NO. 134

عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرّية السورية

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 كرد علي

أ. د. توفيق ياسين

الإخـــراج الفنـي

بشار مسعود

نبيل إبراهيم

مهند البيضه

أمل قيروط

المتابعة والتنسيق

حسان بقلة

التدقيق اللغوي

نوال الحلح

ريما سنديان

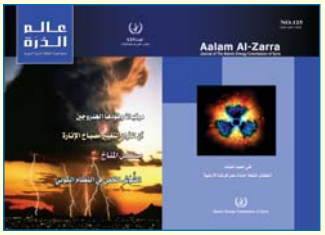
التنضيد

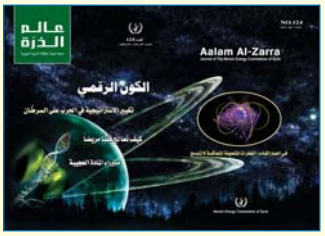
هنادي كنفاني

غفران ناوروز

التوزيع

عتيبة المنعم





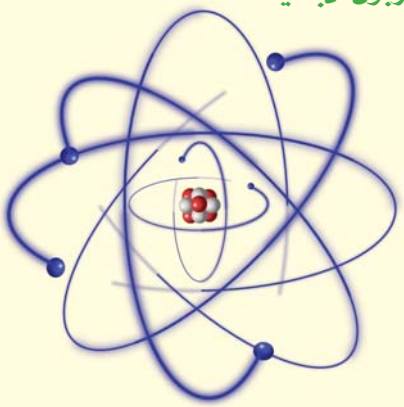
المحتويات

مقالات

5 الدروس الأربعة عشر المستفادة من برنامج الطاقة النووية الناجح لجمهورية كوريا الجنوبية

تقدم هذه المقالة لمحة عن تاريخ تطور البنية التحتية للبرنامج الكوري للطاقة النووية، والدروس المستخلصة منه منذ بداية البرنامج في عام 1956 وصولاً إلى توطين تكنولوجيا مفاعلات الماء المضغوط PWR في عام 1990.

24 اختبارات الكربون الجديد



أمضى الباحثون 26 عاماً في اكتشاف الخصائص الجديدة للفوليرين وأنابيب الكربون النانوية والغرافين إلا أن التسويق لهذه المواد ليس سهلاً أو سريعاً.

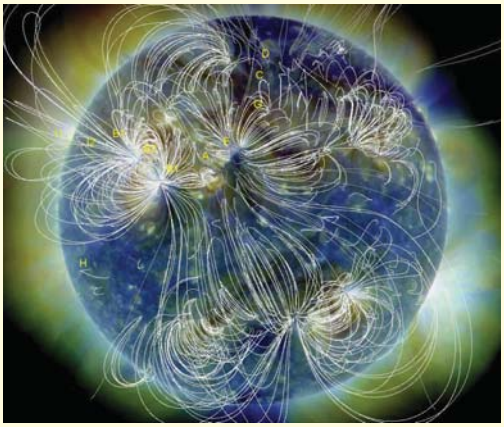
29 فيزياء فلكية في المختبر

إن محاكيات المادة الكثيفة للثقوب السوداء وغيرها من الظواهر الكونية يمكن أن تسمح للفيزيائيين باختبار أفكار حول الثقالة الكمومية والكون المبكر، كما يوضح كلٌ من رالف ستشوتزهولد Ralf Schützhold وبيل أونره Bill Unruh.

أخبار علمية

37 الوجه الناقل لعازل

39 الفسفور وتفجُّر الهواء النقي



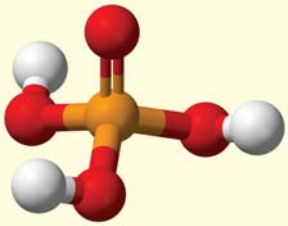
41 تبادل نووي

46 المخاطر الصحية لمحطة فوكوشيما النووية تُفحص بدقة

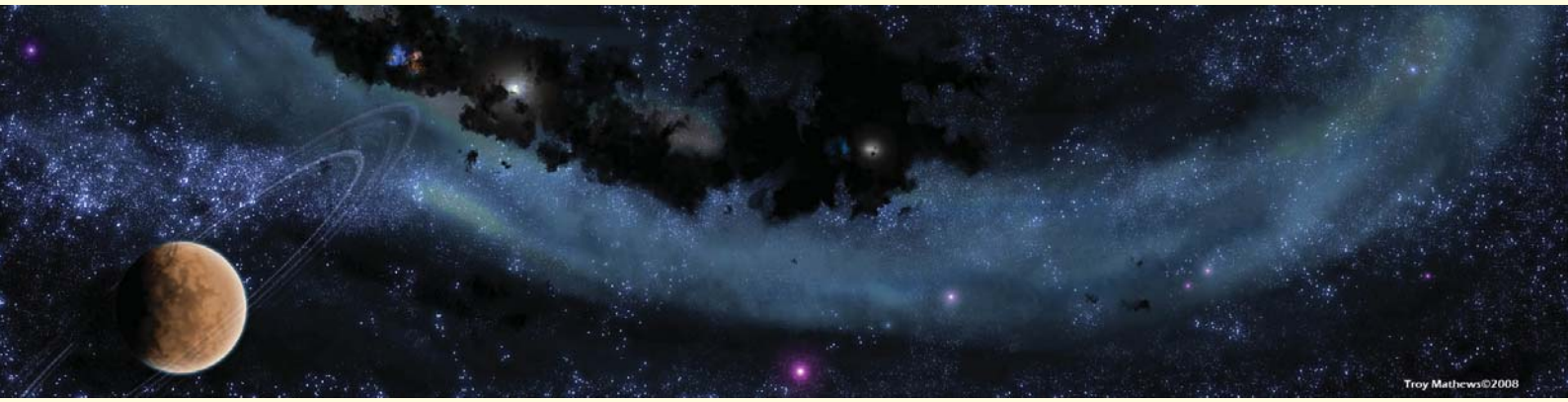
48 المعادن ليست الحفازات الوحيدة

50 إيحاءات فرصة نادرة

52 تصدّع في نموذج الخلايا الجذعية المحرَّضة



54 الفسفور



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

ملخصات ورقات البحوث

60 التحليل التوجّهي للطبقات الأحادية المُتجمّعة ذاتياً لجزيئات دوديكانثيول وب-نتروثيوفينول الموضّعة على سطوح معدنية باستخدام مطيافية توليد الجمع الترددي المعتمدة على الاستقطاب

60 المقارنة بين تقانتين تحليليتين نوويتين لتعيين نشاط ^{210}Pb النوعي في العينات البيئية الصلبة

61 الزيوغ الصبغية الناتجة عن تأثير الأشعة في حشرة فيلوكسيرا العنب

61 تحسين حساسية التفلور بالأشعة السينية بطريقة الترميد الجاف للتحليل العنصري لعسل النحل

62 تقويم القطن المروي بالتنقيط والمزروع تحت كثافات نباتية مختلفة ونظامي ري

62 التفاعلات النسخية في تآثر الشعير الحساس والممرض COCHLIOBOLUS SATIVUS

ملخصات تقارير علمية

63 اختبار مقاومة عصيات السل للإيزونيازيد باستخدام تقانة الـ PCR بالزمن الحقيقي ومسابر الـ Taqman

63 تطوير وإنتاج كيت (طاقم) للصبغ الفضي للدنا (DNA silver staining kit)

64 المكتبة الافتراضية والبحث العلمي

64 التأثير الإشعاعي لأكوام الفسفوجبسوم في النظام البيئي المحيط

65 القيمة الغذائية في المخلفات الناتجة عن تقليم أشجار الزيتون (Olea europoea)

66 تكوّن الدم والآليات الناظمة له

66 التحري عن احتمال وجود بعض الصدوع التكتونية في غرب دمشق وتقييم نشاطها

67 دراسة عملية ترسيب الطمي في سد الباردة من المنطقة التدمرية

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان 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 (+963)11-6111926 فاكس (+963)11-6112289

E-mail: tapo@aec.org.sy

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.

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 17 نيسان

- 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.

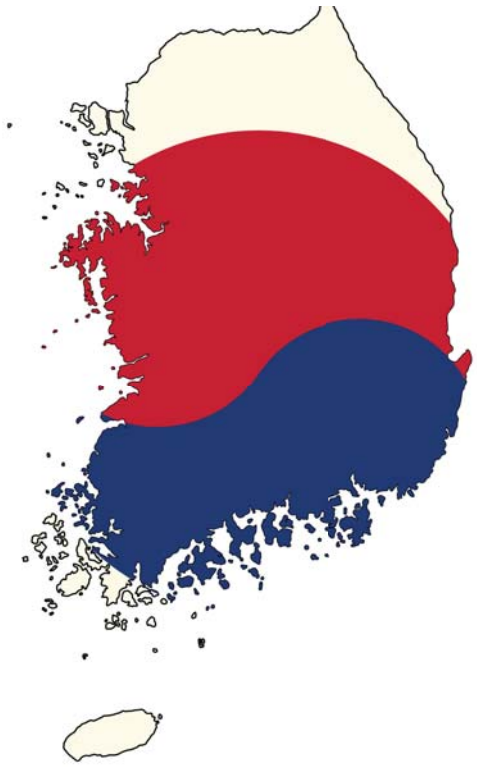
سعر العدد الواحد

سوريا: 50 ل.س مصر: 3 جنيهات لبنان: 3000 ل.ل الجزائر: 100 دينار

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

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.

الدروس الأربعة عشر المستفادة من برنامج الطاقة النووية الناجح لجمهورية كوريا الجنوبية



الكلمات المفتاحية: كوريا، برنامج الطاقة النووية، تطوير البنية التحتية.

تقدم هذه المقالة لمحة عن تاريخ تطور البنية التحتية للبرنامج الكوري للطاقة النووية، والدروس المستخلصة منه منذ بداية البرنامج في عام 1956 وصولاً إلى توطين تكنولوجيا مفاعلات الماء المضغوط PWR في عام 1990. وتهدف هذه المقالة إلى عرض الملامح الرئيسة التي اعُتمد عليها في تطوير البنية التحتية لبرنامج الطاقة النووية بالاستفادة من تجارب واقعية بغية الإسهام في مساعدة البلدان النامية الراغبة حديثاً في استخدام الطاقة النووية كخيار طويل الأمد للتزود بالطاقة. وقد جرى عرض الاستراتيجيات والدروس المستخلصة من التجربة الكورية الناجحة استناداً إلى معالم خطة الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA milestones) بهذا الشأن بهدف إرشاد صانعي القرار، والمستشارين، والمدراء، والخبراء الوطنيين العاملين في برنامج الطاقة النووية. ونجد في هذه المقالة الدروس التي يجب أن يتضمنها برنامج الطاقة النووية في مرحلة ما قبل بدء البرنامج من لحظة اختيار الطاقة النووية كجزء من استراتيجية التزود، ثم إعداد القرار وصنعه، وصولاً إلى بناء أول محطة للطاقة النووية. ويركز مضمون هذه الدروس على إدارة المعرفة والموارد البشرية، وتطوير البنية التحتية الصناعية والتحويلية، وتحقيق معايير الأمان النووية، والتشريعات والقوانين الناظمة للعمل، والنظر في إدارة الوقود النووي والنفايات النووية، وإقامة التعاون الدولي في هذا المجال. وتجدر الإشارة إلى أن هذه الدروس الأربعة عشر اشتُقت بكاملها من التجربة الكورية، وطُرحت بهدف ترسيخ جهود الوكالة الدولية للطاقة الذرية في دعم الدول النامية في مجال تطوير الطاقة النووية وتأمين البنية التحتية اللازمة.

مقدمة

يواجه العالم اليوم خطر العجز بموارد الطاقة وقضايا تغيرات المناخ، ويعاني جزءٌ كبير من الشعوب من عدم كفاية الطاقة التي تساهم بشكل أساسي في الحد من الفقر، ورفع معدلات المعيشة، وتحسين الرعاية الصحية، وزيـادة معدلات الإنتاج الصناعية والزراعية (IAEA, 2007b). ووفقاً لدراسات مراكز أبحاث الطاقة العالمية لعام 2008 فإنه من المتوقع أن يزداد الإجمالي العالمي للطلب على الطاقة الأولية بمعدل 45% في الفترة 2008-2030 بزيادة سنوية تقدر بـ 1.6% (OECD/IEA, 2008). في حين أن الطلب على الطاقة الكهربائية سيزداد بمعدلٍ أكبر، وبما يعادل الضعف، في المدة ذاتها. ومن جهة أخرى فإن الزيادة الكلية للطلب على الطاقة الكهربائية في البلدان النامية سيدفع بتلك البلدان إلى السعي وراء الطاقة النووية كأحد الحلول المناسبة وكمصدرٍ طويل الأمد للطاقة لدعم النمو الاقتصادي والصناعي، وتخفيض انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون. ولتلبية الطلب المتزايد والمتنامي على الطاقة أصدرت الوكالة الدولية للطاقة الذرية في عام 2006 مجموعة من الدراسات حول مشاريع التوسع في استخدام الطاقة النووية حتى العام 2030. وأظهرت الدراسات المتشائمة للوكالة الدولية للطاقة الذرية (انخفاض معدل نمو مشاريع الطاقة الذرية)، أي أن

نُشر هذا المقال في مجلة **Energy Policy 37 (2009)**، ترجمة د. حسان عمر، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الاستطاعة النووية المركبة والمنتجة سترتفع على مستوى العالم لتصل إلى 447 GWe و3325 TWh في عام 2030 مقارنة بـ 370 GWe و2660 TWh في عام 2006. في حين أظهرت التقديرات المتفائلة للوكالة الدولية للطاقة الذرية (ارتفاع معدل نمو مشاريع الطاقة الذرية)، أي إمكانية ارتفاع نمو الاستطاعة النووية المركبة والمنتجة على مستوى العالم إلى 691 GWe و5141 TWh على التوالي. وتظهر تقديرات النمو العالي والمنخفض الطلب الكبير والمتزايد على الطاقة النووية. ويقدر عدد المفاعلات التي يجب بناؤها لتحقيق الطلب المتزايد على الطاقة النووية في الحالتين بـ 178 إلى357 مفاعلاً على التوالي ويتركز معظمها في الشرق الأقصى، وأوربة الشرقية، والشرق الأوسط، وجنوب شرق آسيا (IAEA, 2007d, 2008). وأظهرت دراسة مشابهة لمنظمة التعاون والتنمية أن النمو في الاستطاعة النووية على مستوى العالم سيزداد بمعامل 1.5 إلى 3.8 حتى عام 2050 وفقاً لسيناريو النمو المنخفض والمرتفع على الترتيب. حيث تُظهر نتائج سيناريو النمو المرتفع زيادة ملحوظة في إسهام الطاقة النووية في إنتاج الطاقة الكهربائية عالمياً من 16% حاليا إلى 22% في عام 2050 (OECD/NEA,2008).

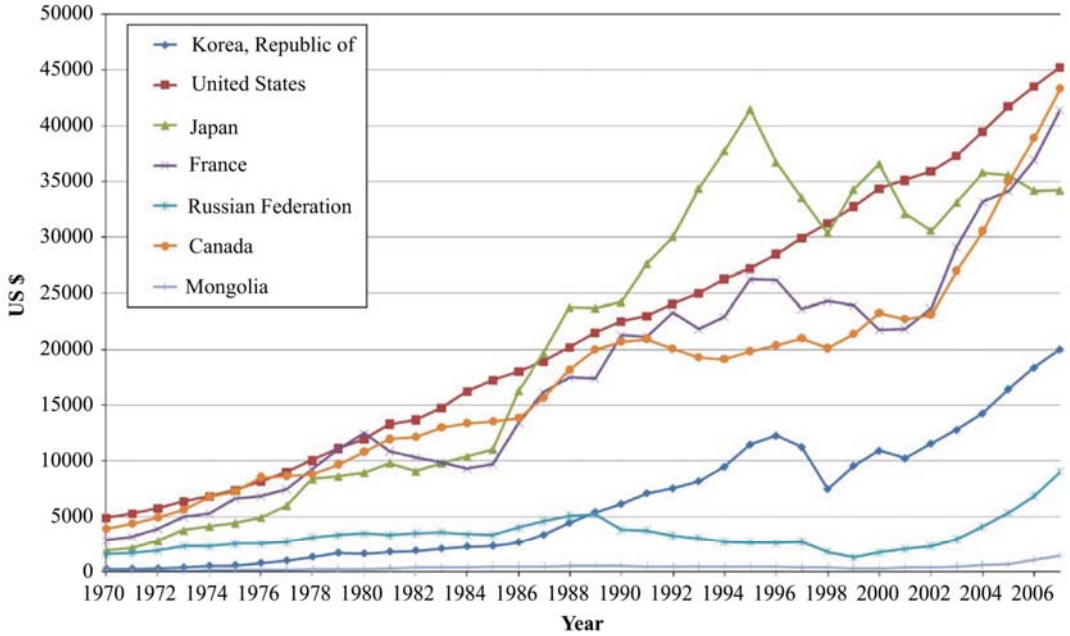
وتزداد الحاجة لدعم برامج الطاقة النووية للبلدان النامية مع حصول الأزمة المالية العالمية لكي تستطيع تحقيق الأمان والتطوير السلمي وفقاً لمبادئ الوكالة الدولية للطاقة الذرية وأسسها الناظمة لذلك. وبالتوازي مع ذلك لابد من الاستفادة من الدروس والتجارب التنموية الأساسية الخاصة في الدول النووية لدعم الجهود في البلدان التي تسعى إلى إطلاق أول برنامج للطاقة النووية.

قيمة دراسة التجربة الكورية في الطاقة النووية وأهميتها

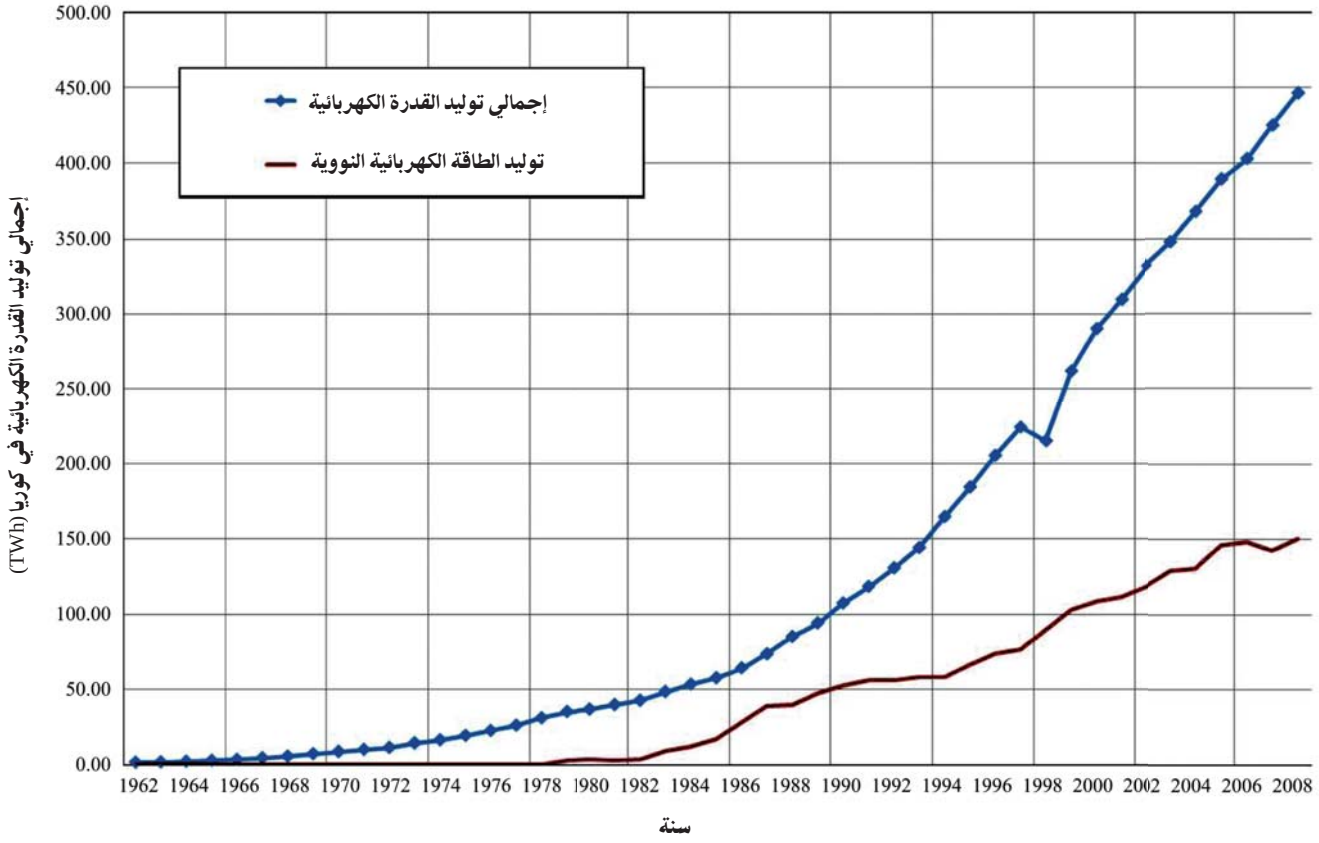
انتقلت كوريا خلال خمسين عاماً من كونها دولة نامية إلى أن تصبح إحدى أهم الدول في مجال تكنولوجيا الطاقة النووية وذلك في نقلة نوعية غير مسبوقة في المجال الاقتصادي والديمقراطي. وبالرغم من الصعوبات الجمة التي واجهت الخبرات الكورية في البداية إلا أنه يمكننا الآن استخلاص دروس مفيدة ومعلومات قيمة لمساعدة البلدان النامية في برامجها النووية.

لقد نجحت بلدان عدة في العالم في تأسيس البنية التحتية لتطوير مفاعلات الطاقة النووية وتشغيلها. حيث إن معظم البلدان المتقدمة بما فيها الولايات المتحدة الأمريكية، وفرنسا، واليابان وروسيا، وألمانيا، وكندا قد انتقلت ببرامجها للطاقة النووية مستندة إلى بنية اجتماعية واقتصادية وصناعية قوية ومتينة، بينما بدأت كوريا برامجها النووية خلال ظروف قاسية بعد الحرب الكورية واتفاقية وقف إطلاق النار في عام 1953. وكما يظهر في الشكل 1، فإن كوريا هي البلد الوحيد الذي بدأ برنامجه للطاقة النووية في ظروف اقتصادية مشابهة للبلدان النامية مثل الفلبين، والباكستان، ويوغوسلافيا السابقة، والبرازيل، ومنغوليا.

وكما يظهر في الشكل 2، فإن البنية التحتية الكهربائية لكوريا قد تطورت بشكل سريع وناجح محققة زيادة في توليد الطاقة الكهربائية تقدر بـ 661 ضعفاً بين العام 1953 وعام 2009 وذلك خلال زيادة الاستطاعة المركبة من 127 إلى 77652 ميغاوات (KEPCO, 2009).



الشكل 1: تطور نصيب الفرد من الناتـــج المحلي الإجمالـــي.



الشكل 2: نمو إجمالي توليد الكهرباء والطاقة النووية في كوريا بين عامي 1967 و 2006.

بعد الحرب العالمية الثانية قُسمت شبه الجزيرة الكورية إلى قسمين: شمالي وجنوبي. وفي 25 حزيران/يونيو من عام 1950 اندلعت الحرب الكورية، واستمرت لثلاثة أعوام، وعمت جميع أرجاء شبه الجزيرة الكورية حتى 27 تموز/يوليو من عام 1953. وبنهاية هذه الحرب كانت البلاد ترزح تحت فقر شديد. ففي عام 1954 كان معدل ناتج الفرد السنوي 70 دولاراً، أي ما نسبته 0.35% مقارنة بعام 2009 (KEPCO, 2009; The Korea Economic Daily, August 21, 1995). وكانت البنية الصناعية مدمرة بالكامل، وكان إجمالي الطاقة الكهربائية المركبة 127000 كيلو واط أي بنسبة 0.16% مقارنة بعام 2009 (KEPCO, 2009; Korea Power Engineering Company, 1989). وكان استهلاك الطاقة، في ظروف ما بعد الحرب، يذهب بأكمله إلى الاستهلاك المنزلي ولا يبقى منه أي فائض للاستهلاك الصناعي.

أشار وزير الخارجية الياباني في نهاية عام 1950 إلى مشاكل الاقتصاد والصناعة الكورية (Kim, 1988). وهذه المشاكل شبيهة بمشاكل معظم الدول النامية حتى يومنا هذا، وهي:

1. الكثافة السكانية العالية في مساحة البلاد الصغيرة التي تبلغ 100032 كم2، أي ما يعادل 0.6% من مساحة روسيا، و1% من مساحة أمريكا وكندا، و15% من مساحة فرنسا، و26% من مساحة اليابان، و28% من مساحة ألمانيا، وأكثر قليلاً من نصف مساحة سورية.
2. النقص الشديد في مصادر الطاقة الأحفورية وامتلاكها لكميات قليلة من الفحم الحجري. ونتيجة لهذا النقص في مصادر الطاقة ازداد استيراد الطاقة ليصل إلى 47.5% في عام 1970 نظراً لتزايد الطلب على الطاقة.
3. لم يحدث تطوير في البنية الصناعية طوال الفترة مابين عام 1950 إلى 1960 حيث بقي الاعتماد على الزراعة فقط.
4. ذهاب معظم الموارد للإنفاق على الجيش والدفاع نتيجة تقسيم البلاد بين الشمال والجنوب.
5. عدم الاستقرار السياسي نتيجة الاستقلال حديثاً، ووجود حكومة ضعيفة بخبرات قليلة لا تؤهلها للإدارة.
6. عدم وجود رؤوس أموال خاصة تساهم في الاستثمار مما أدى إلى انخفاض مستوى المعيشة وخاصة بعد الحرب الكورية.
7. موقع كوريا في إقليم معزول جغرافياً مما يقلل من إمكانية التزود بالطاقة من خلال شبكات ربط كهربائية مع الدول المجاورة.

وبالرغم من التوقعات المتشائمة ظهرت كوريا كإحدى الدول في منظمة التعاون الاقتصادي، حيث جاءت بالترتيب السادس عالمياً في البلدان المنتجة للطاقة النووية بوجود 20 منشأة للطاقة النووية التي تزود كوريا بـ 17454 MWe، أي ما يعادل 36% من الاستهلاك الكهربائي في عام 2008. وتسعى الحكومة الكورية إلى أن يكون إسهام الطاقة النووية بحلول عام 2030 يقارب 59% من الاستهلاك المحلي. إضافة إلى ذلك، قامت كوريا بنجاح بتشغيل منشآتها للطاقة النووية بأعلى كفاءة عالمياً. فقد حققت الـ 20 منشأة معامل إتاحية (جاهزية) 93.22%، ومعامل استطاعة 90.83% بين عامي 2001 و2006. وأعلنت كوريا موقفها الداعم لمعاهدة عدم الانتشار النووي Non-proliferation Treaty (NPT)، والبروتوكول الإضافي (AP) المتعلق بالاستخدام السلمي للطاقة النووية، والمعاهدات الدولية ذات الصلة المتعلقة بالاستخدام السلمي للطاقة النووية.

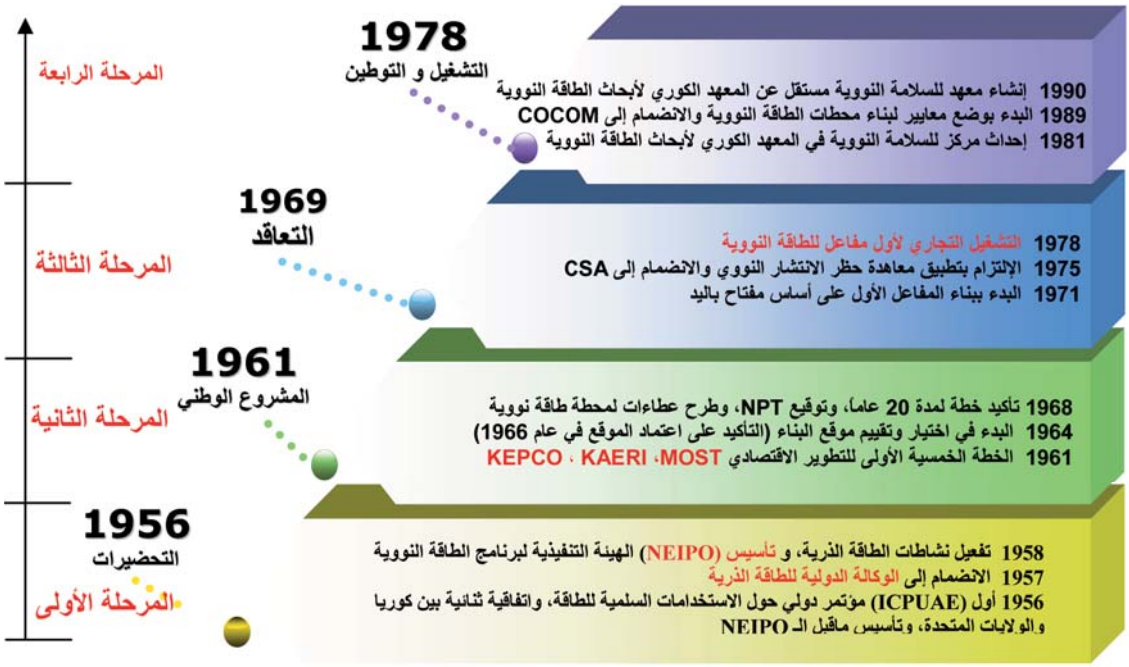
لقد قامت كوريا بشراء أول ثلاث منشآت نووية تجارية عن طريق عقود تسليم (على المفتاح) بينما جرى بناء المنشآت الست الأخرى بالاشتراك مع خبراء ومصنّعين محليين. وحققت كوريا، بدءً من المنشأة العاشرة، الاكتفاء الذاتي التقني لبناء المفاعل بشكل كامل وبخبرات محلية. فقد قامت كوريا ببناء 8 محطات طاقة نووية من نوع optimized power reactor1000 (OPR1000)، وثلاث وحدات أخرى مثلها قيد الإنشاء. وطورت كوريا بخبراتها المحلية مفاعلاً متطوراً للطاقة من نوع Advance power reactor1400 (APR1400)، وقامت أيضا بتحسين معايير الأمان، وزيادة العمر التشغيلي، وتحسين المردود الاقتصادي لمنشآتها النووية. ونجحت بعد ذلك في سياسة الاكتفاء الذاتي: التخطيط لبناء ثماني منشآت وأربعة مفاعلات من نوع (OPR1000)، وأربعة مفاعلات من نوع (APR1400).

تقدم هذه الخبرة الكورية في التحول من بلد نام إلى بلد متقدم يملك خبرات متقدمة في مجال المنشآت النووية دروساً مهمّة ومعلومات قيمة للدول النامية في إنشاء برامجها الوطنية للطاقة النووية ومتابعتها.

نظرة تاريخية للبرنامج الكوري للطاقة النووية

لقد بدأ البرنامج الكوري للطاقة النووية في عام 1958، وجرى توطين كامل التقنية والخبرات في إنشاء البنية التحتية بشكل كامل في عام 1989 كما يظهر في الشكل 3.

ومن أجل فهم أفضل للبرنامج الكوري للطاقة النووية سنلقي نظرة موجزة على الاقتصاد الكوري وتطور برامج الطاقة في الفترة 1956-1990. فبعد الخطاب الذي ألقاه الرئيس الأمريكي أيزنهاور أمام الأمم المتحدة (الذرة من أجل السلام) في عام 1953 قامت الحكومة الكورية بإرسال وفد مفاوض لأول مؤتمر دولي للاستخدام السلمي للطاقة النووية في عام 1956 الذي أثار الاهتمام الدولي بالطاقة النووية السلمية لتوليد الطاقة بالإضافة إلى الاستخدام الطبي، والزراعي، والصناعي. ووقعت كوريا في العام ذاته أول اتفاقية متبادلة مع الولايات المتحدة الأمريكية للتعاون في مجال الاستخدام السلمي للطاقة النووية. وأقامت الحكومة الكورية أول



الشكل 3: نظرة عامة على البرنامج النووي لكوريا.

معرض بعنوان (الذرة من أجل السلام). وانضمت كوريا في عام 1957 إلى الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وفي عام 1958 أطلقت الحكومة الكورية رسمياً برنامجها للطاقة النووية من خلال تأسيس قسم للطاقة النووية في وزارة التعليم. وقامت كوريا، بهدف إحداث بنية تحتية ملائمة، بالتعاقد من أجل بناء أول مفاعل بحثي (TRIGA Mark-II) بدعم من الولايات المتحدة الأمريكية. وجرى لدى افتتاح المفاعل الكوري للأبحاث افتتاح المعهد الكوري لأبحاث الطاقة النووية، وأول قسم لهندسة الطاقة النووية في عام 1958 من أجل تخريج مهندسين نوويين لبرامج الطاقة المستقبلية.

وأُسست في عام 1961 شركة الطاقة الكهربائية الكورية وذلك بدمج ثلاث شركات للطاقة الكهربائية لدعم أول خطة خمسية اقتصادية بدأت في عام 1962. وقام كل من المعهد الكوري لأبحاث الطاقة النووية وقسم الطاقة النووية في وزارة التعليم حتى عام 1964 بالتركيز على الاستخدام الطبي والزراعي للطاقة النووية. ثم شرعت كوريا من عام 1964 إلى العام 1966 بإجراءات تقييم الموقع واختيار أول محطة للطاقة النووية. ووُضعت في عام 1968 خطةٌ طويلة الأمد لتطوير الطاقة النووية للعشرين سنة التالية معتمدةً على جهود ثماني سنوات من البحث والتخطيط والمراجعة للأبحاث الوطنية، والاكتشافات الدولية، وتطوير الموارد البشرية، والتشريعات. ووقعت كوريا في العام نفسه معاهدة عدم الانتشار النووي، وطرحت عطاءات (مناقصات دولية) لبناء أول محطة طاقة نووية.

وجرى البدء ببناء هذه المحطة الأولى المتكاملة في عام 1971، وبدأت بإنتاج الكهرباء بعد سبع سنوات لاحقة. وانضمت كوريا قبل الانتهاء من أول منشأة نووية إلى اتفاقية الأمان والحماية (CSA) Comprehensive Safeguard Agreement. وبعد نجاح الصناعات الكيميائية والثقيلة التي تشكل جزءاً من الخطة الوطنية للتطوير الاقتصادي قامت كوريا بالتعاقد لبناء المنشأة النووية الرابعة على أساس المشاركة non-turnkey بعقود أساسية مع شركات خارجية وعقود جزئية sub-contractor مع شركات محلية. وبعد نجاح تشغيل أول منشأة نووية، قامت كوريا مابين عامي 1978 و1980 بطلب ستة مفاعلات للماء الثقيل.

وأدركت كوريا مع ازدياد التركيز على معايير الأمان على مستويات متعددة حاجتها لجهة ناظمة. وبالتالي جرى تأسيس مركز الأمان النووي في المعهد الكوري للطاقة النووية في عام 1981. حيث تابع المركز تقدمه في هذا المجال حتى استقل عن المعهد الكوري للطاقة النووية في عام 1990 وصار معهداً للأمان النووي، وارتكزت مهمته على تقديم الدعم التقني واتخاذ القرار بتفويضٍ من وزارة التعليم والعلوم والتكنولوجيا.

وشرعت كوريا في عام 1989 ببناء أول محطة طاقة نووية محلياً مستفيدة من الخبرات والتكنولوجيا المتراكمة. حيث اختيرت المحطة الأولى من نوع OPR1000 التي دعيت فيما بعد بمحطة الطاقة النووية الكورية النموذجية وأصبحت جاهزة للتشغيل في عام 1995.

وانضمت كوريا، نتيجة التطور الكبير في التكنولوجيا والخبرات الكورية في مجال الطاقة النووية، إلى لجنة التنسيق والرقابة المتعددة الأطراف على الصادرات من أجل ضبط انتقال وتداول التكنولوجيا النووية والمواد الحسّاسة ومراقبتها.

وأعلن الرئيس الكوري في عام 1991 شبه الجزيرة الكورية منطقةً خاليةً من الأسلحة النووية وطالب بانضمام كوريا الشمالية للجهود الدولية للحدّ من انتشار السلاح النووي.

دروس البرنامج الكوري للطاقة النووية

استطاعت كوريا، كما رأينا، تأسيس برنامج سلمي للطاقة النووية بالإضافة إلى بنيةٍ تحتية متطورة وناجحة خلال مدة أربعين عاماً. ففي عام 1957 عندما بدأت كوريا بأول برنامج للطاقة النووية كان نصيب الفرد من الناتج المحلي لا يتجاوز 100 دولار أمريكي. وبالتالي يمكن للدول النامية أن تستفيد من التجربة الكورية من أجل تطوير برامجها الوطنية للطاقة النووية. وفي ما يلي أربعة عشر درساً مستخلصاً من البرنامج النووي الكوري بما فيها النجاحات والأخطاء. ولم يراعَ في تسلسل/ترتيب هذه الدروس الأهمية أو أشياء أخرى. ويستحقُ كل درس من هذه الدروس دراسةً مطولة سواء أكان البرنامج المزمع إقامته للطاقة النووية في مرحلة التخطيط أم في مرحلة البناء.

تشارك الخبرات والمعارف الشاملة في البرنامج

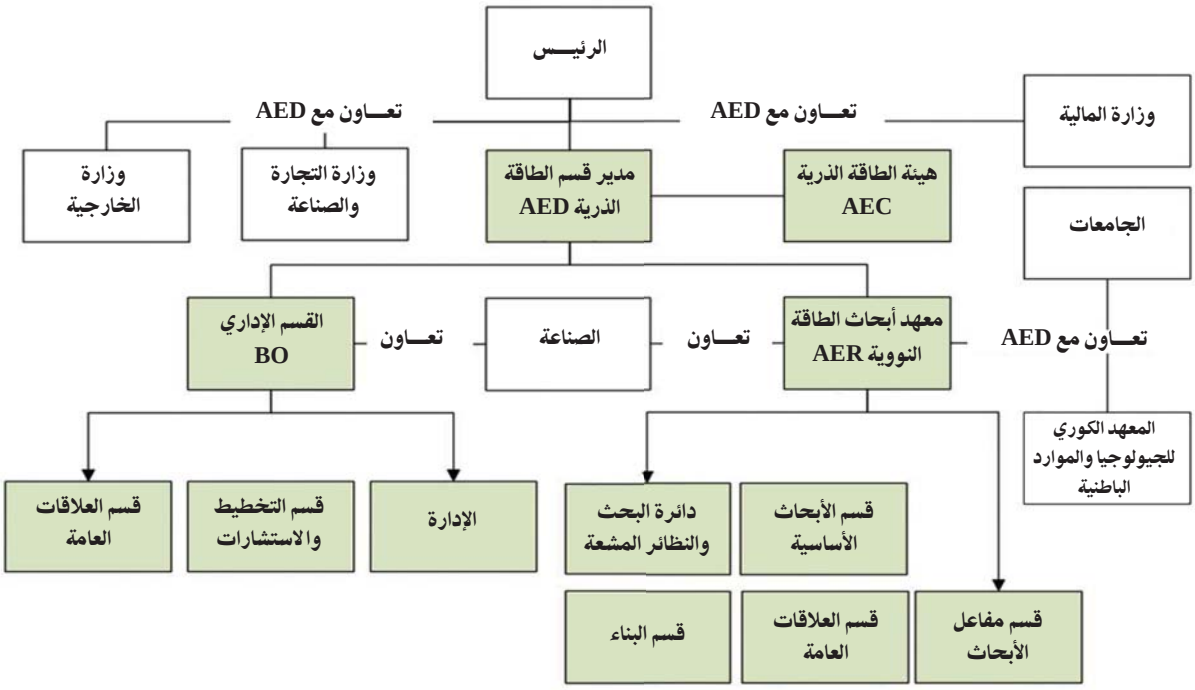
تُعدُّ تكنولوجيا الطاقة النووية نتاج معرفة متكاملة من البحوث، والتنمية الصناعية، والخبرات الأساسية في جميع الحقول والمجالات. ويتطلب التخطيط لبرنامج الطاقة النووية والتحضير الأولي لقيام أول محطة للطاقة النووية في البلاد، العديد من المساهمات على صعيد العلوم والهندسات والعلوم الاجتماعية. ووفقاً لوثيقة معالم الوكالة الدولية للطاقة الذرية فإن، وجود هيئة عامة Nuclear Energy Program Implementing Organization (NEIPO) تشرف على تنفيذ برنامج الطاقة النووية أمر ضروري

الشكل 4: مثال من الوكالة الدولية عن الهيكلية الممكنة لهيئة تنفيذ البرنامج النووي (NEIPO) (IAEA, 2007c).

بحيث تقوم بدور أساسي بتنظيم وإدارة المعلومات والخبرات ضمن خطة موضوعة ومتابعة تنفيذها. وتقوم هذه الهيئة، من خلال دعم الدولة، بحشد كافة الطاقات البشرية والخبرات من مختلف المجالات. ويبين الشكل 4 نموذجاً مقترحاً من الوكالة الدولية للطاقة الذرية لبنية هذه الهيئة، حيث يتضمن هذا النموذج ثلاث جهات منظمة للبرنامج: وهي الحكومة، والجهة المسؤولة عن تشغيل المنشأة النووية، ومكتب التنظيم النووي. وعادة ما تتولى الحكومة إدارة تلك الجهات بشكل كامل.

ولا يتم الاعتماد فقط على العلماء والمهندسين في تأسيس الهيئة العامة التي تشرف على تنفيذ برنامج الطاقة النووية (NEIPO) بل وأيضاً على الاقتصاديين، والمحامين، وعلماء النفس (Park, 2004c). فقد تأسست الهيئة الكورية لتنفيذ برنامج الطاقة النووية (NEIPO) في عام 1960 مؤلفة من هيئات حكومية، منها: قسم الطاقة الذرية (AED)، وعدد من المؤسسات، والمنظمات كما يظهر في الشكل 5. واستطاعت NEIPO بقيادة الحكومة إدارةَ طيفٍ واسع من الخبرات والتقنيات والمعلومات في مختلف المجالات بما فيها الهندسة النووية، والفيزياء، والكيمياء، والهندسة الميكانيكية، والجيولوجيا، والاقتصاد، والطب، والسياسة، والكثير من فروع العلوم الأخرى...

ويبقى للهيئة المشرفة على البرنامج النووي دور مهم جداً في



الشكل 5: هيكلية الهيئة المشرفة على تنفيذ البرنامج الكوري النووي (NEIPO) في عام 1959.

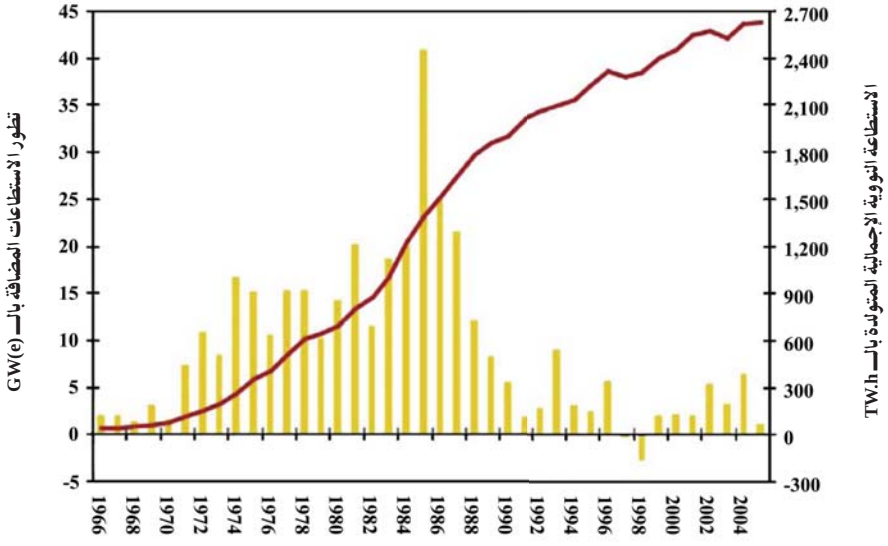
حالة استدعاء خبراء أجانب لتقديم المعلومات، والمعطيات المحلية، والمشاركة في اتخاذ القرارات، وتبادل وجهات النظر. وقد ساهم هذا المستوى العالي من الموارد البشرية ومشاركتها جميعاً في برنامج متقن ومبرمج في جعل كوريا بلداً متقدماً في الطاقة النووية في أقل من أربعين عاماً.

الدعم الوطني القوي لبرنامج الطاقة النووية

يتطلب نجاح تنفيذ برنامج الطاقة النووية التعاون الوثيق بين أطراف عدة وطنية ودولية، ويتطلب هذا التعاون المتبادل وجود قيادة رشيدة وقوانين واضحة تحدد مسؤوليات كل طرف. ومن حسن الحظ فإن البرنامج الكوري قد حظي بدعم وتأييد حكومي قوي. وقد سعت الحكومة الكورية إلى أن يكون برنامجها للطاقة النووية حاضناً لكافة العلوم التكنولوجية المتقدمة بالإضافة إلى مهمته الأساسية في تلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية. وقد قام زونغمان ري أول رئيس كوري بإبرام اتفاقيات مع الولايات المتحدة الأمريكية والوكالة الدولية للطاقة الذرية من أجل الحصول على تأييد دولي واسع. وتم إنشاء قسم الطاقة الذرية في الحكومة الكورية الذي يخضع مباشرة لرئيس الجمهورية ومهمته تتجلى في إدارة البرنامج النووي من دون أية عقبات إدارية كما هو مبين في الشكل 5. وللقسم سلطة مماثلة لسلطة أي وزارة وهو المسؤول الرئيسي عن الهيئة المشرفة على البرنامج النووي NEIPO (Park,2004b). وقد حظيت هيئة البرنامج الوطني للطاقة النووية بالدعم والتأييد الوطني الشامل منذ تأسيسها قبل أربعين عاماً من أجل تأمين طاقة كهربائية مستقرة بالإضافة لتحقيق معايير السلامة والكفاءة العالية.

الاستثمار المتواصل في البنية التحتية بقيادة الحكومة

تقوم معظم البلدان في البداية بتبني خيار بناء محطات الطاقة النووية ضمن سياسة وخطط الحكومة، لأن بنية الشركات الخاصة في البلدان النامية لا تسمح لها بإنشاء محطات الطاقة النووية لما يتطلبه ذلك من رأس مال ضخم ومخاطرة في الاستثمار نتيجة للزمن الطويل الذي تتطلبه عملية البناء. وبالمقارنة مع الاستثمارات الضخمة فإن الطاقة النووية لا تعطي مردوداً مالياً كافياً قبل تشغيل محطة الطاقة النووية. وحتى في البلدان المتطورة مثل الولايات المتحدة الأمريكية أو بريطانيا فإن الشركات الخاصة تُعرِض عن الاستثمار في المحطات النووية بسبب المخاطرة المالية كما ذكرنا سابقاً. وبالتالي فإن على الحكومة أن تقوم بالدور الرئيسي في تأسيس البرنامج النووي من خلال استثمار الأموال والموارد البشرية. وفي الحالة الكورية استغرق تشغيل أول محطة للطاقة النووية حوالي 20 عاماً منذ تأسيس البرنامج الوطني للطاقة النووية في عام 1958. لقد تم بناء هذه المحطة بتمويل من بنك (EXIM) وبضمان من المؤسسة الكورية للطاقة الكهربائية (KEPCO) بسبب عدم وجود احتياطي كافٍ من العملة الأجنبية في البنك المركزي. وقامت الحكومة الكورية بضمان الدين وأبدت التزاماً قوياً من حيث الأولوية في الاستثمار في هذا المشروع. وبالتالي كان للحكومة ومؤسسة الكهرباء الكورية الوطنية الحق الحصري في إدارة محطات الطاقة النووية وتطويرها. لقد قللت الجهود الحكومية المبذولة هذه من مخاطر الاستثمار وضمان عدم تأخر العمل في بدايات برنامج الطاقة النووية الكوري، ولهذا يعتمد نجاح برامج الطاقة النووية في البلدان النامية على الدعم الحكومي القوي وإعطائه الأولوية في الاستثمار.



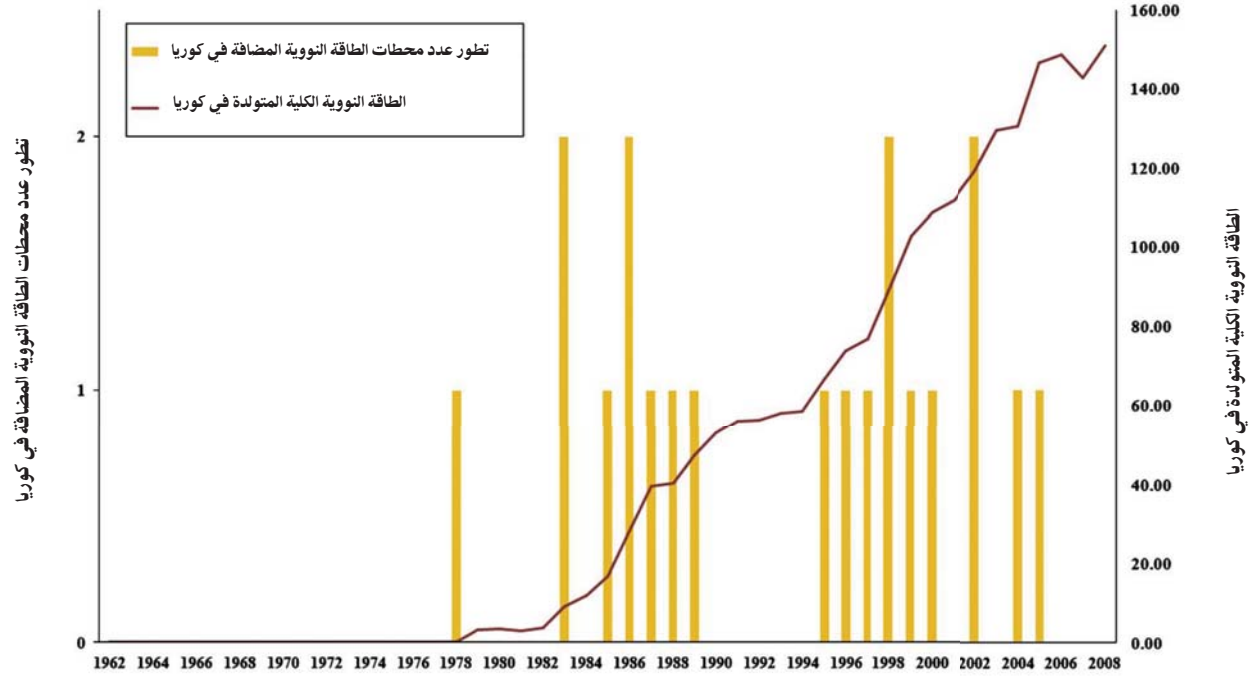
الشكل 6: تطور الاستطاعات النووية المضافة والطاقة النووية المولدة من محطات الطاقة النووية على مستوى العالم في الفترة 1966-2004 (IAEA, 2006).

لقد وضعت الحكومة الكورية الطاقة النووية في الأولويات الوطنية جنباً إلى جنب مع الصناعات البتروكيماوية، وصناعة الفولاذ، وبناء السفن. حيث قامت بالمحافظة على البرنامج الوطني للطاقة النووية وإرسائه بإرادةٍ قوية ووضعته ضمن سلم الأولويات في الخطط الطويلة الأمد والقصيرة الأمد على الرغم من عدم توفر السيولة المالية الكافية للمشروع. ونتيجة لهذا الضمان القوي من جانب الحكومة ساهمت الشركات المحلية والأجنبية في المشروع النووي الوطني نتيجة التقليل من مخاطر الخسارة.

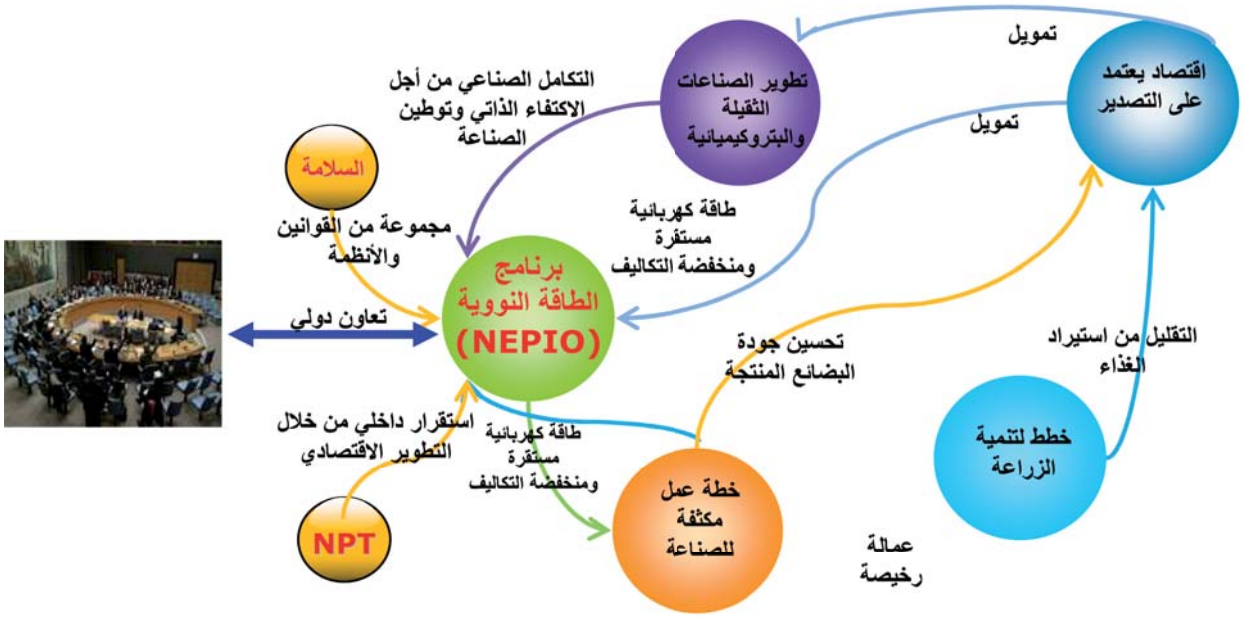
أوقفت بلدان متعددة برامجها للطاقة النووية بعد حدوث حادثة ثري مايل وحادثة تشيرنوبل كما هو موضح في الشكل 6. وبالتالي تناقص بناء محطات جديدة للطاقة النووية بشدة بعد العام 1984 (IAEA, 2006). وقد استمرت زيادة إنتاج الطاقة الكهربائية في كوريا بالرغم من عدم التوسع في تركيب استطاعات جديدة منذ عام 1990 بسبب تحسين معامل الإتاحية (الجهوزية) لمحطات الطاقة النووية. وبعكس معظم الدول، استمرت كوريا في تطوير البرنامج النووي وتحسين معايير الأمان كما هو مبين في الشكل 7. وتُلاحظ مرحلتا توقف بسبب العجز المالي، وتباطؤ الاقتصاد، والممانعة الشعبية.

التعاون بين برنامج الطاقة النووية والبرنامج الوطني للتنمية

لقد كان برنامج الطاقة النووية جزءاً من البرنامج الوطني للتنمية خلال جميع المراحل ولم ينفصل عنها. ومن الواضح أن البرنامج النووي الوطني لم يكن ليتطور بدون تطبيق نظام تعاون متناغم مع مفردات البرنامج الوطني الكامل. فعلى سبيل المثال، لم يكن ليبدأ تشغيل محطة الطاقة النووية بدون قاعدة معرفية مناسبة في إدارة محطات الطاقة الهيدروليكية، والحرارية، وبدون وجود شبكة كهربائية مناسبة. ولتغطية التكلفة الضخمة للمشروع النووي الوطني لابد من وجود قاعدة اقتصادية قوية. ويُعدُّ التطور الاقتصادي القوي مؤشراً لتطوير البرنامج النووي وتوسيعه. وبالإضافة إلى ذلك، فان التطور في المجال الزراعي ورفع مستوى المعيشة في الأرياف يسهم بشكل غير مباشر في دعم برنامج الطاقة النووية من خلال التقليل من استيراد المنتجات الزراعية، وحماية الاستقرار، والأمن الغذائي (Moon, 1971). ويؤدي عدم دعم الصناعات الثقيلة والبتروكيميائية إلى اللجوء إلى الخارج، وعدم توطين التكنولوجيا النووية. لكن كوريا نجحت بإنجاز مفاعلها الأول للطاقة النووية من خلال دعم الاقتصاد الوطني، والصناعات الثقيلة والبتروكيميائية وتطويرها (Nam, 1997).



الشكل 7: تطور عدد المحطات النووية المضافة والطاقة الكلية المولّدة من محطات الطاقة النووية في كوريا.



الشكل 8: التعاون المنظم والمنسق بين البرنامج النووي الوطني والبرامج التنموية الأخرى في كوريا.

لقد أسهم البرنامج الناجح للطاقة النووية في توليد الطاقة الكهربائية بوتيرة مستقرة مما أدى إلى الإسراع في عملية التطور والتقدم الاقتصادي، وزيادة الناتج المحلي وهذا أدى إلى الإسهام في بناء مفاعلات جديدة للطاقة النووية. وقد جعلت هذه التجربة من كوريا واحدة من البلدان الصناعية المتقدمة، وعلى صانعي القرار في البلدان النامية أخذ الدروس من التجربة الكورية، وتجنب الوقوع في أخطاء ناجمة عن عدم التنسيق والتعاون الكافي بين جميع الأطراف المحلية. يبين الشكل 8 البرنامج الاستراتيجي للطاقة النووية في كوريا بالاشتراك مع البرامج التنموية الأخرى. يمكن أن تختلف هذه الاستراتيجية حسب طبيعة كل بلد وظروفه.

التاريخ	الأنشطة المنفذة لتنمية الموارد البشرية	ملاحظات
9 نيسان/أبريل 1956	أول دفعة لـ ISNSE	شخصان (مختبرات Argonne)
3 أيلول/سبتمبر 1956	ثاني دفعة لـ ISNSE	5 أشخاص
25 شباط/فبراير 1957	ثالث دفعة لـ ISNSE	
نيسان/أبريل 1957	رابع دفعة لـ ISNSE	التاريخ غير محدد
10 أيلول/سبتمبر 1957	خامس دفعة لـ ISNSE	3 أشخاص
1 شباط/فبراير 1958	سادس دفعة لـ ISNSE	4 أشخاص
01 آذار/مارس 1958	تأسيس قسم الطاقة النووية في جامعة Hanyang	
10 أيلول/سبتمبر 1958	سابع دفعة لـ ISNSE	30 شخصاً: الولايات المتحدة (20)، بريطانيا (8)، فرنسا (2)
7 تشرين الأول/أكتوبر 1958	ثامن دفعة لـ ISNSE	15 شخصاً: أستراليا (6)، ألمانيا الغربية (9)
1 آذار/مارس 1959	تأسيس قسم الطاقة النووية في الجامعة الوطنية في سيؤول	
9 شباط/فبراير 1959	تاسع دفعة لـ ISNSE	شخصان: فرنسا (2)
1 آذار/مارس 1959	افتتاح المعهد الكوري لأبحاث الطاقة النووية KAERI	
15 تموز/يوليو 1959	أول مجلس للعلوم النووية	حل محل الجمعية النووية الكورية: مرة واحدة في السنة
6 آب/أغسطس 1959	عاشر دفعة لـ ISNSE	22 شخصاً

الجدول 1: تطور الموارد البشرية في نهاية الخمسينيات (KAERI, 1979; Korea Academy of Nuclear Safety, 2007).

استراتيجية تأمين الموارد البشرية و النظام التعليمي

أدركت الحكومة الكورية أهمية الأيدي العاملة المؤهلة في إنشاء برنامج الطاقة النووية وبنائه، حيث قامت هيئة الإشراف على البرنامج الوطني للطاقة النووية (NEIPO) بإيجاد برامج لتأهيل الموارد البشرية وتدريبها بإشراف الوكالة الدولية للطاقة الذرية والولايات المتحدة الأمريكية ودعمها من أجل تخريج كوادر محلية قادرة لاحقاً على القيام بمهمات التدريب بخبرات وطنية (Park, 2004b) (انظر الجدول 1).

وقامت الحكومة، من أجل تأمين الخبرات بشكل فوري، بتقديم الرواتب العالية لمن يحمل المؤهلات المطلوبة، واستدعاء الخبراء الأجانب في جميع مراحل الإنشاء والتشغيل لأول محطة طاقة نووية (KAERI, 2001a; Office of Atomic Energy, 1969). وأدركت الحكومة أيضاً أهمية مواكبة جميع التقنيات الحديثة والاطلاع باستمرار على أهم المكتشفات وهذا لن يحدث بالاعتماد على الخبرات الوطنية لوحدها وبالتالي برزت أهمية البعثات التعليمية. فقامت الحكومة بإرسال البعثات للشباب الموهوبين، وأسس لذلك برنامج دعي بالمدرسة الدولية للعلوم النووية والهندسة (ISNSE) الذي أعطى الفرصة للتدريب الخارجي عن طريق التمويل الداخلي والخارجي للموهوبين. واستمر هذا البرنامج على مدى 20 عاماً من عام 1956 حتى تم تأسيس قاعدة هندسية مؤهلة في نهاية السبعينيات. حيث تم إيفاد 310 أشخاص من عام 1956 إلى 1969 لتأهيلهم وتدريبهم في الجامعات ومراكز البحث المتقدمة حول العالم. يبين الجدول 2 التمويل الذي تم إنفاقه على البعثات وعدد الأشخاص الذين عادوا إلى البلاد بعد تأهيلهم. وظلت مشكلة هجرة العقول تواجه الحكومة الكورية نتيجة لعدم وجود فرص العمل الكافية والظروف الأدنى درجة مقارنة مع الدول المتقدمة (Office of Atomic Energy, 1970).

ولإنشاء قاعدة بشرية مستقبلية للبرنامج النووي تم إحداث أقسام الهندسة النووية للمرحلة الجامعية الأولى في الجامعات الكورية منذ البدايات الأولى للبرنامج النووي كما هو مبين في الجدول 1. حيث شهد هذا القسم إقبالاً شديداً من الطلبة الموهوبين والمتميزين نتيجة للدعم الحكومي القوي له وتشجيع الأبحاث المتعلقة بالطاقة النووية بالإضافة إلى دعم التطبيقات الإشعاعية في مجال الزراعة، والطب، والبتروكيماويات مما أعطى أهمية إضافية للبرنامج النووي (Park, 2004b). وقامت المعاهد الكورية أيضاً باستدعاء المدرسين، والمحاضرين الأجانب للاطلاع على أحدث الخبرات والمعارف، وتأسيس برنامج تعليمي بأعلى المستويات (KAERI, 1990).

التحول إلى المبادرات والمشاريع الصناعية

نتيجة للحرب الكورية (1950-1953) التي بدأت كوريا بالتعافي من نتائجها، فإن رؤوس الأموال الأجنبية بقيت مترددة في الاستثمار في هذا البلد، وبقيت كوريا تعتمد على الدعم الخارجي من المنظمات الدولية والشعوب الديمقراطية. وبدأ الدعم الأجنبي يأخذ أبعاده مع النمو الاقتصادي للبلاد، والحاجة المتنامية للاستثمار. وكان من غير الممكن، مع بناء أول مفاعل للطاقة النووية، الاستغناء عن التمويل الأجنبي لأن معظم التجهيزات قد تم شراؤها جاهزة من الخارج. لذلك قامت الحكومة بتقديم الضمانات الكافية نتيجة لخوف المستثمرين من الاستثمار في الطاقة النووية، وقامت الحكومة أيضاً بدمج ثلاث شركات للطاقة الكهربائية ضمن الشركة الكورية

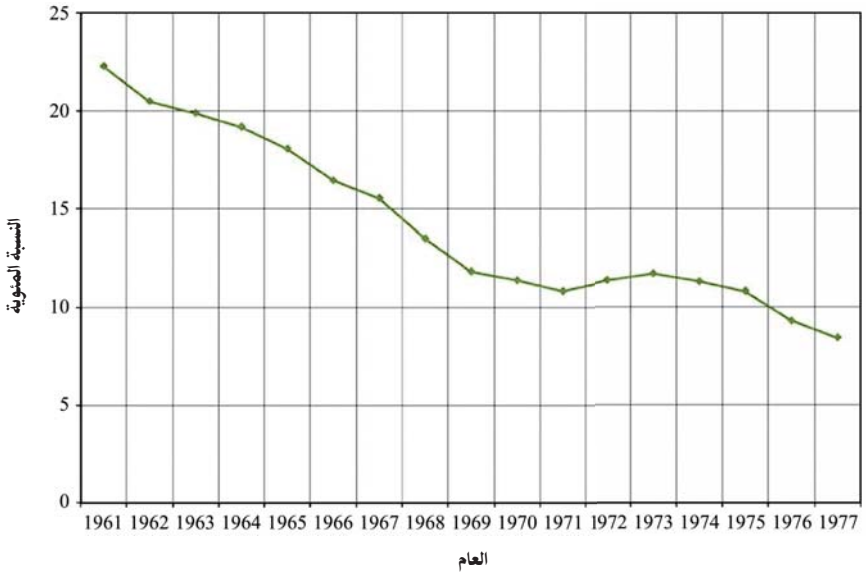
المصدر	الحكومة		الوكالة الدولية		إدارة التعاون الدولي		آخرون		المجموع العام	
السنة	الموفدون	العائدون	الموفدون	العائدون	الموفدون	العائدون	الموفدون	العائدون	الموفدون	العائدون
1964–1955	127	78	81	61	10	9	17	2	234	150
1965	–	–	13	6	–	–	3	1	16	7
1966	2	3	5	2	–	–	6	2	13	7
1967	–	–	10	11	–	–	5	2	15	13
1968	–	–	17	17	–	–	4	4	21	21
1969	–	–	10	4	–	–	1	2	11	6
المجموع	129	81	135	101	10	9	36	13	310	204

الجدول 2: تطور عدد الأشخاص الموفدين والعائدين لدراسة الطاقة النووية.

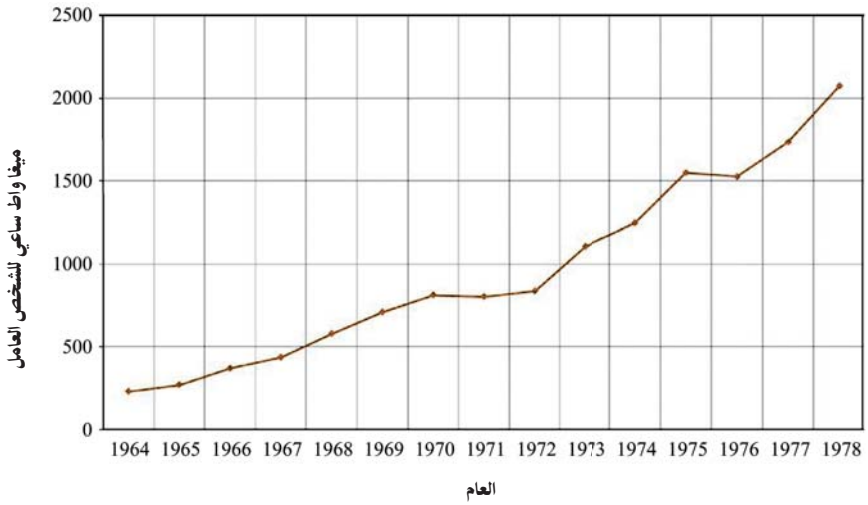
للطاقة الكهربائية (KEPCO) التي تعهدت البرنامج النووي في نهاية الستينيات (Hill, 1992). وكما يظهر في الأشكال 9 و10، فقد قامت الشركة الكورية للطاقة الكهربائية بتحسين أدائها والتقليل من الضياعات في عملية النقل والتحويل من 23% إلى 8% بين عامي 1961 و1978. وزادت نسبة توليد الطاقة بالنسبة لكل عامل إلى أكثر من ثمانية أضعاف خلال خمسة عشر عاماً. ونتيجةً لهذه الجهود انخفضت التكلفة التشغيلية من 127.2 (وان) لكل كيلو واط ساعي في عام 1961 إلى 37.9 (وان) لكل كيلو واط ساعي في عام 1973. وبالتالي زادت أرباح شركة الطاقة الكهربائية الكورية حيث أصبحت من أهم مصادر التمويل لبرنامج الطاقة النووية. وقد أسهمت الأزمة النفطية في عام 1973 بتقوية البرنامج النووي الكوري. وبعد ذلك انضمت كوريا إلى معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية، ووقعت معاهدة الاستخدام السلمي للطاقة النووية مع عدد من البلدان في عام 1970 مما أعطى البرنامج الوطني الكوري شرعيته. وقد ساعد الدعم الحكومي القوي للضمانات النووية في تأسيس خطة عمل طويلة الأمد للبرنامج النووي.

التوطين عبر نقل التكنولوجيا

لقد جرى بناء أول ثلاث محطات للطاقة النووية وفقاً لاتفاقية مفتاح باليد وبالاستعانة بمواد وتقنيات وخبرات أجنبية، مما دفع بالحكومة الكورية إلى تقييم الواقع المحلي والاستنتاج أن الصناعات الوطنية غير قادرة على تلبية متطلبات بناء المفاعلات



الشكل 9: تناقص الفاقد الكهربائي الناتج عن عملية النقل والتوزيع في كوريا (Korea National Statistic Office).



الشكل 10: تطور الطاقة الكهربائية المولّدة لكل شخص في كوريا (Korea National Statistic Office) .

	KEPCO*	KAERI*	KOPEC*	DOOSAN*	KNPC*	KPS*
إدارة المشاريع	☒					
التصميم والهندسة المعمارية			☒			
أنظمة التزود بالبخار النووية						
التصميم		☒				
التصنيع				☒		
مولد البخار				☒		
منظومة القيادة والتحكم						
التصميم			☒			
التصنيع				☒		
الإصلاح						☒
الوقود (مفاعلات الماء العادي)						
التصميم		☒				
التصنيع						
الوقود (مفاعلات الماء الثقيل)		☒				

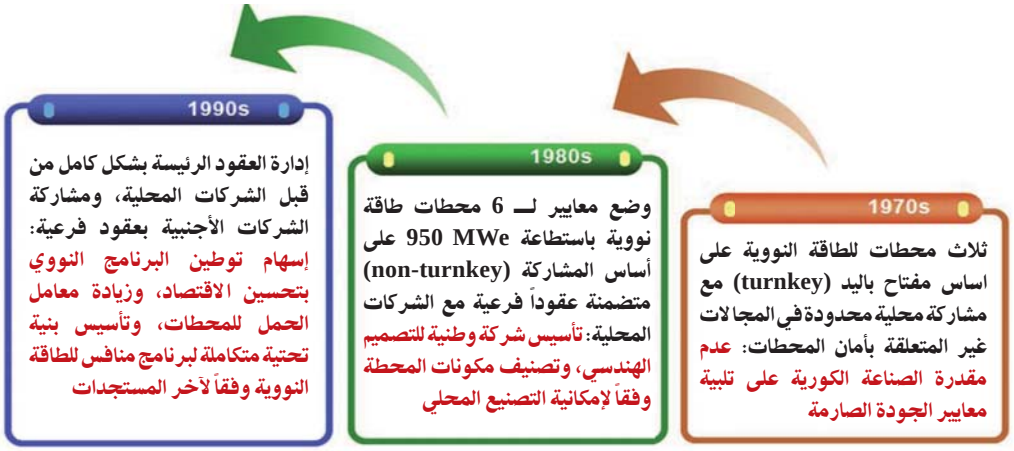
* KEPCO: الشركة الكورية للطاقة الكهربائية، KAERI: المعهد الكوري لأبحاث الطاقة الذرية، KOPEC: الشركة الكورية لهندسة الطاقة، DOOSAN: شركة دوسان للصناعات الثقيلة والبناء، KNPC: الشركة الكورية للوقود النووي، KPS: الشركة الكورية لهندسة الخدمات.

الجدول 3: دور كل من الشركات المحلية في سياسة توطين بناء المفاعلات النووية في كوريا.

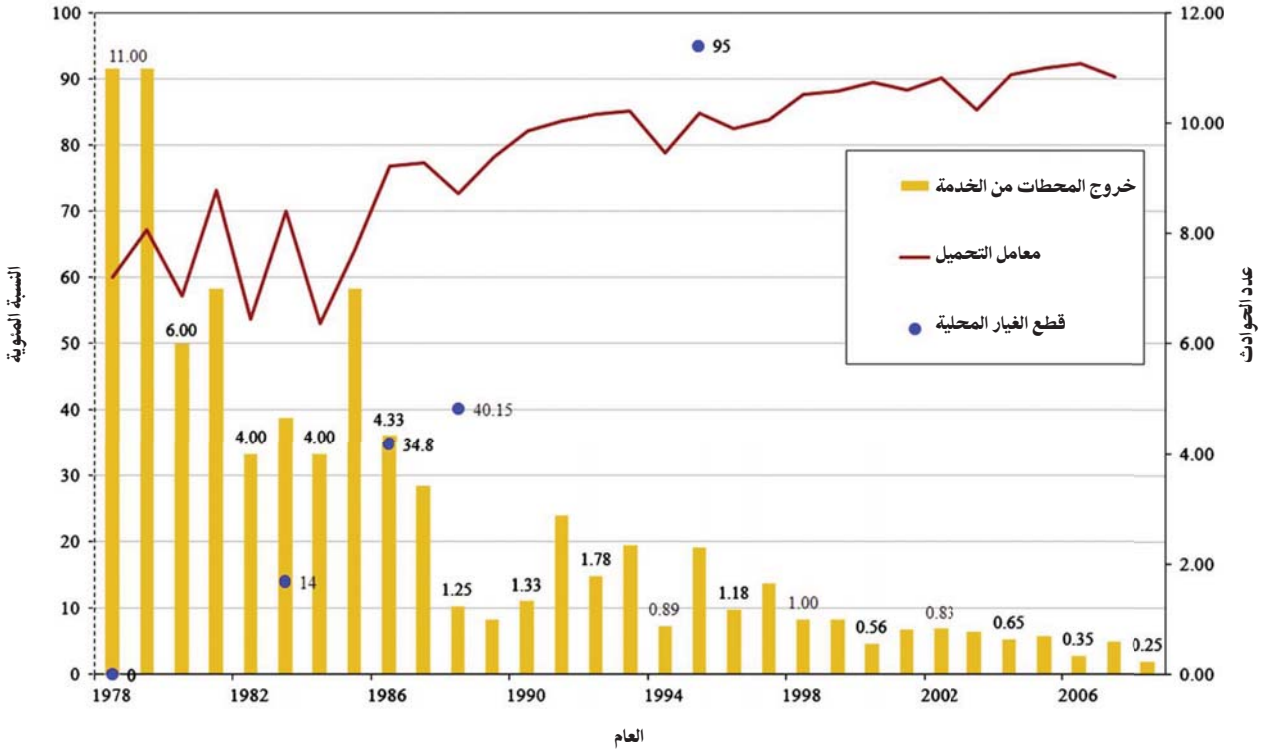
وتم تأسيس شركات بناء هندسية وشركات الصناعات الثقيلة بالتعاون مع شركات أجنبية. وبالتدريج قامت كوريا بتأسيس شركة وطنية للتصميم الهندسي وإنتاج المواد الأولية وضمت جميع الشركات بداخلها معهداً للأبحاث لتوطين بناء المفاعلات الوطنية كما هو مبين في الجدول 3.

وساهمت الشركات الخاصة أيضاً بتطوير بعض مركبات محطة الطاقة النووية بإشراف موردين أجانب (KAERI, 2001b; Sung and Hong, 1999). وطُلب من جميع الشركات الأجنبية أن تعمل مع الشركات المحلية ضمن عقود محددة ونسبة معينة تضمن توطين (استيطان) هذه الصناعات. وقد أدت هذه الاستراتيجية إلى تطور الخبرات الوطنية في البناء والتشغيل للوصول إلى تطوير محطة طاقة نووية كورية أنموذجية وبناء المفاعل العاشر بشكل كامل بخبرات وطنية في عام 1987 (KAERI, 2001a). وقامت كوريا كنتيجة لنجاح هذه السياسة المحلية ببناء 8 محطات طاقة نووية باستطاعة 1000 ميغاواط لكل منها OPR1000، وتطوير الجيل الثالث لمحطات الطاقة النووية APR1400، ويلخص الشكل 11 مراحل توطين التقنيات التي اتبعتها كوريا. لم توفر سياسة التوطين النقد الأجنبي فقط، بل وزادت من قدرة المصانع الوطنية للإنتاج المحلي لقطع الغيار، ويبين الشكل 12 تناقص الانقطاعات (الخروج من الخدمة) وتزايد معامل التحميل مع تزايد التصنيع المحلي لقطع الغيار. وساهم هذا الأمر أيضاً في

النووية، وهذا من شأنه أن يضر بالاقتصاد الوطني، وأن يؤخر عملية البناء في المفاعلات النووية. في حين أن تأمين التقنيات والخبرات محلياً يتطلب وقتاً طويلاً، وهذا السبب دفع بالحكومة إلى التعاقد مع جهات خارجية لبناء هذه المفاعلات اعتماداً على اتفاقيات مفتاح باليد واقتصار الدور المحلي على عمليات البناء بواسطة مهندسين مدنيين وبإشراف خبراء أجانب (KAERI, 1979). وقامت شركة الطاقة الكهربائية الكورية، بدءاً من بناء محطة الطاقة النووية الرابعة، بالاعتماد بشكل أكبر على الخبرات الوطنية في بناء المفاعل من خلال إبرام العقود الفرعية مع شركات محلية وتركيز عمل الشركات الأجنبية على العقود الأساسية، وبالتالي تحول دور الصناعة الوطنية من دور الرديف إلى دور أساسي في البناء،



الشكل 11: مراحل توطين البرنامج الوطني للطاقة النووية.



الشكل 12: تغير خروج المحطات من الخدمة وتزايد معامل التحميل مع زيادة تصنيع قطع الغيار المحلية في كوريا.

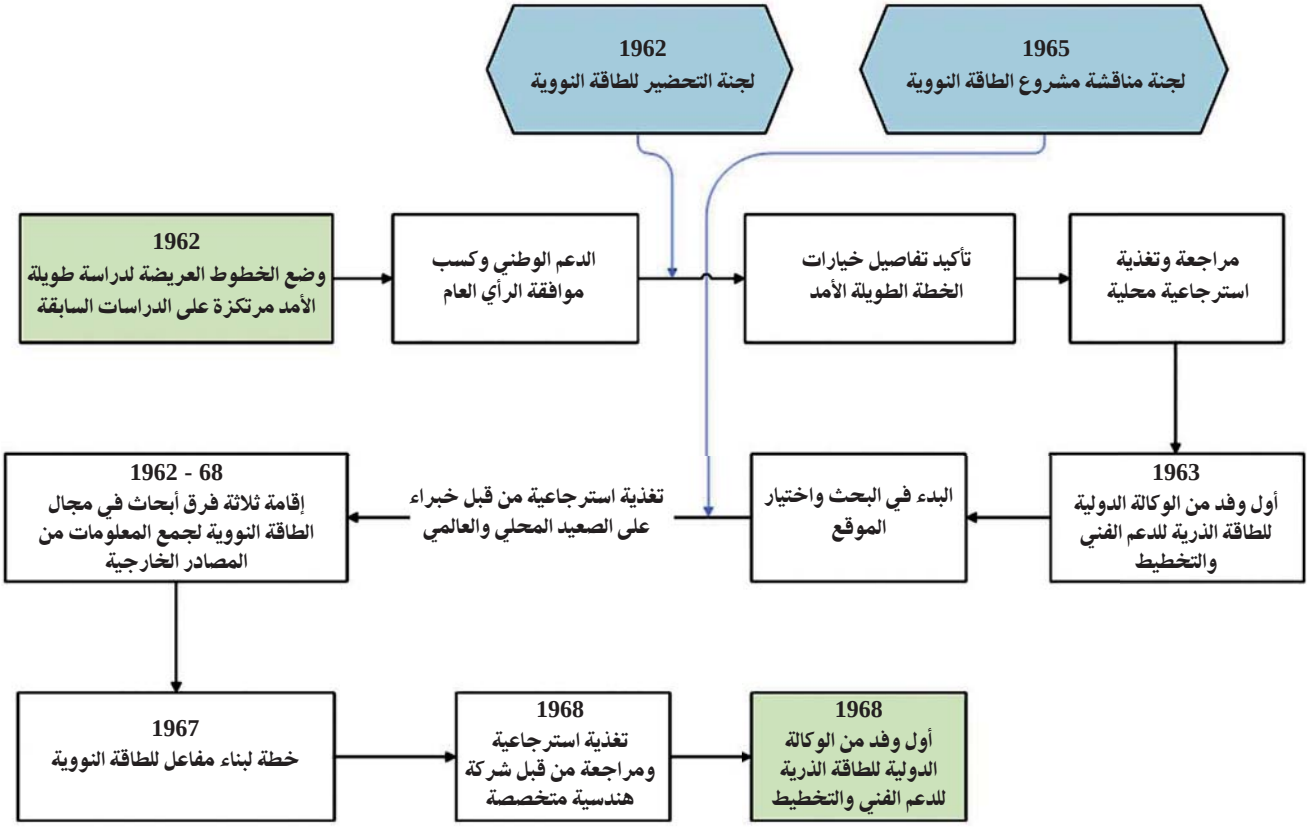
تحسين مواصفات الصناعات المحلية للمواد النووية وغير النووية مثل صناعة الفولاذ، وبناء السفن، وصناعة المعدات الثقيلة، الشيء الذي زاد من القدرة التنافسية في التجارة الخارجية.

التغذية الاسترجاعية والمراجعة المستمرة من قبل خبراء محليين ودوليين

تُعدُّ عملية المراجعة الناقدة والتغذية الاسترجاعية، وتقييم الخطط والقرارات المشتقة من المراجعات أساسية من أجل التقليل من إمكانية حدوث تناقضات ومشاكل غير متوقعة. وقد استخدمت كوريا المراجعة العميقة واستفادت من الدروس والخبرات المختلفة ليس فقط في مرحلة التخطيط وإنما أيضاً في مرحلة اتخاذ القرار.

ويجب أن تخضع هذه العملية في جميع مراحلها لقوانين صارمة من قبل الخبراء المحليين والأجانب ومستندة إلى معالم الوكالة الدولية الرئيسة ذات الشأن. وقد تمت مراجعة البرنامج الكوري للطاقة النووية بشكل مستمر من قبل خبراء محليين، وخبراء من الوكالة الدولية للطاقة الذرية، وخبراء من الولايات المتحدة الأمريكية، مما أدى إلى تطوير العمل، وزيادة الوثوقية بالبرنامج، وتلافي حدوث أخطاء مكلفة في البناء والتصميم. وعندما أُنجزت صياغة خطة طويلة الأمد في عام 1962 جرت مراجعة محلية لتحديد ملامح الخطة الطويلة الأمد وأُتبعت بمراجعة شاملة من قبل خبراء من الوكالة الدولية للطاقة الذرية كما هو مبين في الشكل 13.

وقامت كوريا، بالإضافة إلى ذلك، بالتعاقد مع شركات استشارية أجنبية لضمان جودة التصاميم والمخططات وذلك من وجهات نظر متعددة. وأخيراً، ومن خلال هذه العملية المستمرة، أقرّت كوريا خطتها طويلة الأمد للسنوات العشرين القادمة من عام 1968 إلى 1989 التي تضمنت خمس خطط متوسطة الأمد متعلقة بالمفاعلات النووية، وتطوير الوقود ومواد البناء، وتأمين موارد اليورانيوم، والتطبيقات الإشعاعية، والوقاية والمراقبة الإشعاعية والأمان النووي، والبحوث الأساسية، وتطوير الموارد البشرية والصناعة (Lee, 2004b; Office of Atomic Energy, 1969; Park, 2004c). وقد تم تطبيق هذه الاستراتيجية في عملية اختيار الموقع لمحطة الطاقة النووية كما هو موضح في الشكل 14. ونتيجة للمراجعة المستمرة من قبل خبراء محليين مع الاستفادة من تعليقات خبراء الوكالة منذ بدء تحديد الموقع إلى تحقيق الإجماع حول الموقع المختار (Lee, 2004a). وقد أدت هذه الإجراءات إلى التقليل من نسبة المخاطرة في الاستثمار بالمجال النووي من قبل المستثمرين المحليين والأجانب، وجذب المستثمرين بأعداد أكبر.



الشكل 13: التقييم والتخطيط طويل الأمد خلال فترة الستينيات.

التعاون الدولي النشط والحذر من التدخل الخارجي

لا يمكن للبرنامج الوطني للطاقة النووية أن يتطور بشكل منعزل عن الخارج لأنه يجب أن يلبي معايير دولية متعددة. ولذلك فإن التعاون الدولي المستمر، والاطلاع بشكل متواصل على التقنيات العالمية ومعايير الأمان أمر بغاية الأهمية. وهذا ما قامت به كوريا، حيث اشتركت بشكل فعّال في العديد من برامج التعاون الدولية لتحسين القدرة التقنية والحصول على دعم بنوعية عالية من الموارد البشرية. ويبين الجدول 4 المعطيات الإحصائية عن نشاطات التعاون الدولي في كوريا في الفترة 1957 إلى 1969. كما أسهمت هذه النشاطات في بناء الثقة الدولية لاستخدام الطاقة النووية. وينبغي على المخططين المحليين الأخذ بعين الاعتبار نتائج هذه النشاطات في خططهم.

نوع النشاط	عدد الأنشطة
مؤتمرات وندوات دولية (المستضافة والمشارك بها)	47
دعوة خبراء تقنيين أجانب	61 شخصاً (81 شخصاً من 1 يوم إلى 18 شهراً)
إيفاد داخلي للموارد البشرية	310 أشخاص
المشاركة بمشاريع علمية دولية	16 (مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية)
أنظمة الأمان ومنع الانتشار	التعميم الإعلامي و معاهدة عدم الانتشار النووية

الجدول 4: أنشطة التعاون الدولي في كوريا في الفترة 1957 إلى 1969.

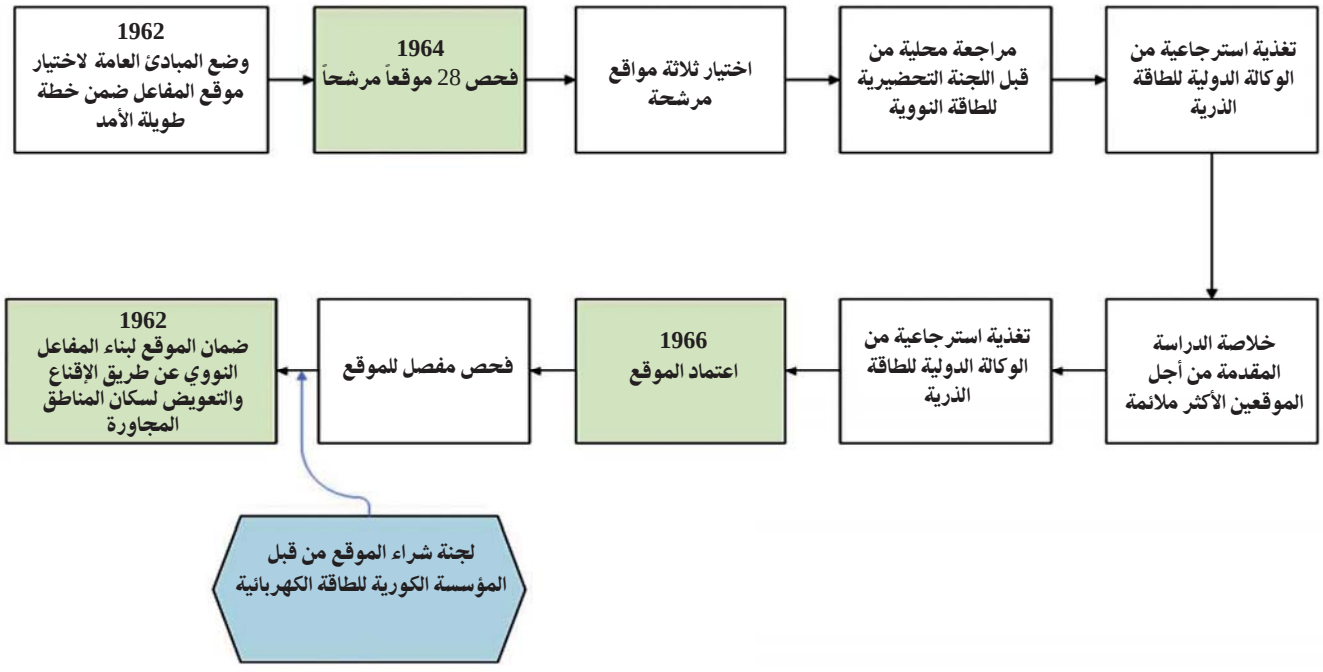
اندفع العديد من البلدان بعد تشغيل أول مفاعل تجاري في العالم في عام 1956 نحو إنشاء المفاعلات النووية، وقامت وسائل الإعلام الكورية بمتابعة هذا الحدث، وإعداد تقارير مهمّة حول الصناعة النووية وكيف أن كوريا يمكن أن تتحول إلى العالم المتقدم باستخدام هذه التقنية الجديدة (Park, 2004c). وقامت كوريا بدراسة الوضع العالمي الجديد من خلال إرسال مندوبين للمشاركة في البرامج الدولية وإنشاء مكاتب لها في بلدان العالم المختلفة. وقد استخدمت NEIPO هذه الجهود بشكل فعال حيث قامت بجمع المعلومات اللازمة من الشبكة الدولية (KAERI, 1979, 1990; KHNP, 2008). وعند مواجهة أي صعوبة كانت تستخدم الدروس المستفادة من البلدان المتقدمة للمساعدة في الوصول إلى نتائج موافقة للحالة الوطنية. وقام فريق العمل بزيارة العديد من المعاهد ذات العلاقة في البلدان المتقدمة لجمع المعلومات، وفهم سياساتهم في تطوير برامج الطاقة النووية. وتضمنت هذه التحقيقات المواضيع الرئيسة بما فيها الحالة الراهنة للتكنولوجيا المستخدمة في المفاعلات وتبيان الجدوى الاقتصادية من هذه المفاعلات، وخبرات البناء، والتشغيل، وعملية اختيار المواقع المناسبة للمفاعلات، واستراتيجية تأمين دورة الوقود النووي، والتمويل المالي للمفاعلات النووية (KHNP, 2008).

حشد كل الموارد والجهود من أجل توليد الطاقة

تعاني البرامج النووية في بدايتها في معظم البلدان النامية من نقص الموارد اللازمة لتطوير البرنامج الوطني للطاقة النووية بدءاً من نقص الموارد البشرية إلى التمويل اللازم والقاعدة الصناعية الملائمة. وبالتالي، فإذا لم تقم هذه البلدان بتطوير نظام لتوليد الطاقة لديها بما فيها اللجوء إلى برامج الطاقة النووية يبقى النمو الاقتصادي والاجتماعي، وتحسين مستوى المعيشة في خطرٍ حقيقي. ولقد أدركت كوريا هذه الحقيقة، وجعلت أهمية ذلك على الأمن الوطني بما يوازي أهميته بموضوع النزاع مع كوريا الشمالية. وبعقل منفتح ورؤية واضحة استطاعت تجنب العقوبات الدولية نتيجة الشبهة بتطوير برنامج عسكري للطاقة النووية بهدف تطوير سلاح نووي. وقد أعطى هذا البرنامج النووي السلمي الثقة لكوريا، وأكسبها دعم المجتمع الدولي. ويبين الجدول رقم 5 موجزاً حول تاريخ كوريا في الضمانات الدولية منذ بدء برنامجها النووي حتى عام 2001. لقد بدأت كوريا برنامج الضمانات بشكل رسمي في عام 1968 مع تمرير اتفاق الضمانات بين كوريا والولايات المتحدة والوكالة الدولية. ففي الأول من حزيران/يونيو من عام 1968 وقعت كوريا على اتفاقية منع انتشار الأسلحة النووية التي دخلت حيز التنفيذ في 23 نيسان/أبريل عام 1975. وفي السنة نفسها وقعت كوريا اتفاقية الضمانات الشاملة التي طبقت على جميع نشاطات الطاقة النووية المحلية. ووقعت كوريا العديد من الاتفاقات الثنائية مع الدول بهدف الاستخدام السلمي للطاقة النووية. وانتسبت كوريا إلى العديد من المنظمات الدولية كمجموعة المزودين النوويين Nuclear Suppliers Group (NSG) وجمعية المصدرين النوويين Zannger Committe، واتفاق واسنر Wassenaar Arrangement. ووضعت الترتيبات اللازمة مع جارتها الشمالية لإعلان شبه الجزيرة الكورية منطقة خالية من الأسلحة النووية في 19 شباط/فبراير عام 1992 (KAERI, 1997).

التكلفة والفوائد من استخدام نوعين مختلفين من المفاعلات

جرى في كوريا بناء نوعين مختلفين من المفاعلات النووية، الأول هو مفاعل الماء الخفيف LWR، والثاني مفاعل الماء الثقيل المضغوط PHWR. حيث جاء استخدام النوع الثاني نتيجة للظروف المتعلقة بعدم ضمان تأمين توريد اليورانيوم المخصب بسبب الاعتماد على مصدر وحيد للتزود بالوقود النووي، وإمكانية استخدام اليورانيوم الطبيعي في هذه المفاعلات. وبالتالي أخذت الشركة الكورية للطاقة الكهربائية بعين الاعتبار أي انقطاع محتمل في تزويد اليورانيوم المخصب نتيجة التبدل المستمر في السياسة العالمية تجاه الطاقة النووية (KAERI, 1990; Park, 2004c). ولكن هذا الوضع تغيّر بشكل تدريجي مع ظهور أطراف عدة في العالم لتخصيب اليورانيوم، والتنافس الشديد فيما بينها، بالإضافة إلى ظهور فكرة تأسيس بنك لليورانيوم المخصّب.



الشكل 14: اختيار الموقع وعمليات التقييم خلال فترة الستينيات.

ويتطلب هذان النوعان المختلفان من المفاعلات مضاعفة الطلب على معظم الموارد البشرية في التشغيل والتنظيم والبحث وتطوير الاستثمار. ونتيجة لتجربة شركة الطاقة الكهربائية الكورية العملية في هذا المجال، فقد قامت الشركة بتطوير نوع جديد من المفاعلات لحلّ مشكلة عدم كفاية الموارد وكنوع من توطين هذه الصناعة.

وبالإضافة إلى ذلك فقد كانت مفاعلات الماء الثقيل المضغوط تواجه مشكلة في تدابير الأمان مقارنة بمفاعلات الماء الخفيف. وللتغلب على مشكلة تأمين الوقود وتحسين كفاءة دورة الوقود النووية قام معهد أبحاث الطاقة النووية الكوري بتطوير تكنولوجيا جديدة (DUPIC) للاستخدام المباشر للوقود المستهلك من مفاعل الماء

تاريخ التوقيع	تاريخ دخوله حيز التنفيذ	أنشطة عدم الانتشار النووي في كوريا
	03 شباط/فبراير 1956	اتفاقية حول الطاقة الذرية بين كوريا والولايات المتحدة
08 آب/أغسطس 1957		كوريا تصبح عضواً في الوكالة الدولية
11 آذار/مارس 1958		سن قانون الطاقة الذرية
	24 تموز/يوليو 1964	معاهدة الحظر الجزئي للتجارب النووية
05 شباط/فبراير 1968	05 شباط/فبراير 1968	اتفاق نقل الضمانات المتعلق بالاتفاقات الثنائية بين كوريا والوكالة الدولية والولايات المتحدة الأمريكية
01 حزيران/يونيو 1968	23 نيسان/أبريل 1975	اتفاقية عدم انتشار الأسلحة النووية
24 تشرين الثاني/نوفمبر 1972	19 آذار/مارس 1973	مراجعة اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا والولايات المتحدة الأمريكية
	19 تشرين الأول/أكتوبر 1974	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وفرنسا
22 أيلول/يوليو 1975	22 أيلول/سبتمبر 1975	اتفاق نقل الضمانات المتعلق بالاتفاقات الثنائية بين كوريا والوكالة الدولية وفرنسا
31 تشرين الأول/أكتوبر 1975	14 تشرين الثاني/نوفمبر 1975	اتفاق الضمانات الشاملة (INFCICR/236)
1975		إنشاء نظام وطني لحصر المواد النووية ونقلها (يدخل حيز التنفيذ ضمن اتفاقية عدم الانتشار النووي)
1975		أول تفتيش على محطة الطاقة النووية Kori-1(أول محطة طاقة نووية)
26 شباط/فبراير 1976	26 شباط/فبراير 1976	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وكندا
10 كانون الأول/ديسمبر 1976	10 تشرين الثاني/نوفمبر 1976	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وإسبانيا
2 أيار/مايو 1979	02 أيار/مايو 1979	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وأستراليا
3 آذار/مارس 1981	3 آذار/مارس 1981	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وبلجيكا
21 كانون الأول/ديسمبر 1981		تأسيس مركز الأمان النووي
29 كانون الأول/ديسمبر 1981		اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية
	آب/أغسطس 1985	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا واليابان
	11 نيسان/أبريل 1986	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وألمانيا
1989		الاشتراك بلجنة التنسيق للرقابة على الصادرات المتعددة الأطراف
14 شباط/فبراير 1990		تأسيس المعهد الكوري للأمان النووي
14 كانون الأول/ديسمبر 1990	14 تشرين الثاني/نوفمبر 1990	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وروسيا (الاتحاد السوفييتي)
1991		عقد أول اجتماع تنسيقي مشترك على تنفيذ الضمانات بين الوكالة الدولية وكوريا
18 كانون الأول/ديسمبر 1991	19 شباط/فبراير 1992	تصريح رئيس كوريا RohTae-woo بخلو كوريا من السلاح النووي
27 تشرين الثاني/نوفمبر 1991	27 كانون الأول/ديسمبر 1991	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وبريطانيا
31 تشرين الأول/أكتوبر 1994	11 شباط/فبراير 1995	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا والصين
1994		تأسيس مركز التقانة للتحكم النووي
تشرين الأول/إكتوبر 1995		انتساب إلى مجموعة المزودين النوويين Nuclear Suppliers Group (NSG)، وجمعية المصدرين النوويين The Zannger Committe
نيسان/أبريل 1996		انتساب إلى اتفاق واسنرThe Wassenaar Arrangement
9 أيلول/سبتمبر 1996	1997	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا والأرجنتين
24 أيلول/سبتمبر 1996	24 أيلول/سبتمبر 1999	معاهدة الحظر الشاملة
20 تشرين الأول/أكتوبر 1996	1997	اتفاقية الطاقة الذرية بين كوريا وفيتنام
01 كانون الأول/ديسمبر 1996		تأسيس هيئة الأمان النووي
21 حزيران/يونيو 1999	21 شباط/فبراير 2004	البروتوكول الإضافي للضمانات الشاملة
1999		تأسيس مجموعة عمل لتعزيز التعاون بين كوريا والوكالة الدولية
17 تشرين الأول/نوفمبر 2001	17 تشرين الأول/أكتوبر 2001	مذكرة تفاهم بشأن تعزيز التعاون في تنفيذ الضمانات في مفاعلات الماء الخفيف

الجدول 5: تاريخ برنامج الضمانات لكوريا الجنوبية.

المضغوط PWR في مفاعلات (CANDU). ومع ذلك، فقد كانت هذه التقنيات تواجه باستمرار مسألة الجدوى الاقتصادية.

صعوبة اختيار مواقع دفن النفايات المشعة

لقد استغرقت معظم البلدان النووية حوالي 20 عاماً للحصول على الموافقة الشعبية بشأن أماكن تخزين النفايات المشعة المتوسطة الشدة الإشعاعية والمنخفضة الشدة الإشعاعية. فعلى سبيل المثال، بدأت كوريا بعملية اختيار أماكن تخزين النفايات المنخفضة الشدة الإشعاعية في عام 1985 وتوصلت إلى اختيار الموقع بعد 19 عاماً في عام 2005. لذلك يترتب على الخبراء مخططي الطاقة البحث عن مكان تخزين النفايات النووية منذ بداية البرنامج النووي ومن خلال انطلاق الأنشطة الدعائية الإيجابية الواسعة النطاق لدعم البرنامج النووي.

وعندما كانت الحكومة في مرحلة بناء أول مفاعل للطاقة النووية في السبعينيات كان اهتمامها متركزاً على التكاليف، وضمان الجودة والأمـان، والبرنامج الزمني المخطط للبناء، ولكنها لم تعطِ أهمية كافية لبعض الأمور المهمّة مثل الحصول على التأييد الجماهيري لمسألة تخزين النفايات المشعة. وبـدأت الحكومة الكورية جهودها لإيجاد مواقع للتخلص من النفايات المشعة في الثمانينيات. وقد تم تأمين الدعم المالي من مولّدي النفايات، كشركات توليد الطاقة والمستشفيات والصناعة بنسب متفاوتة وفقاً لكمية النفايات المولّدة. وجرى تحصيل الرسوم الأعلى من أصحاب/مشغلي محطات الطاقة عن طريق رفع التعرفة الكهربائية بمعدل 1.414 (وان) بالكيلوواط–ساعة باعتبار أن النسبة الأعلى للنفايات المشعة ذات الشدة الإشعاعية الأكبر تنتج من هذه المصادر (KAERI, 1979; KEPCO, 1990).

ونتيجة للنمو الاقتصادي، وارتفاع مستوى المعيشة في الأرياف بات صعباً إيجاد مكان للتخلص من النفايات المشعة والوقود المستنفد. وبعد عشرين عاماً من الجهود الرامية لإيجاد مواقع لتخزين النفايات المشعة المنخفضة الشدة الإشعاعية والمتوسطة الشدة الإشعاعية واجه هذا المشروع مقاومةً شديدةً من المجتمع المحلي، ومن جماعات حماية البيئة في الثمانينيات والتسعينيات. حيث دعمت مجموعات حماية البيئة الجماعات المحلية لمعارضة جهود الحكومة. وهذا دفع الحكومة للقيام بحملة لتعريف الجماهير بضرورة الطاقة النووية وفوائدها، ولزيادة تقبل الشعب لموضوع الطاقة النووية، ولمسألة معالجة النفايات المشعة (KAERI, 2001a). وفي عام 2005 تم اختيار مكانٍ لتخزين النفايات المشعة المتوسطة الشدة والمنخفضة الشدة بعد قبول المجتمع المجاور له ولكن بتكاليف وتعويضات عالية جداً. ومع ذلك، فإن مستقبل القبول الشعبي لإدارة الوقود النووي المستنفد لا يدعو للتفاؤل، ولم يعد هناك وقت كافٍ أمام الحكومة لمعالجة هذا الموضوع لأن مخازن الوقود النووي المستنفد في محطات الطاقة سوف تمتلئ تماماً في عام 2016. ولذلك فإن الدرس المهمّ المستخلص من التجربة الكورية هو التخطيط لموضوع تخزين النفايات المشعة منذ بداية بناء أول محطة طاقة نووية. حيث تزداد صعوبة ذلك مع زيادة النمو الاقتصادي، وتحسن مستوى المعيشة، وزيادة الكثافة السكانية. وبالتالي يجب البدء في مناقشة موضوع النفايات المشعة، ووضع إطار قانوني لها في المرحلة الأولى لأول محطة طاقة نووية بالرغم من أن الحاجة لمواقع التخزين تأتي بعد فترة طويلة من تشغيل المحطة.

البطء في التحضير لنظام الأمان والسلامة النووية

شرعت الحكومة الكورية باتخاذ التدابير اللازمة لإنشاء نظام أمان نووي عندما فرغت من وضع الخطط والتحضير لبناء أول مفاعل نووي. وكانت هذه التحضيرات لإنشاء إطار لأنظمة الأمان النووي بمثابة سباق مع الزمن، واستلزمت عملاً شاقاً لتحقيق ذلك بسبب ضيق المهلة المتاحة والنقص في الخبرات اللازمة. ولذلك جرى تبني معظم القواعد التقنية من الولايات المتحدة واليابان والدول الصناعية المجاورة التي كانت قدوة للحكومة الكورية في تحقيق التنمية الاقتصادية. وجرى أخذ القوانين والتشريعات من البرنامج النووي الياباني. وحدث تعارض في مختلف مراحل تأسيس التنظيم النووي نتيجة اختلاف القوانين بين الولايات المتحدة واليابان (KAERI, 1979, 1990; Park, 2004c). ومباشرة بعد البدء بتحقيق الأرضية المناسبة لأول محطة طاقة نووية جرى تشريع القواعد الناظمة لبناء محطة الطاقة النووية. ومع ذلك لم تبدأ عملية الترخيص إلا بعد ثلاثة أشهر مما أدى إلى وصول الرخصة بالكاد بالتزامن مع وضع اللبنة الأولى في بناء محطة الطاقة النووية. والسبب الرئيسي وراء البطء في إعداد الإطار التنظيمي هو عدم كفاية القوى العاملة المؤهلة، وانخفاض الرؤية الواضحة لأهمية الحاجة إلى النشاط التنظيمي، وهذا أدى إلى خلق ظروف مواتية لتأخر ترخيص المفاعل النووي. ويمكن أن يؤدي هذا التأخير إلى فقدان رؤوس الأموال الأجنبية بسبب فقدان ثقة حاملي الأسهم (المشاركين في المشروع). إلا أن مشروع محطة الطاقة النووية الأول استمر دون مشاكل كبيرة فقط بسبب الجهود المخلصة للأعضاء الأساسيين.

ولم يحقق النظام الأولي لبرنامج التنظيم النووي الذي تم إنشاؤه المعايير العالمية للضمانات وحماية المواد النووية إلا بعد أن تمت المصادقة على البروتوكول الإضافي للوكالة الدولية للطاقة الذرية. ألقت التجربة الكورية الضوء على أهمية التحضير المبكر للإطار التنظيمي لأنظمة الأمان والحماية، والسلامة النووية، والإسراع بوضع برنامج مستقل ذي كفاءة عالية بهدف تحقيق الاستخدام الآمن للطاقة النووية.

التحديد الواضح للمسؤوليات والمهام في عملية البناء

يُعدُّ تحديد المهام أمراً مهمّاً في عقد إنشاء المفاعل النووي بين الجهة المنّفذة والجهة المستفيدة، وقد يؤدي أي غموض أو التباس في هذا الأمر إلى ضياع الجهد، والوقت، وهدر الأموال. وقد قدّم مشروعُ بناء مفاعل البحث الكوري الأول في بداية الستينيات درساً مفيداً. فقد قام العلماء والمهندسون الكوريون بالمساهمة الفاعلة وتحمل المسؤوليات في مختلف مراحل البناء في مفاعل البحث الأول بالرغم من أن العقد ينص على أن الجهة المتعهدة للبناء يقع على عاتقها البناء الكامل وتسليم المفاعل بشكل كامل وجاهز (مشروع مفتاح باليد). إلا أن الحكومة الكورية لم تكن قد وضعت القوانين اللازمة لتحديد المسؤوليات وبالتالي لم تكن قادرة على المطالبة ببعض الحقوق في مختلف مراحل البناء (KAERI, 1979, 1990). ولكن شركة الطاقة الكهربائية الكورية أخذت العبرة من هذا الدرس ووضعت إطاراً مناسباً لتحديد المهام والمسؤوليات وقانوناً للغرامات والعقوبات المفروضة نتيجة للخروج عن الجدول الزمني من قبل المتعهد (KHNP, 2008; Park, 2004a). ففي وقت لاحق أثناء بناء أحد المفاعلات تم تسريح 27 عاملاً نتيجة ارتكابهم بعض الأخطاء وعدم التزامهم بأخلاق العمل (KHNP, 2008). فالعمل النشيط والفاعل في البناء بالإضافة إلى الفكر المبدع في حلّ العقبات ساعد في رفع سوية العمل لدى العمال الأجانب والمحليين على حدّ سواء.

الخاتمة

يحتاج تطوير الطاقة النووية إلى وقتٍ كافٍ ومصادر تمويلية ضخمة، ويُعزى ذلك إلى طبيعة البرنامج النووي الذي يشمل قضايا تتعلق بالمواد والإشعاعات المؤينة مع ما ينطوي عليه ذلك من تحديات تقنية واجتماعية. وتتطلب هذه المزايا الجوهرية تخطيطاً ناجحاً وشاملاً وتحضيراً جيداً واستثماراً في بنيةٍ تحتيةٍ مستدامة توفر الدعم اللازم في المجالات التشريعية، والتنظيمية، والتقنية، والقدرات البشرية والصناعية (IAEA, 2007a). وبهدف مساعدة البلدان النامية في إنشاء برامج للطاقة النووية، نوقشت في هذا العمل الدروس الأربعة عشر المستقاة من التجربة الكورية في بناء برنامج للطاقة النووية من خلال التركيز بشكل أساسي على عمليات التخطيط وبناء الاستراتيجيات. ولضمان نجاح البرنامج وتطوره، جرى التأكيد على تحقيق التكامل بين المعارف المتنوعة وتأمين الدعم الكامل، والاستثمار المستمر، والمراجعة الدائمة لكلّ مرحلة، والأخذ بكافة الآراء ووجهات النظر، والتواصل مع العالم ومع ما تمّ التوصل إليه في مجال الطاقة النووية. وتمكنت كوريا نتيجة هذه الجهود المبذولة وتأكيدها على سياسة عدم الانتشار النووي من تحقيق هذا النجاح الباهر على كافة الصعد، واستكملت مقدرتها على توطين برنامج متكامل لبناء محطات الطاقة النووية بأيدٍ وطنية. وأكدت بعض الدروس على أهمية الرؤية الواضحة والتخطيط الأولي في جميع مراحل البرنامج النووي. حيث رأينا، على سبيل المثال، الأثر الناجم عن تأخر التخطيط الأولي لموقع التخلص من النفايات المشعة، ووضع إطار خطة التنظيم النووي.

يعاني الملايين من الناس من نقص إمدادات الكهرباء، وبالتالي فهم يعيشون بمجتمعات ذات مستويات معيشية منخفضة. ولقد احتاجت كوريا في الخمسينيات إلى الطاقة لتحسين مستوى الحياة وشروط المعيشة. وأسهمت الطاقة النووية في كوريا بإحداث نهضة كبيرة بمختلف ميادين الحياة وزيادة الناتج المحلي الإجمالي خلال 50 سنة. وعلى الرغم من أن المشاكل، والظروف الاستثنائية التي عانت منها كوريا في الخمسينيات ليست متطابقة مع ظروف الدول النامية الأخرى، فإن دراسة الحالة الكورية يمكن أن تشكل درساً مرجعياً مهمّاً للدول النامية بهدف تحقيق حياة أفضل، وبناء خطط طموحة للطاقة مع تجنب الهفوات التي واجهت البرنامج النووي الكوري بسبب عدم التحضير و/أو عدم التخطيط الكافي.

واستناداً إلى الدروس الرئيسة المعروضة في هذا البحث، يجري حالياً تطوير برنامج تعليمي ودراسة حالة شاملة للمساهمة في تطوير البنية التحتية السلمية والاقتصادية للطاقة النووية بما في ذلك تطوير 19 بنداً متعلقاً بمعالم الوكالة الدولية للطاقة الذرية لتطوير البرنامج النووي مثل: الحالة الوطنية، والسلامة النووية، والإدارة، والتمويل والتغطية المالية، والإطار التشريعي والضمانات، والإطار التنظيمي، والحماية من الإشعاع، والشبكة الكهربائية، وتنمية الموارد البشرية، وإشراك المستثمرين، ودراسة الموقع والمرافق التابعة، ودعم البيئة وحمايتها، والتخطيط لحالة الطوارئ، والأمن والحماية المادية، ودورة الوقود النووي، والنفايات المشعة، والمشاركة الصناعية، وشراء المستلزمات النووية .

المراجع

Hill, L.J.,1992. Pricing initiatives and development of the Korean power sector policy lessons for developing-countries. Energy Policy 20, 344–354.

IAEA, 2006. Nuclear Power And Sustainable Development, Vienna.

IAEA, 2007a. Considerations to Launch a Nuclear Power Program, Vienna.

IAEA, 2007b. Managing the First Nuclear Power Plant Project, Vienna.

IAEA,2007c. Milestones in Development a National Infrastructure for Nuclear Power, Vienna.

IAEA, 2007d. Nuclear Technology Review, Vienna.

IAEA, 2008. Nuclear Technology Review, Vienna.

KAERI, 1979. 20 Years Story of Korea Nuclear Power. Korea Publication Ltd., Seoul.

KAERI, 1990. 30 Years Story of Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon.

KAERI, 1997. Handbook of Non-Proliferation, Daejeon.

KAERI, 2001a. 40 Years Story of Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon.

KAERI, 2001b. Nuclear Power Project: Policy and Korean Experience. KAERI, Seoul.

KEPCO, 1990. Whitepaper on Nuclear Power Generation 1990, Seoul. KEPCO, 2009. Statistics of Electric Power in Korea. KEPCO, Seoul. KHNP, 2008. Korea Nuclear Power, 30 Years Story of Seoul.

Kim, K.M., 1988. The Economic Development and the Heavy and Chemical Industrialization in Korea. Jigu Publishing Co., Seoul.

Korea Academy of Nuclear Safety, 2007. Investigation of Nuclear Development at the Early Stage in Korea. Korea Atomic Energy Research Institute, Seoul.

Korea National Statistic Office, Productivity: Electricity Generation Per Worker, Korea Power Engineering Company, ed.

Korea National Statistic Office, Total Loss of Electricity, Korea Power Engineering Company, ed.

Korea Power Engineering Company, 1989. 100 Years Story of Korea Electricity, Seoul.

Lee, C.G., 2004a. Korea Nuclear Power Behind Story: A Retrospective of My Nuclear Power, 2nd ed. KyungRim Publication, Seoul.

Lee, M.H., 2004b. Korea Nuclear Power Behind Story: A Retrospective of Nuclear Power Program in Early Period, 2nd ed. KyungRim Publication, Seoul.

Moon, P.Y., 1971. The saemaul (New Community) movement. In: Cho, L.J., Kim, Y.H. (Eds.), Economic Development in the Republic of Korea: A Policy Perspective. East-West Center, Honolulu.

Nam, D.W., 1997. Korea's Experience of Economic Growth, Korea's Economic Growth in a Changing World. Samsung Economic Research Institute, Seoul.

OECD/IEA, 2008. World Energy Outlook 2008. IEA Publications, Paris.

OECD/NEA, 2008. Nuclear Energy Outlook 2008. IEA Publications, Paris.

Office of Atomic Energy, 1969. 10 Years Story of the Office of Atomic Energy. Gwangmyeong Print Corporation, Seoul.

Office of Atomic Energy, 1970. Yearbook of Nuclear Power 1970, Seoul.

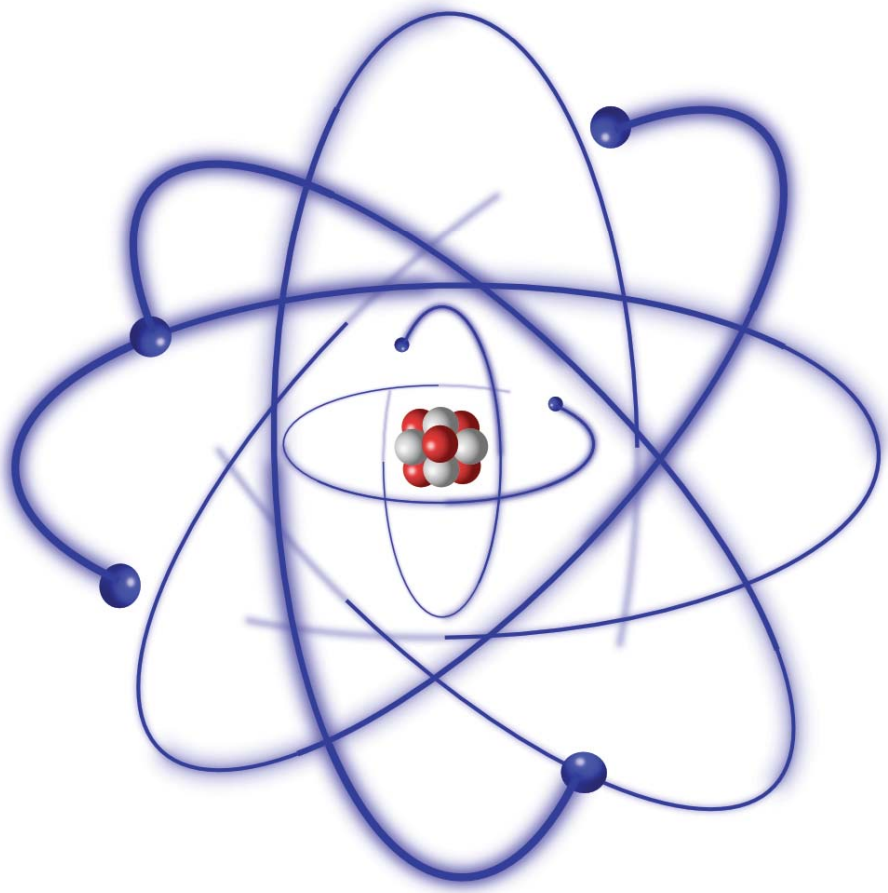
Park, I.S., 2004a. Korea Nuclear Power Behind Story: Interview with Jong Hoon Lee, 2nd ed. KyungRim Publication, Seoul.

Park, I.S., 2004b. Korea Nuclear Power Behind Story: Interview with Se-Won Yoon, 2nd ed. KyungRim Publication, Seoul.

Park, I.S., 2004c. Korea Nuclear Power Foundation Story, 3rd ed. KyungRim Publication, Seoul.

Sung, C.S., Hong, S.K., 1999. Development process of nuclear power industry in a developing country: Korean experience and implications. Technovation 19, 305–316.

The Korea Economic Daily, August 21, 1995. The Korea Economic Weekly, Seoul.



اختبارات الكربون الجديد

الكلمات المفتاحية: كربون، غرافين، أنابيب نانوية.

أمضى الباحثون 26 عاماً في اكتشاف الخصائص الجديدة للفوليرين وأنابيب الكربون النانونية والغرافين إلا أن التسويق لهذه المواد ليس سهلاً أو سريعاً.

من يأتي ثالثاً يكون الأفضل، هكذا يكون الحال في قصص الخيال. فعادة يوجد الكنز في علبة المجوهرات الثالثة، وفي قصة أخرى الطفل الثالث هو من يجد الشهرة والثروة، وهكذا هو حال الغرافين فهو الشكل الثالث والأحدث اكتشافاً من الكربون الجديد. الفوليرين الذي شكله يشبه كرة القدم اكتشف عام 1985، أما أنابيب الكربون النانوية الأسطوانية المجوفة فقد اكتشفت عام 1991، وكان لها أثر محدود على الصناعة حتى الآن. لكن الغرافين الذي سمكه يبلغ صفيحة مسطحة من ذرة كربون واحدة يبدو محاطاً ببشائر –ليس أقلها السرعة في التجارب الرائدة لخصائصه والتي نالت جائزة نوبل Nobel عام 2010 في الفيزياء.

مضت ستة أعوام على الحائزين على جائزة نوبل آندريه جيم Andre Geim وكوستيا نوفوسيلوف Kostya Novoselov من جامعة مانشيستر، في المملكة المتحدة، وهما أول من أعلن استعمال شريط لاصق للحصول على طبقات مؤلفة من ذرة واحدة من الغرافين من كتل الغرافيت. إلا أن هذه المادة –والتي هي أساساً طبقة غير ملفوفة من أنابيب نانوية– تمتلك خصائص مذهلة، فهذه الطبقة الأكثر رقة في العالم، وهي في الوقت نفسه الأقسى والأقوى، كما أنها ناقل ممتاز للحرارة والكهرباء.

حاز الغرافين على اهتمام كبير من قبل وسائل الإعلام، خاصة وأن الشركات تتنافس لتطرح مميزاته في الأسواق. ففي العام الماضي، كان الغرافين موضوع 3000 ورقة بحث وأكثر من 400 طلب براءة اختراع، تخطط كوريا الجنوبية لاستثمار 300 مليون دولار أمريكي في تسويق الغرافين، وتقوم شركات مثل IBM وسامسونج Samsung بتجربة إلكترونيات الغرافين، وذلك من حيث الدقة في الصغر والسرعة الفائقة للنبائط التي قد تكون بديلة لجذاذات السليكون يوماً ما. وقد وصل الحال لدى متتبعيه لدرجة قد يتساءلوا لماذا لم يغز الغرافين عالم التقانة حتى الآن.

الحقيقة أن القصة ليست خيالية. فأسلاف الغرافين المشتق من الكربون مرّوا بالمشوار نفسه إلا أن الفوليرين لم يجد تطبيقات عملية إلا بصعوبة، ومع أن الأنابيب النانوية كانت أوفر حظاً إلا أنها كانت مكلفة ومن الصعب التحكم فيها. إن التأثير الصناعي الضعيف لهاتين المادتين كان درساً يعكس كم يكون التسويق لمادة جديدة صعباً.

ومع ذلك، فإن قصة الأنابيب النانوية لها جوانب مشجعة إلى حدٍّ ما. فمع أن تطبيقات الأجهزة الإلكترونية ذات التقنية العالية لا تزال بعيدة المنال، إلا أن تطبيقات الأنابيب النانوية ذات التقنية المنخفضة المستخدمة في أفلام تخزين الطاقة وشاشات اللمس قابلة للتسويق أكثر، كما أن السيارات والطائرات المصنّعة بمواد معززة بأنابيب نانونية وصلت إلى الأسواق حالياً. لذا فإن مصنّعي الأنابيب النانوية زادوا إنتاجهم مئات الأطنان سنوياً متوقعين زيادة في طلبه.

ولهذا السبب تحديداً فإن مصنّعي الغرافين ربما ينتظرون الوقت المناسب ليبدؤوا بإنتاج كبير لصفائح الغرافين، حيث إن الغرافين قابلٌ للاستخدام في تطبيقات الأنابيب النانوية نفسها، بل وإنه يحظى بميزة سهولة الإنتاج والمعالجة ولابد من الاستفادة من أبحاث الأنابيب النانوية التي استمرت لمدة عقدين. إن هذه الرؤية المتأخرة تعني أيضاً أن الشركات المصنّعة للغرافين أصبح لديها فكرة أفضل عن التطبيقات التي تستحق الدراسة وعن كيفية تلافي البدايات الخاطئة لاستخدام الأنابيب النانوية في عقد دراستها الأول.

توظيف الكربون في الصناعة (ملعب الكربون)

إن الخصائص المذهلة المشتركة بين الأنابيب النانوية والغرافين تنبع من بنيتهما المشتركة: فالشبكات الرقيقة من ذرات الكربون مرتبة تلقائياً على شكل قرص العسل. وينتج من روابط الكربون–كربون المتينة قوة هائلة مقارنة بالوزن. وكذلك هو الأمر بالنسبة للغرافين، وكمثال على ذلك، ووفقاً للجنة جائزة نوبل، فإن أرجوحة افتراضية مساحتها متر مربع واحد من الغرافين الكامل يمكن أن تحمل قطاً بوزن 4 كغ. فإذا كان وزن الأرجوحة 0.77 ملّي غرام –أي أقل من وزن شارب القط– فإنها ستكون غير مرئية.

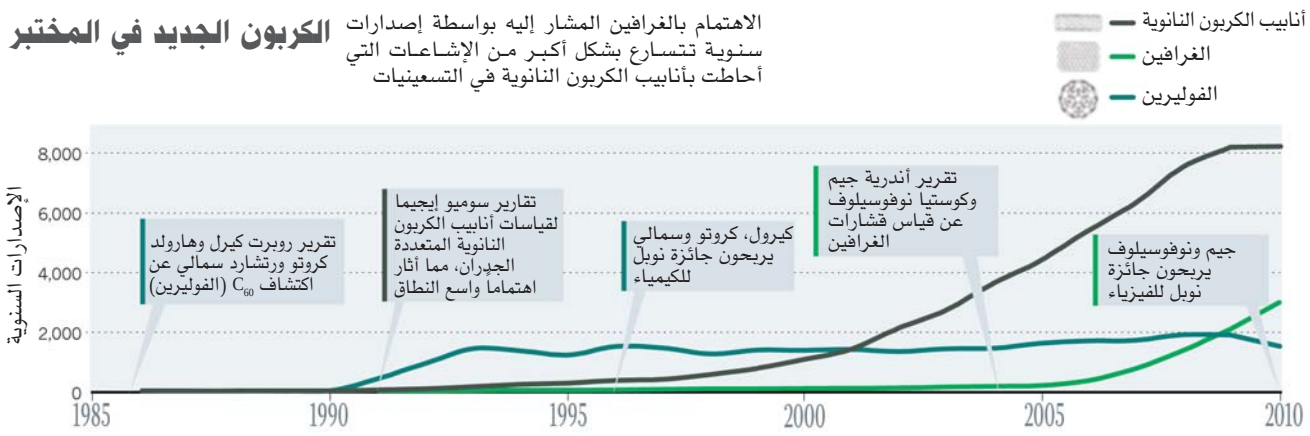
إن التناظر في ذرّات الكربون المرتبة على شبيكة سداسية الشكل ودقيقة يسمح أيضاً لكلا شكلي النانو كربون بنقل الكهرباء بسهولة أكبر من السليكون المستخدم في جذاذات الكمبيوتر. وهذا يعني أن لديه مقاومة كهربائية أقل ويولدان حرارة أقل وهذه خاصة مفيدة على نحو متزايد، حيث إن مصنّعي الجذاذات يحاولون جمع ميزات بكثافة عالية في الدارات.

وإضافة إلى ذلك، فإن اختلافاً صغيراً في بنية الكربون يمكن أن يولد عدداً من الخصائص الجديدة، فالغرافين مثلاً يعتمد سلوكه الإلكتروني على حجم الصفيحة المعطاة وعلى وجود عيوب في شبكية الصفيحة أو عدم وجودها وفيما إذا كانت موضوعة على سطح ناقل. وكذلك الأمر بالنسبة للأنابيب النانوية، فالبنية المعطاة يمكن أن تكون نصف ناقلة أو معدنية بتغير طولها أو قطرها أو لفها (أي الزاوية بين خطوط الأشكال السداسية واتجاه الأنبوب). كما أن هناك اختلافاً بين الأنابيب الأحادية أو تلك الأنابيب التي تكون فيها أسطوانات عديدة متشابكة بعضها داخل بعض والمسماة بالأنابيب النانوية المتعددة الجدران.

وقد أثارت هذه الخصائص آمالاً كبيرة حول تغيير قواعد اللعبة بالنسبة للتطبيقات الإلكترونية. وقام الباحثون بتطوير الأبحاث بشكل كبير في هذا المجال، ففي عام 1998 مثلاً تمكّن علماء فيزياء من صناعة ترانزستور من أنابيب نانوية أحادية نصف ناقلة، وفي عام 2007 تمكن باحثون من تركيب جهاز راديو ترانزستور مصنوع من أنابيب الكربون النانوية.

ولكن لإنتاج كميات كبيرة من دارات كهذه على نطاق صناعي، فإن التباين الكبير في الأنابيب النانوية يكون لعنة. فمعظمها ينتج عادة داخل مفاعل حيث تقوم المحفزّات بتشكيل الأنابيب من البخار الغني بالكربون. وهذا يؤدي إلى ترك خليط من الأنابيب المتعددة الجدران والأحادية الجذر ونصف الناقلة والمعدنية من أطوال وأقطار مختلفة وبالتالي لكل منها خصائص متباينة. يقول جون روجرز John Rogers عالم الكيمياء الفيزيائية في جامعة إلينوي University of Illinois في آربانا، شامبين Urbana, Champaign: «إن التنوع شيء عظيم إلى أن تحصل على تنوع السكان وعندها يصبح مشكلة».

في السنوات الخمس الماضية فقط تمكن الباحثون من فصل الأنابيب النانوية إلى نصف ناقلة ومعدنية. إلا أن الصعوبات الأكبر تكمن في تجميع الأنابيب النانوية المختارة في أماكن محددة سلفاً على جذاذة ووصل هذه الأنابيب المنفصلة معاً دون المساس بالأداء. ولهذا فإن علماء الفيزياء أصبحوا على يقين بأنه من غير المجدي أن تحل أنابيب الكربون النانوية مكان السليكون. يقول فايدون أفوريس Phaedon Avouris الذي يعمل في مجال الإلكترونيات النانوية في IBM التابعة لمركز أبحاث توماس ج واتسون في يورك تاون هايتس، نيويورك: "إن دارة متكاملة يجب أن تحتوي على بليونات من ترانزستورات أنابيب الكربون النانوية وكلها تقطع (تبدّل) بنفس الجهد الكهربائي تماماً". إن هذا غير ممكن بالتقانة الحالية.



الكربون الجديد في المختبر الاهتمام بالغرافين المشار إليه بواسطة إصدارات سنوية تتسارع بشكل أكبر من الإشاعات التي أحاطت بأنابيب الكربون النانوية في التسعينيات

أما الغرافين فيدعو للتفاؤل بنسبة أكبر، حيث إن صفيحات عالية الجودة يتم تصنيعها حالياً بتسخين رقاقة من كربيد السليكون في الخلاء، تاركاً طبقة من الغرافين النقي على السطح العلوي، وهذه الطريقة ذات مشاكل أقل نظراً لقلة التباين بين الدفعات المنتجة مقارنة بتصنيع الأنابيب النانوية، حيث إن الصفائح المسطحة للغرافين تكون أكثر وأسهل من الأنابيب النانوية.

ولكن الغرافين له مشاكل أيضاً، فصفيحة واحدة من الغرافين تنقل الشحنة بشكل جيد جداً لدرجة أنه يصعب إيقاف التيار، وهذه مشكلة يجب حلها إذا كانت هذه المادة ستستخدم في النبائط الرقمية مثل الترانزستور الذي يتحكم بالتيار مثل مبدّلات وصل/فصل On/Off. ولتغيير الخصائص الإلكترونية للمادة بطريقة صحيحة –أي إنشاء «فرجة عصابية» أو قطع في مستويات طاقة الإلكترون حيث يتحول إلى نصف ناقل– يجب أن تكون الشريحة مقصوصة إلى شرائط دقيقة. «وهذا قد يكون أسهل من وضع بليونات الأنابيب النانوية على جذاذة –ولكن ما يزال هذا الأمر مستحيلاً بالتقانة التجارية»، يقول آفوريس.

هذه الصعوبات توحي أن الغرافين لن يحلّ مكان جذاذات السليكون قريباً. «هنالك ملايين الأشخاص وتريليونات الدولارات موظفة في تطوير إلكترونيات السليكون سنوياً. والغرافين في تنافس مع السليكون في الوقت الحالي كأن تطلب من طفل في العاشرة أن يكون عازف البيانو في حفل موسيقي كبير لأنه تلقى دروساً في الموسيقى لمدة 6 سنوات»، حسب قول جيمس تور James Tour وهو كيميائي عضوي مختص في التقانة النانوية في جامعة رايس في هيوستن–تكساس.

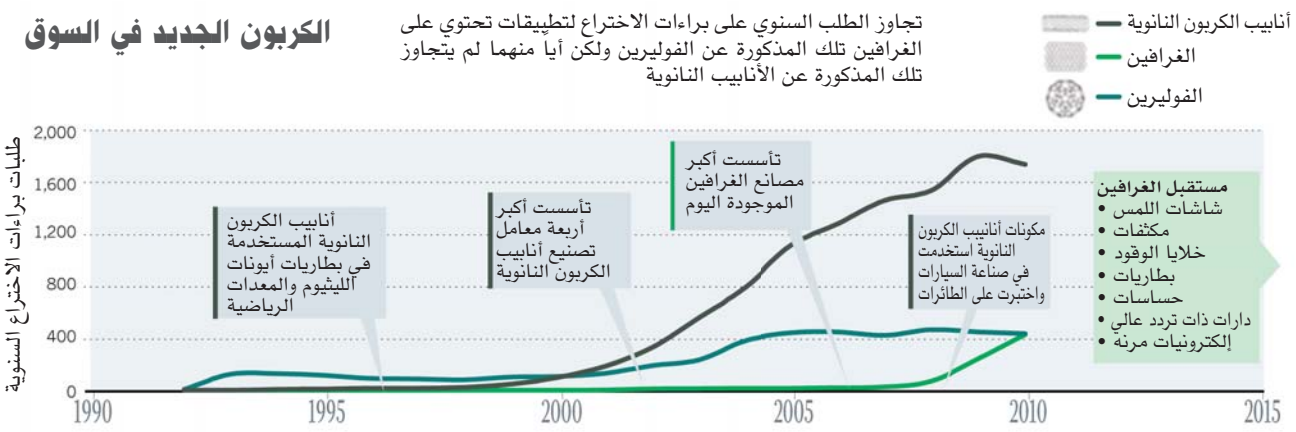
قد تكون بنى النانو–كربون حالياً أكثر تنافسية أمام قلة الطلب عليها في الصناعة الإلكترونية، كالأفلام المسطحة الموصلة لأقطاب كهربائية شفافة في شاشات اللمس أو الخلايا الشمسية. وحزمة من أنابيب الكربون النانوية تؤمن بشكل جيد ما يكفي لتوصيل الأقطاب، وقد تكون أرخص ثمناً من صفائح الغرافين الأقل جودة المصنّعة بطرائق مختلفة عن عمليات كربيد السليكون.

نظرة واقعية

في حزيران/يونيو عام 2010، مثلاً، أفاد فريق بقيادة باينغ هي هونغ Byung Hee Hong في جامعة سونغكيونكوان في سوان، كوريا الجنوبية أنه استخدم البخار الغني بالكربون في ترسيب أفلام غرافين بقياس 75 سم بشكل قطري على ألواح نحاسية، حيث يجرى من بعد ذلك تنميشها وإعادة تدويرها. وقد قامت شركة سامسونغ Samsung العملاقة في كوريا الجنوبية مسبقاً باختبار هذه التقنية لاستخدامها في شاشات اللمس التجارية والتي يقدر هونغ Hong أن تكون موضع التطبيق الفعلي خلال سنتين أو ثلاث.

«شركات كثيرة تقوم بتزويد قدرات جديدة على الإنترنت في هذه اللحظة»

والسؤال المطروح هنا ما إذا كان الغرافين قادراً على منافسة المواد المستخدمة في شاشات اللمس، مثل أكسيد قصدير الإنديوم Indium Tin Oxide (ITO). إن هونغ متفائل بهذا الخصوص حيث إن تكلفة الـ (ITO) تزداد بشكل كبير جداً لأن الإنديوم مادة نادرة، لكن ومرة أخرى فإن استخدام أنابيب الكربون النانوية له محاذير مهمّة. ففي وقت سابق كان هناك أمل في أن تشكل الأنابيب



شاشات اللمس المستقبلية وذلك بفضل قدرتها على إصدار إلكترونات من أطرافها تهيج الفسفور على الشاشة. وما تم عملياً هو أن منافسة شاشات البلازما والبلورات السائلة تطورت بشكل أسرع وهي أكثر الشاشات استخداماً في يومنا الحالي.

يكمن أحد الجوانب المضيئة في النانو كربون في أنه لا يزال موجوداً في سوق الإلكترونيات المرنة، وهي شاشات وحساسات يمكن ارتداؤها على ملابسنا أو إلصاقها على الجدران أو طباعتها على لفافات ورقية. وهنا تتأتى المنافسة فقط من بوليميرات المواد العضوية الموصلة، لأنه لا يمكن طباعة مواد أخرى على البلاستيك. إن أداء هذه البوليميرات يُعدُّ منخفضاً، حسب قول روجرز Rogers، ولذا فإن دارات الأنابيب النانوية والغرافين –والتي يمكن نقلها إلى المواد المرنة– يمكن أن تنافس بشكل فعّال.

ولكن حتى هذه الإلكترونيات المتخصصة لا تزال بعيدة المنال. أما في الوقت الحالي، فمئات الأطنان من الكربون النانوي التجاري يتحول يومياً إلى مواد مركبة تستخدم في البضائع الرياضية وبطاريات أيونات الليثيوم والسيارات.

الهدف هو بعثرة صفائح أو أنابيب الكربون النانوية ضمن الراتنجات أو البوليميرات لا لأنها تجعل المواد أكثر صلابة وذلك بمنع الشقوق من التوسع فحسب، بل إنها تساعد أيضاً على تبديد الحرارة والشحنة الكهربائية. فمثلاً إن سيارة الأودي (Audi A4) تستخدم حالياً مصافي وقود بلاستيكية مؤلفة من أنابيب الكربون النانوية التي تحمي من الكهرباء الساكنة، وكذلك فإن إضافات الأنابيب النانوية في إلكترودات بطاريات أيونات الليثيوم هي من أول تطبيقات أنابيب الكربون النانوية المسوّقة من قبل شوا دينكو Showa Denko وهي شركة هندسة كيميائية في طوكيو.

تخفيض التكلفة

إن معالجة المشاكل الأساسية للأنابيب النانوية أعاقت تقدمها في البداية، إذ إنها تميل لأن تتكتل معاً كخيوط متشابكة عندما تخرج من المفاعل، مما يجعل توزيع الأنابيب النانوية بالتساوي في البلاستيك أو الراتنج أمراً صعباً. وبغض النظر عن التحسينات، فإن هذا الأمر يحدُّ من محتوى الأنابيب النانوية إلى 1-2% من حيث الوزن في المنتج النهائي مقارنة بـ 20-30% من ألياف الكربون التقليدية. المشكلة الثانية كانت وما تزال في الكلفة، فمواد مثل الفولاذ والألمنيوم والبلاستيك، ومواد مثل أسود الكربون تباع بدولارات أو سنتات للكيلو غرام، حسب قول ديفيد هوانغ David Hwang في لوكس ريسيرش Lux Research وهي شركة لتقييم التقانة في نيويورك، وفي الوقت نفسه فإن الأنابيب النانوية المتعددة الجدران تباع بالتجزئة بمبلغ 100 دولار للكيلو غرام الواحد، وتنخفض هذه الأسعار مع ارتفاع مستوى الإنتاج، علماً بأنه سينخفض إلى حوالي 50 دولاراً للكيلو غرام عام 2020 حسب توقعات لوكس.

يمكن أن يكون الغرافين التركيبي أرخص بكثير، إلا أن كلفته الحالية هي نفسها، فقد أظهر كل من جيم Geim ونوفوسيلوف عام 2004 أن صفيحات الغرافين بمختلف الأحجام يمكن أن تقشر بسهولة من الغرافيت وهي مادة خام تكلف بضعة دولارات للكيلو غرام الواحد، كما أنه من السهل بعثرة الغرافين في الراتنج أكثر من الأنابيب النانوية.

ومع أن كل هذا يبدو واعداً إلا أن هذه التطبيقات لا تزال في مكانها اللائق بها، حسب قول العالم الكبير ستيف هان Steve Hahn في مشاريع داو الكيميائية Dow Chemical's Ventures

ومجموعة التطوير التجاري Business Development Group في ميدلاند، ميتشيغان Midland, Michigan ولقد كنت أحاول أن أجد منافذ للغرافين لسنوات عديدة إلاّ أن شيئاً أرخص كان عادة يقوم بالدور نفسه.

ويوافقه في الرأي مايكل نوكس Michael Knox رئيس XG للعلوم، وهي شركة بدأت بتصنيع الغرافين في إيست لانسينغ، ميتشيغان East Lansing, Michigan، فيقول «إن إضافة صفيحات الغرافين إلى مكونات ما ليس تطبيقاً تحويلياً وإنما هو تحسن تدريجي له. وهذا أمر يستحق الاهتمام فإن كان بوسعي أن أبرهن على وجود تحسن 10-20% في مكون متعدد البوليبروبيلين بسعر معقول، فربما سأكون قادراً على بيع مليون طن منه سنوياً وستكون شركات صناعة السيارات مهتمة بذلك.

البراعة تكون في أن تجد الشركات الحديثة المصنّعة للغرافين تطبيقات نوعية ومن ثم زيادة الطاقة الإنتاجية من دون أن تُرهق. مثلاً: قررت فوربيك ماتيريلز Vorbeck Materials في جيسوب، ميريلاند Jessup, Marryland تصنيع الحبر الموصل للكهرباء الذي أساسه الغرافين. يقول جون ليتو John Lettow، عضو مؤسس ورئيس فوربيك Vorbeck: "إن هذا النوع من الحبر سيستخدم في البطاقات الذكية وبطاقات التعريف ذات التردد اللاسلكي في المحلات التجارية في الربع الأول من عام 2011".

وقريباً يمكن تطبيق مكثفات قوية وذلك باستخدام صفيحات مجعدة من الغرافين لجعل مساحة كبيرة ومسطحة مجموعة ضمن مساحة صغيرة –وذلك لتخزين شحنة كهربائية أكبر في الغرام الواحد أكثر من أية مادة أخرى. ويبحث آخرون في استخدام الكربون النانوي لتصنيع أقطاب حفّازة في خلايا البنزين أو حتى أغشية تنقية المياه– وإلا فإن إيجاد ميزات واضحة لمواد موجودة كالكربون المنشط سيكون مشكلة.

تمتلك أنابيب الكربون النانوية ميزة واحدة لا تمتلكها صفائح الغرافين وهي أنها يمكن أن تكون طويلة جداً. وحالياً، فإن الأنابيب النانوية المخلوطة بالراتنجات والبلاستيك قصيرة إلا أن شركة نانو كومب تكنولوجيز NanoComp Technologies في كونكورد، نيوهامبشاير Concord, New Hampshire صرّحت بأنها قادرة على لف ألياف أنابيب نانوية طويلة خفيفة الوزن، وخيوط أو صفائح موصلة للكهرباء والتي يمكن أن تحل محل بعض تطبيقات الأسلاك النحاسية. يقول بيتر أنطوانيت Peter Antoinette الرئيس التنفيذي لـ نانوكومب Nanocomp: "يوجد حوالي 60 ميلاً من الأسلاك النحاسية في الطائرات يمكن استبدالها بأسلاك مصنوعة من أنابيب نانوية خفيفة الوزن وهذا ما يؤدي خدمة من ناحية الوزن واستخدام الوقود".

«سيحتل الغرافين مكانه، إلا أنه سيحتاج إلى وقت أكثر مما هو متوقع»

إن مثل هذه الفعالية مشجعة جداً من أجل أنابيب الكربون النانوية. ويقول هوانغ Hwang: «هنالك كمية ضخمة من الأبحاث يجب أن تجرى قبل أن تصبح قابلة للتطبيق تجارياً. وإذا ما نظرت إلى السنوات الخمس القادمة فإن المسار التجاري سيكون مختلفاً».

ولكن هل أخذت أنابيب الكربون النانوية وقتاً طويلاً لتبدأ انطلاقتها؟ إن أي مادة جديدة تحتاج إلى 20 عاماً أو أكثر لتؤثر في الصناعة، حسب قول صانعي الأنابيب النانوية. «بدأت أبحاث ألياف الكربون في الخمسينيات واستمرت لمدة 15 عاماً قبل أن تُستخدم في الجيش والفضاء –ولم نسمع عنها إلا بعد ذلك بفترة طويلة– ولم نشاهد طائرات تجارية ذات هياكل مصنّعة من مواد مكونة من ألياف كربونية حتى منتصف السبعينيات» هذا ما يقوله بريان واردل Brian Wardle مدير اتحاد هندسة النانو للهياكل الفضائية الجوية في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا Massachusetts Institute of Technology في كامبريدج. قد تتبع أنابيب النانو المسار الطبيعي من بدء اكتشافه حتى الصناعة –وقد نجد أن الغرافين يتبع الطريق نفسه. «سيحتل الغرافين مكانه، إلا أنه سيحتاج إلى وقت أطول مما هو متوقع»، هكذا يقول أنطوانيت.

وماذا سيحدث الآن؟ «تقوم شركات كثيرة بجلب قدرات على الإنترنت في هذه اللحظة»، يقول هان Hahn، وأضاف: «فإما أنها ستفلس أو أنها ستجد سوقاً في مكان آخر، ومهما يحدث فسيكون الدرس لنا جميعاً عن كيفية تسويق مواد جديدة».

* نشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol 469, 6 January 2011، ترجمة د. أحمد حاج سعيد، عضو هيئة التحرير.

فيزياء فلكية في المختبر

إن محاكيات المادة الكثيفة للثقوب السوداء وغيرها من الظواهر الكونية يمكن أن تسمح للفيزيائيين باختبار أفكار حول الثقالة الكمومية والكون المبكر، كما يوضح كلٌّ من رالف ستشوتزهولد Ralf Schützhold وبيل أونره Bill Unruh.

الكلمات المفتاحية: مماثلات، ثقوب بيضاء، ثقوب سوداء، كون متسع، إشعاعات هوكينغ، حقل ثقالي، تبخر الثقب الأسود.

تصور سمكة عمياء لا عيون لها تصدر نبضات صوتية أثناء سباحتها، وتستخدمُ سوناراً (مسبار صوتي للكشف عن الأجسام تحت سطح الماء ولقياس عمق القاع) للاتصال بالعالم حولها واختباره. فهي تستطيع، في الماء الهادئ، أن تستنتج المسافة بينها وبين عائقٍ أمامها من خلال التأخر الزمني بين النبضة المرسَلة وصداها المنعكس عن الجسم (العائق)، في حين أن جسماً متحركاً يُنتج صدىً فيه انزياح دوبلر Doppler-shifted echo. إن إبحار سمكتنا في ماءٍ جارٍ أعقد بعض الشيء. لأن الأمواج الصوتية ستُسحب مع التدفق، وهكذا يمكن أن يتغير التأخر الزمني وكذلك انزياحات التردد. وزيادة على ذلك، ليس من الضروري أن يبقى اتجاه الصدى المرتد مشيراً إلى مكان الجسم (العائق).

إن مقدرة هذه السمكة الافتراضية على أخذ كل هذه العوامل في الاعتبار سيكون انتصاراً لنظرية النشوء، ومشوقاً للبيولوجيين. وربما يكون لدى السمكة العمياء التي تستخدم المسبار (السونار) –أو مكافئها المختبري– ما يمكن أن تُخبرنا به عن الفيزياء أيضاً. ففي وسطٍ يكون تدفق منظره الجانبي غير متجانس، مثل الجريان في نهرٍ صخري، تتشوه مسارات موجات الصوت بطريقة مماثلة جداً للطريقة التي تنحني بها أشعة الضوء في حقل الثقالة. ومن دراسة هذا التشابه من جانبيْه النظري والمختبري، يمكن أن نصل إلى فهمٍ أفضل للكائنات الفيزيائية الفلكية مثل الثقوب السوداء.

ولإيضاح كيفية عمل مثل هذه المقارنة، دعونا نعود بسرعة إلى السمكة العمياء ولنتصور أنه يوجد في مكانٍ ما في موطنها شلال قوي لدرجة أن سرعة التدفق تتجاوز سرعة الصوت في نقطة ما في الماء الساقط. فمن الواضح أن أي سمكةٍ غير محترسةٍ بما يكفي لئلا تسبح في مياه الشلال الهابطة وتتجاوز تلك النقطة،

تخضع الأمواج الصوتية في الموائع المتدفقة انسيابياً إلى معادلات الحركة ذاتها التي تخضع لها الحقول الكمومية النسبوية المنتشرة في حقل الثقالة

فإنها ستكون غير قادرة على تحذير السمكات الأخرى من الخطر الذي تعرضت له: لأن صيحات التحذير ستُمسح تحت الشلال، مثلما سيحصل للسمكة. وعلى فرض أن السمكة لا تستطيع السباحة بسرعة فوق صوتية، فإنها لن تعود لتحكي قصتها. وعلى هذا النحو يصبح الشلال مكافئاً صوتياً للثقب الأسود –فالصوت (وكذلك السمكة) يمكن أن يدخلا الشلال ولكن لا يمكنهما الخروج منه.

وإذا افتُرض الآن أن السمكة تصدر باستمرار صوتاً في أثناء سقوطها –ربما صائحة تطلب المساعدة– فإنها زميلتها من الأسماك البعيدة عن الشلال ستسمع الإشارات منزاحة نحو التواترات المنخفضة bass-shifted طالما استمرت تواترات الإشارات بالانخفاض، لأن الصوت يستغرق زمناً أطول بصورة متزايدة كي ينتقل في اتجاهٍ يعاكس سرعة التدفق المتزايدة. وبالأسلوب ذاته، يكون الضوء الصادر عن جسم ساقطٍ في ثقب أسود منزاحاً نحو الأحمر red-sifted ويستغرق زمناً أطول فأطول للخروج من الثقب. وفي كلتا الحالتين، عندما تتجاوز السمكة أو الجسيم أفق الحدث*، فإن المراقب الخارجي لن يستطيع اكتشافها، لأن إشارتها الأخيرة ستستغرق زمناً لا نهائياً للخروج منه.

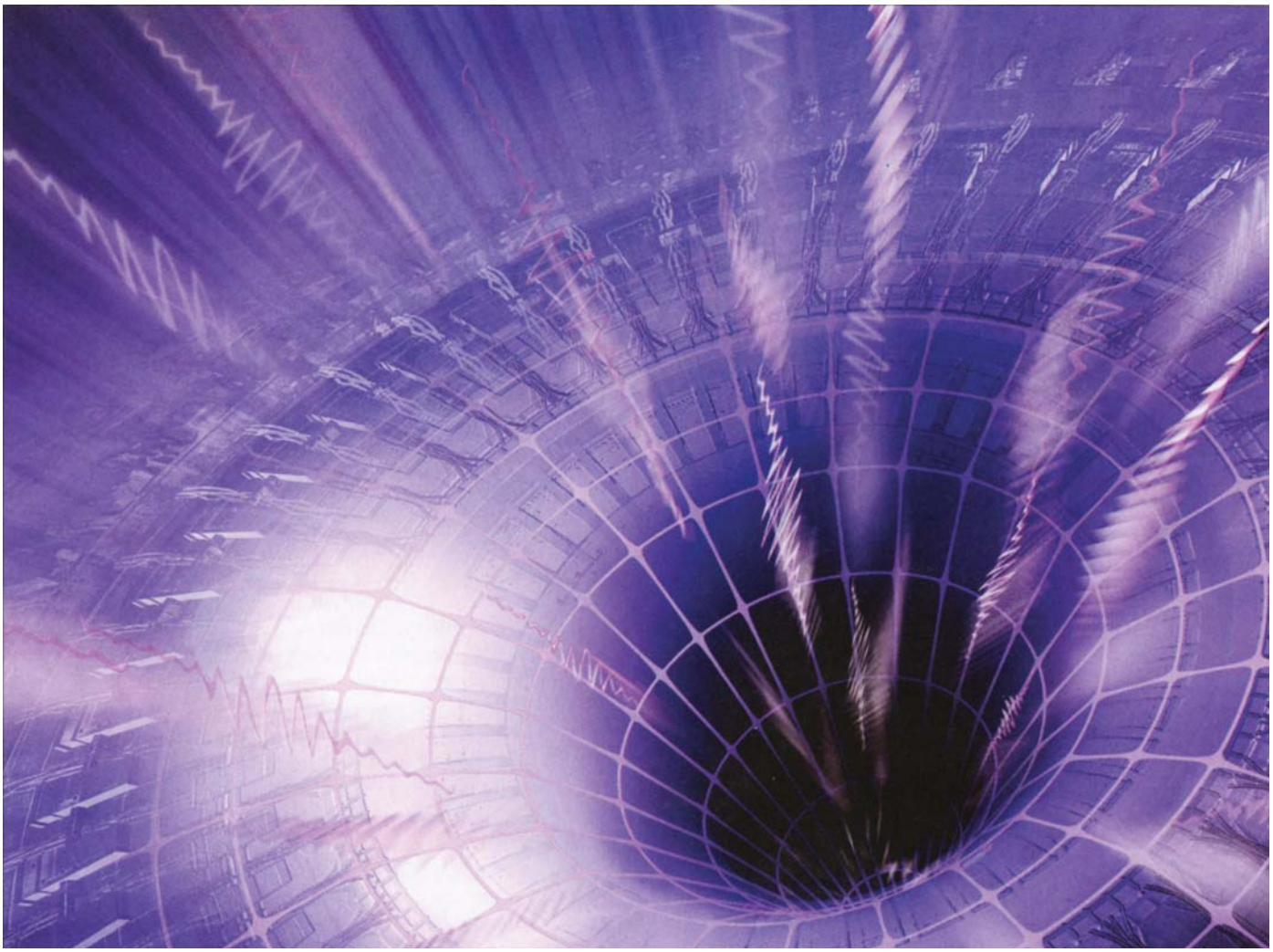
وُضع هذا التشابه في الأصل من قبل واحد من كاتبي هذا المقال هو بل إنروه (BU) خلال حلقةٍ دراسيةٍ عُقدت في جامعة إكسفورد في العام 1972. وفي ذلك الوقت كان هذا التشابه ببساطة طريقة مفيدة لإيضاح الثقوب السوداء. غير أنه في العام 1981، وفي أثناء تدريسه مقرراً في ميكانيك الموائع، بيّن أن تلك المقارنة تمتد إلى ما هو أبعد كثيراً مما سبق وتصوَّر أصلاً. ففي شروطٍ معينة –كأن يكون الاحتكاك فيها مهملاً– تخضع الأمواج الصوتية في الموائع المتدفقة انسيابياً إلى معادلات الحركة ذاتها التي تخضع لها الحقول الكمومية النسبوية المنتشرة في حقل الثقالة. (وقد أورد وولتر كوردون Wallter Gordon في العام 1923 ملاحظة مماثلة حول معادلات الأمواج الضوئية في وسط ما وفي النسبية العامة). ويعني هذا التوافق أنه من الممكن إجراء المقارنة ما بين الأمواج الصوتية والثقالة كمّياً وكذلك كيفياً. وإن «الكمون الثقالي» الفعال للصوت في مثل هذه الموائع العديمة الاحتكاك، مثلاً، يتناسب مع مربع سرعة التدفق.

وكما في أي تشابه، توجد هناك تحديدات. والأهم من ذلك، هو أن السمكة، وهي تسبح بسرعةٍ قريبةٍ من سرعة الصوت، لن تشيخ أبطأ، بقدرٍ محسوسٍ من سمكة ساكنة، وعليه فإن «مفارقة التوءمين» النسبوية relativistic twin paradox غير قابلة للتطبيق هنا. وكذلك من غير المحتمل إيجاد نماذج مائعية–صوتية من أجل حقولٍ ثقاليةٍ اختياريةٍ لأن القطاع المكاني في حالة السائل دوماً منبسط تقريباً. وعلى كل حال، فإنه يمكن استعمال أنظمة صوتية حقيقية لمحاكاة كثيرٍ من ظواهر الفيزياء الفلكية المشوقة، بما فيها الثقوب السوداء، مع دوران أو بدونه، وكذلك توسع الكون أو تقلصه expanding or contracting universe. وأكثر من ذلك، فإن هذا التشابه الساحر مع الثقالة ليس غريباً على الأمواج الصوتية: فإثارات الانتشار الأخرى، مثل الأمواج السطحية (التموجات) على سطح أفلام السائل، الرقيقة، والأمواج الكهرطيسية (الفوتونات) في العوازل الكهربائية المتحركة، يمكن أن تُظهر أيضاً سلوكاً من نوع أفق الحدث.

تبخر الثقب الأسود

إحدى صعوبات فيزياء الثقب الأسود التي يمكن أن تستفيد من هذا النوع من «الاستكشاف بالمماثلة» هو السؤال عمّ إذا كان يمكن للثقوب السوداء أن تتبخر وكيف يمكن أن يتم ذلك؟ فالثقوب السوداء عادة توصف بأنها شارعٌ وحيد الاتجاه: فالأجسام من أمثال الضوء والمادة يمكن أن تدخل الثقب، ولكنها لا تستطيع أبداً أن تغادره. إلا أن ستيفان هوكينغ Stephen Hawking توقع في العام 1974 أنه يترتب على الثقوب السوداء إصدار إشعاعٍ حراري وذلك نتيجةً للمفاعيل الكمومية، في حين أن الطبيعة الدقيقة لهذا الاستقرار الكمومي ما تزال غير جلية، والصورة الحدسية (البديهية) هي كالتالي: في أفق الحدث لثقب أسود، تكون الترجحات الكمومية في الخلاء باستمرار ممزقةً إلى جزأين

★ أفق الحدث هو المنطقة التي غالباً ما توصف بالمكروية، تميّز الحدود الخارجية لثقب أسود، والتي تكون قوة الثقالة في داخلها شديدة لدرجة تمنع المادة أو الإشعاع من الهرب (المراجع).



لا سبيل للخروج

المائع المساق إلى القمع فوق الصوتي الذي يصدر أمواجاً صوتية حرارية من الأفق الصوتي يمكن أن يخدم كمماثل لتبخر ثقبٍ أسود.

بفعل حقل ثقالة الثقب الأسود. وأحد قسمي الرزمة الموجية wave packet يُؤسَر في داخل الثقب الأسود في حين يهرب القسم الآخر. والقسم الهارب هو الذي يولد إشعاع هوكينغ (الشكل 1).

توصف الإشعاعات الحرارية هذه بواسطة درجة حرارة هوكينغ TH، التي تتناسب عكساً مع كتلة الثقب الأسود وتُخبرنا عن مقدار سرعة تبخر الثقب الأسود. وإن هذه الإشعاعات هي السبب الرئيس لاعتقاد كثير من الفيزيائيين بأن الثقوب السوداء تسلك بالفعل سلوك الأجسام الحرارية، ولذلك يكون لها أنتروبية. وأكثر من ذلك، فإن طبيعة إشعاعات هوكينغ تربط ما بين كل من الثقالة والنظرية الكمومية والنسبية والترموديناميك، ولذلك يمكنها أن تقدم دليلاً حاسماً في إطار جهود الفيزيائيين الرامية إلى توحيد الثقالة مع الكهرطيسية والتفاعلات الضعيفة وكذلك القوية.

وفي كل الأحوال، هناك صعوبةٌ جديةٌ في اشتقاق هوكينغ. فالنظرية التي استخدمها للتنبؤ بتبخر الثقب الأسود تتعلق بانتشار الحقول الكمومية في حقل الثقالة التقليدي، ومن المتوقع أن تبقى سارية فقط إذا كانت أطوال أمواج الحقول الكمومية أكبر كثيراً من طول بلانك $l_p=(\hbar G/c^3)^{1/2}$، حيث G ثابت الثقالة، c سرعة الضوء، ħ ثابت بلانك مقسوماً على 2π. وتكمن الأهمية الرئيسة لطول بلانك في حقيقة أن الوصف التقليدي للزمكان (الزمن–المكان) والثقالة يُتوقَّع له أن ينهار في هذا المقياس. فمثلاً، إذا أمكن لفوتون معين أن يتوضع في مجال أصغر من l_p، لأمكن وفق الثقالة التقليدية أن تكون لديه الطاقة الكافية (وكذلك الكتلة) لتشكيل ثقب أسود.

وبما أن طول بلانك صغير جداً –قرابة 1.6×10^{-35} m– فيمكن أن يبدو منطقياً افتراض أن الأطوال الموجية المعنية في إشعاع هوكينغ هي أكبر من هذا الطول. إلا أن اشتقاق هوكينغ يقر بأن

إن أكثر ما يلفت النظر في هذه التشابهات هو أنه يمكن إجراء تجارب عليها في المختبر –وهو شيء مستحيل، بالطبع، في الفيزياء الفلكية للثقوب السوداء

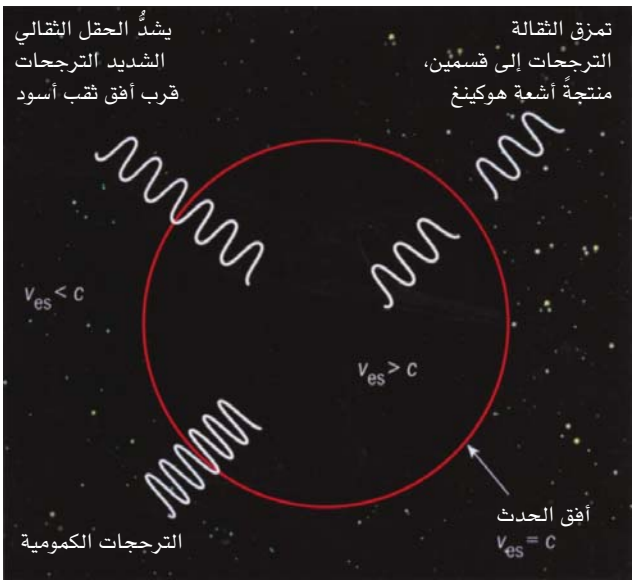
الفوتونات الحرارية الصادرة عن ثقب أسود في أثناء تبخره يجب أن تنبع من الأعداد الموجية k (مقلوب الأطوال الموجية) التي هي أكبر بمقدار تابع أسي أسه الزمن المحسوب منذ تشكل الثقب الأسود: $k \sim \kappa \exp(\kappa ct)$، حيث κ هي الثقالة السطحية للثقب الأسود وتساوي لـ $2\pi k_B T_H/(\hbar c)$. وهكذا بعد ثانية واحدة من تشكل ثقب أسود كتلتهُ كتلة الشمس ستكون ترجحات الخلاء اللازمة لخلق فوتونات حرارية تواتراتها مقاربة لنحو 105 Hz، سيكون لها تواترات تساوي $10^5 \times e^{10^5}$ Hz. والأطوال الموجية لمثل هذه الترجحات أصغر كثيراً من طول بلانك، وكتلتها المكافئة أكبر بـ e^{10^5} مرة تقريباً من كتلة الكون كله. فإذن إن اقتراح الاشتقاق، القاضي بأنها لن تؤثر على شكل الزمكان الذي تنتقل عبره هو وضوحاً افتراضٌ سيِّئ بصورة واضحة.

وعليه، فهل هذا يعني أن إشعاع هوكينغ ليس إلا مصنوعة يدوية arte fact نتجت عن استخدام نظرية خاطئة؟ أو هل يمكن أن تبقى حتى إلى ما بعد الأخذ في الحسبان التبديلات التي يتوقع أن تحدث عند طول بلانك؟ وهذا يُدعى مسألة بلانكية الانتقال* Trans Planckian problem، ومن سوء الحظ نحن لا نستطيع حلّها من أجل التثاقل الحقيقي كما تصفه النسبية العامة: فبالرغم من أننا يمكن أن نتنبأ بالسلوك عند الأطوال من المقاسات الكبيرة، إلا أننا لا نعلم كيف تعمل الفيزياء عند طول بلانك.

ثقب أسود في المختبر

من حسن الحظ أنه يمكننا توجيه سؤالٍ مماثلٍ في التشابه الصوتي للثقوب السوداء، حيث تظهر مشكلة المسافة القصيرة ذاتها في النظرية الهدروديناميكية للأمواج الصوتية، شأنها في ذلك شأن مُكافئاتها في الحقول الكمومية المنتشرة في حقل تثاقلي، إذ إن معادلات الأمواج الصوتية في سائل تبقى صحيحة

الشكل 1: كيف تشع الثقوب السوداء



بالقرب من ثقب أسود، تكون الترجحات الكمومية في خلاء فضاء خالٍ ممطوطة بفعل الحقل الثقالي الشديد. وعند أفق الحدث، حيث تكون سرعة الهروب Ves، متجاوزة سرعة الضوء c، تمزق الثقالة الترجحات إلى قسمين، وتسحب جزءاً من مجموعة الموجة إلى داخل الثقب الأسود، وتترك الجزء الآخر ينجو كأشعة هوكينغ.

فقط في مجال الأطوال من المقاسات الكبيرة إلى حدٍّ كاف. ومن أجل الصوت، يحدث الانهيار تقريباً عند المسافة المساوية للبعد ما بين الذرّات المؤلفة للمائع الذي ينتشر فيه الصوت. مع ذلك، وخلافاً للتثاقل الكمومي، توجد لدينا (على الأقل من حيث المبدأ) نظريةٌ كموميةٌ محدّدة جيداً تصف الذرّات التي يتألف منها المائع، وهذا يعني أنه، وبعد وضع افتراضات وتقريبات معينة، يمكن إنجاز حساب يشابه ذلك الحساب الذي أُجري عند الاشتقاق الأصلي لهوكينغ –ولكنه هذه المرة مع السلوك الصحيح في المسافة القصيرة.

ينتج من هنا أن الحسابات من أجل السلوك المجهري الكامل في نظام صوتي يفيد بالفعل في إنتاج شيء يشبه مفعول هوكينغ في الثقوب السوداء الصوتية، طالما أن سرعة الترجّحات لا تغدو بطيئة جداً، أو سريعة جداً في المسافات الفائقة القصر. فإذا كانت التغيّرات اعتباطية جامحة فإنه يمكن للثقوب السوداء أن تصبح غير مستقرة (لا مستقرة). وهذا يمكن أن يكون متعلقاً ببعض النظريات البديلة للثقالة، مثل ما يُسمى ثقالة هورافا–ليفشيتس Horava-Lifschitz gravity التي تكون فيها معادلات

★ هي الملاحظة التي مفادها أن حساب هوكينغ الأصلي يتطلّب الكلام عن الجسيمات الكمومية التي يصبح فيها الطول الموجي أقصر من طول بلانك بالقرب من أفق الثقب الأسود (المراجع).

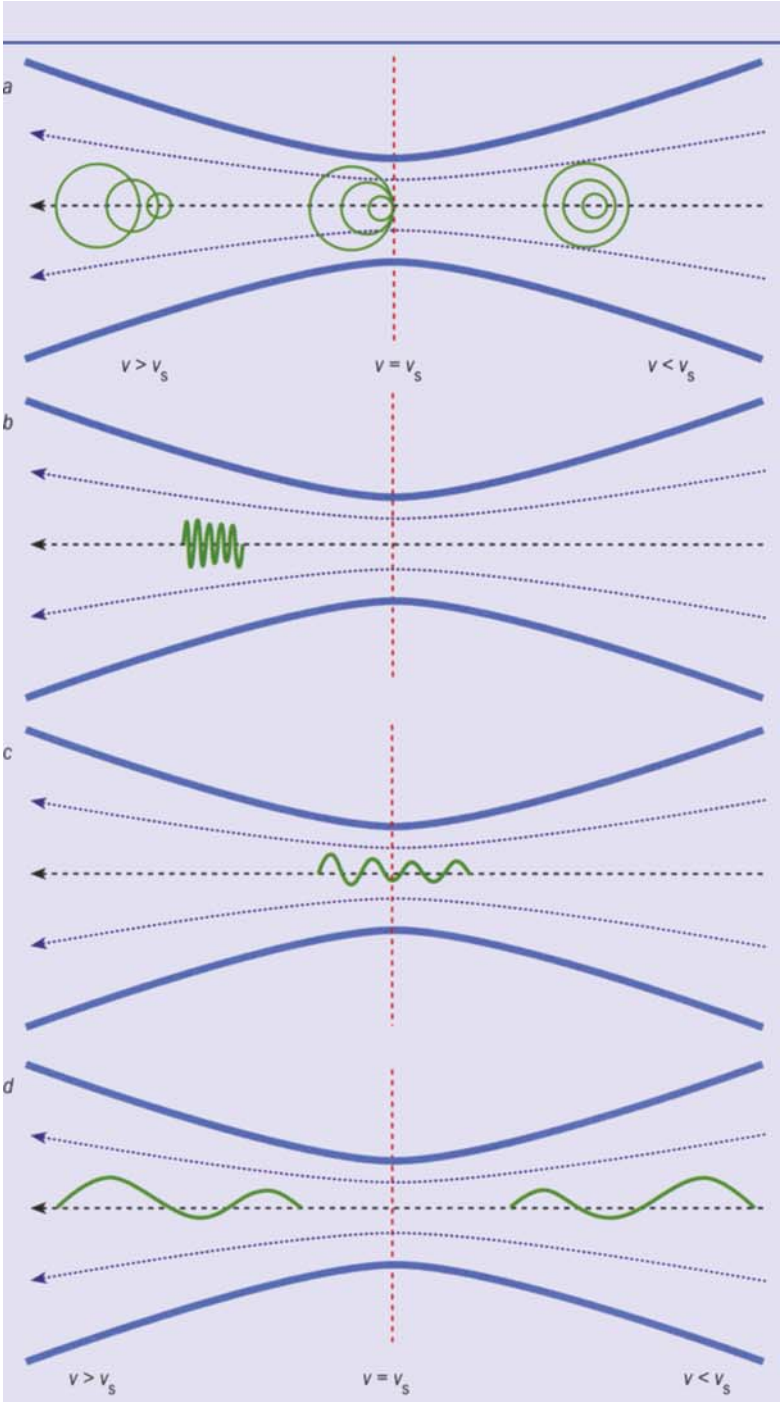
النسبية العامة سارية في مجال المسافات الكبيرة وليس المسافات القصيرة.

وإن أكثر ما يلفت النظر في هذه التشابهات هو أنه يمكن إجراء تجارب عليها في المختبر –وهو شيء مستحيل، بالطبع، في الفيزياء الفلكية للثقوب السوداء. وكما يقول غوته ميفيستوفلس Goethe's Mephistopheles: «إنه صديقي العزيز غري Grey العارف بكل نظرية»، وبوضعها بشكلٍ آخر نقول إن الحصول على نظرية عاملة أمر جيد، ولكن الحصول على تجربة عاملة يبقى أفضل.

ومن طرق خلق ثقبٍ أسود صوتي، أن يُساق مائع فوق بارد خلال "فوهة دو لافال De Laval" (الشكل 2). فعندما يدخل مائع في فوهة من هذا النوع، فإنه يتحرك بسرعاتٍ تحت صوتية Subsonic speeds، ولكن بما أن المقطع العرضي للفوهة يتقلص بسبب البرودة، فإن السائل يتسارع حتى بلوغ أضيق نقطة من الفوهة حيث يأخذ عندها للانتقال بسرعة الصوت. وإلى حدٍّ ما، وخلافاً للحدس، فإن التدفق يتسارع بعدها، وربما بدرجة أكبر، حتى تصبح فتحة الفوهة أوسع مرة أخرى، ويخرج السائل من الفوهة بسرعة فوق صوتية. (وهذا هو مبدأ دو لافال الذي يستعمل أيضاً في محركات الصاروخ لبلوغ قوة دفع عظمى). إن أضيق نقطة من الفوهة، حيث تكون سرعة التدفق مساوية لسرعة الصوت، تؤثر في الأمواج الصوتية بطريقة تشبه تماماً أفق حدث الثقب الأسود: فالأمواج الصوتية يمكن أن تمر عبر أضيق نقطةٍ في الفوهة من المجال تحت الصوتي إلى ما فوق الصوتي ولكنها لا تستطيع العودة أبداً. فدخول الفوهة، حيث تكون سرعة التدفق تحت صوتية، تقابل المجال خارج الثقب الأسود، في حين أن مجال التدفق الفائق السرعة يشابه داخل الثقب الأسود.

وبما أن فوهة دو لافال هي شبيهٌ صوتي بالثقب الأسود، فمن المعقول أنها يجب أن تُنتجَ شيئاً يُشبه إشعاع هوكينغ –على الأقل، إذا كانت نظرية هوكينغ صحيحة. وهذا سيكون صحيحاً حتى في حال استطعنا إرسال المائع في درجة حرارة الصفر، لأنه

الشكل 2: مماثل ثقب أسود: فوهة دو لافال



يدخل المائع (الخطوط الزرقاء المقطعة) فوهة دو لافال بسرعات تحت صوتية (من اليمين)، ويبلغ سرعة الصوت Vs عند أضيق نقطة في الفوهة (الخط الأحمر)، ومن ثم يتسارع عند خروجه. (a) ففي منطقة السرعة تحت الصوتية، يمكن أن تنتشر الفونونات (الدوائر الخضراء) في كلا الاتجاهين، ولكنها في المنطقة فوق الصوتية تكنسُ بعيداً ولا تستطيع الإفلات. (b) والترجحات الكمومية –ذات الأطوال الموجية الابتدائية القصيرة، المنتشرة ضد التدفق تبلغ الأفق لأن سرعتها أكبر من سرعة الصوت ذي الطول الموجي الطويل (من حالة كثافات بوزه–آينشتاين). (c) وبالقرب من الأفق تكون ممتطةً وتنشطر إلى فونونين. (d) ينجرّ أحد الفونونين إلى الثقب الأسود الصوتي ويفلت الآخر مبتعداً إلى اللانهاية –منتجاً إشعاعات هوكينغ طويلة الطول الموجي.

يترتب على الفوهة إرسال الإشعاع الحراري على هيئة فونونات تنتشر ضد التدفق. وتتحدّد درجة حرارة هوكينغ لهذه الفوتونات من تدرج السرعة عند أضيقِ نقطةٍ على امتداد الفوهة، وبالتالي تتعلق قيمتها الدقيقة بثوابت الفوهة والمائع.

وعلينا أن نكون حذرين بشأن المائع الذي نختاره لتجربة فوهة دو لافال. فالموائع العادية مثل الماء عرضةٌ للجدل والشك بسبب اضطرابات الجريان التي تولّدها على جدران الفوهة. وهذا صحيح حتى في حالة الهليوم الفائق الميوعة Superfluid helium. حيث يتوقع المرء أن تتشكل هناك خطوطُ دوامية وتتولد اضطرابات كمومية. وتُعدُّ كثافات بوزه–آينشتاين، على كل حال، مُرشَّحات واعدة جداً. وإحدى مميّزات استخدام هذه الغازات الممدّدة والضعيفة التآثر (التفاعل المتبادل)، أنها يمكن أن تمارس تحكماً تجريبياً شديداً على جسيمات الكثافات؛ فمثلاً يمكن أن تكون «جدران» الفوهة كمونات سلسة smooth potentials تولّدها حقولٌ مغنطيسيةٌ أو ضوءٌ ليزري. وما هو أفضل، أن تكون كل الجسيمات المكونة في الكثافة في أخفض حالةٍ كمومية تقريباً، الشيء الذي يعني أن درجات حرارة الجسيمات هي أخفض درجة حرارةٍ أمكن توليدها في المختبر حتى الآن. وهذا أمرٌ مهمٌّ لأن درجة حرارة هوكينغ ستكون صغيرة جداً لمثل هذه الموائع.

يتحدّد مماثل درجة حرارة هوكينغ في فوهة دو لافال من تدرج السرعة عند الأفق. وهكذا فإن TH تكون متناسبة مع سرعة الصوت مقسومة على مقياس الطول المميز للفوهة (ومعامل التناسب هو $\hbar/(2\pi k_B)$). وبما أن سرعة الصوت في كثافات بوزه–آينشتاين صغيرة (منخفضة)، وتقارب $1\ mm\ s^{-1}$، من أجل فوهة قطرها بضعة مكرونات، فإن مماثل درجة حرارة هوكينغ سيكون بضعة نانو كلفن. وهذا أبرد قليلاً فقط من حرارة ثقب أسود حقيقي له كتلة الشمس وستكون له درجة حرارة هوكينغ نحو 60 نانو كلفن وهذا أشد حرارة بكثير من الثقب الأسود الفائق الكتلة في مركز مجرّتنا، وبالرغم من صعوبة قياس مثل هذه الدرجات المنخفضة من الحرارة في مختبر، فإنه من الواضح أن يبقى هذا الأمر أسهل كثيراً من محاولة تنفيذ هذا القياس نفسه في ثقب أسود حقيقي في الكون (الفضاء)، حيث يكون غارقاً في إشعاع الجسم الأسود 2.7 K. وفي الواقع، تعمل مجموعات عديدة على تحقيق صوتي لمماثلات الجسم الأسود في المختبر.

الثقوب السوداء والعوالم المتمددة

لقد ركّزنا، حتى الآن، على مماثلات الثقوب السوداء القائمة على الفونونات. وعلى كلّ حال، فإن من الممكن أيضاً استعمال تجارب مبنية على الفوتونات، لدراسة مماثلات «الثقوب البيضاء». وكما يدلّ اسمها، فإن الثقوب البيضاء هي المعاكسة للثقوب السوداء، ففي حين تبتلع الثقوب السوداء كل شيء ولا تترك شيئاً ينجو منها، فإن ثقباً أبيض يطرد كل شيء ولا يسمح لأي شيء بدخوله. وفي الثقالة الحقيقية، يُتوقع أن تكون الثقوب البيضاء غير مستقرة إلى حدٍّ بعيد، ولهذا فإنها غائبة عن الكون الحالي. مع ذلك، وبتعبير رياضياتي، فإن الثقوب البيضاء تسلك تماماً سلوك الثقوب السوداء مع مرور الزمن في الاتجاه المعاكس، وبذلك يُظن أنها تُظهر العملية المعاكسة لإشعاع هوكينغ. ولفهم ما تشمله هذه العملية، نذكر أنه في مفعول هوكينغ تكون ترجحات–الخلاء الكمومية quantum-vacuum fluctuations عند المسافات الصغيرة جداً ممطوطة وتنقسم في النهاية إلى قسمين بفعل حقل الثقالة في جوار أفق الثقب الأسود –مؤديةً إلى إصدار إشعاعٍ ذي طول موجي كبير. من الناحية الأخرى، وفي حالة الثقوبِ البيضاء، تكون ترجحات الخلاء الكمومية ذات الأطوال الموجية الكبيرة مضغوطةً –وتُنتِج جسيماتٍ ذات أطوال موجية قصيرة جداً.

لقد سبق ورُصد تجريبياً المماثل التقليدي لعملية هوكينغ العكسية في مخططات دراسية مختلفة. ومع أن هذه التجارب التقليدية لم تكن قادرة على رصد إصدار تلقائي لإشعاع هوكينغ الناتج بالترجحات الكمومية، فإنهم سجّلوا بالفعل عملية الإصدار المحثوثة بإرسال أمواج تقليدية فيها. فمثلاً، لقد ولّدت مجموعة «أولف ليونهاردت Ulf Leonhardt's في جامعة سانت أندروس في المملكة المتحدة مماثلاً للثقب الأبيض بإرسال نبضات ضوئية عبر ليف ضوئي لا خطي. وفي داخل النبضات، يزداد معامل الانكسار بتأثير مفعول كِر Kerr (حيث يتغيّر معامل انكسار مادةٍ استجابةً للحقل الكهربائي المطبّق) وبهذا تنقص سرعة الضوء. ونتيجة لذلك، فإن الفوتونات التي تحاول «اللحاق» بالنبضة لا تتمكن من دخولها –مماثلة تماماً في ذلك أفق ثقبٍ أبيض.

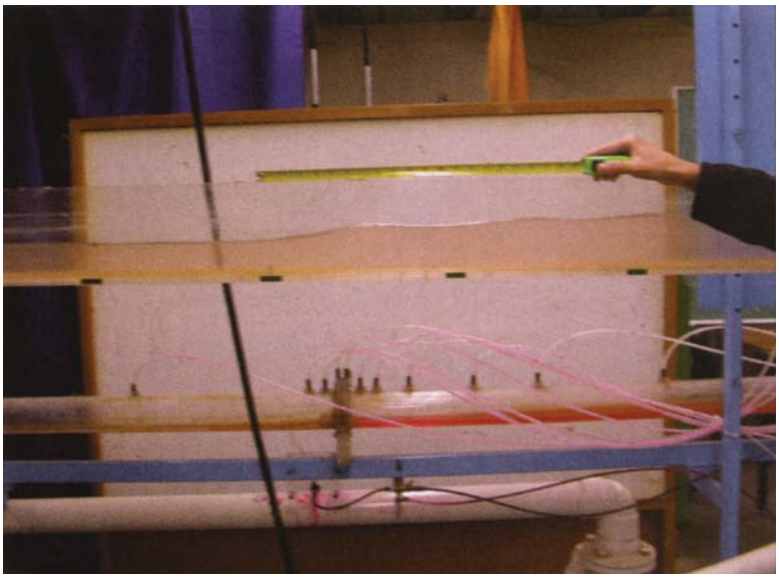
وقد استعملتْ مجموعاتٌ أخرى في فانكوفر ونايس موجات الماء في قناة صهريج للحصول على مماثلٍ لثقبٍ أبيض. ففي مثل هذه التجربة، يتدفق الماء مسرعاً فوق عائقٍ ويغادر بسرعة متناقصة. والأمواج السطحية المنتشرة بصورة معاكسة لا تنتقل بسرعة أكبر من سرعة الماء على رأس قمة العائق، وهكذا فإنها «تُوقف» بالتدفق. وتفعل نقطة الإيقاف هذه فعل أفقِ ثقب أسود لأن الأمواج لا تتمكن من دخول هذه المنطقة ولكن يمكن أن تنجو منها (الشكل 3). فمجموعة فانكوفر، مثلاً، قد بيّنت أن سعة

الإشعاعات القصيرة أطوال الموجة الناتجة عن مثل هذا الأفق تتغيّر كدالةٍ للتواتر بذات السلوك الناتج عن فعل هوكينغ. وفي حين أن هذه التجربة التقليدية، ومعها الميكانيك الكمومي، تتضمن بشكل مباشر وجود إشعاعات هوكينغ الحرارية، فإنها لم تكن قادرة على الكشف بشكل مباشر عن الضجيج الكمومي بحدّ ذاته، الذي سيتوافق في هذا النظام مع إشعاع هوكينغ في درجة حرارةٍ قدرها 10^{-12} K.

يمكن أن يبلغ المرء، في حالة الألياف الضوئية، درجةً لحرارةِ هوكينغ، كبيرةً بما يكفي (حوالي 1000 كلفن) لإنجاز التجربة في درجة حرارة الغرفة. غير أن تمييز الفوتونات القليلة الناتجة عن إشعاع هوكينغ من بين خلفية الفوتونات الضخمة الناتجة عن العمليات الأخرى يبقى تحدّياً تجريبياً كبيراً. ففي تشرين الأول/أكتوبر عام 2010، أعلنت مجموعة من الباحثين في إيطاليا عن نتائج بدت أنها تعرض مماثلاً لإشعاعات هوكينغ خلقتها نبضات ضوئية لاخطية في زجاج السيليكا (physies World December 2010 p4). وفي كلّ الأحوال، ما يزال ادعاؤهم موضع خلاف وجدل، لأنه ليس من الواضح كم مظهراً من إشعاعات هوكينغ أُعيد إنتاجها بالفعل في هذه التركيبة. وإن اقتراحات التجارب الأخرى المؤسسة على مائع تتطلّب بيئة قرّية لأن درجات حرارة هوكينغ الممكن بلوغها منخفضة جداً. ولهذا فإن أمواج الماء غير مناسبة لمشاهدة هذا المفعول الكمومي. ومهما يكن الأمر، تُقدم أمواج الماء فعلاً ميزة: فالمرء يستطيع رؤية المفاعيل التقليدية، السابقة الذكر، بالعين المجردة، التي يمكن أن تكون جزءاً من تجربة للمرحلة الجامعية.

بالإضافة إلى الثقوب السوداء وإشعاعات هوكينغ، يجب أيضاً أن يكون في الإمكان محاكاة زمكانات مهمّة أخرى وظواهر مرافقة. على سبيل المثال، كثافات بوزه–آينشتاين أو أيونات في مصيدة مع قوة تعتمد على الزمن ممكنة الاستخدام لمحاكاة كون متوسع. وهذا أمر ممكن لأن سلوك الفونونات في هذه الموائع مشابهٌ لسلوك الحقول الكمومية في الكون المبكر. وبدلاً من إشعاعات هوكينغ، يمكن أن يستعمل التجريبيون مثل هذه الأنظمة لمراقبة مماثل لتضخيم ترجحات الخلاء الكمومية في أثناء الاتساع الكوني –فترة التمدد السريع الذي حدث في الكون المبكر جداً. ووفقاً لنموذجنا المعياري في علم الكون، فإن آلية

الشكل 3: ثقوب بيضاء في المختبر



صورة فوتوغرافية لأول شكل لقناة الصهريج في فان كوفر. فالماء يتدفق من اليسار إلى اليمين بسرعةٍ متناقصة وارتفاعٍ متزايد، مشكّلاً مماثل أفق ثقب–أبيض.

التضخيم هذه هي المسؤولة عن توليد بذور كل البنى في كوننا. وما تزال حتى اليوم تُشاهد آثار الترجحات الكمومية المضخمة في الخلاء الكمومي، في عدم تناحي إشعاع الخلفية للأمواج المكروية الكونية (CMB) في الدرجة 2.7 K. وسيكون جميلاً إعادة توليد عملية التضخيم الكوني في المختبر. ومثالٌ آخر هو أن الماء الدوار في أثناء تدفقه إلى أسفل البالوعة السداسية plughole يمكن أن يُستعمل لتقليد استخلاص طاقة من الثقوب السوداء بواسطة أمواج تتفاعل مع دوران ثقبٍ أسود –وهو مفعول يُعرف باسم عملية بنروز Penrose process.

تحديات كبيرة، فوائد كبيرة

سيجد العديد من الناس أن فكرة صنع مماثلات للثقب الأسود أو للتوسع الكوني في المختبر هي فكرة جذّابة في الأصل، لأسباب شبه فلسفية. ولا يمكن، في كلّ الأحوال، أن يكون هذا محفّزاً بما فيه الكفاية للطلاب الخريجين لأن يكرسوا سنوات لتحضير مثل هذه التجارب. ومما يستحق أيضاً أن يؤخذ في الاعتبار الفوائد الأخرى لهذه المماثلات.

ففي الدرجة الأولى، تساعدنا التجارب على فهم أفضل لكلٍّ من نظرية الثقالة وفيزياء المادة الكثيفة. فعلى سبيل المثال، كثيرٌ من فيزيائيي المادة الكثيفة لم يدركوا بداهةً أن فوهة دو لافال مع جدرانٍ في غاية النعومة ستُنتج صوتاً حتى لو كان المائع الداخل في درجة الصفر المطلق، وبدون احتكاك. وبالمثل،

فإن الأفكار الهندسية المعروفة من الثقالة، تُيسِّر وصفاً أنيقاً لعمليات المادة الكثيفة من مثل التوسع أو تدفق كثافاتِ بوزه–آينشتاين. وهذه، على وجه الخصوص، الحالة عندما تكون مثل هذه الأنظمة بعيدة عن التوازن: فبمجرد تشكل مماثل أفقٍ، نعلم أن منظومة المادة الكثيفة هي منظومة بعيدة عن التوازن وأن الترجحات الكمومية تتحوّل إلى جسيمات حقيقية مثل الفوتونات أو الفونونات.

ومن الناحية الأخرى، فإن المماثلة بالمادة الكثيفة قد ألهمت النظريين الثقاليين دراسة اعتماد أشعة هوكينغ على فيزياء في المسافات القصيرة –مسألة بلانكية الانتقال التي سبق ذكرها. ويمكن أن يُقال الشيء ذاته من أجل آلية التضخم في أثناء الاتساع الكوني: فإذا تتبعنا اللاتناهي المرصود في إشعاع CMB رجوعاً بالزمن وفق نموذجنا الكوني العياري، نجد أنها يجب أن تكون قد تولّدت من ترجحات كمومية ذات أطوال موجية أقصر كثيراً من طول بلانك. ويجب أن يكون في الإمكان استعمال الطرق ذاتها التي تطبّق الآن على مماثلات إشعاع هوكينغ لدراسة تأثير تعديلات المسافة القصيرة على الفيزياء. ومثل هذه التجارب يمكن أن تكون مهمّة، على وجه الخصوص، بالنسبة للعلماء الذين يدرسون الآن آخر قياسات CBM عالية الدقة، كما حُصل عليها من ساتل بلانك الذي أُطلق في عام 2009. وعلى نقيض إشعاعات هوكينغ، فإن اللاتناحيات في CBM يمكن أن تُرصد مباشرة، وربما يمكن للمرء أن يرى بصمات لفيزياء جديدة عند مقاييس طول فوق قصيرة في معطيات بلانك الجديدة. وإن نمذجة ذات العملية وفق فيزياء المختبر –من الناحيتين النظرية والتجريبية– يجب أن تساعدنا في معرفة الشيء الذي يجب أن نبحث عنه، إن كان هناك شيء.

وأخيراً، فإن الحقيقة الفيزيائية لا يُقرِّرها الجدل والمعتقدات ولا حتى النظريات، بل التجارب والمشاهدات. والنظرية الفيزيائية المقبولة يجب أن تكون منسجمة داخلياً ومتفقة مع المعطيات المعروفة، كما يجب أن تعطي توقعات جديدة يمكن إثباتها أو دحضها (على الأقل من حيث المبدأ). فنظرية الحقول الكمومية في الزمكان المنحني تتوقع ظواهر مثل إشعاعات هوكينغ، وخلق جسيمات كونية. وكثيرٌ منا في المجال يعتبرها كقريبة صغيرة little cousin للنظرية الأساسية التي لم تُعرف بعد والتي توحّد الثقالة والميكانيك الكمومي.

وفي كلّ الأحوال، وحتى من أجل هذه القريبة الصغيرة، لا تتوفر اختباراتٌ تجريبيةٌ مباشرةٌ، بل تُلاحظ فقط بصمات قليلة غير مباشرة. وأبرز بصمة وجدناها حتى الآن هي طيف اللاتناحي في إشعاعات CBM المذكورة أعلاه –إلا أن هذا التوقع بحدّ ذاته مبني على افتراضات إضافية مثل الاتساع الكوني، ولذلك فإن الاختبارات التجريبية بواسطة المماثلات المخبرية تعدّ مهمّة جداً. يُضاف إلى ذلك أن التجارب مسؤولة على الأرجح عن أن تبين لنا أن فهمنا النظري ليس إلا فهماً جزئياً وغير مكتمل. وتماماً كما يمكن أن تدهشنا الاستنتاجات المنطقية من نظرياتنا، كما فعلت عندما وَجَدَ هوكينغ أنه على الثقوب السوداء أن تصدر إشعاعاً باستمرار، فإن الطبيعة يمكن أن تدهشنا وترينا طرقاً جديدة للنظر إلى نظرياتنا وإلى العالم الفيزيائي.

نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, January 2011، ترجمة د. مصطفى حموليلا، عضو هيئة التحرير، مراجعة د. محمد قعقع، رئاسة هيئة التحرير.

الوجه الناقل لعازل

من المعلوم أن تجميع عازلين أكسيديين معاً ينتج عنه منظومة ناقلة عند السطح البيني بين الأكسيدين. أما اكتشاف أن فسخ عازل أكسيدي ببساطة يؤدي إلى النتيجة ذاتها فغير متوقع.

نشرت مجلة نيتشر Nature حديثاً خبراً عن اكتشاف حقّقه سانتَندر–سيرو وآخرون Santander-Syro لمنظومة إلكترونية ثنائية البعد ناقلة على السطح لعازل، هو أكسيد السترونسيوم–تيتانيوم ($SrTiO_3$، أو اختصاراً STO). وهذا الاكتشاف غير متوقع، لأن STO أُشبع دراسة في الماضي وكان يُظن أنه معروف بصورة كاملة؛ وقد يكون للاكتشاف آثار على جميع مجالات البحث التي تستعمل STO بشكل روتيني، كالمجالات التي تنمو بسرعة من الشبيكات الفائقة الأكسيدية وإلكترونيات الأكاسيد.

إن فيزياء المادة المكثفة، باكتشافها المتواصل لمواد جديدة، تشكل مجالاً ديناميكياً للبحث، مليئاً بالمفاجآت التي تتحدّى بصورة منتظمة فهمنا لسلوك الإلكترونات والذرّات في الجوامد. ومن الأمثلة المعروفة جيداً النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة، وأكاسيد المعادن الانتقالية (TMO) التي لها مقاومة مغنطيسية كبيرة –وهي قابلية المادة على تغيير مقاومتها الكهربائية عندما توضع في حقل مغنطيسي. إن الطاقة الكليّة للجملة، في أكاسيد المعادن الانتقالية (TMO) وفي المواد الجرمية بشكل عام، مُخفَّضة نتيجة للأيونات الذرّية والإلكترونات باتخاذ ترتيب بلّوري معيّن، كبنية البيروفسكايت على سبيل المثال، وبتعديلات للخواص في درجات الحرارة المنخفضة مثل حالاتها المغنطيسية. ولكن من الصعب أن نتنبأ كيف ستتغيّر خاصية معينة بدون تحضير عيّنة أولاً من المركّب ودراستها. وإذا كانت خاصية معينة ضرورية لتطبيق معين، فمن الصعب أن نتوقع أيّ مركّب كيميائي سوف ينتج الحصيلة المرغوبة. وهكذا، فإن البنية البلّورية لأكاسيد المعادن الانتقالية الجرمية، والخواص المصاحبة لها، لا يمكن التحكّم فيها بسهولة.

ولهذا السبب، فإن التحضير الاصطناعي لـ STO جديدة يحظى باهتمام ملحوظ. لقد أصبح ممكناً، في هذه الأيام، تحضير مواد مصنوعة من مجموعة من مواد أخرى، وبدقة ذرّية، وذلك بإنماء طبقات من أكسيد خاص على طبقات من أكسيد آخر، ثم إعادة العملية في ترتيبات متنوعة لتشكيل شبيكات فائقة. إن مجال التراكيب التي يمكن إنتاجها كبير جداً، وكل واحد منها يؤدي إلى مادة جديدة. لقد سبق أن أدّى تجميع عازلين من TMO، أحدهما هو STO، إلى اكتشاف الحالات البينية المعدنية (الناقلة) بل حتى الفائقة النقل.

قد يبدو للوهلة الأولى أن وجود حالات معدنية عند السطح البيني لعازلين محيِّراً. لكن بعض الباحثين يقولون إن آلية تُعرف باسم كارثة قطبية polar catastrophe يمكن أن تأخذ مجراها هي التي تفسّر تلك الحالات المعدنية. فعلى سبيل المثال، عندما يكدّس أكسيد اللانتانيوم–ألومينيوم (LAO، $LaAlO_3$)، المصنوع من طبقات مشحونة بصورة متناوبة من $(LaO_2)^-$ و$(AlO)^+$، في أعلى STO، المكوّن من طبقات مشحونة–معتدلة من TiO_2 و SrO، تنشأ الكارثة القطبية من القطبانيين الكهربائيين $(LaO_2)^-$ - $(AlO)^+$ في بنية ALO. تؤدي القطبانيات إلى نشوء فرق كمون كهربائي عبر بنية LAO الذي يزداد مع سمك المادة. عندما تكون بنى LAO سميكة بما يكفي، تحدث إعادة ترتيب إلكتروني بصورة مفاجئة– الكارثة القطبية– كي تعوّض عن فرق الكمون الكبير المتولّد، مانحة ناقلية على السطح البيني LAO/STO.

ولكن ماذا عن مشاهدات سانتَندر–سيرو وزملائه للحالة الناقلة على سطح STO، الجزء الرقيق من المادة التي تكون على تماس مع الخلاء عند أعلى البلّورة؟ كيف يمكن تكوين منظومة ناقلة على السطح من مركّب جرمي عازل؟ إن STO مصنوع من طبقات من TiO_2 وSrO معتدلة كهربائياً، أي غير مشحونة، تمنع الكارثة القطبية من أن تأخذ مجراها.

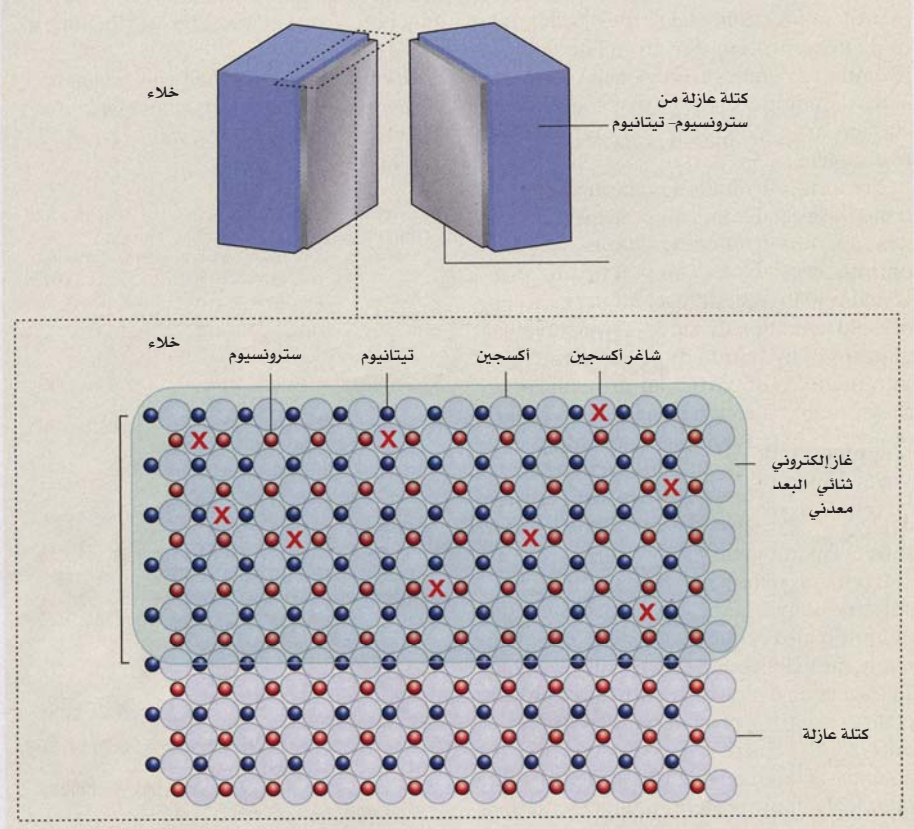
قام سانتَندر–سيرو وزملاؤه بدراسة خواص السطوح لعدد من بلّورات STO. ولكي يحصلوا على سطوح نظيفة، كسروا كل بلّورة من البلّورات في خلاء فائق. كانت النتيجة البارزة أن خواص السطوح لكلّ العيّنات المفحوصة هي الخواص التي يتمتع بها غاز إلكتروني معدني ثنائي البعد –وهو ما خُمّن له أن يكون محصوراً في عمق

لا يتجاوز سُمْك خمس خلايا من خلايا الواحدة للشبيكة البلّورية تحت السطوح (الشكل 1) . وما هو أبعد من ذلك، أن المؤلفين لاحظوا الكثافة الإلكترونية العالية ذاتها عند السطح المعدني لكل العينات، رغم كون العيّنات ذات الكثافات الإلكترونية المنخفضة في المادة الجرمية امتدت على مجال كبير من القيم.

كانت هذه النتائج مفاجئة. ويجادل سانتَندر–سيرو وزملاؤه بأن عملية الكسر تخلق عدداً كبيراً من شواغر الأكسجين على سطح المادة المكسور (الشكل 1). ونظراً لأن الأكسجين في البلّورة يتبنى حالة أيونية (O^{2-})، فإن إزالة كل ذرّة أكسجين «يعيد» بصورة فعلية إلكترونين إلى الشبيكة البلّورية –بمعنى أن الإلكترونين الزائدين للأيون يبقيان في المادة بالقرب من الشواغر، وبذلك يكونان قريبين من السطح، وبالتالي يكونان جاهزين للنقل. ومع أن للعيّنات أعداداً مختلفة تماماً من حاملات الشحنة في المادة الجرمية (أُدخلت من خلال التطعيم بالشوائب)، فإن العيّنات كلّها كسرت بطريقة مشابهة– مما يدل على أن كثافة شواغر الأكسجين الناتجة في العيّنات قد تكون مماثلة للسلوك العام المشاهَد ومفسّرة له.

من وجهة نظر التطبيقات في مجال إلكترونيات الأكاسيد، فإن خواص الحالات الناقلة الموجودة عند سطح STO وعند السطوح البينية أمثال LAO/STO، ينبغي مقارنتها الآن لتوضيح منشئها. إضافة إلى ذلك، وكما حدث مع LAO/STO، فإن ترانزستورات مفعول الحقل –وهي لبنات البناء الأساسية للجذاذات الإلكترونية– المبنيّة على حالة النقل الجديدة عند سطح STO ينبغي أخذها بالاعتبار وتنفيذها.

ولعل أهم المعاني الضمنية لنتائج سانتَندر– سيرو وزملائه هي أن منظومة إلكترونية جديدة ناقلة وثنائية البعد على ركازة مألوفة وشائعة أصبحت متوفرة الآن ببساطة عن طريق شقها –أو، بكلام أكثر تعميماً، بإحداث شواغر أكسجين مباشرة عند سطحها. وهذه الطريقة البسيطة بديل جذاب عن تقنيات إنماء شبيكات فائقة، التي تُعدُّ معقّدة ومكلفة. هذا الإجراء يعيد إلى الذهن مشابهات للأسلوب الذي بدأ به حقل إلكترونيات الغرافين –إذ بدأ بالاكتشاف الذي مفاده أن الغرافين (شبيكة من الكربون تشبه قرص العسل سمكها ذرّة واحدة) يمكن إنتاجه ببساطة بتقشير الغرافيت باستعمال شريط لاصق عادي. هناك تحدٍّ مهمٌّ لمستقبل إلكترونيات الأكاسيد هو أن نفهم ونتحكم بمنظومة النقل للأكاسيد المكسّرة في الخلاء الموصوفة هنا، وأن نتعلم كيف نصونها.



الشكل 1– فسخ الأكسيد: أحدث سانتَندر–سيرو وزملاؤه غازاً إلكترونياً ثنائي البعد ناقلاً على سطح كتلة عازلة من أكسيد السترونسيوم- تيتانيوم ($SrTiO_3$) ببساطة وذلك بفسخ المادة في خلاء شديد. تنشأ ناقلية المنظومة الإلكترونية، المحصورة ضمن عمق لا يتجاوز سُمْك خمس خلايا من خلايا الواحدة للشبيكة البلّورية تحت السطح، من شواغر الأكسجين (موزعة هنا بصورة كيفية) والتي أُحدثت بعملية التكسير.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 469, 13 January 2011.

ترجمة د. محمد قعقع، رئاسة هيئة التحرير.

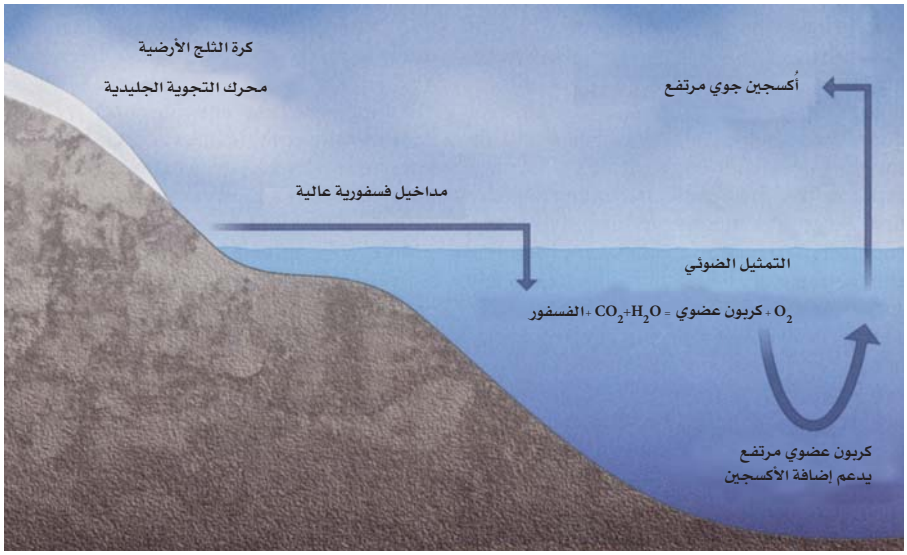
الفسفور وتفجُّر الهواء النقي

إن الدلالة على تجوية شديدة للفسفور التي تتبع تجلّد كرة الثلج الأرضية تزيد احتمال أن دورة المغذّيات المنشطة تتيح الظروف لتفجُّر الحياة الحيوانية.

إن التنوع السريع في الحياة الحيوانية (كثيرات الخلايا) والذي بدأ في أواخر العصر الحديث قبل حوالي 700 مليون سنة يعدّ نقطة تحول في أنظمة الأرض البيولوجية. وبدون شك فإن زيادة تركيز الأكسجين الجوي التي حدثت حوالي هذا الوقت لها علاقة بذلك عن طريق تأمين المؤكسد المناسب للتنفس، وكذلك تأمين طبقة أوزون ستراتوسفيرية كافية للحماية من الأشعة فوق البنفسجية. وربما كانت نهاية تجلّد كرة الثلج الأرضية الواسعة الانتشار التي غطت معظم سطح اليابسة والمحيطات بالجليد عاملاً أيضاً. وربما للزيادة السريعة في الأكسجين الجوي علاقة مع هذه الجليديات.

جاء في مجلة نيتشر Nature في عددها 467 أن بلانفسكي ومساعديه Planavsky et al استفادوا من تحاليل تتعلق بنسبة الفسفور إلى الحديد في الرسوبيات البحرية القديمة لأكسيد الحديد لتوجيه إصبع الاتهام إلى الفسفور كعامل وصل. ويملي هذا العنصر إنتاجية أرضية بيولوجية ومن ثم مدفناً للكربون العضوي في المحيطات على مستوى العصور الجيولوجية. إن نقص الفهم الشامل لتجوية الفسفور ونقله وتدويره ودفنه النهائي في الرسوبيات البحرية قد أعاق المحاولات السابقة لتوثيق تاريخ دورة الفسفور. وقد دعّم العمل الحديث على كل حال الثقة في أن سجلات ترسب الفسفور يمكن أن تستخدم في تفسير التغيرات في الإنتاجية البيولوجية والدورة الفسفورية الأرضية على مستوى العصور الجيولوجية.

استعمل بلانفسكي ومساعدوه الآن نسبة الفسفور إلى الحديد في الصخور الرسوبية الغنية بأكسيد الحديد ليوثقوا تقديرات تركيز الفسفور الذائب في المياه القديمة للبحار. تترسب أكاسيد الحديد والفسفور معاً في المختبر وبنسبة فسفور/حديد متميزة وذات علاقة أساسية بتركيز الفسفور في سائل الترسب. كما تتأثر العملية أيضاً بعناصر منافسة مثل السليكون. وعلى كل حال، فإن تفسير تجربة مخبرية لما جرى في أوقات موغلة في القدم هو مشكلة تتطلب اختباراً حذراً للصخور المدروسة وتحليلاً لعوامل ما بعد الترسب المختلفة



الشكل 1- تجلد كرة الثلج الأرضية وارتفاع مستويات الأكسجين قبل حوالي 700 مليون سنة. زيادة التجوية الكيميائية للفسفور الأرضي والتي تنجم عن التجوية الفيزيائية التي تسببها عمليات التجلّد. يحافظ على دورة الفسفور المسرّعة هذه غياب تشكل التربة نتيجة لغياب تشكل جذور النبات، وهذا يعني أن الفسفور سوف يستنفد من الأرض بأشكاله المتيسرة بيولوجياً عوضاً عن التقاطه بأشكال عضوية أو روابط تأكسدية. إن استمرار الإضافة الكبيرة للفسفور وهو مغذ بيولوجي مُحدِّد يدفع إلى إنتاج كثيف للمادة العضوية وسيؤدي تأكيد زيادة دفن الكربون العضوي بدوره إلى إضافة الأكسجين إلى المحيطات والجو من خلال التوازن الكتلي بعيد المدى لكليهما. وهكذا، وبشكل تخميني يؤمن في النهاية الظروف المحرضة للتطور الحيواني.

والتي يمكن أن تخرب سلامة العلاقة فوسفور/حديد. وقد نقّب المؤلفون في الأدبيات العلمية ووضعوا تحاليلهم الخاصة، وأزاحوا إشارة السليكون بوضع فرضيات حول تراكيز السليكات البحرية الماضية مشتقة من إعادة تصميمات علم البيئة القديمة.

لقد كان ما وجده بلانفسكي ومساعدوه متميزاً، لقد وجدوا تراكيز ثابتة وطبيعية نسبياً للفوسفور من 3 بلايين إلى 1,5 بليون سنة سالفة – وبعدها (متتبعين فجوة من المعطيات) قمة هائلة تصل إلى عشرة أضعاف المستوى الحالي قبل 700 بليون سنة تتزامن مع نهاية الكرة الجليدية للأرض. تعكس هذه الذروة زيادة كبيرة في مخزون الفسفور البحري جرت المحافظة عليه عبر عشرات ملايين السنين. وإذا اعتبرنا أن للفوسفور البحري «الحديث» زمن إقامة لعشرات آلاف السنين يصعب تصور محيطات يحافظ فيها على مستويات عالية من الفسفور لا يدفعها تغير متدرج في توازن كتلة الفسفور في الكرة الأرضية.

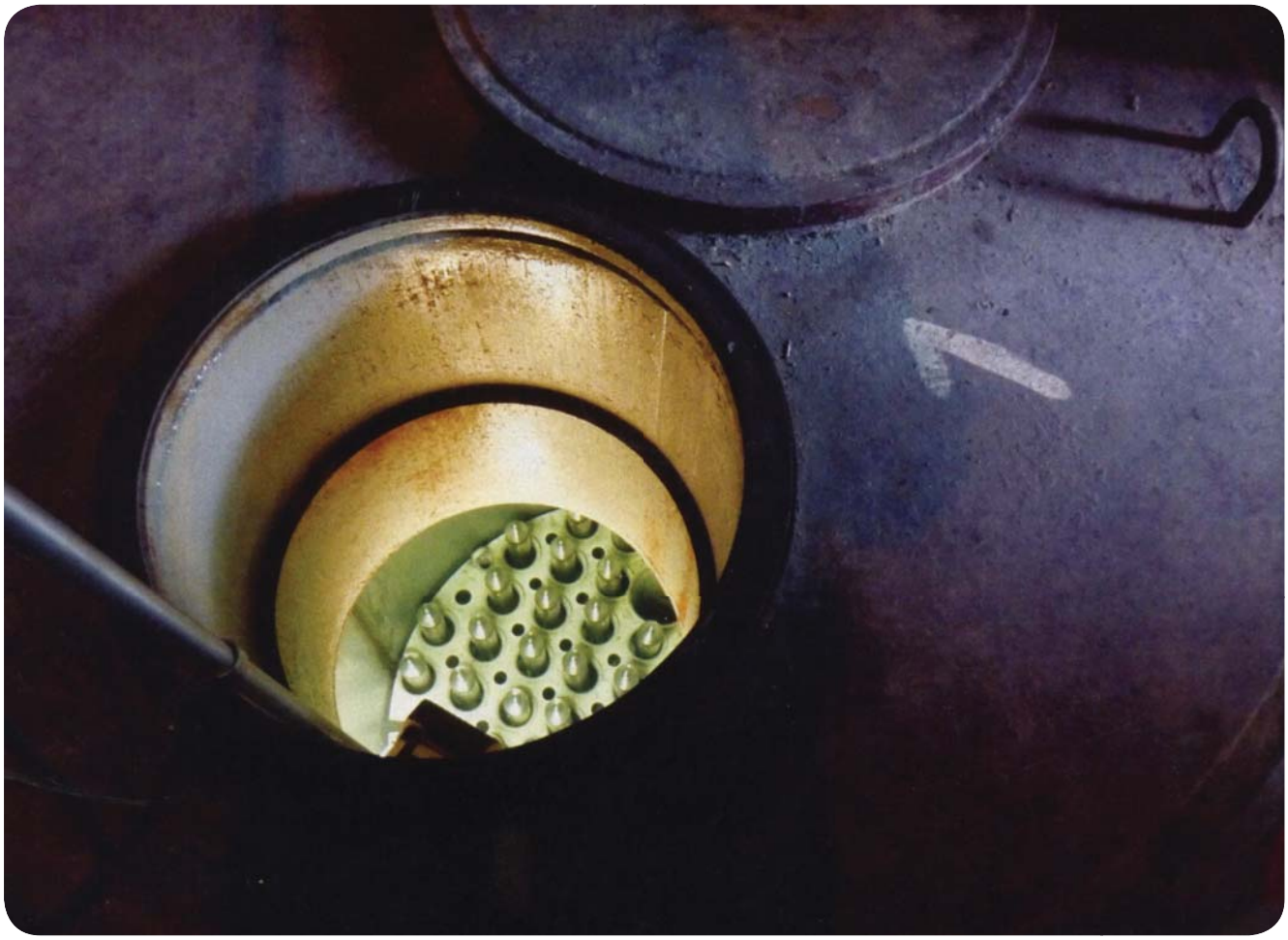
إن التفكير حول تبعات المستويات المرتفعة من الفسفور سيقود إلى الآتي: إن نتيجة ما يؤدي إليه الفسفور بالنسبة للإنتاجية البحرية هو ازدهار مستمر للطحالب في المحيط وبصورة تشبه تماماً ما يحدث في البرك والجداول الواقعة قرب المناطق ذات مستوى التسميد المرتفع. يسبب موت وترسب هذه الطحالب على المدى البعيد تشجيع دفن الكربون العضوي الذي يؤدي (من خلال علاقة التوازن الكتلي بين الكربون والأكسجين) إلى إضافة الأكسجين إلى نظام جو المحيط (الشكل 1). وتتحكم هذه الزيادة في الأكسجين الجوي في أنماط التطور الحيواني المعتمد على الأكسجين. يقدم هذا السيناريو رابطاً مقبولاً بين أدوار الكرة الأرضية الجليدية والأدوار المؤكسجة التي تقود إلى انفجار في التنوع الحيواني.

إن ما تتضمنه النتائج الحديثة في فهم تجوية الفسفور المحرّضة جليدياً على الأراضي مشوق أيضاً. لقد بدأنا نفهم كيف تؤثر الديناميكية الجليدية على تجوية الفسفور في اليابسة ونقله إلى المحيطات. وفي العالَم «المتجذر» الحديث، حيث تتوسط النباتات في تطور التربة، يتحرك معظم الفسفور المجوّى وينتقل من الأراضي في وقت محدود المدى بعد انحسار الجليد. وتشير السجلات القارية إلى أن هذا التدفق الكبير للفسفور يحدث في حوالي 10,000 سنة في معظم الأراضي (ربما أسرع إلى الأراضي المنخفضة/عالية الأمطار وأبطأ في الأراضي المرتفعة/منخفضة الأمطار) وفي الأراضي الحديثة بغطائها النباتي الواضح سيتطلب الحفاظ على زيادة ثابتة في إيصال الفسفور إلى المحيطات إزاحة دورية للترب المجواة والمستنفدة الفسفور وتعريض المواد الجديدة (الطازجة) لتطور تربة أبعد.

وفي أواخر حقبة فجر الحياة (البروتيروزويك)، يعني غياب نباتات الأرض أن تطور التربة كان ضعيفاً، أو أن تثبيت الأراضي الطبيعية وتحويل أشكال الفسفور الفلزية الأساس على الأسطح المعدنية الأصلية إلى الفسفور العضوي والمرتبط بشكل أكسيد والموجود في الترب الحديثة كان ضعيفاً أيضاً. من المفترض أن يكون الفسفور المنتزع من الصخور أكثر غزارة وأن تكون الأراضي الطبيعية نفسها أقل ثباتاً نظراً لغياب الفلورا (الأحياء النباتية). وتبعاً لهذه الحالة لا يعد الحاضر مفتاحاً للماضي البعيد. وبغياب تثبيت الفسفور في حقبة فجر الحياة سوف تتسرع دورة الفسفور حتى يؤدي تكوين الجذور دوراً بعد مئات عديدة من ملايين السنين. إن اختيار هذه الآلية المفترضة في تشجيع نزع الفسفور من الأراضي الطبيعية سيكون في تعريف الدلتا أو بيئات أحواض الترسب الأخرى من عصر فجر الحياة المتأخر واستعمال تقديرات تفويضية لفقد الفسفور (على سبيل المثال نسبة الفسفور/ألمنيوم) لتحديد فيما إذا كانت قيم الفترات المقدرة هذه الأيام أقل من المتوقع على أساس مواد المصدر. وستقدّم تحاليل مثل هذه دلالة مستقلة لمعدلات تجوية مرتفعة للفسفور.

في الوقت نفسه، ومع الأخذ بالاعتبار هذه النشرة واستعمال نسبة فسفور/حديد تفويضاً، ليس هناك أسلوب آخر للنظر إلى تغير المغذيات في المحيطات القديمة. وليس هناك تفويض أو توكيل كامل. وأن الضعف في هذه الحالة واضح (في المدى الزماني والموضعي لأشكال الصخر المناسبة للتحليل) وأقل وضوحاً (في الاختلافات في تركيب أكاسيد الحديد الأصلية والتي يغطيها الآن النضح المعدني). وعلى كل حال شكراً لبرنفسكي ومساعديه لامتلاكنا صورة عن دورة الفسفور البحرية خلال أوقات موغلة في القدم. نستطيع تطوير تكهن علمي عن كيفية حدوث الاختلافات في دورة الفسفور وعن علاقتها بدورة الكربون الأرضية ومستويات الأكسجين وعن تطور الأنظمة في البيئة البحرية.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 467, 28 October 2010.
ترجمة د. نجم الدين شرابي، عضو هيئة التحرير.



لقد تركت نهاية الحرب الباردة وقود اليورانيوم محصوراً في مفاعلات الأبحاث حول العالم، بما في ذلك مفاعل ماريا Maria في بولندا.

تبادل نووي

أكثر من مئة مفاعل بحث خلال حقبة الحرب الباردة تعمل على اليورانيوم النقي (المخصّب) بما يكفي للاستعمال في السلاح النووي. غير أن الانتقال إلى وقودٍ أكثر أماناً ليس أمراً سهلاً.

إنه يومٌ دافئ في أوائل الخريف، يتسلّل فيه ضوء الشمس من خلال أفنان أشجار الفربيون (الحلوب) والزيزفون فينشر بقعاً متفرقة على طريقٍ مهترئة أمام بناءٍ قرميدي خربٍ يطوّقه سياجٌ متصل الحلقات. الهدوء والأمان يملآن المكانَ، لكنّ إشارة عُلّقت على السياج تقول تيرين نادزوروووني Teren Nadzorowany –وتعني منطقة مراقبة– تعلوها بقايا لرسمٍ ثلاثي الوريقات حمراء اللون باهتة: وهو الرمز المستخدم في أنحاء العالم للإشارة إلى وجود خطر إشعاعي. وهذا الرسم هو الإشارة المرئية الوحيدة لما كان قد وضع داخل البناء: ألا وهو الوقود العالي التخصيب من اليورانيوم الذي يكفي لصنع أكثر من 18 قنبلة نووية.

مجموعة الصحفيين الزائرين والرسميين الأمريكيين يسيرون في صف طويل إلى داخل البناء ويتأملون في برك من الماء الفائقة النقاء

في روسيا، شرق جبال الأورال، حيث سيُحوّل وقود اليورانيوم إلى شكلٍ أكثر أماناً للاستخدام في مفاعلات الطاقة.

ستكون هذه الرحلة من نوع العودة إلى الوطن: فهذا الوقود الذي أتى إلى بولندا جاء أصلاً من روسيا منذ أكثر من ثلاثين سنة سيعود إلى موطنه. لأن المسؤولين في إدارة الأمن النووي الوطني الأمريكي US National Nuclear Security Administration (NNSA) تحسّسوا من هجمات الحادي عشر من أيلول/سبتمبر عام 2001، وخافوا من أن يُشكّل هذا النوع من الوقود العالي التخصيب هدفاً مغرياً جداً للإرهابيين الذين يبحثون عن صنع سلاحٍ نووي. وهكذا منذ سنة مضت، وبعد كثيرٍ من المناقشات مع الحكومة البولندية، بدأ البولنديون بترتيب اليورانيوم الخطر والتخلّص مما لا يحتاجون إليه وتحويل المفاعل للعمل على وقودٍ أكثر أماناً. وقد مُنحت مجلة Nature في يوم الإزالة الأخير فرصةً نادرةً لمراقبة البرنامج الأمريكي وهو في حالة التنفيذ.

ومن المحتمل ألا يكون هذا المفاعل البولندي وحيداً: فما زال في العالم نحو 130 مفاعلاً للأبحاث، في مختبرات الدول أو في المنشآت الجامعية، تعمل كلها على وقودٍ من درجة وقود القنابل (انظر الخريطة). ولم يذكر الرئيس باراك أوباما بوضوح هذه المفاعلات في خطابه في نيسان/أبريل عام 2009، عندما أعلن تسريعاً كبيراً لجهود تشريع قانونٍ عدم الانتشار، وتعهّد بضمان أمن كل المواد النووية غير الحصينة Vulnerable المعرّضة للهجوم خلال أربع سنوات. لكن الكثير من هذه المعدات (المفاعلات) تقع، بالفعل وبوضوح، ضمن هذا الصنف «غير الحصين».

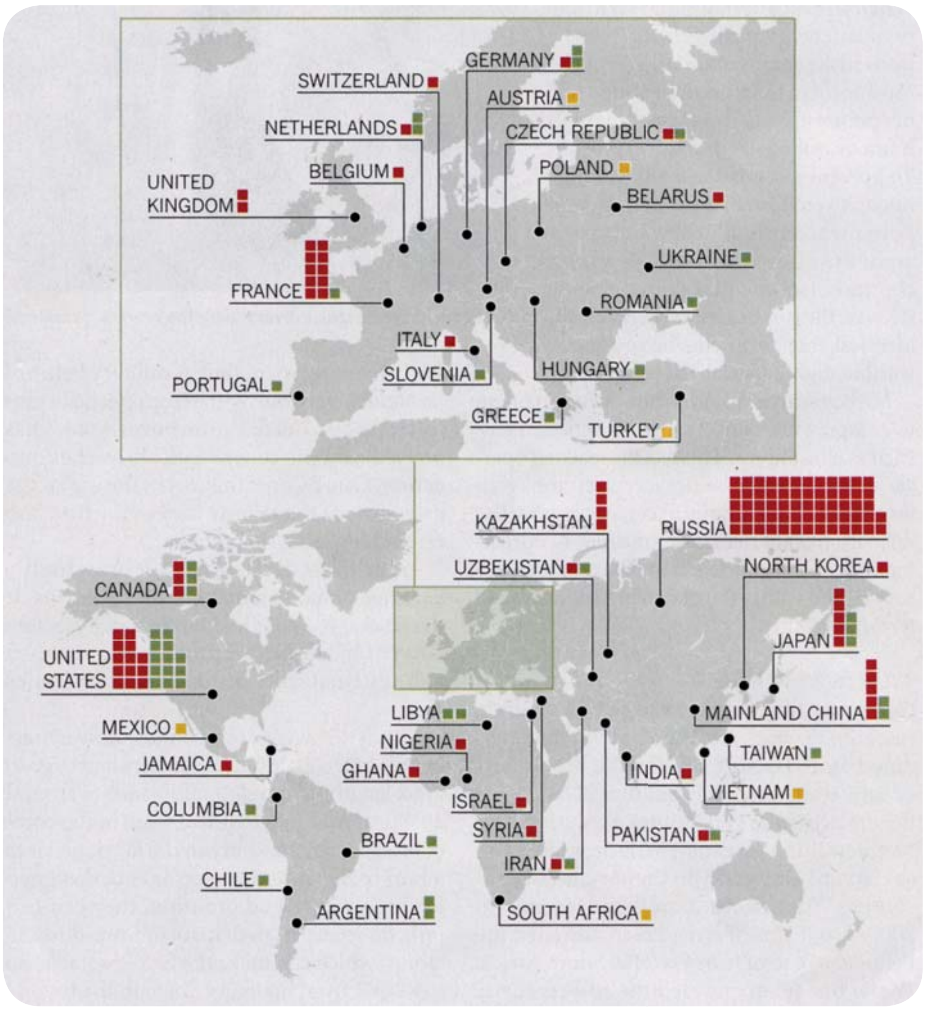
ليس مشغّلو مفاعل البحث دوماً مندفعين للتعاون مع المبادرة الأمريكية. وإن الوقود البديل الأكثر أماناً متوافر، غير أن تحويل والتي كان يوضع فيها الوقود في وقت من الأوقات. الماء هادئ وصافٍ وبرك الوقود خالية. وهنا في معهد الطاقة الذرّية البولندي في أوتووك–سويرك Otwock-Swierk، التي تبعد 30 كيلومتراً إلى الجنوب الشرقي من وارسو، كانت تجري عمليات إزالة الوقود طيلة عام كامل. وقد استكملت في هذا اليوم: إذ تمّ سحب آخر شحنة من هذه البرك وحُزمت الشحن في سبع حاوياتٍ زرقاء لامعة، ترقد الآن على ظهر شاحنات النقل عند البوابة. وستبدأ الحاويات في القريب العاجل رحلةً بإجراءات أمنية مشدّدة إلى محطةِ إعادةِ المعالجة

المفاعلات في العالم

يوجد في جميع أنحاء العالم نحو 130 مفاعلاً نووياً تعمل على يورانيوم مخصب بدرجة عالية (HEU) تصلح لصنع قنبلة. أغلقت بعض المفاعلات الأخرى أو حُوّلت إلى العمل بوقود أكثر أماناً، أو أنها في طور التحويل.

مفاعلات الأبحاث

■ حُوّلت جزئياً ■ حُوّلت ■ ذات وقود HEU وهي هدف للتحويل



المفاعلات لاستخدامه أمر صعب يتطلّب وقتاً وتكلفة مرتفعة. ويقول جرْزيغورز كرزيسزتوسزك Grzegorz Krzysztoszek، مدير المنشأة البولندية (المفاعل): «نحن لسنا مسرورين لتحويل مفاعلنا». إلا أن إدارة الأمن النووي الوطني الأمريكية NNSA هي التي فازت على كل المشغّلين من خلال عرضها لإزالة اليورانيوم القديم، والمساعدة في عملية التحويل ودفع قيمة وقودٍ جديد –قيمة العرض في هذه الحالة تقارب 70 مليون دولار أمريكي. وقد سبق للوكالة الأمريكية لمبادرة خفض التهديد العالمي US agency`s Global Threat Reduction Initiative أن ساعدت في تحويل أو إغلاق اثنين وسبعين مفاعلاً من مفاعلات البحث غير الحصينة في أنحاء العالم. وتأمل NNSA الآن في صرف ما يقارب ثلاثة بلايين دولار أمريكي خلال السنوات الأربع القادمة لتأمين أو تحويل ما تقدرُ عليه من المفاعلات وإخلاء اليورانيوم من عشر دول، عاملةً بذلك على تسريع الجدول الزمني لأوباما. ويقول أندرو بيانيوسكي Andrew Bieniawski، رئيس العملية: «إنه جدول تعسّفي، ولكنني اعتقد أننا نستطيع تنفيذه».

التَّركة

لقد بُني مفاعل البحث البولندي خلال الحرب الباردة، وهو واحد من كثير من المفاعلات التي بُنيت بمساعدة الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي السابق في تلك الفترة. وقد كان في الواقع واحداً من مفاعلَيْ بحث ضخمين ساعد الاتحاد السوفييتي السابق في بنائهما في المعهد بدءاً من الخمسينيات. وقد أُطلق على هذا المفاعل، وهو أشبه بفرس النهر الضخم واستطاعته 30 ميغاواط، اسم ماريا نسبة إلى العالمة «ماري كوري» البولندية المولد. والجزء المهمّ من الصفقة هو أن السوفييت سيحتفظون أيضاً بالمفاعلين المزودين بوقود اليورانيوم العالي التخصيب.

إلا أن سقوط الاتحاد السوفييتي عام 1991 أدّى إلى أوقات صعبة (عصيبة). وقد سقطت معه خطط مفاعل الطاقة البولندي التجارية في شمال البلد، وأُغلق المفاعل الأقدم من مفاعلي المعهد عام 1995. وبذلك بقي المفاعل ماريا وحده كتَركةٍ تاريخية. ويجري الآن إجراء التجارب في الفيزياء النووية في مسرّعاتِ الجسيمات وليس في مفاعلات البحث.

وحتى الآن ما زال ماريا يهدر ويعج بالنشاط، وهو آخر بقايا العصر النووي في بولندا. وحتى لو لم يكن ماريا هو الأحدث، يقول كرزيسزتوسزك، فإن هذا المفاعل قد وجد موقعاً مناسباً في أبحاثٍ أكثر فائدة للعامة –في الدرجة الأولى استعمال النترونات

يشرف جرزيغورز كرزيسزتوسزك على عملية تحويل المفاعل.

الصادرة عن قلب المفاعل للتصوير، ولإنتاج النظائر الطبية. ويأتي نحو 69% من موازنة ماريا السنوية البالغة خمسة ملايين دولار أمريكي، من الزبائن الصناعيين، بما في ذلك شركة أمريكية تأمل في استخدام ماريا لإنتاج الموليبدينوم–99 –وهو نظير قصير العمر يُستخدم في التصوير الطبّي. فعمليات الانقطاع في المفاعلات المنتجة في كندا وفي هولندا ولّدتْ نقصاً شديداً في هذا النظير حول العالم (انظر مجلة Nature 460, 312–313; 2009)، كما يأمل المعهد البولندي في الاستفادة من هذا المفاعل. فمحلياً، يبرز المفاعل أيضاً في خططٍ لعصر استقلال الطاقة النووية الجديد. إذ تريد الحكومة البولندية الابتعاد عن استعمال الفحم الوسخ (القذر)، أو الغاز الذي يزوّدها به الروس، كما يقول كرزيسزتوسزك. ويؤمل حتى عام 2021–2022 أن يصبح لديهم محطتان عاملتان للطاقة النووية. ولكن هذا سيتطلّب تدريب العلماء وكذلك المهندسين البولنديين على المهارات النووية، وهذا المفاعل هو المنشأة الوطنية الوحيدة المتوفرة لهذا الغرض.

ويمكن أن تُسمع قصصٌ مشابهة في منشآت بحثية أخرى حول العالم: فهي ما تزال تقوم بعملٍ جديرٍ بالاهتمام. ويقول ديفيد مونكتون David Moncton، مدير مفاعل البحث في معهد ماساتشوستس للتقانة (MIT) في كامبردج: «نحن نعمل أشياء وأشياء بواسطة هذا المفاعل، ولا نُشغّلهُ لمجرد التشغيل. علماً بأن هذا المفاعل

انظر Nature. Com من أجل الاطلاع على مفاعلات أبحاثٍ أكثر تخضع للتحويل، انظر go.nature.com/vggayn

هو أحد المفاعلات القليلة على تربةِ الولايات المتحدة التي ما تزال تعمل بوقود من درجة الوقود المستخدم في صنع القنابل. ويستخدم مفاعل الـ MIT هذا لاختبار أنواع الوقود النووي الجديدة وبعض المركّبات، وهو يخدم أيضاً أغراضاً أخرى أقل وضوحاً: مثل تطعيم السليكون نصف الناقل وذلك باستبدال الفسفور ببعض السليكون. فالرقاقات نصف الناقلة تستخدم مركّبات إلكترونية عالية الأداء في الحافلات الهجينة.

وسواء أكان المفاعل نافعاً أم لا، يبقى الوقود هاجساً أمنيّاً. والقلق نابع من أن مجموعة إرهابية ما يمكن بطريقة ما أن تستولي على الوقود وتستخلص ما يكفي من النظير الانشطاري، اليورانيوم–235، لبناء قنبلة قذرة. إذ عندما تنشطر ذرّات اليورانيوم–235 فإنها تنتج الطاقة والنترونات. وهذه النترونات تضرب نوى اليورانيوم–235 المجاورة، مسبّبة انشطارها ومولّدة تفاعلاً متسلسلاً مستمراً، يؤدي إلى انفجار إذا تُرك من غير تحكّم. ولمنع أي فرد من الحصول على سلاح نووي، يُمدَّد الوقود الذي سيستخدم في مفاعلات الطاقة التجارية بكميات وافرة من اليورانيوم–238 –وهو النظير الأكثر شيوعاً الذي لا ينشطر. وبما أن النظيرين–235 و238 متطابقان كيميائياً (لهما ذات الصفات الكيميائية)، فلا يمكن فصلهما إلا في تجهيزات عالية الخصوصية.

إن معظم مفاعلات البحث، تعمل باليورانيوم–235 النقي حتى الدرجة 93%، ممزوجاً مع عناصر أخرى مثل الألمنيوم. وهذا يجعل المفاعلات تعمل لمدة أطول وتنتج نتروناتٍ أكثر بكمية أقلّ من الوقود. إلا أن هذا اليورانيوم الممزوج يمكن أن يُفصل بسهولة عن العناصر الأخرى في الوقود، وبهذا فإن فصل ما يكفي لصنع قنبلة نووية سهل نسبياً –وضمن وسائل مجموعة إرهابية ذات خبرة، أو دراية كافية.

عرضة للهجوم

غالباً ما تُوضعُ تركيبةُ مسألةِ أمنِ الوقود، وأمن مفاعلات البحث، في مختبرات متداعية (خربة) سيئة الحالة أو في أقبية الأبنية الجامعية للبحوث. يقول ماثيو بون Mathew Bunn، وهو خبير في الإرهاب النووي في جامعة هارفرد، كامبردج، ماساتشوستس: «يتوفر لكثيرٍ من هذه الأماكن حدُ أدنى من التدابير الأمنية»، وهذا التهديد أو الخطر المحتمل هو أكثر من أن يكون أكاديمياً: ففي عام 2007، هاجمت مجموعتان من رجال مسلحين مفاعل بلينداب قرب بريتوريا، في جنوب أفريقيا. وفيما انشغلت إحدى المجموعتين مع قوة الأمن في الموقع، التي ولّت الأدبار، اخترقَ الرجالُ الآخرون السياج وأخذوا طريقهم إلى مركز مراقبة الطوارئ في داخل المنشأة، وهناك أطلقوا النار على صدر عاملٍ قبل الهرب، ولم يتم القبض عليهم أبداً. ولم يُعلن عن أي فقْدٍ من وقود اليورانيوم–235. وفي الحقيقة، لا أحد يعلم عمَّ كان يبحث المهاجمون، إلا أن الحدث أكد ضَعْفَ أمان هذه المنشآت النووية المدنية.

«كثيرٌ من هذه الأماكن يتمتع بقليل جداً من الأمن».

لقد كان الهاجس الأمني كبيراً في ذهن مفاوضي NNSA أثناء إعداد الصفقة مع المعهد البولندي، إذ كان ما مقداره 454.9 كيلو غراماً من وقود اليورانيوم العالي التخصيب، الطازج منه والمستعمل، متروكاً على الشاطئ عند انهيار الاتحاد السوفييتي. وتبقى إجراءات الأمن مسألة تتطلب تركيزاً عالياً في أذهان أعضاء فريق التمويل الأمريكي والبولندي حتى يومنا هذا.

وفي منتصف النهار، تجمّعت سيارات الشرطة عند بوابةٍ قرب بناء المفاعل. والضباط في قمصانٍ سوداء قصيرة الأكمام ينضوون في مجموعات صغيرة قرب ساحةٍ مجاورةٍ حيث تقف سبع شاحنات، وعلى متن كلٍّ منها واحدة من الحاويات الزرقاء المملوءة بما بقي أخيراً من الوقود المستهلك. وفجأة بدأت تهدر فوق الأشجار حوّامة (مروحية) عسكرية وأخذت بالدوران فوقهم؛ لقد وصل الحرسُ المجوقلون (المحمولون جواً)، وتهادى الرتل مسرعاً ليبدأ العمل، وتتابعت الناقلات الواحدة خلف الأخرى خارجة من البوابة باتجاه ساحة الخطوط الحديدية التي هي المحطة الأولى على طريق الرحلة الطويلة إلى روسيا.

ومع مغادرتهم، لم يبقَ في الموقع سوى اليورانيوم العالي التخصيب الذي يهجع في داخل المفاعل ذاته. وكما في المفاعلات الأخرى للأبحاث المشمولة ببرنامج NNSA، سيُستبدل بهذا الوقود، وبصورة منهجية، وقودٌ أكثر أماناً (أقلّ تخصيباً).

وليس هذا الأمر بالسهولة التي يبدو فيها. فالباحثون في الولايات المتحدة وفي أماكن أخرى كان عليهم اجتياز مسارٍ طويلٍ لتطوير مزيج آمن من نحو 20% من اليورانيوم–235 ليعمل في قلوب مفاعلات البحث ولا يمكن تحويله إلى قنبلة ذرّية. وبما أن المفاعلات مصمّمة أصلاً لتعمل على اليورانيوم العالي التخصيب، فإنها لا يمكن أن تعمل إلا على اليورانيوم ذي الكثافة العالية من ذرّات اليورانيوم–235، وهذا يمكن أن يجعل الوقود أقلّ استقراراً.

لذا، ولحفظه من التفتت في بيئة قلب المفاعل المُجهَدَة (بالحرارة والإشعاع)، قام الباحثون بتطوير البحوث في مزيج اليورانيوم وعناصر أخرى مثل السليكون والموليبدينوم.

سجلت جهود ذلك التطوير نجاحاً. حيث يتوفر الآن الوقودُ لكثيرٍ من مفاعلات البحث بما في ذلك مفاعل ماريا. إلا أنه لا تتوفر لدى أكثر المعاهد التي لديها مفاعلات البحث ملايين الدولارات اللازمة لشراء الوقود الجديد –أو لتحويل قلب المفاعل لاستخدام هذا الوقود. «إن هذا العمل فيه الكثير من المشقة»، يقول ميشيل كورّادِيني Michael Corradini، المهندس الميكانيكي والنووي في جامعة ويسكونسون–ماديسون، التي انتقلت في السنة الأخيرة إلى وقودٍ أكثر أمناً.

وحتى مفاعل ماريا، الذي يبدو عادياً أكثر من غيره يمكن أن يكون تحدّياً. فمثلاً إن ماء التبريد الذي يساعد في تنظيم تفاعلات الانشطار، لا يدور بشكل جيد عبر مزيج الوقود الجديد، كما يقول كرزيسزتوسزك، وعليه يجب تحسين المضخّات. وأكثر من ذلك، يترتّب تحويل المفاعل شيئاً فشيئاً في عملياتٍ شاقّةٍ ستستغرق نحو عامين.

الوجهة الأخيرة

في الغسق، وصل رتلُ الشاحنات إلى ساحة السكة الحديد في ضواحي مدينة وارسو. وملأت حاويات الشحن ما حول القطار. وذلك كجزءٍ من جهدٍ لحجب الشحنة عن الأنظار أثناء التحميل. وقد قامت المروحية اليقظة، التي عملت كرافعة للأحمال الثقيلة، بسحب الحاويات إلى سيارات مسطّحة. ومع حلول الظلام، بدأ القطار بالتحرّك باتجاه ميناء كدينيا Gdynia على بحر البلطيق الذي يبعد قرابة 400 كيلومتر باتجاه الشمال.

وفي النهاية، فإن الوعد بتخليص المنشأة من الوقود القديم ساعد في إقناع البولنديين لتحويل مفاعل ماريا إلى الوقود الممزوج. ومثل أكثر البلدان، لا يوجد في بولندا تسهيلات لخزن كتلة الوقود المستهلك لمدى طويل. والأمل من المساعدة الأمريكية بأن يُعاد الوقود إلى روسيا كان ببساطة مغرياً جداً للاستغناء عنه. ويؤمل من توسيعِ برنامج الولايات المتحدة لإعادة الوقود إلى الوطن الأم، ومن تطويرِ وقودٍ جديدٍ لمفاعلات البحث، أن يُقنع كثيراً من البلدان بالتخلي عن ملكية اليورانيوم الذي في حوزتهم. وعلى مدى السنوات الأربع التالية، تأمل NNSA أن تتحوّل إلى التلويح بعصى أخرى، في نحو عشر دول حول العالم، وأن تنتهي من معظم عملها على النطاق العالمي بحلول العام 2020.

وفي الوقت الحاضر، تُحاول فرق أمريكية جاهدة تسريعَ إعادةِ الوقود إلى موطنه. فالوقود الذي سبق وقدم من الأمريكيين سيذهب إلى الولايات المتحدة، والمواد السوفييتية ستذهب إلى روسيا. وفي هذه الأثناء، يقترب العلماء في مختبرات وزارة الطاقة من منح الشهادة لنوع آخر من الوقود أعلى كثافةً –للعمل في المفاعلات التي لا تستطيع تقبل مزائج الوقود المتوفرة حالياً.

ويقول بُون Bunn إن أكبر مشكلة هي أن الروس أنفسهم مستمرون في تشغيل 60 مفاعلاً عجيباً تعمل على مادةٍ (يورانيوم) من درجة الوقود المستخدم في صنع القنبلة، وأضاف: «لقد كانوا ممانعين جداً للتغيير (للتبديل)». إلا أن NNSA تأمل في التغلّب على الروس، ويقول إن لديهم الآن حوالي ستة مفاعلات في البلد يُدرس تحويلها بعناية.

وفي صباح اليوم التالي وُجِد بينيوسكي Bieniawski وبقية الفريق الأمريكي واقفين على ظهر سفينة الشحن الروسية التي أُعدَّت خصيصاً لنقل الوقود. ويراقب بينيوسكي الحاويات التي تُنزَّل ببطء إلى عنبر السفينة ويقول: «إن هذا آخر ما سنراه عياناً منها»، فهو وكذلك فريقه حزموا أمرهم لرحلةٍ إلى موقعِ مفاعلٍ آخر، يحوي وقوداً أكثر يمكن أن يحوّل إلى سلاح. وعندما سُئل عن موقعِ هذا المفاعل، حوّل الحديث قائلاً: «دعونا نتكلم عن هذا في وقتٍ لاحق».

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 467, 14 October 2010.

ترجمة د. مصطفى حموليلا، عضو هيئة التحرير.

المخاطر الصحية لمحطة فوكوشيما النووية تُفحص بدقة

لكن العلماء يكافحون من أجل تتبّع معطيات الإشعاع

مع استمرار تسرّب الإشعاع من المفاعلات المتضرّرة في محطة الطاقة النووية فوكوشيما دايشي Fukushima Daiichi، بدأ الباحثون بوضع أساس للدراسات التي سوف تبحث عن أية تأثيرات طويلة المدى على الصحّة العامّة.

يلاقي العلماء الأكاديميون عوائق أساسية أثناء محاولتهم جمع البيانات الأساسية حول الجرعات الإشعاعية لمجابهة العقبات الهائلة التي سبّبها الزلزال وموجات التسونامي tsunami التي ضربت اليابان في شهر آذار/ مارس الماضي. لكن تجربة حادثة تشرنوبل النووية التي وقعت عام 1986 تظهر أن مثل هذه البيانات الأساسية تُعدُّ ضرورية؛ وبدونها، فإن رسم (إثارة) استنتاجات محدّدة حول أية تأثيرات صحية ضارّة سيكون أمراً في غاية الصعوبة.

الأطفال بشكل خاص أكثر عُرضة لخطر الإصابة بسرطان الغدة الدرقية الناجم عن النشاط الإشعاعي في الشراب والطعام الملوّث.

يؤكّد الباحثون، على أية حال، أن المستويات البيئية للإشعاع في منطقة إخلاء السكان على بعد 20 كيلومتراً جوار محطة الطاقة الكهربائية هي حالياً أخفض بكثير من المستويات التي تبعث المخاوف المتعلقة بصحة الإنسان. ولعلّ التهديد الأعظم على صحة البشر من جرّاء هذه الكارثة يتمثّل في استهلاك مياه الشرب والأطعمة الملوّثة، بحسب قولهم.

وإن تقييم تأثير أي تعرُّض للإشعاع في البيئة ربما يتطلّب دراسات جماعية للبحث عن مخاطر سرطانية متنامية بدءاً من الآن وحتى سنوات قادمة بين الأشخاص الذين يعيشون في مناطق تحوي مستويات مرتفعة من التلوّث الإشعاعي. وإن مسألة المدة الزمنية التي ستستغرقها هذه الدراسات حتى تكون أمراً واقعاً، أو فيما إذا كانت هناك حاجة إليها بالمطلق، تعتمد على مدى استدامة التلوّث الناجم عن المفاعلات المتضرّرة. ومع أن الرياح السائدة عصفت بعيداً عن الموقع معظم النظائر المشعّة فوق المحيط الهادئ، فإن التغيّرات الدورية في أنماط الطقس تترك السقط في الجوار المحيط، مما يؤدي إلى زيادة الجرعات التي يتلقاها السكّان. وقد اعترفت السلطات اليابانية بأنه ربما تمرّ شهور قبل أن تصبح المفاعلات تحت السيطرة. الآن، «من الصعوبة بمكان التنبؤ بماهية التأثيرات الصحيّة المحتملة»، هذا ما يقوله ديلواين ويليامز D. Williams، الباحث المختص بالسرطان في

مختبر أبحاث Strangeways في كامبردج، بالمملكة المتحدة.

ويتعرّض عمال المحطة إلى مستويات عالية جداً من الإشعاع مقارنة مع السكان العاديين وسيخضعون لمراقبة التأثيرات الصحيّة المحتملة على المدى البعيد. وإن جمعية التأثيرات الإشعاعية التي مقرّها في طوكيو ما تزال تواصل دراسة الحالة الصحيّة لعمال الطاقة النووية اليابانيين، وستكون البيانات الجديدة لقياس الجرعة بالنسبة لعمال محطة فوكوشيما مدمجة في هذه الدراسة.

لكن مؤسسة أبحاث التأثيرات الإشعاعية (RERF)، التي مقرّها في هيروشيما وناغازاكي، المسؤولة عن دراسات علم الأوبئة الإشعاعية لدى الأشخاص الذين هم على قيد الحياة بعد انفجارات القنبلة الذرّية، بادرت حالياً بمناقشات حول دراسات أوسع لمحطة فوكوشيما. وفي بيان مشترك لمجلة نتشر Natuer، يقول كلٌّ من نائب رئيس مؤسسة (RERF)، ورئيس الأبحاث روي شور Roy Shore، ورئيس علم الأوبئة فيها كوتارا أوزاسا Kotaro Ozasa: «من الضروري جمع البيانات الأساسية –مثل التحديد الدقيق لمواقع تعرُّض الناس للسقط النووي– بأسرع وقت ممكن. وإن هيئات عديدة، مثل وزارة العلوم اليابانية، والسلطات المحلية، وشركة الطاقة الكهربائية في طوكيو، وهي المشغل للمحطة، تقوم حالياً بنشر القياسات؛ لكن التحدّي يكمن في جمع المعلومات وتقييمها، بحسب قول شور وأوزاسا، لأن هذه البيانات مبعثرة وغير منسّقة حالياً.

تتمثّل المشكلة في أنه من الصعب جداً الحصول على صورة واقعية لتعرُّض السكان للإشعاع.

«تتمثّل المشكلة في أنه من الصعب جداً الحصول على صورة واقعية لتعرُّض السكان للإشعاع»، هذا ما تقوله إليزابيث كارديز E. Cardis، عالِمة الأوبئة الإشعاعية في مركز أبحاث علم الأوبئة في مدينة برشلونة الإسبانية، وتضيف: «إن مراجعة حاسمة لجميع البيانات المتوفرة هي أمر مطلوب».

ويجب أن تُرسل مجموعة من الأسئلة إلى الناس في المناطق الأكثر خطراً للتعرّف على التفاصيل مثل الوقت الذي قضوه خارج البيت خلال تواريخ متعدّدة، وما هو الطعام أو الشراب الذي تمّ استهلاكه، بحسب ما يقول كلٌّ من شور وأوزاسا. «ويتضّح أنه من الأهمية بمكان الحصول على هذه البيانات بشكل أسرع وعدم التأخُّر في ذلك، ولكن عند هذه النقطة، فإن مكافحة (التعامل) التأثيرات الكبيرة للزلزال والتسونامي ينبغي أن تأخذ الأسبقية»، بحسب ما جاء في بيانهما.

إن الإخلاء الفوري لليابانيين الذين يقيمون على بعد 20 كيلومتراً حول محطة فوكوشيما، وحظر المُنتَج المشكوك فيه، ينبغي أن يساعدا في كبح قلق التعرُّض للنظائر المشعّة. وما يزال اليود–131، الذي يمتلك عمر نصف قدره 8 أيام ولكنه يتراكم بسرعة في الغدة الدرقية، يمثّل المركّب الرئيس من إصدارات المحطة النووية، كما أنه يبقى يشكّل التهديد الإشعاعي الحاد الأعظم على الصحة بالنسبة لعموم الناس، هذا ما يقوله ريتشارد ووكفورد R. Wakeford، عالِم الأوبئة في معهد دالتون النووي في جامعة مانشستر بالمملكة المتحدة. ويضيف: «لقد اكتُشفت بعض مستويات النشاط الإشعاعي في الطعام منذ أن وقع هذا الحادث الضخم جداً».

تمثّلت أحدى التأثيرات الصحية الكبرى التي نجمت عن حادثة تشرنوبل في حالات إصابة بسرطان الغدة الدرقية في أنها تجاوزت 6000 حالة، ومعظم الناس الأكثر تأثراً كانوا في مرحلة الطفولة عند وقوع تلك الحادثة. وتلقّى الناس، في معظم هذه الحالات، جرعات عالية من الإشعاع من خلال شرب حليب الأبقار التي تغذّت من مراعٍ ملوّثة باليود. ويُعدُّ الأطفال بشكل خاص الأكثر عرضة للخطر لأن غدتهم الدرقية ما تزال في مرحلة النمو وأكثر عرضة للتلف الإشعاعي من الغدة الدرقية لدى البالغين.

هذا، وتقوم السلطات اليابانية بتوزيع أقراص يوديد البوتاسيوم في المناطق المتأثرة، ويقول ويليام بأن ذلك يشكّل إجراءً وقائياً حاسماً. تُغرق هذه الأقراص الغدة الدرقية باليود غير المشعّ، وهو الأمر الذي يمنع امتصاص اليود المشعّ. وربما يمتلك الأطفال اليابانيون مزايا ثقافية تخفّض من خطر تعرّضهم لليود المشعّ. وبينما كان الأطفال في تشرنوبل يعانون من نقص في اليود، إلا أن الغذاء الياباني، الغني بالسمك والأعشاب البحرية يُعدُّ من أكثر الأغذية غنىً باليود في العالم، بحسب ما يقول ويليامز. كما يُعدُّ الحليب مصدراً غذائياً أقل أهمية بالنسبة لليابانيين مقارنة مع ما كان عليه الحال بالنسبة للسكان الريفيين في تشرنوبل.

لقد راقبت السلطات اليابانية جرعات اليود المشعّ في الغدد الدرقية لدى الأطفال في المناطق الأكثر تلوّثاً. وقد اكتشفت مجلة نتشر أن النتائج الأولية للمسح تُظهر جرعات درقية أقلّ لدى 946 طفلاً يعيشون في المنطقة الشمالية الغربية من المحطة، وهي المنطقة التي اكتُشف فيها بعض السقط الأعلى فوق المنطقة. كما كشفت

القياسات التي أُجريت خلال الفترة من 28–30 من آذار/مارس الماضي جرعات أعلى وصلت إلى 0.07 ميكروسيفرت/ساعة. وإن هذا سوف يوحي بأن الأطفال قد تلقّوا جرعات تقلّ في مجملها عن 100 ميكروسيفرت، أي أخفض بآلاف المرات من الجرعات التي تلقاها الناس الذين كانوا يعيشون في مناطق التلوّث المحيطة بتشرنوبل. وبالنتيجة، «يبدو مطمئناً أن الأطفال قد تلقّوا كميات أقل من اليود–131»، وإذا كان حظر الطعام فعّالاً، فإن اليابان ستُحكِم قبضتها على القلق الرئيس في هذا النوع من الحالات»، بحسب قول ووكفورد.

يقول فاديم شوماك V. Chumak، الفيزيائي المتخصّص بالصحة في مركز أبحاث الطب الإشعاعي في أكاديمية العلوم الطبية الأوكرانية في كييف، والذي نسّق دراسات صحية حول تشرنوبل، إن باحثي الإشعاع اليابانيين ينبغي أن يأخذوا العِبَر من حادثة تشرنوبل. إذ إنه يحذّر من أن البيانات حول الجرعات آخذة بالتلاشي، وإذا لم يقوموا بجمعها الآن، فإن أي بحث نهائي سيكون أكثر عرضة للحيرة، ويضيف شوماك: «إن مراقبة قياس الجرعة بعد حادثة تشرنوبل كانت دون المستوى، ولذلك يجب أن نستثمر الوقت والجهد الهائل في تقدير الأثر الرجعي للجرعات.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 472, 7 April 2011.

ترجمة حسان بقلة، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

المعادن ليست الحفازات الوحيدة

تتمثل المشكلة القديمة في الكيمياء بإيجاد حفازات تسمح للجزيئات بالتمييز بين سطحي النواتج الوسطية للتفاعل التي تدعى كاتيونات الكربون. لقد وُجد طريق يفضي إلى حل هذه المشكلة.

شهدت المئة عام الماضية اكتشافات ملحوظة طوّرت بشكل كبير الاستعمال الاصطناعي للألكنات (وهي هدروكربونات بسيطة تحتوي على روابط مضاعفة بين ذرّات الكربون (الروابط C=C)). وكنتيجة لذلك، تُعدُّ الألكنات من بين وحدات البناء الأكثر استخداماً لتشكيل جزيئات عضوية. والملاحظة المهمّة هي أن تفاعلات الألكنات المتضمنة حفّازات معدنية كانت مجالاً مثمراً لأبحاث قادت إلى ثلاث جوائز نوبل في الكيمياء منذ العام 2001. ولكن في هذا الموضوع، يعرض توست Toste وزملاؤه نوعاً مختلفاً جداً لحفّاز في تفاعل الألكنات. لقد استعملوا جزيئاً عضوياً صغيراً لتحفيز ارتباط مجموعات كيميائية محتوية على النتروجين مع الديينات، والديينات هي مركبات تحتوي رابطتين من نوع C=C. توجد المنتجات الحاصلة (وهي منتجات حلقية تعرف بـ البيروليدينات pyrrolidines) بكثرة كجزيئات فعّالة حيوياً ويمكنها أن تكون نافعة بشكل خاص في برامج اكتشاف العقاقير.

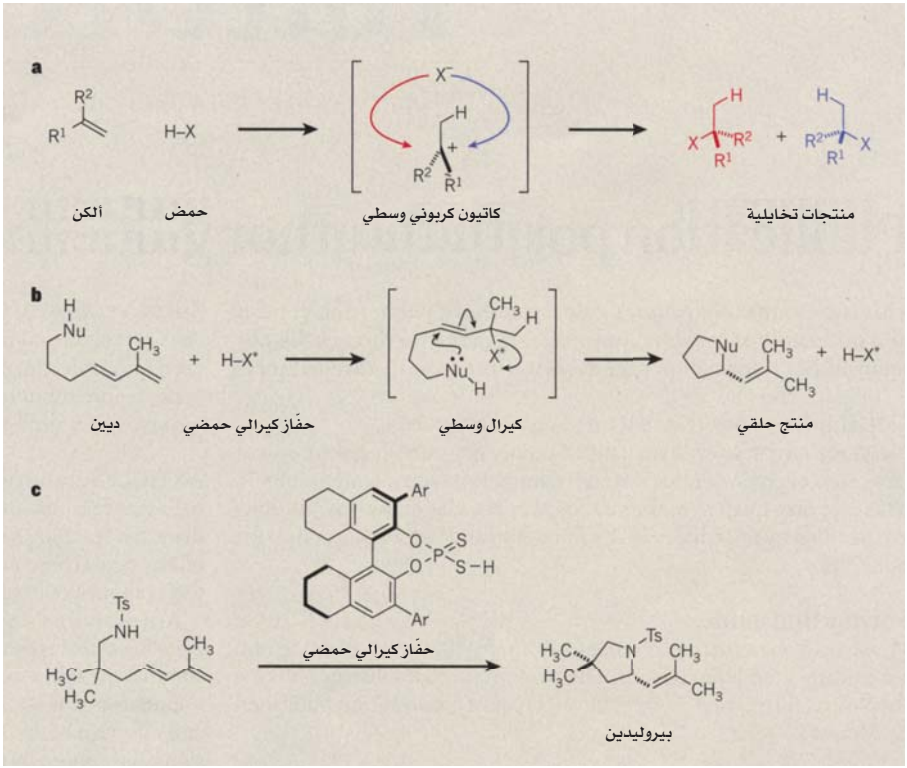
تعطي العديد من تفاعلات الألكنات مزيجاً من مركبين كيراليين إيزوميرين يعرفان بـ المتخايلين enantiomers. يتفاعل كل متخايل مع جزيئات كيرالية أخرى بطريقة نوعية –وبنتائج مثيرة أحياناً، خصوصاً في المنظومات الحيوية. فعلى سبيل المثال، قد يكون المتخايل الخطأ لجزيء العقار غير فعّال، وفي حال أسوأ يمكن أن يسبب تأثيرات جانبية حادة. لذلك، يُعدُّ حقل الاصطناع اللامتناظر، الذي يهدف إلى إيجاد تفاعلات يتشكل بنتيجتها متخايل وحيد للمنتج، واحداً من المجالات الأكثر نشاطاً والأكثر أهمية في الكيمياء.

وإذا أخذنا بعين الاعتبار الاستعمال الواسع للألكنات كوحدات بناء جزيئية، واكتشاف طرائق جديدة لتحويلها إلى جزيئات أكثر تعقيداً، وجزيئات نقية تخايلياً (متناظرة مرآوياً) هو واحد من الأهداف الرئيسية للاصطناع اللامتناظر. لقد كانت الحفّازات المعدنية ناجحة جداً في هذا الصدد، وكانت المدخل الأول للكيميائيين عند تطويرهم مثل هذه التفاعلات. ومع ذلك، يعرض توست وزملاؤه مفهوماً جديداً

في التحفيز اللامتناظر لتفاعلات الألكنات والذي يمثل فتحاً جديداً في هذا الحقل. فعوضاً عن الحفّاز المعدني، يستعمل توست Toste وزملاؤه شكلاً كيرالياً لحمض عضوي قوي (نمط لحفّاز عضوي) لإنتاج البيروليدينات وجزيئات حلقية أخرى انطلاقاً من الديينات (الشكل 1).

عرفت الحموض القوية منذ زمن بعيد كمحفّز للتفاعلات المشتملة على الألكنات. إذ عندما يمزج الألكن مع حفّاز حمضي قوي ينتقل بروتون (H^+) من الحمض إلى الرابطة المضاعفة C=C في الألكن. تكون الأنواع الفعّالة الناجمة عن هذه البرتنة عبارة عن مركب وسطي يدعى كاتيون كربوني Carbocation (الشكل 1a). تُعدُّ هذه الأنواع من بين النواتج الوسطية الأكثر تعدداً للاستعمال، ناهيك عن قدرتها الكبيرة على تشكيل روابط كيميائية مع الجزيئات المانحة للإلكترونات (النكلوفيلات) nucleophiles وهي الجزيئات التي تنجذب للشحنات الموجبة.

تخضع عملية البرتنة لمبدأ يعرف بقاعدة ماركوفنيكوف Markovnikove's rule. تنص هذه القاعدة على أن الشحنة الموجبة في الكاتيون الكربوني ستتوضع على ذرة الكربون المرتبطة بأقل عدد من ذرّات الهدروجين، لأنه الموضع الذي تصبح فيه الشحنة مستقرة بفعّالية عالية. وبالنسبة للألكنات التي تكون فيها الرابطة C=C في طرف السلسلة الهدروكربونية تتوضع الشحنة على الكربون الداخلي للناتج الوسطي، وليس على الكربون النهائي. يعين متخايل الجزيء الناتج الذي يتشكل عند إضافة النكلوفيل إلى الكاتيون الكربوني عن طريق تعيين أي من سطحي منتج التفاعل الوسطي سيهاجمه النكلوفيل. في معظم الحالات، يستطيع النكلوفيل مهاجمة كلا السطحين بشكل متساو تماماً، وبذلك يتشكل مزيج من المتخايلين. تمثّل التحدي القديم في الاصطناع الكيميائي اللامتناظر في الحصول على متخايل واحد للناتج عن طريق توجيه إضافة النكلوفيل إلى سطح أيون وحيد لكاتيون كربوني. ستجد حلول هذه المشكلة تطبيقات واسعة النطاق في الاصطناع الكيميائي.



الشكل 1: انتقائية السطح في تفاعل يوجهه حفّاز حمضيّ كيرالي. a، يمكن أن يضاف البروتون من الحمض القوي إلى الألكنات ليولد نواتج وسطية مستوية تعرف كـ كاتيونات كربونية. ثم يهاجم الأيون المعاكس (X^-) الناتج الوسطي؛ يتشكل متخايل مختلف كمنتج نهائي اعتماداً على سطح الكاتيون الكربوني الذي هاجمه الأيون المعاكس. ونظراً لإمكانية اقتراب الأيون المعاكس من وجهي الكاتيون الكربوني بشكل متساو، فيتشكل لدينا مزيج من المتخايلات. وترمز كل من R^1 وR^2 إلى مجموعات هدروكربونية. b، يعرض توست وزملاؤه تفاعلاً تتم فيه برتنة الديين بواسطة حمض يملك أيون معاكس كيرالي. يشكل الأيون المعاكس رابطة تكافؤية مع الركازة، مولداً ناتج وسطي كيرالي يحاكي فعالية الكاتيون الكربوني في a. بعد ذلك يهاجم الجزيء المانح للإلكترونات (Nu) في الركازة الرابطة المضاعفة كربون-كربون في الناتج الوسطي من جهة واحدة فقط، وذلك لأن المجموعة الكيرالية (X^*) تحجب الوجه الآخر للجزيء. يتشكل ناتج حلقي، ويعاد توليد الحفّاز الحمضي. تشير الأسهم المعقوفة إلى حركة الإلكترون، أما النقطتين على الجزيء المانح للإلكترونات فإنها تمثل زوج إلكتروني. c، باستعمال هذا المقاربة، فإن توست وزملاءه قد كونوا بشكل أساسي حلقات بيروليدين غير متجانسة كمتخايلات وحيدة. تمثل (Ar) مجموعات عطرية، وتمثل (Ts) مجموعة سلفونيل أريل $SO_2C_6H_4CH_3$.

وجد توست ومجموعته سبيلاً يفضي لحل هذه المعضلة الاصطناعية، حيث استخدموا نوعاً خاصاً من حفّاز حمضي (حمض ثنائي كبريت الفسفور dithiophosphoric acid)، الذي يحتوي مجموعة كيرالية ترتبط بشكل متكافيء مع الديين لتشكيل ناتج وسطي فعّال يحاكي فعّالية الكاتيون الكربوني (الشكل 1b). وحالما يثبت الحفّاز، تقوم المجموعة الكيرالية بالتحكّم بجهة المنتج الوسطي الذي يمكن أن يهاجمه النكلوفيل القادم. وعندما يكون النكلوفيل هو السلفونأميد (مجموعة تتضمن النتروجين، الشكل 1c)، يتشكل بيروليدين كيرالي كناتج، وكمتخايل وحيد على الأرجح،

وتتحرر المجموعة الكيرالية حال تشكل المنتج، معيدة توليد الحفّاز الجاهز لتفاعل جديد.

يُعرف التفاعل الكلي بالهدروأمينة hydroamination. تعتبر الهدروأمينات المحفزة بالمعدن شائعة، وفي العديد من الحالات تولد نواتج لها انتقائية تخايلية عالية. هذا كما أن الهدروأمينات المحفزة حمضياً قد عرفت أيضاً بشكل جيد، ولكن تفاعل توست وزملائه هو أول تفاعل متنوع الانتقائية التخايلية.

يثبت المؤلفون أن تفاعلهم يعمل لأجل نطاق واسع من السلفونأميدات والدييينات. وفي الوقت الراهن، يبدو أن التفاعل يعمل بأفضل شكل عند تكوين حلقات خماسية حيث نحصل على انتقائية تخايلية ممتازة. يبدو أن هناك احتمال أن يعمل هذا التفاعل بشكل جيد لأجل حلقات ذات حجم أكبر، رغم أن ذلك سيتطلب مزيداً من التطوير لتصنيع هذه المركبات الهامة.

يوجز توست وزملاؤه ثمّة نتيجة أولية مثيرة أيضاً تظهر أنه ليس من الضروري أن يكون النكلوفيل ذرة نتروجين. إذ عندما يتحد المركب العطري، الإندول، مع مادة البدء في مكان مجموعة السلفوأميد، تعمل ذرة الكربون في الأندول كبديل للجزيء المانح للإلكترونات. تحتوي النواتج الحلقية الحاصلة سطيحات جزيئية ذات بنى متميزة تعرف بكونها فعّالة، خصيصاً عند تعدد أهداف العقار. ربما تكون النتائج في حالة الأندول أكثر أهمية حيث تفترض أن التفاعلات المُحفَّزة حمضياً بحمض يحتوي مجموعة كيرالية يمكن أن تكون قابلة للتطبيق على نطاق واسع من النكليوفيلات. وإذا كان الأمر كذلك، فإن المؤلفين قد اكتشفوا مبدأً عاماً في التحفيز سيكون له انعكاس كبير على كيفية تصنيع الجزيئات الكيرالية.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 470, 10 February 2011.

ترجمة علي غانم، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

إيحاءات فرصة نادرة

تُعدُّ العناصر النادرة أساسية في كل شيء، بدءاً من الهواتف النقالة وحتى الحواسيب والبطاريات. لكن الصين تسيطر على الإنتاج العالمي لهذه العناصر، كما يقول كارل شنيدنر جر Karl Gschnedner Jr.

هناك شكٌ كبير حول واقع ومستقبل إنتاج العناصر النادرة. العناصر النادرة هي مجموعة مؤلفة من 17 عنصراً كيميائياً في الجدول الدوري، وهي تشتمل السكانديوم والإيتريوم، إضافة إلى 15 عنصراً من اللانتانيدات مثل الديسبروسيوم والأتربيوم. تمّارس الصين حالياً احتكاراً خانقاً فيما يخصُّ سوق العناصر النادرة، إذ بلغت قيمته ما يقارب 3 بليون دولار في العام 2010، حيث إنها تتحكم بحوالي 95% من الإنتاج العالمي. وفي أحسن الحالات، لا يمكننا

تدخل العناصر الترابية النادرة الحيوية في قلب الحضارة الحديثة

حتى الآن سوى التنبؤ بالسلوك المستقبلي للصين. ففي أيلول/سبتمبر حظرت الصين تصدير العناصر الترابية النادرة إلى اليابان إثر خلاف دبلوماسي يتعلق باحتجاز ربان سفينة صيد صيني. وعلى الرغم من توقف الحظر فيما بعد، غير أن الحدث أثار قلقاً دولياً حول احتكار الصين للعناصر الترابية النادرة وتوظيفها دبلوماسياً.

وقد سبق للصين أن حذّرت بأنها لن تصدّر أيّاً من مواد العناصر الترابية النادرة في السنوات القادمة نظراً لما تتوقعه من

ازدياد في استهلاكها الذاتي لهذه المعادن. وأدخلت الدولة ضرائب على التصدير والإنتاج وحصص التصدير، كما أنها رفضت منح تراخيص جديدة لتعدين العناصر الترابية النادرة. زيادة على ذلك، ونظراً لمخزونها المحدود والتوسع السريع للسوق الداخلية الصينية، فقد اقترحت الدولة عدم التصدير المستقبلي لمنتجات يتطلب إنتاجها استعمال عناصر ترابية نادرة، وبخاصة تلك التي تحتاج لعناصر ترابية نادرة ثقيلة، مثل الأتربيوم والديسبروسيوم.

أدت التصرفات الصينية إلى زيادة ضخمة في أسعار المواد الترابية النادرة والمنتجات المعتمدة عليها. فعلى سبيل المثال، ارتفع سعر الكيلو غرام الواحد من أكسيد الديسبروسيوم من 36 دولاراً عام 2005 إلى 305 دولاراً في نهاية العام المنصرم. ويمكن لذلك أن يترك أثراً كبيراً على مجال واسع من الصناعة الإلكترونية الحالية، حيث إن العناصر الترابية النادرة دائمة الوجود في المحركات الكهربائية والحواسيب والبطاريات وشاشات البلورات السائلة liquid–crystal displays (LCDs) والهواتف النقالة. وعلى سبيل المثال، يستعمل مزيج النيوديميوم والحديد والبورون في المغانط الدائمة اللازمة لصناعة سواقات وشائع حاسوبية. والسؤال هو: ما الذي يمكن عمله للتأكد من أن الاحتكار الصيني لصناعة الأتربة النادرة لا يؤثر على الأمن العسكري والطاقي للولايات المتحدة والأمم الأخرى؟

نقص المهارات

يوجد الكثير نسبياً من العناصر الترابية النادرة في القشرة الأرضية لكنها موزعة بشكل واسع، وهو ما يجعل تعدينها غير مجدٍ اقتصادياً. حدث أول توقف لصناعة الأتربة النادرة في بداية ستينيات القرن الماضي إثر اكتشاف التألق الأحمر الشديد من الأوروبيوم europium لدى تحريضه بالإلكترونات. تمّ استعمال هذا الاكتشاف بسرعة من قبل مصنّعي التلفزيونات في الولايات المتحدة، إذ استعملت المادة لإنتاج اللون الأحمر. وفي الواقع، نشأ العديد من تطبيقات الأتربة النادرة لأن كل عنصر منها منفرد بخصائصه، ويبدي بعض هذه العناصر سلوكاً يناسب تطبيقاً نوعياً، مثل النيوديميوم في مجال الليزرات والمغانط أو الأوروبيوم والتربيوم في الحصول على اللونين الأحمر والمخضر في التلفزيونات.

وصل الإنتاج السنوي من العناصر الترابية النادرة في ستينيات القرن الماضي إلى ما يقارب 2000 طن، وكان نصيب الشركة الأمريكية موليكورب Molycorp من الإنتاج بحدود 50% من أكاسيد الأتربة النادرة التي حصلت عليها من منجم جبل باس في كاليفورنيا. توقف هذا الإنتاج في بداية تسعينيات القرن الماضي عندما بدأت الصين في تصدير أكاسيد الأتربة النادرة ومعادنها كل على حدة.

ففي نهاية تسعينيات القرن الماضي أطلقت الصين سلسلة تصدير لمنتجات عالية القيمة مثل المغانط والفسفور المتألق. ومع نهاية القرن الماضي بدأت الصين بتصدير منتجات دقيقة تتضمن الحواسيب وشاشات البلورات السائلة والهواتف النقالة. وقد بلغ سوق العناصر الترابية النادرة ما قيمته 97000 طن في العام 2009، وفق تزايد مقداره 10% سنوياً منذ تسعينيات القرن الماضي.

ولحسن الحظ، تمّ اكتشاف ترسّبات من الأتربة النادرة عبر العالم، مما يشير إلى أن الصين حالياً تملك ما يقارب 30% من الترسّبات العالمية بدلاً من 70%، كما كان الاعتقاد شائعاً في ثمانينيات القرن الماضي. ولكن استثمار هذه الميزة وكسر الاحتكار، يُلزم الحكومات خارج الصين بفتح هذه المناجم، وبخاصة تلك التي تتمتّع بتراكيز عالية من عناصر الأتربة النادرة الثقيلة، ويحتاج أيضاً إلى التوسع في منشآت صناعية جديدة واستثمارها للحصول على منتجات تشتمل على هذه الأتربة النادرة، إضافة إلى تدريب علميين لتعويض الخسارة المعرفية التي حدثت خلال الـ 20 و30 سنة الأخيرة بسبب الاحتكار الصيني.

الشيء الأخير هو أن تخفيض ما تبقى من التبعية إلى الصين في الحصول على مصادر كافية ومستدامة من مواد الأتربة النادرة –إضافة إلى تخطي الفورات الجديدة في الأسعار الصينية– يحتاج إلى شركات للتعدين خارج الصين وإلى زيادة إنتاجها من 6000 طن في العام 2010 إلى 50000 طن في العام 2015. يتوقع أن يصل منجم جبل باس في كاليفورنيا إلى قمة إنتاجه في العام 2012، منتجاً ما يقارب 20000 طن سنوياً، وسيبدأ منجم جبل اللحام في أستراليا إنتاجه هذا العام بمعدل 21000 طن سنوياً. يحتوي هذان المنجمان على عناصر الأتربة النادرة الخفيفة بشكل أساسي، مثل اللانتانيوم، لكن هناك عدد من ترسّبات صغيرة تحتوي على جزء كبير من عناصر ترابية نادرة ثقيلة ويتوقع الحصول عليها في السنوات القليلة القادمة.

تدريب الجيل القادم

السؤال الآن هو ما إذا كانت الصين ستبدأ بعد العام 2015 باستيراد بعض الأتربة النادرة، بشكل أساسي اللانتانيدات الثقيلة إضافة إلى الإيتريوم، أم أنها ستزيد الإنتاج الداخلي؟ إذ إن الصين ستملك بعد العام 2015 مصدراً أساسياً وحيداً للعناصر الترابية النادرة –وهو منجم غوانغدونغ Guangdong الذي يتضمن فلزاً ضعيف الاصفرار يحتوي على فسفات الإيتريوم مع كميات قليلة من العناصر الترابية الأخرى. أعتقد أن السيناريو الأول هو الأكثر احتمالاً.

تستخدم الصين رقابتها على التعدين والفصل للتحكم بتصدير منتجات الأتربة النادرة مستقبلاً عبر سلسلة التصدير. فهي لا تُعنى كثيراً بتعدين ومعالجة مواد الأتربة النادرة، إذ ترسلها إلى آسيا لتصنيع المواد النهائية، ومن ثمّ تستعيد المنتجات إليها. وبطريقة ما فإننا نحتاج لتجنب غياب المنتجين لتحويل أكسيدات الأتربة النادرة إلى منتجات مفيدة.

ولسوء الحظ، فإن كثيراً من العلميين والمهندسين الذين عملوا لسنوات مضت لصالح شركات أمريكية في صناعة الأتربة النادرة إما أحيلوا إلى التقاعد أو انتقلوا إلى مجالات جديدة. كما أن مجمل البنية التحتية التقنية والعلمية ومستثمري الأتربة النادرة كان قد تآكل وتبدد بسبب الاتفاق الدولي مع الصين في أواخر تسعينيات القرن الماضي وبداية أعوام الألفين. إن هذا النقص في المتدربين والعلماء المتمرّسين والمهندسين يعني أن الحكومة والصناعة يجب أن تقدّما منحاً دراسية للطلاب لدراسة علم الأتربة النادرة وهندستها في المعاهد خلال السنوات العشر أو العشرين القادمة. وإذا لم يقوموا بذلك، فسيبقى العالم خاضعاً للاحتكار الصيني.

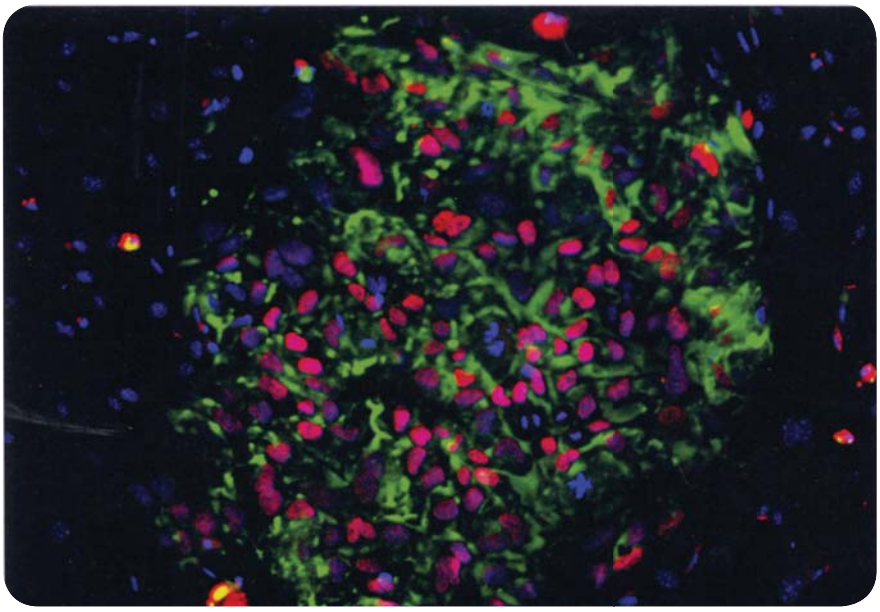
◄ *نُشر هذا الخبر في مجلة* PhysicsWorld,Vol 24, February 2011.

ترجمة د. عادل حرفوش، رئيس هيئة التحرير.

تصدّع في نموذج الخلايا الجذعية المحرَّضة

لا تتحول الخلايا البالغة كلياً إلى الحالة شبه الجنينية.

إن آمال الباحثين في الطب في استبدال الخلايا الجذعية الجنينية (ES)، المشحونة سياسياً، بخلايا جذعية مشتقة من أنسجة بالغة عانت نكسة. والخلايا الجذعية المحرَّضة والقادرة على التحول إلى كائن حي كامل (iPS)، تُخلَّق عن طريق عكس التطور الزمني في الأنسجة البالغة. تُظهِر الخلايا الجذعية الجنينية (ES) نماذج تعبير جينية مشابهة، وتستطيع كلتاهما إنتاج أيٍّ من الأنسجة المتغايرة في الجسم البشري. ولكن نماذج تغيّرات التكوين المتعاقب epigenetic –التحولات التي تؤثر على التعبير الجيني من دون تغير التتابع في الدنا DNA– تروي قصة مختلفة



الخلايا الجذعية المحرَّضة والقادرة على التحول إلى كائن كامل تحفظ «ذاكرة» الخلايا البالغة التي اشتقت منها.

عن خلايا (iPS)، هذا ما أورده على الإنترنت في مجلة Nature فريق يقوده جوزيف إيكر Joseph Ecker، وهو مختص في الوراثة الجزيئية في معهد سالك Salk في La Jolla، كاليفورنيا. ويقول شاد كاوان Chad Cowan، وهو بيولوجي خلايا جذعية في مستشفى ماساشوسيتس العام في بوسطن، ولم يكن مشتركاً في العمل: «إنها مخلوقات تختلف قليلاً». ويقترح هذا الاكتشاف ألَّا تكون الخلايا الجذعية (iPS) بديلاً مناسباً عن الخلايا الجذعية (ES) في نمذجة الأمراض أو معالجتها.

حلّل إيكر وزملاؤه نماذج من مَثْيَلَة methylation الدنا وهو شكل من تغيّر التكوين المتعاقب عبر خط من 15 جينة خلوية. وقد شمل هذا الخط أربعة خطوط خلايا جذعية جينية (ES) بشرية وخمسة خطوط خلايا جذعية (iPS) وكذلك الأنسجة التي اشتقت منها، إضافة إلى خلايا متمايزة عن كلا النوعين من الخلايا. «إذا كنت تنظر باتجاه واحد فإنها تبدو شديدة التشابه»، كما يقول إيكر ويضيف: «ولكن إذا أمعنت النظر فستجد بصمة مختلفة لما يعدّ خلية جذعية (iPS).

وقد وجد الباحثون أنه عوضاً أن تكون نماذج المَثْيَلَة ضاجعة إلى حالة شبه جنينية، فإنها قرب أطراف ومراكز الصبغيات في خلايا (iPS) تشابه تلك الموجودة في الأنسجة البالغة التي اشتقت منها خلايا (iPS) هذه. وهذا قد يعيق أو يقيّد أنواع الأنسجة التي تستطيع الخلايا تشكيلها. ويقول جورج دالي George Daley، وهو خبير خلايا جذعية في مستشفى الأطفال في بوسطن، ماساشوسيتس: «رغم عملية البرمجة المدهشة فإنها بالأساس طريقة مختلفة للحصول على كمون التحول إلى كائن كامل مقارنة بالخلايا المشتقة من الأجنة»، ويضيف: «ما زلنا نبحث عن طرق إعادة برمجة لإعادة الخلايا إلى ما يشبه الخلايا الجذعية الجنينية (ES).

يتوافق اكتشاف أن الخلايا الجذعية المعاد برمجتها تحمل «ذاكرة» التغيّرات التكوينية المتعاقبة مع أبحاث نشرها دالي وآخرون العام الماضي تقارن خلايا (ES) و(iPS) للفئران. وعلى كل حال، فإن اختلافات المَثْيَلَة يمكن إحكامها إما باستمرار زراعة خلايا (iPS) أو بإعادة تمايز الخلايا ثانيةً لأنماط خلوية أكثر تخصصاً. وتبقى آثار التغيّر المتعاقب في الخلايا البشرية حتى بعد أن تُدفع خلايا (iPS) لتكوين أنسجة جديدة.

وبغض النظر عن اختلافاتهما التكوينية المتعاقبة، لا يمكن اعتبار خلايا (iPS) وكذلك خلايا (ES) نماذج كاملة للأنسجة في الجسم. يبدو أن كلا نمطي الخلايا يحملان شذوذات جينومية. وفي عمل منفصل نُشر حديثاً، وجدت مجموعة يقودها جين لورنج Jeanne Loring، وهو باحثٌ خلايا جذعية في معهد أبحاث سكريبس Scripps في La Jolla، أن خلايا (ES) مالت إلى احتواء قطعة غليظة مزدوجة من الدنا ترتبط بالجينات المترافقة مع تجديد الذات، في حين تندمج خلايا (iPS) مع جينات (مورثات) إضافية مسبِّبة السرطان، ومع جينات أقل كابحة للأورام. ويبدو أن هذه الاختلافات الجينومية بين نوعي الخلايا الجذعية ربما تنتج عن تقانات الزراعة المستعملة في الحصول عليها وحفظها.

«حينما ننمّي أو نزرع خلايا خارج الكائن الطبيعي فإنها تكتسب ملامح قد لا تتوافق مع الحياة حينما تُعاد ثانية إليه»، كما يقول ريشارد يانغ Richard Young، وهو بيولوجي خلايا جذعية في معهد وايت هيد Whitehead في كامبردج، ماساشوسيتس.

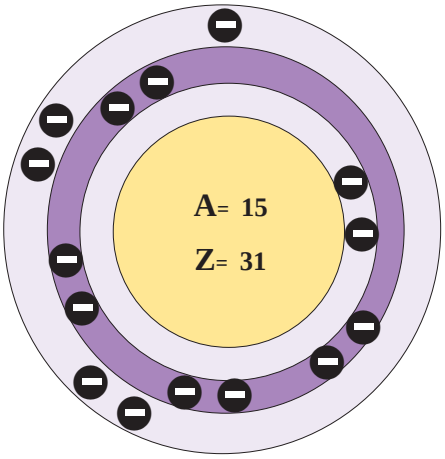
كما يقول وليم لوري william Lowry، وهو بيولوجي خلايا جذعية في جامعة كاليفورنيا، لوس أنجلوس: «إن تأثير هذه الاختلافات غير واضح، والمشكلة هي أننا لا نعرف فيما إذا كان لأيٍّ من هذه الاختلافات تبعات مهمّة».

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 470, 3 February 2011.

ترجمة د. نجم الدين شرابي، عضو هيئة التحرير.

الفسفور

الرمز:	P
العدد الذرّي:	15
الكتلة الذرّية النسبية:	30.973762
درجة انصهاره:	44.2 °C (الأبيض) 610 °C (الأسود)
درجة غليانه:	280.5 °C (الأبيض)
الكثافة:	2.43 - 2.2 ≈ (الأحمر) و1.823 (الأبيض)
	و2.63 (البنفسجي) و2.69 $g \cdot cm^{-3}$ (الأسود)
حالات الأكسدة:	5, 4, 3, 2, 1, -1, -2, -3



ماهيته ومميزاته البارزة

الفسفور Phosphorus شبه معدن ينتمي إلى مجموعة النتروجين، ويوجد غالباً في الطبيعة كفلز في حالة أكسدته العظمى على هيئة صخور فسفاتية لاعضوية. يوجد الفسفور العنصري في شكلين أساسيين، فسفور أبيض وفسفور أحمر، ولكن فعّاليته العالية تحول دون وجوده في الأرض كعنصر حرّ.

أُنتج الفسفور العنصري لأول مرة عام 1669 على هيئة فسفور أبيض، يصدر توهجاً حاداً فور تعرُّضه للأكسجين، ويعني باللاتينية «نجم الصباح. تُستعمل مركّبات الفسفور في المتفجرات والمؤثرات العصبية وفي قدح الشعلة والألعاب النارية والمبيدات ومعاجين الأسنان والمواد المنظفة.

يدخل الفسفور في تركيب الدنا DNA والرنا RNA والـ ATP، كما يدخل في الليبيدات الفسفورية التي تشكل أغشية الخلايا كافة. لذا فهو عنصر أساسي لجميع الخلايا الحية، وتسعى العضوية الحية إلى تجميعه وتركيزه. وعلى سبيل المثال، لقد عُزل الفسفور العنصري تاريخياً لأول مرة من رسوبيات البول البشري، وكان رماد العظام أهم مصدر للفسفات قديماً، أما اليوم، فالاستعمال التجاري الأهم للكيماويات المعتمدة على الفسفور يتمثّل في إنتاج الأسمدة، وذلك لتعويض التربة عن الفسفور الذي تستهلكه النباتات.

خصائصه الفيزيائية

التألق

في العام 1669، حاول الألماني المشتغل بالكيمياء القديمة، هينّغ براند Hennig Brand، تصنيع حجر الفلاسفة بدءاً من البول، وبنتيجة العملية حصل على مادة بيضاء تتوهج في الظلام. وهكذا فقد أُنتج الفسفور من الفسفات اللاعضوية، الموجودة مع المواد الصلبة المنحلة في البول.

يتميز الفسفور الأبيض بفعّاليته الشديدة، ويطلق توهّجاً مخضراً حاداً عند اتحاده مع الأكسجين. وإن التوهج الذي لاحظه براند هو

مجرد احتراق بطيء جداً للفسفور، لكن عدم رؤيته لأي شعلة أو أي إحساس بالحرارة أدى إلى عدم ملاحظته للاحتراق. هذا وقد عُرف توهّج الفسفور منذ أزمنة قديمة، ولاحظو أن توهجه يستمرّ لمدة معينة في إناء مغلق ومن ثمّ يتوقف. وفي ثمانينيات القرن السابع عشر عزى روبرت بويل Robert Boyle هذه الظاهرة إلى استنزاف الهواء في الإناء، أي استنزاف الأكسجين عملياً. وفي العام 1974 تمّ شرح التوهج على أنه نتيجة حدوث تفاعل مع الأكسجين على سطح الفسفور الصلب (أو السائل)، حيث تنتج جزيئتان قصيرتا العمر، HPO وP_2O_5، تصدران الضوء المرئي.

صيغه المختلفة

الجزيء P_4

تأخذ صيغة الفسفور حالات متغايرة (allotropes)، ويكون لهذه الصيغ المختلفة خصائص مختلفة أيضاً. الحالتان الأكثر شيوعاً هما الفسفور الأبيض white phosphorus والفسفور الأحمر red phosphorus. تشكل حالة الفسفور الأحمر شكلاً وسطياً بين الفسفور الأبيض والفسفور البنفسجي. ثمة حالات أخرى للفسفور، مثل الفسفور القرمزي، الذي يتمّ الحصول عليه عبر السماح لمحلول الفسفور الأبيض في كبريت الكربون بالتبخر بفعل ضوء الشمس. أما الفسفور الأسود فيمكن الحصول عليه بعد تسخين الفسفور الأبيض تحت ضغط مرتفع (حوالي 12000 ضغط جوي).

ومن حيث المظهر، تبدو خصائص الفسفور وبنيته مشابهة لخصائص الغرافيت، أي يتشابهان باللون الأسود وتشكل الرقائق، إضافة إلى نقل التيار الكهربائي. ويتميز الفسفور بتشكل وريقات مجعّدة تترابط فيما بينها بواسطة الذرّات. وهناك صيغة أخرى لفسفور تتألف وحدته البنيوية من ذرّتين وهو شديد الفعّالية.

الجزيء P_4O_{10}

يمتلك الفسفور الأبيض صيغتين: صيغة β عند درجة حرارة منخفضة وصيغة α عند درجة حرارة مرتفعة، وكلتاهما تحتويان وحدة بنيوية، P_4، رباعية السطوح، ترتبط فيهما كل ذرّة فسفور بالذرّات الثلاث الأخرى عبر رابطة وحيدة. يكون رباعي السطوح هذا على هيئتي سائل وغازي لغاية الدرجة 800 °C وبعدها يبدأ بالتفكك إلى جزيئات P_2. يُعدُّ الفسفور الأبيض أقلّ استقراراً وكثافة وأكثر فعّالية وتطايراً وسمّية من الصيغ الأخرى. قادت سمّية الفسفور الأبيض إلى توقف استعماله في أعواد الثقاب، وهو غير مستقر ترموديناميكياً في الشروط النظامية ويتحول تدريجياً إلى فسفور أحمر. يقود هذا التحوّل، الذي يتسارع بوجود الضوء والحرارة، إلى تلويث الفسفور الأبيض ببعض من الفسفور الأحمر، ولهذا السبب يبدو لناظره بلون أصفر. ولهذا السبب أيضاً، يُطلق عليه الفسفور الأصفر. يتوهج الفسفور الأبيض بلون مخضر في الظلام (عند تعرُّضه للأكسجين)، ويشتعل ذاتياً فور تمّاسه مع الهواء، كما أنه شديد السمّية (إذ يسبِّب أضراراً كبدية قاسية عن طريق الهضم). وبسبب اشتعاله الذاتي، فإنه يستعمل كمادة مضافة إلى قنابل النابالم، وتشبه رائحة احتراق هذا النوع من الفسفور الرائحة المميزة للثوم. تُغطى عيّناته عادة بـ P_2O_5، ولا ينحلّ الفسفور الأبيض في الماء بل ينحل في ثنائي كبريت الكربون.

ثمّة طرائق مختلفة لإنتاج الفسفور الأبيض، وتتمّ إحدى هذه الطرائق بمعالجة فسفات الكالسيوم المشتقة من الصخور الفسفاتية، حيث تسخن فسفات الكالسيوم ضمن فرن كهربائي أو فرن عادي بوجود الكربون والسِليكا فيتحرر الفسفور العنصري على هيئة بخار يمكن جمعه في وسط من حمض الفسفور. وهذه العملية مماثلة لأول تصنيع للفسفور من فسفات الكالسيوم الموجود في البول.

الفسفور الأحمر

في الفسفور الأحمر، يحصل انقطا ع لإحدى روابط P_4، وتتشكل رابطة إضافية مع رباعي سطوح مجاور لتنتج بنية أقرب ما تكون إلى السلسلة. يمكن إنتاج الفسفور الأحمر من خلال تسخين الفسفور الأبيض إلى الدرجة 250 °C أو بتعريض الفسفور الأبيض إلى ضوء الشمس. يكون الفسفور المعالج بهذه الطريقة على هيئة شبكة من الذرّات غير متبلورة، مما يخفض التوتر في البنية ويؤدي إلى استقرار أكبر. هذا وتؤدي زيادة تسخين الفسفور الأحمر إلى تبلوره، لذا فإن الفسفور الأحمر لا يتمتع بصيغة أكيدة، إنما بالأحرى مجرد حالة وسطية بين الفسفور الأبيض والفسفور البنفسجي، وتقع غالبية خصائصه ضمن مجالات معينة من القيم. لا يلتقط الفسفور الأحمر النار في جوٍّ من الهواء تحت الدرجة 260 °C، في حين يشتعل الفسفور الأبيض عند حدود الدرجة 30 °C.

الفسفور البنفسجي

يشكل هذا الفسفور صيغة ثابتة حرارياً، ويمكن إنتاجه بانفعال طويل الأمد للفسفور الأحمر فوق الدرجة 550 °C. ففي العام 1865

اكتشف هيتّورف Hittorf أنه عند إعادة بلورة الفسفور في وسط من الرصاص السائل تنتج صيغة بلون أحمر أرجواني. ويُعرف هذا الفسفور في بعض الأحيان بالفسفور البنفسجي أو الفسفور ألفا المعدني.

الفسفور الأسود

يُعدُّ هذا الفسفور الأقل فعّالية وثباتاً ترموديناميكياً تحت الدرجة 550 °C. ويُعرف أيضاً كفسفور β المعدني وله بنية تشبه إلى حدٍّ ما بنية الغرافيت. يتطلب إنتاج الفسفور الأسود عادة تطبيق ضغوط عالية، غير أنه بالإمكان إنتاجه أيضاً بالظروف العادية لدى استعمال أملاح معدنية كمُحفّزات.

الفسفور ثنائي الذرّة P_2

يرتبط استقرار هذا الفسفور بوجود درجات حرارة عالية، ويحتوي هذا الجزيء ثلاث روابط، وهو مشابه لـ N_2 من حيث البنية. يمكن الحصول على هذا الجزيء عادة من P_4 بتطبيق شروط مفرطة (على سبيل المثال، في الدرجة 1100 كلفن). ومع ذلك، هناك بعض التحسّن في توليد هذا الجزيء ضمن محاليل متجانسة وتحت شروط طبيعية لدى استعمال بعض المعقدات المعدنية التقليدية (مثلاً، المعتمّدة منها على التنغستين والنيوبيوم).

نظائره

بالرغم من وجود اثنين وثلاثين نظيراً معروفاً للفسفور (بدءاً من ^{24}P وحتى ^{46}P)، فإن النظير ^{31}P، ذا السّبين $^1/_2$، هو الوحيد المستقر والموجود بوفرة 100%. وإن تمتع النظير ^{31}P بهاتين القيمتين للسَبين والوفرة يجعل من مطيافية التجاوب المغنطيسي النووي أداة مفيدة جداً لدراسة الجزيئات الحيوية، وبخاصة الـ DNA.

يوجد للفسفور نظيران مشعّان مع عمري نصف يجعلان منهما نظيرين مفيدين للتجارب العلمية. فالنظير ^{32}P يمتلك عمر نصف قدره 14.262 يوماً، و25.34 يوماً للنظير ^{33}P. يمكن وسم الجزيئات الحيوية الممدّدة إلى حدٍّ كبير بنظيرٍ مشعٍّ بهدف إجراء دراسات علمية على هذه الجزيئات.

أهم النظائر المشعّة للفسفور

- ^{32}P، كمصدرٍ لجسيمات بيتا (1.71 ميغا إلكترون فولط) مع عمر نصف قدره 14.262 يوماً. ويُستعمل هذا النظير في مختبرات علوم الحياة، وبشكل أساسي لإنتاج مسابر موسومة من DNA وRNA.
- ^{33}P، كمصدرٍ لجسيمات بيتا (0.25 ميغا إلكترون فولط) مع عمر نصف قدره 25.34 يوماً. يُستعمل هذا النظير في مختبرات علوم الحياة في تطبيقات تتطلّب وجود إصدارات بيتا ضعيفة الطاقة كالمتبعة في تسلسل الـ DNA.

خصائصه الكيميائية

الربط الكيميائي

نظراً لوجود الفسفور تحت النتروجين في الجدول الدوري، فإن العنصرين يتشاركان في الكثير من مواصفات ارتباطهما مع الذرات الأخرى. فمثلاً، الفسفين، PH_3، مشابه للأمونيا، NH_3، والفسفور، مثل النتروجين، ثلاثي الرابطة في هذا الجزيء.

يمكن لذرّات الفسفور أن توسع تكافؤاتها لتصل إلى مركّبات خماسية وسداسية. ففي حالة الأيونات الشديدة الكهرسلبية، وبخاصة الفلور، نحصل على تكافؤ سداسي، مثل PF_6. وفي بنية لويس البسيطة، يتشكل الجزيء PCl_5 بخمس روابط.

الفسفين وثنائي الفسفين وأملاح الفسفونيوم

يتشابه كل من الفسفين (PH_3) والأرسين (AsH_3) بنيوياً مع الأمونيا (NH_3)، ويشكّلان بنىً هرمية الشكل، حيث تتوضع ذرّات الفسفور والأرسين في المركز وترتبط كل منهما مع ثلاث ذرّات هدروجين مع وجود زوج إلكتروني غير مرتبط في كلٍّ منهما. وكلٌّ منهما عديم اللون وله رائحة كريهة وسام. يتمّ إنتاج الفسفين بطريقة مشابهة لإنتاج الأمونيا، فإماهة فسفيد الكالسيوم، Ca_3P_2، أو نتريد الكالسيوم، Ca_3N_2، تنتج الفسفين أو الأمونيا، على التوالي. ومثل الأمونيا، لا ينحل الفسفين ويتفاعل مع الهواء بشكل لحظي معطياً غيمة من حمض الفسفور، كما أن الفسفين أساس أضعف من الأمونيا، وبإمكانه تشكيل بعض الأملاح، مثل PH_4I، المشابهة لأملاح الأمونيوم. غير أن هذه الأملاح تتفكك مباشرة في الماء ولا تقود إلى أيونات (PH_4^+). أما ثنائي الفسفين فهو مقابل الهدرازين (N_2H_4).

الهاليدات

يمكن الحصول على الهاليدات الثلاثية، PF_3 وPCl_3 وPBr_3 و PI_3، والخماسية، PCl_5 وPBr_5، كافة، وعلى أخلاطها أيضاً. يمكن الحصول على الهاليدات ببساطة عبر خلط نسب مضبوطة تكافؤياً

من الفسفور والهالوجين. ولأسباب تتعلق بالأمان، يتمّ الحصول على PF_3 تحديداً عبر تفاعل PCl_3 مع AsF_5، ومن ثمّ إجراء تقطير مجزأ لأن التفاعل المباشر بين الفسفور والفلور بإمكانه أن يحدث انفجاراً. تُصنّع الهاليدات الخماسية، PX_5، عبر تفاعل كميات زائدة من الهالوجين مع الفسفور العنصري أو مع ثلاثي الهاليد الموافق. لا تكون أخلاط هاليدات الفسفور مستقرة، وتتفكك معطية هاليدات بسيطة. فعلى سبيل المثال، يتفكك $5PF_3Br_2$ معطياً $3PF_5$ و$2PBr_5$.

الأكاسيد والحموض

إن أكسيد الفسفور(III)، P_4O_6 (المسمى أيضاً سداسي أكسيد رباعي الفسفور)، وأكسيد الفسفور(V)، P_4O_{10} (أو عشاري أكسيد رباعي الفسفور)، هما حمضان خاليَي الهدروجين لأكسي حَمْضَي الفسفور، وبالتالي فإنهما يتفاعلان بسهولة مع الماء. يُستعمل P_4H_{10} عملياً كنازع للماء حتى أنه يزيل الماء من حمض الآزوت HNO_3.

تاريخه واكتشافه

يعود اكتشاف الفسفور في العام 1669 إلى عالِم بالكيمياء القديمة، الألماني هينّيغ براند. استعمل براند البول البشري، الذي يحتوي على كميات كبيرة من الفسفات المنحلة والناجمة عن الاستقلاب الطبيعي، للحصول على الفسفور. فمن خلال تبخير البول، حصل براند على ملح متوهج في الظلام ويحترق بشكل ساطع. تمّثلت عملية براند بترك البول لعدة أيام معطياً رائحة كريهة جداً، ثم قام بغليه إلى أن تتشكل عجينة، ثم سخن هذه العجينة إلى درجات حرارة عالية، وقاد البخار المتصاعد ليختلط مع الماء، آملاً في الحصول على الذهب. وبدلاً من الذهب، فقد حصل على مادة بيضاء شمعية تتوهج في الظلام. اكتشف براند الفسفور، وكان أول عنصر يُكتشف بعد القرون الوسطى. نعلم الآن أن براند قد أنتج آنذاك المركب التالي: $(NH_4)NaHPO_4$. وللحصول على 60 غراماً من الفسفور كان يجب استعمال 1100 لتر من البول.

وبعد أن وصلت الفكرة إلى بويل Boyle عام 1680، استطاع أن يحسّن طريقة براند ليحصل على الفسفور بعد إضافة الرمل إلى التفاعل (مستخدماً البول كمادة أولية):

$$4\ NaPO_3 + 2\ SiO_2 + 10\ C \rightarrow 2\ Na_2SiO_3 + 10\ CO + P_4$$

وفي العام 1769 بيّن كلٌّ من جون غوتليب غان Johan Gottlieb Gahn وكارل ولهيلم شيل Carl Wilhelm Scheele أن فسفات الكالسيوم، $Ca_3(PO_4)_2$، موجودة في العظام، وحصلا على الفسفور من رماد العظام. وفي العام 1777 قام لافوازييه بتصنيف الفسفور كعنصر في الجدول الدوري، وبقي العظم مصدراً للفسفور حتى العام 1840. وفي العام 1850 استخدمت الصخور الفسفاتية لأول مرة للحصول على الفسفور. ومازالت حتى الآن تُستعمل الصخور الفسفاتية كمصدر وحيد للحصول على الفسفور والفسفات وحمض الفسفور. وتشكل الصخور الفسفاتية المخزن الذي يغذّي صناعة الأسمدة.

وجوده

لا يوجد الفسفور حراً في الطبيعة بسبب تفاعله مع الهواء ومواد كثيرة أخرى تحوي الأكسجين، إنما هو موزع بشكل واسع في فلزات مختلفة عديدة.

تشكل الصخور الفسفاتية، المحتوية جزئياً على الأباتيت (وهو فلز ثلاثي فسفات الكالسيوم غير النقي) مصدراً تجارياً مهمّاً لهذا العنصر. وإن حوالي 50% من مخزون الفسفات العالمي موجود في الوطن العربي. هناك ترسّبات كبيرة من الأباتيت أيضاً موجودة في الصين وروسيا وفلوريدا.

في العام 2007، ووفق الاستهلاك العالمي الحالي، قُدّرَ أن مخزون الفسفور سيستمّر على مدى 345 عاماً. ومع ذلك، يدّعي بعض العلميين الآن أن ذروة الاستهلاك ستحصل بعد 30 سنة قادمة، وأنه وفق المعدل الحالي للاستهلاك، سينتهي المخزون العالمي بعد 50 إلى 100 عام فقط.

إنتاجه

استُعمل الفسفور الأبيض لأول مرة في صناعة أعواد الثقاب في القرن العشرين. وللحصول على الفسفور الأبيض، يتمّ تسخين فسفات الكالسيوم إلى درجة بين 1,200 °C و1,500 °C مع الرمل، الذي غالباً ما يكون SiO_2، والفحم الحجري (فحم غير نقي) لإنتاج بخار من رباعي الفسفور، P_4 (ينصهر في الدرجة 44.2 °C)، الذي يُكثّف بعدها إلى مسحوق أبيض تحت الماء لتجنب تأكسده. وحتى تحت الماء، يمكن للفسفور الأبيض أن يتحول ببطء إلى الفسفور الأحمر الأكثر استقراراً (ينصهر في الدرجة 597 °C). وكلاهما، الفسفور الأبيض والفسفور الأحمر، غير حلولين في الماء.

سمح استعمال الفرن الكهربائي بزيادة الإنتاج لدرجة أن

استعماله كسلاح في الحرب أصبح ممكناً. واستخدمت قنابل الفسفور الحارقة من قبل الصهاينة بشكل مكثف في حربهم على مدينة غزة. يصعب تماماً إطفاء الفسفور المحترق، وإذا ما وصل إلى جلد الإنسان فإنه يسبب آثاراً مرعبة.

اليوم، وصل إنتاج الفسفور إلى كميات لم يصلها من قبل. فهو يستعمل كبادئ لبعض الكيماويات، وبخاصة المبيدات الصلبة. يُصنع الفسفور الأبيض في منشآت كبيرة ويُنقل على شكل سائل. لقد حصلت بعض الكوارث أثناء نقل الفسفور، وأكثرها سوءاً عام 1968 عندما تسرَّب الفسفور إلى البحر من مصنع في خليج بلاسينتيا.

تطبيقاته

يُصنّع طُعْمُ عود الثقاب من خليط يدخل فيه الفسفور والغراء وبودرة الزجاج، وتستعمل بودرة الزجاج لزيادة الاحتكاك. ندرج فيما يلي أهم الاستعمالات والمركّبات المستخدمة فيها

المركب	الاستعمال
$Ca(H_2PO_4)_2{\cdot}H_2O$	بودرة المعجنات والأسمدة
$CaHPO_4{\cdot}2H_2O$	مضافات للغذاء الحيواني وبودرة الأسنان
H_3PO_4	تصنيع الأسمدة الفسفاتية
PCl_3	تصنيع $POCl_3$ والمبيدات
$POCl_3$	تصنيع اللدائن
P_4S_{10}	تصنيع المضافات والمبيدات
$Na_5P_3O_{10}$	منظفات

وجد الفسفور استعماله الأهم كمكون للأسمدة اللازمة في عالم الزراعة على هيئة حموض للفسفور مكونة من 70% إلى 75% من P_2O_5، وذلك لأن الفسفور يُعدُّ مغذّياً أساسياً للنبات. وإن الطلب العالمي للأسمدة قاد إلى زيادة كبيرة في إنتاج الفسفات، (PO_4^{3-})، خلال النصف الثاني من القرن العشرين. ونظراً للطبيعة الأساسية للفسفور في المتعضيات الحية وضعف انحلالية المركّبات التي تحتوي على الفسفور والدورة الطبيعية البطيئة للفسفور، تعتمد الصناعة الزراعية بشكل كبير على الأسمدة المحتوية على الفسفات، وغالباً ما تكون على هيئة فوق فسفات الكالسيوم. وفوق فسفات الكالسيوم هو خليط من ملحَيْن فسفاتيين، فسفات ثنائي هدروجين الكالسيوم $Ca(H_2PO_4)_2$ وثنائي هيدرات سلفات الكالسيوم $CaSO_4.2H_2O$ المنتجين من تفاعل حمض الكبريت مع الماء وفسفات الكالسيوم.

- يُستعمل الفسفور بشكل واسع لتصنيع مركّبات عضوية فسفورية، عبر كلوريدات فسفورية وسيطية واثنين من كبريتيد الفسفور، خماسي كبريت الفسفور وكبريت أحادي ونصف الفسفور. تتمتّع المركّبات العضوية المعدنية بتطبيقات عديدة، بما في ذلك اللدائن ومخمدات اللهب والمبيدات ومعاملات الاستخلاص ومعالجات المياه.
- يُعدُّ الفسفور مكوناً مهمّاً في إنتاج الفولاذ وصناعة البرونز الفسفوري، ويُضاف الفسفور إلى النحاس المعدني خلال عملية صهر هذا الأخير ليتفاعل مع الأكسجين الموجود كشائبة في النحاس وذلك لإنتاج نحاسٍ خالٍ من الأكسجين أو أخلاط نحاس وفسفور ذات موصلية حرارية وكهربائية أعلى مما هما عليه في النحاس العادي.
- تُستعمل الفسفات في صناعة زجاج نوعي يستخدم في مصابيح الصوديوم.
- يُستعمل رماد العظم، فسفات الكالسيوم، في صناعة المنمنمات الصينية.
- يُستعمل حمض الفسفور المصنَّع من الفسفور العنصري في التطبيقات الغذائية مثل مشروبات الصودا، كما يُستعمل الحمض كمادة أولية لصناعة أصناف الفسفات الغذائية.
- يُستعمل الفسفور الأبيض في التطبيقات العسكرية كقنابل حارقة وقنابل دخانية، وله تأثيرات نفسية على العدو.
- يُعدُّ الفسفور الأحمر أساسياً لتصنيع علب الكبريت وبعض المنتجات الصيدلانية.
- تُستعمل آثار من الفسفور لتطعيم أنصاف النواقل من النمط n.
- يُستعمل النظيران ^{33}P و^{32}P كمتقفيات إشعاعية في مختبرات الكيمياء الحيوية.
- الفسفور عامل تعقيد قوي لأنواع اليورانيل سداسي التكافؤ (UO_2^{2+})، ولهذا السبب يمكن للأباتيت والفسفات الطبيعية أن تكون غنية باليورانيوم.
- إن ثلاثي بوتيل الفسفات هو فسفات عضوية حلولة في الكيروسين، وتُستعمل لاستخلاص اليورانيوم.

دوره الحيوي

يُعدُّ الفسفور عنصراً مفتاحياً في جميع أشكال الحياة المعروفة، إذ يلعب الفسفور اللاعضوي في الفسفات PO_4^{3-} دوراً أساسياً في الجزيئات الحيوية مثل الـ DNA والـ RNA، حيث يشكل جزءاً من المخطّط البنيوي لهاتين الجريئتين. كما تستعمل الخلايا الحية الفسفات لنقل الطاقة الخلوية على شكل أدينوزين ثلاثي الفسفات adenosine triphosphate (ATP).

يوجد في جسم الإنسان البالغ وسطياً حوالي 0.7 كيلوغرام من الفسفور: حوالي 85 –95% منها في العظام والأسنان على شكل أباتيت والباقي موجود في النسج الرخوة والسوائل ما بين الخلوية. ويبلغ متوسط تركيز الفسفور في الدم حوالي 0.4 غ/لتر.

ويُعدُّ الفسفور أساسياً في سلامة النباتات، وجهوزية الفسفور تتحكم في نسبة النمو لدى كثير من المتعضيات. ففي المنظومة الحيوية يمكن لزيادة تركيز الفسفور أن تؤدي إلى مشاكل نوعية، وبخاصة في المنظومات المائية.

تحذيرات

تشكل المركّبات العضوية للفسفور مجموعة كبيرة من المواد، ويتمّيز بعضها بسمية عالية. ومن بين هذه المواد المعروفة والسامة عصبياً هي إسترات الفلوروفسفات. وهناك مجموعة كبيرة من المركّبات العضوية الفسفورية التي تستعمل سميتها في بعض المتعضيات مثل المبيدات (الحشرية والعشبية والفطرية وغيرها)، وفي مجال الأسلحة المؤثرة على الأعصاب. معظم الفسفات اللاعضوية غير سامة نسبياً وتُستعمل للتغذية.

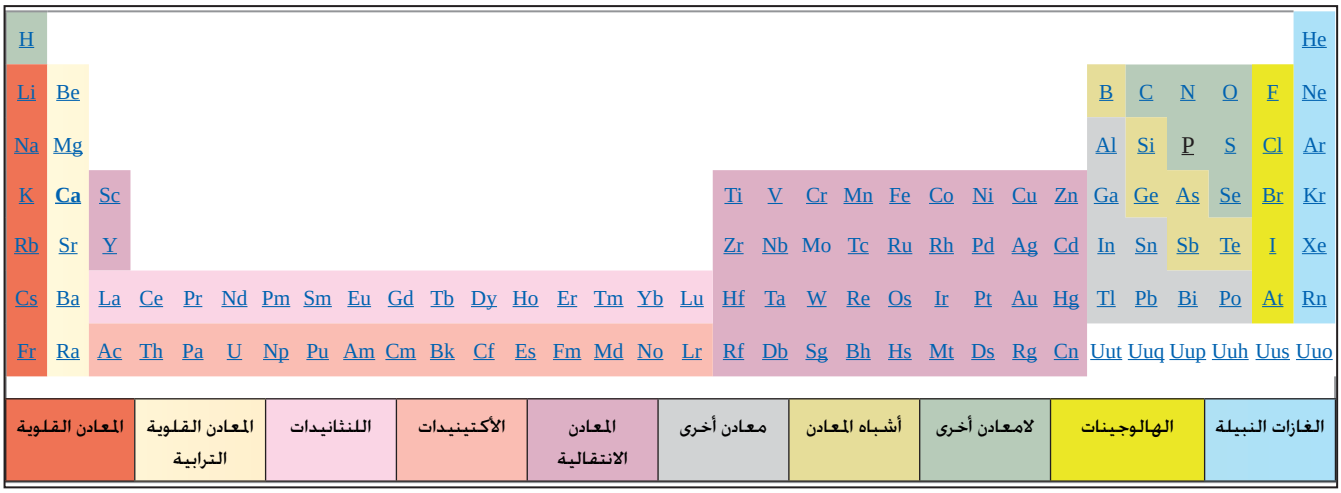
يجب حفظ الفسفور الأبيض بشكل دائم تحت الماء، حيث إنه يشكل مصدراً خطيراً لإثارة الحرائق بسبب فعاليته العالية مع أكسجين الهواء، ويجب التعامل معه بحذر إذ تسبب ملامسته للجلد حروقاً شديدة. في حين أن الفسفور الأحمر غير قابل للاشتعال لدى تعرُّضه للهواء، ولا يشكّل خطراً مثل الفسفور الأبيض. مع ذلك، يجب التعامل معه بحذر بسبب إمكانية تحوله إلى الفسفور الأبيض في مجال معين من درجات الحرارة، وإمكانية تشكيل مركبات من أكاسيد الفسفور عند تسخينه.

إعداد: د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير

مركبات الفسفور

$PBr_3 \cdot PBr_5 \cdot PCl_3 \cdot PCl_5 \cdot PF_3 \cdot PF_5 \cdot PH_3 \cdot PI_3 \cdot P_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot P_4S_3 \cdot P_4S_{10}$

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه



التحليل التوجّهي للطبقات الأحادية المُتجمّعة ذاتياً لجزيئات دوديكانثيول وب-نتروثيوفينول الموضّعة على سطوح معدنية باستخدام مطيافية توليد الجمع الترددي المُعتمدة على الاستقطاب

ORIENTATIONAL ANALYSIS OF DODECANETHIOL AND P-NITROTHIOPHENOL SAMS ON METALS WITH POLARISATION-DEPENDENT SFG SPECTROSCOPY

علاء الدين منيع، وآخرون
قسم الفيزياء

ملخص

نستَعملُ مطيافية توليد الجمع الترددي (SFG) المُعتمدة على الاستقطاب لتَحرّي توجّه الجزيئات على السطوح المعدنية. وبشكلٍ خاصٍ الطبقات الأحادية المُتجمّعة ذاتياً لجزيئات (SAMs) المُكونة من جُزيئات دوديكانثيول (DDT) وب–نتروثيوفينول (p-NTP)، المنَميان على كل من البلاتينيوم والذهب، اللذين قد اختيرا كنموذجين لإبْراز قدرة أسلوب دَمْج معلومات مجموعتي الاستقطابات ppp و ssp (اللتين تُمثّلانِ استقطابَ الأشعّة المُتفاعلة في مطيافية SFG وفق الترتيب التقليدي لحزمة الجمع الترددي، وهي الحزمة المرئية، والحزمة تحت الأحمر) لاسْتِنْتاج معلومات التوجه الجزيئي على السطوح البينية المعدنية. في الحقيقة، إنَّ استعمالَ مجموعة الاستقطاب ppp فقط للبياناتِ، كما هو مُستخدم عادةً في السطوح المعدنية، لَيسَ كافياً لتحديد التوجّه الجزيئي بشكلٍ كاملٍ. هنا نُوضحُ ذلك بأنّه عن طريق دمج معلومات الاستقطابين ppp و ssp بكل بساطة يُمكنُنا تحديد زوايتي التوجّه أي الدوران والميل لزمرة الميثيل في DDT SAMs. إضافة إلى ذلك، من أجل p-NTP، في حين إنَّ مجموعة الاستقطاب ppp للاهتزازات الفعالة في SFG لا تُزوّدُنا بمعلومات التوجّه كاملةً، فإنَّ دمجها مع مجموعة الاستقطاب ssp يُمَكّنُنا من اسْتِرْجاع زاويةِ الميل لـ p-NTP ذات المحور 1,4. مع أنّ معلومات التوجّه الجزيئي عن طريق تبديل الاستقطابات قد استُعملت على نطاق واسع من أجل السطوح البينية العازلة، فإننا هنا نطبق هذه الطريقة لأول مرة على السطوح المعدنية.

الكلمات المفتاحية: حسابات الكثافة الدالّية، توليد الجمع الترددي، التحليل السطحي، طبقات أحادية مُتجمّعة ذاتياً، المطيافية الاهتزازية.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *ChemPhysChem, Vol. 11, P. 607-615, (2010).*

المقارنة بين تقانتين تحليليتين نوويتين لتعيين نشاط ^{210}Pb النوعي في العينات البيئية الصلبة

A COMPARISON OF TWO NUCLEAR ANALYTICAL TECHNIQUES FOR DETERMINATION OF ^{210}PB SPECIFIC ACTIVITY IN SOLID ENVIRONMENTAL SAMPLES

د.محمد سعيد المصري، محمد حسن، يسرأمين
قسم الوقاية والأمان

ملخص

اعتمدت تقانتان تحليليتان نوويتان وقورنتا لتعيين نشاط ^{210}Pb النوعي في العينات البيئية الصلبة. تعتمد التقانة الأولى على تعيين ^{210}Pb بقياس إصدارات ألفا الصادرة عن النكليد الوليد ^{210}Po بمطيافية جسيمات ألفا، في حين اعتمدت التقانة الثانية على قياس خط غاما فولط لـ ^{210}Pb عند الطاقة 46 كيلو إلكترون مباشرة بمطيافية أشعة غاما منخفضة الطاقة. كانت حدود الكشف الدنيا والتكرارية وقابلية الإعادة ومعامل الاسترجاع أهم متغيرات الاعتماد. إضافة إلى ذلك، جرى تقدير ارتيابات القياس لكلا التقانتين ومقارنتها. أوضحت نتائج هذه الدراسة أن نشاط ^{210}Pb المتوقع في العينات البيئية وارتياب القياس المطلوب هما العاملان الرئيسان لاختيار أفضل طريقة للتطبيق.

الكلمات المفتاحية: اعتماد الطريقة، ^{210}Pb، مطيافية جسيمات ألفا، مطيافية أشعة غاما، عينات بيئية، تربة، الارتياب في القياس.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Accred Qual Assur. 2009.*

الزيوغ الصبغية الناجمة عن تأثير الأشعة في حشرة فيلوكسيرا العنب

RADIATION – INDUCED CHROMOSOMAL ABERRATIONS IN GRAPE PHYLLOXERA

د. حياة المكي، نهى طافش، عماد إدريس
قسم التقانة الحيوية

ملخص

تم الكشف عن الزيوغ الصبغية الناتجة عن تأثير جرعات مختلفة من أشعة غاما في إناث الفيلوكسيرا. أظهرت النتائج أن الصبغيات في جميع أجنة الفيلوكسيرا المشعة المدروسة كانت تحمل زيوغاً، بغض النظر عن الجرعة. عندما شععت حوريات الفيلوكسيرا، ازداد العدد الصبغي على اللوحة الاستوائية في بعض خلايا الأجنة. بينت النتائج أن الزيوغ الصبغية أثرت في الموت وطول الحياة والخصوبة عند الفيلوكسيرا. تم تمييز ثمانية صبغيات جسمية اعتماداً على أطوالها. إضافة إلى ذلك تم تحديد النمط النووي للمجموعات المشعة وغير المشعة من سلالة الفيلوكسيرا المحلية.

الكلمات المفتاحية: فيلوكسيرا العنب، الأشعة، الزيوغ الصبغية، التكاثر.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Advances in Horticultural Science, Vol. 25, 2011* .

تحسين حساسية التفلور بالأشعة السينية بطريقة الترميد الجاف للتحليل العنصري لعسل النحل

IMPROVEMENT OF X-RAY FLUORESCENCE SENSITIVITY BY DAY ASHING METHOD FOR ELEMENTAL ANALYSIS OF BEE HONEY

د.علي خضر، مثنى أحمد، ريم حسن
قسم الكيمياء
د. جورج سعور
قسم التقانة الحيوية

ملخص

عينت العناصر k، Ca، Ti، Cr، Mn، Fe، Ni، Cu، Zn، Rb، Sr في عينات عسل النحل باستخدام طريقة الترميد الجاف (DA) المطورة للتحليل بالتفلور بالأشعة السينية (XRF) بهدف ثانوي من الـ Mo (Mo-XRF). حُسِّنَت نوعياً حساسية طريقة DA بالمقارنة بطريقة الترميد الرطب (WA) وبالطريقة المباشرة (D). كانت حدود الكشف (LODs) الحاصلة بطريقة DA (3.4-0.007 µg/g) أفضل بمرتبة من LODs الحاصلة بطريقتي WA (34.0-0.120 µg/g) و D (61.2-0.270 µg/g). حُصِل على تحسينات أخرى في حساسية DA-XRF باستخدام هدف Cu الثانوي لإثارة العناصر k، Ca، Ti، Cr، Mn. في هذا المثال، كانت LODs في المجال 0.220-0.024 µg/g. أظهرت نتائج التحليل بالـ DAXRF صحةً عالية بخطأ أقل من 7.1%، ودقةً بخطأ معياري نسبي (RSD) أفضل من 8.8 ±%.

طُبِّق التحليل DA-XRF المحسن لتعيين العناصر السابقة في عدد من عينات عسل النحل السوري. كانت النتائج مماثلة لتلك الحاصلة بطريقة الامتصاص الذري وبمعاملات ارتباط أفضل من 0.9927.

الكلمات المفتاحية: عيناتُ عسلِ النحل، التفلور بالأشعة السينية، حدّ الكشف، الصحة والدقة.

نشرت هذه الورقة في مجلة:. *Microchemical Journal 2010*

تقويم القطن المروي بالتنقيط والمزروع تحت كثافات نباتية مختلفة ونظامي ري

EVALUATION OF DRIP-IRRIGATED COTTON GROWN UNDER DIFFERENT PLANT POPULATION

د. مصدق جانات
قسم الزراعة
د. عبد الرحمن كلحوت
مركز البحوث العلمية الزراعية

ملخص

أجريت تجربة حقلية لاختبار تأثير الكثافة النباتية ونظام الري على نمو القطن ومؤشرات الإنتاج ونوعية الألياف، والمساحة الورقية، ومحتوى الأوراق من الكلوروفيل وذلك في مدينة حلب شمال سورية لموسمي نمو 2004 و2005. اختبرت في التجربة كثافات نباتية مختلفة 33500-41000-48000-57000-74000 نبات/ها ونظامي ري بالتنقيط (خط زراعة/خط ري وخطي زراعة/خط ري).

كان إنتاج القطن لمعاملة الكثافة النباتية 33500 نبات/ها الأخفض مقارنة ببقية معاملات الكثافة النباتية، على أية حال لم تؤثر بقية معاملات الكثافة النباتية على إنتاج القطن ومواصفات التيلة والمساحة الورقية ومحتوى الكلوروفيل.

تراوحت نسبة الوفر في مياه الري لمعاملة الكثافة النباتية المختلفة المزروعة تحت نظام ري خط/خط ما بين 8.3-11.2% مقارنة بنظام ري خطين/خط.

لوحظ أن خفض الكثافة النباتية حتى 41000 نبات/ها وتبني نظام ري خط/خط يُعدّان من الخيارات الواضحة لخفض تكلفة الإنتاج.

الكلمات المفتاحية: قطن، تنقيط، كثافة نباتية، كلوروفيل.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42: 6, 741 — 752,March, 18, 2011*

التفاعلات النسخية في تآثر الشعير الحساس والممرض COCHLIOBOLUS SATIVUS

TRANSCRIPTIONAL INTERACTIONS DURING BARLEY SUSCEPTIBLE GENOTYPE INFECTION WITH COCHLIOBOLUS SATIVUS

د. محمد عماد الدين عرابي، انطونيوس الداود، أمينة شعيب، محمد جوهر
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

اختيرت في هذه الدراسة السلسلة التصنيفية لأهداف تسلسلية معبر عنها (ESTs) من أجل الحصول على تصور شامل ممثل لمورثات الشعير المعبر عنها أثناء تفاعل طراز وراثي حساس مع الممرض Cochliobolus sativus. وبغية تحديد عدد كبير من أهداف السلسلة ESTs، خلال فترات زمنية مختلفة، جرى توظيف تقنية التعدديات الشكلية لأطوال الشدف المضخمة (AFLP) المتممة الدنا (cDNA). لوحظت تغيرات نسخية معنوية لدى النبات المضيف بعد مرور 4 ساعات على التلقيح. (cDNA). تم الحصول على 456 هدفاً تسلسلياً، 17 منها (53% معبرة إيجابياً <up-regulated>، و47% معبرة سلبياً <down-regulated>) غير موصوفة الوظيفة مسبقاً. وعلى أية حال كان معظم عدد أهداف السلسلة ESTs الملاحظ مشتق من المورثات النظرية المشفرة للبروتين إضافة إلى تحديد إشارات نسخية إمراضية. تساهم هذه الدراسة في افتراض فهرس شامل حول مورثات معبر عنها خلال تآثر الشعير مع الممرض C. sativus وغير موجود حديثاً في قاعدة البيانات EST.

الكلمات المفتاحية: العامل الممرض Cochliobolus sativus، الشعير، التغيرات النسخية، المعلم cDNA-AFLP.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Russian Journal of Genetics 2011*.

اختبار مقاومة عصيات السل للإيزونيازيد باستخدام تقانة الـ PCR بالزمن الحقيقي ومسابر الـ Taqman

Testing resistance of Mycobacterium tuberculosis to isoniazid using real time PCR and Taqman probes

د. عمار مدنية، هناء زرزور، إيفاد غوري
قسم الطب الإشعاعي
د. مايا حبّوس، د. بارعة حبّو
وزارة الصحة، مشفى ابن النفيس

ملخص

استخدمنا تقانة الـ PCR بالزمن الحقيقي ومسابر «التاكمان» المتفلورة لكشف الطفرات النقطية المسببة لمقاومة السل للإيزونيازيد في الكودون 315 لمورثة الـ katG (أنزيم الكاتالاز) وفي الموقعين –15 و–17 لمورثة الـ inhA (أنزيم يدخل في اصطناع الحموض الميكولية)، وقارنّا نتائج هذا الاختبار بنتائج طريقة الزراعة الجرثومية التقليدية. أجريت التجارب على مستعمرات بكتيرية من عينات قشع لـ 171 مريض سل. وتبين أن نوعية الاختبار الجزيئي 100% وحساسيته 73%، مما يختصر مدة اختبار مقاومة السل للإيزونيازيد من أسابيع عدة بالزراعة الجرثومية إلى يومين على الأكثر بالطريقة الجزيئية.

الكلمات المفتاحية: السل، الإيزونيازيد، الـ PCR بالزمن الحقيقي، inhA، katG.

تطوير وإنتاج كيت (طاقم) للصبغ الفضي للدنا (DNA silver staining kit)

Manufacturing DNA silver staining kit

د. انطونيوس الداود، سمير الخوري، مرعي راجح، فادي رزق
قسم التقانة الحيوية

ملخص

تستخدم طريقة الصبغ الفضي (Silver staining) لإظهار تراكيز منخفضة تقدر بالنانوغرام من الدنا المرحل على هلامة من الأكريلاميد حيث تعد هذه الطريقة ذات حساسية عالية وممكنة الاستخدام في تطبيقات عديدة تتضمن مختلف تقنيات التبصيم الوراثي (DNA fingerprinting techniques). يتوفر العديد من طرائق الصبغ الفضي والتي يمكن ببساطة تصنيفها ضمن فئتين أساسيتين، قلوية وأخرى حامضية. تعد الطرائق الحامضية أكثر حساسية من غيرها ويمكن لها كشف تراكيز من الدنا تتراوح ما بين 20 إلى 50 نانوغرام من الدنا بالحزمة. وهي الطريقة المناسبة للهلامات النحيفة بينما تُعد الطريقة القلوية ذات الحساسية الأقل أكثر مناسبة للهلامات الثخينة. حالياً، تقوم شركات عالمية عدة (Promega, GE Healthcare, Invitrogen) بإنتاج الطواقم (الكيتات) اللازمة لإجراء الصبغ الفضي وبيعها بأسعار تتراوح ما بين 167 و250 دولاراً أمريكياً للطاقم (الكيت) الواحد في بلد المنشأ علماً أن هذا الطاقم (الكيت) يكفي لصبغ 10 هلامات فقط. في ضوء هذه الحاجة، فقد كان الهدف الأساسي لهذا المشروع إنتاج طاقم (كيت) الصبغ الفضي محلياً من خلال استثمار بعض المواد والأجهزة المتوفرة في القسم. وبالتالي فإن الغاية النهائية للبحث هي تغطية حاجة قسم التقانة الحيوية في الهيئة من هذا الطاقم بصورة تغني عن استيرادها من الشركات الأجنبية، وبشكل يغطي كلياً احتياجات العمل الروتيني لمخابر الهيئة وغيرها من مخابر القطر.

نظراً لخبرتنا الطويلة في تحضير هذا النوع من الصباغ واستخدامه (ست سنوات) فقد تمكنا خلال العام الحالي وبزمن قصير نسبياً من إنتاج الطاقم (الكيت) المطلوب بجودة مماثلة للبديل المستورد وبسعر يقدر بـ 3400 ليرة سورية كما تم اختباره والتأكد من جودته. كما اعتُمدت العبوات المناسبة لكل مادة بشكل يضمن جودتها عند التخزين مع سهولة شحنها ومراعاة مظهرها الأنيق.

الكلمات المفتاحية: صبغ فضي، DNA، طرائق حامضية.

المكتبة الافتراضية والبحث العلمي

Virtual Library and Scientific Research

ناظم سخيطة، رائد الحلاق
مديرية العلاقات والتدريب

ملخص

تقدم الدراسة فكرة عن مفهوم المكتبة الافتراضية والتعريفات المختلفة المرتبطة بذلك، مع الإشارة إلى تاريخ ظهورها ومكوناتها الأساسية والهدف منها، بالإضافة إلى محاسن إنشاء مثل هذه المكتبات ومساوئها، ودورها في خدمة البحث العلمي. تم أيضاً التعرف على تقنيات الاتصالات والشبكات المستخدمة في مثل هذه المكتبات مع افتراض مجتمع معرفي يتقبل استخدام هذه الخدمة وخاصة مجتمع البحث العلمي. كما تمت المقارنة ما بين الشكلين التقليدي والرقمي، مع دراسة بعض الحزم البرمجية الضرورية لبناء المكتبة الافتراضية. في نهاية الدراسة تم عرض نموذج إقليمي وآخر دولي للمكتبة الافتراضية مع ذكر بعض الأمثلة المتوفرة من خلال الإنترنت.

الكلمات المفتاحية: المكتبة الافتراضية، الشبكة الدولية، تكنولوجيا المعلومات، تكنولوجيا الاتصالات، البحث العلمي.

التأثير الإشعاعي لأكوام الفسفوجبسوم في النظام البيئي المحيط

Radiological impact of phosphogypsum in the surrounding ecosystem

د. لينا العطّار، د. محمّد العودات، يوسف بدير، حسام خليلي، أحمد الحموي
قسم الوقاية والأمان
سلوى كناكري
قسم التقانة الحيوية

ملخص

هدفت الدراسة إلى تعيين التأثير الإشعاعي لأكوام الفسفوجبسوم السوري في مكونات النظام البيئي المحيط (التربة، والهواء، والماء، والنباتات). وقد عُيّن تركيز وتوزّع النكليدات المشعة ذات المنشأ الطبيعي (الراديوم-226 واليورانيوم-238 والثوريوم-232 والرصاص-210 والبولونيوم-210) في الصخر والسماد الفسفاتي والفسفوجبسوم. بيّنت النتائج أن معظم الراديوم-226 ينتقل إلى الفسفوجبسوم وبلغ متوسط تركيزه نحو 318 بكرل/كغ، والأمر نفسه كان بالنسبة للثوريوم-232 والبولونيوم-210 والرصاص-210 التي انتقل أكثر من 80% منها إلى الفسفوجبسوم، في حين كان تركيز اليورانيوم في الفسفوجبسوم منخفضاً نظراً لانتقاله إلى حمض الفسفوريك المنتج.

لم تُؤدِّ أكوام الفسفوجبسوم إلى زيادة تركيز غاز الرادون-222 أو جرعة التعرّض الخارجي لأشعة غاما في المنطقة المُحيطة، وبلغت الجرعة السنوية الفعّالة 0.082 ميلي سيفرت/سنة. كما بلغ المتوسط الهندسي للعوالق الكُليّة 85 ميكروغرام/م3. أما تركيز النكليدات المشعة الطبيعية في مياه الرشح ومياه الجريان السطحي فكانت أقل من حدّ الكشف، والأمر نفسه بالنسبة للنكليدات المُشعّة في المياه الجوفية ومياه بحيرة قطينة والتي كان تركيزها أقل بكثير من الحد المسموح به (من قبل منظمة الصحة العالمية) في مياه الشرب.

كان النشاط الإشعاعي لعينات التربة التي جُمعت من المواقع الشرقية لأكوام الفسفوجبسوم هو الأعلى، يعود هذا إلى الرياح الغربية والشمالية الغربية المميزة للمنطقة، إلا أنها بقيت ضمن المستويات الطبيعية المسجلة للترب في سورية. اختلف تأثير أكوام الفسفوجبسوم في النباتات تبعاً للنوع النباتي، حيث كان التركيز الأعلى في الأعشاب (Grass) مقارنةً بالنباتات عريضة الأوراق. وبيّنت الدراسة أن الأنواع النباتية Inula وEcballium وPolygonium يمكن أن تُعدّ نباتات مُراكمة للنكليدات المُشعة. أوضحت هذه الدراسة والدراسات السابقة التي جرت في هيئة الطاقة الذريّة السورية أنه يمكن اعتبار الفسفوجبسوم مادة أولية وليست نفاية.

الكلمات المفتاحية: الصناعة الفسفاتية، الفسفوجبسوم السوري، النكليدات المُشعّة، النظام البيئي.

القيمة الغذائية في المخلفات الناتجة عن تقليم أشجار الزيتون (Olea europoea)

Nutritive value of pruning residues of olive trees (Olea europaea)

د. محمد راتب المصري
قسم الزراعة

ملخص

جرى قطع أغصان الزيتون Olea europoea يدوياً في موسم التقليم على مسافة 25 سم أو 50 سم أو 75 سم أو 100 سم من القمة (طول القطع). جرى التقييم الغذائي للعينات التجريبية بتقدير بعض المكونات الغذائية (البروتين الخام CP والألياف الخام CF والرماد ومستخلص الإيتر والكربوهيدرات اللاألياقية (NFC ومكونات الجدار الخلوي (ألياف المنظف المتعادل NDF، ألياف المنظف الحامضي ADF، اللغنين) والطاقة الكلية (GE) وأشكال الآزوت [الآزوت الذواب بالمحلول الدارىء (BS-N) والآزوت غير البروتيني الذواب بالمحلول الدارىء (BS-NPN)] والمكونات الضد–التغذوية [الفينولات الكلية (TP) والتانينات القابلة للحلمهة (HT) والتانينات الكثيفة (CT)]. وجرى في الزجاج تقدير المادة العضوية المهضومة (IVDOM) والطاقة الاستقلابية (ME) والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL) في العينات التجريبية النباتية بعد تحضينها مع سائل كرش أغنام العواس بوجود أو بغياب مركب بولي إيتيلين غليغول (PEG, 6000) بنسبة 2 PEG إلى 1 ركيزة.

أثرت معاملات القطع سلبياً على المعايير الغذائية المدروسة كافة. انخفضت قيم المكونات الغذائية وأشكال الآزوت وIVDOM وME وNEL وارتفعت تراكيز الألياف الخام ومكونات الجدار الخلوي بازدياد طول القطع (P<0.05). أعطت أغصان أشجار الزيتون التي جرى قطعها على مسافة 25 سم من القمة قيماً مرتفعةً من IVDOM وME وNEL وCP وBS-N وBS-NPN وNFC وقيماً منخفضةً من CF وNDF وADF واللغنين مقارنةً مع معاملات القطع الأخرى. لم يلاحظ وجود اختلافات (P<0.05) في قيم GE وTP وHT وCT نتيجةً لتأثير طول القطع. وبلغت قيم GE وTP وHT وCT 19.51 ميغاجول/كغ مادة جافة و70 غ/كغ مادة جافة و17 غ/كغ مادة جافة و0.56 غ/كغ مادة جافة. على التوالي. وجد تأثير معنوي إيجابي (P<0.05) لإضافة مستحضر PEG على قيم IVDOM وME وNEL. وبلغت الزيادات المتوسطية في قيم IVDOM وME وNEL نتيجةً لإضافة مستحضر PEG 40 غ/كغ مادة جافة و0.59 ميغاجول/كغ مادة جافة و0.42 ميغاجول/كغ مادة جافة، على التوالي، لمعاملات القطع كافة. ارتبطت قيم IVDOM وME وNEL سلبياً مع تراكيز CF وNDF وADF (p<0.0001; 0.96-=R) واللغنين (P<0.0001; 0.79=R)، ولكنها ارتبطت إيجابياً مع قيم البروتين الخام والمستخلص الإيتري وBS-N وBS-NPN وNFC (P<0.0001; 0.94=R).

الكلمات المفتاحية: أشجار زيتون، تقليم، قيمة غذائية، أغنام عواس، تانينات، فينولات، معامل هضم، طاقة، بولي إيتيلين غليغول.

تكوّن الدم والآليات الناظمة له

Hematopoiesis and Its equlatry Mechanisms

د. خالد المحمد، فاطمة الشيخ
قسم الطب الإشعاعي

ملخص

تلخص هذه الدراسة أهم المعلومات المتوفرة عن تكوّن الدم وعن بنية المكان الأساسي لتكوّنه وهو نقي العظم وعن الخلايا المكوّنة للدم والخلايا الداعمة لها.

يتكوّن الدم عند الأنسان بعد الولادة في نقي العظم، وينطلق تكوّن الدم من خلية جذعية ذات قدرات عالية ومتعددة ليعطي كل عناصر الدم المختلفة. تتألف الخلايا الداعمة من أنواع عدة من الخلايا مثل الخلايا الشحمية والخلايا شبيهة الأرومة الليفية (الشبكية) والخلايا البطانية والخلايا الناقضة للعظم وكل منها له خصائصه الخاصة.

هذه البنية الهندسية لنقي العظم تنظم مجموعة من الوظائف وذلك عن طريق الاستجابة الآلية المنظمة إيجابياً وسلبياً بطريقة راجعة مؤدية إلى معدل إنتاج لخلايا الدم يُعرف بالمعدل الطبيعي. وتستند الآليات المنظمة على التموضع المكاني للخلايا وعلى التفاعلات بين الخلايا بعضها ببعض وبين الخلايا والنسيج الداعم وبين الخلايا والمركبات المساعدة التي تؤدي إلى ربط الفعالية المورثية بالأحداث الكيميائية الآلية المؤثرة على سطح الخلية بعملية منسقة من المورثة إلى سطح الخلية وبالعكس.

الكلمات المفتاحية: تكون الدم، نقي العظم، الخلايا الداعمة، الخلية الجذعية.

التحري عن احتمال وجود بعض الصدوع التكتونية في غرب دمشق وتقييم نشاطها

Investigation & Evaluation of some prospected fault activities in western Damascus

د. محمد خيرعبد الواحد،
محمد الهلال، أحمد العلي،
هيثم النجار
قسم الجيولوجيا

ملخص

تهتم هيئة الطاقة الذرية السورية بدراسة المخاطر الزلزالية في المواقع التابعة لها بوجه عام، والقريبة من نطاقات الصدوع النشطة، كتلك المتفرعة عن نظام صدع البحر الميت والممتدة إلى الغرب من مدينة دمشق بوجه خاص. ومع تقدم المعطيات المحصول عليها من الآبار المحفورة في موقعي الهيئة في دوبايا والصوجة، والتي دلت معطياتها على وجود بعض المؤشرات الأولية حول احتمال وجود بعض الصدوع الدفينة بالقرب من تلك المواقع. الأمر الذي دفع إلى التفكير بتنفيذ بحث دقيق حول المخاطر الزلزالية المحتملة في المنطقة. تعدّ قياسات الرادون في المياه والتربة لاسيما عند تكاملها مع نتائج المعطيات الزلزالية، من الطرائق الفعالة لتحديد مواقع تلك الصدوع ومراقبة سلوكها وتحديد نشاطها.

يهدف هذا البحث إلى استكمال الجهود الرامية للمساهمة في تحديد المواقع المحتملة لتوليد الكوارث الطبيعية، كالزلازل، على امتداد نطاق صدع البحر الميت وتفرعاته في المنطقة باستخدام تقانتي قياسات الرادون والمعطيات الزلزالية، وذلك للتخفيف من مخاطرها المحتملة والحد من تأثيرها على الصعيدين البشري والمادي .

الكلمات المفتاحية: قياسات الرادون، صدع سرغايا، الزلازل، سورية.

دراسة عملية ترسيب الطمي في سد الباردة من المنطقة التدمرية

Study of Accumulation in Al-Bardae Dam of the Palmyra Area

د. محمد سعيد المصري، سامر ماميش، محمد عبد الحليم
قسم الوقاية والأمان
د. بولس أبو زخم، رانيا الحافظ، إياد أبو ماضي، بسام قطاع
قسم الجيولوجيا

ملخص

تعد الرسوبيات المتراكمة خلف سد الباردة أرشيفا كاملا للشروط الهيدرولوجية والمناخية القديمة منذ إنشائه إلى يومنا هذا. ولدراسة هذه الرسوبيات قمنا باستخدام التحاليل الجيولوجية والهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية وتقانات النظائر البيئية. الهدف الأساسي لهذه الدراسة يتمحور حول تقدير سرعة الترسيب أو معدله خلف السد ودراسة الشروط الهيدرولوجية والمناخية القديمة التي أدت إلى عملية ترسيب الطمي، والتغيرات المناخية التي سيطرت خلال هذه الفترات، ودراسة عمليات البخر والرشح المباشر عبر رسوبيات السد التي يمكن أن تساهم في تغذية الحامل المائي السطحي في المنطقة، وتأريخ هذه الرسوبيات بشكل نسبي ومطلق. بينت النتائج أن المياه الجوفية التي تعود إلى الكريتاسي العلوي تتميز بمياه كلسية بيكربوناتية ومغنيزية سلفاتية ناقليتها أقل من 1000 µS/cm، في حين تكون مياه حامل الباليوجين–رباعي الضحل بيكربوناتية كلسية إلى كلورية صودية ناقليتها 1000-2000 µS/cm، أما مياه الطبقة العميقة فتكون منفصلة عن الطبقة الضحلة ولا تتعرض للتبخر أو للاختلاط، في حين تتعرض الطبقة الضحلة للإغناء النظائري لأنها تتلقى تغذية من المياه السطحية عبر رسوبيات السد والشقوق والفوالق المحلية. قدرت سرعة الترسيب Sedimentation rate الوسطية بحوالي 0.9 سم/سنة، وبالتالي فترسيب كامل السد تم خلال 1800 سنة تقريباً. سيطرَ مناخ رطب استمر منذ 500 سنة حتى قبل 150 سنة من الآن، ثم بدأ التغير بشكل تدريجي نحو الجفاف. دخلنا فترة الجفاف فعلياً قبل حوالي 90 سنة وتعمق هذا الجفاف بشكل ملحوظ خلال الـ 25 سنة الأخيرة. يعكس التركيب الفلزي لرسوبيات السد التركيب الكربوناتي للصخور الأم المتكشفة في المناطق المحيطة بالسد.

جرى تعيين توزع النكليدات المشعة الطبيعية والسيزيوم 137 الصنعي في الرسوبيات المتراكمة خلف سد الباردة بهدف تعيين معدلات الترسيب وتحديد التغيرات المناخية السابقة. تراوحت تراكيز اليورانيوم 234 بين 18 بكرل/كغ و46 بكرل/كغ أما تراكيز اليورانيوم 238 فتراوحت بين 19 بكرل/كغ و46 بكرل/كغ، في حين تراوحت تراكيز الثوريوم 228 بين 12 بكرل/كغ و36 بكرل/كغ تراوحت تراكيز الثوريوم 230 بين 31 بكرل/كغ و114 بكرل/كغ وتراوحت تراكيز الثوريوم 232 بين 13 بكرل/كغ و36 بكرل/كغ. تعكس تراكيز نظائر الثوريوم واليورانيوم طبيعة الصخر الأم وهي ناتجة عن عمليات الحت والتعرية للصخور المتوضعة في المنطقة المحيطة بالسد. أما تراكيز الراديوم 226 فتراوحت بين 31 بكرل/كغ و118 بكرل/كغ.

تراوحت معدلات الترسيب في البحيرة باستخدام طريقة الرصاص 210 غير المدعم ثابتة المعدل بين 0.83 و1.03 سم/سنة وبقيمة وسطية قدرها 1 سم/سنة، وكانت القيمة متقاربة للسبور الثلاثة مما يدل على إمكانية تطبيقها في حالات ترسيب الطمي في السدود التجميعية والناجمة عن مياه السيول. في حين تراوحت معدلات الترسيب في سبور العمق باستخدام طريقة السيزيوم 137 بين 0.68 و0.86 سم/سنة، أي بمعدل وسطي قدره 0.8 سم/سنة.

الكلمات المفتاحية: تأرخ، تلوث، سد الباردة، المنطقة التدمرية، التغيرات المناخية، معدلات الترسيب.

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria

NO. 134

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Dirctor General of A.E.C.S

Editing Committee

(Editors In-chief)

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Ka'aka

(Members)

Prof. Dr. Haj Saeed

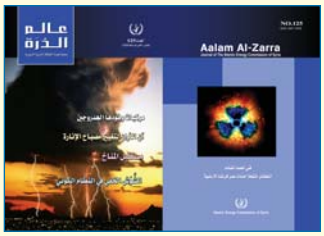
Prof. Dr. M. Hamo-leila

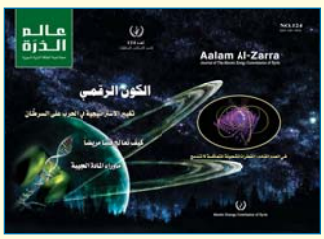
Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. F. Awad

Prof. Dr. F.Kurdali

Prof. Dr. T. Yassin





Aalam Al-Zarra

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 of the different applications of Atomic energy.

http://serversmiso.aecs.sy

مكتب نظم المعلومات

هيئة الطاقة الذرية السورية