الهيئة العربية للطاقة الذرية

الذرة والتنمية

نشرة علمية إعلامية فصلية
المجلد الرابع والثلاثون ـ العدد الثاني 2022

هل يمثل الإشعاع مخاطر صحية جسيمة ؟

علاج الالتهابات بالأشعة المؤينة ـ منظور تاريخي وتقنيات ناشئة

تطبيقات التصوير بالرنين المغنطيسي النووي في الأبحاث النباتية

الحماية المادية للمواد والمرافق النووية: مواجهة عالمية لتحدٍ عالمي

الذرة في خدمة الإنسان

نشرة الذرة والتنمية، نشرة علمية إعلامية فصلية تهتم بزيادة وعي أبناء الوطن العربي بمختلف مجالات العلوم والتقنيات النووية واستخداماتها السلمية
تصدر عن الهيئة العربية للطاقة الذرية

إن الآراء والأفكار والمعلومات التي تنشر بأسماء كتّابها تكون على مسؤوليتهم
يسمح باستعمال ما ورد في هذه النشرة من مواد علمية أو فنية، بشرط الإشارة إلى مصدرها

المقالات والمراسلات توجه إلى رئيس تحرير نشرة الذرة والتنمية على عنوان الهيئة أدناه .
الإشتراكات والتوزيع : ترسل الطلبات إلى قسم التوثيق العلمي ــ إدارة الشؤون العلمية بالهيئة على العنوان أدناه مع إرفاق شيك باسم الهيئة العربية للطاقة الذرية بالمبلغ المطلوب أو إجراء تحويل بنكي إلى حساب الهيئة لدى الشركة التونسية للبنك رقم: 840-3/4173-90-100.
الإشتراكات السنوية : 10 دولارات أمريكية للأفراد
20 دولار أمريكي للمؤسسات
يضاف إليها 15 دولاراً أمريكياً قيمة مصاريف البريد

العنوان البريدي : الهيئة العربية للطاقة الذرية، 7، نهج المؤازرة، حي الخضراء 1003، تونس
الهاتف : 71.808.400 ـ الفاكس : 71.808.450
العنوان الإلكتروني: aaea@aaea.org.tn & aaea_org@yahoo.com
الموقع الإلكتروني: www.aaea.org.tn

الذرة والتنمية

نشرة فصلية ربع سنوية

تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية ـ تونس

المجلد الرابع والثلاثون ـ العدد الثاني 2022

لجنة التحرير

رئيس التحرير : أ. د. سالم حامدي

سكرتير التحرير : م. نهلة نصر

المراجعان : أ. د. ضو سعد مصباح

أ. د. يحيى خليل شخاترة

جدول المحتويات

الموضوع	الصفحة
✯ هل يمثل الإشعاع مخاطر صحية جسيمة ؟ ـ أ. د. عمر دسوقي	3
✯ علاج الالتهابات بالأشعة المؤينة ـ منظور تاريخي وتقنيات ناشئة ـ د. م. نشأت صقر	20
✯ تطبيقات التصوير بالرنين المغنطيسي النووي في الأبحاث النباتية ـ د. م. نشأت صقر	36
✯ الحماية المادية للمواد والمرافق النووية: مواجهة عالمية لتحدٍ عالمي ـ لواء. د. مصطفى طاهر	51
✯ أخبار عربية وعالمية ـ م. نهلة نصر	61
✯ أخبار الهيئة	63

هل يمثل الإشعاع مخاطر صحية جسيمة ؟ (*)

Abstract

Studies of actual health effects, especially thyroid cancers, following exposures are assessed. Radiation hormesis is explained, pointing out that beneficial effects are expected following a low dose or dose rate because protective responses against stresses are stimulated. The notions that no amount of radiation is small enough to be harmless and that a nuclear accident could kill hundreds of thousands of people are challenged in light of experience: more than a century with radiation and six decades with reactors. If nuclear energy is to play a significant role in meeting future needs, regulatory authorities must examine the scientific evidence and communicate the real health effects of nuclear radiation. Negative images and implications of health risks derived by unscientific extrapolations of harmful effects of high doses must be dispelled.

مقدمـــة

تم تصميم وإنشاء محطات الطاقة النووية الحديثة بعناية لتعمل على توفير الطاقة بطريقة خاضعة للرقابة مع الاحتفاظ بالمواد المشعة. يتم توظيف عدد كبير من فريق تشغيل المحطة المدربين بعناية لتشغيل وصيانة الهياكل والأنظمة والمكونات. هؤلاء الناس مشبعون بثقافة سلامة قوية ويقومون بعملهم وفق إجراءات شاملة. يخضع الجميع لعمليات تفتيش ومراجعات رقابية واسعة النطاق بشكل مستمر. إن

(*) المقالة مترجمة بتصرف عن مقالة بعنوان: Nuclear Energy and Health : And the Benefits of Low-Dose Radiation Hormesis المنشورة في Dose-Response Journal, February 2009, 7 : P. 52-89.

إطلاق النشاط الإشعاعي بشكل عام أقل من 1% من المستويات المسموح بها، ولا يضيف بشكل يمكن اكتشافه إلى الخلفية الطبيعية الإشعاعية بالقرب من محطات الطاقة النووية.

وعلى الرغم من العناية غير العادية التي يتم اتخاذها لتجنب الحوادث، قد يقع حادث وانبعاث نشاط إشعاعي. كما هو الحال مع أي حادث صناعي، سيتم إبلاغ الأشخاص الذين يعيشون بالقرب من المصنع على الفور وسيتم اتخاذ جميع تدابير الطوارئ لمنع أي شخص من تلقّي جرعة كبيرة من الإشعاع. لقد أظهرت الأبحاث أن تأثير الجرعات الإشعاعية المنخفضة على الكائنات الحية محفز بشكل عام وليس مثبطاً، وهذا يعني أن التعرض للإشعاع لن يكون ضاراً وربما حتى يكون مفيداً.

يستخدم العلماء والأطباء الإشعاع النووي في الطب لأكثر من 100 عام. وقد تم نشر العديد من الدراسات باستخدام الأشعة السينية في الدوريات العلمية، بشكل عام لوحظت التأثيرات المفيدة بعد التعرض لجرعات منخفضة أو معدل جرعة منخفض، بينما لوحظت آثار ضارة بعد الجرعات العالية أو معدلات الجرعات العالية. كشفت الأبحاث الحديثة عن قدر كبير من آليات بيولوجية عند التعرض للجرعات المنخفضة، مثل إنتاج مضادات الأكسدة وإصلاح الخلايا وإزالة الخلايا المتغيرة والمتحورة ، وكيفية تأثر هذه العمليات بالإشعاع. وقد أدى هذا إلى فهم كل من الآثار الصحية الإيجابية والسلبية للإشعاع.

إن تفهم الآثار الصحية للإشعاع سيزيل العديد من الاعتراضات على بناء محطات الطاقة النووية. على الرغم من أن تصميم هذه المحطات وبناءها وتشغيلها يفوق ما كان عليه في الماضي، إلاّ أن بعض الناس قلقون بشأن التعرض المحتمل للإشعاع. لقد حدثت بعض الحوادث الخطيرة خلال أكثر من 60 عاماً من الخبرة في تشغيل مئات المفاعلات وإدارة الوقود النووي المستخدم. وقد أثبتت هذه الحوادث تلقّي الجمهور جرعة منخفضة أو معدل جرعة منخفض. سيكون التعرض المتوقع في نطاق الجرعات الإشعاعية الطبيعية والتي اعتادت الكائنات الحية على تلقّيها.

الجرعات الإشعاعية أو معدلات الجرعات التي يتلقاها السكان من تشغيل محطة نووية قريبة منهم لا تضيف فعلياً، وبشكل يمكن اكتشافه، أية جرعات إضافية إلى الإشعاع الطبيعي الموجود. ولن تتسبب حوادث المفاعلات النووية، حتى الكبيرة

منها، في تعرض السكان القريبين لجرعات إشعاعية أعلى من عتبة التأثيرات الصحية الضارة، خاصة إذا كانت اتخذت الإجراءات المعقولة لتجنب الجرعات الكبيرة المحتملة. لذلك، فإن إثارة مخاوف عامة لا داعي لها حول مخاطر الإشعاع عند مناقشة الطاقة النووية غير مناسب. إن المخاطر الكامنة في الانقطاع المحتمل لإمدادات الكهرباء يجب أن تكون أكثر أهمية للسكان. تستلزم الأدلة البيولوجية الإشعاعية الحديثة أن تعيد المؤسسات المعنية بالوقاية من الإشعاع النظر في توصيات وأنظمة السلامة الإشعاعية طويلة الأمد في جميع أنحاء العالم، وبالتالي يمكن إزالة القيود المكلفة المفروضة على تطوير الطاقة النووية، بما في ذلك إدارة الوقود المستعمل. إن الطلب المتزايد على الطاقة، والمخاوف بشأن أمن إمداد الطاقة، والتلوث ، وتأثير ثاني أكسيد الكربون على المناخ العالمي، يجبر البشرية على إعادة النظر في استخدام الطاقة النووية. اعتباراً من أوائل عام 2008، تم التخطيط لأكثر من 200 مفاعل للطاقة النووية، بالإضافة إلى 440 مفاعل عامل في 32 دولة. وبحلول عام 2030، من المتوقع أن تقوم حوالي 55 دولة بتشغيل مفاعلات نووية ويعتمد العدد الذي سيتم بناؤه بالفعل على الآثار الصحية المتصورة للإشعاع.

مراجعة اللوائم الوقائية الخاصة بالإشعاع

تنظم السلطات الحكومية كل الأنشطة المتعلقة بالطاقة النووية بدقة شديدة، مع اتخاذ تدابير رقابية شديدة للحد من خطر التعرض لأي إشعاع من صنع الإنسان. هذه الإجراءات تستند إلى نصيحة اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP, 2008)، والتي تقوم على افتراض مبسط أن خطر الإصابة بسرطان قاتل يتناسب مع عدد الخلايا البيولوجية التي تضررت من الإشعاع. وهذه هي فرضية عدم العتبة الخطى (Linear no-threshold, LNT) للتسرطن الإشعاعي. يتم تعليم الأطباء بعناية أن أي تعرض للإشعاع يزيد من مخاطر الإصابة بالسرطان والتشوهات الخلقية. ومع ذلك، فإن جمعية الفيزياء الصحية والجمعية النووية الأمريكية أصدرت كلاهما أوراق علمية تعتبر أن التعرض الإشعاعي في المدى من 5–10 ريم (50–100 ملّي سيفرت)، والذي يشمل التعرض المهني والبيئي، يتسبب في آثار صحية مؤكدة صغيرة جداً أو

هي غير موجودة أصلاً. تم تجاهـل الأدلة العلمية على أن التعـرض لجرعات صغيرة من الإشعاع تسبب تحفيـز وقائى مضاد لتلف الخلايـا من قبل اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) أو المجلس القومي للوقاية من الإشعاع والقياسات الإشعاعية (NCRP) أو السلطات الحكومية. إن الدليل العلمي الشامل للآثـار المفيـدة للتعـرض للجرعـات المنخفضــة أو التعـرض لمعدل الجرعات المنخفض (على سبيل المثال، 192 دراسة في 1994 UNSCEAR)، والتفسيرات العلمية لهذه الآثار (بوليكوف وفينيندیجن2001)، تم تجاهلهما على ما يبدو.

طرح ثيودور روكويل، المدير الفني السابق للمفاعلات البحرية الأمريكية (روكويل، 2008) السؤال، "ما هو الخطأ في توخي الحذر؟" واستمر في شرح الضرر الجسيم الناتج عن حماية الناس من جرعات منخفضة من الإشعاع. البروفيسور زبيغنيو جاوروفسكي، الرئيس السابق للجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR) التي تم تأسيسها من أجل تحديد التعرض الحالي لسكان العالم بدقة للإشعاع المؤين، يشير إلى العديد من الاضطرابات النفسية الجسدية التي ظهرت على 15 مليون شخص في بيلاروسيا وأوكرانيا وروسيا الاتحادية من الذين تضرروا من حادث تشرنوبيل. كان السكان المحليون مقتنعين بأنهم سيعانون من مشاكل صحية خطيرة، مثل السرطان والتشوهات الخلقية. تساءل عن أخلاقيات افتراض أن أية كمية من الإشعاع من صنع الإنسان يمكن أن تسبب ضرراً بدون دليل علمي لدعم هذه الفرضية. كما قدّر أن ممارسات الوقاية من الإشعاع تكلف المجتمع مئات المليارات من الدولارات كل عام (جاوروفسكي، 1999). لقد شككت الأكاديمية الفرنسية للعلوم أيضًا في المنهجية غيـر العلميـة لبرنامـج ICRP لأكثر من عقد (Académie des Sciences, 1997) دون الحصـول على استجابـة مُرضيـة. يواصـل العديـد من العلمـاء الآخرين تحـدي نموذج LNT (جاوروفسكي، 2008 أ). ولقد أثبتت البيانات الحديثة عن السرطان استجابات الجسم الحي للجرعات المنخفضة ووجد أن لها آثاراً كبيرة جداً على الحماية من الجرعات الإشعاعية المرتفعة وهو ما يسمى بالتأثير التكيفى للإشعاع.

دراسة مدى الحياة للناجين من هيروشيما – ناغازاكي ونموذج LNT

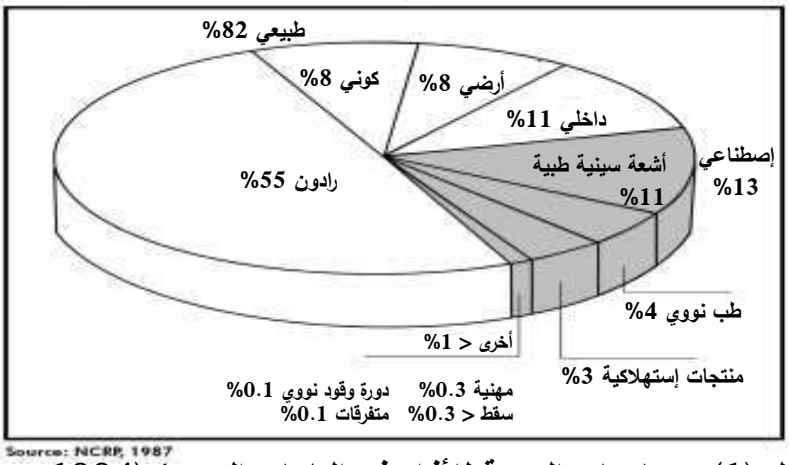
يعد القلق بشأن سلامة المفاعلات أحد أكبر العوائق الاجتماعية لقبول الطاقة النووية. وقد تم اختراع العديد من المخاوف الإشعاعية من العلماء البارزين ذوي النوايا الحسنة الذين تألموا بسبب أدوارهم في تطوير واستخدام القنبلة الذرية. غذت العديد من التصريحات التي لا أساس لها من الصحة الخوف من الإشعاع. ولا يزال يتم الإدلاء ببيانات موثوقة ظاهرياً مثل "أية كمية من الإشعاع مهما كانت صغيرة يمكن أن تكون ضارة بمعنى أنه لا يوجد حد أمان لأية جرعة إشعاعية" و"يمكن أن تتسبب الخسائر النووية بقتل ما يصل إلى مئات الآلاف من الناس " (روكويل، 2004).

إن دراسة مدى الحياة (1950–2020) حول معدل وفيات السرطان في الناجين من هيروشيما وناغازاكي تؤيد الاستنتاج القائل بأن آثار التعرض للإشعاع مبالغ فيها بشكل كبير ولا تعكس المخاطر الحقيقية التي تعرّض لها أفراد الجمهور. الإطلاق الهائل للحرارة من قنبلتين قتل بسببهما ما بين 150.000 و 200.000 من إجمالي عدد السكان البالغ 429.000 نسمة. وقد تم إجراء دراسة على 86572 شخصاً يمثلون نصف الناجين تقريباً في نطاق 2.5 كيلومتر من القنابل. تشير البيانات الفعلية إلى 344 حالة وفاة بالسرطان الصلب و87 حالة وفاة زائدة من سرطان الدم (بيرس وآخرون، 1996). ومن الواضح أنها أرقام مختلفة كثيراً وأقل من الأرقام المتوقعة! كان 36000 من المجموعة بعيدة بما يكفي لعدم تلقي إشعاع شديد عند التعرض للإشعاع، ولذلك فإن نسبة الذين تضرروا حوالى 0.7 بالمائة فقط (344/50.000) من الناجين الذين تلقوا جرعات إشعاعية كانت وفياتهم بسبب السرطان. كان 56% منهم على قيد الحياة حتى عام 1991 وتوفي 38.092، أي أن حوالي 1% منهم ماتوا بسبب سرطان الإشعاع.

عانى الناجون من القصف من العديد من المشاكل الصحية المربكة، مثل الحروق الحرارية والجروح الناتجة عن انفجار الحطام والعدوى والعطش والمجاعة والتلـوث وانعـدام الصرف الصحي وانعدام المأوى والرعاية الطبية. لقد تم تدمير بنيتهم التحتيــة الاجتماعيــة. إن العدد الزائد لوفيات السرطان في هذه الفئة من السكان هو الأساس لتقدير عدد السرطانات القاتلة الزائدة نتيجة التعرض للإشعاع في بيئتنا. من أصل 4489 ناجٍ تلقوا أكثر من 50 ريم (0.5 سيفرت)، توفي منهم 634

بسبب السرطان بزيادة 196 أكثر ممّا كان متوقعاً. قام العلماء باستقراء بيانات السرطان الزائدة من نموذج عدم العتبة الخطى (LNT)، ممّا أدى إلى زيادة عدة أضعاف في تأثير الجرعات المنخفضة. الجرعات المتوقعة في حادث مفاعل نووي ستكون في نطاق الجرعات المنخفضة، حيث لا يوجد دليل ذو دلالة إحصائية على صحة التأثيرات الضارة. يستخدم محللو الحماية من الإشعاع نموذج LNT للتنبؤ بزيادة خطر وفيات السرطان. وتم تجاهل الدليل على الآثار المفيدة للجرعات المنخفضة بين هؤلاء الناجين (Kondo, 1993) وكذلك أدلة التكيف الإشعاعي تم تجاهلها أيضاً.

إلى حد بعيد، فإن أكبر تعرض للإشعاع منخفض المستوى هو استنشاق غاز الرادون الموجود في الهواء (الشكل 1). ينتج غاز الرادون من النشاط الإشعاعي لليورانيوم في البيئة الطبيعية. إنه اختبار علمي لنموذج عدم العتبة الخطى (LNT)، وكما هو معتاد، دحض بوضوح فرضية LNT. وكان معدل الوفيات بسبب سرطان الرئة أقل في المقاطعات الأمريكية حيث تركيز الرادون في المنازل أعلى. في عدد قليل بشكل استثنائي من المقاطعات مع انخفاض تركيز إشعاع غاز الرادون، كان معدل الوفيات بسرطان الرئة أعلى، وبدلاً من تجاهل أو تعديل نموذج عدم العتبة الخطى (LNT) صعّد المدافعون عنه من الاعتراضات على نتائج الدراسات المخالفة. ومع أنه لم يكن هناك مبرر لتلك الاعتراضات ، تواصل السلطات الحكومية قبول توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP).



الشكل (1): مساهمات الجرعة للأفراد في الولايات المتحدة (NEA, 1994)

التكيف الإشعاعي

من وقت ظهورها لأول مرة، كانت الكائنات الحية تتلقي الإشعاع الطبيعي على مدى واسع جداً من معدلات الجرعات (بالإضافة إلى الاضطرابات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الأخرى). ما يقرب من 30% من العناصر الكيميائية في الطبيعة لديها نظائر مشعة موجودة في الهواء والماء والتربة. وتتراوح فترة عمر النصف من جزء من الثانية إلى مليارات السنين. إن مستويات الإشعاع في بعض المواقع تصل إلى عدة مئات أكبر من متوسط معدل الجرعة العالمي، وكانت الحياة في تلك المواقع مزدهرة. لقد أثبتت الدراسات على الكائنات الحية والسكان الذين يعيشون في مناطق معدلات الجرعات العالية أنهم قادرون بشكل أفضل على التعافي من التعرض للجرعات الإشعاعية المرتفعة بشكل أكبر من هؤلاء الذين يعيشون في مناطق معدلات الجرعات المنخفضة (Ghiasi-Nejad et al, 2002). يتفق علماء السموم وعلماء الطب مع باراسيلكوس، طبيب سويسري عاش في القرن السادس عشر، والذي كتب: "لا شيء بلا سم، فقط الجرعة تجعل شيئاً ما غير سام" (ماتسون وكالابريس، 2008). هذا المبدأ العالمي لا ينطبق فقط على تناول المواد الكيميائية والكائنات الحية الدقيقة، ولكن أيضاً على التعرض لعوامل الإجهاد البدني بما في ذلك الإشعاع المؤين.

إن الدراسات الوبائية للسكان في المناطق ذات الخلفية الإشعاعية المرتفعة أو التعرض المزمن المهني أو التعرض للإشعاع الطبي أظهرت استجابة تكيفية إيجابية عن طريق انخفاض معدلات الوفيات والوفيات بسبب السرطان (Pollycove and Feinendegen 2001, 1991, Luckey 1980). "أربعة عقود من الجينوم أظهرت البيانات الحيوانية والإنسانية أن جرعة منخفضة من الإشعاع المؤين تحفز الاستجابات الجينومية والخلوية الإيجابية المرتبطة بفعالية الوقاية من السرطان وعلاجه وزيادة عمر الثدييات والبشر. ومع ذلك، فإن هذه البيانات موضع تساؤل لأنها تتعارض مع العلاقة الخطية الموضحة جيداً بين جرعة الإشعاع المؤين وتلف الحمض النووي دون توفير آلية واضحة تشرح كيف يمكن أن تنتج الجرعة المنخفضة من الإشعاع مثل هذه التأثيرات المفيدة. هذا التناقض الظاهر تبدده البيولوجيا الإشعاعية التي تتضمن

الآن تلف الحمض النووي الناجم عن الإشعاع المؤين ومن الجذور الحرة الأيضية الذاتية، إلى جانب الاستجابة البيولوجية لجرعة منخفضة من الإشعاع" (Pollycove and Feinendegen, 2008).

ومن الجدير بالذكر أن استجابة الإنسان الإيجابية للتعرض المزمن للإشعاع، وزيادة إحداث تلف الحمض النووي عن طريق جرعة منخفضة من الإشعاع من خلال زيادة التحفيز من: مضادات الأكسدة الخلوية التي تمنع تلف الحمض النووي بواسطة الجذور الحرة، إصلاح تلف الحمض النووي الإنزيمى، والتدمير المناعي للخلايا تالفة الحمض النووي بواسطة الخلايا اللمفاوية التائية (T lymphocytes) القاتلة (Liu, 2007)، والتدمير الذاتي (موت الخلايا المبرمج) للخلايا تالفة الحمض النووي، كل هذه الدراسات وما شابهها على الفئران والجرذان والكلاب أدت إلى تجارب سريرية ناجحة على المرضى (Pollycove و Feinendegen 2008) وقبول البيولوجيا الإشعاعية الحالية من شأنه أن يسهل التجارب السريرية الإضافية المطلوبة بشكل عاجل لعلاج السرطان بالإشعاع منخفض الجرعة (Low-dose radiation, LDR).

يفسر التكيف الإشعاعي، بناء على العديد من الدراسات الحديثة حول التسرب الأيضي، إنتاج جذور الأكسجين الحرة كأنواع الأكسجين التفاعلية (Reactive Oxygen Species, ROS) التي من شأنها أن تغير الحمض النووي والجزيئات الأخرى عند البشر بدرجة عالية جداً. في المقابل ينتج الجسم مضادات الأكسدة لمنع التلف المحتمل. تقلل عمليات الإصلاح بشكل ملحوظ من معدل تلف الحمض النووي، بمعامل يقارب 10.000؛ وتقلل عمليات الإزالة من معدل الطفرات إلى حوالي واحد لكل خلية يومياً. يبلغ ضرر ROS حوالي 10 ملايين ضعف معدل تلف الحمض النووي الإشعاعي من 0.1 سنتى غراى/سنة من إشعاع الخلفية. إن الزيادة في إشعاع الخلفية، من 0.1 سنتى غراى إلى 1 غراى/سنة، من شأنه أن يحفز إنتاج مضادات الأكسدة، وينشط إصلاح الحمض النووي الإنزيمي، والتدمير المناعي للخلايا التالفة بواسطة الخلايا اللمفاوية التائية "القاتلة"، والتدمير الذاتي (موت الخلايا المبرمج) للخلايا التالفة. ممّا يؤدى إلى تقليل معدل تراكم التغيرات الدائمة في الحمض النووي

بشكل كبير، والتي ترتبط عمومًا بمعدلات الوفيات والوفيات بسبب السرطان (Pollycove and Feinendegen, 2001).

تقييم المخاطر الاحتمالية للمفاعلات النووية

للسيطرة والحد من التعرض للإشعاع من المحطات النووية، فإن المفاعل ووقوده وجميع المواد المشعة الأخرى يتم تصميمها بحيث يتم عزلها عن البيئة داخل حاويات مغلقة. وتكون مصادر الإشعاع محاطة بمواد تدريع تقوم بتوهين الإشعاع على المواد. يشتمل التصميم على وسائل نقل الطاقة الزائدة عن الحاجة، لتجنب ارتفاع درجة حرارة الحواجز. وتقع الحوادث عند فشل الهياكل والأنظمة أو المكونات أو أي أسباب أخرى مختلفة، بما في ذلك الخطأ البشري.

لتقييم سلامة المفاعلات النووية، يستخدم المهندسون تحليل شجرة الخطأ لحساب احتمالية جميع الحوادث التي يمكن تصورها واحتمالية تعرض الأشخاص القريبين للأذى. يبدأ التحليل مع بداية الحدث (على سبيل المثال، فشل الصمام) ويتبعه تحليل شجرة الحدث. الاحتمال الأول هو احتمال حدوث ذلك الحدث. ثم يتم فحص الفرع الأول في شجرة الحدث ويتم إدخال احتمال كل خيار سيحدث. بعد ذلك، يتم فحص الفرع التالي واحتمالية حدوثه، وهكذا. أخيراً، يتم تجميع احتمالات المسارات التي أدت إلى وقوع الحادث للحصول على احتمالية حدوثه.

حوادث المفاعلات النووية

فقط من بين الحوادث الأربعة عشر التي تضمنت ضرراً أساسياً لقلب المفاعل، ثلاثة حدثت في مفاعلات كبيرة لتوليد الطاقة (Eisenbud, 1997). الحادث الأول، الذي وقع عام 1957 في مفاعل المملكة المتحدة المنتج للبلوتونيوم ويند سكال، يعتبر مهماً لأن حكومة المملكة المتحدة في وقت لاحق وضعت حداً للتعرض. تم استهلاك الغرافيت المستخدم في تهدئة قلب المفاعل جزئياً أثناء الحريق، ممّا أدى إلى إطلاق كبير لنواتج الانشطار، على وجه الخصوص اليود-131 في الريف المحيط. وقد

أبقت التدابير المتخذة لتقييد استهلاك الحليب التعرض الفعلي للإشعاع منخفضاً جداً. اليود-131 هو مصدر قلق كبير بسبب إنتاجه العالي في التفاعل الانشطاري وهو سريع التبخر، ذو نشاط إشعاعي مرتفع (فترة عمر النصف ثمانية أيام) ودرجة الاحتفاظ به في الغدة الدرقية مرتفعة، يطلق طاقات عالية بشكل معتدل من بيتا وإشعاعات غاما. من المعروف أن سرطان الغدة الدرقية عند الأطفال يحدث بعد جرعات الأشعة السينية الأكبر من 200 راد (2 غراي)، لذلك تقرر تحديد الجرعة الإشعاعية للأطفال (وجميع السكان) بحد أقصى 20 راد أو 200 ملّي غراي (Eisenbud, 1997).

في سنة 1979 وقعت الحادثة الثانية في مفاعل الطاقة الأمريكي ثري مايل آيلاند، حيث فشل الصمام وأدى نقص المعرفة والفهم لما كان يحدث إلى تشغيل غير مناسب. توقفت عملية تهدئة قلب المفاعل وبالتالي ازدادت درجة الحرارة، ممّا أدى إلى إذابة حوالي 50% من الوقود النووي قبل استعادة التبريد. قام المفاعل بالاحتفاظ بالكمية الكاملة للنشاط الإشعاعي تقريباً، بما في ذلك نشاط اليود. السكان في محيط المفاعل لم يتلقوا أية جرعات إشعاعية تزيد عن إشعاع الخلفية الطبيعية، ومع ذلك، كان هناك خوف كبير من العواقب الصحية لأن السلطات لم تفهم ما كان يحدث ولم تقدم معلومات دقيقة عن المخاطر الصحية الحقيقية للجمهور في الوقت المناسب. في وقت لاحق، أدى الخوف العام من الطاقة النووية إلى إلغاء بعض المشاريع التي كانت جارية لبناء محطات نووية جديدة في الولايات المتحدة.

كانت كارثة تشرنوبيل عام 1986 في أوكرانيا هي الحادثة الثالثة الأكثر أهمية، من حيث السلامة النووية. تصميم مفاعلات تشرنوبيل يفتقر إلى ميزات وإجراءات السلامة الكافية التي كان من الممكن أن تتسامح مع الأخطاء البشرية. يفتقر المشغلون إلى قوة ثقافة الأمان، والتي كان من الممكن أن تمنعهم من تشغيل المفاعل بشكل غير لائق وتعطيل أنظمة السلامة عند ظهور صعوبات أثناء محاولتهم إجراء اختبار مخطط لمولد التوربينات للوحدة الرابعة، ممّا أدى إلى دخول المفاعل في حالة غير مستقرة للغاية. عندما تم إسقاط قضبان الامتصاص لإغلاق أسفل المفاعل، زاد

خروج الطاقة بشكل غير متوقع في غضون ثوانٍ إلى أكثر من 100 مرة من طاقة المفاعل الكاملة، ممّا أدى إلى تدمير قلب المفاعل. انطلق حوالى ستة أطنان من المواد المشعة عالية النشاط الإشعاعي (50 إلى 60% من اليود المشع) إلى المناطق المحيطة (OECD, 1996).

قتل ثلاثة من العمال الذين كانوا يحاولون إطفاء الحريق وإزالة آثار الانفجار، وتوفى واحد بنوبة قلبية وواحد من الحروق الحرارية. من أصل 134 تم علاجهم من أثر التعرض الحاد للإشعاع، توفي 28 لاحقاً في غضون أربعة أشهر. من بين 106 الذين تعافوا من التعرض الحاد، مات 19 خلال السنوات الـ 18 التالية (الوكالة الدولية للطاقة الذرية، 2005). يتوافق هذا الإحصاء مع معدل وفيات الإنسان الطبيعي الذي يبلغ حوالي 1% في السنة. واصل موظفو تشرنوبيل تشغيل المفاعلات الثلاثة الأخرى على هذا الموقع حتى عام 2000، عندما تم إغلاق آخر موقع. الناس والعمال الذين تم إجلاؤهم والذين نظفوا الموقع بعد الطوارئ تلقوا جرعات إشعاعية كانت في حدود المعدل السنوي العادي في مستوى الخلفية الإشعاعية، أي أقل بكثير من عتبة الآثار الصحية الضارة (جاوروفسكي 2004 أ، 2004 ب).

لا زيادة في معدل الوفيات بسبب الإشعاع على الرغم من التنبؤ بحدوث 4000 حالة وفاة بالسرطان (باستخدام فرضية LNT غير الصالحة ـ ضد نصيحة الجمعيات العلمية). هذا مثال على "الاستخدام غير الأخلاقي بشدة لتراثنا العلمي" في وقت كان لدى العديد من العلماء فهم جيد لاستجابة الكائنات الحية لجرعات منخفضة من الإشعاع. بدأ على الفور فحص سرطان الغدة الدرقية، وخاصة عند الأطفال بعد وقوع الحادث، وتم تحديد ما يقرب من 4000 حالة. بعد علاجات الغدة الدرقية التي تلقاها الأفراد المصابون تم تسجيل تسع وفيات.

كان التواصل مع الجمهور حول آثار الحادث ضعيف في البداية. وكانت الضغوط النفسية هي الآثار الصحية السلبية الرئيسية على السكان المحيطين بسبب المخاوف من العواقب الصحية المحتملة التي تتنبأ بها السلطات. كما تسبب الترحيل الدائم في المعاناة العاطفية الكبيرة. في جميع أنحاء العالم ، كان هناك خوف واسع

النطاق من التلوث بالمواد المشعة، ممّا أدى إلى ردود أفعال اجتماعية وسياسية قوية للغاية. كانت العواقب الاقتصادية شديدة بشكل خاص في أوكرانيا، وأقل من ذلك إلى حد ما في الدول المجاورة (UNSCEAR, 2000). بناءً على الوفيات القليلة نسبياً (31 حالة وفاة)، فإن حادث تشرنوبيل سوف نتذكره كتأكيد على أن الطاقة النووية هي على الأرجح الأكثر أماناً ضمن وسائل إنتاج الطاقة على نطاق واسع، كما أوضحت ذلك أيضاً حادثة جزيرة ثري مايل آيلاند (جاوروفسكي، 2007).

الآثار البيئية المحلية لحادث تشرنوبيل

حادث تشرنوبيل، 26 أبريل 1986، مهم للغاية لأنه حدد العواقب الفعلية لمفاعل يعمل بشكل غير آمن وغير صحيح. وعلى الرغم من اتخاذ إجراءات لمنع التكرار، يمكن تعلّم الكثير من خلال دراسة التأثيرات البيئية الفعلية. أطلق هذا الحادث كميات كبيرة جداً من المواد المشعة على موقع محطات المفاعل الأربعة وفي البيئة المحيطة. قام عمال التنظيف بإزالة المواد المشعة المتناثرة، ممّا سمح لموظفي المصنع بالاستمرار في تشغيل المفاعلات الثلاثة الأخرى لسنوات عديدة. وتبدو الآثار أقل حدة من حرائق الغابات.

بلغت معدلات الجرعة الإشعاعية الممتصة حوالي 1 غراي في الساعة في منطقتين شديدتي التلوث في الجنوب الشرقي وتغطي حوالي 0.5 كلم^2 بعد بضع ساعات من الحادث (UNSCEAR, 2000). على الرغم من أن فترة عمر النصف للمواد المشعة قصيرة وتتناقص بسرعة، فإن المكوث لمدة 24 ساعة في المكان كان قاتلاً. تضررت بشدة أشجار الصنوبر التي كانت تغطي من 500–600 هكتار نتيجة الجرعات الإشعاعية التي زادت على 100 غراي، معظمها من جسيمات بيتا. تعرضت الأشجار المتساقطة في هذه المنطقة لأضرار جزئية فقط. وتلقت مساحة كبيرة تبلغ حوالي 3000 هكتار جرعات زادت على 10 غراي. في منطقة أخرى حوالى 12000 هكتار، كانت هناك تأثيرات معتدلة، بما في ذلك تثبيط النمو. خلال صيف عام 1986، كان هناك انخفاض في معدلات الجرعات الإشعاعية مع استمرار تثبيط النمو. كان النمو الجديد أيضاً واضح، ويعتمد على الجرعة المتراكمة.

بحلول ربيع عام 1987، كانت السيقان والأوراق تنمو بنشاط، على الرغم من بعض التغييرات المورفولوجية التي لوحظت في الأشجار التي تلقت جرعات أكبر من 2 غراي. مع انخفاض معدلات الجرعات إلى أقل من 10% من القيم الأولية، استمر نمو الأشجار وبحلول 1988–1989 كان النمو واضحاً حتى في منطقة مساحة 3000 هكتار شديدة التلوث . في 1986–1987، كان هناك انخفاض ملحوظ في عدد أنواع الحشرات الصغيرة في منطقة الحظر بطول 30 كلم حول النباتات. داخل هذه المنطقة، تجاوزت جرعات الإشعاع للقوارض الصغيرة (حتى منتصف مايو 1986) المستويات المميتة. ولم يكن هناك تقارير محلية تشير إلى القضاء على نوع واحد من القوارض نتيجة لذلك التعرض الإشعاعي. تمت ملاحظة التأثيرات المتعلقة بالإشعاع، جنباً إلى جنب مع بعض التكيف مع الظروف المتغيرة. وكان هناك دليل على التعافي، في كثير من الحالات، من ظواهر التعرض الحاد وفي جميع المناطق. وقد استمر السكان في البقاء على قيد الحياة تحت ظروف التعرض المزمن الطويل للإشعاع (UNSCEAR, 1996).

ومن الجدير بالذكر أنه لم يتم الإبلاغ عن أية آثار حادة في النباتات والحيوانات خارج منطقة الاستبعاد (OECD, 1996). "استعادة الكائنات الحية في منطقة الحظر تم تسهيلها من خلال إبعاد البشر ووقف الزراعة والأنشطة الصناعية. نتيجة لذلك توسعت تجمعات العديد من النباتات والحيوانات. في الواقع، كان للظروف البيئية مثل هذا التأثير الإيجابي على الكائنات الحية التي تحتويها منطقة الاستبعاد فقد أصبحت ملاذًا فريدًا للتنوع البيولوجي" (وكالة الأنباء الأمريكية 2005، الوكالة الدولية للطاقة الذرية 2005). وقد وصف (Baker and Chesser, 2000) الإنشاء الرائع للغاية لمحمية الحياة البرية في موقع تشرنوبيل.

الاستنتاجات

يتم توفير حوالي 89% من الطلب العالمي الهائل على الطاقة من خلال حرق الفحم والوقود الهيدروكربوني، والطلب ينمو بسرعة. إن لدى المجتمع مخاوف مشروعة

بشأن تأثير الانبعاثات على البيئة وصحة الإنسان. علاوة على ذلك، فإن المصادر الحالية للمنتجات البترولية ليست مستدامة على المدى الطويل. لتعدين الفحم والنفط والغاز ونقل هذه الأنواع من الوقود إلى المستهلكين آثار ضارة كبيرة على البيئة وصحة العمال وسلامتهم. وهناك أيضاً اعتبارات استراتيجية حول الاستدامة طويلة الأجل للاعتماد على الطاقة وتمويلها من الدول المعادية التي تمدها بهذه الأنواع من الوقود. يمكن للطاقة الناتجة من الانشطار النووي لليورانيوم (والثوريوم) الحفاظ على الإنسانية إلى أجل غير مسمى؛ لكن تطبيق هذه التكنولوجيا مقيد بالأساطير الصحية والنشاط السياسي المناهض للأسلحة النووية.

في الوقت الحالي، تم فهم محطات الطاقة النووية وطرق تصميمها وتشغيلها وصيانتها بشكل جيد. وتوفر هذه المرافق مستوى عالٍ جداً من السلامة النووية والصناعية طالما أن الأشخاص الذين يصممون ويبنون ويشغلون ويصونون يتم تدريبهم بشكل صحيح ولديهم ثقافة سلامة قوية. إن التصاميم الحديثة للمفاعلات لها مستويات دفاعية عديدة في العمق، والتي تتعامل بشكل كبير مع الخطأ البشري. نتيجة كل هذه الجهود هي أن معظم حالات الفشل لا تؤدي إلى أي إطلاق للمواد المشعة. وأسوأ حالة واقعية، بما في ذلك ذوبان الوقود، من المتوقع أن تتسبب في وفيات قليلة، إن وجدت، للجمهور. تدرك الصناعة جيدًا الخوف العام الهائل من الإشعاع ورغبة وسائل الإعلام القوية في الدعاية والمبالغة في أهمية أي حادث نووي.

لقد طور العلماء والمهندسون تقنيات للعديد من أنواع محطات الطاقة النووية المختلفة، بما في ذلك المفاعلات المولّدة التي يمكنها تحويل اليورانيوم–238 والثوريوم–232 إلى وقود سريع الانشطار. مع المفاعلات المولّدة، سيكون من الممكن استخراج اليورانيوم من المحيطات مع الحفاظ على تكلفة الوقود أقل من 1% من تكلفة الكهرباء. تنقل الأنهار اليورانيوم إلى البحار بمعدل يسمح بسحب ما لا يقل عن 6500 طن منه كل عام. هذه الكمية ستكون كافية لتوليد ما يقرب من عشرة أضعاف الكهرباء الحالية في العالم عاماً بعد عام. ويتماشى انشطار اليورانيوم في المفاعلات المولّدة مع تعريف مصادر الطاقة "المتجددة".

تم تطوير واختبار تقنيات لإعادة تدوير الوقود النووي المستخدم بطريقة لا تسفر عن مواد مضرة ومسارات تحويله لتصنيع الأسلحة النووية. ومع ذلك، فإن هذه الابتكارات غير معروفة على نطاق واسع. إن حجم الوقود المستخدم وكمية نفايات المواد المشعة الناتجة عن إعادة التدوير صغيرة نسبياً. بالمقارنة مع الانشطار، تقريباً يتم حرق مواد الفحم أو النفط أو الغاز حوالى 100 مليون مرة لإنتاج نفس كمية الطاقة، وبالتالي فإن نسبة النفايات متشابهة. فترة عمر النصف للنويدات المشعة الرئيسية من المواد النووية المعاد تدويرها بالكامل (السيزيوم-137 والسترنشيوم-90) قصيرة نسبياً، حوالي 30 عاماً. ولا يتسبب التخزين السطحي للوقود المستخدم والنفايات في حاويات قوية خطراً على البيئة بسبب عدم وجود حالات تعرض. وقد ثبت أن التخلص الجيولوجي من النفايات ممكن تقنياً. ولكن قوبل هذا القبول الاجتماعي لهذا الحل بالتحدي بسبب المخاوف التي نجمت عن الآثار الصحية للجرعات المنخفضة من الإشعاع.

إن عدد الحوادث الخطيرة للمفاعلات النووية وعدد الوفيات الناجمة عنها منخفض للغاية. لأن المفاعلات لديها خرج طاقة عالي جداً ويحمل كمّيات كبيرة جداً من المواد المشعة، لذا يتطلب ذلك عناية كبيرة للتحكم في التفاعل وتبريد الوقود واحتواء النشاط الإشعاعي. السلامة النووية هي الأولوية رقم واحد والحوادث مكلفة للغاية بسبب فقدان التيار الكهربائي للعديد من المستهلكين الذين يعتمدون على الطاقة الموثوقة، والتكلفة عالية جداً لإصلاح الضرر وتعويض الخسارة في الإيرادات. قد تحدث إصابات إذا تعرض موظفو المفاعل لجرعات عالية من الإشعاع. وعلى الرغم من فوائد الجرعات الإشعاعية المنخفضة، سيستمر أصحاب المحطات النووية في الحفاظ على مستوى عالٍ جداً من الأمان النووي. وأية حوادث ينتج عنها إطلاق مواد مشعة سوف تؤدي إلى فقدان القبول الاجتماعي.

لقد تمت دراسة الآثار الصحية قصيرة المدى للإشعاع النووي على البشر والكائنات الحية الأخرى على نطاق واسع لأكثر من قرن. وعلى مدى السنوات الخمسين الماضية، تم إجراء عدد كبير من الدراسات لتحديد الآثار الصحية طويلة المدى للإشعاع النووي. لوحظت آثار صحية ضارة بعد الجرعات المرتفعة (أو

معدلات الجرعات المرتفعة)، وقد تم ترسيم الكثير من البيانات بدالة الخط المستقيم في مدى الجرعة (أو معدل الجرعة) المرتفع. كان من المستحيل بشكل عام الكشف عن الآثار الضارة في نطاق الجرعات المنخفضة، لذلك تم تنبؤ حدوثها من خلال استقراء الخط المستقيم المار بنقطة الصفر (فرضية عدم العتبة الخطى(LNT)). وقد أصدرت الجمعيات المهنية توصيات تنصح المحللين بعدم استخدام فرضية LNT للتنبؤ بالآثار الصحية الضارة في نطاق الجرعات المنخفضة. وكشفت الدراسات التي بحثت عن الآثار الصحية المفيدة للجرعات المنخفضة بشكل عام عن زيادة التحفيز مع زيادة جرعة الإشعاع (أو معدل الجرعة) فوق المستوى المحيط، حتى تم الوصول إلى الحد الأقصى. لوحظ انخفاض التحفيز بزيادة التعرض إلى ما بعد القيمة المثلى ، متبوعة بالانتقال إلى المجال المثبط. ولكن نتائج هذه الدراسات الهامة لم تؤخذ في الاعتبار في لوائح الوقاية من الإشعاع.

بناءً على البيانات البشرية، فإن جرعة الجسم بالكامل 15 ريم (150 ملي سيفرت) تعتبر آمنة. الخلفية الإشعاعية المرتفعة في مدينة رامسار/ إيران، والتي تبلغ حوالى 70 ريم (700 ملي سيفرت)/سنة، هي أيضاً تعتبر حد جرعة آمن للتعرض المزمن المستمر. الناس بشكل عام ليسوا على دراية بالإشعاع النووي، بينما هم فهموا طبيعة الضوء وقبلوا التعرض لموجات الراديو. لقد تمكّن منهم الخوف من الإشعاع المؤين (الأشعة السينية والإشعاع النووي). معظم الناس يخافون من الإشعاع من صنع الإنسان، لكن البعض يدرك ذلك، ويبدو أنه يقبل الإشعاع الذي يحدث بشكل طبيعي (متوسط 15.000 حدث في الجسم في الثانية).

لقد تم اكتشاف الإشعاع المؤين منذ أكثر من قرن وتم استخدام جرعات الإشعاع المنخفضة على نطاق واسع في العلاجات الطبية لحوالي 50 عاماً، على الرغم من أن البيولوجيا الكامنة وراء الآثار الصحية المفيدة لم تكن معروفة. إن الخوف من أي تعرض للإشعاع تم إنشاؤه بشكل أساسي من قبل المجتمع النووي، وأيده النشطاء المناهضون للطاقة النووية. وقد أدى ظهور المضادات الحيوية والعوامل البيوكيميائية الأخرى في الخمسينيات من القرن الماضي إلى التخلي عن

الإشعاع كعامل محفز لمعظم خدماته الطبية التطبيقية. اليوم، يتم تشعيع الأورام بجرعات عالية من أشعة غاما ومن الأشعة السينية الناتجة من مسرعات الإلكترون لقتل الخلايا السرطانية. وتستخدم الأشعة السينية والنظائر المشعة على نطاق واسع في التصوير الطبي، لكن لا تزال المخاوف تثار بشأن الآثار الجينية المحتملة والمخاطر طويلة الأجل للإصابة بالسرطان من هذه الجرعات المنخفضة.

من أوائل القرن العشرين حتى حوالي عام 1960، تم علاج العديد من الأمراض بجرعة منخفضة من الإشعاع للمرضى الذين يعانون من خطورة الالتهابات والأمراض الأخرى. ومن منتصف السبعينيات وحتى الوقت الحاضر، تم تقديم العلاج بالجرعات الإشعاعية المنخفضة للعديد من المرضى لعلاج أنواع مختلفة من السرطان وتم تحقيق نتائج جيدة.

ترجمة: أ. د. عمر دسوقي
هيئة الطاقة الذرية المصرية
omardesouky@yahoo.com

References

(1) ANS. 2008. World List of Nuclear Power Plants, Operable, Under Construction or on Order as of December 31, 2007. Nuclear News. March. pp 39-63.

(2) DOE/EIA. 2008a. Annual Energy Outlook 2008 with Projections to 2030. Available at http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html

(3) DOE/EIA. 2008b. Annual Energy Outlook 2008 with Projections to 2030, Electricity Demand. Available at http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/electricity.html

(4) Liu S-Z. 2007. Cancer Control Related to Stimulation of Immunity by Low-Dose Radiation. Dose-Response 5:39-47.

(5) Mattson M and Calabrese E. 2008. Best in Small Doses. New Scientist, August 9. pp 36-39.

علاج الالتهابات بالأشعة المؤينة: منظور تاريخي وتقنيات ناشئة(*)

Abstract

Widespread use and misuse of antibiotics have led to a dramatic increase in the emergence of antibiotic resistant bacteria, while the discovery and development of new antibiotics is declining. This has made certain implant-associated infections such as periprosthetic joint infections, where a biofilm is formed, very difficult to treat. Alternative treatment modalities are needed to treat these types of infections in the future. One candidate that has been used extensively in the past, is the use of ionizing radiation. In some cases, external radiation therapy decreased significantly the mortality. Internal radiation using alpha and beta emitting radionuclides show great promise in treating fungal and bacterial infections when combined with selective targeting through antibodies, therefore minimizing possible collateral damage to healthy tissue. The novel prospects of radiation treatment strategies against planktonic and biofilm-related microbial infections seem feasible and are worth further investigating.

(*) المقالة مترجمة بتصرف عن الورقة بعنوان: Treating infections with ionizing radiation: A historical perspective and emerging Techniques للمؤلفين Dijk et al. المنشورة في Antimicrobial Resistance and Infection Control Journal (2020).

However, potential risks involving radiation treatment must be considered in each individual patient. This article aims to provide a historical overview and future perspective of radiation therapy in infectious diseases with a focus on orthopedic infections.

مقدمـــــة

لأكثر من قرن من الزمان، تم استخدام الإشعاع كطريقة علاجية لمجموعة واسعة من الأمراض. لا جدال في فائدته في التشخيص وعلاج الأورام، ولكن في أوائل القرن العشرين، كان الإشعاع يُستخدم بشكل شائع لعلاج الالتهابات، خاصة بسبب نقص العلاجات البديلة والمعرفة المحدودة بالآثار الجانبية المحتملة. في الأربعينيات من القرن الماضي، أصبح العلاج الإشعاعي شيئاً قديماً مع اكتشاف وتوافر المضادات الحيوية. ومع ذلك، لا تزال الحرب ضد العدوى مستمرة، وقد أدى الاستخدام واسع النطاق وإساءة استخدام المضادات الحيوية إلى ظهور بكتيريا مقاومة للمضادات الحيوية، في حين أن اكتشاف وتطوير المضادات الحيوية الجديدة آخذ في الانخفاض بسرعة.

إن مجال جراحة العظام في حاجة ماسة إلى علاجات جديدة. تعتبر عمليات استبدال المفاصل الكلية علاجاً شائعاً، وهو الملاذ الأخير لمرض التهاب المفصل التنكسي (Degenerative joint disease)، ولكن 1–4% من المرضى يصابون بالتهاب المفصل العدوائي (Periprosthetic joint infection). يصعب علاج التهاب المفصل العدوائي لأن البكتيريا تشكل غشاءً حيوياً على المادة الاصطناعية. وهذا يعيق الجهاز المناعي للمضيف، ولكن الأهم من ذلك، أن البكتيريا الموجودة في الأغشية الحيوية تكون في الغالب في حالة استقلابية غير نشطة أو ساكنة، وبالتالي فهي ليست عرضة لمعظم المضادات الحيوية.

في الوقت الحالي، يتلقى مرضى التهاب المفصل العدوائي علاجاً مطولاً بالمضادات الحيوية، بالإضافة إلى عمليات جراحية متعددة لتطهير الجرح أو إزالة

نسيج الجلد الملتهب مع أو بدون استبدال الزرع لمكافحة العدوى. على الرغم من هذا العلاج المكثف، لا تزال النتائج غير متوقعة. بالإضافة إلى ذلك، عادة ما يعاني مرضى التهاب المفصل العدوائي المسنّون من أمراض مصاحبة متعددة، ممّا يستلزم علاجاً متعدد الوسائط. في هذا الصدد، لا يختلف مرضى التهاب المفصل العدوائي عن مرضى الأورام، مع معدلات مرضية ووفيات عالية نسبياً. حتى أن معدل وفيات مرضى التهاب المفصل العدوائي لمدة 5 سنوات يتجاوز معدل وفيات معظم أشكال سرطان البروستات والثدي والغدة الدرقية. ومن المثير للاهتمام، كما هو الحال في حالات الأورام المذكورة سابقاً، أن الإشعاع المؤين قد يلعب دوراً في علاج الأمراض المعدية.

أدت العلاجات الإشعاعية المؤينة في الماضي، مثل العلاج بالأشعة السينية أو اليود المشع، إلى إتلاف مساحة كبيرة حول المنطقة محل الاهتمام. ومع ذلك، فإن التطورات الحديثة في كل من تقنيات الإشعاع الخارجية والداخلية تجعل هذه العلاجات أكثر دقة. في العلاج الإشعاعي الخارجي، تشمل هذه المعاملات العلاج الإشعاعي معدل الشدة، بالإضافة إلى التقنيات الجديدة مثل الرنين المغنطيسي. وبالمثل، في العلاج الإشعاعي الداخلي، سمح العلاج المناعي الإشعاعي بإيصال الإشعاع الخلوي إلى خلايا مستهدفة محددة، من خلال اقتران الأجسام المضادة والنظائر المشعة. يمكن تطبيق نفس المفهوم على علاج الالتهاب، عن طريق اقتران النظائر المشعة بالأجسام المضادة التي تستهدف الخلايا البكتيرية أو مستضدات الأغشية الحيوية. مع هذه التطورات، يبدو أن إعادة تقييم مزاياها في علاجات العدوى لها ما يبررها. يعرّف الإشعاع الخارجي بأنه طريقة لإيصال حزمة من الأشعة السينية إلى موقع الإصابة، بينما يعرف الإشعاع الداخلي بأنه علاج شامل، يتضمن إيصال النظائر المشعة التي توفر مستوى إشعاعياً للخلايا المصابة بالعدوى. لذلك تهدف هذه المقالة إلى تقديم نظرة عامة تاريخية بالإضافة إلى منظور مستقبلي للعلاج الإشعاعي في حالات الأمراض المعدية مع التركيز على التهابات العظام التي لا يوجد العديد من الأبحاث المتعلقة باستخدام الأشعة المؤينة لمعالجتها.

الإشعاع الخارجي

اكتشاف الأشعة السينية

في عام 1895، كان Wilhelm Röntgen أول من وصف وجود الأشعة السينية. بعد نشر صورة شعاعية لليد اليسرى لزوجته، تم الترحيب بهذه التقنية الجديدة بحماس كبير. بالفعل بعد بضع سنوات، تم وصف الاستخدامات العلاجية الأولى للأمراض المعدية.

علاج الالتهاب الرئوي بالأشعة السينية

قبل ظهور المضادات الحيوية، كان الالتهاب الرئوي مرضاً معروفاً بارتفاع معدل الوفيات فيه. وجد Musser و Edsall (1905)، اللذان أجريا تجارب سريرية بالأشعة السينية، أن هذا الإشعاع أدى إلى تحسن ملحوظ في حالة تطور المرض لدى مرضى سرطان الدم، وافترضوا أنه ناتج عن زيادة عمليات التمثيل الغذائي في الأنسجة. في رأيهم، كان الالتهاب الرئوي غير القابل للشفاء أيضاً حالة لا يستطيع فيها الجسم بشكل كاف استقلاب الإفرازات غير الشافية والتي تُركت في الرئتين. بناء على هذه النظرية، قاموا بعلاج مريض يعاني من التهاب رئوي غير شافي مصاب منذ شهر واحد مع العلاج بالأشعة السينية لمدة 5 دقائق يومياً لمدة 5 أيام. في نهاية الأسبوع، اختفى الالتهاب الرئوي تماماً. وبعدها، تم نشر العديد من الأبحاث التي تحرت أيضاً في مزايا الأشعة السينية لعلاج الالتهاب الرئوي غير الشافي، مع نتائج سريرية جيدة. استقصى Krost وزملاؤه (1925) العلاج بالأشعة السينية للالتهاب الرئوي غير الشافي في 12 طفلاً. ظهرت الأعراض على هؤلاء المرضى لمدة 3–6 أسابيع قبل إعطاء العلاج الأول بالأشعة السينية. بعد معاملتين بالأشعة السينية، تم شفاء 11 حالة (92%) من حالات الالتهاب الرئوي في غضون عدة أيام، وغالباً ما يتحسن الوضع السريري بعد ساعات. استمر Powell وزملاؤه بأبحاثهم عن الأشعة السينية في ثلاثينيات القرن العشرين، حيث أظهرت مجموعته من البالغين انخفاضاً في معدل الوفيات بنسبة 6.7% (9 حالات شفاء من أصل 134 حالة

مصابة)، وهو تحسن حاد عن معدلات الوفيات السابقة للالتهاب الرئوي. في تلك الدراسة، تم وضع المرضى في مجموعة الأشعة السينية أو المجموعة الشاهدة، ولكن بعد رؤية الانخفاض الملحوظ في معدل الوفيات في مجموعة العلاج بالأشعة السينية، تم علاج جميع مرضى المجموعة الشاهدة لاحقاً بالأشعة السينية. بعد سنوات قليلة من بحث Powell، تم استخدام السلفوناميدات (Sulfonamides)، أول المضادات الحيوية، كعلاج معياري للالتهاب الرئوي، ولم يعد استخدام الأشعة السينية مفضلاً. ومع ذلك، استمر البحث على المرضى الذين لم يستجيبوا مع علاج السلفوناميد. في إحدى هذه الدراسات، تعافى 22 من أصل 29 مريضاً (75.9%) ممّن لم يظهروا أية استجابة للسلفوناميدات تماماً باستخدام العلاج بالأشعة. أظهر عدد من الباحثين بعض الآثار الضارة قصيرة المدى، وهي التشنجات والزرقة عندما تجاوزت جرعة الإشعاع للجلسة الواحدة 10 غراي. وغالباً ما يتم حل هذه المضاعفات، ولا يزال العلاج فعالاً لهؤلاء المرضى. لسوء الحظ، لم يقم أي من هؤلاء الباحثين بمتابعة طويلة الأمد لمرضاهم، لذلك لا يمكن التحقّق من تأثيرات الإشعاع طويلة المدى، فضلاً عن زيادة خطر الإصابة بالأورام الخبيثة.

علاج التهابات الأنسجة الرخوة بالأشعة السينية

تم علاج عدوى الأنسجة الرخوة المختلفة مثل الموات الغازي (Gas gangrene) والدمامل (Furuncles) والجمرة (Carbuncles) بالأشعة السينية في النصف الأول من القرن العشرين وستتم مناقشتها بالتفصيل أدناه. الموات الغازي، أو *Clostridium myonecrosis*، هو عدوى مدمرة للأنسجة الرخوة تسببها بكتيريا *Clostridium*. تزدهر هذه الكائنات الحية الدقيقة التي غالباً ما ترتبط بجروح ملوثة في البيئات منخفضة الأكسجين وتدمر الأنسجة العضلية بسرعة أثناء إنتاج الغاز في الأنسجة. تعد الأعراض السريرية مثل الألم الشديد، والوذمة (Edema) و/أو الفقاعات، وتسرع القلب بشكل غير عادي، وتقطعات الأنسجة الرخوة الملموسة كلها تشير إلى وجود الموات الغازي. قبل وجود المضادات الحيوية، كانت الجراحة، أي البتر، هي العلاج الوحيد، وكان معدل الوفيات حوالي 50%. أبلغ اختصاصي الأشعة Kelly

في عام 1931 عن خبرته في علاج الموات الغازي بالأشعة السينية ووجد أن معدل الوفيات يبلغ مريضين فقط من كل ثمانية مرضى، دون الحاجة إلى مزيد من البتر بعد العلاج بالأشعة السينية. بعد النجاح الأولي للباحث Kelly، أجري العديد من الدراسات على مر السنين، وأظهرت الغالبية نتائج ممتازة. أظهر Kelly و Dowell أن الجمع بين الجراحة والعلاج بالمصل والمعاملة بالأشعة السينية (تم استخدام أنظمة إشعاعية مختلفة أثناء هذه الدراسة) أدى إلى معدل وفيات بنسبة 11.5% (42 حالة وفاة من أصل 364 مريض) مقارنة بمعدل وفيات 35–50% عندما تم استخدام الجراحة والمصل فقط معاً. لم يتم توضيح كيف أوقفت الأشعة السينية عدوى الموات الغازي، على الرغم من أنه كان معروفاً بشكل عام أن جرعة الإشعاع المنخفضة نسبياً لم تكن قادرة على تدمير البكتيريا بشكل مباشر. تضمنت الفرضيات الأكثر ترجيحاً التي تم اقتراحها إمكانية أن يتسبب الإشعاع في تمدد الأوعية المحلية، ممّا يزيد من إمداد الأكسجين للأنسجة المصابة وبالتالي يقلل من فاعلية البكتيريا غير الهوائية، فضلاً عن احتمال تحفيز الإشعاع إما على تكاثر الخلايا المناعية أو إطلاقها من الخلايا اللمفاوية.

الدمل هو عدوى تصيب بصيلات الشعر والأنسجة المحيطة بها بسبب *Staphylococcus aureus* أو *Staphylococcus epidermidis* وهو أيضاً أكثر مسببات الأمراض شيوعاً التي تسبب التهاب المفصل العدوائي اليوم. عندما تندمج الدمامل المتعددة معاً، يطلق عليها اسم الجمرة، وكان لكل منهما معدلات وفيات عالية في النصف الأول من القرن العشرين، قبل استخدام المضادات الحيوية. في عام 1906، وصف Coyle الشفاء الكامل من الجمرة في 4 من أصل 5 مرضى عولجوا بالأشعة السينية. لم تحظ هذه النتيجة باهتمام كبير إلا بعد ما يقرب من عقد من الزمان، عندما نشر Dunham نتائج 67 مريضاً تم علاجهم بجرعة واحدة من الأشعة السينية مقدارها 6 غراي، وذكر أنه "لا يوجد شيء في جميع أنواع العلاج بالأشعة السينية يعطي مثل هذا العلاج الإيجابي كعلاج الجمرة". في السنوات التالية، تم نشر العديد من المقالات حول الفائدة الكبيرة والسريعة للمرضى المعالجين بالأشعة السينية. أظهرت جرعة علاجية أقل من 0.75–2 غراي آثاراً جانبية ناتجة عن

الإشعاع أقل وتأثيراً أكبر في تقليل الألم والشفاء، خاصة في المراحل المبكرة من المرض. في أوائل الأربعينيات من القرن الماضي، أصبح هذا العلاج بالأشعة السينية قديماً بسبب إدخال المضادات الحيوية.

تطبيقات طب الأنف والأذن والحنجرة

قبل ظهور أنابيب موازنة الضغط، كان التهاب الأذن الوسطى (Otitis media) يمثل مشكلة صحية كبيرة لدى أطفال المدارس. بعد التهابات الجهاز التنفسي العلوي، تتضخم الأنسجة في البلعوم الأنفي وتسد القناة السمعية، ممّا يمنع تدفق إفرازات الأذن الوسطى، والتي قد تصاب بالعدوى وتسبب فقدان السمع التوصيلي. قد يكون انسداد القناة السمعية ناتجاً أيضاً عن تورم نسيج الزائدة الأنفية للبلعوم. كان العلاج في الماضي يتألف من استئصال جراحي للأنسجة المحيطة بالقناة السمعية، على الرغم من أن هذه العلاجات غالباً ما كانت غير فعالة. كان لفقدان السمع المزمن الناتج تأثير ضار على نمو السمع والكلام الطبيعي للأطفال. في وقت مبكر من القرن العشرين، تم اقتراح الأشعة السينية كعلاج قابل للتطبيق لالتهاب الأذن الوسطى الناجم عن انسداد القناة السمعية بسبب الأنسجة اللمفاوية، حيث كان معروفاً بالفعل أن هذه الأنسجة كانت شديدة الحساسية للإشعاع. وجد Beattie وزملاؤه (1920) أن المرضى الذين يعانون من التهاب الأذن الوسطى المزمن مع أعراض التهاب النتوء الحلمي (Mastoiditis) أظهروا تحسناً سريرياً بعد التصوير بالأشعة السينية للنتوء الحلمي. من بين 14 مريضاً مزمناً، تحسن 9 مرضى بعد 1–3 جلسات فقط مع 180 ثانية من التعرض للأشعة السينية. تم العثور على نتائج مماثلة من خلال دراسات أخرى على مر السنين.

ولكن بمرور الوقت، أصبح الأطباء أكثر قلقاً بشأن الآثار الصحية المحتملة على المدى الطويل. تم اقتراح زيادة خطر الإصابة بالسرطان من خلال بعض الدراسات التي تابعت الأطفال الذين تلقوا إشعاعاً لحالات حميدة أثناء الطفولة. ومع ذلك، لم تظهر هذه المخاطر المتزايدة للسرطان بشكل لا لبس فيه في الدراسات الاستقصائية التي حققت في المرضى الذين عولجوا بالراديوم الأنفي البلعومي. لم تجد

دراسة أخرى قام بها Yeh وزملاؤه (2001) زيادة كبيرة في حدوث الأورام الخبيثة في مجموعة من أكثر من 1700 مريض بعد حوالي 40 عاماً من المتابعة. لم تلاحظ دراسة أخرى منفذة من قبل Ronckers وزملائه (2002) أية زيادة في أورام الرأس والعنق أو أورام الغدة الدرقية في مجموعة كبيرة تضم أكثر من 4000 مريض، على الرغم من أن الإصابة بسرطان الثدي وسرطان الغدد اللمفاوية كانت مرتفعة قليلاً. أورد Graamans (2017) وصفاً متعمقاً لهذا الموضوع؛ حيث وجد أن المريض عاش حياة صحية دون أية مضاعفات متعلقة بالإشعاع.

الإشعاع الداخلي

يتم تعريف الإشعاع الداخلي كعلاج منهجي، يشمل النظائر المشعة التي توفر مستوى إشعاعي إلى الموقع المريض. إن فرضية "الرصاص السحري" التي يمكن أن تقتل بشكل انتقائي مسببات الأمراض أو الخلايا المريضة دون إيذاء أنسجة صحية تم وصفها لأول مرة عام 1900 من قبل Paul Ehrlich. تم استخدام مفهوم العلاج الإشعاعي المستهدف (Targeted radiation therapy) منذ ذلك العام للأمراض المعدية المختلفة ويوصف بالتفصيل أدناه.

الثوريوم X

بدءاً من حوالي عام 1912، تم استخدام الثوريوم X في الأمراض الجلدية وكعلاج للأمراض الروماتيزمية. يرسل الثوريوم X(^{224}Radium) أشعة ألفا قصيرة العمر (بنصف عمر 3.6 يوم) ويتم تطبيقه موضعياً ووريدياً وفموياً. حوالي عام 1940، جرى تطوير عقار Peteosthor لعلاج مرض السل العظمي (Bone tuberculosis) حيث احتوى على الثوريوم X. كانت الفرضية أن أشعة ألفا قصيرة العمر يمكن أن تستهدف بشكل انتقائي العظام المصابة وتتراكم عليها وتدمرها. بين الأربعينيات ومنتصف الخمسينيات من القرن الماضي، تم علاج الأطفال والأحداث بجرعات عالية من الثوريوم X، وتلقوا حقناً متكررة تصل إلى 2 ميغا بايت مرتين في الأسبوع، غالباً لفترات طويلة من الوقت، يصل مجموعها أحياناً إلى 140 ميغا بايت

في الثانية. حوالي عام 1950، شكك الباحثان Spiess و Mays في فعالية عقار Peteosthor وأجروا العديد من التجارب في المختبر وفي الجسم الحي. حيث أظهرا أن قتل البكتيريا *Mycobacterium tuberculosis* المسببة لمرض السل العظمي شوهد في المختبر بجرعات عالية من الثوريوم X، ولكن لم يُشاهد أي قتل للبكتيريا في الجسم الحي. أثيرت الاعتراضات على العلاج في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي، وكان السبب الأساسي في ذلك أن جزئيات الثوريوم X المترسبة في الهيكل العظمي المتنامي للأطفال والمراهقين من شأنه أن يتسبب في أضرار جسيمة. بسبب الفعالية المشكوك فيها للعلاج وإدخال المضادات الحيوية مثل الستربتومايسين، الذي اكتشفه Waksman (1943)، تم التخلي عن عقار Peteosthor كعلاج لمرض السل العظمي في عام 1956.

اليود المشع-131

تسبب بكتريا *Helicobacter pylori* عدوى مزمنة شائعة مسببة لسرطان المعدة حيث توجد في ما يقرب من نصف سكان العالم. حققت دراسات متعددة في تأثير اليود المشع-131، الذي يرسل أشعة بيتا قصيرة العمر (بنصف عمر 8.4 أيام)؛ حيث تبين أنه طريقة علاج مهمة في مكافحة سرطان الغدة الدرقية وفرط نشاط الغدة الدرقية. لا يتراكم اليود المشع-131 في الغدة الدرقية فحسب، بل في المعدة أيضاً، وبالتالي يمكن أن يقضي على عدوى بكتيريا *Helicobacter pylori*. في 71 مريضاً عولجوا من سرطان الغدة الدرقية المتمايز (Differentiated thyroid carcinoma)، تم إجراء اختبار متخصص لتشخيص عدوى هذه البكتيريا، ثلاثة وعشرون مريضاً كانت لديهم نتائج سلبية بعد العلاج وبالتالي انخفاض كبير في هذه البكتيريا. في دراسة أخرى، أظهر 18 من 85 مريضاً مصاباً بـ *Helicobacter pylori* والذين عولجوا من فرط نشاط الغدة الدرقية باليود انخفاضاً كبيراً لهذه البكتيريا. ومع ذلك، لم يلاحظ أي انخفاض ملحوظ في دراستين أخريين، الدراسة الأولى مع 18 مريضاً عولجوا من سرطان الغدة الدرقية المتمايز والدراسة الثانية مع 76 مريضاً عولجوا من سرطان الغدة الدرقية المتمايز و 11 مريضاً عولجوا من فرط نشاط الغدة الدرقية الأوّلي.

العلاج المناعي الإشعاعي

في الوقت الحالي، يتم استخدام تقنية العلاج المناعي الإشعاعي (Radioimmunotherapy, RIT) لعلاج أنواع مختلفة من السرطان، ولكن حتى الأربعينيات من القرن الماضي، كان علاج السرطان يعتمد حصرياً على النهج الجراحي. تغير ذلك مع ظهور الطب الجزيئي، واكتشاف "العلاج الكيميائي" بواسطة Louis Goodman و Alfred Gilman. في العقود القليلة التالية، تم اكتشاف العديد من عوامل العلاج الكيميائي التي نجحت في إحداث تخفيف لأنواع متعددة من السرطان. ومع ذلك، أثناء تطوير عقاقير السرطان الجهازية (Systemic cancer drugs) هذه، تمت مواجهة مشاكل كبيرة، مثل السمّيات الحادة وطويلة الأجل بشكل متكرر. لذلك، كان من الضروري تغيير الإستراتيجية وتم العثور على العلاج الموجّه. الهدف من العلاج الموجّه هو استهداف الخلايا السرطانية على وجه التحديد بأجسام مضادة مرقومة أو جزيئات صغيرة تتداخل مع المسارات الجزيئية المتعلقة بالتسرطن ونمو الورم. في أواخر الثمانينيات، حول الباحثون تركيزهم إلى كشف وفهم هذه المسارات الجزيئية وبسبب الابتكارات في التكنولوجيا تم اكتشاف المزيد والمزيد من الأجسام المضادة ومثبطات الأهداف المحددة. بينما يمكن للأجسام المضادة أن تؤثر بشكل مباشر على الخلايا السرطانية، يمكن استخدامها أيضاً كوسائل نقل لتوصيل العوامل التي يمكنها تدمير الخلايا السرطانية (مثل النظائر المشعة). عندما يتم تمييز الأجسام المضادة بالنظائر المشعة، يمكن توصيل جرعة عالية من الإشعاع المؤين مباشرة إلى الخلايا المستهدفة. في العقد الماضي، لوحظ نجاح في علاج سرطان الغدد اللمفاوية باستخدام اثنين فقط من المقارنات المناعية الشعاعية المعتمدة من قبل إدارة الغذاء والدواء (FDA)، ^{131}I-tositumomab و ^{90}Y-ibritumomab tiuxetan.

العلاج المناعي الإشعاعي للالتهابات الفطرية

أظهرت التجارب المخبرية أن كلا من خلايا العوالق والأغشية الحيوية لـ *Cryptococcus neoformans* حساسة للعلاج المناعي الإشعاعي في المختبر، وتسببت الأجسام المضادة الخاصة أحادية النسيلة للفطر *Cryptococcus neoformans* المقترنة بالبزموث-213 (باعث لشحنات ألفا قصيرة العمر، نصف العمر 45 دقيقة)

في انخفـاض بنسبة 50% في النشاط الاستقلابي (Metabolic activity) للغشاء الحيـوي الفطـري وانخفاض بنسبة 70% في النشاط الاستقلابي في خلايا العوالق عند مقارنتها بمعاملة الشاهد المتضمنة اقتران الأجسام المضادة غير النوعية. في نفس الدراسة، أظهر الرينيوم–188 (باعث لشحنات بيتا قصيرة العمر وبنصف عمر 17 ساعة) مترافقاً مع الأجسام المضادة الخاصة بـ *Cryptococcus neoformans*انخفاضاً في النشاط الاستقلابي لخلايا العوالق بنسبة 83%، ولكن لم يكن هناك انخفاض في النشاط الاستقلابي للغشاء الحيوي الرقيق.

في تجربة الجسم الحي من قبل Dadachova وزملائه (2003)، جرى إعداء 9 مجموعات من 10 فئران بـ 10^5 خلية من الفطر *Cryptococcus neoformans*. تمت معاملة مجموعات العلاج المتعددة بأجسام مضادة مرقومة تم إعطاؤها عن طريق الوريد مرتبطة بالبزموث–213 والرينيوم–188، وأظهرت النتائج بقاء 60% مع البزموث–213 و 40% مع الرينيوم–188 في اليوم 75 بعد العلاج بالمقارنة مع 0% بقاء على قيد الحياة في اتحاد الأجسام المضادة "الباردة" (أجسام مضادة بدون اقتران مشع) ومجموعـة معالجـة بمحلـول ملحـي. في دراسة أخـرى بنفس نموذج هذا الفطر في الجسم الحي، تمت مقارنة العلاج المناعي الإشعاعي مع البزموث–213 إلى عقار أمفوتريسين (Amphotericin) المضاد للفطريات. كان العلاج المناعي الإشعاعي أكثر فاعلية في تقليل الحمولة الفطرية في الرئتين والمخ، الذي جرى قياسه بواسطة عدد وحدات تكوين المستعمرات في أعضاء ما بعد الوفاة، حيث يمكن للبزموث–213 إزالة العدوى تماماً، بينما لم يستطع الأمفوتريسين تقليل هذا العدد من الخلايا الفطرية.

العلاج المناعي الإشعاعي للالتهابات البكتيرية

استخدم Dadachova وزملاؤه (2003) العلاج المناعي الإشعاعي لمكافحة الالتهابات البكتيرية. أظهرت الاختبارات في المختبر باستخدام أجسام مضادة مرقومة إشعاعياً بالبزموث–213 ضد المكورات الرئوية *Streptococcus pneumoniae* قتلاً ضئيلاً ولكن مهماً عند استخدام جرعات عالية نسبياً. يمكن أن يكون للجرعة الأعلى

تأثير أكبر كمبيد للجراثيم. أُجريت تجربتان في الجسم الحي مع فئران معدية بألف خلية من هذه البكتريا. في التجربة الأولى، عُولجت الفئران إما بأجسام مضادة مرقومة بالبزموث–213 أو بأجسام مضادة "باردة"، وتُركت مجموعة واحدة دون علاج. بعد 14 يوماً، نجا 87% من الفئران التي عولجت بالبزموث–213 مقابل 40% في المجموعتين الأخريين. في الدراسة الثانية في الجسم الحي، عولجت الفئران بأجسام مضادة مرقومة وغير مرقومة بالبزموث–213. تم استخدام الأجسام المضادة غير المرقومة ومجموعة غير معاملة كعناصر شاهد. أظهرت الفئران التي عولجت بأجسام مضادة مرقومة بالبزموث–213 نجاة بنسبة 100% بعد 14 يوماً مقابل 20% في مجموعة الأجسام المضادة غير النوعية المرتبطة بالبزموث–213 و 60% في مجموعة الأجسام المضادة غير المرقومة والمجموعة غير المعاملة. في دراسة أخرى، أظهر العلاج المناعي الإشعاعي مع البزموث–213 البقاء على قيد الحياة لفترات طويلة في الفئران المصابة بالخلايا البكتيرية *Bacillus anthracis* مقارنة بمجموعات الشاهد التي تحتوي على أجسام مضادة غير مرقومة ومحلول ملحي مخزن بالفسفات. أظهرت هذه النتائج الإمكانات العلاجية للعلاج المناعي الإشعاعي على الأمراض المعدية. وحتى الآن، لا توجد أية أدبيات حول استخدام العلاج المناعي الإشعاعي لعلاج العدوى لدى البشر.

الخلاصـــــة

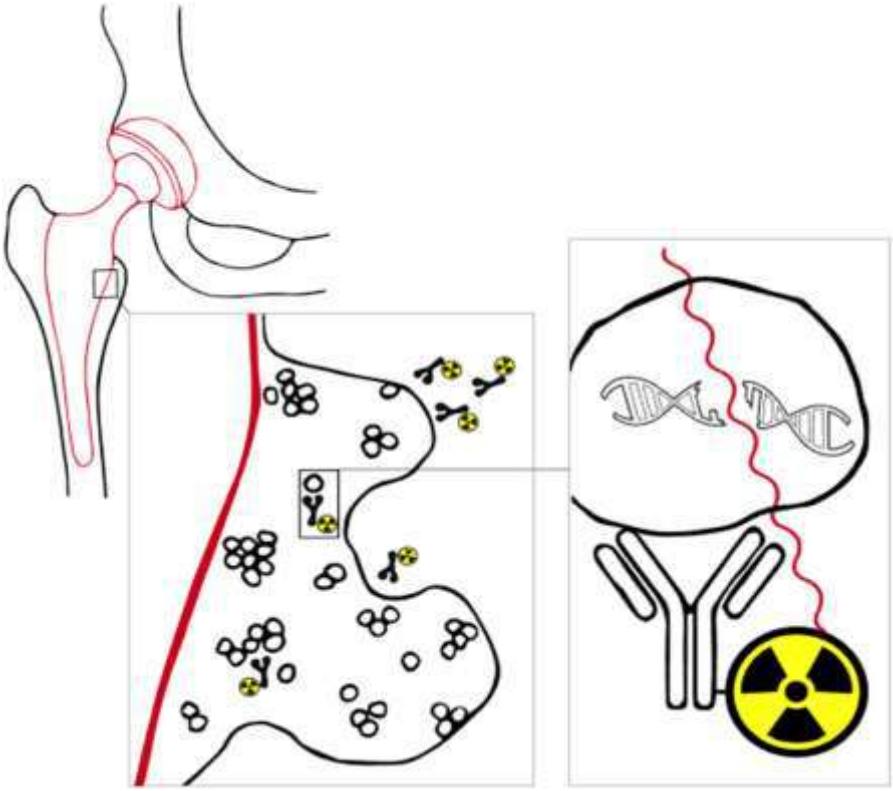
على مر التاريخ، كافحت البشرية العدوى وما زالت الحرب مستمرة حتى اليوم. مع تزايد حدوث البكتيريا المقاومة لمضادات الميكروبات، أصبح العثور على علاجات فعالة أمراً مهماً بشكل متزايد. في القرن الماضي، تم تطوير علاجات مختلفة وتم التخلي عنها لاحقاً. ومع ذلك، مع التقنيات الجديدة، والحاجة إلى الابتعاد عن اعتمادنا على المضادات الحيوية، فإن من الحكمة إعادة النظر في الاستراتيجيات القديمة. أيضاً، يمكن استخدام المعرفة المجمعة حول العلاجات من مجالات أخرى في الرعاية الصحية لعلاج العدوى. وقد هدفت هذه المقالة إلى تقديم ملخص لكل من التطورات التاريخية والحديثة في العلاج الإشعاعي للعدوى، مع توفير نظرة ثاقبة حول

كيفية المضي قدماً والتعلم من الأخطاء التي ارتكبت في الماضي. إن كلاً من الإشعاع الخارجي والداخلي لديه القدرة على إزالة العدوى. ومع ذلك، فإن الأضرار الجانبية للأنسجة السليمة هي مصدر قلق كبير، خاصة في العلاج الإشعاعي الخارجي. لعلاج الالتهابات بأشعة غاما الخارجية، هناك حاجة لجرعة عالية لقتل البكتيريا. نتيجة لذلك، يزداد خطر الإصابة بالسرطان على المدى الطويل لدى المرضى الذين يتعرضون لهذه الجرعات العالية من الإشعاع. بالطبع، سبق العلاج بالأشعة السينية للعدوى إلى حد كبير ظهور التطورات في مسرعات الجسيمات الخطية والعلاج الإشعاعي. لذلك، تم تجاهل العلاج الإشعاعي في الغالب كمرشح محتمل في علاج العدوى، خاصة وأن المضادات الحيوية كانت فعالة للغاية ومتاحة على نطاق واسع. مع دخولنا حقبة تتراجع فيها المضادات الحيوية بشكل متزايد، قد تتطور نهضة العلاج الإشعاعي الخارجي للعدوى مع العلاج الإشعاعي التجسيمي (Stereotactic)، والعلاج الإشعاعي معدل الشدة والعلاج الإشعاعي الموجه بالرنين المغنطيسي ليصبح الملاذ الأخير المحتمل للعلاجات المقاومة للعدوى.

على عكس هذه التقنيات العلاجية القائمة على إشعاع غاما، يمكن أيضاً استخدام النظائر المشعة الباعثة لأشعة ألفا وبيتا لعلاج العدوى. تتمتع هذه النظائر المشعة بقدرة اختراق أقل ولكنها أكثر تدميراً، وخاصة إشعاع ألفا. في وقت مبكر من عام 1950، تم عرض تأثير مبيد الجراثيم للنظير المشع الثوريوم X (^{224}Ra) الباعث لأشعة ألفا في المختبر. وهذا يجعلها مثيرة للاهتمام بشكل خاص لاستخدامها بشكل "رصاصات سحرية" يمكنها استهداف البكتيريا أو الأغشية الحيوية، مع تقليل الأضرار الجانبية للأنسجة السليمة. المفتاح في العلاج الإشعاعي الداخلي للعدوى هو وضع النظائر المشعة بالقرب من الهدف. على سبيل المثال، يمتلك النظير ^{224}Ra خصائص البحث عن العظام لأن هذه النظائر محبة للكلس وبالتالي فهي مدمجة في العظام، ومع زيادة معدل دوران العظام تعطي أعراض مماثلة لالتهابات العظام. ومع ذلك، في الدراسات السريرية اللاحقة، حيث تم استخدام ^{224}Ra لعلاج مرض السل العظمي، حتى الجرعات العالية للغاية لم تكن فعالة، وبمرور الوقت أدت إلى زيادة كبيرة في أورام العظام. يشير هذا إلى أن الاستهداف الأكثر انتقائية ضروري للاستفادة

من الإمكانات الكاملة لهذه النويدات المشعة الباعثة لأشعة ألفا وبيتا. أظهر Dadachova وزملاؤه (2017) أن استخدام الأجسام المضادة (Antibodies) كوسيلة نقل لتوصيل النظائر المشعة والبكتيريا والفطريات يمكن استهدافها بدقة عالية، مماثلة لكيفية استخدام العلاج المناعي الإشعاعي في مجال علم الأورام. يعتمد العلاج المناعي الإشعاعي على خصائص الأجسام المضادة التي تربط المستضدات (Antigens) لتوصيل الإشعاع السام الخلوي إلى الخلايا المستهدفة. ونظراً لأن الميكروبات تعبر عن مستضدات فريدة ومختلفة عن المستضدات المضيفة، يمكن استهدافها بدقة عالية وتفاعلية منخفضة. يمكن أن يكون لذلك قيمة كبيرة بشكل خاص في حالات العدوى ذات الصلة بالغشاء الحيوي، حيث تكون الخلايا الساكنة غير نشطة التمثيل الغذائي، وبالتالي ليست عرضة لمعظم المضادات الحيوية لأن الآثار الضارة للإشعاع مستقلة عن حالة التمثيل الغذائي للخلية. لتحسين العلاج المناعي الإشعاعي بشكل أكبر، يمكن استخدام المركبات الأصغر مثل الأجسام النانوية. تُشتق هذه الأجسام النانوية من الإبل وهي أصغر بعشر مرات من الأجسام المضادة التقليدية. نظراً لحجمها، فقد زادت الأجسام النانوية من قدرتها على التخلص من المركبات المناعية الخطرة المحتملة المتبقية لتقليل الأضرار الجانبية بشكل أكبر.

ولدى هذه المركبات اختراق أفضل للأنسجة والأغشية الحيوية. تشمل المزايا الأخرى الثبات العالي والذوبان والتعبير والخصوصية. من الناحية النظرية، يمكن علاج المريض المصاب بالتهاب المفصل العدوائي حيث تتم معاملة موطد الورك (Hip implant) المعدي بالبكتيريا والغشاء الحيوي، بأجسام نانوية مرقومة بباعث أشعة ألفا مثل البزموث–213 والأكتينيوم–225 التي يمكنها اختراق الغشاء الحيوي بعمق، وتدمير البنية وقتل البكتيريا (الشكل 1). يمكن أن تكون هذه الأجسام المضادة أيضاً أداة تشخيصية قوية للتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (اختبار تصويري يساعد في كشف كيفية عمل الأنسجة والأعضاء) عند ترقيمها بالنظائر المشعة البوزيترونية مثل الفلور–18 أو الزركونيوم–89 نظراً للخصوصية العالية والتخليص السريع، حيث من المتوقع وجود إشارة خلفية منخفضة حتى يمكن اكتشاف العدوى منخفضة الدرجة بدقة وحساسية عالية.



الشكل (1) المفهوم: العلاج المناعي الإشعاعي لالتهاب المفصل العدوائي المحيط بالأطراف الصناعية. تشكل البكتيريا غشاءً حيوياً على مفصل الورك الاصطناعي يحميها من المضادات الحيوية والجهاز المناعي. يمكن أن يكون العلاج الإشعاعي الموجّه بالنظائر المشعة الباعثة لألفا أو بيتا قادراً على تدمير بنية الأغشية الحيوية وقتل البكتيريا

دائماً ما يكون العلاج والتشخيص بالإشعاع عرضة لمخاوف تتعلق بالسلامة. تستخدم النظائر المشعة الباعثة لأشعة ألفا وبيتا مثل الراديوم-223 والرينيوم-188 بالفعل في العيادة لسرطان البروستات. وتظهر دراسات السلامة أن العلاج بهذه النظائر المشعة يرتبط بحد أدنى من الأحداث الضارة. ومع ذلك، من المهم مراعاة وقت البقاء والعمر والرفاهية الجسدية والعاطفية وخيارات العلاج البديلة. نظراً لأن البقاء على قيد الحياة لمدة 5 سنوات لمرضى التهاب المفصل العدوائي أقل من البقاء

على قيد الحياة المتوقع لسرطان الجلد والبروستات والثدي، يبدو أن العلاجات العدوانية (Aggressive) لها ما يبررها. في بعض الأحيان، تنطوي جراحة العدوى على مخاطر كبيرة لدرجة أن المضادات الحيوية مدى الحياة أو البتر فقط هو مجرد خيار. تقلل زيادة تطوّر مقاومة المريض للمضادات الحيوية بسبب العلاج بالمضادات الحيوية لمدة طويلة من فرصة نجاح العلاج بشكل أكبر. في هذه الحالات، قد يكون العلاج الإشعاعي مفيداً على الرغم من الآثار طويلة المدى المحتملة المحدودة.

الإستنتـــــاج

تزداد الحاجة إلى خيارات العلاج البديلة للمرضى المصابين بعدوى مثل التهاب المفصل العدوائي كل عام، ليس فقط بسبب زيادة مقاومة العوامل الممرضة للمضادات الحيوية، ولكن أيضاً لأن تكوين الأغشية الحيوية يعيق علاج هذه العدوى بالمضادات الحيوية. تستحق الآفاق الجديدة لاستراتيجيات العلاج الإشعاعي ضد الالتهابات الميكروبية ذات الصلة بالعوالق والغشاء الحيوي مزيداً من البحث.

ترجمة: د. م. نشأت صقر
هيئة الطاقة الذرية السورية
nsakr@aec.org.sy

(1) Bannas P, Hambach J, Koch-Nolte F. Nanobodies and nanobody-based human heavy chain antibodies as antitumor therapeutics. Front Immunol. 2017; 8(NOV): 1–13.
(2) Calabrese EJ, Dhawan G. How radiotherapy was historically used to treat pneumonia: could it be useful today? Yale J Biol Med. 2013; 86: 555–70.
(3) Calabrese EJ. X-ray treatment of carbuncles and furuncles (boils): a historical assessment. Hum Exp Toxicol. 2013; 32(8): 817–27.
(4) Graamans K. Nasopharyngeal radium irradiation: the lessons of history. Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2017; 93: 53–62.

تطبيقات التصوير بالرنين المغنطيسى النووي في الأبحاث النباتية

Abstract

Magnetic resonance imaging (MRI) is established on nuclear magnetic resonance. Its name comes from the interaction of certain atomic nuclei in the presence of an external magnetic field when exposed to radiofrequency electromagnetic waves of a specific resonance frequency. Although MRI has been extensively used in medical examination, the applicability of this technique as a non-invasive detection to plant science researches is still at the exploration stage. MRI is capable of gaining information with high spatial resolution, both structural and biochemical, as well as on temporal changes within the plant. Plant research applications involving MRI range from functional imaging of the biotic and abiotic stress responses, plant physiology and development, water mobility, biodiversity, to gene functions and metabolism. Nuclear MRI of plants may provide valuable, new insight into several aspects in the plant science researches because of its non-destructive nature and the sufficiently high spatial resolution of the method. This article is a reference study based on published scientific articles.

مقدمـــة

لا يمكن تطبيق العديد من الطرق الموضحة في الأدبيات الكيميائية الحيوية والفيزيائية الحيوية والطبية مباشرة على المواد النباتية بسبب بنية الخلية الخاصة

المحاطة بجدار خلوي صلب والافتقار العام للمعرفة بالسلوك المحدد للمواد الخام النباتية أثناء إجراءات الاستخراج. ومع ذلك، تتوفر العديد من الأدوات لتقييم الدور الحيوي والوظيفي في أجزاء النبات المختلفة وتفاعلات النبات مع الوسط المحيط الذي يشمل التأثيرات البيئية المختلفة وعوامل الإجهادات الحيوية وغير الحيوية. تشمل هذه الأدوات طرق مختلفة من التحاليل الشكلية والكيميائية الحيوية والفيزيائية الحيوية وغيرها من التحاليل. وفي كثير من الأحيان، فإن هذه التحاليل المتنوعة في الأنسجة النباتية تتطلب تحاليل أخرى مثل التحليل الكيميائي/الفيزيائي للتربة ممّا يعقد عملية التحليل بشكل عام. علاوة على ذلك، تتطلب هذه التقنيات التقليدية لدراسة بيولوجيا النبات أخذ عينات مختلفة من الأنسجة النباتية، على سبيل المثال: لدراسة تطور النبات في مراحله المختلفة، والتركيب الكيميائي للعناصر المغذية، ولتحليل نواتج التمثيل الغذائي في النبات، ولدراسة تأثير مسببات الأمراض الحيوية وغير الحيوية، إلى آخره. غالباً ما تؤدي هذه الطرق إلى فقدان الأجزاء الحساسة من النباتات والتي لا يمكن بعد ذلك تقييمها بمزيد من التفصيل. علاوة على ذلك، فإن تجارب الدورة الزمنية معقدة للغاية حيث يؤدي أخذ العينات المخرب للأنسجة الخلوية إلى زيادة التباين بسبب ارتفاع عدد العينات قيد التحليل. وأيضاً، تتطلب هذه التقنيات لبعض التحاليل الحيوية على جذور النباتات عمالة كثيفة؛ وفي نفس الوقت، العديد من هذه التقنيات تفتقر إلى الدقة. من الواضح أن هناك حاجة ماسة إلى تقنيات أفضل لمثل هذه الدراسات المتعددة في علوم النبات.

في السنوات الأخيرة، تم تطبيق بعض الأساليب المحسنة مثل التصوير بالرنين المغنطيسي في الأبحاث النباتية. تم استخدام هذه التقنية على نطاق واسع في البحوث الطبية ولا يزال تطبيق هذه التقنية على أبحاث علوم النبات في مرحلة الاستكشاف. يعتمد التصوير بالرنين المغنطيسي على العزم المغنطيسي للنواة الذرية مثل البروتونات والتي توجد بكثرة في الأنسجة الحية وخاصة في جزيئات الماء. حيث يمكن معالجة العزم المغنطيسي باستخدام المجالات المغنطيسية القوية ومجالات تردد الراديو التي ليس لها تأثير معروف على تطور النبات لإنتاج مجموعات بيانات ثلاثية الأبعاد من العينات. ومع ذلك، يتميز التصوير بالرنين المغنطيسي بأنه غير متلف

للخلايا ويمكن استخدامه للكشف عن التغيرات الفسيولوجية التي تحدث في النباتات. نظراً للاختلافات في محتوى الماء بين الأنسجة النباتية والمواد المحيطة، يمكن استخدام التصوير بالرنين المغنطيسي لاكتشاف خصائص النبات وتصوير الأنسجة النباتية المختلفة. حتى الآن، تم إجراء العديد من الدراسات باستخدام التصوير بالرنين المغنطيسي لدراسة تطور النبات وحركية الماء في النباتات الحية والتمثيل الغذائي النباتي وللتصوير الوظيفي للاستجابة إلى الإجهادات غير الحيوية والحيوية.

تقنية التصوير بالرنين المغنطيسي

إن التصوير بالرنين المغنطيسي هو تقنية تصوير غير إتلافية تمكّن من مراقبة الأعضاء التشريحية والوظائف الفسيولوجية والتركيب الجزيئي للأنسجة. يعتمد التصوير بالرنين المغنطيسي على الرنين المغنطيسي النووي، والذي يأتي اسمه من تفاعل نوى ذرية معينة في وجود مجال مغنطيسي خارجي عند تعرضها لموجات كهرمغنطيسية للترددات الراديوية ذات تردد رنين معين. تم توثيق الرنين المغنطيسي النووي لأول مرة في عام 1939 في حزمة جزيئية من قبل العالم Isidor Rabi الذي حصل على جائزة نوبل في الفيزياء في عام 1944. في عام 1946، تم تطوير تقنيات بشكل مستقل من قبل Felix Bloch و Edward Purcell التي وسعت مجال استخدام الرنين المغنطيسي النووي إلى السوائل والمواد الصلبة، حيث تشارك هذان العالمان جائزة نوبل في الفيزياء عام 1952 لمساهمات مهمة أخرى في طرق الرنين المغنطيسي. ابتكر العالم Paul Lauterbur في عام 1973 تقنية لإنشاء أول صورة ثنائية الأبعاد من إشارات الرنين المغنطيسي النووي. يُعرف هذا الآن باسم التصوير بالرنين المغنطيسي. تم تقديم استراتيجيات لتحسين سرعة التصوير من قبل الباحث Peter Mansfield في عام 1978. وتقديراً لمساهماتهم، حصل Lauterbur و Mansfield على جائزة نوبل في علم وظائف الأعضاء والطب في عام 2003. قدم العالم Raymond Damadian أيضاً مساهمات كبيرة في تطوير التصوير بالرنين المغنطيسي للتصوير البشري من خلال إثبات أن الأورام يمكن تمييزها عن الأنسجة الطبيعية. منذ ذلك الحين، أصبح التصوير بالرنين المغنطيسي طريقة تصوير حيوية للاستخدام السريري.

إن أساس التصوير بالرنين المغنطيسي هو أن نوى ذرية معينة في الأنسجة عادة تلك الخاصة بالهيدروجين تصبح ممغنطة عند وضعها في مجال مغنطيسي خارجي. ينتج عن هذا في الأنسجة مغنطة صافية، والتي تتماشى في البداية مع اتجاه المجال المغنطيسي الرئيسي. تبدأ تجربة التصوير بالرنين المغنطيسي النموذجية بنقل نبضة تردد راديوي لتعطيل هذه المغنطة. يسمى هذا بتنبيه التردد الراديوي ويتطلب أجهزة تسمى لفائف الإرسال. تتضمن عملية التنبيه "قلب" المغنطة بعيداً عن المحور الطولي، حيث لا يمكن اكتشاف الإشارة، إلى المستوى العرضي حيث يمكن اكتشافها بعد ذلك بواسطة جهاز يعرف باسم لفائف الاستقبال. بعد إيقاف تشغيل نبضة التردد الراديوي، تخضع المغنطة لعمليات تسمى الاسترخاء والتدرج حيث تعود إلى تكوين توازنها الحراري. من الممكن اكتشاف المغنطة لأن المكون العرضي لمعالجة المغنطة يحفز قوة دافعة كهربائية في لفائف الاستقبال. تم الكشف عن هذا الرنين المغنطيسي النووي كإشارة في التصوير بالرنين المغنطيسي، ويمكن تشفير الإشارة المستقبلة مكانياً عن طريق تطبيق تدريجات المجال المغنطيسي التي يتم فرضها على المجال المغنطيسي الرئيسي المنتظم. يتم تكرار وحدات التنبيه والكشف حتى يتم جمع جميع البيانات. يتم تسجيل البيانات ومعالجتها لتكوين صورة. إن التصوير بالرنين المغنطيسي قادر على إنتاج صور مقطعية للجسم مع تباين ممتاز للأنسجة الرخوة. يعمل التصوير بالرنين المغنطيسي في نطاق الترددات الراديوية، لذلك لا يحتوي على أي إشعاع مؤين ضار.

تطبيقات التصوير بالرنين المغنطيسي النووي في الأبحاث النباتية

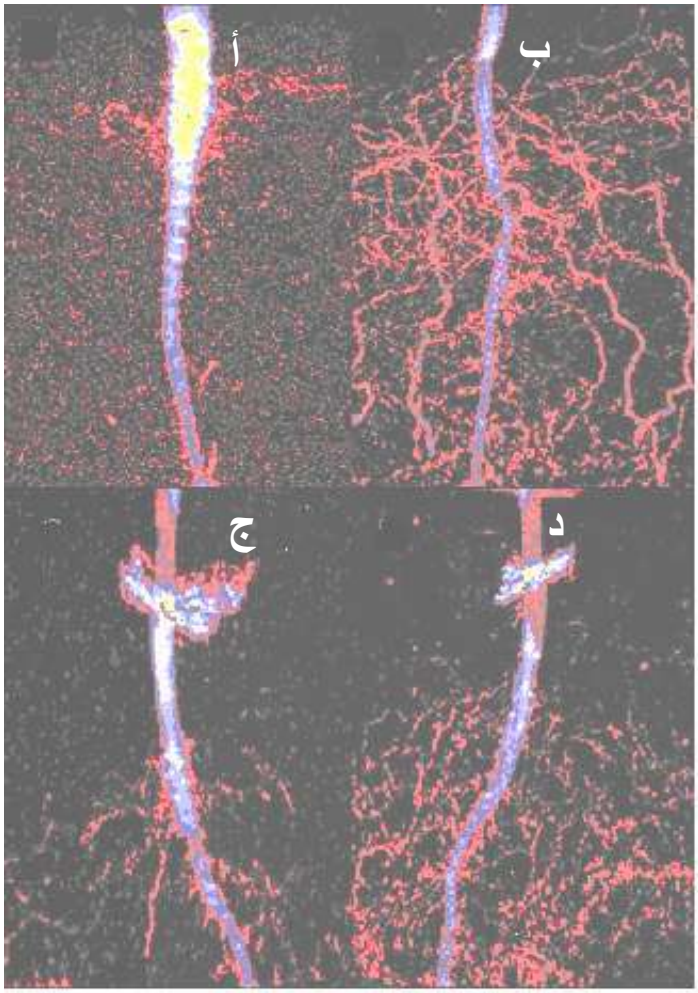
اعتمد أول تطبيق للتصوير بالرنين المغنطيسي في العلوم النباتية على استخدام ماسح ضوئي سريري بشري بالرنين المغنطيسي النووي، ولكن بحجم لازم لتجهيز وصيانة مرفق مخصص للتصوير بالرنين المغنطيسي، إلى جانب الدقة المكانية المتواضعة التي تم تحقيقها في ذلك الوقت، حافظ الفحص المجهري البصري على دوره كوسيلة أساسية لاستكشاف الأعضاء الداخلية للنباتات. في الوقت نفسه، نظراً لعدد من القضايا التقنية الخاصة بالنباتات ـ لا سيما التنوع الواسع فيما يتعلق بحجم

الكائن الحي وطبيعته الثابتة غير المتحركة – ربما لم تمثل النباتات موضوعاً جذاباً لعلماء الرنين المغنطيسي النووي. مع التقدم في تطوير الأجهزة في العقود الماضية وإنجاز المجالات المغنطيسية فائقة الارتفاع وتطوير تقنيات التصوير الجديدة، تم حل معظم هذه المشكلات وتم تمهيد الطريق لتطبيق التصوير بالرنين المغنطيسي في أبحاث النباتات.

التصوير الوظيفي للاستجابة النباتية إلى الإجهادات الحيوية

تُصاب النباتات بطيف واسع من الممرضات الفيروسية والبكتيرية والفطرية، ومن شأن الوسائل الديناميكية لمراقبة التفاعل بين العائل والممرض أن تعزز بشكل كبير فهمنا لعملية العدوى. على الرغم من أن الضرر الناجم عن العدوى غالباً ما يكون مرئياً بسهولة، إلا أنه يمكن أن يظل مخفياً في بعض الأحيان داخل النبات. تم إعطاء مثال جيد لاستخدام التصوير بالرنين المغنطيسي في سياق أمراض النبات من خلال تحليل أشجار الجميز المريضة *Acer pseudoplatanus*، حيث يمكن تحديد كل من مسارات العدوى المختلفة التي تستغلها مسببات الأمراض المختلفة بشكل جيد وتأثير المرض على حالة الماء في الأوعية الخشبية. ساهم تطبيق التصوير بالرنين المغنطيسي في فهم مرض Pierce أيضاً، والذي كان يمثل مشكلة كبيرة في بعض مزارع كروم العنب في الولايات المتحدة من فلوريدا إلى كاليفورنيا خلال أوائل التسعينيات. جرى الاعتقاد أن حدوث هذا المرض هو نتيجة حتمية لنمو العامل المسبب الوحيد وهو النوع البكتيري*Xylella fastidiosa* داخل نسيج الأوعية الخشبية، ممّا يؤدي إلى إضعاف نقل الماء في جميع أنحاء النبات. ومع ذلك، أظهر تحليل التصوير بالرنين المغنطيسي أن انسداد النسيج الخشبي ناتج عن الاستجابات النشطة للعائل للعدوى البكتيرية وليس من تكاثر العامل الممرض نفسه. كما سمحت التطورات الحالية في التصوير بالرنين المغنطيسي بالكشف غير المخرب للأنسجة عن الأعراض الموجودة تحت الأرض في الشوندر (البنجر) السكري التي تسببها النيماتودا *Heterodera schachtii* والنوع الفطري *Rhizoctonia solani* المسبب لتعفن جذور

التربة. رصد التصوير بالرنين المغنطيسي علاقة تآزرية بين الممرضين، ممّا يوفر رؤية جديدة للتفاعلات بين مسببات الأمراض النباتية (الشكل 1).



الشكل 1: صورة بالرنين المغنطيسي النووي لنبات الشوندر (البنجر) السكري غير الملقح بالممرضات النباتية (أ) وللنبات الملقح بالنيماتودا *Heterodera schachtii* (ب)، وللنبات الملقح بالنوع الفطري *Rhizoctonia solani* (ج)، وللنبات الملقح بالممرضين *Rhizoctonia solani* و *Heterodera schachtii* (د) بعد 28 يوماً من العدوى.

التصوير الوظيفي للاستجابة النباتية إلى الإجهادات غير الحيوية

من المعروف أن التوزيع الجغرافي للأنواع النباتية يتأثر بشكل كبير بالوتيرة التي تتعرض فيها النباتات إلى الإجهادات غير الحيوية، ولا سيما الجفاف أو الملوحة أو البرودة أو الحرارة. إن الرابط المشترك بين كل هذه الإجهادات غير الحيوية هو أن بعض تأثيرها الضار على الأقل ناتج عن اضطراب في حالة رطوبة النبات.

الإجهاد المائي

يعد الجذر لاعباً رئيسياً في تكيف النباتات مع الإجهاد المائي. يمكن أن ينتج عن التصوير بالرنين المغنطيسي صوراً للجذور في التربة ونمذجة لبنيتها ومراقبة تغيرات الرطوبة في منطقة الجذور وإجراء دراسات وظيفية لتغذية النبات. نجحت تحليلات التصوير بالرنين المغنطيسي لكثافة جذور الذرة المجهدة بالجفاف في تحديد أحداث التجويف الموضعية والسماح بتصور عملية إعادة ملأ هذه التجويفات، ممّا يلقي الضوء على هوية بعض العمليات الكامنة وراء تحمل الجفاف. طورت بعض الأنواع النباتية مستوى عالٍ جداً من مقاومة الجفاف، وقد يساعد التصوير بالرنين المغنطيسي في كشف الآليات الأساسية. إن نبات القيامة الأفريقي *Myrothamnus flabellifolia* قادر على التبديل بالكامل بين حالتي: الجفاف الشديد والنبات الأخضر المائي خلال 24 ساعة من الري. تم تصوير تركيبة الدهون وحركية الماء داخل براعم وأوراق النبات أثناء نوبات الترطيب والجفاف باستخدام التصوير بالرنين المغنطيسي. قدم هذا التحليل دليلاً على أن أنسجة النقل الرئيسية مجهزة بالدهون، وأن الترتيب المكاني للأوعية الخشبية يمكّن من تكرار دورات الترطيب والجفاف بطريقة منظمة.

إجهاد الحرارة المنخفضة

يمكن أن يتسبب التعرض المطوّل لدرجات حرارة قريبة من درجة التجمد في حدوث تغيرات وظيفية وتلف الأنسجة. سمحت المراقبة المستمرة القائمة على التصوير بالرنين المغنطيسي على مدى فترة 240 ساعة بإجراء دراسة مفصلة للاستجابة لإجهاد الحرارة المنخفضة في شجرة الكيوي وجرى التوصل إلى استنتاج مفاده أن

التبريد تسبب في انخفاض كبير في امتصاص الماء بسبب انسداد الأوعية الخشبية وأيضاً ملاحظة أن استعادة حيوية نسيج الأوعية الخشبية كان من خلال التدفق وليس فقط من خلال عملية ملء هذه الأوعية بالماء. كان تحليل التصوير بالرنين المغنطيسي قادراً على تحديد الاختلافات السلوكية الواضحة بين النباتات المتأقلمة وغير المتأقلمة لإجهاد الحرارة المنخفضة. كان من الممكن تحديد الجزء الأكثر حساسية للبرد في النبات، حيث تعتبر الأساليب اللاّإتلافية للأنسجة الخلوية مفيدة أيضاً لأنواع الغابات. تختلف البراعم الزهرية للأشجار الداخلة في السبات في قابليتها لتلف التجميد. تم تطوير طرق، بناء على التصوير بالرنين المغنطيسي، لتحديد الاستجابة لدرجات الحرارة تحت الصفر لمختلف أنواع الأشجار. وقد كشفت مقارنات صور التصوير بالرنين المغنطيسي التي تم الحصول عليها من الأشجار المعرضة لظروف التجميد أن البراعم الزهرية للقيقب الياباني *Acer japonicum* وأوراقه وأنسجة لحاء الساق قد تجمدت عندما انخفضت درجة الحرارة إلى ما دون 7 درجات مئوية، لكن النسيج البدائي الجانبي احتفظ بقابليته للبقاء حتى ما دون 40 درجة مئوية، قد تساعد هذه الإستراتيجية (التجميد المنسق) في ضمان بقاء الأشجار.

تصوير تطور النبات

يتمثل الدافع الرئيسي لعلم الأحياء التطوري في فهم كيفية إنتاج العمليات الجزيئية والخلوية مورفولوجيا ثلاثية الأبعاد. بفضل طابعه اللاّإتلافي للخلايا، فإن التصوير بالرنين المغنطيسي، على عكس تقنيات التصوير الأخرى، قادر بدقة مكانية عالية على التغيرات الهيكلية والكيميائية الحيوية والزمانية داخل النبات، وبالتالي يمكن استخدامه لمراقبة عمليات تطوير النبات.

إنبات البذور والبراعم الزهرية

إن الإنبات هو أحد العمليات الأساسية للنبات القابلة للتحليل بشكل خاص للتصوير بالرنين المغنطيسي، والتي تبدأ بامتصاص الماء في البذرة (التشرب). نظراً لأن التصوير بالرنين المغنطيسي لا يتطلب شفافية الأنسجة للحصول على الصورة فيمكن استخدامه لتتبع مصير الماء المشبع في البذور بشكل لا إتلافي للخلايا،

وبالتالي تحديد الأنسجة التي تتشارك في توزيع الماء. تمت دراسة عملية الإنبات بواسطة التصوير بالرنين المغنطيسي في معظم أنواع المحاصيل الرئيسة والتي تشمل القمح والذرة والشعير والبقوليات وأنواع أخرى تشمل الأشجار. على سبيل المثال، لوحظ اهتزاز ميكانيكي غير متوقع لبذور الفاصوليا أثناء عملية التشرب وتم الكشف عن بعض الآليات التنظيمية التي تتحكم في امتصاص الماء. كشف التصوير بالرنين المغنطيسي لبراعم زهرة العقيق *Lachenalia aloides* تأثير درجة الحرارة المرتفعة على عمليات التخزين الداخلية المختلفة، حيث ارتبط نمو البراعم وتحريض السكون في هذه النباتات الخشبية بمحتوى وحركية الماء. ومن الجدير بالذكر أنه يمكن استخدام التصوير بالرنين المغنطيسي لفحص سلوك الماء في البراعم والمساهمة في التحقيقات حول الآليات الكامنة وراء تكيف النباتات مع التغيرات البيئية والمناخية.

نمو البذور

يعد نمو البذور هدفاً قيّماً للتصوير بالرنين المغنطيسي، وقد تم استخدام طرق مختلفة لوصف هذه المرحلة من دورة حياة النبات. جرى استخدام التصوير بالرنين المغنطيسي لدراسة تطوير حبوب الشعير من الإزهار إلى النضج وإنشاء صور ثلاثية الأبعاد لبويضات الزهرة. استخدم التصوير بالرنين المغنطيسي لدراسة محتوى/توزيع الماء أثناء نضوج بذور الترمس، وتوضيح العلاقة المكانية/الزمانية لبروتينات الديهيدرين، التي تعد عائلة متعددة من البروتينات الموجودة في النباتات التي يتم إنتاجها استجابة للإجهاد البارد والجفاف. لدى استخدام التصوير بالرنين المغنطيسي بالتوازي مع االتحليل الطيفي بالرنين المغنطيسي النووي سمح بالتقدير الكمّي للتراكيز المحلية من مواد التمثيل الغذائي في مناطق مختلفة من البذرة. كما طُبق أسلوب التصوير بالرنين المغنطيسي للدراسة التكاملية للبذور النامية في صنفين من الشوفان، حيث جرى الجمع مع رسم خرائط الدهون ومواد التمثيل الغذائي.

نمو الثمار

جرى رصد العملية التنموية الكاملة لثمار الكشمش (الزبيب) الأسود *Ribes nigrum* بالصور ثنائية وثلاثية الأبعاد على حد سواء وتم قياس الحجم الخلوي ومحتوى الدهون. باستخدام التصوير بالرنين المغنطيسي، تم إجراء القياس الكمي

لتركيب ثمار نخيل الزيت وجرى تحديد نمط خاص بالأنسجة الزيتية والانتشار المائي. جرى إثبات أن معظم الماء المنقول إلى ثمار الطماطم ينتقل عبر النسيج الخشبي وليس اللحائي، وبالتالي حل مشكلة طويلة الأمد في نمذجة نمو الثمار. وجد التصوير بالرنين المغنطيسي أيضاً تطبيقات في دراسة معايير معينة لجودة الثمار لعدد من الأنواع النباتية.

نمو الجذور

مكّنت معظم التحسينات الحديثة في تقنية التصوير بالرنين المغنطيسي من التحقيق في تطور الجذور. يمكن للتصوير بالرنين المغنطيسي أن يتخيل الهندسة ثلاثية الأبعاد للجذور، ليس فقط في الوسائط السائلة أو الصافية ولكن أيضاً داخل التربة أو الرمل. يتيح ذلك الوصول إلى بنية الجذر "المخفية" ومدى ارتباطها بتكوين التربة المحلية والعوامل البيئية والحيوية.

تصوير حركية الماء في النباتات الحية

يعتمد توزيع الماء والمغذيات والمركبات التنظيمية في النباتات على وظائف النظام الوعائي. هذا النظام الذي يتكون من الأوعية اللحائية والخشبية متجذر بعمق في أنسجة النبات، وبالتالي فإن أي تحقيق وظيفي يصبح تحدياً تقنياً. لشرح القوى الدافعة للحركية الذائبة داخل النظام الوعائي تم اقتراح نظريتين: نظرية الالتصاق والشد لشرح النقل في النسيج الخشبي وفرضية تدفق الضغط لشرح النقل في النسيج اللحائي، حيث أن صحة هاتين الفرضيتين ظلت مسألة نقاش على مدى عقود. حالياً، يعد التدفق في النسيج الخشبي واللحائي وتفاعلاتهما المتبادلة أحد أكثر المواضيع شيوعاً للتصوير بالرنين المغنطيسي. كانت إحدى المساهمات الخاصة للتصوير بالرنين المغنطيسي هي التوصيف لتدفقات النسغ (عصارة النبات) في النسيج الخشبي/اللحائي والتقدير الكمي للنمط اليومي للتدفق الذائب وتحديد علاقات هيكلية معينة مثل العلاقات بين هندسة الوعاء اللحائي والتدفق ضمن اللحاء. تسلط هذه الملاحظات المهمة الضوء على حقيقة مفادها أن الماء يتدفق عبر النبات ككل

ويستجيب لكل من مصدر النتروجين وتبريد الجذر/الساق. استخدم التصوير بالرنين المغنطيسي لربط التدفق المذاب بالتعبير عن مورثات بروتين الأكوابورينات (Aquaporins)، نوع من البروتينات الداخلية الرئيسية التي تسهل بشكل انتقائي عبور الماء والجزيئات المحايدة الصغيرة عبر الأغشية البيولوجية، في نبات رشاد أذن الفأر *Arabidopsis thaliana*. إن الإجماع المتزايد هو أن شبكة النظام الوعائي للنبات، بعيداً عن كونها شبكة أوعية نقل خاملة، هي في الواقع نظام نقل منظم بدقة.

التنوع البيولوجي

يهدد التنوع البيولوجي مجموعة من الاستغلال المفرط للطبيعة والتلوث وتغير المناخ، ممّا يزيد من أولوية الحفاظ على الموارد الوراثية النباتية. يمثل تخزين البذور في درجات حرارة منخفضة وسيلة فعالة للحفاظ على العديد من أنواع النباتات المزهرة، بينما يمكن حفظ بعض الأنسجة غير البذرية (مثل الدرنات والأبصال) بالتجفيد (التجفيف بالتجميد). يعد طول عمر البذور مشكلة في جميع بنوك الأصول الوراثية، ويعني الافتقار إلى الأساليب اللاّإتلافية للخلايا لتقييم صلاحية البذور أن أعداد البذور تنضب حتماً بمرور الوقت، ممّا يجبر المخزنون على طلب التجديد على أساس منتظم. إن قدرة التصوير بالرنين المغنطيسي على توفير تقييم لا إتلافي لسلامة البنية الداخلية للبذرة، والكشف عن وجود مسببات الأمراض الداخلية، وتصوير توزيع الدهون أو الماء داخل البذرة، ومراقبة الحالة الفيزيائية للرطوبة داخل البذرة نتيجة للتخزين في درجات حرارة منخفضة، كلها وثيقة الصلة بتطوير إستراتيجية فعالة للحفاظ على الأصول الوراثية. يمكن أن تنجح المقارنات المنهجية لبنية وتكوين البذور التي تم حصادها حديثاً مقابل البذور المخزنة في تحديد المعلمات المرتبطة مع بقاء البذور. لا يمكن الحفاظ على معظم أجزاء النبات سليمة على المدى الطويل، ويتم تغييرها بشكل كبير أثناء إجراءات التثبيت أو الحفظ بالتبريد. يمكن أن يؤدي إنشاء مكتبة افتراضية توفر نماذج ثلاثية الأبعاد لهذه المواد استناداً إلى بيانات التصوير بالرنين المغنطيسي للنباتات الحية إلى تمكين مجموعة رقمية لا غنى عنها لكتلة من معلومات التنوع البيولوجي وجعلها في متناول الأجيال القادمة من العلماء. والجهود جارية لتطوير الأجهزة والبرامج والمنهجيات المناسبة.

التعبير الوراثي

توفر المراقبة اللاّإتلافية لعمليات النبات إمكانية إقامة علاقات بين التعبير الوراثي والأحداث الفسيولوجية والتي يمكن أن تساعد في توضيح وظيفة المورثات. كان دور بروتينات الأكوابورينات في الحفاظ على حالة رطوبة النبات وحركية الماء وتحمل الإجهاد مثيراً للجدل لبعض الوقت ، لكن تصوّرها باستخدام التصوير بالرنين المغنطيسي قد حل الكثير من الجدل. جرت مراقبة سلوك الماء في جذور النوع النباتي *A. thaliana*، لوحظ وجود نمط نهاري لمحتوى الماء في المنطقة القاعدية للجذر وتم الحفاظ على هذا الإيقاع حتى عندما ظلت النباتات تحت الضوء أو الظلام المستمر. تمت مقارنة بيانات التصوير مع ملامح التعبير لمورثين من المورثات المشفرة لبروتينات الأكوابورينات، المعروفين بالتحكم في امتصاص الماء واللذين يتبع تعبيرهما إيقاعاً يومياً تحت ضوء مستمر. تم إلغاء التذبذب اليومي في حركية الماء في طفرة تم اختراقها للكشف عن الإشارة اليومية. وبالتالي، فإن إدراج بيانات التصوير بالرنين المغنطيسي سمح بالربط بين الوظيفة (حركية الماء) والتعبير الوراثي. من المتوقع أن ينتج عن الاستخدام الأوسع للتصوير بالرنين المغنطيسي لهذا النوع من الأبحاث العديد من الأفكار الجديدة حول وظيفة المورثات. مثال آخر هو مورث Jekyll-Gener في الشعير الذي ثبت أن له دوراً في التكاثر الجنسي. يبدو أن التنظيم المتردد لمورث Jekyll-Gener يقترن مع تحلل الخلية في الحبوب النامية، في حين أن تنظيمها الهبوطي يبطئ نمو النسيج الخلوي الداخلي في البذرة. على هذا الأساس، أُقترح أن وظيفة هذا المورث مرتبطة بتخصيص المواد الغذائية بين أنسجة المبيض والأنسجة الخلوية الداخلية في البذرة. في وقت لاحق، تم تطبيق تقنية التصوير بالرنين المغنطيسي مع نظير الكربون وأظهرت التجارب أن كمية وتوزيع السكروز (Sucrose) تعتمد على درجة تثبيط هذا المورث، وتمت الموافقة على دور مورث Jekyll-Gener في تخصيص المغذيات أثناء عملية ملء الحبوب.

أثبتت الطفرات أنها لا تقدر بثمن في تحديد وظيفة المورثات، ولكن ليس من غير المألوف إخفاء تأثيرها الأساسي عن طريق تعدد الأشكال. في مثل هذه الحالات، قد تكون هناك حاجة إلى طرق غير متلفة للنسيج الخلوي لتحديد التأثير الأساسي

للطفرة ممّا يوفر فرصة للتصوير بالرنين المغنطيسي، بناء على قدرته على المراقبة المتزامنة لمجموعة من المعلمات الهيكلية والاستقلابية (Metabolic) والفسيولوجية. هذا النوع من التحليل نادر في عالم النبات حتى الآن، ولا تزال تقنية التصوير بالرنين المغنطيسي تمثل تحدياً عند تطبيقها على أهداف صغيرة مثل بذور النوع النباتي *A. thaliana*. لحسن الحظ، يجب أن تكون الأنواع النباتية الجديدة (بذور اللفت والأرز والذرة) أكثر قابلية للتصوير بالرنين المغنطيسي. جرى استخدام التصوير بالرنين المغنطيسي لتحديد وتوصيف طفرات في Beta-glucans، ألياف سكرية موجودة في الجدار الخلوي، في الشعير. إن وجود هذه السكريات في الطعام يقلل من محتوى الكولسترول ومن خطر الإصابة بأمراض القلب ومؤشر على نسبة السكر في الدم. ثبت أن التصوير بالرنين المغناطيسي فعال في تحديد البنية الداخلية للحبوب ولتحديد الاختلافات المتنوعة في قدرة الحبوب على الاحتفاظ بالماء. يجب أن يؤدي ربط هذه الجهود مع التصوير بالرنين المغنطيسي إلى تسريع التقدم في هذا المجال.

تصوير التمثيل الغذائي النباتي

توفر دراسة التمثيل الغذائي النباتي واحداً من تطبيقات التصوير بالرنين المغنطيسي المحتملة، حيث توفر التقنية قياساً لا إتلافي لتراكيز مواد التمثيل الغذائي المختلفة. من أجل أن تكون مفيدة لعلم الأحياء، يجب أن تكون بيانات التصوير بالرنين المغنطيسي مرتبطة بالخصائص النسيجية والكيميائية الحيوية وغيرها من الخصائص المعروفة للأنسجة، وهذا يمثل مجالاً تم إحراز تقدم كبير فيه في السنوات الأخيرة ــ على وجه الخصوص، في تصوير المواد الداخلة والصادرة في البذور النامية وتوزيعها داخل البذور وفي تقدير مركبات تخزين البذور. تم استخدام الأساليب المختلفة القائمة على التصوير بالرنين المغنطيسي للكشف عن الدهون في مجال النباتات الجافة وفي الثمار/البذور الغنية بالزيت .عندما تم استخدام هذه التقنية كوسيلة لا إتلافية للخلايا لتصوير توزيع الدهون في بذور فول الصويا الناضجة، كانت تدريجات الدهون واضحة يمكن ملاحظتها وفقاً لنمط التمايز من البلاستيدات والتي هي مواقع اصطناع الأحماض الدهنية. يوفر التصوير بالرنين المغنطيسي المتزامن مع التشريح وترسب الدهون فرصة لربط تراكم الدهون بتطور البذور.

باستخدام هذا النهج في نمو حبوب الشعير، كُشف عن ترسب دهني مركّز في مناطق معينة من الجنين، وكذلك في النسيج الخلوي الداخلي في البذرة، وهي بنية لا تزيد سماكتها عن طبقات قليلة من الخلايا. في الوقت نفسه، تم تحديد المناطق التي يحدث فيها تدهور الدهون لاحقاً في عملية النضج. في أصناف الشوفان عالية الزيت، توجد الدهون في النسيج الخلوي الداخلي في البذرة بالكامل كما يتضح من التحليل القائم على التصوير بالرنين المغنطيسي. ونظراً لأن التركيبة المعينة والهندسة المعمارية للأنسجة النباتية تقلل من حساسية التصوير بالرنين المغنطيسي، فإن مواد التمثيل الغذائي الوفيرة فقط مثل السكروز والأحماض الأمينية الحرة (Free amino acids) قد تم استهدافها بنجاح حتى الآن.

الخلاصـــة

يتطلب فهم الطريقة التي تتطور بها النباتات وتنمو وتتفاعل مع بيئتها أدوات قادرة على درجة عالية من الدقة المكانية والزمانية. يعد التصوير بالرنين المغنطيسي تقنية قادرة على تصور الأجزاء النباتية الداخلية ولمواد التمثيل الغذائي، وله أفضلية عظيمة بكونه غير متلف للأنسجة والخلايا وبالتالي لديه القدرة على مراقبة العمليات الفسيولوجية التي تحدث في النبات. إن التصوير بالرنين المغنطيسي قادر على الحصول على معلومات بدقة مكانية عالية للتغيرات الهيكلية والكيميائية الحيوية والزمانية داخل النبات. تتراوح تطبيقات البحوث النباتية التي تتضمن التصوير بالرنين المغنطيسي من التصوير الوظيفي للاستجابة النباتية إلى الإجهادات الحيوية وغير الحيوية وفسيولوجيا النبات وتطوره وحركية الماء في النباتات الحية والتنوع الحيوي ووظائف المورثات والتمثيل الغذائي. قد يوفر التصوير بالرنين المغنطيسي النووي للنباتات نظرة ثاقبة جديدة وقيمة في العديد من الجوانب في أبحاث العلوم النباتية بسبب طبيعتها اللاّإتلافية للخلايا والنسج النباتية والدقة المكانية العالية للطريقة.

د. م. نشأت صقر
هيئة الطاقة الذرية السورية
nsakr@aec.org.sy

References

(1) Blumler P, Windt CW, van Dusschoten D. 2009. Magnetic resonance of plants. Nova Acta Leopoldina 357, 17–30.

(2) Clark NM, Broeck LVD, Guichard M, et al. 2020. Novel imaging modalities shedding light on plant biology: start small and grow big. Annual Review of Plant Biology 71, 789-816.

(3) Jahnke S, Menzel MI, van Dusschoten D, et al. 2009. Combined MRI–PET dissects dynamic changes in plant structures and functions. The Plant Journal 59, 634–644.

(4) Oerke EC. 2020. Remote sensing of diseases. Annual Review of Phytopathology 58, 225-252.

الحماية المادية للمواد والمرافق النووية: مواجهة عالمية لتحدٍ عالمي

Abstract

This article includes a quick review of the physical protection of nuclear materials, facilities and the International Convention for the Suppression of Nuclear Terrorism, in order to clarify the features of the "legal and regulatory approach" established by two conventions. The first is the state's responsibility for establishing and consolidating a safe environment, and ensuring adequate physical protection for nuclear facilities, materials and activities under their jurisdiction. While the second is to build bridges of international cooperation between the state parties, to provide and activate the tools of this protection across borders, and to prevent terrorist acts on a global scale.

مقدمـــة

مع تنامي الطلب العالمي على الطاقة النظيفة؛ تسارعت خطى العديد من دول العالم، المتقدمة والنامية على السواء، لتوفير مصادر إضافية للطاقة الكهربائية، قادرة على استيعاب الطلب المستقبلي المتوقع عليها، وذلك في ضوء التطور السريع الذي تشهده مجتمعاتها. وعملت هذه الدول على بلوغ هذا الهدف الحيوي، من خلال "الخيار النووي"، باعتباره الخيار الأفضل للحصول على طاقة آمنة واقتصادية وصديقة للبيئة، وانطلاقاً من قناعتها بأن الطاقة النووية السلمية هي طاقة المستقبل، الكفيلة بتعزيز فرص وأهداف التنمية المستدامة، ودعم الآمال والطموحات القومية في مستقبل واعد

مشرق، والإسهام بدور أكثر فعالية في الجهود الدولية، الرامية للحد من آثار التغير المناخي، وحماية البيئة بوجه عام.

وقد نجح المجتمع الدولي في صياغة واعتماد سلسلة من الصكوك القانونية والمبادرات الدولية المعنية بضبط وتنظيم الاستخدامات المختلفة للطاقة النووية، ومن أهمها: معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية لعام 1968، اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية والمرافق النووية لعام 1980 وتعديلاتها لعام 2005، معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية لعام 1995، معاهدة الحظر الشامل للتجارب النووية لعام 1996، اتفاقية الحظر الشامل للتجارب النووية لعام 1996 والبروتوكول الملحق بها، اتفاقية الضمانات الشاملة لعام 2003، الاتفاقية الدولية لقمع أعمال الإرهاب النووي لعام 2005، المبادرة العالمية لمكافحة الإرهاب النووي، اتفاقية الأمان النووي.

وقد أوجبت هذه الصكوك الدولية ــ لاسيما اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية والمرافق النووية، والاتفاقية الدولية لقمع أعمال الإرهاب النووي ــ على الدول الأطراف اتخاذ التدابير اللازمة لحماية وتعزيز "الأمن النووي"، داخل وعبر أقاليمها، خاصة فيما يتعلق بمنع وكشف الجرائم التي تقع على مقومات الطاقة النووية السلمية، من مواد ومرافق وأنشطة نووية، أو تلك التي تستهدف الاعتداء على الأفراد أو الممتلكات أو البيئة، باستخدام هذه المقومات ذاتها، فضلاً عن مواجهة تهديد حقيقي آخر، يتمثل في الجرائم التي تندرج تحت مفهوم "الإرهاب النووي"، بمختلف أساليبه وممارساته. كما أوجبت هذه الصكوك على الدول الأطراف معاقبة مرتكبي تلك الجرائم، بعقوبات مشددة تتناسب وطبيعتها الخطيرة، وبما يضمن مباشرة عمليات استخدام وخزن ونقل المواد النووية، وتشغيل المرافق النووية، في بيئة آمنة.

وقد ذهبت الوكالة الدولية للطاقة الذرية إلى تعريف مصطلح "الأمن النووي" بأنه: "الوقاية من السرقة أو التخريب، أو الدخول غير المصرح به، أو النقل غير المشروع، أو أي أعمال ضارة أخرى، تنطوي على مواد نووية أو مواد مشعة أخرى أو مرافق مرتبطة بها. ويشمل ذلك محطات الطاقة النووية وجميع المرافق النووية الأخرى، ونقل المواد النووية، واستخدام وتخزين المواد النووية للاستخدامات الطبية والصناعية وغيرها".

وفيما يلي قراءة تحليلية لاتفاقيتي الحماية المادية وقمع الإرهاب النووي، للوقوف على معالم "النهج القانوني والتنظيمي" الذي أرسته هاتان الاتفاقيتان، في مجال الحماية المادية للمرافق والمواد النووية، والتعرف بوجه خاص على الركيزتين الرئيسيتين لهذا النهج، والتي تتمثل أولاهما في مسؤولية الدولة عن إرساء وترسيخ المناخ الآمن، وضمان الحماية المادية الكافية للمرافق والمواد والأنشطة النووية الخاضعة لولايتها، بينما تتمثل ثانيتهما في مد جسور التعاون الدولي بين الدول الأطراف، بغرض توفير وتفعيل مقومات وأدوات هذه الحماية عبر الحدود، ومنع وقمع الأعمال الإرهابية، وملاحقة مرتكبيها ومعاقبتهم قانوناً، في نطاق عالمي.

أولاً ـ مسؤولية الدولة

أكدت الصكوك الدولية ذات الصلة على أن مسؤولية توفير الحماية المادية الفعالة من المخاطر والتهديدات الداخلية والخارجية، التي يمكن أن تتعرض لها المواد والأنشطة والمرافق النووية، المستخدمة للأغراض السلمية، إنما تقع بالدرجة الأولى على عاتق الدولة الحائزة والمشغلة لتلك العناصر، سواء في الاستخدام المحلي، أو خلال النقل الدولي عبر أراضيها، وذلك انطلاقاً من واجبها الوطني في الحفاظ على أمنها النووي، وعلى أمنها القومي الشامل بصفة عامة.

وللنهوض بمتطلبات هذه المسؤولية؛ أوجبت اتفاقيتا الحماية المادية وقمع الإرهاب النووي على الدول الأطراف اتخاذ حزمة متكاملة من الإجراءات والتدابير القانونية والتنظيمية، نوجز أهمها فيما يلي:

1 ـ تجريم الأفعال العمدية التالية، إذا ارتكبت بصورة غير مشروعة، ومعاقبة مرتكبيها بعقوبات صارمة، تتناسب وطبيعتها الخطيرة، وهي:

ـ استلام أو حيازة أو استعمال أو نقل أو تغيير مواد نووية، أو التصرف بها، أو تبديدها، بما يُسبب أو يحتمل أن يُسبب، وفاة أي شخص أو إصابته إصابة خطيرة، أو إلحاق أضرار جوهرية بالممتلكات أو بالبيئة.

ـ سرقة أو سلب مواد نووية أو اختلاسها أو الحصول عليها بطريق الاحتيال.

ـ حمل أو إرسال أو نقل مواد نووية، دخولاً إلى دولة ما أو خروجاً منها.

- أي فعل موجّه ضد مرفق نووي، يتسبب في وفاة إنسان أو إصابته إصابة خطيرة، أو إلحاق أضرار جوهرية بالممتلكات أو بالبيئة، نتيجة التعرض لمواد مشعة.
- المطالبة بمواد نووية، باستعمال القوة أو التهديد باستعمالها.
- التهديد باستعمال مواد نووية، أو إزهاق روح إنسان، أو إصابته إصابة خطيرة، أو إلحاق أضرار جوهرية بالممتلكات أو بالبيئة.
- التهديد بارتكاب جريمة ضد مرفق نووي، بهدف إجبار شخص طبيعي أو اعتباري، أو دولة أو منظمة دولية، على القيام بعمل أو الامتناع عن عمل ما.
- حيازة مادة مشعة، أو صنع جهاز متفجر نووي، أو جهاز لنشر المواد الإشعاعية، بقصد إزهاق الأرواح، أو التسبب في أذى بدني جسيم، أو إلحاق أضرار جسيمة بالممتلكات أو بالبيئة.
- إستخدام أو التهديد باستخدام مادة مشعة أو جهاز إشعاعي أو مرفق نووي، لإطلاق مادة مشعة، بقصد إزهاق الأرواح، أو التسبب في أذى بدني جسيم، أو إلحاق أضرار جسيمة بالممتلكات أو بالبيئة، أو إكراه شخص طبيعي أو اعتباري، أو دولة أو منظمة دولية، على القيام بعمل أو الامتناع عن القيام به.
- طلب مادة مشعة أو جهاز إشعاعي أو مرفق نووي، بطريق التهديد أو استخدام القوة.
- الشروع أو الاشتراك في ارتكاب أي من الجرائم السابقة.

وقد حظرت اتفاقية قمع أعمال الإرهاب النووي على الدول الأطراف اعتبار هذه الأعمال "أعمالاً مبررة"، لأية اعتبارات سياسية أو عقائدية أو عرقية أو إثنية أو دينية أو غيرها، خاصةً عندما تهدف هذه الجرائم لإشاعة الرعب بين الناس.

كما أوجبت الاتفاقية على أطرافها اتخاذ التدابير اللازمة لمنع قيام الأشخاص والجماعات والمنظمات بالإعداد في أقاليمها لارتكاب جرائم الإرهاب الدولي، داخل

أقاليمها أو خارجها، أو التحريض على ارتكابها أو المشاركة في ارتكابها، أو في تنظيمها أو تمويلها.

2 ـ إنشاء وتشغيل وصون جهاز وطني فعال وكفء ومستدام، يختص بإنفاذ الإجراءات والتدابير المتعلقة بحماية المواد النووية، وغيرها من المواد المشعة، من جرائم السرقة وغيرها من أشكال الاستيلاء غير المشروع على هذه المواد، أثناء استخدامها أو خزنها أو نقلها محلياً، وتحديد مكان المواد النووية المسروقة أو المفقودة، وسرعة استردادها حال وجودها خارج الدولة، وحماية المواد والمرافق النووية من "التخريب"، والحد من العواقب الإشعاعية، التي يمكن أن تهدد أمن وسلامة العاملين أو الجمهور أو البيئة.

3 ـ استحداث إطار تشريعي ورقابي وطني شامل، يلبي وينظم كافة المتطلبات القانونية والتنظيمية، المتعلقة بالحماية المادية للمواد والمرافق النووية، في ضوء تقييم الدولة للتهديدات والعواقب القائمة والمحتملة للجرائم النووية التي تستهدفها، على أن يتضمن هذا الإطار نظماً للتقييم ومنح التراخيص والتفتيش على المواد والمرافق النووية.

4 ـ انشاء أو تحديد سلطة وطنية مختصة، تتمتع بشخصية قانونية مستقلة عن الجهات الحكومية وغير الحكومية، المسؤولة عن تشغيل وترويج واستخدام الطاقة النووية، وتوفر لها الدولة الموارد المالية والكوادر البشرية، والصلاحيات اللازمة للوفاء بمهامها، في مجال الإشراف والرقابة على السلامة النووية.

5 ـ تأمين وحماية عمليات النقل النووي الدولي للمواد النووية، الموجودة على إقليم الدولة، أو على متن سفينة أو طائرة خاضعة لولايتها، ولحين الانتقال الآمن لهذه المسؤولية إلى دولة أخرى، وفقاً لأحكام القانون الدولي والقوانين الوطنية للدول المعنية.

6 ـ تلقي التأكيدات اللازمة بتوافر الحماية لعمليات النقل النووي الدولي. فلا يجوز لأية دولة أن تُصدّر أو تستورد مواد نووية، أو تأذن بذلك، أو تسمح لها بالمرور العابر في إقليمها؛ مالم تتلق "تأكيدات" بأن الحماية ستوفر لتلك المواد، أثناء نقلها.

7 ــ تقرير الولاية القضائية لمحاكم الدولة على الجرائم والحوادث النووية، التي تقع على أراضيها، أو على متن سفينة أو طائرة مسجلة فيها، أو عندما يكون المتهم من مواطنيها، أو يكون متواجداً على إقليمها ولا تعتزم تسليمه إلى دولة أخرى، أو عندما تكون الدولة مشتركة في عملية "نقل نووي"، بوصفها دولة مصدرة أو مستوردة.

ويجوز للدولة تقرير ولايتها القضائية على أي من هذه الجرائم أيضاً، حال وقوعها على أحد مواطنيها، أو على متن طائرة تشغلها الدولة، أو ضد مرفق عام أو حكومي تابع لها بالخارج، بما في ذلك السفارات وغيرها من الأماكن الدبلوماسية أو القنصلية، أو عندما تُرتكب الجريمة من شخص "عديم الجنسية"، مقيم على إقليمها، أو تُرتكب بقصد إرغام الدولة على القيام بعمل أو الامتناع عن عمل.

ثانياً ــ التعاون الدولي

أصبح التعاون الدولي، القانوني والقضائي، يمثل إحدى الضرورات اللازمة لمواجهة مختلف الجرائم المستحدثة "عبر الوطنية"، التي تتجاوز في أركانها وآثارها حدود الدول، وهو ما ينطبق ــ في غالب الأحيان ــ على "الجرائم النووية"، التي باتت تُشكل تهديداً مقلقاً للعديد من دول العالم .

وسوف نعرض هنا لعدد من أبرز صور وأدوات التعاون الدولي، التي أوردتها اتفاقيتي الحماية المادية وقمع أعمال الإرهاب النووي، على الترتيب التالي:

1 ــ تسليم المجرمين

يُعد تسليم المجرمين أحد النظم المستقرة في العلاقات الدولية منذ زمن بعيد، ومن مقتضاه أن تقوم الدولة التي يتواجد على إقليمها مجرم هارب، متهماً كان أو محكوماً عليه، بتسليمه إلى الدولة التي تثبت ولايتها القانونية والقضائية بمحاكمة ذلك الشخص أو بتنفيذ العقوبة الصادرة بحقه، سواء كان ذلك بموجب نصوص قانونية أو تعاهدية، أو بمقتضى العرف الدولي أو غير ذلك. وتلتزم الدول الأطراف بإدراج الجرائم الواردة بالاتفاقيتين سالفتي الذكر، ضمن الجرائم الموجبة لتسليم مرتكبيها، في أية معاهدة لتسليم المجرمين، مبرمة أو سوف تُبرم فيما بين هذه الدول.

ووفقاً لمبدأ "إما التسليم وإما المحاكمة"؛ فإنه يتعين على الدولة التي لا تقوم بتسليم المتهم المتواجد على إقليمها، المبادرة باتخاذ الإجراءات القانونية المناسبة حياله، بما في ذلك احتجازه ومحاكمته، على أن يلق "المعاملة المنصفة"، التي تكفل له التمتع بكافة الحقوق والضمانات القانونية، في كافة مراحل الدعوى المقامة ضده.

وإذا كانت هناك دولة تشترط وجود معاهدة لتسليم المجرمين، لإنفاذ ذلك الإجراء؛ جاز لها اعتبار اتفاقية الحماية المادية للمواد والمرافق النووية، أو اتفاقية قمع أعمال الإرهاب النووي أساساً قانونياً للتسليم.

2 ــ المساعدة القانونية المتبادلة

تلتزم الدول الأطراف بتقديم أكبر قدر من المساعدة لبعضها البعض، لاسيما فيما يتعلق بالتحقيقات والملاحقات الجنائية المشتركة، وتسليم المجرمين، وتوفير الأدلة، وغيرها من أوجه المساعدة، التي يسمح بها القانون الوطني للدولة متلقية طلب المساعدة.

ولا يجوز لأغراض تسليم المجرمين أو المساعدة القانونية المتبادلة؛ اعتبار أي من الجرائم المنصوص عليها في الاتفاقيتين سالفتي الذكر، "جريمة سياسية أو متصلة بجريمة سياسية أو ارتكبت بدوافع سياسية". ومن ثم فلا يجوز للدولة المتلقية رفض طلب التسليم أو المساعدة، تأسيساً على هذا الاعتبار. بينما يمكن لها الرفض إذا توافرت لديها أسباباً وجيهة، تدعو للاعتقاد بأن ذلك الطلب يستهدف محاكمة أو معاقبة شخص ما، بسبب عرقه أو دينه أو جنسيته أو أصله الإثني أو آرائه السياسية.

3 ــ نقل المتهمين أو المحكومين

يجوز نقل الشخص المحتجز أو الذي يقضي مدة عقوبته في دولة طرف، إلى دولة أخرى، لأغراض الشهادة أو تحديد الهوية أو المساعدة في الحصول على الأدلة اللازمة للدعاوى الجنائية، وذلك شريطة موافقة هذا الشخص والسلطات المختصة في الدولتين على نقله، وعلى أن تلتزم الدولة المنقول إليها بإعادته إلى الدولة المنقول منها، دون الحاجة لطلب جديد بذلك.

4 ــ الحماية المادية للمضبوطات في الجرائم النووية

عند ضبط مواد أو أجهزة مشعة أو مرافق نووية، في إحدى جرائم الإرهاب النووي؛ تلتزم الدولة الحائزة لهذه المضبوطات باتخاذ ما يلزم لجعلها عديمة الضرر، والاحتفاظ بها وفقاً للضوابط والضمانات الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، وبالتعاون مع الدول والمنظمات الدولية المعنية.

وعقب انتهاء الإجراءات المتعلقة بالجريمة؛ تُرد المضبوطات إلى الدولة التي تعود ملكيتها إليها، أو إلى أحد مواطنيها أو المقيمين فيها، مع مراعاة التوصيات الصادرة عن الوكالة، بشأن الحماية المادية ومعايير الصحة والسلامة.

5 ــ تبادل المعلومات

تتعاون الدول الأطراف في مجال تبادل المعلومات، وفقاً لأحكام القوانين الوطنية والاتفاقيات الدولية ذات الصلة. وتخطر الدولة الطرف الدول أو المنظمات الدولية المعنية بالمعلومات المتوافرة لديها، بشأن ارتكاب أو الإعداد لارتكاب أي من الجرائم المنصوص عليها في اتفاقيتي الحماية المادية وقمع أعمال الإرهاب النووي.

ولا يُطلب من أية دولة طرف تقديم أية معلومات تحظر قوانينها الوطنية الإفصاح عنها، أو يكون من شأنها الإضرار بأمنها، أو بالحماية المادية التي توفرها للمواد أو المرافق النووية لديها. وتتخذ الدولة المتلقية التدابير الملائمة ــ وفقاً لقوانينها الوطنية ــ لحماية "سرية المعلومات" التي تتلقاها من دول أخرى، ولا يجوز تقديمها إلى طرف ثالث، إلا بموافقة الدولة المالكة لهذه المعلومات.

الخاتمـــة

يمكن التأكيد على أن موضوع "الأمن النووي" ــ وبما ينطوي عليه من أصناف وأشكال للمواد والمرافق النووية ــ آخذٌ في اكتساب المزيد من الزخم يوماً بعد يوم، في ظل التحديات التي تواجه عالمنا المعاصر، جراء النمو المطّرد في عدد المرافق النووية، وفي استخدام المواد والعلوم والتقنيات النووية، ومع تصاعد جرائم الإرهاب في أنحاء متفرقة من العالم، وتزايد الأضرار والمخاطر الناجمة عن الجرائم والكوارث

والحوادث النووية، والتي يمكن أن تكون لها ـ في كثير من الأحيان ـ تأثيرات وتداعيات "عابرة لحدود المكان والزمان"، إذ قد تنتقل من إقليم الدولة التي وقعت فيها، إلى إقليم دولة أو أقاليم دول أخرى، وقد يستغرق الأمر أعواماً وعقوداً طويلة، قبل أن تنقضي وتتلاشى أضرارها وأخطارها، المحدقة بالبشر وبالممتلكات والبيئة.

وقد تزايدت قناعة المجتمع الدولي بأن تجاوز هذه التحديات، ولئن كان يتطلب إرساء وصون نظم وطنية قوية ومستدامة في مجال الأمن النووي؛ فإنه يستلزم أيضاً تعزيزاً حقيقياً وفعالاً للنظام العالمي للأمن النووي، من خلال إقامة شبكة متكاملة من الشراكات الوثيقة، ومن الترتيبات والتدابير الثنائية والإقليمية والعالمية المنسقة، التي تكفل تشغيل المرافق النووية في بيئة محلية ودولية آمنة، وتوفر الحماية الكافية للمواد النووية، أثناء استخدامها أو خزنها أو نقلها، داخل أو عبر حدود الدول، فضلاً عن تقديم المزيد من الدعم لسلطات إنفاذ القانون، على النحو الذي يُسهم في تيسير جهودها الرامية لمنع وكشف الجرائم النووية، وملاحقة ومعاقبة مرتكبيها قانوناً.

لواء دكتور مصطفى طاهر
مستشار قانوني
مساعد وزير الداخلية الأسبق
جمهورية مصر العربية
mostafa_taher1@hotmail.com

المراجـــع

(1) إتفاقية الحماية المادية للمواد والمرافق النووية، الموقعة برعاية الوكالة الدولية للطاقة الذرية، في نيويورك وفيينا بتاريخ 3 مارس 1980، والتي دخلت حيز النفاذ في 8 فبراير 1987، وتم تعديلها بتوافق آراء الدول الأطراف في الاتفاقية في 8 يوليه 2005، ودخل التعديل حيز النفاذ في 8 مايو 2016.
(2) الاتفاقية الدولية لقمع أعمال الإرهاب النووي، الموقعة بمقر الأمم المتحدة في نيويورك بتاريخ 14 سبتمبر 2005، والتي دخلت حيز النفاذ في 7 يوليه 2007.

(3) مستقبل مبادرة الاستخدامات السلمية للتكنولوجيات النووية والتصدي للطوارئ العالمية، مجلة الوكالة الدولية للطاقة النووية، المجلد رقم (4/ 6)، نوفمبر 2020.
(4) وثيقة السياسة العامة لدولة الإمارات العربية المتحدة في تقييم إمكانية تطوير برنامج للطاقة النووية السلمية في الدولة، الصادرة عن حكومة الإمارات العربية المتحدة في العشرين من أبريل 2008.

أخبار عربية وعالمية

الوكالة الدولية للطاقة الذرية تعمل لوضع حد للحمّى القلاعية في تونس والمغرب *

في وقت سابق من هذا العام، تلقَّى مختبر علم الفيروسات في تونس عينات من فم أبقار اشتبه الأطباء البيطريون في إصابتها بمرض الحمى القلاعية. وفي غضون أيام من تقديم العينات إلى خدمة التسلسل الجيني، تم تلقي النتائج التي ساهمت في تأكيد تفشِّي سلالة الحمى القلاعية. وأُبلغت السلطات البيطرية بتنفيذ إجراءات المكافحة لمنع تفشّي الفيروس. وقد ساهمت الوكالة الدولية للطاقة الذرية في تأكيد النتائج بسرعة قياسية، بالشراكة مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، وهي تُسهِّل خدمة التسلسل وتوفِّر التَّدريب اللازم لدراسة النَّتائج. وتجدر الإشارة هنا إلى ضرورة تحديد النسق التسلسلي لمرض الحمى القلاعية لكي يتمكَّن الخبراء من اختيار أو تطوير لقاح فعال.

يُعدُّ التسلسل الجيني مهماً لتحديد ما إذا كان المرض المتفشي مزمناً، ويمكن أن يساعد التسلسل الجيني في فهم المجموعة التي ينتمي إليها مسبب المرض وتحديد لقاح فعال ضدَّه. ويُعدُّ التسلسل مهماً أيضاً في المساعدة على تحديد سلالات مسبب المرض. فبناءً على التسلسل الجيني، يمكن إنشاء رسم لتطور السلالات، والذي يحدد سلالة الأنواع البيولوجية.

ومن خلال تحليل تطور السلالات، تم التأكيد على وجود لقاحٍ بالفعل يمكن أن يحمي الماشية. وقد أطلقت السلطات البيطرية حملة التطعيم الحلقي للحدِّ من مخاطر تفشّي مرض الحمى القلاعية. ويُنفَّذ التطعيم الحلقي، أو التطعيم الوقائي، في نطاق المنطقة المُصابة في تونس لمنع تفشي الفيروس إلى مناطق أخرى.

وفي المغرب استخدمت السلطات البيطرية في عام 2020 تكنولوجيا نووية، فحدَّدت سلالةً جديدة من فيروس مرض الحمى القلاعية. وقد أدّى استخدام هذه

* أخبار الوكالة الشهرية بتاريخ 2022/4/29، مكتب الإعلام العام والاتصالات في الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

التكنولوجيا إلى حملات تطعيم ناجحة في المغرب. وتحقق ذلك بدعم قدمته الوكالة الدولية للطاقة الذرية، بالشراكة مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو).

وكان المغرب قد شهد، في يناير 2019، حالات تفشي لمرض الحمى القلاعية في عدة محافظات. وللحول دون انتشار المرض، استخدم المختبر الإقليمي للتحليل والبحث في الدار البيضاء تقنيات نووية، تتيح تحليلاً سريعاً ودقيقاً (التسلسل الجيني). وفي المقابل، تستغرق التقنيات التقليدية وقتاً أطول لتحديد المرض، مما يؤدي إلى زيادة عدد الحيوانات المصابة، وارتفاع التكاليف التي تنجم عن تفشي المرض. وفي عام 2017، قام خبراء من الوكالة والفاو، بدعمٍ من برنامج الوكالة للتعاون الفني، بتدريب 10 من موظفي المختبرات البيطرية من المغرب، وتزويدهم بالمعدات والإمدادات اللازمة لتيسير التعرف على المرض وقيادة تدابير المكافحة والتصدي. وكان من بين المتدربين موظفون من مختبر الدار البيضاء نجحوا بعد ذلك في التعرف على سلالة مرض الحمى القلاعية الجديدة في أوائل عام 2019 مستخدمين ما اكتسبوه حديثاً من مهارات، ومستفيدين من خدمة التسلسل الجيني التي أنشأتها الشعبة المشتركة بين الفاو والوكالة.

وبعد فترة وجيزة من تفشي مرض الحمى القلاعية، تمكّن المختبر البيطري المغربي من اكتشاف تسلسل جينوم الفيروس المحدد ومقارنته بالسلالات المنتشرة محلياً. وأرسل مختبر الدار البيضاء في الوقت نفسه عينات لتحليل التسلسل الوراثي إلى مختبر صحة الحيوان في ميزون–ألفور بفرنسا، وهو مؤسسة مرجعية للتعرف على مرض الحمى القلاعية، فأكد المختبر الفرنسي تشخيص مختبر الدار البيضاء.

وما إنْ حُدِّدت السلالة الجديدة واللقاح حتى عمدت السلطات البيطرية المغربية إلى تنفيذ حملات تطعيم ناجحة، ما أدى بسرعة إلى وقف انتشار المرض. ونُفذت في جميع أنحاء المغرب حملات تطعيم جماعية إلزامية على الحيوانات المجترة المعرّضة بدون فرض أي تكلفة على المزارعين. وساعدت هذه الحملات على تقوية مناعة الحيوانات ومنع انتشار الفيروس. وما أنْ مرّ عام واحد حتى باتت الفوائد ملموسة للمزارعين والمنتجين ومصدري الحيوانات والمنتجات الحيوانية في المغرب.

إعداد: م. نهلة نصر

أخبار الهيئة

المؤتمـــرات

1 ـ المؤتمر العالمي للدول الأطراف في تعديل اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية

(**فيينا**: 3/28-2022/4/1)

عُقد بمقر الوكالة الدولية للطاقة الذرية المؤتمر العالمي للدول الأطراف في تعديل اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية خلال الفترة 3/28 ـ 2022/4/1. يهدف هذا المؤتمر إلى استعراض تنفيذ الاتفاقية بصيغتها المعدلة ومدى ملاءمتها فيما يتعلق بالديباجة والجزء العملي بأكمله والمرفقات في ضوء الوضع السائد آنذاك. وكان هذا أول مؤتمر من هذا النوع يُعقد بعد بدء نفاذ تعديل الاتفاقية في 8 مايو 2016.

ترأس المؤتمر سفير سويسرا وسفير نيجيريا. شارك في المؤتمر ممثلو 106 من الدول الأطراف في تعديل الاتفاقية، بالإضافة إلى 17 دولة طرفاً في الاتفاقية ولكن ليس طرفاً في التعديل بصفة مراقب. وحضرت 7 دول أخرى ليست أطرافاً في الاتفاقية بصفة مراقب. كما حضر المؤتمر 6 منظمات بين حكومية دولية من بينها الهيئة العربية للطاقة الذرية بصفة مراقب و11 منظمة غير حكومية بصفة مراقب. وقد مثّل الهيئة في هذا المؤتمر أ. د. ضو مصباح الخبير المكلف بإدارة الشؤون العلمية الذي ألقى كلمة بين فيها دور الهيئة في تعزيز أنظمة الأمن النووي في الدول العربية والتعريف بالاتفاقيات والصكوك المتعلقة به.

توفر اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية، كما عززها التعديل، إطاراً متيناً لحماية المرافق النووية، وكذلك المواد النووية في الاستخدام المحلي والتخزين والنقل، وكذلك في النقل الدولي. وهو ينسق طرق مكافحة الأعمال الإجرامية التي تنطوي على مواد ومنشآت نووية. كما تعمل كأساس للتعاون الدولي في تحديد مكان واستعادة المواد النووية المسروقة أو المهربة، وكذلك في حالة التخريب.

افتتح المؤتمر السيد رافائيل جروسي المدير العام للوكالة الذي قال "إننا نجتمع من أجل إنجاز هام في الأمن النووي الدولي: فلأول مرة تقوم الأطراف في تعديل اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية، التي يبلغ عددها الآن 129، باستعراض مدى تنفيذ وكفاية التعهدات الوحيدة الملزمة قانوناً التي تغطي الحماية المادية للمواد النووية" وقال مع تزايد أهمية الطاقة النووية وانتشار المواد النووية فإن العالم يتغير ومن الواضح أن خريطة الفرص والتهديدات يعاد تطويرها بطرق لا يمكن التنبؤ بها وبسرعة غير مسبوقة. وفي هذا السياق يجب أن تخدم اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية بصيغتها المعدلة الغرض منها. وهذا يعني إضفاء الطابع العالمي بشكل أسرع على اتفاقية الشراكة بشأن المواد النووية وتنفيذ أسرع للمعاهدة وتعديلاتها". وأضاف أن "المؤتمر ينعقد في توقيت دقيق نستعد فيه لمراجعة وتقييم العديد من الاتفاقيات النووية بهدف زيادة فاعليتها وتعزيز الاستخدامات السلمية للطاقة النووية".

خلال المؤتمر الذي استمر لمدة أسبوع، تبادلت وفود الدول الأطراف في اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية خبراتها في تنفيذ اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية، بما في ذلك الخطوات المتخذة لضمان حماية مادية قوية للمرافق والمواد النووية، والجهود المبذولة لزيادة التعاون الدولي، والإجراءات التي نُفذت لتجريم الجرائم التي تنطوي على مواد أو منشآت نووية. كما وفرت الفعاليات الجانبية التي نُظمت على هامش المؤتمر فرصة لمزيد من المناقشة حول مختلف جوانب الأمن النووي والاتفاقية بصيغتها المعدلة. وتم تخصيص أحد الأحداث الجانبية لمناقشة وتحديد التحديات العالمية للاتفاقية وقصص النجاح في تنفيذها.

وقد اشتمل جدول أعمال المؤتمر على أربع جلسات محورية تضمنت مزيجاً من العروض والمداخلات. وتناولت تلك الجلسات ما يلي: الأحكام الخاصة بالحماية المادية، والأحكام الخاصة بالتعاون الدولي، والأحكام الخاصة بالتجريم، وتقديم المعلومات بشأن القوانين والأنظمة والأحكام الأخرى.

على هامش المؤتمر قام أ. د. مصباح بالتواصل مع الجهات الآتية في الوكالة الدولية للطاقة الذرية، وذلك لمتابعة المشاريع والأنشطة التدريبية المشتركة بين الهيئة

والوكالة: قسم القدرة النووية، قسم الأمان النووي، قسم الأمن النووي، قسم التعاون التقني: مشروع الشبكة العربية للرصد الإشعاعي البيئي والإنذار المبكر، مكتب المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية لمتابعة ومراجعة مذكرة التفاهم الشاملة بين الهيئة والوكالة والتي من المزمع توقيعها قريباً، اجتماع مع سعادة السفير سمير قوبعة رئيس بعثة جامعة الدول العربية في فيينا وذلك لاطلاعه على المشاريع والأنشطة المشتركة بين الهيئة والوكالة للمتابعة وطلب مزيد من الدعم.

2 ـ المؤتمر العالمي لمرافق الطاقة (أبو ظبي: 9 ـ 2022/5/11)

بناء على دعوة من رئيس مؤسسة الإمارات للطاقة النووية شارك المدير العام في أعمال المؤتمر العالمي لمرافق الطاقة الذي عقد بأبوظبي ـ دولة الإمارات العربية المتحدة خلال الفترة 9 ـ 2022/5/11.

عُقد المؤتمر تحت رعاية سمو الشيخ خالد بن محمد بن زايد آل نهيان، عضو المجلس التنفيذي لإمارة أبوظبي رئيس مكتب أبوظبي التنفيذي في مركز أبوظبي الوطني للمعارض وذلك بمشاركة مسؤولين حكوميين وخبراء وقادة قطاع مرافق الطاقة في العالم لرسم ملامح مستقبل القطاع واستدامة المساعي الرامية إلى تحقيق الحياد المناخي في تقليل انبعاث الغازات المسببة للإحتباس الحراري.

استقطب المؤتمر والمعرض أكثر من 10 آلاف متخصص في قطاع المرافق، و120 شركة عارضة من مختلف أنحاء العالم، بهدف تسليط الضوء على الإجراءات الاستباقية الرامية إلى رقمنة أنظمة الطاقة والمياه والحد من الانبعاثات واستقطاب الاستثمارات طويلة الأمد.

شارك في المؤتمر ما يزيد على 200 متحدث من المتخصصين في قطاع المرافق وأكثر من ألف من ممثلي الجهات المشاركة في الحدث الذي يتضمن أكثر من 50 جلسة نقاشية استراتيجية وفنية. وقد ركزت الجلسات على السياسات والاستراتيجيات والحلول اللازمة لاستكمال عملية تحوّل الطاقة، إضافة إلى تسليط الضوء على التقنيات الرقمية المبتكرة ذات الطابع المستقبلي، والتي من شأنها المساهمة في عملية التحول التي يشهدها القطاع.

تناول المؤتمر مجموعة من المواضيع الرئيسية التي تشمل إزالة الكربون وتحوّل الطاقة، وديناميكيات قطاع المرافق العالمي، وسبل التعاون والشراكات الاستراتيجية، إلى جانب التحول الرقمي والابتكارات التقنية في خطوة تأتي في إطار مساعي المؤتمر الرامية للاستجابة لتطورات السوق والاحتياجات الحالية للمستهلكين.

شهدت الجلسات النقاشية عقد جلستين وزاريتين بهدف تسليط الضوء على أهمية السياسات واللوائح التنظيمية والتعاون، وضرورة تحرك قادة القطاع على مستوى المنطقة للعمل على بناء أساس متين لقطاع مرافق يتمتع بالمرونة والاستدامة. كما غطت الجلسات الفنية التي تضمنها المؤتمر مواضيع توليد الطاقة ونقلها وتوزيعها، وإدارة المياه، ومياه الصرف الصحي، وتبريد المناطق، وتفاعل العملاء. وأتاحت الجلسات النقاشية الفنية الفرصة للمتخصصين في القطاع لاكتساب معرفة معمقة حول آخر مستجدات القطاع ونتائج الأبحاث والخبرات الفنية، وأحدث التطورات في مجال المشاريع والتقنيات المتقدمة وأفضل الممارسات على مستوى القطاع.

كما شهد "المؤتمر العالمي لمرافق الطاقة 2022" انطلاق فعاليات منتدى قادة الطاقة النووية الذي يقام على هامشه، حيث استقطب خبراء القطاع من مختلف أنحاء العالم لبحث سبل إنتاج طاقة آمنة وموثوقة وصديقة للبيئة، وغيرها من التطورات التكنولوجية في قطاع الطاقة النووية، وأحدث مستجدات البحث والتطوير في العلوم والتقنيات النووية. شارك سعادة المدير العام للهيئة العربية للطاقة الذرية في فعاليات هذا المنتدى وفي الجلسة الحوارية المعنونة صياغة وتنفيذ أطر رقابية نووية صارمة حيث قدم رؤية الهيئة في تعزيز الأطر الرقابية والتشريعية للدول العربية بشكل عام مع التركيز على تلك الدول الشارعة في برامج نووية صاعدة لتوليد الكهرباء وإزالة ملوحة مياه البحر بالطاقة النووية. كما أشار سعادته إلى أن الهيئة أسسست الشبكة العربية للمراقبين النوويين "النور" في شهر يناير 2010 ومنذ ذلك الحين والشبكة تساهم في تأسيس وتطوير الهيئات الرقابية العربية وتساهم في بناء قدراتها. كما وفرت شبكة النور منصة دائمة للهيئات الرقابية العربية للإلتقاء بشكل دوري لتبادل التجارب والمعارف وأفضل الممارسات الرقابية.

وقد التقى سعادة المدير العام بالعديد من ذوي الإختصاص في مجال الطاقة النووية مبيناً دور الهيئة العربية للطاقة الذرية في التنسيق بين الدول العربية في كل ما يتعلق بالتطبيقات السلمية للطاقة الذرية.

الإجتماعات العلمية

1 ـ الإجتماع التحضيري الثاني للمنتدى العربي السادس حول آفاق توليد الكهرباء وإزالة ملوحة مياه البحر بالطاقة النووية (القاهرة: 2022/5/11)

بناءً على قرار المجلس التنفيذي رقم 7 في دورته الثامنة والستين، والذي وجه فيه الإدارة العامة للهيئة العربية للطاقة الذرية بالتنسيق مع هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء بجمهورية مصر العربية والمجلس الوزاري العربي للكهرباء – إدارة الطاقة بالأمانة العامة لجامعة الدول العربية للمضي قُدماً في تنفيذ المنتدى بمدينة القاهرة خلال الفترة 5 ـ 8 سبتمبر 2022، فقد تم انعقاد الاجتماع التحضيري الثاني للمنتدى في القاهرة بجمهورية مصر العربية بمقر هيئة المحطات النووية في مجمع وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة يوم 2022/5/11.

وهدف هذا الاجتماع إلى متابعة التحضير والإعداد للمنتدى العربي السادس حول آفاق توليد الكهرباء وإزالة ملوحة مياه البحر بالطاقة النووية واتخاذ التدابير اللازمة لإنجاحه وتقييم ظروف انعقاده.

حضر الإجتماع من هيئة المحطات النووية وتوليد الكهرباء كل من الأستاذ الدكتور أمجد الوكيل رئيس مجلس إدارة هيئة المحطات النووية وتوليد الكهرباء ورئيس اللجنة التحضيرية للمنتدى والأستاذ الدكتور عبد الحميد عباس الدسوقي مساعد رئيس مجلس الإدارة للدراسات والبحوث والأستاذ محمود عبده زيدان نائب رئيس مجلس الإدارة للشئون المالية. كما حضر من الأمانة العامة لجامعة الدول العربية ـ إدارة الطاقة – المجلس الوزاري العربي للكهرباء الأستاذ عبد الله شيخ شعيب ومثل الهيئة العربية للطاقة الذرية أ. د. ضو مصباح المكلف بإدارة الشئون العلمية بالهيئة.

افتتح سعادة الأستاذ الدكتور أمجد الوكيل الإجتماع مرحباً بالحضور ومبدياً ثقته بنجاح المنتدى وملقياً الضوء على أهمية إنعقاده في هذه الفترة التاريخية من تاريخ العرب، حيث أصبح التفكير في إدخال الخيار النووي ضمن الإستراتيجيات الوطنية لتنويع مصادر الطاقة أمراً مهماً وجديراً بأن تعقد حوله اللقاءات والمنتديات من أجل إستكشاف جدواه والتحضير له وتبادل التجارب والمعارف حوله.

ناقش المجتمعون إمكانية انعقاد المنتدى خلال الفترة 5 ــ 2022/9/8، حيث أبدى أ. د. أمجد الوكيل مخاوفه من أن لا تتوفر ظروف المشاركة المكثفة في المنتدى والمعرض المقام على هامشه في ظل ظروف الحرب الروسية الأوكرانية ونتيجة لاحتمال إحجام الشركات الغربية عن المشاركة في المنتدى نظراً لمشاركة شركات روسية. فلذلك يجب إعطاء متسع من الوقت لضمان إنجاح هذا المنتدى والتحضير الجيد لانعقاده في ظروف دولية أفضل. تفهم المجتمعون تلك المخاوف، وتم التوافق على أن تكون فترة انعقاد المنتدى هي 6 ــ 2022/12/8. وفي حال تم وضع حجر الأساس لموقع الضبعة، يتم ترتيب زيارة له بعد اختتام فعاليات المنتدى وذلك للإطلاع على ترتيبات بناء أول محطة نووية في جمهورية مصر العربية.

وقد تمت الموافقة على الإعلان الذي أعدته الهيئة باللغتين العربية والإنجليزية، كما اتفق المجتمعون على اعتماد نفس الترتيبات المالية والإدارية للمنتدى السابق وتحديث موقع المنتدى الإلكتروني. وفي نهاية الاجتماع اتفق المجتمعون على عقد الاجتماع التحضيري الثالث للمنتدى في أقرب فرصة، وذلك لمتابعة التقدم الحاصل في الإعداد له.

نشاط الإدارة العامة

1 ــ الإجتماع الرابع لآليات التنسيق العربية للحد من مخاطر الكوارث والإجتماع الوزاري العربي الأول للوزراء المعنيين بالحد من الكوارث (القاهرة: 9 ــ 2022/5/11)

بدعوة من الأمانة العامة لجامعة الدول العربية، عقد الاجتماع الرابع لآليات التنسيق العربي للحد من مخاطر الكوارث خلال الفترة 9-2022/5/11 بمقر الأمانة

العامة لجامعة الدول العربية بالقاهرة، بهدف متابعة التكليفات التي أقرتها الاجتماعات السابقة لآليات التنسيق العربي للحد من مخاطر الكوارث.

شارك في الاجتماع ممثلون عن الدول العربية، والمنظمات الحكومية العربية والإقليمية والدولية ووكالات الأمم المتحدة ومؤسسات المجتمع المدني. مثّل الهيئة العربية للطاقة الذرية في هذا الاجتماع أ. د. ضو مصباح الخبير المكلف بإدارة الشئون العلمية.

عَقدت الآلية العربية للحد من مخاطر الكوارث الطبيعية أربعة اجتماعات، اجتماعان خلال العام 2018 واجتماع خلال عام 2019 وآخر في عام 2021. وقد ناقش الاجتماع الرابع بنود جدول الأعمال الثلاثة عشر، وتضمّن البند الثاني: تقرير متابعة تنفيذ الاستراتيجية العربية للحد من مخاطر الكوارث وبرنامج عملها. وفي هذا البند تم طرح الشبكة العربية للرصد الإشعاعي البيئي والإنذار المبكر وبرامج الهيئة العربية للطاقة الذرية للاستعداد للطوارئ النووية والإشعاعية ومبادرة الهيئة بشأن عقد اجتماع كبار المسؤولين العرب حول تأسيس بنية تحتية عربية للاستعداد للطوارئ النووية والإشعاعية.

ترأس الإجتماع ممثل الجمهورية التونسية الذي أكد في كلمته خلال الاجتماع على أهمية الانخراط العربي الفاعل في كل المسارات الإقليمية والدولية التي تعمل على الحد من مخاطر الكوارث ومن ضمنها إطار سنداي الأممي الذي يهدف لبناء وتعزيز قدرات الأمم والمجتمعات على مواجهة الكوارث والتخفيف من حدتها. من جانبها أشارت نائب مدير إدارة الاسكان والموارد المائية والحد من الكوارث بجامعة الدول العربية السفيرة شهيرة وهبي إلى أن الاجتماع سينظر في إقرار مسودة النظام الأساسي للصندوق الأفريقي العربي المشترك للحد من مخاطر الكوارث.

قدّم ممثل الهيئة العربية للطاقة الذرية عرضاً بين فيه جهود الهيئة العربية للطاقة الذرية للإستعداد للطوارئ النووية والإشعاعية وتأسيسها مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية للشبكة العربية للرصد الإشعاعي البيئي والإنذار المبكر وبين أهميتها والتقدم الحاصل فيها. كما تم عرض مبادرة الهيئة العربية للطاقة الذرية بشأن عقد

إجتماع عربي رفيع المستوى حول تأسيس بنية تحتية عربية للإستعداد للطوارئ النووية والإشعاعية. وقد لاقت مداخلة الهيئة إهتماماً ملحوظاً من المشاركين في الإجتماع في إثر تنامي المخاوف من إحتمال حادث نووي أو إشعاعي في ظل تداعيات الحرب الروسية الأوكرانية الأخيرة.

وقد صدر عن هذا الاجتماع العديد من التوصيات. وفيما يخص البند الثاني المتعلق بمداخلة الهيئة العربية للطاقة الذرية أصدر المجتمعون التوصيات الآتية:

ــ الأخذ علماً بمداخلة الهيئة العربية للطاقة الذرية حول مشروع إنشاء "الشبكة العربية للرصد الإشعاعي البيئي والإنذار المبكر"، والطلب إليها الاستمرار في إنشائها والتقرير بشأنها دورياً لآلية التنسيق العربية للحد من مخاطر الكوارث. مع الأخذ في الاعتبار ملاحظات الدول أثناء الاجتماع ودعوة الدول العربية التي لم تنضم إلى هذه الشبكة الإسراع إلى الانضمام إليها بغرض تعزيز التنسيق والتعاون العربي.

ــ الترحيب بمبادرة الهيئة العربية للطاقة الذرية بعقد اجتماع كبار المسؤولين العرب حول تأسيس بنية تحتية عربية للاستعداد للطوارئ النووية والإشعاعية في القاهرة خلال الفترة 6 ــ 2022/7/7 ودعوة الدول العربية للمشاركة فيه بفعالية.

ــ تكليف الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتنسيق مع الأمانة الفنية لآلية التنسيق العربية للإعداد الجيد للمؤتمر مع الأخذ في الاعتبار ملاحظات الدول أثناء الاجتماع، وموافاة الدول العربية بوثائق الاجتماع في أقرب الآجال لضمان الإعداد الجيّد له.

ــ الطلب من الهيئة العربية إعداد مقترح حول الحد من مخاطر الكوارث النووية والإشعاعية بالاستعانة بمخرجات اجتماع كبار المسؤولين بغرض النظر في تضمينه في برنامج عمل الاستراتيجية العربية للحد من مخاطر الكوارث.

بعد ذلك تم انعقاد الإجتماع الوزاري العربي الأول للوزراء المعنيين بالحد من مخاطر الكوارث يوم 2022/5/12 في مقر جامعة الدول العربية الذي تم فيه التصديق على توصيات الإجتماع الرابع لآلية التنسيق العربية للحد من مخاطر الكوارث لتصبح هذه التوصيات قرارات بعد اعتمادها من قبل المجلس الوزاري.

2 ـ الإجتماع الأول لفريق الخبراء العرب المعني بمواجهة جرائم تقنية المعلومات
(الرياض: 18 ـ 2022/5/19)

بدعوة من مجلس وزراء الداخلية العرب شاركت الهيئة العربية للطاقة الذرية في الاجتماع الأول لفريق الخبراء العرب المعني بمواجهة جرائم تقنية المعلومات، والذي عُقد خلال الفترة 18 ـ 2022/5/19 بجامعة نايف العربية للعلوم الأمنية.

شارك في الاجتماع ممثلون عن الدول العربية، والمنظمات الحكومية العربية من المختصين في المجالات الأمنية والقانونية والفنية، بالإضافة إلى الهيئة العربية للطاقة الذرية التي مثلها أ. د. ضو مصباح الخبير المكلف بإدارة الشؤون العلمية، الذي ألقى مداخلة عرّف فيها بدور الهيئة في تعزيز أنظمة الأمن النووي في الدول العربية بما فيها الأمن السيبراني.

افتتح الإجتماع الأمين العام لمجلس وزراء الداخلية العرب الدكتور محمد بن علي كومان بكلمة أشار فيها إلى أن اختيار "الرياض" لهذا اللقاء يأتي تقديرا للمستوى المتميز الذي بلغته المملكة في مجال الأمن السيبراني ومواجهة الجريمة الإلكترونية، إذ احتلت المرتبة الأولى عربيًا والثانية عالميًا في مؤشر الأمن السيبراني الذي تصدره وكالة الأمم المتحدة لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، كما أن اختيار جامعة نايف العربية لاحتضان اللقاء يترجم المستوى المرموق الذي بلغته في هذا المجال.

وتجدر الإشارة إلى أن مجلس وزراء الداخلية العرب قرر تشكيل فريق خبراء معني بمواجهة الجرائم الإلكترونية خلال دورته الخامسة والثلاثين، نظرًا لطبيعة الجريمة الإلكترونية وأبعادها المتشعبة، إذ حرص المجلس على وضع أطر عملية لمواجهتها، واتخذ مجموعة من الإجراءات من بينها إقرار الإستراتيجية العربية الاسترشادية لمكافحة جرائم تقنية المعلومات، واعتماد الإستراتيجية العربية لمواجهة جرائم تقنية المعلومات، وإقرار خطة تنفيذية مدتها ثلاث سنوات لترجمة هذه الإستراتيجية إلى برامج عملية.

من جانبه نبّه نائب رئيس جامعة نايف العربية للعلوم الأمنية الدكتور طارق بن صالح الريس إلى ما يترتب على التقنيات الحديثة والتحول الرقمي من أنماط وأساليب

إجرامية مستجدة، الأمر الذي يتطلب توحيد الجهود ودعم العمل العربي المشترك لمواجهة هذه الأنماط والجرائم، كما أن الاهتمام الذي توليه الجامعة لجرائم أمن المعلومات أسهم في أن يحقق مركز الجرائم السيبرانية والأدلة الرقمية بها قدرًا مميزًا من النجاح رغم حداثة إنشائه، متمنيًا أن تُسهم محاور ومخرجات اللقاء في تحقيق الأهداف التي عُقد من أجلها.

استعرض الإجتماع في يومه الأول الإستراتيجية العربية لمواجهة جرائم تقنية المعلومات، فيما تضمنت فعاليات اليوم الثاني عرضاً عن مركز الجرائم السيبرانية والأدلة الرقمية بجامعة نايف وزيارة ميدانية له.

وقد تناول الإجتماع المحاور الآتية:

ــ القوانين والتشريعات
ــ تجارب الدول الأعضاء في مواجهة جرائم تقنية المعلومات
ــ التعاون العربي في مجال مواجهة جرائم تقنية المعلومات
ــ بناء وتطوير قدرات المكافحة لجرائم تقنية المعلومات
ــ التعاون مع الهيئات والمنظمات الإقليمية والدولية
ــ التعاون مع شركات الإنترنت الكبرى.

وفي ختام أعمال الإجتماع حث فريق الخبراء العرب الدول الأعضاء على المشاركة في الاجتماعات القادمة للفريق بممثلين من وزارات الداخلية والعدل والاتصالات ومن سائر الجهات المعنية بمواجهة جرائم تقنية المعلومات لتوفير الدعم اللازم وإثراء اجتماعاته بالخبراء المتخصصين، ودعوها كذلك إلى الاستفادة من التقارير والدراسات والاستشارات والبرامج والدورات التدريبية التي يقدمها مركز الجرائم السيبرانية والأدلة الرقمية بجامعة نايف العربية للعلوم الأمنية، كما أوصوا بتعميم الاستراتيجية العربية لمواجهة جرائم تقنية المعلومات على الجهات ذات العلاقة في الدول الأعضاء من خلال مجالسها الوزارية للاستفادة منها.

إعداد : م. نهلة نصر

دعوة للعلماء والإختصاصيين العرب

ندعوكم لإرسال مقالات علمية مبسّطة مؤلفة أو مترجمة في مجالات العلوم النووية والاستخدامات السلمية للطاقة الذرية حسب القواعد التالية :

1 ـ تكون المقالات موجهة لزيادة تعريف أبناء الوطن العربي بأساسيات العلوم والتقنيات النووية واستخداماتها في مختلف المجالات التطبيقية .

2 ـ يكتب ملخص باللغة الإنجليزية السليمة في بداية المقالة على ألاّ يتجاوز عدد كلماته 200 كلمة، وتضاف قائمة بالمراجع في نهاية المقالة على ألاّ تزيد على 5 مراجع .

3 ـ صياغة المقالات تكون باللغة العربية الفصحى، على أن تكون المصطلحات العلمية المتضمنة مطابقة لما ورد في المعاجم الموحدة لمصطلحات الفيزياء العامة والنووية والكيمياء والبيولوجيا الصادرة عن مكتب تنسيق التعريب بالمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الألكسو) .

4 ـ مراعاة تجنّب التفاصيل العلمية الدقيقة أو الإستنتاجات الرياضية المعقدة التي تفوق مستوى القارىء غير المتخصص باعتباره القارىء المفضل لنشرة الذرة والتنمية .

5 ـ يجب أن تكون الموضوعات المطروحة لم تسبق معالجتها بشكل مشابه في الأعداد السابقة وملائمة لأغراض النشرة ومتوافقة مع سياسة النشر بها ولا تتضمّن أية إشارات سياسية أو خصوصيات أمنية لأي من الدول العربية.

6 ـ يشترط في المقالات المترجمة أن تكون مرفقة بالأصل الذي ترجمت منه، علماً بأنه عند نشر المقالات المترجمة في نشرتنا يشار إلى إسم صاحب المؤلف الأصلي بالإضافة إلى ذكر اسم الوثيقة المنشور فيها سابقاً مع تحديد العدد وتاريخ النشر .

7 ـ يمكن للسادة المؤلفين أو المترجمين إرسال استفساراتهم بشأن المواضيع التي يرغبون في تقديمها للنشرة للحصول على رأي لجنة التحرير قبل إرسالها للنشر.

ISSN : 0330-7123