عالم الذرّة

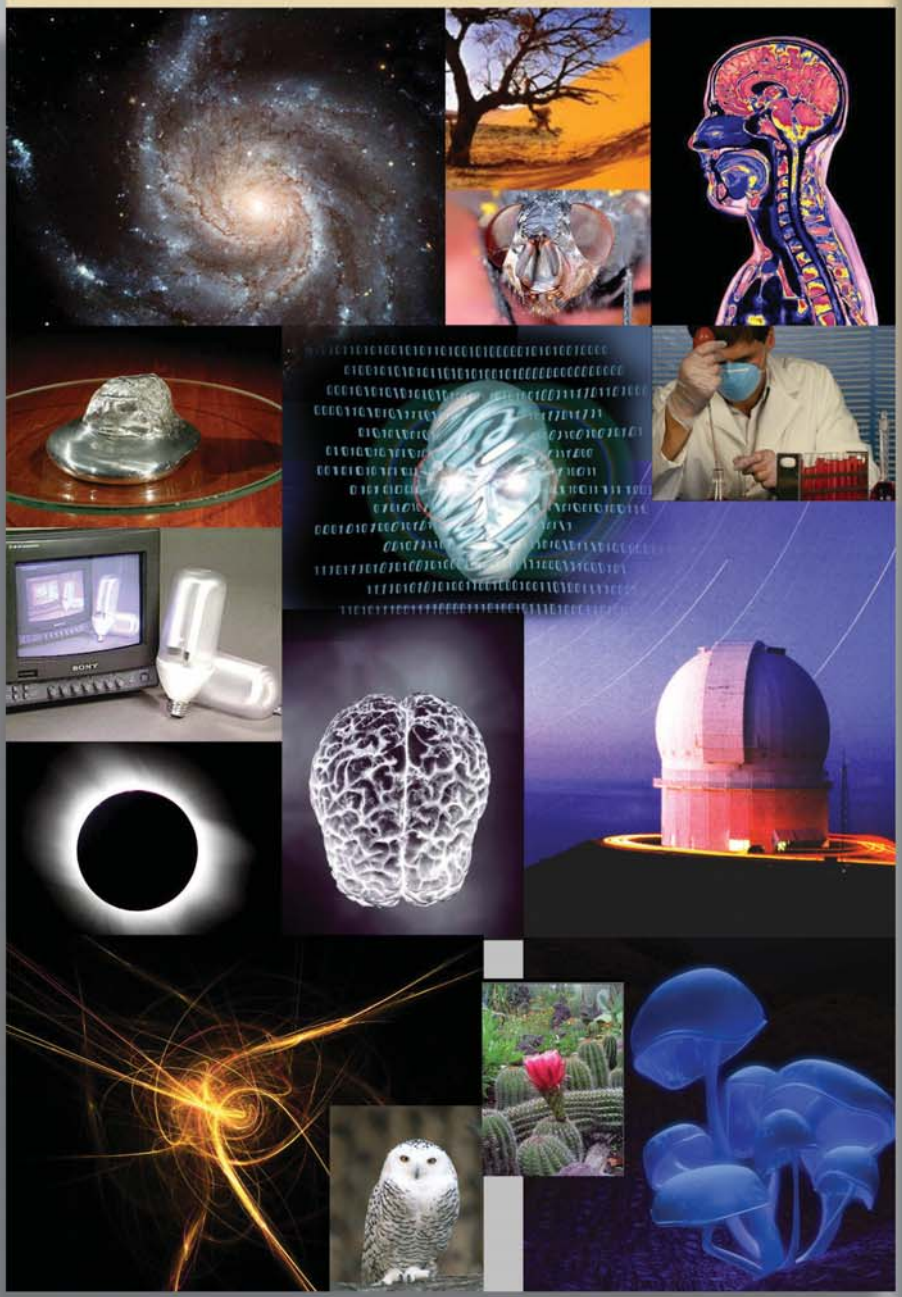
مجلة هيئة الطاقة الذرّية السورية

NO. 128

مجلة عالم الذرّة

مجلة دورية تصدر ست مرات في السنة عن هيئة الطاقة الذرّية في الجمهورية العربية السورية.

وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين الذرّي والنووي، وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.



المدير المسؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

(رئاسة هيئة التحرير)

أ. د. عادل حرفوش

أ. د. محمد قعقع

(الأعضاء)

أ. د. أحمد حاج سعيد

أ. د. مصطفى حمو ليلا

أ. د. نجم الدين شرابي

أ. د. فوزي عوض

أ. د. فواز كردعلي

أ. د. توفيق ياسين

المحتويات

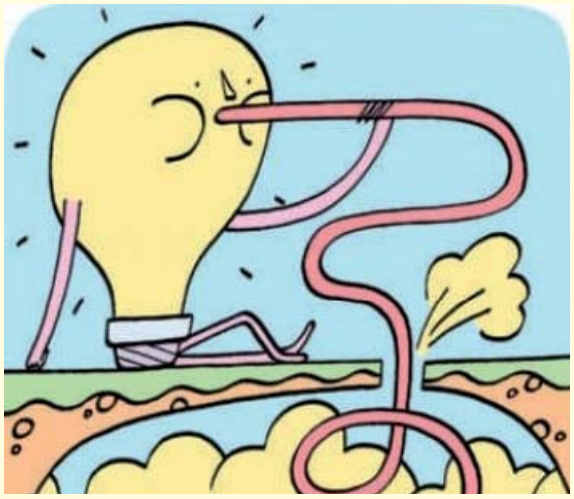
مقالات

7 اكتشاف العقار والمنتجات الطبيعية: نهاية عصر أم نهاية حدود؟

ج. س. فيدراس وآخرون

13 هل البشرية مقبلة على تغير بيئي خطير؟

إن تحديد الحدود الكوكبية وقياسها الكمّي التي يجوز تجاوزها ربما يمنع النشاطات البشرية من التسبب بتغير بيئي غير مقبول، هذا ما يناقشه جون روكستروم Johan Rokstrom وزملاؤه.



ج. روكستروم

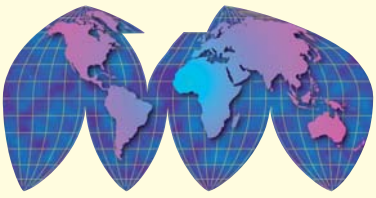
18 معضلة خزن الطاقة

ليست الطاقة المتجددة اختياراً قابلاً للعيش والتطور ما لم يصبح بالإمكان خزن الطاقة على نطاق واسع. ينظر ديفيد ليندلي David Lindley في خمس طرقٍ لفعل ذلك.

د. ليندلي

24 عالم مشبوك

م. بوخانن



أخبار علمية

29 كسر الروابط كربون-كربون

30 أسرار انتقال الحُجرة

33 ضوء من الظلام

35 ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X تزداد سرعة

38 اليابان تخطط لتوسيع القدرة النووية

40 المولبيدينوم

45 إعادة قابلية تشكيل الغروانيات

47 صراع عالمي على العناصر الترابية النادرة

إطلالة علمية

51 ظاهرة الحوادث الخطيرة في المفاعلات النووية العاملة بالماء المضغوط

أعمال الباحثين في هيئة الطاقة الذرّية السورية،
نشرت هنا كما وردت من مكتب الأمانة العلمية في الهيئة

ملخصات ورقات البحوث

64 الوفرة الطبيعية لنظيري الآزوت ^{15}N والكربون ^{13}C كمؤشرين على النمو وتثبيت الآزوت الجوي في نبات العدس المغذى بالبوتاسيوم والمعرض لإجهاد رطوبي

64 تأثير درجة الحرارة في وسائط الخلايا الشمسية من النوع pin المحتوية على طبقات ذاتية من السيليسيوم المتعدد الأشكال والسيليسيوم المكروبلوري ذي المحتوى الحجمي الخفيف

65 الخواص الاهتزازية والبنيوية لأوكسي هاليدات الفاناديوم

65 مقارنة التقنيات النووية مع التقنيات المعتمدة على الوسعية الكهربائية في قياس ماء الترب المتأثرة بالملوحة

66 تشخيص ومعالجة في بلازما SF_6 الراديوية RF البعيدة من أجل تنميش السليكون

66 سلوك الخفض الضوئي للفلرين C_{60} المطعم في بوليمير "إيتلين بروبلين دين بولي ميتلين"

67 تجارب عددية حول إصدارات الأشعة السينية اللينة للأكسجين من البلازما المحرقية المنخفضة الطاقة باستخدام نموذج لي

67 البلمرة الإشعاعية لبوتيل أكريلات من أجل استعادة المذيبات العضوية

ملخصات تقارير علمية

68 الكشف المبكر عن سرطان البروستات في بعض مناطق القطر العربي السوري بمعايرة الواسمة الورمية PSA (T.F)

68 التوصيف الوراثي لأنماط الفطر secalis Rhynchosporium المرض للشعير في سورية

69 تطوير برنامج حساب الرواتب والأجور للعاملين في هيئة الطاقة الذرية

69 تصنيع ذراع مناولة خاص بالخلايا الحارة ذي فكين متوازيين

69 نظام معلومات تقييم أداء العاملين العلميين في الهيئة

70 جهاز مسح إشعاعي رقمي محمول منخفض استهلاك القدرة باستخدام المعالج التحكمي MSP430F1222

71 مشاكل التآكل في محطات تحلية المياه

71 تأثير بعض الخصائص الفيزيائية للتربة على قدرتها بالاحتفاظ بالماء ومعايرة جهاز التشتت النتروني وحركة الأملاح فيها

إرشادات منشودة إلى المشاركين في المجلة

حول علامات الترقيم وبعض الحالات الأخرى عند كتابة النصوص باستخدام الحاسوب

بقلم 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 [3]"، يتضح الإرباك الذي قد يقع فيه القارئ نتيجة ترك فراغ مفروض من الحاسوب بين الرقم 3 والقوس النهائي دونما قصد من جانب المنضد.

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

البند الأول

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- مثال: أين ذهبت المادة المضادة بكاملها؟

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

- مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

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

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

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

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

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 161-154.

الأقواس {...} [...] (...): عند كتابة أي من هذه الأقواس يُترَك فراغٍ 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.

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.

2- يُكتب على ورقة مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة أسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف أو المترجم كتابة اسمه كاملاً، باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.

3- يُقدم المؤلف (أو المترجم) في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاحية " Key Words" (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعاتها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز خمس عبارات باللغة الإنكليزية وترجمتها بالعربية.

4- إذا سبق نشر هذا المقال أو البحث في مجلة أجنبية، ترسل الترجمة مع صورة واضحة عن هذه المادة المنشورة ويستحسن إرسال نسخة الأصل المطبوع والأشكال (الرسوم) الأصلية إن وجدت، ولو على سبيل الإعارة.

5- إذا كانت المادة مؤلفة أو مجمعة من مصادر عدة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول " تأليف، جمع، إعداد، مراجعة " وترفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.

6- إذا تضمنت المادة صوراً أو أشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة "4") مرقمة حسب أماكن ورودها.

7- يُرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية الذي تم نشره في أعداد المجلة (2-18).

8- تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أو غير كامل وتستعمل في النص المؤلف أو المترجم الأرقام العربية (1، 2، 3) أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار وإذا وردت في نص معادلة أو قانون أحرف أجنبية وأرقام نكتب المعادلة أو القانون كما هي في الأصل الأجنبي.

9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالة (*، +، X، ...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].

10- ترقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.

11- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.

12- تخضع مادة النشر للتقييم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.

13- يمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

الجمهورية العربية السورية- هيئة الطاقة الذرّية - مكتب الترجمة والتأليف والنشر - دمشق : ص.ب : 6091

هاتف 6111926-11(963+) فاكس 6112289-11(963+)

E-mail: tapo@aec.org.sy

ISSN 1607-985X

رسوم الاشتراك السنوي

-يمكن للمشتركين من خارج القطر إرسال رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري - فرع رقم 13- مزة جبل- دمشق- ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012 أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية.

-يمكن للمشتركين من داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:

مجلة عالم الذرّة-مكتب الترجمة والتأليف والنشر-هيئة الطاقة الذرّية السورية-دمشق- ص.ب:6091 مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل.

أو يدفع رسم الاشتراك مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة: دمشق-شارع 17نيسان

-رسم الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س. للأفراد (300) ل.س. للمؤسسات (1000) ل.س.

-رسم الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً. للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً.

سعر العدد الواحد

سوريا : 50 ل.س مصـر : 3 جنيهات لبـنان : 3000ل.ل الجزائر : 100 دينار

الأردن : 2 دينار السعودية : 10 ريالات وفي البلدان الأخرى : 6 دولارات

الإعلانات

تود مجلة عالم الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها، للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية يرجى الكتابة إلينا أو الاتصال بنا وفق العنوان الوارد أعلاه.

يُسمح بالنسخ والنقل عن هذه المجلة للاستخدام الشخصي بشرط الإشارة إلى المرجع، أما النسخ والنقل لأهداف تجارية فغير مسموح به إلا بموافقة خطية مسبقة من الهيئة.

اكتشاف العقار والمنتجات الطبيعية:
نهاية عصر أم نهاية حدود؟

الكلمات المفتاحية: منتجات طبيعية، مواد مرشحة، مضاد بتيدي، مصادر حيوية، اصطفاء ، مكتبات الاصطناع الكيميائي.

منذ حوالي مئتي سنة تمكّن صيدلاني مبتدئ وهو فريدريك سرتومر Fricdrich Scrtumer البالغ من العمر واحداً وعشرين عاماً من عزل أوّل مركّب نقي فعّال دوائياً من النباتات: وهو مركّب المورفين من الأفيون الذي تنتجه محفظة بذور نبات الخشخاش Papaver Somniferum. أطلق هذا الإنجاز عصراً أمكن فيه استخلاص العقاقير من النبات وتنقيتها ودراستها، والتحكم بجرعات دقيقة منها لا تتغيّر تبعاً لمصدر المادة أو عمرها. توسّع البحث الصيدلاني بعد الحرب العالمية الثانية ليتضمن مسحاً واسعاً للكائنات الحية المجهرية بهدف الحصول على مضادات حيوية جديدة بعد أن اكتُشف البنسلين. وبحلول العام 1990 كان ما يقارب 80% من العقاقير إما منتجات طبيعية أو مشابهات مستوحاة منها. أدى إنتاج المواد الجديدة إلى إحداث ثورة في عالم الدواء، ونذكر منها: المضادات الحيوية (مثل البنسلين penicillin، والتتراسكلين tetracycline، والإيريترومايسين erythromycin)، ومضادات الطفيليات (الأفيرميستين avermectin)، ومضادات الملاريا (الكينين quinine، الأرتيميزينين artemisinin)، وعوامل التحكّم بالشحوم (اللوفاستاتين lovastatin ونظائره) والعقاقير المضادة للسرطان (التاكسول taxol، الدوكسوروبيسين doxorubicin)، ومثبطات المناعة عند نقل الأعضاء (السيكلوسبورين cyclosporine، والرابامايسين rapamycins). وارتفع معدل الأعمار في كثير من مناطق العالم من 40 سنة في بداية القرن العشرين إلى أكثر من 77 سنة في يومنا الحاضر. وبالرغم من أن توسع كيمياء الاصطناع الدوائي قد أدى إلى انخفاض نسبة العقاقير المعتمدة على المنتجات الطبيعية إلى ما يقارب 50%، فقد تمّت المصادقة بين عامي 2005-2007 في الولايات المتحدة على 13 عقاراً مشتقاً من المنتجات الطبيعية، وأصبحت خمسة من هذه العقاقير في المصاف الأولى من أصناف العقاقير الجديدة.

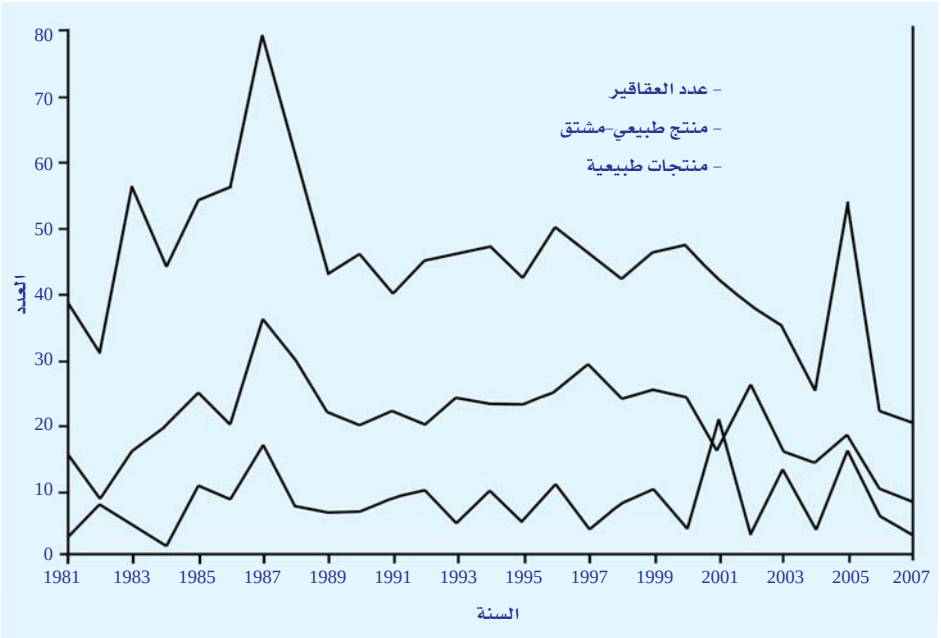
من المتوقع أن يكون تحديد هوية مستقلبات جديدة في الكائنات الحية نواة لجهود الاكتشافات الصيدلانية. رغم ذلك، فقد تخلصت العديد من الشركات الصيدلانية من أبحاثها حول المنتجات الطبيعية في العقد الماضي. وبالرغم من وجود 100 عقار مرتكز على المنتجات الطبيعية قيد الدراسات السريرية، إلا أن هذا يمثل انخفاضاً بحوالي 30% بين العامين 2001 و2008، فهل انتهى عهد اكتشاف العقاقير الجديدة من المصادر الطبيعية؟

ما هي التحديات التي يواجهها اكتشاف العقاقير من المصادر الطبيعية؟

يمكن تقسيم معظم المصاعب الراهنة إلى فئتين: سيادة مشابهات العقار في المصانع الصيدلانية، ومحدودية التقانة في تحديد هوية مركّبات جديدة ذات فعالية مرغوبة.

البيئة الصيدلانية: أدى تنامي رقم المبيعات السنوية التي نعمت بها شركات الأدوية قبل حوالي عشرة أعوام إلى توقع عالٍ وغير موضوعي من قبل المساهمين الماليين وإلى ضغط كبير من أجل إنتاج دعايات ترويج للعقاقير وبتكلفة تزيد على بليون دولار للترويج سنوياً. قليلة هي العقاقير التي حقّقت أرباحاً في مبيعاتها. فعلى سبيل المثال، حقّقت ثمانية منتجات 58% من المبيعات السنوية لشركة بفايزر Pfizer's وهذا يقدر بـ 44 بليون دولار في العام 2007. وعندما تفقد مثل هذه العقاقير حقوق براءة التسجيل يمكن لمبيعاتها أن تنخفض إلى 80%. وسوف تفقد سوق العقاقير في الولايات المتحدة 25% من حقوق براءة التسجيل خلال 4 سنوات، وهذا سيخفّض أكثر من 63 بليون دولار من المدخول السنوي للمصانع الصيدلانية بحلول العام 2014. تغطي منافسة مصنّعي الأدوية، الذين لا يعملون في اكتشاف الأدوية، 67% من الوصفات

■ نُشر هذا المقال في مجلة Science, Vol 325, 10 July 2009، ترجمة هيئة الطاقة الذرية.



الشكل 1: عدد العقاقير المصدّق عليها في الولايات المتحدة من عام 1981 إلى عام 2007

الطبية في الولايات المتحدة، ويلقى ذلك تشجيعاً من منظمات الصحة لخفض التكاليف.

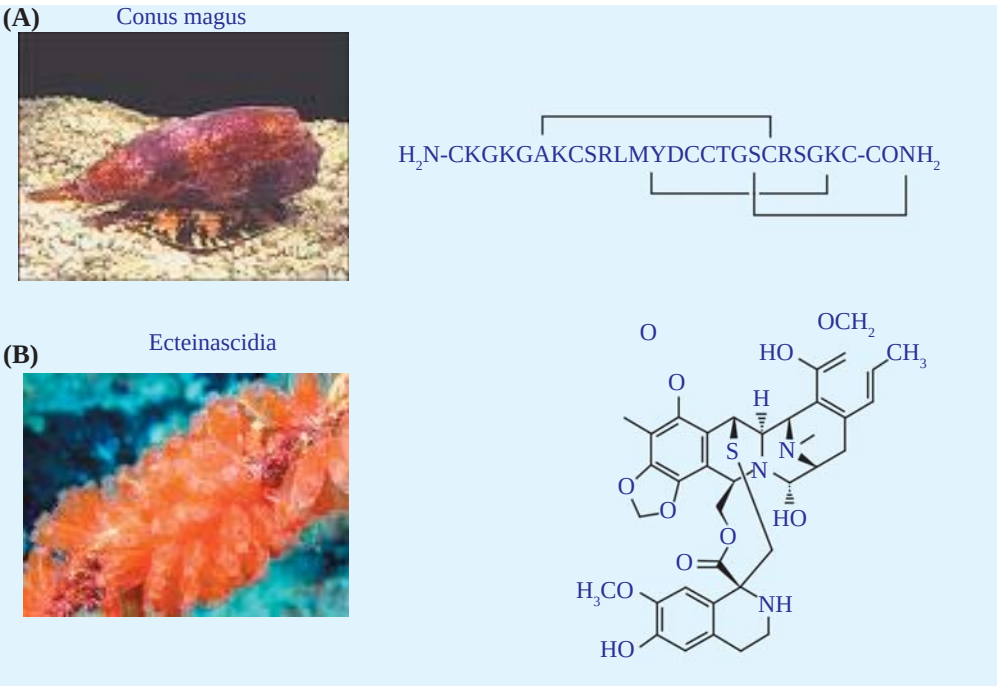
إن وجهة النظر المالية للشركات العاملة على اكتشاف العقاقير تشير إلى وجود معوقات إضافية متمثّلة في الدعاوى القضائية، وتكاليف التسويق المنافس، وزيادة المطالبات بالأمان من قبل الهيئات العامة والهيئات النظامية مثل إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية U.S. Food and Drug Administration (FDA). بلغت الموافقات التي منحتها الـ FDA للعقاقير الجديدة عام 2007 نسبة أقلّ مما كانت قبل 24 سنة، كما رفضت هذه الإدارة كافة العقاقير التي تمّت الموافقة عليها في أوربة. فمثلاً بالنسبة للتكاليف القانونية، توجّب على شركة ميرك Merck أن تدفع 970 مليون دولار كنفقات قانونية في العام 2007 تطلّبها سحب العقار المضاد للالتهاب (Vioxx) بسبب تزايد خطره في النوبات القلبية والسكتات الدماغية، وأن تدفع 4.85 بليون دولار تكاليف الدعاوى القانونية الأمريكية. كانت إحدى المقاربات التي تعاملت مع مسألة التكاليف المرتفعة، وتضاؤل خطوط إنتاج الأدوية الجديدة هي شراء الشركات من قبل شركات أخرى مقتدرة. ومن الأمثلة الحاضرة شراء شركة Wyeth من قبل شركة بفايزر Pfizer مقابل 68 بليون دولار وحيازة ميرك Merck على Schering-Plough مقابل 41 بليون دولار. لقد أثّرت كلّ هذه المعوقات على مسار اكتشاف الأدوية، فالشركات العاملة في مجال اكتشاف الأدوية يتوجب عليها أن تصل إلى الهدف ليس بشكل صحيح ودقيق فحسب بل وبسرعة كبيرة وبربح أيضاً. بأي حال، فإنه ومن أجل الأسباب الموجزة لاحقاً، تُعدُّ مصادر المنتجات الطبيعية مصادر غير سهلة الانقياد لاصطفاء ومعالجة عالية السرعة في الوصول إلى الفعالية المرغوبة كعقاقير. إضافة إلى ذلك، وبعكس ما تظهره المعطيات في مكتبات الاصطناع، فإن الاكتشافات الناجحة من المصادر الطبيعية تظهر بنى معقدة تحتوي مكوّنات عديدة تتضمّن الأكسجين وتتضمن وفرة في المراكز الفراغية. إن ذلك يبطئ من عملية تحديد الهوية ويساهم في المشاكل المتعلقة بالتزوّد والتصنيع.

الصعوبات في اكتشاف المواد المرشحة لتكون عقاراً من منتج طبيعي: تاريخياً، كان انتقاء المواد ذات الفعالية يتم بيسر. ولو أخذنا بالاعتبار فقط مستقلبات الـ polyketide (وهي مستقلبات ثانوية تحدث في البكتريا والفطور والنباتات والحيوانات)، فقد أدت أكثر من 7000 بنية معروفة إلى ما يزيد على عشرين عقاراً تجارياً وذلك بمعدل نجاح يبلغ 0.3%، وهو أفضل من معدل النجاح في استخدام معطيات مكتبات الاصطناع الكيميائي ذي القيمة الأقل من 0.001%. ورغم تبخّر الآمال المعقودة على مكتبات كيمياء تشاركية للمركّبات ذات البنى المتعددة، فإن جهود الاكتشاف الصيدلاني حالياً ترجّح المسح السريع للمكتبات الضخمة فيما يخصّ المركّبات الاصطناعية النقيّة. المردود قليل جداً، ولكن يمكن الوصول عادة إلى أعمال ناجحة وقابلة للتعديل بوساطة كيمياء بسيطة. كما أنه يمكن بسهولة مسح مكتبات المركّبات النقية الموجودة بكميات معروفة، ويتبع ذلك الرغبة في فحص عدد كبير من الجزيئات.

يبدي المسح السريع للمصادر الطبيعية أيضاً تنوعاً في الصعوبات. فمنها مشاكل في إذن الدخول والتزوّد، وبخاصة منها ما يتعلق بالنباتات والعضويات البحرية النادرة المرتبطة بملكية فكرية تتعلق بالحكومات المحلية واتفاقية ريو للتنوع الحيوي (Rio Convention on Biodiversity). كما أن الاختلافات الموسمية والبيئية في تشكّل العضويات الحية يمكن أن تتسبّب بمشاكل في

الكشف الأولي عن المركّبات الفعّالة والتكرارية في التحاليل أو عملية التنقية. إضافة إلى ذلك، فإن فقدان المصدر هو أمر محتمل: فمن المتوقع أن تكون معدلات الانقراض الحالية للأنواع الطبيعية للنباتات النادرة متجاوزة الحدّ الطبيعي بـ 100 إلى 1000 مرة. وهناك ما يقارب 15.000 من أصل 50.000 إلى 70.000 صنفاً نباتياً دوائياً مهدّدة بالانقراض. وحتى إذا كان التزوّد سهلاً ومضموناً، فإن الخلاصة الأولية للمادة الطبيعية تتألف عادة من مزيج معقد بعد الاستخلاص. فمن الممكن أن يكون هذا المزيج محتوياً على كميات صغيرة فقط من المادة الفعّالة حيوياً، وغالباً ما تتواجد هذه المادة على شكل مزيج من الجزيئات المتقاربة بنيوياً، ويمكن أن يكون التركيز الأولي من المركّب المطلوب منخفضاً جداً ويصعب الكشف عنه باستخدام الكشف السريع، أو قد يكون محجوباً نتيجة الذوبانية المنخفضة أو الفلورة الضعيفة أو الملوثات الملونة. وقد يكون المركّب الأساسي غير مستقر في المزيج. وربما يكون هناك تعقيد إضافي من خلال فعالية تشاركية (أو تضادية) بين مكونين مما يقود إلى انخفاض أو اختفاء هذه الفعالية عند الفصل. فعلى سبيل المثال، إن عدداً من ببتيدات مضادة للميكروبات يجب أن تفعل كمنظومة ثنائية التكوين لتقدّم فعالية كاملة. أخيراً، إن الوقت اللازم عادة لإتمام التوصيف البنيوي لمعرفة ما إذا كان الجزيء معروفاً أم لا يكون طويلاً.

إن الشعور السائد في العديد من المنظمات الصيدلانية هو أن مسح مصادر المنتجات الطبيعية مهمّة صعبة مع وجود احتمالية كبيرة للازدواجية، أي أن تكون النتيجة مركّباً معروفاً لا يمكن تسجيله كابتكار. من ناحية أخرى، إن أقلّ من 1% من أصناف العضويات الدقيقة يمكن استنباتها بسهولة، ومن المحتمل أن الفعالية الحيوية لأقل من 15% من أنواع النباتات قد اختُبرت. تمّ استهداف بعض الحشرات وحيوانات أخرى لكشف فعاليات حيوية نوعية مثل التوكسينات، ولكنها لم تخضع لكشف سريع وكامل. من الواضح أن المصدر الحيوي موجود ولكن السماح بالوصول إليه ودراسته هي أمور تنطوي على مشاكل، وبخاصة إذا كان برنامج كشف البنى الجديدة قصيراً ومضغوطاً.



الشكل 2: المصادر البحرية للعقاقير. (A) مركب الزيكونوتايد من الكائن الحي Conus. اختصارات الحموض الأمينية: A ألانين؛ C سيتوزين؛ D أسبلوجين؛ G الغليسين؛ K الليستين؛ L اللوسين؛ M ميتيونين؛ R الأرجنين؛ S السيرين؛ T التيامين؛ Y تيروزين. **(B)** مركب الترابيستيدين من الكائن الحي Ecteinascidia turbinata.

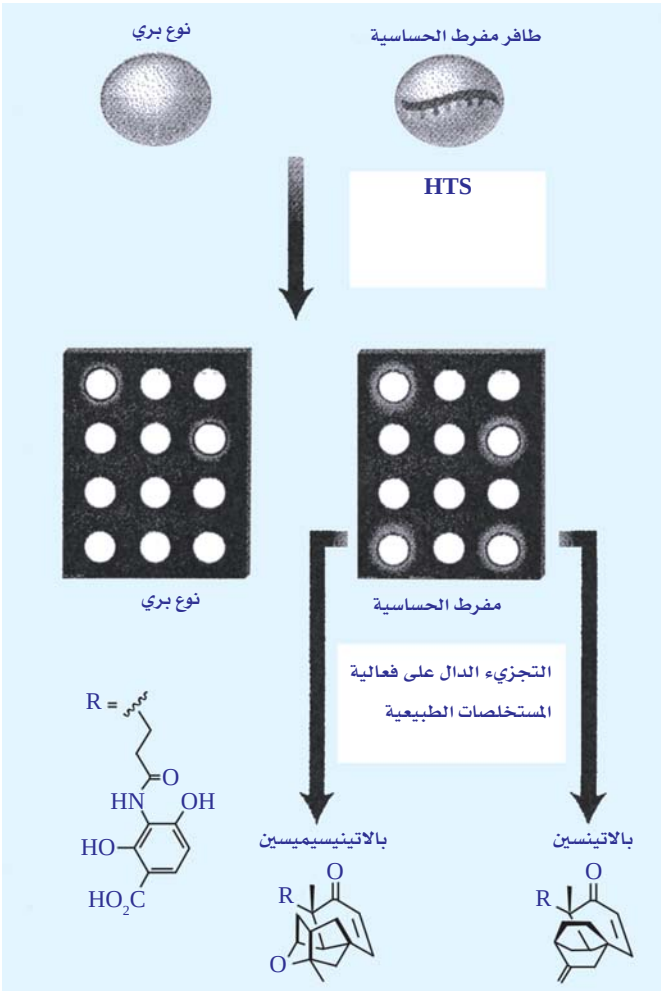
ما هي الأدوات الضرورية لتعزيز وتسريع كشف العقار من المصادر الطبيعية؟

يمكن أن نأخذ بعين الاعتبار أطواراً متداخلة ومتعددة لاستكشاف المصادر الطبيعية: نوجزها بالوصول إلى المصدر الحيوي والمسح الدقيق لهذا المصدر لاكتشاف موقع فعّال، وتحليل بنية المركّب الرئيسي، وتوليد المشابهات للحصول على فعالية مثلى، وإنتاج العقار المطلوب.

المصادر الحيوية: كانت المصادر الرئيسية لاكتشاف العقاقير عادة هي بكتريا التربة (بشكل خاص فطور أكتينومايستس actinomycetes –وهي تجمُّع غير متجانس من البكتريا التي تشكّل عائلات متشعبة) والفطور والنباتات النادرة. وبوتيرة متزايدة، تخلّت شركات الأدوية عن مسح العضويات الدقيقة بعد عام 1990، وذلك نتيجة لنقص معدلات النجاح. توجد المضادات الحيوية الشائعة

مثل الستربتوميسين streptomycin بنسبة تقارب ~1% من فطور أكتينومايستس وتظهر فعالية في المسح؛ تحجب هذه الفعالية مضادات جرثومية جديدة مهمّة، والتي قد تنتج بتواتر أقل من 1 من 10 ملايين عملية تخمّر. والحلّ الذي تم اقتراحه من قبل الصيادلة المتخصصين هو أن تتم زيادة عدد التخمّرات (إلى عدة ملايين في السنة) في حين يتم تصغير قياساتها باستخدام كريات ألجينات الكالسيوم كحاضنات. ترتبط هذه المقاربة مع تحليل التوترات الهندسية للـ coli Escherichia التي تقاوم المضادات الحيوية المعروفة. وبالرغم من الوضع المُلّح لإيجاد مضادات حيوية جديدة فعّالة ضد الكائنات الحية المهدِّدة للحياة والمقاومة للعلاجات الحالية، إلا أن العديد من الشركات الصيدلانية لا تطور مثل هذه العقاقير. إن الفترة القصيرة للمعالجة بالمضادات الحيوية قد حدَّت من المبيعات والإمكانات الإعلانية لها، قياساً إلى عقاقير أخرى، مثل خافضات الكولسترول أو عوامل فرط ضغط الدم الشرياني المستهلكة بشكل يومي ولفترات زمنية طويلة والتي تسكّن وتخفّف من أعراض المرض أكثر مما تحسّن معالجته. وبالرغم من ذلك، فإن تحسين التكاليف وتطوير متطلبات معايير السلامة والآثار الجانبية متماثلة لكلٍّ من المضادات الحيوية والعقاقير الطويلة الأجل.

بالرغم من أن النباتات تبقى المصدر الرئيس للعقاقير الجديدة، مع وجود 91 مركّباً قيد الدراسة السريرية في نهاية العام 2007، فقد تمّت دراسة السيانوبكتريا cyanobacteria (وهي بكتريا تستمد طاقتها من الاصطناع الضوئي) والكائنات الحية البحرية في العقود الأخيرة، وبخاصة من أجل المركّبات ذات السمّية العصبية والخلوية. تمّ في العام 2004 تحسين الـ Ziconotide، وهو عبارة عن ذيفان ببتيدي مأخوذ من الحلزونات المخروطية، وذلك لعلاج الألم المزمن الناتج عن تأذي العمود الفقري، كما تمّ في أوربة منذ عام 2007 تحسين الترابكتيدين Trabectedin القاتل للخلايا من أجل معالجة مرض سرطان النسج الرخوة المزمن. ويمكن أيضاً لكائنات دقيقة مفيدة أن توجد في بيئات بعيدة جداً كالأعماق السحيقة للبحار والفجوات البركانية الحارة أو البحيرات الملحية. نذكر هنا هذا المثال المغري، وهو تحديد هوية الهالودوراسين haloduracin (وهو مضاد حيوي ثنائي المكون يحتوي على مضاد ببتيدي) حُصل عليه من عصيات halodurans التي تنمو عند pH أعلى من 9. وهناك النيزين nisin A،وهو مضاد حيوي ببتيدي معروف يستخدم في حفظ الأغذية وفعّال جداً ضد بكتريا Gram positive المقاومة للمضادات الحيوية التقليدية. على أية حال، إن تثبيط الفعالية العلاجية للنيزين يعود لعدم ثباته في وسط الـ pH المعتدل أو فوق المعتدل. فسَّر فان دير دونك Van der Donk وشركاؤه أن المضادات الحيوية الثنائية المُكوِّن، يمكن أن تنتج من بكتريا تنمو في أوساط قلوية. وباستخدام البرمجة الحيوية وجدوا أن الهالودوراسين بإمكانه الاستمرار في مجالات الـ pH فوق قيمته في مصل الإنسان. وبالرغم من محدودية انحلالية الهالودوراسين، فهو يوفر أساساً لتطوير مضادات حيوية ثنائية المكوّن جديدة وذات فعاليات كبيرة.

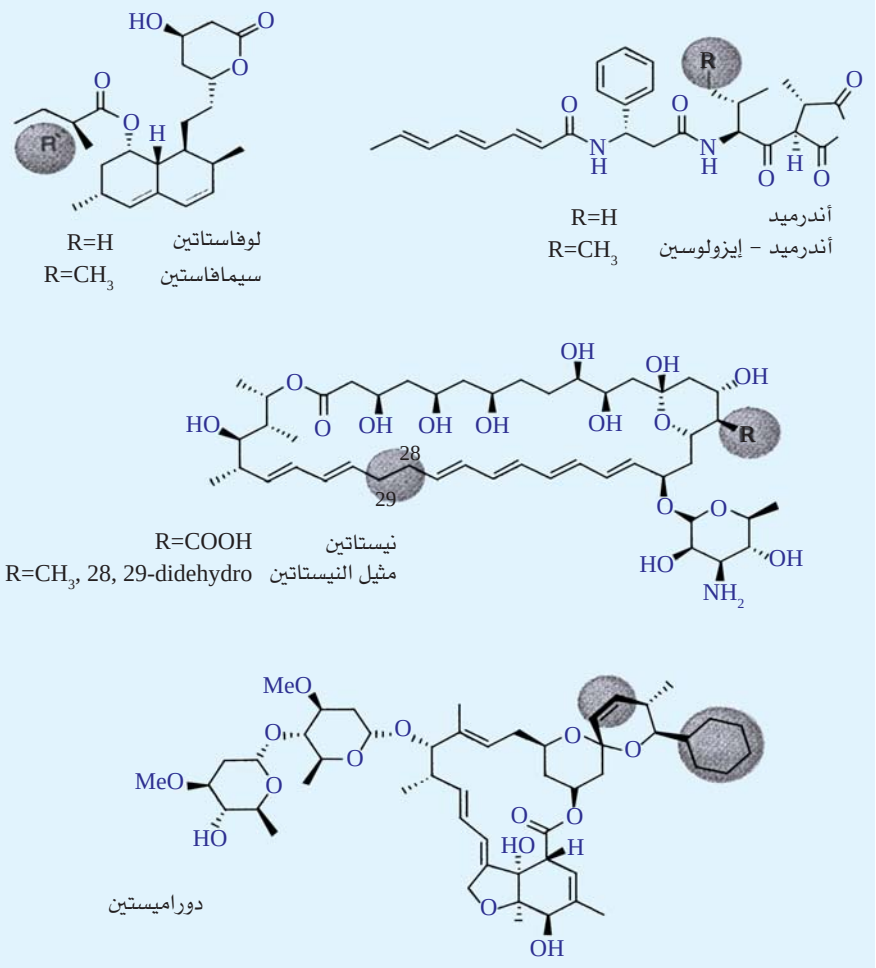


الشكل 3: الـ HTS باستخدام الانتشار التفاضلي لصفيحة الآغار ثنائية الخلية والكاملة الحساسية (اختبار البالاتينسيمسين platensimycin). تحدد هذه الطريقة هويتي مضادين حيويين جديدين هما البالاتينسيمسين platensimycin والبلاتينسين platencin.

لربما يظهر بشكل مبدئي أن هناك قليل من المواقع غير المستكشفة للبحث عن مصادر طبيعية للعقاقير، غير أن عدداً هائلاً من الأصناف قد بقي دون اختبار. هناك ادعاءات بأن أكثر من 99% من البكتريا لا يمكن استنباتها، وأنه يوجد في البيئات البحرية ما يقارب 3.7×10^{30} كائن مجهري والعديد منها يمكن أن يعطي منتجات طبيعية رائعة مرشّحة لتكون عقاقير.

الاصطفاء الملائم: من المنتظر نجاح المنتجات الطبيعية في تقديم بنى مميزة لاكتشاف العقار. يُدعِّم هذا الاقتراح حقيقة أن هناك عدداً محدوداً من الطيّات البروتينية المعروفة وأن المنتجات الطبيعية يجب أن تترابط مع بعض هذه الطيّات بهدف تصنيعها حيوياً ولتوافق وظيفتها الوراثية في إنتاج الكائنات الحية. لهذا السبب، يمكن للعديد منها أن يفضل بنيوياً الارتباط بأنزيمات أو بمستقبلات بروتينية. رغم ذلك، وكما ذكر أعلاه، إن التعقيد في الخلاصة الطبيعية الأولية يمكن أن يجعلها غير مفضلة لاصطفاء ملائم. والمقاربة المثالية للتغلب على هذه العقبة هي بالفصل المؤتمت لجميع المكونات في الكائن الحي إلى مركّبات منفردة، مترافقاً بتحديد وظيفي كامل يسبق عملية الاصطفاء. وبالرغم من أن هذا لم ينجز بعد، فإن إيرلاند Ireland وشركاءه قد أتمتوا في الفترة الأخيرة تجزئة المواد الطبيعية لمستخلص خام من مصادر بحرية بعد إزالة الملح متبوعاً بالكروماتوغرافيا السائلة العالية الأداء (HPLC) وذلك باستخدام أعمدة وحيدة الطبقة وعالية الفعالية. جرى ذلك من خلال ربط HPLC بمطياف كتلي، ومن ثم بالتجميع على لوحات اصطفاء ملائمة. تنتج هذه المعالجة عيّنات عالية النقاوة تتجمّع على 96 لوحة، ويتم ذلك بتكرارية للاصطفاء البدائي ومن ثم تتم أرشفتها.

تعيين بنية المركّبات الفعّالة: ساعد التقدم الذي حققته مطيافية الكتلة ومطيافية التجاوب المغنطيسي النووي المتعددة الأبعاد (NMR) في فهم بنية المركبات انطلاقاً من مقادير صغيرة من المادة. يقع شرح هاتين التقنيتين خارج سياق موضوعنا الحالي، غير أن ربط مطيافية الكتلة بتقانة فصلٍ تعتمد على الكروماتوغرافيا السائلة العالية الأداء (HPLC) وبغربلة سريعة للمعطيات المكتبية قد سرّع، وبوضوح، من إمكانية تحديد هوية المركبات المعروفة. وقد عززت الحساسات المبرَّدة Cryprobes في مطيافية الكتلة من حساسية التحاليل وقلّلت كمية المادة المطلوبة للتحليل. وبالنسبة للمركبات الخفيفة ذات الوزن الجزيئي الأقل من 200، يمكن تحليل 2 مكروغرام من المادة باستخدام الطيف البروتوني. ومن خلال مقارنة مواقع



الشكل 4: العقاقير المثيلة المنتجة عن طريق التعديل الحيوي للجينات، الدوائر المظللة تشير إلى المواقع في البنية المتبدلة. يدل الاختصار Me إلى الميتيل mathyl.

إشارات NMR مع قواعد بيانات المركبات المعروفة، يمكن أن يتم التعرف إلى بنى المركّبات المجهولة.

إنتاج المركّبات المطلوبة: تتمثّل المقاربة التقليدية للإنتاج الأمثل للأدوية من العضويات الدقيقة في التغيير والغربلة لتحسين السلالة، كما حدث في أربعينيات القرن الماضي من أجل البنسلين. فهذه المنهجية ضاعفت وبسهولة إنتاج العقاقير بما لا يقل عن مرتين أو ثلاث مرّات، وفي بعض الحالات أربع أو خمس مرّات. أما في وقتنا الحاضر، فهناك صعوبة بانتصار هذه المنهجية، غير أن المعالجات البيولوجية كانت أكثر نجاحاً في بعض الحالات. والمثال المهمّ هنا هو تحسين إنتاج الـ Dormectin، وهو عامل مضاد للطفيليات من عائلة الـ avermectin.

ما هي التوقعات المستقبلية لعقاقير المنتجات الطبيعية؟

مع الهيكلية الحالية للاصطفاء والمعالجة العالية السرعة في معظم المصانع الصيدلانية، ومع ازدياد التقييد الحكومي على مصادقات العقاقير، من الممكن أن يصبح عدد العقاقير الجديدة المشتقة من المنتجات الطبيعية معدوماً. غير أن ذلك سيكون مؤقتاً ريثما تتراكم الاكتشافات الجديدة. إن الوصول إلى سلسلة جينية سريعة ورخيصة من خلال طريقة السلسلة 454 أو من خلال طريقة الزمن الحقيقي للجزيء المعزول ستمكّن من الوصول إلى ما بعد التسلسل الجيني للعضويات غير القابلة للإنبات، كما أن ذلك سيغطي المسارات المغمورة في النباتات لتسمح بالوصول إلى مجموعة ضخمة من المنتجات الجديدة والحفازات البيولوجية، كما سيسمح ذلك بالحفاظ على الأصناف المهدّدة من خلال فهرسة الخرائط الوراثية لها، ويمكن أن يسمح بإعادة اكتشاف الكائنات الحية المنقرضة. ويُخمَّن أن العدد الإجمالي للأنواع الحية يتراوح بين مليونين و 100 مليون، ويقدّر أن 30 مليوناً منها هي من الحشرات. لذا، فإن عدد المنتجات المصطنعة بيولوجياً، وكذلك الأنزيمات الباقية قيد الدراسة هو عدد ضخم، كما يمكن للمنظومات الحيوية في نهاية المطاف أن ترسم خريطة الاستقلاب في معظم الأصناف. ويمكن لمكتبة التحولات الكيميائية الحيوية أن تكون أداة فعّالة لتصميم منتجات جديدة وتوليدها. وكما يخطّط كيميائيو الاصطناع حالياً لاصطناعات شاملة للمركّب المطلوب باستخدام كواشف مستقرة وتحولات معروفة، إذ إن بيولوجيي الاصطناع سيكونون قادرين على كشف منظومات واسعة من الأنزيمات لإنجاز جزيئات معقدة. كما يمكن للنشوء المباشر والتحول النوعي الجانبي أن يحسّن الفعالية المرغوبة. وكذلك فإن السلسَلَة السريعة للجين لدى أناس محدّدين ستعزّز تطوير دواء ذي طابع شخصي، أي إن استعمال تسلسل خاص للـ DNA كأساس لاختيار عقار المعالجة، سيعزّز الآمال بمستويات عالية من الأمان عبر التنبؤ بالتأثيرات الجانبية وحسن الاختيار الصحيح لعقاقير المعالجة. وستسهّل تقانات جديدة لرسم الخرائط الجينية الاختبارات التشخيصية لتحديد أسباب المرض، بما في ذلك الأمراض المعدية. ويمكن أن يقلّل ذلك من الاستعمال المشوّش للمضادات الحيوية، وبالتالي يخفّض من تطور المقاومة البكتيرية لمثل هذه الأدوية. ولأجل تحقيق الجهد اللازم لسَلسَلَة جينية بارعة، فإن تطوير البرامج الطموحة يعتبر أمراً جوهرياً لتعبيرٍ غير متجانس عن الجينات في طرائق الاصطناع الحيوي الجديدة، إذ إن التعبير عن أنزيم مصنّع حيوياً يتطلب جهداً هائلاً. إن المشاكل المتعلقة باستعمال الكودون codon (وهو سلاسل من ثلاثة أسس متجاورة في سلسلة متعددة النوى من جزيء الدنا) وأمثلة (اصطناع الجين المطلوب) توضُّع البروتين وتعديله، وأمثلة سُمّية الاستقلاب في الكائنات الحية المُنتَجة تشكل جزءاً يسيراً من الصعوبات. غير أن الحلول ستشمل تعديلات في العضويات المستخدمة حتى الآن بشكلٍ واسعٍ. ولحسن الحظ، إن مثل هذه البرامج الطموحة ستتحقّق بدايةً في المخابر الأكاديمية قبل استخدامها في المصانع الصيدلانية.

المؤلفان: جون س فيدراس، وجيسي ش، يعملان في قسم الكيمياء، جامعة ألبرتا، كندا.

هل البشرية مقبلة على تغير بيئي خطير؟

إن تحديد الحدود الكوكبية وقياسها الكمّي التي يجوز تجاوزها ربما يمنع النشاطات البشرية من التسبب بتغير بيئي غير مقبول، هذا ما يناقشه جون روكستروم Johan Rokstrom وزملاؤه.

الكلمات المفتاحية: عصر هولوسيني، حدود كوكبية، عتبات فيزياحيوية، حيوية أرضية كيميائية، أنثى بوسيني.

ملخص

- منحى جديد مقترح لتعريف شروط مسبقة للتطور البشري
- إفساد بعض عتبات فيزياحيوية يمكن أن تكون له عواقب وخيمة على البشرية
- لقد تمَّ بالفعل تجاوز ثلاثة حدود كوكبية مترابطة من أصل تسعة.

رغم أن الكرة الأرضية قد خضعت للعديد من حقب التغير البيئي الهام، إلا أن بيئة هذا الكوكب بقيت ثابتة في عشرة آلاف سنة منصرمة. هذه الحقبة من الثبات –والمعروفة عند الجيولوجيين بالعصر الهولوسيني Holocene- قد واكبت الحضارات البشرية في نشأتها، وتطورها وازدهارها. ومنذ انبثاق الثورة الصناعية، ظهر عصر جديد، هو عصر الأنتروبوسين Anthropocene، الذي أصبحت فيه الأفعال البشرية المسيّر الأساسي للتغير البيئي العالمي. في هذا العصر يمكن أن نرى الأفعال البشرية وهي تدفع بنظام الأرض بعيداً عن حالة الاستقرار البيئي للعصر الهولوسيني، مع عواقب مؤذية أو حتى مأساوية (أو كارثية) بالنسبة لأجزاء كثيرة من العالم.

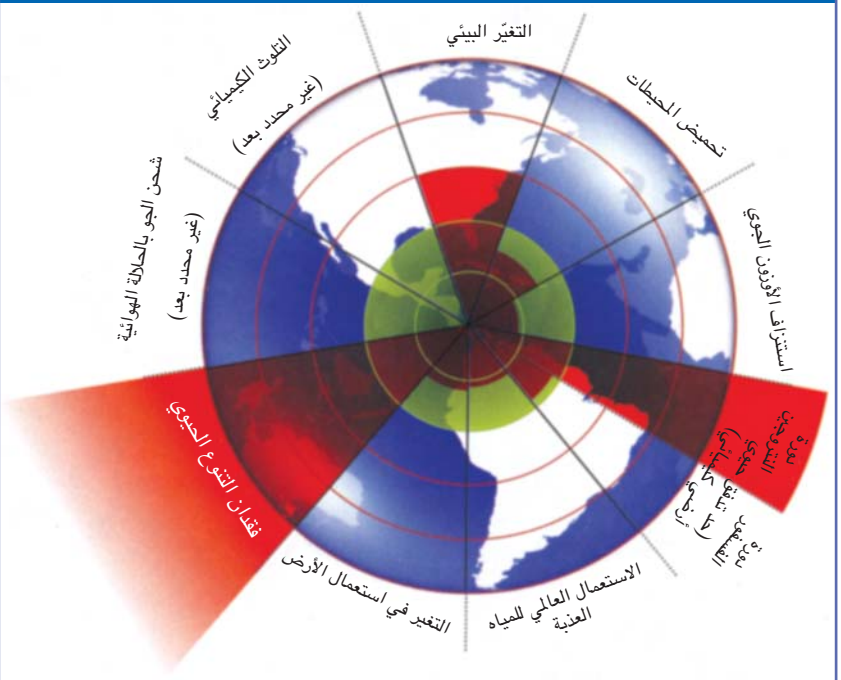
حافظت القدرة التنظيمية للأرض والتغير البيئي الذي حدث بصورة طبيعية، خلال العهد الهولوسيني، على الشروط التي مكنت من التطور البشري. بقيت درجات الحرارة النظامية، وتوفر المياه العذبة والتدفقات الحيوية الأرضية الكيميائية جميعها ضمن مجال ضيق نسبياً. بلغت الآن النشاطات البشرية مستوى يمكن معه وبشكل كبير الإضرار بالمنظومات التي تحفظ الأرض في حالة الهولوسين المرغوبة، وذلك نتيجة الاعتماد المتنامي بسرعة على أنواع الوقود الأحفوري والأشكال المصنعة للزراعة. قد تكون النتيجة لا رجعة فيها، وفي بعض الحالات، يؤدي التغير البيئي الفجائي إلى حالة يكون السعي فيها نحو التطور البشري ضعيفاً. ومن دون ضغط البشر، يتوقع أن يستمر العهد الهولوسيني آلافاً عديدة من السنين على الأقل.

الحدود الكوكبية

لمواجهة تحدي الحفاظ على حالة الهولوسين، نقترح هيكلية ترتكز على "الحدود الكوكبية" planetary boundaries. هذه الحدود تعرّف فسحة التشغيل الآمن للبشرية مع الأخذ بعين الاعتبار نظام الأرض كما أنها ترتبط بالعمليات أو المنظومات الثانوية الفيزياحيوية للأرض. ورغم أن المنظومات المعقدة للأرض تستجيب أحياناً وتدريجياً إلى ضغوط التغيير، فإنه يبدو أن هذا سيكون استثناءً أكثر منه قاعدة. تتفاعل منظومات ثانوية عديدة للأرض بشكل لاخطي، وغالباً بشكل فجائي، وتكون حساسة بشكل خاص حول مستويات العتبة لمتغيرات مفتاحية محددة. وإذا ما تقاطعت هذه العتبات، عندها ستتحول المنظومات الثانوية الهامة، كمنظومة الرياح الموسمية إلى حالة جديدة، وغالباً ما يترافق ذلك بأضرار أو من المحتمل بعواقب مشؤومة على البشرية.

نُشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol 461, 24 September 2009، ترجمة هيئة الطاقة الذرية.

الشكل 1: ما بعد الحد



يمثل التظليل الأخضر الداخلي فسحة التشغيل الآمن المقترح للمنظومات الحدية التسع. تمثل الأسافين الحمراء تقديراً للوضع الحالي لكل متغير. لقد تم بالفعل تجاوز الحدود في ثلاث منظومات (نسبة فقدان التنوع الحيوي، والتغير المناخي، والتدخل البشري في دورة النتروجين).

معظم هذه العتبات يمكن أن تعرّف بقيمة حرجة (critical value) لواحد أو أكثر من المتغيرات المضبوطة، كتركيز ثنائي أكسيد الكربون. ورغم أن الأفعال البشرية تقوّض مرونة مثل هذه العمليات أو المنظومات الثانوية –كتدهور الأراضي والمياه، على سبيل المثال– يمكن أن تزيد الخطر بأن يفسد أيضاً العتبات في عمليات أخرى، كما في النظام المناخي، إلا أنه ليس لكل العمليات أو المنظومات الثانوية عتبات معروفة بشكل جيد.

لقد حاولنا أن نعرّف عمليات نظام الأرض والعتبات المرتبطة بها، والتي إذا ما فسدت، قد تؤدي إلى تغير بيئي غير مقبول. ووجدنا تسعاً من مثل هذه العمليات التي لأجلها نعتقد بضرورة تعريف الحدود الكوكبية، وهي: تغير المناخ، ومعدل فقد التنوع الحيوي (البري والبحري)، والتدخل في دورتي النتروجين والفسفور، واستنزاف طبقة الأوزون الستراتوسفيرية، وتحميض المحيطات، واستعمال الماء العذب عالمياً، والتغيير في استعمال الأراضي، والتلوث الكيميائي، وإثقال (شحن) الغلاف الجوي بالحلالات الهوائية (انظر الشكل 1 والجدول).

الحدود الكوكبية في العموم هي قيم المتغيرات الضابطة التي إما أن تكون على مسافة آمنة من العتبات –وذلك بالنسبة لعمليات تترافق بدليل على سلوك العتبة– أو تكون عند سويات خطرة –بالنسبة لعمليات لا تترافق بدليل على سلوك العتبة. يتطلب تعيين المسافة الآمنة أحكاماً معيارية لكيفية اختيار المجتمعات طريقة تعاملها مع الخطر وعدم اليقين. لقد أخذنا بنهج محافظ بعيد عن الخطر لنعيّن حدودنا الكوكبية، آخذين في الحسبان الشكوكات الكبيرة المحيطة بالوضع الحقيقي للعديد من العتبات.

ستدنو البشرية قريباً من حدود استعمال المياه العذبة العالمية، والتغير في استعمال الأراضي، وتحميض المحيطات والتداخل في دورة الفسفور العالمية (انظر الشكل 1). يقترح تحليلنا أن ثلاث عمليات من عمليات نظام الأرض –وهي تغير المناخ، ومعدل فقدان التنوع الحيوي والتداخل في دورة النتروجين– قد تجاوزت حدودها بالفعل. والمتغيرات الضابطة للعمليتين الأخريين هي على التتالي معدل فقدان الأصناف ومعدل النتروجين المزال من الغلاف الجوي والمحوّل إلى نتروجين تفاعلي للاستعمال البشري. هذه معدلات تغير لا يمكن أن تستمر دون إضعاف واضح لمرونة المكونات الأساسية لعمل نظام الأرض. وهنا سنصف هذه العمليات الثلاث.

التغير المناخي

عُدَّ التغير المناخي الناتج من صنع الإنسان غير قابل للجدل الآن، وقد تم التشديد أثناء التحضير للمفاوضات المناخية في كوبنهاغن خلال كانون الأول/ديسمبر من هذا العام، على نقاشات عالمية بغية تحقيق أهداف لتلطيف المناخ. هناك تقارب متنام تجاه منحى يشكل حداً وقائياً هو درجتان مئويتان، أي ارتفاعاً في درجة الحرارة العالمية الوسطى بما لا يتجاوز درجتين عما هي عليه في المستوى ما قبل الصناعي.

يرتكز حدنا المناخي المقترح على عتبتين حرجتين تفصلان بشكل نوعي بين حالات مختلفة للنظام المناخي. ولهذا الحد المناخي مؤشران هما: تركيز ثنائي أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والتأثير الإشعاعي (معدل تغير الطاقة في واحدة المساحة من الكرة الأرضية كما تقاس عند قمة الغلاف الجوي). نقترح هنا أن التغييرات البشرية لتراكيز

الحدود الكوكبية				
القيمة ما قبل الصناعية	الوضع الحالي	الحد المقترح	مؤشرات أكسيد	عملية نظام الأرض
280	387	350	(i) تركيز ثنائي أكسيد الكربون في الجو (جزء بالمليون كحجم)	التغير البيئي
0	1.5	1	(ii) التغير في التأثير الإشعاعي (واط بالمتر المربع)	
0.1-1	>100	10	(iii) الانقراض (عدد الأصناف المنقرضة بالمليون صنف في السنة)	معدل فقدان التنوع الحيوي
0	121	35	كمية N_2 المزال من الغلاف الجوي للاستعمال البشري (ملايين الأطنان في السنة)	دورة النتروجين (جزء من حد يشكله مع دورة الفسفور)
~1	8.5-9.5	11	مقدار تدفق الفسفور في المحيطات (ملايين الأطنان في السنة)	دورة الفسفور (جزء من حد يشكله مع دورة النتروجين)
290	283	276	تركيز الأوزون (وحدة دوبسون	استنزاف الأوزون الجوي
3.44	2.90	2.75	حالة الإشباع العالمية الوسطية للأراغونيت في مياه البحر السطحية	تحميض المحيطات
415	2.600	4.000	استعمال المياه العذبة من قبل البشر (كم^3 في السنة)	استعمال المياه العذبة العالمية
منخفض	11.7	15	النسبة المئوية لغطاء اليابسة العالمي المتحول إلى أرض للمحاصيل	التغير في استعمال الأرض
لم يحدد بعد			إجمالي التراكيز جزيئية في الجو، على أساس إقليمي	شحن الجو بالحلالة الهوائية
لم يحدد بعد			على سبيل المثال، الكمية المصدرة للملوثات الكيميائية الدائمة أو تراكيز هذه الملوثات، اللدائن (البلاستيك) المرقات الإفرازية، المعادن الثقيلة والنفايات النووية في البيئة العالمية، أو آثارها على النظام البيئي والعمل الوظيفي للأرض المتعلق بهذا النظام.	التلوث الكيميائي

ملاحظة: الحدود في العمليات الموضوعة باللون الأحمر هي حدود مُخْتَرَقة.

ثنائي أكسيد الكربون CO_2 ينبغي ألّا تتجاوز 350 جزءاً بالمليون من حيث الحجم، وينبغي ألّا يتجاوز التأثير الإشعاعي 1 واط بالمتر المربع فوق المستويات ما قبل الصناعية. سيزيد تجاوز هذه الحدود من خطر التغير المناخي لا رجعة فيه، كفقدان طبقات جليدية كبيرة، والارتفاع المتسارع لمستويات مياه البحر وحدوث تحولات مفاجئة في الغابات والمنظومات الزراعية. يشير التركيز الحالي لـ CO_2 إلى 387 p.p.m.v ويشير التغير في التأثير الإشعاعي إلى 1.5 Wm^{-2}.

يوجد على الأقل ثلاثة أسباب لحدّنا المناخي المقترح. أولاً، يمكن لنماذج المناخ الحالي أن تخطىء تقدير خطورة التغير المناخي البعيد الأمد بالنسبة للتراكيز المعطاة لغازات الدفيئة. معظم النماذج تقترح أن مضاعفة تركيز غاز CO_2 الجوي ستؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة العالمية بحوالي 3 درجات مئوية (مع وجود مجال ارتياب محتمل يتراوح بين درجتين إلى أربع درجات ونصف) وذلك حالما يستعيد المناخ حالة التوازن. لكن هذه النماذج لا تتضمن عمليات تعزيز التغذية الراجعة التي تسخن المناخ أكثر، كنقصان مساحة السطح المغطى بالجليد أو التغيرات في توزع الغطاء النباتي. وإذا ما ضُمِّنت هذه التغذيات الراجعة البطيئة، عندها ستعطي مستويات CO_2 المضاعفة ارتفاعاً نهائياً في درجة الحرارة يساوي ست درجات مئوية (6°C) (مع وجود ارتياب محتمل يتراوح بين أربع إلى ثماني درجات مئوية). هذا سيهدد المنظومات الداعمة للحياة البيئية والتي تطورت في بيئة المرحلة الجيولوجية الرابعة الأخيرة، وسيتحدى بقوة قابلية نجاح المجتمعات البشرية المعاصرة.

ثانياً، هو استقرار طبقات الجليد القطبية الكبيرة. تظهر معلومات المناخ القديم Palaeoclimate عن المئة مليون سنة الماضية أن تركيز CO_2 كان العامل الرئيسي في التبريد الطويل المدى للخمسين مليون سنة الأخيرة. بالإضافة إلى ذلك، فقد كان كوكب الأرض خالياً من الجليد إلى أن انخفضت تراكيز CO_2 إلى ما دون (.p.p.m.v±100) 450 p.p.m.v، وهذا يدفعنا إلى اقتراح أن هناك عتبة حدية بين 350 و550p.p.m.v. يهدف حدنا 350 p.p.m.v إلى تأكيد الوجود المستمر لطبقات الجليد القطبية الكبيرة.

ثالثاً، بدأنا نرى أدلة على أن بعض المنظومات الثانوية للأرض أخذت تخرج عن حالتها الهولوسينية المستقرة. يتضمن ذلك الانحسار السريع للجليد الصيفي في المحيط المتجمد الشمالي، وانحسار الجبال الجليدية حول العالم، وفقدان الكتلة من طبقات جليدية في غرينلاند (Greenland) والدائرة القطبية الجنوبية الغربية (West Antarctic) وتسارع معدلات ارتفاع مستوى مياه البحر خلال 10-15 سنة الأخيرة.

معدل فقدان التنوع الحيوي

إن انقراض الأصناف الحية هو عملية طبيعية، وسيحدث دون تدخل الأفعال البشرية. على أي حال، تسارع فقدان التنوع الحيوي في العهد الأنثروبوسيني بشكل كبير. وقد أصبحت الأصناف الحيوية تتعرض للانقراض بنسبة لم نرها منذ حادثة الانقراض العالمي الكبير.

يشير سجل المستحاثات (الأحافير) إلى أن معدل الانقراض المسجل سابقاً للحياة البحرية هو 0.1-1 انقراضاً بالمليون صنف في السنة، وبالنسبة للثدييات هو 0.2-0.5 انقراضاً بالمليون صنف في السنة. يقدر اليوم معدل انقراض الأصناف أكثر بمئة إلى ألف ضعف من الحد الطبيعي. وكما هو الحال بالنسبة للتغير المناخي، فإن النشاطات البشرية هي السبب الرئيسي وراء هذا التسارع. تشكل التغيرات في استعمال الأراضي التأثير الأكثر أهمية. تتضمن هذه التغيرات تحويل المنظومات البيئية الطبيعة إلى مناطق زراعية أو مدنيّة، وتغيرات في تواتر حدوث الحرائق الطبيعية الهائلة أو فترة استمرارها أو عددها والاضطرابات المشابهة، وكذلك دخول أصناف جديدة إلى بيئة اليابسة وبيئة المياه العذبة. ستصبح سرعة التغير المناخي المسيّر الأهم لتغير التنوع الحيوي في هذا القرن، مما يؤدي إلى تسارع معدل فقدان الأصناف. وسيكون أكثر من 30% من الثدييات والطيور والبرمائيات مهدداً بالانقراض في هذا القرن.

يحدث فقدان التنوع الحيوي على مستوى محلي إلى إقليمي، ولكن يمكن أن يكون له تأثيرات واسعة الانتشار على الكيفية التي تعمل بها منظومة الأرض، كما يتداخل مع العديد من الحدود الكوكبية الأخرى. فعلى سبيل المثال، يمكن لفقدان التنوع الحيوي أن يزيد من قابلية تعرض المنظومات البيئية البرية والمائية إلى تغيرات في المناخ وفي حموضة المحيطات، مما يؤدي إلى انخفاض مستويات الحد الآمن لهذه العمليات. هناك فهم متنام لأهمية التنوع الحيوي الوظيفي في وقاية المنظومات البيئية من المضيّ إلى حالات غير مرغوبة عند اضطرابها. هذا يعني أن الزيادة الظاهرة في التنوع الحيوي مطلوبة للحفاظ على مرونة المنظومات البيئية. وتكون المنظومات البيئية المعتمدة على أصناف قليلة أو صنف واحد في الوظائف الحاسمة أكثر عرضة للاضطرابات، كالمرض، عرضة لخطر أكبر بالانحدار إلى حالات غير مرغوبة.

من وجهة نظر نظام الأرض، يعد ضبط حد التنوع الحيوي أمراً صعباً. فرغم أنه من المقبول الآن أن التنويع في الأصناف يدعّم مرونة المنظومات البيئية، قليلاً ما نعرف وبشكل كمي كم وأي الأنواع سنفقد من التنوع الحيوي قبل أن تتداعى هذه المرونة، هذه حقيقة واضحة على نطاق الأرض كليّة، أو بالنسبة لمعظم المنظومات الثانوية كغابات بورنيو Borneo الاستوائية أو حوض نهر الأمازون. من الناحية المثالية، ينبغي على حدّنا الكوكبي أن يشتمل على قاعدة التنوع الحيوي في تنظيم مرونة المنظومات على الأرض. ولما كان العلم ليس بمقدوره بعد تزويدنا بمثل هذه المعلومات وعند مستويات كلية، فإننا نقترح نسبة الانقراض كمؤشر بديل (ولكن أضعف). وفي النتيجة، فإن حدنا الكوكبي المقترح للتنوع الحيوي وهو عشرة أضعاف النسبة المعروفة سابقاً يعد تقديراً أولياً. يتطلب تعيين ماهية هذا الحد بقدر أكبر من اليقين ومزيد من البحث. على أي حال، يمكننا القول ببعض الثقة إن الأرض لا يمكنها الاستمرار في المعدل الحالي لفقدان التنوع الحيوي دون تداعٍ واضح في مرونة المنظومة البيئية (النظام البيئي).

دورتا النتروجين والفسفور

تعتبر الزراعة الحديثة سبباً رئيسياً في التلوث البيئي، متضمنة التغير البيئي الكبير المحدث على نطاقي النتروجين والفسفور. وعلى نطاق كوكبي، تعد الكميات الإضافية من النتروجين والفسفور والناتجة عن النشاطات البشرية كبيرة جداً الآن إلى درجة أنها تسبب اضطراباً في الدورتين العالميتين لهذين العنصرين الهامين.

تحول العمليات البشرية –وقبل كل شيء صناعة الأسمدة لإنتاج الغذاء وحراثة أراضي المحاصيل البقولية– حوالي 120 مليون طن من النتروجين من الغلاف الجوي سنوياً إلى أشكال تفاعلية –وهو ما يفوق تأثير العمليات البرية للأرض مجتمعة. ينتهي الكثير من هذا النتروجين التفاعلي في البيئة، ملوثاً الممرات المائية، والمناطق الشاطئية، ومتراكماً في المنظومات الأرضية ومضيفاً عدداً من الغازات إلى الغلاف الجوي. كما يضعف ببطء مرونة المنظومات البيئية الهامة. فأكسيد النتروجين على سبيل المثال، هو واحد من أهم غازات الدفيئة (عدا CO_2) وبذلك فهو يزيد التأثير الإشعاعي.

لقد حوّل التشويه البشري الصنعي لدورة النتروجين وتدفقات الفسفور حالة البحيرات من المياه الصافية إلى المياه العكرة. وتعرضت المنظومات البيئية البحرية لتحولات مشابهة، فعلى سبيل المثال، في فترات نقص الأكسجين anoxia في البحر البلطيقي كان سببها إفراط في المواد المغذية. تبرر هذه المؤثرات وغيرها من المؤثرات المتولدة عن المواد الغذائية صياغة لحدّنا الكوكبي للنتروجين ولتدفقات الفسفور، والذي نقترح بقاءهما ضمن حد واحد يعطي تفاعلاتهما المتشابهة مع عمليات نظام الأرض الأخرى.

إن ضبط حدّنا كوكبي للتعديل البشري في دورة النتروجين ليس أمراً بسيطاً. لقد عرفنا الحد باعتبار التثبيت البشري للنتروجين من الغلاف الجوي صماماً ضخماً يتحكم بالتدفق الهائل للنتروجين التفاعلي إلى الأرض. ونقترح كتخمين أولي أن هذا الصمام ينبغي أن يتضمن تدفقاً للنتروجين التفاعلي الجديد يصل إلى 25% من قيمته الحالية، أو ما يقارب 35 مليون طن من النتروجين سنوياً. وإذا ما اعتبرنا الملابسات في محاولة بلوغ هذا الهدف، فإن تعيين حدّنا يعطي معلومات بشكل أكثر يتطلب بحثاً وتجميعاً للمعلومات أكثر بكثير.

على خلاف النتروجين، فإن الفسفور فلز متحجر يتراكم نتيجة للعمليات الجيولوجية، يستخرج من الصخور وتتراوح استعمالاته من الأسمدة إلى معاجين الأسنان. يُستخرج سنوياً ما يقرب العشرين مليون طن من الفسفور ويجد حوالي 8.5 إلى 9.5 مليون طن منها طريقه إلى المحيطات. يقدّر هذا تقريباً بثمانية أضعاف نسبة التدفق الطبيعية المعروفة سابقاً.

تظهر سجلات تاريخ الأرض أن حوادث نقص أكسجين المحيطات واسعة النطاق تقع عندما تُفْسَد عتبات حرجة من تدفق الفسفور إلى المحيطات. وهذا ما يفسر بالفعل ضخامة الانقراضات السابقة التي أصابت الحياة البحرية. تقترح النمذجة أن الزيادة المستمرة في تدفق الفسفور إلى المحيطات والتي تجاوزت الخلفية الطبيعية للتجوية بمقدار 20% كانت كافية للتسبب بحوادث نقص أكسجين المحيطات في الماضي.

تقترح تقديرات نمذجتنا التجريبية أنه توجد زيادة في تدفق الفسفور إلى المحيطات أكثر من عشرة أضعاف (بالمقارنة مع مستويات ما قبل الصناعية)، وبعدئذ تصبح حوادث نقص أكسجين المحيطات أكثر احتمالاً خلال ألف عام. وبالرغم من الشكوك الضخمة، فإن حالة العلم الراهنة وما نشاهده في الوقت الحاضر من حوادث إقليمية مفاجئة عن نقص الأكسجين المحرَّض بالفسفور يدل على أنه يجب أن لا يسمح بتدفق أكثر من 11 مليون طن من الفسفور سنوياً إلى المحيطات –وهذا يعادل عشرة أمثال المعدل الطبيعي للخلفية. ونقدر أن مستوى هذا الحد سيتيح للبشرية أن تتوجه بشكل آمن بعيداً عن خطر حوادث نقص الأكسجين في المحيطات لأكثر من 1000 سنة، مع إقرارنا بأن المستويات الحالية قد تجاوزت بالفعل العتبات الحرجة للعديد من المصبّات ومنابع المياه العذبة.

التوازن الحساس

بالرغم من أن الحدود الكوكبية موصوفة بدلالة (مقادير) مستقلة وعمليات منفصلة، إلا أنها مقترنة ببعضها بشكل وثيق. وليس بوسعنا تركيز جهودنا على أي منها بمعزل عن الحدود الأخرى، وإذا ما خُرِق أحد هذه الحدود، عندها ستكون حدود أخرى معرضة لخطر حقيقي. وعلى سبيل المثال، يمكن للتغيرات الهامة في استعمال الأرض في الأمازون أن تؤثر على المنابع المائية إلى بعد قد يصل التيبت. يعتمد حد التغير المناخي على البقاء عند ناحية آمنة للمياه العذبة، والأرض، والحلالة الهوائية، والنتروجين والفسفور، وحدود المحيطات وطبقة الأوزون. وقد يؤدي تجاوز حد النتروجين–فسفور إلى تداعي المنظومات البيئية البحرية، مقللاً بشكل فعلي من قدرتها على امتصاص ثنائي أكسيد الكربون CO_2 مما يؤثر على حد المناخ.

تمثل الحدود التي نقترحها منحى جديداً لتعريف شروط فيزياحيوية مسبقة لأجل التطور البشري. ولأول مرة، نحاول أن نعين التخوم بمنأى عما لا يمكن لنظام الأرض الاستمرار معه بعمله ، كحالة ثابتة تشبه حالة العهد الهولوسيني.

يعتمد هذا المنحى على ثلاثة فروع من التحقيق العلمي. يتوجه الفرع الأول إلى سلّم العمل البشري في علاقته مع سعة الأرض لإطالة أمدها ويعد هذا سمة هامة لبرنامج البحث الاقتصادي البيئي، وتتماشى مع معرفة القاعدة الأساسية للخصائص الداعمة للحياة البيئية لما فيه خير البشرية، كما تتماشى مع القيود الفيزياحيوية لنمو الاقتصاد، في حين يتوجه الفرع الثاني إلى العمل على فهم العمليات الأساسية للأرض متضمناً الأعمال البشرية، مع إدراج هذين الفرعين في حقلي بحث التغير العالمي وعلم الاستمرارية. أما الحقل الثالث من التحقيق العلمي هو البحث في المرونة وارتباطها بديناميكيات معقدة والتنظيم الذاتي للمنظومات الحية، مع التشديد على العتبات والتحول بين الحالات.

رغم أننا نقدم دليلاً على ثلاثة حدود قد تمَّ تجاوزها، يبقى هناك ثغرات عديدة في معرفتنا. فقد عيّنا تجريبياً سبعة حدود، لكن بعض المعامِلات (الأرقام) ما هي إلا أفضل تقديراتنا الأولية. وعلاوة على ذلك، ولأن العديد من الحدود مترابطة، فإن تجاوز أحدها سيؤدي إلى ملابسات في الحدود الأخرى في اتجاهات لم نتمكن بعد من فهمها كلية. وهناك ريبة هامة أيضاً فيما يتعلق بالزمن المستغرق لإحداث تغير بيئي خطير أو لإطلاق تغذيات راجعة أخرى قد تقلل بشكل قاسٍ من قدرة نظام الأرض أو المنظومات الثانوية الهامة، وذلك للعودة إلى المستويات الآمنة.

يقترح الدليل وإلى حد بعيد، وما دامت العتبات غير متجاوزة، أن البشرية لديها الحرية لمتابعة التطور الاقتصادي والاجتماعي البعيد المدى.

معضلة خزن الطاقة

ليست الطاقة المتجددة اختياراً قابلاً للاستثمار والتطور ما لم يصبح بالإمكان خزن الطاقة على نطاق واسع. ينظر ديفيد ليندلي David Lindley في خمس طرقٍ لفعل ذلك.

الكلمات المفتاحية: معضلة خزن الطاقة، رفع المياه إلى أعالي الهضاب، ضغط الهواء في كهف تحت الأرض، الخزن بالبطاريات، الخزن بالطاقة الحركية للدولاب المعدل (الطيار)، التكامل مع شبكة ذكية.

في شباط/فبراير 2008 وخلال طقس رديء بارد مفاجيء، صمتت الرياح القاسية المعتادة في غرب تكساس وتباطأت ألوف العنفات الهوائية التي تُميّز ذلك الجزء من الولاية إلى أن توقفت. ولم يكن في مقدور مشغلي مؤسسة الكهرباء تدارك نقص الطاقة من أي مكان آخر في الشبكة حيث كانوا مجبرين على قطع الخدمة عن بعض المستخدمين لمدة تقارب الساعة ونصف الساعة قبل أن تعاود الرياح جريانها.

ما كان لهذه الفترات التي تنعدم فيها الرياح أن تكون مخيبةً للأمل لو كان لدى شركات خدمة الكهرباء بضع مئات الميغا واط ساعة من الطاقة مخزّنةً لوقت الحاجة بحيث يمكنهم استعمالها في حالات الطوارئ. ولكنهم لم يفعلوا ذلك. الكهرباء وقتية جداً، وإن اختزان الطاقة الكهربائية بكميات ضخمة صعب المنال وعالي الكلفة.

إن الافتقار إلى خيارات جيدة لخزن الكهرباء يُعدّ مصدرَ إزعاج لمشغلي مؤسسة توليد الكهرباء. وإن الالتزام بتقديم التزويد المستمر من الطاقة الكهربائية الذي يسدّ طلبات الكهرباء الدائمة التغيّر جعلهم يلجؤون على العموم إلى طرق غالية الثمن وضعيفة المردود لضبط خرج محطات التوليد بحرق الفحم، وذلك بتشغيل محطات الذروة (peaker)، مثلاً، والمغذاة بالغاز خلال فترات الطلب العالي.

إلا أن تلك السياسة المبنيّة على أساس التزويد تصبح أقل فعالية مع ازدياد نسبة استخدام مصادر الطاقة المتجددة ذات الخرج الذي لا يمكن التنبؤ به وخصوصاً استخدام الصفيفات الشمسية ومزارع الرياح. وكما يشير مثال تكساس Texan، فإن القدرة المنتجة بهذه التقانات تعتمد على نزوات الطبيعة، وليس على طلبات الإنسان. "إذا أردنا أن نحصل على جزء كبير من طاقتنا من مصادر متجددة، يكون التخزين عندها أمراً واجباً"، يقول علي نوراي Ali Nourai، مدير خزن الطاقة في شركة الطاقة الكهربائية الأمريكية، وهي شركة ذات نفع عام في كولومبوس، أوهايو، ورئيس جمعية خزن الطاقة الكهربائية، وهي مؤسسة تجارية في واشنطن DC.

هناك الآن عدد من التقانات لخزن الطاقة، من بينها تقانات مضى على وجودها عقود من الزمن. وإن التحدي هو في جعلها قوية فعّالة، جديرة بالثقة، ومنافسة اقتصادياً –خلال اختيار أكثر هذه التقانات ملاءمة لكلٍّ مصدر من مصادر الطاقة أو المواقع. "فلكل تقانةٍ سماتها المتفردة"، يقول جيليس رادستشلدر Jillis Raadschelders، من مؤسسة استشارات الطاقة KEMA في آرنهيم Arnhem، في هولندا. ثم يتابع قوله "ولن تكون هناك تقانة رابحة". لأن انتقاء التقانة الصحيحة يعني النظر إلى كل تقانة بشيء من التفصيل.

دفع الماء إلى قمة هضبة

إن الحاجة للخزن ملحّة على وجه الخصوص في أوروبا الشمالية العالية الكثافة السكانية، حيث تَبني بلدان عدة العنفات البعيدة عن الشاطئ لتسخير هبوب الرياح عبر بحر الشمال. فالدانمارك تحصل الآن على نحو 20% من كهربائها من المزارع

■ نُشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol 463, 7 January 2010، ترجمة د. مصطفى حموليلا – عضو هيئة التحرير.

الرسوم التوضيحية من وضع ما يثير هودسون

المبنية على الأرض والبحر، وهي تصبو إلى زيادة هذا المقدار إلى 50% بحلول العام 2025. وبما أن رياح بحر الشمال يمكن أن تهبط إلى مستويات منخفضة تصل لأيام في كل مرة، فإن دولاً مثل الدانمارك وهولندا تزيد ربط شبكتها بالنرويج، التي تحصل على غالبية طاقتها من المحطات الكهرمائية. فخزانات جبال النرويج تزود سعة الطاقة المساندة وتقدم أيضاً كميات أساسية من الكهرباء المائية المختزنة بالضخ حيث يضخ فيها الماء إلى خزان في القمم العالية باستعمال الكهرباء الفائضة، ثم تترك لتهبط من القمة من جديد لتدير المولدات عند الحاجة للطاقة. وتتمتع الكهرباء المائية المضخوخة بكفاءة خزن تبلغ 70-85%، وبأنها أكثر التقانات نضجاً وانتشاراً والمستخدمة لخزن الكهرباء على نطاقٍ واسعٍ. فلدى كل من الصين واليابان والولايات المتحدة مثلاً مواقع متعددة ذات سعات توليد تتراوح بين عشرات الميغا واط (MW) إلى العديد من الغيغا واط (GW). والكهرباء المائية المخزونة جيدة على وجه الخصوص للتلاؤم مع طاقة الرياح لأن المياه المضخوخة إلى خزانات أعلى ستبقى هناك زمناً طويلاً للتعويض عن الانقطاعات الكبيرة الممكنة في التوليد بقوة الرياح.

إلا أن تخزين الكهرباء المائية بالضخ، في شكله التقليدي يحتاج إلى جبالٍ، لذا فالفرص تكون محدودةً بجغرافية المنطقة. كما أن بناء مثل هذه المخازن يميل إلى أن يكون مكلفاً ومخرباً للبيئة. وإن بناء خطوط النقل العالية الفولطية لربط مواقع التخزين البعيدة بالشبكات غالباً ما تثير المعارضة على الأراضي البيئية.

وإذا كان على سعة خزن الكهرباء المائية المضخوخة أن تنمو إلى حد كبير، فعليها أن تترك الجبال. إن مفهوماً مبتكراً عند KEMA يقترح وضع عنفات الهواء والماء المضخوخ في مكان واحد: "جزيرة الطاقة" وذلك في جزءٍ ضحل من بحر الشمال. وعلى مساحة قد تبلغ 60 كيلومتراً مربعاً يطوقها خندق أو سد لخلق بحيرة صنعية. وتُنصَبُ عنفات الهواء على السد الطوقي وعند أي زيادة في القدرة الكهربائية ستستخدم لضخ الماء إلى خارج هذه البحيرة أي إلى البحر المحيط بالحلقة. وبترك ماء البحر يتدفق عائداً إلى البحيرة سيعيد توليد الكهرباء المختزنة. وعند غياب الرياح تقدر شركة KEMA أن جزيرة الطاقة هذه يمكن أن تزوّد ما معدله 1.500 MW لمدة تبلغ نحو 12 ساعة.

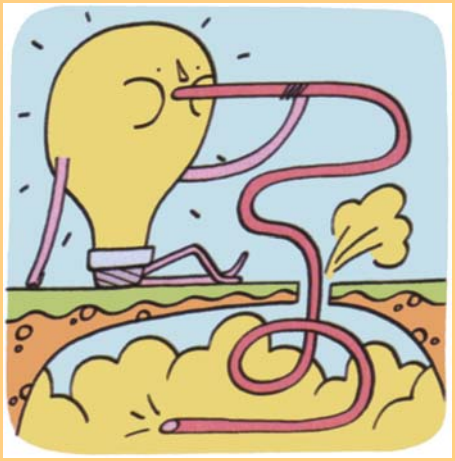
"إذا كان على سعة خزن مياه الكهرباء المائية المضخوخة أن تنمو إلى حد كبير فعليها أن تترك الجبال. "

ضغط الهواء تحت الأرض

في أراضي مزرعةٍ تقع قرب هانتورف Huntorf في ألمانيا، وعلى نحو 100 كيلومتر إلى الجنوب الغربي من هامبرغ، تظهر مؤسسة صناعية اعتيادية المظهر تقوم بمهمة غير اعتيادية: فعندما يكون الطلب على الكهرباء في الشبكة المحلية منخفضاً، تستخدم المحطة فائض الطاقة لضغط الهواء وضخه إلى كهوف ملحية تحت الأرض يصل مجموع حجمها إلى أكثر من 300.000 متر مكعب. في أوقات الطلب العالي، يُسمح للهواء المضغوط بالتمدد عبر عنفات منصوبة على السطح لتوليد الكهرباء.

إن محطة هانتورف، التي تعمل منذ 1978 يمكن أن تزود بنحو 300 MW من القدرة الاحتياطية لمدة تصل إلى ثلاث

ساعات وتبدأ عملها قرابة مئة مرة في السنة. إلا أنها لا تولد ما يعادل ما أخذته. وإن محطة مشابهة ولكنها أصغر في ماكينتوش McIntosh، ألاباما، بدأت بالعمل في 1991 والجهود القائمة لبناء محطة أخرى مماثلة في أيوا Iowa، بدأت في العام 2002 وهي الآن في مرحلة امتلاك الأرض لعمليات الحفر الاختباري.



والمعضلة هنا هي أن منشآت خزن الطاقة بالهواء المضغوط compressed-air energy storage (CAES) تعد عملياً أكثر تعقيداً مما عليه في المبدأ. فالغاز (الهواء) يسخن عندما يضغط، الشيء الذي يحدّد مقدار الهواء الذي يمكن أن يضخ إلى تحت الأرض قبل ارتفاع حرارته إلى درجة كبيرة يتعذر معها الخزن الآمن. أضف إلى ذلك، أنه كلما طال خزن هذا الهواء لمدة أطول في الكهف ازداد ضياعُ حرارته –التي تمثل جزءاً أساسياً من الطاقة المختزنة– في الجدران المحيطة داخل الكهف وازداد ضياع الطاقة. وعندما يُحرر الهواء من جديد تنخفض درجة حرارة الهواء المتمدد. وفي الحقيقة فإن الهواء المتمدد في تجهيزات هانتورف وماكينتوش يغذي عنفات الغاز الطبيعي العادية لرفع مردودها. وهكذا فإن التأثير الصافي لمنظومة ضغط الهواء هو زيادة في المردود إلى حد ما لمحطة الطاقة المغذاة بالغاز الطبيعي التقليدي.

سينال هذا النوع من النظام الهجين في القريب العاجل قدراً كبيراً من القبول الفكري، كما يقول هارش كماث Haresh Kamath، الباحث في معهد أبحاث القدرة الكهربائية Electric Power Research Institute (EPRI) في بالو آلتو Palo Alto، في كاليفورنيا، على وجه الخصوص للحصول على كهرباء أكثر من المصادر المتجددة المتاحة لإعادة شحن المنظومة في الليل. وبالنظر إلى مدى المسار بصورة أعمق، فإن معهد أبحاث القدرة الكهربائية (EPRI)، على كل حال، وآخرين يبحثون عن تطورات يمكن أن تحول خزن الهواء المضغوط (CAES) إلى نظام حقيقي لخزن الطاقة، لا يتطلب الوقود الأحفوري. وإن مثل هذا النظام "المكظوم المتقدم" سيلتقط حرارة الانضغاط ويخزنها ومن ثم يستخدمها لإعادة تسخين الهواء المحرر (المنفلت)، الذي سيدير العنفة مباشرة بدون أي وقود إضافي. إن مسابك المعادن والأفران العالية تلتقط منذ سنوات الحرارة الضائعة في الآجر المقاوم للحرارة أو في المواد المماثلة لتجعل الاحتراق شديداً بواسطة تيار الهواء الساخن، كما يقول كريستوف جاكيل Christoph Jakiel الباحث في MAN توربو Turbo في أوبرهان Oberhausen، في ألمانيا. وهكذا فإن تطبيق هذه التقانة على خزن الهواء المضغوط يجب أن يكون واضحاً ومباشراً.

ويقدر جاكيل أن مردود مثل هذا النظام سيكون تحت 80%، مقارنة بأنظمة خزن الكهرباء المائية المضخوخة. والتكاليف الكلية للبناء والتشغيل ستكون بهذا النحو أيضاً. والمواقع المناسبة يجب ألا تكون صعبة المنال في معظم مناطق العالم، على حد قول جاكيل. فالكهوف الملحية ليست نادرة، وحديقة خزن الطاقة المقترحة في أيوا. ستضخ الهواء المضغوط في طبقة صخرية مائية (حوض مائي).

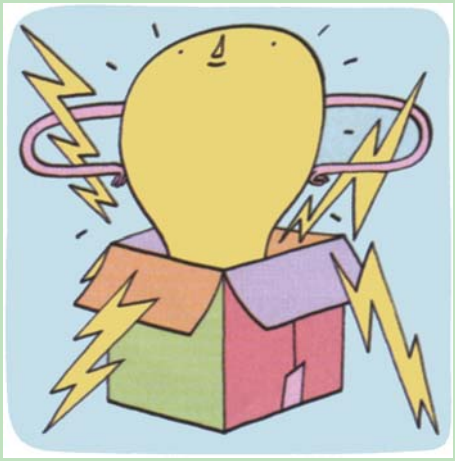
الكهرباء في صندوق

سيكون الخزن بالبطاريات على نطاق واسع مسألة محلولة تماماً. إذا استطاعت شركات التزويد بالكهرباء استخدام تقانة الحمض والرصاص المتوفرة في كل مكان وفي كل الأوقات، تلك التقانة التي هي أساس بطاريات السيارات لمدة قرن تقريباً.

ولسوء الحظ، فإن بطاريات الحمض والرصاص ذات كثافة طاقية منخفضة –فهي ضخمة وثقيلة بالنسبة لمقدار الطاقة التي تخزنها– وهي لا تلبي الحاجة جيداً لدى تكرار دورات إعادة الشحن والتفريغ.

والحل الأفضل هو بطارية الصوديوم–كبريت (NaS)، التي تخزن الكهرباء بالتحلّل الكيميائي للصوديوم المتعدد الكبريت sodium polysulphide إلى صوديوم وكبريت. ويمكن أن تتحرر الطاقة بعدئذ بالسماح للعنصرين بالتفاعل مجدداً. ولبطاريات الصوديوم والكبريت كثافةُ طاقية عالية ويمكن أن تستمر عبر آلاف دورات الشحن والتفريغ. والعقبة الرئيسة فيها هي أن الصوديوم والكبريت يجب أن يحفظا في مستودعات منفصلة في حالة منصهرة في درجة الحرارة 300 مئوية. وكذلك فإن هذه البطاريات تعاني من التحطم المتعذر إصلاحه عند تفريغها بالكامل وتبردها. وفي النتيجة فإنها تحتاج إلى حاوية متينة، إلى جانبِ متطلباتٍ تقنية أخرى، وهذا يعني أن تكلفة بطاريات NaS تقارب 3.000 دولار أمريكي للكيلو واط (kW) من القدرة المتاحة. وهذا غير مرض إذا قورن بالمحطات العادية المغذاة بالغاز، التي تتكلف نحو 1.000 دولار أمريكي للكيلو واط. ومع ذلك فإن بطاريات كبريت الصوديوم قد طورت تجارياً بواسطة NGK للعوازل في ناغويا، في اليابان. وتملك اليابان الآن سعة مخزّنة قادرة على تزويد شبكتها بنحو 300 ميغا واط عند الحاجة إلى طاقة إضافية لمدة تصل إلى ست ساعات بدون انقطاع. وفي بلدان أخرى بدأت خطوتها أيضاً. فلدى الولايات المتحدة على سبيل المثال سعة تقارب 10 MW من بطاريات كبريت الصوديوم في موضعها وهناك مقدار مماثل على الطريق، تقوده شركات مثل شركة القدرة الكهربائية الأمريكية وكذلك شركة طاقة Xcel في مينابوليس، مينيسوتا.

يمكن في المستقبل أن يواجه اختزان الطاقة على نطاقٍ واسع بكبريت الصوديوم تحدياً من تقانة أيونات الليثيوم. فالآن باستخدامها الواسع في الهواتف النقالة (موبايلات) وفي الحواسب المحمولة Laptops، والتي يتم تطويرها للاستخدام في السيارات الكهربائية، حيث لبطاريات أيونات الليثيوم هذه كثافة طاقية عالية ومردود يزيد على 90%. والعائق الكبير يرجع إلى



الكلفة وارتفاع الثمن الذي تتحكم به جزئياً اعتبارات الأمان: فالبطاريات تستخدم ملح الليثيوم في محلول عضوي، الذي يكون قابلاً للاشتعال ويحتم بنية متينة لتقليل أذيات النار إلى الحد الأدنى. تصنع بطاريات أيونات–الليثيوم لمستهلكي الإلكترونيات بسعر جار يعادل بضع مئات الدولارات لخزن الكيلو واط/ساعة الواحد. ولكنه من أجل تطبيقات السيارات الواسعة الانتشار، فإن هذا السعر يجب أن ينخفض إلى مئة دولار أمريكي للكيلو واط/ساعة، ومن أجل تطبيقات الشبكة فإنها لا تزال بحاجة للانخفاض أكثر من ذلك.

ويبقى نوراي متفائلاً للوصول إلى دولار واحد. ويقول إن إجراءات الأمان تتحقق بسهولة وسعر أرخص بالنسبة للبطاريات في المنشآت الثابتة الآمنة، أكثر منها للنبائط المسوكة باليد. وخصوصاً في آسيا هناك دعم قوي لتقانة أيون–الليثيوم وللسباق الحاد بين الصانعين، والتي يؤمل أن تقود إلى انخفاض دراماتيكي في الأسعار. فقد رأى نوراي في الصين مؤخراً حمولةَ حاويةٍ بحجم منشأة أيون الليثيوم، ويتوقع أن يرى سعات من مرتبة الميغا واط أو أكثر في السنوات القادمة.

وفي معهد مساتشوستس للتقانة في كامبردج، يجرب كيميائي المواد دونالد سادووي Donald Sadoway طريقة أكثر جذرية لخفض السعر. "أنا أريد بطارية رخيصة جداً كالزبالة" يقول سادووي، وإن طريقة صنع ذلك هو بناؤها من الوسخ (الزبالة) –أعني من أكثر عناصر القشرة الأرضية انتشاراً. ورغم وجود القليل الجديد لاكتشافه حول الكيمياء الكهربائية لهذه العناصر

–مثل السيليكون، الحديد والألمنيوم– فالبطارية تتطلب تفاعلين، واحد عند كل إلكترود، إلى جانب إلكتروليت يدعم انتقال الأيون المناسب. وهذا يستدعي تركيبات ضخمة غير مختبرةٍ إلى حد بعيد من المركبات الممكنة والتفاعلات التي يحب الخوض في بحثها. ومتابعة البحث أصبحت ممكنة التنفيذ، يقول سادووي، بواسطة الحواسيب الفائقة supercomputers التي يمكنها تقييم كيميائيات البطارية المقترحة بسرعة، محررة الباحثين من الحاجة لتركيب المواد الحقيقية واختبارها. وفي العقد القادم، يقول سادووي: "أنا متفائل بأن معدل الاكتشاف سيتسارع".

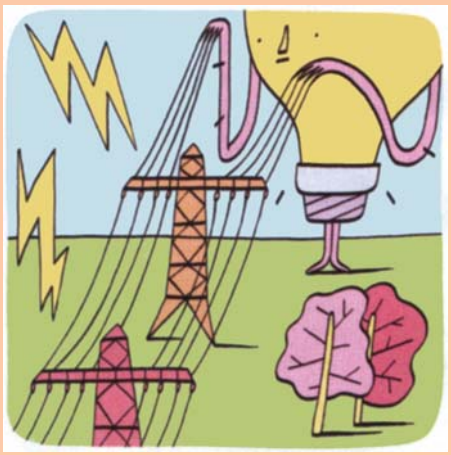
أخذ الكهرباء من الدوران

من المفهوم، على الأقل، أن إحدى الطرق البسيطة والمباشرة لخزن الطاقة هي الدولاب المعدل flywheel (دولاب الموازنة وتنظيم السرعة): فالطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة حركية للدوران بإمرارها خلال محرك كهربائي، يقوم بتسريع الدولاب المعدل. وهذه الطاقة الحركية تُستخلص عند الحاجة إليها بربط الدولاب المعدل إلى مولد، يقوم بتبطيء الدولاب وإنتاج الكهرباء.

مهما يكن الأمر، فإن الحقيقة، مرة ثانية، أكثر تعقيداً –فعلى هذا الدولاب المعدل أن يدور بسرعة كبيرة جداً، وأن يكون بالتالي من المتانة الكافية للحفاظ على نفسه من التطاير أجزاءً. وإن أنظمة الخزن بالدولاب المعدل متاحة تجارياً كمصدر قدرة غير منقطع uninterruptible power supplies (UPS) والتي بإمكانها تقديم كميات متواضعة من الطاقة لثوان أو لدقائق، ولكنها غير منافسة في حالة الخزن لأزمنة أطول كالتي تحتاجها الشركات العامة للتزويد بالكهرباء (مؤسسات الكهرباء).

إحدى الميزات الكبيرة للدواليب المعدلة هي أنها تستطيع امتصاص الطاقة خلال ثوانٍ أو دقائق، وأن تعيدها تماماً بالسرعة ذاتها. وهذا بالضبط ما يلزم لتنظيم تواتر الشبكة الكهربائية الذي يفترض أن يستمر على إحدى القيمتين 50 أو 60 دورة في الثانية، بحسب نظام البلد، إلا أنها تجنح نحو الهبوط في أي وقت لفترة قصيرة لدى زيادة الحمل الكهربائي الذي يؤدي إلى تباطؤ العنفات. وتعد المحافظة على ثباتها أمراً فيه تحدٍ لشركات التزويد بالكهرباء في كل مكان.

بأخذ ذلك في الاعتبار، أمضت شركة بيكون للطاقة في تينكسبورو، مساتشوستس Beacon Power of Tyngsboro, Massachusetts العقدَ الماضي في تطوير دولابٍ معدل عالي التقنية بحيث جعلته أقرب ما يكون إلى الكمال لتنظيم التواتر. وهو دولاب يقارب في طوله المترين والمتر في قطره. ويتألف من جذعٍ أسطواني من الألمنيوم يضم المحرك والمولد، وحافة مركبة



من الفيبر والكربون، وهو معلق على دعائم مغنطيسية في حجرة مغلقة مخلاة من الهواء يمكنها أن تدور حتى 16.000 دورة في الدقيقة. وإن هذه الأجهزة مصممة لتخدم عشرين عاماً أو أكثر بدون صيانة، يقول ماثيو لازاروِيز Matthew Lazarewicz رئيس الضابطة التقنية في شركة بيكون. فهم يستطيعون خزن الطاقة بمردود يبلغ 85% كما يقول. وتستطيع الدوران مسرعةً ومتباطئةً ربما ملايين الدورات خلال مدة حياتها العملية، الشيء الذي يجعلها أكثر متانة وتحملاً للاستعمال من البطاريات.

والتحدي الآن هو في خفض الكلفة، التي تأمل بيكون أن تسدي معروفاً لمشروع المقاولة الأخيرة بضمان قرض من وزارة الطاقة الأمريكية. وقد بدأت بيكون في ستيفان تاون بنيويورك في

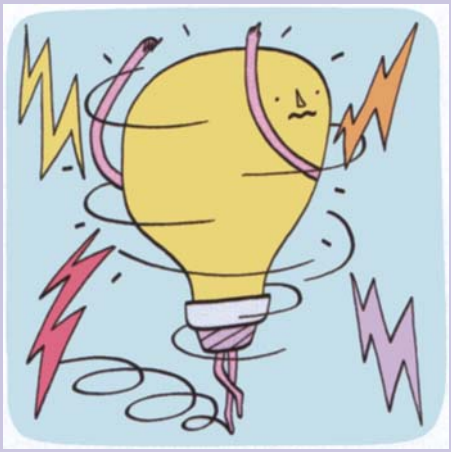
بناء (تصميم) مزرعة بمئتي دولاب معدل، باستطاعة 20 MW وبمبلغ 70 مليون دولار أمريكي تستطيع تنظيم تواتر شبكة تزويد المنطقة بالقدرة. وتشمل الموازنة عدداً من التكاليف غير المتكررة المتصلة بتأسيس مؤهلاتها لضمانات القرض الفيدرالي (الاتحادي). وتقدر الشركة أن محطاتٍ مستقبلية من هذا الحجم ستكلف أقل من 50 مليون دولار أمريكي –وهو سعر تأمل الشركة في خفضه إلى 30 مليون دولار أمريكي. وفي أواخر نوفمبر/تشرين الثاني قدمت وزارة الطاقة لشركة بيكون 24 مليون دولار في مقابل نصف التكلفة لمحطة جديدة استطاعتها 20 MW لتبنى خارج شيكاغو، إلينويز.

التكامل مع شبكة ذكية

هناك أيضاً عدد أكبر من التقانات المجلوبة التي يمكنها أن تكون مرشحةً لخزن الطاقة على نطاق واسع –بافتراض أن الباحثين يمكن أن يحصلوا في النهاية على خفض التكلفة إلى مستويات منافسة. وتشمل الأمثلة "المكثفات الفائقة" "ultracapacitors" التي تستطيع اختزان كميات ضخمة من الشحنات الكهربائية في طبقات بثخن الذرات– atoms thick layers بالقرب من الأقطاب (الإلكترودات)، والملفات من الأسلاك الفائقة النقل القادرة على خزن كميات كبيرة من التيار الجاري بشكل غير محدود.

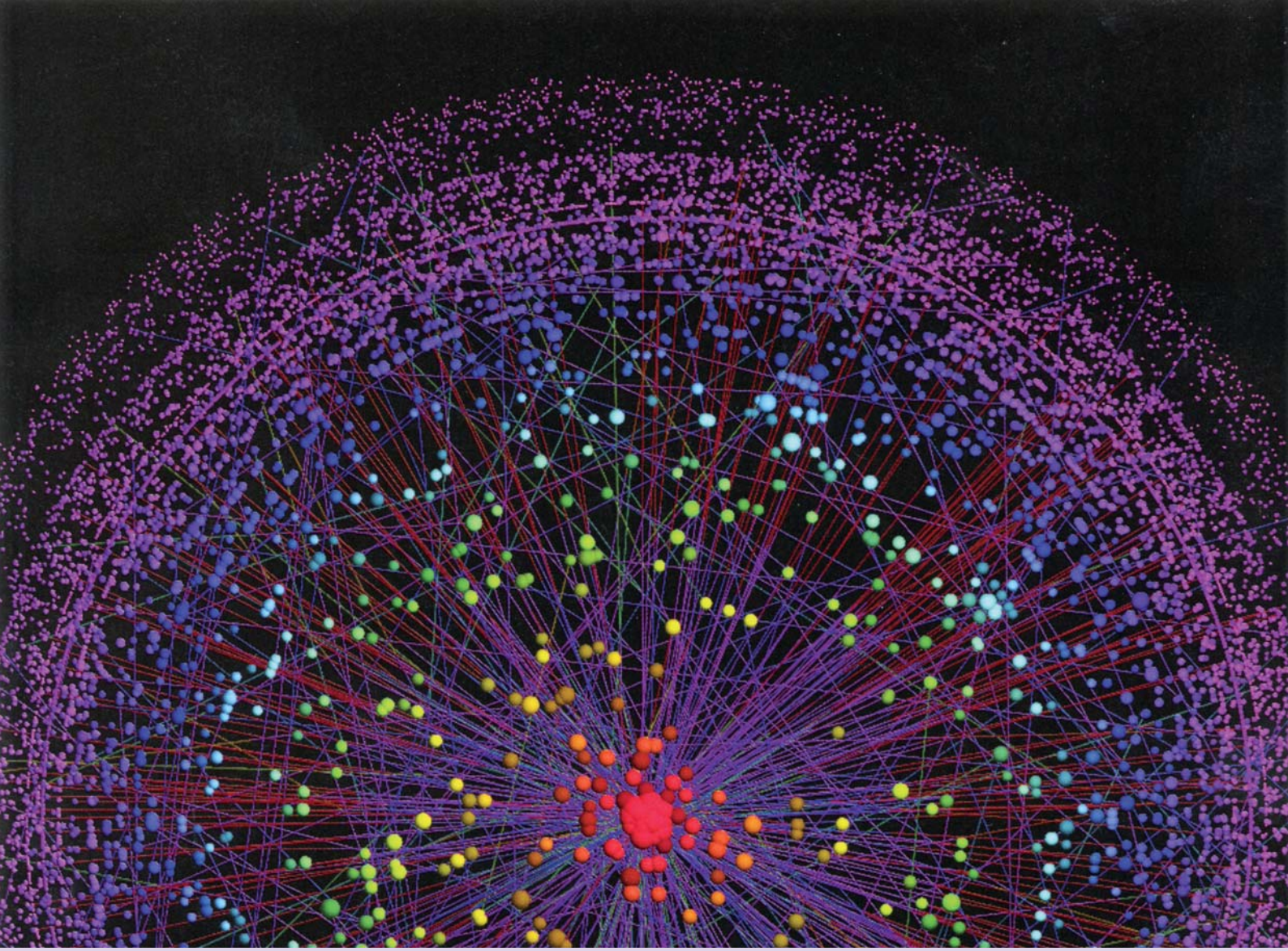
إلا أنه من الأفضل كثيراً أن يكون الأسلوب الأكثر فعالية لخزن الطاقة الكهربائية على نطاق واسع أن نقلل الحاجة للخزن إلى الحد الأدنى. وهذا أحد الأهداف التي عُرضت في أوائل هذه السنة في الفاتورة المحفِّزة للولايات المتحدة،. التي خصصت 4.3 بليون دولار للبحث والتطوير في توليد الطاقة المتجددة، وفي مردود الطاقة، وفي "الشبكة الذكية "smart grid" على وجه الخصوص. فبدلاً من التكيف ببساطة مع التزويد بالكهرباء استجابة للنزوات في الطلبات غير المتوقعة، تقوم شبكة ذكية بتكييف الطلب أيضاً. فعندما يبلغ الطلب الذروة، يمكن للشبكة مثلاً أن تباشر بقطع الطاقة عن البرادات في البيوت، وعن أنظمة تكييف الهواء وغيرها من الاستخدامات غير الملحة –لفترة قصيرة فقط في كل حالة، وليس هناك ما يمكن لأي شخص أن يلاحظ، ولكنها كافية للتخفيف من التغيرات في حمل الشبكة.

وفي هذا النوع من النظام، يقول نوراي، ستعمل تقانتا خزن



الطاقة والشبكةِ الذكية الواحدة إلى جانب الأخرى، ففي المساء خارج أوقات الذورة والحضيض المعتادة في حمل الشبكة (إلى مدى أطول) مما يمكن أن تبلغه أي منهما لوحدها. يقول نوراي "إن التغيرات لن تختفي أبداً ولكن مع الخزن يمكن أن تكون أكثر سلاسة واستواءً. فهو يرى مستقبلاً يمكن أن يكون للمجتمعات فيه حتى الصغيرة منها "صفراً صافياً"، بمعنى أنها في المتوسط تولد من الكهرباء بقدر ما تحتاج، وتحافظ على تزويد يُعتمد عليه بتبادلٍ كميات متواضعة من الطاقة أخذاً وعطاءً مع المجتمعات المجاورة. وستكون الروابط المحلية خطوطاً منخفضة الفولطية أما الخطوط العالية الفولطية فستكون للمسافات–الطويلة التي ستحتاجها فقط لربط مزارع الرياح أو الصفيفات الشمسية في المناطق البعيدة ذات الكثافة السكانية. ويقول نوراي أن هذا التحويل، "سيغير الطريقة التي نفكر بها، في تخزين الكهرباء "شغّل ثم خطط".

■ **الكاتب: دافيد لينلي هو محرر مستقل يمد المجلات بنتاج قلمه، مقيم في الإسكندرية، في فرجينيا.**



تبيّن هذه الصورة البنية المتدرّجة للإنترنت (الشابكة)، حيث وازى نهوضها الأهمية المتزايدة لعلم الشبكات.

عالم مشبوك

يتتبع الباحثان م. بوخانن (Mark Buchanan) و ج. كالدارلي (Guido Caldarelli) الارتقاء الباهر لعلم الشبكات، ويتفحّصان سبب شعبيته الملحوظة، كما يتنبأان بما سيؤول إليه مستقبلاً.

الكلمات المفتاحية: علم شبكات، شابكة، منظومات معقدة، نظرية التعقيد.

قبل قرابة عقد مضى، في حزيران 1998، ظهرت نشرة غريبة مؤلفة من ثلاث صفحات في مجلة نيتشر Nature يورد مؤلفاها –وهما باحثان في الرياضيات التطبيقية– وجود علاقة بين الشبكة الكهربائية في الولايات المتحدة وتشبيك المنظومة العصبية لدودة أسطوانية خيطية. كما لاحظا كذلك تشابه هذين النمطين في بنيتهما تشابهاً ملفتاً مع الشبكات الاجتماعية لممثلي هوليود، وهي من الشبكات القليلة المماثلة، التي استطاع المؤلفان الحصول على بيانات موسّعة عنها. ومن الصعب تصوّر مزيج من مواضيع غريبة متشابهة أكثر من ذلك.

مع ذلك، فإن هذه النشرة الغريبة (Nature, 394, 440) التي نشرها د. واتس Duncan Watts مع س. ستروغاتس Steve Strogatz –عندما كانا يعملان كلاهما في جامعة كورنيل– قد ولدت انفجاراً لمتابعة الأبحاث في هذا الاتجاه. فتحت عنوان التحريك الجماعي في شبكات العالم الصغير Collective dynamics of small – world networks، كما أظهر الباحثان وجود نوع جديد من الشبكات الرياضياتية –ليست عشوائية تماماً، كما أنها ليست مرتبة تماماً مثل الشبكات النظامية– يمكن أن يكون أداة مفيدة بصورة استثنائية لوصف شبكات في عالم الواقع. وقد حصدت هذه النشرة منذئذ آلاف الاستشهادات المرجعية، وأطلقت علماً كمياً بالكامل يتناول الشبكات غير المرتبة، مع تطبيقات في مجالات تبدأ بعلم الأوبئة مروراً بشبكة النقل العام والتنظيم الجيني وعلم اللغات، منتهية بعلم الاقتصاد.

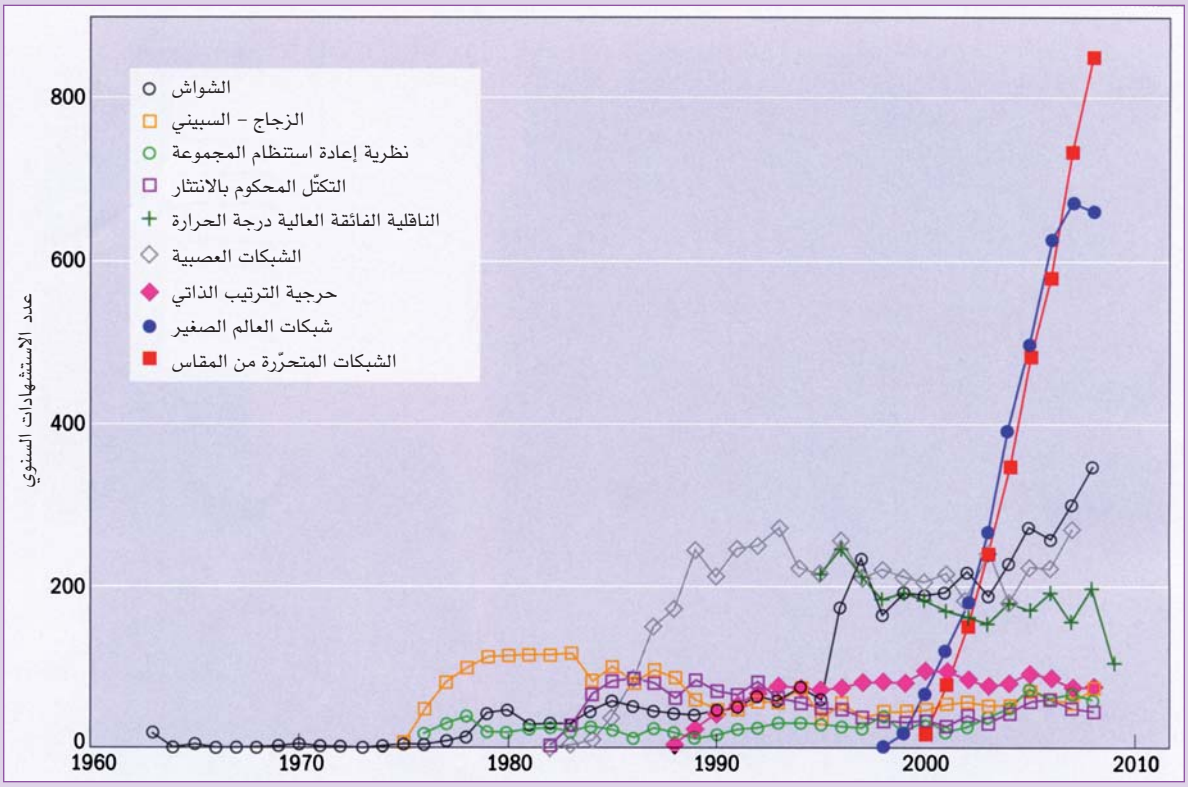
إن هذا بحدِّ ذاته إنجاز استثنائي، لكن السرعة التي حقق بها هذا المجال الجديد اندفاعه ربما تكون أكثر استثنائية من ذلك. يبين تاريخ الاستشهادات (انظر الشكل) أن نشرة واتس وستروغاتس –مثلها مثل النشرات المفتاحية الأخرى في هذا المجال، كنشرة أ. ل. باراباسي Albert–La'szlo Barabasi ور. ألبرت Re'ka Albert التي ظهرت على الشابكة العالمية عام 1999 (مجلة العلوم 509، 286)– قد اكتسبت استشهادات بمعدل أسرع من معدل نشرات مشهورة أطلقت ثورات علمية مصغرة سابقة. أحد الأمثلة على هذا نشرة إ. لورنتز Edward Lorenz المعْلم 1963 ذات العنوان "الجريان الحتمي غير الدوري Deterministic non–periodic flow" التي بيّنت كيف يمكن لمعادلات حتمية بالكامل، في نموذج تحريك الجوّ، أن تؤدي إلى نشوء سلوك غير نظامي هو في الواقع غير قابل للتنبؤ. وقد أصبحت هذه النشرة من الأعمال المولّدة القليلة التي قادت إلى نظرية الشواش الحتمي، فكانت إحدى الثورات المفاهيمية الرئيسة في الفيزياء والهندسة أواخر القرن العشرين. مع ذلك، لم تكن هذه ولا النشرات الأساسية المماثلة في مجالات أخرى مثل نظرية الزجاجيات السبينية أو نظرية حرجية التنظيم الذاتي –وكلاهما مجالان فرعيان ضمن حدود صنف أوسع من علم التعقيد complexity science– قد قاربت شعبية الاستشهادات في علم الشبكات.

عالَم شبكة-اجتماعية

قد يكون هذا الانفجار، طبعاً، هو المقابل العلمي لفقاعة مالية. فالعلم له موضاته أيضاً مثله مثل أي نشاط اجتماعي، طالما أن الباحثين يقرّرون ما سيدرسونه بالنظر إلى ما يفعله الآخرون جزئياً. يضاف إلى ذلك، توفر الحواسيب ذات الاستطاعة العالية الرخيصة المتاحة مما جعل جمع البيانات وتحليلها من شبكات العالم الحقيقي سهل نسبياً. وبمجرد قطف الفواكه المتدلية القريبة، يبدأ الجدل بأن فيض نشرات علم الشبكات قد يتلاشى حتى يصبح بالقطارة وينزلق ليصبح تاريخاً إلى جانب الموضات السابقة، مثل موضة نظرية الكارثة أو نظرية المنظومات العامة.

غير أن احتمالاً آخر، أقرب إلى الحدوث، هو ما قد يجلبه الاهتمام العارم بالشبكات ليعكس فعل قوى أكبر من قوة العلم، وتجاوباً بين أفكار هذا المجال وتطورات حديثة في الثقافة الإنسانية. ومع ذلك، فإن هذه النشرات الأساسية بخصوص الشبكات قد ظهرت في زمن ينمو فيه وعينا للعالمية نمواً سريعاً، إذ أصبح الناس مترابطين ترابطاً متزايداً بفضل السفر الجوي

تعكس موجة الاهتمام العارمة بالشبكات فعل قوى أكبر من العلم، كما تعكس تجاوباً بين أفكار هذا المجال والتطورات الحديثة في الثقافة الإنسانية.



إقلاع علم الشبكات: يظهر هذا البيان عدد الاستشهادات التي حصدتها نشرات قليلة أدّت إلى خروقات في الفيزياء لتوضح شعبية النشرات حول الشبكات بما لا يدانيها حتى بين هذه المجموعة من النخبة. فالعدد غير مسبوق.

الرخيص وبفضل الاتصالات اللاسلكية المتقدمة الحديثة. وقد يعكس النمو الانفجاري لعلم الشبكات ببساطة، ظهور تحول طوري في الثقافة الإنسانية ما بين سنة 1990 والوقت الحاضر. وقد يقول قائل، لا شك أن توجهنا باتجاه وجود مشبوك قد ضخم أهمية علم الشبكات.

على سبيل المثال، لم يصل مصطلح «العولمة» globalization إلى ما هو عليه من أهمية إلا قرابة منتصف تسعينيات القرن الماضي، وذلك عندما بدأ علماء الاجتماع والسياسيون وقادة رجال الأعمال ملاحظة حركات اللامركزية الإنسانية المتزايدة وكذلك حركة المصالح. فمع أن (الإنترنت) قد وجدت منذ بواكير سبعينيات القرن الماضي، فقد ظهرت أيضاً في التسعينيات قوة عالمية، وما لبثت أن باضت أعظم مصدر معلومات في تاريخ البشرية ألا وهو الشبكة العالمية العريضة، الشابكة (www). وإن شركة البحث على الشبكة، غوغل، قد وجدت في سبتمبر/أيلول عام 1998، أي بعد ظهور نشرة واتس وستروغاتس بثلاثة أشهر فقط. كما أقلعت حركة مصادر البرمجيات المفتوحة «open source» في السنة نفسها، إذ بيّنت منظومة اللينكس «Linux» التشغيلية كيف يمكن للإنترنت والشابكة (الويب) أن يعملا بمثابة بنية تحتية لتنظيم جماعي قوي أو شبكة استخبارات.

وبالطبع لم تكن جميع هذه التطورات حميدة. إذ إن الهجوم الإرهابي عام 2001 ساعد في إظهار الجانب المظلم من الشبكات لدى الجمهور، مع الحديث عن «الخلايا النائمة» التي تعمل ضمن شبكات لا مركزية ممتدة يصعب قهرها مكونة من أفراد مؤذيين. مع ذلك، فحتى الجوانب غير السارّة للشبكات قد ساعدت على دفع الفكرة لتأخذ أهميتها على مستويات عدّة في الوقت ذاته، كجزء من «عاصفة كاملة» نحو العولمة.

تغذية راجعة علمية

يمكن القول بالإجمال إن نمو الوعي الانفجاري العام بخصوص الشبكات قد حمل معه جنباً إلى جنب نمو علم الشبكات. لكن تجلّي موضوعات في العلوم نفسها قد دعم أيضاً هذا التحول المرتكز على الشبكات. فعندما نشر علماء الأحياء عام 2003 مسوّدة الجينوم البشري كاملاً، كان ذلك إنجازاً بارزاً وفي الوقت نفسه دليلاً على محدودية الطريقة التقليدية عند القيام بالدراسات العلمية. فقد وجد مشروع الجينوم البشري أن الإنسان يمتلك قرابة 30000 جينة، وهي أقل بكثير مما كان متوقعاً وهو العدد 100000. وبالمقابل، فقد وجد بالفعل أن بعض أنواع الأرز تمتلك فعلاً ما يقارب 100000 جينة، موحية بذلك أن ما يصنع تعقيدنا التركيبي لا يعتمد على الأعداد الخام من الجينات بل على طريقة تآثر هذه الجينات. وبكلام آخر، إن القضية المفتاحية هي التعضي المتفرّد للشبكة الجينية. فالعديد من الأمراض، إن لم يكن معظمها، ووظائف المتعضيات يمكن فهمها فقط عند التفكير وفق شبكة تآثرات كثيفة وتغذيات راجعة لها.

بالطبع، إن هذه المسألة في التغذية الراجعة ليست خاصة بعلم الأحياء، وهي تقف وراء النمو الحديث لعلم التعقيد –هو مجال واسع يهدف إلى فهم الخواص الكلّية الإجمالية للمنظومات فهماً أفضل عبر اختراق شبكات تآثراتها الكثيفة. فقد ميّز العلماء بدءاً من علماء المواد وعلم الطقس حتى علماء البيئة والبشر وجود العديد من المسائل الملحّة عندهم التي لا يمكن حلّها ببساطة عبر تجزئة منظوماتهم إلى أجزاء وفهم عمل كل جزء من هذه الأجزاء. ففهم سلوك الإلكترونات لذرّة مفردة، على سبيل المثال، ليس كافياً ليسمح للفيزيائيين تلمّس الترتيب الجماعي المعقد الذي يحكم الناقلية الفائقة، أو أنه ليس كافياً حتى لفهم التحول المفاجئ للماء من سائل إلى جليد عند درجة حرارة الصفر المئوي. بل إن التصنيع هو الذي يهم أكثر من غيره عبر فهم شبكة التآثرات بين الأجزاء وكيف أن هذه التآثرات تقود إلى خواص مثل التصلّب أو النقل الكهربائي، أو التكيّف أو الجساءة مقابل التحدّيات أو الذكاء في منظومات أخرى.

يمكن ربط أفكار علم الشبكات من وجهة نظر أخرى بالحساب التحليلي. فكما أن الحساب التحليلي قابل للتطبيق في الاتصالات الراديوية البعيدة أو في حركة سباحة البكتيريا، كذلك فإن علم الشبكات يزودنا بمفاهيم عامة ورؤى نحتاجها لتناول مسائل نموذجية لمنظومات معقدة واسعة المجال. فهو يزودنا بإطار نظري لتحليل الشبكة والإنترنت، وشبكة تآثرات مجموعة اجتماعية معينة، وشبكة تآثرات الجزيئات المؤدية إلى الأيض (الاستقلاب) الخلوي، وإلى التعالقات بين أسعار الأسهم لعدة منظمات، ومثلها كثير.

نرى بصورة ملفتة للنظر، مع الفروقات بين هذه المنظومات، أنها تظهر تشابهات قوية في معمارياتها. ففي معظم الحالات تقريباً، نجد لشبكات العالم الواقعي سمة «العالم الصغير»، وبالتحديد قدرتها على أن تخطو بضع خطوات فقط لتتحرك بين أية نقطتين على الشبكة حتى ولو تضمّنت عدة ملايين من العناصر. وبالمثل، تظهر معظم شبكات العالم الواقعي (وليس كلها) تغييرات عظيمة في طريقة مشاركة الروابط بين شبكة عناصرها؛ ففي الحالة النموذجية يمتلك عدد قليل من عناصرها عدداً ضخماً من الروابط، في حين أن معظمها يمتلك عدداً قليلاً جداً فقط.

إلى أين نذهب؟

ما زال شيء واحد مفقوداً في هذه الصورة هو نظرية كاملة تفسّر وتجيب عن سبب كون الطبيعة مغرمة إلى هذا الحدّ بالشبكات. وعلى نظرية كهذه تفسير ركون العالم الطبيعي في الغالب، سواء في الفيزياء أم في علوم الحياة، إلى بنى معمارية نموذجية خاصة، وتفسير لماذا تعيد البنى التي يقوم بتصميمها الإنسان توليد شبيهاتها. وعلى مستوى عملي، ستساعد هذه النظرية في إرشاد أي شخص يرغب بتصميم شبكة –مثل شبكة تغذية كهربائية– ذات خواص مرغوبة كشبكة معالجة معلومات كفؤة أو ذات أداء مقاوم للتقلبات.

ما زال شيء واحد مفقوداً هو نظرية كاملة تصف سبب كون الطبيعة مغرمة بالشبكات إلى هذا الحدّ.

مع ذلك، حتى بدون وجود نظرية كاملة، فقد أصبحت أدوات هذا العلم الجديد أدوات لا يستغنى عنها في عالم الأعمال المعتمد على التشبيك، وهي في الوقت نفسه الدوافع الرئيسة لصياغة عالم منتعش يرتكز على الشبكات. فالخوارزميات البرمجية الداعمة لموقع «فيسبوك» Facebook، الاجتماعي ذي الشعبية العالية المشبوك، على سبيل المثال، تعدّ عدد الأصدقاء المشتركين لشخص ما كي يعين الأشخاص الجدد الذي يرغب هو أو هي بمقابلتهم. وبالمثل، فإن البرمجيات التي تستعملها شركة البيع بالتجزئة أمازون Amazon على الإنترنيت تحتفظ بسجل لبنود تمَّ شراؤها من قِبَل مستعملين مختلفين كي توصي باهتمامات جديدة في الكتب أو الأفلام أو الإلكترونيات، إلخ.

سيكون من الأهمية بمكان رؤية مدى استمرار هذا النمو الانفجاري لعلم الشبكات. مع ذلك، فإن التطورات الحديثة –مثل خوارزمية ترتيب الصفحات Page Rank وفق أهميتها العالية النفوذ في علم الحاسوب، التي تحسّن نتائج عملية البحث على الشابكة تحسيناً كبيراً– تشير إلى مستقبل غني.

وقد اقترح بعض الباحثين، أمثال عالم الأحياء س. ووز Carl Woese والفيزيائي ن. غولدنفيلد Nigel Goldenfeld حديثاً كون البيولوجيا التطورية نتيجة ثورة شبكيّة في حدّ ذاتها. ويعتقد الباحثان أنه طالما بدأ علماء الأحياء قبول حقيقة تبادل المواد الجينية «أفقياً» بين البكتيريات والفيروسات بصورة مستمرة، فإن نقلها بين الأفراد بطرائق صلاتها بالآليات التقليدية للتطور ضعيفة، وستحتاج البيولوجيا، عند مستوى معيّن، إلى التركيز على شبكة الارتباطات بين الأفراد بطريقة لا علاقة لها بالماضي.

وبصورة مشابهة، فقد حرّضت التقنيات الحديثة في جمع بيانات العلوم الاجتماعية اهتماماً متجدداً في التآثرات الإنسانية، مما قاد بعض الباحثين لاقتراح مفاده أن الكثير من ذكاء الإنسان لا يعتمد على الفرد إطلاقاً لكنه يكمن في علاقاته واتصالاته مع مجموعات من الأفراد. وإذا صحّ ذلك، فإنه سيتضمن امتلاكنا نوعا من «الذكاء الجماعي» –أي أن البشر يمكن أن يكونوا شَبَه النمل وبالوقت نفسه شَبَه القرد.

إذا كانت مثل هذه الطريقة في التفكير العريض للتحول باتجاه التفكير الشبكيّ هي التفسير الحقيقي للنمو السريع في علم الشبكات، عندئذ سيستمر هذا المجال الجديد المثير في النمو المتقدّم لبعض الوقت. قد يكون علم الشبكات علماً انفجارياً لأنه علم عام جداً؛ وهو مشغول الآن ببناء الفيزياء الأساسية والرياضيات التي نحتاجها لفهمه، أو على الأقل كي نكون قادرين على الحديث عنه بصورة ذكية، أي الحديث عن شبكات التآثرات بين كل أنواع الأشياء.

---

*م. **بوخانن** كاتب علمي مقرّه المملكة المتحدة، ج. كالدارلي فيزيائي يعمل في مركز الميكانيك الإحصائي ونظرية التعقيد بجامعة روما "La Sapienza" في إيطاليا، ويعمل كذلك في معهد لندن للعلوم الرياضياتية بالمملكة المتحدة.*

ـ *نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, February 2010. ترجمة د. فوزي عوض، عضو هيئة التحرير.*

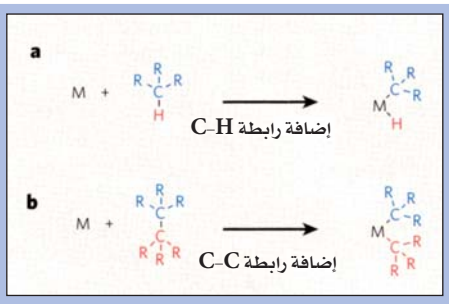
كسر الروابط كربون-كربون

من المعروف، نتيجة الخبرة والممارسة، أنه ليس من السهل كسر الروابط كربون–كربون. ولكن وُجد أن معقداً من التنغستين استطاع، بصورة خاصة، كسر رابطة قوية من الكربون–كربون، متيحاً بذلك فرصاً جديدة للاصطناعات العضوية.

تعتبر الرابطتان كربون–هدروجين (C-H) وكربون–كربون (C-C) الوصلتين الأساسيتين في الجزيئات العضوية. كما أنهما أيضاً من بين تلك الوصلات الأقل عرضة للتداول من قِبَل الكيميائيين الاصطناعيين. لقد اعتُبر ما تمَّ في الثمانينيات من القرن الماضي، عند اكتشاف عدد محدّد من معقّدات الفلزات الانتقالية التي تستطيع كسر الروابط C-H لتشكيل الروابط المقابلة فلز–كربون من فلز–هدروجين (وهي عملية يُشار إليها أحياناً بـ إضافة رابطة C-H كما في (الشكل a1)، خرقاً علمياً. لقد فتح هذا التفاعل الباب لتطوير الطرائق الحفزيّة من أجل إجراء تحويرات متحكَّم بها في الجزيئات عند موقع الرابطة C-H. وتعتبر إضافة رابطة C-H، في الوقت الحالي، أحد أكثر المجالات دينامية للإنماء في كيمياء الاصطناع العضوي.

وبالمقابل، أثبتت الروابط C-C أنها أكثر مقاومة للكسر بمعقدات الفلزات. إن الأمثلة القليلة نسبياً والمعروفة بإضافة رابطة C-C (الشكل 1b) تتطلّب بشكل نموذجي، مساعدة من مجموعات أخرى في الجزيء العضوي تملك رابطة C-C قريبة من ذرّة معدن، أو تتضمن روابط C-C ضعيفة بشكل شاذ. غير أن ساتلر Sattler وباركين Parkin قدّما مثالاً لافتاً للنظر عن كسر الرابطة C-C مع عدم ضرورة وجود مثل هذه المساعدة من مجموعات أخرى، رغم أن الرابطة المكسورة أقوى فعلياً من الروابط C-C النموذجية.

أنجز ساتلر وباركين هذه العملية على جزيء أروماتي (شبيه بالبنزن) يُدعى كوينوكسالين (الشكل 2). ولمّا كانت الرابطة C-C قيد الدراسة جزءاً من المنظومة الأروماتية، فهي على نحو ما أقوى من الرابطة C-C العادية، وهي بعكس جميع الروابط في حلقة البنزن، تحتوي منظومة حلقة الكوينوكسالين ذرتين من النتروجين. توجد جزيئات أروماتية حاوية للنتروجين مشابهة في كلّ مكان في البيولوجيا –مثل القواعد الموجودة في الحموض النووية. كما أنه ليس عرَضاً وجود هذه المركّبات بشكل عام في مصادر الوقود الأحفوري،



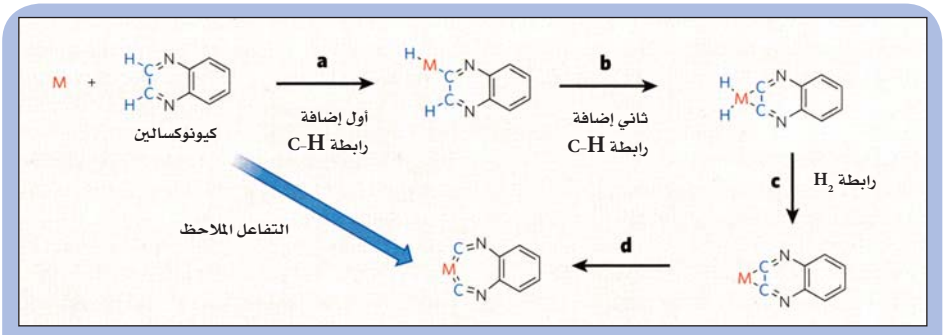
الشكل1- تفاعلات إضافة رابطة **a**: في إضافات رابطة C–H، تُكسر رابطة كربون–هدروجين في جزيء عضوي بمعقد يحتوي معدن (M). وتصبح شظيات الجزيء الناتجة مرتبطة مع المعدن. **b**: إن التفاعل المشابه من أجل الروابط كربون–كربون، إضافة رابطة C–C، تكون أكثر ندرة لأن هذه الروابط هي في العادة أقلّ فعالية من الروابط C–H. تمثل R أي مجموعة هدروكربون.

حيث يمكنها أن تسبّب بعض المشاكل، فهي تحبط فعالية الحفّازات المستعملة في تكرير البترول، كما أن احتراقها يؤدي إلى إصدار أكاسيد النتروجين الملوثة للبيئة. ولهذا يجب، بصورة نموذجية، إزاحة النتروجين بعملية صعبة تُعرف باسم إزالة النتروجين بالهدرجة.

وصف باركين وزملاؤه مسبقاً معقداً من الموليبدينوم يتفاعل مع الكوينوكسالين ليشكّل معقد موليبدينوم–كوينوكسالين بسيطاً، وفق تفاعل يثير الفضول ولكنه واحد من التفاعلات التي لا تنكسر فيه أية رابطة من روابط الكوينوكسالين. يوجد تحت الموليبدينوم في الجدول الدوري مباشرة عنصر التنغستين. ويعرف فريق العمل أن التنغستين يسلك بشكل نموذجي سلوك الموليبدينوم، مع أنه أكثر عدوانية من حيث كسر الروابط. وفعلاً، عندما مزج ساتلر وباركين الكوينوكسالين مع معقد التنغستين، تماماً كما فعلا مع معقد الموليبدينوم في عملهما السابق، توصلا إلى نتائج غير متوقعة. لقد وجدا أن ذرّة التنغستين حشرت نفسها إلى داخل الرابطة C-C وتوضّعت بين ذرّتي النتروجين في الكوينوكسالين. وبكلمة أخرى، إن حلقة الكوينوكسالين التي تحتوي النتروجين، والمؤلفة من ست ذرّات، قد أفسحت المجال إلى التنغستين الجديد مشكلة جملة حلقية

تحوي سبع ذرّات (الشكل 2).

إن آلية هذه العملية المثيرة للانتباه لم تحدّد بعد بشكل دقيق، ولكن المؤلفين لديهما الدليل الكافي لاقتراح طريق مخادع للتفاعل. إن الخطوة المفتاح الأولى في الطريق المقترح هي ولوج التنغستين في داخل الرابطة C-H في إحدى ذرّتي الكربون التي ستتحمل في النهاية إضافة رابطة C–C (الشكل 2a). وبعد ذلك تحشر ذرّة التنغستين نفسها داخل الرابطة C-H الموجودة في ذرة الكربون الثانية وفق تفاعل يُطلق عليه اسم حذف هدروجين β (الشكل 2b). يفقد معقّد الفلز الناتج بعد ذلك ذرّتي الهدروجين اللتين كانتا مرتبطتين إلى ذرّتي الكربون بتشكيل جزيء هدروجين (الشكل 2c). إن البنية الفراغية للمركّب المتوسط الناتج أثناء العملية تضع الجزيء تحت إجهاد كبير، مما يجعله يتخلص من هذا الإجهاد بحدوث الخطوة الأخيرة وذلك بتشكيل الحلقة السباعية التي تحتوي التنغستين (الشكل 2d). من الأهمية بمكان أن المنتج النهائي يحتوي على وصلتين هما تنغستين–كربون، ونتروجين–كربون والمعروفتين بمجموعتي معدن–إيزوسيانيد. إن هاتين المجموعتين ثابتتان ترموديناميكياً تماماً، وتشكلهما يقدّم بلا شك كثيراً من الدفع لعملية إضافة C-C غير الطبيعية. وفوق ذلك، تلحظ آلية المؤلفين المقترحة أن إضافة C-H في الرابطة C-H الخاملة نسبياً تحثّ على بدء سلسلة من الأحداث التي تؤدي إلى تحطم الرابطة C-C الأكثر خمولاً.



الشكل2- آلية مقترحة لإضافة رابطة C–C. قدّم ساتلر و باركين تفاعلاً يلج فيه معقد تنغستين (M) إلى داخل الرابطة C–C في الكوينوكسالين ويقترحا الآلية التالية. **a**: يلج معقد التنغستين إلى داخل الرابطة C–H الواقعة مباشرة إلى جوار إحدى ذرّات النتروجين في الكوينوكسالين، وهو تفاعل إضافة رابطة C–H. **b**: تتم إضافة رابطة C–H ثانية عند الرابطة C–H المجاورة، وهو تفاعل معروف باسم هدروجين–β. **c**: تختفي ذرّتا الهدروجين اللتين قدمتا من الرابطتين C–H على شكل جزيء هدروجين. **d**: وأخيراً تنجسر الرابطة C–C بمعقد التنغستين معطية المنتج الملاحظ.

إن تفاعل ساتلر وباركين عمل قائم على البراعة، رغم أن الطريق يُحتمل أن يكون طويلاً لرؤية أية تطبيقات مفيدة له. ويمكن أن يتصوّر شخص ما تفاعلاً من هذا النوع يكون مأثرة كخطوة أولى لتحول محفَّز بالتنغستين. ومع ذلك، حال تشكله، فإن مجموعات معدن–إيزوسيانيد تكون خاملة، مما يجعل من الصعب إدخالها في حلقة حفزيّة. ومع ذلك، فإن الإمكانيات الطاقية للتفاعل الجديد كبيرة جداً. إن الآلية غير العادية يمكن أن توحي بطرائق جديدة أكثر شمولاً لكسر الروابط C-C، وإلى تطبيقات يمكن تصوّرها بدءاً من اصطناع مركّبات صيدلانية إلى تطوير حفّازات جديدة من أجل نزع النتروجين بالهدرجة من الوقود الأحفوري.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature, Vol 463, 28 January 2009.

ترجمة د. أحمد حاج سعيد، عضو هيئة التحرير.

أسرار انتقال الحُجرة

يعتبر انتقال DNA عبر الأغشية عملية حياتية أساسية. وتسلّط بنية جزء من القناة البروتينية التي تقوم بهذه العملية الضوء على آلية عبور DNA خلال الأغلفة الخلوية البكتيرية.

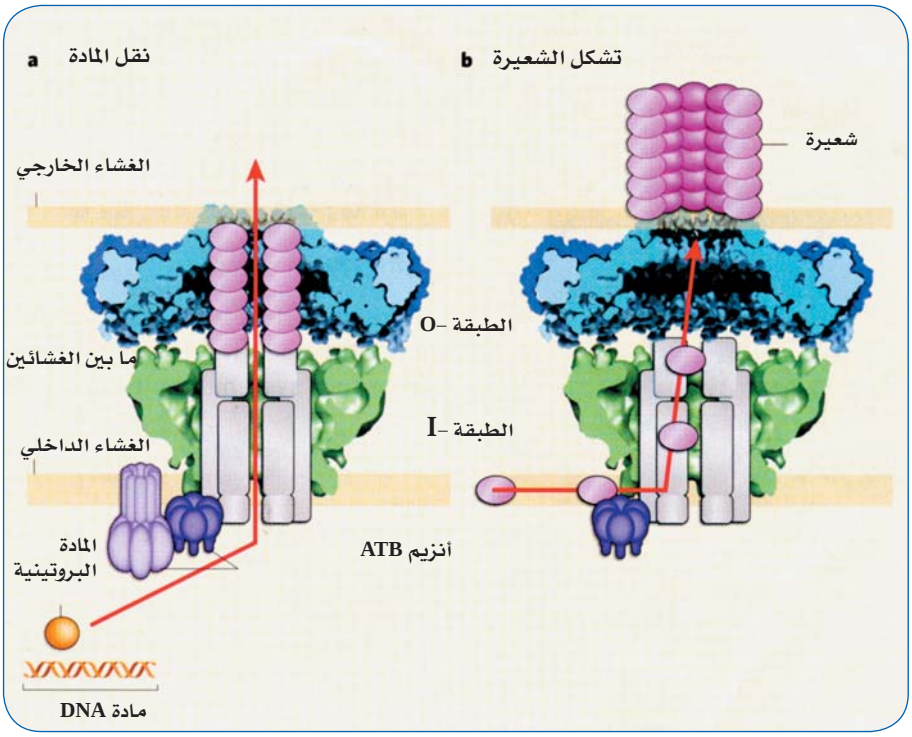
ينقل كثير من أنواع البكتيريا الدنا DNA إلى الخلايا المجاورة لها في عملية يُطلق عليها اسم الالتقاء أو التزاوج. وقد لعبت عملية التزاوج هذه دوراً سيادياً عبر التطور في تشكيل الجين البكتيري.

وعلى مستوى الزمن الحالي، تعرض عملية التزاوج هذه مشكلة كبيرة على الصحة العامة، إذ إنها تشكّل الآلية المسؤولة عن الانتشار الواسع لمورثات (جينات) المقاومة للمضادات الحيوية وصفات

العنف بين المسبّبات المرضية. ويُجرى البحث، منذ أكثر من 50 عاماً، لمعرفة الكيفية التي تحرك بها البكتيريا الدنا DNA من خلية إلى أخرى مجاورة، إلا أن التفاصيل البنيوية لم تظهر إلا حديثاً. ففي الصفحة 1011 من مجلة Nature, Vol 462/24, December 31 2009، نشرت مجموعة بقيادة واكسمان Woksman البنية البلورية لجزء كبير لآلة التزاوج. ويمثل ما وجده هؤلاء الباحثون نقلة نوعية في فهمنا لكيفية عمل أنظمة النقل هذه على المستوى الجزيئي.

تعتبر أنظمة التزاوج تحت عائلة من أنظمة الإفراز IV (T4S)، والتي يشمل مدى عملها تبادل DNA مع البيئة، وتوصيل DNA والبروتين المؤثر إلى الخلايا البكتيرية والفطرية والنباتية والبشرية الهدف. قليل من أنظمة T4S ما درس بالتفصيل في البكتيريا السالبة لغرام، وأحدها نظام VirB/VirD4 في بكتيريا الأَجْرَعِيَّة المورِمَة T4S Agrobacterium tumefaciens، الذي اعتُبر نقطة مرجعية لأنظمة نقل فوق العائلة هذه. في A. tumefaciens، تنتظم 11 تحت وحدة VirB مع بعضها ومع تحت وحدة VirD4 لتشكّل بنيتين: قناة ممر لنقل المادة وشعيرة اقتران (زائدة تشبه الشعر) لتأمين الاتصال مع الخلايا الهدف.

حلّ واكسمان وزملاؤه خلال العقد الماضي بنى تحت وحدات عديدة من أنظمة T4S مضيفين تفاصيل غاية في الأهمية إلى الصورة البازغة لمعمارية القناة. وفي مطلع العام 2009، قدّم هؤلاء الباحثون بنية جزء من قناة التزاوج عُرّفت بأنها معقد اللب من الأشريكية الكولونية Escherichia coli، وحُلّت عند ميْز قدره حوالي 15 أنجستروم باستعمال المجهر الإلكتروني cryo-electron (cryo EM) microscopy. وقد أظهرت البنية أن 14 نسخة من تحت وحدات المعقد TraO وTraN وTraF –والتي تعادل وظيفياً VirB7 وVirB9 وVirB10 في A. tumefaciens– تتجمّع كحجرة كبيرة عرضها



الشكل 1– معمارية واحتمالات وظائف أنظمة الإفراز من الطراز IV تنقل البكتيريا DNA ومواد بروتينية بين بعضها وإلى الخلايا الحقيقية النواة، كالتي في النباتات والحيوانات، مستخدمة نماذج الإفراز IV (T4S). يمكن لهذه الأنظمة اختراق المنطقة بين الأغشية الخارجية والداخلية لأغلفة البكتيريا. تحتوي أنظمة T4S على لب معقد يتألف من طبقتين O وI. البنية البلّورية بأشعة X للطبقة O (أزرق) حسب وصف واكسمان وزملائه تظهر هنا بصورة عن المجهر cryo EM (أخضر) للمعقد اللبي نفسه. وتحت وحدات النظام الباقية وضعت بشكل مخطط. اقترح واكسمان وزملاؤه طبقتين محتملتين لمعقد اللب.

a- يمكن أن تخدم كسقّالة بنيوية تحتوي قناة الانتقال التي تعبرها المواد. تحت وحدات قنوية عديدة، بما فيها بروتينات البلين plin (magent ovals)، تشكّل مجرى أو قناة مغلفة ضمن حجرة اللب. وتربط تحت وحدات الأنزيم ATPase المواد الجاهزة للنقل. b- يمكن لمعقد اللب أيضاً أن يلعب دور السقّالة ومسرح التجمع لشعيرات التزاوج –الزوائد الشبيهة الشعر لنظام T4S التي توظف للاتصال مع البكتيريا الأخرى (أو الخلايا الحقيقية) قبل نقل المادة. سيتم اجتياز بروتينات الحبلين في الغشاء الداخلي من خلال لب الحجرة إلى سطح الخلايا البكتيرية لبناء الشعيرة.

وارتفاعها A° 185، والتي تعبر الغلاف البكتيري (الشكل 1). وقد رمز المؤلفون إلى أجزاء الحُجْرة القريبة إلى داخل وخارج الأغشية من الغلاف كطبقة داخلية (I) وخارجية (O) على التتالي.

يقدم واكسمان ومساعدوه الآن البنية البلّورية الثلاثية الأبعاد الأولى العالية التمييز (2.6 أنجستروم) لجزء من معقد اللب من الأشريكية الكولونية E. coli (الشكل 1). تعتبر البنية التي تعود إلى الطبقة الخارجية O للمجهر الإلكتروني cryo EM قوة انعطاف في البيولوجية البنيوية. إنها أول بنية بأشعة X لثقب الغشاء الخارجي الذي يتألف من أكثر من نوع من تحت الوحدات، في حين تتألف جميع الثقوب أو القنوات في الأغشية الخارجية المعروفة من أعداد متباينة من تحت وحدات متماثلة. إنه أيضاً واحد من أكبر معقدات

الأغشية–بروتين المعروفة حتى الآن.

ومن المدهش أن البنية أوضحت أن ثقوب الغشاء الخارجي، التي تُدعى القلنسوة cap، لا تتألف من TraO (VirB9) كما كان التوقع سابقاً، ولكن من مجال من TraF (VirB10) المعروفة بالبروز الهوائي antennae. ويتألف هذا البروز من اثنين من حلزونات ألفا وعروة متداخلة. وتنتظم 14 نسخة من الحزمتين الحلزونيتين لتشكّل الثقب المتّسع. وهذه، بشكل مدهش، بنية غير عادية –جميع بروتينات الأغشية الخارجية للبكتيريا تنتظم في الأغشية بشكل أنابيب بيتا β–barrels وليس على شكل حلزونة ألفا. والأكثر غرابة، أنه إذا أخذت البنية الجديدة مع المكتشفات الأبكر، فإنها تؤكد أن TraF (VirB10) تعبُر الغلاف الخلوي، وهذا أمر غير مسبوق بالنسبة لبروتينات الأغشية البكتيرية، وهي مدهشة على وجه الخصوص لأن VirB10 حركي البنية. وبالتحديد، يستشعر VirB10 التغيّرات المتوافقة التي ترافق إما الارتباط أو التحلّل المائي لـ ATP (مصدر الطاقة) بواسطة تحت وحدات بروتينية تتوضع على مدخل قناة التزاوج. يستجيب VirB10 لهذه التغيّرات بتغيّرات في بنيته الذاتية والمطلوبة لقيام نظام التزاوج بنقل المادة. وفي سياق البنية الجديدة لواكسمان وزملائه، فإن آلية استشعار ATP هذه يمكن أن تخدم بتعديل مدخل الثقب الألفا حلزوني ليسمح بمرور المادة. ويقترح المؤلفون، في الحقيقة، أن الاختلافات البنيوية التي لوحظت في cryo-EM[9] وبنى أشعة X يمكن أن تعكس اختلافاً في مستويات طاقة المعقّد.

تبعاً لذلك، ما هو دور الحجرة الكبيرة في لب المعقّد؟ في حالة الأَجْرَعيّة المورِمة A. tumefaciens، فإنه إلى جانب معقد اللب VirB7-VirB9-VirB10، هناك على الأقل 7 تحت وحدات أخرى مطلوبة لنقل المادة، ويمكن لتحت الوحدات هذه أن تنتظم في لب الحجرة والتي تكون أبعادها كبيرة بما يكفي لتشمل قناة نقل كاملة (الشكل 1a). إضافة إلى ذلك، يمكن للب الحجرة أن يخدم كمسرح للتطور البيولوجي للشعيرة (الشكل 1b).

الفكرة بأن لب الحجرة يقوم بدور السقّالة البنائية لانتظام القناة و/أو الشعيرة مُرضية ومتناسبة مع معظم النتائج البيوكيميائية. إلا أن نموذجاً مثل هذا يحتاج إلى توافق مع ثلاث من الملاحظات التجريبية على الأقل. أولاً: من المعروف أن حذف نصف الأحماض الأمينية على الأقل من الامتدادات الهوائية لـ VirB10 (التي تتجمع لتشكّل الثقب الخارجي للغشاء) تلغي انتقائياً إحيائية الشعيرة دون أن تخل بانتقال المادة. وإذا اجتازت المواد لب الحجرة (الشكل 1a) فكيف يمكن أن تجتاز الغشاء الخارجي دون وجود ثقب كامل؟

ثانياً: على الرغم من أن معظم مواد أنظمة T4S ترتبط مع أنظمة T4S الخاصة بها عند مدخل القناة في السيتوبلازم، فإن بعض المواد –مثل زيفان السعال الديكي وهو معقد بروتيني خماسي– ينتظم أولاً في الجبلة أو الفراغ الخلوي Penplasm (مكان بين الغشائين الداخلي والخارجي في غلاف الخلية البكتيرية) وبعدها يرتبط مع نظام T4S للنقل عبر الغشاء الخارجي. إلا أن بنية أشعة X لواكسمان وزملائه كشفت عن شبكة كثيفة من التفاعلات المتداخلة بين تحت وحدات لب أنظمة T4S، وليس من الواضح كيف تكسب مواد تحت وحدات متعددة سبيلاً إلى لب الحجرة للانتقال.

وفي النهاية، فإن قطر ثقب الحلزونة–ألفا في البنية البلّورية الجديدة هو فقط 32 أنجستروم (A°)، وهو حجم يمكن أن يستوعب DNA ومواد بروتينية غير مطوية، ولكنه لا يستوعب مواد بروتينية متعددة تحت الوحدات، أو بالنسبة لهذا الموضوع، شعيرة التزاوج (قطرها A° 80-120) دون تحريض إعادة تنظيم بنيوية.

هذه المواضيع وغيرها لازالت تنتظر مزيداً من الدراسة. وفي الوقت نفسه، لا بد من الاعتراف بفضل واكسمان وزملائه للقفزة النوعية في فهمنا لانتقال الجزيئات العملاقة في البكتيريا. والمهمّة التالية في الجبهة البنيوية هي حلّ التجمعات الأكبر لأنظمة T4S في النهاية لكامل آلة الانتقال. كما سيكون تحديد كيفية ارتفاق معقد اللب فيزيائياً بشعيرة التزاوج تحدّياً هائلاً، رغم أن ذلك يعتبر هدفاً رئيساً إذا رغبنا بفهم دور شعيرة التزاوج (إن وجد) في نقل المادة. وعلى مستوى الأهمية نفسه نحتاج إلى دراسات وظيفية لبيان أن البنى التي وضحت في الزجاج موجودة ولها نشاطات بيولوجية في الوسط الحي. وإلى جانب تشجيع هذه الدراسات وطرق الأبحاث الأخرى، فإن نتائج واكسمان ومساعديه تدفعنا خطوة أقرب نحو تطوير عقاقير هدفها أنظمة T4S للسيطرة على انتشار المقاومة للمضادات الحيوية والحدّ من انتشار محرّضات طبية مهمّة.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 462,24/31 December 2009.

ترجمة د. نجم الدين شرابي، عضو هيئة التحرير.

ضوء من الظلام

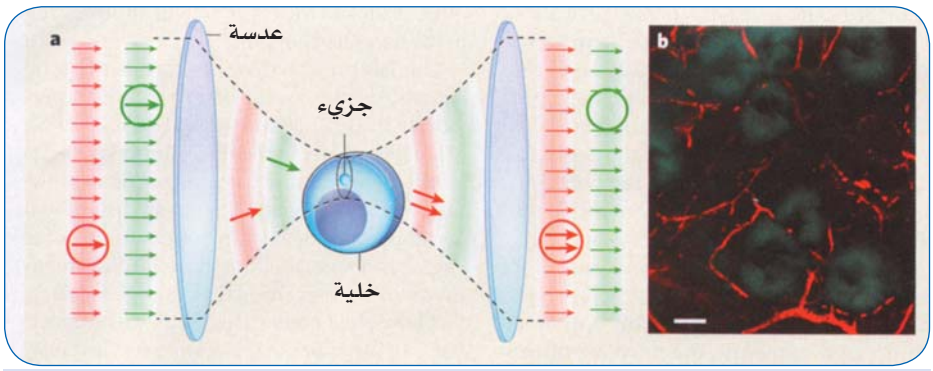
إن مجهرية الفلورة هي أكثر الطرق شيوعاً لتصوير الجزيئات الحيوية، لكنها تترك العديد من هذه الجزيئات في الظلام. يمكن الآن مشاهدة الجزيئات غير المتفلورة، والماصة للضوء، من خلال طريقة تحوّلها إلى ليزرات صغيرة.

ما الذي يحدث عندما يمتص جزيءٌ فوتوناً من حزمة من الضوء؟ ينتقل الجزيء من حالة أساسية إلى حالة مثارة، أي ذات طاقة أعلى ثم يسترخي بسرعة، مطلقاً الطاقة الممتصة على شكل حرارة. على أي حال، توجد استثناءات واضحة –هناك جزيئات تدعى الجزيئات ذات الصفات التألقية fluorophores، تسترخي هذه الجزيئات، بعد قليل من التذبذب، مصدرة فوتوناً ذا طاقة أقل. وبتوظيفها كواسمات جزيئية، فإن هذه الجزيئات تُعدُّ جزيئات قيّمة في المجهرية الطبية الحيوية وفي التشخيص لأنها تجعل الجزيئات العاتمة مرئية وبانتقائية عالية.

ولكن ماذا لو لم يكن الوسم بالمفلورات متاحاً وبقيت الجزيئات الموضوعة قيد البحث محجوبة في الظلام، كما في تطبيقات التنظير الداخلي؟ يبقى ممكناً إخراج فوتون من مثل هذه الجزيئات لإنتاج صور ثلاثية للمنظومات البيولوجية كالنسج والخلايا الحية بحسب ما ورد في تقرير مين Min وزملائه الذي نشرته مجلة Nature في إصدارها رقم 461 لعام 2009.

كيف يكون هذا ممكناً؟ حسناً، توجد آلية أخرى للاسترخاء الجزيئي يمكن إحداثها بواسطة حزمة من الضوء. يُصدر الفوتون الصادم للجزيء المثار في هذه العملية المسماة الإصدار المحثوث نسخة عن نفسه، مضيفاً بذلك إلى الحزمة فوتوناً آخر له نفس لون الحزمة ونفس جهة انتشارها، وليكون فوتون الحث فعالاً يجب أن تتلائم طاقته مع الفرجة بين الحالة الأساسية والحالة المثارة. في الحقيقة، تحتاج فوتونات الحث إلى طاقة أقل بعض الشيء من طاقة مثيلاتها فوتونات الإثارة، لأن بعضاً من طاقة الجزيء المثار يضيع عادة على شكل حركة اهتزازية (تذبذب) قبل أن يبلغه الفوتون. يستخدم الإصدار المحثوث لتضخيم ضوء الليزرات، لتخطي حاجز الفصل في مجهرية الفلورة وكعملية جزيئية فإنها تكون فعالة كامتصاص الضوء، لأن كلا العمليتين تعتمدان على مساحة أسر الجزيء للفوتون وتقدّر بحوالي 0.2×0.2 نانومتراً، وهي تقريباً مساحة الجزيء نفسه.

يمكن النظر إلى دور مساحة أسر الفوتون في الامتصاص الضوئي والإصدار المحثوث على النحو التالي:



الشكل 1- تصوير الجزيئات اللامتفلورة باستخدام الإصدار المحثوث، **a**- في طريقة تصوير مين وزملائه، تشعّ الجزيئات في العينة المجهرية الحيوية بنبضات قصيرة جداً من الضوء (خضراء). إذا امتصت الجزيئات فوتوناً فإنها تدخل في حالة مثارة. ثم تشعّ الجزيئات المثارة بنبضة أخرى من الضوء طاقته أقل بعض الشيء (حمراء). وعندما يتفاعل فوتون من النبضة الثانية مع الجزيء المثار يسترخي الجزيء عائداً إلى حالته الأساسية مصدراً فوتوناً مضاعفاً. بشكل عام، يُمتص فوتون من نبضة الإثارة ولذلك يُفقد (الدوائر الخضراء)، بينما يُضاعف فوتون من النبضة الثانية، مضيفاً فوتوناً جديداً مماثلاً لفوتونات الضوء المرسل (الدوائر الحمراء) يُقاس الكسب في الفوتونات لتعيين عدد الجزيئات في العينة. لا تتطابق الألوان الظاهرة مع الأطوال الموجية للضوء المستعمل في التجارب. **b**- حصل المؤلفون باستخدام تقنية أخرى على هذه الصورة للشعريات المجهرية في جلد فئران خارج الجسم **ex vivo**. الأجزاء الحمراء في الصورة هي أجزاء محدثة من الإصدار المحثوث للهيموغلوبين في خلايا الدم الحمراء. وقد غطيت هذه الأجزاء بصورة مأخوذة باستعمال ضوء مرسل مظهرة الغدد الدهنية. خط المقياس (50 مكرومتراً).

تخيل أن قطارين متواقتين من النبضات الليزرية مركّزان بشكل مباشر على الجزيء: فالنبضات التي تحتوي فوتونات إثارة تتبعها فوتونات للإصدار المحثوث (الشكل 1)، إذ تحتوي كل نبضة على N فوتوناً. إذا أمكن إحداث بقع ضوئية بؤرية /محرقية/ بحجم الجزيء، عندها سيتفاعل كل فوتون من هذه النبضات مع الجزيء – سيُمتص من النبضة الأولى فوتون واحد (N=1) ويثير الجزيء، كما سيضاعف فوتون آخر من النبضة الثانية نفسه بعد ذلك مباشرة.

لسوء الحظ، وبسبب الانعراج، لا يمكن أن تركّز النبضات على مساحة أصغر من 200×200 نانومتر. هذه المساحة أكبر من مساحة الجزيء بأكثر من مليون ضعف، وهكذا ومن المحتمل جداً أن يخطئ فوتون واحد هدفه. على أي حال، إذا ما استعمل أكثر من مليون فوتون في النبضة، فإن واحداً منها بالتأكيد سيؤدي المهمة، ولو كان ذلك على حساب ملايين النبضات الفائضة التي يجب التخلص منها واستبعادها.

من السهل استبعاد فوتونات الإثارة الفائضة من فوتونات الفلورة باستخدام المرشحات، وهو أمر اعتيادي (روتيني) في التصوير بالفلورة، لكن عزل الفوتونات المضاعفة في نبضة الحث هو أمر مستحيل. ولحسن الحظ، يكفي للكشف عن وجود جزيء باستعمال الإصدار المحثوث أن تقيس فقط عدد الفوتونات المضافة إلى النبضة، لكن حتى هذا ليس أمراً بسيطاً، لأن N يتأرجح من نبضة إلى أخرى.

تغلب مين وزملاؤه على التحدي للحصول على القياس من خلال التعديل السريع لحزمة الإثارة (تعديل إنتاج الفوتونات المضاعفة كذلك)، ومزامنة كشف حزمة الحث المقواة بعض الشيء مع هذا التعديل. وبذلك، هم يرجعون التأرجح في الإشارة إلى ضجيج شوتكي (ضجيج رشقي) تبلغ قيمته $\sqrt{(N\times m)}$ لأجل قطار من m نبضة مسجلة. ولأن النبضة التي تحتوي على حوالي مليون فوتون حث تولد فوتوناً جديداً من كل جزيء من الجزيئات المثارة التي عددها n جزيئاً مثاراً في العينة، وm من هذه النبضات تعطي (m×n) فوتوناً جديداً. ينبغي أن تصبح الزيادة في الإشارة قابلة للكشف إذا كان المقدار (m×n) أكبر من $\sqrt{(N\times m)}$ والذي يدل ضمناً أن $m>N/n^2$ نبضة ستجعل مجموعة مؤلفة من n من الجزيئات العاتمة جزيئاتٍ مرئية. بكلمات أخرى، يتطلب الكشف عن عشرين جزيء 1000 نبضة على الأقل. يطلق نظام الليزر العائد للباحث S.W Hell حوالي 10^{+8} نبضة في الثانية، ويعطي بذلك صوراً للجزيئات من أجل أزمنة قياس تقارب 0.2 ملّي ثانية لكل نقطة جسمية وحيدة – وهي نبضات سريعة بما يكفي للتصوير.

يتعين الكثير في هذا النمط من التباين الجديد للفحص المجهري بعمر الحالة المثارة الذي هو أقل من واحد بيكوثانية (10^{-12} ثانية). تضغط فوتونات الإصدار المحثوث وفوتونات الإثارة في نبضات تدوم ما يقارب 0.2 بيكو ثانية (تزود كل منها العينة بشدات انتقالية أقل من $10GW\ cm^{-2}$، وهي قيمة مقبولة للعينات الحية)، بحيث تتبع نبضات الإصدار المحثوث مباشرة مثيلاتها نبضات الإثارة. هذا يؤكد أن الجزيئات لا تسترخي قبل أن تصل الفوتونات الحاثّة. ولأن كل دورة تكتمل بأقل من 1 بيكوثانية، فإن الجزيئات تكون على الأغلب مهيأة فوراً للدخول في دورة أخرى.

إن معدل توليد النبضات في نظام ليزر مين وزملائه هو في الحقيقة أبطأ بآلاف المرات من المعدل الأعظمي الذي يمكن استعماله. ولذلك يمكن اختزال وقت التسجيل المطلوب لكل قياس بشكل كبير جداً من خلال إطلاق نبضات بمعدلات أعلى، وهو ما ينبغي أن يكون ميسَّراً في التطويرات المستقبلية لتكنولوجيا الليزر. على أي حال يمكن لمعدلات النبضات المتزايدة أن تتلف العينات المدروسة، لذلك يجب أن تبقى جرعة التشعيع عند مستوى متوافق مع تصوير الخلية (الحية).

لقد سُجلت سابقاً طريقة أخرى لتصوير الجزيئات اللامتفلورة، يقاس فيها فقدان الفوتونات، بدلاً من اكتسابها، وذلك حين تمتص الحالة المثارة للجزيئات فوتونات لتدخل حالة طاقية أعلى. المشكلة في هذه الطريقة أن الجزيئات في الحالات المثارة تكون تفاعلية، مما يجعلها عرضة للتفسخ.

الميزة العامة في منحى مين وزملائه هي أن الجزيئات المثارة تُجبر دوماً على العودة إلى الحالة الأساسية اللاتفاعلية. ومع ذلك، تقدم كلا الطريقتين ميزاً ثلاثي الأبعاد لأن إشارتهما تُوقف عادة من المنطقة البؤرية (المحرقية) للجزيئات، والتي يمكن أن تكون خطوط مسح للعينة لبناء الصورة. تولد طريقة مين وزملائه فوتونات لكل جزيء أكثر مما يولّده تبعثر رامان المحثوث، وهي ظاهرة ابتكرت مؤخراً من قبل مجموعة فروديجر Freudiger لتصوير الجزيئات اللامتفلورة.

لكن كيف تقارن الطريقة الجديدة مع الفلورة؟ بخلاف الإصدار المحثوث، تصدر الفلورة عشوائياً في الحيز /الفضاء/ ولذلك يكون جمعها أصعب، ولكن تبقى الفلورة ناجحة لمعظم الغايات العملية لأن

الإشارة فيها يمكنها أن تكون خالية من ضجيج الخلفية. على أي حال، إذا أريد دراسة الجزيئات اللامتفلورة وكان تمييز الجزيئات المتفلورة غير عملي، كما هي الحال في كثير من التطبيقات، عندها تظهر خصوصية تقنية الإصدار المحثوث.

استخدم الإصدار المحثوث في مجهرية نفاد الإصدار المحثوث Stimulated emission depletion (STED)، لإبقاء كل الجزيئات ذات الصفات التألقية في العينة عاتمةً باستثناء تلك الكائنة في بقعة أصغر من مُيْز حد انعراج المجهر.

ولكن في مجهرية (STED)، والتي إذا وضعنا مقدرتها على إطفاء الجزيئات ذات الصفات التألقية جانباً، لا نهتم بالإصدار المحرِّض ككل. في الحقيقة، فقد استبدل بالإصدار المحثوث في الطرائق النانو مجهرية ذات الصلة آليات أخرى لإبقاء الجزيئات ذات الصفات التألقية عاتمة، كتقليب سبين أحد إلكترونات الجزيء (ضخ الحالة الثلاثية) أو انتقال بعض ذرات الجزيئات (مصاوغة ضوئية مقرون–مفروق (cis-trans photoisomerization) وعلى العكس، فإن الإصدار المحثوث هو الهدف الفعلي في تقنية مين وزملائه.

ستكون الاحتمالية المثيرة للمستقبل في تصميم مجموعة من نبضات الليزر التي تؤدي دوري الإصدار المحثوث – إطفاء الإشارات الجزيئية والحث على إصدار الفوتونات– لتزويدنا لأول مرة بصور لجزيئات لامتفلورة وغير مميزة عند مَيْز دون حدّ الانعراج (على سلم نانوي) وهكذا، فإن طريقة مين وزملائه، وللعديد من الأسباب، هي خطوة جزئية باتجاه إزاحة الستار عن تفاصيل للخلايا والنسج الحية والتي ستترك، بدون ذلك، مجهولة.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 461, 22 October 2009.

ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية.

ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X تزداد سرعة

مشروع كاليفورنيا هو في الطليعة ما دامت منشأته قائمة، لكن أوربة تسعى لأن تمتلك جهازاً سريعاً لوحدها.

هامبورغ

سئم هاينز كرافسما Graafsma Heinz من صور البروتين "الجميلة" غير المفيدة، وهي تزين بانتظام صفحات المجلات مثل مجلة نيتشر "Nature". إذ أفاد كرافسما، رئيس مكاشيف علوم الفوتون في DESY، وهو المختبر الألماني لفيزياء الطاقة العالية في هامبورغ، "أن الكيمياء تعتمد على التغيير، والعالم الساكن ثقيل الوطأة".

لنستعد للصور المتحركة. جيل جديد لمنابع الضوء –يضم واحداً استُكمل حديثاً في كاليفورنيا وواحداً يتم

في كاليفورنيا، يثبّت الباحثون في SLAC المغانط في منبع الضوء المترابط في لينـاك

إنشاؤه في اليابان، وثالثاً قيد الإنشاء خارج مكتب كرافسما– يتم تجهيزها ليس فقط لتسليط الضوء على الذرّات والجزيئات ولكن أيضاً لتوضيح ديناميكيتها.

تنتج هذه الأجهزة، التي تُدعى ليزرات الإلكترونات الحرّة بأشعة-X، ومضات من ضوء أشعة-X وأطوال موجية من رتبة الأنغستروم صغيرة ومترابطة بقدرٍ كافٍ لتصوير ذرّات فردية. هذه الومضات أكثر شدة من التي تمَّ اصطناعها في السابق –قوامها فوتونات كافية لتشكيل حالات مفرطة للمادة ودراستها، كالبلازما مثلاً. لكن الأكثر أهمية ربما يكون دفقات الضوء القصيرة بأطوال من رتبة الفمتوثانية، وهو الوقت الذي يستغرقه الضوء ليخترق شعرة في رأس الإنسان. إن نبضات قصيرة كهذه يمكن أن تسجل الوظائف وليس فقط الأشكال: طي البروتين، وعمل الحفّاز، وانفلاق الرابطة الكيميائية.

"ذلك هو الشيء الثوري". هذا ما قاله جوكيم ستور Joachim Stohr، مدير منبع الضوء المترابط في اللبناك (المسرّع الخطي) (LCLS) في مختبر المسرّع الوطني SLAC في مينلو بارك بكاليفورنيا. فالآلة التي بلغت تكلفتها 420 مليون دولار أمركي هي الأولى بين ليزرات الإلكترونات الحرة في العالم التي تعمل على أطوال موجية بهذا القصر وبدأت أولى تجاربها في بداية شهر تشرين الأول/أكتوبر من العام 2009.

ستهزم الأجهزةُ الجديدة الجهاز الذي عوِّل عليه كثيراً في النصف المنقضي من القرن الماضي ألا وهو السينكروترون، وفيه تُصدِر حزمة من الإلكترونات، مندفعة في مسار دائري، انبثاقات من أشعة-X. ولا يزال الاهتمام بالسينكروترونات على أشدّه؛ فقد ارتفع عدد المستخدمين لمنشآت سينكروترون الولايات المتحدة الأربع الأساسية من 6009 إلى 8492 ما بين عامي 2000 و2008، لكن هذه المنشآت بدأت تصل إلى حدود رئيسية. تتطلّب بعض التجارب تصادمات عديدة للفوتون، وهذه تتطلّب أسابيع؛ وربما أشهراً، حتى في السينكروترونات الأكثر سطوعاً. بالإضافة إلى ذلك، فإن نبضات السينكروترون محدودة بأطوال من رتبة بيكوثانية، فهي أطول بآلاف المرّات من انبثاقات ليزرات الإلكترونات الحرة، وهذا يشبه استخدام كاميرا بمصراع بطيء، فتكون النتيجة أن الصورة مأخوذة لجزيئات مرتعشة مشوشة.

وكما أن حلقات السينكروترون بُنيت في البداية لتهشيم الجسيمات، كذلك تعتمد ليزرات الإلكترونات الحرّة على أداة مستعارة من الفيزياء الجسيمية وهي المسرّع الخطي أو لیناك. يستعمل LCLS (منبع الضوء المترابط في اللیناك)، الذي يبلغ من العمر 43 عاماً، وفيه تُسرَّع رزم من الإلكترونات عبر نفق بطول 1 كيلومتر على طول مسار ضيق جداً أُخذ فيه بعين الاعتبار تقوّس الأرض والحقل المغنطيسي الأرضي الضعيف.

تصل رزم الإلكترونات، بعد ذلك، إلى جزء بطول 130 متراً من المتموجات –وهي مغانط ترجرج الإلكترونات وتدفعها إلى إصدار أشعة-X . تؤلف هذه الرجرجات على الطول الموجي للضوء الصادر، فتشكل بذلك آلية التغذية الراجعة: إن الحقول الكهرمغنطيسية من أشعة-X تؤثر على الإلكترونات، فتركزها في مجموعات ضيقة وقصيرة لتصدر ضوءاً مضخماً بانسجام.

في العاشر من نيسان/أبريل عام 2009 قام مهندسون في LCLS بنجاح باختبار هذه الفكرة الحاسمة التي اقترحها مادي Maday لأول مرة في عام 1971. يتذكر جون كالايدا John Galayda، مدير مشروع LCLS، رؤية اندفاع مفاجئ في الضوء في ذلك اليوم عندما اجتازت الحزمة الإلكترونية المموّج العاشر وبدأ التضخيم يأخذ مجراه.

لقد حان الوقت الآن للبدء باستخدام الحزمة. وبعد قضاء الصيف في اختبار أول جهاز، وصل الفريق الأول في 7:30 صباحاً في الأول من تشرين الأول/أكتوبر وعملوا لمدة خمسة أيام متواصلة في جمع المعطيات.

تطلق نفاثة غاز ذرات النيون في نبضات الحزمة المقتربة بحيث تمكّن العلماء من دراسة ما يحدث عندما يتم انتزاع إلكترونات من الطبقة الداخلية للذرّة. وفي هذا يقول العالِم بالأجهزة جون بوزيك John Bozek: "إنها مثل تقشير البصل من الداخل إلى الخارج".

من أكثر التطبيقات المتوقعة لهذه الأضواء المركّزة سيكون تصوير جزيئات بيولوجية مفردة. لدى السينكروترونات، ينبغي أن تكون البروتينات متبلورة كي توضّح البنية الشبيهة بالشبيكة البلّورية للعديد من البروتينات متماثلة الصورة المصنوعة من أشعة-X اللامترابطة. لكن بعض الأهداف، مثل الفيروسات والبروتينات الموجودة في غشاء الخلايا، من المشهور صعوبة تبلورها.

من المهمّ التوسّع بعدد تركيبات البروتينات الموصوفة. لكن مدير DESY هيلمت دوخ Helmut Dosch يقول إنه سيظهر العديد من المفاجآت حول وصف كيفية تحرك هذه التركيبات. تبرز عدة

اضطرابات، مثل مرض الزهايمر، عندما يكون هناك مشكلة في الطريقة التي تنطوي فيها البروتينات، وفي ذلك يقول دوخ "يجب أن تفهم ما الذي يسبب الطي".

يوجد عائق أمام ليزر الإلكترونات الحرّة: حيث توجد فرص قليلة للتعامل مع الضوء. ففي السينكروترونات الدائرية، يمكن أن يمرّر الضوء من مثقب (سيفون) إلى محطات التجارب في فواصل زمنية منتظمة. إن حلقة PETRA III في DESY، على سبيل المثال، فيها 14 محطة ويمكنها أن تحتفظ بـ 30 جهازاً. لكن LCLS ذات الإطلاق المتواصل تحتوي محطة واحدة فقط تحتفظ بجهاز واحد، ويجب أن يتم العمل بالتسلسل. يقول جيرومي هاستنك Jerome Hastings، رئيس قسم العلوم في LCLS: "إن الوقت المتاح قليل وكمية العلوم المثيرة كبيرة". وفي نهاية المطاف، تخطّط SLAC لتخزين محطات تحويل، بحيث يمكن تحويل نبضات الضوء إلى كلّ واحدة من التجارب الست المخطّط لها.

تلك واحدة من الأسباب التي تجعل العلماء في DESY يعتقدون أنه ما يزال هناك الكثير من العمل يجب إنجازه عندما ينتهي ليزر الإلكترونات الحرّة لأشعة-X الأوربي XFEL عام 2014. (تأمل اليابان أيضاً أن تنجز ليزر الإلكترونات الحرّة في عام 2010، بجانب سينكترون Spring-8 في هاريما). في الاتفاقية المتوقعة نهاية هذا العام، سيتم تشكيل ثلاثة عشر دولة لمشروع ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X(XFEL) بكلفة قدرها 1.1 بليون يورو (1.6 بليون دولار).

ستجتاز ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X(XFEL) التضاريس الواقعة تحت مدينة هامبورغ. هذا، وتقدم ألمانيا ما يصل إلى 60% من مجموع تكاليف البناء، وهي تسير قدماً في البناء الذي بدأ في كانون الثاني/يناير من عام 2009.

في آب/أوغست عام 2009، تجمَّع الرجال بثياب العمل البرتقالية لدعم القضبان والكابلات الكهربائية في فجوة عمقها 40 متراً، إذ أزالوا مئات آلاف الأمتار المكعبة من الأوساخ وبقايا قذائف الهاون من الحرب العالمية الثانية. ومن هذه الحفرة عند طرف DESY، فإن الأنفاق التي تحمل المسرّع الخطي سيتم حفرها إلى الشمال الغربي لمدينة شينفيلد Schenefeld، وعلى بعد 3.4 كم منها.

يعتبر حفر النفق أكثر جزء مكلف في بناء XEFL (ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X). إن معظم التقدم في السنوات الخمس الذي كان أحرزه منبع الضوء المترابط في اللينياك LCLS على XFEL

لإنجاز ليزر الأشعة السينية المحاكية اللكترونات الأوروبي عام 2014

يمكن أن يُعزى إلى إعادة استعمال المسرّع الخطي الموجود والتابع لـ SLAC. يقول كالايادا إن مشروع كاليفورنيا سيكلّف على الأقل 300 مليون دولار أكثر إذا اضطر الفريق لأن يحفر نفقاً ويبني مسرّعاً من نقطة البدء. لكن ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X XFEL تملك الورقة الرابحة، إذ سيستخدم المسرّع الخاص بها تجويفات ذات ناقلية فائقة مبرَّدة قرّياً، فيسمح لرزم الإلكترونات بالانطلاق بسرعة أكبر، في حين يكون LCLS مقيّداً بـ 120 دفقة ضوء بالثانية، أما XFEL فسيطلق 30.000 دفقة في الثانية.

يقول ماسيمو ألتارلي Massimo Altarelli، المعيّن مديراً في XFEL، إن معدل التكرار المفضَّل للآلة سيكون مهمّاً بشكل خاص في التجارب التي تحتوي على الأهداف المشعشعة (الخفيفة) لجزيء بيولوجي يطفو في مادة مذيبة، إذ تكون الفرصة في تسجيل ضربة فوتون ضئيلة. لكن علماء LCLS يؤكدون معظم الوقت، أن كلّ الطاقة الإضافية المنطلقة ستضيع: سيتم طرح الضوء، إذ تمتصه جدران من الرصاص.

ويقول ستور Stohr إنه سعيد أن يكون LCLS مُشيّداً ويعمل أولاً، لكنه يضيف أنه سيكون هناك الكثير من العلوم المهمّة بالنسبة لـ XFEL. ويضيف قائلاً: "هناك أكثر من فائز واحد".

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 461, 8 October 2009.

ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية.

اليابان تخطط لتوسيع القدرة النووية

خطة مقترحة لثمانية مفاعلات جديدة، وإعادة معالجة الوقود النووي تواجه معارضة جماهيرية.

اليابان ممتعضة بشأن التقانة النووية في الأعوام الأخيرة شأنها شأن أكثرية البلدان التي احتضنت الطاقة النووية منذ عقود مضت. ولكن مخاوفها حول المناخ وأمن الطاقة، شجعت وزارة الصناعة في الأسبوع الماضي لوضع رهان كبير على التوسيع السريع لقدراتها في الطاقة النووية.

وعندما أُنجزت مسودة خطة الطاقة، ووقِّعت من مجلس الوزراء الياباني في حزيران/يونيو، أصبحت كخارطة طريق لحكومة البلاد الجديدة التي شنت حملة على المنابر لتخفيض إصدارات الكربون بنحو 25% أدنى من مستويات العام 1990، وذلك حتى العام 2020 –وهو وعد لا يحظى بشعبية لدى مجتمع رجال الأعمال. ولكن بالرغم من الطموحات النووية للحكومة، فإن كلّ المفاعلات الإفرادية ستبقى بحاجة للتصديق من قبل السلطات المحلية، وهو أمر بعيد عن اليقين.

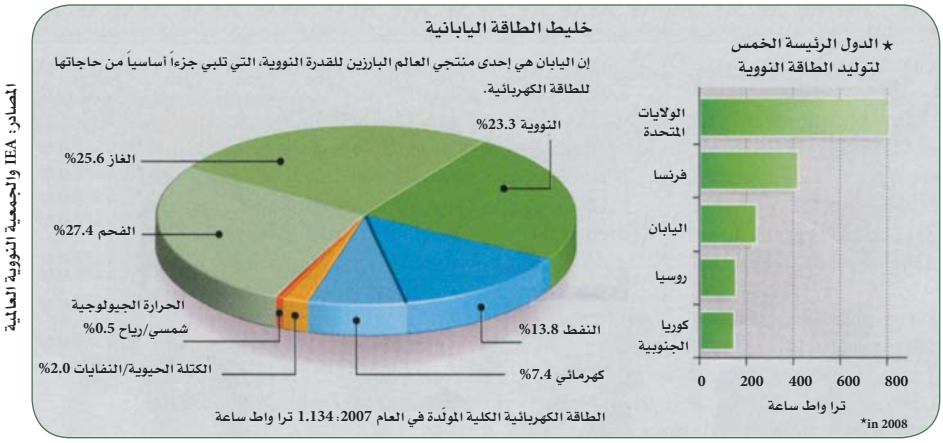
> "يجب علينا الحصول على تفهّم المقيمين المحليين، وهذا يستغرق وقتاً"

تعتمد اليابان على استيراد أكثر من 80% من حاجاتها الإجمالية للطاقة، وتهدف الخطة لتخفيض هذا الرقم إلى 30% فقط بحلول عام 2020. ويقول كن ساساجي Ken Sasaji، مدير مكتب تخطيط الطاقة في الوزارة: "مع موازنة طلبات الطاقة المتغيرة دراماتيكياً، نحن نحتاج بالفعل للتفكير في أمن الطاقة".

تمتلك اليابان حالياً 54 مفاعلاً، بسعة توليد إجمالية قدرها 49 غيغا واط، تؤمّن نحو ربع التزويد بالكهرباء، ولكن تتبع سلسلة الحوادث بين العامين 1997 و2007، يشير إلى أن المقاومة الجماهيرية المتنامية كانت تعني أنه لم يبنَ في العقد الماضي سوى خمسة مفاعلات. وتوصي الخطة الجديدة ببناء ثمانية مفاعلات حتى العام 2020، لتأمين ما مقداره 11.4 غيغا واط من الكهرباء.

ولضمان تأمين الوقود لهذه المفاعلات، جهدت اليابان لعقد صفقة للطاقة النووية في آذار/مارس مع كازاخستان، التي تحتفظ بثاني أكبر مخزونات اليورانيوم ومناجمه العالمية، التي تقدر بنحو 20% من فلزات اليورانيوم العالمية، الشيء الذي جعلها أكبر منتج عالمي لليورانيوم. وقد وعدت اليابان بدورها بتزويد كازاخستان بتكنولوجيا الطاقة النووية مقابل تزويدها المستقر باليورانيوم.

ومؤخراً اشترت إيتوشو Itochu، الشركة التجارية المؤسسة في طوكيو، والمدعومة من الحكومة ومقرها لندن، والتي تطور منجماً ضخماً في ناميبيا، 15% من الممتلكات في كلاهاوي مينيرالز، ومن المتوقع أن يبدأ المنجم بإنتاج أكثر من 5000 طن من اليورانيوم في العام 2013 –وهذا يقارب 10% من اليورانيوم



الكلي المستخرج عالمياً في العام 2008.

وتعتمد اليابان كذلك على برنامجها في إعادة التدوير النووي الذي بدأ مؤخراً، بعد سنوات من إخفاق الجهود لإقناع السكان المحليين بضرورتها وأمانها. ففي كانون الأول/ديسمبر 2009، بدأ مفاعل في الجزيرة الجنوبية كيوشو Kyushu بإحراق مزيج من الوقود المؤكسد burning mixed oxide fuel، المصنوع من مزج اليورانيوم والبلوتونيوم من الوقود المستهلك. وفي شباط/فبراير، أعطت هيئة الأمان النووي اليابانية موافقتها لإعادة بدء مفاعل اختبار مونجو الولود السريع في تسوروغا Tsuruga، الذي سيستخدم بعض النترونات المتولّدة خلال عملية الانشطار لتحويل نظائر اليورانيوم اللاانشطارية إلى البلوتونيوم الذي يمكن أن يستخلص من الوقود المستهلك.

وهناك خطط لاستخراج طاقة إضافية من المفاعلات الموجودة في البلد، والتي بلغ عمر بعضها قرابة أربعين عاماً. وفي أحد اجتماعات الهيئة القيادية اليابانية الأمريكية للطاقة النووية في واشنطن DC الذي انعقد في 19 آذار/مارس، وافق المشاركون على المشاركة في الدراسات الرامية إلى إطالة عمر المفاعلات القديمة.

إلا أن الحكومة اليابانية ستواجه مقاومة لضمان قبول الجماهير لطموحاتها النووية. لقد تزعزت الثقة بالقدرة النووية في العام 2007، عندما تسببت هزة أرضية قوتها 6.8 بإيقاف محطة كاشيوازاكي–كاريفا في نيفانا، بعد أن تسرب ماء التبريد المشعّ إلى البحر.

وقد برزت اعتراضات جديدة حول مفاعل مونجو. فبعد عقود من الاختبارات توقفت معظم البلدان ذات القدرات النووية المهمة عن استخدام تقانة المفاعلات الولودة السريعة، جزئياً، بسبب أمور تتعلق بالسلامة. وقد أُغلق مفاعل مونجو ذاته منذ عام 1995، عندما عطّل تسربُ ماءِ المبِّرد المحطة وخرّبت محاولة التغطية اليائسة سمعة المحطة.

ومع اختبارات الأمان واختبارات مقاومة الهزات الأرضية التي انتهت في شباط/فبراير، فإن وكالة الطاقة الذرّية اليابانية، التي كانت تشغّل مفاعل مونجو، لا تحتاج الآن إلا إلى توقيع حكومة فوكوِي المحلية.

أُعيد تأهيل مفاعل النموذج الأصلي ليبدأ من جديد.

وفي 11 آذار/مارس، عارض 29 علمياً إعادة بدء تشغيل مفاعل مونجو، ونشروا رسالة على شبكة مركز المعلومات النووية للمواطنين مدعين على الآخرين أن اختبار الأنابيب الأساسية أظهر أنها غير كفوءة، وأن تركيبة المفاعل الحالي لا تفيد كنموذج أولي prototype للمفاعلات الولودة السريعة المستقبلية. وتقدّم هذه المجموعة الحجج بأن تكلفة بناء مفاعل مونجو تفوق خمس مرات تكلفة بناء المفاعل التقليدي، وأن المحطة الكاملة يجب أن تكون مختلفة جداً عن النموذج الأولي لمفاعل مونجو حتى تكون قابلة للتطبيق تجارياً.

إن الوضع في اليابان يتباين عنه في جارتها الصين، إذ يوجد أكثر من 20 مفاعلاً قيد البناء ولا تواجه إلا معارضة جماهيرية محدودة. وترمي الصين إلى بلوغ ما لا يقل عن 70 غيغا واط من الطاقة النووية مع حلول العام 2020.

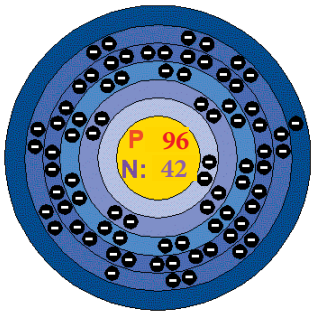
وفي اليابان، ستتقدمُ المفاعلاتُ الثمانية الجديدة بصعوبة خلال العقد القادم، كما يقول تاكويوكي كاووتشي Takuyuki Kaweuchi من دائرة سياسة الطاقة النووية في وزارة الصناعة. ويضيف قائلاً: "نحن لا يمكننا فقط أن نبدأ بوضع المفاعلات حيث نشاء، بل يجب علينا الحصول على تفهّم المقيمين المحليين، وهذا يستغرق وقتاً".

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 464,1 April 2010.

ترجمة د. مصطفى حموليلا، عضو هيئة التحرير.

المولبيدينوم

الرمز:	Mo
العدد الذرّي:	42
الكتلة الذرّية:	96
درجة انصهاره	2623 °C
درجة غليانه	4639 °C
الكثافة	9.33 g/cm³



ماهيته ووجوده في الطبيعة

المولبيدينوم Molybdenum عنصر كيميائي انتقالي وواحد من عناصر المجموعة السادسة. إنه معدن فضي اللون، ويتمتع بسادس أعلى درجة حرارة انصهار بين جميع المعادن. يشكل المولبيدينوم بسهولة كربيدات صلبة ومستقرة، ولهذا السبب فهو يستخدم في خلائط فولاذية قوية. لا يتوافر المولبيدينوم كمعدن حرٍّ في الطبيعة، بل بحالات أكسدة عديدة في فلزاته. تستخدم مركّبات المولبيدينوم صناعياً كأصبغة ومحفّزات في التطبيقات ذات الضغوط العالية ودرجات الحرارة العالية. عُرفت فلزات المولبيدينوم منذ زمن بعيد، لكن اكتشافه كعنصر حدث في العام 1778، وعُزل في العام 1781.

غالبية مركّبات المولبيدينوم قليلة الذوبان في الماء، غير أن أيون المولبيدات، MoO_4^{2-}، يتشكل إذا كانت فلزات المولبيدينوم على تماس مع الأكسجين والماء، وينحل في الماء. تشير الدراسات الحديثة إلى أن تحرُّر الأكسجين في بداية نشوء الحياة كان مهماً لتحويل المولبيدينوم من فلزاته إلى شكل منحل في المحيطات، إذ استخدم كمحفّز من قبل العضويات وحيدة الخلية. لقد كانت هذه التحولات مرحلة مهمّةً في تاريخ الحياة، لأن الأنزيمات تحتوي على المولبيدينوم، ومن ثم أصبحت هذه الأنزيمات محفّزات استخدمت من قبل البكتيريا لتفكيك الآزوت الجوي إلى نرّات، مما سمح بتثبيت الآزوت حيوياً. وبالمقابل، فقد سمح ذلك بدخول الآزوت في سماد المحيطات، ومن ثم بتطور عضويات أكثر تعقيداً.

يُعرف حالياً ما لا يقل عن خمسين أنزيماً في البكتيريا والحيوانات محتوية على المولبيدينوم، ومع ذلك، إن الأنزيمات البكتيرية والسيانوبكتيرية هي وحدها التي تشارك في تثبيت النتروجين. وبسبب الوظائف المختلفة لما تبقى من الأنزيمات، فإن المولبيدينوم هو عنصر مطلوب لحياة العضويات العليا.

الخصائص الفيزيائية

يكون المولبيدينوم في شكله الحرّ معدناً فضياً يميل للبياض، وينصهر في الدرجة 2623 °C، ومن بين العناصر الموجودة بشكل طبيعي، تمتلك عناصر اللانتانوم والأوسميوم والرينيوم والتنغستين والكربون فقط درجات انصهار أعلى من المولبيدينوم. يحترق المولبيدينوم فقط عند درجات حرارة أعلى من 600 °C، ويتمتع بأدنى قيمة لمعامل التمدد الحراري بين المعادن المستخدمة تجارياً. تتضاعف قوة شد خيط المولبيدينوم ثلاث مرات عندما يتناقص قطره البالغ 50–100 نانومتر إلى 10 نانومتر.

نظائره

هناك 35 نظيراً معروفاً للمولبيدينوم تتدرج بكتلتها الذرّية من 83 وحتى 117، إضافة لأربعة نظائر نووية شبه مستقرة. سبعة من هذه النظائر موجودة بشكل طبيعي، وكتلها 92 و94 و95 و96 و97 و98 و100. ومن بين هذه النظائر الطبيعية فقط النظيران 98 و100 يكونان غير مستقرين، وجميع نظائره غير المستقرة تتفكك إلى نظائر النيوبيوم والتكنيسيوم والروتينيوم.

إن المولبيدينوم-98 هو النظير الأكثر وفرة، ويشكل 24.14% من التركيز الكلّي لهذا العنصر. يبلغ عمر النصف للمولبيدينوم-100 حوالي 10^{19} سنة ويخضع لتغيّر بيتا مضاعف معطياً روتينيوم-100.

يبلغ عمر النصف للنظائر 111 وحتى 117 ما يقارب 150 نانو ثانية.

وكما هو مشار إليه أدناه، يشغل الموليبدينوم-99، كناتج انشطار، أهم تطبيقات نظائر الموليبدينوم، وهو نظير مشعّ قريب للتكنيسيوم–99، النظير النووي الوليد المشع، المصدر لأشعة غاما، والمستخدم في مختلف تطبيقات التصوير الطبي.

مركّبات وكيمياء الموليبدينوم

إن الموليبدينوم معدن انتقالي ذو كهرسلبية مقدارها 1.8 على سلم بولينغ Pauling scale. لا يتفاعل مع الأكسجين أو الماء في درجة الحرارة العادية، ويشكل ثلاثي أكسيد الموليبدينوم عند درجات حرارة مرتفعة:

$$2\ Mo + 3\ O_2 \rightarrow 2\ MoO_3$$

يتمتع الموليبدينوم بعدة حالات أكسدة، وأكثرها استقراراً هما حالتا الأكسدة: 4+ و6+. تُظهر كيمياء الموليبدينوم ومركّباته تشابهاً مع كيمياء ومركّبات التنغستين أكثر منها مع كيمياء ومركّبات الكروم.

ينحل أكسيد الموليبدينوم (VI) في الماء الشديد القلوية، مشكلاً أيون الموليبدات (MoO_4^{2-})، وهذه الموليبدات أضعف أكسدة من الكرومات، لكنها تظهر ميولاً مشابهاً لتشكيل أوكسي أنيونات معقدة عبر التكاثف عند قيم pH ضعيفة، مثل $[Mo_7O_{24}]^{6-}$ و$[Mo_8O_{26}]^{4-}$.

يستخدم أيون الموليبدات المتعددة غير المتجانسة الزرقاء الحاوية على الفسفور، $P[Mo_{12}O_{40}]^{3-}$، في مطيافية الكشف عن الفسفور. هذا، وينعكس المجال الواسع لحالات أكسدة الموليبدينوم في كلوريدات الموليبدينوم المختلفة.

- MOLYBDENUM(II) CHLORIDE $MoCl_2$ (أصفر صلب)
- Molybdenum(III) chloride $MoCl_3$ (أحمر غامق صلب)
- Molybdenum(IV) chloride $MoCl_4$ (أسود صلب)
- Molybdenum(V) chloride $MoCl_5$ (أخضر غامق صلب)
- Molybdenum(VI) chloride $MoCl_6$ (بني صلب)

تتكون بنية $MoCl_2$ من عناقيد $Mo_6Cl_8^{4+}$ مع أربعة أيونات كلور لإحداث التوازن في الشحنة. ومثل غيره من عناصر المعادن الانتقالية، يمكن للموليبدينوم أن يشكل روابط رباعية، كما في حالة $Mo_2(CH_3COO)_4$، ويمكن لهذا المركّب أن يتحول إلى $Mo_2Cl_8^{4-}$ الذي يمتلك رابطة رباعية أيضاً. ويمكن أن يأخذ الموليبدينوم حالة الأكسدة (0) مع الرابط أول أكسيد الكربون، كما في حالة سداسي كربونيل الموليبدينوم، $Mo(CO)_6$. ونجد فيما يلي أمثلة عن حالات الأكسدة المختلفة للموليبدينوم:

حالات أكسدة الموليبدينوم

−2 $Na_2[Mo_2(CO)_{10}]$
0 $Mo(CO)_6$
+1 $Na[C_6H_6Mo]$
+2 MoCl2
+3 $Na_3[Mo(CN)]_6$
+4 MoS2
+5 MoCl5
+6 MoF_6

تاريخه

الموليبدينايت Molybdenite هو الفلز الأكثر استخداماً في الوقت الحالي للحصول على الموليبدينوم، وقد عُرف سابقاً بالـ موليبدينا Molybdina. كان هناك خلط بين الموليبدينا والغرافيت. وحتى عندما تمّ التمييز بين الموليبدينا والغرافيت، ظل التشويش قائم بين الموليبدينا وفلز الرصاص المعروف (المسمى حالياً غالينا galena). وفي العام 1754، فحص بنغت أندرسون أوفست Bengt Andersson Ovist الموليبدينايت، وبيَّن أنها لا تحتوي على الرصاص وليست مماثلة للغالينا.

كان يجب انتظار العام 1778 ليتحقق الكيميائي السويدي كارل ويلهيلم شيل Carl Wilhelm Scheele بأن الموليبدينوم لم يكن غرافيتاً ولا رصاصاً، وفي العام 1781 تمّ عزل الموليبدينوم باستخدام الكربون وزيت بذر الكتان.

مرّ وقت طويل قبل أن يتمّ استخدام الموليبدينوم في الصناعة، وبعد اكتشافه قامت شركة فرنسية في العام 1894 باستخدامه لأول مرة في صناعة الفولاذ كصفائح للتدريع. وحتى قيام الحرب العالمية الأولى، كانت غالبية مصانع التدريع تستخدم خلائط الموليبدينوم، وفي الحرب العالمية الأولى، تمت حماية بعض المدرعات الإنكليزية بطبقة من صفائح المنغنيز سمكها 75 مم، لكنه تبيّن عدم فعالية هذه الحماية. وهكذا، استبدلت بصفائح المنغنيز صفائح موليبدينوم سمكها 25 مم.

إن الطلب الكبير على الموليبدينوم في الحربين العالميتين، الأولى والثانية، والانحدار الشديد على الطلب بعد الحربين كان لهما الأثر الكبير على أسعار وإنتاج الموليبدينوم.

توجد أكبر الشركات العالمية المنتجة للموليبدينوم في الولايات المتحدة والصين وتشيلي والبيرو وكندا، ويوجد هذا المعدن في فلزات الـ وولفينيت wulfenite ($PbMoO_4$) والبوليت powellite ($CaMoO_4$)، وأكثر هذه الفلزات استخداماً في الصناعة هو الموليبدينايت molybdenite (MoS_2).

توافره

يُعدّ الموليبدينوم، من حيث الوفرة، العنصر رقم 54 في القشرة الأرضية ورقم 25 في المحيطات، مع تركيز وسطي قدره 10 ppb، ورقمه 42 بين أكثر العناصر وفرة في الكون.

إنتاجه

يسخن الموليبدينايت أولاً إلى الدرجة 700 °C، فيتأكسد كبريتيد الموليبدينوم في الهواء إلى أكسيد الموليبدينوم:

$$2\ MoS_2 + 7\ O_2 \rightarrow 2\ MoO_3 + 4\ SO_2$$

يتعرض الفلز المؤكسد إما للتسخين حتى 1100 °C ليحدث تصعيد الأكسيد، أو يرشح مع الأمونيا التي تتفاعل مع أكسيد الأمونيوم(VI) لتتشكل الموليبدات المنحلة بالماء:

$$MoO_3 + 2\ NH_4OH \rightarrow (NH_4)_2(MoO_4) + H_2O$$

يتمّ الحصول على الموليبدينوم النقي عبر إرجاع الأكسيد بالهدروجين، في حين يتم الحصول على الموليبدينوم لإنتاج الفولاذ عبر تفاعل حراري مع الألمنيوم مع إضافة الحديد لإنتاج الموليبدينوم الحديدي ferromolybdenum. ويحتوي الموليبدينوم الحديدي العادي على 60% موليبدينوم.

وصلت أسعار الموليبدينوم في آب/أغسطس 2009 مبلغاً قدره 30000 دولار لكل طن، وقد حافظ على سعر 10000 دولار للطن بين العامين 1997 و2003، ووصل سعره إلى 103000 دولار في حزيران/يونيو من العام 2005 بسبب زيادة الطلب.

تطبيقاته

1- في الخلائط

إن قابلية الموليبدينوم لمقاومة درجات حرارة عالية جداً، دون أن يتمدد بشكل ملحوظ أو أن يلين، يجعله متميزاً في تطبيقات تتحمل تسخيناً شديداً، بما في ذلك صناعة أجزاء السفن الجوية والموصلات الكهربائية والمحركات الصناعية والوشائع.

تحتوي خلائط الفولاذ الأكثر قوة بين 0.25 و8% موليبدينوم. وبرغم هذه النسبة البسيطة، يستخدم سنوياً أكثر من 43000 طن من الموليبدينوم لخلائط الفولاذ وحديد القذائف وفي الخلائط الفائقة درجات الحرارة.

يستخدم الموليبدينوم في خلائط الفولاذ بسبب مقاومته العالية للتآكل وسهولة لحمه. وبسبب كثافته المنخفضة وثبات سعره، يستخدم الموليبدينوم أحياناً بديلاً للتنغستين. ويمكن استخدام هذا العنصر، في آن معاً، كوسيلة لتحضير الخلائط وكطبقة سطحية على معادن أخرى لمقاومة الحرارة العالية. وعلى الرغم من أن درجة حرارة انصهاره هي 2623 °C، إلاّ أنه يتأكسد في الدرجة 760 °C ما يجعله أكثر ملاءمة للاستخدام في أوساط التخلية.

لا تحظى الخلائط المعتمدة على الموليبدينوم والخالية من الحديد بتطبيقات عديدة. فعلى سبيل المثال، وبسبب مقاومته للتآكل من قبل الزنك المنصهر، يستخدم الموليبدينوم النقي وخليطة موليبدينوم/تنغستين (30%/70%) في صناعة الأنابيب وأدوات المزج والدوافع التي تتلامس مع الزنك المنصهر.

2- في التطبيقات الأخرى كمحفّز ومركّبات

- الموليبدينوم-99 هو النظير المشعّ السلف لنظير التكنيسيوم-m99 المشع الوليد المستخدم في عمليات طبية عديدة.
- يستخدم ثنائي سلفيد الموليبدينوم (MoS_2) كمُزلِّق صلب، وفي صناعة الأقمشة المقاومة للحرارة والضغط العالي. ويشكل أفلاماً قوية على السطوح المعدنية وهو مضاف عام general additive للشحوم المعرّضة لدرجات حرارة ولضغط عاليين.
- يدخل ثنائي سيليسيد الموليبدينوم ($MoSi_2$) في صناعة السيراميك الناقل للكهرباء مع استخدام أولي في التجهيزات الحرارية التي تعمل في درجات أعلى من 1500 °C في الهواء.
- يستخدم ثلاثي أكسيد الموليبدينوم (MoO_3) كلاصق بين المعادن ومينا الأسنان. تأخذ موليبدات الرصاص المترسبة مع كرومات الرصاص وسلفات الرصاص لوناً برتقالياً لامعاً وتستخدم في تلوين السيراميك والبلاستيك.
- يستخدم مسحوق الموليبدينوم كسماد لبعض النباتات، كما في حالة القرنبيط.

• يستخدم عنصر الموليبدينوم أيضاً في أجهزة تحليل NO وNO_2 وNO_x في المساحيق النباتية لمراقبة التلوث. ففي الدرجة 350 °C يؤثر الموليبدينوم كمحفّز لـ NO_2/NO_x لتشكيل جزيئات NO فقط للحصول على قراءات ثابتة بوساطة الضوء تحت الأحمر.

• يستخدم سباعي موليبدات الأمونيوم Ammonium heptamolybdate في عمليات التلوث البيولوجي.

دوره البيولوجي

في الكيمياء الحيوية

إن الاستخدام الأهم للموليبدينوم في المواد الحية هو كمعدن غير متجانس نزّياً في مواقع فعّالة في بعض الأنزيمات. ففي مجال تثبيت النتروجين في بعض أنوع البكتيريا، مثل أنزيم آز النتروجين، الذي يدخل في الخطوة النهائية لإرجاع جزيء النتروجين، المحتوي عادة على الموليبدينوم في الموقع الفعّال، يمكن أيضاً استبدال الموليبدينوم بالحديد أو الفاناديوم. إن بنية المركز الحفاز في الأنزيم مشابهة لبنية مركز بروتينات حديد–كبريت: تتضمن هذه البروتينات مركّب Fe_4S_3 وعدة تجمعات من $MoFe_3S_3$.

وفي العام 2008 تحدث أحد التقارير مؤكداً أن قليلاً من الموليبدينوم في المحيطات البدائية كان عاملاً محدداً في التطور اللاحق لحياة الخلايا حقيقيات النوى (التي تشمل جميع النباتات والحيوانات)، كون الخلايا حقيقيات النوى غير قادرة على تثبيت النتروجين ويلزمُها وجوده من بكتيريا ما قبل الكريتاسي. ويعود تشكل كميات قليلة من الموليبدينوم إلى النقص النسبي للأكسجين في المحيطات البدائية. إن الأكسجين المنحل في ماء المحيطات يساعد على انحلال الموليبدينوم من فلزاته في قاع المحيط.

على الرغم من أن الموليبدينوم يشكل مركّبات مع جزيئات عضوية مختلفة بما في ذلك الكربوهدرات والحموض الأمينية، إلاّ أنه يُطرَحُ خارج الجسم البشري على هيئة أيون أكسيد الموليبدينوم، MoO_4^{2-}. لقد تمّ التعرف حتى العام 2000 على أكثر من 50 خميرة محتوية على الموليبدينوم، غالبيتها في البكتيريا، وعددها يتزايد كل عام. وفي بعض الحيوانات ولدى البشر، يتم تحفيز أكسدة الكزانتين xanthine إلى حمض البول، عملية هدم للبورين، بوساطة خميرة الكزانتين، وهي خميرة محتوية على الموليبدينوم.

يتناسب نشاط خميرة أكسدة الكزانتين طرداً مع كمية الموليبدينوم في الجسم. ومع ذلك، إن وجود تركيزٍ عالٍ من الموليبدينوم يعكس هذه القاعدة ويمكن أن يسلك كمثبط لعملية هدم البورين والعمليات الأخرى. كما أن تراكيز الموليبدينوم تؤثر أيضاً في اصطناع البروتين والاستقلاب وفي النمو.

لدى الحيوانات والنبات، تستخدم هذه الخمائر رابطة الموليبدينوم في الموقع الفعّال للرابط المشترك بين الموليبدينوم وحلقة ثلاثية. وجميع الخمائر المستخدمة للموليبدينوم المحددة حتى الآن في الطبيعة تستخدم هذا العامل المشترك، ماعدا خمائر النتروجين القديمة الخاصة بالنشوء النوعي phylogenetic، التي تثبت النتروجين في بعض البكتيريا والسيانوبكتيريا. تحفّز خمائر الموليبدينوم في الحيوانات والنبات تثبيت، وأحياناً إرجاع، بعض الجزيئات الصغيرة، كجزء من عملية تنظيم النتروجين والكبريت والحلقات الكربونية.

فعالية الامتصاص ونقصه في الغذاء البشري

يحتوي الجسم البشري على حوالي 0.07 ملغ موليبدينوم في كل كغ وزناً. يوجد الموليبدينوم بتراكيز عليا في الكبد والكليتين وبتراكيز دنيا في العمود الفقري. يوجد الموليبدينوم أيضاً في ميناء الأسنان البشرية ويمكنه المساعدة في تجنب نخرها. يحتوي كبد كلٍّ من الخنزير والغنم والعجل على ما يقارب 1.5ppm من الموليبدينوم. ويوجد أيضاً بشكل ملموس في مصادر الغذاء الأخرى مثل الحبوب الخضراء والبيض وبزر عباد الشمس ودقيق القمح والعدس وحبوب السيريال.

يتراوح متوسط الاندخال اليومي بين 0.12 و0.24 ملغ، غير أن ذلك يتعلق بمحتوى الموليبدينوم في الغذاء. لم تلحظ سمية خطيرة لدى البشر، وتتعلق السمية بشكل كبير في الحالة الكيميائية لهذا العنصر. وتشير الدراسات المنفذة على الفئران إلى أن الجرعة المميتة الوسطية (LD50) هي بحدود 180 ملغ/كيلوغرام لبعض مركّبات الموليبدينوم. ورغم عدم توافر معطيات حول السمية لدى البشر، إلاّ أن الدراسات المنفذة على الحيوانات أظهرت أن الاستهلاك المزمن، 10 ملغ/اليوم من الموليبدينوم، يمكنها إحداث إسهالات وتأخر في النمو والضعف الجنسي وولادات منخفضة الوزن وداء النقرس، ويمكن أيضاً أن تؤثر على الرئتين والكلى والكبد. وتقوم تنغستات الصوديوم بدور مثبط للموليبدينوم.

يترافق نقص الموليبدينوم في الغذاء الناجم عن ضعف تركيزه في التربة بتزايد معدل سرطان المري في المنطقة الجغرافية بين شمال الصين وإيران. وبالمقارنة مع الولايات المتحدة، التي تتمتع تربتها بتركيزٍ عالٍ من الموليبدينوم، فإن خطورة تعرض سكان تلك المناطق لسرطان خلايا حراشف المري أكبر بـ 16 مرة.

الأمراض المتصلة بالموليبدينوم

إن مرض نقص رابط الموليبدينوم الخَلقي، الملاحظ لدى الأطفال، ينجم عن تداخل مع جاهزية الجسم لاستخدام الموليبدينوم في الخمائر. يسبب هذا المرض زيادة في سويات الكبريتيت وملح الحامض البولي، وتخرب في الجملة العصبية. ويعود السبب في ذلك إلى عدم قدرة الجسم على تصنيع رابط الموليبدينوم، وهو جزيء غير متجانس الحلقة يربط الموليبدينوم بالموقع الفعّال في جميع الخمائر البشرية المعروفة التي تستخدم الموليبدينوم.

خصومة النحاس مع الموليبدينوم

يمكن للسويات العالية من الموليبدينوم أن تؤثر على ما يستحوذه الجسم من النحاس، الأمر الذي يؤدي إلى عوز في تركيز النحاس في جسم الإنسان. كما يقوم الموليبدينوم بمنع ارتباط بروتينات البلازما مع النحاس، مما يرفع أيضاً من كمية النحاس المطروحة في البول.

يؤدي استهلاك المجترات لكميات عالية من الموليبدينوم إلى نشوء حالات مرضية مثل الإسهالات وتوقف النمو وفقر الدم وفقد تصبغات الشعر. يمكن تخفيف هذه الآثار عبر زيادة كميات النحاس من خلال التغذية المباشرة أو بالحقن.

يمكن أيضاً أن يتم إرجاع النحاس أو إنقاصه بشكل كبير لغايات علاجية عن طريق مركّب تتراثيومولبيدات الأمونيوم. وأول ما استخدم هذا المركّب بشكل علاجي في معالجة سمية النحاس لدى الحيوانات، ومن ثم أدخل في معالجة داء ويلسون Wilson's disease، وهو اضطراب وراثي في استقلاب النحاس لدى الإنسان. وهذا ما جعل استخدام بعض مركّبات الموليبدينوم مهمّة في معالجة حالات السرطان مثلاً.

تحذيرات

يمكن لغبار الموليبدينوم وبخاره المنتجين في المناجم وفي عمليات التعدين أن يكونا سامين، وبخاصة عند دخولهما الجهاز الهضمي. ويمكن أن يسبب التعرُّض المديد لسويات منخفضة إثارة للعيون والجلد. فيجب تجنب الاستنشاق أو الهضم المباشرين للموليبدينوم ولأكاسيده، وتحدد السوية العليا المسموح بها بالتعرُّض للموليبدينوم بـ 5 ملّيغرام/م^3 خلال ثماني ساعات يومياً.

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc						Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y						Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo

المعادن القلوية	المعادن القلوية الترابية	اللنثانيدات	الأكتينيدات	المعادن الانتقالية	معادن أخرى	أشباه المعادن	لامعادن أخرى	الهالوجينات	الغازات النبيلة

إعداد: د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير

إعادة قابلية تشكيل الغروانيات

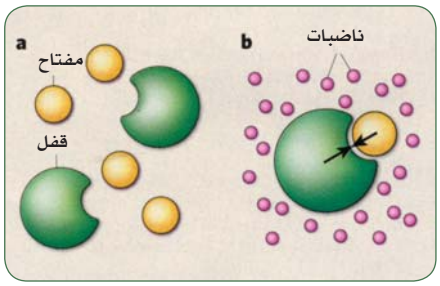
يمكن للجسيمات الغروانية، التي يشكّل بعضها مع بعض روابط وفق توجيهات نوعية، أن تتجمّع ذاتياً لتعطي جميع الأنواع من المواد المفيدة. وقد جرى اكتشاف المفتاح والقفل لمثل هذا الربط.

أورد ساكانّا Sacanna وزملاؤه طريقة بسيطة وقابلة للقياس من أجل التحكّم في توجيهات التآثرات بين الجسيمات الغروانية. يمكن تطبيق التقنية التي أوجدوها مباشرة للحصول على العمليات اللازمة من أجل تجمع الجسيمات الغروانية ذاتياً. وعلاوة على ذلك، ولأن الروابط الاتجاهية الحاصلة قابلة التحويل ومرنة ميكانيكياً، فإن البنى الغروانية المتعذّر الحصول عليها سابقاً يمكن أن نتصورها الآن كأهداف من أجل أن تتجمّع ذاتياً، مع احتمال إيجاد مدخل للتوصل إلى مواد محسَّنة وفعّالة ضوئياً.

تشكّل الجسيمات الغروانية، التي تتراوح أقطارها بين 100 نانومتر و1 ميكرومتر، كتل بناءٍ جيدة لمواد تتآثر بقوة مع الضوء، لأن حجمها يبلغ تقريباً نفس حجم أطوال أمواج الطيف المرئي. إن كلّ مطّلع على الخواص الضوئية للغروانيات يعرف بأن كدورة الحليب والأنهار المحمّلة بالغرين ما هي إلا نتيجة تبعثر الضوء القوي نتيجة تأثير الجسيمات الغروانية المتشتتة. فإذا ما تجمّعت مثل هذه الجسيمات ذاتياً في بلّورات غروانية (صفيفات ثلاثية الأبعاد على مدى ترتيب طويل المدى)، فإن كدورتها تتحول إلى تقزّح لوني، وأحجار الأوبال أمثلة موجودة في الطبيعة. يمكن توليف الخواص الضوئية للبلّورات الغروانية بتغيير خلاياها الواحدية أو الأبعاد بين الجسيمات مفسحة المجال لصنع مواد مفيدة لها تطبيقات في بعض العمليات مثل التحسُّس الكيميائي.

لكن التقدّم نحو بناء بلّورات غروانية عالية الجودة ما يزال بطيئاً. فبالرغم أنه أصبح من الممكن صنع بلّورات ذات جسيمات متراصّة بشكل جيد، فإن هنالك ترتيبات أكثر تعقيداً، مثل الشبيكة الرباعية الأوجه الموجودة في الألماس، لا تزال محيّرة. إن المحاكيات الغروانية التي تفترض تآثرات اتجاهية بين الجسيمات قد حدّدت السبل من أجل تجميع بنىً بلّورية معقدة. وعلى أية حال، فإن هذه المحاكيات بعيدة جداً عن الواقع، بسبب غياب الأدوات الفعّالة للتحكّم في اتجاه تآثرات الجسيمات الغروانية. وأفضل المقاربات لذلك في الوقت الراهن هي في استخدام كرات جانوس Janus Sphered (جسيمات مجهرية لها نصفا كرتين مختلفتين كيميائياً أو فيزيائياً) أو مزائج غروانية متعاكسة الشحنة.

تتضمّن مقاربة ساكانّا وزملائه للروابط الاتجاهية استخدام جسيمات "القفل" و"المفتاح". تحتوي جسيمات القفل على نقرة dimple تستطيع أن تقبل غروانيات مفتاح كروي ذي حجم موائم (الشكل 1a). إن إحداث نقرة على المادة الغروانية القفل لم يكن أمراً يحتاج إلى براعة، ويتطلّب من الباحثين تطوير بعض المعلومات الكيميائية الذكية عن الغروانيات أو الاستفادة منها. إن النتاج والانتقائية في المنتجات المصنّعة تعدُّ جيدة بشكل خاص، ويمكن اعتبارها أساسية للتطبيقات المستقبلية في التقانة.



الشكل1– ربط القفل والمفتاح في الغروانيات a: صنّع ساكانّا وزملاؤه غروانيات، إذ تحتوي جسيمات القفل نقرة يمكن أن تلائم جسيمات المفتاح الكروية المناسبة الحجم. قطر كلّ نوع من نوعي الجسيمات يقع في المجال 3-1 ميكرومتر. b: أضاف المؤلفون بوليميرات نانومترية البعد، تُعرف باسم الناضبات، إلى غروانياتهم. كلّ الجسيمات في المنظومة الناتجة في حركة عشوائية. ولكن ما إن تقترب الأقفال والمفاتيح بعضها من بعض بشكل كبير، حتى تبتعد الناضبات من الفرجة بين الجسيمين الأكبر. يولّد اختلال كثافة الناضبات بين داخل النقرة وخارجها اختلافاً في الضغط التناضحي يؤدي بدوره إلى تجاذب أزواج الجسيمات الغروانية بعضها إلى بعض (الأسهم). تزداد شدة التآثر إلى حدّها الأعلى عندما ينطبق المفتاح في داخل نقرة القفل، مشكلاً رابطة اتجاهية فعّالة على طول المحور الذي يربط القفل والنقرة والمفتاح.

ولربط جسيمات القفل والمفتاح معاً، استخدم الباحثون قوة تُعرف بتآثر النضوب deplation interaction، التي تعتبر فريدة لقياس الغروانيات. تظهر تآثرات النضوب عندما تضاف البوليميرات أو الجسيمات التي حجمها من مرتبة النانومتر، والتي تُعرف بالناضبات depletants، إلى المحاليل الغروانية. ولما كانت الجسيمات الغروانية بحركة عشوائية ثابتة، فإنها

أحياناً تصبح متقاربة إلى حدٍّ كبير. وعندما يحصل ذلك، فإن الناضبات تُبعَد عن الفرجة بين الجسيمات الغروانية الأكبر (الشكل 1b). يشكّل اختلال التوازن في كثافة الناضبات داخل الفرجة وخارجها اختلافاً في الضغط التناضحي، يؤدي إلى تجاذب بين كلّ زوجين من الجسيمات الغروانية.

يمكن فهم التآثر أيضاً على أساس حجم المنظومة الغروانية التي تكون مناسبة للانشغال "بالمضافات" (الحجم الحر). لا تستطيع الناضبات الاقتراب من الجسيمات الغروانية مسافة أكبر من نصف قطرها، وهكذا تخلق "منطقة مانعة" حول كلّ جسيم غرواني لا تستطيع الناضبات اختراقها، فإذا ما حصل تماس بين زوجي جسيمين غروانيين، يتراكب جزء من مناطقها المانعة، مما يؤدي إلى تقليص الحجم الكلّي للمنظومة الغروانية التي يتعذّر على الناضبات دخولها، ويؤدي ذلك إلى تجاذب الزوجين الغروانيين بعضهما بعضاً، إذ إن ذلك يزيد من الحجم الحرّ للناضبات، وهو فعل ترموديناميكي مرغوب به.

يذكر ساكانّا وزملاؤه أن الارتباط التام بين جسيمات المفتاح ونقرات القفل تزيد إلى الحدّ الأعلى من الحجم الكلّي للناضبات بالنسبة إلى أنماط الارتباط غير النوعية (وهي المواقع التي ترتبط (تتماسك) فيها المفاتيح مع الأقفال في غير أمكنة النقرات). وهكذا يكون التجاذب بين النوعين من الجسيمات الغروانية أكبر ما يمكن على طول المحور الذي يصل المراكز المتوسطة للقفل وللمفتاح ولنصف قطر نقرة التقوس (الشكل 1b). ويشكل ذلك أساس الرابطة الاتجاهية الحقيقية. لم يذكر المؤلفون الشدة النسبية للتآثر الاتجاهي مقارنة مع أنماط الارتباط غير النوعي، إلا أنه يجب أن يكون التأثير الاتجاهي جوهرياً، مصدرين حكمهم بناءً على نقص الربط غير النوعي في منظوماتهم عند التراكيز الأقل للناضبات، حيث يُلاحظ الربط قفل ومفتاح.

وهكذا، كيف يمكن استخدام مثل هذه الرابطة؟ أثبت ساكانّا وزملاؤه أن التآثر انتقائي –لا ترتبط الجسيمات الغروانية المفاتيح بشكل فعّال مع الأقفال إذا كانت أكبر أو أصغر من جيب القفل. وهذا يقود إلى أن الأقفال تستطيع أن تمسك أحجاماً غروانية نوعية من المزيج. ولكن من الممكن ألّا يكون ذلك أكثر الاستخدامات فائدة لهذه التقانة. وبدلاً عن ذلك، يشير المصدر الميكانيكي لتآثر القفل والمفتاح إلى أن الرابطة ستتشكل حتى ولو كان للجسيمين تركيبات أو سطوح كيميائية مختلفة. وسيكون ذلك طريقاً مباشراً للحصول على جسيمات لامتناحية، أي تلك التي تستجيب لحقل كهربائي أو مغنطيسي خارجي. إن طواعية حقل كهذه ستكون مفيدة لعمليات التجمع الذاتي، لأنها ستسمح للجسيمات بأن تتراصف بشكل جماعي بالنسبة لاتجاه الحقل.

إن حقيقة أن عدة أقفال يمكن أن ترتبط بمفتاح واحد تزيد من إمكانية حصول روابط قفل–مفتاح أكثر فأكثر. إن وجود جيوب مضاعفة على جسيمات القفل، إذا تمَّ ذلك، ستعطي غروانيات مكافئة لمعقدات تساندية أوسع –صفيفات جزيئية ذات بعدين أو ثلاثة– متجمّعة ذاتياً في بنىً هندسية ثابتة من الذرّات والجزيئات الربيطة. يمكن أن يُسمح بتجميع الجسيمات الغروانية في صفيفات مماثلة بإيجاد مدخل إلى بنىً غروانية معقّدة مرغوب فيها، ولكن ذلك ما يزال محيّراً حتى الآن.

من الممكن، على أية حال، أن تشكّل جسيمات القفل والمفتاح زجاجاً أو هلامات بدلاً من شبيكات متناسقة من خلال عملية تُعرف باسم الأسْر الحركي. ولكن حقيقة أن كلّ رابطة تعمل ككرة وكمتصل مقبس –يكون الغرواني المفتاح حرّاً أن يدور في جيبه الرابط– يجب أن تساعد في منع هذا الأمر. من المحتمل أن مثل هذه المرونة ستؤمن شيئاً أساسياً من هامش مناورة "wiggle room" في المراحل اللاحقة من عمليات تجميع الجسيمات، وبالطريقة نفسها التي غالباً ما يكون من المفيد أن تكون قادراً على ثني القطعة النهائية من طائرة نمطية من أجل التلاعب بهدف ضبطها في مكانها.

اعتاد العلماء المختصين بالغروانيات العمل بشكل منطقي –إنهم يصنّعون أولاً كتل البناء ثم يجمعونها. وبكلمة أخرى، فإنه بعد التصنيع تكون كتل البناء ثابتة لا تتغيّر. ولحسن الحظ، إن كتل بناء منظومة ساكانّا وزملائه –معقدات القفل والمفتاح– يمكن أن يعاد تشكّلها عند أي مرحلة أثناء عملية التجميع. وحتى يتم ذلك، استثمر المؤلفون حقيقة أن شدات تآثرات النضوب تكون مرتبطة بحجم الجسيمات الناضبة. وباستخدام الطرائق الأساسية لتعديل حجوم هذه الجسيمات عند موقعها الطبيعي في منظوماتها الغروانية –مثلاً، صنع ناضبات من البوليميرات يمكنها أن تنتفخ أو تنكمش متجاوبة مع درجة الحرارة– استطاع المؤلفون تشكيل أو كسر الروابط عند الطلب. ولكن إلى أي مدى يجب أن تكون عملية تجمّع أو تفرّق البلّورات الغروانية أسرع حتى تستطيع الجسيمات الغروانية نفسها إعادة تشكّلها عند الطلب؟ هذه مجرد قضية واحدة، ومن بين القضايا العديدة الأخرى التي برزت من هذا العمل هي أن العلماء المختصين بالغروانيات سيمتّعون أنفسهم بعملية القفل والفتح.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 464,25 March 2010.
ترجمة د. أحمد حاج سعيد عضو هيئة التحرير.

صراع عالمي على العناصر الترابية النادرة

الصين، المُورِّد الرئيس عالمياً للعناصر الترابية النادرة، تريد حظر بيع هذه المواد الاستثنائية اللازمة للطاقة الخضراء وللإلكترونيات. يستعرض ريتشارد كورفيلد Richard Corfield ما يمكن عمله لتأمين استمرار التزوّد العالمي بهذه العناصر.

تصوّر عالماً خالياً من الهواتف والحواسيب المحمولة وشاشات العرض المصنوعة من البلورات السائلة وشاشات البلازما، تنحو التوجهات فيه إلى التخلّي، بصورة دائمة، عن الطاقة الخضراء.

مستحيل! وغير ممكن. كل ذلك لأنه يوجد على نطاق واسع مزوّد وحيد للعناصر الترابية النادرة، هو جمهورية الصين الشعبية، PRC، التي تُغلق الباب أمام عملية تصدير هذه العناصر.

اكتُشفت العناصر الترابية النادرة (Rare Earth Elements REEs) في القرن التاسع عشر في مقلع صغير في قرية بيترباي Ytterby في جزر ستوكهولم، ولسنواتٍ عديدة، اعتبرت REEs شيئاً غريباً مهماً مخبأً في زاوية معتمة في الجدول الدوري للعناصر الكيميائية. غير أنه وفي العقدين الأخيرين أصبحت هذه العناصر أساسية لثورتي التقانة والطاقة الخضراء. فهي أساسية في صناعة

الهاتف المحمول والحواسيب المحمولة والـ LCD وشاشات التلفزيون البلازمية وأيضاً في صناعة توربينات المولّدات الريحيّة والموجية وفي صناعة محركات وبطاريات السيارات الهجينة.

يقول جون مير John Mair، مدير المشاريع الخاصة بمناجم وطاقة غرينلاند: "في السنتين الأخيرتين، أدرك العالم الغربي فجأة أنه مدمنٌ بشكل كبير على العناصر الترابية النادرة، وأن الصين، المورّد العالمي المهيمن، تحدُّ من تصدير العناصر الترابية النادرة وتعطي الأولوية لاحتياجاتها المحلية. وقد أفضى ذلك إلى حالة شاذّة في زيادة الطلب، المتزامن مع تغيّر شديد في ديناميكية السوق، مما أحدث نقصاً كبيراً في التزوّد العالمي بالعناصر الترابية النادرة.

ما الذي جعل العناصر الترابية النادرة استثنائية إلى هذا الحدّ؟ الميزة الأكثر أهمية هي أنها بخاصيتها الكيميائية تُشكّل وسطاً مغنطيسياً قوياً. تتّصفُ العناصر الترابية النادرة باللاتناحي المغنطيسي القوي جداً، أي أنها، وبسهولة، تصطفُّ ذاتياً وفق حقل مغنطيسي. ويعود السبب في ذلك إلى أن العناصر الترابية النادرة تمتلك طبقات إلكترونية غير ممتلئة تماماً من نوع f، الأمر الذي سيسمح لإلكترونات هذه الطبقات بالاحتفاظ بعزوم مغنطيسية أشد بكثير من عزوم إلكترونات في مدارات أكثرُ امتلاءً. وهكذا، تكون مغانط العناصر الترابية النادرة أكثر قوة من المغانط الحديدية (أكسيد الحديدي) التقليدية أو مغانط ألنيكو alnico (المكونة من خليطة ألمنيوم ونيكل وكوبالت)، وهو ما يعني أن مغانط أصغر حجماً يمكنها توليد القوة المغنطيسية نفسها. ومع أن العناصر الترابية النادرة تكون درجات حرارة كوري فيها منخفضة، أي درجة حرارة فقدها لمغنطتها، إلاّ أنّ خلطها مع المعادن الانتقالية، كالحديد والنيكل والكوبالت، يرفع من درجة حرارة كوري للخليطة، وهو ما يجعل مغانط العناصر الترابية النادرة صالحة للاستعمال في عدد كبير من التطبيقات التي تتطلب مغانط بحجوم صغيرة. وبشكل عام، تولّد مغانط الأتربة النادرة قوى أكبر من 1.4 تسلا، في حين تولّد المغانط التقليدية بصعوبة 1 تسلا. إن المغانط الأقوى التي توفر إمكانية استخدام العناصر الترابية النادرة تعني أن المحركات الكهربائية التي نستخدمها يمكن أن تكون أصغر. وهذا ما يبرر استخدامها بشكل واسع في السيارات الهجينة، مثل سيارة تويوتا Prius. إضافة إلى ذلك، إن عزم الفتل الفائق لمغانط العناصر الترابية النادرة يعني أن قدرة الخرج من المولّدات، كما في التوربينات الريحيّة، تكون معزّزة بشكل كبير.

وكنتيجة أخرى لقدرة مغانط العناصر الترابية النادرة أنها تسمح بنمنمة الأقراص الصلبة. فالنيوديميوم والديسبروسيوم من

ما هو المستقبل الكهربائي؟ لا تغدو البطاريات ممكنة بدون العناصر الترابية النادرة.

"أدرك العالم الغربي فجأة أنه مدمن بشكل كبير على العناصر الترابية النادرة، وأن الصين، المورِّد العالمي المهيمن، تحدُّ من تصدير العناصر الترابية النادرة وتعطي الأولوية لاحتياجاتها المحلية".

جون مير، مدير المشاريع النوعية لمنجم وطاقة غرينلاند.

العناصر الترابية النادرة المتمتّعين بأعلى الخصائص المغنطيسية، وهما أساسيان في عمل مثل هذه الأدوات. واللنتانوم من أكثر العناصر الترابية النادرة التي تستعمل في البطاريات القابلة لإعادة الشحن، وأفضلها هي بطارية هدريد معدن النيكل (nickel-metal hydride (NiMH) المستخدمة في السيارات الهجينة.

يلخص مير الوضع بشكل بارع فيقول: "يفاجأ كثير من الناس عندما يدركون أن الهواتف المحمولة والحواسيب المحمولة والسيارات الهجينة وشاشات العرض المسطحة ومصابيح الطاقة الفعّالة والتوربينات الريحيّة وغيرها الكثير من التجهيزات الأخرى، تعتمد على العناصر الترابية النادرة. ولكن بمجرد إدراكهم أن كثيراً من تطبيقات العناصر الترابية النادرة أصبح الآن مألوفاً في كل المجتمعات، فإنهم يتفهمون بسرعة لماذا أصبحت العناصر الترابية النادرة من أهم مواضيع الساعة".

تستعمل العناصر الترابية النادرة أيضاً كمُحفّزات لتحويل المواد. فمع صدور القوانين التي تحدُّ من الإصدارات الناجمة عن السيارات، يتوقع في نهاية العام 2010 أن 95% من جميع السيارات المصنّعة ستتضمّن مثل هذه المحفّزات.

ومن المفارقة أن ندرة هذه العناصر الترابية في القشرة الأرضية ليست مؤكّدة. ففي تقرير أعدّه جاك ليفتون Jack Lifton قال فيه: "في العام 1400 قبل الميلاد كان الحديد نادراً ومعدناً ثميناً، وفي العام 1865 بعد الميلاد كان الألمنيوم نادراً ومعدناً ثميناً، وحتى العام 1945 كان اليورانيوم نادراً وغير مفيد". لكن في الأشهر القليلة الأخيرة احتلّ موضوع نقص الترابيات النادرة العناوين الرئيسية. كيف يكون هذا؟ تكمن المشكلة في أن 97% من الواردات العالمية لهذه الترابيات النادرة يأتي من الصين، وجميع هذه الترابيات تقريباً تأتي من منجم وحيد قرب مدينة باوتو Baotou داخل منغوليا، في حين أن ما تبقى يأتي من مناجم صغيرة، وفي بعض الأحيان غير نظامية موجودة في الصلصال الأيّوني في جنوب الصين، حيث إن التلوث بالفلزات السامة وأحياناً المشعّة هناك يطرح الآن مشكلة بيئية حقيقية. ففي تشرين الأول/أكتوبر من العام 2009 بيّن تقرير صادر عن وزارة الصناعة والمعلومات التقنية الصينية أن جمهورية الصين الشعبية قد تُخطّط لحظر شامل على تصدير ما يصل إلى خمسة عناصر ترابية نادرة وتُحدُّ من تصدير بقية هذه العناصر الترابية. وبشكل خاص، هناك إشاعات بأن تصدير اثنين على الأقل ممّا يطلق عليها العناصر الترابية النادرة الثقيلة، التربيوم والديسبروسيوم، يمكن أن يوقف في بداية العام القادم. إن ذلك يتوافق مع توقّعات مير بأن أول نقص للعناصر الترابية النادرة سيشمل بعض العناصر الثقيلة منها.

ومن الغريب أن الترابيات النادرة موجودة في غالبية أنحاء العالم باستثناء أوربة. يعدُّ منجم جبل باس Mountain Pass في كاليفورنيا أهم منجم للأتربة النادرة في الولايات المتحدة. ومع ذلك، فقد تراجع الإنتاج فيه وفي المناجم الأخرى حول العالم (روسيا والهند وماليزيا) في نهاية تسعينيات القرن الماضي وبداية القرن الحالي بسبب المضاربة السعرية من قبل الصين. انعكست هذه الاستراتيجية القصيرة الأجل الآن إلى حدٍّ بعيد على الغرب. وحسب ما يقول ليفتون: "على الرغم من أن منجم جبل باس ربما ينتج ما بين 40 و67% من إجمالي ما يُنتج من الأتربة النادرة خارج الصين، تبقى هذه الكميات ضئيلة أمام الكميات التقليدية التي ينتجها منجم باوتو في الصين".

وستتفاقم المشكلة بسبب التوسّع السريع للاقتصاد الصيني. ويضيف ليفتون: "أعتقد أن الإنتاج الصيني وتعدين الترابيات النادرة غير قادر على الاستمرار في تغطية الاستهلاك المحلي في المستقبل القريب".

ماذا يعني ذلك للغرب؟ يشير يان لندن Ian London، من شركة أفالون للمعادن النادرة، إلى أن الولايات المتحدة بدأت تكتشف حقيقة أنه يجب عمل شيء ما، فأرسلت جمعية تصنيع المغانط الأمريكية حديثاً رسالة إلى إدارة أوباما تتضمّن خطة من ست نقاط لإجراء تصحيحات نوعيّة على طريقة تزوُّد الولايات المتحدة بالأتربة النادرة. وتشمل هذه النقاط تحسين مراحل التعدين والتنقية والخلط وتحسين سلسلة عملية التزوّد. ومن الأشياء المستعجلة بالنسبة للولايات المتحدة أن العديد من الأسلحة الذكّية ومنظومات الأسلحة يتطلّب استعمال العناصر الترابية النادرة.

وفي أوربة، قامت مجموعة من الخبراء شكّلها الاتحاد الأوربي بتصنيف العناصر الترابية النادرة في قائمة جديدة على أنها مواد أولية ذات أهمية حرجة. وفي غياب مناجم أوربية أساسية تقترح المجموعة تخفيض استهلاك العناصر الترابية النادرة عن طريق زيادة فعّالية الموارد وإعادة تدوير هذه العناصر. ومع ذلك، يشكّك مير بكفاية هذه الاقتراحات، ويقول: "التدوير سوف لن يغطي الطلب، والمشكلة هي أن العناصر الترابية النادرة تستعمل بكميات ضئيلة ممّا يحدّ من قدرتنا على إعادة تدويرها بشكل اقتصادي".

ولهذا السبب تتم الاستثمارات في منجم غرينلاند في الظلام فوق أرض مقفرة في الطرف الشمالي الغربي البعيد من غرينلاند. هناك، بين صخور إيليموساك إنتروجن Ilimaussaq Intrusion يوجد أكبر مخزون معروف للعناصر الترابية النادرة. أظهر المسح الذي تمّ حتى الآن أن كمية العناصر الترابية النادرة هناك ستغطي ما لا يقل عن ربع الطلب العالمي خلال الخمسين سنة القادمة. مير متفائل حول نموذج عمل الشركة، ويقول: "سنستعمل سيناريو السّلع المتعددة، حيث سنعدّن فلزات متوافرة أخرى إضافة إلى الترابيات النادرة، كما في حالة اليورانيوم الذي يمكن أن نبيعه لاحقاً من أجل تغطية تكاليف الاستخراج". ربما يكون غريباً رؤية شركة تعدين أسترالية تنشط عند الطرف الآخر للعالم، لكن الواضح أن إغراء مشروع فانيفجيلد للأتربة النادرة Kvanefjeld Rare Earths project مهمّ جداً. بدأت غرينلاند مهمتها للتوّ، وهي متطلعة للمستقبل، وستقوم بمسوحات جيولوجية، معتمدة على معطيات شاملة وجيدة. ونظراً لريادتها في هذا المجال، ستكون في موقعها المناسب، وهي غير مكشوفة على الشاشة حتى الآن.

هناك شكّ صغير بأن مشروع فانيفجيلد سيتمكن من حصاد كنز غرينلاند، ونزع يد الصين عن التحكّم بخناق التقانة العالمية في الوقت نفسه.

نُشر هذا الخبر في مجلة Chemistry&Industry,22 March 2010.
ترجمة د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير.

إطلالة علمية

ظاهرة الحوادث الخطيرة في المفاعلات النووية العاملة بالماء المضغوط

ترجمة
أ. د. عادل حرفوش*

جرى في العام 1979 انصهار جزئي لقلب المفاعل النووي العامل بالماء المضغوط في جزيرة ثري مايل آيلند Three Mile Island في بنسلفانيا بالولايات المتحدة الأمريكية. سبب هذا الحادث سلسلة من الإخفاقات المادية والبشرية، وهو ما أقنع مصممي ومستثمري المفاعلات النووية بأن حوادث انصهار القلب (أو الحوادث الخطيرة) يمكن أن تحصل. يعرض هذا المقال الخطوط العريضة للمعرفة الحالية حول الحوادث الخطيرة في المفاعلات العاملة بالماء المضغوط وأنماط الإخفاق الممكنة في حافظة المفاعل في مثل هذه الحالات. ومن ثم، يستعرض المقال التدابير المتخذة لمواجهة مثل هذه الحوادث في فرنسا في المفاعلات التي سبق تصنيعها لهذا النوع من المفاعلات وفي مفاعلات الجيل الثالث.

الكلمات المفتاحية: مفاعلات الماء المضغوط، قضبان الوقود، حافظة المفاعل، حوادث خطيرة، حوادث انصهار القلب.

---

* عن مجلة RGN N° 1 janvier-février 2010.

❶ تعريف حادث خطير

الحادث الخطير هو حادث يحصل فيه تأذٍّ كبير للوقود من خلال انصهار جزئي أو كلي لقلب المفاعل. يحصل مثل هذا التخريب نتيجة ارتفاع كبير لدرجة حرارة المواد المكونة للقلب، جرّاء توقف مديد لتبريد القلب بالسوائل المُرَحِّلة للحرارة. لا يمكن لهذا الخلل أن يحدث إلاّ في أعقاب عدد كبير من الأعطال الوظيفية، وهو ما يجعل هذا الاحتمال ضعيفاً جداً.

- ففي حالة المفاعلات القائمة، إذا تعذر إيقاف تخرّب القلب من خلال غمره (إعادة غمر القلب) بالمياه قبل انثقاب الوعاء، يمكن للحادث أن يقود بالنتيجة إلى فَقْد حافظة المفاعل وإلى انبعاثات كبيرة للمواد المشعّة في البيئة المحيطة.
- أما في حالة مفاعل الماء المضغوط الأوربي، فقد حُدِّدت أهداف طموحة فيما يخص الأمان، إذ إنها تضمنت احتياطات لخفض كبير للانبعاثات المشعّة الممكن حصولها في جميع حالات الحوادث المعقولة، بما في ذلك حوادث انصهار القلب. ونوجز هذه الأهداف بما يلي:
  - "تخلّص عملي" من الحوادث التي تقود إلى انبعاثات كبيرة مبكرة؛
  - حصر حصول حوادث انصهار القلب عند الضغط المنخفض فقط.

❷ الحادث الخطير ممكن: ثري مايل آيلند

رغم أنه أجريت في الولايات المتحدة، منذ بداية سبعينيات القرن الماضي دراسات علمية نظريّة معمّقة حول حوادث انصهار القلب (دراسات عُرضت في التقرير WASH 1400، الذي عرف أحياناً باسم مؤلفه الأصلي "Rasmussen"، والمنشور عام 1975، ويشكل الدراسة الأولى المُخَمَّنة لاحتمالات وقوع حوادث انصهار القلب والنتائج الإشعاعية المرافقة. بقي هذا التقرير زمناً طويلاً وثيقة مرجعية)، لكن الحادث الذي حصل في الثامن من شهر آذار/مارس عام 1979 في المفاعل النووي الأمريكي ثري مايل آيلند Three Mile Island (TMI) (حادث حصل فيه انصهار جزئي لقلب المفاعل) هو الذي جعل مصممي ومستثمري المفاعلات النووية يوقنون أن حوادث انصهار القلب ممكنة. ومن الملاحظ، ومنذ نشر هذا التقرير، أن جهات فرنسية وأجنبية متخصصة بالأمان سعت إلى استخلاص نتائج عملية منه بهدف تحسين أمان المحطات النووية وتوصيف خطط الطوارئ للتدخل عند وقوع حادث ما.

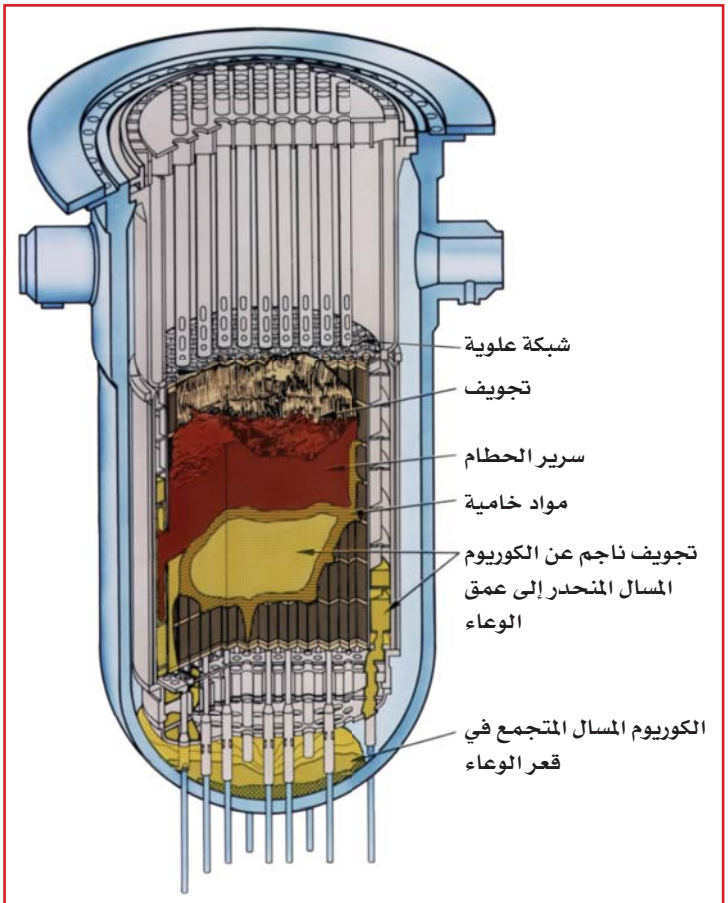
كانت الأضرار التي لحقت بعناصر الوقود خلال هذا الحادث أكبر بكثير مما كان متوقعاً في أخطر الحوادث التي جرت دراستها في إطار مثيلات هذه المحطة. لم يُدرَك هذا الأمر إلاّ في العام 1985، أي بعد مضي 6 سنوات على الحادث، بيد أن نسبة 45% من الوقود قد انصهرت، جارفة معها مواد الغلاف وأخرى هيكلية، مما شكل ما يسمى بالقلبيات " الكوريوم corium"، وهو تكتل من الوقود والمواد الهيكلية (أي المواد التي تحمل الوقود في الوعاء أثناء العمل الطبيعي للمفاعل). انداح جزء من هذه القلبيات، حوالي 20 طناً، على هيئة سائل في عمق وعاء المفاعل، دون أن يخترقه لحسن الحظ (انظر الشكل في الصفحة التالية)، وربما يعود الفضل في ذلك إلى تشكل تجويف بين القلبيات والوعاء، مما جعل هذا التجويف يسمح بدوران ماء التبريد ضمن الوعاء.

ورغم الانصهار الجزئي لقلب المفاعل والانبعاث الكبير للمواد المشعّة في حافظة المفاعل enceinte de confinement، فقد كانت النتائج الإشعاعية الآنية على البيئة بحدودها الدنيا. إذ قامت حافظة المفاعل بدورها تماماً.

ويعود الفضل في محدودية الانبعاثات في البيئة إلى الخدمة التي قامت بها منظومة تصريف غازات الدارة الأولية.

ففي مفهوم إنشاء ثري مايل آيلند، لم يكن نظام أمان ماء التغذية ليعزل حافظة المفاعل بشكل أوتوماتيكي، أي أن إغلاق صمامات كافة الأنابيب الداخلة إلى مبنى المفاعل أو الخارجة منه لم يكن فعالاً لتأمين الحماية. إن عزل حافظة المفاعل كافٍ لإيقاف التبادل بين الداخل والخارج، من أجل الحدّ من الانبعاثات المحتملة. وهكذا فقد تمكنت مضخات الشفط في الحافظة، وخلال عدة ساعات، من نقل الماء المتزايد التلوث بالمواد المشعّة إلى بناء ملحق إضافي. غير أن عدم كتامة دارات المياه أدت إلى تسرب الماء الساخن الملوث بالمواد المشعّة في البناء الإضافي وتبخره فيه، مما أدى إلى انبعاث اليود والكزينون المحتويَين في هذه المياه. جرى شفط هذين الغازين والأبخرة بوساطة منظومة التهوية العامة للبناء عبر مرشحات لليود غير كافية الفعّالية، وانبعثت خارجاً. كان يجب أن يُحرِّض انتقال هذه الغازات والأبخرة إنذارات في البناء ليتمّ أمر العزل، يدوياً، بعد فترة وجيزة. تعد نقطة الضعف هذه خطأً في التصميم.

تجدر الإشارة إلى أن سوية القلق الشعبي قد ارتفعت وازدادت شدتها أيضاً بسبب أوامر الإخلاء الصادرة عن سلطة الأمان الأمريكية (NRC) آنذاك، رغم أن حاكم بنسلفانيا قد ألغى هذه الأوامر.



مقطع من الوعاء يظهر الوقود المتردّي بشكل كبير بسبب الانصهار الجزئي للقلب أثناء الحادث الذي حصل في الولايات المتحدة الأمريكية في 28 من آذار/مارس عام 1979 بثري مايل آيلند.

كانت الصدمة المتولِّدة عن حادث ثري مايل آيلند هائلة، والمعلومات المستخلصة منه عديدة، وبخاصة في فرنسا.

وعملياً، رغم أن هذا الحادث لم يشكك بالمفهوم العام للمحطات النووية (لقد فرض تطبيق مفهوم الأمان بالعمق دراسة عدة حوادث، وهو ما أدى، بشكل خاص، إلى تحقيق حافظة مقاومة. أدت هذه الحافظة عملها بشكل تحقّق معه حماية تامة للمجتمع المحيط بالمحطة وللعاملين فيها)، إلاّ أنه أظهر بوضوح أن احتمال حصول حوادث أكثر خطورة أصبح ممكناً بشكل أكبر مما اعتبر حتى ذلك الوقت فيما يخص أهمية المحطات النووية، خاصة حادث فَقْد التبريد الأولي الناجم عن انقطاع مفاجئ، والذي يمكن أن ينتج عن سلسلة أعطال تقنية وأخطاء بشرية.

وإذا كانت المعلومات المستقاة من تقييم هذا الحادث لا تشكك بالمبادئ الأساسية للأمان التي يعتمد عليها مفهوم مفاعلات الماء المضغوط الحالية، فإن التأمّلات الخاصة بالأمان تبلورت حول أربعة مواضيع كبيرة: قيادة المحطات، وحصر المواد المشعّة، والتجربة المستقاة من استثمار المحطات النووية وإقرار خطط الطوارئ (تجدر الإشارة هنا إلى انفجار المفاعل الروسي في تشرنوبيل، الذي حدث في السادس والعشرين من نيسان/أبريل عام 1986، أي بعد سبع سنوات من حادث ثري مايل آيلند. ولاحقاً لهذا الانفجار، تزايدت تساؤلات المجتمع الدولي حول إدارة مرحلة الحادث، في مجال مهم جداً، ألا وهو الإعلام والتواصل مع المجتمع، حيث إن المشاكل التي حدثت أدّت إلى ردود أفعال مهمة حول ضرورة تحقيق شفافية أفضل).

❸ برامج البحث والتطوير

وفي أعقاب حادث ثري مايل آيلند، جرى تبنّي عمل مكثف لتحسين المعرفة حول مظاهر حادث خطير ونتائجه على قدرة العزل لحافظة المفاعل وعلى الجمهور.

وهكذا، وبعد ست سنوات على الحادث، توسعت برامج البحث والتطوير (R&D) باتجاهات عديدة:

- فحص الترتيبات اللازمة في حالة تلوث خارجي لحافظة المفاعل؛
- تحسين فهم الظواهر الحاصلة أثناء حادث انصهار القلب، من خلال برنامج تحاليل تجريبية وعامة، وتطوير كودات الحساب، ومنها منظومة كودات الحساب المسمّاة حالياً ASTEC، والمطورة بالتشارك مع IRSN ومماثلها الألماني GRS، وذلك باستخدام نماذج صحيحة بناءً على التجارب المذكورة آنفاً.

ومن بين المجالات المغطاة بهذه البرامج في فرنسا، يمكننا الإشارة إلى:

- سلوك قلب مخرّب، وسلوك نواتج الانصهار التي ينشرها الوقود المُخرَّب، والتي تنتقل لاحقاً إلى الدارة الأولية وحتى إلى حافظة المفاعل؛
- دراسة مفصّلة لكيمياء اليود في الدارة الأولية وفي حافظة المفاعل. وحالياً، تتم متابعة هذه الدراسة في إطار برنامج تحاليل تجريبية دولية؛
- دراسة مفصّلة حول انبعاث مواد الانصهار انطلاقاً من وقود مشعّع خاضع لارتفاع في درجة الحرارة؛
- دراسة تراصُف (تطبُّق) الهدروجين وتأثيرات انفجاره في حافظة المفاعل؛
- توصيف الحلالة الهوائية aerosols المنبعثة من الوقود ودراسة سلوكها في الدارة الأولية وفي حافظة المفاعل؛
- دراسة شروط ثقب حاجز بيتوني عندما لم تعد القلبيات محصورة في الوعاء؛
- تقييم الحِمل الديناميكي المتولّد عن تفاعل بين القلبيات (الكوريوم) وماء الوعاء، أو مصرف الوعاء المغمور بالماء (انفجار البخار)، وأثر النتائج المرافقة على قدرة الوعاء والحافظة على الحصر؛

ومن ناحية أخرى، انضمت كل من IRSN و EDF و CEA إلى برامج بحثيّة حول الحوادث الخطيرة المنفَّذة في بلدان أخرى (أوربا والولايات المتحدة وروسيا واليابان)، أو إلى برامج استفادت من النتائج المعلنة، التي أكملت أسس المعرفة الضرورية لتقييم أدوات المحاكاة. ويمكننا أن نذكر منها:

- برامج حول تفاعل القلبيات والبيتون؛
- برامج داخل المفاعل حول تخرُّب قضبان الوقود؛
- برامج خارج المفاعل، أي على قضبان خلبية غير مشعّة؛
- برامج تحليلية مختلفة ممّولة بالتشارك مع الاتحاد الأوربي؛
- برامج OCDE قدمها الروس لدراسة خصائص مغاطس القلبيات في عمق الوعاء، و OLHF قدمتها الولايات المتحدة لدراسة الكسر الميكانيكي لعمق الوعاء.

بعد 15 عاماً من حادث TMI، تمت متابعة برامج دراسية وبحثية مهمّة بشكل دائم، في فرنسا وفي الدول الأخرى، حول قدرة الحبس لحافظة المفاعل وحول الظواهر المختلفة المتوقع حصولها بعد انصهار قلب المفاعل، وبشكل خاص الأعمال البحثية والتجريبية حول الطرائق التي تسمح بتخفيض المخاطر المرافقة لانطلاق الهدروجين خلال مرحلة انصهار القلب. وبدءاً من عام 1994، قامت سلطة الأمان النووي في عدة مناسبات بالسؤال عن رأي IRSN ومجموعة الخبراء الدائمين المسؤولين عن المفاعلات النووية حول التوجهات المعتمدة من قبل EDF في مجال تجنب وتقليل نتائج الحوادث الخطيرة المحتملة على المفاعلات النووية العاملة بالماء المضغوط المستخدمة حالياً. فرض هذا السؤال على EDF في العام 2004 أن تعرض، من بين أشياء أخرى، مرجعية أمان مخصّصة للحوادث الخطيرة. ولاحقاً لهذه اللقاءات، كانت هناك مجموعة من التعديلات الأساسية التالية:

- وضع مواد لتحفيز آلي غير هجومي من أجل تخفيض حجم الهدروجين المتحرر وذلك عن طريق ربطه وتثبيته ضمن جميع المفاعلات (تحقق ذلك في العام 2007)؛

– تحسين منظومة إغلاق صمام الوصول إلى داخل الحافظة في حالة مفاعلات الـ 900 ميغا واط كهربائي بهدف تأمين إحكام الانسداد، قبل الوصول إلى ضغط من مرتبة 8 بار، وهي نقطة ضعف في الحافظة؛
– تحسين سلامة الفتح المطلوب لصمامات تخفيض الضغط في حالة مفاعلات الـ 900 ميغا واط كهربائي: الهدف من هذا التعديل هو تقييد مخاطر ثقب الوعاء عند الضغوط المرتفعة، وبخاصة في حالة انصهار القلب اللاحق لفَقْدٍ كامل للتغذية الكهربائية؛
– تثبيت منظومات تسمح بكشف انثقاب الوعاء، وبتقييم خطر الهدروجين في مفاعلات الـ 900 ميغا واط كهربائي. فانثقاب الوعاء سيُكشفُ من خلال الارتفاع المفاجئ للحرارة المتولِّدة عن وجود الكوريوم في تجويف الوعاء، وسيقدر خطر الهدروجين بقياس درجة حرارة الغاز عند مخرج المحفّزات الآلية غير الهجومية، مما يسمح بمعرفة ما إذا كان تفاعل إعادة الاندماج بين $H_2 + O_2$ قد بدأ أم لا.

اعتمدت الدراسات المدعّمة بهذه التحاليل على نتائج برامج الأبحاث التجريبية والنظرية، فيما يخص الظواهر المرافقة للحوادث الخطيرة. سمحت هذه البرامج بإدراكٍ أشمل لمصير المواد المشعّة في حافظة المفاعل وخارجها، ولهموم أخرى تم التعرف عليها في أعقاب حادث TMI.

إن إجمالي الأبحاث المنفذة حول الظواهر الفيزيائية المرتبطة بالحوادث الخطيرة سمح بتطوير منظومات كودات حساب تحاكي بزمن حساب قصير حادثاً مماثلاً اعتباراً من بدء الحادث وحتى الانبعاث الممكن للنويات المشعّة إلى خارج حافظة المفاعل. مع ذلك، لا زالت هناك شكوك حتى تاريخه، وعلى سبيل المثال، حول سلوك نظائر اليود والحلالة الهوائية، إضافة إلى ما يتعلق بتفاعل القلبيات (الكوريوم) مع البيتون، رغم تحقّق برامج تجريبية مهمّة.

4 فيزياء انصهار القلب وظواهر مرافقة

1.4 تسرُّب الماء من القلب

المدة السابقة لبداية تسرُّب الماء من القلب:

تبعاً للحالة البدائية للمفاعل، المولِّدة للحادث، وفشل منظومات الحماية أو أخطاء القيادة المحتملة، فإن تفريغ قلب المفاعل من الماء يمكن أن يتم خلال بضع دقائق أو عدة ساعات، وربما أيام عديدة. لا يؤدي تفريغ القلب من الماء إلى انصهاره، أو إلى حادث خطير إلاّ إذا تعذَّر إدخال معدّلٍ من الماء إلى الوعاء كافٍ لتبريد القلب السليم.

وعلى سبيل المثال، إن وجود ثقب قطره 10 سم في الدارة الأولية، وبغياب حقن الماء فيها، سيقود إلى تسرّب الماء حول قضبان الوقود المكونة لقلب المفاعل خلال 30 دقيقة.

تسرُّب الماء من القلب مع وجود دارة أولية مضغوطة:

تجب الإشارة إلى أن نتائج الحادث تختلف باختلاف سوية ضغط الماء في الوعاء عند لحظة بدء تسرّب الماء من القلب ولحظة حدوث الثقب فيه. وهكذا، في الواقع العملي، نحن نتحدث عن حالة انصهار بوجود ضغط في الوعاء، في لحظة حدوث الثقب، أعلى من 15 إلى 20 بار تقريباً.

يمكن إذاً حصول حادث انصهار بوجود ضغط في حالة:

- فتحة صغيرة جداً في الدارة الأولية؛
- أو في حالة إعادة تزويد القلب بالماء بشكل متأخر مُحرِّضة ارتفاعاً في الضغط أعلى من 15 إلى 20 باراً تماماً قبل حدوث انثقاب قعر الوعاء؛

• أو كذلك في أعقاب فشل في التبريد ناجم عن الدارة الثانوية لمولّدات البخار. في هذه الحالة، إن ارتفاع الحرارة في السائل الأولي، المحروم من هذا التبريد، سيؤدي إلى زيادة في الضغط في الدارة الأولية: تنفتح صمّامات الضواغط أخيراً، سامحة بتدفق الماء والبخار إلى حافظة المفاعل وانفراغ الماء من القلب بوجود ضغط مرتفع، يقارب الضغط الطبيعي للتشغيل.

2.4 تخرُّب الوقود

انبعاث نواتج الانشطار:

ومع انخفاض سوية الماء في القلب، يبدأ القسم المتكشف منه بالاحترار بفعل تأثير الاستطاعة المتخلفة في المفاعل لحظة توقفه والناجمة عن النشاط الإشعاعي للمواد المنشطرة (طاقة حرارية متولدة في المفاعل عند التوقف، ناجمة بشكل رئيسي من نواتج الانشطار).

تكون درجة حرارة الأغلفة المكوَّنة من سبائك الزركونيوم والمُغلِّفة لقضبان الوقود أثناء الظروف الطبيعية أقل أو مساوية لـ 350 درجة مئوية. تبدأ هذه الأغلفة بالتشوه بين درجتي الحرارة 700° و 900° بسبب تردّي خصائصها الميكانيكية.

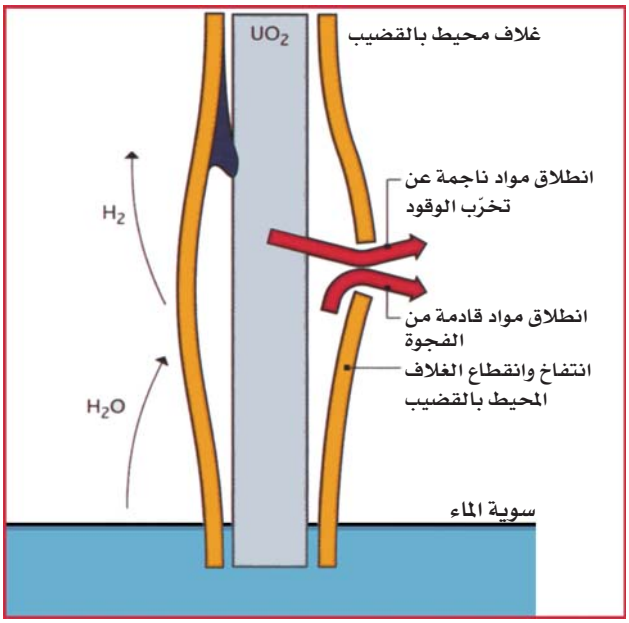
وبسبب الحادث، يمكن لضغط الغازات داخل الوعاء أن يكون، أو لا يكون، أعلى من ضغط الغازات الموجودة داخل قضبان الوقود (تتكون الغازات داخل قضبان الوقود من غاز خامل يرافق التعبئة الأولية للقضيب، مضافاً له الغازات النادرة الناتجة من تفاعلات نووية داخل كبسولات الوقود الموجودة في القضبان (كزينون وكريبتون بشكل خاص). ويتعلق ضغط هذه الغازات بفترة تشعيع الوقود: فعلى سبيل المثال، يمكن لهذا الضغط أن يتغير بين 80 باراً و 140 باراً في مفاعلات 1300 ميغا واط كهربائي العاملة بالماء المضغوط):

– فإذا كان الضغط في الوعاء أقل من ضغط الغازات الموجودة في قضبان الوقود، تتقوس الأغلفة ومن ثم تنتهي بالانكسار. (انظر الشكل المقابل العلوي).

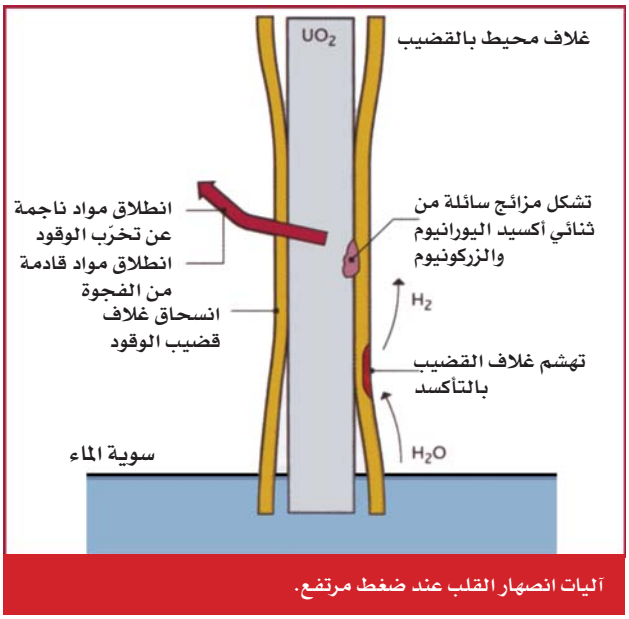
– وإذا كان الضغط في الوعاء أعلى من ضغط الغازات الموجودة في قضبان الوقود، تنسحق الأغلفة وتلتصق بسطح كبسولات الوقود، وهو ما يدعِّم حدوث انصهار ومزج لـ UO_2 و Zr نحو الدرجة 1200° و 1400° (انظر الشكل المقابل السفلي).

وفي جميع الحالات، إن جزءاً من غازات الانشطار (Kr و Xe) ونواتج الانشطار الطيارة (I و Cs و Br و Rb و Te و Sb) المتجمّعة في فراغات قضبان الوقود، تنبعث في الدارة الأولية فور انكسار هذه القضبان، ومن ثم تنبعث نواتج الانشطار الموجودة في الوقود خلال كامل طور تخرّب القلب، وفق مدىً يتعلق بدرجة تطاير النواتج المختلفة.

ووفقاً للأنماط المختلفة لانكسار سور حافظة المفاعل، تكون الانبعاثات في البيئة متعلقة بالشروط المؤثرة بانتقال نواتج الانشطار في المحطة. ويتعلق هذا الانتقال بشكل أساسي بالطبيعة الكيميافيزيائية لنواتج الانشطار: سواء أكانت غازات أو حلالة هوائية، أو بصيغتها الكيميائية.



آليات تردّي القلب عند ضغط منخفض.



آليات انصهار القلب عند ضغط مرتفع.

وخلال مرحلة تخرُّب الوقود، يمكن تجميع كتلة الحلالة الهوائية (نواتج الانشطار والنوى الثقيلة ومواد البناء وتجهيزات التحكم) الموجودة في حافظة المفاعل (إنها بحدود 1500 كغ للمفاعل 900 العامل بالماء المضغوط). تتكتل هذه الحلالات الهوائية وتترسب. وهكذا يمكننا الحصول على معاملات تخفيض للكتلة المعلقة في حافظة المفاعل متغيرة بين 300 (بعد حوالي 24 ساعة من الانبعاثات) و 2500 (بعد حوالي 48 من الانبعاثات). وهذه القيم لا تأخذ بالحسبان عودة الحلالات الهوائية لحالة معلقات ناجمة مثلاً عن ظواهر ديناميكية تحدث في حافظة المفاعل.

يحتاج سلوك اليود والروتينيوم إلى حذر خاص: يمكن أن يوجد هذان العنصران بتركيز ضعيف، لكنه مؤثر جداً من ناحية الأمان، في الحالة الغازية في حافظة المفاعل. إن لهذين العنصرين، المتّصفين بالسميّة الإشعاعية العالية، خصائص كيميائية معقدة. وفي هذا العرض العام، سوف لا نهتم سوى باليود، نظراً لتأثيره الإشعاعي القصير الأجل.

إن الأشكال الكيميافيزيائية الرئيسية الثلاثة لليود، الموجودة في حافظة المفاعل إثر حادث خطير، هي: اليود الجزيئي الغازي (I_2) واليود الجسيمي (أي على هيئة حلالة هوائية، مثل CsI) واليود العضوي الغازي (مثل ICH_3). ومن بين هذه الأشكال الكيميائية الثلاثة، يعدُّ اليود العضوي الأكثر صعوبة في الاصطياد بوساطة منظومات الفلترة.

وبصيغة إجمالية جداً (أو تخطيطية)، يكون اليود، الداخل إلى الدارة الأولية ومن ثم إلى حافظة المفاعل، بعد تخرّب قضبان الوقود، بشكل جسيمي وعلى هيئة يود غازي.

ففي حافظة المفاعل سيخضع اليود الغازي بشكله الجسيمي إلى حالة:

- امتزاز فوري على دهان جدران حافظة المفاعل ويتفاعل مع هذه الدهانات ليشكل اليود العضوي الغازي. ويمكن لهذا اليود العضوي أن يتحول بفعل الإشعاع إلى أكاسيد اليود مشكلة حلالات هوائية ذات قدٍّ صغير جداً.
- ترسُّب في ماء بلاليع حافظة المفاعل أثناء أداء منظومة الرش لوظيفتها.
- انبعاث إلى خارج حافظة المفاعل من خلال تسربات مباشرة أو عبر المرشحات.

تترسب الحلالات الهوائية لليود بدورها على جدران حافظة المفاعل وسطوحه الباردة نسبياً، وعلى سبيل المثال، تنجر مع بخار الماء المتكثف نحو مياه بلاليع الحافظة. وتبعاً للطبيعة الكيميائية لمياه البلاليع، يمكن للحلالات الهوائية لليود أن تخضع، تحت تأثير النشاط الإشعاعي، إلى تفاعلات كيميائية معقدة يكون أثرها النهائي إنتاج اليود الجزيئي الغازي الذي ينبعث إلى جو حافظة المفاعل.

أما الغازات النادرة (Xe و Kr) واليود الغازي بشكله العضوي، فإنها لا تترسب، إنما تنطلق إلى خارج حافظة المفاعل، عبر تسربات مباشرة أو عبر مرشحات.

انبعاث الهدروجين وانصهار القلب

عند تسرّب الماء وتخرُّب الوقود، يتأكسد زركونيوم غلاف قضبان الوقود لدى تماسه مع بخار الماء المحمّى:

$$Zr + 2H_2O \rightarrow ZrO_2 + 2H_2 + \Delta H$$

علماً أن قيمة ΔH هي من 600 إلى 700 كيلو جول/جزيء من الزركونيوم (كل 0.0442 كغ H_2 يقابلها 1 كغ Zr مؤكسد).

تبدأ الحركية السريعة لهذه الظاهرة عند الدرجة 1200°، وتتسارع عند الدرجة 1500° (إذ يظهر عند الدرجة 1500° طور مكعبي لـ ZrO_2، متوازناً مع طور رباعي الأضلاع، ومستقر بدرجة حرارة أقل من 1500°. ونظراً لكون معامل انتشار الأكسجين في الطور الرباعي أكبر منه في حالة الطور رباعي الأضلاع، فإن حركية الأكسدة للزركونيوم تتزايد بسرعة كبيرة). وهكذا فإن:

- تفاعل الأكسدة هو ناشر للحرارة بشكل كبير: إذ إنه يحرر موضعياً قدرة تفوق القدرة المتخلفة في حافظة المفاعل، وإذا كان التبريد غير كافٍ لمواجهة هذه الحرارة المنتشرة فإن درجة حرارة المواد تتزايد وتزداد معها سرعة الأكسدة: توصف هذه الظاهرة بـ "احتدام التفاعل".
- التفاعل يحرّر الهدروجين (يحرّر تأكسد 1كغ من سبائك الزركونيوم حوالي 0.5 م^3 من الهدروجين عند درجة حرارة وضغط نظاميين. وإذا ما أخذنا بالاعتبار كميات الزركونيوم الموجودة في الوقود في الوحدات المختلفة، فإن ذلك يعادل إنتاج حوالي 1كغ من الهدروجين لكل 1ميغا واط كهربائي) في الدارة الأولية لينتقل بعدها إلى حافظة المفاعل. ويمكن لاحتراق الهدروجين في حافظة المفاعل أن يؤدي إلى فرقعة تتحول هي نفسها، في شروط معينة، إلى انفجار.

- تصبح أغلفة القضبان هشّة، مما سيزيد من تخرُّبها عند تعرُّضها لصدمة حرارية.

إضافة إلى ذلك، إن ارتفاع درجة حرارة كبسولات الوقود سيزيد من حركية انبعاث نواتج الانشطار.

وبشكل عام:

- تنصهر المكونات المعدنية للقلب أو تتبخر بين الدرجتين 900° و1800°.
- وما بعد الدرجة 1800°، تنصهر المكونات الأكسيدية للقلب.

ومع ذلك لا يحدث انصهار أكسيد اليورانيوم إلاّ بين الدرجتين 2700° و2800°، غير أن وجود الصهارات مع الزركونيوم ومع فولاذ قضبان التحكم بالقلب يمكن أن يؤدي إلى انصهارات عند درجات حرارة أكثر انخفاضاً. يؤدي هذا الانصهار إلى انهيار موضعي في قلب المفاعل ومن ثم أكثر شمولاً مع تشكل الكوريوم corium، وهو تكتل من الوقود والمواد الهيكلية (أي المواد التي تحمل الوقود في الوعاء أثناء العمل الطبيعي للمفاعل) المنصهرة والمختلطة، والمستمرة في الانصهار بفعل انطلاق القدرة المتخلفة العائدة للتفكك الإشعاعي لنواتج الانشطار المحتجزة في القلبيات (الكوريوم).

وعندها تنبعث خارجاً من الوقود غالبية مواد الانشطار الأكثر تطايراً.

3.4 انقطاع الدارة الأولية عند وقوع حادث خطير

انكسار مُحرَّض في أنابيب مولِّد البخار:

أثناء تردّي الوقود، يؤدي البخار الساخن الخارج من القلب والمتحرك بفعل الحَمْل الحراري الطبيعي في الدارة الأولية إلى تحريض تسخين مهم في بُنى هذه الدارة التي، إذا ما كانت خاضعة لضغط عند انصهار القلب في الوعاء، يمكن لهذه البنى أن تنهار وتنكسر، وعندما يتعلق الأمر بأنابيب مولِّدات البخار، فإن انكسارها المُحرَّض سيقود إلى قذف مباشر لنواتج الانصهار في الجو الخارجي عبر صمامات أمان الدارة الثانوية (فمثلاً، تتخرّب أنابيب الدارة الثانوية عند ضغط مقداره 76 بار في حالة مفاعلات الـ 900 ميغا واط كهربائي).

انكسار قعر الوعاء

يُحرِّض انصهار العناصر المكونة للقلب وانتقالها إلى عمق الوعاء إحداث ثقب في هذا الأخير خلال بضع عشرات الدقائق إلى بضع ساعات، وهي مدة تتعلق بكتلة الكوريوم في قعر الوعاء وبجاهزية الماء لإخلاء جزء من الحرارة المتجمّعة في الكوريوم عبر التبخير.

وإذا ما وجد الماء في قعر الوعاء أو في بؤرة الوعاء، يمكن لتفاعلات قوية بين الكوريوم والماء توليد تبخُّر للماء شبه آني وعلى نطاق واسع، وهي ظاهرة يطلق عليها "انفجار البخار".

من ناحية أخرى، إذا كانت الدارة الأولية خاضعة للضغط لحظة انثقاب الوعاء، يمكن أن يحدث عندها انتشار الكوريوم في حافظة المفاعل لحظة خروجه من الوعاء، منتجاً ارتفاعاً سريعاً للضغط عبر انتقال سريع جداً للحرارة الموجودة في الكوريوم المنصهر نحو الجو الغازي لحافظة المفاعل، وهي ظاهرة يطلق عليها "احترار مباشر لحافظة المفاعل".

وعندما يحدث التّماس بين الكوريوم والغلاف البيتوني لبؤرة الوعاء، يتفكك هذا الغلاف بفعل الحرارة المنبعثة من الكوريوم، وهي ظاهرة يطلق عليها "تفاعل الكوريوم والبيتون".

5 المقاربة المعتمدة لمفاعلات الماء المضغوط القائمة

1.5 مدخل

لاحقاً لحادث ثري مايل آيلند، وبالتوازي مع التوصيف المُبسَّط لأنماط الانبعاثات (المصادر الأساسية)، قامت الدراسات الفرنسية بفحص الأنماط المختلفة لفشل حافظة المفاعل في تقرير WASH 1400 (تقرير راموسين Rassmussen) ومماثلاتها في حالة المحطات الفرنسية، إضافة لفحص الوسائل التي ستسمح بالحدِّ من احتمالاتها أو نتائجها، وذلك من خلال تقوية الحاجز الخارجي لحافظة المفاعل.

استخدم لهذا الغرض التصنيف المعتمد في تقرير راسموسين لأنماط فشل حافظة المفاعل، ونجد فيه خمسة أنماط أساسية:

- النمط ألفا α: انفجار البخار في الوعاء أو في بؤرة الوعاء، مسبباً عطلاً قصير الأمد لحافظة المفاعل،
- النمط بيتا β: نقص في كتامة الحافظة، نقص بدئي أو مُحرَّض بشكل سريع،
- النمط غاما γ: انفجار الهدروجين في الحافظة مسبباً تعطلها،
- النمط دلتا δ: تنام بطيء للضغط في الحافظة مسبباً تعطلها،
- النمط إبسيلون ε: خرق الغلاف البيتوني من قبل الكوريوم مسبباً ثقبه،
- يضاف إليها النمط V، وهو تحويلة في سور الحافظة بوساطة تمديدات خارجة من الحافظة، ومعالجة بطريقة منفصلة لأن التحويلة لا تتعلق بشكل مباشر بسلوك هذا البناء.

قبل صدور تقرير راسموسين، تمّ التعرف في الولايات المتحدة، في بداية ثمانينيات القرن الماضي، إلى خطر ضعف كتامة حافظة المفاعل، هذا الضعف العائد إلى الاحترار المباشر للحافظة.

إضافة لذلك، وبين العامين 1987 و 1990، خلال دراسة ترجيحية للأمان ذي السوية 1، جرى كشف سيناريوهات بإمكانها أن تؤدي إلى خطر انتشار نشاط داخل القلب بتواتر مرتفع. يتمثل هذا الخطر بارتفاع مفاجئ وكبير للطاقة النووية المتحرّرة في القلب وبإمكانها أن تقود إلى انفجار باستطاعته تدمير الوعاء أو الحافظة.

وبعد عام 1981، عرضت مؤسسة الطاقة الفرنسية تدريجياً عمليات نهائية وتجهيزات مخصّصة لتجنب النتائج الإشعاعية للحوادث الخطيرة أو تخفيفها، وقبلت الجهات المسؤولة عن الأمان مبادئ هذه العمليات والتجهيزات. وقد وضعت هذه العمليات والتجهيزات حالياً قيد الاستعمال في مواقع العمل.

سنعرض في الفقرات التالية جولة حول كلٍّ نمطٍ من أنماط فشل الحافظة.

2.5 انفجار البخار في الوعاء أو في بؤرة الوعاء

إذا خضع الكوريوم لحالة فرط الإحماء وتشظى بمقدارٍ كاف، وإذا وجد الماء في قعر الوعاء أو في بؤرة الوعاء (الماء الناجم مثلاً عن عمل منظومة الشفط)، يمكن لهذا الكوريوم، عند تماسّه مع الماءِ، إحداث انفجارٍ بخاري، مع افتراضات متشائمة، تكون طاقته نظرياً كافية لتحريض انبعاث مقذوفات باستطاعتها التأثير على كامل حافظة المفاعل (النمط α).

يعتقد الخبراء مع ذلك، ورغم الشكوك، أن فَقْد كامل حافظة المفاعل في أعقاب تأثير المقذوفات هو قليل الاحتمال.

وما يتعلق بانفجار البخار في بؤرة وعاء معبأ بالماء، هناك أعمال بحثية وتطويرية جارية تهدف إلى التأكد من أن مثل هذا الانفجار البخاري لا يولّد زلزلة للبنية قادرة على إحداث فَقْد كتامة الحافظة. ومن ناحية أخرى، فقد وُضِع برنامج SERENA2 لتلبية متطلبات الحصول على معطيات تجريبية حول الحِمْل الديناميكي المرافق لانفجار بخاري في بؤرة وعائية.

وفي الوقت الحالي، لا يشكل النمط α لفشل قصير الأمد في حافظة المفاعل، الذي يعقب انفجاراً بخارياً محتملاً في الوعاء أو في بؤرة وعائية معبأة بالماء، موضوعَ عمليات أو تجهيزات خاصّة في مواقع الاستثمار الفرنسية.

3.5 نقص الكتامة البدائية في الحافظة

خلال العمل الطبيعي، تتم مراقبة كتامة حافظة المفاعل باستمرار عن طريق مقارنة معدل دخول الهواء المضغوط داخل هذه الحافظة مع تطور ضغطه الداخلي.

إضافة إلى ذلك، تجري اختبارات دورية منفصلة على تجهيزات العزل لعوارض حافظة المفاعل، مما يسمح بالتأكد من كتامتها.

أخيراً، إن إخضاع التجويف الكامل لهذه الحافظة إلى الضغط قبل شحنه بالوقود، وتكرار ذلك كل عشر سنوات، يسمح بمقارنة معدل تسربه الكلي مع الاعتبارات النظرية.

يجب على مجمل هذه المراقبات أن تسمح بتجنب عيوب كتامة مهمّة تسبق حادثاً ما. يمكن مع ذلك حدوث ثقوب إذا كان العزل الآلي للعوارض ضعيفاً أو إذا كانت المناخل ضعيفة الكتامة.

إن هذا النمط من العيوب في الحافظة (النمط β) مهم جداً، لأن بإمكانه أن يسمح بانبعاث مباشر لمواد إشعاعية في البيئة بشكل مبكر جداً أثناء الحادث. وإن هذه الفترة القصيرة التي يبدأ بعدها التلوث بالمواد المشعّة لن تسمح بتناقص مجدٍ للنوى المشعّة المعلقة في وسط حافظة المفاعل من أجل حماية السكان المجاورين بشكل مقبول.

ولمواجهة هذه المشكلة، قامت مؤسسة الطاقة الفرنسية بتطوير عملية U 2 المسمّاة "التدبير اللازم في حالة وجود ضعف في كتامة حافظة المفاعل". تسمح هذه العملية بمراقبة كتامة حيّز حافظة المفاعل بحالة حادث فور كشف تشكل بعض النشاط الإشعاعي ضمنه (حتى لو لم يكن الأمر متعلقاً بحادث خطير)، وتحديد موقع الضعف ومعالجته إن أمكن. وتكون هذه العملية مُكمِّلة للمراقبة الدائمة لنسبة التسرب في حافظة مفاعل يعمل بشكل طبيعي.

4.5 انفجار الهدروجين ضمن حافظة المفاعل

أثناء عملية تردّي القلب، يتأكسد جزء كبير من الزركونيوم والمعادن الأخرى الموجودة في الوعاء بوساطة بخار الماء، محرراً الهدروجين. وطالما بقي هذا الهدروجين في الدارة الأولية، فليس بإمكانه الاحتراق بسبب غياب الأكسجين الحرّ. لن يكون الأمر كذلك في حالة انبعاث الهدروجين في جو حافظة المفاعل. يقابل النمط γ حالة ضعف الحافظة العائدة لانفجار الهدروجين وأول أكسيد الكربون (حالة ضعف ناجمة عن تفاعل الكوريوم مع البيتون بعد انثقاب قعر الوعاء) الموجودين في جو الحافظة.

إن التركيز الوسطي للهدروجين الممكن حصوله ضمن الحافظة لمفاعل فرنسي يعمل بالماء المضغوط عند وجود حادث خطير يُعدُّ كافياً تماماً للسماح بانفجار الهدروجين نظراً لكون هذا الانفجار ممكن الحدوث بوجود بخار الماء.

ولاحقاً لمعارف تقنية واسعة، حول مواجهة مخاطر تجاوز الضغط في حافظة المفاعل في حالة انفجار الهدروجين الموجود ضمن هذه الحافظة، طلبت سلطات الأمان النووي الفرنسية في العام 2001 من سلطة الطاقة الفرنسية أن تزوِّد كافة مفاعلات الطاقة الكهربائية النووية العاملة بالماء المضغوط بتجهيزات تتضمن وسائط كيميائية لربط الهدروجين ونزعه من الوسط قبل العام 2007، وذلك لتجنب خطر انفجار الهدروجين في حافظة المفاعل. وأخذ هذا القرار بالحسبان أيضاً قرارات تثبيت هذه المحفّزات في الدول المجاورة (بلجيكا وسويسرا وألمانيا، ...).

5.5 تنامي الضغط ببطء ضمن الحافظة

يقابل النمط δ تشكل ضغط وسطي إضافي في حافظة المفاعل، ناجم عن احترار جوّها بغياب استخلاص كافٍ للطاقة التي تحررها نواتج الانشطار وعن التحرّر التدريجي لكمية كبيرة من الغاز خلال تآكل بيتون الحماية بفعل الكوريوم. ويمكن أن يضاف لهذه الغازات الماء الذي سيستخدم في محاولة تبريد الكوريوم لتبطيء تشكله.

وفي غياب تبريد جوّ الحافظة بوساطة منظومة النضح، يُظهر الضغط داخل حافظة المفاعل قيمة غير معقولة، تصل إلى الحدود العليا للتحمّل في غضون 24 ساعة، من غير توقف عند هذا الحدّ.

وأمام احتمال وجود ضعف غير عكوس في كتامة حافظة المفاعل، يبدو من الملائم امتلاك وسيلة للسيطرة على الضغط في الحافظة، مكّونة من منظومة شفط اختيارية مع الفلترة. لا تستخدم عملية الشفط والفلترة (المسماة U 5) في موقع ما، في حالة حادث خطير، إلاّ بعد تنسيق وتوافق مسبقين مع السلطات المحلية.

6.5 اختراق الكوريوم للحماية البيتونية

يقابل النمط ε ضعف الكتامة في الجدار البيتوني بفعل اختراقه من قبل الكوريوم. يتوقف تآكل البيتون عندما تصبح درجة حرارة سطح التّماس بين الكوريوم والبيتون أقل من درجة حرارة تفكك البيتون، التي تكون حوالي 1100°.

في الوضع الحالي للمحطات وللمعارف، يمكن لهذه الظاهرة أن تُحدِث ثقباً كاملاً في الحماية البيتونية، حسب طبيعة البيتون (بيتون من نمط "سيليسي" أو "سيليسي–كلسي")، وسمكه (يبلغ سمك البيتون في حالة المفاعل 99 ميغا واط كهربائي ما قيمته 4.20 م و 3 م تقريباً

للمفاعلات بين 1300 و1400 ميغا واط كهربائي) بعد 24 ساعة. إضافة إلى ذلك، تحدث الغازات المختلفة الناجمة عن هذا التفاعل تزايداً تدريجياً في ضغط جوّ حافظة المفاعل.

ترتيبات U 4:

وبسبب وجود شبكة أنابيب أفقية في الحماية البيتونية (وهي مجسّات إصغاء في الحماية البيتونية)، وضعت سلطة الطاقة الفرنسية ترتيبات حماية في البناء من أجل منع انبعاثات العناصر المشعّة خلال تفاعل البيتون مع الكوريوم (عن طريق حقن مخمِّدات أو إغلاق بوساطة سدادات معدنية مخصّصة ولحم نهايات الأنابيب).

ففي الحالة الخاصة بموقع كرواس Cruas، حيث تستقر الحماية البيتونية على منصّات مضادة للهزات الأرضية موضوعة على حماية بيتونية ثانية، يكون الفراغ بين الحمايتين مفتوحاً على الهواء مباشرة. وعند وقوع حادث خطير وانصهار القلب، سيشكل هذا الفراغ معبراً لتسرب انبعاثات في الهواء غير مفلترة. وقد قاد هذا الواقع سلطة الطاقة الفرنسية إلى وضع ترتيبات خاصة (أطلق عليها U 4-Cruas و U 5-Cruas) تسمح بتجنب مثل هذه الانبعاثات. وتتمثل هذه الترتيبات، من ناحية أولى بتخفيض الضغط داخل حافظة المفاعل للوصول إلى تعادل مع ضغط الفراغ بين الحمايتين في لحظة انثقاب الحماية الأولى بفعل الكوريوم، ومن ناحية أخرى بتعويم كامل هذا الفراغ بالماء.

7.5 اختراق الغلاف بوساطة الأنابيب الخارجة من الحافظة

تتمثل الحوادث من النمط V، العائدة لفَقْد التبريد الأولي الناجم عن ثقب موجود خارج حافظة المفاعل، وواقع في دارة موصولة بالدارة الأولية وليس معزولاً عنها، بصفتين خاصّتين:

– فَقْد التبريد الأولي الحاصل خارج حافظة المفاعل، ويبدو أن إعادة نقل المياه في منظومة الأمان غير ممكن.
– في حالة انصهار القلب، وعندها ستنبعث مواد التهشم مباشرة خارج حافظة المفاعل، إذا لم يتم عزل الثقب.

إن احتمال حدوث مثل هذا الحادث الذي يقود إلى انصهار القلب يبدو ضعيفاً جداً من حيث النتيجة.

ولتجنب خطر فقد الكتامة بسبب النمط V، قامت سلطة الطاقة الفرنسية بوضع تعديلات على مفاهيم واستثمار كافة المفاعلات العاملة على الأراضي الفرنسية.

8.5 احترار مباشر لحافظة المفاعل

إن الخطر الرئيسي المتعلق بهذه الظاهرة هو فَقْد كتامة حافظة المفاعل العائد لارتفاع سريع للضغط.

يتمثل تجنب الاحترار المباشر لحافظة المفاعل بإضعاف احتمال انصهار قلب خاضع للضغط من خلال تخفيض الضغط في الدارة الأولية بشكل مقصود، بحيث يصبح الضغط داخل الوعاء أقل من 15 إلى 20 بار لحظة انثقابه.

9.5 حوادث الإدخال السريع للتفاعلية

إن الإدخال السريع للتفاعلية الناجم عن دخول مفاجئ لسدادة مائية في قلب المفاعل (مثل سيناريوهات التمدّد التي يمكن أن تحدث من أخطاء مشغلين ومن تعطل منظومات ثانوية أو من تسربات في الأنابيب المولّدة للبخار) يتطلب دراسة مفصلة لكل سيناريو محتمل (سيناريو مسمّى "خلل غير متجانس")، آخذين بالاعتبار كامل خطوط الدفاع لهذا السيناريو.

يشتمل التحليل المراحل الثلاث التالية:

– تحديد الحجم الأعظمي للسدادات المائية التي من أجلها تكون القيمة الحديّة الدنيا للقلب مضمونة، وذلك استناداً إلى اعتبارات نترونية وترموهدروليكية متناسبة مع قيمة حديّة دنيا للقلب، بمعزل عن سيناريوهات التمدد.
– يستخدم هذا الحجم الأعظمي لتحديد الترتيبات التي تسمح بضمان أن هذا الحجم لم يتم تجاوزه من أجل كل واحد من سيناريوهات التمدد.
– استخدام دراسة ترجيحية للأمان للتحقق من أن مجمل الترتيبات المأخوذة بالاعتبار تقدم دفاعاً عميقاً ملائماً بحيث تكون الحوادث المقابلة في الحدود الدنيا لكل سيناريو تمدد.

⑥ المقاربة المعتمدة لمفاعل الماء المضغوط

من المفيد التذكير أن جميع النماذج المختلفة لفشل حافظة المفاعل في المفاعلات الحالية في فرنسا قد تمّ فحصها، وذلك ضمن هواجس تحسين الوضع بطريقة عملية وباستخدام فرضيات واقعية.

كل ذلك من أجل المفاعل العامل بالماء المضغوط الذي حُدِّدت من أجله كافة غايات الأمان الطموحة، متبصرين بانخفاض ملموس للانبعاثات المشعّة التي يمكن أن تحدث من كافة الحوادث الممكنة، بما في ذلك حوادث انصهار القلب. إن ذلك يستدعي ترتيبات لمفاهيم نوعية.

والمقصود هنا هو أن تكون الأهداف التصورية واعتباراتها غاية للبرهنة، آخذين بالاعتبار وجود الشكوك. وربما تكون حالة استعادة الكوريوم مثالاً على ذلك.

1.6 أهداف عامة للأمان

يجب عملياً إقصاء الحوادث المترافقة بانصهار القلب، والتي تؤدي لانبعاثات مبكرة مهمّة. هذا الهدف يتعلق عملياً بالحوادث المترافقة بانصهار القلب وهو في حالة انضغاط.

ويجب على الحوادث المرافقة لانصهار قلب خاضع لضغطٍ منخفض أن تُعالَج، بحيث لا تتطلب الانبعاثات العظمى المتوقعة سوى إجراءات حماية بشرية محدودة تماماً من ناحية المدة والمساحة.

2.6 "تخلّص عملي" من حالات حوادث تؤدي إلى انبعاثات مبكّرة مهمّة

إن التخلّص العملي من حالات الحوادث التي تقود إلى انبعاثات مبكرة مهمّة هي مسألة قابلة للجدل، وكلّ نمط من الحالات يجب أن يخضع لفحص خاص.

يمكن إظهار التخلّص العملي من خلال اعتبارات محدّدة أو احتمالية، آخذين بالاعتبار الشكوك الناجمة عن المعارف المحدودة حول بعض الظواهر الفيزيائية.

من ناحية أخرى، لا يمكن إظهار التخلّص العملي من خلال اعتماد بسيط لقيمة مقتطعة محتملة ومحدّدة.

والحوادث المترافقة بانصهار القلب والتي يجب التخلّص منها هي التالية:

- حالات انصهار القلب بوجود ضغط مرتفع، والتي تقود إلى احترار مباشر للحافظة أو إلى القطع المُحرَّض لأنابيب توليد البخار.
- حالات الإدخال السريع للتفاعلية (الذي يُترجَم بتزايد مفاجئ ومهم للطاقة النووية المحرّرة في القلب) الناجمة عن الدخول السريع للماء في قلب المفاعل.
- انفجار البخار واحتراق الهدروجين، القادرَين على وضع كامل حافظة المفاعل بحالة خطر.
- حالات انصهار القلب دون المرور بحافظة المفاعل (بسبب ناجم عن مولّدات البخار أو الدارات الموصولة بالدارة الأولية).

تخلّص عملي من حالات انصهار القلب بوجود ضغط مرتفع

لتجنب ثقب الوعاء بوجود ضغط مرتفع (ضغط أعلى من 15 إلى 20 باراً) أو انقطاع مُحرِّض لأنابيب توليد البخار، جرى اعتماد مسبق لمفهوم تخفيف الضغط النهائي في الدارة الأولية.

يتكون هذا المفهوم من خطّي تفريغ متوازيين مربوطين بمصيدة مشتركة متوضعة في قمة الضاغط، ومبتدئة في خط التفريغ المشترك، وموجهة نحو خزان تفريغ الضاغط.

إضافة إلى ذلك، جرت ترتيبات بالمفاهيم للحدّ من انتشار الكوريوم في جو حافظة المفاعل في حالة ثقب قعر حوض المفاعل، وذلك لتجنب الاحترار المباشر للحافظة. إن ترتيبات هذا المفهوم مرتبطة ببؤرة الوعاء وبتهويتها، لدرجة أن الكميات الكبيرة من الكوريوم القادمة من حوض المفاعل لا يمكنها الانتقال خارج بؤرة الوعاء إلى الحجم الحرّ لحافظة المفاعل.

التخلّص العملي من حوادث الإدخال السريع للتفاعلية

إن التخلّص العملي من حوادث الإدخال السريع للتفاعلية عبر وصول عرضي لسدادة مائية إلى قلب المفاعل يتطلب دراسة مفصلة لكل سيناريو محتمل للتمديد غير المتجانس، آخذين بالاعتبار مجمل خطوط الدفاع لهذا السيناريو.

يشتمل التحليل الخطوات الثلاث المذكورة في البند 9.5.

التخلّص العملي من خطر انفجار البخار

ولتجنب انفجار البخار في حالة الوقود المسال المنصهر في بؤرة الوعاء، يتضمن مفهوم المفاعل العامل بالماء المضغوط ترتيبات تمنع أي احتمال لوصول الماء إلى بؤرة الوعاء قبل حدوث انثقاب فيه، حتى في حالة انقطاع تمديدات الدارة الأولية.

إضافة لذلك، وبسبب وجود مُسترجع الوقود المنصهر، المؤلف من غرفة عرض، فإن المفاعل العامل بالماء المضغوط يشتمل على تجهيزات تمنع وصول الماء إلى هذه الغرفة قبل وصول الكوريوم، وبذلك يتم تجنب انفجار البخار أثناء انسياب الوقود المنصهر إلى هذه الغرفة.

التخلّص العملي من خطر انفجار الهدروجين

بداية، لابدَّ من وجود حفّازات محايدة لضم الهدروجين، أي تسمح بتخفيض حجم الهدروجين في جوّ حافظة المفاعل.

إضافة إلى ذلك، تؤكد التوجهات التقنية لتصور وتصميم الجيل الجديد للمفاعلات النووية العاملة بالماء المضغوط أن احتمالات تراكيز موضعية عالية للهدروجين يجب أن تكون مستبعدة، علماً أن ذلك ممكن منطقياً في مفهوم البنى الداخلية لحافظة المفاعل.

3.6 ترتيبات خاصة بانصهار القلب عند ضغط منخفض

فيما يخص مظاهر انصهار القلب عند ضغط منخفض، تمّ اعتماد ترتيبات تصورية تسمح باحترام غايات إشعاعية. تركز الترتيبات التصورية الأساسية على ما يلي:

- وضع حفازات ضم للهدروجين محايدة في الحافظة.
- وضع مُسترجع للكوريوم في قعر الحافظة يسمح بجمع وتبريد القلب المنصهر بعد انثقاب قعر الوعاء.
- وصول كافة ما يعبر حافظة المفاعل (بما في ذلك صمام إدخال المواد) إلى أوساط مُهواة ومُرشحة.

7 خلاصة

منذ وقوع حادث ثري مايل آيلند، جرى تجميع نتائج تجريبية عديدة في الخطة الدولية المتعلقة بالظواهر المرافقة لحادث انصهار القلب. لقد تطورت معرفة وفهم الظواهر المعقدة التي برزت من هذا الحادث بشكل واضح، كما أن قدرات توقع تطور هيئة المفاعل في حالة حادث خطير قد تحسنت بشكل كبير بمساعدة أدوات النمذجة والمحاكاة.

إن مجمل هذا التقدم وعدم بناء مفاعلات جديدة في دول عدة منذ العام 1986 يفسران بلا شك انخفاض الأموال المخصصة لهذه الأبحاث. ومع ذلك، ما يزال هناك بعض الظواهر التي تحتاج دراستها إلى تعمق أكثر، وبخاصة على الصعيد التجريبي، مع توجه تحليلي بشكل خاص: والمقصود هنا هو كيمياء اليود والروتينيوم، والفعل المتبادل بين الكوريوم والحاجز البيتوني وغمر القلب المتأذي بالماء. إن برامج البحث المتعلقة بهذه المواضيع مستمرة ضمن إطار تعاون دولي، وتقدّم الدراسات والأفكار المعتمدة من قبل خبراء دوليين (غالبيتهم أوربيين)، ويضمون اليوم 41 منظمة من 21 بلداً، أي حوالي 200 مهندس باحث و 20 طالباً لشهادة الدكتوراه.

وهكذا، ففي إطار بحث مستمر لتحسين الأمان، إن تبادل المعرفة ومقارنة نتائج الدراسات وتفسير نتائج التجارب سيسمح بالحصول على فهم جيد ونمذجة الحوادث الخطيرة للمفاعلات العاملة بالماء المضغوط.

ملخصات ورقات منشورة عن أعمال أنجزت في الهيئة

الوفرة الطبيعية لنظيري الآزوت ^{15}N والكربون ^{13}C كمؤشرين على النمو وتثبيت الآزوت الجوي في نبات العدس المغذى بالبوتاسيوم والمعرض لإجهاد رطوبي

Natural abundances of ^{15}Nitrogen and ^{13}Carbon indicative of growth and N2 fixation in potassium fed lentil grown under water stress

د. فواز كردعلي، محمد الشماع
قسم الزراعة

ملخص

جرى تعين قيم الوفرة الطبيعية للنظيرين ^{15}N و^{13}C في نباتات العدس المعرضة لسويات مختلفة من رطوبة التربة وبوجود معدلات مختلفة من السماد البوتاسي لتقييم أداء المحصول من حيث النمو وتثبيت الآزوت الجوي (Ndfa). تراوحت قيم $\delta^{15}N$ في العدس بين +0.67% و+1.36% في حين بلغت القيم –0.54% و+2.94%، للآزوت المثبت والنبات المرجعي، على التوالي. وبالنتيجة، تراوحت النسب المئوية للآزوت المثبت Ndfa% بين 45% و65% من الآزوت الكلي الممتص. سبب الإجهاد الرطوبي تدنياً في قيم التمييز النظيري للكربون $\Delta^{13}C$، في حين أدى التسميد البوتاسي إلى رفع قيمة $\Delta^{13}C$ في كامل النبات مع زيادة في إنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي. تميزت النباتات المعرضة إلى إجهاد رطوبي والتي أضيف إليها السماد البوتاسي على بقية المعاملات من حيث إنتاجية القرون والميزان الآزوتي وتثبيت الآزوت الجوي وتوفير مياه الري مما يوضح الأهمية الاقتصادية والبيئية للسماد البوتاسي في تقليص التأثير السلبي للإجهاد الرطوبي الذي تتعرض له نباتات العدس خلال فترة ما بعد الإزهار.

الكلمات المفتاحية: عدس، بوتاسيوم، إجهاد مائي، تثبيت الآزوت الجوي، $\delta^{15}N$، $\Delta^{13}C$.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Plant Nutrition*.

تأثير درجة الحرارة في وسائط الخلايا الشمسية من النوع pin المحتوية على طبقات ذاتية من السيليسيوم المتعدد الأشكال و السيليسيوم المكروبلوري ذي المحتوى الحجمي الخفيف

Temperature dependence of pin solar cell parameters with intrinsic layers made of Pm-si:h and low crystalline volume fraction μc-si:h

د. حسن حمادة
قسم الفيزياء

ملخص

تمت مقارنة تأثر وسائط مميزات تيار–جهد للخلايا الشمسية من النوع pin المصنوعة من السيليسيوم المهدرج بطبقات ذاتية من السيليسيوم المتعدد الأشكال والسيليسيوم المكروبلوري بمحتوى حجمي خفيف. تم الحصول على فعالية أعلى وعامل ملء أعلى عند استعمال السيليسيوم المتعدد الأشكال كطبقة ذاتية وذلك في مجال حراري واسع. يظهر معامل نوعية الديود ارتباطاً متشابهاً بدرجة الحرارة عند كلا النوعين من الخلايا. تسيطر عملية إعادة الالتحام على آلية النقل الكهربائي. هناك تغير واضح لوسائط الخلايا تحت تأثير الضوء كما يظهر كلا النوعين من الخلايا آليات نقل كهربائي متشابهة ضمن المجال الحراري المناسب لاستخدامات الخلايا الشمسية. يشكل السيليسيوم المتعدد الأشكال بديلاً مثيراً للاهتمام عن السيليسيوم الهلامي والسيليسيوم المكروبلوري من أجل الاستخدامات الأرضية للخلايا الشمسية.

الكلمات المفتاحية: السيليسيوم المهدرج، السيليسيوم المتعدد الأشكال، خلايا شمسية من النوع pin، معامل نوعية الديود، السيليسيوم المكروبلوري.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Renewable Energy 35 (July 2010) pp. 1419-1423*

الخواص الاهتزازية والبنيوية لأوكسي هاليدات الفاناديوم

Strcture & vibrational properties of oxohalides of Vanadium

د.عبد الوهاب علاف وآخرون
قسم الكيمياء

ملخص

درسنا البنية والأنماط الاهتزازية لطائفة كبيرة من أوكسي هاليدات الفاناديوم VOX_nY_m حيث X,Y=F, Cl, Br,I و $n+m \leq 3$, $n,m = 0–3$.
توافقت النتائج بشكل حسن مع النتائج التجريبية وذلك لجزيئات $VOCl_3$ و VOF_3 واقترحنا نسب النتائج التجريبية لجزيء VOF إلى جزيء VOF_2. كما فسرنا الكثير من الأنماط التجريبية محددين العديد من المركبات الوسطية $VOBr_2$ وVOBr وبعض البنى المختلطة (مثلاً $VOCl_2Br$) كما ناقشنا اتجاه تفاعلات التفكك والثباتات.

الكلمات المفتاحية: هاليدات الفاناديوم، مقياسية اهتزازية، حسابات كوانتية.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة *inorganic chemistry*.

مقارنة التقنيات النووية مع التقنيات المعتمدة على الوسعية الكهربائية في قياس ماء الترب المتأثرة بالملوحة.

Comparison of nuclear & capacitance-based soil water measuring techniques in salt-affected soils

فريد العين، جلال العطار، فؤاد حسين
قسم الزراعة
لي هينغ
قسم تطبيقات التقنيات النووية في الغذاء والزراعة، النمسا

ملخص

أجريت تجربة معايرة حقلية في ترب طينية متأثرة بالملوحة في سورية لمقارنة جهازين لقياس المحتوى المائي للتربة: جهاز السبر النيتروني Neutron Probe (NP) وجهاز سبر الوسعية الكهربائية Diviner 2000 Capacitance Probe (CP)، من حيث حساسيتهما للناقلية الكهربائية للتربة (ECe) ولكثافتها الظاهرية (ρb). أظهرت النتائج تناقص قيم معامل الارتباط للمعايرة بازدياد قيم كل من ECe وρb وكان التناقص أكثر وضوحاً في الـ Diviner 2000، مما يدل على أن الجهاز الأخير كان أكثر حساسية لـ ECe و ρb مقارنةً مع الـ NP. كانت القيم المقدرة للمحتوى المائي في التربة الرطبة أقل من الواقع عند استعمال التواتر المقاس (SF) فقط في المعادلة الملائمة باستخدام جهاز Diviner 2000 وكان ذلك معنوياً في الأعماق كافة، وبخاصةٍ في الطبقة السطحية حيث بلغ الفرق 0.09 سم3/سم3 مقارنةً مع القيم المقدرة بالطريقة الوزنية. أما في التربة الجافة، كانت قيم المحتوى المائي الحجمي المقدرة بجهاز Diviner 2000، أعلى من الواقع، حيث بلغ الفرق 0.05 سم3/سم3 في الطبقة العلوية من التربة (15 سم)، و0.03 سم3/سم3 في العمق 30–45 سم. كان أداء الـ NP أفضل عموماً، باستعمال منحني معايرة الجهة المصنعة للجهاز، حيث لم يُلاحظ فروق معنوية بين القيم المقدرة باستعمال NP والطريقة الوزنية. إن إدخال قيم كل من ρb وECe في معادلات المعايرة قد حسن من ملائمتها، رغم بقاء قيم R2 للـ Diviner 2000 منخفضة.

الكلمات المفتاحية: جهاز السبر النيتروني، جهاز سبر الوسعية الكهربائية، ملوحة، معايرة.

نُشرت ورقة البحث هذه في *Soil Use and Management 2009*.

تشخيص ومعالجة في بلازما SF_6 الراديوية RF البعيدة من أجل تنميش السليكون

Diagnostic and processing in SF_6 RF remote plasma for silicon etching

د. صقر سلوم، د. محمد العاقل، بشار الخالد
قسم الفيزياء

ملخص

أُنجز تشخيص البلازما وتنميش Si في بلازما SF_6 بعيدة عند 13.56 MHz المتولدة في منظومة انفراغ مهبط مجوف. أجري تشخيص البلازما في المنطقة البعيدة عند ضغط ثابت 40 Pa وعند استطاعة راديوية مطبقة تساوي 300 W وبتبعية معدل تدفق SF_6 (40–2000 sccm)، حيث قيست التراكيز المطلقة لذرات الفلور باستخدام أكتنة مطيافية الإصدار الضوئي وتم تحديد كل من الكثافة الإلكترونية ودرجة الحرارة الإلكترونية وكمون البلازما باستخدام مسبر لانغمور المفرد، وتم تحديد كل من تدفق الأيونات الموجبة و نسبة الأيونات السالبة باستخدام مسبر مستوٍ كهرساكن، درست عملية تنميش السيلكون عند قيمتين متباعدتين لمعدل التدفق 80 sccm و1800 sccm ومن أجل ثلاثة شروط لحامل الركازة ، وهي ركازة المؤرضة وركازة مطبق عليها جهد سالب وركازة مطبق عليها جهد موجب. وُصّف السليكون المنمش من أجل معدل التنميش والانعكاسية الضوئية وخواص التألق الضوئي. وُجد أن معدل التنميش عالٍ نسبياً (حوالي 15mg cm^{-2} min^{-1}) وأنه مضبوط بشكلٍ رئيس من خلال نسبة التدفق الأيوني إلى تدفق الفلور الذري التفاعلي، تم الحصول على معدل التنميش الأعلى عند معدل التدفق الأعلى (1800 sccm) ومن أجل الركازة المطبق عليها جهد موجب. انخفضت الانعكاسية لسطح السيلكون بشكل ملحوظ بعد التنميش وقيست انعكاسية منخفضة تساوي 0.02 %. سُجّل تألق ضوئي مرئي للسطح المنمش وهو متمركز عند حوالي 600 nm، وتكون شدته متناسبة عكساً مع الانعكاسية المقيسة.

الكلمات المفتاحية: بلازما RF، SF_6، تشخيص البلازما، تنميش السليكون.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Physics D: Applied Physics, 2009*.

سلوك الخفض الضوئي للفلرين C_{60} المطعم في بوليمير "إيتلين بروبلين ديين بولي ميتلين"

Optical limiting behavior of C_{60} doped EthylenePropyleneDiene Polymethylene polymer

د.محمد، درغام زيدان، د. عبد الوهاب علاف،
د. زكي العجي، أحمد اللحام
قسم الفيزياء

ملخص

درس سلوك الخفض الضوئي لجزيء الفلرين C_{60}/ في مزيج من بوليمير إيتلين بروبلين ديين بولي ميتلين /EPDM/ في الحالة السائلة وعلى شكل أفلام محضرة بثلاثة تراكيز مختلفة. أنجزت القياسات باستخدام نبضات ليزرية من ليزر Nd–YAG مضاعف التواتر برتبة زمنية قدرها 10 نانوثانية وبطول موجي 532 نانومتراً. تظهر نتائجنا أن كفاءة الخفض الضوئي للفلرين في التولوين مع بوليمير EPDM أفضل مما هي عليه في العينات التي على شكل أفلام بوليميرية صلبة. كما أظهرت النتائج تبعية كفاءة الخفض الضوئي للتركيز.

الكلمات المفتاحية: الخفض الضوئي، C_{60}، EPDM.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Optics and laser Technology (2009)*.

تجارب عددية حول إصدارات الأشعة السينية اللينة للأكسجين من البلازما المحرقية المنخفضة الطاقة باستخدام نموذج لي

Numerical Experiments on Oxygen Soft X-Ray Emissions from Low Energy Plasma Focus Using Lee Model

د. محمد عاقل، د.شريف الحواط
قسم الفيزياء

ملخص

درست عددياً خواص إصدار الأشعة السينية من بلازما الأكسجين باستخدام نموذج توازن بلازما الهالة. وعدل هنا نموذج لي ليشمل الأكسجين بالإضافة إلى غازات أخرى. ومن ثم طبق النموذج المعدل لتوصيف جهاز البلازما المحرقية ((Rico (1kJ، حيث وجد أن مردود الأشعة السينية اللينة Ysxr من الأكسجين يساوي 0.04 mJ عند شروط العمل النموذجية. مع الإبقاء على وسطاء بنك المكثفات وجهد التشغيل ثابتة، وبالتغيير النظامي المتكرر للوسطاء الأخرى، أدت التجارب العددية إلى إيجاد المركبة المثلى لكل من الضغط 3 Torr، وطول المصعد 1.5 cm ونصف قطره 1.29 cm. فكان مردود الأشعة السينية اللينة الأمثل مساوياً 43 mJ. وهكذا نتوقع حصول زيادة في مردود الأشعة السينية اللينة للأكسجين من جهاز البلازما المحرقية PF-1kJ بألف مرة عن مردوده عند شروط التشغيل الحالية؛ وذلك بدون أي تغيير لبنك المكثفات، وإنما بمجرد تغيير الأبعاد الهندسية للإلكترودات وضغط التشغيل فقط.

استخدمت أيضاً النسخة المعدلة من نموذج لي لإجراء تجارب عددية على غاز الأكسجين، من أجل أمثلة مردود الأشعة السينية اللينة للأكسجين على جهاز البلازما المحرقية الجديد PF-SY2 (2.8 kJ). يتم إنقاص التحريضية الساكنة L_0 لبنك المكثفات بشكل تدريجي لدراسة التأثير على تيار التضيق Ipinch. تؤكد التجارب مفعول التحديد في البلازما المحرقية، حيث توجد قيمة مثلى للتحريضية L_0 و التي من دونها، بالرغم من استمرار خفض قيمة التحريضية، فإن تيار التضيق Ipinch ومن ثمَّ مردود الأشعة السينية اللينة Ysxr، للبلازما المحرقية لن يزداد بل سيتناقص، مع أن قمة التيار الكلي Ipeak تستمر بزيادة تدرجية مع تناقص تدرجي للتحريضية L_0. تؤكد النتائج الحاصلة أن إنقاص قيمة التحريضية الحالية L_0 لجهاز البلازما المحرقية PF-SY2 سوف يزيد من مردود الأشعة السينية اللينة من غاز الأكسجين حتى قيمة عظمى بعدها يتناقص مردود الأشعة السينية اللينة Ysxr مع تناقص تيار التضيق Ipinch.

الكلمات المفتاحية: البلازما المحرقية المنخفضة الطاقة، الأشعة السينية اللينة، غاز الأكسجين، نموذج لي RADPF5.15K.

نُشرت ورقة البحث هذه في *Journal of Fusion Energy*.

البلمرة الاشعاعية لبوتيل أكريلات من أجل استعادة المذيبات العضوية

Radiation-Induced Polymerization of Butyl Acrylate for Recovery of Organic Solvents

د. منذر قطان، هارون القصيري
قسم تكنولوجيا الإشعاع

ملخص

بحثت عملية البلمرة الإشعاعية لبوتيل أكريلات (BAc) باستخدام أشعة غاما الناجمة عن Co^{60} في ظروف مختلفة مثل جرعة التشعيع (0–130 كيلو غراي)، معدل الجرعة (10 كيلو غراي/ساعة) ودرجة الحرارة (25–70 درجة مئوية). وجدت علاقة خطية بين معدل البلمرة ودرجة حرارة التشعيع. حسبت طاقة التنشيط (E) 9.37 كيلوجول/مول من تحليل الحركية الناتجة من البلمرة في 10 كيلو غراي/سا. درست الخواص الحرارية باستخدام التحليل الحراري التفاضلي (DSC) والتحليل الحراري الوزني (TGA). قيست كفاءة استخراج المذيبات العضوية بما في ذلك كلوروفورم، كلوروبنزن، رابع كلوريد الكربون والبنزين والستايرين من قياسات الانتباجية والتحرير. تشير النتائج إلى جدوى استعمال هذا البوليمير، الذي حضر بواسطة البلمرة الإشعاعية، في إدارة النفايات العضوية في ميدان البيئة.

الكلمات المفتاحية: بيوتيل أكريلات، أشعة غاما، طاقة التنشيط، انتباجية، تحرير.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Journal of Applied Polymer Science (2009)*.

1

الكشف المبكر عن سرطان البروستات في بعض مناطق القطر العربي السوري بمعايرة الواسمة الورمية PSA (T.F)

Early Detection of Prostate cancer in Syria using T.PSA and F.PSA

د. محمد عادل باكير،
ديمة أبو ضاهر
قسم الطب الإشعاعي

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء اختبار أولي للكشف المبكر عن سرطان البروستات في بعض مناطق القطر العربي السوري من خلال معايرة الواسمة PSA الكلية والجزء الحر من هذه الواسمة. أجريت الدراسة المسحية على عدد من الذكور من مدينة دمشق وبعض المناطق المجاورة بلغ 3000 رجل من الأصحاء بعمر يتراوح ما بين 40-75 عاماً أجريت معايرة الواسمة الورمية PSA والجزء الحر لهذه الواسمة FPSA باستعمال طواقم من شركة Immuno Tech. تمت إحالة 338 مشاركاً إلى المشفى وبينت الاستقصاءات المجراة لهم وجود 264 حالة ضخامة سليمة في البروستات في حين تأكد تشخيص 36 حالة سرطان بروستات. بلغت نسبة الكشف عن سرطان البروستات في هذه الدراسة 1.2% من بين المشاركين و10.7% من بين المحالين إلى المشفى. وأبدت النسبة F/TPSA قدرة تفريقية جيدة في التمييز ما بين حالات الضخامة السليمة للبروستات وسرطان البروستات.

الكلمات المفتاحية: سرطان البروستات، الكشف المسحي، الواسمة PSA الكلية، الجزء الحر للواسمة الكلية PSA.

2

التوصيف الوراثي لأنماط الفطر Rhynchosporium secalis الممرض للشعير في سورية

Genetic Characterization of Pathogenic Fungus Rhynchosporium secalis Pathotypes on Barley in Syria

د. محمد عماد الدين عرابي،
محمد جوهر، إياد الشحادة
قسم البيولوجية الجزيئية
والتقانة الحيوية

ملخص

يعد الفطر Rhynchosporium secalis العامل المسبب لمرض السفحة على الشعير. درست 63 عزلة جمعت من مناطق جغرافية مختلفة ضمن سورية تبعاً للإمراضية وتباين دنا المجين الذي حدد باستخدام تقنية معلمات التعدد الشكلي للدنا المضخم عشوائياً RAPD. كانت العزلات عالية التباين، وجرى تحديد 18 نمطاً أحادياً. أظهر تحليل الجار الأقرب المعتمد على المسافة الوراثية توضع العزلات في ثلاث عصب ضمن شجرة القرابة، ولم تتجمع العزلات في عناقيد خاصة بالموقع الجغرافي أو الإمراضية مما يقترح وجود انتشار مسبق للفطر R. secalis بين المناطق. توضعت العزلات ذات السويات الإمراضية المختلفة في المجموعات ذاتها وكانت نقطة الفصل بين العزلات ذات الفوعة العالية وتلك المنخفضة 42.80 حيث توضعت ضمن ست مجموعات فصل بمتوسط شدة إمراضية تراوح بين 20 و67.7% وبتكرارية تراوحت ما بين 14 إلى 77.7%. تعد المعلومات المتحصل عليها من هذا البحث ضرورية في دراسة التباين الوراثي للممرض R. secalis وهي هامة لانتخاب مستقبلي لعزلات تساهم في تطوير مقاومة مستمرة للشعير لمرض السفحة.

الكلمات المفتاحية: الفطر Rhynchosporium secalis، الشعير، التنوع الوراثي، المعلم الجزيئي RAPD.

3 تطوير برنامج حساب الرواتب والأجور للعاملين في هيئة الطاقة الذرية

Development of the computer program for calculating salaries and wages for workers at the Atomic Energy Commission

د. بشار عبد الغني
قسم الخدمات العلمية
إيفا البحرة
قسم الوقاية والأمان

ملخص

جرى في هذا العمل تطوير برنامج الرواتب والأجور للعاملين في الهيئة بما يتناسب مع تطوير القوانين المالية المتضمنة في قانون الهيئة وتعديلاته الصادرة بموجب المرسوم التشريعي رقم 12 لعام 2008. كما جرى تضمين النظام خدمات جديدة تؤمن للمستثمر مرونة عالية وسهولة في الاستثمار.

الكلمات المفتاحية: أتمتة، رواتب، عاملين.

4 تصنيع ذراع مناولة خاص بالخلايا الحارة ذي فكين متوازيين

Manufacturing of a remote handling tong with parallel jaws

د. محمد كامل حسن،
د. كمال سكيكر
قسم الخدمات العلمية

ملخص

نظراً لحاجة أقسام الهيئة المختلفة لأذرع مناولة خاصة بالخلايا الحارة، وبهدف تجنّب شرائها استيراداً أو تصنيعها بالسوق المحلية، تمَّ في إطار هذا العمل اعتماد نموذج الملقط ذي الفكين المتوازيين المصنَّع من قبل شركة LEMER PAX وتصنيعه في الورشات الإنتاجية التابعة لقسم الخدمات العلمية. صنع هذا الذراع بعد إجراء المذكرة الحسابية المتضمنة طريقة عمل/ميكانيزم فكي الملقط وتعيين القوى المؤثرة فيه.

الكلمات المفتاحية: خلايا حارة، ذراع مناولة، فكين متوازيين.

5 نظام معلومات تقييم أداء العاملين العلميين في الهيئة

Technical Employees Performance Appraisal Information System

ميساء مكي، د. عماد خضير
مكتب نظم المعلومات العلمية والإدارية

ملخص

جرى استعراض الطرق المتّبعة في تقييم الأداء الوظيفي وسرد الإجراءات المتبعة في الهيئة لهذا الغرض. وجرى شرح خدمات نظام معلومات حاسوبي أعد خصوصاً لأتمتة إدخالات واستعلامات بيانات تقويم أداء العاملين العلميين ضمن بيئة لامركزية ومؤمّنة ومتعددة المستثمرين للتعامل مع بيانات تقييم الأداء الوظيفي من قبل الجهات المسؤولة عن إعداد التقييم نصف السنوي وذلك عبر الشبكة الحاسوبية الداخلية ووفقاً للنموذجين المعتمدين من قبل إدارة الهيئة (م.ض.ج/22) و(م.ض.ج/43) سري. جرى اعتماد قواعد البيانات MS Jet4 وتقنية المزامنة التي تؤمنها بيئة التطوير MS Access 2003. أعدت آليات استعلام متقدمة ومخصصة واستصدار تقارير دورية أو تحت الطلب حول مختلف معلومات النظام بقصد استخلاص المعرفة حول مستويات الأداء الوظيفي، بالإضافة لتوفير سجلات التقييم القديمة للمقيمين عند إعداد تقييم جديد لدى الجهات المعنية بإجراء التقييم نصف السنوي. سمح العمل بتقصٍّ إحصائي لبيانات التقييم بقصد تطوير الإجراء من خلال عدد من التوصيات.

الكلمات المفتاحية: أداء العلميين، تقييم الأداء، التوصيف الوظيفي، التقييم نصف السنوي.

6

جهاز مسح إشعاعي رقمي محمول منخفض استهلاك القدرة باستخدام المعالج التحكمي MSP430F1222

Low Power Consumption Digital Survey Meter based on MSP430F1222 Microcontroller

د.علي المحمد، سامر أغابي
قسم الخدمات العلمية

ملخص

يعتمد الجهاز المصمم في عمله على المعالج التحكمي MSP430F1222 من إنتاج شركةTEXAS Instruments، ويستخدم كاشف غايغر ميللر ZP1320 وقد تم تصميم نموذجين منه؛ الأول مزود بلوحة إظهار ذات بلورات مائعة LCD 3½ Digits، والثاني مزود بلوحة إظهار محرفية Alphanumerical LCD. يمكن للجهاز أن يتعامل مع كاشف داخلي أو خارجي يتم توصيله عبر مدخل BNC مناسب. المقياس مزود بخرج تمثيلي (مجاله 0-1V) لإظهار النتائج على مؤشر تمثيلي أو راسمة. كما يمكن وصل المقياس مع الحاسب عبر الوصلة التسلسلية RS232 لتخزين نتائج القياس مباشرة ضمن ملف على الحاسب. كما تم تضمين برمجيات مراقبة أداء (Watch Dog Timer) ضمن برنامج التحكم للتحقق من أي توقف في عمل النظام.

يراقب البرنامج جهد البطارية باستخدام مبدل تمثيلي رقمي 10 bit A/D موجود داخل بنية المعالج التحكمي ويتم إظهار إشارة «Low Bat» على شاشة الـLCD عند انخفاض جهد البطارية دون مستوىً محدد.

المقياس مزود بنظام لوائح خيارات تسلسلي مبرمج (Serial Menu) يتيح للمستخدم وباستخدام 3 مفاتيح فقط (Enter, Next and ESC) بأن يقوم بالتجول ضمن الـMenu واختيار الخيارات المناسبة لتشغيل المقياس وفقاً لما يلي:

a. القياس بواحدة CPS, CPM, mGy/h أو استخدام خيار القياس التراكمي.
b. إظهار قيمة وسطية لقيمتين، 4 قيم أو 8 قيم مُقاسة متتالية.
c. تشغيل/ إطفاء دارات الترابط مع الحاسب RS232 لغرض توفير استهلاك الطاقة.
d. تغيير مجالات القياس للمخرج التمثيلي والمخرج الرقمي للمقياس.
e. اختيار التعامل مع كاشف غايغر داخلي أو خارجي.
f. تشغيل/ إطفاء الإنذار الصوتي الموافق لكشف كل حدث إشعاعي.
g. اختبار جاهزية وحدة الإظهار.
h. قياس جهد البطارية وإظهاره (باستخدام المبدل 10 bit A/D الموجود ضمن المعالج التحكمي).
i. اختيار أحد الخيارات Run, Stop or Reset في حالة استخدام نمط القياس التراكمي.

النموذج الأول من الجهاز منخفض استهلاك الطاقة (يستجر 600µA فقط من جهد تغذية 6V عندما يكون الترابط مع البوابة التسلسلية للحاسب غير مؤهل، ويرتفع الاستجرار إلى 3.2mA عند تأهيل الترابط RS232 مع الحاسب)، كما تم تصميم منظم جهد منخفض استهلاك الطاقة (3.3V, 5mA) لتغذية المعالج والدارات الملحقة به مما يؤهل الاستخدام الأمثل لطاقة البطارية حتى حدودها القصوى.

النموذج الثاني مكافئ للنموذج الأول ولكن باستخدام وحدة الإظهار ذات البلورات المائعة Alphanumerical LCD. هذا النظام يستهلك المزيد من الطاقة (بحدود 7.5 mA عند تأهيل عمل دارة الـ RS232) بسبب وحدة الإظهار التي تستجر لوحدها حوالي (3 mA) ولكنه يؤمن إظهار النتائج وعناصر الـMENU المستخدم بشكل أكثر إيضاحاً.

الكلمات المفتاحية: معالج تحكمي، مسح إشعاعي، عداد غايغر ميللر.

7

مشاكل التآكل في محطات تحلية المياه

corrosion problems in desalination plants

د. محمد سوقية
قسم الهندسة النووية

ملخص

تعطي هذه الدراسة المكتبية لمحة موجزة حول تقانات التحلية ومكوناتها والمواد الإنشائية المستخدمة في تصنيع مكونات محطات التحلية والسلوك التآكلي لهذه المواد. إن الاختيار الصحيح للمواد الإنشائية والتحكم بشروط التشغيل والإصلاح المستمر لمحطات التحلية من العوامل الهامة والمؤثرة في السلوك التآكلي لهذه المواد. يُلاحظ تآكل شديد في المواد الإنشائية المستخدمة في المبخرات وفي المبادلات الحرارية في محطات التحلية. مشكلة التآكل الموضعي (تآكل نقري أو تآكل تشققي) والتآكل التجويفي والانتقائي والغلفاني هي من أكثر أنواع التآكل الشائعة في مواد مكونات محطات التحلية. يعزى التآكل الموضعي إلى بطء حركة الماء المحتوي على تركيز عالٍ من الكلور أو ركوده أو إلى التآكل الانتقائي. يمكن تجنب مشاكل التآكل الموضعي في الكثير من الحالات عن طريق خفض تركيز الأكسجين المنحل في المياه المالحة وكذلك الغازات غير المنحلة إضافة إلى الشطف الجيد للأنابيب والخزانات والتنظيف الميكانيكي والكيميائي وإزالة الرواسب والحماية المهبطية وحفظ المحطة في جو خامل خلال فترات إطفائها. بشكل عام يظهر السلوك التآكلي للسبائك الإنشائية في المياه المالحة لمحطات التحلية مقبولاً. ينبغي في بعض الحالات استخدام سبائك فولاذية عالية الإشابة (254SMO) أو سبائك التيتانيوم لإطالة عمر خدمة محطات التحلية

الكلمات المفتاحية: تحلية المياه، مشاكل التآكل، السبائك الإنشائية، المياه المالحة.

8

تأثير بعض الخصائص الفيزيائية للتربة على قدرتها بالاحتفاظ بالماء ومعايرة جهاز التشتت النتروني وحركة الأملاح فيها

Effect of some soil physical properties on water holding capacity, neutron probe calibration and salt movement.

عبد الكريم رزوق
قسم الزراعة

ملخص

أجريت تجربة حقلية في منطقتين تمثلان ثلاث ترب، الأولى طينية في جنوب سورية (درعا)، والثانية تربة متوسطة وتربة رملية في شرق سورية (دير الزور) لمقارنة تأثير تلك التربة على المعايرة الحقلية لجهاز التشتت النيتروني ومعامل الارتباط ومنحنى خصائص التربة وتغير محتوى محلول التربة من النترات، البوتاسيوم، والصوديوم من أجل تحديد الموعد الأمثل للاعتيان المائي بوساطة الكؤوس المسامية.

أظهرت نتائج تحليل الانحدار الأولية لمنحنيات الترب الثلاث، أن التربة المحتوية على أخفض نسبة من الطين كانت ذات معامل ارتباط كبير وتناقص مع ازدياد نسبة الطين. ولوحظ أن معامل الارتباط في التربة الرملية كان 0.96 بينما انخفض إلى 0.79 في التربة الطينية.

لوحظ تزايد قيمة الشد الرأسي بسبب تناقص قيمة المحتوى الرطوبي بالتربة وهذا واضح في منحنى خصائص الترب الثلاث، وتؤدي الخاصية الشعرية وتوزع حجم المسام دوراً هاماً في قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء كما ويؤديان دوراً هاماً في تراص التربة.

لوحظ تناقص قيمة NO^-_3 بسبب امتصاص جذور النبات وغسل النترات مع المياه إلى الأعماق، بينما لم يلاحظ في الطبقة السطحية انغسال للنترات إلا في الترب الرملية.

وبينت النتائج أيضاً حصول توازن ما بين محلول التربة والمحلول داخل الكأس المسامي خلال 8 أيام بالنسبة لـ NO^-_3.

الكلمات المفتاحية: جهاز التشتت النيتروني، جهاز التنسيونيك، جهاز قياس الشد الرأسي.

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria

NO. 128

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate Knowledge of nuclear and atomic sciences and all different applications of Atomic energy.

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Director General of A.E.C.S

Editing Committee

(Editors In-chief)

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Ka'aka

(Members)

Prof. Dr. A. Haj Saeed

Prof. Dr. M. Hamo-leila

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. F. Awad

Prof. Dr. F. Kurdali

Prof. Dr. T. Yassin