NO. 135

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.

الإخـــراج الفنـي

بشار مسعود

نبيل إبراهيم

مهند البيضه

أمل قيروط

المتابعة والتنسيق

حسان بقلة

التدقيق اللغوي

نوال الحلح

ريما سنديان

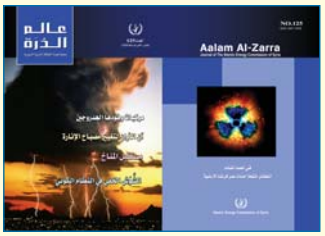
التنضيد

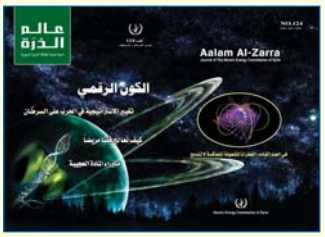
هنادي كنفاني

غفران ناوروز

التوزيع

عتيبة المنعم





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

المحتويات

مقالات

5 بصمة المواد النووية للتشريعات النووية

قد يكون لأصل المادة النووية المجهولة مصادر عدة. تسمح التشريعات (forensics) النووية بواسطة استخدام البصمة (fingerprinting) والمقارنة مع معطيات مرجعية بتعيين الأصل والاستخدام المقصود والمالك القانوني الأخير وطريق التهريب. هذه المعلومات ضرورية في حالة السرقة أو الانحراف عن إجراءات الوقاية والتي يمكن تطبيقها لمنع السرقات المستقبلية.

12 التاريخ التشريعي لصكوك الأمن النووي

17 أدوات تخطيط الطاقة ومنهجياته

اعتمدت المقالة بشكل خاص على أحد إصدارات الوكالة الدولية للطاقة الذرية بعنوان Sustainable Energy for the 21st Century، إضافةً إلى نتائج أعمال مجموعة تخطيط الطاقة/ هيئة الطاقة الذرية السورية بهذا الخصوص.

33 ما وراء الغذاء مقابل الوقود!

المنحى الأكثر قابلية للجدل حول الوقود الحيوي هو المنافسة الملحوظة على الأراضي الزراعية. هل سيرسل التقدم في الوقود الحيوي والزراعة هذه التجارة خارج المنافسة لتصبح من كتب التاريخ؟

أخبار علمية

38 مستقبلٌ واعدٌ للطاقات المتجدّدة

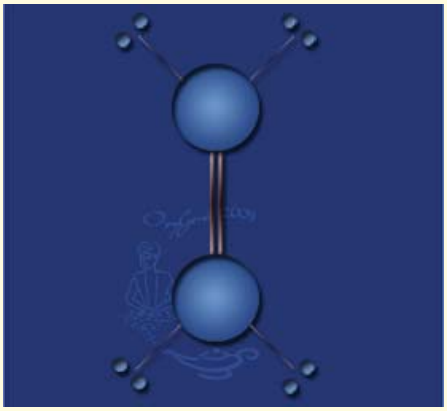
41 الوكالة النووية تواجه دعوات للإصلاح

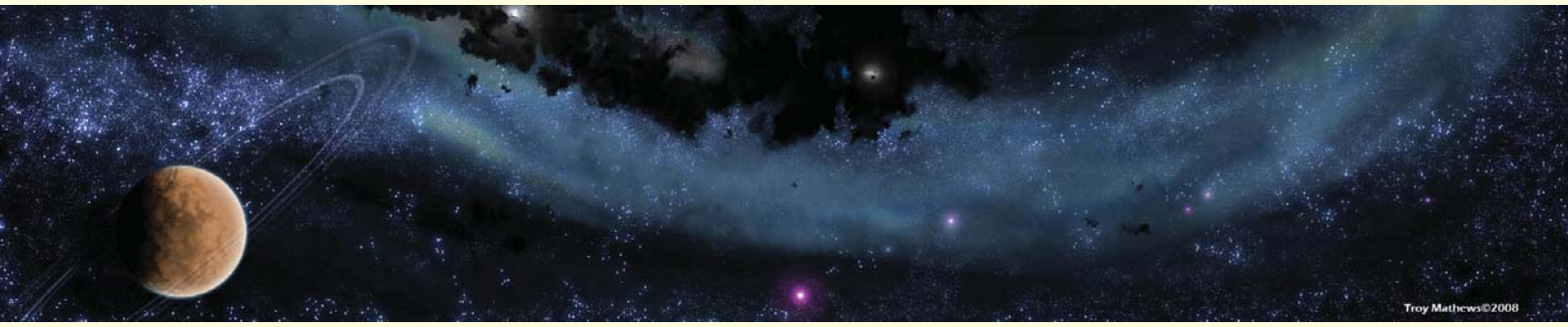
43 رئيس الأمان النووي يدعو للإصلاح

45 اليابان تعيد النظر في سياستها الطاقية

46 حادثة فوكوشيما: تعلُّم الدروس

50 الأكسجين





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

ملخصات ورقات البحوث

57 التحقق من حساب MCNP لمعامل تصحيح الكفاءة الحجمي في قياس غاما الطيفي لعينات نورم كبيرة

57 تقييم اختبار الحلقة الحليبي وبعض الاختبارات المصلية في الكشف عن البروسيلا الضأنية لدى إناث الأغنام السورية

58 تحليل مميزات التيار–الجهد للخلية الشمسية المبنية على أساس $CuGaSe_2$ ذات المردود القياسي: تطبيق طريقة تجزئة التيار ونموذج إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني

58 الأداء الأمثل لتقنيّة قفل أنماط: تحرّيات نظريّة وتجريبيّة حول المرآة اللاخطيّة المضاعفة التردّد

59 حساب استحراق الوقود ومخزون النوى المشعة في مفاعل البحث منسر باستخدام الكود GETERA

59 دراسة خواص الخفض الضوئي لمركب أزرق الحمض 29 في مذيبات متنوعة

60 معادلة حالة المادة النووية وعدم انضغاطيتها في نظرية الحقل الهادروني النسبوي والمتعلق بالكثافة

60 التوصيف الوراثي لسلالات سورية من بكتريا Erwinia amylovora باستخدام تقنية التعدد الشكلي لطول قطع الدنا المضخمة AFLP

ملخصات تقارير علمية

61 إزالة نظائر الراديوم من المياه المرافقة للنفط باستعمال البنتونايت

61 تحليل خواص ميزات تيار–جهد في الخلايا الشمسية المصنوعة من مركبات السيليسوم الهلامي (اللابلوري) والمكروبلوري

62 النمذجة الرياضية لليزر نصف ناقل مزود بمفتاح جودة منفعل

62 قياس لاتناحي المقاومة النوعية للمركبين $2H\text{-}NbSe_2$ و $2H\text{-}TaSe_2$ حتى درجة حرارة 10K

62 تقصي مستويات التعرض للحقول الكهرطيسية الناتجة عن محطات الإرسال والتقوية للهاتف الخلوي

63 القياس المؤتمت لممانعة بعض الأكاسيد السيراميكية للتيار الكهربائي المتناوب باستعمال جهاز التضخيم الطوري Lock-in

63 تقرير عن التحريات الجيوفيزيائية (لوحات كهربائية) المنفذة في سد (أبو بعرة)

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.

بصمة المواد النووية للتشريعات النووية

قد يكون لأصل المادة النووية المجهولة مصادر عدة. تسمح التشريعات (forensics) النووية بواسطة استخدام البصمة (fingerprinting) والمقارنة مع معطيات مرجعية بتعيين الأصل والاستخدام المقصود والمالك القانوني الأخير وطريق التهريب. هذه المعلومات ضرورية في حالة السرقة أو الانحراف عن إجراءات الوقاية والتي يمكن تطبيقها لمنع السرقات المستقبلية.

يمكن لبعض البارامترات (الوسطاء) القابلة للقياس أن تشير إلى مواد معيّنة وهذا بدوره يؤدي إلى "بصمة" للمادة المجهولة. تعطي مقارنة البارامترات المقيسة مع المادة المرجعية أفكاراً عن أصلها والمالك القانوني الأخير لها.

تتناول هذه المقالة البارامترات المميزة والمعلومات الممكنة لهذا الموضوع.

الكلمات المفتاحية: تشريعات نووية، يورانيوم، بلوتونيوم.

مقدمة: ماهي التشريعات النووية؟

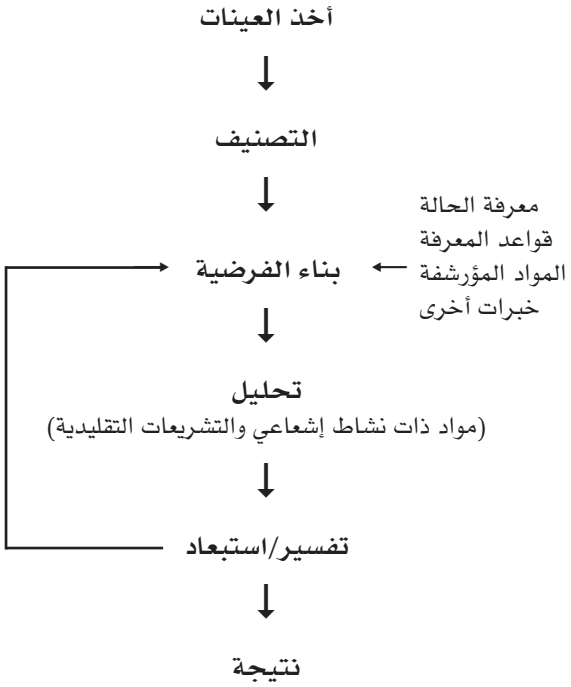
في بداية عام 1990 تفكك الاتحاد السوفييتي مما أدى لاكتشاف ظواهر جديدة عُرفت بـ "التهريب النووي". سُجلت الحالات الأولى في عام 1991 في سويسرا وإيطاليا. هناك أسئلة جديدة يجب الإجابة عنها: الاستعمال المقصود للمادة النووية المجهولة وأصلها والمالك القانوني الأخير وطريق التهريب. التقنيات التي تجيب عن هذه الأسئلة كانت معروفة من الضمانات النووية وعلم المواد. جمع هذه الطرائق التحليلية كانت نقطة انطلاق التشريعات النووية.

يمكن أن تقسم المعلومات المستنتجة من تحاليل التشريعات النووية إلى مجموعتين: معلومات أصيلة (endogenic) ومعلومات دخيلة (exogenic).

المعلومات الأصيلة هي عبارة عن معلومات توضيح ذاتية كالعمر والاستعمال المقصود ونمط الإنتاج حيث يمكن فقط لنموذج حسابي أن يفسر المعطيات.

والمعلومات الدخيلة هي عبارة عن معلومات مقارنة. يتم تفسير المعلومات الدخيلة التي تتضمن الموقع الجيولوجي ومعطيات الإنتاج بالمقارنة مع معطيات مرجعية ومعلومات مرجعية ضرورية. بُذلت جهود كبيرة لوضع قواعد بيانات تحوي مثل هذه البيانات المرجعية.

سمحت حالة تطور التشريعات النووية بطريق استنتاجي (الشكل 1). تُبْنى فرضية أو مجموعة من الفرضيات وذلك بأخذ النتائج المتوفرة بالحسبان. إن قواعد البيانات وخبرات أخرى تخدم المعرفة لبناء الفرضيات وعمل تحليلات إضافية لإثبات وجود المؤشرات الموافقة للفرضيات. إذا كانت هذه المؤشرات غائبة في العينة فإن فرضية جديدة يجب اقتراحها.



الشكل **1.** طريق الاستنتاج المتبع في عملية التشريع النووي

طريقة "البصمة النووية"

لتوصيف مادة نووية مجهولة فإن مجموعة من القياسات يجب أن تجرى للحصول على ما يسمى بـ "البصمة". المعلومات المستنتجة من هذه البصمة النووية تكون كالتالي:

- البارامترات المايكروسكوبية (مثل قطر الحبيبة، الارتفاع)
- التركيب النظائري
- التركيب العنصري (مثل العناصر والشوائب)

في حالة خليط من المركبات (مسحوق أو، من المحتمل، مواد مضافة ذات تراكيب كيميائية أو نظائرية مختلفة) يتوجب اكتشاف بصمة البنية المكروية التي تتألف من البنود التالية:

- مورفولوجيا الجسيمات
- حجم الجسيمات وتوزعها
- حجم الحبيبات وتوزعها
- توزع الحجم المسامي والكثافة
- كثافة الخلوع وتوصيفها
- ترسيب الأطوار الأخرى

أنماط نظائر اليورانيوم والبلوتونيوم

المعلومات التالية يمكن الحصول عليها من تحليل أنماط النظائر:

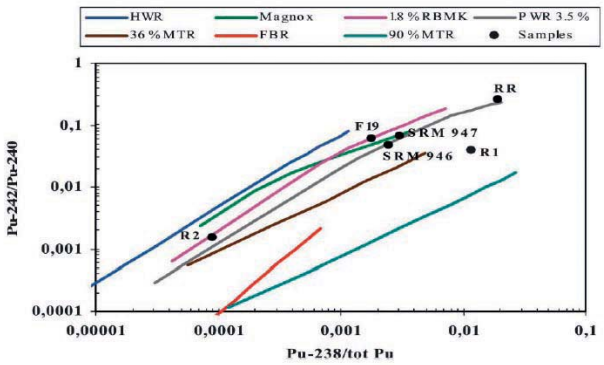
- وجود كمية ضئيلة من U-236 يعدّ مؤشراً على وجود تلوث مع اليورانيوم المعاد تصنيعه، وهذا بدوره مؤشر على نشاطات إعادة المعالجة.
- تركيب نظير البلوتونيوم يعطي مؤشراً مفيداً عن نوع المفاعل الذي أنتج المادة.
- يمكن أن يوجد أكسيد اليورانيوم في الأشكال المختلفة، على سبيل المثال UO_2 أو U_3O_8 وهو يعطي معلومات عديدة عن أصل اليورانيوم في دورة الوقود.

يتولد البلوتونيوم بوصفه ناتجاً ثانوياً في المفاعلات النووية عندما يمتص ^{238}U نتروناً معطياً ^{239}U، والذي يتحول إلى ^{239}Np بإصداره أشعة بيتا وأخيراً يتحول إلى ^{239}Pu. تنتج أيضاً النظائر المشعة الأثقل من البلوتونيوم بأسر نترونات إضافية. لذا فإن التركيب النظائري قد يعطي أجوبة عن نوع المفاعل الذي استعمل لإنتاج المادة النووية المجهولة.

يُعطي التركيب النظائري للبلوتونيوم معلومات تشير إلى نوع المفاعل:

- إغناء أولي عالٍ لـ ^{235}U للوقود النووي يؤدي إلى وفرة في الـ ^{238}Pu، وذلك بسبب الأسر النتروني المتعدد في ^{237}Np.
- يُؤثر طيف طاقة النترون في التركيب النظائري لـ Pu (كلما كان الطيف ناعماً كانت النسبة $^{242}Pu/^{240}Pu$ أعلى).

يُمكن أن تقارن الأنماط النظائرية المقيسة بنموذج حسابي بواسطة كودات حاسوبية (مثال على ذلك ORIGEN أو SCALE من أجل RBMK و VVER)، مما يُبرهن أنّ أنواع المفاعلات الرئيسة يُمكن أن تكون منفصلة عن بعضها بشكل واضح (الشكل 2).



الشكل **2.** التركيب النظائري للبلوتونيوم لأنواع المفاعلات المُختلفة (الخط المستمر) والتركيب النظائري المقيس (النقاط).

تحديد العمر

العُمر بالتعريف هو الوقت المنقضي منذ حدوث المعالجة الكيميائية الأخيرة (مثال الإنتاج أو إعادة المعالجة أَو التنقية). قد يُستخدم عُمر المادة بوصفه بارامتر استبعاد في البحث عن مصنع الإنتاج أَو مصنع إعادة المعالجة.

بما أن نسبة تفكك النظائر المشعة تتعين بالكمية الأولية وعمر النصف للنظير المشع، فإن الكميات النسبية لمنتجات التفكك (الوليد) بالمقارنة مع النظائر المشعة الأصل يمكن أن تستعمل بوصفها ميقاتية.

إنّ عمر المادّة قصير بالمقارنة مع عمر النصف للنكليدات الملاحظة. قد يُبيّن استعمال جداول النكليدات وجود العديد من أزواج الأصل/الوليد. نسب النكليد المثالية لليورانيوم هي:

- $^{234}U/^{230}Th$
- $^{235}U/^{231}Pa$

ومن أجل البلوتونيوم هي كالتالي:

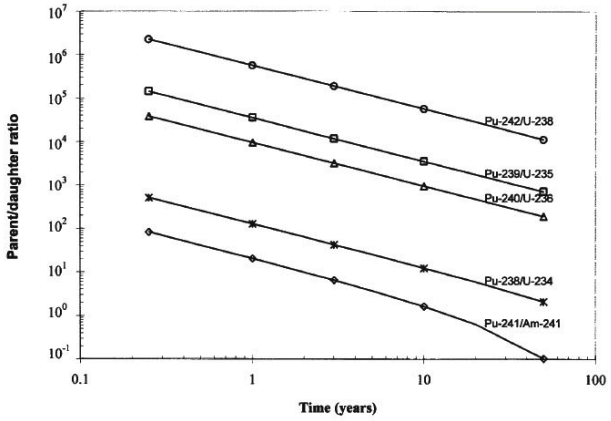
- $^{238}Pu/^{234}U$
- $^{239}Pu/^{235}U$
- $^{240}Pu/^{236}U$
- $^{241}Pu/^{241}Am$

إنّ التفكك المشع لكل من هذه النكليدات وحيد، لذا فإن قياس نسبة الأصل/الوليد يسمح بحساب الوقت المنقضي منذ الفصل الكيميائي الأخير. إذا لم تمتلك المادة الفصل الكامل، فإن الميقاتية لا تمتلك الوضع الصفري الصحيح وهذا يقود إلى معلومات مضلّلة حول العمر. يُوصى لتفادي هذا الخطأ النظامي بقياس نسب الأصل/الوليد مرات عديدة.

الشوائب المعدنية

تحوي المادّة النووية شوائب معدنية مختلفة التركيز. في المواد البادئة تكون الشوائب المعدنية مترافقة مع العناصر، بينما تُختزل الشوائب بشدّة أثناء المعالجة من المرحلة المتوسطة حتى المنتج النهائي. من المحتمل أن يصل معامل الاختزال إلى 10^3 لمستوى الشائبة بعد المعالجة. تبقى أنماط الشائبة نفسها خلال المعالجة لمعظم المناجم.

من ناحية أخرى، قد تدخل الشوائب المعدنية في المادة النووية في مراحل المعالجة المختلفة. إنّ أي أمر وراء هذا التنظيم غير مفهوم إلى الآن بشكل جيد، لكنّ نظرية كاملة يجب أن تحتوي على تركيز الشوائب بوصفه تابعاً لزمن التعرّض لمادة الحاوية أو مادة صهريج التخزين وذلك للمواد التي ترشح من سطح الجدران. تُفحص في الوقت الحاضر في تحاليل العيّنة، نسبة العناصر ذات السلوك الكيميائي المماثل لأن هذه النسبة ستتفاوت فقط ضمن حدود ضيّقة.



الشكل **3**. النسب الوزنية للوالد/الوليد لمادة البلوتونيوم بدلالة العمر.

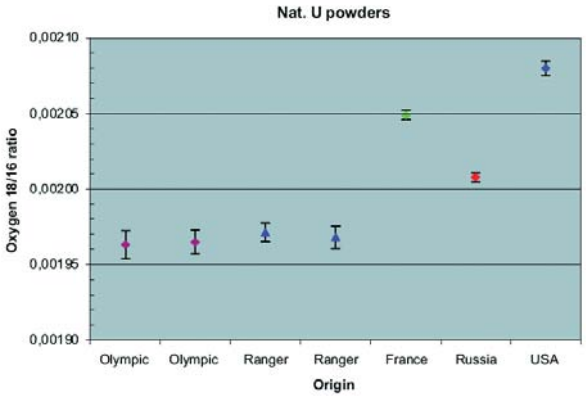
النظائر المستقرة

يؤسس قياس النظائر المشعة المستقرّة تقنية في المواقع الجيولوجية. تكون لمادتين متماثلتين كيميائياً نظائر مشعة مستقرّة مختلفة التركيب إذا لم يكن أصلهما و/أو تاريخهما نفسه. تُطبق، في التشريعات النووية، قياسات نسبة نظائر الأكسجين والرصاص.

الأكسجين

يوجد الأكسجين الطبيعي في ثلاثة نظائر مشعة مستقرّة: ^{16}O (99.762%)، ^{17}O (0.038%)، و ^{18}O (0.002%). تُسبب درجة الحرارة وخط العرض والمسافة عن البحر اختلافاً قد يصل إلى 5% في نسبة $^{18}O/^{16}O$.

يُستعمل الماء كمُحل في معالجة اليورانيوم. يحدث التبادل أثناء المعالجة النظائرية ومنتج أكسيد اليورانيوم النهائي يحمل بصمة نسبة $^{18}O/^{16}O$ للماء المستعمل. يعطي قياس نسبة نظائر الأكسجين المشعة معلومات حول المنطقة الجغرافية حيث عُولجت المادّة. يُبيّن الشكل 4 أمثلة عن الارتباط بين الموضع الجغرافي لموقع إنتاج أكسيد اليورانيوم والاختلاف في نسبة $^{18}O/^{16}O$.



الشكل **4.** مقارنة نسبة $^{18}O/^{16}O$ لـ U_3O_8 من أجل مناجم يورانيوم مختلفة. Olympic و Ranger مناجم أسترالية

الرصاص

إنّ واحداً من نظائر الرصاص المشعة المستقرّة الأربعة أساسي (طبيعي) ^{204}Pb والثلاثة الأخرى تكون منتجات نهائية لسلاسل التفكك الإشعاعي: $^{235}U \rightarrow ^{207}Pb$، $^{238}U \rightarrow ^{206}Pb$، $^{232}Th \rightarrow ^{208}Pb$. لذا يعطي تركيب نظائر الرصاص المشعة المستقرّة معلومات عن النسبة الأولية لـ U/Th في المنجم والعمر الخام. بسبب حقيقة أنّ الاختلافات في التركيب لمناجم مختلفة يكون واضحاً، فإن البحث في نظائر الرصاص المشعة المستقرّة يمكن أن يحدّد أصل المنجم.

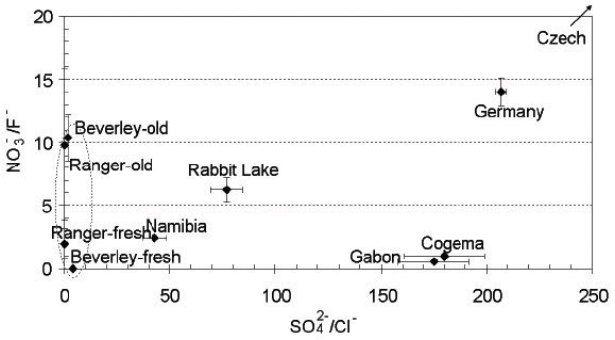
الشوائب الأنيونية

يمرّ خام اليورانيوم بمعالجات كيميائية مختلفة قبل أن يصبح خام يورانيوم مركزاً (كعكة صفراء). بما أن اليورانيوم مُستخرج من خامات فلزية طبيعية مختلفة (خامات حمضية وقلوية وفسفاتية) فإنه يتطلب استعمال عمليات ترشيح كيميائية مختلفة. تُستعمل أيضاً في المعالجة اللاحقة عمليات كيميائية مختلفة للترسيب وإذابة اليورانيوم.

تُستعمل حموض مختلفة لمعالجات مختلفة وقد تترك هذه العمليات شوائب أنيونية $(Cl^-, F^-, Br^-, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{2-}$ و $PO_4^{3-})$. قد تكون هذه الأنيونات مؤشراً للمعالجة المستخدمة.

تُستعمل عملياً النسب الأنيونية، لأن نسبة الترشيح في المناجم يمكن أن تتغيّر وتركيز الأنيونات المطلق يمكن أن يختلف أكثر من النسب.

من الملاحظ أنّ الشوائب الأنيونية يمكن أن تُميّز بين المناجم المختلفة (الشكل 5)، لكن هناك أيضاً اختلافات بين حملات أخذ العينات المختلفة في نفس المنجم (Ranger القديم مقابل Ranger الجديد و Beverly القديم مقابل Beverly الجديد في الشكل 5).



الشكل **5.** النسب الأنيونية في عينات خامات اليورانيوم المركزة المختلفة.

قُصور هذه التقنيات

التلوث العابر

هناك مشكلتان قد تسبّبان وجود تلوّث عابر في حالة الكشف عن نظائر الرصاص المشعة المستقرّة. أولاً، يكون الرصاص الطبيعي (^{204}Pb) دائم الوجود (لذا لابد من عناية خاصّة عند عملية الفصل الكيميائي) ثانياً، يُستعمل الرصاص في أغلب الأحيان بوصفه مادة درع حماية.

إنّ طرائق التحليل في تحسّن مستمر في الوقت الحاضر. إذا كانت الطرائق حسّاسة بما فيه الكفاية لاكتشاف حتى الشوائب المعدنية الناجمة عن الملعقة المستعملة لجمع الأدلة، فإن هذا سيخلق مشاكل جديدة للمحللين.

إعادة المعالجة والإغناء

يمكن أن يشير وجود ^{236}U إلى نشاطات إعادة المعالجة. من الملاحظ حدوث تغيرات في اليورانيوم الطبيعي في إغناء الـ ^{236}U وفي ^{234}U. لذا يجب أن تُطوّر طرائق قياس أفضل لمستوى الإغناء لـ ^{236}U قريبة من الإغناء الطبيعي.

إذا خضعت مادّة نووية لإعادة المعالجة لأغراض غير سلمية، فإن تعيين هوية هذه المادّة يمثل تحدّياً كبيراً. في هذه الحالة لابد من معلومات إضافية ضرورية لحساب البصمات المحتملة لليورانيوم المخصب الناتج من اليورانيوم المعادة معالجته [8]:

لا يتعلق محتوى ^{232}U بنظام التشغيل في مفاعل الإنتاج فقط، بل بالتاريخ غير المتعلق بالمفاعل أيضاً (وبمعنى آخر طول فترات التخزين قبل التشعيع وبعده).

قد يتم إغناء اليورانيوم العالي التخصيب HEU في تعاقب وحيد، لكنّه من المحتمل أيضاً استعمال تعاقبات صغيرة عديدة

مرتبطة فيما بينها.

يمثل تعيين هوية عملية الإغناء (انتشار غازي كتابع لطرد الغاز المركزي) تحدياً كبيراً بسبب الاختلافات الصغيرة في تركيز نظائر اليورانيوم الأثر (^{232}U و ^{234}U و ^{236}U).

المزج

يظهر تحدٍ من نوع خاصّ لتحديد أصل المادة النووية إذا كانت ممزوجة. مزجت روسيا في أوقات سابقة وقود VVER المستنفد بالوقود المستنفد لمفاعلات الدفع، بعد إعادة معالجة هذه المادّة النووية لتناسب مفاعلات RBMK [9].

لذا فإن القيمة المقيسة للمادة النووية $^{238}Pu/tot.Pu$ بتبعية قيمة $^{242}Pu/^{240}Pu$ لن تلائم القيم المحاكاة (عينة R1 في الشكل 2).

يحدث أحياناً التلوّث العابر على أي حال قبل التجميع لإخفاء الأصل. يُستعمل المجهر الإلكتروني النافذ (TEM) لتحديد توزيع حجم–الحبيبات لذا يمكن أن يدل على أنّ المسحوق يتكون من جسيمات مختلفة الأنواع.

الكودات الحاسوبية

تقدير الارتياب لكلّ من الكميات المستخدمة في الحسابات (المقاطع العرضية) وتحديد كيفية انتشار هذا الارتياب خلال المحاكاة الكلية يدعى ارتياب التحليل. لم يُدخل ارتياب التحليل في كودات ORIGEN2 و SCALE. نظرة عامّة مثيرة حول كيفية تحديد الارتياب في مثل هذه الكودات الحاسوبية معطاة في المرجع [10].

نظرة عامّة للتقنيات التحليلية المستخدمة في التشريعات النووية

يجب أن تطبّق التقنيات التحليلية المختلفة العديدة في التشريعات النووية، وذلك بسبب التنوع الكبير للبصمة ومتطلبات الدقة العالية في القياس. يعطي الشكل 6 نظرة عامّة مبسطة للمعلومات المكتسبة من عينات اليورانيوم والبلوتونيوم والتقنيات التحليلية اللازمة للحصول على هذه المعلومات. في المرجع [2] نظرة عامّة مختصرة عن التقنيات المستعملة على نحو واسع.

إدخال الطرق التشريعية التقليدية

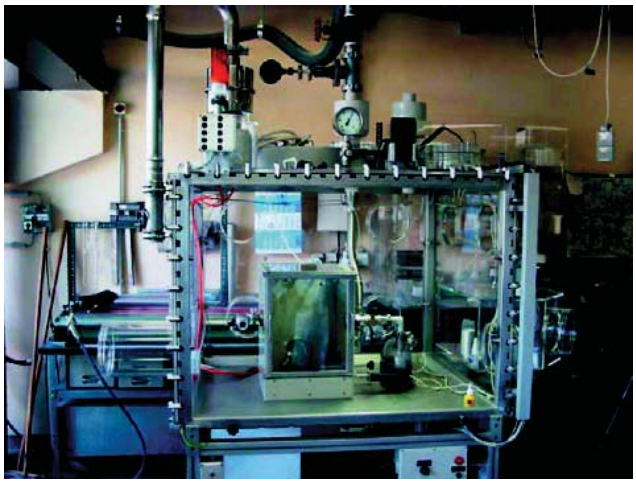
قال الدكتور Edmond Locard:

"أينما يخطو، مهما يلمس، مهما يترك، حتى من دون وعي، سيكون شاهداً صامتاً ضدّه. ليس فقط بصمات أصابعه أو بصمات أقدامه فقط، لكن شعره، الألياف من ملابسه، الزجاج الذي كسره، علامة الأداة التي تركها، الدهان الذي خدشه، الدم أو المني الذي أودعه أو جمعه. كلّ هذا وأكثر من ذلك، شاهد صامت محتمل ضدّه. هذا دليل واضح بحيث لا ينسى. لا يُشوّشه حماس اللحظة. ليس غائباً لأن الشهود البشر غائبون. هو دليل واقعي. الدليل المادي لا يستطيع أن يخطئ، لا يستطيع الكذب على نفسه، لا يمكن أن يكون غائباً كلياً. فقط الفشل البشري في إيجاده ودراسته وفهمه، يمكن أن يقلّل قيمته."

هذا مبدأ تبادل Locard المشهور الذي يُقرر أن كلّ تماس يترك أثراً. تُقيم الطرائق التشريعية التقليدية علاقات بين المواقع والأحداث والأفراد – معلومات مختلفة كليّاً عن الطرائق التشريعية النووية. في الخلاصة، تعطي الطرائق التشريعية معلومات ماديّة بينما تعطي الطرائق التشريعية النووية معلومات متضمّنة في صلب المادة النووية الخاصة.

يُعطي المرجع Nuclear Forensic Support وصفاً مفصلاً لجمع أدلة كل من التشريع النووي والتقليدي. يجب أن يعار الانتباه الخاصّ أثناء جمع الأدلة وتحليلها في المختبر، بشأن الحماية الكافية ضدّ الإشعاع.

لإنجاز ممارسة جيدة في الأمان الإشعاعي، طوّر المعهد Elements Transuranium مع الشرطة الجنائية الاتحادية الألمانية ما يسمى الصندوق القفازي glove-box، حيث يمكن أن يُتحرى الدليل الملوث بشكل مرئي ومصور، ويمكن أن تُؤخذ أيضاً بصمات الأصابع وعينات DNA (الشكل 7).



الشكل 7. صندوق قفازي لمعالجة خاصة للمادّة النووية.

تفسير البيانات

تحتاج المعلومات المقيسة الدخيلة (exogenic) (مثل نسبة $^{18}O/^{16}O$ والتركيب النظائري للرصاص Pb والشوائب والبنية المكروية (microstructure)) إلى مقارنة مع بيانات مرجعية

البارامتر	المعلومات	التقنية التحليلية
الشكل	نوع المادة (مسحوق، كرية)	المجهر الضوئي
الأبعاد (الكرية)	نوع المفاعل	قاعدة بيانات
محتوى اليورانيوم والبلوتونيوم	التركيب الكيميائي	معايرة، HKED، IDMS
التركيب النظائري	الإغناء ⇦ الاستعمال المقصود؛ نوع المفاعل	HRGS، TIMS، ICP-MS، SIMS
الشوائب	عملية الإنتاج؛ المكان الجيولوجي	MS-ICP، GDMS
العمر	تاريخ الإنتاج	AS، TIMS، MS-ICP
نسبة $^{16}O/^{18}O$	المكان الجيولوجي	TIMS، SIMS
خشونة السطح	معمل الإنتاج	بروفيلمتري
البنية المكروية	عملية الإنتاج	SEM، TEM

مقياسية كثافة الإشعاع عند الحد K الهيدريد (HKED, hydrid K-edge densitometry)؛ مطيافية كتلة النظائر الخفيفة (IDMS, isotope dilution mass spectrometry)؛ مطيافية غاما عالية الحساسية (HRGS, high-resolution gamma spectrometry)؛ مطيافية كتلة التأين الحراري (TIMS, thermal ionization mass spectrometry)؛ مطيافية كتلة الأيون الثانوي (SIMS, secondary ion mass spectrometry)؛ مطيافية كتلة البلازما المقرونة بالتحريض (ICP-MS, inductively coupled plasma mass spectrometry)؛ مطيافية كتلة الانفراغ التوهجي (GDMS, glow discharge mass spectrometry)؛ مطيافية ألفا (AS, alpha spectrometry)؛ المجهر الإلكتروني الماسح (SEM, scanning electron microscopy)؛ المجهر الإلكتروني النافذ (TEM, transmission electron microscopy).

الشكل **6.** المعلومات التي يمكن الحصول عليها من المواد النووية (U ،Pu) والتقنيات التحليلية المستخدمة [6].

المختصر	المصطلح الإنكليزي	المصطلح العربي
HKED	hydrid K-edge densitometry	مقياسية كثافة الإشعاع عند الحد K الهيدريد
IDMS	isotope dilution mass spectrometry	مطيافية كتلة النظائر الخفيفة
HRGS	highresolution gamma spectrometry	مطيافية غاما عالية الحساسية
TIMS	thermal ionization mass	مطيافية كتلة التأين الحراري
SIMS	secondary ion mass spectrometry	مطيافية كتلة الأيون الثانوي
ICP-MS	inductively coupled plasma mass spectrometry	مطيافية كتلة البلازما المقرونة بالتحريض
GDMS	glow discharge mass spectrometry	مطيافية كتلة الانفراغ التوهجي
AS	alpha spectrometry	مطيافية ألفا
SEM	scanning electron microscopy	المجهر الإلكتروني الماسح
TEM	transmission electron microscopy	المجهر الإلكتروني النافذ

لعينات معروفة.

المعلومات الداعمة

من المهم امتلاك الإذن (access) بالدخول للبيانات المرجعية وإبقاء المعلومات حديثة، لأنها قد تتغير مع الزمن (مثال على ذلك ماعُرض مسبقاً عن الشوائب الأيونية). يمكن أن تُكتسب المعلومات المرجعية من قاعدة بيانات المواد النووية (Nuclear Material Database) والأدبيات المفتوحة و ITDB وقاعدة بيانات المفاعلات البحثية التابعة للوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA Research Reactor Database) وقواعد بيانات أخرى وعينات مقارنة.

أُسّست قاعدة بيانات المواد النووية بالتعاون بين ITU في Karlsruhe ومعهد A. A. Bochvar في موسكو. قاعدة البيانات تحتوي على معلومات عن وقود المفاعلات التجارية كما جُمعت من الأدبيات المفتوحة ومن اتفاقيات ثنائية مع منتجي الوقود.

بعض البيانات يكون الأذن بالدخول إليها مشروطاً (بيانات حسّاسة تجارياً مثل الشوائب الكيميائية) أو غير متشارك (معلومات مفصّلة عن مادة مصنفة برتبة أسلحة).

مبدأ الاستبعاد

لكي يُتفادى التوصيف الكامل كلّ مرة عند وجود مادّة نووية مجهولة، يتم تطبيق مبدأ الاستبعاد. يعمل مبدأ الاستبعاد كالتّالي:

- تُقارن المعلومات المقيسة الأولى (مثال على ذلك أبعاد الكرية pellet والتركيب النظائري) مع مداخل قاعدة البيانات.
- تُرفض السجلات غير الملائمة لأنها لا يمكن أن تكون صانعة للمادّة النووية المجهولة.

شرط الخروج: إذا تُرك السجل الوحيد تكون هذه الحالة هي الأفضل.

- تُقارن السجلات الباقية، التي تلائم القياسات، مع بعضها من أجل تحديد هوية البارامترات التي يمكن أن تُميّز بين هذه السجلات.

شرط الخروج: لا يمكن تحديد بارامترات إضافية.

- تُقاس هذه البارامترات لاحقاً.
- تُقارن البيانات المقيسة مع مداخل قاعدة البيانات المختزلة.

الاستنتاج

يمكن أن تعطي جمع التقنيات التحليلية المختلفة معلومات حول الأصل والاستعمال المقصود والمالك القانوني الأخير وطريق تهريب المادّة النووية المجهولة. لكن هذا ممكن فقط إذا توفرت بيانات كافية يمكن الوصول إليها. لذا من الضروري تقوية التعاون الدولي والتعاون مع منتجي الوقود.

ثبتت فائدة البارامترات أكثر فأكثر منذ بداية التشريعات النووية في أوائل التسعينيات حيث يمكن أن تطبق من أجل البصمة النووية. لذلك من الضروري المزيد من البحث والتطوير والإبقاء على التعاون الوثيق بالعلوم الأخرى إذا كان بالإمكان إثبات البارامترات المميزة الجديدة.

المراجع

[1] IAEA; Nuclear Security Series No 2, Nuclear Forensics Support, Vienna, Austria, 2006, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1241_web.pdf

[2] Mayer K. et al; Nuclear forensics—a methodology providing clues on the origin of illicitly trafficked nuclear materials, Analyst, 2005, 130, 433–441

[3] Wallenius M., Mayer K: Age determination of plutonium material in nuclear forensics by thermal ionisation mass spectrometry, Fresenius J Anal Chem (2000) 366 :234–238

[4] Advances in destructive and non-destructive analysis for environmental monitoring an nuclear forensics, Karlsruhe, Germany, 2002, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/pub1169_web.pdf

[5] Badaut V. et al; Anion analysis in uranium ore concentrates by ion chromatography, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 280, No.1 (2009) 57–61

[6] Wallenius M. et al; Nuclear forensic investigations: Two case studies, Forensic Science International 156 (2000) 55-62

[7] Mayer K. et al; Nuclear forensic science – From cradle to maturity, Journal of Alloys and Compunds 444-445 (2007) 50-56

[8] Joint Working Group of the American Physical Society and the American Association for the Advancement of Science; Nuclear Forensics Role, State of the Art, Program Needs

[9] Wallenius M. et al; Origin determination of Plutonium material in nuclear forensics, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 246, No. 2 (2000) 317-321

[10] NUREG/CR-5625, ORNL-6698; Technical support for a proposed decay heat guide using SASH2/ORIGEN-S data

نُشر هذا المقال في مجلة Esarda Bulletin, No. 43, December 2009، ترجمة الدكتور موفق رقية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

التاريخ التشريعي لصكوك الأمن النووي

الآليات (الصكوك) الدولية الملزمة قانوناً

الآليات (الصكوك) القانونية الأساسية التي تتبناها الوكالة الدولية للطاقة الذرية

اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية (CPPNM)

على الرغم من إدراك أن تأسيس أنظمة الحماية المادية للمواد والمنشآت النووية وجعل هذه الأنظمة فاعلةً يعدُّ بالكامل مسؤولية كل دولة، فإنه ومنذ عام 1970 كان هناك اعتراف متزايد بالحاجة إلى التعاون بين الدول لضمان الحماية المادية للمواد النووية ضد السرقة أو النقل غير المرخص، وبشكل خاص أثناء النقل الدولي، وضد تخريب المنشآت النووية.

كما أدركت الوكالة الدولية للطاقة الذرية في مرحلة سابقة أنه من الممكن استدعاؤها لكي تقوم بدورٍ في مجال الحماية المادية للمواد والمنشآت النووية. وتَمثّلت جهودها الأولى المبذولة في نشر التوصيات من أجل الحماية المادية للمواد النووية في عام 1972، والتي تم إعدادها من قبل لجنة من الخبراء في اجتماعهم مع المدير العام للوكالة. تمت مراجعة هذه التوصيات وتعديلها من قبل مجموعة الخبراء بالتعاون مع أمانة سر (سكرتارية) الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ونُشرت النسخة المعدّلة في عام 1975 في سلسلة INFCIRC. ثم أعيد النظر في الوثيقة

INFCIRC/225 ونُقِّحت في الأعوام التالية:1977، 1989، 1993، 1998، 2010. كما أن الوثيقة INFCIRC/225/ Revision 5، والتي ستجري مناقشتها لاحقاً، تمثّل الإجماع الواسع بين الدول الأعضاء على وجود المتطلبات التي تتلاءم مع هذه الأنظمة من أجل ضمان الحماية المادية للمواد والمنشآت النووية.

لذلك فقد وضعت مسألة العلاقة بين عدم الانتشار والحماية المادية في المقام الأول ضمن سياق المؤتمر الذي عُقد في عام 1975 حول إعادة النظر في معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية، وقد تمّ تبنّي هذا الإعلان من قبل الدول الأعضاء في 30 أيار/مايو عام 1957، حيث أصرّت هذه الدول على توسيع أكثر للإجراءات الملموسة للحماية المادية للمواد النووية، وذلك فيما يتعلق بالاستخدام والتخزين والنقل. كما أكد قرار المؤتمر العام GC(XIX)RES/328 الذي عُقد في 26 أيلول/سبتمبر عام 1975 بشكل واضح على المساهمة في تعزيز دور الحماية المادية لمنع السرقة والتدمير والتخريب والإرهاب.

وفي عام 1977، ووفق توصيات المجموعة الاستشارية حول الحماية المادية للمواد النووية، التقى ممثلون عن الدول الأعضاء تحت إشراف الوكالة الدولية للطاقة الذرية ورعايتها من أجل توسيع نطاق الاتفاقية حول الحماية المادية للمواد النووية. فوجد ممثلو الدول أن المتطلبات الرئيسية تتضمن وضع تصنيف موحد للمواد النووية ضمن المسودة الأولية لاتفاقية الحماية المادية للمواد النووية CPPNM، حيث استندت بشكل أساسي إلى بنود الوثيقة INFCIRC/225 الصادرة عن الوكالة.

وقد تمّ تبنّي اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية CPPNM في 26 تشرين أول/أكتوبر عام 1979، ومن ثم عُرضت لتوقيعها من قبل الدول الأعضاء في 3 آذار/مارس عام 1980. ومنذ سريان مفعولها في 8 شباط/فبراير عام 1987، فإن اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية CPPNM تضم الآن أكثر من 140 دولة من الدول الأعضاء، وتُعدُّ واحدة من الوسائل الست عشرة في مجال مكافحة الإرهاب الدولي، كما أنها تبقى وحدها الضمان الدولي الملزم قانوناً في نطاق الحماية المادية للمواد النووية.

تعديل اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية CPPNM لعام 2005

مع أن نتيجة مؤتمر المراجعة الأول لاتفاقية الحماية المادية للمواد النووية CPPNM في عام 1992 توضح بأن "هذه الاتفاقية تؤمّن قاعدة صحيحة للحماية المادية أثناء النقل الدولي والذي يُعدُّ مقبولاً بشكله الحالي"، فقد واصلت الدول الأعضاء النقاش فيما إذا كانت هناك رغبة من أجل مراجعة اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية CPPNM وتعديلها لتوسيع مجالها، حيث يؤدي ذلك إلى تعزيز النظام الدولي للحماية المادية للمواد النووية. وقد بدأ العمل في هذا المجال لإدراج التعديل الممكن تطبيقه في أواخر عام 1999، وذلك مع المسودة الفعلية لتشرّع التعديلات في منتصف عام 2011. وفي 6 أيلول/سبتمبر عام 2001، قبل خمسة أيام على الأحداث المأساوية في 11 أيلول/سبتمبر عام 2001، دعا المدير العام للوكالة لاجتماع لجنة الصياغة التي بدأت أعمالها في أيلول/سبتمبر عام 2001، وأنهتها في آذار/مارس عام 2003. وتبعاً لمسائل عديدة مهمة أُصدر القرار ودعا المدير العام، بناءً على طلب الدول الأعضاء، إلى مؤتمر دبلوماسي من 4-8 تموز/يوليو عام 2005. تبنّى هذا المؤتمر التعديل بالإجماع في 8 تموز/يوليو عام 2005، والذي يُعدُّ نافذاً بعد ثلاثين يوماً من تاريخ قيام ثلثي الدول الأعضاء بوضع آليات التصديق، والقبول أو الموافقة مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية كإيداع .

وكقاعدة سنوية منذ تبنّي التعديل في CPPNM، دعا المؤتمر العام مراراً وتكراراً الدول الأعضاء من أجل العمل على الالتزام به عالمياً، وتسريع التصديق على التعديلات والعمل على تنفيذها بشكل مبكّر. فقد شجع ذلك هذه الدول كي تعمل وفق الهدف والغاية من التعديل حتى يحين الوقت ليتم التنفيذ. كما شجع جميع الدول التي لم تعمل بذلك لكي تلتزم باتفاقية CPPNM وبالتعديل بأسرع وقت ممكن.

وبالطريقة نفسها في 4 أيلول/سبتمبر عام 2001، قام مجلس المحافظين بدعوة الدول للالتزام بتعديل الاتفاقية المتعلقة بالحماية المادية للمواد النووية، والتشجيع على تنفيذها بشكل مبكر، وحث جميع الدول لتعمل وفق الهدف والغاية من التعديل حتى يحين الوقت ليتم التنفيذ، وتطبيق ما يتعلق بآليات الأمن النووي الدولي الملزم وغير الملزم قانوناً. ودعوة الدول للاستفادة الكاملة من المساعدة المتوفرة لهذه الغاية من خلال المشاركة في برنامج الأمن النووي للوكالة الدولية للطاقة الذرية.

إن التعديل على اتفاقية CPPNM يُعدُّ ذا أهمية حيوية في الحفاظ على الأمن النووي، وبمجرد دخوله حيّز التنفيذ، سوف يكون له تأثيراً كبيراً على الحدّ من تعرض الدول الأعضاء للإرهاب النووي.

اتفاقية التبليغ المبكر عن وقوع حادث نووي (اتفاقية التبليغ المبكر)، واتفاقية تقديم المساعدة في حالة وقوع حادث نووي أو طارئ إشعاعي (اتفاقية تقديم المساعدة)

تمّ تبنّي اتفاقية التبليغ المبكر واتفاقية تقديم المساعدة مباشرة بعد حادث تشرنوبل Chernobyl في عام 1986. إن إمكانية الاستفادة من توفر وثيقتي إرشادات من وثائق الإرشادات الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية في مجال تقديم المساعدة الطارئة المشتركة والتعاونية من أجل السلامة

النووية، واللتان تمّ تطويرهما بين عامي 1982 و 1984، قبل حادثة تشرنوبل، أتاحت الوصول إلى اتفاقية سريعة حول هاتين الآليتين الدوليتين الملزمتين قانوناً. وبشكل خاص، فإن الوثيقة INFCIRC/321 الصادرة عن الوكالة والمتعلقة بالإرشادات حول الأحداث، التي تمّ التبليغ عنها والتخطيط المتكامل، وتبادل المعلومات في مجال تبادل المواد الإشعاعية عبر الحدود، سهّلت الموافقة على اتفاقية التبليغ المبكر. وبطريقة مشابهة، فإن وثيقة INFCIRC/310 الصادرة عن الوكالة والمتعلقة بترتيبات التعاون المشترك فيما يتعلق بالحادث النووي أو الطارئ الإشعاعي، قد سهّلت أيضاً الموافقة على اتفاقية تقديم المساعدة.

تبنّى المؤتمر العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية هاتين الاتفاقيتين في جلسة خاصة في 26 أيلول/سبتمبر عام 1986. وبدأ تنفيذ اتفاقية التبليغ المبكر في 27 تشرين أول/أكتوبر عام 1986، واتفاقية تقديم المساعدة في 26 شباط/فبراير عام 1987. كما تضم كلٌّ من هاتين الاتفاقيتين الآن أكثر من 100 من الدول الأعضاء. وفي حين تمّ تبنّيهما بوصفهما آليات (صكوك) أمان، فإن اتفاقية التبليغ المبكر واتفاقية تقديم المساعدة تعززان الاستجابة الدولية للحوادث النووية أو حالات الطوارئ الإشعاعية، ومن ضمنها الأعمال الإرهابية والأخرى الحاقدة، من خلال التزود بآلية تبادل المعلومات السريعة وآلية المساعدة المتبادلة من أجل تخفيض نتائج أخطار مثل هذه الحوادث والحالات الطارئة، وحماية الحياة والممتلكات والبيئة في مواجهة التأثيرات والانبعاثات الإشعاعية.

الآليات (الصكوك) القانونية الأساسية التي تتبناها الأمم المتحدة

الاتفاقية الدولية لقمع الهجمات الإرهابية بالقنابل (اتفاقية التفجيرات الإرهابية)

الاتفاقية الدولية لقمع أعمال الإرهاب النووي (الاتفاقية المتعلقة بالإرهاب النووي)

بموجب قرار الأمم المتحدة رقم 51/210 في 17 كانون الأول/ديسمبر عام 1996، أُسِّست لجنة خاصة من قبل الجمعية العامة للأمم المتحدة من أجل تطوير عدد من الوسائل القانونية لمنع الإرهاب وقمعه والتخلص منه بجميع أشكاله ومظاهره. فقد تمّ تكليف هذه اللجنة تكليفاً محدّداً وهو أن تؤسس اتفاقية دولية لقمع الهجمات الإرهابية بالقنابل، وفيما بعد، تمَّ التوصل إلى اتفاقية دولية لقمع أعمال الإرهاب النووي، لاستكمال آليات دولية موجودة. وبعد ذلك تتم معالجة وسائل أكثر تطوراً ضمن إطار قانوني شامل من الاتفاقيات التي تتعامل مع الإرهاب الدولي.

ومنذ تأسيس هذه اللجنة، ناقشت نصوصاً عديدة بنجاح فأدى ذلك إلى تبنّي ثلاث معاهدات:

- الاتفاقية الدولية لقمع الهجمات الإرهابية بالقنابل (اتفاقية التفجيرات الإرهابية)، تبنتها الجمعية العامة في قرارها 164/52 في 15 كانون الأول/ديسمبر عام 1997.
- الاتفاقية الدولية لقمع تمويل الإرهاب، تبنتها الجمعية العامة في قرارها 109/54 في 9 كانون الأول/ديسمبر عام 1999.
- الاتفاقية الدولية لقمع أعمال الإرهاب النووي، تبنتها الجمعية العامة في قرارها 290/59 في 13 نيسان/أبريل عام 2005.

دخلت اتفاقية التفجيرات الإرهابية حيّز التنفيذ في 23 أيار/مايو عام 2001. أوجدت هذه الاتفاقية نظام السلطة القضائية العالمي ضد الاستخدام غير المشروع والمتعمد للمتفجرات والأدوات (الوسائل) القاتلة الأخرى، سواءٌ داخل الأماكن العامة المتعددة والمحدّدة أو ضدها، وذلك مع وجود نية للقتل أو التسبب بأذى جسماني خطير، أو وجود نية للتسبب بدمار شامل في الأماكن العامة من خلال إطلاق المواد الكيماوية السامة، أو العوامل الحيوية أو السموم أو مواد مشابهة أو إشعاعات أو مواد ذات نشاط إشعاعي (مواد مشعة) أو نشرها.

كما أن تطبيق اتفاقية الإرهاب النووي دخل حيز التنفيذ في 7 تموز/يوليو عام 2007، وهي في المقام الأول تُعدُّ أداة قانونية جرمية دولية، تعرّف أعمالاً محددة على أنها هجمات إجرامية وتلزم الدول الأعضاء بتأسيس سلطة قضائية خاصة بهم ضد مثل هذه الهجمات لتجعلهم عرضة للعقاب بموجب قانونهم المحلي ولتؤمن تسليم المخالفين المزعومين للقانون أو ملاحقتهم من أجل المحاكمة وفق مبدأ (التسليم أو الملاحقة من أجل المحاكمة).

الآليات القانونية الأساسية التي تتبناها المنظمة البحرية الدولية (IMO)

اتفاقية لقمع الأعمال غير المشروعة الموجهة ضد سلامة الملاحة البحرية (اتفاقية SAU 1988)

بروتوكول لقمع الأعمال غير المشروعة الموجهة ضد سلامة المنشآت الثابتة (الأرصفة) الموجودة على الجرف القاري (اتفاقية الأرصفة الثابتة 1988)

بروتوكول عام 2005 الملحق باتفاقية قمع الأعمال غير المشروعة الموجهة ضد سلامة الملاحة البحرية SAU لعام 1988

بروتوكول عام 2005 الإضافي للاتفاقية الأرصفة الثابتة لعام 1988

إن القلق حول الأعمال غير المشروعة التي تهدد أمان

السفن وأمن وسلامة مسافريها وطاقمها وحمولتها، قد نما خلال الثمانينيات من خلال تقارير الاختطاف والتهديدات ضد المسافرين والسفن في عام 1985، كما تمّ الأخذ بالحسبان الإجراءات التي تبنتها المنظمة الدولية للطيران المدني (ICAO) في تطوير المعايير والممارسات المعهودة من أجل أمان المطار والطائرات؛ ثم قرّرت المنظمة البحرية الدولية IMO اتخاذ إجراءات لقمع الأعمال غير المشروعة التي تهدد أمان السفن وسلامة مسافريها وطاقمها وأمنهم.

وفي 10 آذار/مارس عام 1988، تبنّى مؤتمر المنظمة البحرية الدولية IMO اتفاقية قمع الأعمال غير المشروعة ضد سلامة الملاحة البحرية (اتفاقية SAU لعام 1988) وبروتوكولاً لقمع الأعمال غير المشروعة ضد سلامة المنشآت الثابتة الموجودة على الرصيف القاري (اتفاقية الأرصفة الثابتة لعام 1988)، ودخلت كلٌّ منهما حيّز التنفيذ في 1 آذار/مارس عام 1992. كما أنه لا تتضمن كلٌّ من اتفاقية SAU لعام 1988 وبروتوكول الأرصفة الثابتة لعام 1988 أي بنود تشير إلى المادة النووية، والمنشآت النووية، أو الأجهزة النووية.

وقد تبنّى المؤتمر الدبلوماسي لمراجعة اتفاقيات SUA الذي عُقد من 10 إلى 14 تشرين الأول/أكتوبر عام 1955، بعد ثلاث سنوات من المفاوضات المكثفة، بروتوكولين جديدين، آخذاً في الحسبان تبنّي قرار مجلس الأمن التابع للأمم المتحدة 1540 (2004). كما وسَّع هذان البروتوكولان الآليات الخاصة بالعام 1988 لتتضمن أشياء أخرى، مثل بنود حول المادة النووية، والأسلحة النووية والاتفاقية التي تنص على عدم انتشار الأسلحة النووية. وقد تمّ تبنّي كلٍّ من بروتوكول عام 2005 لاتفاقية SAU لعام 1988، وبروتوكول عام 2005 الخاص باتفاقية الأرصفة الثابتة 1988 في 14 تشرين الأول/أكتوبر عام 2005، ودخل البروتوكولان حيّز التنفيذ في 28 تموز/يوليو عام 2010.

قرارات مجلس الأمن التابعة للأمم المتحدة والتي تمّ تبنّيها تحت الفصل السابع لميثاق الأمم المتحدة

القراران 1373 لعام (2001) و 1540 لعام (2004)

تبنّى مجلس الأمن التابع للأمم المتحدة UNSCR في 28 أيلول/سبتمبر عام 2001 وبالإجماع القرار 1373 (2001) لإعادة تأكيد إدانته الصريحة (الشديدة) للهجمات، ولتطبيق خطوات شاملة واسعة النطاق واستراتيجيات لمكافحة الإرهاب النووي، وقد جاء ذلك مباشرةً بعد الهجمات الإرهابية في 11 أيلول/سبتمبر عام 2001.

لاحقاً لمناقشات مجلس الأمن حول أسلحة الدمار الشامل في 22 نيسان/أبريل عام 2004، وفيما يخص جهوده المستمرة لتطوير نظام مكافحة الإرهاب الشامل، تبنّى مجلس الأمن التابع للأمم المتحدة UNSCR وبالإجماع القرار 1540 (2004) في 28 نيسان/أبريل عام 2004 والذي تقرر فيه أنه يجب على كلّ الدول أن تمتنع بأية وسيلة عن دعم الممثلين غير الحكوميين الذين يحاولون اكتساب أسلحة بيولوجية أو كيماوية أو نووية أو استخدامها أو نقلها وتنظيم تسليمها .

تـمّ تبنّي كلٍّ من قـرار مجلس الأمـن التابع للأمم المتحدة UNSCR 1373 (2001) وقرار مجلس الأمن التابع للأمم المتحدة UNSCR1540 (2004) تحت الفصل السابع لميثاق الأمم المتحدة، ولذلك فهما ملزمين لجميع الدول. إضافة إلى ذلك، وبموجب البند رقم (2) من المادة (48) من ميثاق الأمم المتحدة، "فإن مثل هذه القرارات يجب أن تُنفَّذ مباشرة من قبل أعضاء الأمم المتحدة ومن خلال أعمالهم في الوكالات الدولية المتخصصة والذين هم أعضاء فيها".

ومع أن مجلس المحافظين لم يتخذ أي تصرف منفصل لكلٍّ من قراري مجلس الأمن التابع للأمم المتحدة UNSCR1373 (2001) و UNSCR1540 (2004)، وبالموافقة على خطة الأمن النووية للأعوام من (2006-2009)، صادق المجلس على هذه القرارات كأجزاء متمّمة في إطار العمل القانوني للوكالة الدولية للطاقة الذرية من أجل الأمن النووي ونشاطات برنامج أمنها النووي.

الآليات الدولية غير الملزمة قانوناً

الآليات غير الملزمة التي تتبناها الوكالة الدولية للطاقة الذرية

توصيات الأمن النووية حول الحماية المادية للمادة النووية والمنشآت النووية الواردة في الوثيقة (NFCIR/225/Revision5)

تبعاً لنشر توصيات الحماية المادية للمادة النووية في عام 1972، جرت مراجعة هذه التوصيات وتعديلها من قبل مجموعة من الخبراء بالتعاون مع أمانة سر الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ونشرت النسخة المعدلة في عام 1975 مثل الوثيقة /INFCIRC/225. ثم نُقِّحت هذه الوثيقة في الأعوام 1977، 1989، 1993، 1998 و 2010. إن الوثيقة INFCIRC/225/Revision 5 تعكس توصيات الخبراء الوطنيين لمساعدة الدول في تطبيق نظام الحماية المادية الشامل فيما يتعلق بالمنشآت النووية والمادة النووية، متضمنة أي التزامات تشملها

الاتفاقات الدولية مثل تعديل العام 2005 لاتفاقية الحماية المادية للمادة النووية CPPNM. ومع أن التوصيات الواردة في الوثيقة INFCIRC/225/Revision 5 لا تُعدُّ ملزمة، غير أنها تتطلب التزاماً طبيعياً عندما يتمّ إدراجها على أنها التزام في القوانين الوطنية والاتفاقيات الدولية بما في ذلك مشروع (خطة) الوكالة الدولية للطاقة الذرية، واتفاقيات الإمداد (التزود) والاتفاقيات المكملة المعدلة لبند المعونة التقنية من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

مدونة قواعد السلوك بشأن أمان المصادر المشعة وأمنها والإرشادات المكملة بشأن استيراد المصادر المشعة وتصديرها

بناءً على ما طُلب في خطة العمل التي صُدِّقت من قبل مجلس المحافظين في أيلول/سبتمبر عام 1999، والتي تمَّ لاحقاً التصديق عليها من قبل المؤتمر العام بالقرار GC(43)/RES/10، تمَّ تحضير مدونة قواعد السلوك بشأن أمان المصادر المشعة وأمنها في اجتماعين مفتوحين لخبراء تقنيين وقانونيين. وفي أيلول/سبتمبر عام 2000، درس مجلس المحافظين هذه المدونة، ومن ثم صادق عليها المؤتمر العام. وفي قراره GC(43)/RES/11، دعا المؤتمر الدول الأعضاء لدراسة الملاحظات حول المدونة والأخذ بالاعتبار الوسائل الملائمة لضمان تطبيقها بشكل واسع. وفي عام 2001، بعد اطّلاع الأمانة العامة على نتائج المؤتمرات الدولية العديدة، قامت بتقديم خطة عمل معدلة بشأن أمان المصادر المشعة وأمنها وتمّ التصديق عليها من قبل مجلس المحافظين في 10 أيلول/سبتمبر عام 2001.

وبموجب خطة العمل المعدلة، دعت الأمانة العامة إلى اجتماع خبراء تقنيين وقانونيين لمراجعة فعالية هذه المدونة، حيث إن بنود هذه المدونة تمّ تنشيطها في ضوء أحداث 11 أيلول/سبتمبر عام 2001، وعلى أساس مسودة المدونة المعدلة والتي أصبحت متاحة أمام مجلس المحافظين والمؤتمر العام في أيلول/سبتمبر عام 2002، أوصى كلٌّ من الاجتماع الثاني لخبراء تقنيين وقانونيين والمؤتمر الدولي حول أمن المصادر المشعة، الذي عُقد في فيينا في آذار/مارس عام 2003، بأن على الدول أن تبذل جهوداً موحدة لتطبيق المبادئ التي تتضمنها المدونة التي تم تعديلها. وقد أصدر مؤتمر القمة السنوي G-8 الذي عُقد في إيفان–فرنسا في حزيران/يونيو عام 2003 بياناً ينص على عدم انتشار أسلحة الدمار الشامل وأمن المصادر المشعة، حيث شُجِّعت كلّ الدول على تعزيز السيطرة على المصادر المشعة ومراقبة تطبيق مدونة قواعد السلوك بشأن أمان المصادر المشعة وأمنها. وأخيراً، في الاجتماع الثالث للخبراء التقنيين والقانونيين، الذي عقد في تموز/يوليو عام 2003، تمّت الموافقة بالإجماع على نص المدونة المعدّلة وعلى النص المتعلق بها.

صدّق مجلس المحافظين على مدونة قواعد السلوك بشأن أمان المصادر المشعة وأمنها بنسختها المعدلة في أيلول/سبتمبر عام 2003. وفي ذات الوقت، واستجابة لطلب عدد من الدول، صرّح رئيس المجلس أنه «ما يزال هناك قلق يتعلق باستيراد المصادر المشعة وتصديرها، إذ إن تلك المسألة احتاجت إلى دراسة واسعة وتطوير بعض الإرشادات في هذا المجال». وبناءً على ذلك، دعت الأمانة العامة إلى اجتماع مفتوح لمجموعات من الخبراء التقنيين والقانونيين لتطوير مثل هذه الإرشادات. وفي تموز/يوليو عام 2004، أجمع الخبراء على نص لهذه الإرشادات يتعلق باستيراد المصادر المشعة وتصديرها. صدَّق المجلس على هذه الإرشادات في 14 أيلول/سبتمبر عام 2004. كما صدَّق المؤتمر العام على كلٍّ من مدونة قواعد السلوك وعلى الإرشادات في أيلول/سبتمبر عام 2003 وفي أيلول/سبتمبر عام 2004، على التوالي.

آليات غير ملزمة تتبناها الأمم المتحدة

استراتيجية الأمم المتحدة لمكافحة الإرهاب العالمي (A/RES/60/288)

فوّض رؤساء الدول والحكومات، في وثيقة (A/RES/60/288) التي صدرت عن القمة العالمية التي عُقدت في عام 2005، الجمعية العامة لتطوير استراتيجية لمكافحة الإرهاب وذلك لتعزيز استجابة شاملة ومنسقة (منظمة) ضد واحد من أخطر التهديدات التي تواجهها البشرية. ففي نيسان/أبريل عام 2006، أصدر الأمين العام للجمعية العامة توصيات من أجل استراتيجية لمكافحة الإرهاب العالمي (الدولي) الأمر الذي أدى إلى تبنّي الجمعية العامة وبالإجماع لاستراتيجية الأمم المتحدة في مجال مكافحة الإرهاب العالمي في 8 أيلول/سبتمبر عام 2006. صدرت هذه الاستراتيجية في اجتماع للجمعية العامة في أعلى مستوياته في 19 أيلول/سبتمبر عام 2006. وللمرة الأولى، فإن 192 دولة من الدول الأعضاء في الأمم المتحدة اتفقت على مفهوم استراتيجي مشترك لمكافحة الإرهاب. هذه الاستراتيجية تتضمن خطة عمل لمعالجة الحالات التي تؤدي إلى انتشار الإرهاب، وذلك من أجل منعه ومكافحته بجميع أشكاله، واتخاذ إجراءات لتعزيز قدرة الدولة على محاربة الإرهاب، ولتعزيز دور الأمم المتحدة في مكافحة الإرهاب، وكذلك لضمان احترام حقوق الإنسان من خلال التصدي للإرهاب.

---

* نشر هذا المقال في: IAEA International Low Series No. 4، ترجمة نسرين شحادة، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

أدوات تخطيط الطـاقة ومنهجياته

اعتمدت المقالة بشكل خاص على أحد إصدارات الوكالة الدولية للطاقة الذرية بعنوان Sustainable Energy for the 21st Century، إضافةً إلى نتائج أعمال مجموعة تخطيط الطاقة/ هيئة الطاقة الذرية السورية بهذا الخصوص

إن الهدف الرئيس لدراسات تخطيط الطاقة في صياغة استراتيجية طاقية مستقبلية تضمن تلبية الطلب وتحقيق أمن التزود وفق معايير التطور المستدام لقطاع الطاقة يكمن في الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والبنيوية.

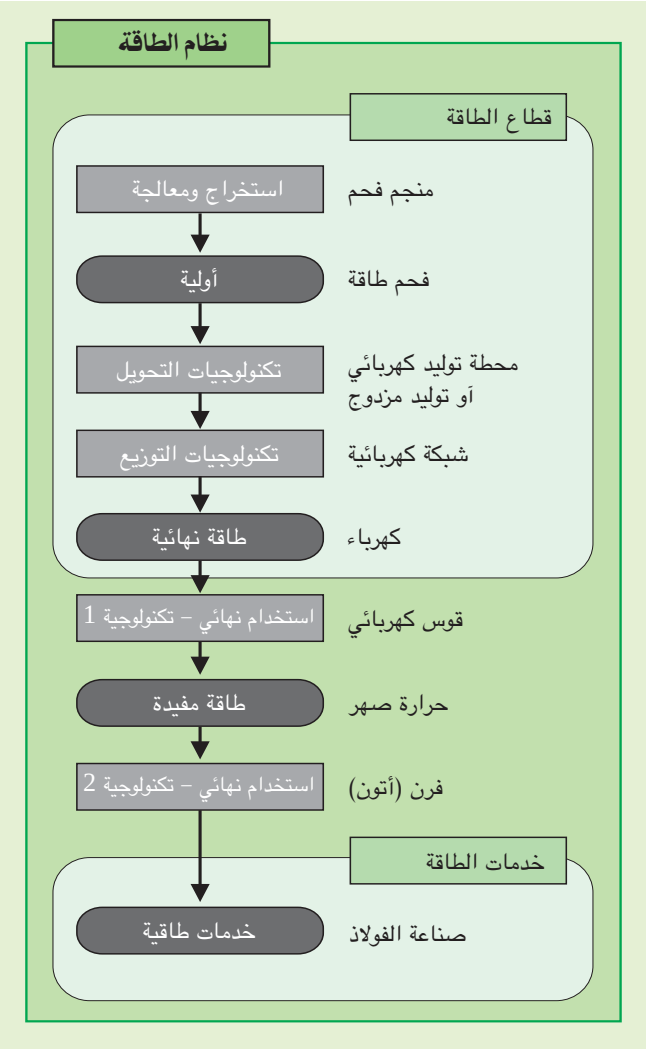
نشأت دراسات تخطيط الطاقة وتحليل نظمها مع ولادة المحطات النووية الأولى التي أيقظت الأمل بتوفير مصدرٍ طاقي جديد يردف المصادر الأحفورية. وانصب هدف هذه الدراسات في البداية على تبيان الدور الذي يمكن لهذا المصدر الجديد أن يؤديه في تأمين احتياجات البشرية المتزايدة من الطاقة الكهربائية ، ثم اتسع بعدها ليشمل البحث عن إمكانية استبدال الوقود الأحفوري بمصادر جديدة ومتجددة ، لا سيما الطاقة النووية التي تسمح بتوليد كميات هائلة من الطاقة دون الحاجة لتخزين كميات كبيرة من الوقود ، مما يساعد في تحقيق أمن التزود وينأى بالمجتمع عن التأثر بالأزمات الدولية التي غالباً ما كانت ولا تزال تنشأ في خضم الصراع على مصدر الطاقة الرئيس ألا وهو النفط. وقد ساهم العديد من المراكز والمعاهد العالمية المعنية برسم السياسات الطاقية ، في تطوير منهجيات عمل ووسائل تحليل مناسبة تساعد في تحليل أنظمة الطاقة ووضع سيناريوهات حول تطورها المستقبلي على جانبي الطلب والتزود. وكان من بين هذه المراكز الوكالة الدولية للطاقة الذرية التي أدت دوراً رائداً في تبني وتطوير منهجيات العمل الضرورية لتحليل أنظمة الطاقة بحكم الدور المنوط بها في دعم الاستخدام السلمي للطاقة النووية.

يقدم هذا المقال لمحة عن منهجيات تخطيط الطاقة المطورة من قبل الوكالة الدولية مع عرض مقتضب لتجربة هيئة الطاقة الذرية السورية في توطين هذه المنهجيات وبناء الكوادر الوطنية في استخدامها وصولاً إلى تقديم الخبرة ودعم صانع القرار في رسم معالم السياسة الوطنية للطاقة.

نظام الطاقة

يتجاوز نظام الطاقة في مفهومه الواسع قطاع الطاقة الذي لا يشكل سوى جزءٍ منه. ويكمن الغرض من نظام الطاقة في تأمين الخدمات الطاقية المختلفة للمجتمع كالإضاءة والتدفئة والتكييف، والنقل، وما إلى ذلك. كما تؤدي الخدمات الطاقية الدور المحرك لمعظم النشاطات البشرية التجارية والصناعية.

يتكون نظام الطاقة بشكل أساسي من جانبي التزود والطلب (Supply and Demand Sides)، أو من قطاع الطاقة وقطاع الخدمات الطاقية، حيث يمثل قطاع الطاقة النشاطات المولدة لحوامل الطاقة وصولاً لشكلها النهائي المقدم للمستهلك بينما يمثل قطاع الاستهلاك تكنولوجيات الاستخدام النهائي المتمثلة بالمصابيح الكهربائية والمواقد والثلاجات، وآلات الطحن وأجهزة الكمبيوتر وغيرها. ويتخلل دور الوسيط بين هذين القطاعين مجموعة من التجهيزات والبنى التحتية الضرورية لنقل وتحويل الوقود المقدم من قطاع التزود إلى خدمات طاقية كالكهرباء مثلاً لدى استخدامها في توفير خدمات تكنولوجيا المعلومات.



الشكل 1 : مخطط لسلسلة طاقية

(source: World Energy Assessment, 2001)

وبعبارة أخرى، فإن نظام الطاقة يتكون من مجموعة من السلاسل المترابطة التي تبدأ باستخراج الطاقة الأولية (مثل النفط والغاز) ومن ثم تحويلها إلى أنماط أخرى من الوقود النهائي كالكهرباء والديزل أو الوقود الحيوي، وانتهاءً بتوريد الخدمة الطاقية عبر تكنولوجيات الاستخدام النهائي. ويبين الشكل 1 مثالاً عن سلسلة طاقية تؤدي خدمة طاقية ممثلة بصناعة الفولاذ.

ويجدر التنويه إلى وجود تنافس أصيل بين السلاسل الطاقية المختلفة التي يمكنها في النهاية أن تؤدي الخدمة الطاقية عينها (الشكل 2). وعليه يمكن القول بأن الخدمات الطاقية في النهاية هي محصلةٌ لمجموعة من العناصر المترابطة المتمثلة بتكنولوجيات التحول الطاقي، والبنية التحتية (رأس المال) والقوة العاملة (المعرفة)، بالإضافة إلى المواد ومصادر الطاقة. وتشترك جميع هذه المدخلات بأنها تحمل سعراً محدداً إضافةً للاستبدال الجزئي، كما أن جميعها عرضة للتغير لاسيما في المدى البعيد. ويمكن لعمليات النمذجة في هذا السياق أن تقدم وسيلة ناجعة لوضع التغييرات الكمونية المحتملة في الأفق المنظور. أما المستهلك فإن جل اهتمامه ينصب على القيمة الاقتصادية أو المنفعة المتأتية من الخدمة الطاقية غير آبهٍ أو مدرك للفعاليات التمهيدية الضرورية لإنتاج هذه الطاقة.

خيارات تقييم التطور الطويل المدى لنظام الطاقة

تجاوباً مع احتياجات الدول الأعضاء في الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) لبناء وتطوير القدرات البشرية القادرة على تحليل منظومات الطاقة الوطنية وصياغة استراتيجيات التطور المستدامة لها، فقد قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بتطوير حزمة من البرامج الحاسوبية ومنهجيات التحليل المعنية بنمذجة تطور الطلب على الطاقة وصياغة استراتيجيات التزود، وتقييم الأثر البيئي وتعريف مؤشرات محددة لتقييم التطور المستدام لقطاع الطاقة. كما وُضعت آليات العمل الضرورية لنقل هذه الأدوات وتقديم الخبرة الضرورية لاستخدامها إلى الدول الأعضاء، لا سيما النامية منها.

تغطي برمجيات تخطيط الطاقة الطيف الواسع للعناصر المكونة للنظام الطاقي وتوفر إطاراً متكاملاً لتطوير وتقييم خيارات ومسارات توسعة هذا النظام استناداً إلى مجموعة من المؤثرات الديموغرافية والاقتصادية والتقنية التي تشمل التغيرات المتوقعة في التركيبة السكانية وأنماط الحياة، والتطور التكنولوجي وابتكاراته الواعدة، والعوامل الاقتصادية بما فيها تطور القدرة التنافسية وإجراءات إعادة هيكلة السوق، إضافةً إلى متطلبات الأنظمة البيئية، والتطورات العالمية والإقليمية. كما تتمتع منهجيات التحليل بميزة إضافية تتجلى في مرونتها الفائقة وإمكانية تكييفها بسهولة مع مختلف الاحتياجات والمحددات والبنى المختلفة لأنظمة الطاقة الوطنية والإقليمية.

مستخدمو أدوات تخطيط الطاقة وبرمجياته

يمثل محللو ومخططو أنظمة الطاقة في المؤسسات البحثية ووزارات الطاقة ومؤسسات الكهرباء المستخدمين الرئيسين لبرامج تخطيط الطاقة المعدة من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وتشكل وسائل التحليل هذه أدواتٍ ناجعة لصياغة استراتيجيات بعيدة المدى تراعي متطلبات التطور المستدام لنظام الطاقة مع تقييم الدور المحتمل لخيارات التزود المختلفة بما فيها الطاقة النووية. كما توفر نتائج تحليل هذه المنهجيات قاعدة معلومات محكَمة ومتماسكة تمكن صانعي القرار من تقييم الآثار المحتملة للسياسات الطاقية المتخذة وتساعد في صياغة استراتيجيات وطنية للطاقة متوافقة مع الخطة التنموية بعيدة المدى في أبعادها الاجتماعية والاقتصادية.

في الوقت الراهن، توفر أدوات تحليل وتخطيط الطاقة المطورة من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية الدعم لأكثر من 115 دولة من

الشكل 2 : البنية الهيكلية لنظام الطاقة ، مع مراعاة أن الأمثلة المدرجة انتقيت لأغراض توضيحية فقط .

(source: Rogner and Scott, 2000)

الدول الأعضاء، كما تقوم العديد من المؤسسات الدولية والإقليمية مثل البنك الدولي، ومنظمة أمريكا اللاتينية للطاقة (OLADE)، والمفوضية الأوربية والعديد من الهيئات الدولية الأخرى والمنظمات الإقليمية باستخدام هذه الأدوات في مشاريع الطاقة المنفذة في الدول النامية. كما أنها حازت رضا الباحثين في الجامعات ومراكز البحث لدى استخدامها في البرامج الأكاديمية والدراسات البحثية.

يمثل التركيز على مؤشرات التنمية المستدامة (ISED) لتقييم أنظمة الطاقة ضرورة وطنية غايتها التقييم والاختبار الذاتي أكثر منها أداةً للمقارنة على المستوى العالمي. ويعتمد تفسير دلالات هذه المؤشرات على إجراء تحليلٍ نقدي موضوعي لمستوى تطور البلد المعني و واقعه الاقتصادي ووضعه الجغرافي، ووفرة مصادر الطاقة الوطنية فيه. وتجدر الإشارة إلى أن القيام بتغيير قيم هذه المحددات وتحديثها مع الزمن يوفر لمحللي ومخططي نظم الطاقة أداةً فاعلة لتقييم مدى التقدم في تحقيق أهداف تنموية محددة للبلد المعني. ويمكن الحصول على معلومات قيمة، إذا جرى تطبيق هذه المؤشرات على نظام الطاقة الوطني عند انطلاق عملية تقييم نظام الطاقة وعند الانتهاء منها. ومن ثم يمكن للمؤشرات أن ترصد مدى التقدم الذي أنجز نحو تحقيقٍ التطور المستدام لنظام الطاقة –كما حددها صانع القرار– وفقاً لسيناريو معين أو استراتيجية طاقة محددة.

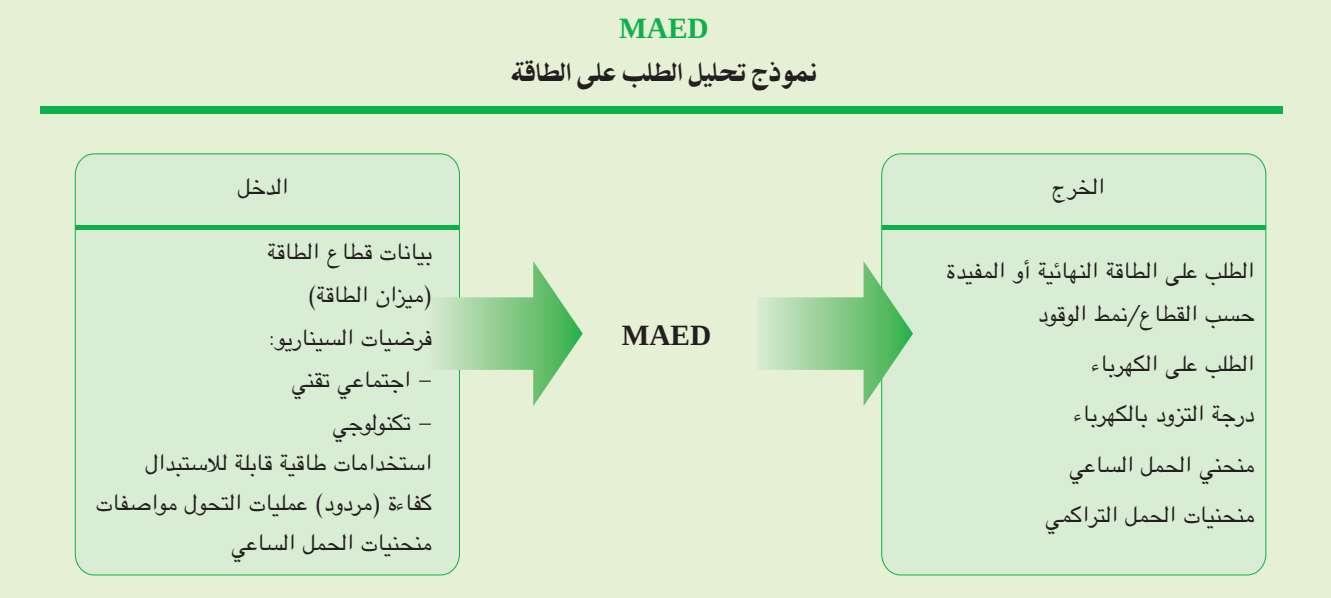
برمجيات تخطيط الطاقة المعتمدة من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تعتمد منهجيات الوكالة الدولية لتحليل أنظمة الطاقة على رزمة واسعة ومتكاملة من البرمجيات الحاسوبية التي طورت لتحليل المناحي المختلفة لنظام الطاقة، وفيما يلي تعريفاً مقتضباً بها.

برنامج MAED لتحليل الطلب على الطاقة

يرتكز البرنامج MAED (Model for Analysis of Energy Demand) في مبدأ عمله إلى منهجية الاستخدام النهائي للطاقة (End-use approach)، التي توفر مقاربةً ناجعة لتحليل وتقدير التطور المستقبلي للطلب على الطاقة والكهرباء اعتماداً على سيناريوهات تعكس التطور الاقتصادي والاجتماعي والتقني المتوقع للبلد أو الإقليم المعني في المدى المتوسط والبعيد. ويقوم هذا البرنامج بربط الطاقة المطلوبة لتوليد مختلف السلع والخدمات بالعوامل والمؤثرات الاقتصادية والاجتماعية والتقانية المحفزة بدورها للطلب على كل نمط من أنماط الوقود (الشكل 3).

وفقاً لهذه المنهجية يجري تقسيم الطلب الكليٍ على الطاقة على عدد محدد من قطاعات الاستخدام النهائي تبعاً لطبيعة الخدمة الطاقية المقدمة أو السلعة المنتجة. وتشمل هذه القطاعات بشكل رئيس الصناعة (التي تضم الصناعات الاستخراجية والتصنيع



الشكل 3 : المدخلات والمخرجات الرئيسة لبرنامج MAED

والزراعة والبناء والتشييد)، والنقل، والقطاع المنزلي وقطاع الخدمات. وتتحدد طبيعة ومستوى الطلب على الخدمات والسلع بدورها تبعاً لمجموعة من عوامل التأثير أو التحفيز (الاجتماعية–الاقتصادية– التقنية) التي تشمل نسبة النمو السكاني وعدد الأفراد في المنزل الواحد وعدد التجهيزات الكهربائية في كل بيت، وحركية الأفراد ووسائل النقل المفضلة لديهم؛ والأولويات الوطنية لتطوير قطاع صناعي أو اقتصادي محدد، وتطور الكفاءة الطاقية لأنماط معينة من الأدوات والتجهيزات، إضافةً إلى معدل تغلغل أشكال الطاقة والتكنولوجيات الجديدة في السوق المحلية. وكأداة محورية في هذه المنهجية يستخدم مفهوم "سيناريو التطور المستقبلي" الذي يعكس التطورات المتوقعة مستقبلاً على عوامل التأثير والتي تجري صياغتها خارج المنهجية.

بعبارة أخرى تحاول هذه المنهجية أن تعكس التغيرات البنيوية الاجتماعية والاقتصادية والتقنية المتوقعة خلال المدى المتوسط والبعيد والتي تؤثر مباشرةً في تغير الطلب على الطاقة، دون أن تغفل الاحتياجات والاعتبارات الخاصة بكل قطاع من قطاعات الاستهلاك من قبيل نمط حياة السكان والحركية وتغلغل أجهزة التكييف والمساحة المأهولة بالإضافة إلى السياسات الوطنية وتوجهاتها فيما يخص بنية الناتج المحلي والتوسع في نمط معين من الصناعات دون غيرها وإدخال المكنَنَة الحديثة وسياسات النقل والإسكان والخدمات.

وفقاً لما تقدم فإن تقدير الطلب على الطاقة لكلٍّ من قطاعات الاستهلاك الفرعية يتحقق من خلال تحديد وتقييم عوامل التأثير المبينة أعلاه. وبالمحصلة يكون الاستهلاك الكلي هو مجموع قيم الاستهلاك للقطاعات الأربعة.

تنطلق منهجية MAED من اختيار وبناء سنة أساس تمثل نقطة البدء التي تعرف عندها وبشكل واقعي نمطية استهلاك الطاقة وتوزعها على فعاليات الاستهلاك النهائية في القطاعات المختلفة للبلد المعني. ثم يُنطلق من هذه السنة لبناء سيناريوهات التطور المستقبلية التي ترسم الآفاق التي يمكن أن تتطور وفقها بنية الطلب على الطاقة تحت تأثير المتغيرات السكانية–الاجتماعية والاقتصادية والتقنية المتوقعة خلال سنوات الدراسة.

يجري توظيف واستثمار مبدأ الاستبدال الطاقي (Energy Substitution) بشكل فعّال في هذه المنهجية من خلال التركيز على تحليل الطلب المتوقع على خدمة طاقية معينة. فإذا تنافست مجموعة من حوامل الطاقة القابلة للاستبدال مثل الكهرباء والوقود الأحفوري وغيرها على تأدية خدمة طاقية محددة (كتوليد الحرارة مثلاً)، فإن الطلب على الطاقة يجري حسابه على شكل طاقة مفيدة ثم تحول هذه الطاقة المفيدة إلى طاقة نهائية تبعاً للكفاءة الطاقية لكل حامل. في حين أنه بالنسبة للاستخدامات النهائية غير القابلة للاستبدال من قبيل استخدام الوقود الأحفوري كوقود في محرك للسيارات أو الكهرباء للإضاءة ، فيعبر عنها مباشرة كطاقة نهائية.

كما يجدر التنويه إلى أنه يُكتفى بالنسبة لجميع أشكال الطاقة بحساب الطلب السنوي عليها باستثناء الطاقة الكهربائية التي تتطلب إضافةً إلى ذلك حساب التوزع الساعي طيلة العام. وهو ما يجري استخدامه لاحقاً كمدخل ضروري لتطوير خطط التوسع المستقبلية لأنظمة التوليد الكهربائي باستخدام منهجيات WASP و MESSAGE التي سيجري التعريف بها تباعاً.

أخيراً يمكن القول بأن منهجية MAED توفر إطاراً تحليلاً ملائماً

لتقييم تأثير التغيرات الاجتماعية–الاقتصادية–التقنية على تطور الطلب على الطاقة.

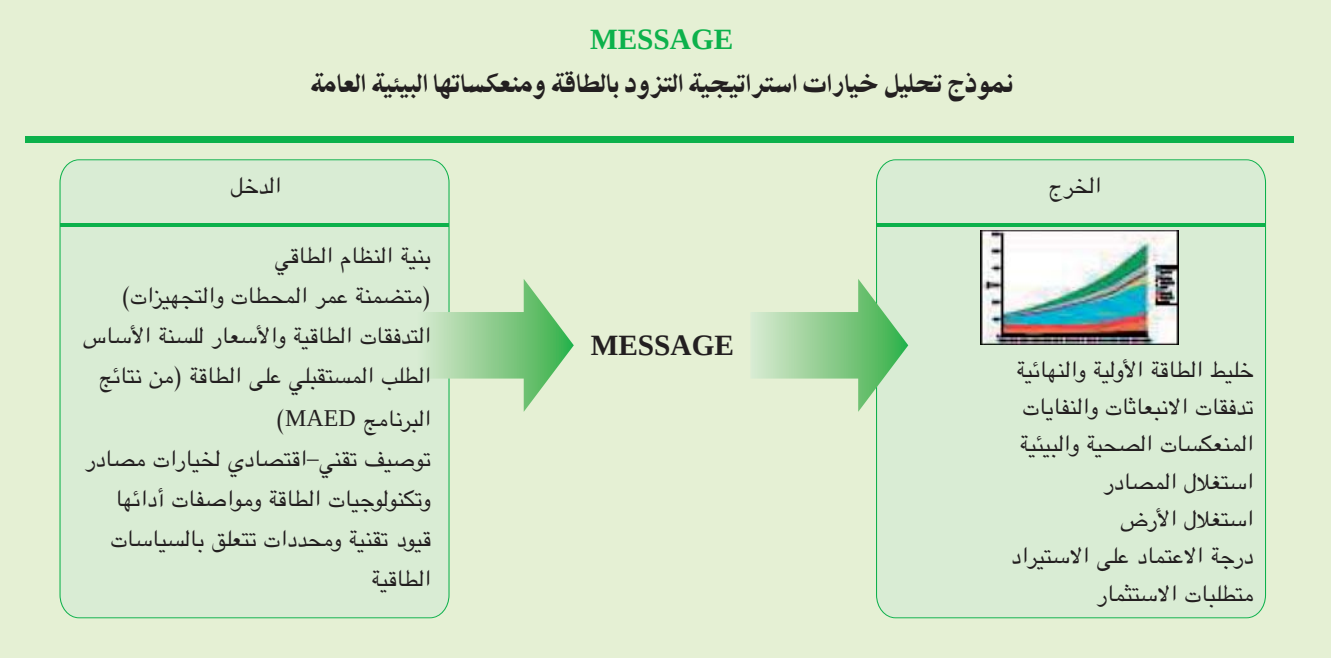
منهجية MESSAGE لتقييم خيارات التزود بالطاقة ومنعكساتها البيئية

صمم البرنامج (Model for Energy supply Strategy MESSAGE Alternatives and their General Environmental Impacts) لصياغة وتقييم استراتيجيات التزود الأمثل (الأفضل) بالطاقة تبعاً للقيود والمحددات التي تفرض على النظام من قبل المستثمر. ويتحقق ذلك بإعادة نمذجة كامل سلسلة التحول الطاقية بدءاً من المصادر ومروراً بالطاقة الأولية فالثانوية وصولاً إلى النهائية ومن ثم تلحظ المراحل الوسيطة كالنقل والتوليد والتكرير والاستخراج. وتستطيع هذه المنهجية باعتماد مبادئ الأمثلة الرياضية صياغة وتقييم استراتيجيات بديلة للتزود الطاقي والمفاضلة بينها وفق محددات تفرضها القيود على إمكانيات الاستثمار الجديدة، وكميات الوقود المتاحة وإمكانيات تسويقها، والقيود على الإصدارات البيئية، إضافةً إلى نسبة تغلغل التقانات الجديدة ذات الكفاءة الطاقية العليا. هذا ويمكن في هذه المنهجية حساب الانبعاثات البيئية للتقانات المختلفة وتقييد معدلات إصدارها عند مختلف مراحل التحولات الطاقية وهو ما يساعد على تقييم دور القيود البيئية وتأثيرها على تطور النظام الطاقي وما يمكن أن يتضمنه ذلك من ترجيح دور مصادر معينة من الطاقة (الطاقة النووية مثلاً) في سياسات التزود المستقبلية متوسطة وبعيدة المدى (الشكل 4).

تجري أمثلة نظام الطاقة وفقاً لمعيار التكلفة الكلية الأدنى للنظام المدروس طيلة فترة الدراسة والتي يعبر عنها بما يسمى تابع الهدف (Objective Function). وتتضمن التكلفة الكلية تكاليف الاستثمار وتكاليف التشغيل والصيانة وتكاليف الوقود وتكاليف الغرامات الإضافية (penalty costs) التي قد تنتج عند تجاوز الفعاليات التشغيلية لحدود أو قيود معينة يفرضها المستثمر (كقيود الانبعاثات الغازية مثلاً). وتساعد قيمة تابع الهدف المحسوبة في النهاية باختيار الحل الأمثل (تركيبة النظام) بالنسبة للمعايير والقيود المفروضة على النظام.

تمثل مرحلة التوصيف التقني والاقتصادي للنظام المدروس العمود الفقري في هذه المنهجية حيث توصّف مراحل تدفق الطاقة في النظام من مستوى التزود إلى مستوى الطلب باستخدام ما يعرف بمستويات الطاقة التي تشمل مستوى الخدمات الطاقية، والمستوى النهائي، والثانوي، والأولي، بالإضافة إلى مستوى المصادر الوطنية المعبّرة عما يملكه البلد المعني من ثروات طبيعية أحفورية (نفط، غاز، فحم) ونووية (يورانيوم، ثوريوم). ويتم الربط بين هذه المستويات باستخدام تقانات التحول الطاقي التي تضم الاستخراج والمعالجة والتوليد والنقل والتوزيع...إلخ. وتشمل هذه التقانات ما هو قائم حالياً في النظام المدروس إضافةً إلى ما يُتوقع أن يدخل من تقانات مستقبلاً (التقانات المرشحة)، مع مراعاة سنة خروج كل تكنولوجية لدى انتهاء عمرها التقني.

وتجري نمذجة تقانات التحول الطاقي بتعريف نشاط التقانات وسعتها (capacity and activity). حيث يعبّر النشاط عن دخل وخرج



الشكل 4 : المدخلات والمخرجات الرئيسة في برنامج MESSAG

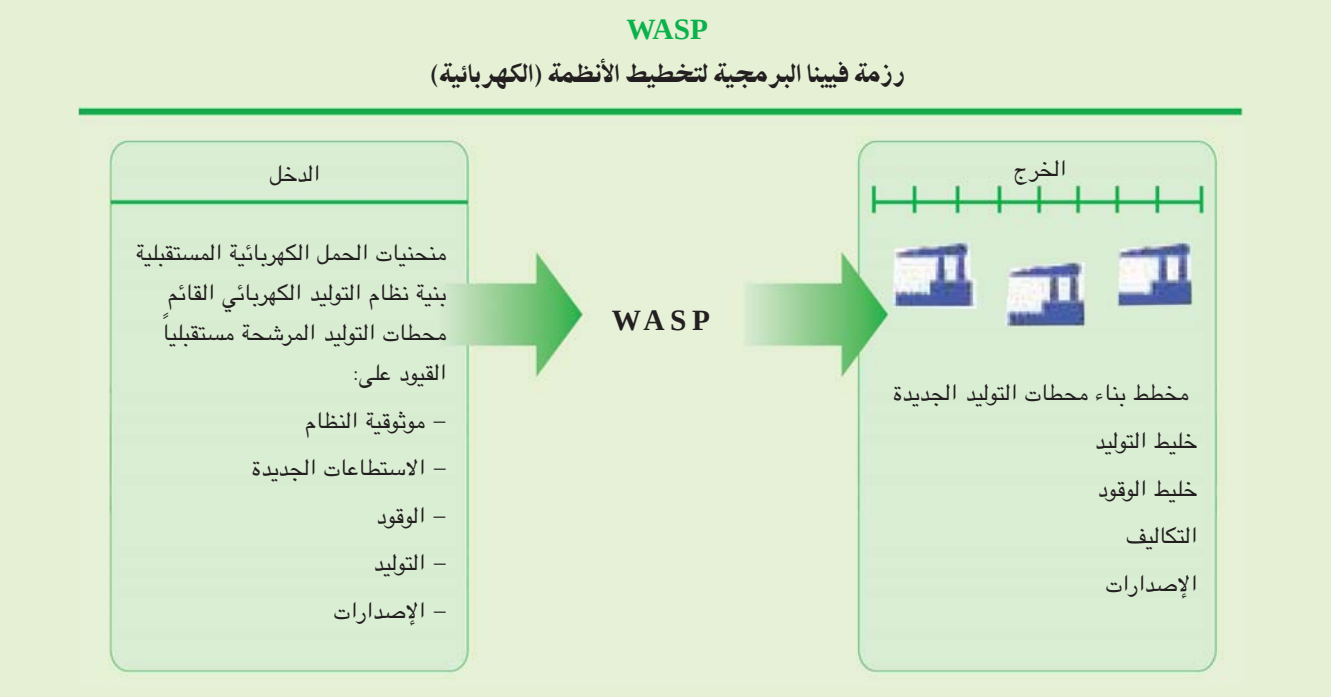
التقانات من الطاقة ومـردود عملية التحويل وتكاليف التشغيل المتحولة. بينما تعبر السعة عن استطاعة الوحدة وفترة ومعامل التشغيل السنوية ومستوى التشغيل الأعظمي والأصغري والعمر التقديري وتكاليف الإنشاء وفترته وتكاليف التشغيل الثابتة. ويتيح البرنامج إمكانية توزيع تكاليف الاستثمار على فترة الإنشاء المعرّفة من قبل المستثمر. كما يتيح لبعض أشكال الطاقة (كالكهرباء مثلاً) إمكانية محاكاة تغيرات الحمل الكهربائي خلال السنة تبعاً لتغيرات الطلب عليه.

بهدف تقييم تأثير القوانين والتنظيمات البيئية على تطور نظام الطاقة يوفر البرنامج إمكانية تحليل تأثير فرض قيود محددة على إصدار الملوثات (مثل غاز SO_2 وغازات الدفيئة) لتقانة معينة أو مجموعة تقانات وذلك عند كل مستوى من سلسلة النظام الطاقي.

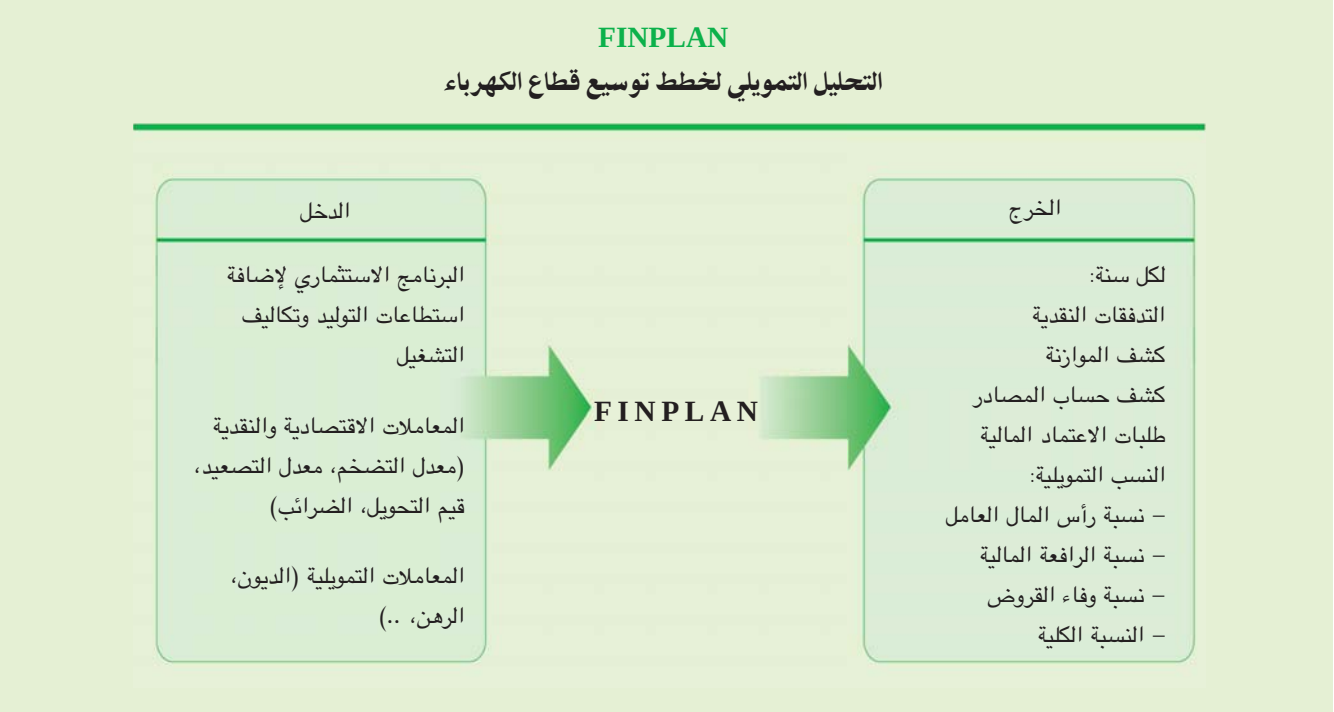
أخيراً يجدر التنويه إلى أن البرنامج MESSAGE يستثمر نتائج الطلب المستقبلي على الطاقة المفيدة أو النهائية (المحصّلة من البرنامج MAED) لحساب طاقة التزود المطلوبة لنظام طاقي محدد. وتتمثل إحدى أهم مزاياه الفعّالة في مرونته العاليّة التي تتيح إمكانية تعريف قيودٍ على جميع أنماط التكنولوجيات. حيث يمكن فرض جملة من المحددات والقيود أو تبني شروط معينة تعكس الواقع الذي يجري تمثيله من قبيل تقييد السعة والنشاطية، والاستطاعة العظمى أو الصغرى التي يمكن بناؤها من تقانة معينة أو مجموع تقانات متشابهة. وإذا كان للتقانة أكثر من نشاط فيمكن أن تفرض مقيدات وحدود لكل منها على حدة أو عليها مجتمعة، كتعريف حصة عظمى لطاقة الرياح التي يمكن السماح بتوريدها إلى الشبكة الكهربائية؛ أو تعريف قيد تجميعي على مجموعة من التكنولوجيات المتسببة بإصدار تلوث معين. كما يمكن أيضاً محاكاة عقود توريد الغاز من قبيل فرض قيودٍ تضمن تحقيق الحد الأدنى من الاستهلاك خلال فترة معينة (take-or-pay clauses)، وهو ما يعني إجبار المستهلك على استجرار أو دفع ثمن حدٍّ أدنى من الغاز لا يمكن تخطيه في فترات تراجع الطلب. ونظراً للمرونة التي يتمتع بها هذا البرنامج يمكن استخدامه في دراسة أسواق الطاقة والكهرباء وتحليلها بالإضافة إلى القضايا المتعلقة باتفاقيات التغيرات المناخية.

برنامج WASP لتطوير خطط التوسع الأمثل لنظام التوليد الكهربائي

يُستخدم البرنامج WASP (Wien Automatic System Planning Package) لتحليل وتطوير خطط التوسع المستقبلية الأمثل لنظام التوليد الكهربائي. ويعد المنهجية الأعرق والأكثر استمراراً من بين البرمجيات المطورة من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية، حيث جرى تطويره مراراً منذ ظهور نسخته الأولى في سبعينيات القرن العشرين لتلبية الاحتياجات الناشئة وتحليل القضايا المستجدة مثل القوانين البيئية وإعادة هيكلة السوق وغيرها. وتعد النسخة الحالية أداة مميزة وفعالة لتخطيط قطاع الكهرباء في البلدان النامية، إذ تسمح بإيجاد خطة التوسع الأمثل (الأقل تكلفة) طويلة المدى لنظام التوليد الكهربائي وفقاً للشروط والقيود التي يفرضها المستثمر المحلي. حيث يمتلك البرنامج مرونة عالية تسمح بنمذجة



الشكل 5 : المدخلات والمخرجات الرئيسة للبرنامج WASP



الشكل 6 : المدخلات والمخرجات الرئيسة في البرنامج FINFLAN

جملة واسعة من القيود والحدود التي تعكس واقع النظام المعني ورؤية المستثمر المستقبلية لمجموعة المحطات التي يمكن إضافتها في خطة التوسع المستقبلية. وتتضمن القيود كميات الوقود المتاحة خلال فترة معينة وحدود الإصدارات لبعض الملوثات، مروراً بمتطلبات الموثوقية لعمل النظام المدروس. فعلى سبيل المثال يمكن إيجاد خطة التوسع الأمثل التي تراعي مجموعة من القيود والشروط، بإيجاد القيمة الدنيا لتابع الهدف والتي تشتمل التكاليف الاستثمارية، وتكاليف الوقود، وتكاليف التشغيل والصيانة، وتخزين الوقود، بالإضافة إلى تكاليف العجز في تلبية الطاقة والقيمة المتبقية للاستثمارات في نهاية فترة الدراسة.

يبين الشكل 5 المخطط النموذجي لبيانات الدخل المطلوبة والنتائج المحصلة وفق البرنامج WASP. وتتضمن معطيات الدخل توصيف منحني الحمل الكهربائي الساعي وتطور الطلب المستقبلي على الكهرباء، والخصائص الاقتصادية والتقنية والبيئية للمحطات القائمة في نظام التوليد الكهربائي (والمرشحة مستقبلاً) كاستطاعة المحطة الاسمية، وحمل التشغيل الأعلى والأدنى، ومردود المحطة، ومتطلبات الصيانة وأوقات التوقف عن العمل، وتكاليف التشغيل ونوع الوقود وتكاليفه، بالإضافة إلى معدلات انبعاث الغازات الملوثة وما إلى ذلك. ولتلبية الطلب المستقبلي على الكهرباء في سنة معينة يقوم البرنامج اعتماداً على معطيات الدخل بتطوير خطة توسع مثلى من خلال سبر وتحليل جميع خيارات وتشكيلات المحطات الممكنة واختيار التشكيل الأقل تكلفة والذي يلبي جميع المتطلبات والقيود المفروضة من قبيل مستوى وثوقية معين، وتوافر نوع معين من الوقود، أو الحد من الانبعاثات الملوثة للبيئة.

برنامج FINPLAN حول التحليل المالي لخطط توسيع نظام التوليد الكهربائي

تعنى منهجية FINPLAN (Financial Analysis of Electric Sector Expansion Plans) بتقييم التبعات المالية المترتبة على خطط توسيع أنظمة التوليد الكهربائية. وتساعد في إعداد دراسات الجدوى الاقتصادية لمشاريع توليد الكهرباء من خلال حساب المؤشرات المالية الرئيسة آخذة في الاعتبار مصادر التمويل والتكاليف والعائدات والضرائب وكل ما يتعلق بالتدفقات النقدية للمشروع (الشكل 6). ويكتسب هذا النموذج أهمية خاصة في إعداد دراسات الجدوى وقابلية التمويل للمشاريع طويلة الأجل من خلال إعداد التدفقات النقدية، وبيانات الدخل والميزانية العمومية والنسب المالية. ويمكن تطبيق هذا البرنامج لتقييم واختبار مدى واقعية خطط التوسع الأمثل لنظام التوليد التي تم تطويرها مسبقاً –باستخدام البرنامج WASP على سبيل المثال– من حيث إمكانية تمويلها ضمن الموارد المالية المتاحة؛ إذ يمكن لأكثر المشاريع الاقتصادية كفاءةً أن تكون غير قابلة للتحقيق في ظل الظروف والمصادر التمويلية المتاحة. ومن ثم فإن القيود والشروط التمويلية السائدة يمكن أن تفرض إعادة النظر في خطة التوسع الاقتصادية المثلى، وهنا يأتي

دور FINPLAN الذي يساعد على تحليل خطط التوسع البديلة من خلال تقييم نتائجها المالية ومدى قابليتها للتمويل.

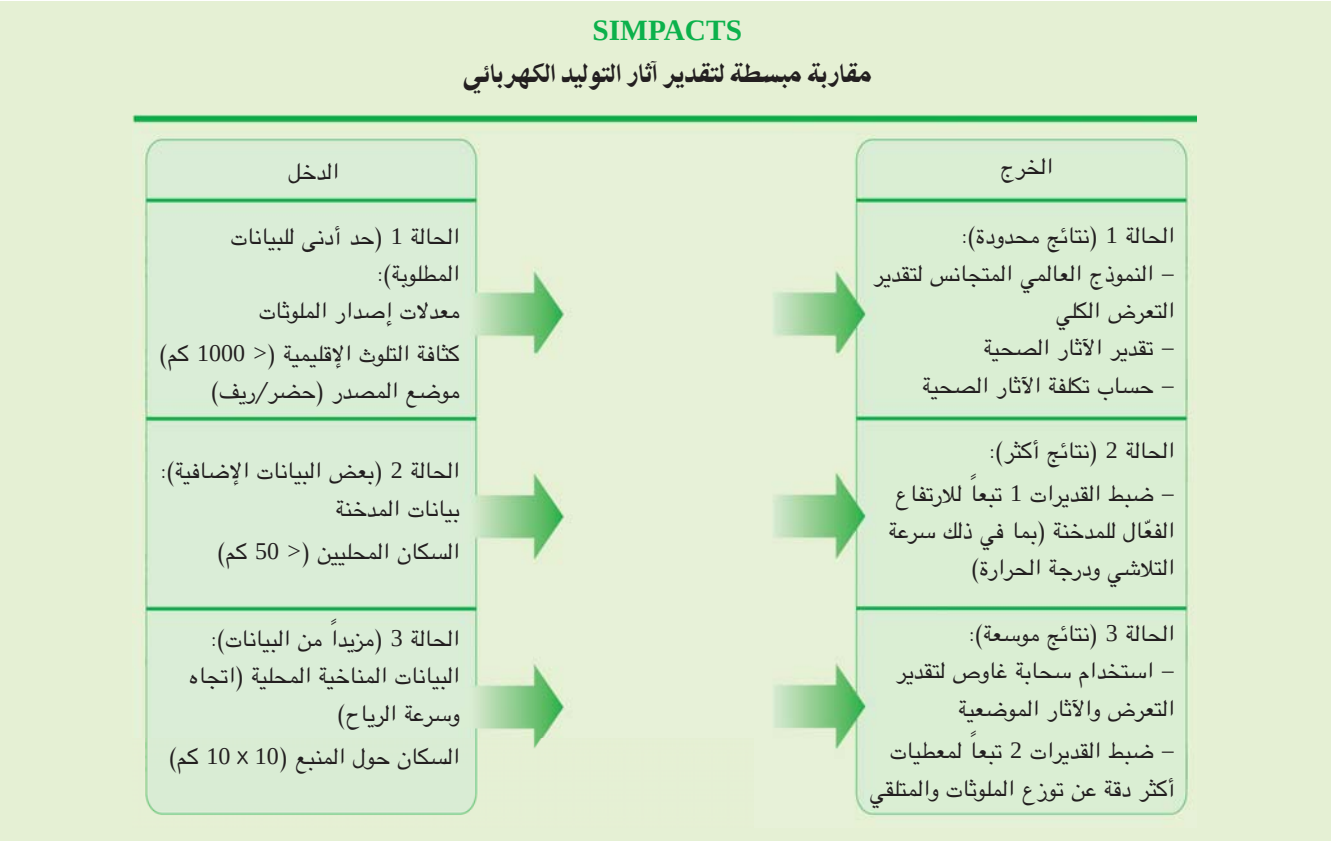
صمم FINPLAN لتحليل جميع محطات التوليد سواءً تلك التي تشكل جزءاً من المنظومة الطاقية أو المملوكة من قبل شركة معينة، كما يمكن استخدامه لأغراض التحليل المالي لمحطة توليد كهربائية واحدة فقط. ففي حال كانت جميع المحطات المدروسة تنتمي لنظام كهربائي موحد فإن FINPLAN يقيم تبعات إضافة محطات أخرىً لتوسيع هذا النظام (خلال فترة زمنية معينة) على الأداء المالي العام للشركة؛ في حين يصار لدى دراسة محطة واحدة فقط إلى تقييم الجدوى المالية للمشروع في إطار شروط السوق السائدة.

في حالة الدول النامية تبرز إشكالية إضافية تتعلق بضرورة ترتيب المصادر التمويلية وفقاً لأسعار صرف العملات الأجنبية. علماً أن البرنامج يعالج جميع التدفقات النقدية بكلا العملتين المحلية والأجنبية. وينجم عن ذلك ضرورة إعداد التدفقات النقدية لتغطية جميع النفقات بعملات مختلفة ومن ثم إجراء دراسة حساسية لتقييم مدى تأثير التغير المستقبلي في أسعار الصرف على نتائج الدراسة.

وتكمن الفائدة الإضافية للبرنامج في توفيره أداة ناجعة لتحليل تأثير الظروف المستقبلية على المعافات المالية للشركة أو الجهة المالكة للنظام.

منهجية SIMPACTS المبسطة لتقدير الأثر البيئي المصاحب لعمليات توليد الكهرباء

تعنى منهجية (Simplified Approach for Estimating SIMPACTS Impacts of Electricity Generation) بتقدير وحساب تكلفة الضرر الصحي والبيئي الناجم عن تقانات التوليد الكهربائي أو ما يعرف بالتكاليف الإضافية الخارجية (External Cost). وتتألف هذه المنهجية من وحدات عديدة مستقلة لتقدير الأثر على صحة الإنسان والمزروعات والأبنية نتيجة التعرض للإصدارات الجوية الاعتيادية من الملوثات التي تطلقها منشآت الطاقة. وتساعد هذه المنهجية في إجراء تحليل مقارن لمختلف خيارات التوليد الكهربائية الأحفورية والنووية والمتجددة، إضافةً إلى تقييم اختيار الموقع الأنسب لبناء المحطات الجديدة وتقدير تكلفة سياسات تخفيف الضرر البيئي (الشكل 7). وبعبارة أخرى يقوم بتقدير الضرر الفيزيائي والتكاليف الخارجية الناجمة عنه، ويوفر من ثم إمكانيةً لدعم اتخاذ القرار اعتماداً على مقارنة الإيجابيات النسبية للتكنولوجيات المختلفة.



الشكل 7 : المدخلات والمخرجات الرئيسة في برنامج SIMPACTS

ويتصف البرنامج SIMPACTS ببساطته نظراً لمحدودية بيانات الدخل المطلوبة لاستثماره.

يستخدم البرنامج منهجية تحليل مسار الأثر (Impact Pathway Approach) (IPA) لتقييم الضرر الناجم عن الملوثات الهوائية الصادرة عن المحطات الأحفورية أو النووية، حيث يتم في البداية توصيف مصدر الانبعاث ونمطه ومن ثم حساب معدلات انبعاثها. ثم تجري دراسة تغير تركيز الملوثات المختلفة ضمن المنطقة المعنية بالدراسة باعتماد نماذج خاصة للتبدد والتوضع. وباستخدام ما يسمى تابع الاستجابة للتعرض (ERF) Exposure Response Function يجري ربط العلاقة بين تغير تركيز ملوث ما والأثر الفيزيائي لهذا التغير على الكائن الحي.

بالنسبة للمحطات المائية، يوفر هذا البرنامج نموذجاً مبسطاً لتقييم التأثيرات البيئية المتمثلة بفقدان الأراضي نتيجة غمرها، وتهجير السكان، إضافة إلى تأثير الانبعاثات أثناء إنشاء السدود وخطر انهيار هذه السدود وما يرافقه من خسائر بشرية واقتصادية وما إلى ذلك من تأثيرات أخرى. كما أنه يتيح الإمكانية لتقييم المشاريع المستقبلية في ظل غياب المعلومات الدقيقة عن الموقع من خلال استخدامه أنماطاً مختلفة للخزانات المائية الناتجة عن بناء السد ويقدر حجم المساحة المغمورة والأثر المحتمل بالاستناد إلى طبيعة التضاريس وخصائصها.

يتيح البرنامج للمستخدم إمكانية تقدير التكاليف الخارجية عند مستويات مختلفة من الدقة تبعاً لكمية البيانات المتاحة. وبالنظر لعدم الموثوقية الكبير الذي تتصف به جميع منهجيات تقدير التكاليف الخارجية فإن النتائج التي يقدمها SIMPACTS تعد مقبولة تماماً في ضوء حجم البيانات المختصرة التي يتطلبها وبالمقارنة مع منهجيات أخرى أكثر تعقيداً وتتطلب كماً كبيراً من البيانات.

بالنسبة لتقييم الضرر الناجم عن العمل الاعتيادي للمحطات النووية تقوم وحدة خاصة في البرنامج بتتبع الأثر الناتج عن انتقال النكليدات المشعة إلى المتلقي عبر أربع مسارات رئيسة تشمل:

- الاستنشاق المباشر للملوثات عن طريق الهواء.
- التعرض الخارجي للإشعاع بفعل النكليدات المحمولة في الغيوم.
- التعرض الخارجي للإشعاع نتيجة ترسب بعض النكليدات المشعة.
- ابتلاع (ingestion) النكليدات المشعة عن طريق المنتجات الزراعية.

تتضمن عملية تتبع مسار الضرر أربع مراحل أساسية هي: الإصدارات، انتقال هذه الإصدارات، تلويثها للبيئة من خلال تغير تركيز بعض العناصر والغازات في الجو، وأخيراً تعرض الإنسان لهذه الملوثات وتقييم الضرر الناجم عن هذا التعرض.

ولمحاكاة الإصدارات الإشعاعية المحتملة نتيجة حادث نووي يتم الاعتماد على آراء الخبراء وتوقعاتهم لتقدير عواقب احتمالات التحررات وشدتها، وتستخدم لهذا الغرض مقاربة تفادي الخطر المتوقع (Expected Risk Aversion Approach). بعد الانتهاء من المراحل الأربع السابقة يتم تقدير تكلفة الضرر الناجم بشكل نقدي وتحديد ما اصطلح على تسميته بالتكلفة الإضافية الخارجية.

وهكذا يُلاحظ أنه بوجود هذه الحزمة من الوحدات المستقلة يمكن للبرنامج SIMPACTS أن يغطي وبشكل مبسط مختلف مصادر الطاقة الرئيسة وأهم التأثيرات المرتبطة بها على الصحة البشرية والبيئة. والأهم في هذه المنهجية أنها توفر أداة بسيطة ودقيقة لتقدير التكاليف الخارجية المرتبطة بتوليد الكهرباء، ومن ثم يمكن استخدامها لمقارنة وترتيب خيارات التوليد المختلفة استناداً إلى معيار التكاليف الخارجية.

مؤشرات التطور المستدام للطاقة (ISED)

قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) بوضع الإطار العام لمؤشرات التطور المستدام للطاقة ISED (Indicators for Sustainable Energy Development) بالتعاون مع وكالة الطاقة الدولية (IEA) والوكالة الأوربية للبيئة (EEA)، والمفوضية الأوربية EUROSTAT، بالإضافة إلى قسم إدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابع للأمم المتحدة (UN-DESA)، وذلك بهدف:

- دعم ومكاملة الجهود التي تبذلها لجنة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة (CSD) بخصوص وضع مؤشرات التطور (التنمية) المستدامة (ISD) من خلال توفير دقة أعلى لقضايا الطاقة عبر مجموعة متناسقة من المؤشرات الطاقية،
- ومساعدة الدول الأعضاء في بناء القدرات اللازمة لصياغة استراتيجيات الطاقة المستدامة.

علماً أن كلاً من هذه المؤشرات يرتبط بواحد من الأبعاد الرئيسة للتطور المستدام للطاقة والمتمثلة بالبعد الاجتماعي والاقتصادي والبيئي والبعد المؤسساتي.

تقيس المؤشرات المتعلقة بالبعد الاجتماعي الأثر الذي يتركه مستوى الخدمات الطاقية المتاحة على مستوى الرفاه الاجتماعي ومن ثم فهي تصف من وجهة نظر الطلب والتزود القضايا المتعلقة بسهولة الوصول إلى حوامل الطاقة وتحمل نفقاتها ودرجة التفاوت في تقديمها لشرائح المجتمع المختلفة.

أما المؤشرات المرتبطة بالبعد الاقتصادي فتقيس تأثير آليات التزود والطلب وجودة الخدمات الطاقية على مسيرة التطور

الاقتصادي للمجتمع، ومن ثم فهي تشمل استخدام الطاقة، والإنتاج والتزود، ومردود التزود بالطاقة وكثافة الاستخدام النهائي للطاقة، وتسعير حوامل الطاقة والضرائب والدعم الحكومي، إضافة إلى أمن الطاقة وتنوع مصادرها.

أخيراً توفر مؤشرات البعد المؤسساتي إمكانية تقييم مدى جاهزية وكفاية النظم المؤسساتية القائمة في بلد ما لتحقيق الوصول إلى نظام طاقي فعّال وكفوء. وبالرغم من الصعوبة التي تكتنف عملية قياس المؤشرات المؤسساتية والتعبير عنها بصيغ كمية، إلا أنها تفيد في تحديد إجراءات الاستجابة وتدابير السياسة العامة الرامية إلى التأثير على توجهات التطور في الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية والبيئية.

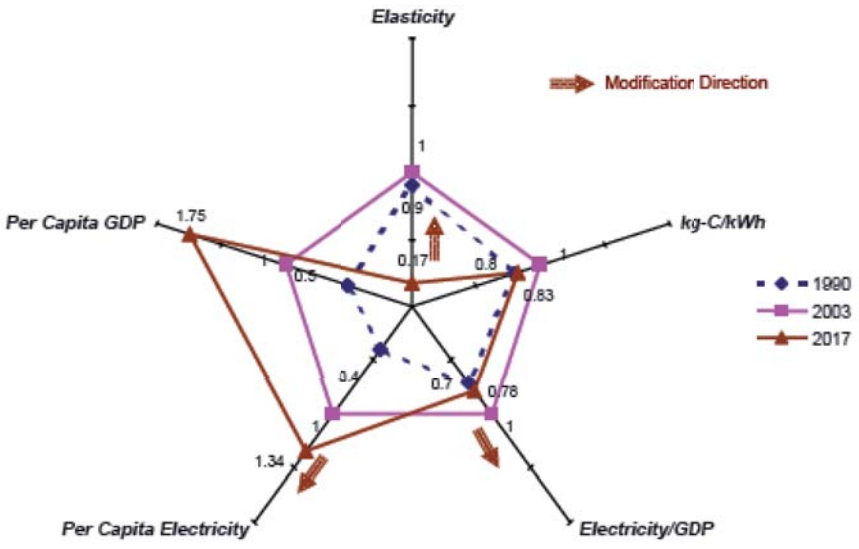
الخبرات المكتسبة والدروس المستقاة

لقد تم اكتساب قدر كبير من الخبرة والدراية في استخدام منهجيات الوكالة الدولية لتحليل نظم الطاقة وتطبيق مؤشرات التطور المستدام عليها. وقد توسعت دائرة مستخدمي هذه المنهجيات مع مرور الوقت لتضم محللين ومخططين من أكثر من 115 دولة، يعكفون على استخدام هذه المنهجيات في إعداد الدراسات الوطنية والإقليمية بهدف سبر وتقييم الدور الذي يمكن أن تؤديه الطاقة النووية في تلبية الطلب المستقبلي على الطاقة ودعم استراتيجيات التطور المستدام.

لقد تم تطوير مؤشرات للتنمية المستدامة (ISED) وتهذيبها على مدى ثلاث سنوات في إطار مشروع بحث تنسيقي ضم العديد من الدول الأعضاء. ومنذ ذلك الحين، استخدمت هذه المؤشرات في دراسات الطاقة الإقليمية والوطنية بهدف تحليل وتقييم استراتيجيات

الطاقة ومدى انسجامها مع متطلبات التطور المستدام. وكان من بين هذه المشاريع مشروع إقليمي شمل 12 بلداً آسيوياً هي: بنغلادش، الصين، الهند، اندونيسيا، جمهورية كوريا ومنغوليا وميانمار وباكستان والفلبين وسريلانكا، بالإضافة إلى كل من تايلاند وفيتنام. ومشروع إقليمي للدول العربية في آسيا (أراسيا) شمل 8 دول هي الأردن والعراق ولبنان واليمن وعمان والسعودية والإمارات العربية المتحدة وسورية.

لقد قامت الوكالة الدولية بتطوير شبكة واسعة تضم مستخدمين من جميع أنحاء العالم ساهموا مع مرور الوقت بتوفير الاقتراحات التفاعلية وتبادل الدروس المستقاة، الأمر الذي ساعد في تطوير وتحديث أدوات التحليل بشكل منتظم وارتقى بها لمواجهة طيف واسع من التطبيقات المتنوعة على مستوى الدول الأعضاء.



الشكل 8 : تقييم التطور المستدام للطاقة في قطاع الكهرباء لجمهورية كوريا

تتبع مسارات الطاقة المستدامة

أطلقت الوكالة الدولية للطاقة الذرية مشروع تعاونٍ تقني ضم العديد من دول جنوب شرق آسيا (بنغلاديش والصين والهند وأندونيسيا وجمهورية كوريا ومنغوليا وميانمار والفلبين وسريلانكا وتايلاند وفيتنام) وهدف إلى تتبع وتقصي مسارات الاستدامة المستقبلية التي يمكن تحقيقها لدى الاعتماد على خياري الطاقة النووية والطاقات المتجددة. وقد قدم المشروع لهذه البلدان المساعدة عبر مجموعة من المحاور التي تضمنت:

- إنشاء مؤشرات وطنية حول التطور المستدام للطاقة؛
- إجراء دراسة وطنية لتقييم دور الطاقة النووية وخيارات الطاقة الأخرى في تحقيق تطور متوازن لقطاع الطاقة؛
- تزويد الجهات الوطنية بتوصيات حول معالم السياسة الوطنية للطاقة تتضمن الخطوات الواجب اتخاذها بما يتلاءم مع التطور المستدام لقطاع الطاقة.

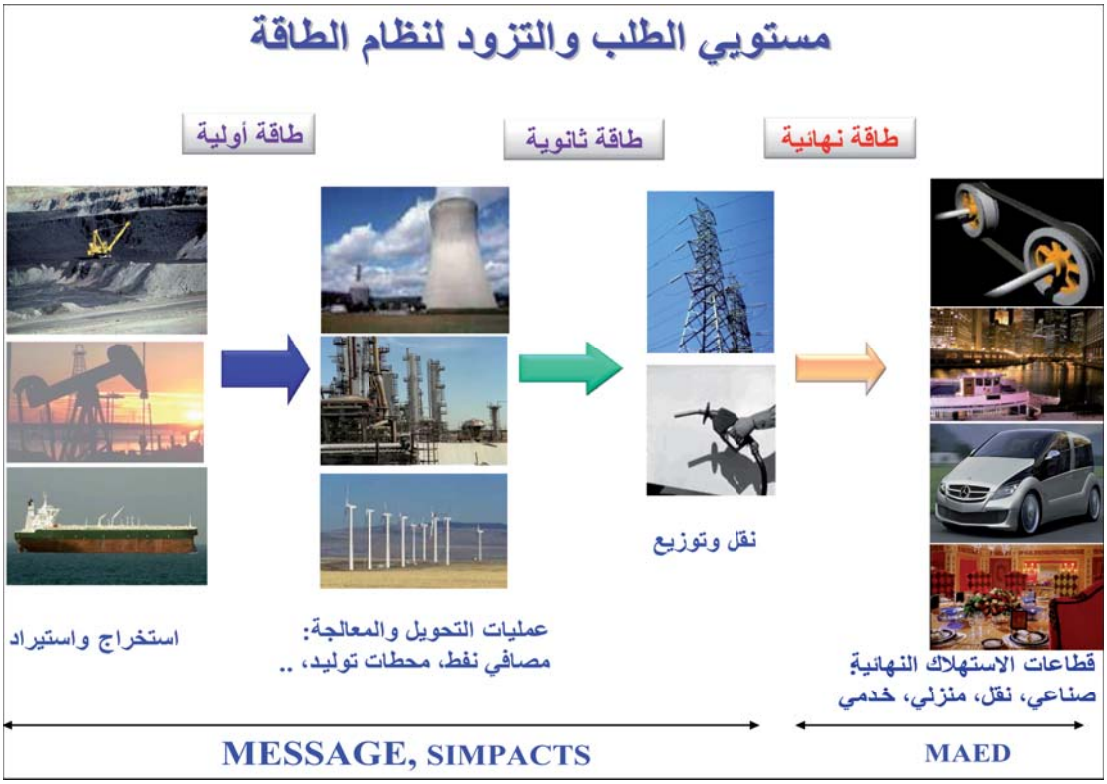
وقد قامت الدول المشاركة بصياغة معالم استراتيجيات الطاقة الوطنية التي تراعي أمن التزود بالطاقة، والكفاءة الاقتصادية وحماية البيئة. وقد استخدمت لهذا الغرض مؤشرات الاستدامة (ISED) لاستبيان ما إذا كانت مسارات التطور المستقبلية لأنظمة الطاقة ستلبي أهداف التطور المستدام الموضوعة من قبل تلك الدول. ويبين الشكل 8 مثالاً عن هذا التقييم في حالة جمهورية كوريا الجنوبية، حيث يلاحظ تزايد حصة الفرد من الكهرباء (أمن التزود) بالتلازم مع ازدياد حصته من الناتج المحلي الإجمالي (البعد الاقتصادي) وتراجع معدل الإصدار النوعي للكربون (البعد البيئي)، مع تحقيق تحسن كبير في معامل المرونة الدخلية.

لمحة عن التجربة السورية في استخدام منهجيات الوكالة الدولية لتحليل أنظمة الطاقة على المستويين الوطني والإقليمي

يرجع التعاون بين سورية ممثلة بهيئة الطاقة الذرية والوكالة الدولية في مجال تخطيط أنظمة الطاقة إلى أكثر من 15 عاماً، جرى خلالها تنفيذ العديد من مشاريع التعاون التقني وتنظيم الدورات التدريبية الوطنية والإقليمية التي ساعدت بدورها في بناء فريق عمل متميز لدى هيئة الطاقة الذرية السورية التي أصبحت بدورها نقطة تدريب معتمدة لدى الوكالة الدولية التي أوكلت إليها وبشكل رسمي مهمة تدريب العديد من الكوادر في المنطقة إضافةً إلى الإشراف على مشاريع إقليمية مميزة.

خلال هذه الفترة الطويلة من التعاون تراكمت لدى هيئة الطاقة الذرية السورية خبرات متقدمة في استخدام منهجيات تخطيط الطاقة المطورة من قبل الوكالة الدولية. ويبين الشكل 11 المخطط العام لمنهجيات تخطيط الطاقة التي جرى تبنيها واعتمادها لدى هيئة الطاقة الذرية السورية. وباستخدام هذه المنهجيات نفذ فريق العمل لدى الهيئة العديد من المشاريع الوطنية والإقليمية كان منها مشروع تعاون وطني تقني حول التخطيط للطاقة النووية

الشكل 9 : منهجيات تخطيط الطاقة المستخدمة في سورية ممثلةً بهيئة الطاقة الذرية .



الشكل 10 : تحليل نظام الطاقة لتقدير الطلب النهائي لقطاعات الاستهلاك وصياغة استراتيجية التزود بعيدة المدى .

وصياغة خطة التوسع الأمثل لنظام التوليد الكهربائي استخدمت فيه المنهجيات MAED وWASP. ومشروع تعاون إقليمي لدول أراسيا حول "التقييم المقارن لخيارات التوليد ودور شبكات الربط الكهربائي" وآخر حول "التخطيط الاستراتيجي لتغطية الطلب المستقبلي على الطاقة والمياه"، وقد استخدمت فيهما منهجيات MESSAGE, SIMPACTS, MAED, MAWD, FINPLAN. إضافةً إلى مشروع بحث تنسيقي حول تطوير سياسات طاقية موجهة لتخفيف منعكسات غازات الدفيئة لقطاع الطاقة.

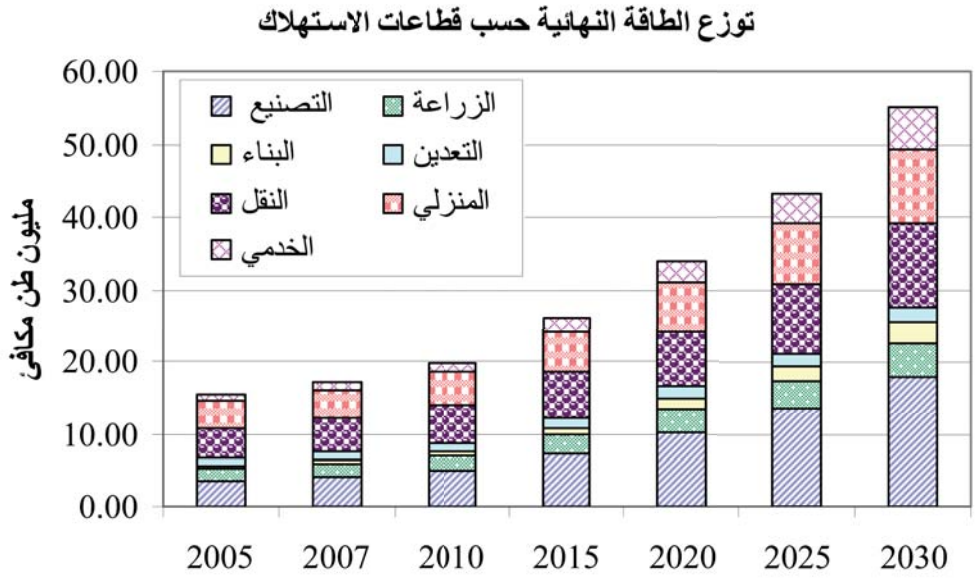
وقد تطورت الخبرة المتراكمة لدى مجموعة العمل في الهيئة إلى مستوى متقدم بحيث تمكنت من تقديم الدعم للوكالة الدولية لتحديث وتطوير البرنامج MAED، وتقديم الخبرة وتنفيذ الدراسات الاستشارية للعديد من المؤسسات الإقليمية والدولية، كان من أهمها:

- إنجاز دراسة لصالح جامعة الدول العربية حول التطور المستقبلي لأنظمة التوليد الكهربائية للدول العربية،
- إنجاز دراسة حول تحليل إجراءات ترشيد الطاقة وحفظها ودور الطاقات المتجددة في سورية بالتعاون مع المؤسسة الألمانية للتعاون التقني (GTZ)،
- إنجاز دراسة حول جرد انبعاثات غازات الدفيئة لقطاع الطاقة في سورية بالتعاون مع UNDP،
- إنجاز دراسة حول تقييم إجراءات تخفيف انبعاثات غازات الدفيئة بالتعاون مع UNDP.
- تنفيذ العديد من مهمات الخبرة الخارجية قام بها فريق العمل في الهيئة بتكليف من الوكالة الدولية للطاقة الذرية إلى العديد من دول المنطقة.

وتجلت أهم الأعمال المنفذة على المستوى الوطني بقيام فريق العمل لدى هيئة الطاقة بالتعاون مع رئاسة مجلس الوزراء وهيئة تخطيط الدولة ووزارة الكهرباء ووزارة النفط بإنجاز دراسة متكاملة حول "تطور الطلب على الطاقة واستراتيجية التزود الأفضل في سورية لغاية عام 2030". وقد جرى تبني نتائج هذه الدراسة كأساس في وضع سياسات الطاقة الوطنية في سورية خلال العقدين القادمين.

وقد عرضت نتائج هذه الدراسات في مؤتمرات عدة وندوات إقليمية ودولية ونشرت في مجموعة من المجلات العالمية المتخصصة (انظر ملحق المراجع).

وفيما يلي عرض مقتضب لأهم الملامح المستقبلية لسياسة الطاقة الوطنية بعيدة المدى الكفيلة بتحقيق الأمن الطاقي وفق مؤشرات التطور المستدام، والتي جرى تطويرها من قبل مجموعة تخطيط الطاقة في الهيئة بالتعاون مع الجهات الحكومية المعنية بقطاع الطاقة في سورية وفق ما هو مبين في الشكل 10 الذي



الشكل 11 : تطور الطلب على الطاقة النهائية حسب قطاعات الاستهلاك في سورية .

يعرض المخطط النموذجي لنظام الطاقة السوري على مستويي الطلب والتزود.

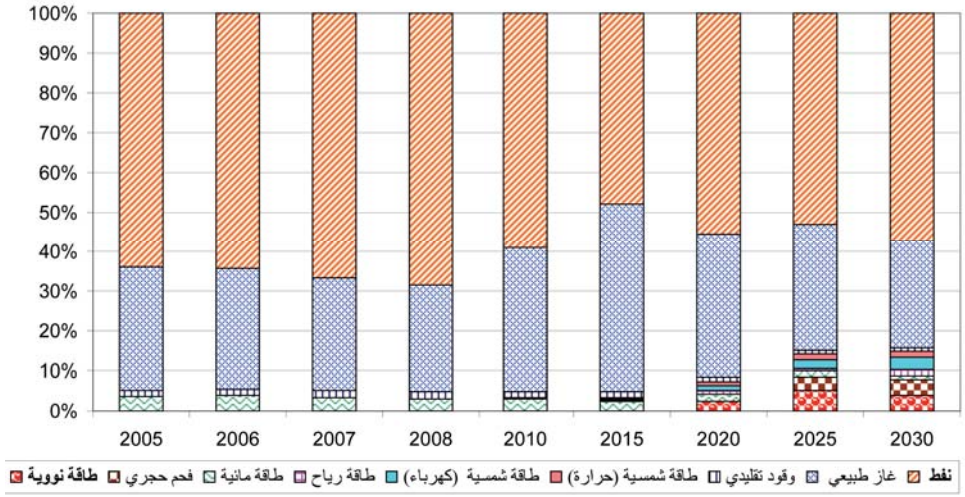
الطلب النهائي على الطاقة

انطلاقاً من السنة الأساس (المرجعية) 2005 جرى تحليل التطور المستقبلي للطلب النهائي على الطاقة والكهرباء للعقود الثلاثة القادمة وفق منهجية الاستهلاك النهائي التي تعتمد على صياغة سيناريوهات تعكس التطورات الاقتصادية والاجتماعية والسكانية والتقنية المستقبلية الأكثر احتمالاً. وقد اعتمدت في تقدير تطور الطلب سيناريوهين الأول مرجعي لاستشراف التطور المستقبلي الأكثر احتمالاً، والثاني بديل يختلف عن المرجعي في زيادة تفعيل إجراءات ترشيد الطاقة وحفظها في مختلف القطاعات الاستهلاكية إضافةً إلى رفع مساهمة الطاقة الشمسية في تسخين المياه للقطاعين المنزلي والخدمي.

تبين نتائج الدراسة أن الطلب على الطاقة النهائية سينمو من 15.3 مليون طن مكافئ عام 2005 إلى حوالي 55 مليون طن مكافئ عام 2030 مسجلاً بذلك معدل نمو وسطي سنوي يقرب من 5.3%. وسيتوزع الاستهلاك عام 2030 بنسبة 49.7% للقطاعات المنتجة (الصناعة والزراعة والبناء والصناعات الاستخراجية) و21.3% للنقل و18.3% للمنزلي و10.6% للخدمي. ما يوضح التنامي الكبير لاستهلاك القطاعات المنتجة مقارنة مع السنة الأساس (الشكل 11).

استراتيجية التزود

لمجابهة الطلب المستقبلي على أشكال الطاقة تشير نتائج استراتيجية التزود للسيناريو المرجعي إلى أن الطاقة الأولية



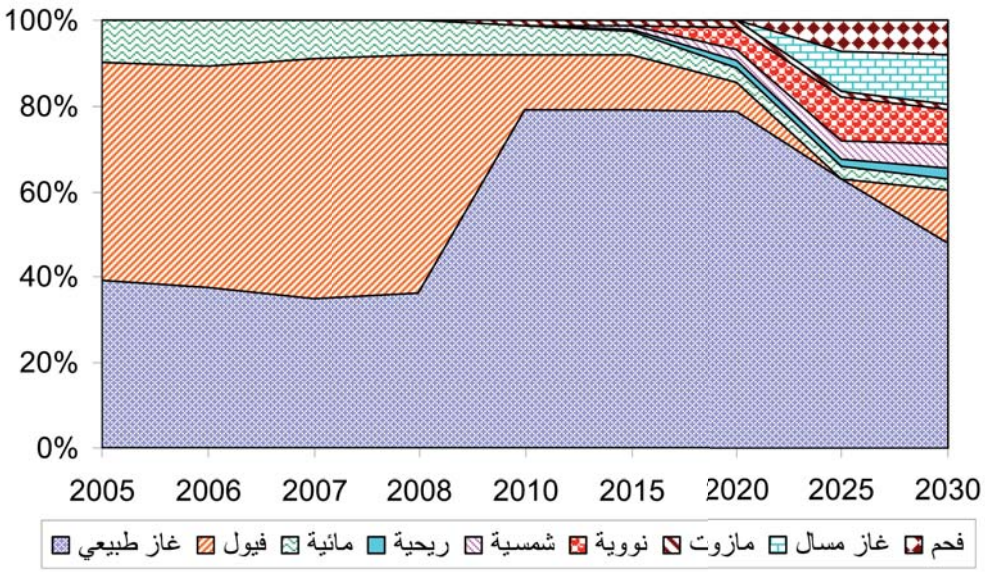
الشكل 12 : التطور المستقبلي لخليط الطاقة الأولية في سورية .

ستنمو من حوالي 25 مليون طن مكافئ عام 2005 إلى حوالي 78.5 مليون طن مكافئ عام 2030 مسجلةً بذلك معدل نمو سنوي وسطي يقارب 4.7%. ويلاحظ أن سورية ستستمر لتلبية احتياجاتها من الطاقة الأولية بالاعتماد على الوقود الأحفوري من النفط والغاز الطبيعي. ومع توقع توقف تصدير النفط بعد عام 2015 وازدياد الاعتماد على استيراد حوامل الطاقة سينزاح ميزان الطاقة الأولية من حالته الموجبة حالياً ليصبح أكثر اعتماداً على المستوردات التي ستزداد حصتها من الطاقة الأولية من 16% عام 2015 لتصل عام 2030 لحوالي 70% (ما يكافئ 55 مليون طن مكافئ). وفيما يتعلق بالسيناريو البديل (المتفائل) حيث جرى تبني سياسة موجهة لتفعيل إجراءات حفظ الطاقة وزيادة مساهمة الطاقات المتجددة في توليد الكهرباء إضافةً إلى زيادة إمكانيات استيراد الغاز من الدول المجاورة (العراق ومصر وتركيا)، فإن الطاقة الأولية ستنمو لتصل إلى 73 مليون طن مكافئ عام 2030 محققةً بذلك وفراً قدره 5 ملايين طن مكافئ مقارنة مع السيناريو المرجعي.

تشير نتائج هذا السيناريو إلى أن حصة النفط من الطاقة الأولية ستتأرجح بين 64% و48% أما حصة الغاز الطبيعي (متضمناً الغاز المسال) فستتزايد من 30% عام 2005 لتصل إلى أعلى قيمة لها عام 2015 بنسبة 47% (الشكل 12). ويلاحظ ازدياد حصة الطاقة المتجددة (لتوليد الكهرباء) لتصل إلى 5.4% من مجمل الطاقة الأولية، فيما ستزداد مساهمة الطاقة الشمسية لتسخين المياه في القطاعين المنزلي والخدمي لتصل إلى 1.7% من مجمل الطاقة الأولية عام 2030. وستساهم الطاقة النووية اعتباراً من عام 2020 في توليد الكهرباء لتصل حصتها إلى 4% عام 2030 وكذلك الأمر بالنسبة للفحم الحجري الذي يتوقع أن تبدأ مساهمته اعتباراً من عام 2025. ويلاحظ من هذا التطور في بنية الطاقة الأولية أنه برغم بقاء الاعتماد الأساسي على الطاقة الأحفورية، فإن هناك زيادة واضحة في تنوع المصادر الطاقية مقارنةً مع الوضع الحالي، ما يؤشر لتنامي موثوقية وأمن التزود في المدى المتوسط والبعيد.

قطاع التوليد الكهربائي

يمثل قطاع التوليد الكهربائي أحد أهم قطاعات نظام الطاقة في سورية. وتبين خطة التوسع الأمثل لنظام التوليد أن الطلب على الاستطاعة المركبة سينمو بمعدل وسطي سنوي يقرب من 6.8% وصولاً إلى حوالي 33000 ميغاواط عام 2030 ما يقابل بدوره إضافة استطاعة سنوية وسطى تقرب من 1300 ميغاواط، وهو ما يتطلب بدوره استثمارات تمويلية عالية. ويبرز التنوع الملاحظ في استراتيجية التزود بشكل واضح في هذا القطاع حيث سيتراجع اعتماده الحالي على الفيول (الوقود الثقيل) لصالح الغاز الطبيعي والغاز المسال مع تزايد مساهمة الطاقات المتجددة إلى جانب الطاقة النووية والفحم في العقد الأخير من الدراسة (الشكل 13). وسيتوزع إنتاج الكهرباء حسب مصدر التوليد عام 2030 إلى 47% للغاز الطبيعي، 13% للفيول، 11% للغاز المسال، 8% لكلٍ من الطاقة النووية والفحم و11% للطاقات المتجددة (دفع مائي وعنفات ريحية ولواقط شمسية محرقية وضوئية). ويجدر التنويه هنا إلى أنه بالنظر إلى معامل الإتاحية المنخفض للطاقات المتجددة فإن



الشكل 13 : التطور المستقبلي لمزيج التوليد للكهربائي في سورية حسب مصدر التوليد .

الجدول 1 : تطور حصة الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ومن الطاقة النهائية .

العام	حصة الفرد من الناتج المحلي [ألف دولار/الفرد][1]	حصة الفرد من الطاقة النهائية [طن مكافئ/الفرد]	حصة الفرد من الكهرباء النهائية [كيلواط ساعي /الفرد]	كثافة الطاقة النهائية [كغ مكافئ / ألف دولار]	المرونة الدخلية
2005	1.345	0.83	1481	620	
2007	1.459	0.89	1605	610	0.86
2010	1.654	0.97	1819	585	0.77
2015	2.098	1.15	2295	550	0.81
2020	2.675	1.37	2891	512	0.78
2025	3.263	1.59	3505	487	0.83
2030	3.994	1.86	4246	465	0.83
النمو الوسطي	%4.4	%3.2	%4.3	% 1.1-	% 0.03-

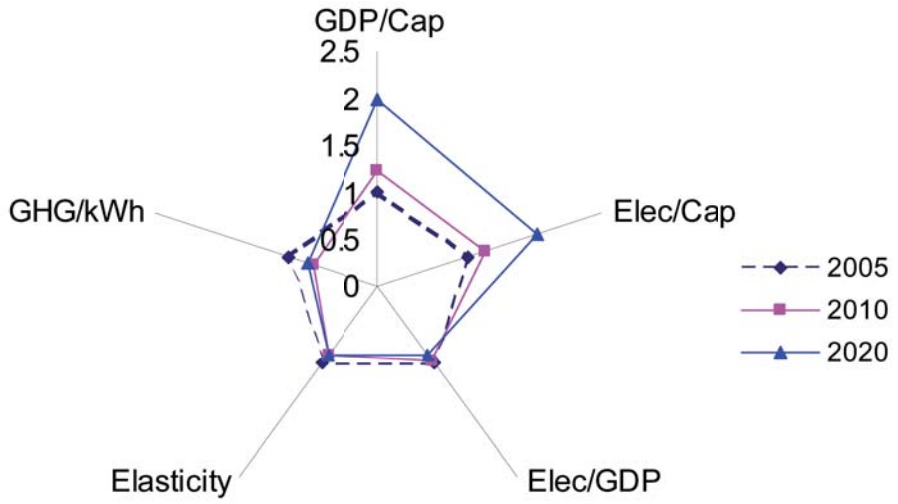
1. حسبت قيم الناتج المحلي بالأسعار الثابتة لعام 2000 (1 US$=47 L.S)

مساهمتها في عملية التوليد ستكون بحدود 10% عام 2030 وهي نسبة متواضعة مقارنةً باستطاعتها المركبة التي ستصل لحوالي 6000 ميغاواط (بما فيها المحطات المائية) ما يقابل حوالي 19% من مجمل الاستطاعة المركبة لذلك العام.

مؤشرات تطور قطاع الطاقة في سورية

يلخص الجدول 1 التطور المتوقع لبعض المؤشرات الرئيسة المتعلقة بأبعاد التطور المستدام لنظام الطاقة السوري وفقاً لنتائج الدراسات المعدة من قبل هيئة الطاقة الذرية السورية بالتعاون مع المؤسسات المعنية بشؤون الطاقة في سورية بما فيها رئاسة مجلس الوزراء. ويلاحظ من الجدول أن حصة الفرد من الطاقة النهائية والكهرباء النهائية ستنمو بمعدلات جيدة وهي في الوقت نفسه أدنى من المعدل المتوقع لنمو حصة الفرد من الناتج المحلي لإجمالي والتي ستبلغ وسطياً 4.4% خلال الفترة 2005-2030.

ونظراً للدور المحوري الذي يؤديه قطاع التوليد الكهربائي



الجدول 14 : مؤشرات التطور المستدام لقطاع الكهرباء في سورية .

في التطور المستقبلي لنظام الطاقة فقد جرى تقييم تطور معالم الاستدامة لهذا القطاع وفق الشكل 14 الذي يرصد بعض أهم مؤشرات التطور المستدام للسنوات 2010، 2020، 2030 مقارنةً مع السنة 2005. حيث يلاحظ أن المرونة الدخلية والكثافة الكهربائية ومعدل الإصدار النوعي لقطاع الكهرباء ستتراجع عن القيمة البدئية، في حين ستنمو معدلات دخل الفرد واستهلاكه للكهرباء، ما يؤشر إلى أن النظام سيتطور على حدود الاستدامة. ويبرز واضحاً هنا أن معدل زيادة استهلاك الفرد من الكهرباء لا بد أن يجابه بزيادة أعلى لدخله من الناتج المحلي الإجمالي من خلال تحقيق معدلات نمو اقتصادية عالية بالتزامن مع إدخال تقانات توليد نظيفة لإبقاء معامل إصدار الشبكة الكهربائية عند قيمة أدنى مما هي عليه حالياً والتي تقرب من 0.64 كغ من ثاني أكسيد الكربون لكل كيلواط ساعي مولد ($kg\text{-}CO_2/kWh$).

إعداد: د. علي حينون، السموءل المصطفى، هيئة الطاقة الذرّية السورية

المراجع

1. Analyses of Energy Supply Options and Security of Energy Supply in the Baltic States, IAEA-TECDOC-1541 (2007).
2. Assessing Policy Options for Increasing the Use of Renewable Energy for Sustainable Development: Modeling Energy Scenarios for Sichuan, China, UN-Energy (2007).
3. Brazil: A Country Profile on Sustainable Energy Development (2006).
4. Comparative Assessment of Energy Options and Strategies in Mexico until 2025, Final Report of a Coordinated Research Project 2000-2004, IAEA-TECDOC-1469 (2005).
5. Comparative Assessment of Electricity Generation Options of ARASIA Countries, A Regional Study under Project ARASIA-1 in Cooperation with IAEA (2011, under Publication)
6. Cuba: A Country Profile on Sustainable Energy Development (2008).
7. Energy Policies for Sustainable Development in South Africa - Options for the Future, Energy Research Centre, University of Cape Town (2006).
8. Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies(2005).
9. Energy Indicators for Sustainable Development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand, joint publication by the United Nations and the IAEA (2007)
10. Hainoun, A.,: Construction of the hourly load curves and detecting the annual peak load of future Syrian electric power demand using bottom-up approach, International Journal Electrical Power and Energy Systems, 2009
11. Hainoun, A., M. K. Seif-Eldin, S. Almoustafa: Estimating the Health Damage Costs of Syrian Electricity Generation System using Impact Pathway Approach, International Journal for "Energy", 2010
12. Hainoun, A., M. K. Seif-Eldin, S. Almoustafa: Formulating an Optimal Long-term Energy Supply Strategy for Syria using MESSAGE Approach,» Energy Policy",2010
13. Hainoun, A., M. K. Seif-Eldin, S. Almoustafa: Analysis of the Syrian Long-Term Energy and Electricity Demand Projection Using End-Use Methodology, Energy Policy (2005).
14. Indicators for Sustainable Energy Development: An Initiative by the International Atomic Energy Agency, VERA, I.A., LANGLOIS, L.M., ROGNER, H.-H., JALAL, A.I., and TOTH, F.L., Natural Resources Forum: A United Nations Journal, 29, (2005) 274-283.
15. Othman, I., Hainoun, A., M. K. Seif-Eldin, S. Almoustafa: Energy and Nuclear Power Planning for Syria Covering the Time Horizon up to 2030, Proceedings of the 6th International Conference on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids, Dubrovnik, Croatia, 21-25 May (2006)
16. Tracing Future Sustainable Paths through Nuclear and Other Energy Options – IAEA Regional (RCA) TC Project (RAS/0/041) (2007).
17. ROGNER, H.-H., SCOTT, D.S., 'Building sustainable energy systems: The role of nuclear derived hydrogen', Proceedings of the OECD/NEA Information Exchange
18. Meeting on Nuclear Production of Hydrogen, 2–3 October, Paris, OECD, Paris (2000).
19. World Energy Assessment (WEA): Energy and the Challenge of Sustainability" GOLDEMBERG, J., (Ed.). United Nations Development Program, United Nations Department of Economic and Social Affairs and World Energy Council New York, USA (2001).

ما وراء الغذاء مقابل الوقود!

المنحى الأكثر قابلية للجدل حول الوقود الحيوي هو المنافسة الملحوظة على الأراضي الزراعية. هل سيرسل التقدم في الوقود الحيوي والزراعة هذه التجارة خارج المنافسة لتصبح من كتب التاريخ؟

دونكان غراهام روي

عندما حصل سائقا فيراري الفورميولا 1 على المركزين الأول والثاني في سباق الجائزة الكبرى للبحرين العام الماضي كان لديهما شيء إضافي في خزانات وقودهما –ليغنوسيللولوسيك أو الجيل الثاني من الوقود الحيوي. حتى عالَم الأوكتان العالي لسباق الـ F1 قد وعى حقيقة تضاؤل احتياطات النفط وتهديد التغير المناخي. أقرّت القواعد منذ العام 2008، أن 5.75% على الأقل من وقود الفورميولا 1 يجب أن تُشتق من النباتات. توضح إضافات وقود فيراري المصنوعة من أجزاء النباتات التي لا تؤكل طريقة واحدة فقط من الطرق التي يستطيع فيها الوقود الحيوي تلبية احتياجات الطاقة دون تخفيض إنتاج الغذاء.

بحسب منظمة الغذاء والزراعة التابعة للأمم المتحدة (FAO)، إن الارتفاعات الحديثة بأسعار الغذاء تُعد الأعلى منذ بدء التسجيلات. عُزيت هذه الزيادات إلى التوسع في استعمال الجيل الأول من الوقود الحيوي، المشتق من الأجزاء القابلة للأكل لمحاصيل زراعية، مثل قصب السكر والذرة الصفراء على سبيل المثال، والتي غالباً ما تُمزج مع الغازولين المستخدم في أيامنا هذه (البترول). ومع زيادة حدوث أعمال الشغب بسبب الغذاء لتصبح شائعة في الدول النامية، يهتم الكثيرون بمعرفة هل هو حصيف أو أخلاقي للحكومات الغربية أن تضع أهدافاً طموحةً للحصول على الوقود الحيوي. هل هناك طريقة أخرى لا تسلب سكان العالم من غذائه الذي يحتاج إليه؟

في حالة الفيراري، الجواب نعم. كان خيار الفريق من الوقود الحيوي هو الإيثانول المشتق من القش، وهذا منتج نفايات من الزراعة. إن وقود سيارات السباق المطوّر من قبل شركة إيوجين للتقانة الحيوية الواقعة في أوتاوا هو أحد الأمثلة عن الكيفية التي يساعد فيها التقدم العلمي الباحثين في تجنب بعض مشاكل الجيل الأول من الوقود الحيوي. إذا أمكن استعمال الجيل الجديد من الوقود بالترافق مع استراتيجيات محسَّنة لاستعمال الأراضي وزيادة الإنتاجية الزراعية، فإنهم يمكن أن يقفزوا بنا بعيداً عن النقطة التي نُجبر فيها على الاختيار بين الغذاء والوقود.

قضايا طاقة

إن استخدام المحاصيل لصنع وقود سائل ليست فكرة حديثة. إنها تعود بالقدم إلى القرن التاسع عشر، حين صمّم رودولف ديزل محركه الذي سُمِّي على اسمه ليستخدم الزيت النباتي أو زيت الفول السوداني. كما أن البرازيل أجازت إضافة الإيثانول المشتق من قصب السكر إلى وقودها منذ العام 1929. ولكن، فقط في العقد الأخير، مع زيادة المخاوف من أمن الطاقة والتغيّر المناخي والزيادات الكبيرة في استهلاك الطاقة، بدأ الوقود الحيوي بأخذ دورٍ مركزيٍّ أكثر في سياسة الطاقة العالمية.

أدّت السرعة في تطوير مثل هذا الوقود إلى توترات حول استعمال الأراضي. ففي ماليزيا، على سبيل المثال، نجم عن السياسات التي تشجع استخدام وإنتاج الديزل الحيوي من زيت النخيل، استبدال مساحات واسعة من غابة بورنجو بمزارع نخيل. وعندما تُستعمل محاصيل غذائية، مثل الذرة الصفراء، لإنتاج الوقود فإن مقداراً معنوياً من الإنتاج العالمي سيحوَّل من إنتاج الغذاء إلى مصافي الوقود الحيوي. في العام 2007، زرعت الولايات المتحدة مساحة غير مسبوقة قدرها 92.9 مليون إيكر (حوالي 375000 كم مربع) من الذرة، ولكن ثلثها استُعمل لإنتاج الإيثانول. كان هذا التحول مثار جدل وأدّى إلى زيادات غير مسبوقة في سعر الذرة الصفراء، وصلت إلى 73% في نهاية العام 2010. في بداية هذه السنة، ذكرت الفاو أن دليلها لأسعار الغذاء كان الأعلى في تاريخ دليل العشرين سنة الماضية.

ولكن بتفحص البيانات يصبح من الواضح أن الوقود الحيوي يشكل فقط جزءاً من المعادلة. بحسب تقرير البنك الدولي لعام 2008 المسمّى «ملاحظة على زيادة أسعار الغذاء»، وبالرغم من أن الوقود الحيوي هو العامل الأكثر أهمية، فإن هناك دليلاً جيداً على وجود عوامل أخرى، مثل توقعات سوق الأوراق المالية والحوادث المناخية الحدّية التي ساعدت في ارتفاع أسعار الغذاء منذ العام 2002. يجب أيضاً عدم تجاهل ارتفاع أسعار الوقود، لأن لذلك تأثيراً مباشراً على أسعار الغذاء، هذا ما تقوله أوتولين ليسير عالمة الوراثة النباتية في جامعة كامبردج، المملكة المتحدة. توضِّح ليسير التي كانت أيضاً مؤلفة مشاركة في تقرير حديث عن الوقود الحيوي صادر عن مجلس نوفيلد للأخلاقيات الحيوية في لندن، أن عملية حصاد الغذاء وتحويله ونقله تأخذ مقداراً كبيراً من الطاقة.

لإعطاء نقّاد الوقود الحيوي حقّهم، فإن أسعار الغذاء ليست همهم الوحيد. بحسب كارلا كارب، المدير العلمي لمركز الطاقة الحيوية والتغيّر المناخي الواقع في هاربيندين روثاميستيد البحثي، أكبر مركز بحثي زراعي في المملكة المتحدة، يحتاج الجيل الأول من الوقود الحيوي أيضاً إلى مدخلات مكثفة مثل الماء والآزوت ولهذه المدخلات تأثير على انبعاثات غاز الدفيئة. بالرغم من أن معظم الوقود الحيوي لم يطوَّر بشكل خاص لحلّ المستويات المرتفعة من ثنائي أكسيد الكربون، فإنه من المتوقع أن يساعد في تخفيف المشكلة. ولكن، الوقود الحيوي غالباً ما يُظهر تخفيضات بالحدّ الأدنى فقط في غازات الدفيئة مقارنة مع معادلاتها من الوقود الأحفوري، بحسب محلّل دورة الحياة نايجل مورتيمر، الرئيس الأسبق لتنمية الطاقة المستدامة في جامعة شيفيلد هالام بالمملكة المتحدة، الذي يعمل الآن في ستوكسفيلد نورث إنرجي للاستشارة عن الطاقة المتجددة والاستدامة. ويشير بحث قام به كينيث ستون، وهو مهندس زراعي في فرع الخدمات البحثية الزراعية الأمريكية في فلورنسة– كارولينا الجنوبية، إلى أنه إذا تمّ تحقيق هدف قسم طاقة الوقود الحيوي الأمريكي لعام 2030 باستخدام الإيثانول المشتق من الذرة الصفراء فقط فإن استخدام الماء للزراعة سيزيد ستة أضعاف.

أحد أكثر المشاكل إشكالية الناجمة عن المنافسة بين الوقود الحيوي وإنتاج الغذاء هو استعمال الأراضي. يقول إيان كروت

سيحتاج الإنتاج الواسع من الجيل الثاني للوقود الحيوي خمس إلى عشر سنوات .

أشجار الصفصاف المزروعة لتزويد محطة الطاقة بالوقود الحيوي في لوكاربي، سكوتلندا، المملكة المتحدة.

الباحث الرئيس في مجلس تطوير البستنة والزراعة الواقع في كينيلورث: بشكل مثالي، تُزرع محاصيل الوقود الحيوي على أراضٍ هامشية تحتوي على محتوى منخفض من الكربون، وتُترك الترب ذات النوعية الأفضل لإنتاج الغذاء. ولكن بالواقع، فإن أرباح محاصيل الطاقة كانت السبب وراء انتقال المزارعين إلى محاصيل الوقود بدلاً عن محاصيل الغذاء محدثة أثراً تموجياً ripple effect، هذا ما يقوله أوليفر دوبوا منسق مجموعة الطاقة الحيوية في الفاو، في روما. ويُضيف: «محاصيل الغذاء لا بد من أن تُنتج في مكان ما»، وهذا يعني إيجاد أراضٍ إضافية وتحويلها للاستعمالات الزراعية.

إن قضايا استعمال الأراضي ليست مقتصرة على المحاصيل: للحيوانات الزراعية تأثير كبير. وبحسب بحثٍ نُشر من قبل بروس ديل، وهو مهندس كيميائي في مختبر أبحاث تحويل الطاقة الحيوية في إيست لانسينك التابع لجامعة ميتشيغان، فإن أكثر من 80% من إنتاج الولايات المتحدة الزراعي يذهب إلى تغذية الحيوان. الزيادة العالمية في استهلاك اللحوم هي إحدى القوى الرئيسة التي تكمن خلف زيادة أسعار الغذاء، كما يقول ليسير: «إن في ذلك تبذيراً مذهلاً».

وفي هذا النمو الشديد لسكان العالم، تصبح إمكانية إضافة أية أرض نادرة بازدياد. وبحلول 2050 يُتوقع أن يتجاوز عدد سكان العالم 9 بلايين شخص بحسب تقرير الفاو لعام 2009 المعنون «كيف تغذي العالم في عام 2050»، وهذا يعني أننا نحتاج إلى تقديم غذاء لـ 2.3 بليون شخص إضافي. إضافة إلى ذلك، وبسبب زيادة استهلاك اللحوم ومتوسط تناول الطاقة، فإن مقدار الغذاء الذي يحتاجه العالم لتلبية الطلب سوف يكون أكبر بشكل غير متكافئ من الـ 34%، وهي الزيادة المتوقعة لعدد السكان (انظر «تحدّيات النمو»). ويقول دوبوا إننا نحتاج إلى 70% زيادة في إنتاج الغذاء في العام 2050.

وحتى قبل هذه النقطة، تتنبأ إدارة معلومات الطاقة الأمريكية أنه سيكون هناك طلبٌ إضافيٌّ على الأراضي لصالح قطاع الطاقة. يتوقع أن يزداد استهلاك الطاقة في الدول النامية في عام 2035 بما نسبته 84%، ويُتوقع أن يأتي حوالي ثلث الوقود الإضافي من الوقود الحيوي.

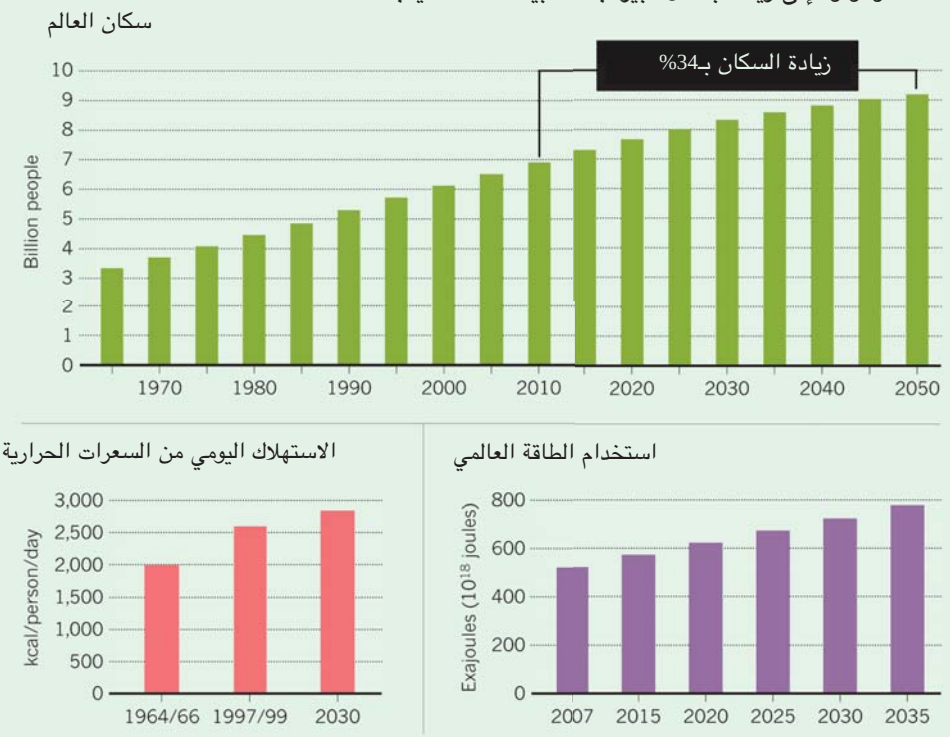
ستصبح الأراضي المستخدمة لكلٍّ من إنتاج الغذاء والوقود نادرة ما لم تتغيّر الممارسات الزراعية. نظرياً، يمكن أن يتضاعف مقدار الأراضي القابلة للزراعة مرتين خلال العقود الأربعة القادمة. ولكن الفاو تتوقع أن الزيادة الصافية على الأرجح تكون فقط 5%، لأن الدول المتقدمة تزيد بشكل شائع من تحويل الأراضي الزراعية لتلبي متطلبات التوسع العمراني. ولذلك يقول دوبوا إنه يجب زيادة إنتاجية المحاصيل لزيادة الإنتاجية الزراعية.

ولكن النزعة عبر نصف القرن الأخير ليست مشجعة: بالرغم من أن متوسط الإنتاج العالمي يزيد، فإن معدل النمو السنوي انخفض من 3.2% في العام 1960 إلى 1.5% في العام 2000. ويرى كروت أن الإنتاجية لا تزال بازدياد، ويقول: إن هناك مجالاً واسعاً للتحسين. تتمثل إحدى الطرق بإغلاق الفجوة الإنتاجية بين البلدان. فعلى سبيل المثال، هناك أجزاء كبيرة من إفريقيا غير مستثمرة كما ينبغي، ويعود ذلك في الأساس إلى نقص في البنية التحتية. يقول كروت: «إذا لم يستطع المزارعون إيصال منتجاتهم إلى السوق، فإنهم سيزرعون فقط احتياجاتهم لتغذية أسرهم». إن للزراعة المؤدية إلى تنمية الوقود الحيوي في هذه المناطق فرصة كبيرة في إحداث تأثير إيجابي كبير على كل من البنية التحتية والمنتجات الزراعية.

يمكن أن يساعد التعديل الوراثي أيضاً في تحسين الإنتاجية الزراعية، وليس فقط في تطوير محاصيل مقاومة للآفات –التعديل المستخدم اليوم. يقول كروت: «يوجد في الأفق ذرة متحملة للجفاف»، تستطيع النجاة تحت ظروف أقسى وتحتاج إلى ماءٍ

تحدّيات النمو

من الآن وحتى العام 2050 يتوقع أن يزيد عدد سكان العالم إلى أكثر من 9 بلايين إنسان. سوف يستهلك كل شخص أيضاً سعرات حرارية أكثر كل يوم ويستعمل طاقة أكثر لتحريك حياته. سوف يحتاج تزويد الغذاء والوقود إلى زيادة بشكل كبير جداً لتلبية هذه الاحتياجات



أقل، ويمكن أيضاً تضمين تحمل الملوحة. يمكن أن تصبح أراضٍ أكثر قابلة للحياة مع مثل هذه المحاصيل، وأن تستطيع النباتات العيش في المناطق التي تزيد فيها مستويات البحر من ملوحة مياه الشرب. وأكثر من ذلك، يقول كروت إن بعض المحاصيل مثل الذرة الصفراء لها آليات أكثر كفاءة بالتمثيل الضوئي من القمح والذرة ويمكن أن «تُستعار» هذه الآليات العالية الكفاءة من نوع نباتي واحد وتوضع في أنواع أخرى.

الجيل القادم

على الطرف الآخر من المعادلة في مجال الممارسات الزراعية المحسّنة، يمكن أن يتغلّب الوقود الحيوي على العديد من القضايا التي تسبَّبت في التنافس بين الإيثانول الحيوي والديزل الحيوي من جهة وإنتاج الغذاء من جهة أخرى. فباستعمال كامل النبات وليس فقط الأجزاء القابلة للأكل منه، تصبح أنواع مختلفة كبيرة من الكتلة الحيوية متوفرة كمواد أولية أو لتغذية الحيوان. هناك كمية من الطاقة مخزنة في بقية النبات أكبر من الطاقة المخزنة في الحبة، ولكن الوصول إليها أصعب، هذا ما يقول عالم الوراثة كريس سمرفيل الذي يدير معهد علوم بيولوجيا الطاقة في جامعة كاليفورنيا، بيركلي. وتبعاً لذلك، فإن هذه العملية هي حالياً أكثر تكلفة من إنتاج الإيثانول من الذرة الصفراء.

لتصنيع وقود فيراري من القش، استعمل إيوجين أنزيماً من فطر «عفن الغابة Trichoderma reesei» . ينشر الفطر هذا الأنزيم ليستخلص المغذيات من الأشجار، عن طريق هضم الليغنين، أحد المكونات الرئيسة من الليغنوسيللولوز، الجزء المتخشب من النبات. ولكن البحث لا يزال جارياً لإيجاد مزيد من الأنزيمات الفعّالة. إن أنزيمات تصنيع الكحول من الذرة ذات فعالية كبيرة وتكلف سِنْتَيْن أمريكيين فقط لكلّ غالون أمريكي، بحسب ما يقول سومرفيل. تكلّف الأنزيمات التي تحطم الليغنوسيللولوز حوالي 13-25 سِنْتاً أمريكياً لكلّ لتر، وهنا يكمن التحدي. ويقول سومرفيل: «في معهد علوم حياة الطاقة نريد أن نخفض الكلفة إلى ما يقارب النصف».

من الممكن هندسة النباتات بالليغنين الذي يعدّ أسهل بالتحطيم ولكن ذلك يحتاج إلى طريق طويل، هذا ما يقول سومرفيل. هناك فكرة واعدة أكثر تتمثل باستعمال التربية المنتقاة أو التحاليل الوراثية لتحديد النباتات العالية الطاقة. درس تشارلز وايمان، وهو مهندس كيميائي وبيئي في جامعة ريفرسايد، 47 ضرباً من أشجار الحور لتحديد أيها أكثر قابلية للتخلي عن السكر من الليغنين وما هو الشيء الذي يجعل ذلك ممكناً. في شهر آذار/مارس عام 2011، ذكر فريقه أن غلة السكر يمكن أن تتراوح من 28% فقط وحتى 92% من القيمة العظمى النظرية، وذلك وفقاً ليس لمحتوى الليغنين فحسب بل لبنيته أيضاً.

وهكذا، إذا أمكن جعل هذه التقانات أقرب للكمال وتمّ تخفيض عملية تصنيع أجزاء نفايات النباتات (أو البقايا)، فإنها يمكن أن تنحّي جانباً قضية (إشكالية) الغذاء مقابل الوقود. على سبيل المثال، يمكن حصاد الحبوب من الذرة الصفراء للغذاء وتحويل بقية النبات إلى وقود.

بالرغم من روعة هذه الطريقة المزدوجة الاستعمال من حيث المبدأ، إلا أنها من حيث التطبيق معقدة بشكل يثبط الهمّة، يقول

دوبوا: «تبدو كحلّ ربح ربح، ولكن التنافس على استعمال المتبقيات هو قضية كبيرة. إن لها حاجة كشكلٍ رخيصٍ من السماد العضوي».

في العام 2009، أظهر بحث قام به غاي لافوند، عالم زراعة في المؤسسة الكندية للزراعة والزراعة الغذائية في إنديان هيد، أنه إذا نُزع أكثر من 40% من القش من الأرض ولم تُفلَح بعد ذلك، فإن نوعية التربة ستتدهور. أعطت منشأة إيوجين الإرشادية بالمتوسط 256000 لتر من الإيثانول سنوياً منذ افتتاحها عام 2004، بالرغم من وجود إمكانية لها سنوياً بأكثر من 1.9 مليون لتر. ترجع إيوجين هذا النقص إلى كونها منشأة اختبار ولا تعمل بشكل متواصل. ولكن إذا كانت شيل (التي تملك جزئياً الشركة) ستبدأ بإنتاج الإيثانول من القش على مستوى تجاري، فإن هذا سيحتاج 20-30 طناً من القش يومياً لتغذية الخط، وتأمين هذا الكم يمكن أن يكون صعباً.

تتنبأ ليسير بأن «التشديد الرئيس سيتأتى ليس من الاستعمال المزدوج ولكن من المحاصيل المكرّسة لهذا الغرض». وهي تقصد بذلك أنواع النباتات السريعة النمو التي تُحصد كلياً لإنتاج الوقود الحيوي. ولتجنيب محاصيل الطاقة من منافسة محاصيل الغذاء على استخدام الأراضي، تقول إن هذا يحتاج إلى اختيار دقيق للأنواع. فالأنواع السريعة النمو من أشجار الصفصاف أو الحور، على سبيل المثال، يمكن أن تُزرع على ترب ملوثة، وذلك يساعد أيضاً في تخفيض تلوث الترب. تحول هذه الأشجار ثنائي أكسيد الكربون إلى كتلة حيوية بشكل أسرع من معظم النباتات الأخرى –وهذه الخاصية يجب أن تترجم إلى غلة عالية من الكتلة الحيوية. ربما تكون الأعشاب المعمرة مثل Miscanthus وswitchgrass (Panicum virgatum) مرشحة أفضل. تستخدم هذه النباتات ماءً أقلّ وتخزن مغذياتها في جذورها، التي تبقى في التربة لمحصول السنة التالية. تقول ليسير: «إن الذي تحصده فقير من الناحية الغذائية، وهذا يعني أنه لا حاجة للتسميد»، يمكن أن تنمى المحاصيل المعمرة أيضاً على أراضٍ غير مناسبة للمحاصيل المزروعة. في الحقيقة، يقول سومرفيل، يجب تحويل الأراضي المهملة إلى حقول طاقة للإيثانول الحيوي باستعمال نباتات متحملة للجفاف مثل الصبار الأمريكي، وهو أحد الأنواع التي تُستعمل لصنع مشروب التاكيلا.

يقول دوبوا إن الوقود الحيوي من الجيل الثاني «له عوائقه». إنه لا يزال بحاجة إلى أرض، وحتى النباتات التي تحتاج إلى حدٍّ أدنى من المدخلات الإضافية (تسميد وري) ستنافس المحاصيل الغذائية على بعض الموارد. وقد بدأ الجيل الأول من الإيثانول الحيوي منذ أكثر من نصف قرن. ويقول دوبوا أيضاً: «إن إنتاج الجيل الثاني من الوقود الحيوي سيحتاج خمس إلى عشر سنوات قادمة».

لقد بدأت العملية. تبني شركة البترول البريطانية BP معملاً في مقاطعة كاونتي الجبلية لإنتاج الإيثانول السيللولوزي بتكلفة 400 مليون دولار أمريكي. ستستخدم هذه المنشأة قصب السكر العالي الطاقة المعروف بـ «قصب الطاقة»، وأيضاً switchgrass أو Miscanthus من المنطقة، لتوليد حوالي 136 مليون لتر من الوقود سنوياً، وهذا بتعريف قسم الطاقة الأمريكي يجعلها مصفاة حيوية على مستوى تجاري. قد يبدو هذا كثيراً، ولكنه تافه بالمقارنة مع الـ 1.3 مليون لتر من الغازولين يومياً الذي يقول سومرفيل إن مصفاته المحلية تنتجه.

بالرغم من أن الأجيال المتقدمة من الوقود الحيوي قد تأخذ بعض الوقت، إلا أنها في الطريق. بغض النظر عن ما إذا كان الجيل الثاني من الوقود الحيوي سينتهي به المطاف في خزانات وقودنا، وخزانات سيارات سباق الفورميولا1 أو الجيل الثالث أو الرابع الذي سيأتي في صحوته، سيؤدي الوقود الحيوي دوراً مهمّاً في تلبية احتياجات العالم للطاقة. ومن خلال التقانة، فإن كلاً من إدارة الأراضي المهمة واستخدام الموارد المدروس سوف يسمحان لنا بامتلاك الوقود وأكله.

دونكان غراهام راو هو كاتب علمي يعيش في برايتون في المملكة المتحدة.

نُشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol 474 23 June, 2011،
ترجمة د. نزار ميرعلي، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

مستقبلٌ واعدٌ للطاقات المتجدّدة

تتوقع لجنة الأمم المتحدة نمواً كبيراً في الطاقة المتجدّدة، لكن السياسات فقط هي التي ستملي مقدار هذا النمو.

خلال عقود، والناس يزوِّدون بالطاقة عالماً نامياً اعتماداً على استخلاص صخور من الأرض غنية بالكربون وعلى الخُثّ والسوائل وحرقها بكميات هائلة، لكن ذلك الاتجاه في طريقه نحو التغيير. فالتقرير الذي أصدره فريق حكومي دولي فيما يتعلق بتغيّر المناخ (IPCC) في 9 أيار/مايو ضمن توصيات لقاء أبو ظبي، يوحي بأنه رغم التباطؤ فإن التوجّه نحو محاصيل الطاقة المتخصّصة وضوء الشمس والرياح ومصادر الطاقة المتجدّدة الأخرى سيكون أمراً حتمياً وسيميّز العقود الأربعة القادمة.

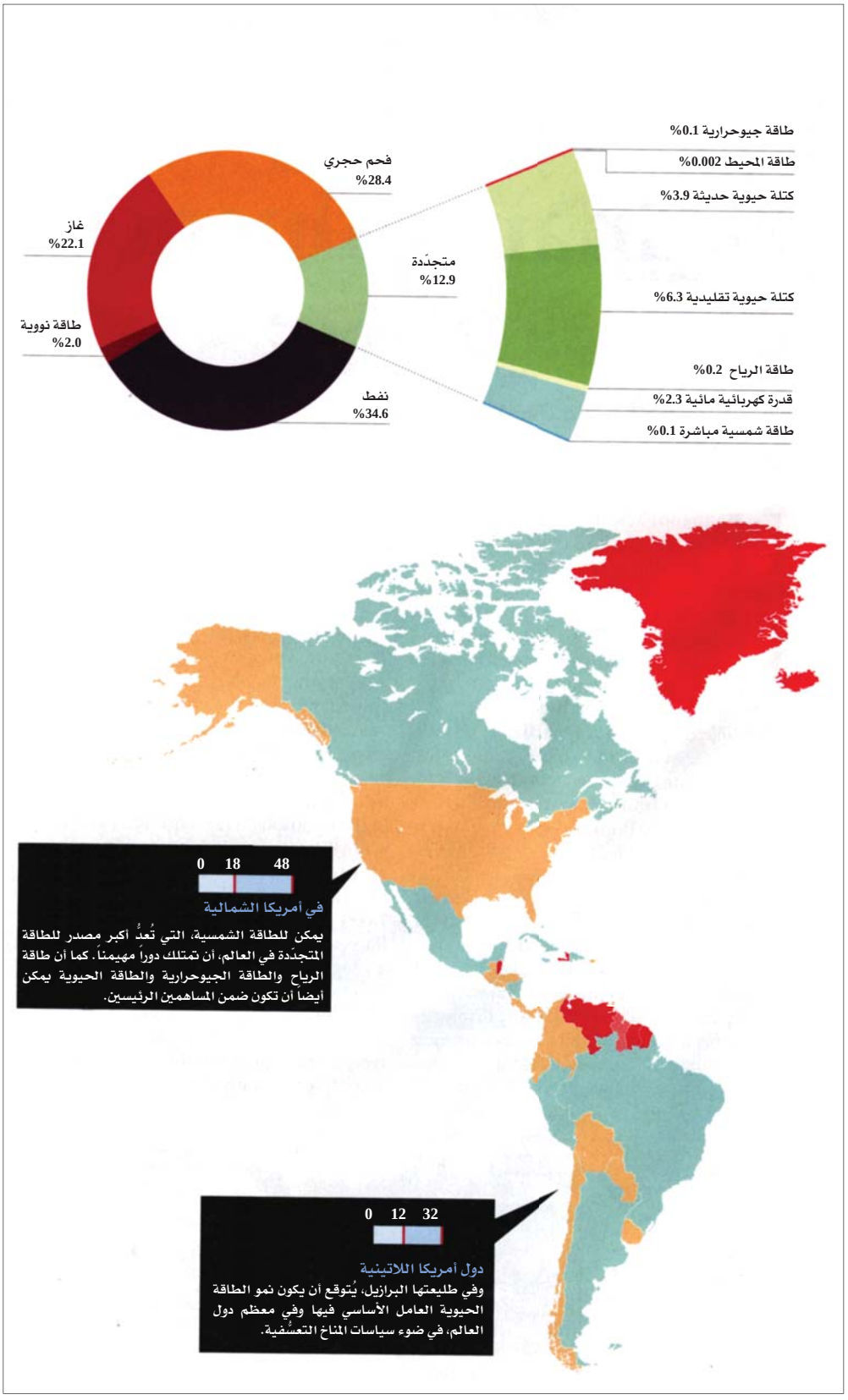
وبالإضافة إلى مسح عمل منشور حول إمكانيات الطاقة المتجددة، من حيث الإنتاج والاقتصاد والسياسة، فقد أجرى فريق (IPCC) عرضاً اقتصادياً واجتماعياً مفصّلاً عبر 164 سيناريوهاً، مع أو بدون سياسات مقصودة (موجّهة) لتخفيض انبعاثات غاز الدفيئة. ويعتمد مدى تفاوت النمو ونوعه بشكل ملحوظ على عوامل مثل الكلفة والتقدم التقاني والسياسات الحكومية المقصودة لتخفيض انبعاثات غاز الدفيئة. يقول أوتمار إدنهوفر O. Edenhofer، رئيس المجموعة العاملة على التخفيف في فريق IPCC: «سيكون للطاقات المتجدّدة مستقبلٌ واعدٌ حتى بدون سياسات المناخ، لكن ذلك لن يقود بالضرورة إلى تخفيض الانبعاثات».

تشكّل مصادر الطاقة المتجدّدة، باستثناء احتراق الكتلة الحيوية التقليدية مثل الخشب، 7% تقريباً من الإنتاج العالمي للطاقة (انظر ملحق «شريحة صغيرة»)، ويقدّر ملخّص مجموعة العمل لصنّاع السياسة أنه بحلول العام 2050 يمكن أن يرتفع الإنتاج بين ثلاثة أضعاف وأكثر من عشرة أضعاف المستوى الحالي. ليس هناك تقانة متجددة يُتوقع لها أن تسيطر، غير أن الطاقة الحيوية، والطاقة الشمسية وطاقة الرياح ستكون مهمّة في المزيج الطاقي (انظر ملحق «الثلاثة الكبار»). ويمكن لهذا التحول تجاه الطاقة المتجدّدة أن يخفّض إصدارات غاز الدفيئة المتراكمة بمقدار 220–560 جيغا طن من ثنائي أكسيد الكربون، من الإجمالي المقدّر بـ 1530 جيغا طن.

وفي جميع السيناريوهات، سيواصل الوقود الأحفوري امتلاك دور مهمٍّ لعقود قادمة. ويؤكد التقرير أن التكاليف المنخفضة للطاقة المتجدّدة ستؤدي إلى انتشار تدريجي للطاقة النظيفة، لكن الفحص الدقيق لمنظومة الطاقة العالمية يشكّل مهمّة جبّارة (انظر ملحق «كوكب متجدّد»). ويقول فريق IPCC بأنه ليس هناك حواجز تقنية تمنع انتشاراً واسع النطاق لمنظومة الطاقة المتجدّدة على مدى العقود القليلة القادمة. ولا يُظهر أيٌّ من السيناريوهات الأربعة الرئيسة استغلال الإنسان أكثر من 2.5% من الطاقة المتجدّدة التي يمكن التزود بها بسهولة.

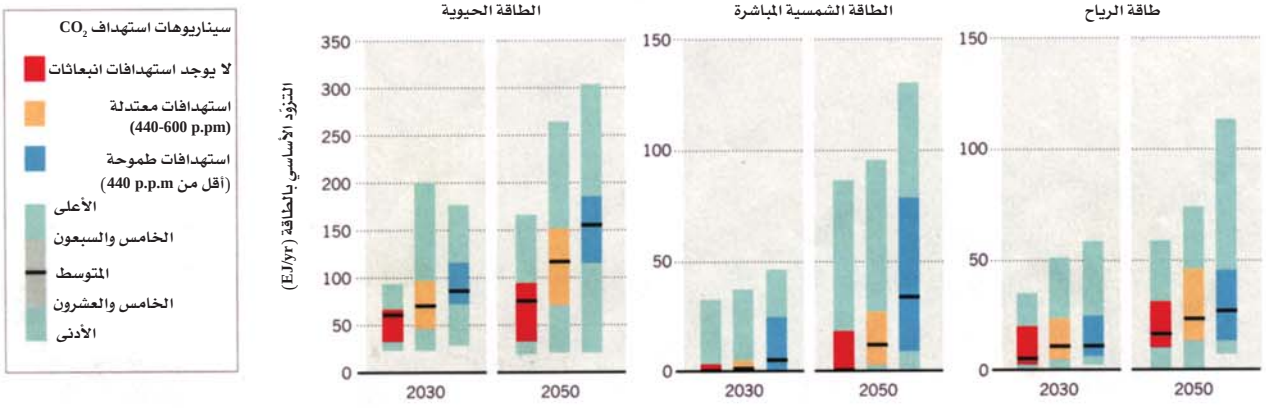
ملحق: شريحة صغيرة

استهلك العالم 492 إكسا جول (EJ) تقريباً (10^{18} جول) من الطاقة في عام 2008، وأنتجت الطاقة المتجدّدة 12.9% من إجمالي الاستهلاك، وأقل من 7% إذا تمّ استثناء احتراق الكتلة الحيوية التقليدية.



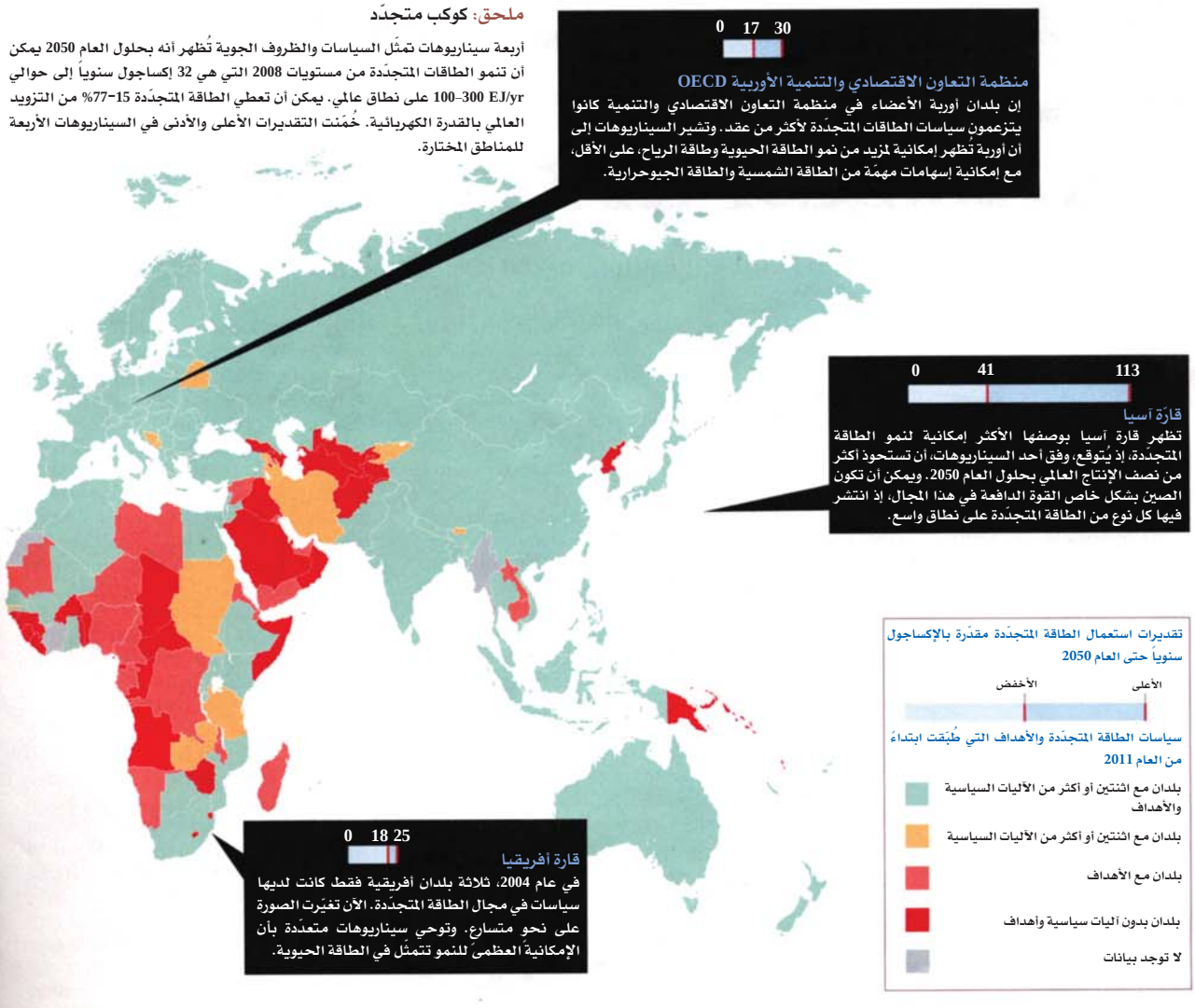
ملحق: الثلاثة الكبار

في ضوء سيناريوهات الانبعاثات التي دُرست من قبل الفريق الحكومي الدولي فيما يتعلق بتغيّر المناخ، فإن نمو الطاقة المتجدّدة في المستقبل يتفاوت اعتماداً على مستوى الطموح في إيقاف ارتفاع تراكيز ثنائي أكسيد الكربون في الجو. إذ ارتفعت هذه التراكيز إلى أكثر من 390 جزءاً في المليون (p.p.m) في عام 2010. يبدو أن الكتلة الحيوية والطاقة الشمسية والقدرة الكهربائية المولّدة بطاقة الرياح تبقى من النماذج الأساسية للطاقة المتجدّدة.



ملحق: كوكب متجدّد

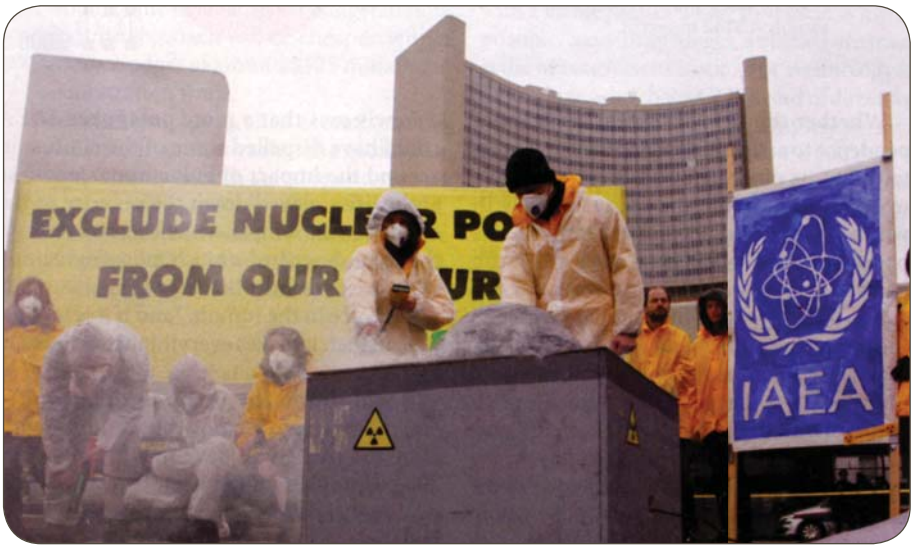
أربعة سيناريوهات تمثّل السياسات والظروف الجوية تُظهر أنه بحلول العام 2050 يمكن أن تنمو الطاقات المتجدّدة من مستويات 2008 التي هي 32 إكساجول سنوياً إلى حوالي 100–300 EJ/yr على نطاق عالمي. يمكن أن تعطي الطاقة المتجدّدة 15–77% من التزويد العالمي بالقدرة الكهربائية. خُمّنت التقديرات الأعلى والأدنى في السيناريوهات الأربعة للمناطق المختارة.



نُشر هذا الخبر في مجلة Nature, Vol 473, 12 May 2011، ترجمة حسان بقلة ، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الوكالة النووية تواجه دعوات للإصلاح

الوكالة الدولية للطاقة الذرّية تحت المجهر .



إن دور الوكالة الدولية للطاقة الذرّية كمدافع عن الطاقة النووية جعلها هدفاً للاحتجاجات.

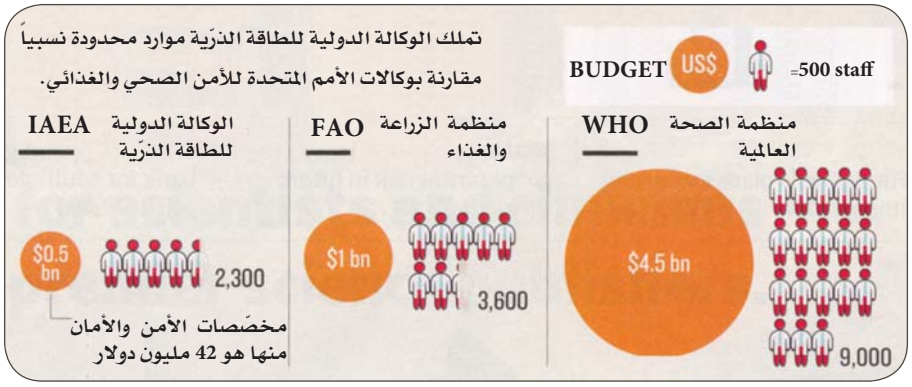
قد يتوقع المرء أن الوكالة الدولية للطاقة الذرّية IAEA، من اسمها، يجب أن تكون القوة الرئيسة في الاستجابة لمقتضيات أزمة فوكوشيما النووية في اليابان. لكن أداءها كان بطيئاً، ومشوشاً في بعض الأحيان، ووجهت نداءات للوكالة –وهي منظمة مستقلة تقدم النصح للأمم المتحدة– لكي تأخذ دوراً وقائياً في الأمان النووي.

سيجتمع وزراء الدول المشرفة على الوكالة الدولية للطاقة الذرّية في حزيران/يونيو في المقر الرئيس للوكالة في فيينا لمناقشة الدروس المستخلصة من هذه الحادثة النووية. ومن المتوقع أن تكون مسألة إعادة تنظيم عمل الوكالة في حالة الطوارئ مدرجة على جدول الأعمال المطروح في هذا الاجتماع. «سوف تعترف الوكالة الدولية للطاقة الذرّية بأنها نفسها لم تحم مجدها»، هذا ما يقوله جيم أكتون James Acton الذي يدرس السياسة النووية في مركز كارني إندومينت Carnegie Endowment للسلام الدولي في العاصمة واشنطن. ولكن الخبراء النوويّين يقولون إن التفويض المعقّد للوكالة والقيود التي تفرضها الدول الأعضاء فيها تشكل عوائق كبيرة لأي إصلاحات أساسية.

يوافق الخبراء الذين هم على اتصال مع مجلة نيتشر Nature أنه على الوكالة الدولية للطاقة الذرّية أن تتعامل مع الطوارئ بشكل أسرع مما جرى في اليابان. وفقاً لاتفاقية العام 1986، فإن الدول الأعضاء تلتزم بأن تقدم تفاصيل مؤكدة لا ريب فيها لأيّة حوادث نووية للوكالة التي لديها مركز حوادث وطوارئ جاهز للاستجابة. ووفقاً لهذا، فإن الوكالة الدولية للطاقة الذرّية كانت على تواصل مع رقابيين نوويين يابانيين خلال ساعات من وقوع الزلزال وأمواج تسونامي اللذين تسبّبا بتوقف العديد من المفاعلات في محطة فوكوشيما للطاقة النووية في الحادي عشر من آذار/مارس عام 2011. قامت الوكالة، بعد الانفجار الضخم الذي هزّ في اليوم التالي وحدة المفاعل رقم 1، بنشر سلسلة من البيانات الموجزة على موقعها على الإنترنت عندما تطورت الحالة. ولكن المسؤولين الرسميين للوكالة الدولية للطاقة الذرّية لم يعقدوا مؤتمراً صحفياً حتى الرابع عشر من آذار/مارس، كما أن الخبراء التقنيين لم يبدؤوا بالتقييم على أرض الواقع إلا بعد مرور أسبوع كامل.

وبالرغم من بدء الوكالة بإصدار بيانات نظامية، فإن هذه البيانات كانت في الغالب مجموعة من درجات الحرارة والضغوط وقراءات الإشعاع غير المقنعة، ضمن نصوص مقتضبة. يختلف أداء الوكالة الدولية للطاقة الذرّية في هذا الصدد بشكل كبير عن أداء المجموعات الأخرى للأمم المتحدة، كمنظمة الصحة العالمية (WHO) الكائنة في جنيف في سويسرا. أصدرت منظمة الصحة العالمية، خلال الأسابيع الأولى من الأزمة النووية لليابان، بيانات واضحة ومطمئنة فيما يتعلق بالأخطار الصحية

المتشكّلة لدى المواطنين. بعد ارتفاع تركيز نظير اليود 131 المشع إلى مستويات مقلقة في مياه الشرب في طوكيو، صرّحت المنظمة بشكل واضح أن «لا أخطار صحية مباشرة» على البالغين في المدينة. أما الوكالة الدولية للطاقة الذرّية، فإنها على العكس، كرّرت على موقعها وببساطة البيانات الرسمية الصادرة عن السلطات اليابانية.



ويقول أولي هينونين Olli Heinonen وهو الخبير النووي في جامعة هارفرد في كامبردج في ولاية ماسوتشوسيتس Massachusetts: «ينبغي عليها أن تعطي تقييماتها الخاصة المستقلة مستخدمة كل المعلومات المتوفرة، وإذا لم تكن المعلومات متوفرة فإن الوكالة ينبغي أن تسعى إليها بدأب».

إن السعي وراء المعلومات وسط أزمة نووية ليس أمراً سهلاً. «إذا قلت لمشغل مفاعل: «إن مفاعلك ينصهر، لا تنسَ ملء الاستمارة وإرسالها بالفاكس إلى الوكالة الدولية للطاقة الذرّية، فإنه لن يفعل»، هذا ما يقوله أندرياس بيرسبو Andreas Persbo، الاختصاصي في مراقبة الأسلحة في VERTIC، وهي منظمة مستقلة كائنة في لندن تتحقق من الامتثال للاتفاقيات الدولية؛ ولكنه يضيف أنه إذا كانت الدول الأعضاء مستعدة، فإنه يمكننا استعمال منظومة مؤتمتة تقوم بإرسال معلومات قيّمة عن الشروط في المحطة النووية وفي الوقت المناسب.

إن إعادة بناء الوكالة الدولية للطاقة الذرّية على شاكلة أكبر المجموعات الفعّالة كمنظمة الصحة العالمية، أو منظمة الزراعة والغذاء التابعة للأمم المتحدة، لن تكون مهمّة بسيطة. وليست الوكالة الدولية ذات ميزانية أقل من ميزانية المنظمات العالمية الأخرى فقط، ولكنها أيضاً ذات وظائف متعددة ومتناقضة فيما يظهر. وعندما تأسست الوكالة في العام 1957 كانت تضم 151 دولة أعضاء، تشكل 35 دولة منها مجلس الحكام الذي يوصي بالميزانيات والسياسات للدول الباقية. الوكالة هي المتعهدة للطاقة النووية، ولكنها في الوقت نفسه تحذر من انتشار التقانة التي يمكن أن تُستعمل في مجال الأسلحة النووية. تضع الوكالة الدولية للطاقة الذرّية معايير عالمية طوعية للوقاية في محطات الطاقة النووية المدنية، وتقدم المساعدة في أوقات الأزمات.

وعلى العكس، فإن لدى منظمة الصحة العالمية ما يشفع لها لكونها تزود بشكل واضح بالمعلومات أثناء تفشي الأمراض التي تنتشر عبر الحدود. هذا يعني أن الشعوب في المنطقة المهددة ستكون تواقة إلى تقييم الخبراء، يقول دونكان سنيدال Duncan Snidal، الخبير في العلاقات الدولية في جامعة أكسفورد في المملكة المتحدة. مقارنة بذلك فإن الوكالة الدولية للطاقة الذرّية، تقوم بسبر المساعي النووية للدول الأعضاء، بما فيها أيّة برامج تسلح غير معلن عنها، ولذلك يعارضون منحها سلطات أوسع.

يظهر الدور الرقابي للوكالة الدولية للطاقة الذرّية أكثر ما يظهر من خلال سلّم الحوادث الإشعاعية والنووية الدولية الخاص بها. وضعت الوكالة في العام 1990 سلّم الشدة (الصرامة) العددي ليسهل الاتصال السريع فيما يتعلق بالحوادث النووية. لكن، وبشكل مستغرب، فإن الرقابيين الوطنيين هم الذين يقومون بتقدير الطوارئ الخاصة. صنّفت اليابان في البداية أزمة فوكوشيما في المستوى الخامس من خلال التعامل مع كل مفاعل في المحطة كحادث منفصل، ولكن بعد الحادثة بشهر واحد قامت بجمع المفاعلات واعتبرتها حادثاً واحداً ورفعت التقدير إلى 7، وهو أعلى مستوى في السلّم. أحدث هذا التغيّر المفاجئ ارتباكاً في أوساط الصحافة وأثار قلقاً لدى الناس، وأظهر عدم ملاءمة السلّم، هذا ما يقوله جيفري لويس Jeffery Lewis، وهو مدير برنامج الحدّ من الانتشار النووي في شرق آسيا في مركز جميس مارتين James Martin لدراسات الحدّ من الانتشار في العاصمة واشنطن.

إن قدرة الوكالة في الحصول على استقلالية أكبر لتقييم الحوادث النووية تبقى عرضة للشك، إلا أن سلّم الطوارئ سيتم الرجوع إليه وفق هذا السبيل المشوّش الذي يستعمل فيه. دعا بعض المعلّقين أيضاً إلى وكالة دولية للطاقة الذرّية تكون أقوى وباستطاعتها أن تفرض معايير الأمان العالمي أو أن تسيطر

في وقت الأزمات، ولكن جيمس أكتون يصف هذه الأفكار بـ «المجنونة». بدأت الدول تشعر أن «الأمان ليس مسؤوليتنا»، يقول أكتون. إضافة إلى ذلك، إن مشغّلي المحطات النووية، بالنسبة للتعامل مع الأزمات في المنشآت، هم في مكان أفضل من الهيئات الغريبة. يشك جيمس أكتون أن الدول، في أيّة حادثة نووية، ستتخلى عن الإشراف على مفاعلاتها ومراقبتها. «الأمر برمته وهمي» هذا ما يقوله جيمس أكتون.

يقول جيفري لويس إن صراحة أكثر للوكالة الدولية للطاقة الذرّية من شأنها أن تبدّد بعضاً من التشويش فيما يتعلق بتأثير حادثة فوكوشيما. على سبيل المثال، قلّلت السلطات الرسمية اليابانية من شدة الحادثة، في حين أن الرقابيين في الولايات المتحدة وصفوا المشهد بترويع أكثر بكثير ووفقاً لسيناريو الحالة الأكثر سوءاً.

ولكن إذا كانت الوكالة الدولية للطاقة الذرّية هي أحد الأصوات في هذه المعمعة، «وإذا كانت غير كفوءة، فإنها ستجعل أي شيء أكثر سوءاً»، هذا ما يضيفه جيفري لويس.

إن تعيين الكيفية التي تكون فيها الوكالة الدولية للطاقة الذرّية أكثر استقلالاً في الأزمات المستقبلية سيكون أمراً جوهرياً يقع على عاتق الدول الأعضاء.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 472, 28 April 2011.

ترجمة علي غانم ، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

رئيس الأمان النووي يدعو للإصلاح

صرح لاورنت ستريكر L. Stricker ، رئيس الاتحاد العالمي للمشغّلين النوويين فانو (WANO) بأن الكارثة التي أصابت محطة فوكوشيما دايتشي اليابانية ستشكل منعطفاً في تاريخ الصناعة النووية التي يعتقد الكثير من الخبراء أنها أصبحت راضية عن نفسها بالنظر لأمان مفاعلاتها النووية. ويعمل منتدى فانو العالمي المتمركز في لندن منذ تأسيسه عام 1989 على جمع جميع مشغّلي المحطات النووية والحكومات والخبراء النوويين بهدف الارتقاء بمستوى أمان التشغيل في الصناعة النووية. ستريكر مهندس نووي ومدير سابق لإحدى المحطات النووية، كما يعمل كبير مستشارين في القضايا النووية لدى شركة كهرباء فرنسا (EDF).

هل ستدفع حادثة فوكوشيما الاتحاد العالمي للمشغّلين النوويين WANO إلى تغيير مواقفه؟

يُعنى فانو منذ تأسيسه باستخلاص الدروس المستقاة من تشغيل المفاعلات دون الاهتمام بقضايا تصميم المفاعلات، لكني أعتقد أن الوضع سيتجه مستقبلاً نحو قيام المشغلين بتغيير تصاميمهم اعتماداً على تحليل حوادث الماضي.

ليس من السهل بشكل عام تصنيف أحد تصميمات المفاعلات على أنها أكثر أماناً من الأخرى، بل يجب تقييم حالة كلّ مفاعل

بشكل مستقل من حيث الإنشاء والموقع. فعلى سبيل المثال، لا تكافئ الخطورة التي يتعرّض لها مفاعل مهدد بالتسونامي تلك التي يمكن أن يتعرّض لها مفاعل من التصميم نفسه في مكان آخر. كما أن قرب المنشأة من السكان له أهمية بالغة، فاليابان كبقية الدول الأخرى تمتلك العديد من المواقع النووية الضخمة القريبة من التجمعات السكانية الكثيفة، ما يتطلّب بدوره تحقيق هوامش أمان أعلى. وأعتقد أنه بعد حادثة فوكوشيما سيكون لزاماً على منهجية تقييم ومراجعة أمان المنشآت أن تراعي في الوقت نفسه خطر الحوادث على مفاعلات مختلفة في الموقع نفسه والوقت نفسه. إذاً غالباً ما كانت الخطط الحالية قد طورت بناءً على حادث معين لمفاعل واحد في الموقع. ومن جهة أخرى، إننا نحتاج أيضاً للتعامل مع وقائع تتجاوز تلك التي صُمِّم المفاعل لمجابهتها، وأن نختار الطريق الأمثل للتعامل مع حوادث محدّدة من قبيل فقدان التغذية الكهربائية وفقدان إمكانية التبريد، كما حدث في فوكوشيما دايتشي، وهو أمر يتطلّب ضرورة امتلاك وسائل ومعدات الطوارئ المناسبة والالتزام بتدريبات الطوارئ المنتظمة التي يُستحسن أن تشمل السكان أيضاً. علماً أن هناك بعض الدول التي تقوم بتطبيق ذلك بشكل جيد، في حين لا تزال دول أخرى تعمل في هذا الاتجاه.

في تشرين الأول/أكتوبر القادم سيقوم فانو بعقد اجتماع في الصين يضم جميع المدراء التنفيذيين لجميع المشغلين النوويين بهدف مناقشة الدروس المستقاة من فوكوشيما وتقييم ما إذا كان فانو يحتاج إلى إعادة النظر في دوره. ويحتاج فانو في هذا السياق أن يكون قادراً على التحقق من أن جميع الشركات العاملة نووياً تمتلك خططاً للتعامل مع الحوادث الافتراضية (غير المتوقعة).

هل كانت الصناعة مفرطة بثقتها من أن حادثاً نووياً جدياً أصبح الآن مستحيلاً؟

بالتأكيد أنا قلق من قضية الثقة المفرطة، فلقد اعتقد الناس أننا نمتلك تصاميم جيدة ومشغّلين أكفاء، كما اعتقدوا أن لدينا طرائق وسلطات أمان جيدة! لقد اعتقدوا أن كلّ شيء على ما يُرام.

هل يشوّه المقياس العالمي للوقائع النووية سجلات الأمان الحقيقية للصناعة؟

أعتقد أنك على حق، وبالفعل فإن مقياس الخطورة (Severity scale) يُستخدم بطرق مختلفة تماماً من بلد لآخر. كما أن هناك اختلافاً في الشفافية من بلد لبلد ومن مشغّل لآخر. ونطلب في فانو من الشركات الأعضاء تزويدنا بتقارير الحوادث بحيث يكون بمقدورنا تحليلها واستقاء الدروس منها وتعميمها. ويُلاحظ أن حوالي 5%–7% من محطات الطاقة لا تسجّل أية وقائع في العام كلّه. لكوني مشغّلاً أثق من أن أي جهة تقوم بتشغيل منشأة نووية لابد أن يكون لديها ما تسجله من وقائع خلال مجمل العام.

هل يمكن للمراقبة الدولية أن تحسّن مستوى الأمان؟

في اعتقادي أنه لا يوجد منشآت نووية بالقدر الكافي الذي يسمح بتقديم مساعدة عاجلة لمشغّل في بلد آخر للسيطرة على حادث ما. لكن بالنسبة للدول التي مازالت حديثة العهد بتشغيل المحطات النووية فإن مراجعة عميقة شاملة من نظير (peer review) قبل الشروع بتشغيل المحطة يمثل ضرورة لا غنى عنها، ذلك أن التجربة تؤكد أن معظم الحوادث الخطيرة تحدث على الغالب في المفاعلات الجديدة بعد إقلاعها. ويقوم فانو بإرسال فرق من 20–25 مهندساً (من منشات نووية أخرى) للعمل على مراجعة عمل المحطة الجديدة وأدائها لمدة ثلاثة أسابيع تقريباً، ثم يقوموا بعدها بتقديم تقرير سرّي. وتمتلك الوكالة الدولية للطاقة النووية برنامجاً مشابهاً يقوم بتنفيذ 5 إلى 6 مهام تدقيق ومراجعة كلّ عام. ولكن بحكم الإمكانيات الكبرى التي يمتلكها فانو، فإنه ينفّذ في كلّ عام حوالي 40 مهمّة تدقيق ومراجعة، وسأسعى في اجتماعنا القادم في الصين لاقتراح زيادة وتيرة هذه المهام. وفي حال فشل مشغّل ما بإحراز تقدم في تلك القضايا التي أشار إليها تقرير المراجعة على أنها مسائل بحاجة إلى تحسين، اقترحت بأن يُمنح فانو صلاحية أن يكون في حلٍّ من التزاماته السرية تجاه ذلك المشغّل.

إذا وقع حادث نووي خطير آخر، هل تعتقد أن الطاقة النووية ستكون قد انتهت؟

أخشى ذلك! وكما رأينا في فوكوشيما، فإن وقوع حادث في بلد ما يكون له تداعيات على جميع المشغّلين في العالم.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 472, 21 April 2011.
ترجمة د. علي حينون، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

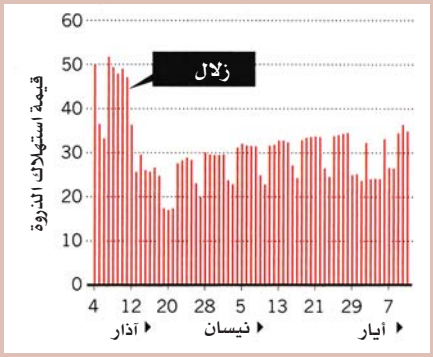
اليابان تعيد النظر في سياستها الطاقية

يبرز خيار الطاقات المتجدّدة إلى العلن بعد أن أخذت الجامعات دور الريادة في ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية .

في خضم تداعيات كارثة فوكوشيما، أجبر العجز في التزود بالكهرباء واحدة من أكثر دول العالم كفاءة في استخدام الطاقة على العمل على تقليص استهلاكها للطاقة. وقد يصبح هذا السلوك هو القاعدة بعد أن أعلن رئيس الوزراء Naoto Kan (ناوتو) كان مؤخراً تأجيل الخطة المقرّرة عام 2010 والتي كانت تطمح لبناء 14 مفاعلاً نووياً خلال العشرين سنة القادمة.

تقليص الطاقة الكهربائية

تستهلك جامعة طوكيو حالياً طاقة كهربائية أقل من 30% مما كان عليه الحال قبل كارثة زلزال 11 آذار/مارس.



ومع تداعي السياسة الطاقية اليابانية، فإن دعم خيار الطاقات المتجدّدة وتحسين كفاءة الطاقة وحفظها يقدّم فرصة مواتية لمواجهة الموقف الجديد. لكن اعتماد هذه الإجراءات سوف يؤدي إلى عجز كبير، فاستناداً إلى الخطة الطاقية السابقة، كان من المفروض أن تتضاعف استطاعة التوليد النووية كي تستطيع تغطية نصف الطلب على الطاقة الكهربائية في اليابان. ولقد كان أمام رئيس الوزراء خيارات قليلة لتغيير المسار بعد وقوع حادث فوكوشيما دايتشي إثر وقوع هزة أرضية عنيفة تبعها تسونامي في 11 آذار/مارس الماضي. حيث تنادى المتظاهرون حينها لإغلاق بعض أو جميع المحطات النووية اليابانية البالغ عددها 54. وبالإضافة إلى التخلي عن خطط بناء محطات نووية جديدة، فقد وعد كان بالاعتماد بشكل كبير على إجراءات تحسين المردود والمصادر المتجدّدة، التي كانت اليابان في ذلك الحين قد تباطأت نسبياً في تبنّيها. وقبل 11 آذار/مارس كانت قد تلبّدت غمامة سوداء فوق السياسة الطاقية اليابانية كان مصدرها وزارة الصناعة والصناعة النووية، أما الآن فهناك انجلاء في الموقف حسبما قاله تتسوناري آيدا المدير التنفيذي لمعهد السياسات الطاقية المستدامة في طوكيو الذي أوصى الحكومة باعتماد الطاقات المتجدّدة. ولقد قام المعهد بصياغة رؤية طموحة حول المزيج الطاقي لليابان؛ وقد اقترح بخصوص الخطة الطاقية لإقليم توهوكو (حيث تقع فوكوشيما) تخفيض الطلب على الطاقة والعمل حتى العام 2020 للاعتماد على المصادر المتجدّدة لتغطية الطلب في هذا الإقليم. ونظراً لكون إقليم توهوكو قد لحقت به الأضرار الكبرى بفعل الزلزال ويمتلك في الوقت ذاته كمونات كبيرة لاستغلال طاقة الرياح، فإن المعهد يعتقد أنه من الممكن إدخال الطاقات المتجدّدة بشكل سريع ما سيساعد في الوقت نفسه على خلق فرص عمل تدعم تعافي الاقتصاد المحلي. وعلى مستوى اليابان، يعتقد المعهد بأن حصة الطاقات المتجددة في المزيج الطاقي يجب أن ترتفع من 8% إلى 20% عام 2020 وصولاً إلى 100% في العام 2050؛ وهي استراتيجية تتطلّب تخفيض الطلب إلى النصف. ويقول آيدا إن ذلك مُجدٍ تقنياً لكنه يمثل تحدّياً في بعده السياسي. وقد عكف آيدا على وضع مسودة مشروع يؤمن للمؤسسات (العاملة في إنتاج الطاقة) سعراً مرتفعاً للكهرباء المولّدة من الطاقات المتجددة. وقد أقرّت هذه المسودة من قبل الحكومة بالتزامن مع 11 آذار/مارس وهي في طريقها لتصبح قانوناً.

من جهته، صرّح تاتسو أوياما، وهو مهندس في المعهد الوطني لدراسة السياسات في طوكيو كان قد نمذج سيناريوهات الاستثمارات في قطاع الكهرباء، بأن الهدف يمكن تحقيقه في إقليم توهوكو. لكنه نبّه إلى ضرورة ألاّ تصبح

البلد معتمدة على مصادر طاقية غير موثوقة، كما أشار إلى أن تضاؤل الدعم للطاقة النووية ربما ينقلب إذا تمكّنت اليابان من معالجة تبعات كارثة فوكوشيما بشكل فعّال.

في السياق ذاته أثبتت الجامعات اليابانية بأن اليابان ما يزال لديها الوقت الكافي لتنفيذ إجراءات حفظ الطاقة. فعلى سبيل المثال، استطاعت جامعة طوكيو تقليص الطلب على حمل الذروة بمقدار 30%-40% من خلال ترشيد استخدام الإنارة والمكيفات وإيقاف المصاعد غير الضرورية وإجراء التجارب ذات الكثافة الطاقية ليلاً (انظر الشكل). وقد أفاد الباحثون أن تخفيض الطاقة يجعل الحياة غير مريحة لكنه أمر قابل للتحمّل. ووفق رأي كيميائي الأعصاب هاروهيكو بيتو، فإن تقييد استخدام بعض التجهيزات خارج أوقات الذروة هو أمر واقعي وقابل للتنفيذ، لكن جدولة استخدام الباحثين للطاقة هو أمر مثبط وفيه هدر للوقت. وأثار الكيميائي إيشينا كامور إلى أن التخلّي عن التجهيزات وأنظمة الكمبيوتر قد بطّأ الأعمال البحثية، ويضيف أن اختبارنا للنقص في الكهرباء المتاحة أوصلنا إلى قناعة أنه بمقدورنا فعلاً توفير حوالي 10% من الطاقة بسهولة إلا أن نقصاً بحدود 30% سيؤثر على الإنتاجية على المدى البعيد. ويعبّر آخرون عن قلقهم من أن هذه السياسة ستثبّط عزيمة العلماء الشباب لدى إجبارهم على العمل ليلاً. ويتوقع أن يصل التحدّي إلى ذروته في أشهر الصيف الشديدة الحر، حيث ستكون الأولوية في استخدام مكيفات الهواء لمنشآت تربية الحيوانات والتجهيزات الحسّاسة، في حين سيتصبّب الأساتذة والطلاب عرقاً في غرفٍ مقيدة التكييف إلى الحدّ الأدنى. إلا أن تأرجح أوقات العمل وفترات الإجازة ستحدّ من هذا المفعول.

مع التحوّل الذي تشهده استراتيجية الطاقة اليابانية، فإن سياسات الترشيد ستكون على الغالب مهيمنة في المستقبل المنظور. ويعلق توشيو ياماغاتا، وهو أحد العاملين في نمذجة المحيطات في جامعة طوكيو وممن عانوا من تقليص وقت عمل الكمبيوتر العملاق بمقدار 30%، بالقول إن هذا الأمر قاسٍ لكن يحمل في طياته جوانب إيجابية، إذ يتيح لنا الفرصة للتفكير ملياً بأن مصادرنا ليست غير محدودة، ويضيف أن تقديراً أعمق لأهمية الطاقة يمكن أن يقود إلى تجارب أكثر أناقة، حيث سنعمل على تصميم تجاربنا بعنايةٍ وحذرٍ أكبر ونستخلص النتائج بشكل أعمق بدل الحصول على أطنانٍ من البيانات.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 473, 19 May 2011.

ترجمة د. علي حينون، هيئة الطاقة الذرية السورية.

حادثة فوكوشيما: تعلُّم الدروس

تمثل الكارثة التي وقعت مؤخراً في محطة فوكوشيما – دايتشي في اليابان أسوأ حادث نووي خلال السنوات الخمس والعشرين الأخيرة. يناقش أدوين كارتليدج ما يمكن للصناعة النووية أن تتعلمه من ذلك.

جرى الحديث في السنوات الأخيرة بشكل مكثف عن النهضة والانبعاث الجديد للطاقة النووية (nuclear renaissance)، ولدى مراجعة تاريخ إنشاء المحطات النووية يُلاحظ أن عدد ما بُني منها كان قد وصل إلى ذروته في سبعينيات القرن الماضي ببناء 25 محطة في تلك الفترة، ليتراجع بعدها هذا العدد تراجعاً سريعاً إثر حادثة ثري مايل آيلند عام 1979 ثم حادثة تشرنوبل بعد سبع سنوات من ذلك التاريخ. لكن مع تنامي قلق الحكومات بخصوص مخاطر التغيرات المناخية، والحاجة المستمرة لديها إلى تحقيق أمن التزود بالطاقة، بالتزامن مع الارتفاع المستمر في أسعار الوقود الأحفوري، فقد بدا مستقبل الخيار النووي واعداً، كونه يمثل أحد أشكال توليد الطاقة النظيفة التي لا تتسبب بانبعاث غازات الدفيئة. ومع خبو ذكرى حادثة تشرنوبل، والسعي الحثيث للوصول إلى

تصاميم مفاعلات ذات كفاءة (مردود) أفضل وسوية أمان أعلى، فقد بدا العالم في حالة فورة وانهماك لإنشاء محطات نووية جديدة. وقد كان هذا هو الحال حتى الساعة 2.46 من بعد ظهر الحادي عشر من آذار/مارس (التوقيت المحلي لليابان) حينما عصف في شمال شرق اليابان زلزال تبعه تسونامي بشدة لم يُرَ مثلها منذ أكثر من 1000 عام. في هذه المنطقة تقع محطة فوكوشيما دايتشي على بعد حوالي 225 كم شمال شرق طوكيو التي على ما يبدو أنها استطاعت تحمل هذا الزلزال الذي بلغت شدته 9.0 وفق مقياس ريشتر، وتحقق إطفاء المفاعلات الثلاثة العاملة أوتوماتيكياً لدى حدوث الزلزال. لكن المشكلة التي واجهت المحطة كانت موجة التسونامي التي تلت الزلزال ببضع دقائق. ويجدر التنويه بأن محطة فوكوشيما الواقعة على الشاطئ مباشرة تمتلك جدار حماية مصمم لحماية المنشأة من الأمواج التي يصل ارتفاعها إلى 6 أمتار، إلا أن موجة المد التي تبعت هذا الزلزال وصل ارتفاعها إلى حوالي 14 متراً، ما أدى بدوره إلى غمر المحطة كما غُمرت أيضاً محركات الديزل المخصّصة للعمل في حالات الطوارئ لتأمين التيار الكهربائي. ونتيجةً لذلك توقف تبريد قلب المفاعلات ما أدى لبدء انصهارها.

لم تكن الآثار الفورية لهذه الحادثة بتلك الخطورة التي سجلت في حادثة تشرنوبل حينما أدت التحررات الإشعاعية الهائلة آنذاك إلى قتل العشرات من طواقم التشغيل ورجال الإطفاء. أما في حادثة فوكوشيما فقد سُجلت حالتا وفاة فقط لم يكن سببهما التعرض الإشعاعي. ومع ذلك فمن الممكن أن يكون لهذه الحادثة عواقب كبيرة على المدى البعيد. وبالفعل فقد قامت في 12 نيسان/أبريل كلٌ من مؤسسة التنظيم الصناعي اليابانية، ووكالة الأمان النووي والصناعي (NISA)، برفع درجة تقييم خطورة الحادثة من المستوى 5 على المقياس العالمي للوقائع النووية إلى المستوى الأعظمي البالغ 7، وهو المستوى الذي لم يصنّف به عنده حتى الآن سوى حادثة تشرنوبل. وفي حين أن المواد المشعة الناجمة عن التحررات الإشعاعية في حادثة تشرنوبل قد تساقطت فوق أوربا، فإن القسم الأكبر من المواد المشعة المتحررة عن حادثة فوكوشيما تساقط في المحيط الهادي.

إن تقييم حادث نووي عند مستوى الخطورة 7 يعني أن هذا الحادث ذو آثار واسعة على كلٍّ من الصحة والبيئة. وبالفعل فقد أظهرت المنطقة المحيطة بموقع منشأة فوكوشيما تلوث مياه الشرب ما حذا بالحكومة اليابانية إلى توسيع قطر منطقة الإخلاء من 20 إلى 30 كم. وفي حال ثبت تساقط كميات معتبرة من السيزيوم–137، ذي عمر النصف البالغ 30 سنة، في منطقة الإخلاء هذه فإنها ستبقى

موقع محظور: هناك منطقة حماية حول محطة فوكوشيما دايتشي ربما تبقى ماثلة لسنوات لحين الانتهاء من تنظيف المفاعلات.

محظورة لعقود قادمة. وبينما سيتطلب الأمر سنوات لاستنباط دروس تفصيلية من الكارثة، بالنظر للوقت الذي سيتطلبه جعل محطة فوكوشيما آمنة بالقدر الذي يسمح بإجراء اختبارات مكثفة حول الأضرار التي لحقت بالمفاعلات، فإن الواقعة تثير أسئلة حول فكرة النهضة النووية. وسيكون لزاماً على الطاقة النووية أن تعالج الآن مسألة الأمان المتعلقة بالمحطات الحالية والمستقبلية وأن تختبر من جديد جميع الخطط المتعلقة بما يجب فعله في حالة الطوارئ النووية، وأن تنظر كذلك في كيفية تحسين إجراءات التنظيم النووي، وفوق هذا وذاك أن تعيد التفكير بجدية في طبيعة المخاطر النووية.

إن الدرس الكبير الذي يمكن تعلمه الآن هو أن هذه الحادثة كانت واحدةً من الحوادث التي اعتقد العلماء أنه من غير الممكن وقوعها، تماماً كما توقعوا في الماضي من أن حادثتي ثري مايل آيلند وتشرنوبل غير ممكنتي الحدوث، هذا ما قاله ستيف توماس أحد خبراء سياسات الطاقة في جامعة غرينتش في بريطانيا، ويضيف أن علينا اختبار مستوى خيال المصممين وأن نكون أكثر تواضعاً بخصوص مقدرتنا على التنبؤ بما يمكن أن يسير سيراً خاطئاً.

تصاميم ضعيفة

تطرح الكارثة بشكل أكثر تحديداً تساؤلات حول محطة فوكوشيما دايتشي التي كانت قد دخلت الخدمة في سبعينيات القرن الماضي كإحدى المحطات التابعة لشركة طوكيو للطاقة الكهربائية (تيبكو: TEPCO). فعلى سبيل المثال، لماذا وضعت مولدات الديزل الاحتياطية عند ذلك المستوى المنخفض؟ وألم يكن من الضروري رفع الجدار المواجه للبحر رفعاً كافياً للوقوف أمام مدّ التسونامي؟ ويعلق ميشيل غولاي، وهو مهندس نووي في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا في

مؤطر: مبدأ الدفاع في العمق، كيف رفعت المفاعلات المصممة مؤخراً سوية الأمان

تصاميم جديدة لمفاعلات تشمل مفاعل الماء المضغوط الأوربي (EPR) (يساراً) الذي طور من قبل شركة أريفا (AREVA) الفرنسية ومفاعل شركة وستنغ هاوس AP1000.

تُعدُّ المفاعلات العاملة في موقع فوكوشيما قديمة نسبياً وهي من نمط مفاعلات الماء المغلي، وللمقارنة فإن المفاعلات الحديثة تتمتع بسويات أمان أعلى. فعلى سبيل المثال، يمتلك مفاعل الماء المضغوط الأوربي المصمم من قبل شركة أريفا 4 مولدات ديزل احتياطية موزعة على 4 أبنية مستقلة ومحمية ضد الحريق والزلازل والتهديدات الأخرى. ويخفف هذا الإجراء إلى حدٍّ بعيدٍ خطورة فشل جميع المولدات دفعة واحدة عند وقوع خطر خارجي. كما أن هناك مولدين متوضعين في مكان آخر. ويمتلك المفاعل منطقة خاصة ضمن بناء المفاعل وتحت مستوى وعاء ضغط المفاعل قادرة على احتواء مصهور القلب في حال انصهاره وانسيابه نحو الأسفل. وبالمقابل يمتلك مفاعل AP1000 أنظمة تبريد طارئة تعتمد على عدد من أنظمة الأمان المستترة (المنفعلة) (passive system) التي لا تحتاج لتغذية كهربائية خارجية. كما لا تتطلب سوى تدخل بشري محدود جداً بهدف تفعيلها. ويرتكز عمل هذه الأنظمة على قيام حساسات خاصة بتحديد ما إذا كان المبرد يتدفق ضمن القلب وفق شروط التشغيل المطلوبة، وفي حال عدم تحقق ذلك تقوم خزانات كروية واقعة تحت ضغط النتروجين ومملوءة بالماء بتفريغ محتواها بفعل قوة الجاذبية كونها متوضعة فوق مستوى المفاعل. كما يوجد للحالات الضرورية خزان إضافي ضخم يقع فوق المفاعل ويتسع لحوالي 2000 طن من الماء. ويشير طوني رول ستون إلى أن خواص الأمان لمفاعل AP1000 ليست مستترة تماماً، كونها ما زالت تحتاج إلى بعض التجهيزات الكهربائية لتفعيل عمل الصمامات في حالات الطوارئ. إلا أن كمية الكهرباء البسيطة المطلوبة لذلك يمكن تأمينها عن طريق بطاريات ما يعفي من ضرورة وجود مولدات الديزل الاحتياطية، وهو ما يمثل بدوره إيجابية استثنائية في ضوء العِبَر المستقاة من حادثة فوكوشيما.

الولايات المتحدة، على ذلك بأنه ربما لم يكن مجدياً من حيث التكلفة بناء جدار بذلك الارتفاع لمجابهة حادثة نادرة بذلك القدر، ويضيف أنه ربما كان من المفيد بناء المحطة عند مستوى أعلى. وفيما يتعلق بموقع مولدات الديزل فقد وضعت قريباً من مستوى الأرض لجعلها أكثر حماية ضد الزلازل وهو ما يعكس حقيقة أن خطر الزلزال كان هو الواقعة الباعثة الافتراضية الأهم في دراسات الأمان التصميمية وليس التسونامي. من جهةٍ أخرى، يشير وقوع الكارثة إلى مشاكل أخرى غير متعلقة بالموقع، تتعلق إحداها بنمط مفاعل الماء المغلي المستخدم في فوكوشيما، والذي يمثل المفاعل رقم 23 من بين 104 مفاعلات تعمل حالياً في الولايات المتحدة. ويشير تشارلز فرغوزون، رئيس اتحاد العلماء الأمريكان وأحد محللي السياسات النووية، إلى أن هذا النمط من المفاعلات يمتلك وعاءً صغيراً لحاوية الأمان في الدارة الأولية وهو ما يتطلب ضرورة تنفيسه (تخليته) بشكل منتظم لتفادي ارتفاع ضغط البخار داخله (تماماً كما هو الحال في مفاعلات فوكوشيما). ويضيف فرغوزون أنه عندما بُنيت المفاعلات قبل 30 عاماً كان العلماء قد اقترحوا تزويد فتحات التخلية هذه بفلاتر (مرشحات) مناسبة للحدّ من التحررات الإشعاعية في حالة الحوادث! إلا أن الصناعة اعترضت آنذاك على هذا الاقتراح بدعوى

أن تنفيذه بشكل فعال ومفيد سيكون ذا تكلفة باهظة؛ والآن يبدو أن ذاك الاقتراح كان الخيار الوحيد. أما القضية الأخرى فتتمثل بالخطر المتأتي عن الأحواض المملوءة بالماء والمخصصة لخزن الوقود المستنفذ مؤقتاً. حيث تبين أن أحد هذه الأحواض في موقع فوكوشيما كان قد تضرر على ما يبدو بفعل الزلزال. وعليه يقترح فرغوزون ضرورة عزل هذه الأحواض مستقبلاً ضد الاهتزازات إضافة إلى ضرورة بناء حاويات الحماية الخاصة بها من الستانلس المدعم بالخرسانة بدلاً من الغلاف المعدني الرقيق المستخدم حالياً. كما ينصح من جهةٍ أخرى بضرورة نقل عناصر الوقود المستنفذ من أحواض التخزين المؤقتة، بعد مرور خمس سنوات عليها والتأكد من تبريدها، إلى حاويات تخزين جافة خارج بناء المفاعل، مما سيساعد حسب رأيه في تفادي اكتظاظ الأحواض، علماً أن ذلك ينطوي على بعض المخاطرة والتكاليف الإضافية بسبب احتمال تعرض العاملين للإشعاع أثناء عملية تحريك عناصر الوقود.

في هذا السياق يُعتقد أن المفاعلات الحديثة كانت ستبدي سلوكاً أفضل بكثير مما هو عليه الحال في مفاعلات فوكوشيما. ولقد أظهرت حادثة ثري مايل آيلند كيف يمكن لتزامن وقوع مجموعة من الأخطاء أن يؤدي إلى كارثة. حيث قاد تزامن وقوع مجموعة من الأعطال الميكانيكية والأخطاء البشرية ذات الطبيعة المستقلة أصلاً إلى حدوث انصهارٍ جزئي في القلب (وخلافاً لذلك فقد نجم حادث تشرنوبل عن تلازم أخطاء تشغيلية مع ضعف جوهري في تصميم المفاعل). إن كلا الحادثتين قادتا المهندسين إلى التفكير بتصاميم جديدة للمفاعلات (انظر المؤطر) تتميز عن الأجيال السابقة بأنها ليست قاصرة على تحمل عدد محدود من السيناريوهات الكارثية (الحوادث الوخيمة)، بل بمقدورها حتى تخطي طيف واسع من الوقائع ذات الاحتمال الضعيف. وبرغم ذلك يسود اعتقادٌ جديد مفاده أن على المصممين والمرخصين أن يفكروا بشكل أكثر قوة وحدة في ضوء القلق المتزايد لدى الكثيرين من أن الجهات الترخيصية تقتصر في مطالبها الترخيصية على أشياء تمثل الاستنتاج المنطقي لما كان قد حدث في الماضي. وتكمن أحد الخيارات المستقبلية في الابتعاد كلياً عن المفاعلات المبردة بالماء نحو تطوير جيلٍ جديد من المفاعلات المبردة بالغاز التي تتمتع بصفات كبح ذاتية عالية. وتكمن إحدى ميزات هذه المفاعلات –حسب اعتقاد توماس– بأنه عند فقدان المبرد سيكون بالإمكان استبداله مباشرة بالهواء ما يضمن استمرار عملية التبريد. وقد كانت المملكة المتحدة قد قادت هذه التكنولوجيا في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي لكن تبين لها سريعاً أن هذه التكنولوجيا غير قادرة على المنافسة الاقتصادية أمام المفاعلات المبردة بالماء. كما أن محاولات استثمار المفاعلات المبردة بالغاز المتقدمة ذات المردود الأعلى لم يكتب لها النجاح حتى الآن، حيث سعت كل من الولايات المتحدة وألمانية ومؤخراً جنوب إفريقيا لإنجاز بحوث في هذا الاتجاه لكنها ما لبثت أن توقفت. وتعكف الصين حالياً على إجراء بحوث لاستثمار هذه التكنولوجيا في السنوات القادمة.

تنظيم المنظمين

ستدفع كارثة فوكوشيما بسرعة إلى إعادة النظر في مفهوم تخطيط الطوارئ. مع أن الحكومة اليابانية جنت الكثير من الإطراء على إخلائها المنطقة بشكل سريع، إلا أن عمال الطوارئ وصلوا إلى الموقع، حسب التقارير الواردة، وهم يحملون النوع الخاطئ من البطاريات، كما كانوا غير جازمين فيما يخص إمكانية استخدام مياه البحر لتبريد المفاعل. إذ إن قراراً من هذا القبيل كان من المفروض أن يكون قد نوقش وصدر قرارٌ جازمٌ به قبل حدوث الواقعة، ومن ثم سيكون تنفيذه سريعاً حسب رأي طوني رول ستون، وهو مهندس نووي من جامعة كامبردج في المملكة المتحدة. إضافة إلى ما تقدم، فقد انتُقدت شركة تيبكو على تقديمها معلومات شحيحة وغامضة حول الكارثة، كالتأرجح المستمر مثلاً في تقديم البيانات بين كلٍّ من سوية الإشعاع المرجعية الاعتيادية والطارئة. كما تباينت آراء المنظمين النوويين الأمريكان واليابانيين حول كيفية تعليل بيانات المفاعل الواردة إليهم. وبشكل عام، كان هناك ولفترة من الزمن قلق حول ثقافة الأمان في أروقة الصناعة النووية اليابانية. وبشكل أكثر تحديداً، فقد وجد أن شركة تيبكو كانت قد قامت بشكل متكرر بتزييف وتحريف بيانات الفحوص الفنية المجراة على محطاتها. كما أن هناك ما يشير إلى حوادث في مواقع يابانية أخرى بما في ذلك محطة كاشيوازاكي كاريوا التابعة لشركة تيبكو، التي كانت قد تضررت إثر زلزال ضرب المنطقة بشدة 6.8 عام 2007، وقد كشف حينها أن المحطة كانت قد بنيت فوق تصدع أرضي نشط. ومع ذلك يشعر الكثيرون من أن اللوم يجب ألاّ يُلقى على شركات الطاقة بمفردها. فكما يشير رول ستون، فإن مؤسسة الترخيص الصناعية نيزا هي جزء من المعهد الحكومي نفسه المسؤول عن دعم الطاقة النووية وتمويلها. ويبدو أن هناك تضارباً في المصالح كون أولئك الداعمين للطاقة النووية هم أنفسهم المسؤولين عن التنظيم النووي.

البعد الاقتصادي للكارثة

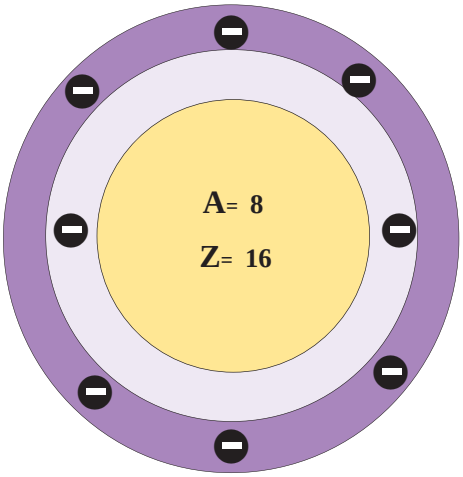
في استخلاص الدروس حول مستقبل توليد الطاقة بشكل عام، هناك البعض الذي ما يزال على قناعة من أن للطاقة النووية دوراً يجب أن تؤديه. ويعلل آندرو شيري، مدير معهد دالتون النووي في

جامعة مانشستر، هذه القناعة بقوله إن الطاقة النووية يمكن أن تكون جزءاً من مزيج طاقي متوازن، ويدعم هذا التوجه التحديات الجمة التي تمثلها ظاهرة الاحترار العالمي. إلا أن توماس يحذر من أن الوقت المطلوب لتحليل تبعات كارثة فوكوشيما ربما سيؤخر بناء محطات جديدة لحوالي 10 سنوات لاحقة. ويتوقع بناء عليه أن تولي الحكومات اهتمامها لخيارات أخرى عاجلة لخفض انبعاثات الكربون من قبيل زيادة مساهمة دور الطاقات المتجددة وتحسين الكفاءة الطاقية. ويقرّ توماس بأن خيار الطاقة النووية يمثل مصدراً طاقياً آمناً نسبياً إذا ما قورن بغيره. فالطاقة النووية تتسبب بنسبة قليلة جداً من الوفيات مقارنة مع المحطات العاملة على الفحم التي تتسبب سنوياً بآلاف الموتى بسبب حوادث المناجم والأمراض التنفسية. لكنه يشير من جهة أخرى إلى أن الكوارث النووية لها مقدرة فريدة على إيقاظ الشعور بالخوف كونها على عكس حوادث المناجم تولد سقطاً يتصف بأنه غير مرئي وغامض كما أنه واسع التأثير وطويل المدى في الوقت عينه. وعليه فمن الواضح أن موت 10 أشخاص في حادث منجم للفحم هو ليس كموت 10 أشخاص إثر حادث نووي، لأن ذلك ليس له حجم التجاوب الشعبي نفسه. ويبدو ذلك حقيقةً لا يمكن تخطيها وسيبقى مفروضاً على الطاقة النووية أن تتعايش معها.

نُشر هذا الخبر في مجلة Physics World, May 2011.

ترجمة د. علي حينون، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الأكسجين



الرمز:	O
العدد الذرّي:	8
الكتلة الذرّية النسبية:	15.9994
درجة انصهاره:	-812.79 °C
درجة غليانه:	-182.95 °C
الكثافة:	1.429 g/L
حالات الأكسدة:	2, 1, -1, -2

ماهيته ومميزاته البارزة

يُمثَّل عنصر الأكسجين بالرمز O، عدده الذرّي 8. تعود تسميته باليونانية «حمض»، إلى الطعم الحاد للأحماض. والسبب في هذه التسمية هو أنه، في الزمن الذي سمِّي فيه، كان يعتقد خطأ أن جميع الأحماض تتطلب وجود الأكسجين في تركيبها. وفي الشروط العادية من درجة الحرارة والضغط ترتبط ذرّتا أكسجين لتشكلا

جزيء الأكسجين الغازي، O_2، حيث يكون لونه أزرق فاتحاً ولا يتمتع بأي طعم أو رائحة.

يُعدُّ الأكسجين أحد عناصر الجدول الدوري، وهو عنصر لا معدني وشديد الفعالية مع غالبية العناصر الكيميائية، مشكلاً الأكاسيد. ومن حيث الكتلة، يشكل الأكسجين العنصر الثالث الأكثر وفرة في الكون، بعد الهدروجين والهليوم، والعنصر الأكثر وفرة في القشرة الأرضية، مشكلاً حوالي نصف كتلتها. يكون الأكسجين الحر شديد الفعّالية الكيميائية لدرجة أن وجوده الحر مرهون فقط بظاهرة التركيب الضوئي photosynthesis في الكائنات الحية، التي تستعمل طاقة ضوء الشمس لتنتج الأكسجين العنصري من الماء. بدأ تراكم الأكسجين الجزيئي في الجو بعد ظهور المادة الحية فقط، أي قبل 2.5 مليون سنة تقريباً. ويشكل الأكسجين الغازي الثنائي الذرّة حوالي 20.8% من حجم الهواء.

ونظراً لأنه يكون 89% كتلة الماء، فهو يشكل معظم كتلة المادة الحية (وعلى سبيل المثال، يشكل الأكسجين حوالي ثلثي كتلة جسم الإنسان). ويوجد للأكسجين صيغة جزيئية أخرى، الأوزون (O_3) الواقي للغلاف الجوي من معظم الإشعاع فوق البنفسجي، حيث يكون الأوزون على هيئة طبقة تحيط بالغلاف الجوي، لكن وجوده على سطح الأرض يشكل عامل تلوث عندما يتكون كمنتج ثانوي في الضباب الدخاني.

تمّ التعرف على الأكسجين عام 1773 من قبل كارل ويلهيلم شيل ومن قبل جوزيف بريستلي عام 1774، لكن الأولوية عادت إلى بريستلي لأن عمله نُشر أولاً. أُنتج الأكسجين صناعياً بالتقطير المجزأ للهواء السائل، وكذلك عن طريق التحلّل الكهربائي للماء وغيرها من التقنيات. يُستعمل الأكسجين في صناعة الفولاذ والمواد البلاستيكية والأقمشة وفي دفع المركَبات الفضائية والمعالجة الطبية، وفي توفير الحياة داخل المركبات الفضائية وفي أعماق البحار.

الأشكال الأخرى للأكسجين

إن الشكل الشائع للأكسجين العنصري على الأرض هو ثنائي الأكسجين، O_2. يبلغ طول الرابطة فيه 121 بيكومتراً وطاقتها 498 كيلو جول للمول. وهذا هو الشكل المستعمل من قبل الكائنات الحية المعقدة، مثل حالة الحيوانات في التنفس الخلوي، كما يشكل الجزء الأكبر من جو الأرض.

يُعرف جزيء الأكسجين الثلاثي الذرة بـ الأوزون، وهو شكل فعّال جداً ويؤثر على الأنسجة الرئوية بشكل مدمّر. يتشكل الأوزون في طبقات الجو العلوية عندما يرتبط الأكسجين O_2 مع ذرة أكسجين ثالثة ناتجة عن انشطار O_2 بوساطة الإشعاع فوق البنفسجي (UV). ونظراً للقدرة الكبيرة للأوزون على امتصاص أشعة UV من طيف الشمس، فإن طبقة الأوزون في الجو العلوي تعمل كدرع وقاية إشعاعية للأرض. ومع ذلك، يُعدُّ الأوزون الصادر من عوادم السيارات قرب سطح الأرض منتجاً ثانوياً. كما تمّ في العام 2001 اكتشاف جزيء شبه مستقر مكون من أربع ذرّات أكسجين (O_4)، وافترض أنه موجود في واحد من الأطوار الستة للأكسجين الصلب. وقد أُثبت في العام 2006 أن هذا الطور الناشئ عن ضغط الأكسجين O_2 إلى 20 جيغا بار هو في الحقيقة تجمّعُ لموشور سداسي O_8، ويمكن لهذا التجمع أن يكون أكثر قدرة طاقية بكثير حتى من O_2 أو O_3 ويمكن بالتالي استعماله في وقود المركبات الفضائية. في عام 1990 تمّ اكتشاف طور معدني له عندما خضع الأكسجين الصلب إلى ضغط أعلى من 96 جيغا بار، وتبين في العام 1998 أن تعريض هذا الطور إلى درجات حرارة منخفضة يحوّله إلى ناقل فائق.

خصائصه الفيزيائية

في الشروط النظامية من الضغط ودرجة الحرارة، يكون الأكسجين على هيئة جزيء ثنائي الذرة، O_2، وفيه ترتبط ذرّتا الأكسجين كيميائياً بعضهما مع بعض بتشكيل إلكتروني ثلاثي السبين. والأكسجين أكثر انحلالية في الماء من النتروجين، إذ يحتوي الماء بشكل تقريبي على جزيء أكسجين لكلّ جزيئين من النتروجين، بالمقارنة مع نسبة هوائية بينهما تقارب 4:1. تتعلق انحلالية الأكسجين في الماء بدرجة الحرارة، وتزيد انحلاليته بمقدار الضعف في الدرجة 0 مئوية (14.6 ملّي غرام في اللّتر) عنها في الدرجة 20 مئوية (7.6 ملّي غرام في اللّتر). وفي الدرجة 25 مئوية والضغط الجوي النظامي، يحتوي كلّ لتر من الماء النقي 6.04 ملّي لتر من الأكسجين، في حين أن اللّتر من مياه البحر يحتوي 4.95 ملّ لتر. وفي الدرجة 5 مئوية تتزايد الانحلالية في الماء إلى 9.0 ملّي لتر (تزيد أكثر من 50% عمّا هي في الدرجة 25 مئوية) لتصل إلى 7.2 ملّي لتر (45% زيادة) في كل لتر من مياه البحر.

يتكثّف الأكسجين في الدرجة – 182.95 مئوية ويتجمّد في الدرجة – 218.79 مئوية. ويكون O_2 في الحالتين السائلة والصلبة شفافاً مع لون أزرق سماوي بسبب امتصاصه للضوء الأحمر (على عكس

لون السماء الأزرق الذي يعود إلى انتثار وايلي للون الأزرق). يمكن الحصول على الأكسجين العالي النقاوة بوساطة التقطير المجزأ للهواء السائل، كما يمكن الحصول على الأكسجين السائل من الهواء، باستعمال النتروجين السائل كمبرِّد.

نظائره

في الوقت المتأخر من حياة النجم الضخم، تركز الأكسجين-16 في طبقة رقيقة من الأكسجين، والأكسجين-17 في طبقة رقيقة من الهدروجين، والأكسجين-18 في طبقة رقيقة من الهليوم.

يتكون الأكسجين المتولد بشكل طبيعي من ثلاثة نظائر مستقرة، ^{16}O و^{17}O و^{18}O، علماً أن ^{16}O هو الأكثر وفرة (وفرته الطبيعية هي 99.76%). وقد جرى تشكُّل غالبية الأكسجين-16 خلال نهاية مرحلة عملية اندماج الهليوم في النجوم الضخمة، ولكن بعضه الآخر قد تشكَّل أثناء عملية احتراق النيون. وتشكَّل الأكسجين-17 بداية أثناء احتراق الهدروجين وتحوله إلى هليوم خلال دورة CNO، مما جعله النظير الشائع في مناطق احتراق الهدروجين في النجوم. وقد تشكَّل معظم الأكسجين-18 عندما احتَجزَ ^{14}N (الذي تشكَّل من احتراق CNO) نواة الهليوم-4، مما جعله شائعاً في المناطق الغنية بالهليوم في النجوم المتطورة الضخمة.

تمّ توصيف 14 نظيراً مشعاً، وأكثرها استقراراً هو ^{15}O بعمر نصف قدره 122.24 ثانية، و^{14}O بعمر نصف يساوي 70.606 ثانية. ولجميع ما تبقى من النظار المشعّة أعمار نصف أقل من 27 ثانية، وأعمار نصف معظمها أقل من 83 ملّي ثانية. ونموذج التفكك الأكثر شيوعاً للنظائر الأخف من ^{16}O هو تفكك بيتا معطياً النتروجين، والأكثر شيوعاً في النظائر الأثقل من ^{18}O هو تفكك بيتا معطياً الفلور. يحتوي الجدول التالي نظائر الأكسجين الأكثر استقراراً.

النظير	وفرته الطبيعية	تركيبه
^{16}O	99.76%	مع 8 نترون
^{17}O	0.039%	مع 9 نترون
^{18}O	0.201%	مع 10 نترون

ظهوره

يُعدُّ الأكسجين العنصر الكيميائي الأكثر وفرة من حيث الكتلة في الغلاف الجوي الحيوي وفي الهواء والأرض. وهو العنصر الكيميائي الثالث الأكثر وفرة في الكون، بعد الهدروجين والهليوم. يشكل الأكسجين حوالي 0.9% من كتلة الشمس و49.2% من كتلة القشرة الأرضية والمكون الرئيسي للمحيطات في العالم (88.8% كتلياً). كما أنه المكون الثاني الأكثر شيوعاً في جو الأرض، ويشكل 21.0% حجماً و23.1% كتلة (حوالي 1510 طناً). تشكل الأرض شذوذاً عن بقية كواكب المجموعة الشمسية من حيث تركيز الأكسجين الغازي في جوّها. فكوكب المريخ يحتوي الأكسجين بنسبة 0.1% حجماً، ويحتوي الزهرة تركيزاً أقل بكثير. ومع ذلك، فإن الأكسجين المحيط بهذه الكواكب ناشئ فقط من الإشعاع فوق البنفسجي المؤثر على جزيئات تحوي الأكسجين مثل ثنائي أكسيد الكربون.

إن التركيز العالي الاستثنائي للأكسجين الغازي في كوكب الأرض هو نتيجة دورة الأكسجين. توصَّف هذه الدورة الجيوكيميائية biogeochemical cycle حركة الأكسجين ضمن خزاناتها الرئيسية الثلاثة في كوكب الأرض: جو الأرض atmosphere والمحيط الحيوي biosphere واليابسة lithosphere. والعامل المسيطر في دورة الأكسجين هو التركيب الضوئي، الذي يُعدُّ مسؤولاً عن جو الأرض الحالي. يطلق التركيب الضوئي الأكسجين في جو الأرض، في حين أن التنفس والتفكك يستهلكانه من الجو. وفي التوازن الحالي، يحصل الإنتاج والاستهلاك بنسبة 2000/1 تقريباً من الأكسجين الكلي في الجو سنوياً.

كما يحصل الأكسجين الحر منحلاً في المياه العالمية، ولانحلاليته في درجات الحرارة المنخفضة دور مهم في حياة المحيطات، حيث إن المحيطات القطبية توفر وجوداً كثيفاً للحياة فيها بسبب محتواها العالي من الأكسجين. قد تحتوي المياه الملوثة على نسبة أدنى من الأكسجين، بسبب استنزافه خلال تفكك الطحالب والمواد الحية الأخرى عبر عملية تُسمّى تلوث المياه بالأسمدة (أتروفيكاشن eutrophication). يقيّم العلماء هذا الجانب في مواصفة المياه عن طريق قياس الحاجة الكيميائية–الحيوية للأكسجين biological oxygen demand أو قياس كمية الأكسجين اللازمة لإعادته إلى تركيزه العادي.

دوره الحيوي

التركيب الضوئي والتنفس

يشطر التركيب الضوئي جزيء الماء محرراً الأكسجين ومثبتاً جزيء CO_2 ضمن السكر.

في الطبيعة، ينتج الأكسجين الحر بفعل انشطارٍ للماء يقوده الضوء أثناء التركيب الضوئي. توفر الطحالب الخضراء والبكتيريا المنفذة للتركيب الضوئي في البحار ما يقارب 70% من الأكسجين الحر الموجود على كوكب الأرض والباقي تنتجه النباتات الأرضية. نعرض أدناه تبسيطاً للصيغة الإجمالية للتركيب الضوئي:

$6\ CO_2 + 6\ H_2O + photons \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$ (أو ثنائي أكسيد الكربون + ماء + ضوء الشمس ← غلوكوز + ثنائي الأكسجين).

يحصل إنتاج الأكسجين في الأغشية الكلوروفيلية في النباتات وفق تركيب ضوئي، ويتطلب طاقة أربعة فوتونات. تتضمن هذه العملية مراحل عدة، لكن النتيجة هي تَشَكّل تدرّجٍ فوتوني عبر الغشاء الكلوروفيلي الذي يُستعمل لتصنيع Adenosine triphosphate (ATP) عبر فسفرة فوتونية. أما الأكسجين المتبقي بعد أكسدة جزيء الماء فيتحرر عبر الجو.

ويُعدُّ ثنائي الأكسجين، O_2، أساسياً لتنفس الخلية في جميع المتعضيات الهوائية. يستعمل الأكسجين في جزء الخلية الذي يحول الغذاء إلى طاقة من أجل المساعدة في توليد ATP أثناء الفسفرة المؤكسدة. ويُعدُّ تفاعل التنفس الهوائي معاكساً تماماً للتركيب الضوئي، وهو مبسط بالمعادلة التالية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 2880\ kJ{\cdot}mol^{-1}$$

تاريخه

قام الكاتب اليوناني في مجال الميكانيك، فيلو، في القرن الثاني قبل الميلاد بواحدة من التجارب الأولى المعروفة من أجل توضيح العلاقة بين الاحتراق والهواء. وبعد قرون عدة لاحقة قام ليوناردو دافنشي بمتابعة عمل فيلو ولاحظ أن جزءاً من الهواء يستهلك خلال عملية الاحتراق والتنفس. وفي نهاية القرن السابع عشر الميلادي، أثبت روبرت بويل Robert Boyle أن الهواء ضروري للاحتراق والتنفس.

اكتشافه

تمّ اكتشاف الأكسجين الغازي لأول مرة من قبل السويدي كارل ويلهيلم شيل، وذلك عندما قام بتسخين أكسيد الزئبق ونترات متنوعة في العام 1772. سمّى شيل هذا الغاز «الهواء الناري» بسبب أنه كان الداعم الوحيد لعملية الاحتراق، وأرسل اكتشافه للنشر عام 1775. رغم ذلك، لم ينشر اكتشافه حتى العام 1777.

خلال هذه الفترة، وفي الأول من أب عام 1774، قام جوزيف بريستلي بتركيز ضوء الشمس على أكسيد الزئبق (HgO) ضمن أنبوب مغلق، ولاحظ أن الشمعة تتوهج بوجود هذا الغاز، فنشر اكتشافه عام 1775. وبسبب هذا السبق في النشر فقد أُعطي بريسلي أولوية في الاكتشاف.

مساهمة لافوازييه

ما قام به لافوازييه هو تنفيذ أولى التجارب الكمية حول الأكسدة، وأعطى أول تفسير لكيفية الاحتراق. لاحظ لافوازييه عدم وجود زيادة في الوزن الإجمالي عند تسخين القصدير والهواء في وعاء مغلق. إلاّ أنه لاحظ دخولاً سريعاً للهواء عند فتح الوعاء، مما يشير إلى أن جزءاً من الهواء الذي كان داخل الوعاء أثناء التسخين قد استهلك. كما لاحظ أيضاً أن وزن القصدير قد ازداد، وهذه الزيادة كانت نفسها وزن الهواء الذي اندفع داخل الوعاء عند فتحه. فقد أُثبت من خلال هذا العمل وغيره أن الهواء هو خليط من غازين؛ 'غاز نشيط'، وهو أساسي للاحتراق والتنفس، والآزوت، الذي لا يساعد في الاحتراق ولا في التنفس. أصبح اسم الآزوت لاحقاً النتروجين بالإنكليزية، رغم الحفاظ على اسمه بالفرنسية وبعدة لغات أوربية أخرى.

عاد لافوازييه ليبدل اسم «الغاز النشيط» بـ «الأكسجين» عام 1777، استناداً إلى الاسم اليوناني «أوكسيز» (الذي يعني حرفياً «حاد»، والعائد لطعم الأحماض). يقرّ الكيميائيون حالياً أن لافوازييه كان مخطئاً في هذا الصدد (إذ إن الهدروجين هو الذي يشكل أساس كيمياء الأحماض)، لكن الوقت كان متأخراً، واعتمد الاسم.

تاريخه اللاحق

أدرك العلماء في نهاية القرن التاسع عشر أنه يمكن تمييع الهواء وعزل مكوناته عن طريق ضغطه وتبريده. ففي العام 1891، تمّ إنتاج ما يكفي من الأكسجين السائل لإجراء الدراسات عليه. وفي العام 1923 تمّ تطوير محرك صاروخي يستعمل البنزين كوقود والأكسجين السائل كمؤكسد.

إنتاجه الصناعي

تُستعمل طريقتان أساسيتان حالياً لإنتاج 100 مليون طن سنوياً من O_2 مستخلصة من الهواء للاستعمال الصناعي. والطريقة الأكثر شيوعاً هي التقطير المجزأ للهواء السائل للحصول على مكونين، النتروجين المقطر، N_2، في حالته البخارية في حين يظل الأكسجين سائلاً.

والطريقة الأخرى هي تمرير تيار من الهواء النقي والجاف عبر سرير مزدوج من منخلين جزيئيين متماثلين من الزيوليت الذي يدمصّ النتروجين ويمرر تياراً غازياً يحتوي الأكسجين بنسبة 90 إلى 93%. يمكن أيضاً إنتاج الأكسجين الغازي عن طريق التحلّل الكهربائي للماء والحصول على كل من الأكسجين والهدروجين الجزيئيين.

تطبيقاته

الطبية

يشكل تمثُّل الأكسجين من الهواء الغاية الأساسية للتنفس، لذا يُستعمل التزوّد بالأكسجين في الطب. تساعد المعالجة ليس فقط في زيادة مستوى الأكسجين في دم المريض، وإنما أيضاً لها تأثير في تخفيض مقاومة جريان الدم في أنماط عديدة من أمراض الرئتين، مما يخفّف من عبء عمل القلب.

تكون المعالجات سلسة بما يكفي لاستعمالها في المشافي وفي بيوت المرضى أو باستعمال متزايد لتجهيزات محمولة. وإن زيادة تركيز الأكسجين في الرئتين يساعد في إزاحة ثنائي أكسيد الكربون من خضاب الدم. ونظراً لكون الأكسجين الغازي سام للبكتيريا اللاهوائية فزيادة ضغطه الجزئي تساعد في قتلها. كما يستعمل الأكسجين طبياً في حالة المرضى المحتاجين لتهوية ميكانيكية، وبتراكيز عادة ما تفوق 21% الموجودة في الهواء. كما أن له استعمالات خاصة مثل حالات تسلق الجبال وفي القمرات الفضائية والغوص في أعماق البحار وغيرها من التطبيقات النادرة.

الصناعية

تستهلك عملية تحويل فلزات الحديد إلى فولاذ 55% من الأكسجين المنتج صناعياً. ففي هذه العملية، يقذف O_2 عبر رشقات مضغوطة داخل الحديد المنصهر، مما يزيل شوائب الكبريت والكربون الزائد كما في حالة الأكسيدين التاليين، SO_2 وCO_2. تكون التفاعلات ناشرة للحرارة، إذ ترتفع درجة الحرارة إلى 1700 درجة مئوية.

وتُستعمل 25% أخرى من الأكسجين المنتج صناعياً في الصناعة الكيميائية. فمثلاً، يتفاعل الإتيلين مع الأكسجين لإنتاج أكسيد الإتيلين، الذي، بدوره، يتحول إلى إتيلين غليكول، وهو مادة التغذية الأولى المستعملة في تصنيع مضيف للمنتجات، بما في ذلك مضاد التجمّد والبوليمرات المتعددة الإستر (وهي طلائع للعديد من المواد البلاستيكية والصناعية).

أمّا الـ 20% المتبقية، فهي تُستعمل في تطبيقات طبية وفي قطع المعادن ولحمها وأكسدة وقود قاذفات المركَبات الفضائية ومعالجة المياه. يُستعمل الأكسجين في عمليات اللحام والتقطيع عن طريق حرق الأستيلين مع O_2 لإنتاج شعلة ساخنة جداً. وفي هذه العملية، تسخن قطعة الحديد بسمك 60 سم أولاً بشعلة من أكسي–أستيلين ومن ثمّ تقطع بسرعة بوساطة تيار كثيف من O_2. تَستعمل الصواريخ الضخمة الأكسجين السائل كمؤكسد، بعد مزجه مع الوقود وإشعاله، للحصول على عملية القذف.

العلمية

يقوم علماء البيئة المناخية بقياس نسبة الأكسجين-18 إلى الأكسجين-16 في الأصداف وعظام الأحياء البحرية من أجل معرفة الشروط المناخية التي كانت سائدة قبل ملايين السنين. إذ تخضع جزيئات مياه البحر المحتوية على النظير الأخف، أكسجين-16، لمعدل تبخّر أسرع بقليل من تبخّر جزيئات الماء المحتوية على 12% من الأكسجين-18 الأثقل؛ يتزايد هذا التباين في التبخّر مع انخفاض درجات الحرارة. وخلال فترات درجات الحرارة الكونية المنخفضة، تشهد الثلوج والأمطار المتشكلة من أبخرة المياه هذه تزايداً في تركيز الأكسجين-16، وتشهد مياه البحر المتبقية تزايداً بـ ^{18}O. وهكذا تحتوي المتعضيات البحرية زيادة من الأكسجين-18 في عظامها وأصدافها عمّا كان يمكن أن تحتويه في مناخ أكثر سخونة. كما يقوم علماء المناخ أيضاً بقياس مباشر لهذه النسبة في جزيئات مياه عينات الكتل الجليدية التي تعود إلى عدة مئات وآلاف سابقة من السنين.

قام علماء الجيولوجيا الكونية بقياس الوفرات المختلفة لنظائر الأكسجين في عينات من الأرض والقمر والمريخ والنيازك، لكنهم ظلّوا فترة طويلة عاجزين عن الحصول على قيم مرجعية للنسب النظيرية في الشمس، معتقدين أن تكون مماثلة لتلك في السديم الشمسي البدائي. مع ذلك، أظهرت تحاليل رقاقات السليكون المعرضة للريح الشمسية في الفضاء والعائدة مع أول محطة فضائية محطّمة أن الشمس تمتلك نسبة من الأكسجين-16 أعلى من نسبته في الأرض. تدلُّ هذه النتيجة ضمناً على وجود عملية مجهولة استنفذت الأكسجين-16 من المواد الافتراضية الأولية المكونة لقرص الشمس، تسبق التحام حبيبات الغبار التي شكلت الأرض.

يقدم الأكسجين عصابتي امتصاص طيفيتين تشتدان عند الطولين الموجيين 687 و760 نانومتراً. اقترح بعض علماء الاستشعار عن بعد استعمال قياس تألق هاتين العصابتين الواردتين من المناطق النباتية من أجل توصيف الحالة الصحية النباتية باستعمال المحطات الفضائية. تستثمر هذه المقاربة حقيقة أنه في هاتين العصابتين يمكن تمييز معامل انعكاس الوضع النباتي انطلاقاً من تألقه، الذي يكون ضعيفاً جداً. إن القياس صعب من الناحية التقنية وذلك بسبب ضعف نسبة الإشارة إلى الضجيج والبنية الفيزيائية للنبات؛ لكنه اقتُرح كطريقة ممكنة لمراقبة دورة الكربون على صعيد كوني باستعمال المركبات الفضائية.

مركّباته

يُعدُّ الماء (H_2O) المركّب الأكسجيني الأكثر شيوعاً. وحالة الأكسدة (-2) هي الأكثر شيوعاً في معظم مركبات الأكسجين المعروفة. أما حالة الأكسدة -1 فقد وجدت في مركّبات قليلة مثل المركّبات فوق الأكسيدية peroxides (مثل H_2O_2 ومواد أخرى تضاف إلى المنظفات وأصبغة الشعر). والمركبات المحتوية على أكسجين في حالات أكسدته الأخرى غير معروفة تماماً: -2/1 (فوق الأكسيدات superoxides، مثل الأملاح التالية: CsO_2 وRbO_2 وKO_2)، و-3/1 (الأوزونيدات ozonides، مثل CsO_3 وNaO_3)، و0 (مثل العنصر الحر وحمض تحت الفلوريد، HOF)، و+2/1 (ثنائي أكسيجينيل، مثل O_2BF_4 و O_2PF_6)، و+1 (مثل، ثنائي أكسجين ثنائي فلوريد O_2F_2)، و$^{2+}$ (مثل، ثنائي فلوريد الأكسجين OF_2).

أكاسيد ومركّبات لاعضوية أخرى

نظراً لكهرسلبيته، يشكل الأكسجين روابط كيميائية مع معظم العناصر الأخرى عند درجات الحرارة المرتفعة معطياً الأكاسيد المقابلة. ومع ذلك، فإن بعض العناصر تشكل بسهولة أكاسيد عند الظروف الطبيعية من درجة الحرارة والضغط؛ ويُعدُّ صدأ الحديد مثالاً على ذلك. كما تتأكسد سطوح المعادن مثل الألمنيوم والتيتانيوم بوجود الهواء مولِّدة طبقة رقيقة من الأكسيد الذي يحمي بقية المعدن من التأكسد ويبطئ عملية التآكل.

يوجد الأكسجين على هيئة مركّب في الهواء بكميات ضئيلة من ثنائي أكسيد الكربون (CO_2). تتكون صخور القشرة الأرضية في قسم كبير منها من أكاسيد السليكون (سليكا SiO_2، موجود في الغرانيت والرمل) والألمنيوم (أكسيد الألمنيوم Al_2O_3، في البوكسيت) والحديد (أكسيد الحديد الثلاثي Fe_2O_3، في الهيماتيت والصدأ) ومعادن أخرى.

ويتكون ما تبقى من القشرة الأرضية أيضاً من مركّبات الأكسجين، وبخاصة كربونات الكالسيوم (في الحجر الكلسي) والسليكات (في الفلدسبار). أما السليكات المنحلة في الماء مثل Na_4SiO_4 وNa_2SiO_3 و$Na_2Si_2O_5$ فهي تستعمل كمنظفات ومواد لزجة.

المركّبات العضوية والجزيئات الحيوية

يُعدُّ الأستون كمادة رافدة مهمّة في الصناعة الكيميائية. ومن الأصناف الأكثر أهمية بين المركبات العضوية التي تحتوي الأكسجين نذكر هنا: الكحولات (R-OH) والإيترات (R-O-R) والكيتونات (R-CO-R) والألدهيدات (R-CO-H) والأحماض الكربوكسيلية (R-COOH) والإسترات (R-COO-R) والأحماض اللامائية (R-CO-O-CO-R) والأميدات ($R-C(O)-NR_2$)، حيث R تمثل مجموعة عضوية.

هناك العديد من المحلّات العضوية المهمّة التي تحتوي على الأكسجين، بما في ذلك: الأستون والميتانول والإيتانول وإيزوبروبانول والفيران والـ THF وثنائي إيتيل الإيتر والديوكسان وأسيتات الإيتيل والـ DMF والـ DMSO وحمض الخل وحمض النمل. يستعمل الأستون ($(CH_3)_2CO$) والفينول (C_6H_5OH) كمادتين رافدتين في اصطناع العديد من المواد المختلفة. وثمّة مركّبات عضوية مهمّة أخرى تحتوي على الأكسجين وهي: الغليسيرول والفورمألدهيد والغليتارألدهيد وحمض الليمون وحمض الخل اللامائي والأسيتاميد.

يتفاعل الأكسجين بشكل عفوي مع كثير من المركبات العضوية عند درجة حرارة الغرفة أو أدنى منها في عملية تسمّى أكسدة ذاتية. إن معظم المركّبات العضوية المحتوية على الأكسجين لا تتشكل بفعل مباشر للأكسجين. إن المركّبات العضوية المهمّة في الصناعة والتجارة التي تصنع بأكسدة مباشرة للسلف تتضمن أكسيد الإيتيلين وفوق حمض الخل.

يوجد الأكسجين في معظم الجزيئات الحيوية المهمّة للحياة. فقط هناك قليل من الجزيئات الحيوية المعقدة الشائعة، مثل الكاروتينات، التي لا تحتوي أكسجين. إن جميع الدهون والأحماض الدسمة والأحماض الأمينية والبروتينات تحتوي على الأكسجين (ويعود ذلك إلى وجود مجموعات الكربونيل في هذه الأحماض وإستراتها

الأصلية). كما يوجد الأكسجين في المجموعات الفسفاتية (PO_4^{3-}) في الجزيئات المهمّة الحاملة للطاقة: ATP وADP.

وقاية وتحذيرات

السمية

سنعرض هنا الأعراض الأساسية لسمية الأكسجين. تحصل سمية الأكسجين عندما يندخل الأكسجين الغازي إلى الرئتين بضغط أكبر من ضغطه الجزئي العادي، مما يقود إلى نوبات تشنجية ومشاكل صحية أخرى. جرى في الماضي وضع المواليد الخدّج في حواضن هوائية غنية بالأكسجين، لكن هذا الإجراء توقف بعد تعرض بعض الأطفال لحالة العمى.

إن استنشاق الأكسجين النقي في التطبيقات الفضائية، مثلما يحدث في بعض المركَبات الفضائية الحديثة، أو في المَركَبات الفضائية الأولى مثل أبوللو، لا يسبب خطراً ويعود ذلك إلى الضغوط الكلية المنخفضة المستعملة.

الاحتراق والحالات الخطرة الأخرى

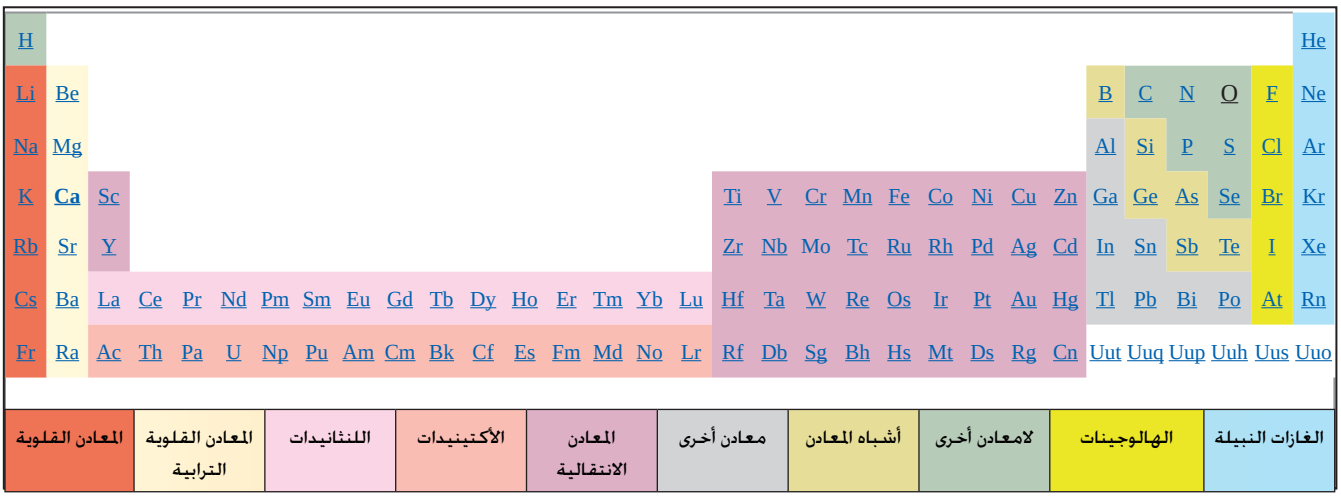
يؤدي وجود المصادر المحتوية على تركيز مرتفع للأكسجين إلى احتراق سريع. تحدث الحرائق والانفجارات الخطرة عندما تتقارب مؤكسدات مركزة مع الوقود إلى مسافة حرجة؛ ومع ذلك، فإن الحاجة تظل قائمة لوجود اشتعال، مثل حرارة أو شرارة، لقدح الاحتراق. فالأكسجين بحد ذاته لا يشكل وقوداً، إنما هو مؤكسد. يمكن أيضاً حدوث الحرائق الخطيرة بوجود مركّبات أكسجينية عالية الأكسدة، مثل فوق الأكاسيد والكلورات والنترات وفوق الكلورات وثنائي الكرومات، بسبب قدرتها على تزويد النار بالأكسجين.

سيسمح الأكسجين المركز بعملية احتراق سريعة وفعّالة. يمكن لأنابيب الفولاذ وأوعية التخزين المستعملة في خزن كل من الأكسجين الغازي والسائل ونقلهما أن تقوم بدور وقود؛ لذا يحتاج مصمّمو ومصنّعو منظومات الأكسجين إلى تدريب خاص لضمان أن مصادر الاشتعال في حالتها الدنيا.

يمكن للأكسجين السائل، إذا ما سمح له بالتسرب ضمن مادة عضوية، مثل الخشب والكيماويات النفطية والإسفلت، أن يؤدي إلى تفجر هذه المواد في أعقاب حكٍّ ميكانيكي غير متوقع.

إعداد: د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه



التحقق من حساب MCNP لمعامل تصحيح الكفاءة الحجمي في قياس غاما الطيفي لعينات نورم كبيرة

VALIDATION OF MCNP VOLUME EFFICIENCY CALCULATION FOR GAMMA SPECTROMETRIC ASSAY OF LARGE NORM SAMPLES

د. خالد حداد، مصطفى بوش
قسم الهندسة النووية

ملخص

من الشائع جداً استخدام مطيافية غاما لقياس عينات كبيرة الحجم من مختلف المواد المشعة. جرى في هذا العمل محاكاة الكفاءة الكلية للمنبع العياري ^{152}Eu ولعينات النورم الكبيرة الحجم باستخدام الكود MCNP والتحقق من النتائج تجريبياً. أجريت المحاكاة لعينات أسطوانية كبيرة بأقطار وسماكات مختلفة وعلى مسافات مختلفة عن سطح الكاشف. توافقت نتائج المحاكاة مع نتائج القياس التجريبية. وهكذا بينت هذه الدراسة بأن حسابات الـ MCNP هي وسيلة جيدة لحساب معامل تصحيح الكفاءة الحجمي.

الكلمات المفتاحية: عينات كبيرة، قياس غاما، كفاءة حجمية، توهين ذاتي، MCNP.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Radioanalytical and Nuclear and Chemistry, Article in Press.*

تقييم اختبار الحلقة الحليبي وبعض الاختبارات المصلية في الكشف عن البروسيلا الضأنية لدى إناث الأغنام السورية

ASSESSMENT OF MILK RING TEST AND SOME SEROLOGICAL TESTS IN THE DETECTION OF BRUCELLA MELITENSIS IN SYRIAN FEMALE SHEEP

د.أيمن المريري، ليلى رمضان، رند عكل
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

دُرِسَ انتشار الإصابة بالبروسيلا الضأنية Brucella melitensis بين إناث الأغنام السورية، من خلال تقييم عدد من الاختبارات المصلية، ومناقشة بعض المظاهر الوبائية لداء البروسيلات. وهكذا، اخْتُبِرَت 2580 عينة مصلية مأخوذة من دم إناث أغنام سورية غير ملقحة من أجل الكشف عن أضداد البروسيلا الضأنية فيها، وذلك باستخدام أربع طرائق مصلية، هي: اختبار وردية بنغال Rose-Bengal test (RBT)، واختبار التراص المصلي serum agglutination test (SAT)، واختبار تثبيت المتممة complement-fixation test (CFT)، والمقايسة المناعية الأنزيمية الامتزازية غير المباشرة indirect enzyme-linked immunosorbent assay (iELISA). بالإضافة إلى ذلك، جُمِعَت 2375 عينة حليب، وأُجْرِيَ عليها اختبار الحلقة الحليبي milk ring test (MRT)، وجرى العزل البكتيري منها لتحديد العامل الميكروبي.

تُعدُّ العينات إيجابية بنسب 60%، 64% و66% عند استخدام اختبار وردية بنغال، واختبار التراص المصلي، واختبار المقايسة المناعية الأنزيمية الامتزازية غير المباشرة، على التوالي. في حين أظهر اختبار تثبيت المتممة عدداً أقل من العينات الإيجابية. أما عند إجراء اختبار الحلقة الحليبي، فقد لوحظ أن انتشار داء البروسيلات بلغ نسبة حوالي 38% من مجمل العينات. لوحِظ تباين كبير في النتائج تبعاً للمناطق المدروسة، حيث تراوح المجال من 24% في طرطوس إلى 44% في كل من دمشق وريف دمشق. جرى عزل البروسيلا من 677 عينة فقط من أصل 2375 عينة مأخوذة من حليب الأغنام.

الكلمات المفتاحية: بروسيلا، حليب، مصل، أنثى الغنم.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Trop Anim Health Prod (2011).*

تحليل مميزات التيار–الجهد للخلية الشمسية المبنية على أساس $CuGaSe_2$ ذات المردود القياسي: تطبيق طريقة تجزئة التيار ونموذج إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني

CURRENT-VOLTAGE ANALYSIS OF THE RECORD-EFFICIENCY $CuGaSe_2$ SOLAR CELL: APPLICATION OF THE CURRENT SEPARATION METHOD AND THE INTERFACE RECOMBINATION MODEL

د. معين سعد، د. عمار قسيس
قسم الفيزياء

ملخص

جرى تحليل مميزات التيار–الجهد عند سويّات إضاءة مختلفة للخلية الشمسية المبنية على أساس $CuGaSe_2$ ذات المردود القياسي، وذلك باستخدام معادلة الديودين من أجل توصيف أكثر دقة لسلوك الخلية. قُدّرت مساهمة كل ديود في تشكيل مميز التيار–الجهد الكلي تحت الإضاءة باستخدام طريقة تجزئة التيار التي تم نشرها حديثاً. كان الهدف من هذا التحليل تحديد السمات المميزة للخلية ذات المردود القياسي التي أدّت إلى تحقيق أعلى قيمة حتى الآن لتوتر الدارة المفتوحة بواقع $V_{oc} = 946$ mV ولعامل الامتلاء بواقع $FF = 66.5\%$ بالنسبة للخلايا الشمسية المبنية على أساس مركب $CuGaSe_2$. إضافة إلى ذلك، جرى تطبيق نموذج إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني الذي تم نشره سابقاً بغية إجراء مناقشة كمية لقيم مركّبة تيار الخلية الناتج من إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني في الإضاءة.

الكلمات المفتاحية: خلايا شمسية، $CuGaSe_2$، معادلة الديودين، إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Solar Energy Materials and Solar Cells (2011).*

الأداء الأمثل لتقنيّة قفل أنماط: تحرّيات نظريّة وتجريبيّة حول المرآة اللاخطيّة المضاعفة التردّد.

OPTIMAL PERFORMANCES OF A MODE-LOCKING TECHNIQUE: THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE FREQUENCY-DOUBLING NONLINEAR MIRROR

علاء الدين منيع
هيئة الطاقة الذرّيّة السوريّة
دان ليس، إيف كودانو، بول تيري، أندره بيرمنس
مخبر فيزياء المادة والإشعاع، جامعة نامور، بلجيكا

ملخص

نقدّم هنا تحليلاً مفصّلاً حول تقنيّة قافل أنماط طوليّة، التي طوّرها ستانكوف معروفة باسم المرآة اللاخطيّة المضاعفة التردّد (FDNLM)، تتألّف من بلورة لاخطيّة ومرآة لونانية. هدفنا هو تحديد القيم المثلى للوسيطين الفيزيائيين: مردود تحويل البلورة اللاخطيّة η_0 ومعامل الانعكاس R_ω لمرآة الخرج. يستند هذا التحسين إلى مجموعة من ثلاثة معايير جدارة وهي: الشدّة المنعكسة، ونسبة تقصير النبضة وعامل الشكل الغاوسي، التي هي جميعاً تنطوي ضمن معامل اتخاذ القرار. بيّنت التحرّيات التجريبيّة للوسيطين η_0 وR_ω، عن طريقة استخدام ليزر Nd:YAG مُقفل الأنماط بواسطة FDNLM، أنَّ هنالك اتفاقاً جيداً مع التنبؤات النظريّة. وبالإضافة إلى ذلك، تمَّ تقديم دراسة مقارنة للنتائج التجريبيّة الأخرى المتوفرة. كما أنَّ هذا العمل يوضح قدرة الأسلوب المُقترح لتقييم أداء تقنيّة قفل الأنماط هذه ليس في المجال المستقر لتوليد النبضات الليزرية فحسب، بل يتعدّاه أيضاً إلى المجال العابر.

الكلمات المفتاحية: مرآة لاخطيّة مضاعفة التردّد، قفل الأنماط، بيكوثانية، ليزر Nd:YAG.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Optics communications, (2011).*

حساب استحراق الوقود ومخزون النوى المشعة في مفاعل البحث منسر باستخدام الكود GETERA

CALCULATION OF FUEL BURNUP AND RADIONUCLIDE INVENTORY IN THE SYRIAN MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTOR USING THE GETERA CODE

د. قاسم خطاب، د. سعدو الظواهرة
قسم الهندسة النووية

ملخص

يعرض في هذه الورقة حساب استحراق الوقود ومخزون النوى المشعة في مفاعل البحث منسر بعد عشر سنوات من عمل المفاعل (العمر المتوقع لحياة المفاعل) باستخدام الكود GETERA. استخدم الكود GETERA لتوليد ثوابت المجموعات للوقود وثابت التضاعف اللانهائي كتابع لزمن التشغيل من أجل سويات استطاعة متعددة للمفاعل هي: 10 و20 و30 كيلوواط. لقد حسبت كمية اليورانيوم المستحرقة، وكمية البلوتونيوم المتشكلة في قلب المفاعل، وتراكيز والنشاط الإشعاعي لأهم نواتج الانشطار والنوى الثقيلة المتراكمة في قلب المفاعل، كما حسب النشاط الإشعاعي الكلي للقلب باستخدام الكود GETERA أيضاً. لقد وجد أن نتائج الكود GETERA أفضل من نتائج الكود WIMSD4 من أجل حساب الاستحراق في المفاعل منسر وذلك لكون الكود GETERA جديداً ويمتلك مكتبة نترونية أكبر وأكثر دقة من الكود WIMSD4.

الكلمات المفتاحية: حسابات الاستحراق، المفاعل منسر، كودات، GETERA, WIMSD4, MCNP4C.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Annals of Nuclear Energy, 2011*.

دراسة خواص الخفض الضوئي لمركب أزرق الحمض 29 في مذيبات متنوعة

INVESTIGATION OF THE OPTICAL LIMITING PROPERTIES OF ACID BLUE 29 IN VARIOUS SOLVENTS

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

ملخص

بحثت خواص الخفض الضوئي لمحاليل مركب أزرق الحمض 29 في مذيبات عدة. أنجزت التجارب باستخدام ليزر هليوم– نيون مستمر بطول موجة 632.8 nm واستطاعة 35 mW. تتأثر شدة فعل الخفض الضوئي تأثراً كبيراً بنوع المذيب. لوحظ تشكل عدد من حلقات الانعراج عندما تتعرض العينات لأشعة الليزر. درس تجريبياً كلٌّ من تأثير التركيز ونوعية المذيب وشدة إشعاع الليزر على حلقات الانعراج المتشكلة. أظهرت نتائجنا أن آلية الانكسار اللاخطي هي الآلية السائدة لتفسير سلوك الخفض الضوئي لمركب أزرق الحمض 29.

الكلمات المفتاحية: حلقات الانعراج الذاتية، خفض ضوئي، أزرق الحمض 29.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Optics and laser Technology 43 (2011)*.

معادلة حالة المادة النووية وعدم انضغاطيتها في نظرية الحقل الهادروني النسبوي والمتعلق بالكثافة

NUCLEAR MATTER EQUATION OF STATE AND INCOMPRESSIBILITY IN THE RELATIVISTIC DENSITY DEPENDENT HADRON FIELD THEORY

د. سامي حداد
قسم الفيزياء

ملخص

تحدد معادلة حالة المادة النووية وعدم انضغاطيتها باستخدام نظرية الحقل الهادروني النسبوي المتعلق بالكثافة. تدرس المادة النووية في الحالة الدنيا المتناظرة، وعند شروط انهيار المستعر الفائق، وتحدد كثافة ضغط المادة النووية المتساوية الإنتروبية بوصفها تابعاً للكثافة عند شروط انهيار المستعر الفائق. تقع قيمة عدم انضغاطية المادة النووية في الحالة الدنيا ضمن المجال الذي تحدده قياسات التجاوب العملاق الأحادي القطب السلمي الأيزو والحسابات النسبوية. ويؤدي تعلق وسائط الاقتران بالكثافة إلى نتائج أقرب إلى الحسابات المستخدمة في دراسة المستعرات الفائقة من نتائج حسابات نماذج نسبوية أخرى.

الكلمات المفتاحية: معادلة حالة المادة النووية، عدم انضغاطية المادة النووية، نظرية الحقل الهادروني النسبوي والمتعلق بالكثافة، نظرية بركنر ـ هارتري ـ فوك النسبوية، انهيار المستعر الفائق.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Acta Physica Polonica, Vol. B42, No. 6, 8 pages (2011).*

التوصيف الوراثي لسلالات سورية من بكتريا Erwinia amylovora باستخدام تقنية التعدد الشكلي لطول قطع الدنا المضخمة AFLP

GENETIC CHARACTERIZATION OF SYRIAN ERWINIA AMYLOVORA STRAINS BY AMPLIFIED FRAGMENT LENGTH POLYMORPHISM TECHNIQUE

حسان أمونة، محمد عماد الدين عرابي، أمينة شعيب،
مرعي راجح وانطونيوس الداود
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

جرى اختيار ثلاثين سلالة من بكتريا Erwinia amylovora، جمعت من مناطق زراعة التفاحيات في سورية، بحيث تمثل كافة المجموعات المرضة الرئيسة وأجريت عليها دراسة وراثية باستخدام تقنية الـ AFLP. جرى اختبار ثمانية تركيبات من المرئسات نتج عنها حوالي 300 شدفة. اعتماداً على معامل التشابه، توضعت كل السلالات في عنقود أساسي واحد يحتوي على عنقودين فرعيين، مما يظهر عدم وجود اختلافات وراثية كبيرة بين سلالات المرض المدروسة. إضافةً إلى ذلك جرى تأكيد لوجود بلازميدين في كل السلالات السورية المختبرة، وذلك بواسطة تفاعل بلمرة الدنا الحلقي وباستخدام مرئسات عدة بالتفاعل ذاته (multiplex PCR)، البلازميد الأول pEA29 وهو موجود عادةً في معظم عزلات E. amylovora في العالم، في حين أن البلازميد الثاني pEL60 موجود بشكل أساسي في السلالات اللبنانية حيث إن ذلك يعطي مؤشراً إلى احتمالية كون العزلات السورية واللبنانية ذات أصل واحد مشترك.

الكلمات المفتاحية: لفحة نارية، AFLP، توصيف وراثي، بلازميد، مسح.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Plant Pathology, 2011, 93 (1), 105-110.*

إزالة نظائر الراديوم من المياه المرافقة للنفط باستعمال البنتونايت

Removal of Radium Isotopes from Oil Co-produced Water Using Bentonite

د. محمّد سعيد المصري،
د. لينا العطّار
قسم الوقاية والأمان
يوسف بدير، عمر الشيّاح
قسم الكيمياء

ملخص

نظراً للأهمية البيئية جرى التحقق من امتصاص الراديوم على فلز البنتونايت الطبيعي الذي حُصل عليه من مدينة حلب في سورية، باستعمال طريقة الدفعات. وقد عُبر عن النتائج بدلالة معاملات التوزع. وبهدف تحسين انتقائية البنتونايت لامتصاص الراديوم فقد حُضرت الأشكال الأيونية المختلفة للبنتونايت. جرى التحقق من التغير الحاصل للبنى البلورية في الأوساط الحمضية، ومن تشكّل طور جديد مثل ($BaCO_3$) للمشتق الباريومي، وللأشكال الأيونية الأخرى باستعمال تقانة انعراج الأشعة السينية XRD. أبدى المشتق الصوديومي للبنتونايت القدرة الأكبر على امتصاص الراديوم. هذا وجرى التحري عن ماهية آلية امتصاص الراديوم على الأشكال الأيونية للبنتونايت باستعمال محاليل الراديوم الموافقة. بيّنت النتائج أن الامتزاز على سطح المبادل أو التبادل الأيوني السطحي هما الآليتان المسيطرتان. وقد لوحظ سلوك امتصاصي مختلف في حالة المشتق الباريومي تجلى في احتمال حدوث ترسيب مشترك للراديوم مع كربونات الباريوم. استُنتج السلوك التنافسي للمكونات الماكروية، المحتمل وجودها في محاليل النفايات، باستعمال محاليل ملحية موافقة ذات تركيز مختلف. وتبيّن أن أيون الصوديوم هو الأيون الأقل تثبيطاً. كما دُرس امتصاص الراديوم من عينات المياه المنتجة المرافقة لإنتاج النفط، التي جُمعت من حقول شركة دير الزور للنفط (DEZPC)، على البنتونايت الطبيعي وأشكاله الأيونية الأكثر انتقائية (الشكلان الصوديومي والباريومي). وتبيّن أن لدرجة حموضة (spH) عينات المياه تأثيراً واضحاً نسبةً لباقي المتغيرات الأخرى.

الكلمات المفتاحية: البنتونايت، المونتموريونايت، الراديوم، الامتصاص، التبادل الأيوني، المياه المنتجة المرافقة، معالجة النفايات.

تحليل خواص ميزات تيار-جهد في الخلايا الشمسية المصنوعة من مركبات السيليسوم الهلامي (اللابلوري) والمكروبلوري

Analysis of the IV-characteristics of solar cells made of hydrogenated amorphous, polymorphous and microcrystalline silicon

د. حسن حمادة
قسم الفيزياء

ملخص

دُرست في هذا العمل مزايا التيار–جهد في الخلايا الشمسية المصنوعة من كل من السيليسيوم الهلامي المهدرج والسيليسيوم المكروبلوري المهدرج والسيليسيوم المتعدد الأشكال المهدرج. وتمت دراسة هذه المزايا في مجال حراري واسع بين 195 و395 كلفن وتحت تأثير الضوء وفي الظلام. ولقد أظهرت هذه الدراسة أن السيليسيوم المتعدد الأشكال يتمتع بقدرة أكبر على امتصاص الضوء من مثيله المكروبلوري، وبالتالي تكون الخلايا المصنوعة من الأول ذات مردود أكبر ولها معامل ملء أعلى من الثاني. كما أن السيليسيوم المتعدد الأشكال يتمتع بخواص نقل تشابه مثيلاتها لدى السيليسيوم اللابلوري.

الكلمات المفتاحية: سليسيوم مهدرج، سيليسيوم لابلوري، سيليسيوم متعدد الأشكال، خلايا شمسية، ميزات تيار–جهد.

النمذجة الرياضية لليزر نصف ناقل مزود بمفتاح جودة منفعل

Mathematical modeling of a passively Q-switched diode laser

د. بشار عبد الغني،
مصطفى حمادي
قسم الخدمات العلمية

ملخص

جرى في هذا العمل تقديم نموذج رياضي لوصف الإصدار الديناميكي لمضاعف التواتر بداخل التجويف لمفتاح الكسب ولمفتاح الجودة لمغلق النمط للديود الليزري InGaAs/GaAs/KTP المؤلف من قطاعي موجه موجة بمقدمة متناقصة تدريجياً.

جرت نمذجة مضاعف التواتر بداخل التجويف لمفتاح الكسب InGaAs/GaAs للديود الليزري InGaAs/GaAs، حيث جرى ضخ أحد القطاعين كهربائياً ليشكل قطاع الكسب بينما لم يضخ القطاع الآخر (طبق عليه توتر انحياز عكسي) ليؤدي دور الماص القابل للإشباع.

الكلمات المفتاحية: مضاعف تواتر؛ مفتاح الكسب؛ قطاعين؛ مغلق النمط؛ الديود الليزري، InGaAs/GaAs.

قياس لاتناحي المقاومة النوعية للمركبين $2H\text{-}NbSe_2$ و$2H\text{-}TaSe_2$ حتى درجة حرارة 10K

Resistivity anisotropy measurement of $2H\text{-}NbSe_2$ and $2H\text{-}TaSe_2$ down to 10K

د. عادل نادر
قسم الفيزياء

ملخص

قيس في هذا العمل لاتناحي المقاومة النوعية (المقاومية) للمركبين $2H\text{-}NbSe_2$ و $2H\text{-}TaSe_2$ حتى 10K وقد تبين أن لاتناحي هذين المركبين هو من الرتبة نفسها ولكن أكبر من القيمة المتوقعة من نموذج لورانس ودونياش. كما تبين أيضاً أن اللاتناحي يخضع لتغير واضح في الميل عند حدوث تحول موجة كثافة الشحنة المسمى CDW و يمكن عدّه مقياساً لحدوث هذا التحول.

الكلمات المفتاحية: المقاومة النوعية، اللاتناحي، الخصائص الكهربائية، الحقل الحرج، موجة كثافة الشحنة.

تقصي مستويات التعرض للحقول الكهرطيسية الناتجة من محطات الإرسال والتقوية للهاتف الخلوي

Investigation of the exposure level of electromagnetic fields produced by mobile telephone base stations

د. عصام أبو قاسم،
د. محمد حسان خريطة
قسم الوقاية والأمان

ملخص

تم تقصي سويات الحقول الكهرطيسية في جوار عينات مختلفة لمحطات الهاتف الخلوي في عمل شمل مناطق سكنية من مدينة دمشق وضواحيها. أجريت القياسات وفقاً لاتجاه الإرسال وتبعاً لطبيعة المواقع المدروسة. بينت النتائج أن معظم القيم المسجلة في نقاط القياس المحددة كانت أقل من الحد الموصى به من قبل الهيئة الدولية للوقاية من الأشعة غير المؤينة International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)؛ مع التنويه إلى وجود سوية هامة نسبياً للأمواج المكروية المقيسة في عدد من المواقع المدروسة. تبين أن سوية الإشارة المقيسة تتناقص تدريجياً داخل الأبنية الواقعة جزئياً ضمن محور إرسال هوائيات المحطة وتساعد الجدران في تخفيض شدة الإشارة بشكل ملحوظ. أظهرت هذه الدراسة أهمية تحقيق التعاون الشفاف بين مخابر البحث العلمي وشركات الهاتف الخلوي من أجل تحسين مستوى الحماية.

الكلمات المفتاحية: الأشعة غير المؤينة، الحقول الكهرطيسية، الهاتف الخلوي.

القياس المؤتمت لممانعة بعض الأكاسيد السيراميكية للتيار الكهربائي المتناوب باستعمال جهاز التضخيم الطوري Lock-in

Automated AC Electrical Impedance Measurement of Ceramic Oxides by means of a Lock-in Amplifier

د. سمير الخواجة، د. محمد بهاء الصوص، فريزة نصر الله
قسم الفيزياء

ملخص

قمنا في هذه الدراسة بسبر الممانعة الكهربائية لبعض الأكاسيد السيراميكية باستخدام مضخم قفل الطور PerkinElmer DSP 7280 وذلك بتسجيل الاستجابة الكهربائية بدلالة التردد ودرجة الحرارة عند طويلة إشارة ثابتة. ومن خلال أتمتة هذا المضخم بالتكامل مع أجهزة القياس الكهربائية الدقيقة الأخرى، جرى تطوير برنامج تحكم لتحصيل استجابة العينة الترددية بدقة عالية وسرعة عالية، لاستنتاج ممانعة العينات بعد ذلك بقياس الإشارة الناتجة مقدرة بالفولط والأمبير. لوحظ من منحني قياس أكسيد الموليبدينيوم المشوب وجود قمتين عُظميين للممانعة تميزان طورين في العينة (المشوبة بـ 40% من أكسيد النيوبيوم) التي تبدي استرخاءً ظاهراً يرتبط بتحسن ناقليتها الأيونية ضمن الطور الصلب مع ازدياد التردد.

الكلمات المفتاحية: مضخم قفل الطور، الممانعة الكهربائية، الأكاسيد السيراميكية.

تقرير عن التحريات الجيوفيزيائية (لوحات كهربائية) المنفذة في سد (أبو بعرة)

Technical conditions of the geophysical investigation works performed by AECS, in Abou Baara dams

د. وليد الفارس، إياد سليمان
قسم الجيولوجيا

ملخص

بناءً على المهمة الفنية الخاصة بتنفيذ لوحات كهربائية في سد (أبو بعرة)، وبناءً على العقد رقم 5/2009 المبرم بين هيئة الطاقة الذرية وهيئة الموارد المائية في حماة، فقد قامت فرق القياسات الجيوكهربائية التابعة لقسم الجيولوجيا في هيئة الطاقة الذرية بتنفيذ ست لوحات كهربائية في سد (أبو بعرة). تتألف كل لوحة من نظام متعدد المآخذ (Multi-electrode) بطول 144 متراً وبتباعد (2 م) بين كل إلكترود وآخر.

يظهر من خلال تفسير مقاطع اللوحات الجيوكهربائية المنفذة في سد (أبو بعرة) وجود بنية شاذة تقع في الجزء الأيسر تحت جسم السد، هذه البنية (أو الشاذ) يمكن أن تكون مرتبطة بوجود مجرى أو كهف كارستي ضمن الصخور الكربوناتية. بالإضافة إلى ذلك، تظهر مجموعة من الشواذ على شكل بقع ذات مقاومية كهربائية منخفضة في بعض المقاطع والتي من الممكن أن تكون مرتبطة بنطاقات رشحية أو تسرب. أما النواة الغضارية للسد فتبدو سليمة وطبيعية

الكلمات المفتاحية: قياسات جيوفيزيائية، لوحات كهربائية، سد (أبو بعرة).

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria

NO. 135

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

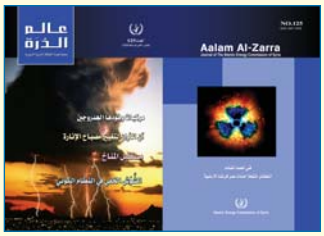
Prof. Dr. M. Hamo-leila

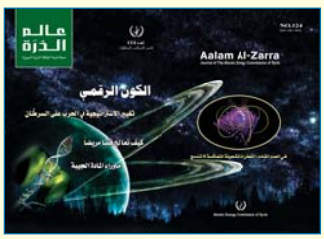
Prof. Dr. N. Sharabi

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.