الهيئة العربية للطاقة الذرية

الذرة والتنمية

نشرة علمية إعلامية فصلية
المجلد السادس والثلاثون ـ العدد الأول 2024

الكائنات المقاومة للأشعة وتطبيقاتها في التكنولوجيا الحيوية

الجرع الإشعاعية المنخفضة وأهميتها في علم الحشرات التطبيقي

القانون النووي للإستخدامات السلمية للطاقة النووية

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 .

العنوان البريدي : الهيئة العربية للطاقة الذرية، 7، نهج المؤازرة، حي الخضراء 1003، تونس

الهاتف : 71.808.400 - 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 السادس والثلاثون ـ العدد الأول 2024

لجنة التحرير

رئيس التحرير : أ. د. سالم حامدي

المراجعون : أ. د. ضو سعد مصباح

أ. د. يحيى خليل شخاترة

أ. د. خالد زهرمان

جدول المحتويات

الموضوع	الصفحة
✯ الكائنات المقاومة للأشعة وتطبيقاتها في التكنولوجيا الحيوية– أ. د. إبراهيم إسماعيل.....	3
✯ الجرع الإشعاعية المنخفضة وأهميتها في علم الحشرات التطبيقي– د. محمد منصور.....	17
✯ القانون النووي للإستخدامات السلمية للطاقة النووية – د. م. سعدو الظواهرة.....	31
✯ أخبار عربية وعالمية	44
✯ أخبار الهيئة	50
✯ قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية.....	59

الكائنات المقاومة للأشعة وتطبيقاتها في التكنولوجيا الحيوية

Abstract

Extremophiles are organisms able to thrive in extreme environmental conditions. Microorganisms with the ability to survive high doses of radiation are known as radioresistant or radiation-resistant extremophiles. Excessive or intense exposure to radiation (i.e., gamma rays, X-rays, UV radiation…) can induce a variety of mutagenic and cytotoxic DNA lesions, which can lead to different forms of cancer. However, some populations of microorganisms thrive under different types of radiation due to defensive mechanisms provided by primary and secondary metabolic products, i.e. extremolytes and extremozymes. These compounds are able to absorb a wide spectrum of radiation while protecting the organism's DNA from being damaged, and have vast potential for use in human therapeutics. However, although advancements have been made in recent years, knowledge in this field is still limited, and the rate of progress largely depends on its economic appeal to industry. More research efforts are necessary to fully investigate the possible therapeutic and biotechnological applications of these organisms. This article aims to review the strategies by which microorganisms thrive in extreme radiation environments and discuss their potential uses in biotechnology and the therapeutic industry.

ملخــص

يطلق على الكائنات الحية القادرة على الإزدهار في الظروف البيئية القاسية "Extremophiles". كما تُعرف الكائنات الحية الدقيقة القادرة على البقاء على قيد الحياة في جرعات عالية من الإشعاع بإسم الكائنات المقاومة للإشعاع. يؤدي التعرض المفرط أو الزائد للإشعاع (أشعة جاما، الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية...) إلى مجموعة متنوعة من الطفرات في الحمض النووي بالإضافة إلى السمية الخلوية، والتي يمكن أن تؤدي إلى أشكال مختلفة من السرطان. ومع ذلك، فإن بعض مجموعات الكائنات الحية الدقيقة تزدهر تحت أنواع مختلفة من الإشعاع بفضل الآليات الدفاعية التي توفرها منتجات الإستقلاب الأولي والثانوي. يطلق على هذه المركبات إسم (Extremolytes) و (Extremozymes). تشتمل الأولى على العديد من المركبات العضوية الصغيرة القادرة على إمتصاص طيف واسع من الإشعاع وبالتالي حماية الحمض النووي للكائن الحي من التلف مثل (السيتونمين، والأحماض الأمينية الشبيهة بالميكوسبورين، والشينورين، وبورفيرا 334، وباليثين، بيوبترين، وفلوروتانين وغيرها). تشمل التطبيقات التجارية المحتملة لهذه المركبات العضوية (Extremolytes) الأدوية السرطانية، ومضادات الأكسدة، وعوامل تثبيط إنقسام الخلية، وواقيات الشمس وغيرها. أما الثانية (Extremozymes) فهي إنزيمات محبة للحرارة تنشط في البيئات القاسية مثل: وجود المذيبات العضوية غير المائية، الملوحة العالية، درجات الحرارة القصوى، الأوساط الحامضية، ودرجات الحرارة الباردة. تهدف هذه المقالة إلى مراجعة الإستراتيجيات التي تزدهر بها الكائنات الحية الدقيقة في البيئات الإشعاعية الشديدة ومناقشة إستخداماتها المحتملة في التكنولوجيا الحيوية وصناعة الأدوية. وتناقش أيضا التحديات الرئيسية التي تنتظرنا.

مـقـدمة

الإشعاع هو طاقة على شكل موجات كهرومغناطيسية (مثل أشعة جاما، الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية، والموجات الراديوية، وغيرها) التي تسبب

إجهاداً تأكسدياً للجزيئات الحيوية الهامة مثل البروتينات، الأحماض النووية (DNA، RNA)، والإنزيمات. أحد أشكالها الأساسية هو الأشعة فوق البنفسجية (UVR) الموجودة في الأشعة الشمسية، والتي من المعروف أنها تسبب تغييرات في البنية الجزيئية للحمض النووي عن طريق تشكيل ثنائيات بين سلسلتي الحمض النووي. ونتيجة لذلك، تم ربط الأشعة فوق البنفسجية بالعديد من التأثيرات الضارة على البشر بما في ذلك تثبيط المناعة، إلتهاب الجلد، الشيخوخة المبكرة، وسرطان الجلد في الحالات القصوى. كما تم ربط الإشعاع الصادر عن المنشآت النووية المختلفة (مثل النويدات المشعة) بآثار صحية حادة على البشر. إذ يمكن أن يؤدي التعرض المتزايد للإشعاع المؤين إلى التعب، الضعف، الحمى، تساقط الشعر، الدوخة، الإسهال؛ وقد يسبب سرطان الدم ونقص تعداد الكريات البيض في الحالات القصوى. بالإضافة إلى ذلك، تم ربط هذا النوع من الإشعاع بضعف نمو الجنين، بما في ذلك صغر حجم دماغه، نموه غير الطبيعي، والتخلف العقلي.

ومع ذلك، فقد وجدت الكائنات الحية (مثل الميكروبات، النباتات والحيوانات) القادرة على البقاء والعيش في الظروف القاسية، مثل الينابيع الساخنة، المناطق البركانية، درجات الحرارة العالية، مستويات الأملاح العالية، تراكيز عالية من المضادات الحيوية، والإشعاع، طرقاً للبقاء على قيد الحياة. ويطلق على الكائنات الحية الدقيقة التي تزدهر تحت ظروف الإشعاع الشديد، بالكائنات المقاومة للإشعاع. وجدت هذه الكائنات في مناطق بيئية واسعة مثل المرتفعات العالية والحقول المفتوحة حيث تكون مستويات الأشعة فوق البنفسجية مرتفعة.

على الرغم من الآثار الضارة للإشعاع على البشر، فقد وجدت أنواع مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة طرقاً للبقاء على قيد الحياة تحت مستويات عالية من الإشعاع. إذ تتحمل مثلاً بكتيريا (Deinococcus radiodurans) التأثيرات المميتة للأشعة المؤينة والأشعة فوق البنفسجية (> 1000 جول/م^2). تم ربط قدرة هذه الكائنات على البقاء

على قيد الحياة عند مستويات عالية من الإشعاع بإمتلاكها آليات إصلاح فعالة للضرر الحاصل على الحمض النووي وبقدرتها على إنتاج مركبات إستقلابية حمائية أولية وثانوية. يمكن تحفيز إنتاج هذه المواد الإستقلابية بالإضافة إلى بعض الأصبغة والإنزيمات بواسطة تقنيات التكنولوجيا الحيوية الحديثة بهدف إنتاج أدوية مفيدة، وخاصة الأدوية المضادة للسرطان، وكذلك المضادات الحيوية والمنتجات الزراعية ذات الأهمية التجارية. ومع ذلك، لم يتم بعد تضمين مزايا هذه المركبات العضوية (Extremolytes، Extremozymes) التي يتم إنتاجها ضمن الظروف القاسية المقاومة للإشعاع في مجال العلاج والتكنولوجيا الحيوية. سنقوم هنا بعرض تفصيلي لأنواع الأشعة الموجودة، والحياة تحت ظروف الإشعاع، وتوضيح الآليات الجزيئية التي تسمح للكائنات بالعيش تحت هذه الظروف، وأخيراً التطبيقات الحيوية والصناعية الممكنة.

أنواع الإشعاع

يتكون الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الأرض من الأشعة تحت الحمراء (> 800 نانومتر)، والمرئية (الإشعاع الضوئي النشط (400–750 نانومتر) والأشعة فوق البنفسجية (200–400 نانومتر).

تخترق الأشعة فوق البنفسجية طبقات بشرة الجلد، بما في ذلك الخلايا الكيراتينية، مما يؤدي إلى إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS)، والتي تسبب إنكسار الحمض النووي المفرد والمزدوج، إلتهابات، تثبيط المناعة، الطفرات الجينية، وفي النهاية السرطان. تشمل الأنواع الأخرى من تلف الحمض النووي المرتبط بالأشعة فوق البنفسجية تشكيل المثنويات، حيث تسبب الأشعة فوق البنفسجية تحطيم للروابط بين سلسلتي الحمض النووي وتشكيل روابط بين قاعدتين آزوتيتين متجاورتين، مثال

عليها السيكلوبوتان بيريميدين، والبيريميدين–بيريميدون. الأمر الذي يؤدي إلى طفرات ترتبط فيها قاعدتين آزوتيتين من البيريميدين تسمى (CC-TT) أو (C-T)، بدلاً من إرتباط قاعدة من البيريميدين مع أخرى من البورين. من المعروف أن تحريض ثنائيات السيكلوبوتان بيريميدين يسبب تغيير في الجين p53 (الذي يعتبر مسؤول عن منع تراكم الطفرات المسببة للسرطان من خلال إصلاح الخلل في الحمض النووي)، مما يعطل دورة الخلية الطبيعية ويحولها نحو التسرطن.

وكما هو الحال مع الأشعة فوق البنفسجية، فإن أشعة غاما هي أيضًا شكل من أشكال الإشعاع المؤين. ونتيجة لذلك، فهي ضارة بيولوجياً للجزيئات الحيوية مثل الحمض النووي. ينتج عن التعرض الحاد لأشعة غاما الشعور بالغثيان والتقيؤ والصداع، ويمكن أن يؤدي التعرض المتزايد إلى التعب والضعف وفقدان الشعر والإسهال وإنخفاض ضغط الدم. التعرض لفترات طويلة للنظائر المشعة والنويدات المشعة يمكن أن يؤدي إلى سرطان الدم، ونقص الكريات البيض، وتلف الأعضاء الداخلية، وخاصة الكلى. على الرغم من الآثار الضارة للإشعاع، فقد طورت العديد من الكائنات الحية الدقيقة آليات جزيئية لمكافحة الآثار القاتلة والبقاء على قيد الحياة بوجود النظائر المشعة والنويدات المشعة كما سيرد بعد قليل.

الحياة تحت الإشعاع وآلية العمل الجزيئية

يعد الفضاء الخارجي واحداً من أكثر البيئات قساوة في الوجود، حيث يتميز بالفراغ العالي، درجات الحرارة المتقلبة، وطيف كامل من الإشعاع الكهرومغناطيسي الشمسي والإشعاعات المؤينة الكونية. على الرغم من ذلك، تمكنت بعض الميكروبات والأشنيات من الإستمرار حية على سطح محطة الفضاء الدولية لمدة تزيد عن عام ونصف. كما إستطاعت الطحالب من النوع (Anabaena cylindrical) والبكتريا

(Chroococcidiopsis) أن تبقى على قيد الحياة بعد تعريضها إلى طيف الأشعة فوق البنفسجية خارج الأرض (> 110 أو 200 نانومتر) لمدة 548 يوماً. كما وُجد أن جنس البكتريا Deinococcus مقاوم لجرعات كبيرة من الإشعاع المؤين، عند عزلها من الصحاري والمحيطات والبحيرات والأسماك البحرية. من المثير للدهشة أن لدى سلالة جديدة من بكتريا (D. Reticullitermitis) معدل بقاء قدره 34% عند جرعة 100 جول/م^2 من الأشعة فوق البنفسجية، على الرغم من عزلها من أمعاء ما يسمى تجاوزاً النمل الأبيض (termite)، وهي بيئة غير معرضة للأشعة فوق البنفسجية بإنتظام. من الضروري فهم التغيرات الجينية والبروتينية والإستقلابية عند الكائنات المقاومة للإشعاع لفهم كيفية بقائها على قيد الحياة. حيث غالباً ما تترافق مقاومة الكائنات الحية للإشعاع مع زيادة أو نقصان في إنتاج أنواع مختلفة من البروتينات أو الأنزيمات التي يعزى لها الدور الأكبر في القدرة على العيش في الظروف القاسية. نورد بعض الأمثلة على أهم التغيرات التي لوحظت تحت ظروف الإشعاع:

1- تحفيز إنتاج البروتينات المسؤولة عن إصلاح الحمض النووي، حيث وجدت بروتينات خاصة مثل بروتينات ربط الحمض النووي وحيد السلسلة وإنزيمات إصلاح الحمض النووي المتحملة للأشعة فوق البنفسجية عند بكتريا (D. radiodurans)، وهي مهمة جداً في مقاومة هذا النوع لأشعة غاما.

2- تغيرات في مستوى إنتاج أنواع من البروتينات من حجم 38 و86.5 كيلو دالتون عند البكتريا (Bacillus sp) بعد تعرضها لأشعة غاما. كما تم ربط إستقرار البكتيريا (Rubrobacter radiotolerance) وقدرتها على البقاء تحت ظروف أشعة غاما بوجود بروتين مونومير كتلته 24000 دالتون. كما أظهرت البكتريا

(Hymenobacter xinjiangensis) المعزولة من صحراء الصين، مقاومة مرتفعة لأشعة غاما والأشعة فوق البنفسجية.

3- تحفيز إنتاج أنزيمات ذات قدرة عالية على إصلاح الحمض النووي، كما هو الحال عند النوع (D. radiodurans)، والتي لعبت دوراً في إصلاح المئات من الأخطاء في الحمض النووي، وزيادة إنتاج الأنزيمات المفككة لأنواع الأوكسجين التفاعلية، بالإضافة إلى تنشيط مضادات الأكسدة غير الأنزيمية بعد تعرض البكتريا (Halobacterium salinarum) المحبة للملح لأنواع مختلفة من الإشعاعات المؤينة.

4- تفرز بعض البكتيريا أصبغة تحميها من الأشعة فوق البنفسجية، بما في ذلك البكتيريا الزرقاء (Tolypothrix byssoidea). كما تنتج البكتيريا (Deinococcus depolymerans)، المعزولة من مواقع مشعة في اليابان، صبغة حمراء قد تجعلها مقاومة لأشعة غاما والأشعة فوق البنفسجية. بالإضافة لذلك، تعتبر الستونيمين (Scytonemin)، صبغة يتم إنتاجها بواسطة العديد من سلالات البكتيريا الزرقاء والتي تعمل على حجب الأشعة فوق البنفسجية؛ ولها خصائص مضادة للإلتهابات وللتكاثر البكتيري. تم الإفتراض بأن الكاروتينات قد تعمل على إمتصاص الإشعاع، مما يسمح ببقاء السلالات البكتيرية.

5- من المعروف أن الأحماض الأمينية الشبيهة بالـميكوسبورين (MAAs) تمتص الأشعة فوق البنفسجية ويمكن العثور عليها في مجموعة واسعة من الكائنات الحية الدقيقة، بما في ذلك البكتيريا الزرقاء والطحالب حقيقية النواة. تحمي هذه المركبات الحمض النووي من الأضرار الناجمة عن الأشعة فوق البنفسجية عن طريق منع تكوين الثنائيات (الطفرات) في الحمض النووي.

6- زيارة في إنتاج بروتين الإجهاد الحراري Hsp70 عند النوع (Chlamydomonas sp) المعزول من جليد القطب الجنوبي، وزيادة في ترسيب حمض ثلاثي كلورو أسيتيك في الزراعة المائية للسلالة (Chroococcidiopsis)، بعد تعرضها للأشعة السينية، مما يشير ضمناً إلى زيادة في عمليات إصلاح الحمض النووي.

على العكس مما ذُكر أعلاه، أدى التعرض للأشعة فوق البنفسجية إلى إنخفاض في إستخدام الأحماض الأمينية والأمينات والأحماض الكربوكسيلية مع زيادة في إستهلاك الكربوهيدرات والمركبات الفينولية، مما يشير إلى إنخفاض في عملية تصنيع البروتين كإستراتيجية إستقلابية لتعزيز قدرة البقاء على قيد الحياة.

فوائد الكائنات المقاومة للإشعاع

تسمح الميزات الفريدة للكائنات المحبة للبيئات القاسية بتطبيقات بعيدة المدى في مجال التكنولوجيا الحيوية، بدءاً من المعالجة الحيوية للنفايات النووية إلى إنتاج الأدوية المهمة طبياً.

التطبيقات العلاجية لنواتج الإستقلاب (Extremolytes)

تم إحراز تقدم في البحث عن الكائنات المحبة للبيئات القاسية التي تنتج هذه المواد العضوية، خاصة فيما يتعلق بالبحث عن الأدوية السرطانية، حيث تم عزل العديد من المركبات الواقية من الأشعة من الكائنات المقاومة للأشعة فوق البنفسجية، بما في ذلك الأحماض الأمينية الشبيهة بالميكوسبورين، والسيتونمين، والإكتوين، والباكتيريوروبيرين، والسفيروفورين، والبانارين، والميلانين؛ نفصلها فيما يلي:

1- الأحماض الأمينية الشبيهة بالميكوسبورين: (Mycosporine-Like Amino Acids)

تم عزل هذه المركبات من الطحالب الحمراء، نجوم البحر، الشعاب المرجانية، السوطيات، والبكتيريا الزرقاء بعد تشعيعها بالأشعة فوق البنفسجية. أظهر المركب ميكوسبورين المعزول من الأشنة (Collema cristatum) قدرة على حماية للأغشية الخلوية البشرية الكيراتينية من الأشعة فوق البنفسجية.

تضاف هذه المركبات إلى واقيات الشمس نظراً لقدرتها على إمتصاص الأشعة فوق البنفسجية، وتتعزز قدرتها أكثر عندما يتم تطبيقها خارج الخلية، مما يشير إلى دورها في إمتصاص الضوء.

2- السيتونمين (Scytonemin)

أظهر السيتونمين (Scytonemin) نتائج واعدة كواقي من أشعة الشمس، وهو مركب أصفر إلى بني، قابل للذوبان في الدهون تنتجه البكتيريا الزرقاء. تركيبه الكيميائي عبارة عن قلويد إندول متماثل يتكون من وحدات حلقية غير متجانسة مندمجة، متصلة عبر رابطة كربون-كربون. كشف تحليل الطيف الضوئي أن غلاف السيتونمين فعال في حماية الخلايا من الأشعة فوق البنفسجية، ولكن ليس من الضوء المرئي.

كشفت العديد من الدراسات أن درجة الحرارة وإجهادات الأكسدة الضوئية وحدها لا تزيد من مستويات السيتونمين في البكتيريا الزرقاء. ومع ذلك، فإن إضافة الأشعة فوق البنفسجية إلى العاملين المذكورين سابقًا يعمل بشكل فعال على زيادة مستويات السيتونمين. كما أن التجفاف المتزامن مع نقص النيتروجين المثبت والأشعة فوق البنفسجية يؤدي إلى زيادة إنتاج السيتونمين في بيئة الإستزراع المدروسة.

يعتبر السيتومينين مثبطاً لبروتينات الكيناز المتحكمة بالعديد من الجينات المسرطنة. أدى هذه التثبيط إلى تحفيز موت الخلايا المبرمج (apoptosis) في سرطان العظام (osteosarcoma) وأنواع الخلايا السرطانية الأخرى، مما يشير إلى أن السيتونمين قد يوفر حاملًا دوائيًا جديدًا لتطوير مثبطات بروتين كيناز كأدوية مضادة للالتهابات.

3- الإكتوين (Ectoin)

أظهرت العديد من المركبات الأخرى قدراتها العلاجية مثل الإكتوين، الباكتيريوروبيرين، السفيروفورين، والبانارين. حيث تمكن الإكتوين من حماية خلايا الكيراتين البشرية المتعرضة للأشعة فوق البنفسجية. كما منع الضرر الناجم عن عديدات السكاريد الدهنية البكتيرية (lipopolysaccharide) من خلال رفع مستويات بروتين Hsp70.

قد يكون للباكتيريوروبيرين المعزول من بكتيريا Rubrobacter radiotolerans إستخدام محتمل في العلاجات البشرية لإصلاح أضرار سلاسل الحمض النووي الناتجة عن الإشعاعات المؤينة، وبالتالي الوقاية من سرطان الجلد. كما يمكن للسفيروفورين والبانارين المعزولين من الأشنات إصلاح تلف الحمض النووي الناجم عن جذور الهيدروكسيل، وأكسيد النيتريك، وأنيون فوق الأكسيد.

التطبيقات في التكنولوجيا الحيوية لنواتج الإستقلاب (Extremolytes)

بالإضافة إلى التطبيقات العلاجية، أشارت الدراسات الحديثة إلى وجود العديد من تطبيقات التكنولوجيا الحيوية للكائنات المقاومة للإشعاع منها:

1- الإختزال

تم استخدام نواتج إستقلاب (extremolytes) الكائنات المقاومة للإشعاع في المعالجة البيولوجية للنفايات النووية، حيث يعمل أنزيم السيتوكروم-سي الموجود في سلالتي البكتريا (Shewanella putrefaciens) و(Geobacter sulfurreducens) على إختزال نظائر اليورانيوم المشعة القابلة للذوبان إلى أنواع غير قابلة للذوبان. كما عزلت سلالة جديدة من بكتريا (Halomonas sp) قادرة على إزالة التكنيشيوم (عنصر كيمائي مشع يتم تصنيعه) من المحلول عن طريق جعله غير قابل للذوبان. بالإضافة لإظهار أنواع بكتيرية أخرى قدرة إستقلابية على إختزال النظائر المشعة عبر آليات إنزيمية. كما إستخدم الإختزال الأنزيمي غير المباشر للنويدات المشعة كوسيلة للمعالجة الحيوية للتربة الملوثة بالنفايات النووية. في هذه العملية، يمكن إستخدام الكائنات الحية الدقيقة المختزلة للمعادن والكبريتات لإختزال النويدات المشعة القابلة للذوبان بشكل غير مباشر. تتمثل هذه الآلية بأكسدة المركبات العضوية عن طريق إختزال الحديد ثلاثي التكافؤ أو الكبريت رباعي التكافؤ على شكل كبريتات. ويمكن بعد ذلك اختزال الناتج إلى أنواع غير قابلة للذوبان. على سبيل المثال، تقدر البكتيريا المختزلة للكبريتات (Micobacterium flavescens) على إنتاج مركبات مثل الأحماض العضوية وحاملات الحديد (Siderophore) ونواتج إستقلاب خارج الخلية عندما تنمو في وجود اليورانيوم، الثوريوم، الأمريسيوم، والبلوتونيوم.

2- الإدمصاص

بالإضافة إلى إمكانية إختزالها إلى أشكال غير قابلة للذوبان، يمكن إدمصاص النويدات المشعة بواسطة الكائنات المقاومة للإشعاع، حيث أظهرت الطحالب البحرية البنية (Cystoseira indica) بالإضافة إلى كائنات حية أخرى مثل (Citrobacter sp) و(Firmicutes freudii) إدمصاصاً فعالاً لنظائر اليورانيوم

المشعة. لقد أثبت الكائن المقاوم للإشعاع (D. radiodurans) فعاليته في المعالجة الحيوية للمعادن الثقيلة من المياه الحمضية، حيث كان قادراً على إزالة 70% من محلول اليورانيوم تركيزه 1 ميلي مول. بالإضافة إلى المعادن الثقيلة، تم إستخدام هذه النوع في المعالجة الحيوية لإسترات الفثالات، والتي تستخدم على نطاق واسع في مستحضرات التجميل والعطور والملدنات.

3- التطبيقات الصناعية

سجلت العديد من براءات الإختراع للعديد من التطبيقات العلاجية والصناعية للمركبات العضوية (extremozymes) و(extremolytes) التي تنتجها الكائنات الحية المحبة للظروف القاسية: حيث تمتلك شركة Verenium Corporation (شركة تكنولوجيا حيوية في كاليفورنيا) تسع براءات إختراع مختلفة لتطوير أنزيمات مستقرة حرارياً عن طريق إحداث طفرات في الكائنات المحبة للحرارة. يتيح ذلك للشركة تصنيع إنزيمات مستقرة وذات كفاءة مضاعفة عند درجات الحرارة المرتفعة (> 60 درجة مئوية). كما تستخدم Biotop AG (شركة صناعات دوائية ألمانية) طريقة تخمير مستمرة لإنتاج الإكتوين على نطاق واسع لإستخدامه في مستحضرات التجميل والعلاجات. حيث وجد في تجربة سريرية أجرتها هذه الشركة، إنخفاض أعراض إلتهاب الأنف التحسسي الحاد بشكل ملحوظ عند المرضى الذين يتلقون قطرات العين وبخاخات الأنف من الإكتوين.

على الرغم من ذلك، لم يتم دراسة إستخدام هذه الكائنات في مجال إنتاج الطاقة الحيوية على نطاق واسع، لأن التحدي الحالي هو إيجاد عملية فعالة وغير مكلفة لتحلل الكربوهيدرات المعقدة لإنتاج الإيثانول الحيوي. حيث تمكن الباحثون من عزل سلالتين من البكتريا تابعتين للنوعين Bacillus pumilus و Cellulosimicrobium cellulans قادرتين على تحليل السليلوز في ظل ظروف فيزيائية وكيميائية مختلفة (حرارة عالية، محتوى أملاح مرتفع، وحموضة عالية).

القيود والتحديات

يعتبر تطوير جيلاً جديداً من العلاجات، مثل واقيات الشمس ونواتج الإستقلاب المضادة للسرطان، بدون التسبب بحساسية لدى البشر أمراً واعداً. نظرًا لأن نواتج الإستقلاب المستخلصة من الكائنات المحبة للبيئات القاسية يتم إختيارها بشكل طبيعي من خلال التطور، فهي تعتبر صديقة للبيئة. يمكن إستخدام التقنيات الحالية في علوم الجينوم والبروتينات والإستقلاب في التخليق الحيوي الميكروبي لنواتج إستقلابية محتملة وذلك بإستخدام الكائنات الحية الدقيقة المعدلة وراثيا في المفاعلات الحيوية.

يتم حاليًا تسويق العديد من الأحماض الأمينية الشبيهة بالميكوسبورين (مثل Helioguard 365 وHelionori) كمنتجات واقية من الشمس للحماية من الأشعة فوق البنفسجية بسبب طيف إمتصاصها الواسع لهذه الأشعة. بالإضافة إلى ذلك، فإن السيتونمين لديه القدرة على أن يكون الدواء التالي "الكل في واحد" لمنع تلف الجلد الناتج عن الأشعة فوق البنفسجية والسرطان والإلتهابات. ومع ذلك، نظرًا لأن النشاط البيولوجي للسيتونمين ليس مفهوماً جيداً، هناك حاجة إلى مزيد من الدراسات لفهم آثاره المحتملة على البشر. وأخيراً، يُستخدم الميلانين على نطاق واسع في صناعة واقيات الشمس، ولكن إنتاجه أصبح أكثر تكلفة بسبب تركيبه الجزيئي المعقد. لذلك يعتبر إنتاج الميلانين البكتيري طريقة غير مكلفة للحصول على الميلانين بسهولة نسبية.

الإستنتاجات

تعتبر بيئة الكائنات الحية الدقيقة المقاومة للإشعاع ودورها المحتمل في مجال التكنولوجيا الحيوية أمر حتمي في التكنولوجيا الحديثة اليوم. لذلك، تعد دراسة الآليات البيولوجية، الجزيئية والجينية للكائنات المحبة للبيئات القاسية أمراً ضرورياً لفهم حدود الحياة، وقد تساعدنا في الإجابة على سؤال فيما إذا كانت الحياة موجودة في ظروف قاسية على كواكب أخرى. لقد قمنا هنا بوصف العديد من الكائنات الحية المقاومة للإشعاع وبيئاتها. إن معرفة تطور الكائنات الموجودة في البيئات القاسية ستزيد من

فهمنا للعملية التطورية والنتائج الجينية والجزيئية للبيئات القاسية. تطبيقات التكنولوجيا الحيوية للكائنات المقاومة للإشعاع هي أيضا ذات أهمية كبيرة، إذ توفر فرصاً لا حدود لها في العلاجات البشرية، والأدوية، والتكنولوجيا الحيوية، والتحلل الحيوي للمركبات السامة والمشعة. نظرًا لقدرة هذه الكائنات على البقاء في ظل ظروف الإشعاع العالي، يمكن تصنيع نواتج الإستقلاب والإنزيمات المختلفة التي تنتجها واستخدامها في العلاجات البشرية. بالإضافة إلى المعالجة الحيوية للمركبات المشعة في مجال النفايات النووية. ومع ذلك، هناك حاجة إلى بذل المزيد من الجهود البحثية للتحري الكامل حول إمكانية إستخدام الكائنات المقاومة للإشعاع في التطبيقات العلاجية والتكنولوجية الحيوية.

أ. د. إبراهيم إسماعيل
هيئة الطاقة الذرية السورية
issmaeil@aec.org.sy

References

(1) Gabani, P., Singh, O.V. Radiation-resistant extremophiles and their potential in biotechnology and therapeutics. 2013. Appl Microbiol Biotechnol 97, 993–1004.

(2) Salwan, R., Sharma, V. 2020. Overview of Extremophiles, In: Physiological and Biotechnological aspects of Extremophiles. Elsevier, London, pp 13–22. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818322-9.00002-2.

(3) Geraldes, V., Pinto, E. 2021. Mycosporine-Like Amino Acids (MAAs): Biology, Chemistry and Identification Features. Pharmaceuticals. 14, 63. https://doi.org/10.3390/ph14010063

الجرع الإشعاعية المنخفضة وأهميتها في علم الحشرات التطبيقي

Abstract

There is a plenty of evidence of health benefits and longer life span following exposure of living organisms to low doses of ionizing radiation. This should replace peoples believe that "all radiation is harmful". In fact, "all radiation" is not harmful and "hormesis" which is the excitation or stimulation by low doses of any agent including ionizing radiation is beneficial. Low radiation doses are defined as any dose between ambient level of radiation (background radiation) and the threshold that makes the boundary between positive and negative radiation effects. In fact, "hormesis" with ionizing radiation presented evidence of increased vigor in bacteria, invertebrates (including insects), vertebrates and plants. This article discusses the beneficial effects of low radiation doses on insects, particularly on their role in improving rearing efficiency of biological control agents and increasing their effect on insect pest populations in the field, and on increasing quality and quantity of silk production from silk worms. In addition, it discusses the hypothesis that explain how low radiation doses work, the range of low radiation doses beneficial to insects, the different ways of inducing "hormesis" by ionizing radiation and the most important applications of low radiation doses in applied Entomology.

مـقـدمة

تُعرّف الجرع الإشعاعية المنخفضة (Low radiation doses) على أنها الجرع التي لا تشكل أي خطر على الكائن الحي أو ربما بعض الفائدة. وبشكل أكثر تحديداً هي الجرع الإشعاعية التي تزيد عن مستوى الإشعاع الطبيعي (Background radiation) ولا تصل إلى الحد الذي يسبب الضرر للكائن الحي. لكن، لابد من الإشارة هنا إلى أن مفهوم الجرع الإشعاعية المنخفضة ليس ثابتاً وإنما خاص بكل نوع من الكائنات الحية حيث تقدّر الجرعة المنخفضة في علم الوقاية الإشعاعية.

أما علم الحشرات التطبيقي (Applied Entomology) فكثيراً ما يُعرّف على أنه ذلك الفرع من علم الحشرات (Entomology) الذي يهتم بدراسة الحشرات الضارة والنافعة للإنسان، فيعمل على إيجاد طرق لمكافحة الضارة منها وأفضل السبل للإستفادة من الحشرات النافعة فيها مثل الأعداء الحيوية (متطفلات ومفترسات) وملقحات الأزهار وأنواع نحل العسل وديدان الحرير، بما يضمن مصلحة الإنسان وحماية البيئة والحفاظ على التوازن الطبيعي.

ويمكن تعريف التحفيز أو التنشيط (Activation or stimulation) بالجرع الإشعاعية المنخفضة على أنه العملية التي يتم فيها إعطاء إشارة للقيام بنشاط معين أو زيادة ذلك النشاط في الكائنات الحية. ويعود الإستعمال الأول لهذا المصطلح لأكثر من مئة عام خلت حيث لاحظ العالمان البريطانيان ساوثام وإيرلخ في العشرينيات من القرن الماضي أن تركيزات عالية من مستخلص لحاء شجرة البلوط تثبط نمو الفطور، ولكن التركيزات المنخفضة منه تؤدي إلى تنشيط هذا النمو. وإستعمل الباحثان، في مقالة نشراها في مجلة أمراض النبات (J. of Phytopathology) في عام 1943، الكلمة الإغريقية Hormesis ليعبروا

فيها عن ظاهرة التحفيز أو التنشيط بإستعمال جرع منخفضة من عوامل معينة تكون مؤذية أو قاتلة عندما تستعمل بتركيزات أو مستويات عالية ولكنها منشطة أو محفزة للنمو عند إستعمالها بمستويات منخفضة. ويستعمل الإصطلاح "Hormesis" اليوم ليعبر عن أي تأثير محفز (منشط) ناتج عن جرعة منخفضة من عامل معين مثل الحرارة أو الجاذبية أو المعادن الثقيلة أو السموم العضوية أو الأشعة المؤينة، في حين تكون التركيزات أو المستويات العالية من العامل نفسه مؤذية أو قاتلة.

تتناول هذه المقالة موضوع التحفيز أو التنشيط في الحشرات بإستعمال جرع منخفضة من الأشعة المؤينة، كما تتعرض لتاريخ هذا العلم (Hormology) ونشأته وأهم إستعمالاته في مجال علم الحشرات التطبيقي، وخاصة في مجال زيادة متوسط العمر والخصوبة وزيادة إنتاج الأعداء الحيوية المستعملة في المكافحة الحيوية للآفات الزراعية وتحسين كفاءتها في الحقل وزيادة كمية ونوعية الحرير المنتج من ديدان الحرير. لكن، قبل الخوض في هذا الموضوع، قد يكون من المفيد إستعراض بعض المعلومات الأساسية مثل الفرضيات التي تشرح آلية عمل هذه الظاهرة وطريقة إحداث التحفيز بالجرع الإشعاعية المنخفضة ومجال الجرع المستعملة لهذا الغرض.

التحفيز بإستعمال الجرع الإشعاعية المنخفضة

تشير مراجعة الأدبيات العلمية إلى أن التحفيز أو التنشيط بإستعمال الجرع الإشعاعية المنخفضة يعود لأكثر من قرن من الزمن، أي أنه سبق ملاحظات العالمان ساوثام وإيرلخ بعشرات السنين. فقد بينت دراسات البيولوجيا الإشعاعية التي تعود إلى نهاية القرن التاسع عشر (1896) أن البادرات النباتية التي تعرضت لجرع منخفضة من الأشعة المؤينة (الأشعة السينية أو أشعة X في ذلك الوقت) نمت بسرعة فاقت نمو الشاهد. وتم إستعمال تعبير التحفيز أو التنشيط الإشعاعي

(Radio-stimulation) لأول مرة في عام 1946 من قبل العالمة الروسية بريسلافيتس (Breslavets) ليعني التأثيرات البيولوجية الإيجابية للمعاملة بجرع منخفضة من الأشعة المؤينة. فقد أشارت في مراجعة نشرتها في نفس العام (1946)، حول إستعمال التحفيز أو التنشيط بإستعمال الجرع الإشعاعية المنخفضة وجمعتها في كتاب سمته النبات وأشعة X (Plant and X Rays)، إلى أكثر من 125 مرجعاً حول إستعمال التحفيز بالجرع الإشعاعية المنخفضة فيما كان يسمى سابقاً بالإتحاد السوفياتي. وكتب الكيميائي الأمريكي لَكي (Luckey) بعد ذلك بعدة عقود (1980) أول مراجعة علمية عن دور الجرع الإشعاعية المنخفضة في التحفيز أو التنشيط مستعيناً بأكثر من 1250 مرجعاً علمياً في مجال البيولوجيا الإشعاعية.

تشير الدراسات إلى أن التحفيز بالجرع الإشعاعية المنخفضة هو المجال الأكثر دراسة بين كل مسببات التحفيز الأخرى (الحرارة، الجاذبية، المعادن الثقيلة، السموم العضوية)، وخاصة في مجال علم الأحياء. وهو ظاهرة عامة تمتد من البكتيريا إلى اللافقاريات ثم الفقاريات والنباتات. ويعرف على أنه الظاهرة التي تسبب فيها الجرعات الإشعاعية المنخفضة تأثيراً نافعاً أو تحفيزياً للخلية خلافاً للخلايا غير المتعرضة للأشعة، بينما تعتبر الجرعات العالية مؤذية.

أهم الفرضيات التي تفسر ظاهرة التحفيز بالجرع الإشعاعية المنخفضة

إن حدوث التحفيز بإستعمال جرع منخفضة من الأشعة المؤينة (أو أي مادة أخرى) لم يعد مسألة جدلية (Controversial phenomenon)، فالإثباتات العلمية لهذه الظاهرة أوضح من أن يتجاهلها أحد. مع ذلك، فإن الفهم الكافي لكيفية حدوث هذه الظاهرة بإستعمال الأشعة المؤينة أساسي لوضع هذا التطبيق موضع التنفيذ. فقد وضع الدارسون فرضيات عدة لتفسير هذه الظاهرة وأهمها إحداث تسمم خفيف للكائن

الحي. إذ يؤدي التعرض لجرع إشعاعية منخفضة، من وجهة نظر واضعي هذه الفريضة، إلى تسمم خفيف للكائن الحي المعرض للأشعة المؤينة مما يزيد من معدلات الإستقلاب لديه وهذا يزيد بدوره من معدل الانقسام في الخلايا ويؤدي، بالتالي، إلى زيادة في معدل النمو أو سرعته. تتحدث الفرضية الثانية عن إحتمال حدوث تنشيط للجهاز المناعي إذ يعتقد أصحاب هذه الفرضية أن الجرع الإشعاعية العالية تؤثر سلباً (كما هو متوقع) في الجهاز المناعي. ولكن، بعكس ذلك، فإن الجرع المنخفضة تؤدي إلى تنشيط هذا الجهاز مما يزيد من مقاومة الجسم للأمراض ويسرع من عمليات الإستقلاب التي بدورها تزيد من سرعة النمو وكميته وينعكس هذا إيجاباً على مختلف وظائف الجسم. وثمة وجهة نظر ثالثة (الفرضية الثالثة) تعتقد أن التنشيط بالأشعة المؤينة يمكن رده إلى قدرة الكائنات الحية، عند التعرض لجرعات منخفضة من هذه الأشعة، على تصحيح الأخطاء الوراثية في سلسلة الدنا (DNA). وتشير وجهة النظر هذه إلى أن الجرع المنخفضة من الأشعة المؤينة تحفز إنتاج بروتينات خاصة تساهم في عملية إصلاح الأخطاء الوراثية التي تحدث للمادة الوراثية (DNA) أثناء إستنساخها مما ينعكس إيجاباً على تطور الكائن الحي. أما الفرضية الرابعة فتعتقد أن الجرع الإشعاعية المنخفضة لديها القدرة على تخليص الجسم من الجذور الحرة. فخلايا الكائنات الحية تحتوي على نسبة عالية من الماء، وتفاعل الأشعة المؤينة مع الماء يؤدي إلى تشكل جذور حرة شديدة الفعالية. وقد رأى البعض أن التعرض لجرع منخفضة من الأشعة المؤينة يمكن أن يوقف مؤقتاً (لساعات) إصطناع المادة الوراثية (DNA) مما يُمكّن الخلايا من إصلاح الأخطاء الوراثية. أما عند التعرض لجرع عالية من هذه الأشعة فإن الكميات الكبيرة من الجذور الحرة المتشكلة تقود إلى سلسلة من التفاعلات الكيميائية في هذه الخلايا وتؤدي، في النهاية، إلى تلفها أو تلف المادة الوراثية بداخلها.

طرق التحفيز بالجرع الإشعاعية المنخفضة

يوجد إستراتيجيتان أساسيتان لإحداث التحفيز في الكائنات الحية (بما فيها الحشرات) بالجرع الإشعاعية المنخفضة فيمكن إعطاء الجرعة دفعة واحدة (Acute dose) أو إعطائها على دفعات (Chronic dose). كما يمكن إدخال المادة المشعة إلى داخل جسم الكائن الحي (Internal source) أو يكون مصدر الجرعة الإشعاعية خارجياً (External source). وقد ركزت معظم الدراسات على التحفيز الحاد الخارجي ويمكن تفصيل هاتين الإستراتيجيتين كما يلي:

1. **بحسب طريقة إعطاء الجرعة (دفعة واحدة أو على دفعات):** هنا يمكن التمييز بين التحفيز الحاد (Acute) الذي يتم فيه إعطاء الجرعة الإشعاعية للكائن الحي دفعة واحدة. وقد دُرس أثر التنشيط الحاد بإستعمال جرع منخفضة من الأشعة المؤينة ولمرة واحدة فقط في عدد كبير من الحشرات وبإعتماد معايير متعددة مثل متوسط العمر وسرعة النمو والقدرة على وضع البيض (Fecundity) ومدته (Duration) والخصوبة (Fertility) ونسبة الفقس في البيوض ونسبة الإنبثاق الحشرات الكاملة من العذارى وكفاءة الأعداء الحيوية في مهاجمة العائل ووزن الشرنقة وطول الخيط في ديدان الحرير والعديد من المواصفات النوعية الأخرى. أما في التحفيز المزمن أو المتكرر (Chronic)، فتعطى الجرع الإشعاعية المنخفضة في هذه الحالة على دفعات (بدلاً من دفعة واحدة). وهناك العديد من الدراسات على التحفيز المزمن في الحشرات التي تشير إلى أن التحفيز المزمن أكثر كفاءة في تحسين المواصفات المطلوبة من التحفيز الحاد. فمثلاً، في حين أدى كل من التحفيز الحاد والمزمن إلى زيادة متوسط العمر عند خنفساء الطحين Tribolum confusum، كان للتحفيز المزمن أثر أكبر بكثير من التحفيز

الحاد، وحصل الدارسون على نتائج مشابهة عند التشعيع المزمن ليرقات دودة الحرير Bombyx mori.

2. **بحسب مصدر الجرعة ويمكن التمييز هنا بين حالتين لمصدر الجرعة:**
داخلي (Internal): وكما تشير التسمية، فالمقصود هنا هو إدخال المادة المشعة إلى داخل جسم الكائن الحي. ويتم ذلك بطرق متعددة كإعطائه مواد غذائية تحتوي عناصر مشعة أو حقنه بشكل مباشر بالعنصر المشع أو زرع صفائح مشعه داخل جسم الكائن الحي، أو خارجي (External) حيث يتم تعريض الكائن الحي للأشعة المؤينة من مصدر خارجي. وقد إعتمدت معظم الدراسات التي تمت على الحشرات بغرض تحفيزها بالجرع الإشعاعية المنخفضة على هذا النوع من التحفيز.

الجرع الإشعاعية المنخفضة المستعملة في تحفيز الحشرات

كما ذُكر سابقاً، تختلف الجرع الإشعاعية المستعملة في التحفيز من مجموعة من الكائنات الحية لأخرى ومن كائن حي لآخر داخل نفس المجموعة، كما تختلف بحسب مرحلة التطور وعمر الكائن الحي عند معاملته. فالجرع المستعملة في تحفيز البيوض الحديثة الوضع تختلف عن تلك التي تستعمل لتحفيز البيوض التي شارفت على الفقس. وجرعة تحفيز البيوض قد تختلف عن جرعة تحفيز اليرقات أو العذرى أو الحشرات الكاملة. ولكن تتراوح جرع التحفيز في الحشرات، بشكل عام، بين أجزاء من الغراي (ميلي أو سنتي غراي) إلى 5 أو 10 غراي. وقد تصل أحياناً إلى 25 غراي، وهي جرع، بالعموم أقل من الجرع المستعملة لتحفيز النمو في المحاصيل الحقلية، وخاصة الصناعية منها، والتي تصل إلى 50 غراي.

التحفيز بالجرع الإشعاعية المنخفضة في الحشرات

برغم وجود مئات (وربما آلاف) الأعمال العلمية التي تتعرض لموضوع تأثير الأشعة المؤينة على الحشرات، فإن معظم هذه الأعمال تستعمل جرعاً إشعاعية عالية نسبياً (أعلى من 25 أو حتى من 50 غراي)، وتركز على موضوع مكافحة الآفات بإستعمال تقنية الحشرات العقيمة أو إبادتها لأغراض الحجر الزراعي والصحة النباتية. أما الأعمال العلمية التي تناولت تأثير الجرع الإشعاعية المنخفضة (الجرع التحفيزية أو التنشيطية) بغرض الحصول على تأثير إيجابي (Stimulation) فهي محدودة (بالعشرات)، ومعظمها تم في العقود الثلاث الماضية.

تعود الأعمال الأولى في هذا المجال إلى النصف الأول من القرن الماضي (1919). فقد بينت الدراسات على خنفساء الطحين *Tribolum confusum* أن تعريضها لجرعة 1.5 غراي من أشعة x أدى إلى زيادة متوسط العمر عند الأفراد المعاملة مقارنة بالشاهد. ولعقود تلت (حتى العقد الأخير من القرن الماضي)، لا نجد الكثير من الدراسات العلمية التي تعالج موضوع التحفيز أو التنشيط بالجرع الإشعاعية المنخفضة في الحشرات. لكن، وإعتباراً من العقد الأخير من القرن الماضي، بدأت تظهر العديد من الدراسات حول هذا الموضوع.

تتركز معظم الدراسات التي تناولت موضوع التحفيز في الحشرات في أهم خمس رتب من رتب الحشرات وهي رتبة حرشفيات الأجنحة Lepidoptera (31.25%) ورتبة ثنائيات الأجنحة Diptera (25%) ورتبة غمديات الأجنحة Coleoptera (25%) ورتبة غشائيات الأجنحة Hymenoptera (12.5%) ثم رتبة مستقيمات الأجنحة Orthoptera (6.25%) .

أهم التأثيرات البيولوجية المدروسة للجرع الإشعاعية المنخفضة في الحشرات

أثبتت الدراسات العلمية أهمية الجرع الإشعاعية المنخفضة في مجال علم الحشرات التطبيقي في مناح متعددة، وخاصة في مجال زيادة إنتاج وفعالية وسرعة تكاثر الأعداء الحيوية، وزيادة إنتاج بعض الحشرات الإقتصادية النافعة مثل أنواع ديدان الحرير وأهم الصفات المدروسة هي:

1. **زيادة متوسط العمر**: كثيراً ما يكون لطول العمر أهمية بالغة في الحشرات. فمثلاً، تسمح زيادة متوسط العمر عند يرقات ديدان الحرير بإطالة فترة تغذيتها مما ينتج عنه يرقات ذات حجم كبير، وهذه تعطي شرانق بحجم أكبر وخيط حرير أطول ونوعية أفضل. كذلك الأمر بالنسبة للطفيليات، إذ يمكن أن تؤدي زيادة متوسط العمر عند الحشرات الكاملة إلى زيادة فعاليتها في الحقل وتمكن من إطالة الفترة الزمنية بين الإطلاقات المتتالية (تواتر عملية الإطلاق)، مما يقلل من كلفة برنامج المكافحة. والأمثلة على دور الجرع الإشعاعية المنخفضة في زيادة متوسط العمر في الحشرات كثيرة. فمثلاً، وجد الباحث دافي (Davey) في عام 1919 أن تعريض خنفساء الحبوب، Tribolum confusum، لجرعة 1.5 غراي أدى إلى زيادة معنوية في متوسط العمر. كذلك الأمر، فقد أدى تعريض طفيل البراغون، Bracon hebetor، لجرعة 5 و 7.5 و 10 غراي إلى زيادة متوسط العمر. والأمثلة على دور الجرع الإشعاعية المنخفضة في زيادة متوسط العمر عند الحشرات كثيرة جداً.

2. **زيادة خصوبة الإناث (عدد البيوض لكل أنثى)**: جاءت نتائج الأبحاث حول دور الجرع الإشعاعية المنخفضة في تكاثر الحيوانات صادمة للدارسين الأوائل. فقد وجد الباحثون في مشروع مانهاتن لإنتاج القنبلة النووية في منتصف القرن

الماضي أن تعريض الجرذان لغبار اليورانيوم يؤدي إلى زيادة معنوية في خصوبتها. وتبين لاحقاً أن هذا ينطبق على الكثير من الأنواع الحيوانية الأخرى أيضاً ومنها الحشرات. زيادة الخصوبة في الحشرات مسألة لها أهمية كبيرة. فمثلاً، تؤدي زيادة خصوبة الإناث، خاصة في تربية الأعداء الحيوية، إلى زيادة كفاءة إنتاج الأعداء الحيوية في منشآت التربية. وفي الحقل، يؤدي ذلك إلى زيادة قدرة هذه الكائنات على التطفل وزيادة كفاءتها في إبقاء مجتمع الآفة دون المستوى الذي يسبب الضرر الإقتصادي. فمثلاً، أدى تعريض طفيل البراغون لجرعة 5–10 غراي إلى زيادة في متوسط عدد البيوض التي تضعها الأنثى من 152 بيضة لحشرات الشاهد إلى 229 بيضة للإناث التي تعرضت لجرعة 10 غراي. كما أدى تعريض إناث صرصور الحقل، Acheta domesticus، قبل البلوغ لجرعة 0.5–2 غراي إلى زيادة في خصوبة الإناث وفي حجم البيض الناتج. ويوجد أمثلة عديدة أخرى في هذا المجال.

3. نسبة الفقس في البيوض: بشكل مشابه لزيادة الخصوبة، تؤدي زيادة معدل فقس البيوض إلى زيادة سرعة التكاثر وزيادة في كفاءة التربية وهذا مهم في تربية الأعداء الحيوية. فمثلاً، أدى تعريض إناث صرصور الحقل لجرعة 0.5–2 غراي إلى زيادة معنوية في معدل فقس البيوض.

4. مدة وضع البيض: تؤدي زيادة مدة وضع البيض إلى زيادة كفاءة تربية الأعداء الحيوية في منشآت التربية وزيادة كفاءة الحشرات التي يتم إطلاقها في الحقل بغرض مكافحة الآفات، كما تؤدي إلى تقليل عدد الإطلاقات اللازمة خلال الموسم. ولهذا أهمية كبيرة في تعزيز عملية المكافحة وتخفيض في كلفتها. فمثلاً، أدى تعريض طفيل البراغون لجرعة 10 أو 7.5 غراي إلى زيادة معنوية في مدة وضع البيض.

5. القدرة على التطفل والإفتراس: لزيادة القدرة على التطفل والإفتراس أهمية كبيرة في برامج المكافحة الحيوية التي تعتمد على إطلاق الطفيليات والمفترسات، إذ تؤدي زيادة القدرة على التطفل أو الإفتراس إلى زيادة كفاءة الأعداء الحيوية. فمثلاً، أدى تعريض الخنفساء المفترسة، Brumoides suturalis، لجرعة 5–15 غراي إلى زيادة في قدرتها على الحركة والتغذية وزيادة كفاءتها في البحث عن العائل وإفتراسه.

6. معدل إنبثاق البالغات من العذارى: بشكل مشابه لزيادة معدل فقس البيوض، تؤدي زيادة معدل إنبثاق الحشرات الكاملة من العذارى إلى زيادة كفاءة تربية الأعداء الحيوية وزيادة فعاليتها في الحقل. فمثلاً أدى تعريض عذارى الطفيل، Venturia canescens، لجرع إشعاعية منخفضة (3 أو 4 غراي) إلى زيادة معنوية في معدل إنبثاق الحشرات الكاملة من العذارى.

7. سرعة التطور (سرعة النمو): تبين، منذ عشرينيات القرن الماضي، أن تعريض الأرانب والجرذان لجرع إشعاعية منخفضة يزيد من سرعة نموها. ولسرعة النمو أهمية كبيرة في مجال تربية الحشرات، فهو يعني إختصار الزمن اللازم لكل عملية، ولا يخفى ما لذلك من أهمية. فمثلاً، أدى تعريض بيوض دودة الحرير لجرعة منخفضة مزمنة من الأشعة المؤينة (جرعة أعلى بمائة مرة من مستوى الإشعاع الطبيعي) إلى زيادة في سرعة تطورها وتقصير الزمن اللازم لفقس البيوض بمقدار 3–7 ساعات.

8. الإنجاب المبكر (التبكير بوضع البيض): الإنجاب المبكر في الحشرات، وخاصة في منشآت التربية، موضوع مهم للغاية فهو يقصر دورة الإنتاج ويقلل، بالتالي من تكاليفه. فمثلاً، أدى تعريض حوريات صرصور الحقل لجرعة 0.5–2 غراي، إضافة لزيادة الخصوبة ونسبة الفقس، إلى التبكير في وضع البيض.

9.زيادة الإنتاجية: الإنتاجية موضوع هام جداً في جميع مجالات الحياة ومنها تربية الحشرات. وللجرع الإشعاعية المنخفضة أهمية كبيرة في هذا المجال. فمثلاً، أدى تعريض بيوض دودة الحرير لجرعة 1–2 غراي إلى زيادة في كتلة اليرقات الناتجة ومن ثم زيادة معنوية في وزن الشرانق الناتجة وطول خيوط الحرير ونوعيتها. كما أدى تشعيع اليرقات بجرع إشعاعية منخفضة (2–6 غراي) إلى زيادة معنوية في إنتاج وطول خيط الحرير وخاصة عند جرعة 5 غراي.

التأثيرات الحادة والمزمنة للجرع الإشعاعية المنخفضة

بدأ الاهتمام بهذا الموضوع في نهاية الأربعينات من القرن الماضي (1949) عندما أستعمل العالمان ليوبولد وثيمات (Leopold and Thimann) أشعةx للمعالجة المتكررة لنباتات الشعير، حيث قاما بتشعيع النباتات بجرعة 25 راد (أو 0.25 غراي) أسبوعياً وحصلوا على زيادة في النمو قدرها 400%. وقد وُجد في دراسات لاحقة على دودة الحرير أن الجرعات التحريضية المزمنة أكثر فائدة من الجرعات الحادة. كما أدى تعريض ذبابة الخل لجرع مزمنة مقدارها 0.4 غراي يومياً إلى زيادة متوسط العمر، بينما أدى تعريضها لجرعة حادة مقدارها 30 غراي، وهي أقل من مجموع الجرع المزمنة التي سبق وتعرضت لها، إلى تأثير معاكس. وفي دراسة أخرى على خنفساء الطحين، أدى تعريضها لجرعة غراي واحد يومياً (جرعة مزمنة) أو جرعة حادة مقدارها 30 غراي (مرة واحدة) إلى إطالة العمر (في كلا الحالتين)، ولكن بنسبة أعلى بكثير عند إستعمال الجرعة المزمنة. وفي دراسة ثالثة على دودة الحرير، B. mori، تبين أن تأثيرات الجرع الإشعاعية المزمنة تتفوق على تأثيرات الجرع الحادة عند تساوي مجموع الجرع المزمنة مع الجرعة الحادة.

أهم التطبيقات المحتملة للجرع الإشعاعية المنخفضة في الحشرات

تشير الدراسات المخبرية إلى أن للجرع الإشعاعية المنخفضة أهمية تطبيقية كبيرة في مجال الحشرات الاقتصادية، وخاصة في مجال المكافحة الحيوية وتربية ديدان الحرير. فمثلاً، أشارت الدراسات في مجال المكافحة الحيوية إلى إمكانية زيادة كفاءة تربية الأعداء الحيوية وزيادة نشاطها وقدرتها على التطفل والإفتراس وزيادة مدة وضع البيض وبالتالي إمكانية تخفيض عدد الإطلاقات اللازمة وزيادة كفاءة التربية في منشآت التربية. أما في مجال تربية ديدان الحرير، فقد أظهرت الدراسات أن تعريض البيوض واليرقات لجرع إشعاعية منخفضة يمكن أن يزيد من كمية ونوعية الحرير الناتج.

خلاصة

أعطى التحفيز بإستعمال جرع إشعاعية منخفضة برهاناً قاطعاً على زيادة معدل النمو عند النباتات والأحياء الدقيقة والحيوانات الفقارية واللافقارية (بما فيها الحشرات). فمعظم التفاعلات الفسيولوجية في الخلايا الحية تتنشط بتأثير جرع منخفضة من الأشعة المؤينة، مما يؤدي إلى زيادة معدل الإستقلاب الذي يتضمن إنتاج الإنزيمات والإصطناع الضوئي والتنفس والتكاثر. كما يؤدي التنشيط بجرع منخفضة من الأشعة المؤينة إلى زيادة مقدرة الجهاز المناعي في دفاعه ضد الأمراض والموت المبكر ويزيد من متوسط العمر. وبإختصار، يبدو أن الكائنات الحية، ومنها الحشرات، تحتاج، لكي تعمل أجهزتها البيولوجية بالشكل الأمثل، إلى التعرض لمستويات من الأشعة المؤينة تفوق مستوى الإشعاع الطبيعي الموجود على

سطح الكوكب (Background radiation)، وأنه يمكن سد هذه الحاجة عن طريق التعرض لجرع إشعاعية إضافية.

د. محمد منصور
هيئة الطاقة الذرية السورية
mmansour@aec.org.sy

References

(1) Luckey, T. D. 1980. Hormesis with Ionizing Radiation. CRC Press, Inc., Boca Raton.

(2) Calabrese, E.J. and Baldwin, L.A. 1998. Hormesis as a biological hypothesis. Environmental Health Perspectives. Vol. 106: 357–362.

(3) Genchev, N.P., Balevski, N.A., Obretenchev, D.A. and Obretencheva, A.D. 2005. Stimulation effects of low gamma radiation doses on parasitoids Habrobracon hebetor (Braconidae) and Venturia canescens (Ichneumonidae). Journal of Balkan Ecology, vol. 11: No 1.

(4) Hossain, M.A., Akter, H., Alam., M.S Islam, S. and Khan, S.A., 2005. Effect of low dose gamma radiation on the larvae of silkworm, Bombyx mori L. (Lepidoptera: Bombycidae) for increased production of silk. Nuclear Science and Applications. Vol. 14: No.1. June 2005.

(5) Luckey, T.D, and Lawrence, K.S. 2006. Radiation Hormesis: The good, The bad, and The Ugly. Dose-Response 4: 169–190.

القانون النووي للإستخدامات السلمية للطاقة النووية

Abstract

The development and utilization of nuclear energy is one of the greatest achievements of the 20th century. It has greatly enhanced the ability of humanity to understand and shape the world and had a significant impact on the development of technology and civilization. In the 21st century, the United Nations (UN) has developed the “Millennium Development Goals” and the “2030 Sustainable Development Goals” to promote a comprehensive solution to the world’s social, economic and environmental issues. To this end, nuclear energy offers unique advantages, but the associated risks and challenges of its further development and utilization must be addressed. Nuclear law is a powerful tool for regulating its development and responding to those risks and challenges. The international community should fulfill international obligations strictly, implement national responsibilities effectively, and jointly maintain the UN focused international system and international legal order, contributing to the realization of the common goal of “Atoms for Peace and Development”

مـقـدمة

تعمل الوكالة الدولية للطاقة الذرية على تطوير القانون النووي مما يتيح الإستخدام الآمن والسلمي للتكنولوجيا النووية. وبسبب ذلك، أصبح المجتمع قادر على التمتع بالعديد من الفوائد المنقذة للحياة من العلوم والتكنولوجيا النووية، بما في ذلك معالجة السرطان والطاقة النظيفة وإنتاجية أفضل للمحاصيل. لقد أنشأت الوكالة

الدولية للطاقة الذرية والمجتمع الدولي نظام ضمانات شبه عالمي يسعى لكشف وردع تحويل المواد النووية من الأنشطة النووية السلمية إلى تصنيع الأسلحة النووية. علاوة على ذلك، تم بناء ثقافة الأمان والأمن والتكيف مع التهديدات الجديدة مثل الإرهاب. تتطور العلوم والتكنولوجيا النووية، مدفوعة بالإبتكار والحاجة إلى مواجهة التحديات المستمرة والناشئة (على سبيل المثال جائحة COVID-19 وتغير المناخ)، ويجب أن يتطور القانون النووي معهم. ففي عام 2022، إجتمع الخبراء من جميع أنحاء العالم في المنتدى العالمي الفريد لمناقشة القضايا الرئيسية في القانون النووي وصياغة رؤية للمستقبل. ونُشرت الكثير من المقالات، يعكس بعضها تاريخ القانون النووي وتطوره، ويركز البعض الأخر على قضايا محددة ضمن الفروع الأربعة الرئيسية للقانون النووي: الأمان والأمن والضمانات والمسؤولية النووية، ومنها ما يسلط الضوء على بعض المجالات التي يلعب فيها العلم النووي والتكنولوجيا دوراً مهماً.

إنشاء وتحسين الإطار القانوني النووي الدولي

تشير الطاقة النووية، المعروفة أيضاً بإسم الطاقة الذرية، إلى الطاقة المنبعثة عندما تتغير بنية النواة. على عكس الصناعات التقليدية الأخرى، أحدثت الطاقة النووية تغيرات ثورية في المجتمع البشري والتنمية الصناعية على الرغم من مرور فقط مئة عام على التطور من البحث النظري إلى التصنيع. والطاقة النووية هي "سيف ذو حدين": الطاقة الهائلة الناتجة عن الإنشطار النووي لا تفيد حياة الإنسان فحسب، بل تجلب أيضاً مخاطر وتحديات. فالخطر الأول يتعلق بالأمان النووي: تسببت الحوادث التي وقعت في تشيرنوبيل في عام 1986 وفوكوشيما دايتشي في عام 2011 في حدوث تلوث إشعاعي خطير، وعرضت حياة وصحة الجمهور والبيئة للبلدان المجاورة للخطر، وأبطأت أيضاً تطوير صناعة الطاقة النووية في جميع أنحاء العالم. والثاني يتعلق بالأمن النووي: ففي الوقت الحاضر، لا يمكن تجاهل تعقد الوضع الدولي وقضايا الأمن غير التقليدية البارزة والتهديد المحتمل للإرهاب النووي. إن احتمال وقوع مواد نووية أو مواد مشعة أخرى في أيدي الإرهابيين سيشكل تحديا

كبيراً للأمن الدولي. والثالث يتعلق بالإنتشار النووي: التكنولوجيا النووية ذات إستخدام مزدوج، فإذا لم يكن بالإمكان السيطرة على أنشطة الطاقة النووية السلمية بشكل فعال، فإن تحويل التقنيات والمواد النووية من الإستخدامات السلمية إلى الأسلحة النووية أو الأجهزة المتفجرة النووية الأخرى قد يجلب كارثة مدمرة للبشرية.

لقد ظهر الإطار القانوني النووي الدولي مع تطور الطاقة النووية في جميع أنحاء العالم. وقد تم تحسينه بإستمرار مع معالجة القضايا الإجتماعية والإقتصادية والعلمية والتكنولوجية المرتبطة بتطوير الطاقة النووية، مما عزز التنمية الآمنة والمأمونة والمستدامة للإستخدامات السلمية للطاقة النووية.

إنشاء إطار قانوني نووي دولي

في عام 1928، تم تشكيل اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع (ICRP) وبدأت في دراسة تطوير المعايير الدولية للحماية الإشعاعية. وقد تكون هذه اللجنة هي أول منظمة دولية مكرسة لإستخدام الطاقة النووية. وفي ذلك الوقت، لم تكن هناك حاجة ملحة لتطوير القانون النووي بسبب النطاق والحجم المحدود لإستخدام الطاقة النووية. وفي عام 1945، أظهر الإستخدام العسكري الأول للقنبلة الذرية الدمار الشامل وردع الأسلحة النووية. وفي مثل هذا العام، فتح ربط محطة أوبنينسك للطاقة النووية بالشبكة الكهربائية عصر إستخدام الطاقة النووية للأغراض السلمية. وفي الستينيات، بدأت صناعة الطاقة النووية في التطور على نطاق واسع. وجلبت أزمة النفط في عام 1973 فرصاً جديدة لتطوير صناعة الطاقة النووية. صدر "قانون الطاقة الذرية" للولايات المتحدة الأمريكية في عام 1946. ودخل النظام الأساسي للوكالة الدولية للطاقة الذرية حيز التنفيذ، مما يمثل علامة بارزة في تطوير الإطار القانوني النووي الدولي. وينص النظام الأساسي على أن مهمة الوكالة الدولية للطاقة الذرية هي "السعي إلى تسريع وتوسيع مساهمة الطاقة الذرية في السلام والصحة

والإزدهار في جميع أنحاء العالم، وضمان عدم إستخدام المساعدة التي تقدمها الوكالة بطريقة تؤدي إلى تعزيز أي غرض عسكري".

بدأت الوكالة الدولية للطاقة الذرية، منذ نشأتها، برنامج المساعدة التقنية لمساعدة الدول الأعضاء النامية في بناء القدرات، وإدخال التكنولوجيا النووية وتطويرها، وإستخدام التكنولوجيا النووية بأمان وفعالية. ففي آذار عام 1970، دخلت معاهدة عدم إنتشار الأسلحة النووية حيز التنفيذ، والتي تنص على أنه لا يجوز للدول غير الحائزة على الأسلحة النووية أن تحوز أو تصنع بشكل مباشر أو غير مباشر أسلحة نووية أو أجهزة متفجرة نووية أخرى. وتطلب من الدول غير الحائزة للأسلحة النووية التفاوض وإبرام إتفاقية ضمانات شاملة مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية. ووضعت لجنة زانغر التي تأسست في عام 1971 ومجموعة مصدري المواد النووية التي تأسست في عام 1974 مبادئ توجيهية وقائمة إنطلاق لعمليات النقل النووية. وتم إنشاء نظام دولي للمسؤولية عن الأضرار النووية من خلال إتفاقية باريس بشأن مسؤولية الطرف الثالث في مجال الطاقة النووية (إتفاقية باريس) التي إعتمدتها الجماعة الأوروبية للطاقة الذرية في عام 1960، وإتفاقية فيينا في عام 1963 بشأن المسؤولية المدنية عن الأضرار النووية (إتفاقية فيينا) تحت رعاية الوكالة الدولية للطاقة الذرية، لمعالجة مخاطر الإصابة الشخصية وفقدان الممتلكات التي قد تنجم عن الحوادث النووية العابرة للحدود. وقد بدأ تشكيل إطار قانوني نووي دولي لعدم إنتشار الأسلحة النووية والوقاية من مخاطر إستخدام الطاقة النووية.

تحسين الإطار القانوني النووي الدولي

دقت الحوادث الكبرى في محطة الطاقة النووية ثري مايل آيلاند في عام 1979 ومحطة تشرنوبيل للطاقة النووية في عام 1986 ناقوس الخطر بشأن سلامة الطاقة النووية في جميع أنحاء العالم. وفي الوقت نفسه أتاحت فرصة للمجتمع الدولي

لإعادة فحص وتحسين الإطار القانوني النووي الدولي. في أوائل عام 1990، تم إكتشاف الأنشطة النووية السرية لبعض الأطراف في معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية، مما دفع المجتمع الدولي إلى زيادة تعزيز الضمانات الشاملة وأنظمة مراقبة الصادرات. وفي عام 2001، أثارت هجمات 11 سبتمبر مخاوف جدية بشأن الإرهاب النووي في المجتمع الدولي. كذلك في عام 2011، جعل حادث فوكوشيما دايتشي النووي قضايا السلامة النووية محط إهتمام المجتمع الدولي مرة أخرى. ولقد تم تطوير وتحسين الإطار القانوني النووي الدولي استجابة للتحديات الجديدة منها:

1. **الأمان النووي:** تنص إتفاقية التبليغ المبكر عن وقوع حادث نووي (إتفاقية الإخطار المبكر) وإتفاقية المساعدة في حالة وقوع حادث نووي أو طارئ إشعاعي (إتفاقية المساعدة في حالات الطوارئ)، المعتمدة في عام 1986، على إنشاء آلية تعاون دولي لتعزيز المعلومات والإتصالات والمساعدة الفنية للتخفيف من عواقب الحوادث النووية أو حالات الطوارئ الإشعاعية. وتعزز إتفاقية الأمان النووي (CNS)، التي تم اعتمادها في عام 1994، المسؤولية الوطنية عن الأمان النووي والتعاون الدولي، مما يعكس توافقاً دولياً في الآراء بشأن تشكيل مستوى عالٍ من الأمان لحماية الناس والبيئة من الآثار الضارة للإشعاع المؤين. وتوضح الإتفاقية المشتركة بشأن الإدارة المأمونة للوقود المستهلك وأمان التصرف في النفايات المشعة (الإتفاقية المشتركة)، المعتمدة في عام 1997، مسؤوليات والتزامات جميع البلدان في مجال سلامة الوقود المستهلك وإدارة النفايات المشعة طوال حياتها. ووضعت الوكالة الدولية للطاقة الذرية وأصدرت سلسلة من معايير الأمان النووي، بما في ذلك أساسيات الأمان ومتطلبات وإرشادات الأمان العامة والمحددة لمساعدة الدول في التنفيذ الفعال للإلتزامات الدولية بموجب CNS والإتفاقية المشتركة. لقد شكلت هذه المعايير هيكلاً لمبادئ الأمان لكامل عملية إستخدام الطاقة النووية، وهي ذات أهمية

كبيرة للبلدان لإنشاء أنظمة تنظيمية وتدابير فنية فعالة للأمان النووي، ولتحقيق مستوى عالٍ من الأمان النووي والحفاظ عليه في جميع أنحاء العالم.

2. الأمن النووي: في عام 1979، تم وضع إتفاقية الحماية المادية للمواد النووية (CPPNM) تحت رعاية الوكالة الدولية للطاقة الذرية، بهدف تعزيز أمن المواد النووية أثناء النقل الدولي. أدت هجمات 11 أيلول إلى تسريع عملية مراجعة إتفاقية الحماية المادية للمواد النووية. والتعديل الذي أدخل على إتفاقية الحماية المادية للمواد النووية، الذي تم تبنيه في يوليو 2005، يوسع نطاق الإتفاقية ليشمل الحماية المادية للمنشآت والمواد النووية في الإستخدام المحلي والتخزين والنقل، مضيفاً أحكاماً لحماية المواد والمرافق النووية من التخريب. كما طورت الوكالة الدولية للطاقة الذرية مدونة قواعد التصرف بشأن أمان المصادر المشعة وأمنها وسلسلة الأمن النووي لتوفير التوجيه للجهود الأمنية التي تبذلها الدول الأعضاء والمجتمع الدولي. بالإضافة إلى ذلك، إعتمدت الإتفاقية الدولية لقمع أعمال الإرهاب النووي، التي وُضعت تحت رعاية الأمم المتحدة، في نيسان 2005 ودخلت حيز التنفيذ في تموز عام 2007.

3. المسؤولية النووية: في عام 1988، تم اعتماد البروتوكول المشترك المتعلق بتطبيق إتفاقية فيينا وإتفاقية باريس (البروتوكول المشترك) تحت رعاية مشتركة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي. وفي عام 1997، تم إعتماد إتفاقية التعويض التكميلي عن الأضرار النووية، والتي شجعت على إنشاء نظام عالمي للمسؤولية عن الأضرار النووية.

4. التعاون النووي: بدعم من الوكالة الدولية للطاقة الذرية، تم التوقيع على أربع إتفاقيات تعاون إقليمية لتعزيز العلوم والتكنولوجيا النووية في آسيا وأفريقيا وأمريكا اللاتينية. واعتباراً من نهاية عام 2020، وقعت الوكالة الدولية للطاقة الذرية إتفاقيات تكميلية منقحة بشأن تقديم المساعدة الفنية إلى 146 دولة ومنطقة. وهناك 1139 مشروع تعاون تقني قيد التنفيذ و124 مشروع بحثي تنسيقي يشمل الصحة والتغذية،

والأغذية والزراعة، والمياه والبيئة، والتطبيقات الصناعية/ تكنولوجيا الإشعاع، والأمان والأمن، وتخطيط الطاقة والطاقة النووية، وتطوير المعرفة النووية وإدارتها، مما يوفر دعماً قوياً للدول الأعضاء في بناء القدرات وتدريب الموارد البشرية في التطبيقات النووية.

تعزيز التطبيق العالمي للإطار القانوني النووي الدولي

تعيش شعوب جميع البلدان في قرية عالمية، وتشكل مجتمعاً ذي مصير مشترك. ويجب ألا تتمتع كل دولة بالحق في الإستخدام السلمي للطاقة النووية فحسب، بل يجب أن تتحمل أيضاً المسؤولية والإلتزام بمنع الإنتشار النووي والحفاظ على الأمان والأمن النووي. ويجب على جميع البلدان الوفاء بجدية بإلتزاماتها بموجب الإطار القانوني الدولي للسلامة النووية، والتنفيذ الكامل لقرارات مجلس الأمن الدولي ذات الصلة، وتوحيد وتطوير الإطار القانوني للأمان النووي الحالي، وتوفير الضمانات المؤسسية والمبادئ التوجيهية المتبعة عالمياً لتنظيم الصناعة النووية الدولية.

ومع ذلك، فإن أحجار الزاوية الحالية للقانون النووي الدولي مثل معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية، وإتفاقية الحماية المادية للمواد النووية وتعديلاتها، وإتفاق الضمانات الشاملة للوكالة الدولية للطاقة الذرية وبروتوكولاتها الإضافية لم تحقق بعد التطبيق العالمي، مما يحد من فعالية الإطار القانوني النووي الدولي. وينبغي للمجتمع الدولي أن يعمل بنشاط على تعزيز التطبيق العالمي للإطار القانوني النووي الدولي، والتأكد من أن جميع البلدان التي تقوم بالإستخدام السلمي لأنشطة الطاقة النووية إتباع المبادئ والمتطلبات الأساسية التي يحددها الإطار القانوني النووي الدولي، وتعزيز بناء عدم الإنتشار والأمان النووي وأنظمة الأمن النووي. ويجب تأمين الإفادة للبشر من الطاقة النووية، وحماية الحياة على الأرض.

مساعدة البلدان في إنشاء وتطوير الأطر القانونية النووية الوطنية

لقد أشرفت الوكالة الدولية للطاقة الذرية على صياغة سلسلة من الإتفاقيات الدولية في المجال النووي، وكذلك المبادئ التوجيهية للأمان والأمن النوويين. وتحتاج جميع البلدان ذات الصلة إلى ترجمة متطلبات الإتفاقيات الدولية إلى تشريعات وطنية لضمان التنفيذ الفعلي للإلتزامات الدولية والمتطلبات ذات الصلة. ففي بداية تطوير الطاقة النووية، تحتاج بلدان الطاقة النووية الناشئة إلى إنشاء إطار قانوني نووي ينظم ويعزز التطوير الآمن للطاقة النووية. تتمتع الوكالة الدولية للطاقة الذرية بخبرة واسعة في بناء إطار قانوني نووي، وقد إضطلعت بالكثير من العمل في مساعدة الدول الأعضاء على إنشاء إطارها القانوني النووي الخاص بها. ومع تطوير الإستخدام السلمي العالمي للطاقة النووية، ينبغي للوكالة زيادة مساعدتها التشريعية النووية للدول الأعضاء المحتاجة، وزيادة وعي الدول الأعضاء بالصكوك القانونية الدولية في المجال النووي، ودعم الدول الأعضاء في الوفاء بإلتزاماتها الدولية، وتقديم المساعدة للدول الأعضاء في تطوير التشريعات النووية الوطنية.

مواصلة تطوير وتحسين الإطار القانوني النووي الدولي

تعمل الطاقة النووية على تعزيز الإطار القانوني النووي الدولي، وسيستمر بالتأكيد في التحسن مع تطور الطاقة النووية العالمية. وفي الوقت الحاضر، يتزايد البحث والتطوير لأنظمة الطاقة النووية من الجيل الرابع، وتظهر تقنيات المفاعلات الصغيرة (SMR) واحدة تلو الأخرى، ويتقدم تطوير تقنية الإندماج النووي بشكل مطرد، مما يضع العديد من المتطلبات الجديدة لتطوير وتحسين الإطار القانوني النووي الدولي. بالإضافة إلى ذلك، يشكل التحقق من ضمانات منشآت الطاقة النووية العسكرية في الدول غير الحائزة للأسلحة النووية تحديات جديدة للإطار القانوني النووي الدولي. تتبنى SMRs المتقدمة تصميمات معيارية ونموذجية، مع نطاق إستثمار أولي أقل ومتطلبات صغيرة في إختيار الموقع بحيث يمكن نشرها بمرونة.

وقد يتم نشر بعض SMRs في المناطق المتحضرة ذات الحمل الكهربائي العالي والكثافة السكانية العالية، وقد يتم نشر بعضها في البحر بعيداً عن اليابسة. ويعتبر التعامل مع قضايا السلامة والأمن في سيناريوهات التطبيق الخاصة للنظم الصغيرة ومتوسطة الحجم وتوضيح المتطلبات التقنية والتنظيمية ذات الصلة من القضايا الرئيسية التي يجب على المجتمع الدولي حلها في أقرب وقت ممكن. وتعد طاقة الإندماج النووي إحدى الطرق النهائية لحل مشاكل الطاقة البشرية والبيئة. ولا تختلف طاقة الإندماج النووي عن النطاق العام للطاقة النووية، ولا يمكن القضاء على المخاطر الإشعاعية بنسبة 100%. ويجب إدراج تصميم وإنشاء وتشغيل وإيقاف تشغيل المرافق ذات الصلة في نطاق مراقبة الأمان النووي وأن ينظمها الإطار القانوني والتنظيمي المقابل. وعلاوة على ذلك، في عملية الإستخدام السلمي لطاقة الإندماج النووي، لا يمكن إستبعاد إحتمال نقل المواد والتقنيات ذات الصلة إلى تصنيع أسلحة نووية حرارية. لذلك، يحتاج المجتمع الدولي بشكل عاجل إلى تعزيز البحوث لتوضيح متطلبات الأمان والأمن والإستخدام السلمي في تطوير وإستخدام طاقة الإندماج النووي في أسرع وقت ممكن، وذلك لإرساء الأساس القانوني للتطبيق الواسع النطاق لطاقة الإندماج النووية. إن الإستخدام السلمي للطاقة النووية هو الطموح المشترك لجميع دول العالم، ومن مسؤوليتنا المشتركة ضمان السلامة والأمن والتنمية المستدامة للطاقة النووية. وينبغي أن يركز المجتمع الدولي على تعزيز الطاقة النووية لمنفعة البشر، وتعزيز التحسين المستمر للإطار القانوني النووي الدولي وفقاً لمبادئ السلام والأمان والأمن والمسؤولية والتعاون، والسعي الدؤوب لتعزيز التحكيم النووي العالمي، وتحقيق "الطاقة من أجل السلام والتنمية" وبناء مجتمع ذي مصير مشترك للبشر.

معالم القانون النووي

لقد كان تطوير الإطار القانوني النووي مرحلة مثيرة للإهتمام تعكس إلتزاماً بمعالجة الجوانب الرئيسية للإستخدامات السلمية للطاقة النووية من خلال مجموعة

متنوعة من الأساليب بإستخدام كل من المعاهدات والإتفاقيات الملزمة والمدونات والتوجيهات غير الملزمة. لقد تطور هذا الإطار المعقد من أدوات القانون الصارم وغير الملزم إستجابة لأحداث فرض الإجراءات. وسيساعد التطوير المستقبلي للنظام القانوني من خلال مزيد من التنسيق والإلتزام لضمان أن المؤسسات على المستويين الدولي والوطني شفافة ومستعدة للمشاركة في تفاعل بناء مع أصحاب المصلحة. وسيستمر المستشارون القانونيون في لعب دور مهم في مساعدة صانعي السياسات والخبراء التقنيين في صياغة مناهج شاملة وفعالة لمواصلة تطوير إطار عمل الطاقة النووية وتنظيمه. وينبغي إبراز عدد من العناصر الرئيسية في تلك المداولات.

1. **تنظيم الأنشطة النووية:** من الخصائص المثيرة للإهتمام للأنشطة والصناعة النووية أنها خاضعة للتنظيم منذ البداية. وعلى الرغم من أن إكتشاف الأشعة السينية والراديوم لم يؤدي إلى تنظيم أكثر منهجية إلا بعد فترة طويلة من ظهور إستخدامها الأولي في التطبيقات الطبية وغيرها، كان تطوير الطاقة النووية والوصول إلى المواد النووية تحت سيطرة السلطات الحكومية منذ البداية. ويعكس هذا النهج التوازن بين الرغبة في تأمين مثل هذه المواد للمزيد من التسلح وتعزيز تطوير الإستخدامات السلمية. وتجسد معاهدة عدم إنتشار الأسلحة النووية هذه المبادئ في أهدافها للحد من توسع الدول الحائزة للأسلحة النووية وتعزيز نزع السلاح مع السماح بالوصول إلى المعدات والمواد والمعلومات للإستخدامات السلمية للطاقة النووية. وبالتالي، يتطلب إستخدام المواد الإنشطارية والمصادر المشعة أو تشغيل المرافق النووية شكلاً من أشكال السماحية أو الترخيص من السلطة الوطنية المسؤولة. ويشكل شرط الحصول على إذن للوصول إلى المواد والمنشآت المشعة "مبدأ السماحية" في القانون النووي. ويتكون النظام الحالي من شبكة معقدة من القوانين والإرشادات ترتكز على المبادئ الأساسية للأمان والأمن والضمانات، مع نقاط إرتكاز هي الحماية الإشعاعية، وإدارة النفايات وإيقاف التشغيل، والنقل، والتأهب للطوارئ والإستجابة لها، وحماية البيئة والمسؤولية والتعويض والتجارة الدولية.

2. إطار مبني على قانون "صارم" وقانون "لين": كما قد يتوقع المرء، يتكون إطار التنظيم النووي من الصكوك الدولية والوطنية. ولكن السمة ذاتها هي أساس التنظيم في كل من المعاهدات والإتفاقيات الملزمة، فضلاً عن التوجيهات غير الملزمة والصكوك التي وضعها المجتمع الدولي. وعادة ما يوصف الفرق بين الصكوك الملزمة وغير الملزمة على أنه تمييز بين القانون "الملزم" والقانون "غير الملزم". على سبيل المثال، تعد إتفاقية الحماية المادية للمواد النووية (CPPNM) وتعديلها لعام 2005 أمثلة على صكوك القانون الصارم التي تحدد إلتزامات معينة فيما يتعلق بالأمن والتي توافق الأطراف المتعاقدة على تنفيذها في برامجها الوطنية وإطارها القانوني. وعلى النقيض من ذلك، فإن مدونة التصرف لعام 2004 بشأن أمان وأمن المصادر المشعة هي مدونة غير ملزمة تحث الدول على الإلتزام بها سياسياً لتحقيق مستوى عالٍ من الأمن من أجل التحكم في المصادر المشعة لتحقيق أهداف من بينها منع فقدانها أو الوصول غير المصرح بها أو النقل غير القانوني، ولتخفيف الضرر الناجم عن الإستخدامات الضارة المحتملة. ولكن حتى إذا كان يُنظر إلى شروط معاهدة أو إتفاقية على أنها تحدد متطلبات وإلتزامات ملزمة، فإن التوصيات والمبادئ التوجيهية الصادرة عن الهيئات الدولية الغير ملزمة رسمياً يجب أن تأخذها الدولة بعين الاعتبار. يمكن أن يؤدي تطوير الإرشادات والمعايير إلى زيادة الدقة في وسائل تحقيق أهداف الأمان والأمن في التعقيدات النووية. على سبيل المثال، تماشياً مع التفويض المنصوص عليه في نظامها الأساسي، تتمتع الوكالة الدولية للطاقة الذرية بصلاحية وضع أو إعتماد "معايير أمان لحماية الصحة وتقليل الخطر على الأرواح والممتلكات". ووضعت الوكالة الدولية للطاقة الذرية معايير أمان إنعكست في مبادئ الأمان الأساسية، ومتطلبات الأمان العامة والخاصة، وأدلة الأمان، والتي تعكس إجماعاً دولياً على ما يشكل مستوى عالٍ من الأمان لحماية الناس والبيئة من الآثار الضارة للإشعاع المؤين. وتتضمن مبادئ الأمان الأساسية معايير الأمان الأساسية

التي تم تطويرها في البداية في عام 1960 والتي ترعاها الآن ثماني منظمات دولية، بما في ذلك الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن عدداً من الإتفاقيات تم تشكيلها بواسطة مثل هذه الإرشادات والمعايير غير الملزمة. على سبيل المثال، تعود جذور إتفاقية الحماية المادية للمواد النووية إلى المعايير غير الملزمة التي تركز على الأمن، وتعديلها يعتمد أيضاً على مبادئ الأمن الأساسية. وعلى الرغم من أن الجهود المبذولة لوضع إتفاقيات بشأن الأخطار والمساعدة في حالات الطوارئ لم تأتِ بثمارها إلا بعد حادث عام 1986 في محطة تشرنوبيل للطاقة النووية، فإن المبادئ التوجيهية التي تم وضعها بعد حادث 1979 في جزيرة ثري مايل كانت بمثابة أساس للتفاوض بشأن الاتفاقيتين اللتين تم تبنيهما في عام 1986. وتشير إتفاقية الأمان النووي (CNS) إلى "الإلتزام بتطبيق مبادئ الأمان الأساسية للمنشآت النووية بدلاً من معايير الأمان التفصيلية وأن هناك إرشادات أمان مصاغة دولياً يتم تحديثها من وقت لآخر وبالتالي يمكن أن توفر إرشادات حول الوسائل المعاصرة لتحقيق مستوى عالٍ من الأمان". وبالمثل، فإن الإتفاقية المشتركة بشأن أمان التصرف في الوقود المستهلك وأمان التصرف في النفايات المشعة (الإتفاقية المشتركة) تستدعي معايير الأمان الأساسية ومبادئ الوكالة الدولية للطاقة الذرية لإدارة النفايات المشعة، وتستند أيضاً إلى مدونة الممارسات بشأن الحركة الدولية عبر الحدود للنفايات.

خلاصة

إن القانون وسيلة وليس غاية في التنظيم النووي. ولقد كان تطوير الإطار القانوني رحلة مثيرة للإهتمام تعكس الإلتزام بمعالجة الجوانب الرئيسية للإستخدامات السلمية للطاقة النووية من خلال مجموعة متنوعة من الأساليب بإستخدام كل من المعاهدات والإتفاقيات الملزمة وكذلك القواعد والتوجيهات غير الملزمة. ويتطلب تقدمنا تركيزاً متعمداً وتفانياً في التعاون الدولي والإستعداد لمشاركة الخبرات والإنفتاح على

التحسين المستمر. وسيتم المساعدة في التحسين المستقبلي للنظام القانوني من خلال السعي إلى تنسيق أكبر عبر النظام. ويتطلب إلتزاماً بضمان أن المؤسسات على المستويين الدولي والوطني شفافة ومستعدة للمشاركة في تفاعل بناء مع أصحاب المصلحة. وسيستمر المستشارون القانونيون في لعب دور مهم في مساعدة صانعي السياسات والخبراء التقنيين في صياغة مناهج شاملة وفعالة لمواصلة تطوير إطار عمل الطاقة النووية وتنظيمه.

د. م. سعدو الظواهرة
هيئة الطاقة الذرية السورية
saldawahrah@aec.org.sy

References

(1) IAEA. Guidance on the Management of Disused Radioactive Sources, IAEA, Vienna (2018).

(2) Nuclear Security, GC(62)/RES/7, IAEA, Vienna (2018).

(3) Nuclear low institute. A collective view on decade of capacity building and development in nuclear law. VIENNA, 2022.

(4) IAEA. Nuclear Low. Book Vienna 2022.

أخبار عربية وعالمية

تأمين مفاعلات البحوث في مصر في مواجهة تهديدات الأمن النووي *

تُنفَّذ تدابير الأمن النووي في جميع أنواع المرافق النووية، بما فيها مفاعلات البحوث، لضمان حمايتها من الأعمال الخبيثة وغيرها من الأعمال الإجرامية أو الأعمال المتعمدة غير المأذون بها التي قد تترتب عليها عواقب إشعاعية أو آثار سلبية أخرى. وتقدِّم الخدمة الإستشارية الدولية الخاصة بالحماية المادية. إستقبلت مصر بعثة في إطار هذه الخدمة في عام 2005، وتلتها بعثة خبراء إضافية في عام 2014، وتبيَّن من التقييم المستقل الذي أجرته البعثتان لحالة منظومة الأمن النووي أن هناك حاجة إلى تطوير نظم الحماية المادية في مفاعلي البحوث المصريين.

وفي حديث يلينا بوغلوفا، مديرة شعبة الأمن النووي للوكالة الدولية للطاقة الذرية قالت: "إن الاستدامة عامل رئيسي في مشاريع المساعدة التي تنفذها الوكالة في مجال الأمن النووي في جميع أنحاء العالم، للتأكد من أن الجهود التي تبذلها البلدان في تعزيز نظم الأمن النووي لديها ستظل فعالة مع مرور الوقت."

تتضمن خطة مصر المتكاملة لدعم الأمن النووي مشروعاً لتطوير الحماية المادية مع إيلاء الأولوية لنظم الأمن النووي، بهدف حماية المفاعلين البحثيين من التخريب أو السرقة أو أخذ المواد النووية بأي طريقة أخرى غير مشروعة، والتخفيف من العواقب الإشعاعية التي يمكن أن تترتب على الأعمال الخبيثة من هذا القبيل أو تقليل هذه العواقب إلى أدنى حد. وقد نُفِّذت أول مرحلتين من المشروع بين عامي 2015 و2020، ولا يزال تنفيذ المرحلة الأخيرة جارياً.

* أخبار الوكالة الشهرية " IAEA.News@iaea.org "، بتاريخ 2023/12.

صرحت السيدة إيلينا بوغلوفا، مديرة شعبة الأمن النووي بالوكالة: "إن التكامل بين أدوات المساعدة المختلفة المشمولة ببرنامج الوكالة في مجال الأمن النووي يتجلى بوضوح في التفاصيل المحددة لتنفيذ هذا المشروع في مصر. وقد كانت نقطة إنطلاق التعاون مع مصر هي البعثة التي أوفدتها الوكالة في إطار خدمة IPPAS؛ غير أن تنفيذ المشروع تطلب نطاقاً واسعاً من الدعم التقني والمالي من أجل وضع لوائح جديدة، وبناء القدرات التقنية، وبالطبع تطوير نظم الحماية المادية في مجمع مفاعلات البحوث". وفي حين أن المفاعل البحثي الأول ETRR-1 في حالة إغلاق طويل الأجل، فإن مجمع المفاعل البحثي الثاني ETRR-2 يباشر عمله بوصفه مرفق البحوث الوطني المعني بالطاقة النووية. ويُستخدم المجمع أيضا للأغراض التعليمية، والأهم من ذلك، لإنتاج النظائر المشعة للتطبيقات الطبية والزراعية والصناعية. وتبلغ القدرة القصوى للمفاعل ETRR-2 ما قدره 22 ميغاواطاً، وهو موجود في مركز البحوث النووية التابع لهيئة الطاقة الذرية المصرية في إنشاص، على بعد نحو 60 كيلومتراً من القاهرة. وهو من نوع المفاعلات القائمة على حوض مفتوح، وهو مصمم للإستخدام في المجالات متنوعة، بما في ذلك فيزياء النيوترونات وعلوم المواد وعلاج السرطان بإستخدام تقنية أسر النيوترونات في نواة البورون.

يجري الآن تشغيل نظم مطورة ومتكاملة للحماية المادية في موقع المفاعل ETRR-2. وصرح السيد محمود جاد، رئيس إدارة الأمن النووي في هيئة الرقابة النووية والإشعاعية المصرية قائلاً: "يحتوي المرفق الآن على نظم حديثة ومتنوعة للأمن النووي، ويتمتع العاملون بالخبرات اللازمة لتشغيل هذه النظم". إن مشروع التطوير مهم للأمن النووي الوطني، وأثبت فائدته في تعزيز نظم الحماية المادية في مجمع المفاعل البحثي الثاني ETRR-2."

وأضاف السيد محمود جاد قائلاً: "رغم التحديات التي وجهناها، مثل جائحة كوفيد-19، وبفضل جهود جميع الجهات المعنية، نجحنا في إكمال المحطات المهمة ضمن الإطار الزمني المتفق عليه". وتلقى المشروع دعما ماليا من خلال صندوق الأمن النووي التابع للوكالة. وكانت إستدامة نتائج المشروع عنصراً رئيسياً في بناء

قدرات مصر في مجال الحماية المادية طوال مختلف مراحل المشروع، وتحقق ذلك من خلال مراعاة الإحكام في التصميم والتنفيذ، وإجراء تقييم التهديدات بإنتظام، وإدارة المعارف على النحو السليم، والصيانة الفعالة. وصرحت السيدة بوغلوفا: "إن الإستدامة عامل رئيسي في مشاريع المساعدة التي تنفذها الوكالة في مجال الأمن النووي في جميع أنحاء العالم، للتأكد من أن الجهود التي تبذلها البلدان في تعزيز نظم الأمن النووي لديها ستظل فعالة مع مرور الوقت".

أول قمة عالمية للطاقة النووية تختتم أعمالها في بروكسل *

إستمراراً لتصاعد الزخم العالمي حول القوى النووية، شهدت بروكسل إنعقاد القمة الأولى للطاقة النووية بمشاركة قادة عالميين من أكثر من 30 بلداً ومن الإتحاد الأوروبي. وهذه القمة التاريخية هي أول إجتماع رفيع المستوى يشهده العالم ويكون تركيزه منصباً بالكامل على الطاقة النووية، ويأتي عقدها عقب الإهتمام التاريخي الذي حظيت به الطاقة النووية في مؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغير المناخ (مؤتمر المناخ COP28 في ديسمبر الماضي).

وخلال القمة، شدد ممثلون رفيعو المستوى من عشرات البلدان على أهمية إستخدام القوى النووية لتحقيق أمن الطاقة والأهداف المناخية ودفع عجلة التنمية المستدامة. وحدد المشاركون عدداً من العوامل الأساسية لتحقيق النجاح في الأجل الطويل، ألا وهي زيادة التمويل، وتنمية القوى العاملة، وتقديم المزيد من الدعم الإستباقي للبلدان المستجدة في المجال النووي.

وإشترك المدير العام للوكالة، السيد رافائيل ماريانو غروسي، في رئاسة القمة مع رئيس الوزراء البلجيكي السيد ألكساندر دي كرو. وشدد السيد غروسي في كلمته الإفتتاحية على الحاجة لإتخاذ خطوات عملية، قائلا: "إن الإقرار بضرورة الإستعانة بالطاقة النووية ليس كافياً. فعلى القادة السياسيين العمل على تهيئة البيئات

* أخبار الوكالة الشهرية " IAEA.News@iaea.org ".

التي تشجع الأخذ بالطاقة النووية. وقد يؤدي عدم اتخاذ خطوات عملية حاسمة إلى إهدار إمكانات الطاقة النووية في دعم التحول الأخضر". وتحدث السيد غروسي أيضا في فعالية جانبية عقدها مركز البحوث المشترك يوم الأربعاء الماضي، وفي حوار غير رسمي نظمته المبادرة المعنية بالتهديد النووي.

وعشية إنعقاد مؤتمر القمة، إلتقى السيد غروسي والسيد دي كرو ومعهما وزيرة الطاقة البلجيكية، السيدة تينه فان دير ستريتن، بأكثر من 70 من الناشطين الشباب الذين يدعمون التكنولوجيات النووية والمتجددة لمناقشة دور القوى النووية في الإنتقال إلى الطاقة النظيفة. وخلال الفعالية المخصصة للشباب، قال السيد دي كرو: "إن الوصول بصافي الإنبعاثات إلى مستوى الصفر يحتاج إلى الطاقة النووية لأن هذه هي الطريقة الوحيدة التي تكفل إزالة الكربون بالكامل. وسنحتاج إلى الكثير من مصادر الطاقة المتجددة، لكننا سنحتاج أيضا إلى الكثير من الطاقة النووية".

وتناولت القمة أيضا الحاجة إلى أن تتعاون الحكومات مع قطاع الصناعة من أجل نشر طاقة الاندماج. وقال السيد بييترو باراباشي، المدير العام للمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي (مفاعل إيتير): "أعتقد أن إمكانية إستخدام الاندماج النووي بإعتباره مصدراً للطاقة سوف تثبت في وقت قصير نسبيا (خلال عقد من الزمن). بيد أن النجاح في إستخدامه بوصفه مصدراً موثوقاً للطاقة يتطلب الكثير من الخيال، وسيتطلب برنامجاً عالمياً لتطوير الاندماج".

وصرح السيد غروسي: "يجب أن تكون القمة نقطة تحول في مسار الطاقة النووية، لإستدعاء الإستثمارات العالمية في جميع الإقتصادات. والوكالة الدولية للطاقة الذرية، التي وُلدت لتحقيق رؤية تسخير الطاقة النووية من أجل السلام والإزدهار، مستعدة للقيام بدورها في دعم هذا التحول إلى 5600 ميغاواط من الكهرباء، وهو ما يكفي لتشغيل 574 ألف منزل في الدولة لمدة عام كامل".

إنقاذ الأرواح بالإستعانة بالنيوترونات: إستخدام مفاعلات البحوث في إنتاج النظائر الطبية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية *

تؤدي الإنجازات التي تحققت في إنتاج النظائر المشعة الطبية بكفاءة وفي إستحداث المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية إلى تحسين نتائج التشخيص وتعزيز فعالية العلاج في سياق مكافحة العديد من أنواع السرطان والأمراض الأخرى. ونتيجة لذلك، يتزايد الطلب باستمرار على النظائر المشعة، التي تُنتج أساساً بإستخدام مفاعلات البحوث أو المعجلات، كما أنَّ عدد المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية المستخدمة إكلينيكياً آخذ في الإزدياد بمعدل سريع.

أعربت السيدة ميليسا دينيكي، مديرة شعبة العلوم الفيزيائية والكيميائية في الوكالة: "إن النظائر المشعة الطبية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية يمكن أن تكون عاملاً حاسماً في إنقاذ الأرواح في حال تحضيرها وإستخدامها بطريقة صحيحة". والنظائر المشعة الطبية هي عناصر مشعة تُستخدم في تركيبات صيدلانية ترتبط فيها بجزيئات معينة ومن ثم تنبعث منها إشعاعات يمكن تتبعها بسهولة، مما يجعلها مفيدة للتشخيص الطبي. ويمكن إستخدامها أيضا لأغراض علاجية، عن طريق استهداف أنسجة الأورام لعلاج بعض أنواع السرطان، مثل سرطانات البروستاتا والثدي والأمعاء. أما المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية فهي عقاقير تجمع بين نظير مشع طبي وجزيء نشط بيولوجياً. وعلى سبيل المثال، ففي حالة المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية التشخيصية المحتوية على نظائر مشعة تنبعث منها أشعة غاما، يمكن إستهداف أعضاء أو أنسجة أو خلايا بعينها. ويُعطى العقار للمرضى من خلال الحقن أو الاستنشاق أو عن طريق الفم، وتُستخدم كاميرا خارجية كاشفة لأشعة

* أخبار الوكالة الشهرية " IAEA.News@iaea.org ".

غاما لإنتاج صور للأعضاء أو الأنسجة المستهدفة دون أي تدخل جراحي. أما المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية العلاجية فتحتوي على نظائر مشعة باعثة للجسيمات تتراكم في الأنسجة المستهدفة لقتل الخلايا السرطانية.

وفي أيار/مايو 2023، أطلقت الوكالة مشروعاً بحثياً منسقا لإستحداث مستحضرات صيدلانية إشعاعية جديدة لعلاج السرطان باستخدام اللوتشيوم-177. وقالت السيدة أرونا كورد، وهي عالمة متخصصة في الصيدلة الإشعاعية بالوكالة: "لقد أفضت التطورات الأخيرة في العلاجات الإشعاعية القائمة على اللوتشيوم-177 إلى نقلة نوعية في إدارة علاج أورام الغدد الصماء العصبية وسرطانات البروستاتا مع تحسين نتائج المرضى. ومع ذلك، فلا تزال هناك فجوات في فهمنا للسلوك البيولوجي للمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية العلاجية الموسومة باللوتشيوم-177". ويهدف المشروع البحثي المنسق إلى تحديد ومعالجة العوامل التي قد تحد من فعالية هذه العلاجات الإشعاعية. وسيعمل المشروع على إستحداث وتنفيذ أسلوب تقييم سابق على مرحلة التطبيق الإكلينيكي، لتقييم قدرة المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية القائمة على اللوتشيوم-177 على إستهداف بعض أنواع السرطان الرئيسية. كما سيوفر مبادئ توجيهية بشأن الوسم الإشعاعي وتقييم المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية القائمة على اللوتشيوم-177 من حيث الجودة والسلامة والفعالية.

أخبار الهيئة

إجتماعات الخبراء

1 ـ إجتماع الأمانة العلمية للمؤتمر العربي السادس عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية (عمان ـ المملكة الأردنية الهاشمية: 02 ـ 2024/03/04)

إجتمعت الأمانة العلمية للمؤتمر العربي السادس عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية في مقر هيئة الطاقة الذرية الأردنية خلال الفترة 02 – 2024/03/04.

حضر الإجتماع السادة رئيس وأعضاء الأمانة العلمية التالية:

1. أ. د. خالد طوقان : رئيساً (الأردن)
2. أ. د. عاطف عبد الحميد عبد الفتاح: عضواً (مصر)
3. أ. د. عبد الصاحب كاظم علي: عضواً (العراق)
4. د. مجد الهواري: عضواً (الأردن)
5. أ. محمد العمري: عضواً (الأردن)

مثّل الهيئة العربية للطاقة الذرية في الاجتماع أ. د. سالم حامدي المدير العام والدكتور ضو مصباح المكلف بإدارة الشئون العلمية بالهيئة.

قامت الأمانة العامة للمؤتمر بدراسة وحصر الجداول المعدة من الإدارة العامة للهيئة للأوراق البحثية المستلمة للمشاركة في المؤتمر من 9 دول عربية والبالغة (221) بحثاً، مع عرض الملفات الإلكترونية لتلك البحوث من كل دولة على حدة. وكان عدد البحوث بعد الفحص المبدئي والتصفية والمجازة للتحكيم (201) كالتالي:

- جمهورية مصر العربية: 78 بحثاً
- جمهورية العراق: 60 بحثاً
- دولة ليبيا: 23 بحثاً
- الجمهورية اللبنانية: بحث واحد
- الجمهورية التونسية: 12 بحثاً
- المملكة الأردنية الهاشمية: 17 بحثاً
- الجمهورية اليمنية: بحث واحد
- دولة فلسطين: بحثان
- الجمهورية العربية السورية: 7 بحوث

ستقوم الإدارة العامة للهيئة بتوزيع الأوراق على الدول المحكمة والتي بدورها ستوزعها على المحكمين فيها حسب الإختصاص. على أن يتم تسليم نتائج التحكيم في موعد أقصاه 17 مايو 2024.

وقد إختتم إجتماع الأمانة العلمية للمؤتمر بعد ظهر يوم الاثنين الموافق 4 مارس 2024، على أن يتم إجتماع اللجنة العلمية في الأسبوع الأول من شهر يونيو 2024.

2 - الإجتماع للفريق العربي المعني في متابعة الأوزون وإجتماع فريق متابعة الإتفاقيات المعنية بالمواد الكيمائية والنفايات الخطرة (القاهرة: 24-2024/03/28)

عقد الإجتماع الأول للفريق العربي الخاص بالأوزون بمقر الأمانة العامة للجامعة العربية 24-2024/03/28، وشارك فيه ممثلو الدول العربية: المملكة العربية السعودية، الجمهورية الجزائرية الديمقراطية، المملكة المغربية، جمهورية مصر العربية، دولة قطر، سلطنة عمان، الجمهورية اليمنية، الجمهورية الإسلامية الموريتانية، الجمهورية العربية السورية، دولة ليبيا، دولة فلسطين، وكذلك ممثلون للمنظمات

التالية: الأكاديمية العربية للعلوم و التكنولوجيا والنقل البحري، الهيئة العربية للطاقة الذرية، والشبكة العربية للبيئة و التنمية (رائد).

إفتتح الإجتماع الدكتور محمود فتح الله مدير مديرية إدارة شؤون البيئة والأرصاد الجوية. تم إقرار جدول أعمال الإجتماع من بند واحد هو متابعة إتفاقية فيينا وبروتكول مونتريال بشأن المواد المستنفذة لطبقة الأوزون ومن أهم التوصيات:

- فصل الفريق العربي لمتابعة إتفاقية فيينا وبروتكول مونتريال بشأن المواد المستنفذة لطبقة الأوزون عن الفريق العربي المعني بالإتفاقيات البيئية الدولية الخاصة بالكيماويات مع الحفاظ على أن تعقد إجتماعات الفريقين متتالية.
- حث الدول على المشاركة في اللجان العلمية الخاصة بالإتفاقيات الدولية.
- دعوة الدول العربية لتبادل خبراتها من خلال العروض المرئية أثناء الإجتماعات التنسيقية. الطلب من الأمانة الفنية دعوة الدول العربية لإجتماع قبل إنعقاد مؤتمر الأطراف لدراسة الموضوعات المطروحة وتنسيق المواقف العربية.
- دعوة وحدات الأوزون الوطنية إلى إجراء إجتماعات تنسيقية على المستوى المحلي مع الجهات المعنية والمستخدم النهائي للمواد الخاضعة لرقابة الإتفاقية لتضمين مقترحاتهم وذلك عند إعداد مشروعات خطط الإزالة التدريجية لهذه المواد وذلك لتلافي حدوث آثار سلبية على الإقتصاد القومي.

إفتتح الدكتور محمود فتح الله مدير مديرية إدارة شؤون البيئة والأرصاد الجوية إجتماع فريق متابعة الاتفاقيات المعنية بالمواد الكيمائية والنفايات الخطرة وتم إقرار جدول أعمال الإجتماع والذي تضمن 10 بنود:

- إعادة تعميم مسودة الخطوط العريضة لإعداد الإستراتيجية العربية الإسترشادية لإدارة النفايات على الدول العربية.

- موافاة الدول العربية للأمانة الفنية للمجلس بتجاربها واستراتيجيتها الناجحة في مجال إدارة النفايات الصلبة والمتضمنة النفايات البلاستيكية.

- تكليف الإكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري بالتنسيق مع الأمانة الفنية لمجلس الوزراء العرب المسؤولين عن شؤون البيئة بإعداد المسودة الأولى لإدارة المخلفات الصلبة تمهيداً لتعميمها على الدول العربية.

- التأكيد مجدداً على الدول العربية الإلتزام بإستخدام اللغة العربية أثناء إنعقاد المؤتمرات الدولية.

- التأكيد مجدداً على الدول العربية تقديم التقارير الوطنية السنوية إلى سكرتارية إتفاقية بازل في المواعيد المحددة لها حتى تكون هنالك مصداقية عند التفاوض.

- التأكيد على التركيز عند التفاوض على الموضوعات ذات الأولوية.

- دعوة الدول العربية لتبادل الخبرات في مجال المشاريع الإستثمارية والممولة وبناء القدرات الوطنية لتنفيذ متطلبات إتفاقية بازل.

- دعم حقوق الدول النامية في الحصول الكامل على التقنيات وبناء القدرات لكوادرها، وذلك بحسب الأولويات والخطط الوطنية لكل دولة.

- الطلب من المركز الإقليمي للتدريب ونقل التكنولوجيا للدول العربية التابع لإتفاقية بازلو إعداد تقرير حول الموارد المالية اللازمة للمركز.

- دعوة الدول العربية بالإسراع بتقديم مقترحات من جانبها لإيجاد الآلية المناسبة لتمويل المركز.

- الطلب من الأمانة الفنية للمجلس مجدداً تشكيل لجنة تنسيق بين المراكز الثلاث (المركز الإقليمي للتدريب ونقل التكنولوجيا للدول العربية التابع لإتفاقية بازل في مصر والمركز الإقليمي لإتفاقية استكهولم في الكويت والمركز الإقليمي لإتفاقية استكهولم في الجزائر).

- تقديم الدعم للدول العربية لإجراء دراسات حول إمكانية إستخدام بدائل الملوثات العضوية الثابتة، ومنحها فترات سماح كافية ومن خلال مراحل إستبدال هذه المواد وتوفيرها بأسعار ملائمة.
- الطلب من الدول العربية إرسال أسماء الخبراء والمختصين إلى الأمانة الفنية للمجلس وإعداد دليل عربي للخبراء بمجال المواد الكيميائية والنفايات الخطرة.
- التأكيد على أهمية اتخاذ كافة القرارات ذات الصلة بالصك الدولي لإنهاء التلوث البلاستيكي بصيغة الإجماع وتشكيل موقف موحد.
- إبراز أهمية دور البلاستك في الكثير من المجالات والتطبيقات الطبية والصناعية، وإرتباط ذلك بتحقيق التنمية المستدامة.

3 ـ إجتماع جمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية (تونس:04/ 04/ 2024)

إحتضنت الهيئة العربية للطاقة الذرية يوم الخميس 4 أبريل 2024 في مقرها بتونس إجتماع جمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية.

يهدف هذا الإجتماع إلى تعريف أعضاء الجمعية على الهيئة العربية للطاقة الذرية وكذلك التعريف بمركز المعلومات والمختبر الإفتراضي الذي أسسته الهيئة بالتعاون مع المعهد المشترك للبحوث النووية ومقره دوبنا بجمهورية روسيا الاتحادية .JINR.

حضر هذا الاجتماع قرابة الثلاثين عضواً من جمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية بالإضافة إلى الإدارة العامة للهيئة و6 خبراء من المعهد المشترك للبحوث النووية JINR عن بعد.

إفتتح الاجتماع سعادة المدير العام للهيئة العربية أ.د. سالم حامدي مرحباً بالحضور ومعرفاً بالهيئة العربية للطاقة الذرية وأنشطتها المختلفة التي تلبي حاجات الدول العربية في الإستخدام السلمي للطاقة الذرية وتحدث سعادته عن الإستراتيجية العربية

للإستخدامات السلمية حتى العام 2030 والمأمول منها في إحداث نقلة نوعية في أنشطة الهيئة من حيث النوع والكم ومنها إنشاء مركز تدريب ومختبر افتراضي.

كما قدم رؤساء الأقسام في الهيئة العربية للطاقة الذرية تعريفاً بأنشطة أقسامهم كل في مجال تخصصه.

وبعد ذلك قدمت الدكتورة أميرة الزاوق محاضرة للتعريف بجمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية حيث بينت أن هذه الجمعية منظمة غير ربحية تأسست بتونس عام 2020. تهدف إلى دعم وتمكين النساء المحترفات العاملات في مجالات متنوعة من تطبيقات الطاقة النووية والإشعاع. ثم كانت هناك جلسة خاصة عن مركز المعلومات والمختبر الإفتراضي تداخل فيها 5 خبيرات وباحثات من معهد JINR تم بيان مجالات مختلفة من البحث العلمي في المعهد ودور المرأة الفاعل في المشاركة في الأبحاث ذات العلاقة بالطاقة النووية وتطبيقاتها المختلفة.

وأخيراً قدم المشرف على مركز المعلومات والمختبر الإفتراضي عرضاً تعريفياً عن المركز وبين نماذج من التجارب الأساسية في الفيزياء النووية وكذلك نموذج من محاكيات مفاعلات القوى التي زودت بها الوكالة مركز التدريب هذا.

الأنشطة التدريبية

1 ـ دورة تدريبية في مجال إستخدام النظائر البيئية في التعرف على التغيرات المناخية وأثارها الهيدرولوجية ووسائل التأقلم معها (القاهرة- خلال الفترة: 25-2024/02/29)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية وبالتعاون هيئة الطاقة الذرية المصرية دورة تدريبية في مجال إستخدام النظائر البيئية في التعرف على التغيرات المناخية وأثارها الهيدرولوجية ووسائل التأقلم معها، خلال الفترة من 25-2024/02/29،

القاهرة. بلغ عدد المشاركين 29 مشاركاً من مختلف الدول العربية ومثل الهيئة العربية للطاقة الذرية أ. د. يحي الشخاطرة.

هدفت هذه الدورة الى إتاحة الفرصة أمام العاملين والمتخصصين بالتغيرات المناخية واثارها الهيدرولوجية والبيئية وطرق التأقلم معها والتصدي لأثارها السلبية، للتعرف على الأساسيات النظرية والخطوات العملية والتطبيقية، التي تساعد على دعم إتخاذ القرار نحو التأقلم مع أثار التغيرات المناخية في سبيل إستدامة الموارد المائية وكفاءة إستخدامها في برامج التنمية المستدامة.

تضمن البرنامج العلمي للدورة 26 ساعة من المحاضرات النظرية والدروس العملية والحلقات النقاشية وذلك على مدى 5 أيام، والذي اشتمل على المحاور التالية:

– المفاهيم الأساسية للنظائر البيئية، وتغيراتها في المكونات المختلفة للدورات الطبيعية (الهيدرولوجية والمناخية والأرضية).

– تقدير أعمار المياه بإستخدام النظائر (التريتيوم والكربون المشع والغازات الخاملة) في الإطار الزمنى الحديث والقديم.

– إستخدام النظائر البيئية في تقدير المعاملات المناخية من حيث الحرارة، الأمطار، الرطوبة الجوية، البخر، والظروف البيئية.

– إستخدام النظائر في تتبع الرطوبة الجوية ومسارات التيارات الهوائية ودعم النماذج المناخية من خلال الشبكة العالمية لقياس النظائر في الأمطار والأنهار.

– إستخدام القياسات النظائرية في التعرف على المناخ القديم والتغيرات الحالية والتوقعات المستقبلية.

– معالجة النماذج الهيدرولوجية للتعرف على الآثار المتوقعة كنتيجة للتغيرات المناخية المستقبلية، من حيث شدة الأمطار، الجريان السطحي، شحن الخزانات، البخر، تداخل ماء البحر.

– إستخدام النظائر لدعم التأقلم مع التغيرات المناخية في الدورات المائية ووسائل الإدارة المستدامة بدراسة مصادر تجدد المياه ورفع كفاءة إستخدام المياه غير التقليدية.

2 ـ دورة تدريبية حول إنتاج الطواقم الطبية لترقيمها بالنظائر المشعة وتطبيقاتها التشخيصية والعلاجية (القاهرة – جمهورية مصر العربية خلال الفترة: 3– 2024/3/7)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية المصرية دورة تدريبية حول "إنتاج الطواقم الطبية لترقيمها بالنظائر المشعة وتطبيقاتها التشخيصية والعلاجية"، وذلك في القاهرة خلال الفترة: 3 – 2024/3/7.

هدفت هذه الدورة التدريبية إلى إطلاع المتدربين على أحد أهم التطبيقات السلمية للنظائر المشعة والمتمثلة في طرق إنتاج الطواقم الطبية القادرة على الوصول إلى الخلايا المستهدفة لتوجيه النظير المشع المناسب دون حدوث أي نتائج سلبية. والطواقم الطبية المشعة تتميز بإستهداف أعضاء محددة، ولها القدرة على التمركز في الخلايا، وبالتالي التراكم فيها بشكلٍ تفاضليّ لإعطاء تصوير دقيق للمرض.

كما تهدف الدورة إلى إلقاء الضوء على التطبيقات التشخيصية والعلاجية للطواقم الطبية في ممارسات الطب النووي السريري مع تحديد المعايير المثلى المطلوب توافرها للوصول لأفضل النتائج. وتضمّن البرنامج المحاور الرئيسية الآتية:

- إنتاج النظائر المشعة من المفاعل والسيكلترون.
- مولدات النظائر المشعة وانواعها المختلفة.
- النمذجة الجزيئية للمركبات الدوائية.
- الأنظمة المختلفة لتوصيل المركبات الدوائية.

- الترقيم الإشعاعي بإستخدام النظير المشع ودراسة العوامل المؤثرة على عائد الترقيم.
- رقابة الجودة والتوزيع البيولوجي داخل حيوانات التجارب على الطواقم الطبية المرقمة.
- تطبيق الطواقم الطيبة عملياً بالطب النووي.
- أسس الوقاية والتداول الآمن للنفايات الطبية المشعة.

شارك في هذه الدورة 27 متدرباً من مختلف الأقطار العربية: الأردن، البحرين، تونس، السعودية، سوريا، ليبيا، مصر، موريتانيا واليمن ومثل الهيئة العربية للطاقة الذرية أ. د. خالد زهرمان.

قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية

الرقم	عنوان الكتاب	عدد الصفحات	إسم المؤلف	لغة الكتابة	تاريخ الصدور	السعر بالدولار الأمريكي
1	الهيئة في أربعة أعوام	264	الهيئة العربية	عربية	1993	–
2	وقائع المؤتمر العربي الأول للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	780	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	1993	20
3	إستخدام الاشعاع والنظائر المشعة في الزراعة وعلوم الأحياء	531	مجموعة مؤلفين	عربية	1993	20
4	فيزياء وتقانة المفاعلات	728	مجموعة مؤلفين	إنجليزية	1993	20
5	إستخدام الحاسوب في الفيزياء النظرية	197	مجموعة مؤلفين	عربية	1993	10
6	تداول ومعالجة النفايات المشعة	مجلدان	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1993	20
7	الطب النووي تشخيصاً وعلاجاً	289	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1994	15
8	طرق إعداد تقريري الأمان الأولي والنهائي لمفاعلات البحوث	مجلدان	مجموعة مؤلفين	إنجليزية	1994	20
9	إستخدام التقنيات النووية في تحليل المواد	420	مجموعة مؤلفين	إنجليزية	1994	15
10	مصادر الطاقة في الوطن العربي والعالم : الواقع والآفاق المستقبلية	180	د. نواف الرومي	عربية	1994	10
11	الرادون والتلوث البيئي الإشعاعي	218	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1994	15
12	إعداد برامج الرقابة البيئية	618	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1995	20
13	الإستعداد الطبي للحوادث الإشعاعية والنووية	652	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1995	20
14	تعقيم وحفظ المواد الغذائية بالإشعاع	237	مجموعة مؤلفين	عربية	1995	10
15	إنتاج النظائر المشعة واستخداماتها الطبية	828	مجموعة مؤلفين	إنجليزية	1995	20
16	إستخدام أجهزة الكشف عن الإشعاعات المؤينة ومعايرتها	435	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	1995	نفد
17	إستخدام المصادر المشعة في الصناعة	387	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1995	15
18	أجهزة القياس والإلكترونيات النووية	469	مجموعة مؤلفين	عربية	1995	20
19	إستخدام التقنيات النووية في تحسين الإنتاج النباتي	687	مجموعة مؤلفين	عربية	1995	20
20	وقائع المؤتمر العربي الثاني للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	3 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	1995	30
21	النقل الآمن للمواد ذات النشاط الإشعاعي	374	مجموعة مؤلفين	عربية	1996	15
22	تكنولوجيا الإشعاع في الأغذية والزراعة	599	د. محمود شرباش	عربية	1996	20
23	معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة	349	الوكالة الدولية	عربية	1996	15
24	الهيئة في أربعة أعوام 93 . 1996	مجلدان	الهيئة العربية	عربية	1997	–
25	دورة الوقود النووي من الخام حتى الركاز الأصفر	635	مجموعة مؤلفين	عربية	1997	20
26	الخامات الذرية في الوطن العربي	386	مجموعة مؤلفين	عربية	1997	15
27	تصميم وإنشاء مرافق حفظ النفايات المشعة	328	مجموعة مؤلفين	عربية	1998	15
28	الإشعاعات المؤينة وحفظ الغذاء من الحشرات	143	أ. د. محمد سعيد هاشم	عربية	1998	10
29	وقائع المؤتمر العربي الثالث للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	3 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	1998	30

الرقم	عنوان الكتاب	عدد الصفحات	إسم المؤلف	لغة الكتابة	تاريخ الصدور	السعر بالدولار الأمريكي
30	نظام الضمانات الدولي وأسلوب تطبيقه على المستويين القطري والإقليمي	392	مجموعة مؤلفين	عربية	1998	15
31	البرنامج النظري والعملي للتدريب في عمليات التصوير الشعاعي (المستوى الأول)	243	مجموعة مؤلفين	عربية	1999	20
32	الحفاظ على الحبوب ومشتقاتها بالإشعاعات المؤينة	130	د. محفوظ البشير	عربية	2000	15
33	الأسس العامة لتكنولوجيا معالجة الأغذية بالإشعاع	148	أ. د. علي راضي	عربية	2000	15
34	وقائع المؤتمر العربي الرابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	5 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2000	40
35	نظام الضمانات النووية الدولي "الآفاق والآليات والمشاكل"	419	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2000	20
36	الهيئة في أربعة أعوام 97 ـ 2000	مجلدان	الهيئة العربية	عربية	2000	ـ
37	البرنامج النظري والعملي للتدريب في الإختبارات بالأمواج فوق الصوتية (المستوى الأول)	278	مجموعة مؤلفين	عربية	2001	20
38	البرنامج النظري والعملي للتدريب في الإختبارات بالسوائل النافذة والجسيمات المغنطيسية (المستوى الأول)	214	مجموعة مؤلفين	عربية	2001	20
39	التقنيات النووية وتقدير الهرمونات	330	د. أحمد عصام فكري	عربية	2002	20
40	وقائع المؤتمر العربي الخامس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	5 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2002	نفد
41	وقائع المؤتمرالعربي السادس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	4 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2003	نفد
42	وقائع المؤتمر العربي السابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	3 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2004	نفد
43	مستقبل توليد الكهرباء بالطاقة النووية	56	أ. د. ضو مصباح أ. د. م. نصر الدين	عربية	2006	10
44	وقائع المؤتمر العربي الثامن للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2007	10
45	النشاط الإشعاعي البيئي من المصادر الطبيعية والصناعية والعسكرية	816	(مترجم) أ. د. بهاء الدين معروف	عربية	2007	50
46	Research Reactors Types & Utilization	88	أ. د. إبراهيم داخلي عبد الرازق	إنجليزية	2008	10
47	المفاعلات البحثية : أنواعها واستخداماتها	88	(مترجم) م. نهلة نصر	عربية	2008	10
48	إستخدام التقنيات النووية والذرية في التحليل العناصري والنظائري	176	مجموعة مؤلفين	عربية	2008	20
49	الهيئة العربية للطاقة الذرية في ثماني سنوات 2001 . 2008	174	الهيئة العربية	عربية	2008	ـ
50	الأشعة السينية وبعض تطبيقاتها	190	أ. د. م. نصر الدين	عربية	2008	20

الرقم	عنوان الكتاب	عدد الصفحات	إسم المؤلف	لغة الكتابة	تاريخ الصدور	السعر بالدولار الأمريكي
51	الإستراتيجية العربية للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية حتى العام 2020	160	الهيئة العربية	عربية	2008	20
52	وقائع المؤتمر العربي التاسع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2009	10
53	توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP-105 "الوقاية من الإشعاع في الطب"	69	(مترجم) مجموعة خبراء	عربية	2011	10
54	الفحص البصري للملحومات . المستوى الثاني	352	أ. د. محمود أحمد شافعي	عربية	2011	25
55	الأشعة غير المؤينة : طبيعتها والوقاية من مخاطرها	60	(مترجم) مجموعة خبراء	عربية	2011	10
56	وقائع المؤتمر العربي العاشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2011	10
57	أسئلة امتحان التأهيل للإختبارات اللاّإتلافية وعلم المواد . المستوى الأول	178	أ. د. حسن إبراهيم شعبان أ. د. جمال محمد عاشور الدرويش	عربية	2013	20
58	البرنامج النظري والعملي في الإختبارات اللاّإتلافية بالتيارات الدوامية ـ المستوى الأول	248	أ. د. حسن إبراهيم شعبان أ. د. جمال محمد عاشور الدرويش	عربية	2014	20
59	وقائع المؤتمر العربي الحادي عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2015	20
60	وقائع المؤتمر العربي الثاني عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2015	20
61	وقائع المؤتمر العربي الثالث عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2017	20
62	وقائع المؤتمر العربي الرابع عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2019	20
63	وقائع المؤتمر العربي الخامس عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص ذاكرة (Flash)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2022	20
64	التحليل بالتنشيط النتروني ومطيافية أشعة جاما	454	أ.د إبراهيم أبوقصة	عربية	2022	30

للحصول على المطبوعات المذكورة يرجى مخاطبة الهيئة العربية للطاقة الذرية على العنوان أدناه وإرفاق شيك بإسم الهيئة بمبلغ المطبوعة يضاف إليه قيمة البريد الجوي عن كل نسخة حسب الوزن. عنوان المراسلة : الهيئة العربية للطاقة الذرية نهج المؤازرة حي الخضراء . تونس . الجمهورية التونسية . هاتف : 71.808.400 . فاكس : 71.808.450 . البريد الإلكتروني: aaea_org@yahoo.com و aaea@aaea.org.tn

أو إجراء تحويل بالمبلغ إلى حساب الهيئة العربية للطاقة الذرية لدى الشركة التونسية للبنك – (STB) الفرع المركزي، نهج الهادي نويرة – تونس، مع إخطار الهيئة بالفاكس بصورة من مستندات التحويل.

رقم الحساب: 840-3-4173-90-404 10 100 // **IBAN:** TN 59 1040 4100 9041 7338 4007

BIC: STBKTNTTXXX

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