات المفتاحية: التشابك الكمي، متراجحة بيل، الحوسبة الكمية، الكيوبت

التشابك الكميّ هو الظاهرة التي تخص الجسيمات ما دون الذريّة وحتى الذريّة نفسها، والتي تحدث عندما ينفصل جسيمان عن بعضهما، ومهما فصلت بينهما من مسافات شاسعة، يبقى بينهما ارتباط وثيق، وكأنّهما مازالا معاً، إذ يتصرفان بعكس ذلك.

تعدّ هذه الظاهرة ثورة علمية وخروجاً عن الفيزياء التقليدية والواقع المألوف، لكن في عالم ميكانيك الكم هناك أشياء يمكن أن تسير بسرعات أكبر بكثير من سرعة الضوء، وهذا يعني هزّ عرش النظريّة النسبية نفسها، والتي تنص على أنّ أقصى سرعة في الطبيعة هي سرعة الضوء، ومن المستحيل على أيّ جسيم أنّ يتخطى سرعة الضوء، لأنّ تخطّي سرعة الضوء هي من المحرّمات في الفيزياء. وهذا ما دفع أينشتاين أن ينشر ورقة علمية في عام 1935 بالاشتراك مع بوريس بودولسكي وناثان روزن سُمّيت بمفارقة أينشتاين– بودولسكي–روزن EPR paradox، وهي تجربة احتمالية حاولت إظهار أن نظرية ميكانيك الكم غير مكتملة، وأنّ هناك نقصاً فيها، لأنّه من المستحيل على أي شيء في الكون أن يتخطى سرعة الضوء، كما أثبت ذلك أينشتاين في نظريته النسبية الخاصة، وأنّ الفكرة العامة في خصائص الجسيمات الكموميّة، أنّ تكون غير محدّدة لغاية قياسنا لها، فهي بذلك غير منطقيّة إطلاقاً، وأنّ هناك متغيّراً خفيّاً هو الذي يؤثّر في دوران كل جسيم من الجسيمات المتشابكة كميّاً، وأنّ المشكلة الكامنة هي في عدم مقدرتنا على قياس المتغيّر الخفيّ.

لكن نيلز بور قال إن كلام أينشتاين مجرّد هراء، وليس هناك متغيّر خفيّ يجعل الجسيمات المتشابكة كميّاً تؤثّر على بعضها عن بعد، وأنّ حقيقة التشابك بين الجسيمات هي في علاقة غريبة بينها، وهذه الحقيقة يجب أن نقبلها ضمن الواقع الذي نعيشه. وبذلك انقسم المجتمع العلمي إلى فريقين، الأوّل يعتبر نظرية EPR هي الصح، والفريق الثاني هم مؤيدو ميكانيك الكم الذين يؤمنون بصحة أفكارهم.

وحين يتشابك جسيمان كميّاً، يمكن للشخص الذي يقيس خاصيّة لجسيم واحد أن يحدّد على الفور نتيجة قياس مكافئ للجسيم الآخر ودون الحاجة إلى التحقق من ذلك، كما يحدث في المثال التالي المبسّط، تخيل أنّه لو كان لدينا فوتونان من نفسه المصدر، أي مرتبطان كميّاً، فإذا كان طول موجة الفوتون الأوّل أحمر، وكان الفوتون الثاني أزرق اللون، والعكس بالعكس، فلو وضعنا الفوتونين في مكانين مختلفين على سطح الأرض، وقمنا بقياس طول موجه الفوتون الأوّل، وكان لونه أحمر، فسوف يكون طول موجة الفوتون الثاني أزرق والغريب في الأمر، لو أنّ الفوتون الأوّل غيّر لونه، وأصبح أزرق اللون، فإنّ الفوتون الثاني سوف يغيّر لونه ويصبح أحمر اللون، والعكس صحيح، وكأنّ كل فوتون يرسل بياناته إلى الفوتون الثاني حتى يغيّر من حالته، مهما كانت المسافة الفاصلة بينهما، كما هو موضّح بالشكل 1.



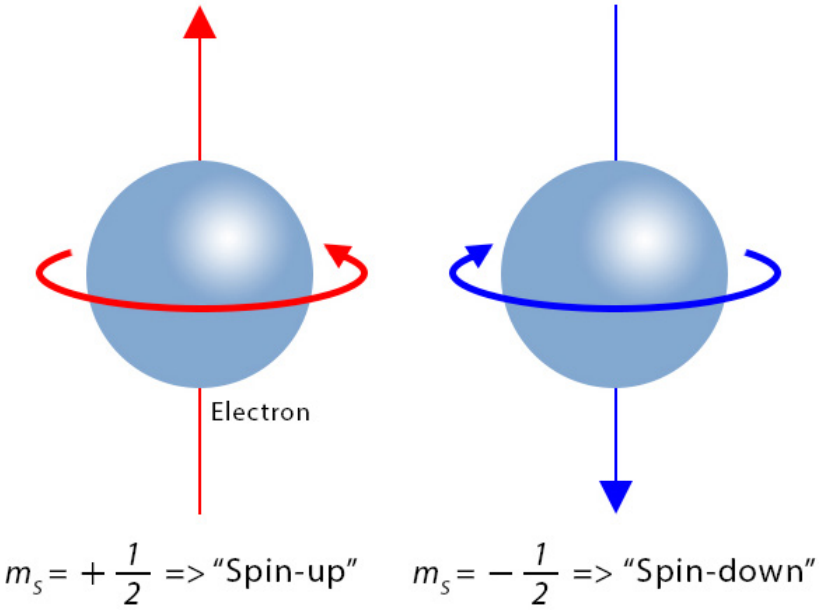
الشكل **1.** التشابك هو قاعدة تحكم كيفية ارتباط قياسات أحد الشريكين المتشابكين بقياسات شريك آخر.

وتعود هذه الظاهرة إلى ظاهرة أغرب منها، وهي ظاهرة التراكب الكميّ quantum superposition التي تجعل التنبؤ بدوران الجسيمات شيئاً مستحيلاً، إنّ هذه الظاهرة تقول إنّ قياسنا للجسيمات يؤثّر على الطريقة التي سوف تتصرف فيها، وهذا ما تمّ إثباته في تجربة من أغرب التجارب الفيزيائية التي صدمت نتائجها الفيزيائيين، وهي ظاهرة الشق المزدوج. وفي هذه التجربة أثبتوا فيها أنّ الإلكترونات

أو الفوتونات أو حتى الذرّات نفسها، توجد على شكل جسيمات و موجات في الوقت نفسه، وفي لحظة رصد هذه الجسيمات أو قياسها، فهذا يؤثّر على حالتها، لذا يجب أنّ تقرّر أتكون جسيمات أم موجات، كما أنّ هذه الجسيمات تكون موجودة في أماكن مختلفة في الوقت نفسه، ولكنها تختار مكاناً محدّداً بمجرّد رصدها، وتمّت هذه التجربة على نيوترونات أو فوتونات لبعض الذرات والجزيئات، وتبيّن أنّ لهذه الجسيمات خاصيّة التراكب الكميّ، ومعنى هذا الكلام أن الإلكترونين المتشابكين مع بعضهما، كان كل واحد منهما يدور في جميع الاتجاهات بالوقت نفسه، وعند الرصد يتم تحديد الحالة الكميّة لهما، في هذه الحالة فإنّ الجسيم الأوّل سوف يجبر الجسيم الثاني على أنّ يتخذ الحالة الكميّة المناسبة، أي أنّ عملية القياس على الجسيم الأوّل سوف تؤثّر على الجسمين معاً، وهذا التخاطر بين الجسيمات آني لحظي مهما كانت المسافات الفاصلة بين الجسيمات المتشابكة كميّاً، وهذا التخاطر يسير بسرعة أكبر بآلاف المرّات من سرعة الضوء نفسه.

القصة منذ البداية

في ميكانيك الكم، الرصد هو الذي يخلق الواقع؛ بمعنى أدق أننا موجودون في هذا الكون، لأنّ هناك من يراقبنا دائماً أو يرصدنا، وإذا لم يوجد أحد يراقبنا فنحن لسنا موجودين، وهذا ما قد أثبتته التجارب الفيزيائية نفسها، فالإلكترون عندما لا يُراقب يبدو كموجة من الاحتمالات الموجودة في كلّ مكان، وفي أوّل عملية رصد له، تنهار هذه الموجة، ويظهر الإلكترون في مكان محدّد، وهذا الكلام ينطبق على أي مكوّن من مكونات الذرّة، حتى أنّ بعض التجارب التي أجريت على الذرّات نفسها أعطت النتائج نفسها، وهذا يدل على أنّ الواقع ليس موجوداً، ويوجد بالرصد. كما أنّ الإلكترون الذي يمتك تلك الخاصّية، له سبين أو دوران ذاتي، وهذا الدوران إمّا أنّ يكون بعكس دوران عقارب الساعة، ويرمز له بسهم نحو الأعلى ↑ أو له دوران مع عقارب الساعة، ويرمز له بسهم نحو الأسفل ↓، كما هو مبين بالشكل 2.

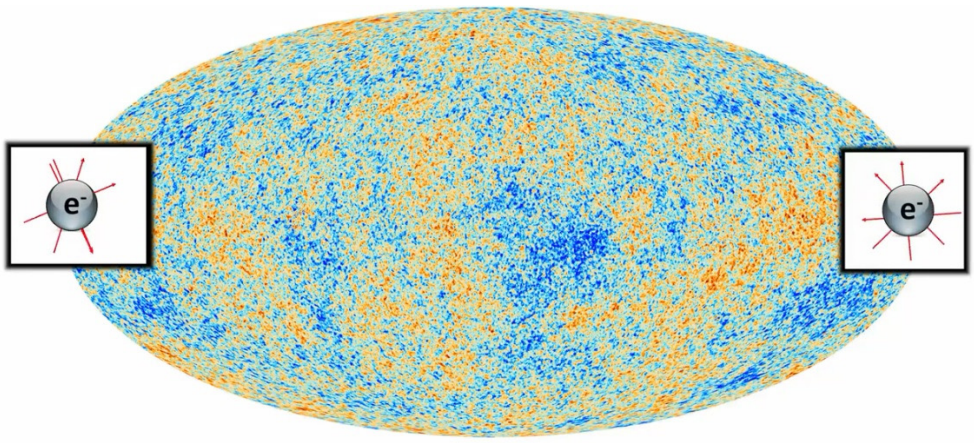


الشكل **2.** امتلاك الإلكترون للف الذاتي، إمّا بعكس عقارب الساعة أو مع عقارب الساعة.

وبحسب تفسيرات ميكانيك الكم (نظرية كوبنهاغن) فإنّ الإلكترون يدور في جميع الإتجاهات مع عقارب الساعة، وبعكس عقارب الساعة في الوقت نفسه، وعند رصده فإنّه سوف يدور إمّا بعكس عقارب الساعة أو مع عقارب الساعة، لأنّ جميع الاحتمالات قائمة. وهذا المبدأ الأساسي في ميكانيك الكم ينسف مبدأ أساسياً تقوم عليه النظريّة النسبية، وهو الواقعية realism، حيث إن الواقع موجود سواء أدركناه أم لم ندركه، فوقف أينشتاين معارضاً لهذه الفكرة، لأنّها تهدد عرش نظريته، وهذا ما دفع بأينشتاين أنّ يقول جملته الشهيرة: أنّا أحب أنّ أعتقد أنّ القمر موجود حتى عندما لا أنظر إليه. هذه النتيجة دفعت أينشتاين إلى أنّ يجادل علماء الكم، ويقول لهم أنتم: تقولون أنّ كل ما في الكون هو عبارة عن احتمالات، وهذا يعني أنّ ربنا نفسه لا يعرف ما هي السيناريوهات التي سوف تحدث، إنّ الله لا يلعب بالنرد. لكن علماء ميكانيك الكم أجابوه: هذا ما يحصل أو أنّ الفكرة من أساسها قد تكون فكرة خاطئة من أساسها، وكان على رأسهم العالم نيلز بور الذي تصدى لأينشتاين.

وقد واصل أينشتاين هجومه على هذه الفكرة، وبحث عن ثغرة في تفسيرهم للذي يحدث، وجادلهم قائلاً: أنتم تقولون أنّ الإلكترون يدور في جميع الاتجاهات، ويختار اتجاهاً معيّناً فقط عندما نقيسه، وأنا سوف أعدُّ نفسي متفقاً معكم، لنفترض أننا أخذنا إلكترونين من المصدر نفسه، فمن المفروض أنّ العزم الزاويّ لهما سوف يساوي الصفر، وذلك تحقيقاً لمبدأ انحفاظ العزم الزاوي، بمعنى أبسط لو أنّ أحد الإلكترونين يدور بعكس اتجاه عقارب الساعة، فالثاني يجب أن يدور مع عقارب الساعة، حتى يتحقق مبدأ انحفاظ العزم الزاوي، وفي حالتكم هذه يعني أنّ مبدأ انحفاظ العزم الزاوي لن يكون محققاً، لأنّه من الممكن أن نجد إلكترونين لهما العزم الزاوي يساوي واحداً أو اثنين، وليس صفراً، ناسفين بذلك مبدأ انحفاظ العزم الزاويّ.

والحل الذي اقترحه أينشتاين في جداله مع علماء ميكانيك الكم لمشكلتهم أنّ الإلكترونين في لحظة رصدهما يبعث الإلكترون الأوّل إشارة إلى الإلكترون الثاني يخبره فيها أنّه يدور بعكس اتجاه عقارب الساعة، فعليك أن تدور مع عقارب الساعة، فأجاب علماء الكم: من المرجّح أنّ هذا ما يحصل واقعيّاً. ثمّ فرض أينشتاين لو أنّ أحد الإلكترونين سافر إلى أحد أطراف الكون، فإن توءمه سيسافر إلى الطرف الآخر من الكون، كما هو موضّح بالشكل 3.

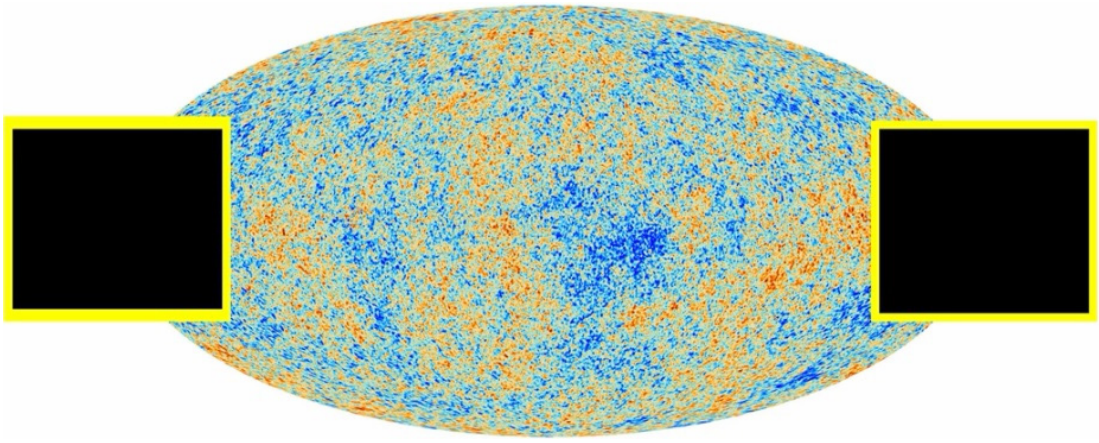


الشكل **3.** الحالة الكموميّة للإلكترونين من المصدر نفسه عندما يوجد الإلكترون الأوّل عند أحد طرفي الكون، والإلكترون الثاني في الطرف الآخر دون رصد.

وتخيلوا لو أننا قسنا اتجاه الإلكترون الأوّل، ووجدناه يدور في اتجاه معيّن، ففي اللحظة نفسها التي قسنا فيها اتجاه الإلكترون الأوّل سوف تكون الإشارة التي بعثها للإلكترون الثاني قد وصلت، وهذا يعني أننا أمام خيارين: إمّا أنّ الإشارة مشت في نسيج الزمكان بسرعة أكبر من سرعة الضوء، وهذا شيء مستحيل وفقاً للنظريّة النسبيّة، أو أنّ الإشارة نفسها لم تمش في نسيج الزمكان، وإنّما اختفت من الموقع الأوّل وظهرت فجأة في الموقع الآخر من الكون، وهذا ينسف مبدأ المحليّة locality الذي تقوم عليه النظرية النسبيّة، والذي يعني أنّ الأشياء تتواصل فيما بينها في الحيز أو المكان الذي تشغله، وحتى يسخر منهم أينشتاين أكثر أطلق على هذا اتصال اسم الاتصال الشبحي spooky action الموضَّح في الشكل 4.

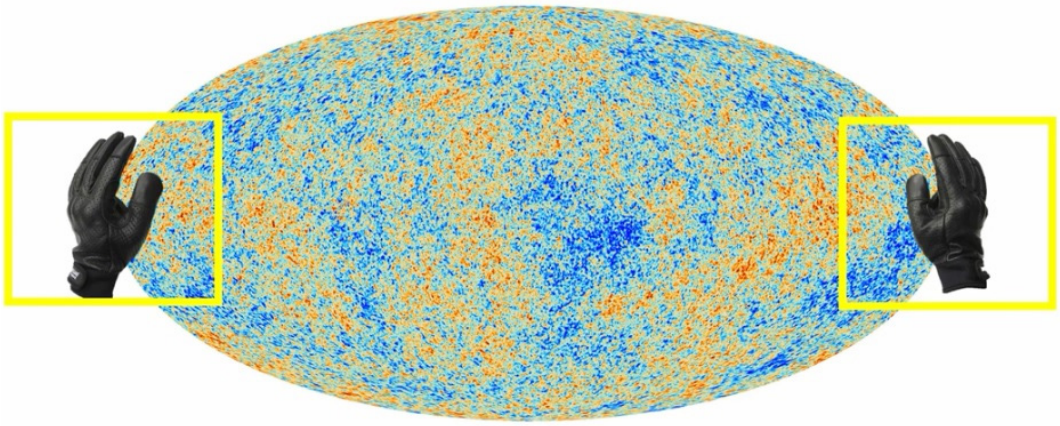
الشكل **4.** الحالة الكموميّة للإلكترونين بعد رصد حالة الإلكترون الأوّل الموجود في طرف الكون، والإلكترون الثاني الموجود في الطرف الآخر.

وقد ردّ عليهم علماء الكم بقولهم: أنت تهاجمنا وتسخر منا، هل لديك تفسير لما يحدث يا سيد أينشتاين؟ فقال لهم نعم لدي تفسير لما يحدث، الحلّ الوحيد والمنطقي بالنسبة لي لما يحدث ان القضية من أصلها مرتبة أصلاً أو أنّها معدّة مسبقاً، بمعنى أنّ هناك إعدادات داخلية مسبقة موجودة داخل الإلكترون تدعى بالمتغيرات الخفيّة، وهي التي تجعله يتصرف بهذه الطريقة عندما يتم قياسه، بالضبط كما يحدث في المثال التالي: تخيلوا لو أنّ لدينا صندوقين لزوج واحد من القفّازات، حيث يحتويّ الصندوق الأوّل على الكف الأيمن للقفّاز، والصندوق الثاني يحتويّ على القفّاز الأيسر، ووضعنا كل صندوق في طرف من أطراف الكون، كما هو موضّح بالشكل 5.



الشكل **5.** وضع كفين لزوج من القفّازات في كل صندوق، ووضع كل صندوق عند أحد طرفي الكون.

وعندما فتحنا الصندوق الأوّل ووجدنا أنّه يحتوي على الكف الأيمن للقفّاز، فمن المؤكد أن يحتوي الصندوق الثاني على الكف الأيسر، والموضوع لا يحتاج إلى أي تواصل بين فردتي القفّاز، وبذلك أحرج أينشتاين علماء الكم كما هو مبين في الشكل 6.



الشكل **6.** الحالة بعد فتح العلماء للصندوق الأوّل، يتم تحديد نوعيّة الكف للقفّاز الثاني.

لكن علماء الكم لم يقفوا مكتوفي الأيدي أمام حجج أينشتاين وبقوا مؤمنين بفكرتهم، وأطلق نيلز بور على هذه الظاهرة اسم التشابك الكميّ quantum entanglement، حتى لا ينتشر مصطلح أينشتاين ويصبح نكتة في المجتمع العلميّ، وهو مصطلح الاتصال الشبحي.

مبرهنة بيل Bell's theorem:

بقي الجدل قائماً بين الفريقين: الفريق الأول مؤيدي النظريّة النسبية، والذين يرفضون ظاهرة الاتصال الشبحي أو التشابك الكمي، والفريق الثاني علماء ميكانيك الكم، والذين يؤمنون بصحة ظاهرة التشابك الكميّ ويبحثون عن تفسير لظاهرة التشابك الكميّ حتى عام 1964 حيث جاء العالم جون استيورت بيل John Stewart Bell الذي قال إنّ الاحتمالات لا تدرس باليقين وإنّما تدرس بالاحتمالات، وذكّرهم بلعبة تظهر في برنامج الإخفاء the blind date show، وهو عبارة عن برنامج ترفيهي تتم المقابلة بين شخصين لا يعرفان بعضهما مطلقاً ولد وبنت، ويتم طرح أسئلة سهلة عليهما، يعرفون إجاباتها، ويرون مدى التوافق فيما بينهما من خلال الإجابات. و كان يقدم هذا البرنامج ثلاثة مذيعين،

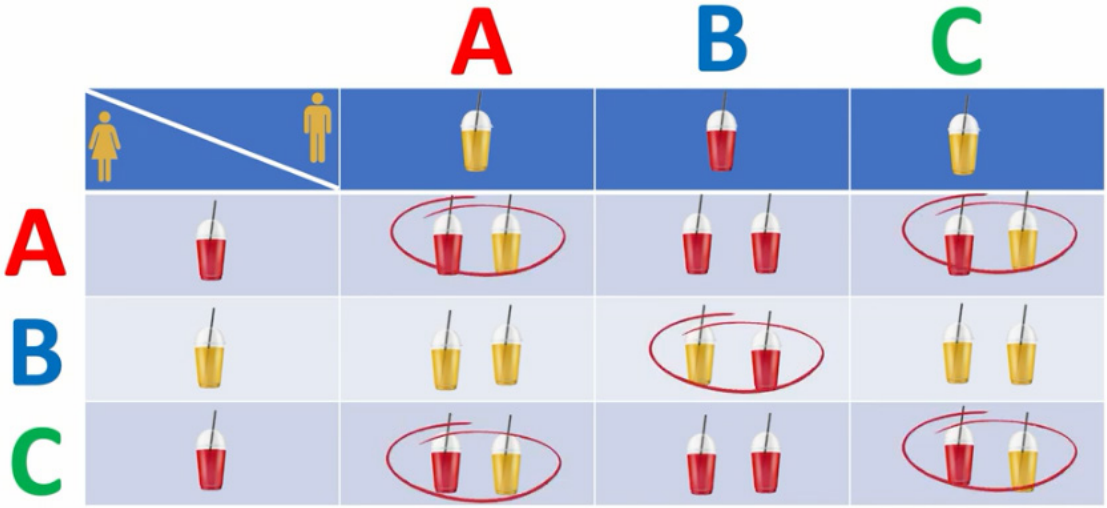
حيث كل حلقة يقدم مذيع من أحد المذيعين الثلاثة، (ولنعتبر الإلكترونات هما الولد والبنت اللذان يمثلان في هذا البرنامج). وكانت المفاجأة أنّ الإجابات كانت دائما مختلفة وبنسبة عالية، ولا يوجد أي توافق في الإجابات مهما تمّ تغيير االأشخاص (الولد والبنت) أو المذيعين.

حاول العالم جون ستيوارت بيل حل هذه المعضلة الفيزيائية عن طريق الرياضيات، فابتكر مبرهنة أو متراجحة تدعى «متراجحة بيل» لقياس احتمالية نظرية المتغير الخفي التي صاحبها أينشتاين بعد زعمه بوجود بيانات خفية داخل الإلكترون تجعل قرينه يتغير، وتوصل بيل إلى قيمة معينة، وأوضح للعلماء أنه بحساب هذه المتراجحة، إذا كان الناتج أكبر من هذه القيمة فسيكون أينشتاين على حق ونظرية المتغيرات الخفية صحيحة، ويوجد مبدأ سببية وبيانات خفية في الإلكترونات وهو ما ينتج عنه تغيير الإلكترونات، أما إذا كانت نتيجة المتراجحة أقل من هذه القيمة، فعلماء فيزياء الكم هم على صواب، والتغير بين الإلكترونات المتشابكة يحدث لحظياً دون أي سبب.

أوضح بيل فكرة متراجحته لتفسير التشابك الكميّ من خلال المثال التالي المعتمد على برنامج the blind date show، لنفرض أنّ لدينا ثلاثة مذيعين (A)،(B)،(C)، وكل حلقة يقدمها مذيع يختلف عن الثاني، ولو تمّ اختيار ولد وبنت بشكل عشوائي (وهما يمثلان الإلكترونات)، ووضِع كل منهما في غرفة منفصلة عن الآخر، وُطرحت عليهما أسئلة يعرفون إجابتها بشكل مسبق، على سبيل المثال: شرب عصير المنغا أو شرب عصير الفريز وذلك لمعرفة مدى التطابق بين إجابتهما، فسيكون لدينا حالتان:

- **الحالة الأولى: حالة عدم الاتفاق بين الولد والبنت**؛ وذلك بأنّ يختار كل منهما عصيره دون الإتفاق مع الطرف الآخر، حيث أنّ الولد يختار عصيره مهما كان المذيع، وتختار البنت عصيرها أيضاً مهما كان المذيع. فلو اختار الولد عصير المنغا أو الفريز، فسوف تبقى إجابته دائماً هي مهما كان المذيع (A)،(B)،(C)، وكذلك البنت سوف تكون إجابتها إمّا عصير المنغا أو عصير الفريز، مهما كان المذيع، وبنسبة (100%) كما ستكون الإجابات مختلفة، وهذا يعني أنّ هذين المشتركين غير متفقين فيما بينهما مهما بدلنا المذيعين الذين يقدمون لهما سؤال نوع العصير، ونسبة الاتفاق تقترب من الصفر.

- **الحالة الثانية: حالة الاتفاق بين الولد والبنت**؛ بحيث يتفق الولد والبنت فيما بينهما بشكل مسبق على إجابات متعاكسة فيما بينهما معتمدة على نوع المذيع الذي سوف يسألهما قبل دخولهما الغرفتين المنفصلتين، فإذا طُرح عليهما السؤال التالي أي نوع العصير تفضلانه: عصير الفريز أم عصير المنغا، فعندما يسألهما المذيع (A) مثلاً يجيب الولد: أنا سوف أختار عصير المغنا والبنت سوف تختار عصير الفريز، أمّا لو كان الذي سألهما هو المذيع (B) فسوف يعكسان إجابتهما، فالولد سوف يختار عصير الفريز، والبنت سوف تختار عصير المنغا، وأمّا إذا سألهما المذيع (C) فسوف يعودان إلى اختيارهما القديم، وتمّ ترتيب الإجابات بالجدول 1.



الجدول **1.** نتائج الإجابات المحتملة في حالة الاتفاق على الإجابات بين الولد والبنت.

تدل هذه التجربة على أنّه ليس بالضرورة أنّ تكون الإجابات متعاكسة دائماً، فمن الجدول السابق لدينا 9 حالات ممكنة، فيها 5 إجابات متعاكسة، وأربع حالات متفقة بالإجابة، ولو حسبنا الاحتمالية التي تكون فيها الإجابات مختلفة ومعتمدة على المذيع الذي سوف يسألهما فإنّ هذه الاحتمالية سوف تساوي:

$$P(B \cap G) = \frac{5}{9} = 55\%$$

من خلال هذه التجربة لو أنّ الولد والبنت متفقان فيما بينهما على الإجابات المعتمدة على المذيع، وهنا قمنا بتبديل المذيعين، فنسبة أنّ يكونا مختلفين عن بعضهما في الإجابة لن تقل عن 55%، وهذه النسبة يمكن أن تزيد، ولكن لن تقل عن هذه النسبة. أمّا لو كانا غير متفقين أصلاً، فإنّ نسبة الاختلاف سوف تكون 100%، كما هو الحال في الحالة الأولى.

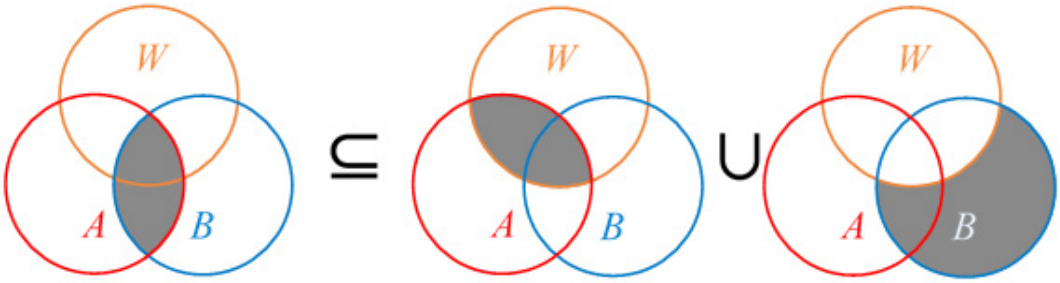
فبحسب الخطة الأولى (الأشخاص غير متفقين فيما بينهم) فإنّ نسبة الاختلاف سوف تكون 100% أي أنّ الاتفاق بينهم يقترب من الصفر، وعندما يكون الناس متفقين فيما بينهم، كما هو الحال في الخطة الثانية، فلن تقل هذه النسبة عن 55%، وهذه النسبة يمكن أنّ تزيد ولكن لن تقل عنها.

استفاد بيل من هذه التجربة للتحكيم ما بين علماء النظريّة النسبية، وعلماء ميكانيك الكم. فقال بيل: لو أنَّ لديكم شكاً في أنّ هذه الجسيمات فيها إعدادات مسبقة أو خفيّة أو أنّ هذه الجسيمات متفقة فيما بينها قوموا بتبديل الأسئلة، ولاحظوا احتمالية أن تأتي إجابتها متعاكسة، وكم سوف تساوي، وبناء على هذه النسبة يمكننا أنّ نقرّر أن هذه الجسيمات متفقة فيما بينها أو غير متفقة فيما بينها.

وهذه من الناحية الرياضية عبارة عن متراجحة تعطي الحدّ الأعلى لاحتمالية وقوع الحدث معاً، وهذه الأحداث مستقلة عن بعضها، وتعطى رياضيّاً بالشكل التالي:

$$P(A\cap B)\leqq P(A\cap W)+P(\overline{W}\cap B)$$

يمكن التعبير عن الحالات المذكورة أعلاه في مخطط فين على النحو التالي 7.



الشكل **7.** مخطط فين لمتراجحة بيل في الاحتمالات.

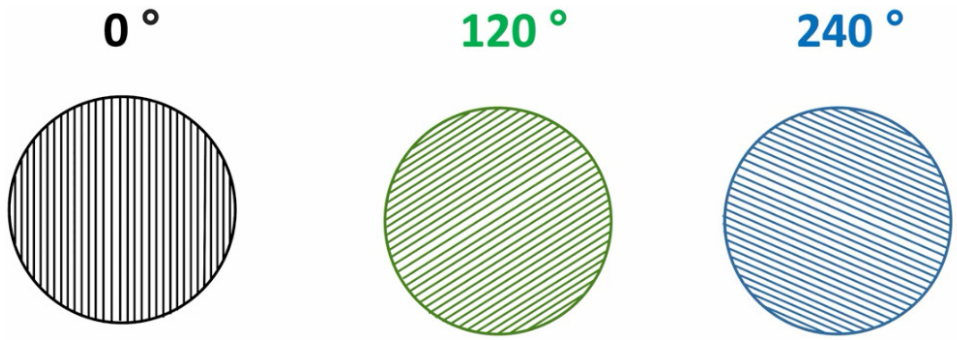
بالرغم من أنّ بيل وضع متراجحته الرياضيّة للفصل بين علماء الكم وعلماء النسبية في تأكيد ظاهرة التشابك الكمي، إلا أنّه لم يستطع أنّ يصمّم تجربة عمليّة يختبر فيها الجسيمات المتشابكة، وسمّيت هذه المتراجحة باسم متراجحة بيل.

التحقق من صحة ظاهرة التشابك الكميّ – جائزة نوبل للعلماء الثلاثة 2022

بقيت متراجحة بيل عشر سنوات دون اختبار من أي عالم يبين مدى صحتها إلى أن جاء العالم الأمريكي جون كلاوزر John Clauser، واعتمد على ظاهرة الاستقطاب الضوئي في إثبات صحة هذه المتراجحة، فقال: لو تم أخذ فوتونين من المصدر نفسه فلا بد أن يكونا متشابكين كميّاً ويتصرفا عكس بعضها بعضاً، وتمّ ارسال هذين الفوتونين بعكس بعضهما البعض على فلترين لهما نفس الزاوية نفسها، فإذا قرّر أحد الفوتونين عبور الفلتر الأوّل، فالفوتون الثاني سوف يقرّر عدم عبور الفلتر الثاني، وبالاستفادة من لعبة the blind date show السابقة، كما هو مبين بالشكل التالي 8.

الشكل **8.** إرسال فوتونين متشابكين بجهتين مختلفتين لتمريرهما عبر فلاتر بزوايا مختلفة.

ثمّ قام كلاوزر بالتبديل بين ثلاثة فلاتر زواياها مختلفة بشكل عشوائي، كما كنّا نبدّل بين المذيعين، فكانت كما يلي: الفلتر الأوّل رأسي بزاوية (0^o)، والثاني يميل بزاوية (120^o)، والثالث يميل بزاويّة (240^o)، وفي كلّ حالة يتم حساب احتمالية أن تتصرف الفوتونات عكس بعضها، كما هو مبين بالشكل التالي 9.



الشكل **9.** استخدام ثلاثة فلاتر بزوايا مختلفة لدراسة تمرير فوتونين متشابكين.

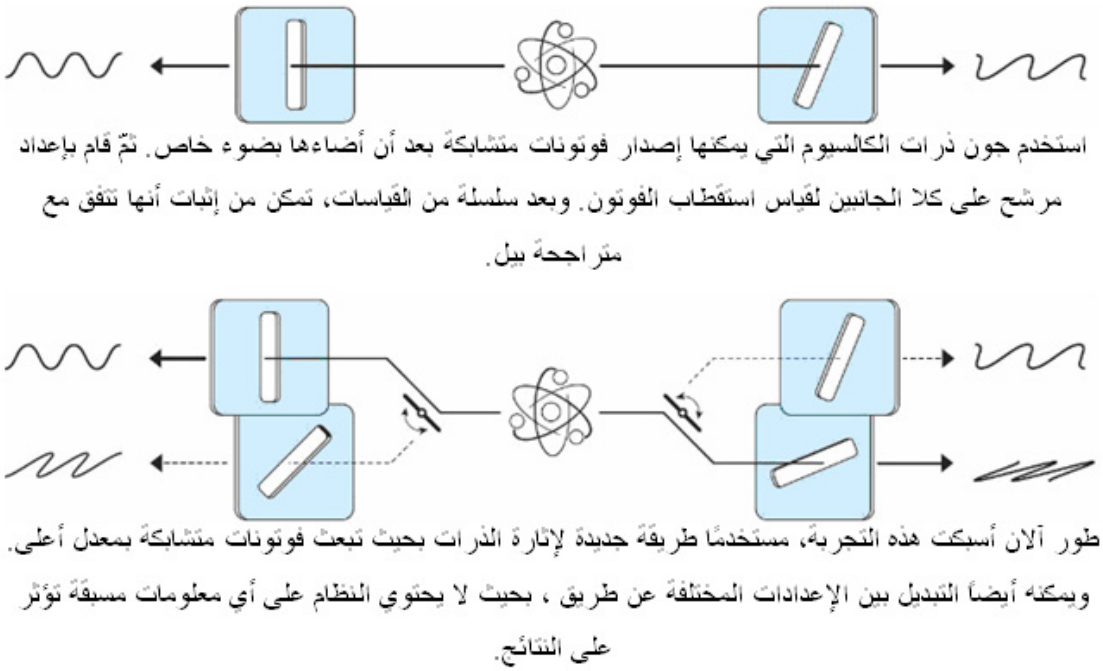
قام كلاوزر بتبديل بالتغيير فيما بين الفلاتر، ورأى كم هي قيمة احتماليّة أن تتصرّف هذه الفوتونات عكس بعضها، فلو طلع كان الاختلاف أكبر أو يساوي 55%، فهذا يعني أنّ الفوتونات متفقة فيما بينها، وهذا يعني أنّ هناك إعدادات داخلية تجعلها تتصرف بهذا السلوك، وبالتالي يكون التشابك الكميّ مجرّد وهم، والقصة كلها عبارة عن إعدادات مسبقة كما قال أينشتاين، وإذا قلّت النسبة عن 55% فهذا يعني أنّ الفوتونات غير متفقة فيما بينها، وليس في داخلها إعدادات مسبقة، والتشابك الكميّ موجود، وعلماء ميكانيك الكم هم على صواب. والمفاجأة أنّ العالم كلاوزر عندما أجرى هذه التجربة وجد أنّ الفوتونات تتصرف بعكس بعضها بنسبة 50%، وهذه القيمة أقل من (55%)، وهذا يدل على أنّ الفوتونات غير متفقية فيما بينها، وليس فيها إعدادات داخليّة، وعلماء ميكانيك الكم هم على صواب. لكن كلاوزر جاءته انتقادات كثيرة، مفادها أنّه هو الذي كان يقوم بنفسه بتبديل الفلاتر، ومن المؤكد أنَّ انحيازه وعاطفته تؤثّر على النتائج، انظر الشكل (10).

الشكل **10.** نتيجة التجربة أنّ الفوتون الأوّل قد مرّ، في حين أنّ الفوتون الثاني لم يمرّ.

جاء دور العالم الثاني الفرنسي ألان أسبكت Alain Aspect، وعدّل من التجربة، فجعل عملية تبديل الفلاتر نتيجة لإشارات تأتي من مجرّتين تبعدان عنّا ملايين السنين الأرضيّة، وهذا يعني أنّه لا يتحكم بهذه الفلاتر، والمفاجأة أنّ التجربة أعطت النتيجة نفسها، الاحتماليّة نفسها، أقل من 55%، أي أنّ الفوتونات غير متفقة فيما بينها، وليس هناك مغيرات خفيّة، ويوجد بينهما اتصال سرعته أكبربكثير من سرعة الضوء، وكلام أينشاتين غير صحيح.

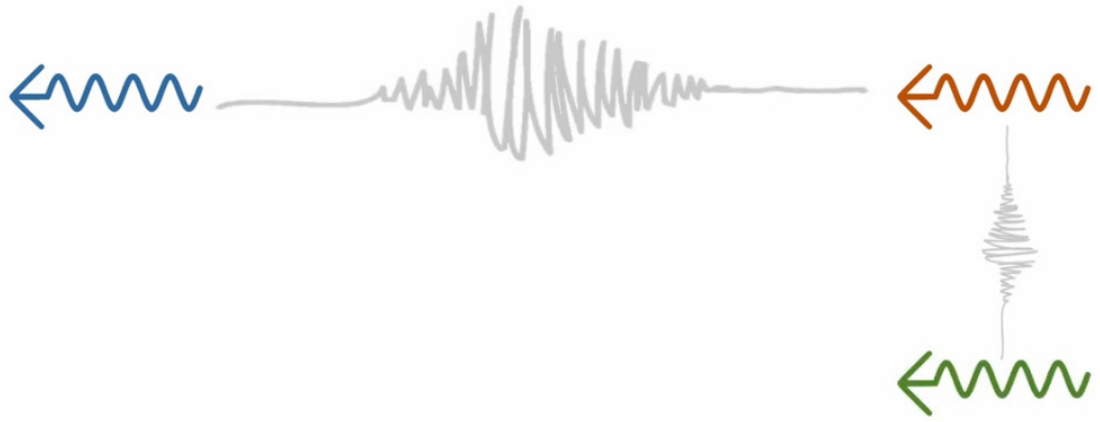
الشكل **11.** استخدام إشارات قادمة من مجرتين بعيدتين للتحكم بالفلاتر.

ويبين الشكل 12 مراحل تطوّر تجربة التشابك الكميّ من قبل العالمَين كلاوزر وآلان أسبكت:



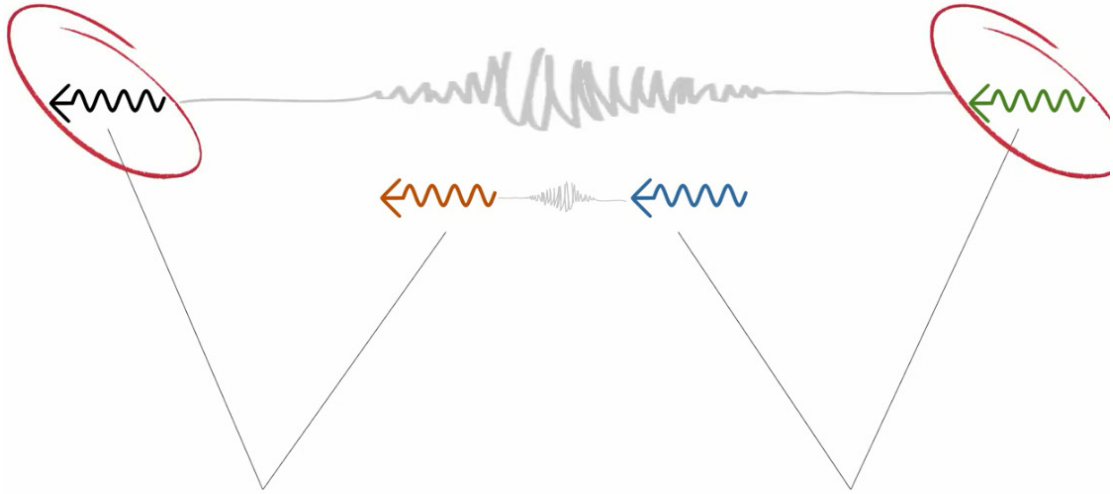
الشكل **12.** مراحل تطور تجربة التشابك الكميّ.

ثمّ توالت التجارب تؤكّد على حقيقة التشابك الكميّ، حتى جاء دور العالم الثالث النمساوي أنتون زيلينغرAnton Zeilinger، فقد أصدر فوتونين بينهما تشابك كميّ، وحاول أن يجعل فوتوناً ثالثاً، يتشابك مع أحدهما، وليكن مع الفوتون الأوّل، فلاحظ أنّ جميع البيانات الكميّة التي كانت على الفوتون الثاني انتقلت إلى الفوتون البعيد أي الثالث الذي في الأصل غير متشابك معه، انظر الشكلين 13 و14.



الشكل **13.** انتقال المعلومات من الفوتون الثاني إلى الفوتون الثالث غير المتشابك معه.

وكأنّنا حولنا الفوتون الثالث البعيد لنسخة ثانية من الفوتون الثاني، وهذه العمليّة سُمّيت بعمليّة الانتقال الآني الكميّ quantum teleportation، وهو ما يشبه في أفلام الخيال العلمي أنّ شخصاً موجود في مكان ما، وفجأة يختفي ويظهر في مكان آخردون أن يقطع الحيز أو المسافة فيما بينهما. وكما لو أنّ هناك أربعة فوتونات كل اثنين متشابكين كميّاً وقمنا بمشابكة أحدهما مع أحد من الفوتنين الآخرين، فبشكل تلقائي فإن الفوتونات التي لا تعرف شيئاً عن بعضها بعضاً سوف تتشابك مع بعضها، وسوف ترسل كل المعلومات الموجودة لديها وبالتالي يمكننا أن نرسل إليها المعلومات بشكل آنيّ. وهذا يفيدنا في تطوير وسائل الاتصال التي تتم بشكل أسرع بكثير من سرعة الضوء، بمعنى أدق تتم بشكل انيّ، كما يمكننا أن ننشئ حواسيب خارقة السرعة تُسمّى الحواسيب الكميّة quantum computer.

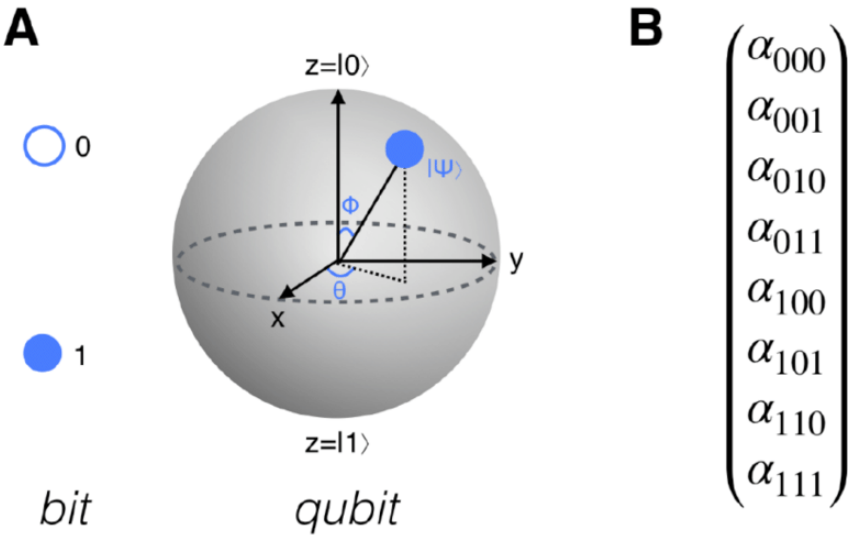


الشكل **14.** تشابك أربعة فوتونات مع بعضها بعضاً.

تطبيقات ظاهرة التشابك الكميّ – الحواسيب الكميّة

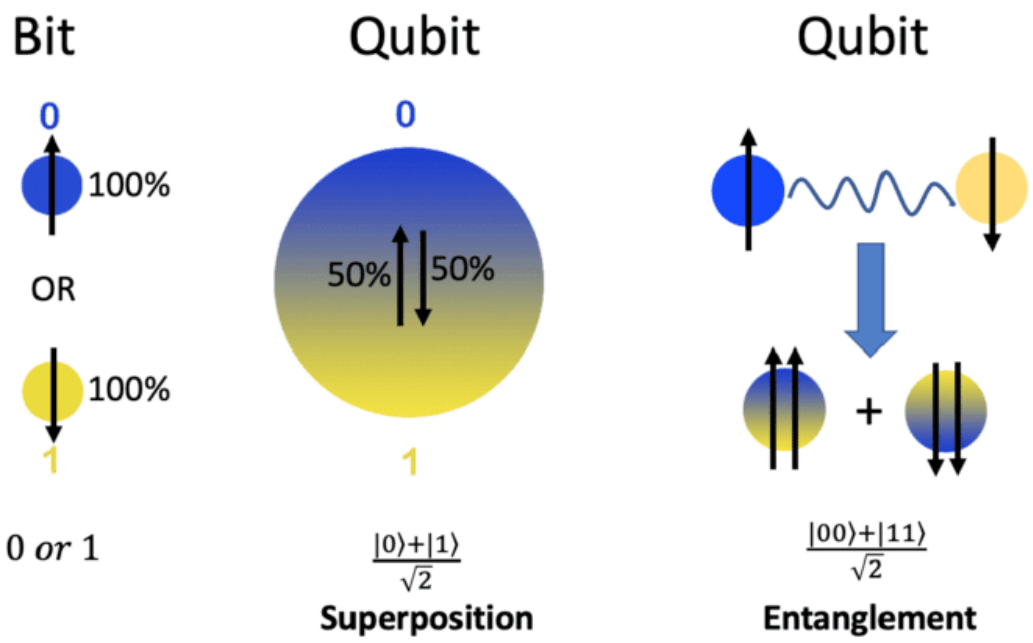
كما نعلم أنّ الحواسيب العادية تعمل على نظام البت Bit، أي نظام العدّ الثنائيّ (0) أو (1)، وهذا يعني تحويل أيّة معلومة كانت في الحاسوب إلى نظام (0) أو (1)، بحيث تكتب هذه المعلومة على شكل سلسلة من الأصفار أو الواحدات، ثمّ يقوم الحاسوب بمعالجتها إلكترونيّاً، أي إرسال هذه السلسلة من الأعداد إلى بوابات منطقيّة تقوم بمعالجة هذه الأرقام. وهذه البوابات الإلكترونية عبارة عن معالجات مكوّنة من عدد كبير جداً من الترانزستورات. ويتم تطبيق هذه التيارات على مداخل هذه البوابات الإلكترونية، وإنّ تطبيق الصفر (عدم وجود تيار) على مدخل الترانزستورات يعني عدم مرور تيار، في حين أنّ الواحد يعني مرور تيار، وتعالج هذه التيارات عبر آلاف الترانزسورات، لتحويل أية معلومة كانت إلى إشارات كهربائية.

أمّا الحواسيب الكميّة فهي لا تعمل على أساس البت bit، وإنّما تعمل على أساس الكيوبت qubit، أي كوانتم بت، والذي يعني وجود الصفر والواحد في آنٍ معاً، أي هي متركبان كميّاً، والإلكترون يحمل هذا الكيوبت، وهذا يعني أنّ الكيوبت يحمل معلومات أكثر بكثير من البت الذي يعمل في الحواسيب العادية، أي الواحد والصفر فقط، ويبين الشكل 15 الفرق بين البت والكيوبت.



الشكل **15.** الفرق بين bit و qubit

كما أنّ الإلكترون قبل عمليّة القياس يكون في حالة تراكب كميّ، أي موجود في العديد من الحالات الكميّة في الوقت نفسه، وعند القياس تتحدّد حالته الكوانتيّة، وهذا يعني في الوقت نفسه أنّ احتمالية الصفر والواحد موجودة معاً، الشكل 16 حالة التراكب الكميّ للإلكترون.



الشكل **16.** الحالات الممكنة للبت على اليسار، والكيوبت على اليمين.

والأهم من هذا هو أنّه عندما نأخذ إلكترونين متشابكين كميّاً، فتحديد الحالة الكميّة لأحدهما سوف تحدّد الحالة الكميّة للأخر مهما بعدت المسافة بينهما، وبالتالي عندما نأخذ مجموعة كبيرة من الإلكترونات المتشابكة كميّاً التي تمتلك كيوبتات أكثر، فيمكننا التنسيق بين مجموعة أكبر من الكيوتبات، وأنّ تحمل كلها مجموعة كبيرة من المعلومات، وأن أية عملية قياس لأحد هذه الإلكترونات المتشابكة كميّاً، يمكننا أن نعرف مباشرة ما هي المعلومات أو الحالات التي يكون عليها الآخر من بقيّة الإلكترونات، معنى هذا أنّ المعالجة الحاسوبيّة (الحسابات) والمحاكاة بالحواسيب الكميّة تكون أسرع بكثير عوضاً عن معالجة جميع الأرقام لنظام العدّ الثنائي، فقط وبقراءة بعض الكيوبتات لهذه الإلكترونات المتشابكة يكتفي الحاسب الكميّ فقط في معالجة أي معلومة، أي لا يوجد أي داعٍ للحاسب أي يقرأ جميع الكيوبتات لا لبقيّة الإلكترونات حتى يعالج المعلومة. ويمكننا أن نفهم هذه المعالجة من قبل الحاسب الكمي من خلال المثال التالي: ليكن لدينا مجموعة من الطلاب في صف واحد، ونريد إجراء امتحان شفهي لهم، فبحسب الطريقة الكلاسيكية يجب علينا أن نجري فحصاً شفهيّاً لكل واحد منهم، وهذا يتطلب منا وقتاً طويلاً، ولو كان لهؤلاء الطلاب السويّة العلمية والذكاء نفسه والسويّة العلمية نفسها، فلا داعي أن نجري الفصح الشفهي لجميع الطلاب، نكتفي فقط بإجراء عملية فحص لطالب أو طالبين، لأنه يمثل لنا السوية العلمية نفسها لجميع الطلاب، ولا داعي لاختبار جميع الطلاب، لأننا نعرف مستواهم العلمي، وهذا ما يقوم به الحاسوب الكميّ من سرعة في معالجة المعلومات، فلا داعي للحاسب الكمي أن يقرأ جميع الكيوبتات ويعالجها، يكتفي فقط بمعالجة كيوبت واحد أو اثنين. هنا تكمن أهمية الحواسيب الكميّة في السرعة الهائلة لمعالجة المعلومات.

أصبحت الحواسيب الكميّة حاجة ضرورية وملحة في أيامنا هذه، نظراً لكميّة المعلومات الهائلة والهائلة جداً التي يجب على الحاسب القيام بها ومعالجتها، فلو بقينا على الحواسيب التقليدية التي وصلت إلى مستوى لم يعد هناك إمكانية من تطويرها، لأن الترانزستور وصل إلى حد من الصغر من مرتبة 20 نانومتراً، أي قريب جداً من حجم الذرة نفسها، وبالتالي لم يعد هناك من إمكانية في تصغير الترانزستور أصغر من مرتبة النانومير، فهذا يعني استغرق زمناً طويلاً في المعالجة، وعصرنا هو عصر السرعة.

ومن أهم تطبيقات التشابك الكميّ هي عملية التشفير التي يصعب في حالة الحواسيب الكميّة اختراقها، لأنّ أية عملية قياس تعني أنّ الموجة سوف تنتهي والتشابك سوف ينفصل، وبالتالي من المستحيل اختراق هذه البيانات، كما طوّر الصينيون حديثاً رادارات تعمل على التشابك الكميّ التي يمكنها أن تكشف عن الطائرات الشبحية، التي لا يستطيع أن يكشفها الرادار العاديّ.

في الواقع، هناك صعوبات ما زالت تواجه تطوير الحواسيب الكميّة هي عملية التبريد التي يجب أن تقترب من الصفر المطلق من أجل منع التشوش، والأمر الآخر نحتاج إلى عدد كبير من الكيوبتات لإجراء العمليات التي يجب أن يصل عددها إلى ملايين من الكيوبتات، حتى يتمكن الحاسوب الكمي من إجراء المعالجة، وحتى يومنا هذا لم تستطع كبرى الشركات المصنّعة للحواسيب من تصنيع حاسوب كمي يعمل لغاية 50 كيوبت، أي مازلنا بعيدين عن الحاسوب الكمي العملي.

الخلاصة

إن تجربة بيل كانت عبارة عن عشرات التجارب على الجسيمات المتشابكة كمياً، وكان يعتمد في تجربته على قياس وعدم قياس ويقارن النتائج في النهاية، ووجد في النهاية أنّ هناك ارتباطاً لا يقبل الشك بين النتائج وتأثير القياسات عليها، وبذلك أثبت أنّ ميكانيك الكم هو على صواب، لأنّه استطاع أن يتنبأ بشكل أدق من النتائج في الحالتين، يعني أكثر من الذي توقعته أية نظريّة ثانية معتمدة على متغيّر خفي. وتمّ التأكد من أنّ الجسيمات بالفعل تتأثّر بالمراقبة أو قياسنا لها، وعندها تختار هذه الجسيمات خصائص محدّدة من الاحتمالات التي كانت فيها قبل رصدنا لها، وبذلك تمّ تأكيد نظرية نيلز بور في ميكانيك الكم وخطأ أينشاتين في نظريته EPR. والسؤال الذي يطرح نفسه هل النظرية النسبية فيها خطأ؟ والجواب: لا، في الواقع إنّ النظرية النسبية صحيحة، أي لا يوجد شيء في الكون يتخطى سرعة الضوء. والسؤال المطروح: هل وقعنا في تناقض؟ أي كيف لجسيمات أن تتبادل المعلومات بسرعات تتخطى سرعة الضوء وأن تحترم النظريّة النسبية الخاصة، المشكلة في فهم هذا الموضوع، من الصعب علينا أن نستوعبها في تفكيرنا المحدود التقليدي، وهذا الذي جعل من أكثر الناس عبقرية كأينشتاين أنه لم يستطع أن يستوعب مدى غموض وغرابة خصائص الجسيمات الصغيرة جداً، على المستوى الذريّ، والسبب في ذلك أنّ أينشتاين كان يتعامل مع الجسيمين المتشابكين على أنهما جسيمان منفصلان، وفي هذه الحالة سوف يحتاجان إلى سرعة أكبر من سرعة الضوء بآلاف المرّات حتى يؤثران على بعضهما بشكل فوريّ، ولكن في الواقع، والأمر الذي لم يخطر في ذهن أينشتاين، أنّ الجسيمين المتشابكين كمياً هما في الواقع جسيم واحد، ولكنه منقسم في مكانين مختلفين، وحتى مع بعد المسافات فيما بينهما يبقيان مشتركين في الموجة نفسها. هذا يعني أنّ الجسيمين المتشابكين كميّاً يبقى بينهما ترابط بموجة واحدة هي التي تجعلهما يتعرفان إلى خصائص بعضهما البعض بشكل فوريّ، والخلاصة أنّ الأنظمة المتشابكة مازالت لا تتعارض مع نظرية النسبية الخاصة من حيث الحد الأقصى لسرعة الأجسام في الكون التي هي سرعة الضوء. ويبقى السؤال المهم كيف للعلماء أن ينتجوا جسيمات متشابكة كمياً، في الواقع هناك طرق كثيرة لإنتاج هذه الجسيمات، وأبسط طريقة لإنتاجها هي في طريقة ولادتها، على سبيل المثال، عندما تتلقى ذرّة ما واحدة طاقة إضافيّة، يجعلها تنتج فوتونين مرّة واحدة، وكأنّها ولادة توءم، أو عن طريق تبريد الجسيمات ووضعها بالقرب من بعضها بشكل كافٍ، بحيث تتداخل حالاتها الكميّة أو عن طريق بعض العمليات دون الذريّة مثل الاضمحلال النوويّ الذي ينتج بشكل تلقائيّ جسيمات متشابكة.

شكر خاص للدكتور شرف الحواط للمراجعة العلمية.

المراجع

1-https://www.youtube.com/watch?v=Fc5PZlU8DYs

2-https://xseek-qm.net/Bells_inequality_e.html

https://medium.com/predict/what-is-bells-inequality-proving-einstein-wrong-2d1f0aafa9b4

3-https://medium.com/predict/what-is-bells-inequality-proving-einstein-wrong-2d1f0aafa9b4

4-https://medium.com/@adubey40/classical-bit-vs-qubit-fa6c6c06e8f

5-https://www.nature.com/articles/s41598-021-84438-9

6-https://nasainarabic.net/main/articles/view/physicists-quantum-coherence-entanglement-sides

7-https://fastercapital.com/content/Quantum-Entanglement--Understanding-QIP-s-Fundamental-Phenomenon.html

تأليف: د. سامي الشيخ سلو/ قسم الفيزياء، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

من تقنية السلسلة من الجيل الثاني إلى تقنية السلسلة عن طريق الثقوب النانوية: تمهيد الطريق للطب الجيني الفرداني

« ...إن تطبيق السلسلة العالية الإنتاجية لعينات أنسجة سرطانية من الأفراد المرضى يوفّر قدرة غير مسبوقة للتشخيص الفرداني بفعالية كبيرة...»

ملخص

أحدثت تقنيات السلسلة عالية الأداء HTS ثورة في أبحاث الطب الحيوي. تطورت هذه الأجهزة بسرعة من الجيل الثاني NGS إلى الجيل الثالث 3G إلى الجيل الرابع 4G. أدى استخدام تقنية السلسلة ورسم الخرائط الوراثية ومقارنة المحتوى الجينومي للخلايا السليمة مع الحالات المرضية بثمن قليل وبسرعة ودقّة عاليتين إلى تغير طريقة تفكير الأطباء في كيفية علاج المرضى وتحول تفكيرهم من الطب التقليدي إلى عصر الجينوم الوقائي واتخاذ القرار العلاجي المناسب خصوصاً في سرطان ذي التغاير الجينومي الكبير. وفرت تقنية HTS في عينات الأنسجة السرطانية للمرضى بشكل غير مسبوق القدرة على الوصول لمقاربات تشخيصية محددة لكل عينة، مما طور أساليب فعّالة للتغلب على تيار المقاومة العلاجية.

الكلمات المفتاحية: معلمات حيوية- سرطان، طب سريري، مورثات، سَلْسَلة، طفرات.

تحديد طفرات السرطان

إن المعرفة العميقة للبنية الوظيفية وهيكلية الجينوم في الحالات الطبيعية والمرضية توفرها الآن تقنيات HTS التي لا تتيح تسلسل الحمض النووي على مستوى الجينوم فحسب بل تتيح إنشاء بيانات لتحليل كامل البنية الحيوية أيضاً. ففي السرطان، من بين المؤشرات الثمانية المميزة له، بما فيها اضطرابات وظيفة الخلية والنمو وموت الخلايا المبرمج والتي تم توصيفها من قبل Hanahan وWeinberg، ربما يكون تعطيل الجينات الهدف هو أكثر الخطوات أهمية لفهم السرطان [1].

يعد التعرف على هذه الجينات المسؤولة عن جميع التغيرات الجينومية، بما في ذلك الطفرات النقطية والتغييرات العددية للنسخ والانتقالات، هو خطوة أساسية لفهم المنطقة المكوّدة وجينوم السرطان المعطّل. بعد ذلك، فإن الهدف المستقبلي هو علاج السرطان عن طريق الاستهداف وتعطيل هذه التثبيطات الخلوية باستخدام الأدوية الهدف في المؤشرات الحيوية عند المرضى المستهدفين [2-4].

"هذا التغاير الجينومي يبرر الجهود المبذولة للوصول إلى الاعتماد على التشخيص الفرداني للجينوم المتغاير"

حالياً، مع تطور التكنولوجيا السريعة من الجيل الأول لتقنية Sanger للسلسلة التي كانت منخفضة الإنتاجية إلى تقنيات عالية الأداء HTS NGS، يمكن سلسلة الجينوم البشري بشكل أسرع وأرخص وأكثر دقة.

تطورت أجهزة NGS من 2G إلى 3G و4G. إن طرائق العمل والمزايا ونقاط الضعف وتكلفة هذه الأجهزة تمت مراجعتها مؤخراً وتلخيصها في الجدول 1 [5].

فُسرت قوة تقنية HTS غير المسبوقة لالتقاط جميع أنواع الطفرات بسرعة ودقة وبتكلفة من 5000 إلى 10000 دولار أمريكي لكل سلسلة للجينوم، وهو الاستخدام الواسع النطاق لهذه الأجهزة [6]، لكن هل تستطيع هذه الاكتشافات الجينومية المستندة إلى HTS أن تُترجم إلى ممارسة سريرية لاتخاذ القرار لدى مرضى السرطان بشكل إفرادي؟

على الرغم من أن الهدف المتمثل في تحديد تكلفة سلسلة الجينوم البشري بقيمة 1000 دولار أمريكي سوف يتحقق ويصبح حقيقة واقعية في غضون سنوات قليلة، يقترح في الوقت الحاضر أن التحليل السريري وتفسير البيانات واتخاذ القرار الذي يعتمد على معلومات سلسلة الجينوم الكامل WGS أو سلسلة المنطقة المكودة الكاملة WES في الوقت الحالي حوالي مليار دولار. في العالم العلمي، تعكس هذه التكلفة الغريبة الصعوبات التي تواجه التحليل الجيني والتحليل البروتيني والتغيرات فوق الوراثية والتحاليل المتداخلة.

بالفعل، إن فهم وتحليل تفاعلات هذه الأنظمة البيولوجية يعد ضرورياً لإحداث ثورة في الرعاية الصحية، ولكن لم تبلغ حالياً أحدث ما توصل إليه العلم والتكنولوجيا.

المنظومة	الطريقة	المحاسن	المساوئ	تكلفة المنظومة (تكلفة للعينة الواحدة)
الجيل الأول	سلسلة sanger			
Sanger	سلاسل DNA الصغيرة المقطعة توضع في الهلامة وترحل حسب أطوالها مع أس طرفي مفلور	دقة عالية، تستخدم لتأكيد نتائج NGS	كلفة عالية، إنتاجية منخفضة، (وقت التحليل طويل)	US$2,000,000 (US$250,000)
الجيل الثاني				
	السلسلة المعتمدة على التكرار، تضخم سلاسل الحمض النووي المقطع، تضاف الأسس الآزوتية بالتسلسل باستخدام أنزيم البوليميراز، يتم التخلص من مواد التفاعل الزائدة بالغسل، تؤدي العملية لارتباط الأسس الآزوتية، وتتكرر العملية لمرات ومرات	إنتاجية عالية، أكثر توفيرا	قراءة للقطع القصيرة، تحضير العينات معقدة، التضخيم يحتاج لوقت طويل للحصول على النتائج، نقص في دقة البيانات وتحتاج للتفسير	
HiSeq® (Illumina, CA, USA)	تضاف الأسس الآزوتية بشكل مؤقت	تحتاج أقل من 1 ميكروغرام من DNA	طول القراءة 75 (35–100) أكثر عرضة لتشكل الخطأ الإيجابي	~US$400,000 (US$8950)

Miseq (Illumina)		تطبيقات طبية	غير ملائم لعمل WES، WGS، ChIP-Seq، RNA-Seq 10 ساعات للتفاعل	
Roche Applied Science 454® genome sequencer (Roche, Basel, Switzerland)	تحرر زمرة البيروسلفيت أثناء اندماج الأس الآزوتي	تحتاج 1–5 ميكروغرام من DNA	طول القراءة 400 أس آزوتي	US$500,000 (US$8439)
Roche 454® GS Junior (Roche, Basel, Switzerland)		تطبيقات طبية	غير ملائم لعمل، WGS، WES ChIP-Seq، RNA-Seq 8 ساعات للتفاعل	
Applied Biosystems SOLiD® 4 (Life Technologies, CA, USA)	يعتمد على أنزيم الالتحام DNA ligase عوضاً عن أنزيم التضخيم DNA polymerase	تحتاج 2–20 ميكروغرام من DNA	طول القراءة 35–50 أس آزوتي	US$525,000 (US$17,447)
Complete Genomics®		تطبيقات طبية	طول القراءة 35– أس آزوتي ينقصه الحساسية	غير متاح تجارياً
Ion Torrent PGM (Life Technologies(	السلسلة غير مرئية، تعتمد طريقة أشباه النواقل التي تستشعر الأيونات المتحررة من الأسس المندمجة في جزئية DNA التي تجري سلسلتها	تحتاج أقل من 200 أس آزوتي دقة عالية وقت تشغيل قصير سريعة رخيصة	غير ملائم لعمل، WGS، WES ChIP-Seq، RNA-Seq	US$50,000 (<US$500)
Ion Proton (Life Technologies)		2 ساعة للتفاعل	ملائم لعمل WES، WGS إنتاجية أكبر من Ion Torrent	
الجيل الثالث	تقنيات حديثة	لا يحتاج لتضخيم PCR أقل استهلاكا لمواد التفاعل أقل معدل خطأ		
PacBio RS (Pacific BioSciences, CA, USA)	السلسلة في الزمن الحقيقي لجزيء واحد تصوير الأسس المتفلورة المندمجة أثناء اصطناع جزيئة DNA بواسطة أنزيم التضخيم.	طول القراءة 800-1000 أس آزوتي		US$695,000 (~US$1000)
Heliscope sequencer (Helicos BioSciences)	السلسلة في الزمن الحقيقي لجزيء واحد؛ تصوير الأسس المتفلورة المندمجة أثناء اصطناع جزيئة DNA بواسطة أنزيم التضخيم.	أقل من 2 ميكروغرام DNA ملائم للسلسلة الكاملة لجزيئة RNA	طول القراءة 35 أس آزوتي	US$750,000 (~US$5,000)
الجيل الرابع				
Oxford Nanopore	سلسلة جزيء واحد بالدمج بتقنية النانو	ملائم WGS خلال 15 دقيقة تكلفة منخفضة جداً		غير متاح تجارياً

ChipSeq: سلسلة الشدف المترسبة مناعياً، NGS: السلسلة من الجيل الحديث، RNA-Seq: سلسلة جزيئات RNA، WES: السلسلة الكاملة للمنطقة المكودة [8-7].

من مشروع الجينوم البشري إلى تقنية السلسلة من الجيل الجديد

غيّر مشروع الجينوم البشري HGP طبيعة الحياة، حيث احتاج المشروع إلى 13 عاماً و3 مليارات دولار أمريكي لإنجاز الشكل الأولي لسلسلة الجينوم البشري الكامل في عام 2003. تعرّض المشروع لانتقادات لوقت طويل بسبب التكلفة العالية له مقارنة مع تأثيره الضئيل على مستوى الرعاية الصحية [9]. صحيح أنه بعد مضي عقد من الزمن من الانتهاء من مشروع الجينوم لم يطرأ أي تغييرات في مستوى الوقاية والعلاج للأمراض التي يصعب علاجها بما في ذلك الأمراض المزمنة الكبرى، مثل السرطان والسكري والأمراض العصبية والنفسية. في الواقع، في بداية القرن الحادي والعشرين كان يُعتقد أن سلسلة الجينوم يمكن أن تكشف التغيرات الوراثية والطفرات الجسدية المكتسبة المسببة للأمراض. كشفت دراسات سلسلة الجينوم أن كل جينوم بشري هو جينوم فريد من نوعه، وقد أظهرت الدراسات الحديثة باستخدام أجهزة السلسلة الحديثة النظرية الأولية في التغاير الوراثي للعديد من الأمراض. يبرر هذا التغاير الوراثي الجهود المبذولة في فهم الطب الفرداني وممارسته.

عند النظر للمرة الأولى مرة في أحدث البيانات المستندة إلى HTS للعديد من العينات السريرية من مرضى السرطان [10-18]، نستطيع الآن فهم التعقيد العالي للحياة والأمراض مثل السرطان وعدد لا يحصى من التحديات التي يجب التغلب عليها والوصول إلى العلاج.

لقد شكل مشروع الجينوم البشري ثورة في علم الطب الحيوي من خلال تحديد المعرفة الأساسية في علم الأحياء علم الوراثة والطب، مما أدى إلى تطوير تقنيات NGS والتأكيد على ضرورة تحول العلماء عن فكرة الاختزال إلى نهج الأنظمة الطبية المعتمدة على الشبكات [19-20].

الإنتاجية العالية لتقنيات السلسلة

استخدم مشروع HGP والدراسات السابقة تقنيات صغيرة ومنخفضة الإنتاجية لسلسلة الحمض النووي مثل تقنية sanger (الجيل الأول) أو pyrosequencing، ولكن كان من الواضح أنه من أجل الخطط البحثية والسريرية والتقنيات الجديدة المعتمدة على السرعة والتكلفة الرخيصة كان لابد من تطوير سلسلة الحمض النووي.

وعلى هذا الأساس تم بالتوازي وعلى نطاق واسع تطوير أجهزة الجيل الثاني وأصبحت متاحة في 2005-2006. هذه الأجهزة الرائدة المتاحة تجارياً هي (Illumina) HiSeq® و SOLiD® Applied biosystems، و complete genomics®، و 454® roche applied science[5،21]. كل هذه الأجهزة تتطلب تفاعل تضخيم PCR لشدف DNA الجينومي بأطوال تقريبية 35-400 أس آزوتي، والتي من الممكن أن تُشكل أخطاء أثناء التضخيم.

إن التطور إلى منصات الجيل الثالث 3G التي تستخدم البنى أُحادية السلسلة دون الحاجة إلى تضخيم PCR يوفر منافع من حيث كمية أقل من المواد الأولية وأخطاء أقل. طُورت تقنية البنى الأحادية السلسلة في شركة Helicos BioSciences وشركة Pacific BioSciences. تطورت تقنية NGS بسرعة، وفي الآونة الأخيرة تطورت أجهزة 4G وأصبحت متاحة باستخدام سلسلة جزيء واحد بتقنية النانو. أعلنت شركة Oxford Nanotechnology (أكسفورد، المملكة المتحدة) عن الإنتاج المزمع لجهاز سلسلة الحمض النووي المحمول بحجم وحدة التخزين USB.

في الواقع، لا يوجد إجماع على تصنيف موحد لأجهزة 3G، 2G أو 4G، حيث إذ إن هناك العديد من السمات المميزة والتي طورتها الشركات الرائدة لتوفير أجهزة جديدة تراعي الحاجة إلى التطبيقات السريرية في السوق. عموماً، فإن التصنيف المعتمد حالياً لتقنيات السلسلة العالية الدقة HT تتضمن ثلاث فئات: NGS أو 2G (تتضمن الأجهزة التقليدية والأجهزة التي توضع على الطاولة المخبرية)، والسلسلة 3G أو سلسلة جزيء DNA المفرد السلسلة، وتقنية 4G.

إن أجهزة NGS التقليدية Roche 454 GS FLX و Illumina GA/HiSeq و life Technologies SOLiD®/5500 يمكنها إنجاز سلسلة الجينوم الكامل WGS وسلسلة المنطقة المكودة WES بشكل فعّال من حيث التكلفة والسلسلة الكاملة. ومع ذلك، فإن هذه الأجهزة ليست مناسبة لسلسلة عدد أو مئات الجينات للأغراض السريرية.

تم تطوير أجهزة السلسلة من الجيل الثاني التي يمكن وضعها على طاولة مخبرية من أجل سلسلة جينات محددة ومن هذه الأجهزة جهاز Illumina Miseq، Roche 454 GS Junior و life technologies ion torrent. وبالرغم من أن هذه الأجهزة ملائمة للتطبيقات السريرية، ولكن لا شيء منها ملائم لعمل WES و WGS أو تطبيقات أخرى، مثل سلسلة الشدف المترسبة مناعياً chIP-seq وسلسلة جزيئات الحمض النووي الريبي RNA-seq، وبالتالي فهو غير ملائم لتحليل منتجات نسخ جزئية DNA.

ومع ذلك، فإن جهاز السلسلة ion proton™، وهي تقنية سلسلة 2G ion torrent لها القدرة على عمل WES و WGS بكفاءة كجهاز صغير

مخبري ولكن من أجل عدد عينات صغيرة. إن جهاز السلسلة Ion Proton™ يعتمد تقنية أشباه النواقل، مثل جهاز ion torrent ولكن بوجود زوج من رقائق مختلفة يمكن أن يوفر إنتاجية أعلى تصل إلى 1000 مرة من رقائق جهاز ion torrent. تحتاج كل عينة إلى ساعتين مقارنة بالجهازين الآخرَين المتنافسَين بمعدل 8 و 10 ساعات، على التوالي.

سلسلة جزيئة واحدة

تختلف سلسلة الجزيء الواحد أو جهاز السلسلة من الجيل الثالث 3G عن تقنيات NGS التي تعتمد على التضخيم والتي تؤدي إلى ظهور أخطاء في السلسلة. إن هذين الجهازين من النمط 3G، مثل (pacific biosciences single molecule real-time (SMRT™ و helicos biosciences سلسلة جزيئة واحدة حقيقية tSMS لديهما الكثير من المزايا مقارنة مع NGS. تتضمن هذه المزايا إنتاجية أعلى (سرعة في القراءة)، وقراءة التسلسلات الطويلة لاكتشاف التداخلات الجديدة للكشف عن الأشكال الفردانية وحتى كامل مراحل الكروموسوم pacific biosciences SMRT، ودقة عالية تمكن من الكشف عن التبدلات النادرة واستهلاك أقل للمواد الأولية من أجل الأغراض السريرية. في الواقع، لا تزال تقنية Helicos tSMS تحتفظ بالعديد من ميزات تقنيات NGS من حيث المزايا والمواد المستخدمة، ولكن قدرة TSMS في سلسلة جزيئات RNA-seq بشكل مباشر هي ما يميزها عن NGS. تتمتع السلسلة بتقنية SMRT بالقدرة في الوقت الفعلي على الكشف عن جزيء واحد من الحمض النووي وتعد هذه التقنية متفوقة على تقنية إلى tSMS من حيث قراءة أطول القطع.

" التطور إلى منصات الجيل الثالث التي تتميز باستخدام قوالب جزيء واحد دون الحاجة لتضخيم PCR، واستهلاك أقل من المواد الأولية وأخطاء أقل "

على الرغم من أن سلسلة SMRT لها العديد من المزايا مقارنة بسلسلة NGS وتقنية helicos tSMS، فإن معدل خطأ القراءة لديها مرتفع (>5%)، وإنتاجيتها أقل بكثير من إنتاجية NGS و tSMS.

الجيل الرابع

تنجز تقنيات الثقوب النانوية السلسلة لجزيء واحد دون تضخيم، والسلسلة في الوقت الحقيقي دون تكرار للدورات والاصطناع [22] ولهذا السبب تم تصنيفها على أنها تقنية السلسلة 4G.

تعتمد سلسلة الثقب النانوي على مفهوم التعرف على جزيئات مفردة من الحمض النووي عن طريق المرور عبر قناة صغيرة. وفي الآونة الأخيرة، وعدت شركة Oxford Nanopore من خلال استخدام جهازها بفك رموز ما يقرب من مليار قاعدة DNA في 6 ساعات وبيعها مقابل 900 دولار أمريكي [23]. أعلنت الشركة أن أجهزة السلسلة المعتمدة على مسام البروتين الجديدة ستكون متاحة تجارياً للبيع بحلول نهاية عام 2012. ومع ذلك، حتى الآن، ولم يختبر أي باحث هذا الجهاز مع الأخذ بعين الاعتبار وقت الانتظار الطويل للحصول على الجهاز في السوق، لقد كان هناك شكوك من قبل الباحثين والشركات المنافسة ما إذا كان جهاز السلسلة النانوي يعمل بدقة وبسرعة ورخيص كما وعدت شركة Oxford Nanopore. يمكن أن يؤدي استبدال مسام البروتين بقنوات ذات قوام صلبة إلى زيادة في مزايا أجهزة السلسلة النانوية. وفي هذا المجال تتعاون شركتا IBM و roche لاستكشاف الأساليب القائمة على الإلكترونيات لتطوير «ترانزستور الحمض النووي» كتقنية للسلسلة المعتمدة على المسام النانوية. إن مسام الجرافين هو مادة مسام آخر ذي حالة صلبة، يمكن لأس واحد من المرور في وقت واحد مما يحسن الدقة في السلسلة والكشف [23].

تطبيق تقنيات HTS على العينات السريرية

للمرة الأولى تم نشر العديد من الدراسات الحيوية باستخدام تقنيات HTS المختلفة لعدد كبير من المرضى الذين يعانون من سرطان الثدي [14-10]، والورم الأرومي النخاعي [16-15] وسرطان القولون والمستقيم [18-17]. استخدمت العديد من الدراسات WES، في حين استخدم غيرها استخدم WES و RNA-seq، والبعض الآخر استخدم WES و WGS وبعض الدراسات استخدمت تقنيتي السلسلة وطريقة المصفوفة الحديثة التي لإجراء السلسلة الكاملة والتحليل الجينومي التكاملي. ويتراوح عدد المرضى في هذه الدراسات من ثمانية مرضى يستخدمون تقنية ChIP-seq [14] إلى ما يقرب من 2000 مريض يستخدمون تحليل الجينوم والنسخ الجينية [13].

ما هي الاستنتاجات التي يمكننا استخلاصها من سلسلة الجينوم والدراسات الحيوية؟ لقد دخلنا للتو في عصر التشخيص السريري لسلسلة الجينوم الكلي للسرطان وتحليله باستخدام تقنية HTS في عدد واسع من العينات السريرية [5-2]. إن الهدف من كل هذه الدراسات

التشخيص الأفضل واكتشاف المؤشرات الحيوية والعلاجات الجديدة للاستخدام السريري عن طريق ربط النتائج الجينومية مع البيانات السريرية. والاستنتاجات التالية من تقنية HTS والتقنيات الحديثة القائمة على المصفوفة يمكن تلخيصها فيما يلي: أولاً: يعّد التغاير الجينومي الشديد أمراً ثابتاً في جميع هذه التقارير [10-13, 15-18]. ثانياً: تعد الطفرات والتغيرات الجينومية الكبيرة بما في ذلك اختلافات عدد النسخ/التعديلات (CNAs) والانتقالات عاملاً حاسماً في تكون الأورام وتشكل النقائل، وبالتالي يبدو التقييم ضرورياً للآثار السريرية. ثالثاً: إن التغاير الجينومي في جميع الحالات المدروسة يتطلب إجراء دراسات جديدة واسعة النطاق مع آلاف المرضى للوصول إلى أهمية إحصائية للكشف والتنبؤ عن الأشخاص القابلين للاستجابة للمعالجة الهدفية. رابعاً: البيانات الواعدة للحالات السريرية توفر الدراسات الواسعة النطاق. شكلت تكاملية علم الجينوم والتحليل النسخي التي أجرها Curtis وآخرون في 2000 من مرضى سرطان الثدي باستخدام نتائج سلسلة جزيئات DNA-RNA المقترنة مع دراسات عدد النسخ CNAs أهمية إنذارية سريرية [13]. تستحق هذه النتيجة مزيداً من التقييم في التجارب السريرية. وبشكل مشابه، في تحليل CNAs الجسدية عند ما يقارب 1000 ورم أرومي نخاعي، نشر Northcott وآخرون عن تحديد CNAs الجسدية الهدف والقابلة للاستهداف عند الأطفال المصابين [16].

التطلعات المستقبلية

إن انخفاض التكلفة والكفاءة غير المسبوقة للأجهزة HTS لتوفير بيانات سلسلة عالية الدقة من خلال WGS/WES وتحليل النسخ باستخدام RNA-seq و ChIP-seq في عينات واسعة النطاق في العيادة في وقت قصير قد تغير. وتركز الأبحاث الحيوية الطبية الآن على فهم الاكتشافات الجينومية على المستوى السريري. على الرغم من تطور نظم HTS من أجهزة السلسلة 2G إلى 4G التي تغلبت على العديد من التحديات، ولكن لا تزال هناك العديد من المشاكل التي تتطلب المزيد من التقدم التكنولوجي. كل جهاز له ميزاته ومساوئه ولكن الاختيار يعتمد على عدة متغيرات، على سبيل المثال، البحث أو النية السريرية والتكلفة وغيرها.

" تنجز تقنيات الثقوب النانوية السلسلة لجزيء واحد دون تضخيم، في الوقت الحقيقي دون تكرار للدورات والاصطناع"

يؤكد التغاير الجينومي الواسع على الحاجة إلى النهج في المعالجة الفردانية في الممارسة السريرية، لكن ينبغي التغلب على عدد من التحديات. على سبيل المثال: بافتراض أن لدينا معلومات دقيقة من أجهزة HTS لسلسلة WES أو WGS لعينة ورمية لمريض، كيف يمكننا أن نربط معلومات الجينوم الشخصية مع التعبير الجيني ومسارات الإشارة والأنماط الظاهرية للمرض للتنبؤ باستجابة الورم لاتخاذ القرار بشأن اختيار مجموعة الأدوية الأفضل للمعالجة؟ لكن هذا غير واقعي، مع بعض الاستثناءات، مثل المرضى الذين يعانون من سرطان الثدي الإيجابي للمورثة HER [7 ,8] أو سرطان الجلد إيجابي الطفرة V600E [2 ,6].

إنّ تحليل جينوم السرطان الفرداني من أجل اتخاذ القرار العلاجي المناسب ما زال في المرحلة التجريبية. هناك حاجة للمزيد من العمل على إنشاء أجهزة متعددة تعتمد على تقنية HTS لتوفير البيانات للوصول إلى رؤية شاملة للجزيئات وفهم النظم البيولوجية وتداخلاتها في الفهم العميق القائم على سلسلة الجينات الوراثية والتعديلات فوق الوراثية. هذه النظم البيولوجية في الخلايا الحية والأعضاء تتحكم في التعبير المورثي لمجموع المورثات وسبل نقل الإشارات الخلوية من خلال شبكات المسارات لتحديد سلوك الخلية [19, 20].

والآن بفضل التقدم السريع في أنظمة HTS، تحليل المسارات [24] وأنظمة النمذجة التنبؤية التي تطبق بيولوجيا النظم الحاسوبية [25] ونماذج الشبكة الرياضية يمكن معرفة بنية الجينوم وتركيبته والانتقال إلى عصر الطب القائم على هندسة الشبكات الجينية [19-20].

ومع ذلك، للوصول إلى آثار هائلة في الوقاية من السرطان والعلاجات، فإن العمل الأساسي لفهم بنية الجينوم البشري ووظيفته أصبحت ضرورة ملحة.

المراجع

1. Hanahan D, Weinberg RA. Hallmarks of cancer: the next generation. *Cell* 144(5), 646–674 (2011).

2. Chin L, Andersen JN, Futreal PA. Cancer genomics: from discovery science to personalized medicine. *Nature Med.* 17, 297–303 (2011).

3. Stratton MR. Exploring the genomes of cancer cells: progress and promise. 331(6024), 1553–1558 (2011).

4. Roukos DH. Next-generation, genome sequencing-based biomarkers: concern and challenges for medical practice. Biomark. Med. 4(4), 583–586 (2010).

5. Tran B, Dancey JE, Kamel-Reid S et al. Cancer genomics: technology, discovery, and translation. J. Clin. Oncol. 30(6), 647–660 (2012).

6. Roukos DH. Next-generation sequencing and epigenome technologies: potential medical applications. Expert Rev. Med. Devices 7(6), 723–726 (2010).

7. Roukos DH. Complete genome sequencing and network modeling to overcome trastuzumab resistance. *Pharmacogenomics* 11(8), 1039–1043 (2010).

8. Roukos DH. Trastuzumab and beyond: sequencing cancer genomes and predicting molecular networks. *Pharmacogenomics* J. 11(2), 81–92 (2011).

9. Marshall E. Human genome 10th anniversary. Waiting for the revolution. *Science* 331(6017), 526–529 (2011).

10. Shah SP, Roth A, Goya R et al. The clonal and mutational evolution spectrum of primary triple-negative breast cancers. *Nature* 486(7403), 395–399 (2012).

11. Banerji S, Cibulskis K, Rangel-Escareno C et al. Sequence analysis of mutations and translocations across breast cancer subtypes. *Nature* 486(7403), 405–409 (2012).

12. Ellis MJ, Ding L, Shen D et al. Whole-genome analysis informs breast cancer response to aromatase inhibition. *Nature* 486(7403), 353–360 (2012).

13. Curtis C, Shah SP, Chin SF et al.; METABRIC Group. The genomic and transcriptomic architecture of 2,000 breast tumours reveals novel subgroups. *Nature* 486(7403), 346–352 (2012).

14. Ross-Innes CS, Stark R, Teschendorff AE et al. Differential oestrogen receptor binding is associated with clinical outcome in breast cancer. *Nature* 481(7381), 389–393 (2012).

15. Jones DT, Jäger N, Kool M et al. Dissecting the genomic complexity underlying medulloblastoma. *Nature* 488(7409), 100–105 (2012).

16. Northcott PA, Shih DJ, Peacock J et al. Subgroup-specific structural variation across 1,000 medulloblastoma genomes. *Nature* 488(7409), 49–56 (2012).

17. Seshagiri S, Stawiski EW, Durinck S et al. Recurrent R-spondin fusions in colon cancer. *Nature* 488(7413), 660–664 (2012).

18. The Cancer Genome Atlas Network. Comprehensive molecular characterization of human colon and rectal cancer. *Nature* 487, 330–337 (2012).

19. Ideker T, Krogan NJ. Differential network biology. *Mol. Syst. Biol.* 8, 565 (2012).

20. Camacho DF, Pienta KJ. Disrupting the networks of cancer. *Clin. Cancer Res.* 18(10), 2801–2808 (2012).

21. Metzker ML. Sequencing technologies – the next generation. *Nat. Rev. Genet.* 11, 31–46 (2010).

22. Venkatesan BM, Bashir R. Nanopore sensors for nucleic acid analysis. Nat. *Nanotechnol.* 6, 615–624 (2011).

23. Pennisi E. Genome sequencing. Search for pore-fection. *Science* 336(6081), 534–537 (2012).

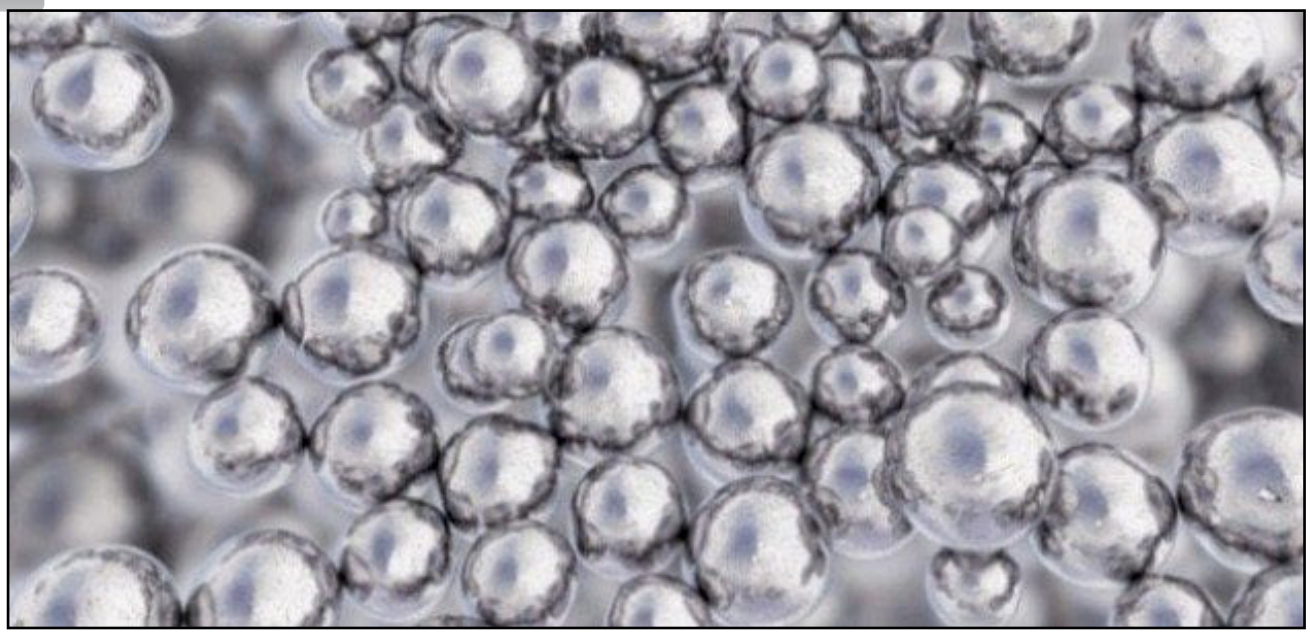
24. Khatri P, Sirota M, Butte AJ. Ten years of pathway analysis: current approaches and outstanding challenges. *PLoS Comput.* Biol. 8(2), e1002375 (2012).

25. Califano A, Butte AJ, Friend S, Ideker T, Schadt E. Leveraging models of cell regulation and GWAS data in integrative network-based association studies. *Nat. Genet.* 44(8), 841–847 (2012).

المصدر

Chee-Seng Ku & Dimitrios H Roukos (2013) From next-generation sequencing to nanopore sequencing technology: paving the way to personalized genomic medicine, Expert Review of Medical Devices, 10:1, 1-6, DOI: 10.1586/erd.12.63

ترجمة: د. حسام مراد، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.



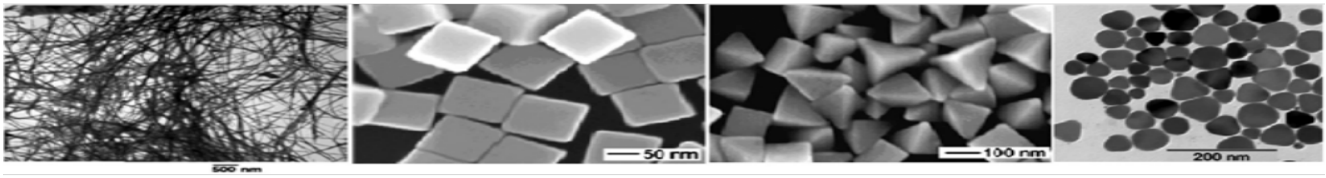
الفضة النانوية: طرائق تصنيعها وأهم تطبيقاتها

ملخص

تكنولوجيا النانو هي تكنولوجيا جديدة وناشئة ولها العديد من التطبيقات. وهي واحدة من أحدث التقنيات في العديد من التخصصات العلمية المختلفة، بما في ذلك علم الأحياء والكيمياء وعلوم المواد. وهو ما يستلزم تصنيع مواد بأبعاد واحدة أو أكثر تتراوح بين 1-100 نانومتر. وفيما يتعلق بتصنيع حبيبات الفضة النانوية، فقد تطرقنا بمقالنا هذا بشكل سريع ومقتضب لأهم الطرق الفيزيائية والكيميائية والمستعملة في تحضيرها، ونوهنا من خلال هذا المقال، بأن الباحثين أصبحوا أكثر اهتماماً بالعمليات البيولوجية الصديقة للبيئة بسبب الحصول على مركبات كيميائية تؤدي دوراً مرجعاً لأيونات الفضة من خلال المركبات الكيميائية التي تنتجها الفطريات والبكتريا والطحالب أو من خلال وجود هذه المركبات في المستخلصات المائية لأجزاء النباتات كالجذور والأوراق والثمار.. بدلاً من المواد الكيميائية الخطرة والمكلفة والمستهلكة للطاقة. وأخيراً تطرقنا لأهم التطبيقات لحبيبات الفضة النانوية في المجالات التالية: الطبية، البيئية، الزراعية، مجال الحساسات، معالجة المياه وأهمها النشاط المضاد للبكتريا والفطريات لذي تبديه حبيبات الفضة النانوية.

الكلمات المفتاحية: حبيبات الفضة النانوية، طرائق تحضير حبيبات الفضة النانوية، تطبيقات حبيبات الفضة النانوية، الطرق الصديقة للبيئة في تحضير الفضة النانوية.

الفضة النانوية هي جزيئات الفضة ذات الحجم النانوي، وتعدّ من أحدث التقنيات في مجال العلوم والتكنولوجيا. تشير جسيمات الفضة النانوية إلى جزيئات الفضة التي يتراوح حجمها من 1 إلى 100 نانومتر، ولها أشكال مختلفة (لاحظ الشكل 1).



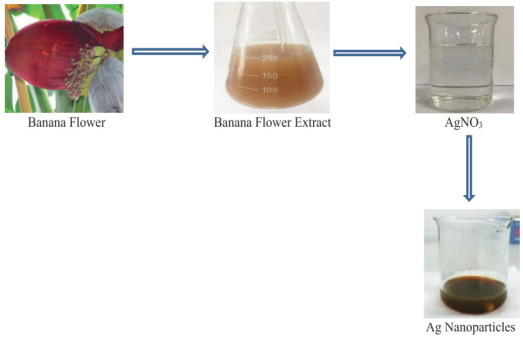
الشكل **1.** صور لحبيبات الفضة النانوية في المجهر الإلكتروني الماسح بأشكالها المختلفة الألياف النانوية (على اليسار)، المكعبات النانوية والأهرامات النانوية والمنشور النانوي (على اليمين)[1].

تُظهر هذه الجسيمات خصائص فريدة بسبب صغر حجمها، بما في ذلك مساحة السطح الكبيرة وزيادة التفاعل والسلوك البصري والحراري والكهربائي المميز لها. نلاحظ مؤخراً أن هناك اهتماماً متزايداً لتحضير الفضة بطرق مختلفة كالفزيائية والكيميائية والبيولوجية، وهذا مرده لأهمية الفضة النانوية في العديد من المجالات التي نستطيع ان نذكر هنا بعضاً منها لإيصال فكرة مبسطة لأهميتها على الأصعدة كافة، فمثلاً تستخدم في الإلكترونيات، حيث تُستخدم جزيئات الفضة النانوية في الأحبار الموصلة للإلكترونيات المطبوعة. أما في المجال الطبي، فثبت بأن جسيمات الفضة النانوية لها خصائص مضادة للميكروبات [3, 2]، وتجري دراستها لاستخدامها في التئام الجروح وفي طلاء الأجهزة المضادة للميكروبات لمنع نمو البكتريا[4]، كما يعد نمو الميكروبات من حولنا، وخاصة في الصناعات الطبية والغذائية[5]، مصدر قلق كبير في الوقت الحاضر، لذا هناك حاجة ملحة لتطوير استراتيجيات طلاء فعالة لمكافحة الالتهابات الميكروبية عن طريق الانتقال السطحي. وبسبب ظهور السلالات المقاومة زادت مقاومة البكتريا للمطهرات والمضادات الحيوية المختلفة.

كما يمكن لجزيئات الفضة النانوية هذه اختراق غشاء الخلية، وسنلاحظ في هذا المقال الآلية التي يتم من خلالها اختراق غشاء الخلية ويمكنها تدمير الخلايا السرطانية في جسم الإنسان[6] أو من خلال استخدامها في معالجة مرض السكري[7]، وتستخدم في مجموعة واسعة أخرى من التطبيقات مثل تحميل حبيبات الفضة النانوية على الأقمشة واختبار فعاليتها المضادة للميكروبات[8]، وتستخدم في الأدوات الصحية والأغذية المعقمة والتي بدورنا سنناقش أهمها في نهاية هذا المقال.

أهم الطرق لتحضير الفضة النانوية[9]

طور الباحثون العديد من الطرق للحصول على حبيبات الفضة النانوية كالفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تعدّ من الطرق الصديقة للبيئة، وسنناقش كلاً من الطرق السابقة بشكل مفصل ضمن طرق تحضير حبيبات الفضة النانوية. لكن تحضير حبيبات الفضة بالطرق البيولوجية الصديقة للبيئة هي أكثر الطرق شيوعاً بسبب عدم سميتها وتكلفتها المنخفضة وسهولة توفراها [18-10]، فمثلاً، استخدم باحثون مستخلص زهرة الموز كعامل إرجاع [4] لأيونات الفضة (لاحظ الشكل 2).



الشكل **2.** صورة توضيحية لتحضير الفضة النانوية باستخدام الخلاصة المائية لأزهار شجرة الموز لاحتوائها على عامل مرجع [4].

احتلت الطريقة الصديقة للبيئة في تحضير الجسيمات النانوية مركز الصدارة في تكنولوجيا النانو نظراً لنهجها الصديق للبيئة وغير الخطير. وعلى العكس من ذلك، فإن تصنيع الجسيمات النانوية بالطرق الفيزيائية والكيميائية له عدة عيوب، مثل صعوبة التحكم في حجم الجسيمات ضمن حدود المقياس النانوي ومتطلبات الطاقة العالية وارتفاع تكلفة التصنيع، والأهم من ذلك إطلاق مواد كيميائية سامة لها

آثار ضارة على البيئة، ومن ثم فإن الطريقة الصديقة للبيئة هي مفضلة على الطرق الفيزيائية والكيميائية. تستخدم طريقة التصنيع الأخضر كائنات حية دقيقة مختلفة مثل الطحالب، والفطريات وخلايا البكتريا وخلاصة مائية لأحد أجزاء النباتات كالجذور، الأزهار أو الساق، بما في ذلك الأوراق والبراعم والفواكه وقشور الفاكهة كما سنناقش ذلك بالتفصيل لاحقاً في هذا المقال. تتمتع طريقة تصنيع الجسيمات النانوية بالطرق الصديقة للبيئة باستخدام النباتات لما لها من مزايا مقارنة بالطرق البيولوجية الأخرى لأنها طريقة غير ضارة وتتضمن مستخلصات نباتية ولا تتطلب ظروفاً معقمة أو إجراءات صيانة شاقة كما هو مطلوب مع الطرق الأخرى[19]. ولتحضير الفضة النانوية بالطريقة الكيميائية هناك العديد من التفاعلات الممكنة والمتعلقة بحموضة الوسط والمادة المرجعة، لكن الطريقة العامة لذلك، تحدث وفق التفاعلات التالية وذلك من خلال تحضير الفضة النانوية على البولي بروبيلين[20]

$$AgNO_3 + NaOH \rightarrow AgOH + NaNO_3$$

$$2\,AgOH \rightarrow Ag_2O + H_2O$$

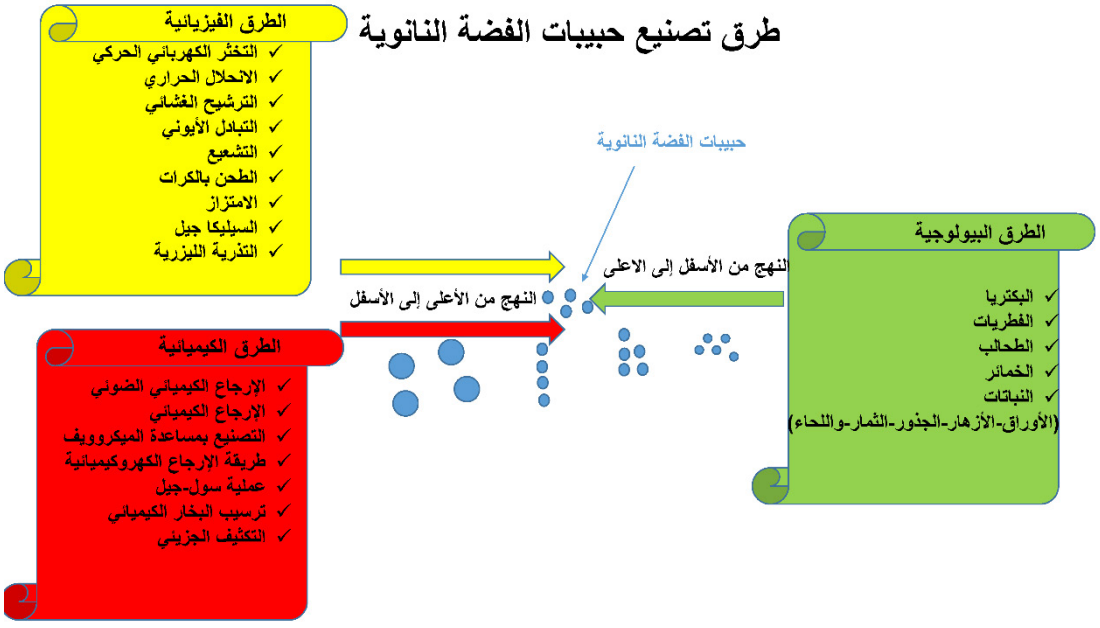
$$Ag_2O + C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{90\,^{\circ}C} 2\,Ag + C_6H_{12}O_7$$

Silver D - Gluconic acid

وخلال تصنيعنا لحبيبات الفضة النانوية، يجب علينا تمييز الفرق الرئيسي بين نهجين في التحضير [21]، الأول هو من أعلى إلى أسفل top-down approach والثاني هو من أسفل إلى أعلى bottom-up approach لتصنيع جسيمات الفضة النانوية هو مادة البداية وطريقة تكوين الجسيمات (لاحظ الشكل 3).

في **النهج من الأعلى إلى الأسفل** يتم تقسيم الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أصغر **باستخدام الطرق الفيزيائية أو الكيميائية**. على سبيل المثال، يمكن تصنيع جسيمات الفضة النانوية عن طريق طحن جزيئات الفضة الضخمة إلى جزيئات صغيرة باستخدام مطحنة كروية أو عن طريق تشعيع صفائح الفضة بالليزر لإنتاج جسيمات نانوية. يتطلب هذا النهج كمية كبيرة من الطاقة ويمكن أن يؤدي إلى توزيع واسع الحجم للجسيمات النانوية.

في المقابل، يتضمن **النهج التصاعدي من الأسفل للأعلى** بناء جسيمات نانوية من مكونات أصغر مثل الذرات أو الجزيئات. في حالة جسيمات الفضة النانوية، يمكن تحقيق ذلك عن طريق إرجاع أيونات الفضة في محلول باستخدام عامل ارجاع **مثل المستخلصات النباتية** أو الكواشف الكيميائية. يوفر هذا النهج تحكماً أفضل في حجم الجسيمات النانوية وشكلها ويمكنه إنتاج جسيمات نانوية ذات توزيع أضيق للحجم. عموماً، كلا النهجين لهما مزايا وعيوب اعتماداً على التطبيق المحدد والخصائص المطلوبة للجسيمات النانوية.



الشكل 3. صورة توضيحية لأهم الطرق المستخدمة في تحضير حبيبات الفضة النانوية.

الطرق الفيزيائية لتحضير حبيبات الفضة النانوية

الانحلال الحراري pyrolysis

يمكن أيضا استخدام طريقة الانحلال الحراري لتصنيع حبيبات الفضة النانوية. في هذه الطريقة، يتم تسخين محلول يحتوي على مركبات الفضة وعامل إرجاع إلى درجة حرارة عالية في حالة عدم وجود الأكسجين. تتسبب الحرارة في تحلل مركبات الفضة وتشكيل ذرات الفضة التي تتجمع بعد ذلك لتشكيل حبيبات النانو. هذه الطريقة لها العديد من المزايا بما في ذلك بساطتها وتكلفتها المنخفضة. كما يمكن إنتاج جزيئات نانو عالية الجودة بتوزيع ضيق الحجم حتى 100 نانومتر وسطياً. إضافة إلى ذلك، يمكن فصل جزيئات النانو الناتجة بسهولة عن محلول التفاعل واستخدامها في تطبيقات مختلفة، مثل الحفازات والاستشعار والتصوير الطبي الحيوي. ومع ذلك، فإن طريقة الانحلال الحراري لها أيضاً بعض القيود، إذ يتطلب تحكماً دقيقاً في ظروف التفاعل، مثل درجة الحرارة ووقت التفاعل للحصول على حجم الجسيمات وشكلها المطلوبين. كما يمكن أن يولد غازات سامة ومنتجات ثانوية يجب إدارتها بعناية لتجنب المخاطر البيئية والصحية.

طريقة تكثيف البخار الفيزيائية physical vapor condensation (PVC) method

تعد طريقة تكثيف البخار الفيزيائي تقنية شائعة لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. تتضمن هذه الطريقة تبخر الفضة في حجرة مفرغة، يليها تكثيف الفضة المتبخرة على ركيزة لتكوين جسيمات نانوية. تبدأ العملية بإعداد هدف من الفضة عالي النقاء، ثم يتم وضع الهدف في غرفة مفرغة على مستو مرتفع. يتم بعد ذلك تسخين الحجرة إلى درجة حرارة كافية لتبخر الهدف من الفضة. عندما تتبخر الفضة فإنها تتكثف على ركيزة يتم وضعها في حجرة التفريغ. يمكن استخدام الركيزة من مواد مختلفة، مثل الزجاج أو السيليكون، ويمكن تغليفها بطبقة رقيقة من مادة خافضة للتوتر السطحي لمنع تكتل جسيمات الفضة النانوية. يمكن التحكم في حجم جسيمات الفضة النانوية وشكلها عن طريق ضبط درجة الحرارة والضغط في حجرة التفريغ. عادةً ما تؤدي درجات الحرارة المرتفعة والضغوط المنخفضة إلى ظهور جسيمات نانوية أصغر. بمجرد أن تتشكل جسيمات الفضة النانوية على الركيزة، يمكن جمعها واستخدامها في تطبيقات مختلفة، مثل الحفازات والإلكترونيات والتصوير الطبي الحيوي. عموماً، تعد طريقة تكثيف البخار الفيزيائي طريقة بسيطة وفعالة لتصنيع جسيمات الفضة النانوية مع التحكم الدقيق في حجمها وشكلها.

في الآونة الأخيرة، نجح فريق بحثي في تصنيع نوع من حبيبات الفضة الصغيرة جداً والتي وصلت إلى مقياس أنجستروم للمرة الأولى باستخدام نظام تبخر وتكثيف تم تطويره ذاتياً. تم إدخال سلك من الفضة النقية في غرفة انفجار مملوءة بغاز الأرغون الواقي متبوعاً بجهد عالٍ يبلغ 25 كيلو فولط عندما يلامس السلك لوحة القطب الموجب. تم تفجير السلك من الفضة وتبخيره لإنتاج بلازما بخار الفضة. بعد ذلك تم تبريد بخار الفضة وتكاثفه بسرعة لتكوين حبيبات الفضة النانوية في غرفة التبريد السريع باستخدام مبرد الماء عند درجة حرارة 0-4 درجة مئوية. تم استخدام أجهزة الموجات فوق الصوتية وإزالة المغناطيسية عالية الكثافة على التوالي لمنع تجمع حبيبات الفضة مع بعضها من جديد[22].

الترشيح الغشائي membrane filtration

الترشيح الغشائي هو طريقة يمكن استخدامها لتصنيع جسيمات الفضة النانوية عن طريق إرجاع أيونات الفضة إلى الفضة المعدنية في وجود عامل إرجاع. في هذه الطريقة يتم تمرير محلول يحتوي على أيونات الفضة وعامل إرجاع عبر مرشح غشائي ذي مسام نانوية. تعمل المسام النانوية الموجودة في الغشاء كقوالب، حيث تتحكم في حجم جسيمات الفضة النانوية الناتجة وشكلها. عندما يمر المحلول عبر الغشاء، يتم إرجاع أيونات الفضة إلى الفضة المعدنية في مواقع المسام النانوية، لتشكل جسيمات نانوية يتم تجميعها على الجانب الآخر من الغشاء. تتمتع هذه الطريقة بالعديد من المزايا بما في ذلك بساطتها وتكلفتها المنخفضة وقابلية التوسع في الإنتاج على نطاق واسع. كما أنه يسمح بتخليق جسيمات نانوية ذات توزيع ضيق الحجم والنقاء العالي. ومع ذلك، قد لا يكون الترشيح الغشائي مناسباً لإنتاج جسيمات نانوية ذات أشكال أو هياكل معقدة. كما يتطلب أيضاً مراقبة دقيقة لظروف التفاعل لضمان نتائج متسقة وقابلة للتكرار.

التبادل الأيوني ion exchange

يعد التبادل الأيوني طريقة أخرى يمكن استخدامها لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. في هذه الطريقة يتم تمرير محلول يحتوي على أيونات الفضة من خلال راتينج أو هلام يحتوي على عامل إرجاع. يعمل عامل الإرجاع الموجود في الراتينج أو الجل على تحويل أيونات الفضة إلى فضة معدنية، مما يشكل جسيمات نانوية تتجمع على سطح الراتينج أو الهلام. تتمتع هذه الطريقة أيضاً بالعديد من المزايا بما

في ذلك بساطتها وتكلفتها المنخفضة وقابلية التوسع في الإنتاج على نطاق واسع. ويمكن استخدامه أيضاً لإنتاج جسيمات نانوية ذات توزيع ضيق الحجم ونقاوة عالية. ومع ذلك، قد لا يكون التبادل الأيوني مناسباً لإنتاج جسيمات نانوية ذات أشكال أو هياكل معقدة مثل الترشيح الغشائي. كما يتطلب أيضاً مراقبة دقيقة لظروف التفاعل لضمان نتائج متسقة وقابلة للتكرار.

التشعيع irradiation

التشعيع هو طريقة أخرى يمكن استخدامها لتركيب جسيمات الفضة النانوية. تتضمن هذه الطريقة تعريض محلول يحتوي على أيونات الفضة وعامل إرجاع للإشعاع، مثل الأشعة فوق البنفسجية أو أشعة غاما. يتسبب الإشعاع في قيام عامل بإرجاع أيونات الفضة إلى الفضة المعدنية، مما يشكل جسيمات نانوية في المحلول. تتمتع هذه الطريقة بالعديد من المزايا بما في ذلك بساطتها وانخفاض تكلفتها وقدرتها على إنتاج جسيمات نانوية ذات توزيع ضيق الحجم. ومع ذلك، قد لا يكون التشعيع مناسباً لإنتاج كميات كبيرة من الجسيمات النانوية، كما أن استخدام الإشعاع يمكن أن يشكل مخاوف تتعلق بالسلامة. إضافة إلى ذلك، قد يكون من الصعب التحكم في حجم الجسيمات النانوية وشكلها بهذه الطريقة.

صنع بعض الباحثين أليافاً نانوية عالية الكثافة بهندسة نمطية متقاطعة موحدة مباشرة على سطح الركيزة عن طريق الترسيب بإشعاع الليزر المحرض. ومن اللافت للنظر أن تكوين ألياف الفضة النانوية يحدث من مجرد محلول مائي من هيدرات بنزوات الفضة تحت تأثير إشعاع ليزر منخفض الكثافة[23].

السليكا جيل silica gel

تعد طريقة السليكا جيل طريقة شائعة لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. تتضمن هذه الطريقة مراحل عديدة لتصنيع حبيبات الفضة النانوية والتي يمكن تلخيصها بالشكل الآتي:

1. تحضير هلام السليكا، إذ يتم أولاً تنظيف هلام السليكا وتجفيفه في فرن على درجة حرارة 100-120 درجة مئوية لبضع ساعات لإزالة أي رطوبة أو شوائب.

2. تحضير محلول أيون الفضة، إذ يتم تحضير محلول يحتوي على أيونات الفضة عن طريق إذابة ملح الفضة، مثل نترات الفضة، في ماء منزوع الأيونات. يمكن أن يختلف تركيز أيونات الفضة اعتماداً على الحجم المطلوب وتركيز الجسيمات النانوية.

3. تتم إضافة عامل إرجاع، مثل الصوديوم بوروهيدريد، إلى محلول أيون الفضة لإرجاع أيونات الفضة إلى جسيمات الفضة النانوية.

4. يتم بعد ذلك إضافة هلام السليكا المحضر إلى محلول أيون الفضة المحتوي على عامل الإرجاع. يتم خلط المحلول بشكل جيد لفترة محددة للسماح بامتصاص أيونات الفضة على هلام السليكا والتكوين اللاحق للجسيمات النانوية.

5. يتم جمع الجسيمات النانوية الناتجة من هلام السليكا عن طريق الطرد المركزي أو الترشيح. يتم بعد ذلك غسل وتنقية الجسيمات النانوية المجمعة لإزالة أي عوامل إرجاع زائدة أو شوائب.

وعموماً، فإن استخدام هلام السليكا كركيزة لطريقة الامتزاز لتصنيع جسيمات الفضة النانوية يوفر طريقة بسيطة وفعالة للتحكم في حجم الجسيمات النانوية وشكلها. ومع ذلك، هناك حاجة إلى مزيد من البحث لتحسين هذه الطريقة للإنتاج على نطاق واسع.

التذرية الليزرية laser ablation

تعد طريقة التذرية بالليزر طريقة أخرى لدراسة صناعة حبيبات الفضة النانوية، حيث تعد تقنية التذرية بالليزر طريقة جديدة مفيدة وفعالة لتحضير محاليل غروية للمعادن المراد الحصول عليها على شكل حبيبات نانوية وذلك في غياب الكواشف الكيميائية. تساعد هذه الطريقة على التحكم في حجم جسيمات الغرويات عن طريق تغيير عدد نبضات الليزر. استطاع باحثون من تصنيع حبيبات الفضة النانوية عن طريق تشعيع هدف Ag باستخدام شعاع ليزر بطول 532 نانومتر في الماء النقي. تم تطبيق هذه التقنية بنجاح لإنتاج جسيمات نانوية صغيرة ذات حجم ضيق وموزعة في الماء النقي دون استخدام أي إضافات كيميائية باستخدام ليزر عالي الطاقة وقياسات صغيرة لمقطع شعاع الليزر[24, 22].

يُنظر إلى هذه التقنية على أنها تقنية رائعة نظراً لبساطتها الإجرائية وإمكانية الحصول على نسبة عالية جداً من الجسيمات النانوية من مختلف الأنواع والمواد مثل المعادن وأشباه الموصلات وأكاسيد المعادن والمواد العضوية.

يمكننا تلخيص أهم الخطوات في هذه الطريقة للحصول على حبيبات الفضة النانوية على الشكل التالي:

1. يتم تحضير هدف الفضة النقية ووضعه في وسط سائل مثل الماء أو الإيثانول.

2. يتم تركيز الليزر عالي الطاقة على الهدف من الفضة، مما يؤدي إلى تبخره وتكثيفه إلى جسيمات نانوية في الوسط السائل الغروي. يمكن تعديل بارامترات الليزر، مثل الطاقة ومدة النبض ومعدل التكرار، للتحكم في حجم الجسيمات النانوية وشكلها.

3. يتم جمع الجسيمات النانوية الناتجة من المحلول الغروي عن طريق الطرد المركزي أو الترشيح. يتم بعد ذلك غسل الجسيمات النانوية المجمعة وتنقيتها لإزالة أي شوائب.

توفر طريقة التذرية بالليزر العديد من المزايا لتصنيع جسيمات الفضة النانوية، بما في ذلك النقاء العالي والتوزيع الضيق للحجم والقدرة على إنتاج كميات كبيرة من الجسيمات النانوية في فترة زمنية قصيرة. ومع ذلك، تتطلب هذه الطريقة معدات وخبرة متخصصة، مما قد يحد من استخدامها على نطاق واسع.

التخثر الكهربائي الحركي electric-kinetic coagulation

تعد طريقة التخثر الكهربائي الحركي تقنية شائعة لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. تتضمن هذه الطريقة استخدام مجال كهربائي لتعزيز تخثر أيونات الفضة في المحلول، مما يؤدي إلى تكوين الجسيمات النانوية. ولتصنيع جسيمات الفضة النانوية باستخدام طريقة التخثر الكهربائي الحركي يتم عادةً اتباع الخطوات التالية:

1. تحضير محلول أيونات الفضة عن طريق إذابة ملح الفضة، مثل نترات الفضة، في الماء.

2. يتم وضع محلول أيونات الفضة في وعاء به قطبان كهربائيان ، ويتم تطبيق مجال كهربائي. يؤدي المجال الكهربائي إلى تحرك أيونات الفضة نحو الأقطاب الكهربائية وتعزيز تخثرها.

3. عندما تتخثر أيونات الفضة، فإنها ترجع لتشكل جزيئات الفضة النانوية. يمكن تحقيق هذا الإرجاع عن طريق إضافة عامل إرجاع، مثل الصوديوم بوروهيدريد، إلى المحلول.

4. تتم تنقية جزيئات الفضة النانوية المصنعة عن طريق الطرد المركزي والغسل بالماء لإزالة أي شوائب.

تعدّ طريقة التخثر الكهربائي الحركي تقنية بسيطة وفعالة لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. وهي توفر العديد من المزايا مقارنة بالطرق الأخرى، مثل التكلفة المنخفضة وقابلية التوسع والإنتاجية العالية. يمكن التحكم في حجم الجسيمات النانوية المركبة وشكلها عن طريق ضبط المعلمات التجريبية، مثل قوة المجال الكهربائي وتركيز أيونات الفضة.

الطحن بالكرات ball milling[52]

الطحن بالكرات هو طريقة أخرى يمكن استخدامها لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. تتضمن هذه الطريقة طحن جزيئات الفضة أو المواد الأولية باستخدام عامل إرجاع في مطحنة كروية. تتسبب الطاقة الميكانيكية التي تولدها المطحنة الكروية في إرجاع أيونات الفضة إلى فضة معدنية، مما يشكل جسيمات نانوية في المحلول. تتمتع هذه الطريقة بالعديد من المزايا، بما في ذلك قابلية التوسع والقدرة على إنتاج جسيمات نانوية ذات توزيع ضيق الحجم. ومع ذلك، قد تتطلب عملية الطحن بالكرات أوقات معالجة أطول ومدخلات طاقة أعلى مقارنة بالطرق الأخرى. إضافة إلى ذلك، فإن استخدام عوامل الإرجاع والمذيبات في هذه الطريقة قد يثير مخاوف بيئية. قد يكون من الصعب أيضاً التحكم في حجم الجسيمات النانوية وشكلها بهذه الطريقة.

الامتزاز adsorption

طريقة الامتزاز هي طريقة أخرى لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. في هذه الطريقة، تتم إضافة عامل إرجاع إلى محلول يحتوي على أيونات الفضة التي يتم بعد ذلك امتصاصها على سطح الركيزة. يقوم عامل الإرجاع بتقليل أيونات الفضة لتكوين جسيمات نانوية على سطح الركيزة. وميزة هذه الطريقة هي أنها تسمح بالتحكم في حجم الجسيمات النانوية وشكلها عن طريق ضبط تركيز عامل الإرجاع وزمن التفاعل. كما أنها لا تتطلب مدخلات طاقة عالية أو استخدام المذيبات، مما يجعلها صديقة للبيئة أكثر. ومع ذلك، قد لا تكون هذه الطريقة مناسبة للإنتاج على نطاق واسع لأنها تتطلب سطح ركيزة حتى تمتصه الجسيمات النانوية. قد يكون من الصعب أيضاً تحقيق توزيع موحد للجسيمات النانوية على سطح الركيزة.

الطرق الكيميائية لتحضير حبيبات الفضة النانوية

الإرجاع الكيميائي الضوئي photochemical reduction

تقوم هذه الطريقة على إرجاع أيونات الفضة لإنتاج حبيبات الفضة النانوية، حيث تتم هذه الطريقة في وسط منشط من الجذور الحرة ويتم تحضير هذه الجذور باستخدام العملية الكيميائية الضوئية من خلال الأشعة فوق البنفسجية والمحلول المائي الذي يحتوي على مادة Triton x-100 كعامل تثبيت، ومنه نحصل على حبيبات الفضة النانوية. تم توفير ثبات التشتت الأحادي بجانب الحجم الموحد لتصنيع حبيبات الفضة النانوية عند التفاعل الضوئي عن طريق الاختيار الجيد للمادة الخافضة للتوتر السطحي[26].

هناك طرق أخرى لتحضير حبيبات الفضة النانوية، حيث تم إذابة كل من نترات الفضة والشيتوزان كربوكسي ميثيل carboxymethyl chitosan في الماء. تمت معالجة هذا الخليط بواسطة الأشعة فوق البنفسجية التي تعمل إلى جانب الشيتوزان كربوكسي ميثيل كعامل إرجاع إضافة إلى فوائدها المتمثلة في زيادة ثبات المحلول خلال تحضير حبيبات الفضة النانوية التي كان حجم حبيباتها أقل من 10 نانومتر[26].

أظهر التحضير بطريقة الإرجاع الكيميائي الضوئي للحصول على حبيبات النانوية بشكل عام ولحبيبات الفضة النانوية بشكل خاص جودة عالية وفقاً لما يلي:

- درجة نقاء عالية وطريقة سهلة لتحضير جسيمات الفضة النانوية.
- تم تحضير هذه الجسيمات النانوية باستخدام الأشعة فوق البنفسجية بوجود عامل الإرجاع.
- يمكن ترسيب حبيبات الفضة النانوية على سطوح لمواد مختلفة مثل البوليمير والزجاج[22].

حيث يمكن تلخيص هذه الطريقة عادةً بالخطوات التالية:

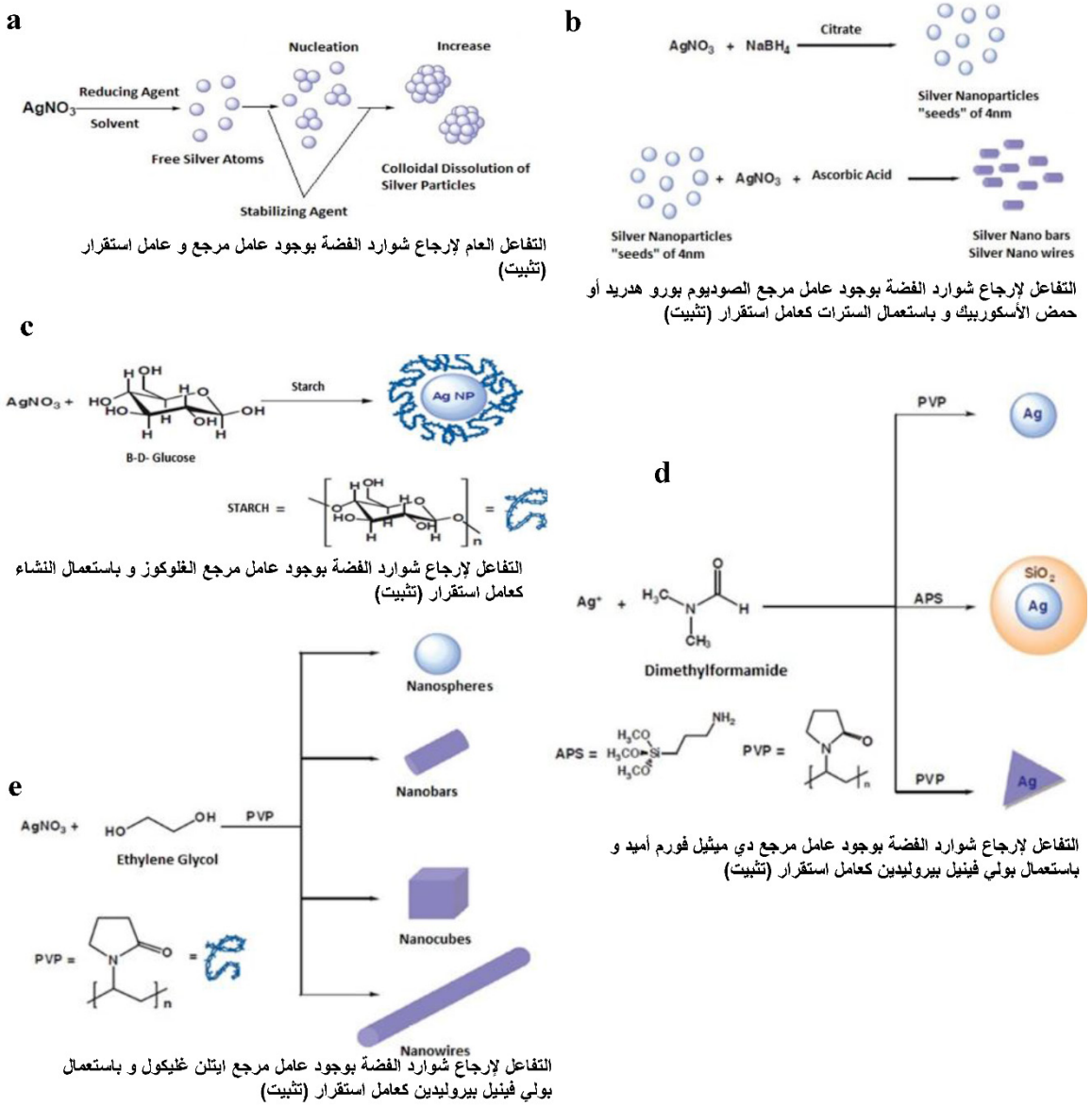
1. يتم تحضير محلول يحتوي على أيونات الفضة، مثل نترات الفضة.
2. تتم إضافة عامل إرجاع حساس للضوء، مثل الصوديوم بوروهيدريد أو سترات، إلى محلول أيون الفضة.
3. عادةً، يتم تعريض المحلول للضوء فوق البنفسجي، الذي ينشط عامل الإرجاع ويجعله يرجع أيونات الفضة لتكوين جسيمات نانوية.
4. يتم جمع الجسيمات النانوية الناتجة من المحلول عن طريق الطرد المركزي أو الترشيح. يتم بعد ذلك غسل الجسيمات النانوية المجمعة وتنقيتها لإزالة أي شوائب.

يوفر الإرجاع الكيميائي الضوئي العديد من المزايا لتصنيع جسيمات الفضة النانوية، بما في ذلك البساطة والتكلفة المنخفضة والقدرة على التحكم في حجم وشكل الجسيمات النانوية عن طريق ضبط شدة الضوء ووقت التعرض. ومع ذلك، قد تؤدي هذه الطريقة إلى توزيع حجم أوسع ونقاء أقل مقارنة بالطرق الأخرى.

الإرجاع الكيميائي chemical reduction

إن إحدى الطرق الشائعة لتصنيع جسيمات الفضة النانوية هي طريقة الإرجاع الكيميائي. في هذه الطريقة، يتم خلط مركب يحتوي على أيونات الفضة، مثل نترات الفضة، مع عامل إرجاع، مثل الصوديوم بوروهيدريد أو حمض الستريك، في وجود عامل تثبيت، مثل البولي فينيل بيروليدون (PVP) أو سترات الصوديوم، لاحظ الشكل 4 فيه بعض التفاعلات الكيميائية باستخدام عوامل مرجعة وعوامل استقرار مختلفة [26، 1]. يتم إجراء التفاعل عادةً في مذيب، مثل الماء أو الإيثانول، تحت ظروف معينة من درجة حرارة ودرجة حموضة. يقدم عامل الإرجاع الإلكترونات إلى أيونات الفضة، مما يؤدي إلى إرجاعها وتكوين جسيمات نانوية. يساعد عامل التثبيت على منع الجسيمات النانوية من التجمع بشكل أكبر ويثبت حجمها وشكلها. أخيراً، يتم جمع الجسيمات الفضة النانوية الناتجة من المحلول عن طريق الطرد المركزي أو الترشيح. يتم بعد ذلك غسل الجسيمات النانوية المجمعة وتنقيتها لإزالة أي شوائب.

يوفر الإرجاع الكيميائي العديد من المزايا لتصنيع جسيمات الفضة النانوية، بما في ذلك الإنتاجية العالية والتوزيع الضيق للحجم والنقاء العالي. ومع ذلك، قد تتطلب الطريقة استخدام مواد كيميائية سامة قد لا تسمح بالتحكم الدقيق في حجم الجسيمات النانوية وشكلها. وفيما يلي سنتطرق لبعض تفاعلات الإرجاع الكيميائية لأيونات الفضة في محاليلها إلى الفضة المعدنية النانوية:



الشكل **4.** بعض التفاعلات الكيميائية لإرجاع أيونات الفضة إلى حبيبات الفضة النانوية باستعمال عوامل مرجعة واستقرار مختلفة[1].

التصنيع بمساعدة الميكروويف microwave assisted synthesis

هناك طريقة أخرى لتصنيع جسيمات الفضة النانوية وذلك بمساعدة الميكروويف. تتضمن هذه العملية استخدام إشعاع الميكروويف لتسخين محلول يحتوي على أيونة الفضة وعامل إرجاع وعامل تثبيت (استقرار). يمكن استخدام صوديوم كاربوكسي ميثيل السليلوز لتحضير حبيبات الفضة النانوية، حيث تم استخدامه كعامل تثبيت وإرجاع في هذه العملية، ويعتمد حجم حبيبات الفضة النانوية على تركيزات $AgNO_3$ وصوديوم كاربوكسي ميثيل السليلوز[26].

تتضمن العملية عادةً الخطوات التالية:

1. يتم تحضير محلول يحتوي على ملح الفضة وعامل إرجاع وعامل تثبيت.
2. يتم تشعيع المحلول بإشعاع الميكروويف الذي يسخن المحلول ويعزز إرجاع أيونات الفضة لتكوين جسيمات الفضة النانوية.
3. يتم جمع الجسيمات النانوية الناتجة من المحلول عن طريق الطرد المركزي أو الترشيح. يتم بعد ذلك غسل الجسيمات النانوية المجمعة وتنقيتها لإزالة أي شوائب.

يوفر الاصطناع بمساعدة الميكروويف العديد من المزايا لتصنيع جسيمات الفضة النانوية، بما في ذلك أوقات التفاعل السريع والإنتاجية

العالية والتحكم الدقيق في حجم الجسيمات النانوية وشكلها. ومع ذلك، قد تتطلب هذه الطريقة معدات متخصصة وقد تكون أكثر تكلفة من الطرق الأخرى.

طريقة الإرجاع الكهروكيميائية electrochemical reduction method

طريقة الإرجاع الكهروكيميائية هي طريقة أخرى شائعة الاستخدام لتصنيع جسيمات الفضة النانوية. في هذه الطريقة يتم غمر قطب الفضة في محلول يحتوي على محلول لأيونات الفضة وعامل إرجاع (إرجاع) وعامل تثبيت (استقرار). يتم تمرير تيار كهربائي عبر المحلول، مما يؤدي إلى إرجاع أيونات الفضة الموجودة على سطح القطب الكهربائي لتكوين جسيمات نانوية.

تتضمن العملية عادةً الخطوات التالية:

1. يتم تحضير محلول يحتوي على ملح الفضة وعامل إرجاع وعامل تثبيت.
2. يتم تحضير قطب كهربائي من الفضة وغمره في المحلول.
3. يتم تمرير تيار كهربائي عبر المحلول، مما يؤدي إلى إرجاع أيونات الفضة الموجودة على سطح القطب الكهربائي لتكوين جسيمات نانوية.
4. يتم جمع الجسيمات النانوية الناتجة من المحلول عن طريق الطرد المركزي أو الترشيح. يتم بعد ذلك غسل الجسيمات النانوية المجمعة وتنقيتها لإزالة أي شوائب.

توفر طريقة الإرجاع الكهروكيميائية العديد من المزايا لتصنيع جسيمات الفضة النانوية، بما في ذلك التحكم الدقيق في حجم الجسيمات النانوية وشكلها، والإنتاجية العالية، والتكلفة المنخفضة. ومع ذلك، قد تتطلب هذه الطريقة معدات متخصصة وقد لا تكون مناسبة للإنتاج على نطاق واسع.

عملية سول-جل sol-gel process

عملية السول-جل هي طريقة لتصنيع جسيمات الفضة النانوية من خلال تحويل السول، وهو عبارة عن معلق غرواني للجسيمات الصلبة في السائل، إلى هلام، يليه إرجاع أيونات الفضة لتكوين جسيمات الفضة النانوية. تتضمن العملية الخطوات التالية:

1. تتم إذابة مادة حاوية للفضة، مثل نترات الفضة، في مذيب، مثل الماء أو الإيثانول، لتكوين محلول. يتم بعد ذلك خلط هذا المحلول مع عامل تثبيت، مثل البوليمير أو الخافض للتوتر السطحي، لمنع تكتل جزيئات الفضة.
2. تكوين الهلام؛ إذ تتم إضافة جيلاتور (مادة تساعد على تشكيل الجيل)، مثل ألكوكسيد معدني أو ملح معدني، إلى المحلول لتحفيز عملية تشكيل الجل. وينتج عن ذلك تكوين شبكة ثلاثية الأبعاد من الجزيئات المترابطة المعلقة في المذيب.
3. إرجاع أيونات الفضة، إذ يتم بعد ذلك تعريض الجل لعامل إرجاع، مثل الصوديوم بوروهيدريد أو حامض الستريك الذي يحول أيونات الفضة الموجودة في المحلول إلى جزيئات الفضة النانوية. يقدم عامل الإرجاع الإلكترونات إلى أيونات الفضة، مما يؤدي إلى إرجاعها وتكوين جسيمات الفضة النانوية المعدنية.
4. يتم غسل جزيئات الفضة النانوية الناتجة لإزالة أي كواشف غير متفاعلة وعوامل تثبيت، ثم يتم تجفيف الجسيمات النانوية للحصول على المنتج النهائي.

توفر عملية sol-gel العديد من المزايا لتصنيع جسيمات الفضة النانوية بما في ذلك القدرة على التحكم في حجم الجسيمات النانوية وشكلها، فضلاً عن إمكانية الإنتاج على نطاق واسع. إضافة إلى ذلك، يساعد استخدام عوامل التثبيت على منع تراكم الجسيمات النانوية، مما يؤدي إلى منتج أكثر تجانساً واستقراراً.

ترسيب البخار الكيميائي chemical vapor deposition

ترسيب البخار الكيميائي هي طريقة تستخدم لإنتاج الأغشية الرقيقة والجسيمات النانوية. ففي حالة جسيمات الفضة النانوية تتضمن طريقة ترسيب البخار الكيميائي تحلل غاز أولي يحتوي على الفضة لترسيب ذرات الفضة على الركيزة، حيث يبدأ تشكل نوى وتنمو هذه النوى لتصبح جسيمات نانوية. يمكن استخدام ألكوكسيدات الفضة كمصدر لذرات الفضة في عملية ترسيب البخار الكيميائي، مما يسمح

بالتحكم في ترسيب جسيمات الفضة النانوية على الركيزة ونموها توفر هذه الطريقة مزايا مثل التحكم الدقيق في حجم الجسيمات النانوية وتجانسها، مما يجعلها مفيدة لمختلف التطبيقات في مجال الإلكترونيات والحفز الكيميائي والمجالات الطبية الحيوية.

حيث استطاع باحثون الحصول على حبيبات الفضة النانوية باستخدام طريقة ترسيب البخار الكيميائي للمرة الأولى لتمييز السلالات البكتيرية ذات الصلة الوثيقة بناءً على أشكالها الدهنية وإظهارها لإمكانات عالية كأداة تشخيصية مستقبلية للكشف عن حساسية المضادات الحيوية[27].

التكثيف الجزيئي molecular condensation

في التكثيف الجزيئي لتصنيع جسيمات الفضة النانوية، يتم تجميع الجزيئات المحتوية على الفضة معاً تحت ظروف محددة لتصنيع جسيمات نانوية، ويمكن تحقيق ذلك من خلال طرق مختلفة مثل الإرجاع الكيميائي أو التبخر الحراري أو التذرية بالليزر. ومن خلال التحكم في ظروف عملية التكثيف، مثل درجة الحرارة والضغط وتركيز الجزيئات المحتوية على الفضة، يمكن تصميم حجم الجسيمات النانوية وتصميم شكلها لتلبية متطلبات محددة لتطبيقات مختلفة. توفر طرق التكثيف الجزيئي المرونة والتنوع في إنتاج جسيمات الفضة النانوية ذات الخصائص المرغوبة، مما يجعلها ذات قيمة لمجموعة واسعة من التطبيقات التكنولوجية والعلمية.

الطرق البيولوجية لتصنيع حبيبات الفضة النانوية[28]

البكتريا bacteria

من إحدى طرق تصنيع جسيمات الفضة النانوية بالطريقة البيولوجية هي إستخدام البكتريا. في هذه الطريقة، يتم استخدام بعض البكتريا، مثل bacillus subtilis أو pseudomonas stutzeri[22]، لإرجاع أيونات الفضة لتكوين جسيمات نانوية. تنتج البكتريا إنزيمات أو مستقبلات تعمل كعوامل إرجاع، وترجع أيونات الفضة إلى حبيبات الفضة النانوية.

تختلف قدرات السلالات المستخدمة وآلياتها في تصنيع حبيبات الفضة النانوية عن بعضها بعضاً بسبب المواد العضوية. حيث يمكن استخدام المواد العضوية المختلفة في البكتريا كعوامل إرجاع، مثل عديد السكاريد الخارجي والببتيدات والسيتوكرومات من النوع c،والجينات المقاومة للفضة. وقد شارك العديد من هذه الإنزيمات في تصنيع حبيبات الفضة النانوية، مثل إنزيم ارجاع النترات والببتيدات مع الأحماض الأمينية الخاصة، مثل الميثيونين والسيستين والليسين والأرجينين، قد تلتصق على سطح النوى وتعمل كعوامل اختزال[22].

تعدّ هذه الطريقة مفيدة لأنها صديقة للبيئة ولا تتطلب مواد كيميائية قاسية أو درجات حرارة عالية. إضافة إلى ذلك، يمكن التحكم في حجم الجسيمات النانوية وشكلها عن طريق ضبط ظروف نمو البكتريا. تُظهر هذه الطريقة البيولوجية وعداً بإنتاج حبيبات الفضة النانوية على نطاق واسع مع تطبيقات محتملة في مجالات مختلفة بما في ذلك الطب والإلكترونيات والعلاج البيئي.

فمثلاً، الأكتينوميسيتات هي مجموعة من البكتريا المعروفة بقدرتها على إنتاج مجموعة واسعة من المركبات النشطة بيولوجياً من الممكن الحصول عليها من مصادر مختلفة، مثل التربة والرواسب البحرية وجذور النبات. وفي السنوات الأخيرة، تم استكشاف إمكاناتها أيضاً في تصنيع حبيبات الفضة النانوية الصديق للبيئة [30, 29].

يتضمن التصنيع الأخضر لحبيبات الفضة النانوية باستخدام الفطريات الشعوية إرجاع أيونات الفضة إلى الفضة المعدنية في وجود الأكتينوميسيتات. تتم هذه العملية بواسطة المركبات النشطة بيولوجياً التي تنتجها البكتريا، مثل الإنزيمات والبروتينات والمستقلبات الثانوية.

تمثل جزيئات الفضة النانوية استجابة علمية لزيادة مقاومة الميكروبات للمضادات الحيوية التقليدية. تعمل الأكتينوميسيتات، باعتبارها كائنات دقيقة محددة، كمصدر جيد للجزيئات المستخدمة علاجياً لعلاج الالتهابات الميكروبية المختلفة. إن قدرتها على إنتاج مركبات نشطة بيولوجياً تؤدي إلى استخدامها كمنتج للجسيمات النانوية من أيونات المعادن. يمكن تصنيع الفضة النانوية داخل الخلايا أو خارجها باستخدام آليات كيميائية حيوية محددة، وذلك من خلال التصنيع الحيوي لجسيمات الفضة النانوية باستخدام الفطريات الشعوية (أكتينوميسيتات)[30].

الفطريات fungi

هناك طريقة بيولوجية أخرى لتصنيع جسيمات الفضة النانوية وذلك باستخدام الفطرية. تم العثور على بعض الفطريات، مثل fusarium oxysporum, trichoderma harzianum, penicillium polonicum, phomopsis liquidambaris. [22]. وهذه الفطريات لديها القدرة على

إرجاع أيونات الفضة لتكوين جسيمات الفضة نانوية. على غرار الطريقة البيولوجية التي تستخدمها البكتيريا، تنتج الفطريات إنزيمات أو مستقبلات تعمل كعوامل إرجاع. توفر هذه الطريقة أيضاً ميزة كونها صديقة للبيئة ولا تتطلب مواد كيميائية قاسية أو درجات حرارة عالية. ويمكن أن تسمح هذه الطريقة باستخدام الفطريات أيضاً بالتحكم في حجم الجسيمات النانوية وشكلها عن طريق ضبط ظروف نمو الفطريات. تتمتع هذه الطريقة بإمكانية إنتاج جسيمات الفضة النانوية على نطاق واسع ولها تطبيقات في مجالات مختلفة مثل الطب والإلكترونيات والعلاج البيئي. إضافة إلى ذلك، قد توفر هذه الطريقة مزايا من حيث قابلية التوسع وفعالية التكلفة مقارنة بأساليب التوليف الأخرى. وبشكل عام، تظهر هذه الطريقة باستخدام الفطريات لتصنيع جسيمات الفضة النانوية وعداً كنهج مستدام وفعال لإنتاج جسيمات نانوية ذات تطبيقات متنوعة.

الطحالب algae

هناك طريقة أخرى لتصنيع جسيمات الفضة النانوية وهي طريقة الطحالب. تم العثور على أنواع معينة من الطحالب، مثل cyanophyceae, chlorophyceae, phaeophyceae, rhodophyceae، وهي لديها القدرة على إرجاع أيونات الفضة وإنتاج الجسيمات النانوية. وهذا ما تم ملاحظته أيضاً في الفطريات، حيث تستطيع هنا الطحالب أن تنتج مركبات نشطة بيولوجياً تعمل كعوامل إرجاع في عملية التصنيع.

حيث حظيت الطحالب باعتبارها واحدة من أكثر الموارد الحية الساحلية المتجددة المحتملة بمزيد من الاهتمام في التصنيع الحيوي للمواد النانو مترية. تحتوي الطحالب على مجموعة متنوعة من المواد العضوية البيولوجية، مثل الكربوهيدرات والسكريات والإنزيمات والبروتينات والفيتامينات والأصباغ والمستقلبات الثانوية. هذه المركبات العضوية الوفيرة تجعل الطحالب مرشحاً مثالياً للتصنيع الحيوي لحبيبات الفضة النانوية، ويمكن استخدام هذه المواد العضوية النشطة كعوامل إرجاع لتصنيع حبيبات الفضة النانوية ومن الممكن التحكم في حجمها وشكلها[22].

توفر طريقة الطحالب ميزة كونها طريقة مستدامة وصديقة للبيئة، لأنها لا تتطلب مواد كيميائية قاسية أو درجات حرارة عالية. إضافة إلى ذلك، فإن الطحالب وفيرة ويمكن زراعتها بسهولة مما يجعل هذه الطريقة فعالة من حيث التكلفة وقابلة للتطوير بسهولة للإنتاج على نطاق واسع.

إضافة إلى ذلك، فإن استخدام الطحالب في تصنيع حبيبات الفضة النانوية التي لها تطبيقات محتملة في مجالات مثل الطب والزراعة[5] ومعالجة المياه. وقد أظهرت الجسيمات النانوية المنتجة بهذه الطريقة خصائص مضادة للميكروبات والفطريات، مما يجعلها مفيدة للأغراض الطبية والزراعية[5]. إضافة إلى ذلك، يمكن استخدامها في عمليات معالجة المياه لإزالة الملوثات والمعادن الثقيلة. بشكل عام، تعد طريقة الطحالب لتصنيع جسيمات الفضة النانوية طريقة واعدة توفر الاستدامة والفعالية من حيث التكلفة والتطبيقات المتنوعة في مختلف الصناعات.

الخمائر yeasts

استخدم بعض الباحثون الخمائر التالية cryptococcus laurentii, rhodotorula glutinis كعوامل للمكافحة البيولوجية، بينما اعتمد آخرون على هذه الخمائر المعزولة من قشور التفاح لإنتاج حبيبات الفضة النانوية، ومقارنة خصائصها ودراسة إمكانية تطبيقها على مكافحة الفطريات التي تسبب أمراض ما بعد الحصاد في ثمار التفاح[31]. عزل باحثون من مقاطعة Qingha في الصين سلالتي الخميرة HX-YS و LPP-12Y على التوالي من سطوح crataegus pinnatifida وvitis vinifera التي تم أخذ عينات منها في المقاطعة الصينية المذكورة آنفاً. ولوحظ أن كلتا السلالتين تحتويان على مستعمرات مستديرة بيضاء ذات سطح صلب ناعم. أثناء الاستزراع يتغير لون المستعمرات تدريجياً من الأبيض إلى البني الفاتح، وفي النهاية يصبح بنياً غامقاً، واستخدمت هذه الخمائر لاحقاً لتصنيع حبيبات الفضة النانوية[32].

هناك طرق عديدة لتصنيع جسيمات الفضة النانوية باستخدام الخمائر، ولكن إحدى هذه الطرق الشائعة هي طريقة الإرجاع البيولوجي. فيما يلي مخطط عام للعملية:

1. ابدأ بزراعة سلالة مناسبة من الخميرة في وسط غني بالمغذيات في ظل ظروف النمو المثالية.

2. بمجرد أن تصل حاضنة الخميرة إلى كثافة مناسبة، قم بحصاد الخلايا عن طريق الطرد المركزي أو الترشيح.

3. اغسل خلايا الخميرة المحصودة بمحلول عازل لإزالة أي وسط أو شوائب متبقية، قم بإعادة تعليق الخلايا في المخزن المؤقت المناسب أو المذيب.

4. أضف محلول أيونات الفضة على سبيل المثال، – نترات الفضة – إلى خلايا الخميرة المعلقة وقم باحتضان الخليط تحت الظروف المناسبة ، مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتحريك.

5. تحتوي خلايا الخميرة على العديد من الإنزيمات والجزيئات الحيوية التي يمكن أن تعمل كعوامل إرجاع، وتحول أيونات الفضة إلى جسيمات فضية نانوية، وعادةً ما تستغرق عملية الإرجاع هذه عدة ساعات حتى تكتمل.

توفر هذه الطريقة نهجاً مستداماً وصديقاً للبيئة لتركيب جسيمات الفضة النانوية، وذلك باستخدام قوة الإرجاع لخلايا الخميرة لإنتاج جسيمات نانوية ذات تطبيقات محتملة في مجالات مختلفة، بما في ذلك الطب والوساطة الكيميائية والإلكترونيات.

النباتات plants

تعد صناعة حبيبات الفضة النانوية باستخدام المستخلصات النباتية المائية طريقة مستدامة وصديقة للبيئة لإنتاج حبيبات الفضة النانوية ذات الخصائص المضادة للميكروبات [3، 33، 34]. تتضمن هذه الطريقة إرجاع أيونات الفضة بواسطة المواد الكيميائية النباتية في المحاليل المائية. يمكن استخدام حبيبات الفضة النانوية المصنعة بهذه الطريقة لمكافحة مسببات الأمراض البكتيرية والفطرية التي يمكن أن تؤثر على النباتات والمياه والغذاء [3، 33]. كما لوحظ أن حبيبات الفضة النانوية تمنع بشكل فعال تكوين الأغشية الحيوية والمستعمرات البكتيرية المنتجة للأغشية الحيوية [10].

ويمكننا هنا تحديد أجزاء النباتات المستخدمة للحصول على الرشاحة والتي ستساهم لاحقاً في تصنيع حبيبات الفضة النانوية، مثلاً كالأوراق leaves، لاحظ الشكل 5 ذكرنا فيه مثالاً عن بعض هذه الأوراق والأزهار flowers والجذور roots والثمار fruits واللحاء barks.

يعد استخدام المستخلصات المائية لأجزاء النبات التي ذكرت آنفاً كمصدر لعوامل الإرجاع والاستقرار لتصنيع جزيئات الفضة النانوية بديلاً واعداً، حيث تحتوي المستخلصات لهذه الأجزاء النباتية على مواد كيميائية نباتية مختلفة، فمثلاً تحتوي الأوراق والأزهار والثمار على بعض من هذه المركبات التالية الفلافونويد والقلويدات والتيربينويدات. في حين تحتوي الجذور واللحاء على بعض من هذه المركبات alkaloids, tannins, saponins, lignins. التي يمكن أن ترجع أيونات الفضة لتكوين جسيمات نانوية. إضافة إلى ذلك، فإن أجزاء النباتات المختلفة متاحة بسهولة وفعالة من حيث التكلفة، وليس لها أي آثار ضارة على البيئة.

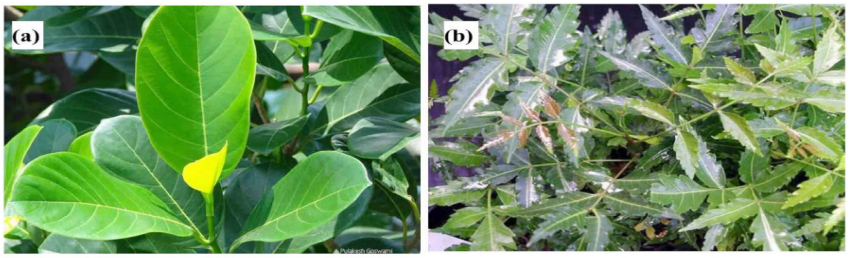
يتضمن تصنيع جزيئات الفضة النانوية باستخدام كل جزء من أجزاء أي نبات على حدة خطوات عديدة. في البداية يتم جمع جزء معين (أوراق كأوراق صفير الماء [8] (لاحظ الشكل 6) ، أزهار، جذور، ثمار..) وغسله لإزالة أي أوساخ أو حطام ثم يتم تجفيفه وطحنه إلى مسحوق ناعم، ثم يتم نقعه أو غليه باستخدام أحد المذيبات وعادة نستخدم الماء عند درجات حرارة أقل من 60 درجة مئوية لعدة ساعات لتجنب تفكك المركبات الكيميائية الموجودة داخل الخلاصة [3] ومن ثم فصل الرشاحة لإضافتها إلى محلول محتوٍ على أيونات الفضة بنسبة حجمية معينة وبتراكيز محددة أو يتم خلط المسحوق بمحلول ملح الفضة، ويتم تسخين الخليط لبدء عملية الاختزال. يحتوي المحلول الناتج على جسيمات الفضة النانوية. سنذكر في الجدول اللاحق بعضاً من هذه الأجزاء التي استخدمت خلاصاتها في تصنيع حبيبات الفضة النانوية والنبات الذي من الممكن الحصول عليه.

الجدول **1.** بعض أسماء للنباتات التي تم الحصول على رشاحة جزء منها لإرجاع أيونات الفضة

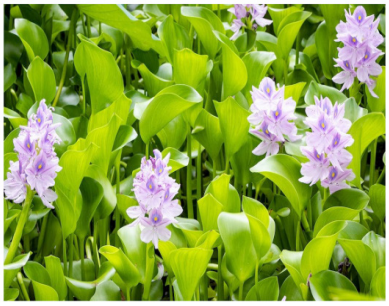
جزء النبات المستخدم للحصول على الخلاصة	النبات المستخدم
الأوراق	Azadirachta indica- Artocarpus Heterophylus [35]
الأزهار	Nyctanthes arbortristis- Caesalpinia pulcherrima [3]
الجذور	Potentilla fulgens- Erythrina indica Lam [3]
الثمار	Emblica officinalis- Citrus lemon [3]
اللحاء	Ficus benghalensis- Helicteres isora [3]

ومع ذلك، فإن اختيار الأنواع النباتية يعتمد على عوامل مختلفة مثل توافرها وظروف النمو والتركيب الكيميائي النباتي. إضافة إلى ذلك، يؤدي استخراج المواد النباتية ومعالجتها أيضاً دوراً حاسماً في تحديد جودة الجسيمات النانوية المنتجة وكميتها. يجب تقييم السمية والتوافق الحيوي لجسيمات الفضة النانوية المصنعة باستخدام جزء من هذه الأجزاء النباتية قبل تسويقها. وينبغي اختبار الجسيمات النانوية

للتأكد من سميتها الخلوية والسمية الجينية والسمية المناعية لضمان سلامتها للاستخدام البشري. وفي الختام، يعد استخدام أجزاء النباتات في تصنيع جزيئات الفضة النانوية طريقة واعدة توفر العديد من المزايا مقارنة بالطرق التقليدية. ومع ذلك، هناك حاجة إلى مزيد من الأبحاث لتحسين الظروف لهذا النهج وتقييم السمية والتوافق الحيوي للجسيمات النانوية الناتجة.



الشكل **5.** صورة توضيحية لأوراق Artocarpus Heterophylus(a) وأوراق Azadirachta indica(b) المستخدمة خلاصتها في تحضير الفضة النانوية[35].



الشكل **6.** صورة توضيحية لأوراق نبات صفير الماء المستخدمة خلاصتها في تحضير الفضة النانوية.

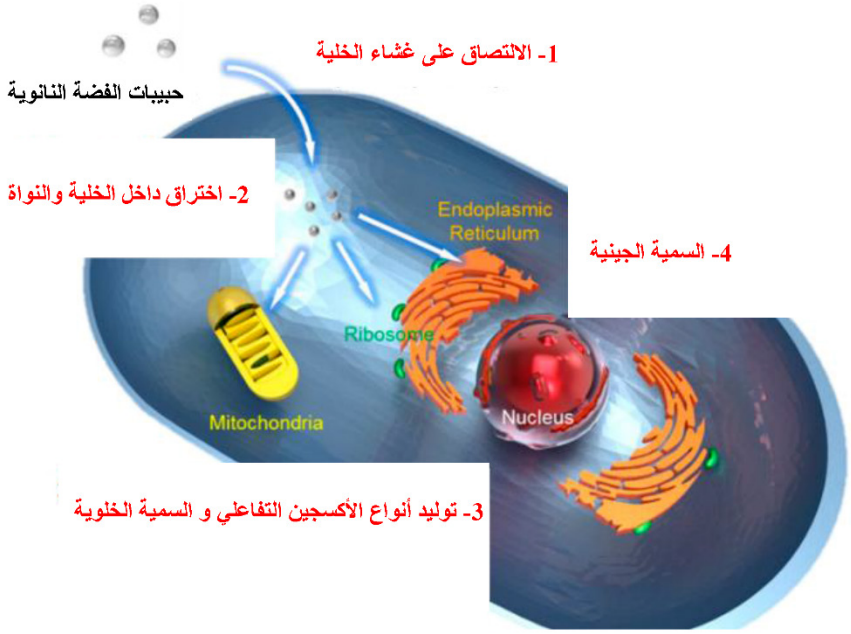
أهم تطبيقات الفضة النانوية[9]

تطبيقات حبيبات الفضة النانوية في مجال العناية في الصحة

لحبيبات الفضة النانوية مجال واسع من التطبيقات في مجال الطبي، كما تظهر حبيبات الفضة النانوية فعالية جيدة مضادة للسرطان، كما لها دور في تحسين تمايز العظام وتطبيقات قوية في مجال توصيل الدواء، وكمضاد حيوي لما لها من خواص سطحية يستخدم أيضاً في المبيدات الحيوية [15] كما تؤدي أيونات وحبيبات الفضة النانوية دوراً مهماً في السمية الخلوية والميكروبية[21]. لاحظ الشكل 7 الذي يوضح المراحل الرئيسية الأربعة لآلية السمية الخلوية.

من جهة أخرى، يؤدي تنشيط الجهاز المناعي إلى مستويات مرتفعة من السيتوكينات المسببة للالتهابات، والتي يحتاجها جسمنا لمحاربة مسببات الأمراض أو الجزيئات الأجنبية. كما يتم إطلاق مواد كيـــــميائية مثل إنترلوكين–1 (IL-1) (TNF, TGF) والعوامل المكملة أثناء التفاعلات المناعية، والتي تشمل أيضاً هذه المواد الكيميائية. ولهذا السبب نحتاج إلى ما يكفي من المواد الكيميائية والعوامل المضادة للالتهابات للسيطرة على الالتهاب وإنهائه. لاحظ بعض الباحثين أن حبيبات الفضة النانوية أدّت دوراً مهماً كعامل مضاد للالتهابات بين العديد من الأدوية المضادة للالتهابات. على الرغم من أن حبيبات الفضة النانوية تعد عاملاً جيداً مضاداً للبكتيريا، إلا أنها تتمتع بتأثير متواضع مضاد للالتهابات[36].

وقد يصاب واحد من كل ثلاثة أشخاص بالسرطان خلال حياته، مما يجعل حياته مهددة بالخطر. على الرغم من وجود مجموعة متنوعة من أدوية العلاج الكيميائي المتاحة لعلاج أنواع مختلفة من السرطان، إلا أن هذه الأدوية لها عدد من الآثار الجانبية، وعلى وجه الخصوص فإن إعطاء أدوية العلاج الكيميائي عن طريق الوريد هو نهج دون المستوى. ومن أجل استهداف الخلايا أو الأنسجة المقصودة بدقة، يجب على الباحثين إنشاء مادة نانوية ليس لها أي عواقب سلبية. تم الكشف مؤخراً أن حبيبات الفضة النانوية قد أظهرت نشاطاً مضاداً للسرطان في كلٍّ من الأنظمة النموذجية في الجسم الحي وفي المختبر[36].



الشكل **7.** المراحل الرئيسية الأربعة لآلية السمية الخلوية [21].

تطبيقات حبيبات الفضة النانوية في مجال الحساسات

مع التطور السريع لعلوم النانو التكنولوجي، استخدمت حبيبات الفضة النانوية بشكل واسع في صناعة الحساسات، حيث استخدمت الحساسات النانوية بشكل واسع في حقل الأدوية والزراعة واكتشاف الملوثات البيئية.

تمت دراسة استخدام حبيبات الفضة كمستشعرات لتفاعلات الأكسدة والإرجاع للكشف عن الجلوكوز في المشروبات الغذائية، كما يمكن الكشف عن التلوث بالزئبق عن طريق استخدام أجهزة استشعار تعتمد على ألياف الحرير من حبيبات الفضة النانوية حتى على مستوى جزء في المليون[15]. كما تُظهر حبيبات الفضة النانوية خصائص بلازمونية فريدة وقابلة للضبط. يمكن من خلال حجم هذه الجزيئات وشكلها تحديد خاصية رنين البلازمون السطحي الموضعي ومدى استجابتها للبيئة المحلية وأثبت بأنه يمكن استخدامها في أجهزة الاستشعار الحيوي[37].

تطبيقات حبيبات الفضة النانوية في قطاعي الزراعة والغذاء

في الآونة الأخيرة أحدث تطبيق تكنولوجيا النانو في مجالات الأغذية والزراعة ثورة كبيرة إذ إن العديد من جزيئات النانو المعدنية لها تطبيقات قوية في هذه المجالات، حيث يمكن استخدام حبيبات الفضة بسبب خصائصها المضادة للبكتريا والمبيدات الحيوية للسيطرة على مسببات الأمراض النباتية المختلفة [38]. تظهر حبيبات الفضة النانوية نشاطاً مبيداً بيولوجياً ضد مسببات الأمراض المختلفة مثل Pythium spp.، Colletotrichum spp.، X. Campestris وما إلى ذلك. كما يمكن أيضاً استخدام حبيبات الفضة النانوية لتصنيع العبوات الغذائية نظراً لأنشطتها المضادة للبكتريا[15].

يُحدث استخدام المواد الفضية النانوية ثورة في القطاع الزراعي. توفر هذه التكنولوجيا أدوات مختلفة لعلاج الأمراض والكشف عنها، ويمكن استخدامها كأسمدة، ولتغليف المواد الغذائية والتخزين لزيادة العمر الافتراضي لمنتجات ما بعد الحصاد. تؤدي جزيئات الفضة النانوية دوراً مهماً في الزراعة الذكية والحديثة نظراً لنشاطها المضاد للميكروبات والمبيدات الحشرية. قد تعمل حبيبات الفضة النانوية على تعزيز النمو وجودة الكلوروفيل وكفاءة التمثيل الضوئي وأنظمة الحماية المضادة للأكسدة تحت إجهاد معين. يمكن أن يؤثر ارتباط حبيبات الفضة النانوية بنظام التربة النباتية على سمية البكتريا المتنوعة بيولوجياً والكائنات الحية في التربة والكائنات الحية الأخرى. كما أثبتت العديد من الدراسات مساهماتها في إنتاج الأسمدة النانوية الخضراء والمبيدات النانوية ومبيدات الأعشاب النانوية، إضافة إلى الاستقرار والتحول والنقل والتفاعلات بين النباتات الزراعية والنظم البيئية للتربة[39].

تطبيقات حبيبات الفضة النانوية في مجال المراقبة البيئية ومعالجة مياه الصرف الصحي

تؤدي جزيئات النانو المعدنية وأبرزها حبيبات الفضة النانوية دوراً حاسماً في إزالة السموم من البيئة. كما أنها تؤدي دوراً حاسماً في معالجة مياه الصرف الصحي. كما ناقشت بعض الورقات العلمية المنشورة في مجلات علمية محكمة أنه يمكن استخدام القطن المحمل بحبيبات الفضة النانوية لإزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصحي[15]، كما يمكن استخدام حبيبات الفضة النانوية لإزالة سموم المبيدات الحشرية القاتلة من البيئة وإزالة المعادن الثقيلة من الماء. درس بعض الباحثين طرقاً لإزالة الأصباغ من الماء باستخدام حبيبات الفضة النانوية، حيث ساعدت هذه الحبيبات المصنعة بطرق صديقة للبيئة في تحلل الصباغ. وأفاد العديد من الباحثين أنه يمكن استخدام حبيبات الفضة النانوية لإزالة المبيدات الضارة في التربة واكتشافها.

تطبيقات حبيبات الفضة النانوية في نشاطها المضاد للطفيليات وللبكتريا

عمد العديد من الباحثين على تقييم تأثير حبيبات الفضة النانوية على المعايير البيولوجية لطفيلي الليشمانيا الاستوائية. وأثبتت نتائج هذا البحث أن لجسيمات الفضة النانوية خصائص مضادة لليشمانيا التي يمكن أن تعزى إلى قدرتها على إعاقة نشاط تكاثر البروماستيجوت. إضافة إلى ذلك، لوحظ أن جسيمات الفضة النانوية أظهرت القدرة على إعاقة بقاء اللاماستيجوت داخل الخلايا المضيفة[28].

كما ظهرت حبيبات الفضة النانوية كبديل محتمل للمضادات الحيوية في مكافحة الالتهابات البكتيرية، وذلك بسبب قدرتها على التغلب على المقاومة البكتيرية التي تطورت ضد المضادات الحيوية التقليدية، وبالتالي فإن تطوير حبيبات الفضة النانوية كعوامل مضادة للبكتيريا يعدّ أمراً ضرورياً. حيث تُظهِر حبيبات الفضة النانوية إمكانية عالية كعوامل مضادة للبكتريا نظراً لبنية سطحها البلوري ونسب السطح إلى الحجم الكبير، وكشفت الدراسة أن علاج خلايا الإشريكية القولونية باستخدام حبيبات الفضة النانوية أدى إلى تراكم حبيبات الفضة النانوية في جدار الخلية وتكوين حفر في جدران الخلايا البكتيرية، مما أدى في النهاية إلى موت الخلايا، إضافة إلى ذلك، تجدر الإشارة إلى أن الفعالية المضادة للبكتريا لحبيبات الفضة النانوية لا تعتمد على حجمها فحسب، بل تعتمد أيضاً على شكلها[28].

المراجع

1. Rojas S M, et al (2019). Synthesis and characterization of silver nanoparticles and their application as an antibacterial agent. International Journal of Biosensors & Bioelectronics 5(5): 166-173

2. Kim, J.S., et al (2007).Antimicrobial effects of silver nanoparticles. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine 3(1): p. 95-101

3. Vanlalveni C et al (2021) Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and their antimicrobial activities: a review of recent literature. RSC Advances 11(5): 2804-2837

4. Francis K, et al (2023), Antibacterial Activity of Green Synthesized Silver Nanoparticle using Banana Flower Extract, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1291: 1-8

5. Moond M et al (2023). Applications of Silver nanoparticles. Vigyan Varta An International E-Magazine for Science Enthusiasts 4(5): 14-16

6. Zhang X and Mostafa H. M (2023). Synthesis of halloysite nanotubes decorated with green silver nanoparticles to investigate cytotoxicity, lipid peroxidation and induction of apoptosis in acute leukemia cells. Scientific Reports 13(1)

7. Wahab M. and Janaswamy S (2023). A review on biogenic silver nanoparticles as efficient and effective antidiabetic agents. Functional Food Science. 3(7): 94-107

8. Mondal M.S et al (2023). Recycling of silver nanoparticles from electronic waste via green synthesis and application of AgNPs-chitosan based nanocomposite on textile material. Scientific Reports 13(1)

9. Zhang X. F et al (2016). Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. International Journal of Molecular Sciences 17(9): 1534

10. Giri A.K et al (2022). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Eugenia roxburghii DC. extract and activity against biofilm-producing bacteria. Scientific Reports 12(1): 8383

11. Tam K.Tet al (2023). Green synthesis of Piper chaudocanum stem extract mediated silver nanoparticles for colorimetric detection of Hg2+ ions and antibacterial activity. Royal Society Open Science 10(2): 220819

12. Fang Y et al (2021) .Green synthesis of nano silver by tea extract with high antimicrobial activity. Inorganic Chemistry Communications 132: 108808

13. Thakur P and Pandit V (2023). Green Synthesis of Silver Atropa Acuminata Nanoparticles: Characterization and Anti-Diabetic Potential. Journal of Advanced Zoology 44(S-5): 1101-1115

14. Mahadevan S et al (2017). Green synthesis of silver nano particles from Atalantia monophylla (L) Correa leaf extract, their antimicrobial activity and sensing capability of H2O2. Microbial Pathogenesis113: 445-450

15. Roy P.S.D et al (2021). Green synthesis of silver nano particles: Recent advances and applications. Indian Journal of Agricultural Biochemistry 34(1):15-23

16. Alghoraibi I et al (2020). Aqueous extract ofEucalyptus camaldulensisleaves as reducing and capping agent in biosynthesis of silver nanoparticles. Inorganic and Nano-Metal Chemistry 50(10): 895-902

17. Devadharshini R et al (2023). Green Synthesis of Silver Nanoparticles. Microbiology Research Journal International 33(5): 1-9

18. Nair A. R. K et al (2023). Green Synthesis of Silver Nanoparticles from Aqueous Leaf Extract of Medinilla beddomei C B Clarke and its Antimicrobial Activity. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research 15(1): 109-114

19. Rizwana H et al (2023). Antimicrobial and antioxidant potential of the silver nanoparticles synthesized using aqueous extracts of coconut meat (Cocos nucifera L). Scientific Reports 13(1): 16270

20. Gawish S.M and Mosleh S (2020). Antimicrobial Polypropylene Loaded by Silver Nano Particles. Fibers and Polymers 21(1): 19-23

21. Lee, S. H and Jun B.H (2019). Silver Nanoparticles: Synthesis and Application for Nanomedicine. International Journal of Molecular Sciences 20(4): 865

22. Xu L et al (2020). Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. Theranostics 10(20): 8996-9031

23. Bikbaeva G et al (2023). Just laser irradiation of silver benzoate water solution — A direct way of Ag nanofibers synthesis for broadband SERS detection. Nano-Structures & Nano-Objects 36: 101037

24. Güzel R and Erdal G (2018). Synthesis of Silver Nanoparticles, in Silver Nanoparticles-Fabrication, Characterization and Applications.

http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.75363

25. Purushotham E and Krishna N.G (2013). Preparation and characterization of silver nano particles. Indian Journal of Physics 88(2): 157-163

26. Al-Saedy M. A et al (2020). Preparation method of Silver Nano particles. Journal of Advanced Sciences and Engineering Technologies 3(2): 1-8

27. Maślak E, et al (2023). Silver Nanoparticle Targets Fabricated Using Chemical Vapor Deposition Method for Differentiation of Bacteria Based on Lipidomic Profiles in Laser Desorption/Ionization Mass Spectrometry. Antibiotics 12(5)

28. Krishna G, et al (2023). Biological Agents for the Synthesis of Silver Nanoparticles and their Applications. DOI: 10.5772/intechopen.112072

29. Abdeen S et al (2014). Biosynthesis of Silver nanoparticles from Actinomycetes for therapeutic applications. International Journal of Nano Dimension 5(2): 155-162

30. Bedlovičová Z (2022).Chapter 21 - Green synthesis of silver nanoparticles using actinomycetes. Green Synthesis of Silver Nanomaterials. Elsevier. pp. 547-569

31. Fernández J.G et al (2016). Production of silver nanoparticles using yeasts and evaluation of their antifungal activity against phytopathogenic fungi. Process Biochemistry 51(9): 306-1313

32. Liu X et al (2021). Biosynthesis of silver nanoparticles with antimicrobial and anticancer properties using two novel yeasts. Scientific Reports 11(1): 15795

33. Castillo-Henríquez L et al (2020). Green Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles from Plant Extracts and Their Possible Applications as Antimicrobial Agents in the Agricultural Area. Nanomaterials 10(9): 1763

34. Ansari M et al (2023). Plant mediated fabrication of silver nanoparticles, process optimization, and impact on tomato plant. Scientific Reports 13(1)18048

35. Manik, U. P et al (2020). Green synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extraction of Artocarpus heterophylus and Azadirachta indica. Results in Materials 6: 100086

36. Pal R et al (2023). Silver Nanoparticles; Synthesis Characterization Optical Properties and Therapeutic Applications Section A-Research paper 887 Eur. Eur. Chem. Bull 12(1): 886-911

37. Pandey P. P (2023). Silver-based plasmonic nanoparticles and their application as biosensor. Journal of Polymer Science and Engineering 6(1): 2405

38. Alahmad A et al (2022). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Hypericum perforatum L. Aqueous Extract with the Evaluation of Its Antibacterial Activity against Clinical and Food Pathogens. Pharmaceutics 14(5): 1104

39. Abd-Elsalam K. A (2021). Chapter 1 - Silver-based nanomaterials for sustainable applications in agroecology: A note from the editor, in Silver Nanomaterials for Agri-Food Applications. Elsevier. pp: 1-14

تطاير الميكروبلاستيك الناتج عن الأسمدة الطبيعية في الهواء أكثر مما كان يُعتقد من قبل

على الرغم من استعمال الأسمدة الطبيعية المصنوعة من حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة بهدف إعادة إدخال العناصر الغذائية إلى الحقول الزراعية، إلا أنها تجلب معها الملوثات الميكروبلاستيكية أيضاً. ووفقاً لدراسة صغيرة نُشرت في مجلة Environmental Science & Technology Letters التابعة للجمعية الكيميائية الأمريكية تلتقط الرياح جزيئات بلاستيكية أكثر مما كان يُعتقد من قبل. اكتشف الباحثون أن الجسيمات الميكروبلاستيكية تنطلق من الحقول بسهولة أكبر من جزيئات الغبار ذات الحجم المماثل، وتصبح معلقات هوائية حتى مع وجود هواء خفيف.

تظهر الجسيمات الميكروبلاستيكية أو الأجزاء البلاستيكية متناهية صغيرة التي تقل أبعادها عن 5 ملم، في كل مكان، ابتداءً من السحب حتى أنسجة القلب. ومع تزايد انتشار هذه المواد البلاستيكية بين البشر وإمدادات المياه، فقد تم العثور عليها أيضاً في الحمأة الناتجة عن مياه الصرف الصحي. قد لا تبدو مواد الحمأة الصلبة الناتجة عن مياه الصرف الصحي على الفور منتجاً مفيداً، إلا أنه يمكن أن تشكل «مواد صلبة حيوية» بعد معالجتها، ويمكن تطبيقها على التربة الزراعية كمصدر طبيعي ومتجدد للأسمدة. وفقاً لتقديرات وكالة حماية البيئة الأمريكية، يطرح أكثر من 2 مليون طن متري جاف من المواد الصلبة الحيوية –أي ما يقرب من نصف الكمية الإجمالية التي تجمعها محطات معالجة مياه الصرف الصحي– على الأرض كل عام. ونتيجة لذلك، تمتلك المواد الميكروبلاستيكية الموجودة في هذه المواد الصلبة الحيوية الفرصة للعودة إلى البيئة مرة أخرى. ونظراً لأن المواد البلاستيكية يمكن أن تحمل ملوثات أخرى من مياه الصرف الصحي التي تولدت عنها، فمن المحتمل أن تكون خطيرة عند استنشاقها؛ لذلك رغب سانجاي موهانتي وزملاؤه Sanjay Mohanty بدراسة كيفية التقاط الرياح ونقل الجسيمات الميكروبلاستيكية من الحقول الزراعية المعالجة بالمواد الصلبة الحيوية.

قام الفريق بتحليل المواد الميكروبلاستيكية في المعلقات الهوائية في الرواسب التي تحملها الرياح والتي تم جمعها خلال تجارب نفق الرياح على قطعتين من الأراضي المعالجة بالمواد الصلبة الحيوية في ريف ولاية واشنطن. اكتشف الباحثون أن هذه الرواسب التي تحملها الرياح تحتوي على تراكيز عالية من المواد الميكروبلاستيكية إذا ما قورنت بالمواد الصلبة الحيوية أو التربة من المصدر نفسه. يعود سبب الزيادة هذه إلى أن جسيمات البلاستيك أقل كثافة من المعادن الموجودة في التربة، مثل الكوارتز، وأقل «لزوجة» منها–ولا يمكن للرطوبة أن

تعيقها بسهولة مثل معادن التربة. ونتيجة لذلك، يمكن للهواء الخفيف أن يلتقط المواد الميكروبلاستيكية بسهولة أكبر من معادن التربة، وفي حال كانت الرياح غير قوية بما يكفي لرفع الغبار فمن الممكن أن تقوم بإدخال المواد الميكروبلاستيكية الدقيقة في الهواء.

يقول الباحثون إن النماذج السابقة لم تأخذ تأثير اللزوجة وغيره من الخصائص الفريدة للجسيمات الميكروبلاستيكية بالحسبان وذلك عند تقدير الانبعاثات من الحقول المعالجة، لذلك؛ من المرجح أن تقلل هذه النماذج القديمة من الكمية الفعلية للجسيمات البلاستيكية المنبعثة في الهواء. تشير الحسابات التي أجراها موهانتي وزملاؤه إلى أن المواد الميكروبلاستيكية قد تنبعث من الحقول الزراعية القاحلة نتيجة الرياح الشديدة بما يقرب من مرتين ونصف عن التقديرات السابقة. يقول الباحثون إن هذا العمل يسلط الضوء على الطريقة التي لا تحظى بالتقدير الكافي والتي يمكن أن تنتقل فيها الجسيمات الميكروبلاستيكية في الهواء وتكون على شكل معلقات هوائية.

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

American Chemical Society, 17. 1. 2024
Microplastics from natural fertilizers are blowing in the wind more often than once thought
www.sciencedaily.com/releases/2024/01/240117143712.htm

حطم العلماء التعقيدات الصبغية القديمة

يمكن أن تعطي الحالات القديمة من وحدانية الصيغة الصبغية مؤشرات للشذوذات الصبغية وأصبح تطور الإنسان مطروقاً أكثر.

- يمكن أن يكون من الصعب كشف شذوذات الصبغي الجنسي التي تتضمن فقدان الصبغي X و Y أو زيادتهما في جزيء الدنا القديم لأنه يتآكل ببطء مع الزمن، ويصبح ملوثاً.
- طور العلماء الآن طريقة مُحوسبة لكشف هذه الشذوذات عرفت بوحدانية الصيغة الصبغية في عينات يعود تاريخها إلى العصر الحديدي.
- يمكن أن يعطي هذا المستوى الجديد من الإدراك الوراثي صورة أوضح عن تناذرات تيرنر وكلاينفلتر وجاكوب ويزودنا من خلاله بعدسة وراثية للنظر في التاريخ.

بالمصطلحات البيولوجية، كونك ذكر يعني نموذجياً أن يكون لديك الصبغيان XY وكونك أنثى يعني نموذجياً أن لديك الصبغيين XX. لكن الأمور لا تعمل هكذا، ففي بعض الأحيان يمكن أن يولد الشخص مع زيادة في الصبغيات أو القليل منها، وتعرف هذه بوحدانية الصيغة الصبغية، ويمكن أن تُسبب متلازمة تيرنر (فقدان الصبغي X)، ومتلازمة كلاينفلتر (XXY)، ومتلازمة جاكوب (XYY)، وبما أننا نعلم أن هذه الشذوذات لم تتطور حديثاً يُصبح من الصعب إيجاد أدلة ماقبل التاريخ لهذه الأمراض لكون الدنا تحلل مع الوقت وأصبح ملوثاً بعينات قديمة أو بفعل الأشخاص الذين تعاملوا معه.

لمعالجة هذه المسائل طَور علماء من جامعة أكسفورد وجامعة يورك ومعهد الآثار في أكسفورد طريقة لعدّ الصبغيات في الجينومات القديمة. وسمح هذا لهم بكشف أول حالة ما قبل التاريخ لمتلازمة تيرنر إضافة إلى أول أقدم شخص لديه متلازمة جاكوب في أوائل حقبة القرون الوسطى.

ترجمة: د. وليد الأشقر، قسم البيولوجيا الجزيئية و التقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Scientists Are Cracking Ancient Chromosomal Complications, 18. 1. 2024

https://www.popularmechanics.com/science/archaeology/a46367421/ancient-chromosomal-complications/

المحتوى الوراثي للنباتات المضيفة ودوره في تحديد نوعية الكائنات الحية الدقيقة التي تنجذب إليها

غالباً ما تطور النباتات مجتمعات متنوعة من الكائنات الحية الدقيقة التي تنمو على جذور النباتات وحولها ، مما يؤثر على صحة النبات ونموه. على الرغم من تحكم عوامل عدة بنوعية هذه الكائنات الحية الدقيقة، فمن غير الواضح بعد فيما إذا كان التنوع الوراثي أو الجيني للنباتات المضيفة يؤدي دوراً مهماً في ذلك. وقد تحرى باحثون من جامعة إلينوي The University of Illinois Urbana-Champaign في دراسة جديدة عن هذا التساؤل الذي قد يساعد مستقبلاً في تحسين الإنتاجية الزراعية. أشارت أنجيلا كينت Angela Kent أستاذة الموارد الطبيعية وعلوم البيئة CABBI إلى أن الباحثين كانوا يركزون في السابق فقط على نوع الكائنات الحية الدقيقة الموجودة والمرتبطة بالنباتات، و ليس على الدافع وراء تكوين هذه المجتمعات وكيف يمكننا التحكم بهذه الدوافع من خلال تربية النباتات. تشكل الكائنات الحية الدقيقة مجتمعات معقدة تسمى المجتمع الميكروبي أو ميكروبيوم Microbiome توجد في جذور النباتات وحولها. يمكن للنباتات المضيفة أن تحدد نوعية وأجناس الكائنات الحية الدقيقة التي تدعى للتعايش مع جذورها المعروفة باسم الفطريات الداخلية Endophytes باستخدام الإشارات الكيميائية. كما تستطيع النباتات أيضاً تغيير خصائص التربة حول الجذور للتأثير على نوع الميكروبات التي يمكن أن تنمو على سطح هذه الجذور أو حولها. ومع ذلك، ومن أجل تربية النباتات بناءً على الكائنات الحية الدقيقة التي ترتبط بها، يحتاج الباحثون أولاً إلى فهم مدى تأثير المحتوى الجيني genomes للنباتات على ميكروبيوم منطقة الجذر. للإجابة على هذا السؤال، قام الباحثون بدراسة نوعين محليين من العشب الفضي Miscanthus sinersis و Miscanthus floridulus وتعتبر هذه النباتات محاصيل طاقة حيوية محتملة لأنها تتطلب تركيزات أقل من العناصر الغذائية لتحقيق المزيد من النمو مقارنة بالمحاصيل التقليدية. أجريت الدراسة في 16 موقعاً شملت جميع أنحاء تايوان وتضمنت مجموعة متنوعة من الظروف البيئية القاسية، مثل الينابيع الساخنة وقمم الجبال والوديان، لتمثل جميع الظواهر البيئية المتطرفة المحتملة. جمع الباحثون في دراستهم 236 عينة من الأحياء الدقيقة في التربة المحيطة بجذور نباتات العشب الفضي Miscanthus المختارة عشوائياً، كما قاموا أيضاً بعزل الميكروبيوم داخل الجذور. وضحت

الباحثة Kent أنه على الرغم من أن حجم هذه الدراسة كبير ولم يسبق له مثيل، إلا أن فريق العمل كان على دراية بأنظمة حماية النباتات والحجر الصحي وملتزماً بها. و بناءً على ما سبق، تمت معالجة العينات في تايوان لاستخراج المجتمع الميكروبي الداخلي وجمع الميكروبيوم في منطقة الجذور. استخدم الباحثون نوعين من تقنيات سلسلة الحمض النووي DNA في دراستهم. حددت الكائنات الحية الدقيقة الموجودة داخل الجذور وحولها باستخدام تسلسل الحمض النووي لمورثات الرنا الريباسي rRNA البكتيري والفطري مع التركيز على الجزء الفريد لجينوم كل نوع. كما جرى قياس التباين والاختلاف في جينوم النبات باستخدام تقنية الدنا التابع الدقيق microsatellite، وهي قطع صغيرة من الحمض النووي المتكرر يمكنها التمييز حتى بين مجموعات النباتات ذات الصلة الوثيقة.

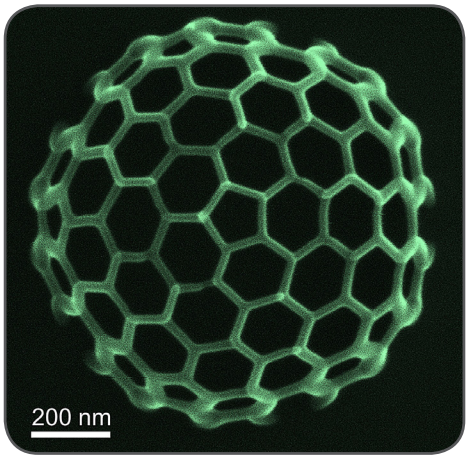
أشارت الباحثة Kent إلى أن العينات موضوع الدراسة كانت قد جمعت قبل 15 عاماً عندما كان المشروع كبيراً جداً بالنسبة لإمكانيات السَّلْسلة في ذلك الوقت. ومع انخفاض تكلفتها، جرى إعادة النظر في البيانات وإلقاء نظرة فاحصة على الميكروبيوم. أثناء معالجة العينات. استخرج الباحثون أيضاً الحمض النووي النباتي عن غير قصد وتمكنوا من استخدامه كمصدر للتنميط الوراثي لمجتمعات نبات Miscanthus الموجودة لديهم. صرح الباحث Niuniu من مخبر الباحثة كينت: "لقد قمنا بفحص تسلسل الجينوم المضيف للحصول على رؤى حول كيفية تأثيرها على الميكروبيوم". لقد اكتشفت أن النباتات تؤثر على الميكروبيوم الأساسي، وهو أمر مثير. على الرغم من أن الميكروبات النباتية شديدة التنوع، إلا أن الميكروبيوم الأساسي هو مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في معظم عينات مجموعة محددة من النباتات. تؤدي هذه الكائنات دوراً مهماً في تنظيم عمل زجود الميكروبات الأخرى المرتبطة بالنبات والمساعدة في نمو المضيف.

يتضمن الميكروبيوم الأساسي الذي وجده الباحثون في نبات Miscanthus بكتريا مثبتة للنتروجين تم العثور عليها في دراسات أخرى في نباتي الأرز والشعير. و تؤدي كل هذه الميكروبات دوراً في مساعدة النباتات على تثبيت النتروجين، وهو عنصر غذائي حيوي لنمو النبات. قد يساعد توظيف الميكروبات المثبتة للنتروجين النباتات على التكيف مع بيئات مختلفة، ولكن الأهم من ذلك هو أن هذه القدرة تساهم في استدامة هذا العشب كمحصول محتمل للطاقة الحيوية. من ناحية أخرى، كان للتباين الوراثي بين النباتات تأثيرٌ أقل على ميكروبيوم منطقة الجذور، والذي بدوره كان أكثر تأثراً ببيئة التربة. ومع ذلك، ركزت النباتات بشكل أكبر على تجنيد الفطريات مقارنة بالميكروبات الأخرى. صرح الباحث Ji باهتمام الباحثين وتركيزهم على تحليل المورثات التي تؤدي دوراً في التأثير على الميكروبيوم موضحاً بأن الدنا التابع الدقيق لا يمثل الجينوم بأكمله وليس له وظيفة بيولوجية معروفة؛ لذلك سيكون من الرائع لو تمكن فريق العمل من سلسلة جينوم النبات Miscanthus بأكمله مما سيساعد في معرفة كيفية تأثير المورثات على تثبيت النتروجين حيث تعتمد تربية المحاصيل إلى حد كبير على العائد. ومع ذلك، هناك حاجة إلى إلقاء نظرة أعمق تساعد على فهم كيفية مساهمة الميكروبات في استدامة المحاصيل الزراعية. كما أشار الباحث إلى أن جاذبية العمل مع النباتات البرية تكمن في وجود تنوع وراثي كبير يجب النظر فيه بإمعان. صرحت الباحثة Kent بأنه يمكن تحديد المتغيرات المفيدة في تجنيد الميكروبات المثبتة للنتروجين لأنه عندها فقط سنتمكن من استخدام كمية أقل من الأسمدة لتنمية هذه المحاصيل. إنه احتمال مثير وقد بدأ فريق العمل في أمثلته لتطبيقه على نباتات الطاقة الحيوية.

*ترجمة: **د. أنطونيوس الداود**، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرية السورية.*

Genetics of host plants determine what microorganisms they attract
https://phys.org/news/2023-12-genetics-host-microorganisms.html
https://www.eurekalert.org/news-releases/1029467

أمثلة الطباعة ثلاثية الأبعاد للبنى النانوية الفعّالة ضوئياً



أضحى بالإمكان نمذجة شكل البنى النانوية ثلاثية الأبعاد وقياسها وتحديد خصائصها الضوئية قبيل إنتاجها بدقة عالية وعلى أسطح متنوعة، فعلى مر عشرين عاماً كان بالإمكان تعديل الأسطح بواسطة الجسيمات النانوية بحيث تقوم بتركيز أو تقليب الضوء بالطريقة المرجوة أو قدح تفاعلات أخرى، وتستخدم البنى النانوية الفعّالة ضوئياً في الخلايا الشمسية والمحسّات البيولوجية أو الكيميائية على سبيل المثال.

وبغية توسيع مجال تطبيقات البنى النانوية الفعالة ضوئياً، عكف الباحثون في كل من مركز المجهرية الالكترونية والتحليل النانوي في الجامعة التقنية في غراز GUT ومركز غراز للمجهرية الإلكترونية ZFE في النمسا منذ أكثر من عشر سنوات على تصنيعها ليس وفق البنية المستوية فحسب بل وفق البنى المعقدة ثلاثية الأبعاد.

وقد حقق فريق العمل الذي يقوده هارالد بلانك و فيرينا رايسيكر و ديفيد كونس اختراقين في هذا المجال، حيث أصبح بالإمكان إجراء نمذجة دقيقة لأشكال البنى النانوية وأحجامها بغية الوصول للخصائص الضوئية المرجوة قبيل إنتاجها بدقة، كما أنهم تمكنوا من الإزالة الكاملة للشوائب الكيميائية التي تنشأ خلال الإنتاج دون التأثير سلبياً على البنى النانوية المصنعة.

● عدم ضرورة اتباع إجرائية التجربة والخطأ

إلى هذا الوقت كان تصنيع بنى نانوية بخصائص ضوئية محددة يتطلب اتباع آلية التجربة والخطأ التي تستغرق وقتاً طويلاً، ونتيجة لهذين الاختراقين فإن هذه الآلية لم تعد ضرورية. وكما يشرح هارالد بلانك فإنه قد سجل انسجاماً كبيراً جداً بين النمذجات والتجاوبات البلازمونية لعدد من البنى النانوية، ثم يستطرد بالقول: «إنها خطوة كبيرة للأمام ونشعر بأن العمل الشاق خلال السنوات الفائتة قد آتى بثماره».

وتعد هذه التقانة هي الوحيدة في العالم التي يمكن اللجوء إليها لإنتاج بنى نانوية ثلاثية الأبعاد بخصائص فردية وبقياس 10 نانومتر على أي سطح ضمن بيئة متحكم بها. وللمقارنة، فإن أبعاد أصغر الفيروسات هي من مرتبة 20 نانومتراً.

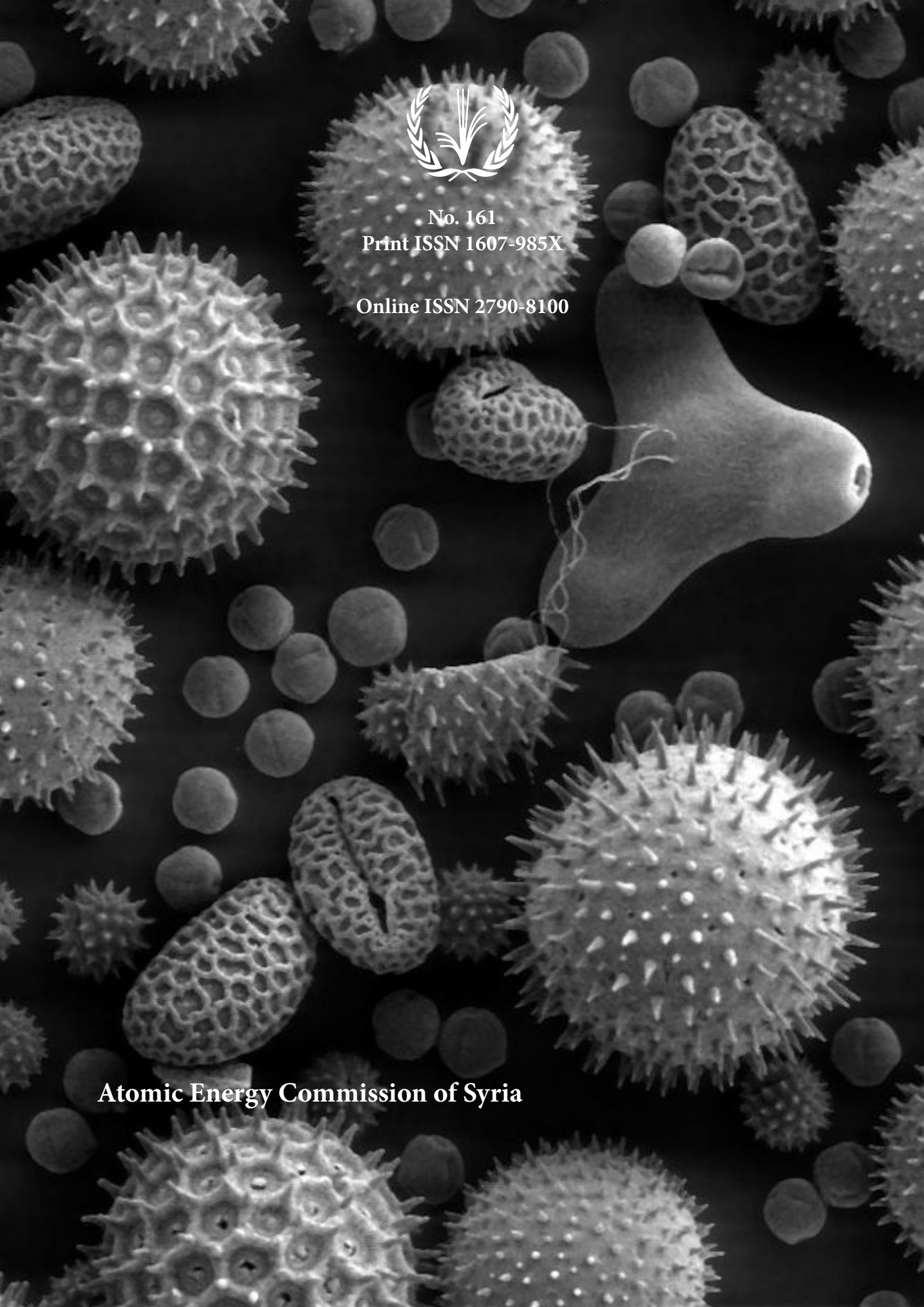
ويشرح هارالد بلانك بأنه من أكبر التحديات في السنوات المنصرمة كان تحويل البنية ثلاثية الأبعاد إلى مواد عالية النقاوة دون تحطيم تشكلها. وستفتح هذه القفزة الأفق لأفعال ضوئية ومفاهيم تطبيقات جديدة بالنظر للطبيعة ثلاثية الأبعاد. وقد أصبحنا أقرب لتصنيع المسبارات النانوية أو الملاقط الضوئية ذات الأبعاد النانوية.

● التحكم الدقيق بالحزمة الإلكترونية

يستخدم العلماء التوضعات المحدثة بحزمة إلكترونية متمركزة في بؤرة لإنتاج البنى النانوية؛ حيث يعرّض السطح لغازات محددة ضمن شروط الخلاء، وتقوم حزمة إلكترونية دقيقة التمحرق بشطر جزيئات الغاز مما يقود لتغيير حالة جزء منها من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة والتصاقها بالموضع المحدد على السطح. ويمكن من خلال التحكم الدقيق بحركة الحزمة الإلكترونية وأزمنة التعرض إنتاج بنى نانوية معقدة بخطوة واحدة وفق مكونات صفيحية أو شبكية، ويقود توضع هذه الحجوم النانوية فوق بعضها لتركيب بنى نانوية ثلاثية الأبعاد.

ترجمة: د. عماد خضير، قسم الخدمات العلمية، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Researchers optimize 3D printing of optically active nanostructures 17. 1.2024
https://phys.org/news/2024-01-optimize-3d-optically-nanostructures.html



No. 161
Print ISSN 1607-985X

Online ISSN 2790-8100

Atomic Energy Commission of Syria