# مالم الذرّة

AECS AECS

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

AECS AECS


**المدير المسؤول**

**أ. د. إبراهيم عثمان**

*المدير العام لهيئة الطاقة الذريّة*

**رئاسة هيئة التحرير**

أ. د. عادل الحرفوش

أ. د. محمد قعقع

AECS AECS

**أعضاء هيئة التحرير**

أ. د. فواز كرد علي

أ. د. مصطفى حمو ليلا

أ. د. علي حينون

أ. د. توفيق ياسين

أ. د. نزار مير علي

أ. د. نجم الدين الشرابي

أ. د. زهير قطان

AECS AECS

**المتابعة والتنسيق**

حسان بقلة

**التدقيق اللغوي**

نوال الحلح

ريما سنديان

**الإخراج الفني**

بشار مسعود

نبيل إبراهيم

مهند البيضه

أمل قيروط

**التنضيد الضوئي**

هنادي كنفاني

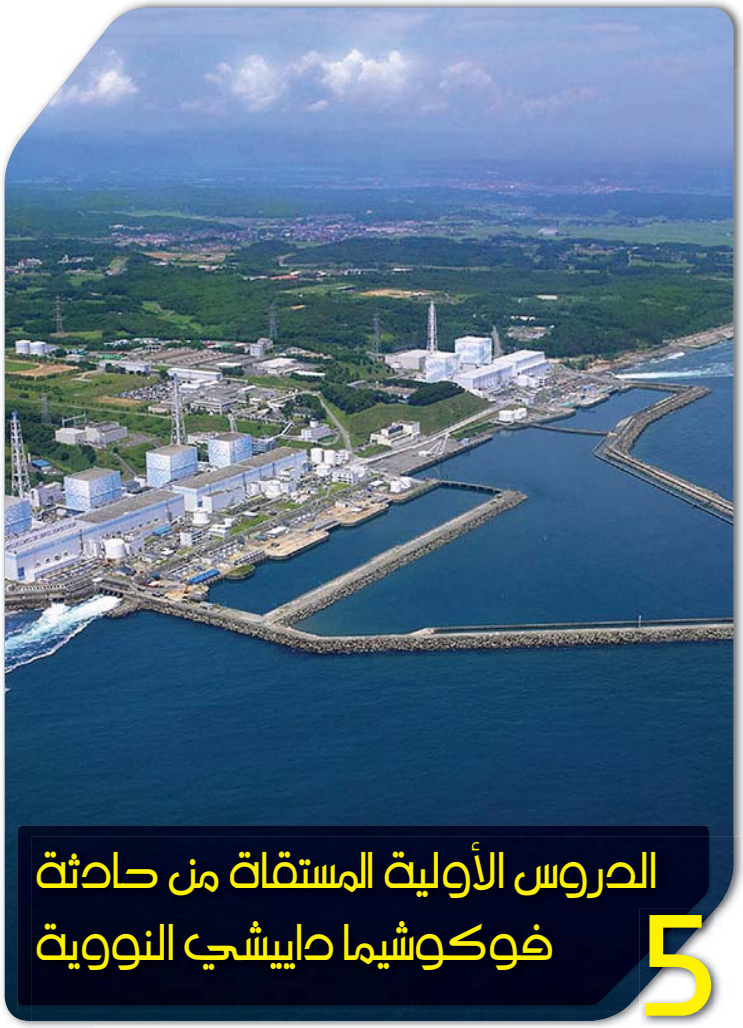
غفران ناوروز

**التوزيع**

عتيبة المنعم

AECS AECS

# المحتويات




الدروس الأولية المستقاة من حادثة فوكوشيما دايشي النووية 5


## مقـــالات

غازات الدفيئة غير ثنائي أكسيد الكربون وتغير المناخ 17


يسخن مناخ الأرض نتيجة انبعاثات غـازات الـدفيئـة الـبشـريـة المنشأ، وخصوصاً غاز ثنائي أكسيد الكربون $CO_2$ الـنـاتج مـن احـتـراق الوقود الأحفوري كما تساهم انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ غير ثنائي أكسيد الكربون، مثل الميتان وأكسيد النتروزو والمواد المستنفدة للأوزون، في سخونة الأرض بشكل كبير.

نتائج حادث فوكوشيما على سياسة الطاقة الألمانية 29


ألمانيا هي البلد الذي تفاعل مع حادث فوكوشيما بالطريقة الأكثر سرعة والأكثر جدية لأنه جرى إيقاف ثمانية مفاعلات عملياً، ووضعُ برنامج رسمي لإيقاف المفاعلات التسعة المتبقية في العام 2022 قانونياً. يبحث هذا المقال في التعليق المقرّ من قبل الحكومة بعد ثلاثة أيام من الحادث.

## أخبار علمية


- أوقفوا قتل البكتيريا النافعة ..... 38
- أعاصير حلزونية من صنع الإنسان ..... 40
- طفل الدماغ ..... 42
- دفقة أشعة غاما محيّرة ..... 45
- نهج جذري للتنوع ..... 47
- السليكون ..... 50

# ورقات علمية


- التأثير الإشعاعي لأكوام الفسفوجبسوم في النظام البيئي المحيط ..... 58
- إنتاج أنزيم الكسيلاناز خارج الخلية من أنواع الفطر Fusarium تحت ظروف تخميرية صلبة ..... 58
- عينات من السيليسيوم البوليمورف المتعدد الأشكال موضعة بمعدلات توضيع مرتفعة موصفة بمختلف التقنيات السعوية ..... 59
- تقليل دالة فير لتفسير شاذات مغنطيسية عائدة لبنى أقراص رقيقة، وكرات وفوالق ..... 59
- تقصي تأثيرات زرع ذرات نحاس وقنويتها بطاقة في مجال الميغا إلكترون-فولت في تشكل السليكون المسامي ..... 60
- دراسة حالة جيوفيزيائية للبنى الضحلة والعميقة تستند إلى طرائق التفسير التقليدية والمعدلة: تطبيق في الدراسات التكتونية والاستكشاف المعدني ..... 60


# تقارير علمية


- تقييم استجابة الفئران المصابة بالبروسيلا الضأنية 16م لبعض الكينولونات مقارنةً مع الدوكسي سكلين ..... 61
- تحفيز المقاومة عند نبات الكرمة بواسطة الريزوبكتيريا غير الممرضة ضد الفيلوكسيرا ..... 61
- معاملات انتقال الراديوم-226 والرصاص-210 والبولونيوم-210 من التربة الملوثة بالمواد المشعة الطبيعية إلى شجيرات الرغل والفصة والأعشاب ..... 61
- تحسين مواصفات الخرسانة السورية المستخدمة في خزن النفايات المشعة السائلة المنخفضة النشاط الإشعاعي والمديدة نصف العمر ..... 62
- إنتاج مادة النشاء المصبوغ بصبغة Remazol Brilliant Blue (Starch-RBB) المستخدمة للكشف عن نشاط أنزيم الأميلاز ..... 62
- دراسة تأثير بعض المركبات الفعالة المعزولة من نباتات المردقوش البري والآس العطري والزعتر البري على بعض أنواع البكتيريا ..... 62
- قياس معدلات جرعة غاما العالية لمنبع الكوبالت 60 بالتنشيط الغماوي لرقائق الإنديوم والكادميوم ..... 63
- دراسة فقد الطاقة الخطي لجسيمات ألفا في أوساط غازية مختلفة ..... 63
- منهجية إنتاج المسبوكات الرصاصية ..... 63

## شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 (18-2).
- 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.
- 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 [ ].
- ترقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.
- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.
- تخضع مادة النشر للتقييم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.
- 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 ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر**
**دمشق ـ ص.ب: 6091**
**هاتف: 6111926 11 (963+) ـ فاكس: 6112298 11 (963+)**
**E-mail: tapo@aec.org.sy**


### رسوم الاشتراك السنوي

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

**المصرف التجاري السوري ـ فرع رقم 13 ـ مزة جبل ـ دمشق ـ 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 ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية ـ دمشق ـ ص.ب: 6091 مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل.**

أو يدفع رسم الاشتراك مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة: دمشق ـ 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**

### الإعلانات

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


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

# الدروس الأولية المستقاة من حادثة فوكوشيما داييشي النووية

**الكلمات المفتاحية:** *حادثة مفاعل فوكوشيما، نظام الطوارئ، خطر الإشعاعات.*

ضرب اليابانَ زلزالٌ قوي في الحادي عشر من آذار/مارس عام 2011 وحصلت هزات ارتدادية أصابت مفاعل فوكوشيما داييشي فاقت شدتها الحد الذي صمم المفاعل لتحمله، إلا أن معظم المعدات المهمة في المفاعل نجت من الزلزال من دون أضرار تذكر، وعمل نظام الطوارئ بالشكل الأمثل. إلا أن التسونامي الذي تلا الزلزال أدى إلى اقتلاع خزانات الوقود الخاصة بمولدات الطوارئ ونقلها بعيداً عن الموقع كما أضر أيضاً بنظام تغذية الطوارئ المعتمد على المدخرات ما أدى إلى خسارة نظام طاقة الطوارئ بالكامل ومن ثم توقف المضخات المسؤولة عن تبريد المفاعل في حالة الطوارئ وبقاء أحواض الوقود المستهلك دون تبريد لأكثر من أسبوع. وقامت الشركة المشغلة للمفاعل TEPCO بجهود جبارة للحد من التسرب النووي، وإعادة تشغيل نظام التبريد الطارئ المتوقف وإعادة العمل في المحطة. كما تكبدت خسائر كبيرة بفقد معدات أساسية ومهمة أثناء الزلزال والتسونامي بالإضافة إلى التكاليف



هيئة الطاقة الذرية السورية

الباهظة المرتبطة بتنظيف المواد التي خرجت من المفاعل. وصنفت هذه الحادثة بالمرتبة السابعة وهي الأعلى ضمن تصنيف الوكالة الدولية للطاقة الذرية للحوادث النووية التي تشير إلى حادثة تترافق مع تحررات إشعاعية كبيرة مترافقة مع تأثير واسع على الصحة والبيئة المحيطة. ومن دون التقليل من خطر الإشعاعات النووية، فإن الكارثة الحقيقية هي تأثير الزلزال والتسونامي الذي حصد حياة 20 ألف شخص، ناهيك عن التأثير النفسي الكبير للحادثة. وقد دفع هذا الحادث ببعض الحكومات لإعادة النظر في سياساتها المتعلقة باستخدام الطاقة النووية. ما يعزز ضرورة استخلاص وتحليل الدروس والعبر من حادثة فوكوشيما بهدف تحسين سوية الأمان في المفاعلات على مستوى العالم والإبقاء على التأييد لبرامج الطاقة النووية على المدى الطويل.

تهدف هذه المقالة إلى إبراز ملاحظات خبراء الطاقة النووية حول حادثة فوكوشيما وانعكاسها على مستقبل صناعة هذه الطاقة بغية توظيف الدروس والعبر المستقاة من هذه الحادثة في تحسين متطلبات السلامة والأمان في المفاعلات الحالية والمستقبلية.

## مقدمة

ظهرت حادثة مفاعل فوكوشيما النووي على السطح في وسائل الإعلام العالمية، وتصدرت الاهتمام الشعبي، وطرحت، بشكل عام، مسألة الأمان في استخدام الطاقة النووية. ودفع هذا الحادث ببعض الحكومات لإعادة النظر في سياسة الطاقة المرتبطة باستخدام الطاقة النووية لاسيما عند الحكومتين اليابانية والألمانية. حيث ظهرت دعوات لإلغاء بناء المفاعلات الجديدة، وإعادة النظر في التمديد لعمل المفاعلات القديمة. وربما تؤدي هذه الدعوات إلى تراجع ملحوظ في مشاريع الطاقة النووية عالمياً بالاستناد إلى فرضية أن الطاقة النووية ليست آمنة بما فيه الكفاية.

وقع الحادث نتيجةً لأسوأ هزة أرضية مترافقة بتسونامي شهدتها اليابان في العصر الحديث. وأدى هذا الحادث إلى فقدان أكثر من 20000 ضحية، وأكثر من مليار دولار كخسائر مادية مباشرة. وبغض النظر عما حصل في البداية، رغم أهميته، فإن مفاعل فوكوشيما كان يعمل بشكل جيد ولا توجد مؤشرات على وجود خطأ بشري في التعامل مع الأزمة. فقد صمم المفاعل لتحمل هزة أرضية بمقدار 8.2 درجة، في حين كانت شدة الهزة 9 درجات، وهو مصمم أيضاً لتحمل تسونامي بارتفاع 5.7 متر، في حين بلغ ارتفاع التسونامي الذي ضربه 14 متراً. وقد لوحظ أن حاويات أمان المفاعلات (Containments) في الوحدة الأولى والثالثة كانت سليمة برغم الحمل الكبير الذي تعرضت له ولم تكن مصممة لمجابهته (هزة أرضية مصحوبة بتسونامي، وحدوث انفجارات الهدروجين في بناء المفاعل، بالإضافة إلى البخار المنفلت من أنابيب الضغط في المفاعل، والتعرض لمياه البحر الدافئة، والضغط المرتفع الذي فاق الحدود المُصَمم وفقها لعدة أيام).

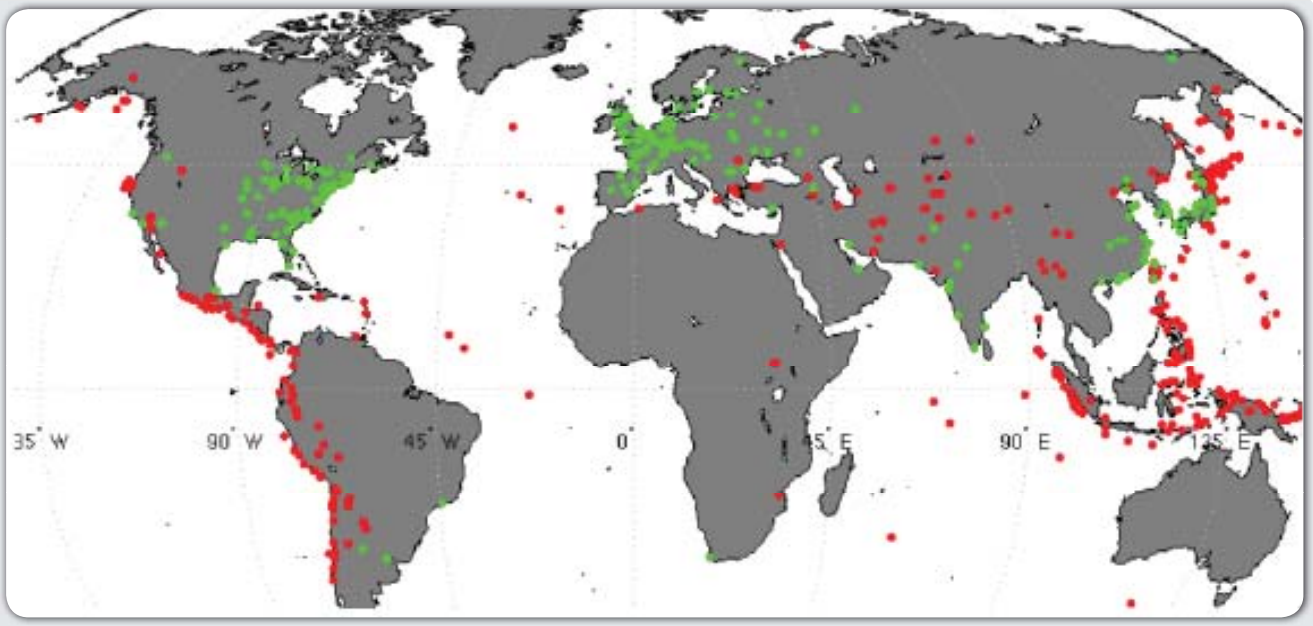
ولقد بدا أن هناك ثقباً في بناء الوحدة الثانية وكان النشاط الإشعاعي المنبعث من المفاعل كبيراً جداً بالإضافة إلى الانبعاثات الناتجة عن حاوية المفاعل وحوض الوقود المستهلك. وقد تعرض بعض العمال إلى جرعة كبيرة من الإشعاعات لا تقل عن 100 mSv بالنسبة لكامل الجسم. ولكن تعرض حياتهم للخطر وحياة الناس القاطنين في الجوار كان بعيد الاحتمال. وفي الحقيقة لم تحدث أي وفاة مباشرة ناجمة عن الحادث النووي.

لم تشهد اليابان زلزالاً ولا تسونامي ولا حتى حوادث نووية كالتي حدثت في مفاعل فوكوشيما، حيث صنفت هذه الحادثة بالمرتبة السابعة وهي الأعلى ضمن تصنيف الوكالة الدولية للطاقة الذرية للحوادث النووية التي تشير إلى حادثة تترافق مع تحررات إشعاعية كبيرة مترافقة مع تأثير واسع على الصحة والبيئة المحيطة كحادثة تشرنوبل مع الفارق الكبير بين الحادثتين. من جهة أخرى، ساعد وجود رياح وتيارات بحرية مواتية بعد الحادث في تخفيف عواقب التحررات الإشعاعية، في الوقت الذي كانت عمليات إخلاء السكان قد أنجزت تقريباً.

## تسلسل الأحداث

أدى حدوث التسونامي الذي تلا الزلزال إلى انقطاع التغذية الكهربائية الضرورية لتشغيل مضخات التبريد وأصبحت الطريقة الوحيدة للتخلص من الحرارة في المفاعل هي غليان الماء في قلب المفاعل. وبعد انقطاع إمداد الماء للمفاعل قام المشغلون بإمداده بمياه البحر، مع العلم بأن هذه العملية قد تجعل المفاعل غير صالح للعمل من جديد. وبهذه الطريقة بقي المفاعل بحالة مستقرة حيث يغلي الماء ويندفع البخار الناتج إلى مبنى الحاوية*. ويُعدُّ غليان الماء أمراً طبيعياً في هذا النوع من المفاعلات باعتبار أنه من نوع مفاعلات الماء المغلي (BWR). وتحاكي عملية غمر الماء لمستوى أقل من 1.7 إلى 2 متر أعلى

* من الضروري التنويه إلى كيفية تسرب البخار إلى الحاوية (هل هناك كسر في الأنابيب أم فُتحت صمامات التخفيف).




*موقع محطات الطاقة النووية التجارية حول العالم (النقاط الخضراء) وجميع الهزات الأرضية الحاصلة ≤ 7 ريختر بين عامي 1973–2010 (النقاط الحمراء).*

قلب المفاعل حالة التشغيل الاعتيادية. حيث يعمل المفاعل عند الاستطاعة الاسمية بحيث يكون قلب المفاعل مغموراً جزئياً بالماء ومستوى الماء أقل بكثير من أعلى قلب المفاعل ويتبرد الجزء العلوي للقلب بغليان الماء مشكلاً فقاعات من البخار وهي طريقة فعالة في التبريد. وجاء في التقارير أنه قبل استخدام مياه البحر انخفض مستوى الماء بشكل كبير في المفاعل ما أدى إلى زيادة كبيرة في درجة حرارة الوقود النووي وإصابة الطبقة الخارجية من غلاف الوقود بالضرر (غلاف الوقود المصنوع من الزركونيوم) كما تفاعل مع أكسجين الماء ما أدى إلى انطلاق الهدروجين إلى الحاوية وإلى المبنى الخارجي وتسبب لاحقاً بالانفجار وتدمير المبنى. وجرى بعد ذلك (مع تعرض الوقود للخطر) تنفيس البخار إلى الوسط المحيط حاملاً معه نواتج الانشطار المشعة (عادة تتم عملية التنفيس في هذا النوع من المفاعلات عبر حمام مائي للتخلص من نواتج الانشطار الطيارة). ومع مرور الوقت تناقصت درجة حرارة الوقود (في القلب وأحواض الوقود المستنفد) من 2% من طاقة الوقود في الساعة الأولى من توقف المفاعل (عندما انقطعت التغذية عن المضخات المسؤولة عن التبريد) إلى حوالي 0.2% بعد أسبوع وتناقصت كميات البخار المنطلقة إلى الوسط المحيط وأصبح من الممكن التحكم بها في مختلف الظروف.

وبرزت قضية أخرى للاهتمام وهي عدم المقدرة على تأمين التبريد لأحواض الوقود المستنفد في الوحدة الرابعة وفيما بعد في الوحدة الثالثة حيث برز الاهتمام بأحواض الوحدة الرابعة لأنه تم إخراج القلب إلى الأحواض في شهر تشرين الثاني/نوفمبر (لأغراض الصيانة) ويعتقد أنه تم وضع قلبين مستهلكين سابقاً ريثما يتم نقلهما إلى حوض التخزين المركزي. ومع تبريد لبضعة أشهر فقط، فإن الحرارة المتبقية كافية لرفع درجة حرارة الماء في حوض التخزين لدرجة الغليان في غضون عدة أيام أو أسابيع. ويُعتقد بأن الزلزال أدى إلى تسرب بعض المياه من الأحواض في الوحدتين الثالثة والرابعة وعدم تبريد الوقود فيهما بشكلٍ كافٍ ما أدى إلى رفع درجة الحرارة فيهما إلى درجة الغليان. وبما أن أحواض الوقود كانت موجودة خارج مبنى الحاوية الرئيسي فقد أدى ذلك إلى انتشار التلوث الإشعاعي بسهولة مقارنة مع القلب الموجود ضمن حاوية الأمان. واستخدمت خراطيم مياه عالية الضغط لتزويد أحواض الوقود بالمياه لاحقاً.

## الدروس والعبر المستقاة من حادثة فوكوشيما

يُسهم استخلاص الدروس والعبر من حادثة فوكوشيما في تحسين شروط الأمان في المفاعلات على مستوى العالم والإبقاء على التأييد لبرامج الطاقة النووية على المدى الطويل. وسيجري التطرق إلى المواضيع التالية:

① طاقة نظام الطوارئ وبنيتها التصميمية عقب التأثيرات الخارجية.

*المحطة النووية فوكوشيما داييشي بعد الحادثة.*

② استجابة نظام الطوارئ للعوامل الخارجية من حيث التصميم والمبدأ.

③ حاوية أمان المفاعل.

④ إدارة الهدروجين.

⑤ حوض الوقود المستهلك.

⑥ موقع المحطة النووية ومخططها.

## ① طاقة الطوارئ عقب التأثيرات الخارجية المؤدية لحوادث فوق تصميمية

### *مشاهدات من فوكوشيما*

أدى فقدان التغذية الكهربائية عبر الشبكة العامة نتيجة الزلزال، وفقدان التيار الكهربائي المتناوب داخل المفاعل نتيجة التسونامي مع عدم جاهزية مولدات الديزل، مع استهلاك متزايد لطاقة المدخرات إلى حدوث انقطاع كامل في تغذية المحطة (Black out) ما أدى إلى ارتفاع درجة حرارة الوقود النووي وحدوث أضرار كبيرة.

### *سؤال مهم:*

*كيف يمكن تجنب حدوث توقف كامل في التغذية الكهربائية للمحطة أو على الأقل التخفيف من آثاره لضمان حدوث أقل الأضرار؟*

### *حلول مقترحة للمفاعلات الحالية الموضوعة في الخدمة:*

- وضع مولدات الديزل والوقود المستنفد لها ووسائط التحكم بها ضمن غرف على ارتفاع كاف أو ضمن غرف قادرة على تحمل الفيضانات للوقاية من انقطاع التغذية الكهربائية نتيجة التسونامي. ومع الأخذ بالاعتبار أن شدة الهزة الأرضية ستكون أكبر كلما ارتفعنا للأعلى. ونتيجة التنبه للآعاصير الاستوائية (تيفون) وموجاتها، يجب بناء جميع مولدات الطوارئ في المفاعلات النووية ضمن غرف مغلقة مقاومة للمياه تضم أيضاً الوقود المستنفد لهذه المولدات.

- الإعداد المسبق لمولدات ديزل متنقلة (عنفات غازية) يمكن إحضارها فور حدوث طارئ عن طريق البر أو البحر أو الجو لاستعادة التغذية الكهربائية للمفاعل في حال فقدانها.

### *حلول مقترحة للمفاعلات المستقبلية:*

تركيب نظام مزدوج للأمان (نشط وفاعل ومنفعل active and passive safety system) يتضمن جميع الاحتمالات لتجنب حدوث انقطاع كامل في تغذية المفاعل ومن دون الحاجة لتدخل خارجي. ويأتي الحل الأنسب في هذه الحالة بعد دراسة جميع المخاطر المحتملة مع الأخذ بعين الاعتبار فشل نظام الحماية الرئيسي نتيجة مؤثرات خارجية. والسؤال هنا: هل بات من الضروري استخدام نظام أمان مزدوج (نشط وفاعل ومنفعل) في المفاعلات النووية الجديدة؟

## ② استجابة الطوارئ عقب التأثيرات الخارجية المؤدية لحوادث فوق تصميمية

***مشاهدات من فوكوشيما:***

كان هناك قلق من أن لا تتمكن الشركة المشغلة لمفاعلات فوكوشيما (TEPCO) من تأمين كادر بشري قادر على إدارة الأزمة في حال حدوث مكروه للطاقم الحالي نتيجة التسونامي أو الزلزال.

حدوث لغط بين الناس حول مستويات الإشعاع المنبعث نتيجة ثلاثة عوامل، وهي: استخدام ثلاثة مقاييس مختلفة لقياس الانبعاثات الإشعاعية (بالجرعة، بالجرعة المكافئة، بالنشاط الإشعاعي)؛ واستخدام نظامين لواحدة القياس: الواحدة الدولية SI المتعارف عليها حالياً، والواحدة الأقدم منها التي ماتزال مستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية. بالإضافة إلى حدوث نقص في فهم معنى هذه المستويات من الإشعاع.

***سؤال مهم:***

*كيف يمكن تأمين كادر مؤهل لإدارة المفاعل في حال حدوث كارثة خارجية تؤدي إلى مقتل الكادر القديم؟ وكيف يمكن حساب مدى منطقة الإخلاء في حال تعرض المفاعل لضرر خارجي مباشر يمكن أن يطال المنطقة المحيطة بالمفاعل؟ وكيف يمكن التواصل مع الناس وإيصال فكرة حدوث خطر إشعاع نووي بأبسط وأنجع السبل وضمان سلوك منظم ومنضبط لهم؟*

***حلول ممكنة للمفاعلات الحالية والمستقبلية:***

• يمكن إحضار فريق من العمال المؤهلين من المحطات المشابهة بشكل عاجل إلى المفاعل المتضرر في حال عجز الجهة المشغلة للمفاعل عن إحضار فريقها. ففي الولايات المتحدة الأمريكية يتم تدريب وتأهيل كوادر للتدخل السريع بالاشتراك مع الكوادر المشغلة لنفس النوع من المفاعلات، ويتم إحضار هذه الكوادر وقت الضرورة بواسطة الطائرات العسكرية من أجل الوصول بالوقت المناسب. وفي الدول التي يوجد فيها عدد قليل من المفاعلات فإن فريق التدخل يمكن أن يكون دولياً.

• يجب أن لا يتم تطبيق الإجراء المحافظ للقيام بإخلاء محيط المفاعل (30 كم مثلاً) في حالة الحوادث الناشئة عن كوارث طبيعية مثل الزلزال والتسونامي والأعاصير التي تكون قد أحدثت أضراراً واسعة بالسكان المحليين، ومن ثم فإن عملية إخلاء ضخمة ستؤدي إلى تحويل الطاقات بعيداً عن الكارثة الحقيقية (النووية)، ويؤدي ذلك أيضاً إلى إحداث توتر ورعب زائد بين الناس، وبالتالي تقييم المفاضلة بين الإخلاء وإيجاد الحماية والمأوى. ويجب أن تكون استراتيجية الإخلاء قائمة على تقليل المخاطر على السكان من الأضرار كافة. ويجب أن يكون توسيع منطقة الإخلاء مبنياً على أساس الانبعاثات الإشعاعية وحدوث أضرار مباشرة بالمنطقة المحيطة بالمفاعل المتضرر.

• قيام هيئة التنظيم النووي بتأمين أكبر كادر ممكن من الموظفين العاملين في المحطة لجمع المعلومات وتوفيرها بالوقت المناسب، والقيام، في حال الضرورة، بإدارة مشغلي المحطة النووية وتوجيههم خلال الحادث. ومن ثم فإن المسؤولية في مثل هذه الأحداث ستكون موزعة وليست محصورة بجهة معينة.

• يجب تزويد الناس في مثل هذه الكوارث بالمعلومات الكاملة حول مخاطر تسرب الأشعة النووية وتقديمها ضمن وحدة قياس مفهومة وواضحة. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام معدل الجرعة بالمقارنة مع المستويات الطبيعية للإشعاع لتجنب تحويل الواحدة إلى الوحدات الأخرى المستخدمة محلياً في بعض الدول. إذ يبلغ معدل الجرعة الطبيعية التي تأتي من المصادر الطبيعية عالمياً 2.4 mSv بالسنة، أو 0.27 Svμ بالساعة. ومن ثم فإن المستويات المرتفعة الناتجة عن التلوث يجب أن تعطى بالمقارنة مع المستويات الطبيعية للإشعاع. ويمكننا الحصول على فوائد عدة من تلك

*المحطة النووية فوكوشيما داييشي قبل الحادثة.*

المقارنة، أولها أنه لا حاجة لجهد كبير لفهم الوحدة المستخدمة. فعلى سبيل المثال: عشرة أضعاف النسبة الطبيعية للإشعاع أسهل من قولنا: نسبة الإشعاع 2.7 Svμ بالساعة. والفائدة الثانية هي أنه لا حاجة للتحويل بين وحدات القياس واستخدام الوحدات مثل الميلي و الميكرو الخ... والفائدة الثالثة مساهمة هذه الطريقة لتبادل المعلومات حول الإشعاعات في تعزيز مفهوم التعرض لبعض مستويات الإشعاع بشكل طبيعي يومياً. وأخيراً، لا يتضمن استخدام هذه الطريقة حجم الضرر والمخاطر على الصحة نتيجة تلقي هذه الإشعاعات. وهذا مهم لأننا لا نعرف بالضبط مستوى الجرعة الخطرة حيث يوجد مناطق من العالم تحتوي على مستويات من الإشعاعات أعلى من مستوى المتوسط العالمي ومع ذلك لا يوجد أضرار ملحوظة على صحة الناس فيها.

## ③ إدارة الهدروجين:

***ملاحظات من فوكوشيما:***

لقد أدى توقف التبريد في مفاعل فوكوشيما إلى ازدياد درجة حرارة الوقود النووي وغلافه بشكل كبير ما أدى إلى زيادة عملية التأكسد وتوليد كمية كبيرة من غاز الهدروجين تسببت بحدوث انفجار وتضرر مبنى المفاعل في الوحدة الأولى والثالثة واشتعال النيران في الوحدة الرابعة.

***سؤال مهم:***

*كيف يمكن التخفيف من توليد غاز الهدروجين وتراكمه؟*

***حلول ممكنة للمفاعلات الحالية والمستقبلية:***

- يجب أن يكون تنفيس الضغط من أوعية الضغط بواسطة أنابيب قوية موصولة إلى مدخنة (وهذه الطريقة متبعة في المفاعلات الأمريكية على سبيل المثال) ويجب أن تتم عملية التنفيس بشكل ذاتي من دون استخدام طاقة.

- يجب أن يكون حوض المفاعل موصولاً مباشرة بمدخنة المفاعل. وفي حال فشل عمل المدخنة بسبب انقطاع التغذية الكهربائية عن المفاعل فإن النوافذ والفتحات الموجودة ضمن مبنى الحوض يمكن أن تفي بالغرض.

- يمكن استخدام مرجعات الهدروجين (Hydrogen recombiners) ومشعلات الهدروجين في حال كانت كمية انبعاث الهدروجين قليلة في الجزء العلوي من مبنى المفاعل حيث يتجمع الهدروجين. كما يمكن أيضاً استخدام متحدات حفازية catalytic recombiners في نظام التنفيس وداخل الحاوية (لم تجرب هذه الطريقة إلى الآن).

- يجب بحث اشتعال الهدروجين (Hydrogen flares) من أجل عملية تنفيس ضخمة للغازات من حاوية أمان المفاعل.

- يمكن التخفيف من استخدام المواد التي تبعث الهدروجين في حال تأكسدها أو استبدالها بمواد أخرى. فمثلاً: استبدال الزركونيوم المستنفد لأغلفة الوقود بمادة أخرى، يمكن أن تكون هذه المادة الجديدة السيراميك أو السيليكا.

## ④ حاوية أمان المفاعل

***مشاهدات من فوكوشيما:***

توجب على المشغلين أن يقوموا بتنفيس حاوية أمان المفاعل (بدل تبريدها) لتجنب ازدياد الضغط بشكل كبير داخلها نتيجة توقف التغذية الكهربائية الكامل الذي حصل في المحطة. وأدى تسرب بعض الغازات إلى مبنى المفاعل وتوقف التصريف (نتيجة لتوقف التغذية الكهربائية الكامل) إلى تراكم الهدروجين ما أدى لحصول انفجار مبنى المفاعل وتدميره في الوحدة الأولى والثالثة.

***سؤال مهم:***

*كيف يمكن التقليل من حاجة التنفيس في مبنى حاوية المفاعل أو الاستغناء عنها بشكل كامل أو التخفيف من عواقبها؟*

***حلول مقترحة للمفاعلات الحالية:***

يجب أن تتم عملية تنفيس مبنى حاوية المفاعل مباشرة إلى المدخنة في حال فشل التبريد.

***حلول مستقبلية ممكنة:***

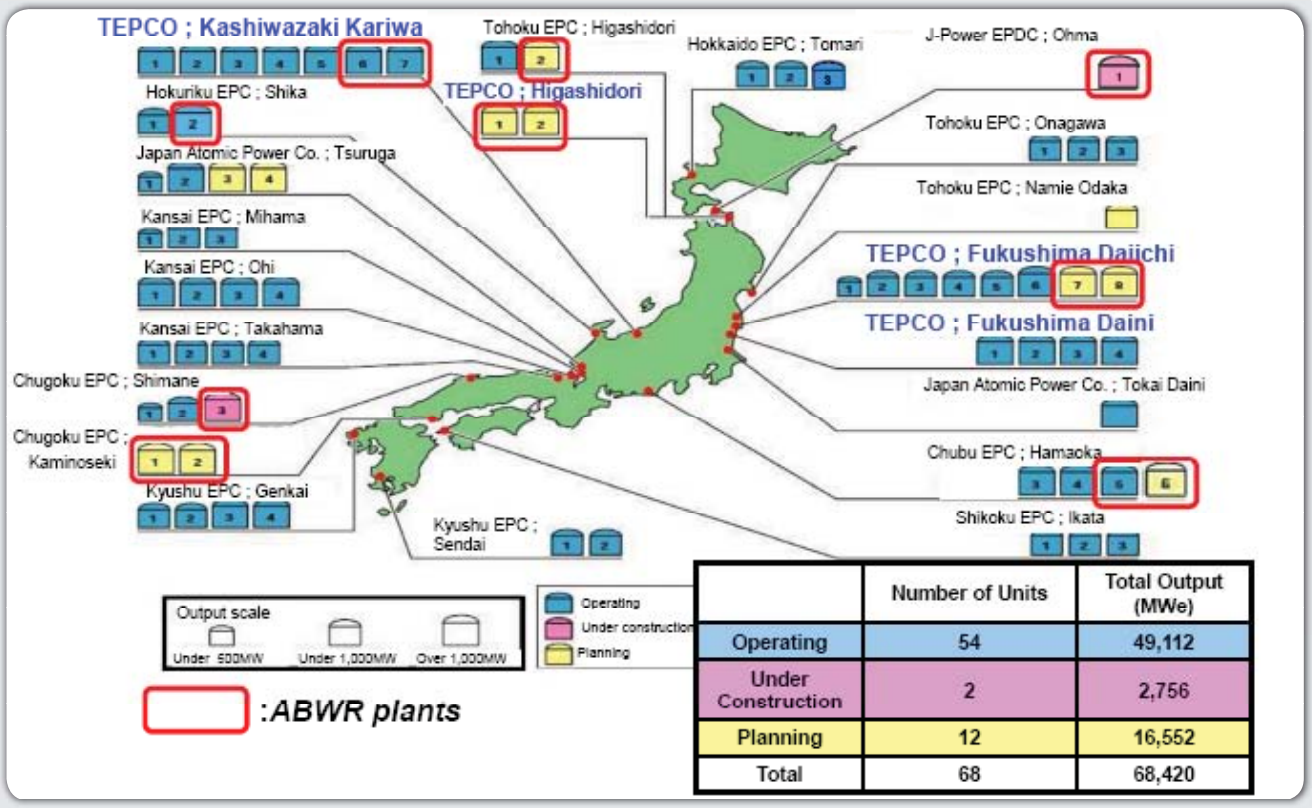
- استخدام طريقة التبريد المنفعل للحاوية يمكن أن تحل محل الحاجة لتنفيسها كطريقة لتخفيف الضغط داخل حاوية المفاعل وذلك في حال توقف التغذية الكهربائية.

- استخدام حاويات أمان مجهزة بأنظمة فلترة/تنفيس (filtered/vented containment) (كما هو الحال في فرنسا والسويد) قد يقدم حلولاً متوازنة للتحكم بالضغط الحاصل داخل الحاوية والإشعاعات المنبعثة إلى الجو في حال فشل التبريد داخل حاوية المفاعل.

## ⑤ حوض الوقود المستهلك

***مشاهدات من فوكوشيما:***

- أدى رفع موقع حوض الوقود المستهلك إلى تعرضه للضرر نتيجة الانفجار الهدروجيني الذي حدث في مبنى المفاعل في الوحدة الأولى والثالثة ومن الممكن الرابعة أيضاً.




| | Number of Units | Total Output (MWe) |
|---|---|---|
| Operating | 54 | 49,112 |
| Under Construction | 2 | 2,756 |
| Planning | 12 | 16,552 |
| Total | 68 | 68,420 |

*توزع محطات الطاقة النووية في اليابان.*

• أدى عدم تبريد حوض الوقود المستهلك إلى نشوب حريق في الوحدة الرابعة ما استدعى التبريد بطرق غير تقليدية (عبر الحوامات ومدافع الماء) طوال أسبوع كامل. لقد أدى الزلزال إلى تسرب الماء من الأحواض ما أدى إلى زيادة الوضع سوءاً.

• نجم أكبر نشاط إشعاعي منبعث من مفاعل فوكوشيما عن أحواض الوقود المستهلك.

***أسئلة مهمة:***

*– كيف يمكن حماية أحواض الوقود المستهلك من التأثيرات الخارجية؟*

*– كيف يمكن تأمين تبريد موثوق لأحواض الوقود المستهلك في حال الانقطاع الكامل للتغذية الكهربائية عن المحطة؟*

*– كيف يمكن التقليل من الحد الخاص بالمصدر في أحواض الوقود المستهلك؟*

***الإجراءات الممكن اتخاذها في المفاعلات الحالية:***

• يمكن نقل أماكن تجميع الوقود المستهلك إلى أماكن أخرى أكثر جفافاً بأسرع وقت ممكن. ويمكن تصميم براميل مزودة بقبة علوية تسمح بزيادة تبريد الهواء للوقود الموجود بداخلها. وبجميع الأحوال يجب الأخذ بعين الاعتبار ما يلي: 1– ضمان عدم تلف البراميل نتيجة زلزال أو إعصار؛ 2– لا يمكن التقليل من خطر الإشعاع في حال انكسار البراميل (على عكس الأحواض حيث يقوم الماء بالتخفيف من أثر هذه الإشعاعات)؛ 3– تأتي الحرارة المتزايدة في الأحواض بغالبيتها من الوقود المفرغ إليها حديثاً، لذلك فإن نقل الوقود القديم إلى براميل جافة لن يكون ذا تأثير كبير على تسخين الحوض أثناء الحادث. ونتيجة ذلك فمن غير الواضح هل من المفضل الدعوة إلى تسريع عملية التخزين الجاف أو تفضيل طرائق أخرى مثل أحواض الوقود المستهلك ضمن الموقع أو تخزين الوقود المستهلك ضمن مستودعات مركزية مؤقتة.

• استخدام أحواض الوقود المستنفد الحالية بعد إلحاقها بنظام تبريد مستقل يمكن أن يقلل من تأثير الحوادث الخارجية.

• يجب إعادة النظر في سياسة تفريغ قلب المفاعل في الأحواض المجاورة أثناء عملية تغذية المفاعل بوقود جديد وتعبئة أحواض الوقود المستنفد.

***تحسينات مستقبلية مقترحة:***

• يجب أن تحفظ أحواض الوقود المستهلك في بناء يشبه الحاويات

ومنفصل عن مبنى المفاعل. علماً أنه يوجد في بعض مفاعلات الماء المضغوط أحواض للوقود المستهلك داخل حاوية المفاعل.

• يمكن بناء كونسورتيوم (تكتل/اتحاد) إقليمي أو عالمي يقدم التسهيلات في حفظ الوقود المستهلك لفترة مؤقتة من الزمن. وهذا يقلل من مخاطر الوقود المستهلك في المفاعل وبالتالي التقليل من مصدر الخطر في حال وقوع أي حادث. ويجدر بالذكر أن اليابان أكملت مؤخراً بناء مفاعل لإعادة المعالجة في روكاشو وخلال 10–15 سنة فإن جميع الوقود المستهلك سوف يشحن إلى هناك عوضاً عن بقائه لفترات طويلة في المفاعل.

• إمكانية إنشاء أماكن تخزين عالمية للوقود المستهلك. وتتواجد أكبر مخازن للوقود المستهلك في الولايات المتحدة.

## ⑥ موقع المحطة ومخططها

***مشاهدات من فوكوشيما:***

• نتيجة مخطط موقع محطة الطاقة النووية المضغوط (COMPACT) فإن مشكلة حدثت في أحد الأقسام أثرت بشكل سلبي على الوحدات المجاورة. فمثلاً، حدوث انفجار هدروجيني في الوحدة الثالثة أدى إلى تعطيل مضخات الحريق التي تستخدم مياه البحر للوحدة الثانية، بالإضافة إلى أن نشوب الحريق في الوحدة الرابعة كان نتيجة تسرب الهدروجين من الوحدة الثالثة عبر الأنابيب المشتركة مع الوحدة الرابعة. في حين لم تتأثر الوحدات الخامسة والسادسة بالحادث نظراً لبعدها عن الوحدة الأولى والثالثة والرابعة.

• أدى حدث خارجي واحد (تسونامي) إلى إيقاف 13 محرك ديزل عن العمل في المحطة في آن واحد.

• عدم تأثر مفاعلي فوكوشيما دايتشي وأوناغاو المجاورين للمفاعل فوكوشيما دايتشي حيث نجيا من الزلزال والتسونامي من دون أضرار مذكورة.

***سؤال مهم:***

*كيف يمكن تلافي الفشل المشترك لأنظمة عديدة نتيجة خطأ مفرد (single failure) وعدم انتشار الضرر من وحدة إلى أخرى في المحطة النووية؟*

***حلول مقترحة في المفاعلات الحالية:***

يجب تطوير تخطيط المحطة بشكل مختلف وتحقيق مبدأ التنوع والفصل المكاني بين الوحدات. فمثلاً: يجب إحداث غرفة واحدة لمولد ديزل على ارتفاعٍ كافٍ لحمايتها من التسونامي، ولكن يجب أيضاً أن لا يؤثر ارتفاعها في حال حدوث ارتطام بواسطة الطائرات. ويمكن، في المستقبل، وضع أبنية الإدارة وأبنية الخدمة بين الوحدات لتأمين الفصل الفيزيائي بينها.

***حلول مستقبلية ممكنة:***

• من الواضح أنه يتوجب بناء المفاعلات المستقبلية في مواقع بعيدة عن أماكن حدوث الزلزال وبعيدة عن السواحل أيضاً لتجنب الحوادث الناجمة عن الهزات الأرضية العنيفة والتسونامي والفيضانات. ومن الواضح أن أكثر التجمعات البشرية تكون بالقرب من الشواطئ وبالقرب من مجاري الأنهار لذلك فإن هناك حاجة ضرورية في إيجاد مواقع جديدة تكمن في تقليل احتمال وقوع حادث نتيجة تأثيرات خارجية والابتعاد قدر الإمكان عن الكثافة السكانية العالية. تتمركز معظم المفاعلات النووية حول العالم بعيداً عن أماكن النشاط الزلزالي (كما هو واضح بالشكل 1)، يستثنى من ذلك اليابان وتايوان وكاليفورنيا. إلا أنه جرى التغلب على هذا التحدي في تلك المناطق بتصاميم مقاومة للزلزال قامت عليها المفاعلات في تلك المناطق. والسؤال المهم الذي يطرح نفسه هنا: هل يجب تجنب بناء المفاعلات في مثل هذه الأماكن المعرضة للخطر، أم يجب تصميم تلك المفاعلات لمقاومة هذه العوامل؟

يتحدد عدد الوحدات المسموح بها في محطة واحدة آخذين بعين الاعتبار المعايير المهمة التالية: 1. التخفيف قدر الإمكان من عوامل الضعف المشتركة. 2. وجود الكوادر والموارد المشغلة للمفاعل القادرة على مواجهة حادث وخيم (Sever accident) مؤثر على جميع الوحدات بوقت واحد. 3. تخفيض الحد الخاص بالمصدر المشع (source term reduction). 4. الكفاءة والجودة العالية (تبادل الخبرات). 5. معدات مشتركة (مع الأخذ بعين الاعتبار الأمان والمردود الاقتصادي). 6. التأثير المنخفض على البيئة لعمليات التبريد المتعددة الوحدات.

## تأثير حادثة فوكوشيما على العامة

***تأثير النيكليدات المشعة***

ليس لجميع النيكليدات (على كثرتها) المنبعثة من جراء الحادثة الأثر نفسه على الصحة العامة نتيجة أسباب عدة تتعلق بالشدة (abundance)، ونمط التفكك (decay scheme)، وعمر النصف (الذي يؤثر بدوره على الطريق المسلوك من قبل هذه النظائر في الجسم، وعلى مناطق تمركزها ومدة بقائها فيها). تنتشر الغازات الخاملة، مثل الكريبتون والكزينون، بسرعة في الجو في حين تبقى العديد من العناصر الأخرى غير الطيارة في محيط المفاعل مثل اليود $^{131}I$

*آثار الدمار الذي أحدثه الزلزال والتسونامي في محطة فوكوشيما دابيشي.*

والسيزيوم $^{137}Cs$ التي تصدر مزيجاً من أشعة بيتا وغاما وبالتالي تشكل خطراً كبيراً على صحة الإنسان داخلياً وخارجياً. حيث تنبعث هذه النظائر بوتيرة الشدة العالية ويتراوح نصف عمرها بين ثلاثين سنة ($^{137}Cs$) وثمانية أيام ($^{131}I$). ومن ثم فهي لن تتلاشى إلا بعد أن تكون قد أحدثت أضراراً بالغة في البيئة المحيطة بحيث تتلاشى بعد إصدارها جرعة لا يمكن الاستهانة بها مقارنة بعمر الإنسان.

وقد جرى قياس تسرب أشعة غاما بجرعات متفاوتة بعد حدوث التسونامي وما تبعه من تعطل في نظام التبريد لمفاعل فوكوشيما دابيشي للطاقة النووية في الخامس عشر والسادس عشر من آذار/مارس وتضاءلت هذه الأشعة بشكل تدريجي نتيجة لعوامل مركبة منها التبدد في البيئة المحيطة والطبيعة الفيزيائية للنظائر المشعة ذات العمر نصف القصير مثل اليود وذات عمر نصف الطويل مثل السيزيوم. فبعد تسعة أسابيع من التسرب الإشعاعي الذي حدث في المفاعل وجد أن الجرعة الفعال لأشعة غاما المقيسة مساوية لـ 70 يوماً. وظهر أن عمر النصف الفعال (effective half–life) استمر في الزيادة إلا أنه دائماً أصغر من نصف العمر الفيزيائي (physical–life) للسيزيوم $^{137}Cs$ بسبب التأثيرات الجوية والانتشار المتزايد في البيئة المحيطة. ويختلف معدل جرعة أشعة غاما تبعاً للموقع الجغرافي، والبعد عن المفاعل المتضرر، وعوامل الرياح والأمطار. حيث يصل كل من السيزيوم واليود إلى الأرض عن طريق التسرب الجاف عبر الهواء إلا أن عملية التسرب تكون أسرع إذا هطلت الأمطار وتؤدي إلى وجود مناطق محلية بنشاطية عالية. ويشكل تسرب هذه النظائر بواسطة الهواء والأمطار إلى المحاصيل الزراعية وبالتالي وصولها إلى الإنسان والحيوان وانتقالها عبر الحليب إلى الإنسان أكثر الطرق احتمالا للوصول إلى جسم الإنسان. ويتركز الاهتمام بشكل خاص على اليود المشع (Radioiodine) وآثاره الفورية من خلال التعرض الخارجي له وتسببه المباشر بالإصابة بالسرطان الدرقي (thyroid cancer) وخاصة عند الأطفال (جرعة داخلية). وقد جرى تقييد شرب الماء في المناطق التي تحتوي على نسبة من اليود–131 لأيام عدة وخاصة الأطفال حيث يبلغ الحد الأعظمي* المنصوح به لهم 100Bq/1.

يمثل السيزيوم $^{137}Cs$ الخطر الأكبر على المدى الطويل على البيئة الملوثة (بسبب نصف عمره الطويل). ويتصرف، من الناحية الكيميائية، كالبوتاسيوم الموجود في خلايا الجسم وبالتالي يُؤخذ منه بسهولة ويستخدم إذا كان متوفراً. ومثل اليود فإنه يخرج من الغمامة الإشعاعية ليهبط على الحقول والمحاصيل ويتحد بالتربة الرطبة ولا يتم امتصاصه بسهولة من قبل جذور النبات إلا أنه يدخل النبات في حال سقوطه على سطح الأغصان. ويتطلب وجود السيزيوم $^{137}Cs$ بمستويات مرتفعة في بعض المواد الغذائية إخراجها من دائرة الاستهلاك ومنع الدول من الاستيراد من اليابان لبعض الوقت. وقد جرى رفع الحظر عن شرب المياه في أوائل أيار/مايو، إلا أنه لا تزال بعض المواد الغذائية حاوية على تركيز من الإشعاع يتجاوز الحدود المسموح بها ضمن القوانين اليابانية.

---

* يكمن خطر الإصابة بالسرطان نتيجة التعرض لليود $^{131}I$ في المستوى ($1.85\times10^{-10}$ per Bq). ولمعرفة قيمة هذا الرقم لنفترض أنه تم استهلاك 1.2 كغ من الطعام الملوث إشعاعياً لفترة طويلة بنسبة 100Bq/kg. وبحساب خطر الإصابة نجد:

$$1.85\times10^{-10}/Bq\times1.2\ kg/d\times2.75\times10^{4}d\times100Bq/kg = 0.00061$$

وتُعدّ هذه النتيجة ضئيلة جداً بالمقارنة بمخاطر الإصابة بالسرطان بشكل طبيعي. وبالتالي فإن مستوى الإشعاع 100Bq/litter يُعدّ آمناً بالنسبة للأطفال.

*الدمار الذي حدث في تشرنوبل (26 نيسان/آبريل عام 1987).*

### الجرعات الإشعاعية

تجري محاولات للحفاظ على مستوى الجرعة الإشعاعية المتراكمة عند الأشخاص اليابانيين دون 20 mSv في السنة الأولى لحادثة فوكوشيما. حيث ستنخفض جرعة هذه الإشعاعات في السنوات التالية نتيجة الظروف البيئية واضمحلال نظائر السيزيوم المتبقية. وهذا يتطلب القيام بما يلي:

1. مراقبة نسبة الإشعاعات في المواد الغذائية والماء وإيقاف استهلاكها عندما يتطلب الأمر.
2. البقاء ضمن مـأوى في المناطق التي يفوق معدل الجرعة التراكمية فيها 10 mSv في السنة.
3. إخلاء السكان حول منطقة المفاعل بمسافة 20 كم.

وقد تم بالفعل إجلاء ما بين 70 إلى 80 ألف مواطن من منطقة المفاعل في الشهر الأول بعد الحادثة ولكن إجراءات الإخلاء ما تزال مستمرة في المناطق التي يتوقع أن تزداد فيها معدل الجرعة التراكمية عن 20 mSv في السنة الأولى من الحادث. إلا أن الجرعة المكتسبة من المناطق البعيدة عن المفاعل منخفضة جداً. ففي طوكيو التي تبعد حوالي 400 كم من المتوقع أن يتلقى سكانها جرعة أشعة تراكمية إضافية مقدارها 1 mSv في السنة الأولى ما يمثل زيادة بمقدار 40% من الجرعة التي يتعرض لها الإنسان من مصادر الطبيعة وهي 2.4 mSv بالسنة. ففي الأسبوع الأول من شهر أيار/مايو بلغت جرعة أشعة غاما الخارجية في طوكيو 0.09 µSv/hr أي أكثر بحوالي مرتين من الجرعة الطبيعية البالغة 0.05 µSv/hr. وباعتبار أن الجرعة الطبيعية تساهم بحوالي 20% من الجرعة اليومية (تأتي الجرعة الطبيعية لأشعة غاما من مصادر عدة منها الأشعة الكونية، والنيكليدات المشعة الموجودة في الطبيعة، ومن بنات الرادون radon daughters) فهذه الجرعة تزيد بمقدار 16% عن معدل الجرعة اليومية لسكان مدينة طوكيو.

### الآثار الصحية

يتوقع الباحثون أن التعرض لجرعات منخفضة من الإشعاع يزيد احتمال حدوث السرطان، ولا تؤثر هذه الجرعات المنخفضة على نسبة حدوث باقي الأمراض الطبيعية، ولا تؤثر أيضاً في حدوث أمراض نادرة أو غير مألوفة. إن السرطان الناتج عن الإشعاع له فترة حضانة ما بين 20–30 سنة (مدة أقصر بالنسبة للوكيميا) ويظهر في نفس الفترة بين الناس المتعرضين وغير المتعرضين للإشعاع ، بالإضافة إلى صعوبة التمييز بين السرطان الناجم عن التعرض للأشعة بجرعات حوالي mSv 20 في السنة (وحتى أعلى من ذلك) أو بشكل طبيعي. ولا يوجد معلومات حتى الآن تفيد بأن الجرعة التراكمية بمقدار 20 mSv في سنة واحدة لها تأثير يذكر على صحة الإنسان. وقد استخدم هذا المقدار من الجرعة في مجال حساب الحماية من الأشعة وتقدير مخاطر الإصابة حتى في غياب القيم الحقيقية. حيث أتت هذه الاستنتاجات من البحوث التي جرت على الناجين من القنبلة الذرية وتم اعتماد النتائج بطريقة الاستكمال بالاستقراء (extrapolating) وتحديد مخاطر الجرعات ابتداءاً من الجرعات العالية نزولاً إلى الجرعات المنخفضة. يُعدّ استخدام هذه الطريقة في تقييم المخاطر (الاستكمال الاستقرائي)، التي تدمج احتمالات عدة، ملائمة من أجل حماية أماكن العمل ولكنها ليست ملائمة لتحديد المخاطر على تلوث البيئة بنيكليدات مشعة طويلة الأمد. ومن ثم فإن الهيئات العلمية المقيّمة للمخاطر قد أكدت وجودَ مخاطر ولو بحدود معينة في استخدام هذه الطريقة للتنبؤ بتأثير الجرعات المنخفضة من الأشعة على المدى الطويل لعدد كبير من السكان. ولكن لسوء الحظ لا يوجد طرائق أو استراتيجيات بديلة لذلك فإن هذا التحذير من قبل العلماء جرى تجاهله في التعامل مع تأثير الجرعات المنخفضة.

بينت تقديرات اللجنة الأكاديمية الوطنية الأمريكية للعلوم (BEIR) أنه يمكن لشخص واحد من بين مئة شخص يتعرضون لجرعة وحيدة مقدارها 0.1 Sv (الخطورة 0.01/0.1 Sv) أن يصاب

بالسرطان. ومع انخفاض كمية الجرعة تنخفض نسبة الإصابة معها. وبالتالي فإن جرعة 20 mSv (إذا جرى التعرض لها فعلاً) التي يضعها اليابانيون كحد أعلى للجرعة المسموح بها تشكل 0.2% أو اثنان بالألف من احتمال الإصابة بالسرطان في وقت لاحق، بالإضافة إلى نسبة الـ 42% التي يتعرض لها الإنسان من مصادر طبيعية. أي أن جرعة 20 mSv على مدار السنة تمثل ثمانية أضعاف الأشعة التي يتعرض لها الإنسان بشكل طبيعي، وتمثل من 2–3 أضعاف الأشعة التي يتعرض لها المريض في جهاز الطبقي المحوري، أو تعادلها بالنسبة للأشعة التي يحصل عليها الأشخاص البدينين في ذلك الجهاز. والخلاصة أن جرعة 20 mSv على مدار العام لها خطورة أقل من الخطورة التي تأتي من نفس الجرعة الناتجة من صورة إشعاعية باعتبار أنها موزعة على مدار العام.

### *تكلفة الحماية من الجرعات الإشعاعية*

يقلل الإخلاء المؤقت أو الدائم من التعرض للأشعة بشكل كامل، ويخفض النسبة إلى الصفر فوق النسبة التي تأتي من الطبيعة ومن ثم نتجنب تلك النسبة الضئيلة الإضافية للإصابة بالسرطان (الخطر الأعظمي 42.2% مقارنة بـ 42.0% عند مستوى 20 mSv). وإن ظهر السرطان في ما بعد فسيكون بعد سنوات أو عقود. ولكن يتطلب هذا الإنجاز تكلفة عالية جداً (تكاليف خسارة البيوت والحقول حيث يوجد 48000 منزل و400 رأس ماشية ومعامل للألبان في منطقة الإخلاء لمفاعل فوكوشيما)، وتكلفة فقدان الخصوصية (مآوٍ مزدحمة وزمن البقاء بالأشهر حتى يتم تأمين مساكن بديلة)، وخسارة مجتمعات وتجمعات سكنية كاملة، والامتناع عن تناول المواد الغذائية الملوثة إشعاعياً. ويمثل كل هذا الأمر ثمناً كبيراً جداً بالنسبة لبلد يعاني كارثة طبيعية ونقصاً كبيراً في الطعام والحقول الزراعية. ومن ثم فإن تكلفة تجنب التعرض للأشعة مرتفعة جداً. ويظهر لدينا فهم أوضح للخطر الفعلي بالقول إن الـ 20 mSv تساعد السكان والحكومة على الدخول في حوار حول إمكانية إيجاد مقارنة بين تجنب الجرعات الإشعاعية وبين خسارة جزء أساسي من الحياة اليومية (المنزل – الطعام – المجتمع). ويفيد ذلك أيضاً في زيادة الوعي حول فهم مبادئ استنتاج تقديرات الخطر الإشعاعي. وساهمت الحماية الذاتية للعاملين بالإشعاع، والمبنية على أساس تقديرات الخطر الإشعاعي، في ضمان حماية أرباب العمل للعاملين لديهم من التعرض لجرعة منخفضة جداً. وبذلك جرى تفادي الحاجة إلى معرفة الخطر القادم من مستويات إشعاع أكبر بـ 5 أو 10 أو 50 مرة من المستويات الطبيعية.

ومن المهم تعميق الفهم لدى الناس لإجراءات الحماية بطريقة تقدير المخاطر. فمثلاً لاتتوافق حدود الجرعة الإشعاعية المفروضة على العمال مع المفهوم السائد بأن الجرعات الأقل من ذلك تكون آمنة والأكثر منها ليست كذلك. ومع ازدياد القلق من ارتفاع نسبة الإشعاع في فوكوشيما لدى المسؤولين في المنطقة جرى إغلاق 170 مدرسة.

وأدى رفع الجرعة الإشعاعية المسموح بها من 1 mSv إلى 20 mSv في المدارس لحدوث هلع كبير بين الناس، ما دفع بأحد مستشاري الحكومة للاستقالة تحت وقع الاحتجاجات ودافع وزراء الحكومة عن هذا الإجراء وقالوا بأنه ضروري لضمان تعليم مئات الآلاف من الأطفال في فوكوشيما. وقد نظر الكثيرون من أعضاء البرلمان إلى هذه الخطوة على أنها تغيير للقوانين وتغيير لمعتقداتهم حول مستويات الأمان أكثر من النظر إليها على أنها اختيار بين أمرين صعبين. ونظراً للتلوث الذي أصاب البيئة كان على سكان فوكوشيما الاختيار بين قبول نسبة 0.2% إضافية للإصابة بالسرطان بعد 15–30 سنة قادمة أو التخلي عن مساكنهم وقراهم لفترة طويلة من الزمن.

وقد صدرت توصية في الولايات المتحدة عن وكالة لحماية البيئة (EPA) اعتمدتها العديد من الولايات تقضي بإمكانية البقاء بالمنطقة في حال عدم تجاوز جرعة الأشعة 20 mSv في السنة الأولى وهذه نفس النسبة التي أثارت بعض ردود الأفعال الانعكاسية للأشخاص الخائفين ولمستشاري الحكومة اليابانية خلال الأزمة في اليابان.

## تأثير حادثة فوكوشيما على الصناعة النووية

شُكلت في العديد من الدول لجان لدراسة العبر المستخلصة من حادثة فوكوشيما متضمنة الأمور المتعلقة بالحماية من الكوارث الطبيعية والتعامل مع التوقف الكامل لتزويد المحطة بالطاقة الكهربائية (black out)، والتعامل مع الأضرار التي تصيب الوقود النووي. ففي حالة التوقف الكامل للمحطة ووفقاً لقوانين هيئة التنظيم النووي الأمريكية (NRC) لعام 1988 فإن المفاعلات الأمريكية يجب أن تصمم بحيث تستطيع المحطة أن تعمل بشكل طبيعي عند انقطاع التغذية الكهربائية عنها لفترة من الزمن ما بين 4–12 ساعة وذلك وفقاً لسعة المدخرات الموصولة. ويتم حالياً مراجعة المدة المفترض أن تبقى فيها المحطة قادرة على العمل لدى انقطاع التغذية الكهربائية. وقد أجرت العديد من الدول إعادة تقييم لمنشآتها النووية للتأكد من صلاحية كل موقع نووي وجاهزيته للتصدي للكوارث المحتملة ويتضمن التقييم النقاط الأساسية التالية:

1- التأكد من جاهزية كل مفاعل لمواجهة تحديات كبيرة كاصطدام طائرة وفقدان المفاعل لأجزاء منه، أو تحديات تنشأ نتيجة تأثير كارثة طبيعية أو نتيجة حدوث حريق أو انفجار والتأكد من جاهزية الطاقم البشري المشغل للمفاعل للاحتمالات كافة.

2- التأكد من مقدرة كل مفاعل على العمل رغم الانقطاع الكامل للتغذية

الكهربائية، والتأكد من أن جميع المعدات والتجهيزات اللازمة لذلك في أتم الاستعداد، وتدريب الطاقم البشري على إدارة هذه الحالة.

3- التأكد من مقدرة المفاعلات على مواجهة خطر الفيضانات داخل المفاعل وخارجه.

4- مواجهة فرضية حدوث أمر ما وتأمين المعدات اللازمة لمواجهته بنجاح مثل اندلاع النيران والفيضانات والأخذ بعين الاعتبار إمكانية تلف المعدات نتيجة لحدوث زلزال ووضع استراتيجية لمواجهة جميع الاحتمالات.

## خاتمة

لقد بدأت آثار حادثة فوكوشيما بالتفاعل على مستوى الصناعة النووية، وعلى أية حال فإن مخاطر مواجهة كارثة نووية كالتي حصلت في مفاعل فوكوشيما ما تزال قائمة. وفيما يتعلق بالصناعة النووية، فقد تأثرت على المدى القريب بحادثة فوكوشيما، حيث أدى ذلك إلى إعادة النظر في عمر المفاعلات الحالية القائمة وإنشاء مفاعلات جديدة. وتحت الضغط الشعبي والإعلامي، فإن الحكومات قد تكون مجبرة على تبديل سياستها وإحداث تغيير يؤدي إلى الاستغناء عن المشاريع النووية المستقبلية والحالية أيضاً. وغالباً ما يكون اتخاذ القرار في مثل هذه الأزمات الكبيرة عبارة عن ردة فعل عاطفية. لذلك، يجب طرح الأسئلة التالية بعد البحث في نقاط ضعف المفاعلات الحالية وقبل اتخاذ أي إجراء بشأن تغيير السياسات المتبعة في الطاقة النووية. هل وقوع حادث كالذي حصل في فوكوشيما نتيجة تصميم معين قابل للتعميم على جميع مشاريع الطاقة النووية؟ إذا كان كذلك، كيف يمكن تحديد معيار السلامة؟ ويجب، من أجل الرد على هذا السؤال، المقارنة بمخاطر الطرق الأخرى لتوليد الطاقة مثل الفحم والغاز الطبيعي وتأثيرهما على التغيرات المناخية، وعلى الاقتصاد العالمي وعلى الاستقرار في التزويد بالطاقة. حيث إن هذه المصادر الأخرى غير مستدامة، فهل سيراعي صانع القرار هذه المخاطر في سياسته لتأمين الطاقة؟

ومن المعلوم أن جميع المنشآت الهندسية مثل مفاعلات الطاقة النووية والجسور وناطحات السحاب والسدود والطرق السريعة ستنهار إذا ما حملت أحمالاً أكبر بكثير من تلك التي صممت عليها. لكن لم يظهر انهيار سد الري في فوكوشيما وما أحدثه من نتائج كارثية بعد الزلزال بشكل ملحوظ على وسائل الإعلام. ما هي نتائج هذا الحادث على وثوقية واعتماد طاقة المياه؟ وهل مخاطر التصميم الكامنة في منصات استخراج النفط في عرض البحار أو في استخراج الفحم الحجري أو في السدود المائية أقل من تلك المتوقعة في المفاعلات النووية؟ وهل نحن كمجتمع نقبل بالخطر الناجم عن تكنولوجيا معينة دون أخرى؟.

### المراجع


1- The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations, 2011. Nuclear Emergency Response Headquarters Government of Japan. Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety.

2- Buongiorno, J., et al., 2011. Technical Lessons Learned from the Fukushima-Daichii Accident and Possible Corrective Actions for the Nuclear Industry. MIT-NSP-TR-025.

3- Sharma, P. P., 2011. Chernobyl & Fukushima: Lessons to be Learnt. Indian J Surg, 73(3), 173–174.

4- Safety of workers at the Fukushima Daiichi nuclear power plant, 2011. Vol 377, www.thelancet.com.


ترجمة وإعداد **د. حسان عمر**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

# غازات الدفيئة غير ثنائي أكسيد الكربون وتغير المناخ

يسخن مناخ الأرض نتيجة انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ، وخصوصاً غاز ثنائي أكسيد الكربون $CO_2$ الناتج من احتراق الوقود الأحفوري، كما تساهم انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ غير ثنائي أكسيد الكربون، مثل الميتان وأكسيد النتروزو والمواد المستنفدة للأوزون، في سخونة الأرض بشكل كبير. تملك بعض غازات الدفيئة، غير $CO_2$، أعماراً أقصر بكثير من عمر غاز $CO_2$، ويعطي الحد من انبعاثاتها فرصةً إضافيةً لتخفيف التغيرات المناخية المستقبلية. ومع أن وضوح خفض تأثير تسخين غازات الدفيئة بشكل مستدام، ممكن فقط بإيقاف انبعاث غاز $CO_2$، غير أن تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة الأخرى يقدم وسيلة سريعة لتحقيق هذا الهدف.

هيئة الطاقة الذرية السورية

**الكلمات المفتاحية:** غازات الدفيئة، تغيرات مناخية، غلاف جوي.

تؤدي غازات الدفيئة (GHGs) إلى تغير مناخ الأرض من خلال امتصاص الطاقة وإعادة إصدارها في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي. ورغم أنّ انبعاثات غاز $CO_2$ البشري المنشأ، تساهم أكثر من غيرها في غازات الدفيئة المؤدية إلى الاحتباس الحراري، إلاّ أنّ هناك غازات أخرى مثل الميتان ($CH_4$) وأكسيد النتروزو ($N_2O$) والمواد المستنفدة للأوزون (ODSs) والهيدروفلوروكربونات (HFCs) وسداسي فلوريد الكبريت ($SF_6$) والبيروفلوروكربونات (PFCs)، تؤثر على المناخ لمدة تتراوح ما بين عقود وآلاف السنين بعد إصدارها.

## يسخن مناخ الأرض نتيجة انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ

ونظراً لأنّ معظم انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ غير $CO_2$، ترتبط بحاجات المجتمع الأساسية من الغذاء والطاقة فإنها ستستمر بالزيادة والتسخين المستمر للمناخ ما لم تبذل جهود كبيرة للحد منها على مستوى العالم. هناك فرص كبيرة للتخفيف من الإصدارات البشرية لهذه الغازات رغم أنّ بعض هذه الفرص أيسر استغلالاً من غيرها. ويمكن ربط الفوائد المناخية مع أهداف معينة لتخفيف الآثار، من خلال تحديد كمية الانبعاثات المرتبطة بنشاطات بشرية مختلفة، والتعبير عن هذه الانبعاثات بمقياس ما يكافئها من انبعاثات غاز $CO_2$. نستعرض هنا الأنشطة البشرية والعمليات الطبيعية التي تصدر غازات دفيئة غير $CO_2$ ونستكشف الاستجابات المرتبطة بالزمن لتأثير تسخين هذه المواد الكيميائية على تخفيض الانبعاثات (والذي يسمى أيضاً بالقسر المناخي climate forcing أو القسر الإشعاعي radiative forcing)، ويمكن للحد الكبير للإصدارات البشرية من كل من غازات الدفيئة طويلة الأمد وقصيرة الأمد أن يؤدي نوعاً ما، إلى استقرار عملية قسر المناخ بشكل كبير، رغم أن التأثيرات المحددة لمثل هذا الحد تكون غير مؤكدة لأنّ هناك أصداء تتداخل بين تغير المناخ وإصدارات غازات الدفيئة الناشئة عن العمليات الطبيعية. يمكن لتحسين فهمنا حول هذه الأصداء وتحسين قدراتنا في التحديد الكمي لتدفقات غازات الدفيئة البشرية المنشأ أو الطبيعية المنشأ وفق مقاييس إقليمية وعالمية، أن تساعد في تقييم جهود التخفيف وضمان نجاحها في إنقاص الاحترار المناخي المستقبلي.

## مصادر الغازات غير $CO_2$ ومصارفها

### *التغيرات الكلية في الانبعاثات:*

يقدر تأثير غاز دفيئة منبعث، على المناخ المستقبلي من خلال مقدرته على امتصاص الأشعة تحت الحمراء المتاحة واستمرار وجوده في الغلاف الجوي. إنّ كمون الاحترار الشامل (GWP) لانبعاث غاز دفيئة هو هذا التأثير المناخي، مكاملاً على الزمن ومعبراً عنه بالنسبة إلى التأثير المناخي لانبعاث كتلة مكافئة من غاز $CO_2$. يسمح ضرب كميات الإصدار بكمونات الاحترار الشامل لـ 100 سنة بتقدير انبعاثات مكافئ – $CO_2$. ولهذا المنحى عدد من التقييدات، ولكنه يقدم وسيلة لمقارنة تأثيرات المناخ المكاملة على الزمن والناشئة عن انبعاثات غازات دفيئة مختلفة.

خلال ثمانينيات القرن الماضي، كانت انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ المشتقة بشرياً، قابلة للمقارنة بشكل إجمالي مع انبعاثات $CO_2$ الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري (حوالي 20 غيغا طن مكافئ $CO_2$\سنة من كل منها). ولكن تناقصت مجمل انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ منذ عام 1990 إلى 15 غيغا طن مكافئ $CO_2$ \سنة، ويعزى ذلك بشكل أساسي إلى تخفيضات المواد المستنفدة للأوزون كما اتفق عليها في بروتوكول مونتريال حول المواد المستنفدة لطبقة الأوزون (من هنا سيدعى بروتوكول مونتريال). كانت فترة هذا التخفيض كافية لتعويض الزيادة في انبعاثات غازات الدفيئة الأخرى، ولكن بعد عام 2003، استمرت الزيادات في إصدار $CO_2$ الناتج من الوقود الأحفوري، حتى تجاوزت هذا التعويض. وفي عام 2008 اعتبرت إصدارات الـ 15 غيغا طن مكافئ– $CO_2$\سنة من غازات الدفيئة غير غاز ثنائي أكسيد الكربون بحدود 30% من مجمل غازات الدفيئة طويلة الأمد المتعلقة بالإنسان (LLGHG) (حيث كانت مجمل انبعاثات $CO_2$ البشرية المنشأ بحدود 35 غيغا طن/سنة من عام 2008) هذه المعطيات متوافرة على الموقع:-(http://fgmacweb.env.uea.ac.uk/ lequere/co2/carbon-budget.htm الشكل 1).

في هذا المقطع سنستعرض المصادر الطبيعية المنشأ والبشرية المنشأ ومصارف غازات الدفيئة غير $CO_2$ وإمكانية تغيير مقاديرها مع المناخ.

**تقدير انبعاثات غازات الدفيئة**

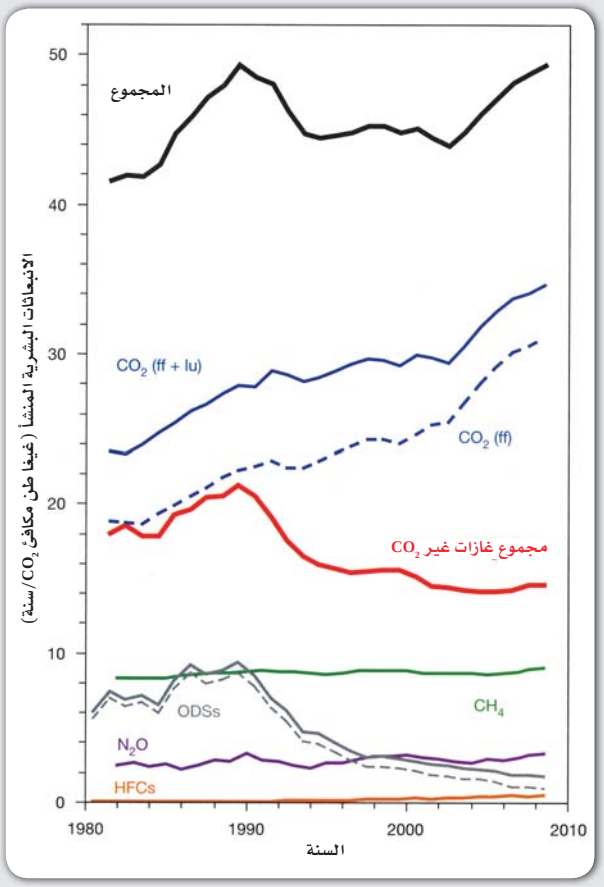
*يجب أن تشمل الاستراتيجية الناجحة للتخفيف وسائل لتحديد كمية الانبعاثات وتغيراتها وأن تتضمن القدرة على عزو التغيرات في الانبعاثات إلى عمليات معينة بأن تكون طبيعية المنشأ أو بشرية المنشأ. وتقدر الانبعاثات باستعمال منهجيات مختلفة.*

- *على أساس المخزون، من القاع إلى الأعلى «bottom – up» تحسب النشاطات الناتجة من الانبعاثات وتضرب بعوامل انبعاثات مناسبة. إن انبعاثات غازات الدفيئة المقدمة إلى إطار اتفاقية الأمم المتحدة حول تغير المناخ قد استمدت من حسابات على أساس المخزون والتي تملك مجالات من الدقة. تعتمد هذه القوائم على فهم غير تام لعمليات الانبعاث، وتملك عدم وثوقيات يصعب تحديد مقاديرها وهي عادة تحدث بشكل غير منتظم.*
- *وهناك دراسات على أساس الغلاف الجوي تدخل مقادير تدفقات استدلالية على مقاييس تتراوح من محلية إلى عالمية، على أساس تغيرات وتدرجات نسب المزج الجوية المقيسة وتغيراتها المرتبطة بالزمن والتغيرات المشتركة مع التغيرات المناخية أو الغازات النزرة. وقد وفرت هذه المناحي «قمة–أسفل» تاريخياً، تقديرات للتدفقات العالمية الإجمالية ويمكن أن تقدم تقييمات مستقلة لمقادير الانبعاث على أساس المخزون، على المستوى العالمي. لقد حددت تناقضات جوهرية بين التقديرات العالمية «قمة–أسفل» و«قاع–أعلى»، معلنةً وجود لاوثوقية في كلتا الطريقتين. أدت التطورات الحديثة في تقانات القياس ونماذج النقل العالية مقدرة الفصل، إلى إمكانية حساب التقديرات الإقليمية للانبعاثات بطريقة التحليل «قمة–أسفل». قد تقدم هذه المناحي وسائل مستقلة لتقييم مخازين انبعاث «قاع–أعلى» الإقليمية أو المحلية أو التحقق منها، ولكن تبقى هناك حالياً، لاوثوقية أساسية.*
- *تقدم المناحي على أساس العمليات، فهماً للآليات التي تساهم في توليد انبعاثات غازات الدفيئة وحساسية هذه الآليات للتغيرات في المتحولات المتعلقة بالمناخ مثل درجة الحرارة والهطولات. يمكن أن تحسن المعرفة الحاصلة عن دراسات العملية كلاً من المنهجيتين «قاع – أعلى» و«قمة – أدنى».*

*يعبر عن الانبعاثات، مثلاً من أجل الميتان، بوحدات تيراغرام من الميتان/سنة، حيث يكافئ 1 تيراغرام من الميتان 1012×1 غرام ميتان و1012×0.75 غرام كربون و0.00075 غيغا طن كربون. للحصول على انبعاثات مكافئة لـ $CO_2$ المذكورة هنا تضرب كمية الانبعاثات بكمون الاحترار العالمي GWPs لـ 100 عام والمحدثة وفق معظم تقييمات المناخ الحديثة. (25 للميتان و298 لـ $N_2O$ و14400-133 للمواد المستنفدة للأوزون الشائعة الاستعمال والفلورهيدروكربونات (23000-7000 لـ PFCs و NF3 و SF6). ووفقاً لهذه المكافئات فإن انبعاث 100 تيراغرام ميتان يوافق 2.5 غيغا طن مكافئ $CO_2$. ويعتمد كمون الاحترار العالمي لمئة عام GWP المعتمد من قبل إطار اتفاقية الأمم المتحدة حول تغير المناخ، على التقييمات العلمية السابقة، وعليها أن تعطي انبعاثات ميتان مكافئة لـ $CO_2$ أقل بـ 16% وانبعاثات $N_2O$ المكافئة لـ $CO_2$ أكبر بـ < 0.7% وتكون الانبعاثات الكلية من غازات الدفيئة غير $CO_2$ الأخرى أقل بحوالي 4% من تلك المقدرة هنا.*

**الميتان:**

عند تركيز 1.8 p.p.m (جزء بالمليون ككسر مولي في الهواء الجاف)، يشكل الميتان غاز الدفيئة غير $CO_2$ الأكثر وفرة في الغلاف الجوي في الوقت الحاضر. إن كسره المولي الحالي أكبر بـ 2.5 مرة من قيمته التي وجدت في عينة جليدية تعود لفترة 1750–1000 بعد الميلاد وأكبر من تلك المقيسة في عينات جليدية تمتد إلى 800000 سنة مضت. يتضمن زيادة ميتان الغلاف الجوي منذ عام 1750 انبعاثات بشرية المنشأ بحدود 50±340 تيراغرام ميتان/سنة (1.3±8.5 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة ولاوثوقية 1 انحراف معياري)، أو ما يقارب ثلثي الانبعاثات الكلية المعاصرة، وذلك بافتراض زمن حياة ثابت. (الشكل 2 والمؤطر 1). يؤدي استغلال الزراعة والوقود الأحفوري معاً إلى إصدار 230 تيراغرام ميتان/سنة (5.8 غيغا طن مكافئ $CO_2$/ سنة) أو ثلثي إجمالي انبعاثات الميتان الناتجة من الإنسان، وتنجم انبعاثات أقل عن معالجة النفايات (مطامر وأسمدة عضوية وصرف صحي) وحرق



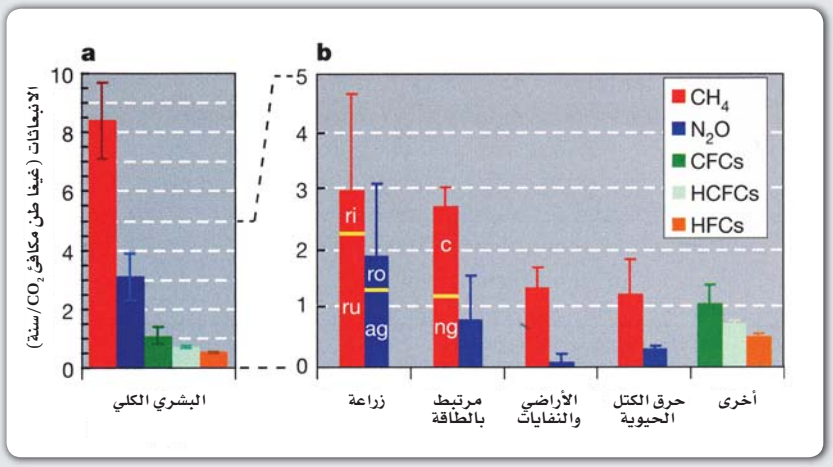

***الشكل 1: الانبعاثات البشرية المنشأ من غازات الدفيئة غير $CO_2$.***

*تحسب الانبعاثات البشرية المنشأ من غازات الدفيئة غير $CO_2$ على أنها الفرق بين الانبعاثات الإجمالية الناشئة عن تغير نسب المزج المقيسة في خلفية الغلاف الجوي على مستوى العالم بأعمار حالة مستقرة ثابتة، وخلفية طبيعية ثابتة. وكنتيجة لذلك فإن أي تغيرات في التدفقات الطبيعية تكون متضمنة في القيم المقدمة. وللحد من تأثير التقلب الطبيعي على قدرتنا على تمييز التغيرات العقدية، فقد صقلت انبعاثات الميتان وأكسيد النتروزو بأخذ المتوسط لفترة أربع سنوات. ففي نهاية عام 2008، اعتبرت انبعاثات CFCs (غالباً من مستودعات الهالوكربونات في السنوات الأخيرة، الخط الرمادي المتقطع) فقط أكثر بقليل من انبعاثات ODS الإجمالية (CFCs + HCFCs، الخط الرمادي المتصل). إن انبعاثات $CO_2$ من استغلال الوقود الأحفوري (ff) ومن الوقود الأحفوري مع تغير استخدام الأراضي (lu+ff) هي من قوائم «قاع – أعلى». وأخذت معاملات الوزن المستخدمة هنا لاشتقاق الانبعاثات المكافئة لـ $CO_2$ (كمون الاحترار العالمي لـ 100 عام) (المؤطر 1). تشمل الانبعاثات الصغيرة جداً في عام 2008 والتي يصعب أن تلحظ على هذا المقياس، SF6 (~0.17 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) و PFCs (~0.1 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) و NF3 (~0.01 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة).*

المواد الحيوية. تهيمن مساهمة الأراضي الرطبة على انبعاثات الميتان الطبيعية (150–180 تيراغرام ميتان/سنة)، والتي تكون حساسة تجاه التغيرات في درجة الحرارة وارتفاع منسوب المياه الجوفية. تأتي معظم انبعاثات الأراضي الرطبة (~70%) من المناطق المدارية وتعزز أثناء الفترات الرطبة الحارة. كما تصدر كميات أصغر من الميتان عن المحيطات وعن نشاط النمل الأبيض (تبلغ المساهمة الإجمالية أقل من 45 تيراغرام ميتان/سنة).

يملك الميتان عمر حالة مستقرة (~9 سنة) أقصر من معظم غازات الدفيئة الطويلة الأمد LLGHGs، ويفقد بشكل رئيس نتيجة عملية الأكسدة في الغلاف الجوي بوساطة جذور الهيدروكسيل ($OH^{\bullet}$). ويربط هذا المصرف وفرة الميتان مع كيمياء الغلاف الجوي المعقدة والتي تؤثر على تراكيز جذور الهيدروكسيل [$OH^{\bullet}$] على مقياس شامل وتخلق صدى إيجابياً بين الميتان ووفرته، حيث يتوقع أن تؤدي زيادة الميتان إلى تناقص جذور الهيدروكسيل ومن ثمّ إطالة عمر الميتان. كما يعني أيضاً، انخفاض جذور الهيدروكسيل إطالة عمر وتعزيز التأثير المناخي للفلوروهيدروكربونات (HFCs) والكلوروفلوروهيدروكربونات (HCFCs) ولتناقص تحول $SO_2$ إلى معلقات سلفات (أقل برودة) وللتغير في عملية تدوير أوزون التروبوسفير الذي يعد من غازات الدفيئة القصيرة العمر جداً والفعالة. يمكن للمواد القصيرة العمر جداً (على سبيل المثال: NOx والأوزون التروبوسفيري التي تملك أعماراً ما بين أيام إلى أشهر) أن تؤثر على قسر المناخ وفق مقاييس زمنية أطول، من خلال تأثيرها على تراكيز جذور الهيدروكسيل [$OH^{\bullet}$] وبالتالي على الميتان.

في حالة غياب جهود التخفيف الجوهرية، من المرجح زيادة كل من الانبعاثات البشرية المنشأ والطبيعية المنشأ لغاز الميتان خلال القرن الحادي والعشرين، حيث يزداد عدد السكان العالمي ويسخن المناخ. تشير تقديرات تعتمد على المخزون، إلى زيادة جوهرية في انبعاثات الميتان المتعلق بالإنسان في السنوات الأخيرة (10% مابين 2000 و2005) مثلاً، بسبب النمو الاقتصادي المفاجئ وزيادة الطلب على الغذاء والطاقة، وبشكل أساسي في آسيا. وللمفاجأة، لوحظ أنّ المتوسط السنوي العالمي لوفرة الميتان الجوي كان ثابتاً تقريباً خلال هذه الفترة. (تغيرت بأقل من 0.4% من عام 1990 حتى 2006) مما يعني بشكل دقيق، تناقص التعويضات الآنية في الانبعاثات الطبيعية أو زيادة مماثلة في تراكيز جذور الهيدروكسيل. يقترح أيضاً تحليل النمذجة المعكوسة قمة –




**الشكل 2: الانبعاثات السنوية لغازات الدفيئة غير $CO_2$ البشرية المنشأ في السنوات الأخيرة.**

***(a)*** *الانبعاثات وفق المركبات، تعكس اللاوثوقية انحرافاً معيارياً واحداً (d.s) من التقديرات حسبت من أجل $N_2O$ على أساس الفرق بين الانبعاثات الإجمالية المشتقة من تغيرات الخلفية الجوية والانبعاثات اللازمة للحفاظ على نسب المزج أواخر الهولوسين ما بين 255-270 جزء بالبليون بافتراض عدم وثوقية في العمر بحدود±5%.*

***(b)*** *الانبعاثات وفق المركبات والقطاعات (لاحظ تغير المقياس). لقد اشتقت الانبعاثات المرتبطة بمصادر مختلفة مع كل قطاع رئيس، من التحاليل المعتمدة على المخزون أو على الغلاف الجوي (المؤطر1 ) فمن أجل الميتان تشكل المجترات (غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة ru 1.0±2.3) وزراعة الأرز (غيغا طن مكافئ $CO_2$/ سنة ri 0.7±0.8) والغاز الطبيعي والنفط والصناعة (غيغا طن مكافئ $CO_2$/ سنة ng 0.3±1.6) ومناجم الفحم (غيغا طن مكافئ $CO_2$/ سنة c. 0.2±1.2) أكثر المساهمات الرئيسة. تشير القيم من أجل الميتان إلى القيمة الوسطية والانحراف المعياري لجميع تقديرات النموذج في الجدول 7.6. تنتج انبعاثات $N_2O$ من الزراعة بشكل مباشر (ag ، 1.3 (0.8-2.2) غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) ومن الهروب ((0.2-0.9) 0.6. r0 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) إلى النظم البيئية المائية نتيجة زيادة النتروجين العائد إلى الزراعة (يستمد حوالي 75% من النتروجين الكلي في عملية الهروب). تمثل انبعاثات $N_2O$ المرتبطة بالطاقة، والتي مجملها من تلك الناتجة من حرق الوقود الأحفوري والعمليات الصناعية ((0.1-0.8) 0.33 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) والهطولات الجوية (0.28 (0.14-0.42) غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) والمتبقي من النتروجين البشري الزائد الذي يصل المناطق المائية من الهروب (0.2 (0.06-0.3) غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة أي 25% من الإجمالي) اللاوثوقية في $N_2O$ المشار إليها هنا المشتقة من المجالات في الجدول 7.7. إن الانبعاثات الكلية: من CFCs (1 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) و HCFCs (0.7 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة)، HFCs (0.5 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) وتكون اللاوثوقيات المشار إليها هي 1 انحراف معياري ومشتقة لعام 2008 من طرائق «قمة- أسفل». ومع أن انبعاثات احتراق الكتلة الحيوية الإجمالية هي مشمولة هنا (1.3 غيغا طن $CO_2$ على شكل CH4 و 0.3 غيغا طن $CO_2$ على شكل $N_2O$) فإن قسماً صغيراً من عمليات الاحتراق هذه هو طبيعي. في **(b)** تمثل اللاوثوقيات المبينة فقط تلك المرتبطة مع الإجمالي بواسطة المركب في كل قطاع.*

أسفل لقياسات الميتان العالمية ما بين عامي 1984 و2003، أنّ هناك زيادة متغيرة في الانبعاثات البشرية المنشأ الكلية في بداية الألفية الثالثة، وعوضت بتناقص المصادر الطبيعية، مع أنّ هذه النتائج غير مستقلة عن مخزون الانبعاثات وتستعمل عدم وثوقيتها لتهيئة النموذج (بشكل أولي، بسبب محدودية القياسات المتوافرة).

تقترح حساسية انبعاثات الميتان الطبيعية من الأراضي الرطبة إلى المناخ الحار القاري صدىً إيجابياً بين الانبعاثات وتغير المناخ والذي يبدو جلياً في سجلات عينات الجليد. مع أنّ مقدار هذا الصدى غير مؤكد، فقد يكون كبيراً إذ إنّ نمذجة استجابة الأراضي الرطبة لمضاعفة $CO_2$ (والموافقة لتغير درجة حرارة عالمية بمقدار 3.4°C) أدت إلى زيادة في انبعاثات غاز الميتان الذي تعد ثلث إصداراته الحالية بشرية المنشأ.

بالإضافة إلى ذلك، يحوي جليد القطب الشمالي 1000 غيغا طن من الكربون (GTC) في الأمتار الثلاثة العلوية منه، ويمكن تحويل بعض هذا الكربون إلى غاز الميتان بفعل الميكروبات أثناء ذوبان الجليد وفقاً لارتفاع منسوب المياه. ونظراً للحجم الكبير لهذا المخزون فأي زيادات صغيرة في إطلاق هذا الكربون على شكل غاز الميتان أثناء ارتفاع حرارة القطب الشمالي تؤدي إلى زيادة كبيرة في الانبعاث الطبيعي لغاز الميتان. يحتوي المحيط المتجمد الشمالي على 30000-170000 تيراغرام من الميتان الإضافي (120–130 غيغا طن كربون) في التشكيلات الرسوبية على الأرياف القارية الضحلة نسبياً، مع أنّ هذا المصدر الكامن ليس بذي أهمية في المدى المنظور. لقد اقترح مؤخراً مصدر طبيعي إضافي للميتان من النباتات ولكن يبقى هذا المصدر مهملاً أيضاً.

كانت نسب المزج العالمية شبه الثابتة خلال 1999-2006 غير متوقعة في حين كانت المفاجأة عام 2007 عندما لوحظ أنّ تركيز الميتان على مستوى العالم بدأ بزيادة ثابتة. تظهر القياسات المحدثة أنّ هذه الزيادة مستمرة بمعدل وسطي 6ppb خلال الفترة 2007-2010 (ppb جزء من البليون على شكل كسر مولي في الهواء الجاف). بافتراض عدم حدوث تغير بعمر الميتان، فتوافق هذه القياسات أن الانبعاثات العالمية خلال 2007-2010 هي بحدود 17 تيراغرام ميتان/سنة، وهي بمعدل وسطي أكبر في السنوات الثماني الماضية، وهنا يطرح سؤال مهم فيما إذا كانت هذه الزيادة المفاجئة هي نتيجة لتغيرات العمليات الطبيعية والتدخلات البشرية في المنظومة الطبيعية أم هي زيادة في الانبعاثات المباشرة البشرية المنشأ؟ وفي غياب التقديرات المحدثة في المخزونات، وفرت النتائج الحاصلة من القياسات الجوية على مستوى العالم، بعض الأدلة الأولية حول أسباب هذه الزيادات ما بين 2007 و2008. في حين ازدادت نسب مزج الميتان عام 2007 بشكل كبير عند خطوط العرض القطبية الشمالية ونصف الكرة الجنوبية، وازدادت بشكل أكبر عام 2008 في المناطق المدارية وبنمو شبه صفري في القطب الشمالي. وتفتح هذه القياسات نقاشاً حول زيادات نسب المزج الناتجة من الانبعاثات البشرية المنشأ المباشرة والتي تنحو لخلق تعزيزات منطقة خطوط العرض المنخفضة إلى المتوسطة من نصف الكرة الشمالية.

يصبح عزو الزيادات الحديثة في مصادر معينة إلى الميتان أو مصارفه أكثر تحديداً مع قياسات الغازات النزرة الأخرى والمتغيرات المرتبطة معها. تقدم قياسات المماثلات النظيرية للميتان (مثل $CH_4$) معلومات حول مصادر الميتان، لأنّ هذه المصادر تخصب أو تنضب محتوى $^{13}C$ أو $^{2}H$ في الميتان الجوي. كان الميتان الذي قيس عام 2007 في ألرت – كندا مستنفذاً من $^{13}C$ مما يقترح مصدر أراضٍ رطبة معززاً عند خطوط عرض شمالية عليا. تنبعث غازات أول أكسيد الكربون والإيتان وكلور الميتان مع الميتان عند حرق الكتل الحيوية، ولكن لا تشير قياسات هذه المواد الكيميائية إلى وجود تعزيزات معنوية خلال عامي 2007–2008. بينما تقترح قياسات الغازات النزرة المؤكسدة بواسطة جذور الهيدروكسيل (مثل ميتيل كلوروفورم) أنّ تناقص جذور الهيدروكسيل، قد يفسر جزءاً يسيراً من تعزيزات الميتان المقيسة عام 2007، في حين لم تنشر قياسات لتراكيز جذور الهيدروكسيل بعد عام 2007. وبالأخذ بجميع هذه الدلائل، يقترح أنّ الزيادة المتجددة في الميتان الجوي الملحوظ خلال عامي 2007 و2008 قد نشأت بشكل رئيس عن انبعاثات الأراضي الرطبة الطبيعية والمعززة، نتيجة للارتفاع المفاجئ لدرجات حرارة القطب الشمالي والهطولات المطرية الأعلى من المعدل في المناطق المدارية المرتبطة بظاهرة النينيا المستمرة. وما زالت أسباب الزيادات المستمرة في عامي 2009–2010 غير واضحة ولكن قد تكون متعلقة بظاهرة النينيا القوية التي بدأت في بداية عام 2010.

### *أكسيد النتروزو:*

يبلغ تركيز أكسيد النتروزو $N_2O$ في الغلاف الجوي، في الوقت الحالي، 322 ppb وهذا أعلى من سوياته في الفترة قبل الصناعية بـ 19%، حيث ازداد بمعدل وسطي مقداره 0.7 ppb $yr^{-1}$ خلال الثلاثين سنة الماضية، (المعطيات على الموقع http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi).

تعكس تراكيز أكسيد النتروزو في الغلاف الجوي قبل الثورة الصناعية، التوازن بين الإنتاج الموافق أساساً للتدوير الكيمياجيوحيوي للنتروجين والفقد الستراتوسفيري البطيء له. لقد زادت البشرية من تدوير النتروجين من خلال استعمال الأسمدة اللاعضوية وجني المحاصيل المثبتة للنتروجين وترسيب أكاسيد النتروجين NOx الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري. تزيد هذه العمليات من وفرة النتروجين اللاعضوي (مثل الأمونيوم والنترات) وتؤدي إلى انبعاثات $N_2O$ من خلال النترجة أو نزع النتروجين بواسطة الميكروبات، في كل من النظم البيئية القارية والمائية. وهناك فقط جزء صغير من النتروجين التفاعلي البشري المنشأ المستخدم، يصدر على شكل $N_2O$ مع أنّ هذا الجزء يعد أكبر مصدر بشري لـ $N_2O$ وهو حساس للمناخ وللإجراءات الزراعية ولوفرة الأكسجين والمغذيات. هناك نشاطات بشرية أخرى تطلق أكسيد النتروزو مباشرة، مثل حرق الوقود الأحفوري والعمليات الصناعية (مثل إنتاج حمض الأديبيك وحمض الآزوت) وحرق الكتل الحيوية ومعالجة النفايات (الشكل 2).

تقدر انبعاثات $N_2O$ البشري المنشأ في الوقت الحاضر بحدود 1.7±6.7 تيراغرام N/سنة (0.8±3.1 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) اللاوثوقية 1 انحراف معياري، أو حوالي 40% من مجمل انبعاثات أكسيد النتروزو، وينشأ بشكل أساسي عن النشاطات الزراعية بحدود (1.9 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة) وعن العمليات الصناعية بما فيها حرق الوقود الأحفوري حوالي (0.8 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة)، (الشكل 2). غالباً ما تكون مصادر $N_2O$ الطبيعية قارية (~75%) وتكون هذه الانبعاثات أعلى في المناطق المدارية، كما تكون المصادر البحرية الطبيعية عادة أقوى في المناطق المتقلبة الأمواج.

يزاح أكسيد النتروزو من الجو بشكل أبطأ بكثير من الميتان،

مؤدياً إلى عمر حالة استقرار بحدود 120 سنة حيث يزال أقل من 1% من أكسيد النتروزو الجوي بواسطة التحلل الضوئي وتفاعلات الأكسدة في طبقة الستراتوسفير بشكل رئيس. قد يتغير عمر $N_2O$ في المستقبل بسبب حساسيته لمعدلات نقل الهواء خلال طبقة الستراتوسفير، ووفرة الأوزون الستراتوسفيري، ولكن تأثيرات هذه العمليات غير محددة ويتوقع أن تكون صغيرة، يخرب أيضاً أكسيد النتروزو (ويولد) من خلال عملية نزع النتروجين في أوساط منقوصة الأكسجين وربما كما اقترح مؤخراً من خلال عملية غير مميزة في تربة الغابات تحت ظروف الجفاف، وعلى كل حال يبقى أيضاً، احتمال تأثير هذه العمليات على عمر أكسيد النتروزو صغيراً.

كيف يمكن لانبعاثات $N_2O$ البشرية المنشأ أن تتغير في المستقبل؟ يقترح تحليل جردي، حصول زيادة في انبعاثات $N_2O$ بحوالي 5% في العقد، ما بين 1979 و2005 وهذا يماثل زيادة بمقدار 7% في العقد، بالاستدلال على الانبعاثات البشرية المنشأ من الزيادة العالمية الملحوظة. ويحتمل أن تستمر هذه الزيادة في غياب جهود التخفيف مع التأكيد على أنّ معظم انبعاثات N2O مرتبطة بتقديم الغذاء لسكان العالم المتنامي، وأكثر من ذلك فإنّ الاستعمال المكثف للأسمدة لزراعة محاصيل الوقود الحيوي يمكن أن تزيد انبعاثات $N_2O$ ولكن أيضاً، يمكن أن تعوض بعض الفوائد المناخية المتوقعة من الوقود الحيوي. عملياً، يفقد عادة، قسم كبير من النتروجين المستعمل في الزراعة، في الوسط المحيط، مما يوحي بأنّ التشدد في ترشيد استخدام الأسمدة قد يؤدي إلى نقصان انبعاث $N_2O$ في المستقبل دون تأثر مردود المحاصيل. يشمل المزيد من استراتيجيات تخفيف إطلاق $N_2O$ زيادة كفاءة امتصاص المحاصيل للنتروجين وتوسيع استخدام مثبطات النترجة وتحسين استراتيجيات إدارة التسميد العضوي وتوسيع مجال معالجة النفايات. كما يمكن حصول تغيرات مستقبلية في انبعاثات $N_2O$ الطبيعية، حيث قدمت سجلات عينات جليدية أن تغير المناخ قد يؤثر على الانبعاثات البحرية والقارية وفق مقاييس قصيرة الأجل وطويلة الأجل. وتكون انبعاثات أكسيد النتروزو من التربة في حالتها الطبيعية أو تلك المتدخل بها بشرياً، حساسة لدرجة الحرارة والهيدرولوجيا ودورات الجفاف وتغير استخدام الأراضي. وأثبتت دراسات مغايرة، أهمية مصادر $N_2O$ المدارية التي تقع بين خط الاستواء وخط $30^{\circ}$ شمالاً ويتوقع زيادة الانبعاثات المحتملة من هذه المنطقة مع الزمن، مع أنّ الإشارات تكون صغيرة بالنسبة لدقة القياس الحالي ويمكن الهيمنة عليها من قبل عمليات جوية أخرى مثل التبادل الستراتوسفيري – التروبوسفيري. وكما هو صحيح في حالة الميتان، إن حساسيات الانبعاث والفقد في العمليات الطبيعية، تضع متطلبات متزايدة على فهمنا لموازنات $N_2O$ الإقليمية في دراسة الانبعاثات بطريقة العكس قمة–أسفل والمعتمدة على الغلاف الجوي وذلك في حالة حدوث التغيرات في المنظومة البيئية والتي يصعب تمييزها عن تلك المرتبطة بجهود التخفيف المبذولة.

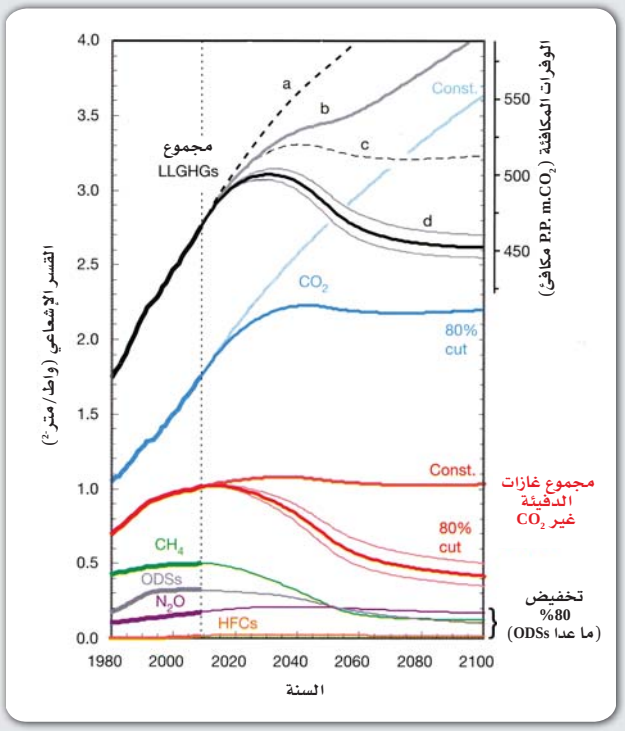
***غازات بروتوكول مونتريال وبدائله:***

بشكل مغاير لحالة الميتان وأكسيد النتروزو، لا يوجد هناك مصادر طبيعية ذات أهمية للمواد المستنفدة للأوزون ODSs التي تؤثر على المناخ، ولقد تناقص إجمالي الانبعاثات الكلية للمواد المستنفدة للأوزون ODSs (مركبات كلوروفلوروكربونات CFCs ورابع كلوريد الكربون وميتيل الكلوروفورم وبروميد الميتيل والهالونات)، من حوالي 9 إلى 1 غيغا طن مكافئ $CO_2$/ سنة منذ نهاية تسعينيات القرن الماضي وذلك بسبب الالتزام ببروتوكول مونتريال (الشكلان 2،1)، وانخفضت مؤخراً نتيجة لذلك جميع التراكيز الجوية العالمية لمعظم المواد الكيميائية هذه. وكذلك تعد بدائل المواد المستنفدة للأوزون (أي مركبات كلوروفلوروهيدروكربونات التي ضبطت ببروتوكول مونتريال وفلوروهيدروكربونات غير المستنفدة للأوزون والمتضمنة في بروتوكول كيوتو) غازات دفيئة قوية التأثير، وازدادت تراكيزها العالمية وانبعاثاتها في السنوات الأخيرة ووصلت انبعاثات الكلوروفلوروهيدروكربونات عام 2008 إلى 0.7 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة وبلغت انبعاثات الفلوروهيدروكربونات الإجمالية حوالي 0.5 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة (الشكلان 2،1). وعلى الرغم من تشديد بروتوكول مونتريال الضوابط على الإنتاج المستقبلي لمركبات فلوروكلوروهيدروكربونات مؤخراً، تبقى التأثيرات المستقبلية للمركبات المستنفدة للأوزون والفلوروكلوروهيدروكربونات، على المناخ غير مؤكدة لثلاثة أسباب، أولها، بالرغم من تضمن الفلوروهيدروكربونات في بروتوكول كيوتو فيمكن زيادة حمولتها الجوية، وبالتالي قسرها الإشعاعي، بشكل أساسي بسبب استخدامها المتزايد كبدائل عن المواد المستنفدة للأوزون ODs وعلى الخصوص في الدول النامية. وتبقى التأثيرات المناخية المستقبلية لمركبات HFCs مرتبطة بكميات الانبعاث ومدى اعتماد بدائل أقصر عمراً وأقل احتراراً (GWPs). وهناك أيضاً قلق إزاء انبعاثات HFC–23، التي تعد غازات دفيئة شديدة التأثير، والتي تولد كنواتج ثانوية غير مقصودة عند إنتاج HCFC–22، ويحتمل زيادة جزئية لانبعاث HFC–23 في المستقبل لأنه حالياً، هناك تخريب فقط لجزء منه في مشاريع آلية التنمية النظيفة ضمن إطار اتفاقيات الأمم المتحدة حول تغير المناخ.

ثانياً، إن مخازن الهالوكربونات التي تعد مخازن للمواد الكيميائية المنتجة وليست منبعثة بعد، هي مصادر أساسية في الوقت الحالي. معظم المواد الكيميائية الموجودة في المخازن سوف تسرب إلى الغلاف الجوي في نهاية المطاف، ما لم تخرب. مع أنّ مخزونات الهالوكربونات العالمية من CFCs وHCFCs و HFCs كانت بحدود 19 غيغا طن مكافئ $CO_2$ في عام 2005 فمن المرجح أن يكون جزء منها قابلاً للاسترداد. على سبيل المثال، في الولايات المتحدة الأمريكية صُنِّف فقط 25% من مخزونات الهالوكربونات في عام 2005 على أنها ممكنة الوصول وهي موجودة على أشكال معينة في أجهزة الإطفاء والمجمدات ومكيفات الهواء، والتي يكون الاسترداد منها أكثر سهولة في حالة الرغوة مثلاً. ويحتمل أنّ مخازن HCFCs في البلدان النامية وHFCs في البلدان المتقدمة قد ازدادت في السنوات الأخيرة بسبب الزيادة المجحفة في الإنتاج. ثالثاً، قد تؤثر الاتجاهات المنهجية المحتملة في تراكيز الهيدروكسيل العالمية (مثلاً من التغيرات في الميتان وأول أكسيد الكربون وأكاسيد الآزوت والأوزون التربوسفيري وبخار الماء) على أعمار HCFC وHFC وعلى تأثيراتها المناخية المكاملة على امتداد الزمن.

### الغازات المديدة العمر:

يلاحظ في الوقت الحاضر وجود عدد من المواد الكيميائية بنسب مزج منخفضة جداً، في الغلاف الجوي والتي تملك أعماراً طويلة




**الشكل 3: القسر الإشعاعي المباشر المشتق من توافر غازات الدفيئة طويلة الأمد المقيسة والمتوقعة تجري التوقعات وفقاً لسيناريوهات انبعاثات مختلفة**

*فانبعاثات مستقبلية ثابتة عند سويات عام 2008، حيث تخفيضات 80% من هذه الانبعاثات مبرمجة بشكل خطي بين 2009 و2050 (وبشكل ثابت بعدئذ) ومن أجل انبعاثات المواد المستنفدة للأوزون المعتمدة على الضوابط القائمة والمقدمة في بروتوكول مونتريال، فالقسر المستقبلي من مجموع غازات الدفيئة طويلة الأمد (الخطوط السوداء) تبين من أجل انبعاثات مستقبلية ثابتة (الخط a) انبعاثات $CO_2$ مستقبلية ثابتة ولكن مع تخفيض 80% من غازات دفيئة غير $CO_2$ طويلة الأمد (الخط b) وتناقص 80% في انبعاثات $CO_2$ مع انبعاثات ثابتة لغازات الدفيئة غير $CO_2$ المستقبلية (الخط C) وتخفيض 80% في انبعاثات جميع غازات الدفيئة طويلة الأمد بما فيها $CO_2$ (الخط d) استمدت هذه المجاميع من التغيرات في $CO_2$ (الخطوط الزرقاء) ومجموع غازات الدفيئة طويلة الأمد غير $CO_2$ (الخطوط الحمراء).*

*تظهر أيضاً نتائج من أجل غازات الدفيئة غير $CO_2$ على أشكال منفردة ومجموعات منها . تعكس اللاوثوقيات المبينة لبعض التوقعات (الخط d والخط الأحمر وتخفيض 80%)، تغيراً خطياً في تراكيز جذور الهيدروكسيل ±15% من عام 2009 إلى عام 2050 (تعتمد جزئياً على حساسية تراكيز جذور الهيدروكسيل لتغيرات الميتان). لم يعتبر الصدى الصغير بين وفرة $N_2O$ وعمره وكذلك بين التأثير الصغير لوفرة الميتان على عمر $N_2O$ حسبت نسب مزج غازات الدفيئة غير $CO_2$ بنموذج صندوق واحد بينما حسبت نسب مزج $CO_2$ المستقبلية باستخدام تابع الاستجابة بتفكك الانبعاث النبضي المعتمد على نموذج دورة برن للكربون (Bern 2.5 CC). تفترض التوقعات أن الانبعاثات وضياعات الطبيعة ثابتة ولذا فإنها لا تشمل التغيرات الهامة المحتملة في الانبعاثات الطبيعية أو الفقد، غير جذور الهيدروكسيل والذي جرت مناقشته في النص. فمن أجل سيناريو انبعاثات معينة سيكون لتوافر $CO_2$ المستقبلي، لاوثوقيات إضافية تنشأ عن التغيرات المحتملة في عمليات امتصاص من قبل اليابسة والمحيطات بسبب إتاحة النتروجين (انظر النص) وتغيرات المناخ وزيادة تركيز $CO_2$ و تحميض المحيطات. ويكون القسر الإشعاعي المباشر الناتج من PFCs (0.005 واط /متر²)، $SF_6$ (0.004 واط /متر²)، $NF_3$ (0.005 واط /متر²) صغيراً جداً في عام 2009 كي يكون مرئياً.*

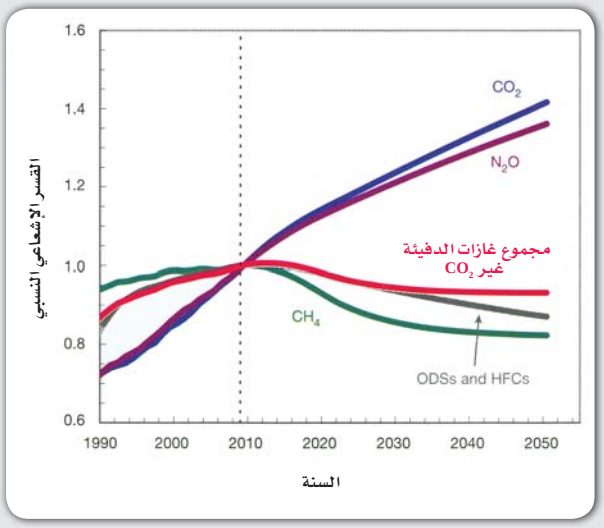
جداً. وتكون التغيرات المناخية الموافقة لانبعاثات هذه المواد، في كل الأحوال، لا عكوسية خلال آلاف السنين. وتشمل الأمثلة عليها غازات $SF_6$ و$SF_5–CH_3$ وثلاثي فلوريد النتروجين $NF_3$ والهيدروكربونات المشبعة بالفلور PFCs ($CF_4$، $C_2F_6$، $C_3F_8$ - - -). تشير التغيرات الحديثة في الغلاف الجوي وتقديرات المخزون، إلى انبعاثات مكافئة لـ $CO_2$ صغيرة نوعاً ما من هذه الغازات مقارنة مع غيرها من غازات الدفيئة الطويلة الأمد الأخرى (الشكل 1) مع أنّ الانبعاثات معظمها آخذة بالازدياد، مما يستدعي مواصلة المراقبة لضمان بقاء قسرها المناخي صغيراً. يبقى هذا صحيحاً بشكل خاص بالنسبة للغازات التي قد تزداد بشكل أساسي مع ازدياد استعمال الكهرباء (أي $SF_6$) ومن أجل الغازات غير المدرجة في قائمة البروتوكولات الدولية (مثل $NF_3$). طال الاستخدام مؤخراً مركب ثلاثي فلوريد النتروجين في الصناعات الإلكترونية كبديل لمركبات PFCs بسبب اعتبارات مناخية مرتبطة مع مركبة PFCs وهو يخرب بشكل كبير أثناء عملية التصنيع. ولكن لثلاثي فلوريد النتروجين المتسرب تأثيراً احترارياً أكبر من مركبات PFCs المستبدلة.

## القسر المناخي الناتج من غازات غير الـ $CO_2$

يتناسب القسر المناخي المباشر لغاز نَزْر مع تغير تركيزه العالمي منذ عام 1750، وكيف يمتص بكفاءة الأشعة تحت الحمراء المتاحة (كفاءته الإشعاعية) بواحدة واط/متر$^2$ لكل جزء بالبليون. بحلول عام 2009، تكون الزيادة في غازات الدفيئة غير $CO_2$ طويل الأمد منذ عام 1750 قد ساهمت، بقسر إشعاعي مباشر مقداره 1 واط/م–2 أو 57% من ذاك الناتج عن $CO_2$ (الشكل 3) وتعد الزيادة المتزامنة في الميتان بنصف هذه القيمة من القسر المناخي المباشر (0.5 واط/م$^{-2}$) بينما يأتي ثلثها من المركبات المستنفدة للأوزون ODSs ومعظم الباقي ينتج من أكسيد النتروزو (0.17 واط/م$^{-2}$). هناك قسر صغير (<0.02 واط/م$^{-2}$) ينتج من الزيادة في مركبات HFCs وPFCs و$SF_6$ و$NF_3$ (الشكل 3).

تسيطر زيادات ثنائي أكسيد الكربون على التغير في القسر الإشعاعي المباشر بين جميع غازات الدفيئة طويلة الأمد LLGHGs (0.159 واط/م$^{-2}$) منذ منتصف 2004 حتى منتصف 2009، حيث بلغت الزيادة في القسر الإشعاعي المباشر الناتجة من مجموع غازات الدفيئة غير $CO_2$ فقط 20% في أعظم حالاتها (الشكل 3). وتعد الزيادة في $N_2O$ (0.012 واط/م$^{-2}$) و$CH_4$ (0.006 واط/م$^{-2}$) وHFCs (0.006 واط/ م$^{-2}$) وهي المسؤولة عن معظم التغير في القسر الإشعاعي العائد لغازات الدفيئة غير ثنائي أكسيد الكربون خلال فترة السنوات الخمس الأخيرة هذه. وكانت الزيادة في القسر الإشعاعي المباشر والناتجة من $SF_6$ وPFCs و$NF_3$ أقل بكثير (<0.001 واط/م$^{-2}$ لكل منها) ولم يلاحظ أي تغير صاف في التأثير الإشعاعي المباشر من مركبات ODSs بينما عوضت الزيادة في مركبات HCFCs (0.008 واط/م$^{-2}$) بتناقص مماثل في مركبات CFCs، خلال الفترة نفسها.

تؤثر أيضاً بعض غازات الدفيئة غير $CO_2$ على المناخ بشكل غير مباشر، فعلى سبيل المثال تعزز زيادة الميتان الجوي بخار ماء طبقة الستراتوسفير والأوزون التروبوسفيري، ويؤثر أيضاً على الإيروسولات (الحلالات الهوائية)، وبما فيها هذه التأثيرات، يعزز القسر المناخي للميتان من حوالي 0.5 إلى 0.8–1 واط/م$^2$ وتؤثر مركبات النتروجين التفاعلية قصيرة العمر والمرتبطة بالإنسان (مثل أكاسيد النتروجين NOx) على إتاحة الإيروسولات والأوزون التروبوسفيري وتراكيز جذور الهيدروكسيل العالمية وبالتالي على أعمار $CH_3$ وHCFCs وHFCs في الغلاف الجوي. خلال القرن




***الشكل 4: التغيرات النسبية في القسر الإشعاعي، الناشئة عن تخفيض 25% في انبعاثات غازات الدفيئة العالمية.***

*القسر الإشعاعي معبر عنه كجزء من قسر عام 2009، ارتكزت قيم القسر الماضي على نسب المزج المقيسة كما في الشكل (3). أما القسر المستقبلي يحسب بافتراض تناقص 25% في انبعاثات عام 2008، المبرمجة خطياً بين 2009،2020 وتثبت الانبعاثات عند معدلات 2020 بعدئذ. قدرت التوقعات وفق التقنيات المذكورة بالشكل (3). يمثل هذا السيناريو التوضيحي تناقصاً مقداره 11% بالنسبة لسويات عام 1990 في حالة انبعاثات غازات دفيئة بشرية المنشأ مشمولة في بروتوكول كيوتو (أي أنها ليست مواد مستنفدة للأوزون ODSs).*

الماضي، قد يكون إنتاج جذور الهيدروكسيل المعزز بزيادة أكاسيد النتروجين البشرية المنشأ، قد عوض زيادة فقد جذور الهيدروكسيل الموافق للتراكيز العالية لأحادي أكسيد الكربون والميتان. وأدى تناقص الأوزون الستراتوسفيري، الناتج من الإتاحة الميسرة لـ ODSs، إلى قسر مناخي بمقدار 0.05±0.1 – واط /متر2 (اللاوثوقية عند حدود ثقة 90%). تقترح هذه التأثيرات بما فيها غير المباشرة، قسراً مناخياً صافياً في عام 2009، من غازات الدفيئة غير $CO_2$، ما بين 0.2 – 0.4 واط /متر$^2$، وأعلى منه في حال اعتبار التأثيرات المباشرة فقط.

## إدارة قسر المناخ بغازات غير $CO_2$

إذا لم تبذل جهود جدية للتخفيف، يحتمل زيادة انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ في ظل زيادة الطلب على الغذاء والطاقة على مستوى العالم واستمرار الدول النامية في عملية العصرنة. هناك زيادة وسطية متوقعة بحدود 50% لانبعاثات الميتان وأكسيد النتروزو في عام 2050 (بالنسبة لقيم عام 2000) وزيادة نسبية أكبر بالنسبة لـ HCFCs موافقة لانبعاث 10 غيغا طن مكافئ $CO_2$/سنة في عام 2050. يتوقع تخفيض يقارب 2 غيغا طن $CO_2$/سنة في انبعاثات ODS في عام 2050 مع استمرار الالتزام بمجموعة ضوابط بروتوكول مونتريال. وباعتبار أن جميع تغيرات الانبعاثات هذه، يمكن لها أن تؤدي إلى قسر مناخي مباشر ناتج من جميع غازات الدفيئة طويلة العمر غير $CO_2$ ليصل 1.5 واط/م$^2$ في عام 2050 (زيادة 50% عن قيمة قسرها الإشعاعي الحالي). إلى أي مدى يمكن تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ التي تؤثر على القسر المناخي بين 50–100 سنة قادمة؟. يوضح تخفيض مقداره 25% في الانبعاثات البشرية المنشأ، مبرمج على مراحل خلال 2020 – 2009، مدى حساسيات تراكيز غازات الدفيئة لهذه التخفيضات وفقاً لأعمارها. سيؤدي تخفيض الانبعاثات البشرية لجميع غازات الدفيئة غير $CO_2$ بهذه الطريقة، إلى قسر إشعاعي إجمالي ناتج من هذه الغازات يصل الذروة خلال العقد القادم (الشكل 4). ينتج هذا التحول بشكل رئيس عن التناقص في تركيز الميتان ويستعرض كيفية إمكانية تعويض تخفيض انبعاثات الميتان لجزء من الزيادة في القسر الإشعاعي الناتج من غازات الدفيئة الأطول عمراً على مقياس زمني قصير نسبياً.

ينشأ تأثير الميتان الكبير وتجاوبه السريع عن عمره القصير نسبياً (~9 سنة) وشبه توازنه الحالي في كميات الانبعاثات والفقد وكذلك في مساهمته الكبيرة للقسر المناخي الحالي. يعتمد هذا التأثير على استقرارية تراكيز جذور الهيدروكسيل الجوية (الشكل 3)، مع أنه يعتقد أنّ تراكيز جذور الهيدروكسيل، تكون محمية من التغيرات الكبيرة، إلاّ أنّ للزيادات (أو للنقصان) في الميتان وأكاسيد الآزوت، على سبيل المثال، تأثيرات تعويضية على تراكيز جذور الهيدروكسيل. وعلى النقيض من ذلك، يؤدي هبوط 25% في انبعاثات $N_2O$ و$CO_2$ إلى إبطاء طفيف بزيادة القسر الإشعاعي ينشأ عن كل من هذين الغازين الطويلي العمر، واللذين يتجاوز انبعاثهما الكلي الحالي، فقدهما بشكل كبير (الشكل 4).

يتطلب عكس الزيادات المستمرة في القسر الإشعاعي الناتج من جميع غازات الدفيئة طويلة الأمد، تخفيضات انبعاثات أكبر. إذ يطلب تخفيض 80% في الانبعاثات البشرية لـ $CO_2$ فقط لتحقيق استقرار قسره الإشعاعي المباشر (الشكل 3)، وهناك حاجة إلى مثل هذا التخفيض الكبير نسبياً، وذلك لأن $CO_2$ في الغلاف الجوي الحالي يكون طويل العمر وأن مجموع مجمل انبعاثاته الحالية

> يحوي جليد القطب الشمالي 1000 غيغا طن من الكربون (GTC) في ثلاثة الأمتار العلوية منه.

تتجاوز فقده بكثير، يمكن لهذا التخفيض (80%) في انبعاثات $CO_2$ أن يؤدي إلى استقرار القسر المناخي الناشئ عن جميع غازات الدفيئة طويلة الأمد شريطة أن تبقى انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ ثابتة (الشكل 3).

وعلى النقيض من استجابة $CO_2$ الزمنية، سيؤدي تخفيض انبعاثات جميع غازات الدفيئة غير $CO_2$ بمقدار 80% حتى عام 2050 إلى تناقص قسرها الإشعاعي بشكل كبير وليس استقراره فقط، وذلك بسبب استجابة الميتان السريعة لتناقص الانبعاثات. وعند ربط هذا مع تخفيضات نسبية مماثلة في انبعاثات $CO_2$ سيصل القسر الإشعاعي المباشر الناشئ عن مجموع غازات الدفيئة طويلة الأمد، إلى الذروة ويبدأ بالتناقص بشكل جيد قبل عام 2050 (الشكل 3، الخط d). ولكن لا يمكن تحقيق الاستقرار المستدام للقسر الإشعاعي بإيقاف غازات الدفيئة غير $CO_2$ فقط. (الشكل 3، الخط b).

نوقش تخفيض 50 – 80% من انبعاثات $CO_2$ حتى عام 2050 (بالنسبة لعام 1990)، بوصفه وسيلة للحد من وفرة غازات الدفيئة إلى أقل من 500 جزء بالمليون مكافئ $CO_2$ والتي تعني زيادة في درجة الحرارة العالمية ما بين 2 – 2.4 درجة مئوية أعلى من قيمها ما قبل الثورة الصناعية. من المحتمل أن يتطلب مثل هذا التخفيض في انبعاثات $CO_2$ تغيرات أساسية في عمليات إنتاج الطاقة المستقبلية. قمنا هنا باعتبار تخفيضات مماثلة في انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ بشكل رئيس لتفسير الحدود العلوية التقريبية والمقاييس الزمنية لمكاسب القسر المناخي المتعلقة بالتخفيضات الكبيرة لانبعاثاتها. مع أن إمكانية تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ بشكل كبير، بالحدود الدنيا من التكلفة الصافية التي تمس التقانات الحالية (تخفيض 40% من الميتان و10–15% في $N_2O$ و~40% من الغازات المحتوية على الفلور، نسبة لقيم 2010) وسيعتمد تحقيق تخفيضات أكبر في الانبعاثات،على محفزات التكلفة (مثلاً سعر الكربون) وتطور التقانات المستقبلية. يظهر التحليل النموذجي المتعدد الأوجه الذي يأخذ بالحسبان تكلفة التخفيض واحتمالية التخفيف وإمكانية التطور المستقبلي، أن المنحى المتعدد الغازات لاستقراء القسر الإشعاعي، يقلل من التخفيضات الأولية المطلوبة لانبعاثات $CO_2$ ويحقق استقراء القسر المناخي بتكلفة أقل بكثير مقارنة مع تخفيف انبعاثات $CO_2$ لوحدها تظهر هذه الأمثلة التوضيحية انعكاسات الجداول الزمنية لفقد غازات دفيئة طويلة الأمد مختلفة، على استقرار القسر الإشعاعي المستقبلي وتخفيضه. لكن مع أنّ التخفيضات الكبيرة في الانبعاثات البشرية لهذه الغازات، حاجة ضرورية لاستقرار القسر المناخي المباشر الإجمالي أو تخفيضه، فإن التخفيض الحقيقي المطلوب يبقى نوعاً ما غير مؤكد، وذلك لأن التدفقات الطبيعية لـ $CO_2$ و$CH_4$ و$N_2O$ وجزءاً معتبراً من انبعاثات $N_2O$ البشرية، تكون حساسة للمناخ. إضافة إلى ذلك يمكن لبعض الانبعاثات الطبيعية والبشرية لكل من $N_2O$ و$CH_4$ أن يزداد استجابة لازدياد تراكيز $CO_2$ في الغلاف الجوي، مع أن مقدار هذه الحساسية غير مؤكد.

## التأثيرات غير المباشرة لتخفيف $N_2O$

تشير دراسات حديثة، أيضاً إلى أنّ الجهود الرامية إلى تخفيف بعض انبعاثات $N_2O$ قد تكون لها عواقب غير مقصودة أو تعويضات تؤثر على غازات دفيئة أخرى. يحد توافر النتروجين في العديد من النظم البيئية القارية والبحرية من امتصاص الكربون، رغم الإضافات الناتجة من النشاطات البشرية، حيث تضاف ضعف كمية النتروجين التفاعلي سنوياً إلى الغلاف الجوي القاري من قبل عمليات طبيعية والتي تخفضه بحوالي 25% في البيئة البحرية. تؤدي إضافات النتروجين البشرية هذه، إلى زيادة امتصاص الكربون: يعزى امتصاص حوالي 10% من $CO_2$ المحيطات إلى عمليات النقل الجوي وتوضع النتروجين، كما يمكن للنتروجين البشري المنشأ المتوضع في الغابات أن يفسر جزءاً من الزيادة في امتصاص الكربون القاري. يعتمد نموذج تنبؤات الـ $CO_2$ في عام 2100 بشكل أساسي، على مقدار تخصيب $CO_2$ الذي يؤدي بموجبه تراكيز $CO_2$ المضافة، إلى تعزيز امتصاص الكربون بواسطة المحيط الحيوي. ولكن بتحليل بسيط، تقترح النماذج المقترنة التي تعتمد توافر المغذيات والمعطيات المقيسة الحديثة، أنه يمكن تخفيض تخصيب $CO_2$ المستقبلي بشكل جزئي أو كلي من خلال الحد من النتروجين. تعني هذه النتائج أن جهود التخفيف من أجل تخفيض إضافات النتروجين البشرية (وانبعاثات $N_2O$ المرافقة) من نشاطات معينة (على الأخص احتراق الوقود الأحفوري والكتل الحيوية) تملك تعويضات متعلقة بانخفاض امتصاص الكربون وازدياد $CO_2$ الجوي. ويمكن أيضاً أن يكون لجهود تخفيف أكسيد النتروزو والتي تخفض أكاسيد النتروجين، فوائد مناخية غير مباشرة، لأنها قد تؤدي إلى انخفاض الأوزون في طبقة التروبوسفير، وبالتالي إمكانية تحسين المحيط الحيوي ليتمكن من تنحية الكربون. ومع أن عدم استطاعتنا حالياً تقدير التأثيرات المناخية غير المباشرة الإجمالية على مستقبل جهود تخفيف $N_2O$، فإننا نعلم، أن التعويضات المناخية ستعتمد على حمولة نتروجين التربة ومعدلات فقد النتروجين البشري من الترب ومعدلات إعادة تمعدن النتروجين في المناخ الأكثر حرارة وبوجود تراكيز متزايدة من $CO_2$ وتأثير أكاسيد النتروجين المرتبطة بتغيرات الأوزون في طبقة التروبوسفير على امتصاص الكربون وأخيراً القدرة على تهيِّئَة نسب كربون/نتروجين في المتعضيات، لتتوافق مع تغير نسب المغذيات.

## المضي قدماً

تلقي الاعتبارات الموصوفة في هذه المراجعة، الضوء على عدد من المبادئ الهامة والحاجات العلمية لإدارة القسر المناخي المستقبلي. أولاً، بسبب أنّ غازات الدفيئة غير $CO_2$ حالياً تشكل، حوالي ثلث الانبعاثات المكافئة لـ $CO_2$ الإجمالية و35–45% من القسر المناخي الإجمالي الناتج من جميع غازات الدفيئة طويلة الأمد (يمثل هذا المجال نسبة القسر المباشر إلى مجموع القسر المباشر وغير المباشر) حيث يمكن لتخفيض انبعاثاتها، أن يقلل إلى حد كبير القسر المناخي المستقبلي. تشكل الفوائد الإضافية لتخفيف انبعاثات غازات دفيئة غير $CO_2$، تخفيض تكلفة تخفيف آثار المناخ بالنسبة لتوجهات $CO_2$ فقط وتحسين نوعية الهواء

والماء وتخفيض الهطولات الحامضية وتناقص تخثث eutrophica-tion النظم البيئية المائية. ثانياً، يمكن أن يسبب إيقاف انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ قصيرة العمر وبشكل رئيس، الميتان، تناقصاً سريعاً في القسر الإشعاعي العائد لهذه الغازات. ولا يمكن تحقيق هذه الاستجابة السريعة عند إيقاف انبعاثات $CO_2$ وحدها. يمكن لإنقاص ذروة القسر المناخي وتقليل الوقت الذي يعزز خلاله، أن يقلل إمكانية عبور المناخ بشكل لاعكوسي نقطة تحول إلى حالة جديدة. ونظراً لعدم الوضوح هنا بسبب أنّ أعمارهم قصيرة جداً (< 1 سنة) يمكن أن تؤثر على المناخ مكونات جوية أخرى مثل أوزون طبقة التروبوسفير والإيروسولات والكربون الأسود. ويكمن أن تؤدي الجهود المبذولة من أجل تخفيض توافرها، إلى تبريد أو تسخين حتى على مقياس زمني أقصر من حالة إيقاف انبعاثات الميتان، مع أنّ كل من غازات الدفيئة القصيرة العمر أو الطويلة العمر تؤثر على المناخ لفترات أطول من تلك المقترحة من أعمارها وذلك بسبب فوارق الزمن مرتبطة بعملية التبادل الحراري بين المحيطات والغلاف الجوي، ثالثاً، تكون الفوائد المحتملة من إيقاف انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ محدودة، إذ على سبيل المثال، تعد جميع الانبعاثات البشرية لغازات الدفيئة غير $CO_2$ أنها خفضت إلى العدم بدءاً من عام 2010، فلن يكون التناقص في القسر الإشعاعي المباشر خلال السنوات اللاحقة، بين 2010 و2050 كافياً ليعوض بشكل كامل زيادات $CO_2$ المستمرة وفق المعدلات الحالية (حوالي 1 واط/ متر$^2$ خلال 40 سنة). وبسبب هذه القيود يكون الاستقرار المستدام للقسر المناخي المستقبلي الناتج من غازات الدفيئة طويلة الأمد، ممكناً مع تناقص أساسي في انبعاثات $CO_2$. رابعاً، يدار استقرار القسر المناخي بشكل أكثر كفاءة مع التقدم العلمي الذي يعزز فهمنا لحساسية تدفقات غازات الدفيئة الطبيعية لتغير المناخ، والتي ستحسن مقدرتنا على التحديد الكمي لكل من تدفقات غازات الدفيئة البشرية والطبيعية.

في ظل هذا التقدم، يمكن تقييم وأمثلة الفعالية الإجمالية لجهود التخفيف على مدار الزمن، ويمكن للمقدرات العلمية المتطورة أيضاً أن تزيد قدرتنا على خفض انبعاثات غازات الدفيئة وقد تقدم فهماً أفضل للتخفيضات المحددة في الانبعاثات البشرية اللازمة لاستقرار القسر المناخي في هذا القرن.

تشير المبادئ الآنفة الذكر إلى أنه يجب أن تشمل برامج البحوث لإدارة القسر الإشعاعي المستقبلي دراساتٍ عملية إضافية لإيضاح أفضل للآليات والحساسيات واحتمال الارتباط لتؤثر على انبعاثات غازات الدفيئة غير $CO_2$ المستقبلية وتحسن طرائق توجيه التقديرات المتعلقة بالمخزون التي تشكل أساس الامتثال للمعاهدات، وأسواق تجارة المواد الكربونية وخلق تقنيات تقويم على مبدأ من القمة إلى الأسفل. وستشمل مثل هذه البرامج على شبكات رصد معززة وتقنيات نمذجة عكسية محسنة للسماح لتقويمات أكثر دقة للانبعاثات الإقليمية. إنّ شذوذ الميتان ما بين 2007-2010 هو مثال عن كيفية أنّ شبكات قياس الغازات النزرة ومقدرات النمذجة الموجودتين، قادرة فقط هامشياً على تشخيص أسباب معينة للتغير الأساسي في ميزان مصادرها ومصارفها.

وعلى الرغم من وجود هذه الثغرات في فهمنا الحالي، فإنه يبدو جلياً أن هناك فوائد مناخية أساسية لإدارة التخفيضات في انبعاثات كل من $CO_2$ وغازات الدفيئة طويلة الأمد غير $CO_2$. ولقد أظهرت كل من فوائد ونجاحات ضبط الغازات طويلة الأمد وقصيرة العمر بواسطة بروتوكول مونتريال الذي أدى إلى تناقص سريع مستدام في التراكيز الجوية للمواد الكيميائية المستنفدة للأوزون مع أن الأكثر توافراً هي الطويلة العمر تتغير بشكل مماثل أعمار غازات الدفيئة، ويمكن لإدارة تخفيض انبعاثاتها وفق هذه المقاييس الزمنية، أن تقدم استقراراً مستداماً في القسر المناخي عند قيم ذروة أبكر وأخفض مما يمكن تحقيقه.

نُشر هذا المقال في *Nature 48، Vol 476، august 2011*،
ترجمة **د. توفيق ياسين**، هيئة الطاقة الذرية السورية.

# نتائج حادث فوكوشيما على سياسة الطاقة الألمانية

**الكلمات المفتاحية:** حادث فوكوشيما قوانين الطاقة النووية الألمانية، الطاقات المتجددة.

هيئة الطاقة الذرية السورية

*ألمانيا هي البلد الذي تفاعل مع حادث فوكوشيما بالطريقة الأكثر سرعة والأكثر جدية لأنه جرى إيقاف ثمانية مفاعلات عملياً، ووضعُ برنامج رسمي لإيقاف المفاعلات التسعة المتبقية في العام 2022 قانونياً. يبحث هذا المقال في تعليق قرار تمديد العمر الافتراضي للمفاعلات المقرّ والذي صدر بعد ثلاثة أيام من الحادث، وفي إنشاء لجنة الحظر وتقريرها الذي صدر في نيسان/إبريل، ومن ثم يبحث في الاختبارات الأولية المنفذة والتقرير الذي صدر عن هذه الاختبارات في نيسان/إبريل أيضاً. وقد تبع ذلك شرح لمحتوى جملة القوانين المقرّة في الـ 30 من حزيران/يونيو، لاحقاً لهذه التقارير.*

*تُحلّل هذه الوثيقة النتائج الأولية لهذه القرارات، أولاً على مستوى إنتاج الكهرباء والشبكة (مع البدء ببناء محطات حرارية)، ومن ثم على مستوى منتجي الطاقة الألمان، وأخيراً على مستوى البحث والتطوير المبرمج للطاقات المتجددة.*

*بدأت تظهر في فرنسا أيضاً النتائج الأولية لهذا الانعطاف virage السياسي.*

## طلبات لإنتاج الطاقة الكهربائية النووية في ألمانيا

بلغ إنتاج الطاقة الكهربائية النووية في ألمانيا عام 2010 ما قيمته 139 تيرا واط ساعي، وكان الحصول على هذه الكمية يتم بوساطة 15 مفاعلاً من أصل 17 مفاعلاً قيد التشغيل آنذاك. مثّل هذا الانتاج ما قيمته 22.4% من الطاقة الكهربائية المنتجة في ألمانيا عام 2010. علماً أن إنتاج الطاقة الكهربائية النووية في ألمانيا كان 170 تيرا واط ساعة في العام 2000. يوضح الشكل 1 هذا التطور المتناقص.

يعود هذا التناقص إلى توقف حصل خلال العام 2010 لاثنين من أصل 17 مفاعلاً لاحقاً لمشاكل تقنية، وإلى تشغيل بطاقة منخفضة لبعض المفاعلات الأخرى. كانت هذه المفاعلات تنجز حصتها وتنتظر قرارات الحكومة بشأن تمديد فترة عمرها الافتراضي، ولم تصل هذه القرارات إلاّ في كانون الأول/ديسمبر 2010 (تعديل القانون الخاص بالطاقة النووية). لم تستأنف هذه المفاعلات عملها بكامل طاقتها إلاّ في بداية العام 2011، في أعقاب قانون يجيز تمديد العمر الافتراضي للمفاعلات من 8 إلى 14 عاماً.

## ردة فعل الحكومة في أعقاب حادثة فوكوشيما

لاحقاً للزلزال والتسونامي اللذين حصلا في 11 آذار/مارس عام 2011 في فوكوشيما، وفي يوم الثلاثاء 15 آذار/مارس تحديداً، قررت الحكومة تبني تعليق تفعيل قانونها الخاص بتمديد فترة حياة المحطات النووية لثلاثة أشهر.

وكان يجب أن تلجأ لهذا التعليق بهدف تنفيذ اختبارات أمان مشددة على كافة المحطات الألمانية، تجاه الحوادث الاستثنائية.

وفي الواقع العملي، أدى هذا التعليق إلى الإيقاف الفوري لسبع من المحطات الأقدم التي تجاوزت حصتها الأساسية من التشغيل، وهي تعادل ثلث ما يتوفر في ألمانيا من المفاعلات العاملة.

قادت فترة التعليق لثلاثة أشهر إلى تحديد خطة عمل زمنية مديدة جداً:

– أنشأت الحكومة لجنة حظر مكلفة في البحث عن توافق اجتماعي حول قرار التخلي عن الخيار النووي وعن نتائجه المحتملة. ويجب على هذه اللجنة تقديم ما خلُصَت إليه في نهاية أيار/مايو عام 2011.

– كما كلفت الحكومة لجنة أمان المفاعلات (RSK) بتقديم تقريرها في السابع عشر من أيار/مايو حول الفحوصات التقنية الخاصة بمقاومة المفاعلات الألمانية السبعة عشر تجاه الحوادث الاستثنائية.

وبناء على نتيجة هذا التقرير وتقرير لجنة الحظر، تبنت المستشارة أنجيلا ميركل الخطة التالية:

- في السادس من حزيران/يونيو: عرض الحزمة التشريعية الخاصة بالنووي على الحكومة وإقرار جلسات برلمانية؛
- في الثامن من حزيران/يونيو: جلسة على مدى يوم كامل للجنة البيئة حول كامل حزمة الطاقة (خروج من النووي وتسريع الانتقال الطاقي)؛
- في التاسع من حزيران/يونيو: قراءة برلمانية أولى للبندستاغ (الجمعية الوطنية)؛
- في نهاية حزيران/يونيو: اقتراع حول الحزمة التشريعية.

وقد لوحظ أن هذا الاستعجال خاص بألمانيا، ويبدو أنه يعود إلى غياب الأساس القانوني للتعليق. وفي الحقيقة لقد تبنى البرلمان القانون النووي في حين أن التعليق لم يخضع للانتخاب ولم يقرّ إلاّ من قبل الحكومة. أما الدول الأوربية الأخرى فقد أعطت نفسها الوقت الكافي لعمل تقني واقعي، إضافة إلى تحليل اختبارات مجهدة واستنتاجات نهائية، حيث تم إنجازها في كانون الأول/ديسمبر 2011.

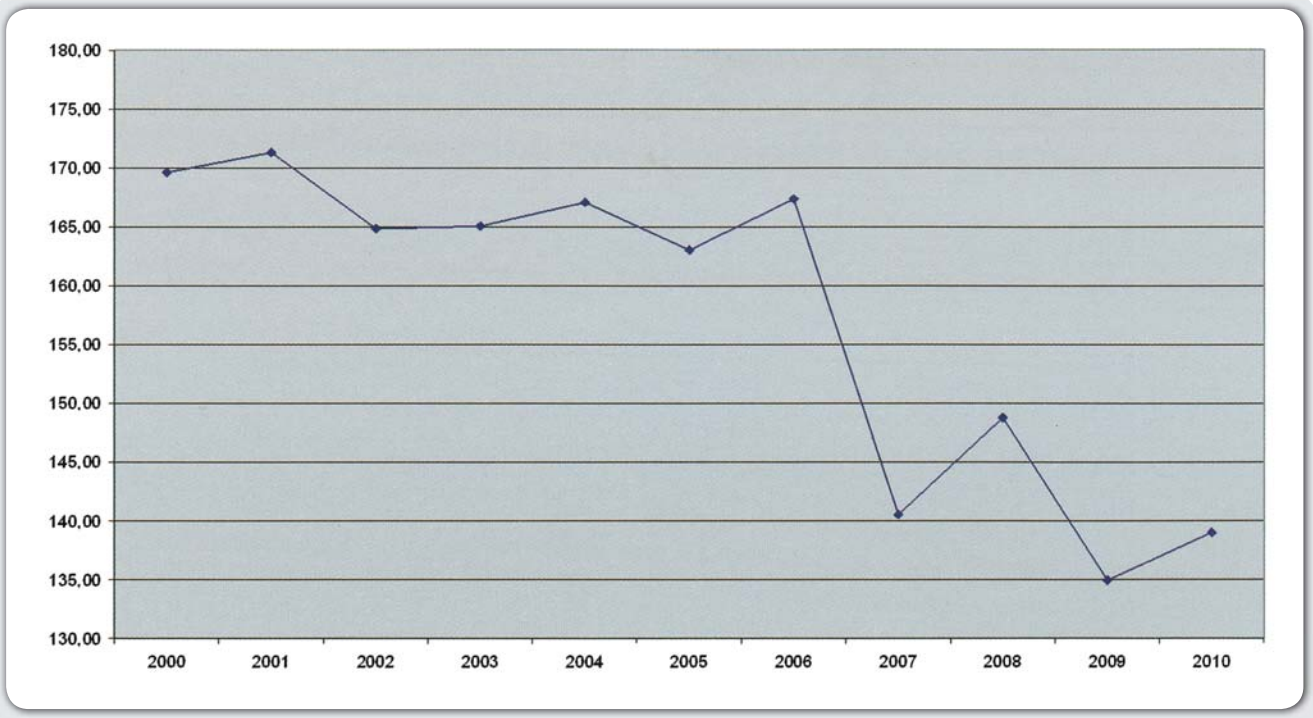
## خطة أعمال لجنة الحظر

تتألف هذه اللجنة من 17 شخصية و28 خبيراً تم اختيارهم من جهات مختلفة، وقدمت تقريرها في الـ 30 من آذار/مايو 2011. أفادت اللجنة بوجود إمكانية في ألمانيا لاستبدال الطاقة النووية بـ "تقانات أقل خطراً على المجتمع". وفي هذا الإطار، خططت اللجنة للخروج من النووي اعتباراً من لحظة تقديم تقريرها وحتى عشر سنوات قادمة.

عرضت اللجنة كافة المشاكل المتعلقة بهذا الخيار: حماية المناخ، والأمـان الطاقي، والاعتماد على الطاقة الأحفورية المستوردة، وارتفاع أسعار الطاقة، واستيراد الطاقة النووية، ومشاكل شبكة الطاقة.

كما خططت اللجنة لبحث متعاظم، وبخاصة في اقتصاديات الطاقة والتخزين. ومن الملاحظ هنا أن اللجنة أوصت بمتابعة الأبحاث في المجال النووي (الأمن والنفايات) إضافة إلى الاندماج الحامل لوعود كبيرة.

وأخيراً تتمنى اللجنة بأن يصبح موضوع الأمن النووي مكوناً في السياسة الأوربية، وبخاصة لتجنب تغذية الشبكة بمحطات يكون الأمن فيها أخفض مما هو عليه الحال في المحطات الألمانية.




***الشكل1:*** *إنتاج الكهرباء بواسطة الطاقة النووية، مقدراً بـ تيرا واط ساعي.*

## خطة الاختبارات المجهدة الأولية المنفذة على المفاعلات الألمانية

تمّت صياغة التقرير النهائي ضمن مهل زمنية قصيرة جداً. وبشكل خاص، لم يحظ المستثمر إلا بفترة أسبوعين بعد طلب الحكومة للإجابة عن جميع الأسئلة المطروحة من قبل السلطات الأمنية. وفي الوقت نفسه، كان يجب إنجاز كل شيء بأقل من ثلاثة أسابيع.

يُدركُ كل ذلك في الصيغة النهائية لهذا التقرير، الذي ظهر محبطاً تماماً، ولا يؤدي إلى أي عرض ولا أي خلاصة. ولا نجد فيه إلاّ تقديراً للهوامش الخاصة بالظروف الابتدائية المعتبرة في التقارير الأمنية، لبعض الحوادث الاستثنائية (انظر الجدول 1).

وبالمقابل، أظهر هذا التقرير، فيما يخص المحطات السبع المستهدفة بتعليق وزيادة عمرها الافتراضي، حماية منخفضة تجاه سقوط الطائرات، مما سمح استدلالياً بتبرير إغلاقها بشكل قطعي.

ونرى مع ذلك أنه يتوجب إعادة هذا العمل في الإطار الأوربي، وبوجود ترتيب زمني يؤدي إلى نشر النتائج مع نهاية العام 2011.

## خطة حزمة قوانين الطاقة المعتمدة في الـ 30 من حزيران/يونيو

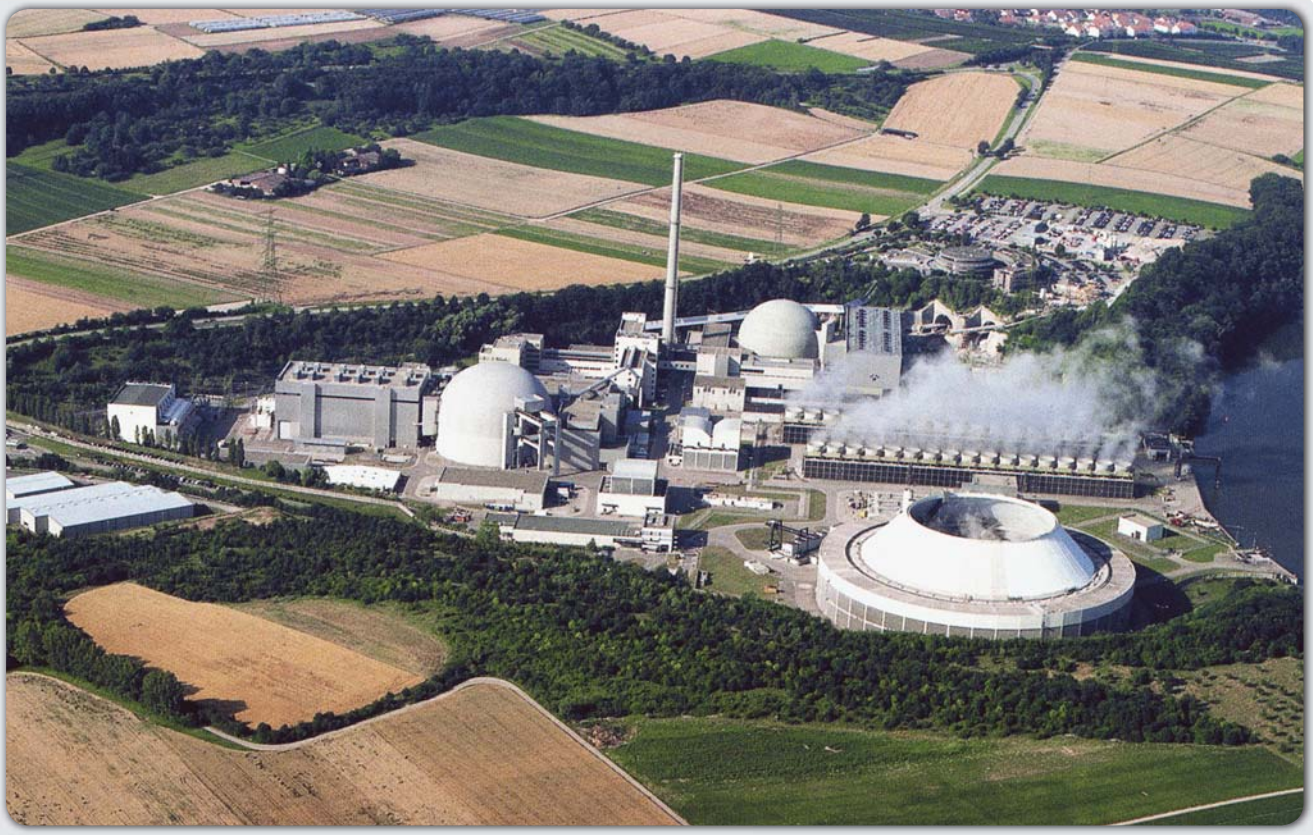
تتألف الحزمة التشريعية المعتمدة من أحد عشر نصاً تشريعياً، وتوجبُ خروجاً متسارعاً من النووي ينتهي في العام 2022، وانتقالاً طاقياً متسارعاً نحو الطاقات المتجددة التي يجب أن تغطي 80% من إنتاج الكهرباء في العام 2050. نوجز النقاط الأساسية المغطاة بما يلي:

- لا تُشغّل مستقبلاً أي من المفاعلات السبع التي أشارت إليها لجنة الحظر ومفاعل كرومل Krummel (المتوقف منذ سنوات عديدة). توقف المفاعلات التسعة المتبقية بين العامين 2015 و2022.
- تطوير الطاقات المتجددة بشكل مكثّف، وبخاصة منها طاقة الرياح التي يجب أن تصل استطاعتها إلى 25 جيغا واط كهربائي من الآن وحتى العام 2030 بكلفة تقديرية تساوي 75 مليار يورو.
- وعلى المدى القصير، يجب على المحطات العاملة بالغاز وبالفحم أن تؤمن الانتقال اللازم.
- البدء بتخطيط اتحادي للبنى التحتية الضرورية لتطوير الشبكة.
- تدعيم مستقبلي للفعّالية الطاقيّة.
- يجب عدم استيراد أي طاقة إضافية.

| اسم المحطة | اختصارات مستخدمة في التقرير RSK | الشركة المستثمرة | الموقع | نمط المفاعل | بدء التشغيل | توقف خلال التعليق | درجة الوقاية من سقوط الطائرات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Biblis A | KWB A | RWE | Hesse | REP | 1974 | oui | 0 |
| Biblis B | KWB B | RWE | Hesse | REP | 1976 | oui | 0 |
| Brunsbuttel | KKB | Vattenfall/E.ON | Schleswig- Holstein | REB | 1976 | oui | 0 |
| Philippsburg 1 | KKP 1 | EnBW | Bade- Wurtemberg | REB | 1980 | oui | 0 |
| Neckarwestheim1 | GKN 1 | EnBW | Bade- Wurtemberg | REP | 1976 | oui | 1 |
| Isar 1 | KKI 1 | E.ON | Baviere | REB | 1977 | oui | 1 |
| Unterweser | KKU | E.ON | Basse-Saxe | REP | 1979 | oui | 1 |
| Grafenrheinfeld | KKG | E.ON | Baviere | REP | 1982 | non | 2 |
| Krummel | KKK | Vattenfall | Schleswig- Holstein | REB | 1984 | non | 2 |
| Gundremmingen B | KRB B | RWE/E.ON | Baviere | REB | 1984 | non | 2 |
| Philippsburg 2 | KKP 2 | EnBW | Bade- Wurtemberg | REP | 1985 | non | 2 |
| Grohnde | KWG | E.ON/Service Public Bielefeld | Basse-Saxe | REP | 1985 | non | 2 |
| Gundremmingen C | KRB C | RWE/Eon | Baviere | REB | 1985 | non | 2 |
| Brokdorf | KBR | E.ON/Vattenfall | Schleswig- Holstein | REP | 1986 | non | 2 |
| Isar 2 | KKI 2 | E.ON | Baviere | REP | 1988 | non | 2 |
| Emsland | KKE | RWE/E.ON | Basse-Saxe | REP | 1988 | non | 2 |
| Neckarwestheim2 | GKN 2 | EnBW | Bade- Wurtemberg | REP | 1989 | non | 2 |

| اسم المحطة | مستوى الاستقرار تجاه الهزات الأرضية | مستوى الاستقرار تجاه الانغمارات بالمياه | تعتيم المحطة (أكثر من ساعتين) | انقطاع مطوّل للتيار (أكثر من ٧٢ ساعة) | عطل منظومة التبريد | الزمن المتبقي حسب القانون الجديد في حزيران/يونيو ٢٠١١ | تاريخ الإغلاق الذي حددته شركة أتومجيزتز Atomgesetz عام ٢٠٠٢، وهو ٣٢ سنة بعد بدء التشغيل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Biblis A | 1- | 3 | 0 | 0 | 1+ | mars-11 | 26/02/2007 |
| Biblis B | 1- | 3 | 0 | 0 | 1+ | mars-11 | 31/01/2009 |
| Brunsbuttel | 1- | -1 | 2+ | 0 | 3+ | mars-11 | 09/02/2009 |
| Philippsburg 1 | 0 | 0 | 2+ | 0 | 3+ | mars-11 | 26/03/2012 |
| Neckarwestheim 1 | 1+/2- | 0 | 0 | 0 | 1+ | mars-11 | 01/12/2008 |
| Isar 1 | 1- | 1 | 0 | 0 | 1+ | mars-11 | 21/03/2011 |
| Unterweser | 1- | 0- | 2+ | 0 | 1+ | mars 2011 | 06/09/2011 |
| Grafenrheinfeld | 1- | 0 | 2+ | 0 | 1+ | 31/12/2015 | 17/06/2014 |
| Krummel | 1- | 1.2 | 0 | 0 | 1+ | mars-11 | 28/03/2016 |
| Gundremmingen B | 1- | 0 | 2+ | 0 | 1+ | 31/12/2017 | 19/07/2016 |
| Philippsburg 2 | 1- | 1- | 2+ | 0 | 2+ | 31/12/2019 | 18/01/2017 |
| Grohnde | 1- | 0 | 2+ | 0 | 1+ | 31/12/2021 | 01/02/2017 |
| Gundremmingen C | 1- | 0 | 2+ | 0 | 1+ | 31/12/2021 | 18/04/2017 |
| Brokdorf | 1+ | 0 | 2+ | 0 | 1+ | 31/12/2021 | 22/12/2018 |
| Isar 2 | 1- | 2 | 2+ | 0 | 1+ | 31/12/2022 | 09/24/2020 |
| Emsland | 1- | 3 | 2+ | 0 | 2+ | 31/12/2022 | 20/06/2020 |
| Neckarwestheim | 1+/2- | 0 | 2+ | 0 | 2+ | 31/12/2022 | 15/04/2021 |

**الجدول 1:** نتائج المعاينات الأولى للاختبارات العملية المنفذة على المفاعلات. الهوامش المقدرة وفق سلم يقع بين 0 و3، تجاه الحوادث الاستثنائية.



**موقع نيكاروستهايم، ومفاعل متوقف بعد التعليق، ومفاعل آخر والذي سيكون المفاعل الألماني الأخير.**

## نتائج سياسية

كانت النتائج السياسية كارثية للائتلاف الحكومي، إذ شهدت الانتخابات في منطقة باد ويرتمبيرغ Bade Wurtemberg ذات الكثافة الصناعية العالية خسارة للاتحاد الديمقراطي المسيحي (CDU) الذي يقود هذه المنطقة منذ 58 عاماً.

أظهر آخر استطلاع صحفي في سلسلة ARD الشعبية، المنفذ في السابع من آب/أغسطس، أن تحالف الخضر/الحزب الديمقراطي الاجتماعي (SPD) سيحصل على 51% من أصوات الناخبين فعلياً، إذا ما حصلت الانتخابات. (28% لـ SPD و23% للخضر و32 لـ CDU و4% للحزب الليبرالي).

## نتائج اقتصادية خاصة بمنتجي الطاقة الألمان

أصبح المنتجون الأربعة للطاقة في ألمانيا بحالة قلقة بسبب هذه الإجراءات التي تكلفهم الكثير (خسارة إنتاج ثمانية مفاعلات وأموال لتنفيذ تفكيكها). وإضافة إلى ذلك، فقد تمت المحافظة على سوية الضريبة الخاصة بالوقود اللازم لبقية المفاعلات، في حين أن الضريبة وضعت على شكل تعويض لإطالة فترة حياة المفاعلات وهي ناجمة عن القانون الجديد آتومجيزتز 2010 Atomgesetz.

أخيراً، لم تعرف بعد نتائج الاختبارات الأوربية المشددة لكن من المحتمل أن تؤدي إلى تكاليف إضافية.

ثمة تبليغات عن دعاوى قضائية متعددة تخص الأضرار أقامتها الشركات المستثمرة E.ON وRWE. وعلى سبيل المثال، تبلغ استثمارات شركة RWE ما مقداره 53 مليار يورو في العام 2010، وهي المنتج الأول للكهرباء في ألمانيا وموقع أوربي مهمّ للطاقة. انخفضت حصتها بمقدار 43%، ويعتقد أن مديونيتها الحالية قد تجاوزت الحد المسموح.

كما أعلنت E.ON، في العاشر من آب/أغسطس، عن خسارة كبيرة جداً قيمتها 1.5 مليار يورو في ثلاثة أشهر، في حين أنها ربحت في الفترة نفسها من العام الماضي ما قيمته 1.7 مليار يورو.

هذا وأعلن عن انحسار مهم يُظهر خسارة 11000 وظيفة. ومن أجل الصناعة النووية الموجودة في ألمانيا (تخصيب اليورانيوم وتصنيع الوقود أو المواد ومفاعلات الأبحاث ...) فقد حصلت ضغوطات سياسية وستحصل أيضاً في المستقبل بهدف إيقاف هذه النشاطات. وقد تتعرض ضمانات التصدير للخطورة أيضاً.

ومع ذلك، تقوم هذه المصانع بإعادة تنظيم نفسها أيضاً للاستفادة من إمكاناتها المرتبطة بالطاقات المتجددة وبخاصة من أجل الورشات العاملة في مجال البحار وكذلك الأعمال المهتمة بالشبكات وبالتخزين. إنها المجالات التي تريد فيها ألمانيا أن تكون جاهزة في السنوات القادمة. ونشير في هذا المجال إلى أن شركة سيمنس، التي استبقت هذا التحول، تتراجع عن عقود مهمة جداً في هذه المجالات.

## سياسة الإنتاج لتعويض خسارة النووي

### تعويض في الشبكات على المدى القصير:

تعادل المفاعلات الثمانية المتوقفة حوالي 30% من القدرة النووية الموجودة، أي حوالي 8% من إنتاج الطاقة الكهربائية الألمانية. تتمتع ألمانيا ببعض الاستطاعات الإضافية، مما سمح تحديداً بتشغيل أعظمي للمنشآت العاملة بالوقود الأحفوري لتلبية طلبات مرحلة الربيع. كما أمكن تحقيق بعض التوازن مع فرنسا من خلال التصدير والاستيراد.

يمكن لأحد المفاعلات، رغم ذلك، أن يبقى بحالة تأهب لغاية العام 2013، وذلك للتدخل في حالة نقص الاستطاعة ("تخزين بارد").

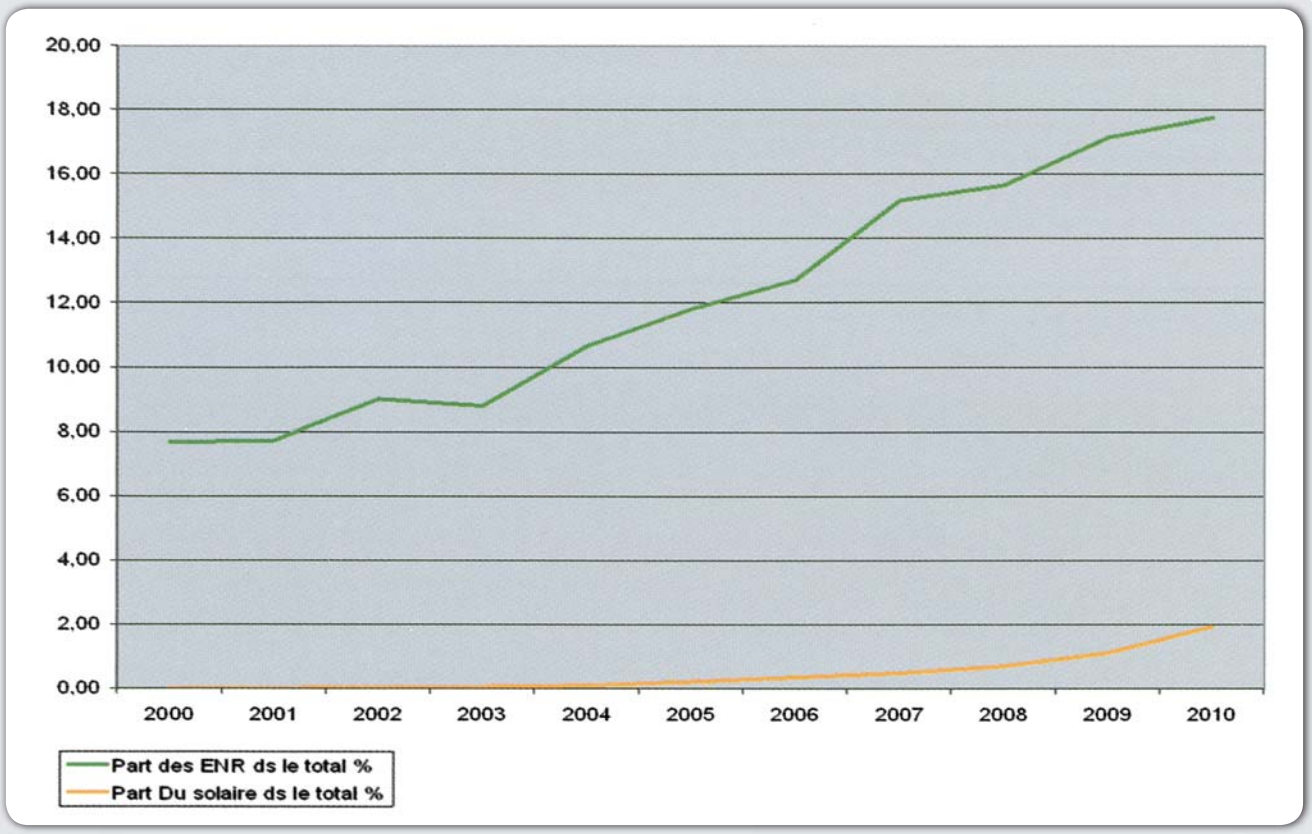
### تعويض على المدى المتوسط:

يقصد بذلك التعويض خلال العشر سنوات القادمة عمّا قيمته 23% من الكهرباء المنتجة نووياً في العام 2010. إذ إنه ومنذ العام 2000 يزداد إنتاج الطاقات المتجددة بمقدار 1% من الطاقة المنتجة سنوياً في ألمانيا (انظر الشكل 2).

فيجب إذن، وعلى الأقل، مضاعفة هذه الزيادة من الطاقات المتجددة لكي يتم من استبدال الإنتاج النووي الكلي في العام 2021. يقود ذلك إلى تحديات عدة: مشاكل التكلفة، ومشاكل المحدودية الموضوعية لطاقة الرياح الأرضية والكتلة الحيوية، ومشاكل استقرار الشبكة.

لا أحد يفكر إذن في الوقت الحالي بأن تسريع البرنامج سيسمح بالاستبدال اللازم في الفترة المعنية. سيقود التسريع المتوقع، المعتمد بشكل أساسي على مشاريع رياح بحرية، إلى الانتقال بالإنتاج الكهربائي لهذه الطاقات من 18 إلى 35% في العام 2020.

لذا فقد تم البدء ببرنامج واسع من أجل إنشاء المتمّمات الضرورية لمحطات حرارية تعتمد على الوقود الأحفوري: فقدرة إحداها 12.8 جيغا واط، ويستمر بناؤها منذ الآن وحتى 2013،




**الشكل 2:** تطورات الطاقات المتجددة والشمسية في الإنتاج الإجمالي للكهرباء، مقدرة بالنسب المئوية.

| تغيرات استطاعات الإنتاج عدا المتجدد والنووي (بالـ جيغا واط) | 2012-2014 | | 2015-2023 | |
|---|---|---|---|---|
| | استطاعات جديدة | استطاعات متوقفة | استطاعات جديدة | استطاعات متوقفة |
| الفحم (فحم حجري) | +8,03 | -1,08 | +5 | -2,2 |
| خشب متفحم | +2,74 | -2,02 | - | -2,7 |
| غاز | +1,734 | 0 | +5 | -3,7 |
| الكهرباء المائية | +0,195 | 0 | | |
| أخرى | +0,139 | -0,232 | | |
| | | | | |
| الإجمالي (عدا المتجدد والنووي) | +12,8 GW | -3,3 | +10 GW | -8,6 |
| الباقي | +9,5 GW | | +1,6 GW | |

**الجدول 2:** تطورات الاستطاعات المتوقعة حتى 2023 (عدا الطاقات المتجددة والنووي). تغيرات استطاعات الإنتاج عدا المتجدد والنووي (بالـ جيغا واط)

ومن ثمّ 10 جيغا واط إضافية حتى العام 2020. سيكون احترام مواعيد البناء لهذه المحطات، إضافة لمشاريع محطات الرياح البحرية أساسياً لتأمين التعويض في الفترة المحددة.

يوضح الجدول 2 تطورات القدرات المتوقعة حتى العام 2030 (عدا الطاقات المتجددة والطاقة النووية).

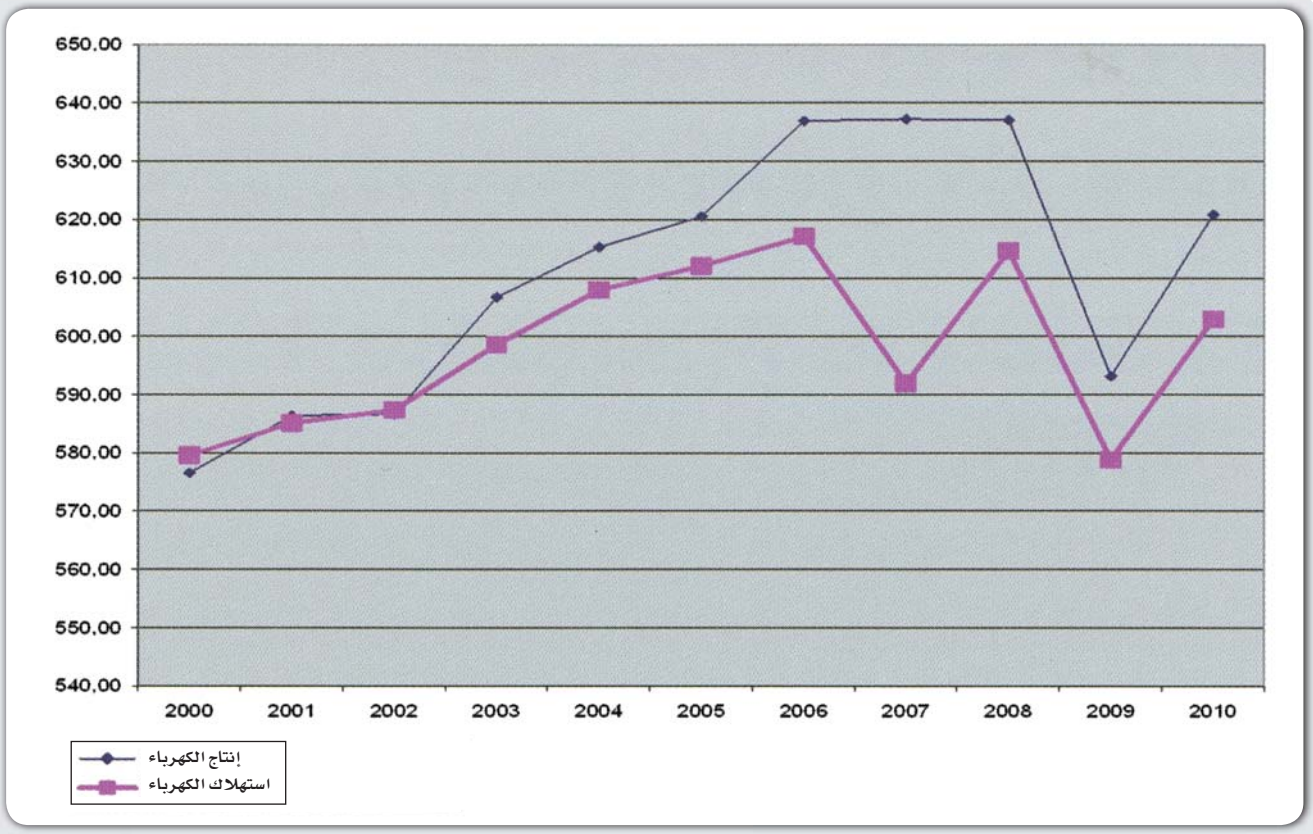
### تعويض على المدى البعيد:

وعلى المدى البعيد، تتطلع ألمانيا، في آن معاً، إلى تخفيض في الاستهلاك وتزايد مستمر بتوليد الطاقات المتجددة (حتى 80% في العام 2050). يطرح هذا الخيار مشاكل مهمّة من ناحية التكلفة والتطبيق العملي، ولكن أيضاً من ناحية التخزين واستقرار الشبكة واقتصاديات الطاقة. سيتم تجاوز المشكلة الاقتصادية عن طريق زيادة إضافية في أسعار الطاقة الكهربائية، وهذا أمر منتظر.

والخلاصة هي أنه لا يوجد أي تغير في السياسة النووية على المدى البعيد فيما يخص استبدالها بطاقات بديلة بشكل أساسي. وببساطة إن الانتقال الذي كان يجب تأمينه بإطالة فترة حياة الطاقة النووية سيكون مؤمناً بشكل أساسي بوساطة هذه البرمجة لـ 22.8 جيغا واط من المحطات الحرارية.

## نحو زيادة سعر الطاقة وخفض الاستهلاك

يظهر الشكل 3 مخطط تطور استهلاك الكهرباء في ألمانيا، بدءاً من العام 2006، حيث يبدي التطور ارتفاعاً سلساً ثم تبعه




**الشكل 3:** إنتاج الكهرباء واستهلاكها في ألمانيا مقدران بالـ تيرا واط ساعي.

بداية انخفاض. وهذا بالأحرى هو ما سمح بالاستغناء عن زيادات الإنتاج القائم حالياً.

يدفع المستهلك الخاص الألماني حالياً ما قيمته 24 CE/kWh مقابل 13 في فرنسا. ستستمر الاستثمارات المستقبلية المهمّة في مجال الطاقات المتجددة والشبكة بتلقي الدعم من خلال فاتورة المستهلك.

وعلى سبيل الإشارة، يستهلك الألماني وسطياً ما قيمته 7070 كيلو واط ساعي سنوياً ويستهلك الفرنسي 7740 كيلو واط ساعي سنوياً. ستترافق إذن اقتصاديات الطاقة وبالتوازي بتكاليف طاقية متزايدة. نذكر أن الهدف الرسمي هو الحصول على تخفيض يساوي 50% من الاستهلاك الطاقي في العام 2050.

## نحو تسريع البحث

قدمت الوزارات في الثالث من آب/أغسطس برنامجاً بحثياً جديداً ليغطي الفترة بين 2011 و2014. فقد خصّص 3.5 مليار يورو للبحث الطاقي، وهو ما يقابل زيادة قدرها 75% عمّا كان مخصصاً في الفترة ما بين 2006 و2009. يتابع هذا البرنامج العناوين الرئيسية الخاضعة للدراسة مسبقاً، لكن مع زيادة ملحوظة للميزانيات الموزّعة. خصّص 80% من هذه الميزانية للفعّالية الطاقية وللطاقات المتجددة.

## نتائج محتملة فيما يخص فرنسا

ستترك هذه السياسة الألمانية الجديدة نتائج في فرنسا، وعلى مستويات عديدة:

- ضغط على المحطات الحدودية (وبخاصة كاتينوم Cattenom وفيسّينهايم Fessenheim) من أجل إغلاقها.
- طلب فحوصاتٍ عمليةٍ قاسية للمحطات الفرنسية القائمة.
- احتمال حدوث اضطراب في الاستقرار الإجمالي للشبكة الكهربائية خلال الفترات الحرجة.
- تعليق منتظر للاستثمارات المتوقعة من قبل E.ON وRWE في النووي البريطاني.
- ضغط على بعض الصناعات النووية الموجودة في ألمانيا، ومنها Areva GmbH.

ومن ناحية أخرى، ستشكل هذه السياسة الجديدة فرصة لألمانيا من أجل تطوير بحثها في بعض المجالات: اقتصاديات الطاقة، والشبكات، وتخزين الطاقة، والطاقات المتجددة... إلخ. والغاية الظاهرة هي الحصول على ريادة عالمية في هذه المجالات. وقد نشرت خطة جديدة للبحث، حيث اعتمدت فيها خطوط توجيهية، ولكن بميزانيات عالية جداً. وسيكون مهمّاً إذن تقوية الشراكة الفرنسية في كافة هذه المجالات البحثية.

## النتيجة

لم يعش قانون تمديد فترة حياة المفاعلات إلّا لثلاثة أشهر. والانتقال نحو الطاقات المتجددة الذي كان يجب تنفيذه، بفضل هذا القانون، بوساطة المحطات النووية، سينفذ أخيراً بشكل رئيسي بوساطة برنامج بناء متسارع لمحطات حرارية. يعمّق الخروج الألماني السابق لأوانه من النووي اختلافاً واضحاً بين السياسات الطاقية لكل من ألمانيا وفرنسا، وسيقود إلى ضرورة معالجة بعض المشاكل المتعلقة بهذا الاختلاف.

وبالمقابل، يوفر هذا الخروج فرصة رائعة في المجال البحثي من أجل التعاون بين هذين البلدين في عدد كبير من المجالات الجديدة، حيث غدا تسريع النتائج الآن ضرورياً.

نُشر هذا المقال في ***RGN, No. 4, Juillet-Aout 2011***، ترجمة ***د. عادل حرفوش***، رئاسة هيئة التحرير.

# أخبار علمية

# أوقفوا قتل البكتيريا النافعة

*تتركز الاهتمامات حول المضادات (الصادات) الحيوية على المقاومة البكتيرية إلا أنه قد يكون للتغيرات الدائمة للفلورا الواقية تبعات أكثر أهمية كما يقول مارتن بليزر* ***Martin Blaser*** .

**جرعة أعلى:** *هل الوصف الزائد للمضادات الحيوية يعيق قدرة الأطفال على مقاومة المرض؟*

إن متوسط ما يتلقاه معظم أطفال الولايات المتحدة والبلدان المتقدمة الأخرى هو 10–20 جرعة من المضادات الحيوية في الوقت الذي يبلغون فيه 18 عاماً. ويُعدُّ ذلك، ومن نواح عدة، تطوراً في حفظ الحياة. ويتوقع بالمتوسط أن المواطن الأمريكي الذي ولد عام 1940 سيعيش حتى سن 63 سنة، أما الرضيع الذي يولد اليوم فسوف يصل عمره إلى 78 عاماً ويعود ذلك جزئياً إلى المضادات الحيوية. وقد عزز الافتراض بأن المضادات الحيوية آمنة عموماً الاستعمالَ المفرط لها وأدى في الوقت نفسه إلى زيادة مقاومة البكتيريا للمعالجات.

وقد لقيت التبعات الجادة الأخرى والبعيدة المدى لمحبتنا للمضادات الحيوية اهتماماً أقل كثيراً. فالمضادات الحيوية تقتل البكتيريا التي نرغب بها إضافة إلى تلك التي لا نرغب بها. والدلالة المبكرة من مُختبري ومختبرات أخرى تشير أحياناً إلى أن الفلورا الصديقة لا تشفي تماماً أبداً. ويمكن أن تزيد التغيرات البعيدة المدى للبكتيريا المفيدة في أجسام الناس من تعرضهم للأمراض المعدية. كما يمكن أن يشجع فرط استعمال المضادات الحيوية زيادة كبيرة في حالات مثل البدانة والنوع I للسكري وأمراض التهاب الأحشاء والحساسية والربو والتي زادت عن الضعفين في مجتمعات عديدة (انظر الشكل).

نحن بحاجة ملحة لبحث هذا الاحتمال وحتى قبل فهم الهدف كاملاً! هناك إجراء يجب اتخاذه! لقد عاشت البكتيريا في الحيوانات وعليها –مشكلة حيواتها الدقيقة– منذ نشأت حياة عديدات الخلايا قبل بليون عام. وقد حصلت العوائل على منافع عديدة من ضيوفها البكتيرية: أنواع البكتيريات التي تقطن القولون تَبْني حاجتنا من فيتامين K، وتساعدنا بكتيريا الأمعاء على مقاومة الأحياء الغازية.

ينساب المضاد الحيوي المأخوذ عن طريق الفم أو المحقون في تيار الدم ويؤثر في العامل المُمْرِض الهدف والحيويات المقيمة على حدٍّ سواء. ويتعزز الدليل على أن هذه المقيمة المستَقْبَلة (أو المرحَّب بها)، في الحقيقة، لا تشفي تماماً وقد تحل محلها في المدى البعيد أحياء مقاوِمة.

## الضرر الملازم

في مطلع القرن العشرين كان Helicobacter pylori جرثومة سائدة في معدات جميع الناس تقريباً. ومع بداية القرن الحادي والعشرين كان أقل من 6% من أطفال الولايات المتحدة والسويد وألمانيا يحملون هذا الكائن الحي. وقد تلعب عوامل أخرى دوراً في هذا الاختفاء، إلا أن المضادات الحيوية هي المتهم الأساسي. فمثلاً إن جرعة واحدة من أموكسيسلين amoxicillin أو مضادات الماكروليد macrolide، والمستعملة عموماً في معالجة إصابات الأذن الوسطى أو الإصابات التنفسية للأطفال، يمكن أن تقضي على H. pylori في 20 – 50% من الحالات.

إن القضاء على H. pylori في الإنسان يؤثر على تنظيم هرمونين يُنتجان في المعدة ولهما علاقة في توازن الطاقة وهما ghrelin و leptin. وحين يختفي H. pylori من معدة الإنسان تحدث زيادة في الانحسار الهضمي المريئي، والمشاكل المرافقة مثل مريء Barrett's وسرطان المريء. وهل يمكن الربط بين ذلك؟

يُعدّ H. pylori عامل خطورة للقرحة الهضمية وسرطان المعدة ولكن ربما لا يكون على شدة القوة هذه ما لم يكن حاملاً لبعض المنفعة لعائله. في الحقيقة، بينت الدراسات الكثيرة التي أجريناها أن الأشخاص بدون هذا البكتريم يميلون أكثر لتطوير الربو وحمى القش أو الحساسية الجلدية في مرحلة الطفولة. وتختلف المَعِدات الخالية من H. pylori كلياً من الناحية المناعية عن تلك التي تحويه، كما أن عدوى الفئران الصغيرة بـ H. pylori تحميها من الربو التجريبي.

هناك دليل آخر على أن المضادات الحيوية تسبب تحولات في التركيب الميكروبي يمكن أن تؤدي في المدى البعيد إلى تغيرات فيزيولوجية ومثالها اكتشاف المزارعين أن الجرعات المستمرة وتحت العلاجية لعديد من العوامل المضادة للبكتيريا تكسب الحيوان وزناً زائداً من طعام أقل. كلما كان بدء استعمال المضادات الحيوية مبكّراً كانت هذه التأثيرات أعمق. وقد حصلنا في مُختبري على دلالة أولية في نموذج الفأر عن تغيرات في دهون الجسم وتركيب الأنسجة تترافق مع جرعات منخفضة من المعالجة الحيوية تحاكي ما يستعمل في المزرعة، وبالمعالجة بجرعات مرتفعة تشبه تلك المستعملة في معالجة الإصابات المرضية للطفولة.

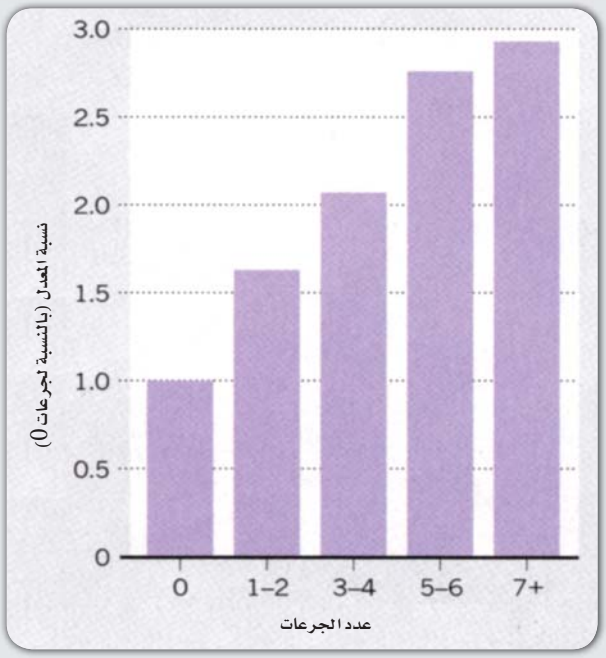
يمكن للتغيرات في حيوياتنا الدقيقة أن تنشط تحولات أحياء قاتلة مثل العنقودية الذهبية staphylococcus aureus المقاومة للميثسيلين methicillin وكذلك المطَثيّة العسيرة Clostridium difficile ولا يُعدُّ ذلك أمراًمدهشاً جداً لأن إحدى القواعد العامة للنظام البيئي المتكامل هي مقاومة الاختراق من الأحياء المُمْرِضة.

حتى نفهم التأثيرات البعيدة المدى لاستخدام المضادات الحيوية بصورة أفضل نحتاج إلى مقارنة الحيويات الدقيقة للأشخاص الذين يستعملونها مع آخرين لا يستعملونها. نحن نعمل مع Maria Gloria Domin guess Bella من جامعة بورتوريكو Puerto Rico في سان جان San Juan وزملائها لدراسة الأشخاص الذين يعيشون في مناطق نائية من الأمازون Amazon والذين لم يستعملوا مطلقاً مضادات حيوية أو تعرضوا لها حديثاً بشكل محدود.

إذا كانت المضادات الحيوية تسبب وعلى المدى البعيد تغيرات فيزيولوجية فقد لا نتمكن من انتظار التفهم الكامل للمشكلة قبل تغيير أساليبنا. وتشير المعرفة التي أدركناها من المزارعين أن فترة الحياة الأولى هي الأكثر حرجاً وتطلق تغيرات فيزيولوجية يصعب عكسها بعد ذلك.

تبعاً لذلك يجب أن نخفض استعمال المضادات الحيوية أثناء فترتي الحمل والطفولة. المضادات الحيوية، وعلى وجه الخصوص البنسلينات، تُعطى روتينياً إلى ما بين ثلث ونصف جميع النساء خلال الحمل أو قرب الولادة في الولايات المتحدة وبلدان متقدمة أخرى. ويحصل الرضّع على الأعداد البكتيرية المؤسسة من أمهاتهم خلال مرورهم من مهبل أمهاتهم أثناء الولادة. وتبعاً لذلك فإن 30% من كل جيل والذين يولدون قيصرياً يبدؤون حياتهم مع منحة أصغر من الميكروبات العريقة مقارنة مع الجيل السابق.

حينما تكون المضادات الحيوية مبررة كما هو الحال في 3% من النساء الحوامل اللواتي يحملن المجموعة B من Streptococcus التي تسبب إصابة حادة في واحد من كل 200 من حديثي الولادة من الأفضل تقويم أي الأمهات تحتاج إلى المعالجة، أو فيما إذا كان اللقاح هو الأفضل.




**الرسم البياني**

*ترتفع خطورة أمراض التهابات أحشاء الأطفال مع ارتفاع أعداد جرعات المضادات الحيوية المأخوذة.*

## الهجوم الهادف

من المفضل تطوير خطوة احتياطية أخرى تتمثل بعوامل متخصّصة لتثبيت أعداد البكتيريا المقيمة المتعرضة للخطر، مثل منتجات المواد الحيوية الفعالة probiotics. ونحتاج أيضاً عوامل جديدة مبيدة للبكتيريا محدودة الطيف لجعل التأثيرات الجانبية على الفلورا البكتيرية في حدها الأدنى. وهذا بدون شك مهمّة هائلة تتطلب تقديم الحوافز للصناعات الصيدلانية لتطوير صفوف هادفة من العوامل المبيدة للبكتيريا، والأهم، وسائل تشخيص أفضل تُعرّف بسرعة العامل المسبِّب للمشكل.

قد نحتاج أيضاً إلى البدء في تعويض ما فقدناه عبر 70 عاماً الماضية، ومع أخذ اللقاحات القياسية، على سبيل المثال، فإن رُضع اليوم الواحد الذين عرضت ميكروباتهم جينياً يمكن أن يُعطوا لقاحاً من سلالات محددة من H. Pylori لخفض فرص تطويرهم للحساسية أو الربو في المستقبل وبعدها يُلقحون بمضادات حيوية محددة الطيف خلال حياتهم للتخلص من هذه البكتيريا وخفض مخاطر الإصابة بالقرحة الهضمية والسرطان المعدي.

تزيد سهولة السفر عبر العالم تعرضنا للمسبِّبات المرضية في الوقت الذي تتآكل فيه دفاعاتنا العريقة ضد الميكروبات. ويجب علينا الاستفادة من التقانات المتوفرة لحماية العوامل البكتيرية المفيدة ودراستها قبل فوات الأوان.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 476, 25 August 2011***. ترجمة د. نجم الدين شرابي، عضو هيئة التحرير.

# أعاصير حلزونية من صنع الإنسان

*تزايد الحديث عن شدة الأعاصير الحلزونية المدارية في بحر العرب حول أضرار وخسائر في الأحياء لا مثيل لها. وقد يزيد تلوث الهواء الذي يسبّبه البشر من القوة المدمّرة لهذه الأعاصير.*

الأعاصير الحلزونية المدارية ظاهرة نادرة الحدوث. إنها تتطلب اجتماعاً دقيقاً من الظروف البيئية، بما في ذلك كمية من السخونة الخاصة في المحيط الأعلى وتوزيعاً محدداً للرطوبة في الغلاف الجوي وبنية مميزة من الرياح الجوية الأفقية. ومع أن درجات حرارة المحيط في البحر العربي دافئة بشكلٍ كافٍ لنشوء الأعاصير الحلزونية المدارية أثناء معظم السنة، فإن المنطقة خامدة نسبياً، مع وجود حدثين أو أكثر فقط سنوياً. ومن ناحية ثانية، يمكن أن يحدث الإعصار الحلزوني العرضي الشديد خراباً في المنطقة. ففي عام 1998، تسبَّب إعصار حلزوني كبير في أكثر من 1100 حالة وفاة في الهند الغربية، وتسبَّب إعصار جنو بضرر جماعي لعمان والإمارات العربية المتحدة وإيران قُدِّرت قيمته بأكثر من 4 بليون دولار أمريكي (انظر الصورة). تزايد تكرار حدوث الأعاصير الحلزونية الشديدة في السنوات الأخيرة، وهناك دليل على أن الزيادة المشاهدة هي نتيجة التغيّر العام نحو شروط أيسر لقيام الأعاصير الحلزونية المدارية. وقدم إيفان Evan وزملاؤه (مجلة Nature, 3 November 2011, P 94) ملاحظات عن هذه الحالة من خلال دراسة دور التلوث الهوائي الإقليمي في نشوء الظروف الملائمة للأعاصير الحلزونية هذه.

ومعروف منذ زمن بعيد أن وجود قص للرياح العمودية القوية هو عامل رئيس في الحد من نشاط الأعاصير الحلزونية فوق البحر العربي. وقص الرياح العمودية هو مقياس للفرق في السرعة ما بين الرياح الأفقية، التي تم قياسها قرب البحر، وتلك الموجودة في أعلى الغلاف الجوي في مناطق تدفق الإعصار النامي. وتمتد في بيئات القص القوي أعاصير حلزونية مدارية تدفع أعلى العاصفة بعيداً عن الأسفل. ويمكن لتأثير القص هذا أن يمزق النظام جزئياً أو يمنع الإعصار الحلزوني من زيادة في شدة التشكل.

وشروط القص النموذجية فوق البحر العربي مواتية بشكلٍ كافٍ فنادراً ما تكشف هذه الأعاصير عن أحداث خطيرة. هذا صحيح بصورة خاصة أثناء أشهر هبوب الرياح الموسمية الصيفية الشمالية، عندما تمتد مياه السطح الدافئة إلى شمال المحيط الهندي. وأثناء هذه الأشهر، وعند درجات حرارة السطح الدافئة، يسبِّب القص البيئي القوي جرياناً جوياً للرياح، يمكن أن يقمع تشكل الأعاصير الحلزونية تماماً. يثير الازدياد الملحوظ في الأعاصير الحلزونية المدارية السابق لهبوب الرياح الموسمية أثناء الـ 15 سنة الماضية اهتمامات جادة، حيث إنه يمكن للتغير البيئي أن يكون مسؤولاً عن زيادة نشاط الإعصار الحلزوني المعاكس لتلك التي هي خيط لسلسلة أحداث غير سوية. ويمكن أن تكون الزيادة الملحوظة جزءاً من تغير واسع النطاق في المناخ الإقليمي والذي يمكن أن يُعزى إلى انبعاثات من صنع البشر.

وفوق معظم دول جنوب آسيا، أدى تلوث الهواء إلى تشكل طبقات سميكة من الضباب على هيئة سحب جوية بنية. والمصدر الرئيس للتلوث هو استهلاك الوقود الأحفوري واحتراق الكتلة الحيوية التي ترسب الكربون الأسود في الجو، مع نتائج سلبية خطيرة على صحة الإنسان. ويسبِّب هذا التلوث تشكل سحب بنية من جزيئات الإيروسول التي يمكن أن تكون كثيفة على مسافة كيلومترات عديدة. والظروف الضبابية المنتشرة فوق شط البحر العربي تحجب بعضاً من طاقة الشمس وتمنعها من الوصول إلى سطح البحر وبالتالي تسبب برودة في السطح العلوي للمحيط.

يقترح إيفان وآخرون أن هذه السحب البنية لها تأثير مثير للانتباه على بيئات الأعاصير الحلزونية. ويتجادلون حول أنه، وبسبب منع كمية من الطاقة الشمسية الواردة إلى سطح البحر، فإن السحب البنية يمكن أن تقلّل بشكل عارم من سخونة البحر العربي بالنسبة إلى المحيط الهندي الاستوائي. وإن الاختلاف الصغير في درجة الحرارة ما بين الشمال والجنوب يمكن، بدوره، أن يقلل قص الرياح العمودي أثناء فصول الأعاصير الحلزونية المدارية. وفي ظل سيناريو السحابة البنية، فإن الأعاصير الحلزونية ستشتد عبر أنظمة أكثر قوة من تلك التي في بيئات بدون تلوث (ومع قص أقوى).

وباستخدام شاهد مراقبة من السنوات الـ 30 الماضية، يبين إيفان وزملاؤه زيادة ملحوظة في معدل شدة الأعاصير الحلزونية

العربية خلال الفترة الواقعة بين الفترتين 1979–1996 و2010–1997، والتي تتزامن مع انخفاض في ظروف قص الرياح العمودية التي تحدث خلال الأعاصير. يعزو المؤلفون هذه التغيرات إلى وجود السحب البنية الجوية، ويدعمون هذه الفرضية بعرض محاكيات نموذجية مناخية. وتشير اكتشافاتهم هذه إلى الرابط السببي بين زيادة تلوث الهواء فوق دول جنوب آسيا وحوادث الإعصار الحلزوني المداري الشديد المتكرر الحدوث والتي تقترح أن النشاط البشري يمكن أن يؤدي دوراً مباشراً في تعديل نشاط الإعصار الحلزوني فوق شط بحر العرب.

وتسلط نتائج المؤلفين مزيداً من الضوء على موضوع غير مكتشف نسبياً حول المناخ والأعاصير الحلزونية لبحر العرب، ويلمحون إلى وجود روابط ساحرة بين نشاط الإعصار الحلزوني وتلوث الهواء في دول جنوب آسيا والدفء العالمي الذي له تضمينات اقتصادية واجتماعية قوية. ورغم الخداع، يجب أن تعالج النتائج هذه بحذر. على سبيل المثال، يركز تحليل المؤلفين على 20 إعصاراً حلزونياً خلال الـ 30 سنة الماضية، التي تطابق الحوادث الجارية قبل بداية هبوب الرياح الموسمية السنوية. ومن أصل 20 حادثاً حدثت الأعاصير الخمسة الأكثر قوة بين عامي 1998 و2010، وهو الكسر الصغير الذي يحدد التغير الإيجابي في شدة الإعصار الحلزوني أثناء الـ 15 سنة الماضية. ونظراً لهذا العدد الصغير والمفيد من الأعاصير الشديدة الشاذة، فإنه من الصعب استنتاج إشارات مناخية مفيدة من تغيرات عشوائية للعينة.

ويفترض إيفان وآخرون أن القص المتناقص الملحوظ في الأعاصير الحلزونية الشديدة وحولها هو دليل على اتجاه سلبي واسع النطاق. يتفق هذا الاقتراح بشكل عام مع محاكيات نموذجهم وتحليل الشهود. ومع ذلك، فهو غير متجانس مع عمل آخر حديث، ولا يجد اتجاهاً قابلاً للتمييز في القص العمودي لبحر العرب خلال مناطق نشوء الأعاصير الحلزونية خلال الـ 60 سنة الماضية. وربما مما يثير الدهشة أن معظم العواصف الشديدة حدثت خلال سنوات تُظهر ظروف قص موسمية كانت قرب معدل الـ 60 سنة أو فوقه.

إضافة إلى ذلك، إذا تناقص القص البيئي فوق بحر العرب، عندئذ ألا يتوجب وجود تغير في عدد العواصف التي تؤثر على المنطقة؟ وإمكانية تشكل العاصفة قابل للقياس لأنه يعتمد بشكل رئيس على العوامل البيئية التي نوقشت سابقاً على نطاق واسع. وإن الاتجاهات في «إمكانية النشوء هذه» قد ازدادت في بحر العرب منذ عام 1980 ولكن المتوسط المحتمل خلال الـ 30 سنة الماضية أقل بصورة فعلية من الأعوام الثلاثين التي سبقتها. بمعنى آخر، إن الظروف البيئية في فترة ما بين 1950 و1980، قبل بداية التلوث الكبير للهواء كانت مواتية أكثر ربما لتشكل الأعاصير الحلزونية في الفترة ما بين 1980 إلى 2010 (مع أن فاعلية

***آثار كارثة إعصار غونو.*** *يجد إيفان وزملاؤه أن تلوث الهواء الناتج عن أنشطة بشرية والاحترار العالمي قد كانا مسؤولين عن زيادة القدرة التدميرية للأعاصير المدارية الشديدة المشابهة لإعصار غونو الذي حدث في بحر العرب في العام 2007، وأحدث خراباً في دولٍ مثل إيران (كما هو ظاهر في الصورة)*

القسم البدائي للسجل يمكن أن تكون محدودة بنوعية المعطيات). وهذا يشير إلى أن التغيرات في العوامل البيئية الطبيعية قد يوثر في متغيرات نشاط الأعاصير الحلزونية المدارية في بحر العرب وهو ما أكد عليه المؤلفون وأدى إلى تشكل السحب البنية. هناك بوضوح حاجة لعمل إضافي من أجل فهم أدوار المتغيرات المناخية الطبيعية والتأثيرات الناتجة عن فعل الإنسان في سياق تطور نوعية المعطيات.

مع وضع القيود جانباً، تثير نتائج بحث إيفان وزملائه اهتمامات جديدة عن الأخطار الكامنة لتلوث الإيروزول الذي يسبِّبه البشر. وإذا تابعنا طريق انبعاثات الكربون التامة والسحب البنية، عندئذ سيكشف الوقت ما إذا كانت نتائج المؤلفين متينة. ومع ذلك، فحقيقة أن هذه النتائج تقترح التأثيرات الضارّة للسحب البنية الناجمة عن التأثيرات الصحية المعروفة ربما تفرض مطالب ملحّة أكثر لتأسيس استراتيجية عاجلة من أجل تقليل النتائج السلبية المحتملة.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 479, 3 November 2011***.
ترجمة *مأمون رباح*، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

# طفل الدماغ

*الطلب إلى الوالدين وهب دماغ طفلهم للبحث العلمي أمر مرهق عاطفياً. لكن بعض العلماء يعتقدون أنه حان الوقت لوضع المحرّم جانباً.*

أراد ديفيد أمارال David Amaral أن يشاهد تشكل الدماغ الفتي. واعتقد أن دراسة الأدمغة بعد الموت تحت المجهر سيساعده في معرفة لماذا يعاني الأطفال المصابون بمرض التوحد (الأوتيزم) غالباً من شذوذ في البنى الرئيسة التي تسيطر على العواطف والسلوك؟ ولكنه اكتشف سريعاً أن بنوك الدماغ الموجودة ربما لا تعطيه ما احتاج إليه. "إنه لأمر شاق تماماً الحصول على نسيج عالي الجودة"، على حد قوله. وربما تحتوي البنوك على مئات وحتى آلاف الأدمغة، ولكن ليس من الأطفال وليس بالضرورة في الحالة الأفضل.

وأمارال، مدير بحث في معهد الاستقصاء الطبي لاضطرابات النمو العصبي MIND التابع لجامعة كاليفورنيا، ليس العالم الوحيد المتحمس للحصول على إذن الحصول على أدمغة من الأطفال. تمتد المراحل الحرجة لنمو الدماغ مبكراً من الحياة الجنينية وحتى نهاية سنوات المراهقة واضطرابات النمو العصبي المدمّرة مثل التوحد وانفصام الشخصية، ويعتقد أنها تظهر جزئياً بسبب الاتصالات الخاطئة خلال هذه الفترة. ويريد كثير من الباحثين أن يطبقوا تقنيات جديدة تشمل تحاليل جزيئية حساسة على نحو متزايد وحتى بالفحص المجهري للأدمغة النامية لخلق صورة ديناميكية للخطأ الذي يحدث.

وحينما ينجحون قد تكون النتائج مثيرة، على حد قول أختصاصي الأمراض العصبية جول كلينمان Joel Kleinman في المعهد الوطني للصحة العقلية (NIMH) في بيثيسدا–ماريلاند. وقد طبق كلينمان وزملاؤه تقانات جينية على 269 دماغاً تمتد خلال عمر الإنسان، وأظهرت تموجاً عجيباً من التغيرات في تعبير الجين الذي يحدث خلال فترة نمو دماغ الإنسان. «إنها شاهد على قصيدة الحياة»، على حدّ قوله.

ولكن خبرات كخبرات كلينمان نادرة بسبب التحديات في جمع أدمغة الأطفال وتخزينها. ويجب أن يسمح الوالدان بذلك حالاً بعد وفاة طفلهما، والأدمغة الجنينية متوفرة فقط بعد الإجهاض –وهي قضية سياسية مثيرة للسخط الشديد بالإضافة إلى أنها مؤلمة عاطفياً للنسوة اللواتي تعرضن لهذا المصاب. وقد تعاملت المنظمات الطبية الحيوية بحذرٍ شديدٍ مع هذا الموضوع لعقدٍ أو أكثر.

والحل، وفقاً لـ أمارال، ليس معقداً. قد تتوجه البرامج الذائعة الصيت إلى المحققين الذين يقومون بإجراء تشريح للجثة لتحديد سبب الوفاة، وكذلك لعائلات الأطفال الذين يعانون من اضطرابات عقلية.

قد يكون باستطاعتهم توضيح قيمة البحث العلمي في الأدمغة المقدمة لهم، وتشجيع العائلات على التوقيع في مكتب تسجيل المتبرعين. ويمكن أن تضمن شبكة مراكز تجميع الأدمغة في أرجاء الولايات المتحدة أن الأدمغة حفظت بشكل سريع. ويمكن للإدارة المركزية للبنوك أن تقوم بإرسال الدماغ المتبرع به بجودة عالية قدر الإمكان من أجل البحث العلمي. «كل المطلوب لشخص ما هو الحصول على ملكية القضية»، على حدّ قول أمارال. وقد تبرز تلك الملكية الآن من مجموعات التأييد لاضطرابات النمو العصبي. «أعلم أن هناك الكثير من الكلام، ولكن بدون فعل حتى الآن»، هذا ما يقوله عالم الأعصاب روبرت رينغ Robert Ring، نائب رئيس البحث

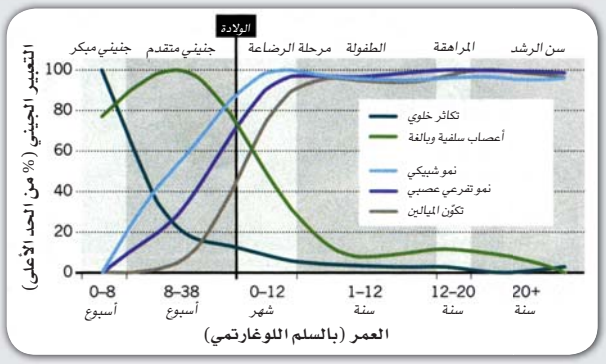
العلمي المترجم في سبيكس، وهي مؤسسة بحث علمي وتأييد مقيمة في نيويورك. وبالتالي يضع رينغ خططاً للمصرف وفق اقتراحات أمارال. ويقول رينغ: "أعطونا سنة واحدة وسنكون قد طورنا نموذجاً تعاونياً مع المجتمع العلمي".

هناك بنكان فقط ضخمان يقومان بتخزين الأدمغة من الأطفال أو الأجنة، ويرسلونها إلى مجتمع البحث العلمي بصورة عامة. أحدهما تتم إدارته من قبل المعهد الوطني لصحة الطفل والتطور البشري NICHD، ومقره في جامعة كلية ماريلاند للطب في بالتيمور، والآخر، يُدعى برنامج نسيج التوحد، وتتم إدارته من قبل أوتيزم سبيكس، ويستضيفه مركز هارفارد لمصدر النسيج الدماغي في بيلمونت، ماساشوسيتس.

في معظم بنوك الأدمغة، بما في ذلك NICHD's، يقوم الموظفون بالاتصال كلّ صباح بمكتب المحقق في أسباب الوفيات المحلي. إنْ وجب تشريح جثة الطفل يطلبون من المكتب السماح لهم الاتصال بالعائلة وطلب الدماغ للبحث العلمي. وهناك مكاتب قليلة للمحققين المعنيين يمكن أن تجمع كمية صغيرة من النسيج. ويعتمد برنامج نسيج الأوتيزم أكثر على العائلات التي يتم الاتصال بها عند حدوث المَصاب. بعد ذلك يخرج الخبراء لاسترجاع الدماغ وتهيئته. وإن خطة عمل البرنامج تقتضي جمع الأدمغة عبر الولايات المتحدة، وهذا يعني معاناة رحلة طويلة. وبشكل مثالي، يجب الحصول على الدماغ بسرعة بعد الوفاة لتقليل تعطل البروتينات وجزيئات أخرى قد يرغب الباحثون بدراستها. وتؤثر عوامل أخرى أيضاً في سلامة النسيج، مثل: السرعة التي تمّ بها تبريد الجثة، وهل مات الشخص ببطء وبوجود ألم، حيث يرى العلماء أن هذا يغيّر تعبير الجين في الدماغ ويجعله أقل فائدة للبحث العلمي.

إن جمع الأدمغة الجنينية هو عمل شاق أيضاً. ولا يمكن استعمال الأدمغة الناتجة من عمليات الإجهاض الطبيعية، حيث، وبشكل عام، يكون الجنين ميتاً لساعات عديدة قبل أن يُطرح. وفي الحقيقة، يمكن جمع الأدمغة من عمليات الإجهاض فقط عندما يتم تحريض الإجهاض طبياً، لأن الإجراءات الجراحية تميل إلى تلف النسيج.

فلا بنك NICHD، ولا بنك برنامج نسيج التوحد، اللذان لديهما حوالي 1300 دماغ من أناس يبلغون 19 عاماً وأقل، بإمكانهما تلبية طلب الباحثين. ويقول عالم الأعصاب، هـ. رونالد زيلك H. Ronald Zielke، مدير بنك NICHD، إنه يرفض 20% من طلبات النسيج بسبب نقص المادة. وبشكل خاص، يقول زيلك إن هذه البنوك وغيرها تقترب على نحو مهلك من النقص، بل النفاد، لمناطق الأدمغة التي هي مثيرة




**الأمواج الدماغية**

*ارتبط نشاط الجينات بتغيرات النمو العصبي بشكل مثير جداً أثناء النمو في مرحلة ما قبل الولادة والطفولة.*

للاهتمام من ناحية البحث العلمي في اضطرابات النمو. ويشمل ذلك الأميغدالا، الذي يفعّل المشاعر، والقشرة الفصية الأمامية، التي تسيطر على السلوك الاجتماعي والمعرفي. وبنك الأدمغة، مثله مثل أي مخزن أنسجة، غالٍ جداً ليتحمل بنك NICHD التكاليف السنوية المباشرة البالغة 900,000 دولار أمريكي.

ولتغطية النقص، قام بعض الباحثين بتشكيل مجموعات لاستعمالهم الخاص. وبحث كلينمان عن التعبير الجيني المستوحى من المجموعة التي يترأسها في NIMH. وهناك دراسة مشابهة يترأسها نيناد سيستان Nenad Sestan من جامعة ييل، كلية الطب في نيو هافن، كونيكتيكات ويساهم فيها كلينمان كمؤلف مشارك، إذ أظهرت دراستهما تغيّرات مثيرة في التعبير الجيني الذي يحدث حالاً قبل الولادة وبعدها (انظر «أمواج الدماغ»). وبدأ اختصاصي الأطفال حديثي الولادة، ديفيد رويتش David Rowitch في جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو، بجمع الأدمغة في مستشفاه، وتبيّن أن هجرة الخلايا «السلف» بين بنيتين دماغيتين تقل عند الأطفال الرضع بعد عمر ثمانية عشر شهراً، وتختفي تقريباً عند سن البلوغ. وقام ديفيد رويتش بتجميع الأدمغة في عام 2008 بدعم من معهد هاوارد هيوس الطبي في شيفي شيس، ماريلاند، ولديه الآن أكثر من 100 دماغ معظمها من الأطفال الرضع الصغار جداً. وأظهرت الدراسات كم يمكن أن تكون تلك المجموعات قيّمة ولكن كلٌّ من رويتش وسيستان يصفان عملية تأسيس وإدارة بنكهما «وجع رأس شديد»، بسبب البيروقراطية اللازمة لمعالجة المادة الإنسانية. ويقول سيستان إنه سيشعر «بارتياح أكثر» إذا تولّت معاهد الصحة الوطنية NIH مهمة مجموعته، إذ يقول: "إنه مجهود

ضخم لمجموعة صغيرة، ويمكن لمعاهد الصحة أن تفعل شيئاً ما على نطاق أوسع".

## تجميع الأدمغة معاً

في الواقع كان علماء الأعصاب لسنوات يقترحون أن معاهد الصحة الوطنية NIH لها دور رائد في تأسيس شبكة من مراكز المجموعات وطرق معيارية لجمع الأدمغة وحفظها.

في شهر تموز/يوليو من عام 2010، ساهمت مؤسسة أوتيزم سبيكس ومؤسسة أمريكية كبرى أخرى تقوم بتمويل عمل الأوتيزم، ومؤسسة سيمونس في نيويورك، بإعداد اقتراح رسمي لمعاهد الصحة الوطنية NIH من أجل شراكة عامة–خاصة لجمع الأدمغة من الأطفال المصابين بالتوحد وغير المصابين. الفكرة هي أن مجموعات التأييد ستنخرط في جهود قوية لدى المتبرعين المحتملين، وبشكل خاص العائلات التي لديها أطفال يعانون من مرض التوحد، وأن معاهد الصحة الوطنية NIH ستقوم بتمويل البنك وإدارته.

ومع أن معهد الصحة الوطنية كان بطيئاً في الالتزام، فإن رينغ الذي انتقل من شركة فيزر، عملاق صناعة الأدوية، إلى شركة أوتيزم سبيكس في شهر حزيران/يونيو من السنة الماضية، كانت لديه روح تنفيذ العمل التي يتمتع بها شخص معتاد على المواعيد النهائية في الصناعة، ويرى "فرصة نادرة للمؤسسة لأخذ دور قيادي"، كما أن مؤسسة سيمونس الآن داخلة في مناقشات مع العلماء للوصول إلى اتفاقية بخصوص المعايير العلمية للبنك. ويقول رينغ: "إن مراكز الجمع المتعددة المواقع ستساعد على تجاوز اللوجستية الجغرافية، مختصرة الوقت بين الوفاة والجمع، على سبيل المثال".

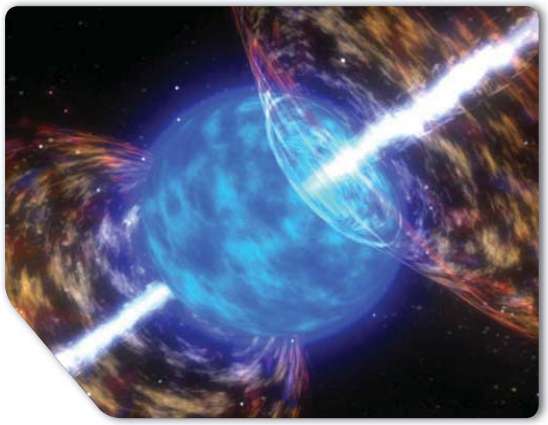
ويقول توماس إنسل، مدير NIMH: "إن الـNIMH تدعم بالفعل 11 بنكاً دماغياً تُعنى بالاضطرابات العصبية، وأود أن تتبنى NIMH استراتيجية شاملة فضلاً عن تزويد القائمة بمصرف لعرض الأدمغة". ويصرّح أيضاً بأن معهد الصحة الوطنية NIH قد وافق مبدئياً، على الأقل، على إيجاد "بنك حيوي عصبي" يحتوي أدمغة بالغين وأطفال معاً. وبالرغم من أنه لم يتم عرض خطط ثابتة، سيكون لدى البنك نقاط جمع مختلفة (ستصبح مصارف النسج الموجودة للوكالة "عقد وصل")، عدا المراقبة المركزية وتوزيع النسج. وذلك ما تريده مجموعات التأييد بالأساس.

وبالرغم من أن البنوك منظمة تماماً، تبقى المهمّة الموجعة في التعامل مع العائلات المفجوعة. كما تقول الباحثة في مرض التوحد (لأوتيزم) سينثيا سشومان Cynthia Schumann، التي كانت فيما مضى تسعى لدى معهد MIND من أجل بدء بنك لها، إن مقابلاتها مع عائلات اختارت أن تتبرع كانت مثيرة للدهشة، "دهشت لما لمسته من قبل الآباء الذين شكروني لمساعدتهم على تحمل الأسى ومنحهم الفرصة لإعادة شيء ما للمساعدة في بحث مرض التوحد"، كما قالت سشومان، كغيرها من المستشارين في أوتيزم سبيكس، إنها أمضت وقتاً في تعريف العائلات المنكوبة عن بحث الأوتيزم، حيث قالت: "غالباً ما يوافق الآباء على التوقيع لمكتب التسجيل وعلى تشجيع عائلات أخرى على التوقيع أيضاً". لذلك تعتقد أن الامتناع عن سؤال الآباء عن الحصول على أدمغة أطفالهم قد يكون لا أساس له.

وهذا يبدو منعكساً في تجربة فاليري هاند التي تبرعت بدماغ ابنها، غرايسون، البالغ من العمر 16 عاماً، إلى معهد MIND بعد أن توفي في شهر كانون الثاني/يناير. كان غرايسون يعاني من مرض التوحد والصرع وتوفي أثناء نوبة مرضية. وتقول هاند إن جارها كان عضواً في اللجنة الإدارية لمعهد MIND وأن ابنتها الكبرى فكرت بالاتصال به حالاً بعد وفاة غرايسون. وتقول: "ساعدني هذا التبرع على أن أتغلّب على المصاعب، وأنا سعيدة لأن غرايسون أصبح رائداً في هذا المجال من البحث العلمي".

وتقول هاند إنها تعتقد أن برنامج المعرفة لزيادة الوعي بِأن إيداع الأنسجة والأدمغة في بنك أمرٌ مهمٌّ. "سيكون أسهل بالنسبة لنا لو أننا فكرنا بالتبرع قبل الآن، ولكن هذا يأتي في نهاية الأفكار التي تأتي إلى الذهن".

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 478, 27 October 2011***.
ترجمة مأمون رباح، هيئة الطاقة الذرّية السورية.



# دفقة أشعة غاما محيّرة

*تُغنى مجموعة دفقات أشعة غاما أحياناً بأحداث محيّرة تتحدّى النماذج النظرية المبرْهَنة. يحاول فريقان فهم واحدة من هذه الحوادث المسمّاة دفقة "عيد الميلاد".*

تضرب دفقات أشعة غاما الغلاف الجوي للأرض من اتجاهات عشوائية في الفضاء بمعدّل مرتين يومياً. في عام 1977، تم اكتشاف الانبعاثات، أو التوهج اللاحق، الذي تلا الإطلاق الفوري لإشعاعات غاما، التي تتوضع أسلافها في المجرّات البعيدة، فالآليات التي قُدّمت لشرح الدفقات وتوهجاتها اللاحقة كانت معقّدة وتختلف من حالة إلى أخرى. وينبغي لأية نظرية تبحث في أصل دفقات أشعة غاما أن تفسّر أوجه التشابه والاختلاف فيما بينها. وفيما يتعلق بالكتابة حول هذه القضية، يستخدم كلٌّ من كمبانا Campana ومجموعته وتون Thone ومجموعته نموذجين مختلفين تماماً لشرح دفقة أشعة غاما غير العادية المسمّاة «دفقة عيد الميلاد»، التي سُمّيت كذلك نظراً لحدوثها في يوم عيد الميلاد عام 2010.

ومع أن كلّ واحدة منها هو حدثٌ فريدٌ بحدّ ذاته، إلا أنه يمكن تقسيم دفقات أشعة غاما (GRBs) إلى صنفين تقريباً، طويلة وقصيرة، وذلك طبقاً لأمد الانبعاث الفوري. إذ إن دفقات أشعة غاما الطويلة، التي تدوم من ثانيتين إلى بضع دقائق، يُعتقد أنها تنشأ من المستعرات المفرطة hypernovae، أي الصنف غير العادي من المستعر الأعظم supernova. وتتضمن هذه المستعرات انهيار نجم ضخم (وهو أضخم بمئات المرات من الشمس) لا ينفجر فقط بصفته مستعراً أعظم، ولكنه أيضاً يولّد نفثتين سريعتين متعارضتين من الجسيمات، تاركاً خلفه ثقباً أسود. وإذا حدثت إحدى هاتين النفثتين باتجاه مراقب (شاهد)، فإن انبعاثاً ساطعاً –أي إطلاق أشعة غاما الفوري– يُكتشف.

يَصدُرُ التوهج اللاحق لـ GRB، الذي يأتي بعد دقائق من الدفقة الأولية ويتلاشى على مدى أسابيع أو شهور، بأطوال موجية مختلفة وذلك بسبب تأثير النفثة على الوسط البينجمي المحيط. وعندما تتلاشى GRB، فإنه يمكن التعرّف على المجرّة الخافتة التي تستضيف النجم المنهار، ويُقاس بُعد GRB عن الأرض بواسطة طيف المجرّة. أما بالنسبة لدفقات أشعة غاما القصيرة، التي تدوم نموذجياً أقل من ثانيتين، فإنها تتضح بشكل أفضل بواسطة رابطة نجمين نترونيين في منظومة ثنائية مُحكمة. وتنتج النجوم أمواجاً تثاقلية تندمج في النهاية لتشكّل ثقباً أسود، منتجة بعد ذلك نفثات GRB وتوهجاً لاحقاً في عملية الدمج.

ونظراً لتقدم أبحاث GRB، فقد تم تحدي النماذج المثبَتة عبر المشاهدات، بما في ذلك دفقة أشعة غاما المنفردة. ومن المعقول أن مجموعة دفقات أشعة غاما قد لوّثت، أو، بدلاً من ذلك، أُغنيت عن طريق بضعة حوادث محيّرة تحاكي GRBs ولكن لها أصولٌ تختلف تماماً عنها. أحد هذه الحوادث يُسمّى Christmas GRB، التي اكتُشفت بواسطة القمر الصناعي Swift والمعروفة تقنياً في الوقت الحالي باسم GRB 101225A. استغرق انبعاث دفقات أشعة غاما المسمّاة Christmas فترة طويلة جداً دامت نصف ساعة على الأقل، كما تلاشى التوهج اللاحق لأشعة إكس X-ray بشكل أسرع من المعتاد، وهي الملاحظة التي لا تتوافق مع نماذج GRB السائدة. وقد أظهر طيف طاقة التوهج اللاحق شكل (نموذج بلانكيان Plancian form) وهي خاصّية البلازما التي تصل الإلكترونات خلالها إلى حالة توازن كهذه ولذلك يمكننا القول بأنها تمتلك درجة حرارة معيّنة. وفي المقابل، فإن أطياف الطاقة النموذجية لدفقات أشعة غاما GRBs وتوهجاتها اللاحقة تتبع قوانين كهربائية تصف جيداً تصادم المواد عند سرعات عالية، ومثال ذلك تلك النتائج الناجمة من تأثير الانفجار على بيئته.

وإذا كانت دفقة عيد الميلاد تنشأ من المستعر المفرط عن بعد، كما تفعل دفقات أشعة غاما التي تدوم طويلاً، فلماذا يُعدُّ ذلك أمراً غير عادي؟ هل يمكن أن تكون ظاهرةً مختلفةً تماماً، وقريبة الشبه على ما يبدو لـ GRB؟ حتى الآن، يبدو بوضوح أن المشاهدات لم تكتشف المجرّة المضيفة. وإن توضّع الـ GRB في السماء بهذا الشكل يشير

إلى إمكانية انتمائها إلى الذراع بيرسوس Perseus arm من درب التبانة، وكذلك إلى قمر صنعي (ساتل) لمجرّة أندروميدا Andromeda galaxy. وفي دراساتهم، يشير كلٌّ من كامبانا ومجموعته وتون ومجموعته إلى معالجة هذه التساؤلات وتوضيح أصل دفقة أشعة غاما GRB.

يفسّر تون ومجموعته التغيّر في انحدار ولون الانبعاث الضوئي للتوهج اللاحق لدفقة أشعة غاما التي وقعت في عيد الميلاد بأنه حدث بسبب إضافة المستعر الأعظم الذي يظهر بعد عشرة أيام عندما تلاشى تقريباً التوهج اللاحق. وبمقارنة المنظومة مع مكونات أجسام المستعر الأعظم GRB المماثلة، استنتجوا بعداً للمنظومة يساوي 1.6 جيغابارسيك ثانية (gigaparsecs)* وبطاقة تُقدّر بـ $1.4 \times 10^{51}$ إرغة، وبما يتوافق مع GRB النموذجية.

يفترض تون ومجموعته بأن الـ GRB تنشأ من منظومة ثنائية متماسكة بإحكام متكوّنة من نجم نترونيٍّ ونجم من الهليوم فائق الضخامة. إذ سينقل نجم الهليوم كُتلة إلى النجم النتروني، وبالتالي ستتطور المنظومة إلى طور ستكون فيه النجوم محاطة بغلاف غازي مشترك ناتج من تمدّد الطبقات الخارجية لنجم الهليوم. يندمج كلٌّ من النجم النتروني ولب نجم الهليوم ليشكلا ثقباً أسود أو نجم نترونيٍّ شديد المغنطة يُعرف باسم «المُمَغْنِط magnetar»، وينتج عن ذلك GRB تشبه النفثة التي ستندفع في النهاية خلال الغلاف المشترك. وقد اكتشف المؤلفون بأن هذا النموذج يتوافق مع الطيف الحراري المُلاحظ لـ GRB. وعلى أية حال، إن الحالة التي تتعلق بالمستعر الأعظم الإضافي، الذي سيكون خافتاً بشكل غير اعتيادي، غير مقنعة، ولذلك، فإن بُعد GRB المُستَنْتَج عن الأرض غير مؤكد. وعلاوة على ذلك، فإنه من غير الواضح ما إذا كانت المجرّة المضيفة موجودة. والشيء الضوئي الوحيد المرئي قرب موقع حدوث دفقة أشعة غاما GRB يشبه نقطة خافتة لأبعد الحدود: لو أنها كانت مجرة فإنها ستكون الأخفت (الأضعف) على الإطلاق لاستضافة GRB.

وفي الوقت نفسه، يعيد كامبانا ومجموعته إلى الأذهان النموذج المقترح عام 1973، وذلك مباشرة بعد اكتشاف دفقات أشعة غاما GRBs. في هذا النموذج، ثمة جسم ثانوي (صغير)، كمذنّب أو كويكب، يطير بواسطة نجم نتروني إلى مسافة أقل من 5000 كيلومتر، ويتمزّق (يتحطّم) بشكل توسعي، وينهار متحولاً إلى شظايا ويُنْتِج GRB متعددة الذروة. استعمل المؤلفون النماذج الحديثة لحوادث التمزّق التوسعي، وافترضوا لاحقاً أن حطام الجسم الثانوي (الصغير) يكوِّن قرصاً عابراً حول النجم. وقد قارنوا هذه النماذج مع البيانات المتوفرة حول دفقة أشعة غاما التي حدثت يوم عيد الميلاد، إذ اكتشفوا أن النموذج الذي يكون فيه وزن الجسم الثانوي (الصغير) مساوياً $5 \times 10^{20}$ غرام ويسقط على النجم النتروني في مجرتنا متوافقٌ تماماً مع كلا السلوكين الزمني والطيفي للبيانات.

إن كلتا الفرضيتين معقولة وتوضّحان بيانات معقّدة وعديدة. ولكن إحداهما على الأقل خاطئة، والبرهان الحاسم عليها، أي التحديد الصريح لبُعد دفقات أشعة غاما GRBs عن الأرض، ما يزال مفقوداً. تطرح دراسة تون ومجموعته تساؤلات عديدة. كم من الثنائيات تمرّ خلال طور الغلاف المشترك وتنتج انفجارات شبيهة بـ GRB؟ وهل تنشأ جميع النفثات من الغلاف أم أن تلك الحالة تخص فقط القليل منها؟ وإلى إي حد تكون النفثة مسدّدة؟ لكن دراسة كامبانا ومجموعته تفتح أيضاً استفسارات أخرى. كم من الأجسام الثانوية (الصغيرة) تمرّ في المنطقة القريبة تماماً من النجم النتروني؟ وهل الكتلة المستَنْتَجة للجسم الثانوي (الصغير) معقولة؟ فالكتلة المفترَضة كبيرة نسبياً (وبالتالي فهي نادرة) كجسم في النظام الشمسي، لكن الأجسام الأكبر واقعياً وجدت تدور حول النجوم النترونية. وانطلاقاً من ذلك نستطيع أن نحسب إمكانية كل فرضية، وربما نستبعد إحداهما بناءً على اعتبارات إحصائية. على أية حال، ولسوء الحظ، فإن مثل هذا الحساب سيتضمّن حتماً تخمينات كبيرة.

وباختصار، ليس هناك الكثير مما يمكن قوله حول طبيعة دفقة أشعة غاما GRB المسمّاة Christmas، ما عدا تلك الاحتمالات التي تشير إلى أن ذلك الحدث هو ظاهرة نادرة تشبه GRB لكنها تقع خارج هذا التصنيف. وعلى كل حال، من الصعوبة بمكان الهروب من سحر موت مذنب محتمل يوم عيد الميلاد.

* *البارسك: عبارة عن واحدة للمسافات الفلكية تساوي إلى المسافة من الأرض عندما يكون اختلاف المنظر النجمي يساوي ثانية واحدة، وهي تكافىء $3.857 \times 10^{18}$م أو 3.262 سنة ضوئية.*

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 480, 1 December 2011***.
ترجمة **حسان بقلة**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

# نهج جذري للتنوع

*للمركّبات التي تحتوي على زمرة ثلاثي فلوروميثيل، استخدامات كثيرة، ولكن غالباً ما يتم اصطناع مصاوغاتها "إيزوميراتها" المتباينة وفق طرائق متعددة الخطوات، مختلفة. هناك الآن، دراستان تظهران كيفية صنع مصاوغات مختلفة وفق المسار نفسه.*

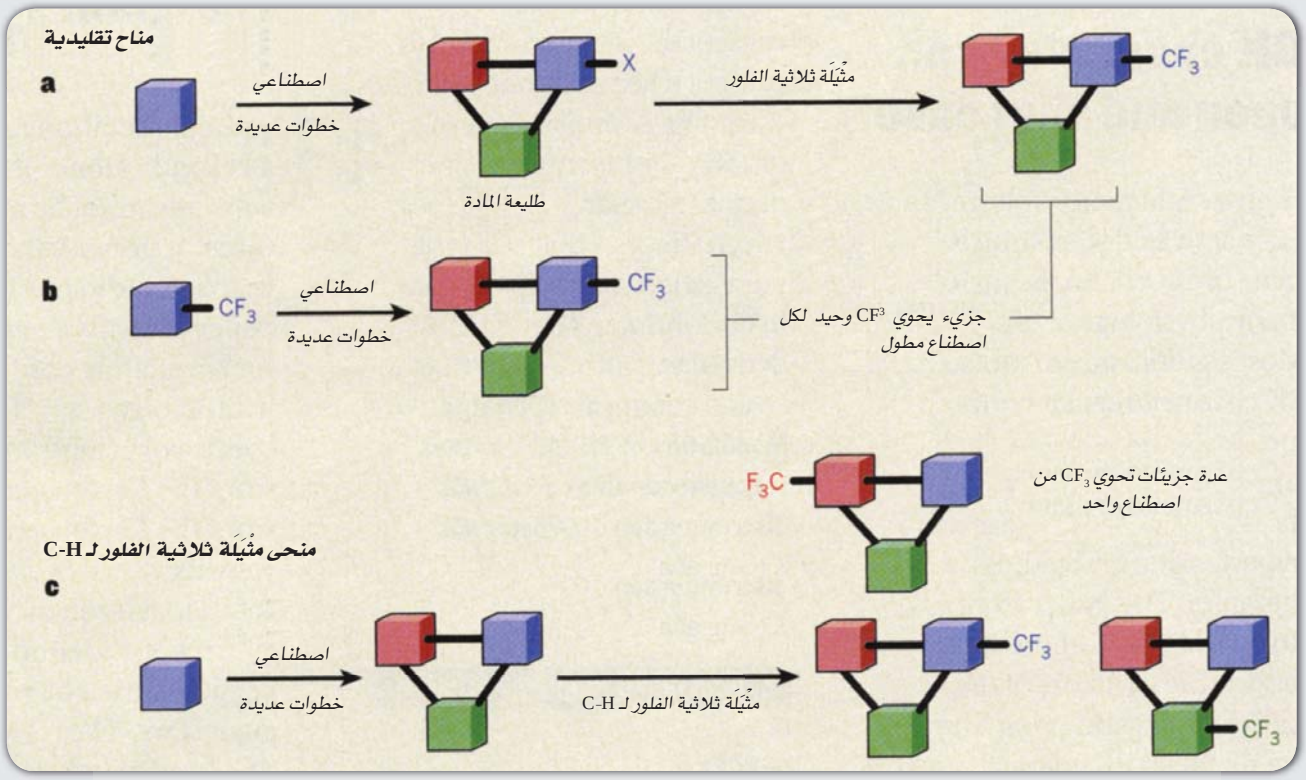
كان لإقحام ذرّات الفلور في الجزيئات العضوية، تأثير عميق على تطوير منتجات جديدة للصناعات الهائلة. ويعود ذلك، بشكل كبير، للخواص المفيدة التي يضيفها الفلور على الجزيئات العضوية مثل الثباتية والشغف بالدهون وحقيقة أنه يمكن تعديل القطبية لمنع الجزيئات من استقلاب الدواء بسرعة كبيرة، بحيث يؤدي دوره قبل طرحه من الجسم. كما لعب الفلور دوراً كاملاً في تطوير المواد الكيميائية الزراعية والمواد العالية الأداء. هناك ورقتان علميتان، إحداهما لـ جي وزملائه [1]، ومنشورة في مجلة الأكاديمية الوطنية للعلوم والثانية لنجيب وماكميلان [2]، تقدمان طرائق ابتكارية لإدخال زمر فلورية مهمّة –زمرة ثلاثي فلوروميثيل – $CF_3$، في الجزيئات.

لقد شكلت عملية إلحاق زمر فلورية بالجزيئات العضوية الصغيرة، تحدياً كبيراً لكيميائيي الاصطناع العضوي، لفترة طويلة، حيث كان من الصعب تثبيت زمرة ثلاثي فلوروميثيل جزئياً، بسبب أن النواتج الوسيطة الفعالة، المتولدة عند عملية المثْيَلَة ثلاثية الفلور، غير ثابتة تحت الشروط الضرورية لاستمرار التفاعل، إذ يمكن للبروتوكولات القاسية اللازمة لحصول هذه التفاعلات، أن تقيد الركازات التي يمكن استعمالها وتؤدي إلى تشكيل نواتج جانبية.

لذلك، لقيت التقارير التي توضح الجهود الرامية لاستعمال طرائق أكثر اعتدالاً، والتي تتجنب المشاكل الشائعة المرتبطة مع كيمياء المثْيَلَة ثلاثية الفلور، انتباهاً كبيراً. ورغم إحراز تقدم كبير في هذا المجال، تستمر العديد من الطرائق بالاعتماد على مواد متفاعلة مهيأة وظيفياً بشكل مسبق، بحيث تحتوي على الزمر الكيميائية بشكل مقترن مع حفازات معادن انتقالية أو كواشف محرضة، تقوم بتوجيه تفاعلات المثْيَلَة ثلاثية الفلور إلى مواقع معينة في المواد المتفاعلة (الشكل 1a). وبدلاً من ذلك يمكن اصطناع الجزيئات المعقدة المحتوية على ثلاثي فلوروميثيل بدءاً من مواد أولية أبسط تحتوي بدورها على زمرة ثلاثي فلوروميثيل (الشكل 1b). ولكن يأتي استخدام هذه الطرائق على حساب التكلفة: إذ إن تحضير المركّبات الوظيفية المسبقة والمواد الأولية المحتوية على ثلاثي فلوروميثيل هو هدر للوقت ومكلف من حيث المواد الكيميائية المستخدمة والتخلص من النفايات، ويكون بالمحصلة غير فعال. وأكثر من ذلك، عندما يُرغب بالحصول على مجال متنوع من الجزيئات الممثْيَلَة بثلاثي فلوروميثيل، يتطلب كل جزيء تحضير مادة أولية وظيفية مسبقة، مما يؤدي إلى تضخيم عدم الكفاءة بحيث تصبح باهظة على نحو متزايد.

وعلى الرغم من عيوبها، غالباً ما تبقى الطرائق الموجودة، المنتقاة كيميائياً (انتقائية الموضع) مفيدة عندما يكون أفضل جزيء مربوط بثلاثي فلوروميثيل معروفاً لتطبيق محدد. ولكن ماذا يحصل عندما يكون الموضع المثالي للمثْيَلَة بثلاثي فلوروميثيل، غير معروف، كما هو سائد عند الذين يعملون في بحوث استكشاف الدواء والمواد الكيميائية الزراعية؟ في العديد من الحالات، يُرغب بربط زمر ثلاثي فلوروميثيل مع جزيء، في أكبر عدد من المواضع الممكنة للحصول على الكثير من المصاوغات المختلفة. يحقق هذا المنحى أكبر قدر من تنوع الجزيئات الحاصلة ويزيد من احتمالية اكتشاف جزيء له خواص كيميائية وفعالية بيولوجية مرغوبة.

يسلط تقريرا جي وزملائه ونجيب وماكملان، الضوء على جهودهم المبذولة لتطوير طرائق متعددة الجوانب، من أجل التحضير السريع لمجال متنوع من الجزيئات المحتوية على




### مناح لصنع مركبات مُمَثْيَلَة ثلاثية الفلور

**a-** *منحى تقليدي لصنع مركّبات مرتبطة بزمر ثلاثي فلوروميثيل ($CF_3$) يستخدم صنع مواد مسبقة (طليعية) لكل مصاوغ يحتوي زمرة بديلة (X) تُحول لاحقاً إلى زمرة ثلاثي فلوروميثيل عند نهاية الاصطناع. يتطلب اصطناعات متعددة الخطوات مختلفة لصنع كل مصاوغ ويظهر فقط مسار واحد لمثل هذه المسارات.* **b-** *يبدأ المنحى التقليدي الثاني من مركّبات تحتوي على زمرة ثلاثي فلوروميثيل. أيضاً، يتطلب هنا مسارات اصطناع متعددة الخطوات، مختلفة، لصنع كل مصاوغ على حدة ويظهر مسار واحد فقط منها.* **c-** *تقدم ورقتان علميتان الآن مناحيَ مختلفة، حيث يصنع جزيء معقد بنيوياً ثم يحول إلى مصاوغات عديدة لمماثلات ممثْيَلَة بثلاثي فلورو الميتان في خطوة منفردة. تقلل هذه الاستراتيجية الزمن والمشقة اللازمتين لصنع العديد من مماثلات مرتبطة بثلاثي فلوروميثيل لجزيئات معقدة بنيوياً وتقلل أيضاً النفايات الإجمالية المتولدة.*

ثلاثي فلوروميثيل. سعت كلتا المجموعتين للحصول على بروتوكول عام يؤدي الى الوصول الى جزيئات مرتبطة بثلاثي فلورو الميتان دون الحاجة الى ركازات وظيفية مسبقة. لقد استهدفتا تحولات كيميائية دعيت مثْيَلَة ثلاثي فلورية لـ C-H، حيث يتم استبدال زمرة ثلاثي فلوروميثيل بهدروجين الرابطة كربون–هدروجين (C-H).

وعلى الرغم من طموح هذا المنحى، فإنه يقدم مكسباً في الكفاءة من خلال السماح لزمر ثلاثي فلوروميثيل بأن تثبت عند مراحل متأخرة من مسارات الاصطناع دون اللجوء الى التحضير الأولي لركازات وظيفية مسبقة أو محتوية على ثلاثي فلوروميثيل، وبالتالي فإنها تخفض عدد عمليات الاصطناع الضرورية للوصول إلى عدد من الجزيئات الممثْيَلَة ثلاثية الفلور (الشكل 1C).

أدرك المؤلفون في المرجعين (1) و(2) أن تطوير طريقة ناجعة، يتوقف على تحديد المصدر العملي لثلاثي فلوروميثيل. تكهَّن كل من الفريقين بشكل مستقل، أن التوليد لجذور ثلاثي فلوروميثيل عالية الفعالية، ($CF_3$) بوصفها مركّبات وسطية، قد يسمح بالمثْيَلَة ثلاثية الفلور المباشرة لركازات غير وظيفية، وذلك وفق ما دعى جي وزملاؤه "المثْيَلَة ثلاثية الفلور الفطرية". وبكلمة أخرى، فإن التفاعلية

المتأصّلة للركازات، سوف تفرض الموقع (أو المواقع) التي يحصل بها تفاعل المثْيَلَة ثلاثية الفلور.

اتبعت المجموعتان مناحي مختلفة لتطوير طرائقهما الكفوءة والمعتدلة للوصول إلى مركّبات وسطية من جذور ثلاثي فلوروميثيل الفعالة. طور جي وزملاؤه منحى خالياً من العناصر الانتقالية يعتمد فقط على كواشف ثابتة في الهواء والرطوبة (وأسهل تعاملاً من الكواشف الشائعة الاستخدام، العضوية المعدنية أو حفازات المعادن الانتقالية، والتي تتفاعل مع الهواء والرطوبة) حيث حدد أن كواشف لانجلوا langlois reagent ($NaSo_2CF_3$) تقدم مصادر موثوقة لـ $CF_3^{\cdot}$ عند معالجتها بـ ثالثي بوتيل بيروكسيد (كاشف شائع الاستعمال في كيمياء الجذور). على كل حال، اختار نجيب وماكملان ثلاثي فليل كلوريد ($CLSO_2CF_3$) كمصدر لجذور $CF_3^{\cdot}$ ولقد ولّدا الجذور ببساطة، بتعريض محلول ثلاثي فليل كلوريد لضوء مصباح فلورة منزلي، بوجود حفاز روثينيوم منشط ضوئياً. تولّد كلتا الطريقتين جذور $CF_3$ بوجود مجال متنوع من الركازات وتؤديان للوصول إلى طائفة من الجزيئات المعقدة البنية المحتوية على ثلاثي فلوروميثيل. أكثر من ذلك، عملت كلتا الطريقتين بشكل موثوق حتى من أجل ركازات تملك زمراً وظيفية محتملة الحساسية (تلك الزمر التي قد يؤثر وجودها في الجزيئات عكسياً على مجال التفاعلات الكيميائية، بما فيها تفاعلات المثْيَلَة ثلاثية الفلور التقليدية).

لبيان تعدد استعمالات طريقتيهما، قامت المجموعتان بإجراء المثْيَلَة ثلاثية الفلور لمركّبات صيدلانية ومنتجات طبيعية شائعة. حقق جي وزملاؤه بنجاح مثْيَلَة ثلاثية الفلور للرابطة C–H في مشتق المنتج الطبيعي ثنائي هيدروكوينين ودواء البليون دولار Chantix (فارنسيلين المستخدم لمكافحة إدمان النيكوتين) مؤدياً إلى نواتج تحمل زمرة ثلاثي فلوروميثيل منفردة. تبقى هذه الأمثلة على غاية من الأهمية لأن الوصول إلى $CF_3$ – ثنائي هيدروكوينين و Chantix – $CF_3$ باستعمال طرائق المثْيَلَة ثلاثية الفلور، يتطلب مسارات اصطناع متعددة المراحل وشاقة. والجدير بالملاحظة، أن التفاعلات هي ذات انتقائية كيميائية حتى ولو احتوت المواد البدئية على مواقع فعالة متعددة.

قام نجيب وماكملان بشكل مماثل، بتحريض دواء تخفيض الكوليسترول Lipitor (atorvastatine) لشروط تفاعلهم. وأدت هذه التجربة إلى تشكيل غير انتقائي لثلاثة مصاوغات من Lipitor -$CF_3$ قابلة للفصل الكروماتوغرافي، حيث كانت زمرة ثلاثي فلوروميثيل مرتبطة مع ذرّات كربون مختلفة في الجزيء.

لا يمكن المغالاة بمقدرة الكفاءة المحسنة لهذا المنحى للوصول إلى كيانات كيميائية جديدة، نظراً لأن تحضير هذه المصاوغات باستخدام الطرائق التقليدية، يتطلب ثلاثة اصطناعات إجمالية متوازية ستكون شديدة المشقة ومضيعة للوقت بشكل كبير.

ومع أن الطرائق الجديدة تتضمن مساهمة كبيرة في حقل كيمياء المثْيَلَة ثلاثية الفلور، تبقى هناك العديد من التحديات. على سبيل المثال، سيكون هناك رغبة في السيطرة الدقيقة على الموقع الذي تحصل فيه عملية المثْيَلَة ثلاثية الفلور للرابطة C–H. وقد يُحقق ذلك، من خلال تطوير شروط التفاعل التي تضم أفضل مساهمات الطرائق المتوافرة حالياً. وستكون البروتوكولات المكملة التي تولّد بشكل انتقائي جزيئات مختلفة تحوي ثلاثي فلوروميثيل من ركازة منفردة، مفيدة أيضاً لأنها ستتجنب المهمّة الصعبة غالباً، في فصل مزائج المصاوغات المتولّدة على شكل نواتج نهائية.

قدم جي وزملاؤه جهودهم الأولية لعنونة هذه المشكلة، وكانت نتائجهم البدائية مشجعة. ستستمر هذه المجالات من البحوث لتصبح بؤرة أساسية في الكيمياء العضوية وستتأثر الاستراتيجيات المستقبلية بشكل أكيد، بهذه التقارير الراهنة.

تفتح هذه الاختراقات على المدى القصير، الباب لتحضير مجال متنوع من الجزيئات والتي كانت في السابق صعبة المنال. وسيكون لمقدرة هذه المناحي المبسطة على إنجاز مرحلة متأخرة من مثْيَلَة ثلاثية الفلور في الجزيئات المعقدة بنيوياً، تأثيرٌ على عمل الكيميائيين البحثي في مجالات المركّبات الصيدلانية والكيميائيات الزراعية والصناعات الأخرى.

### *المراجع*

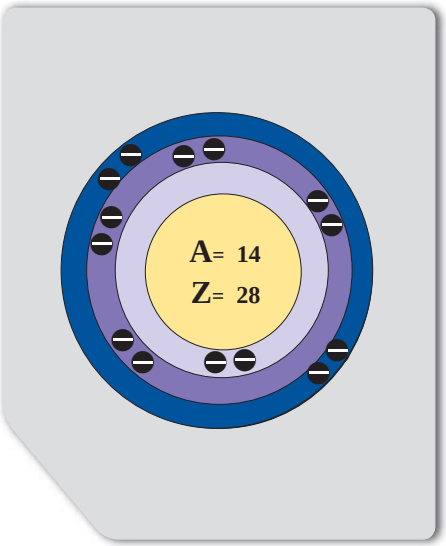

[1] Ji, Y. et al. Peoc. Natl Acad. Sci. USA 108, 14411-14415 (2011).

[2] Nagib, D. A. A. & MacMillan, D. W. C. Nature 480, 224-228 (2011).



نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 480, 8 December 2011***.
ترجمة د. توفيق ياسين، عضو هيئة التحرير.

# نافذة على عناصر الجدول الدوري




## السليكون

| | |
|---|---|
| الرمز: | **Si** |
| العدد الذرّي: | **14** |
| الكتلة الذرّية النسبية: | **28.0855 (3)** |
| درجة انصهاره: | **1414 °C** |
| درجة غليانه: | **3265 °C** |
| الكثافة: | **2.3290 $g \cdot cm^{-3}$** |
| حالات الأكسدة: | **4**, 3, 2, 1, -1, -2, -3, -4 |

السليكون هو عنصر كيميائي رمزه Si، وعدده الذرّي 14. إنه من اللامعادن الرباعية التكافؤ، وأقل نشاطاً من الكربون، شبيهه الكيميائي، الواقع فوقه مباشرة في الجدول الدوري، غير أنه أكثر نشاطاً من الجرمانيوم اللامعدني الواقع تحته مباشرة في الجدول الدوري. ومما لا شك فيه أن معرفة صفات السليكون بدأت فور اكتشافه: فقد حُضّر ودُرست خصائصه لأول مرة بشكله النقي في العام 1824. أعطي الاسم سليكون انطلاقاً من الكلمة اللاتينية سيليسيز silicis، وأقترحت آنذاك النهاية ium في نهاية الاسم للتعبير عنه بوصفه معدناً. غير أن اقتراح اسمه النهائي (سليكون) تمّ في العام 1831، نظراً لتشابهه الكبير مع الكربون والبورون.

يُعدّ السليكون العنصر الثامن في الكون من حيث الكتلة، غير أنه نادر الوجود في الطبيعة بشكله النقي. وينتشر بشكل واسع في الغبار والرمال والكواكب وأشباه الكواكب ضمن أشكال متنوعة من ثنائي أكسيد السليكون (السليكا) أو السليكات. وأكثر من 90% من القشرة الأرضية مكون من فلزات السليكات، مما يجعل السليكون ثاني أوفر العناصر في القشرة الأرضية (أي حوالي 28% من كتلة القشرة الأرضية) بعد الأكسجين.

تُستعمل غالبية السليكون تجارياً دون عزله، وعملياً مع قليل من معالجة مركّباته الطبيعية (انظر الشكل). تتضمن هذه الاستعمالات استعمال الكلس والرمل والحجارة الكلسية بشكل مباشر في صناعة البناء، وكذلك عند إضافة رمل السليكا إلى الحصى في صناعة الإسمنت والسيراميك. وثمة استعمالات حديثة لبعض مركّبات السليكون مثل كربيد السليكون الذي يُستعمل بوصفه مادة كاشطة، ويشكل السليكون أساساً مهمّاً في صناعة البوليميرات المسماة سليكونات silicones.

يؤثر السليكون العنصري بشكل كبير في الاقتصاد العالمي الحديث. وبرغم استعمال غالبية السليكون الحر الأكثر نقاوة في تنقية الفولاذ، وفي صبات الألمنيوم والصناعات الكيميائية الدقيقة، إلاّ أن استعمال جزئه الصغير نسبياً (أقل من 10%) والنقي جداً في صناعة إلكترونيات أنصاف النواقل ربما يكون الأكثر أهمية.

وبسبب استعماله الواسع في الدارات التكاملية، فإن التقانة الحديثة في صناعة الحواسيب تعتمّد عليه.

هذا ويُعدّ السليكون عنصراً أساسياً في مجال البيولوجيا. ورغم أن كمية قليلة جداً تتطلبها أجسام الحيوانات، إلاّ أن العديد من أنماط الإسفنج البحري يحتاج إلى السليكون في بنيته. إن أهميته أكبر بكثير في استقلاب النباتات، وبخاصة في أعشاب عديدة، كما يشكل الحمض السليكوني (نوع من السليكا) أساساً للمنظومة المدهشة في أصداف الحماية لبعض الحيوانات.

## خصائصه

### الفيزيائية

يتبلور السليكون في بنية بلورية مكعبة ماسية. فهو صلب ويتمّتع بدرجات حرارة انصهار وغليان عاليتين نسبياً وتقاربان 1400 و2800 درجة مئوية على الترتيب. كما يتمّتع السليكون في حالته السائلة بكثافة مهمّة جداً أكبر من كثافته في الحالة الصلبة. لذا، فهو لا يتقلص عند تجمده مثل بقية المواد، بل إنه يتمّدد، مماثلاً للماء عند تجمده، أي أنه يكون أقل كتلة في واحدة الحجم في حالته الصلبة. ومع ناقليته الحرارية العالية نسبياً ($149\ W.m^{-1}.K^{-1}$)، ينقل السليكون الحرارة بشكل جيد وكنتيجة لذلك فهو لا يستعمل عادة لعزل الأشياء الساخنة.

يكون لون السليكون النقي رمادياً وذا بريق معدني في حالته المتبلورة، ويشابه الجرمانيوم في قوته وميوله للقصف وللترقق. يتشابه السليكون مع الكربون والجرمانيوم بتبلوره على هيئة بنية بلورية مكعبة ماسية مع تباعد شبكي يقارب 5.430710 أنغستروم.

تحتوي الطبقة الخارجية في ذرّة السليكون أربعة إلكترونات تكافؤية، كما في حالة الكربون. تكون الطبقات الداخلية 1s و2s و2p و3s معبأة تمّاماً في حين تحتوي الطبقة الثانوية 3p على إلكترونين من أصل ستة إلكترونات ممكنة.

يكون لمقاومة السليكون النقي معامل حراري سلبي، ويعود سبب ذلك إلى تزايد عدد حاملات الشحنات الحرة مع تزايد درجة الحرارة. تتغير المقاومة الكهربائية لبلورة السليكون المنفردة بشكل كبير عند تطبيق إجهاد ميكانيكي، وسبب ذلك هو تأثير المقاومة الضغطية.

### الكيميائية

يُعدّ السليكون مادة نصف ناقلة، وذلك بسبب سهولة إعطائه إلكتروناته الخارجية الأربعة أو يشارك فيها، مما يسمح بأشكال عديدة للارتباطات الكيميائية. ورغم الظن أنه، بالتشابه مع الكربون، عنصرٌ خاملٌ نسبياً، يبقى السليكون فعالاً مع الهالوجينات والقلويات الممددة، ولكن غالبية الأحماض (عدا بعض التراكيب الشديدة الفعالية مثل حمض الآزوت مع حمض كلور الماء) لا يُعرف لها تأثير عليه.

رغم ذلك، إن امتلاكه لأربعة إلكترونات رابطة يمنحه، وبشكل مشابه للكربون، فرصاً عديدة للارتباط مع عناصر أو مركّبات أخرى في الظروف المناسبة.

## نظائره

يتكون السليكون الموجود بشكل طبيعي من ثلاثة نظائر مستقرة، السليكون-28 والسليكون-29 والسليكون-30، ويكون السليكون-28 الأكثر وفرة حيث يشكل 92%. ومن بين هذه النظائر يُستعمل السليكون-29 وحده في مطيافية الـ NMR ومطيافية الرنين السبيني الإلكتروني (EPR). جرى التعرف إلى عشرين نظيراً مشعاً للسليكون وأكثرها استقراراً هو السليكون-32 حيث يبلغ عمر نصفه 170 سنة والسليكون-31 بعمر نصف قدره 157.5 سنة. لجميع ما تبقى من نظائره المشعة أعمار أنصاف أقل من سبع ثوان، وما عدا ذلك تكون أعمار أنصافه أقل من عشر الثانية. لا يُعرف للسليكون أي مصاوغات نووية nuclear isomers. تتوزع الكتلة الذرّية لنظائر السليكون بين 22 و44 وحدة ذّرية نسبية.

## وجوده

بالمقاس الكتلي، يشكل السليكون 27.7% من القشرة الأرضية، وهو العنصر الثاني بعد الأكسجين من حيث الوفرة في الجزء الخارجي من سطح الأرض. يوجد السليكون عادة على هيئة فلزات سليكاتية معقدة، وبشكل أقل على هيئة ثنائي أكسيد السليكون (السليكا، وهو المركّب الرئيس في مادة الرمل)، ويندر أن نجد بلورات السليكون النقي في الطبيعة.

توجد فلزات السليكات بأشكال متنوعة تحتوي على السليكون والأكسجين وعلى معدن أو أكثر، وتشكل 90% من كتلة القشرة الأرضية. يعود ذلك إلى حقيقة أنه عند درجات الحرارة العالية المميزة لتشكل المنظومة الشمسية الداخلية، يتمّتع السليكون والأكسجين بألفة عالية تجاه بعضهما، مشكلين شبكات من السليكون والأكسجين، ضمن مركّبات كيميائية تتمّتع بدرجة تطاير منخفضة جداً. ونظراً لأن السليكون والأكسجين كانا من أكثر العناصر الشائعة غير الغازية وغير المعدنية في الحطام المكون لغبار الانفجار الأعظم الذي شكل القرص البدائي للأرض خلال تشكل المنظومة الشمسية وتطورها، فقد شكلا كثيراً من السليكات المعقدة التي التحمت بالصخور الضخمة وكونت الكواكب الأرضية. وفي الوضع الحالي، تكون الركازة الفلزية السليكاتية المحتوية على معادن نشيطة بما يكفي لكي تتأكسد (الألمنيوم والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنيزيوم). وبعد فَقْد الغازات الطيارة، إضافة إلى الكربون والكبريت عبر تفاعلهما مع الهدروجين، فقد شكل هذا الخليط السليكاتي من العناصر غالبية القشرة الأرضية. وكانت هناك سليكات ذات كثافة ضعيفة نسبياً مقارنة مع الحديد والنيكل ومعادن أخرى غير فعّالة مع الأكسجين مما أدى إلى تشكل راسب من الحديد والنيكل غير المرتبطين وموجودين في لب الكرة الأرضية، مخلفين غطاء سميكاً مكوناً في غالبيته من سليكات المغنيزيوم والحديد يحيط بهذا اللب.

وهناك أمثلة من الفلزات السليكاتية في القشرة الأرضية تتضمن مجموعات البيروكسين pyroxene والأمفيبول amphibole والميكا mica والفلدسبار feldspar. تظهر هذه الفلزات على هيئة صلصال أو أنماط متنوعة من الغرانيت والصخور الرملية.

توجد السليكا في فلزات مكونة من ثنائي أكسيد السليكون النقي جداً بأشكال بلورية مختلفة، مثل الكوارتز quatz والعقيق الأرجواني agate amethyst وبلورات صخرية rock crystal والعقيق الأبيض chalcedony وحجر الصوان flint وحجر الياشب jasper والحجر الكريم opal. يكون للبلورات صيغة تجريبية من ثنائي أكسيد السليكون، غير أنها لا تتكون من جزيئات منفصلة من ثنائي أكسيد السليكون على هيئة ثنائي أكسيد السليكون الصلب. وعلى الأصح، تشكل السليكا من الناحية البنيوية شبكة صلبة مكونة من السليكون والأكسجين وفق بلورات ذات أبعاد ثلاثية، مثل الألماس. أما السليكا الأقل نقاوة فهي تشكل الزجاج البركاني الطبيعي. في حين توجد السليكا المكونة بفعل كائنات حية على هيئة بنية ثنائية الذرّة وفي كائنات مجهرية بحرية وإسفنج سليكوني.

## إنتاجه وشكله النقي

### خلائطه

تحتوي خليطة السليكون والحديد على نسب مختلفة من السليكون والحديد العنصريين، وتستهلك هذه الخلائط حوالي 80% من الإنتاج العالمي للسليكون، حيث تُعدُّ الصين على رأس المصدرين العالميين للسليكون العنصري، إذ إنها تنتج 4.6 مليون طن (أو ثلثي الإنتاج العالمي) من السليكون، حيث يذهب غالبية إنتاجها على هيئة خليطة سليكون وحديد. تتبعها روسيا (610.000 طن) والنرويج (330.000 طن) والبرازيل (240.000 طن) ومن ثم الولايات المتحدة (170.000 طن). وتستعمل هذه الخليطة بشكل أساسي في صناعة الفولاذ.

تستعمل خلائط السليكون والألمنيوم بشكل كثيف في صناعة صبات خليطة الألمنيوم، حيث يُعدّ السليكون المضاف الأكثر أهمية لتحسين خصائص صبات الألمنيوم. ونظراً لاستعمال صبات الألمنيوم بشكل واسع في صناعة السيارات، فإن استعمال السليكون هذا هو إذاً الاستعمال الصناعي الأوسع الوحيد للسليكون النقي في عالم التعدين.

## درجة التعدين

لا يُخلط السليكون العنصري مع كميات كبيرة من العناصر الأخرى، وعادة ما يوجد في الخليطة بشكله المعدني بكميات أكبر من 95%. يُستهلك حوالي 20% من الإنتاج العالمي لعنصر السليكون في صنع الخلائط، وأقل من 1 إلى 2% من السليكون العنصري الكلي يخضع لتنقية عالية جداً من أجل استعماله في صناعة الإلكترونيات. يُحضّر السليكون التعديني التجاري من خلال تفاعل السليكا العالية النقاوة مع الخشب والفحم النباتي والفحم الحجري في فرن قوس كهربائي تُستعمل فيه إلكترودات كربونية. وفي درجات أعلى من 1900 درجة مئوية، يخضع السليكون

والكربون المذكور آنفاً إلى التفاعل التالي:

$$SiO_2 + 2\,C \rightarrow Si + 2\,CO$$

يتجمع السليكون السائل في قعر الفرن، ومن ثم يُصار إلى إخراجه والحصول عليه. يسمى السليكون المنتج بهذه الطريقة "السليكون التعديني"، ولا تقل نقاوته عن 98%. وباستعمال هذه الطريقة يمكن أيضاً تشكيل كربيد السليكون (SiC) بوجود زيادة من الكربون، ويتمّ ذلك بمرحلة واحدة أو بمرحلتين:

$$SiO + 2C \rightarrow SiC + CO \text{ أو } SiO_2 + C \rightarrow SiO + CO$$

مع ذلك، وعند وجود تركيز عال لـ $SiO_2$، يمكن استبعاد كربيد السليكون بوساطة التفاعل الكيميائي التالي:

$$2\,SiC + SiO_2 \rightarrow 3\,Si + 2\,CO$$

وكما ذكر آنفاً، إن الاستعمال الأول للسليكون يذهب في صبات الألمنيوم الصناعية للحصول على قطع من خليطة الألمنيوم مع السليكون. ويستعمل الباقي (حوالي 45%) في الصناعة الكيميائية، حيث يستعمل بشكل أساسي في الحصول على السليكا المدخنة fumed silica.

وفي أيلول/سبتمّبر عام 2008، بلغ سعر السليكون التعديني حوالي 3.20 دولار للكيلوغرام، بعد أن كان 0.77 دولار للكيلوغرام في العام 2005.

## نقاوته في الاستعمال الإلكتروني

يتطلب استعمال السليكون في تجهيزات أنصاف النواقل نقاوة عالية جداً. يمكن استخلاص السليكون بنقاوة عالية جداً (أكبر من 99.9%) بشكل مباشر من السليكا الصلبة أو من مركّبات السليكون الأخرى، وذلك بوساطة التحلّل الكهربائي لملح منصهر. تتمّتع هذه الطريقة المعروفة منذ العام 1854 بإمكانية الإنتاج المباشر للسليكون المطلوب للخلايا الشمسية دون إصدار ثنائي أكسيد الكربون وباستهلاك طاقي منخفض.

لا يمكن استعمال السليكون المعدّ للخلايا الشمسية في صناعة أنصاف النواقل التي تتطلب نقاوة قصوى من أجل التحكم بالعملية. كان يجب أن تصل نقاوة رقاقات السليكون التي استعملت في بدايات تصنيع الدارات المتكاملة إلى "تسع تسعات" (99.9999999%)، وهي عملية تتطلب تطبيقات متكررة لتقانة التنقية.

حُضّرت غالبية بلورات السليكون المنمّاة لإنتاج التجهيزات بوساطة طريقة سوشرالسكي Czochralski process، لأنها الطريقة الأرخص المتوفرة ولأنها قادرة على إنتاج بلورات كبيرة القدّ. ورغم ذلك، تحتوي البلورات المفردة المنمّاة بطريقة سوشرالسكي على شوائب بسبب احتمّال انحلال البوتقة الحاوية على الصهارة. وعبر الزمن، تمّ استعمال عدد من الطرائق لإنتاج السليكون الفائق النقاوة.

اعتمّدت تقانات تنقية السليكون المبكرة على حقيقة أنه إذا صُهر السليكون وأعيد تصليبه، فإن الأجزاء الأخيرة من الكتلة المتصلبة تحتوي غالبية الشوائب. وُصفت أول طريقة لتنقية السليكون عام 1919 واستعملت بشكل محدود للحصول على مكونات رادار في الحرب العالمية الثانية، إذ تمّت الطريقة بسحق السليكون المعدّ للصناعة التعدينية، ومن ثم إجراء حلّ جزئي لبودرة السليكون في حمض معين. فعند سحقه، يتشقق السليكون بحيث تذهب المناطق الغنية بالشوائب إلى خارج حبيبات السليكون الناتجة، وهكذا ستكون الأجزاء الغنية بالشوائب هي الأولى التي تدخل في عملية الانحلال عند المعالجة بالحمض، مخلفة وراءها منتجاً سلكونياً أكثر نقاوة.

في وقت مضى، أنتج ديبون DuPont سليكوناً ذا نقاوة عالية بإجراء تفاعل بين رباعي كلوريد السليكون وبخار الزنك في الدرجة 950 مئوية، الأمر الذي يؤدي إلى إنتاج السليكون وفق الآلية التالية:

$$SiCl_4 + 2\,Zn \rightarrow Si + 2\,ZnCl_2$$

ورغم ذلك، ترافقت هذه التقانة بمشاكل عملية (مثل تصلب كميات ثانوية من كلوريد الزنك على هيئة خيوط)، وأخيراً تمّ التخلي عنها لصالح طريقة سيمنس Siemens process. ففي طريقة سيمنس، تُعرَّض قضبان من السليكون العالي النقاوة إلى ثلاثي كلور السيلان عند الدرجة 1150 مئوية. يتفكك ثلاثي كلور السيلان الغازي ويترسب سليكون إضافي على القضبان بسبب التفاعل التالي:

$$2\,HSiCl_3 \rightarrow Si + 2\,HCl + SiCl_4$$

يُسمّى السليكون الناتج من هذه الطريقة وشبيهاتها "السليكون المتعدد البلورات polycrystalline silicon". ويحتوي السليكون المتعدد البلورات عادة على سويات من الشوائب تقل عن جزء من بليون جزء.

في العام 2006 أعلنت شركة REC عن بناء محطة تعتمّد على تقانة سرير مُميَّع تُستعمل فيه مادة السيلان وفق التفاعلات التالية:

$$3\ SiCl_4 + Si + 2\ H_2 \rightarrow 4\ HSiCl_3,\ 4\ HSiCl_3 \rightarrow$$

$$3\ SiCl_4 + SiH_4,\ SiH_4 \rightarrow Si + 2\ H_2$$

تكمن حسنة تقانة السرير المميّع في أنه يمكن لهذه العملية أن تعمل بشكل مستمّر، وتقود إلى مردودات أعلى من مردودات عملية سيمنس.

أما اليوم، فيُنقّى السليكون بتحويله إلى مركّب سليكوني يمكن تنقيته بالتقطير بشكل أسهل من حالته الأساسية، ومن ثم إعادة هذا المركّب السليكوني إلى سليكون نقي. ويُعدّ ثلاثي كلور السيلان المركّب السليكوني الأكثر استعمالاً بوصفه وسيطاً في عملية التنقية، كما يُستعمل أيضاً كلٌّ من رباعي كلور السليكون والسيلان. فعندما تنفث هذه الغازات فوق سليكون عند درجات حرارة عالية، فإنها تتفكك لتعطي سليكوناً ذا نقاوة عالية جداً.

وإضافة إلى ذلك، توجد عملية شوماشر التي تستعمل تقانة ثلاثي بروم السيلان والسرير المميّع. فهي تتطلب درجات حرارة أقل، ورأس مالٍ وتشغيلٍ أقل، كما أنه لا توجد خطورة لتشكل البوليميرات ولا مواد متفجرة، إضافة إلى عدم تشكل نفايات من غبار سليكوني غير متبلور، وكل هذه المساوئ موجودة في طريقة سيمنس. ورغم ذلك، لم يتمّ حتى الآن بناء مصانع أساسية معتمدة على عملية شوماشر.

## مركّباته

- يشكل السليكون مركّبات ثنائية تُسمّى السليسيدات Silicides مع كثير من العناصر المعدنية التي تتراوح خصائصها بين مركّبات فعالة، مثل سليسيد المغنيزيوم، $Mg_2Si$، وبين مركّبات تتمّتع بقرينة انكسار عالية، مثل سليسيد الموليبدينوم، $MoSi_2$.
- كربيد السليكون، SiC، وهو قاسٍ ودرجة حرارة انصهاره عالية جداً ومعروف تماماً بوصفه مادة كاشطة. ويمكن أيضاً أن يتلبد على هيئة سيراميك يستعمل في صناعة الدروع.
- السيلان، $SiH_4$، وهو غاز تلقائي الاشتعال وله بنية رباعي وجوه مماثلة لبنية الميثان. وعندما يكون نقياً لا يتفاعل مع الماء النقي أو الحموض الممددة. ورغم ذلك، فإن كميات قليلة من شوائب قلوية من زجاج المختبر يمكن أن تنتج خلال تحلل مائي بطيء. وهناك عدد من هدريدات السليكون السلسلية التي تشكل سلاسل متجانسة من المركّبات، $Si_nH_{2n+2}$ حيث $n$ تقع بين 2 و8 (مشابهة للألكانات). تتحلل جميع هذه المركّبات بسهولة في الماء وهي ثابتة حرارياً، وبخاصة مركّباتها الثقيلة.
- مركّبات تتألف من ذرّتي سليكون وروابط مضاعفة (مماثلة للألكنات). تكون عادة شديدة الفعالية، وتتطلب مجموعات تفرعية عديدة لتصبح ثابتة. كما عزلت في العام 2004 مركّبات تتألف من ذرّتي سليكون وروابط ثلاثية، غير أنه نظراً لعدم وجود ترابط خطي لهذه المركّبات فإنها غير مشابهة للألكينات.
- رباعيات الهالوجين، $SiX_4$، وتتشكل مع جميع الهالوجينات. فعلى سبيل المثال، يتفاعل رباعي كلوريد السليكون مع الماء، بخلاف مشابهه الكربوني، رباعي كلوريد الكربون. تتشكل مركّبات سليكونية ثنائية الهالوجين عبر تفاعل ذي درجة حرارة عالية لرباعي الهالوجين مع السليكون، ولها بنية مشابهة للكربن، وهي مركّبات فعّالة. يتكثف ثنائي فلوريد السليكون مشكلاً مركّباً بوليميرياً، $(SiF_2)_n$.
- ثنائي أكسيد السليكون وهو مركّب صلب صعب الانصهار وله عدد من الأشكال البلورية المختلفة، والأكثر شيوعاً بينها هو فلز الكوارتز. ففي الكوارتز تحاط كلّ ذرّة سليكون بأربع ذرّات أكسجين ترتبط بدورها مع ذرّات سليكون أخرى لتشكل شبيكة ثلاثية الأبعاد. تنحل السليكا في الماء عند درجات حرارة مرتفعة مشكلة مجموعة من المركّبات المسمّاة حمض السليسيليك الأحادي، $Si(OH)_4$.
- يتبلمر حمض السليسيليك الأحادي بسهولة بوجود شروط مناسبة ليشكل حموضاً سليسيليكية أكثر تعقيداً تتدرج من أبسطها تكاثفاً، حمض ثنائي السليكون $(H_6Si_2O_7)$ وحتى الخطي والشريطي والطبقي والبنى الشبكية التي تشكل أساساً لفلزات سليكونية مختلفة عديدة وتُسمّى أحماضاً متعددة السليكون $\{Si_x(OH)_{4-2x}\}_n$.
- يمكن لتفاعل ثنائي أكسيد السليكون مع أكاسيد عناصر أخرى، وبوجود درجة حرارة عالية، أن يعطي طيفاً واسعاً من الزجاجيات بخصائص متنوعة. نذكر أمثلة من هذه الزجاجيات زجاج جير الصودا soda lime glass وزجاج سليكات البور borosilicate glass وزجاج بلوري زئبقي lead crystal glass.
- كبريت السليكون، $SiS_2$، وهو صلب بوليميري (غير مشابه لمماثله الكربوني السائل $CS_2$).

- يشكل السليكون مع النتروجين مركّباً $Si_3N_4$ سيراميكياً. السيلاترانات، وهي مجموعة من مركّبات ثلاثية الحلقة تحتوي خمس ذرّات سليكون ترابطية، ويمكن أن تتمّتع بخصائص فيزيولوجية.

- هناك معقدات معادن انتقالية عديدة تحتوي رابطة سليكونية معدنية معروفة الآن، وتتضمن معقدات مربوطات من نوع $SiH_nX_{3-n}$ و$SiX_3$ و$Si(OR)_3$.

- تشكل السليكونات مجموعة كبيرة من المركّبات البوليميرية مع سلسلة (Si-O-Si). ومثال عليها هو زيت السليكون (poly-dimethylsiloxane) PDMS. يمكن لهذه البوليميرات أن تتقاطع لتشكل ريزينات ومواد لاصقة.

- يُعرف العديد من المركّبات السليكونية العضوية المحتوية على رابطة بسيطة سليكون–كربون. ويعتمد العديد منها على ذرّة سليكون رباعية الوجوه مركزية، كما أن بعضها فعّال ضوئياً عند وجود عدم تطابق ذرّي مركزي. هذا وتوجد سلاسل بوليميرية طويلة تحتوي سلسلة سليكون، ومثال عليها $(SiMe_2)_n$. يستعمل المركّب $[(SiMe_2)_2CH_2]_n$ ذو السلسلة المحتوية على وحدة متكررة من Si-Si-C- بوصفه بادئاً لإنتاج ألياف كربيد السليكون.

## قصته

لم يتمّ الحصول على بلّورات سليكونية نقيةً إلاّ في الـ 31 عاماً الأخيرة. ونظراً لأهمية السليكون العنصري في صناعة أنصاف النواقل والتجهيزات ذوات التقانة العالية، فقد حملت اسمه مراكز عديدة في العالم، ومثال على ذلك نذكر وادي السليكون في كاليفورنيا. ترجع هذه التسميات إلى كون المواقع المعنية تشكل قواعد لعدد من المصانع التقانية المتعلقة بالسليكون.

## تطبيقاته

### تطبيقات مركّباته

تستعمل غالبية السليكون في الصناعة دون فصله على هيئة عنصر. وعملياً، غالباً ما يتمّ الاستعمال بعد تطبيق طرائق بسيطة من أجل الحصول عليه من مصادره الطبيعية. أكثر من 90% من القشرة الأرضية مكون من فلزات سليكاتية. ويجد العديد منها تسويقاً مباشراً، مثل الصلصال ورمال السيليكا وأكثرها أحجار تستعمل في البناء. فعلى سبيل المثال، تشكل السليكا جزءاً مهمّاً من أحجار السيراميك. وتستعمل السليكات في صناعة الإسمنت الداخل في البناء والطينة والجبصين. وتتمّ غالبية هذه الاستعمالات اعتمّاداً على رمل السليكا والحصى لصناعة الإسمنت الذي يشكل أساساً لمشاريع بناء صناعية ضخمة في عالمنا الحديث.

تعمل مركّبات السليكون الأكثر حداثة بصفتها لاصقاً في التقانات العالية وفي السيراميك القوي جداً المعتمد على كربيد السليكون، وتستعمل أيضاً في الخلائط ذات الخصائص الفائقة.

تشكل سلاسل الكربون–سليكون المتعاقبة والمرتبطة بالهدروجين مع روابط السليكون المتبقية مواد بوليميرية معتمدة على السليكون ومعروفة باسم سليكات. تحتوي هذه المركّبات على روابط سليكون–أكسجين وأحياناً روابط سليكون–كربون، وتتمّتع هذه الروابط بقدرة على الفعل بوصفها وسائط ربط بين الزجاج والمركّبات العضوية، مشكلة بوليميرات ذات خصائص مفيدة، مثل عدم نفوذية المياه والليونة والمقاومة للتأثير الكيميائي. تستعمل السليكات غالباً في المعالجات اللازمة للحماية من المياه وفي مركّبات الزينة المعمارية والوصل الميكانيكي والشموع والمزلقات ذات درجات الحرارة العالية. كما يستعمل السليكون أحياناً في زراعة الأثداء وعدسات الرؤية والمتفجرات وتقانات الألعاب النارية.

### تطبيقات خلائطه

يُضاف السليكون العنصري إلى الفولاذ الحديدي المنصهر أو إلى خليطة سليكون الكالسيوم بهدف تحسين الأداء في حالة مقاطع الفولاذ الرقيقة، وكذلك بهدف تجنب تشكل كربيد الحديد عندما يتعرض الفولاذ للهواء الخارجي. يعمل وجود السليكون العنصري في الحديد المنصهر كمخفض للأكسجين، لذا فإن محتوى الفولاذ من الكربون، الذي يجب أن يبقى عند حدود ضيقة في كل نوع من الفولاذ، يمكن أن يخضع لرقابة دقيقة. إن إنتاج الحديد السليكوني واستعماله هو ضابط لصناعة الفولاذ، ورغم أن هذا الشكل من السليكون العنصري غير نقي، إلاّ أنه يشكل 80% من الاستعمال العالمي للسليكون الحر.

يمكن استعمال خصائص السليكون بحدّ ذاته لتعديل الخلائط. وتكمن أهمية السليكون في صبات الألمنيوم في أن كمية عالية (12%) من السليكون في الألمنيوم تشكل خليطاً تخصصياً يتصلب

بوجود انخفاض حراري ضئيل جداً. كما أن السليكون يحسن بشكل ملحوظ قساوة الألمنيوم واستمرار بقائه. كما يُعدّ السليكون مكوناً مهمّاً في الفولاذ الكهربائي، معدلاً مقاومته وخواص مغنطته الحديدية.

تكون نقاوة السليكون المخصّص للتعدين بين 95 و99%. وإن حوالي 55% من الاستهلاك العالمي للسليكون التعديني يذهب لإنتاج خلائط ألمنيوم–سليكون تستعمل بشكل أساسي في صناعة السيارات. وغالبية ما يتبقى من السليكون التعديني يستعمل في الصناعة الكيميائية للحصول على السليكا الدخانية، بوصفه منتجاً صناعياً مهمّاً. وما يتبقى يستعمل في إنتاج كيماويات دقيقة أخرى مثل السيلانات وبعض أنواع السليكونات.

**تطبيقاته الإلكترونية**

نظراً لأن غالبية المنتج السليكوني العنصري يستهلك في الخلائط الحديدية السليكونية، فإن كمية قليلة (20%) فقط من المنتج السليكوني العنصري تنقى إلى درجة الصنف التعديني. ويقدر جزء المعدن السليكوني المنقى لتصنيع أنصاف النواقل بحدود 15% من الإنتاج العالمي للسليكون التعديني. ومع ذلك فإن الأهمية الاقتصادية لهذه الكمية البسيطة العالية النقاوة (وخاصة الـ 5% المعالجة للحصول على سليكون وحيد البلورة لاستعماله في الدارات المتكاملة) تعدُّ كبيرة نسبياً.

يستعمل السليكون الوحيد البلورة النقي لإنتاج شرائط سليكونية تُستهلك في صناعة أنصاف النواقل وفي الإلكترونيات وفي بعض التطبيقات الكهرضوئية الغالية الثمن والعالية الفعالية. وبتعبير ناقلية الشحنة، يُعدّ السليكون نصف ناقل حقيقي مما يعني أنه على عكس المعادن فهو ينقل ثقوباً إلكترونية وإلكترونات قد يمكنها الانفلات من ذرّات ضمن البلورة بوساطة الحرارة، مما يزيد من الناقلية الكهربائية للسليكون مع ارتفاع درجات الحرارة. يمتلك السليكون النقي ناقلية منخفضة لدرجة أنه يستعمل بوصفه عنصر دارة في الإلكترونيات دون أن يطعم بتراكيز صغيرة من بعض العناصر الأخرى. تزيد هذه العملية بشكل كبير ناقليته وتنظم استجابته الكهربائية من خلال السيطرة على عدد الحوامل الفعّالة (موجبة أو سالبة) وشحناتها. إن هذه السيطرة ضرورية للترانزستورات والخلايا الشمسية وكواشف أنصاف النواقل وأدوات نصف ناقلة أخرى تستعمل في صناعة الحواسيب وتطبيقات تقنية أخرى. فعلى سبيل المثال، يمكن استعمال السليكون في الفوتونات السليكونية بوصفه وسطاً ليزرياً رامانياً مستمر الموجة لإنتاج ضوء مترابط، ومع ذلك فهو غير فعّال لاستعماله بوصفه مصدراً للضوء العادي.

وفي الدارات التكاملية العادية، يخدم شريط من السليكون وحيد البلورة بوصفه داعماً ميكانيكياً للدارات المصنعة بالتطعيم ومعزولة بعضها عن البعض الآخر بوساطة طبقات رقيقة من أكسيد السليكون، وهو عازل يمكن إنتاجه بسهولة من خلال تعريض العنصر للأكسجين تحت ظروف مناسبة. أصبح السليكون المادة الأكثر شعبية لبناء أنصاف نواقل عالية القدرة ودارات متكاملة على السواء، لأنه من بين جميع العناصر، يُعدّ السليكون هو نصف الناقل الذي باستطاعته تحمل أعلى الاستطاعات وأعلى درجات الحرارة دون أن يفقد وظيفته العائدة لانهيار غامر، وهي عملية ينشأ فيها انغمار إلكتروني بوساطة عملية تفاعل متسلسل يحدث فيه إنتاج إلكترونات حرة وثقوب، مما ينتج بدوره مزيداً من التيار الذي ينتج مزيداً من الحرارة. إضافة إلى ذلك، فإن الأكسيد العازل لا ينحل في الماء، مما يعطيه ميزة على الجرمانيوم (العنصر الذي له المواصفات نفسها ويمكن أيضاً استعماله في الأدوات نصف الناقلة) في بعض أنماط تقنيات التصنيع.

تبلغ تكاليف إنتاج السليكون الوحيد البلورة قيمة عالية، وهو يُحضّر عادة لإنتاج الدارات المتكاملة فقط، حيث يمكن إدخال شوائب بلورية في مسارات دارة بالغة الصغر. وفي الاستعمالات الأخرى، ثمة إمكانية لاستعمال أنماط أخرى من السليكون النقي التي لا توجد على هيئة بلورات وحيدة. يتضمن مثل هذه الأنماط سليكوناً غير متجانس مهدرج وآخر منقى لدرجة النقاوة التعدينية، ويُستعمل هذان النمطان في إنتاج أنواع منخفضة الأثمان والحصول على إلكترونيات ذات سطوح كبيرة يجري استعمالها في تطبيقات مثل شاشات البلورات السائلة، وكذلك في الخلايا الشمسية ذات الأفلام الرقيقة المنخفضة السعر وذات المساحات الواسعة. إن مثل هذه النقاوات السليكونية المستعملة في أنصاف النواقل التي هي أقل نقاوة بقليل من تلك المستعملة في الدارات المتكاملة، أو التي تنتج على هيئة بلورات متعددة بدلاً من بلورات منفردة، تكون تقريباً مساوية لكمية السليكون المنفرد البلورات المنتج لصناعة أنصاف النواقل، أو بين 75000 و150000 طن متري سنوياً، علماً أن إنتاج مثل هذه المواد يتزايد بسرعة أكبر من إنتاج السليكون المتجه إلى أسواق الدارات المتكاملة. ويخطط منتجو السليكون المنفرد البلورات، المستعمل على الأغلب في الخلايا الشمسية، للوصول إلى 200000 طن متري

سنوياً، في حين يبقى إنتاج سليكون أنصاف النواقل المنفرد البلورة (المستعمل في الرقاقات المكروية للحواسيب) أقل من 50000 طن سنوياً.

## دوره البيولوجي

بالرغم من وجود السليكون بسهولة على هيئة سليكات، إلاّ أن هناك قلة من المتعضيات التي تستعمله. تستعمل ثنائيات الذرّة والإسفنجيات السليكونية السليكا المنتجة بفعل الكائنات الحية بوصفها مادة بنيوية لتشكيل الهياكل العظمية. وفي النباتات الأكثر تطوراً تكون السليكا أجساماً مكروسكوبية صلبة تحصل في الخلية. وتحتاج بعض النباتات، كالرز على سبيل المثال، إلى السليكون لنموها. ورغم اقتراح استعمال السليكون بكميات فائقة الصغر ليستعمل في التغذية، إلاّ أن وظيفته الحقيقية في البيولوجيا الحيوانية ما تزال في طور النقاش. تعرف المتعضيات العليا فقط في استعمالها لكميات محدودة جداً على هيئة حمض سليكوني وسليكات منحلة.

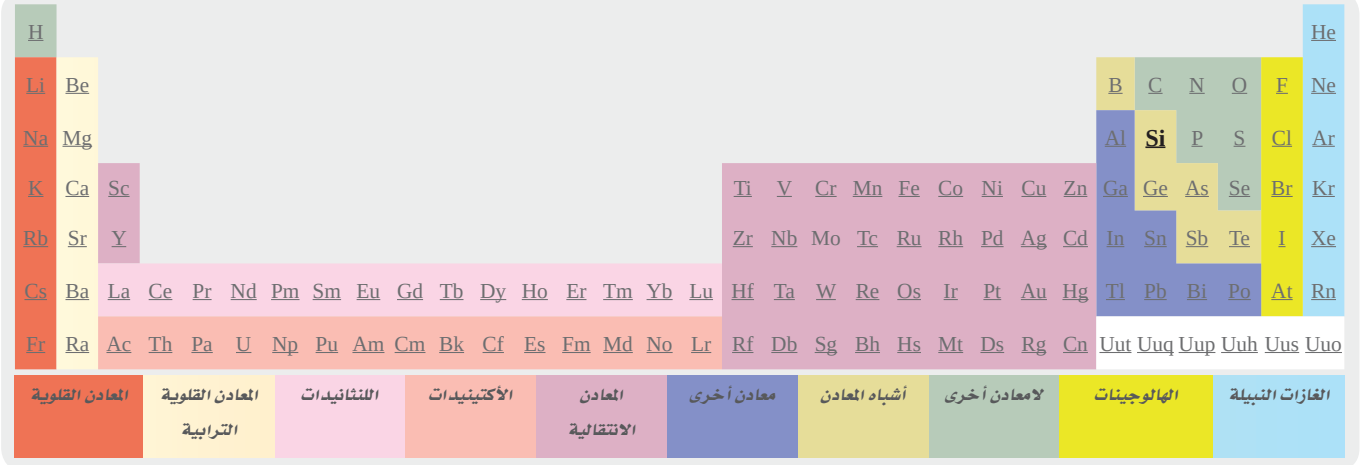
أظهر السليكون في الجامعات وحقول الدراسات البحثية إمكانية تحسين قوة جدار الخلية النباتية، كما يحسن تكامله البنيوي مواجهة الجفاف والصقيع. أظهر السليكون تحسناً في نشاط النبات وفيزيولوجيته من خلال زيادة كتلة المجموع الجذري وكثافته، كما أنه يعزز المجموع الخضري فوق الأرض.

تشكل المتعضيات الحية الافتراضية المعتمدة على السليكون موضوعاً للكيمياء الحيوية للسليكون، وذلك بالتشابه مع الأشكال الحية المعتمدة على الكربون. ونظراً لوقوع السليكون تحت الكربون في الجدول الدوري، فيعتقد أن له خصائص مشابهة إلى حدٍّ ما بحيث تجعل الحياة المعتمدة على السليكون ممكنة، لكن بشكل مختلف تماماً عن الحياة التي نعرفها.

إعداد: د. عادل حرفوش، رئيس هيئة التحرير.

مركّبات السليكون: $SiBr_4$, SiC, $SiCl_4$, $SiF_4$, $SiH_4$, $SiI_4$, SiO, $SiO_2$, $SiS_2$, $Si_3N_4$

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه



# ورقات علمية

## التأثير الإشعاعي للأكوام الفسفوجبسوم في النظام البيئي المحيط

Radiological impact of phosphogypsum in the surrounding ecosystem

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

ملخص

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

لم تُؤدِّ أكوام الفسفوجبسوم إلى زيادة تركيز غاز الرادون-222 أو جرعة التعرّض الخارجي لأشعة غاما في المنطقة المُحيطة، وبلغت الجرعة السنوية الفعّالة 0.082 ملي سيفرت/سنة. كما بلغ المتوسط الهندسي للعوالق الكُليّة 85 ميكرو غرام/م$^3$. أما تركيز النكليدات المشعة الطبيعية في مياه الرشح ومياه الجريان السطحي فكانت أقل من حدّ الكشف، والأمر نفسه بالنسبة للنكليدات المُشعّة في المياه الجوفية ومياه بحيرة قطينة والتي كان تركيزها أقل بكثير من الحد المسموح به (من قبل منظمة الصحة العالمية) في مياه الشرب.

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

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

• نُشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Environmental Management*.

## إنتاج أنزيم الكسيلاناز خارج الخلية من أنواع الفطر Fusarium تحت ظروف التخمير الصلبة

Extracellular Xylanase Production by Fusarium Species in Solid State Fermentation

محمد عماد الدين عرابي، ياسر البكري، محمد جوهر
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

برهن جنس الفطر الفيوزاريوم بأنه متعضية واعدة لتحفيز إنتاج الكسيلاناز. جرى في هذه الدراسة تقييم إنتاج أنزيم الكسيلاناز من 21 عزلة من فطر Fusarium (8 من culmorum Fusarium و 4 من Fusarium solani و 6 من Fusarium ver-ticillioides و 3 من Fusarium equiseti) تحت ظروف التخمير الصلبة. كانت العزلة الفطرية Fusarium solani SYRN7

أفضل منتج لأنزيم الكسيلاناز من بين العزلات المختبرة. تم أمثلة تأثير بعض المخلفات الزراعية (مثل تبن القمح ونخالة القمح وتفل الشوندر وكسبة القطن) وفترة الحضانة على إنتاج أنزيم الكسيلاناز من الفطر F.solani. لوحظ أعلى إنتاج لأنزيم الكسيلاناز (1465.8 وحدة/غ) عند استخدام نخالة القمح بعد 96 ساعة من الحضانة. كان رقم الأس الهدروجيني 5 ودرجة الحرارة 50 درجة مئوية الأمثل في عملية التحضين.

*الكلمات المفتاحية: الفيوزاريوم، الكسيلاناز، وسط التخمير الصلب.*

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Polish Journal of Microbiology*.

## عينات من السيليسيوم البوليمورف المتعدد الأشكال موضعة بمعدلات توضيع مرتفعة موصفة بمختلف التقنيات السعوية

High deposition rate hydrogenated polymorphous silicon characterized by different capacitance techniques

**د. رامي درويش بيريه**

**قسم الفيزياء**

**روكا كاباروكاس**

**مخبر فيزياء السطوح البينية والأفلام الرقيقة، مدرسة البوليتكنيك-فرنسا**

**ملخص**

جرى توصيف عينات من سيليسيوم البوليمورف موضعة باستخدام معدلات توضيع عالية باستخدام مختلف التقنيات السعوية. جرت دراسة توزع الحالات المتموضعة وبعض الخصائص الإلكترونية من خلال تغير سعة ديودات شوتكي بدلالة كل من: درجة الحرارة وتردد القياس والانحياز العكسي والمطيافية الانتقالية للمصائد العميقة. أظهرت النتائج من عيناتنا المختلفة وجود مجموعات مختلفة من حالات سويات العيوب في الفرجة الطاقية تختلف باختلاف شروط التوضيع.

بالمقارنة مع نتائج حصلنا عليها لعينات من السيليسيوم اللابلوري المهدرج موضعة ضمن شروط قياسية أبدت عينات البوليمورف الموضعة من أجل معدلات توضيع عالية انخفاضاً في تركيز الحالات في الفجوة. كما بينت نتائجنا أن العينات التي تبدي مجموعة واحدة فقط من السويات في الفجوة وأخفض تركيز لهذه الحالات هي تلك الموضعة من أجل معدل توضيع 8 Å/s.

*الكلمات المفتاحية: سيليسيوم بوليمورف، معدلات توضيع عالية، سعة، مطيافية انتقالية للمصائد العميقة.*

• نشرت هذه الورقة في مجلة *Thin Solid Films*.

## تقليل دالة فير لتفسير شاذات مغنطيسية عائدة لبنى أقراص رقيقة، وكرات وفوالق

Fair Function Minimization for Interpretation of Magnetic Anomalies Due to Thin Dikes, Spheres and Faults

**محمد طلاس، جمال أصفهاني**

**قسم الخدمات العلمية**

**ملخص**

تم اقتراح طريقة جديدة لتفسير شاذات مغنطيسية عائدة لبنى شبيهة بقرص رقيق وكرة و فالق، حيث تم الحصول وبشكل آني على العمق، والموضع الأفقي، وكثافة المغنطة الفعالة وانحراف المغنطة الفعال لبنية مطمورة. تستند الطريقة المقترحة إلى تقليل دالة فير وإلى نمذجة الأمثلة العشوائية. اختبرت هذه التقانة الجديدة أولاً على معطيات نظرية مولدة عشوائياً باختيار توزيع إحصائي من نموذج معروف مع وجود مركبات ضجيج عشوائية مختلفة. أظهرت هذه المحاكاة الرياضية توافقاً قريباً جداً بين الوسائط المفروضة والمقدرة. تم اختبار قابلية التطبيق والصلاحية لهذه الطريقة على معطيات مغنطيسية حقلية مأخوذة من الولايات المتحدة وأستراليا والهند. كان التوافق بين النتائج التي تم الحصول عليها بالطريقة الجديدة و تلك التي تم الحصول عليها بطرائق تفسيرية أخرى جيداً

وقابلاً للمقارنة. إضافة إلى ذلك، وجد أن العمق الذي تم الحصول عليه بهذه الطريقة على توافق كبير مع العمق الذي تم الحصول عليه من معلومات الحفر.

*الكلمات المفتاحية: شاذ مغنطيسي، دالة فير، الأمثلة العشوائية، النمذجة الرياضية، العكسية لشاذ مغنطيسي حقلي.*

- نشرت هذه الورقة في مجلة *Journal of applied geophysics*.

## تقصي تأثيرات زرع ذرات نحاس وقنويتها بطاقة في مجال الميغا إلكترون-فولت في تشكل السليكون المسامي

Investigation of MeV-Cu implantation and channeling effects into porous silicon formation

*مثنى أحمد*، منذر نداف***

** مخبر المسرع الأيوني، قسم الكيمياء، ** قسم الفيزياء*

**ملخص**

زُرعت شرائحُ من السليكون ذات التوجه (111) بأيوناتٍ من النحاس بطاقةٍ مقدارها 2.5 ميغا إلكترون-فولت في الاتجاهات العشوائية والقنوية باستخدام المسرع الأيوني في هيئة الطاقة الذرية السورية. جرى تقصي تأثير اتجاه الزرع في طريقة تشكل السليكون المسامي باستخدام التنميش الإلكتروكيميائي، وذلك بواسطة تقنيات المجهر الإلكتروني الماسح والإصدار الضوئي. كشفت تقنية المجهر الإلكتروني الماسح عن أن أبعاد المسامات المتشكلة وشكلها وكثافتها تتأثر بشكلٍ كبير باتجاه الحزمة الأيونية المزروعة. وهذا بدوره يؤثر في سلوك الإصدار الضوئي للسليكون المسامي المتشكل.

*الكلمات المفتاحية: حزم أيونية، زرع أيوني، قنوية، سليكون مسامي، إصدار ضوئي*

- نشرت هذه الورقة في مجلة *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 269, 2011, 2474–2478*.

## دراسة حالة جيوفيزيائية للبنى الضحلة والعميقة تستند إلى طرائق التفسير التقليدية والمعدلة: تطبيق في الدراسات التكتونية والاستكشاف المعدني

Geophysical Case Study of Shallow and Deep Structures Based on Traditional and Modified Interpretation Methods: Application to Tectonic Studies and Mineral Exploration

*جمال أصفهاني، قسم الجيولوجيا*

**ملخص**

تم، وبشكل طفيف، تعديل تشكيل شلومبرجير المستخدم في السبر الجيوكهربائي للحصول من المسح ذاته على معطيات موثوقة لكل من أعماق الاختراق الضحلة والعميقة. وفي هذا التشكيل، يُستخدم نوعان من تباعدات التيار: يمكّن النوع الأول من الحصول على منحنيات السبر الجيوكهربائي العمودي (VES) للأعماق الضحلة (< 50 متراً)، أما الثاني فهو لأعماق أكبر أو تساوي 250 متراً. لهذا ومن أجل موقع سبر VES، يتم قياس منحنيين حقليين وتفسيرهما باستخدام مقاربتين معياريتين. تم توضيح الخصائص العملية لمثل هذا التشكيل المعدل من خلال تطبيقين عمليين في سورية. يهدف التطبيق الأول إلى توصيف بنية توضعات الرباعي والحديث في منطقة منخفض الغاب، في حين يتعامل التطبيق الثاني مع استكشاف الوحدات الفوسفاتية الرسوبية في منجم الشرقية.

*الكلمات المفتاحية: التكتونيك الحديث، التكتونيك الحديث، فوسفات، طرائق جيوكهربائية لكشف البنى الضحلة والعميقة، خنادق، سورية.*

- نشرت هذه الورقة في مجلة: *Exploration and Mining Geology, 2011*.

# تقارير علمية

## تقييم استجابة الفئران المصابة بالبروسيلا الضأنية 16م لبعض الكينولونات مقارنة مع الدوكسي سكلين

Response evaluation of mice infected with Brucella melitensis 16M to some quinolones,comparing with doxycycline

د. مازن صافي، د. بسام البلعة، د. أيمن المريري، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

تم تقييم الدور الوقائي لبعض أدوية زمرة الكينولونات في الحد أو السيطرة على أخماج البروسيلا الضأنية بالمقارنة مع الدوكسي سكلين. أظهرت النتائج عند إحداث الخمج بتركيز منخفض من البروسيلا بأن السبارفلوكساسين والليفوفلوكساسين والدوكسي سكلين قد أحدثوا انخفاضاً في الحمل البكتيري في طحال الفئران المدروسة إذا تم إعطاؤها قبل أو بعد أو في نفس يوم إعطاء البكتيريا. أما عند إحداث الخمج بتركيز عالٍ من البروسيلا فقد أبدى السيبروفلوكساسين أفضل النتائج في جميع المجموعات المدروسة. أبدت الدراسة على المشاركات الدوائية بأن المشاركة بين الدوكسي سكلين والريفامبيسين وبين الريفامبيسين والليفوفلوكساسين كانتا أكثر فاعليةً مقارنةً مع بقية المشاركات.

الكلمات المفتاحية: بروسيلا ضأنية، صادات، كينولونات، داء البروسيلات.

## تحفيز المقاومة عند نبات الكرمة بواسطة الريزوبكتيريا غير الممرضة ضد الفيلوكسيرا

Induced-resistance in grape by non-pathogenic rhizobacteria against grape phylloxera

د. أكرم آدم، د. حياة المكي، عماد إدريس، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

جرت دراسة تأثير بكتيريا Pseudomonas putida BTP1 على درجة تحمل صنف الكرمة المحلي «البلدي» لحشرة الفيلوكسيرا. أشارت النتائج إلى وجود اختلافات في دورة حياة حشرة الفيلوكسيرا على النباتات المعاملة بالبكتيريا مقارنة مع النباتات غير المعاملة. فقد أثرت البكتيريا بشكل سلبي على القدرة على البقاء وعدد البيوض ومدة التطور، أي ازدادت مقاومة أو درجة تحمل النبات لهذه الآفة مع معاملة نبات الكرمة بالبكتيريا.

كان لتركيز البكتيريا ومدة غمر النبات بالمعلق البكتيري تأثير إيجابي على درجة تحمل النبات لحشرة الفيلوكسيرا، فقد ارتفعت درجة تحمل النبات مع ارتفاع تركيز البكتيريا وزيادة مدة الغمر.

تقدم الدراسة الحالية معلومات يمكن أن تستثمر بشكل فعال عند دراسة الأثر الوقائي لبكتيريا P. putida BTP1 لنباتات الكرمة ضد حشرة الفيلوكسيرا وذلك للوصول إلى آليات حيوية وفعالة للسيطرة على هذه الآفة.

الكلمات المفتاحية: فيلوكسيرا، كرمة، ريزوبكتيريا، *Pseudomonas putida BTP1*.

## معاملات انتقال الراديوم-226 والرصاص-210 والبولونيوم-210 من التربة الملوثة بالمواد المشعة الطبيعية الى شجيرات الرغل والفصة والأعشاب

Transfer Factor of Radium-226, Lead-210 and Polonium-210 from NORM Contaminated Soil to Atriplex, Afelfa and Bermuda Grasses

د. محمد سعيد المصري، هيام مخلاتي، أحمد الحموي، قسم الوقاية والأمان

ملخص

جرى تعيين معاملات انتقال الراديوم-226 والرصاص-210 والبولونيوم-210 من تربة ملوثة بالمياه المرافقة للنفط إلى بعض النباتات الرعوية في المنطقة الشرقية الشمالية من سورية. جمعت عينة تربة ملوثة من أحد حقول النفط التابعة لشركة الفرات للنفط وزرعت في أصص ومن ثم زرعت فيها النباتات المدروسة لتعيين معاملات انتقال النظائر المشعة إليها. بينت النتائج أن متوسط معاملات انتقال الراديوم إلى الأجزاء النباتية قد بلغ 0.0016 في نبات الرغل الملحي، و 0.0021 في نبات الرغل الأمريكي، و 0.0025 في نبات الرغل السوري، و 0.0082 في نبات البرمودا و 0.0167 في نبات الفصة وهو الأعلى، في حين كانت معاملات انتقال البولونيوم والرصاص أعلى بمقدار

عشر مرات تقريباً مما هي عليه في حالة الراديوم، إذ وصلت إلى 0.012 في نبات الرغل السوري، و 0.011 في نبات الرغل الأمريكي، و 0.007 في نبات الرغل الملحي، و 0.032 في نبات البرمودا و 0.025 في نبات الفصة.

*الكلمات المفتاحية: معاملات الانتقال، الراديوم-226، الرصاص-210، البولونيوم-210، الرغل، نباتات رعوية، تربة ملوثة، حقول النفط السورية.*

## تحسين مواصفات الخرسانة السورية المستخدمة في خزن النفايات المشعة السائلة المنخفضة النشاط الإشعاعي والمديدة نصف العمر

Improvement of the Syrian Concrete Used in the Storage of Low-Level Radioactive Wastes and Long Half-Live

*د. إسماعيل شعبان، نسيم عاصي، قسم الهندسة النووية*

ملخص

تمت دراسة معدل الارتشاح للنظير المشع $^{134}Cs$ من خلال الإسمنت البورتلاندي السوري بدون مواد مضافة أو بإضافتها بنسبة 1 و 2 و 3% من المايكروسيليكا، والبوزولون، والدولومايت، والصوان والباريت لتحسين مواصفات الخرسانة السورية المستخدمة في عملية التخلص من النفايات المشعة السائلة المنخفضة النشاط الإشعاعي. لوحظ تحسن (انخفاض) في قيمة معدل ارتشاح النظير المشع $^{134}Cs$ عند استخدام كل من: مايكروسيليكا، وبوزولون وباريت، وزيادة في قيمته عند استخدام الدولومايت والصوان مقارنة بالإسمنت البورتلاندي. تم اختبار المركب الإسمنتي الناتج مع مواد مضافة وبدونها على تحمل درجات الحرارة، والضغط، والغمر الطويل بالمياه، والتجمد والتمييع، وتحمل جرعات إشعاعية عالية لتقييم مدى صلاحيته في استخدامه في عملية التخلص في هذا النوع من النفايات. لوحظ تغير في هذه المعاملات ضمن الحدود المسموحة، لذا يمكننا القول إن هذا المركب الناتج يمكن استخدامه في عملية التخلص من هذا النوع من النفايات المشعة.

*الكلمات المفتاحية: نفاية مشعة، النظير $^{134}Cs$، إسمنت بورتلاندي، مايكروسيليكا، بوزولون، باريت، صوان، دولومايت، معدل الارتشاح.*

## انتاج مادة النشاء المصبوغ بصبغة (Starch-RBB) Remazol Brilliant Blue المستخدمة للكشف عن نشاط أنزيم الأميلاز

Production of Starch-RBB (Remazol Brilliant Blue) which used for amylase activity detection

*د. ياسر البكري، سمير الخوري، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية*

ملخص

يعد النشاء Starch المصبوغ بصبغة Remazol Brilliant Blue من المواد المهمّة في المخابر البحثية، حيث تضاف إلى وسط الآغار Agar في أطباق الزراعات الجرثومية فتساعد بالكشف عن العزلات المنتجة لأنزيم الأميلاز Amylase عبر إحداث هالات شفافة تحيط بالعزلة. ونظراً لغلاء ثمنها (100000 ل.س/25 غ) وصعوبة تأمينها ووجود المواد والتجهيزات التي تمكننا من إنتاج هذه المادة في قسم التقانة الحيوية فقد عملنا على تحضيرها مخبرياً بسعر بسيط بلغ (5600 ل.س/25 غ) وقد غطينا حاجة القسم منها وهي الآن موجودة بعبوات جاهزة للبيع لأجل المراكز البحثية الخاصة أو العامة.

*الكلمات المفتاحية: أميلاز، نشاء مصبوغ، أحياء دقيقة.*

## دراسة تأثير بعض المركبات الفعالة المعزولة من نباتات المردقوش البري والآس العطري والزعتر البري على بعض أنواع البكتيريا

Studying the antibacterial effects of some phytochemical compounds isolated from Origanum syriacum, Thymus syriacus and Myrtus communis on some bacteria

*د. أيمن المريري، غياث سويد، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية*

*عدنان عودة، قسم الكيمياء*

ملخص

تم استخلاص الزيوت العطرية للنباتات: المردقوش البري والآس العطري والزعتر البري بطريقة الجرف مع البخار. اسْتُخْدِمَت تقنيات الكروماتوغرافيا المختلفة وتقنيات الكروماتوغرافيا مع مطياف الكتلة في تحديد مكونات كل زيت عطري. كما استخدم جهاز الكروماتوغرافيا السائلة التحضيرية

في فصل مكونات هذه الزيوت وعزل بعضها عن بعض ليُعْمَدَ إلى اختبار تأثير كل مكوِّن على حِدة. تمت دراسة التأثير المثبِّط للزيوت العطرية المُسْتَخلَصَة على بعض السلالات البكتيرية المحلية سالبة وموجبة الغرام: الإشْرِيكِيَّة القولونِيَّة O157، السَّلْمونيلَة التِّيفِيَّة، الكلبْسيلَّة الرِّئَوِيَّة، اليَرْسَنِيَّة المُلْهِبَة للمعَى والقَوْلون O9، البروسيلَة الضأنية، المُتَقَلِّبَة، الزَّائِفَة الزنجارية، العُنْقودِيَّة الذهبية، اللِّيستَرِيَّة المُسْتَوحِدَة، العَصَوِيَّة الشَّمْعِيَّة. أظهرت نتائجنا وجود اختلاف في تأثير كامل الزيوت العطرية المستخلصة من النباتات المدروسة على الأنواع البكتيرية المختلفة، بالإضافة إلى اختلاف تأثير مكوناتها، كل على حِدة، على هذه الأنواع، حيث أثرت بعض المكونات دون غيرها وبنسب متباينة من نوع إلى آخر، إضافة إلى اختلاف تركيب الزيوت باختلاف مناطق جمع النباتات.

*الكلمات المفتاحية:* زيوت عطرية، بكتيريا، مردقوش بري، زعتر، آس عطري.

## قياس معدلات جرعة غاما العالية لمنبع الكوبالت 60 بالتنشيط الغماوي لرقائق الإنديوم والكادميوم

Measurement of high dose rates of $^{60}Co$ by gamma activation of $^{115}In$ and $^{111}Cd$ foils

د. خالد حداد، قسم الهندسة النووية

د. منذر قطان، أمجد طالب، قسم تكنولوجيا الإشعاع

ملخص

قُدِّمت في هذا العمل تقنية قياس معدلات جرعات غاما العالية باستخدام التفاعل النووي (γ،γ'). تتميَّز هذه التقنية بأنها رخيصة وسهلة وموثوقة ومُستقلة عن العوامل الكيميائية والفيزيائية التي تتأثر بها باقي الطرق. إضافةً إلى أن الاستجابة للجرعة الممتصة في هذه التقنية خطية وصالحة لقياس الجرعات العالية. شُعت في هذا العمل رقائق من الإنديوم والكادميوم بأشعة غاما من منبع $^{60}Co$ وقيست نشاطية الإيزوميرات الناتجة بمطيافية غاما. كما تمت معايرة هذه الرقائق لاستخدامها كمقياس جرعة كما قورنت نتائجها مع الطريقة التقليدية. وحُدِّد توزع الجرعة في حقل التشعيع باستخدام رقائق الإنديوم.

*الكلمات المفتاحية:* جرعات غاما العالية، التفاعل النووي (γ،γ')، منبع $^{60}Co$، إنديوم وكادميوم.

## دراسة فقد الطاقة الخطي لجسيمات ألفا في أوساط غازية مختلفة

Study the LET of Alpha particles in deferent gaseous media

د. رياض شويكاني، قسم الوقاية والأمان

د. بيداء الأشقر، جامعة دمشق، كلية العلوم، قسم الفيزياء

ملخص

جرى في هذا العمل دراسة تفاعل جسيمات ألفا مع كواشف الأثر النووي (كواشف الـ CR-39) وتم التحقق من حصول قمة براغ وذلك من خلال ملاحظة تغير أقطار آثار جسيمات ألفا المسجلة على هذه الكواشف بتغير المسافة بين المصدر والكاشف. حيث ظهر جلياً من خلال التجارب التي أجريت أن قطر الأثر يتعلق بانتقال الطاقة الخطي المحسوبة نظرياً والتي أكدت حدوث قمة براغ عند تفاعل جسيم ألفا مع هذه الكواشف. كما تم تصنيع حجيرة قابلة للتفريغ يمكن من خلالها دراسة تفاعل جسيمات ألفا مع أوساط غازية ومسافات وقيم تفريغ مختلفة. وقد تم التحقق من قاعدة براغ-كليمان من أجل الغازات ذات الوزن الذري القريب من الهواء.

*الكلمات المفتاحية:* انتقال الطاقة الخطي، جسيمات ألفا، قمة براغ، كواشف الأثر النووي، قاعدة براغ-كليمان.

## منهجية إنتاج المسبوكات الرصاصية

Methology of lead parts casting

عدنان عوكر، محمد هلال أسعد، د.علي المحمد، قسم الخدمات العلمية

ملخص

جرى في هذا العمل تسليط الضوء على الخطوات الأساسية في إنتاج المسبوكات المعدنية، واستخدام معدن الرصاص في بناء الأماكن المخصصة للتعامل مع الإشعاع المؤين، مع التركيز على كيفية إنتاج البلوكات الرصاصية في الهيئة، المستخدمة في بناء الخلايا الحارة وحواجز التدريع المختلفة. لهذا تمت دراسة القوالب الحالية لسكب البلوكات الرصاصية وحددت المشاكل الفنية فيها، ومن ثم تم وضع تصاميم من أجل أتمتة هذه القوالب، وذلك بهدف سهولة العمل وزيادة الإنتاجية.

*الكلمات المفتاحية:* سباكة، قالب، تدريع.

# 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 the different applications of the atomic energy.*


Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

*Director General of A.E.C.S.*

Editors-In-Chief

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Kaaka

Members of Editing Committee

Prof. Dr. F. Kurdali

Prof. Dr. M. Hamo-Leila

Prof. Dr. A. Henon

Prof. Dr. T. Yassin

Prof. Dr. N. Merali

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. Z. Katan

Distribution

Otaiba Moneim

Typesetting

Hanadi Kanafani

Gofran Nowruz

Artistic Layout

Bashar Masoud

Nabil Ibrahim

Mouhannad Al-baidah

Amal Kirot

Language Audit

Nawal AL-Halah

Rima Sendyan

Follow-up & coordination

Hassan Bakleh



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية