

الهيئة العربية للطاقة الذرية



الذرة والتنمية

نشرة علمية إعلامية فصلية

المجلد السادس والثلاثون - العدد الثاني 2024

التقنيات النووية هي الأفضل في تقدير المحتوى
المائي للتربة الحقلية وتحسين كفاءة الري

الأنظمة البيئية في مهب عصر النفايات
البلاستيكية

تطور التقنيات النووية المستعملة في
تشجيع الأغذية

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 كتابها 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 - تونس

المجلد السادس والثلاثون - العدد الثاني 2024

لجنة التحرير

رئيس التحرير : أ. د. سالم حامدي

المراجعون :

أ. د. خالد زهران

جدول المحتويات

| الصفحة | الموضوع |
|--------|--|
| 3 | ☆ التقنيات النووية هي الأفضل في تقدير المحتوى المائي للتربة الحقلية وتحسين كفاءة الري- م. جلال العطار..... |
| 15 | ☆ الأنظمة البيئية في مهب عصر النفايات البلاستيكية - د. إبراهيم إسماعيل..... |
| 28 | ☆ تطور التقنيات النووية المستعملة في تشجيع الأغذية - د. محمد منصور |
| 41 | ☆ أخبار عربية وعالمية |
| 46 | ☆ أخبار الهيئة |
| 60 | ☆ قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية..... |

التقنيات النووية هي الأفضل في تقدير المحتوى المائي للتربة الحقلية وتحسين كفاءة الري

Abstract

Water is an essential need for life, its availability is often the most critical factor in agricultural crop production, and it is a scarce resource in many urban and rural environments in the Arab region. Within its scarcity, the efficient use of agricultural irrigation water has become a necessity. The problem of water scarcity has led to the necessity of finding new solutions to improve the management of water resources. The neutron moisture meter, which relies in its work on nuclear technology, and on the phenomenon of neutron scattering when they collide with hydrogen atoms in the water molecule, is considered one of the most important, accurate, and reliable field moisture measuring devices for measuring soil moisture in the surface and deeper layers of the soil. Despite the development of several models of soil moisture measuring devices that depend on the electromagnetic soil properties to estimate the water content, neutron moisture meter still maintains its importance and superiority in this field.

مقدمة

الماء شرطٌ أساسيٌّ للحياة على هذا الكوكب. وغالباً ما يكون توافره هو العامل الأكثر تأثيراً في إنتاج المحاصيل الزراعية وتربية الثروة الحيوانية، وهو مورد نادر في

العديد من البيئات الحضرية والريفية في الوطن العربي. يتضاعف الطلب على المياه العذبة كل 21 عاماً وفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة العالمية، كما تتعرض مصادر المياه العذبة المحدودة للتهديد من عوامل التلوث الصناعية والزراعية والمنزلية، وقد سبب تنامي الطلب بصورة متسارعة على المياه نتيجة التزايد المتسارع في أعداد السكان وإزدياد المنافسة بين القطاعات المختلفة عليها إلى ظهور أزمات مائية تتفاقم مع مرور الزمن، وأصبحت من الخطورة لدرجة أنها تهدد السلم والأمان العالمي بسبب حدوث نزاعات بين الدول على حصصها من مياه الأنهار المارة ضمنها. وفي ظل هذه الأزمة المائية أضحت الإستعمال الكفوء والراشد لماء الري الزراعي ضرورة حتمية، وأصبحت الإدارة الفعالة لمياه الري، خاصةً في المناطق الجافة وشبه الجافة من الوطن العربي ذات المصادر المائية المحدودة، هي العنصر الأساسي للنجاح في إنتاج المحاصيل الحقلية. أدت مشكلة ندرة المياه والجفاف إلى ضرورة إيجاد حلولٍ جديدةٍ لتحسين إدارة الموارد المائية، مبنيةً على فهم دقيقٍ لديناميكية حركة المياه في التربة وانتشارها زمنياً ومكانياً. وأصبح من الضروري التعامل مع هذه الديناميكيات من خلال المراقبة المنتظمة لتغير رطوبة التربة لتحسين كفاءة إستعمال مياه الري، مما يؤدي إلى تحسين الإنتاجية الزراعية والحفاظ على المياه لفترات الجفاف، وتحسين كفاءة مدخلات الإنتاج الأخرى مثل إضافة الأسمدة والطاقة المستهلكة في ضخ المياه.

يُعتبر جهاز قياس الرطوبة النيوتروني، الذي يعتمد في عمله على التقنية النووية، وعلى ظاهرة تشتت النيوترونات عند إصطدامها بذرات الهيدروجين الموجودة في جزيء الماء، من أهم وأكثر أجهزة قياس الرطوبة الحقلية دقةً وموثوقيةً لقياس رطوبة التربة للطبقة السطحية والطبقات الأعمق من التربة الحقلية، ومازال هذا الجهاز محافظاً على أهميته وتفوقه في هذا المجال رغم ظهور عدة نماذج من أجهزة قياس رطوبة التربة التي تعتمد على خواص التربة الكهرومغناطيسية لتقدير المحتوى

المائي. لكن يبقى إستعماله بشكل تطبيقي محدوداً في المنطقة العربية لعدة إعتبارات منها إحتواءه على مصدر مشع وما يترتب على ذلك من ترتيبات وتدابير خاصة بالوقاية من الأشعة، وكذلك التكلفة المادية.

أهمية تقدير المحتوى المائي للتربة الزراعية

يُعتبر التقدير الدقيق للمحتوى المائي للتربة الزراعية الركيزة الأساسية للإدارة المثلى لمياه الري. فالري هو المُدخل الأساسي من مُدخلات العملية الزراعية. وغالباً ما تكون الإنتاجية الزراعية مرتبطةً بتوفر الماء في التربة أكثر من إرتباطها بأي مُدخل آخر، فالماء هو صلة الوصل بين التربة والنبات. تؤدي الجدولة العلمية لعملية ري المحاصيل الزراعية المبنية على القياسات الدقيقة للمحتوى المائي للتربة إلى وفر كبير في مياه الري، ذلك نتيجة إضافة كميات محسوبة من المياه في الموعد والمكان المناسب من خلال طرق الري الحديثة، وهذا أمر بالغ الأهمية خاصةً في المناطق الجافة وشبه الجافة من الوطن العربي التي تعاني من شح المياه.

التقنيات النووية ودورها الرائد في تقدير رطوبة التربة الحقلية

يستعمل جهاز مسبار العمق للتشتت النيوتروني، وهو تقنية قائمة على التكنولوجيا النووية، لقياس رطوبة التربة الحقلية. لقد إنتشرت طريقة التبعثر (التشتت) النيوتروني في الدراسات الحقلية لسرعتها ودقتها، وحجم التربة الكبير نسبياً الذي يسبره الجهاز. حيث يمكن إعتبار مقياس الرطوبة النيوتروني، منذ إدخاله قبل حوالي نصف قرن، طريقة روتينية في دراسات مياه التربة. كما تم إدخال الكثير من التعديلات والتحسينات عليه التي أدت إلى تحسين الأداء بشكل كبير، خاصةً المكونات

الإلكترونية، فأصبح أخف من ناحية الوزن والحجم وقابل للحمل والتنقل. كما ظهرت نماذج قابلة للبرمجة مع إمكانية تخزين البيانات الحقلية مثل رقم الحقل والحفرة وعمق القراءة.

مبدأ عمل جهاز قياس التشتت النيوتروني

يعتمد عمل الجهاز على وجود مصدر للنيوترونات يتكون من مصدر جسيمات ألفا (مثل الأمريسيوم والراديوم) ومسحوق ناعم من البريليوم. فعندما تصدم جسيمات ألفا نوى البريليوم ينتج عن هذا التفاعل النووي نيوترونات لها طاقات بالمتوسط حوالي 4.5 ميغا إلكترون فولت (نيوترونات سريعة)، تتفاعل النيوترونات السريعة مع الجسيمات والماء المحيط بالمسبار. ونظراً لعدم وجود شحنة للنيوترونات فإن المجالات الكهربائية المرتبطة بجزيئات التربة المشحونة لا تؤثر على حركتها. وتسلك النيوترونات الناتجة ثلاثة مناهي وهي إمتصاص النوى للنيوترون، تشتت النيوترونات من خلال الإصطدام مع نوى الذرات الأخرى، وتفكك النيوترونات. العملية الأساسية التي يستند إليها مبدأ عمل المسبار النيوتروني هي تشتت النيوترونات عن طريق الاصطدامات المرنة وغير المرنة، حيث أنه من خلال الإصطدام تفقد النيوترونات السريعة (عالية الطاقة $< 2 \text{ MeV}$) طاقتها وتصبح نيوترونات بطيئة أو حرارية (منخفضة الطاقة $> 0.025 \text{ eV}$). فكلما كانت كتلة النواة صغيرة وقريبة من كتلة النيوترون كلما كان التصادم مرناً وفقد النيوترون طاقة أكبر، وإحتاج إلى عدد أقل من الإصطدامات ليتحول من نيوترون سريع إلى نيوترون بطيء أو حراري. وبما أن ذرة الهيدروجين تقلل من طاقة النيوترونات بكفاءة فإن الهيدروجين هو وسيط جيد لتحويل النيوترونات السريعة إلى حرارية بطيئة، وهو ما يطلق عليه إعتدال النيوترونات. لذلك يعد الماء وسطاً جيداً لإعتدال النيوترونات بسبب محتواه من الهيدروجين. وبالتالي، كلما كانت التربة أكثر رطوبة زاد عدد النيوترونات البطيئة المتكونة في التربة نسبة إلى السريعة منها. وبإستثناء المواد العضوية التي قد تتغير تدريجياً مع مرور الوقت،

تظل مواد التربة المحتوية على الهيدروجين ثابتة ويتم أخذها في الإعتبار أثناء عملية معايرة الجهاز.

يوجد بالقرب من المصدر المشع في جهاز قياس التشتت النيوتروني كاشف يحسب فقط النيوترونات البطيئة ولا يحسب السريعة. العديد من كواشف النيوترونات البطيئة متاحة للإستخدام، على سبيل المثال $^{10}\text{BF}_3$ و ^3He وكاشفات الوميض، ولكل منها مميزات وعيوبه. يتم أولاً تضخيم النبضات في الكاشف داخل المسبار، ثم يتم إرسال هذه النبضات المضخمة من الكاشف إلى نظام العد الإلكتروني من خلال الكابل الذي يصل بين جزئي الجهاز.

مميزات إستخدام جهاز قياس التشتت النيوتروني

مقياس الرطوبة النيوتروني هو أداة غير مباشرة لتحديد محتوى رطوبة التربة الحقلية. تتمثل ميزة هذه الطريقة في تحديد محتوى رطوبة التربة على الفور ولأعماق عديدة وعميقة، أضف إلى هذا حجم التربة الكبير نسبياً الذي يسره الجهاز وبدقة عالية نظراً لنصف القطر الكبير نسبياً الذي تسيره النيوترونات والذي يبلغ 15 سم تقريباً، ويدعى كرة التأثير (Sphere of influence)، والتخريب البسيط لقطاع التربة ولمرة واحدة فقط حين إدخال الأنبوب الذي يمر من خلاله المسبار للوصول إلى عمق التربة المطلوبة؛ وبعد ذلك يمكن إجراء القياسات بشكل متكرر في أي عمق أو وقت، في غضون دقائق.

يمكن إستخدام مقياس الرطوبة النيوتروني لتحديد العديد من خصائص التربة الهيدروليكية التي منها المحتوى المائي للتربة، معدل إستنفاد رطوبة التربة مع الزمن، توزع رطوبة التربة ضمن قطاع التربة، جدولة الري، الموصلية الهيدروليكية تحت الظروف المشبعة وغير المشبعة، السعة الحقلية، عمق الجذور النشطة، التبخر، إتجاه

حركة المياه في التربة وجريان الماء، منحني الاحتفاظ برطوبة التربة وعلاقته بقوى الشد الذي يمثل العلاقة بين قيم رطوبة التربة وقوى شد التربة.

مقارنة بين جهاز قياس التشتت النيتروني وتقنيات قياس الرطوبة الأخرى

زاد الإهتمام في السنوات الأخيرة بالتقنيات غير النووية التي تعتمد على قياس خاصية ثابت العزل الكهربائي للتربة عند قياسه على ترددات عالية، كونه مرتبط بالمحتوى المائي للتربة ارتباطاً وثيقاً. التقنيتان الأساسيتان، غير النوويتان، اللتان تستفيدان من هذه الخاصية هما:

- قياس سعة الترددات الكهرومغناطيسية لتحديد ثابت العزل الكهربائي للتربة، حيث تم إحراز تقدم في هذا المنحى، مع القدرة على إجراء قياس لكامل مقطع التربة.

- قياس زمن إنتشار النبضات الكهرومغناطيسية من خلال قياس زمن الإنتقال على طول خطوط إنتشار الموجة الذي يمكن تقدير السرعة وبالتالي ثابت العزل الكهربائي للتربة، وبالتالي من تقدير المحتوى المائي للتربة.

لقد زاد إستعمال الأجهزة التي تعتمد على الخصائص الكهرومغناطيسية للتربة في قياس رطوبة التربة بشكل ملحوظ في الآونة الأخيرة، وذلك بسبب أمان هذه الأجهزة وسهولة إستعمالها ورخص ثمنها نسبياً، وإمكانية قيامها بعملها عن بعد دون وجود شخص لأخذ القراءات. ولكن إلى الآن مازال هناك شكوك حول ضبط ودقة نتائج هذه التقنيات، وذلك بسبب صغر حجم التربة الذي تسبره، والفراغات الهوائية التي يمكن أن تتشكل حول الأنبوب عند زراعته بشكل غير دقيق والتي تؤثر على قيم القراءات بدرجة كبيرة. كما أن الطرق الكهرومغناطيسية حساسة لقوام التربة والكثافة الظاهرية والناقلية الكهربائية، حيث بينت الدراسات أن أجهزة قياس رطوبة التربة المعتمدة على مبدأ قياس الوسعية الكهربائية كانت عالية الحساسية لتغير الناقلية

الكهربائية نتيجة ملوحة التربة وملوحة مياه الري كما أن استخدام هذه الأجهزة في التربة. المتملحة يمكن أن ينتج عنه فقد في البيانات الحقلية بسبب عدم إمكانية تحويل الترددات في تلك التربة عند الحالة الرطبة إلى قيم مقبولة للمحتوى المائي للتربة. ورغم أن بعض الباحثين ومصنعي أجهزة قياس الرطوبة التي تعمل على المبدأ الكهرومغناطيسي يدعون أن أجهزة القياس التي تعمل حساساتها على تردد أكبر من 100 MHz تكون حساسيتها منخفضة بالنسبة لملوحة التربة، ويفترض فيها أن تتغلب على المؤثرات الإستقطابية في التربة، ما يزال من الضروري أخذ العوامل السابقة بعين الاعتبار عند استخدام هذه الأجهزة. ومع ذلك تبقى هناك شكوك حول دقتها في التربة المختلفة، كما يوجد صعوبات في التعامل مع المساحات الكبيرة، حيث يمكن أن يؤدي عدم تجانس التربة إلى تفسير خاطئ كبير للحالة الرطوبة للتربة الزراعية.

كما تستعمل تقنيات الإستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية لرصد رطوبة التربة على نطاق واسع. وتغطي مناطق واسعة جداً، هذه التقنيات هي أكثر ملائمة للتطبيقات الهيدرولوجية، ولكنها غير ملائمة تماماً للعديد من التطبيقات الزراعية كون الإشارة حساسة فقط للسنتيمتر الأول من سطح التربة، والإستبانة الزمنية طويلة، والقدرة على إختراق الغطاء النباتي محدودة، وعدم القدرة على قياس جليد التربة، والحساسية لخشونة السطح.

لا تزال معظم الدراسات تشير إلى تفوق جهاز قياس التشتت النيوتروني في دقة وصحة نتائجه على الأجهزة التي تعتمد على الخواص الكهرومغناطيسية للتربة، ذلك بسبب نصف قطر التأثير الكبير الذي يسببه الجهاز وهو حوالي 15 سم تقريباً مقارنة بنصف القطر الصغير الذي لا يتجاوز سنتيمترات قليلة في تلك الأجهزة.

ولكن من الأمور التي مازالت تعيق إنتشار جهاز التشتت النيوتروني ضرورة الحصول على التراخيص وتدريب المستخدمين، وأنظمة وإجراءات السلامة المتعلقة

بالمصدر المشع، وتكلفة التخلص من الجهاز بعد انتهاء عمره الافتراضي، وعدم القدرة على أخذ القراءات عن بعد.

أجهزة قياس رطوبة التربة ذات النطاق الواسع وتقنية إستشعار النيوترونات بالأشعة الكونية (CRNS)

يتحتم علينا عند العمل مع مساحات كبيرة وضع عدة مسابر موضعية لأخذ القياسات، ولكن هذا قد يؤدي إلى مشاكل فنية عديدة كضرورة تحديد المواقع الملائمة إحصائياً، وتأمين إمدادات الطاقة الكهربائية، وتحميل ونقل البيانات، والتكاليف المرتفعة بسبب الحاجة لعدة أجهزة، وصعوبة الوصول للمواقع البعيدة أو الوعرة. كما أن أجهزة الكشف المطمورة في التربة تتطلب صيانة مستمرة ومكلفة، إضافةً إلى أنّ وضع الأجهزة أو الأنابيب في الحقول الزراعية يقيد عمليّة الحرّاة وغيرها من عمليّات إدارة الأراضي والعمليات الزراعية. لهذه الأسباب تعتبر الطرق الموضعية غير مناسبة لسبر المواقع غير المتجانسة، أو التي يتعذر الوصول إليها بسهولة مثل سفوح الجبال والحقول المغطاة بالمزروعات الكثيفة، وهي باهظة التكلفة عند اعتمادها كمرصد مراقبة طويلة الأجل. لذلك كله يتم العمل حديثاً على تطوير طرق تقوم بسبر مساحات واسعة من الحقول ودراسة حالتها الهيدرولوجية، وهي طرق مختلفة تماماً عما هو معتمد سابقاً من الطرق الموضعية، فالأساليب الموضعية تستقي المعلومات من منطقة لا تتجاوز بضعة سنتيمترات فقط حول المسبر، الأمر الذي يجعل عمليات المسح على نطاق واسع تتطلب وقتاً طويلاً وجهداً مكثفاً. تستعمل تقنية إستشعار نيوترونات الأشعة الكونية (Cosmic Ray Neutron Sensor, CRNS) لسد الفجوة بين مقاربات النطاق النقطي والإستشعار عن بعد، كون هذا الجهاز يوفر نتائج فورية

لمنطقة مساحتها 20 هكتاراً دون العبث بالتربة. تعتمد هذه التقنية الجيوفيزيائية على النيوترونات الطبيعية الملتقطة على سطح الأرض، والتي تتولد في الغالب عن طريق الأشعة الكونية وفقاً لعمليات مختلفة. تتفاعل البروتونات عالية الطاقة المكونة للأشعة الكونية التي تنتجها المجرات الفضائية مع النوى الذرية في الغلاف الجوي العلوي، وتنتج تدفقات ثانوية عالية الطاقة من الميونات (Muons) والنيوترونات السريعة. تصل النيوترونات الثانوية السريعة إلى مستوى الأرض وتتفاعل مع ذرات التربة، كما يسبب تفاعل الميونات الثانوية عالية الطاقة مع ذرات التربة إنتاج نيوترونات ضمن آلية أخرى تسمى تأثير التشظي. تنتقل النيوترونات السريعة، المُنتجة في الهواء والتربة، في جميع الاتجاهات داخل سلسلة متصلة من الهواء - التربة - الغطاء النباتي.

بالتالي يحدث إيزان لتركيز النيوترونات. يتغير هذا الإيزان نتيجة للتغيرات في وجود الماء فوق وتحت سطح الأرض، ويصبح الهيدروجين في جزيئات الماء العامل المهيمن لإبطاء وإمتصاص النيوترونات (المعروف أيضاً بإسم إعتدال النيوترونات)، فعلى سبيل المثال تكون التربة الأكثر جفافاً ذات القدرة الأقل على إبطاء النيوترونات، وتحوي عدداً أكبر من النيوترونات السريعة مقارنةً بالتربة الأكثر رطوبة. أما في التربة الرطبة يكون إعتدال النيوترونات أسهل، وبالتالي تبطئ وتُمتص جزئياً، والتأثير النهائي هو زيادة عدد النيوترونات البطيئة نسبة للإلكترونات السريعة. وبالتالي تتناسب كثافة النيوترونات السريعة الناتجة فوق سطح الأرض عكسياً مع محتوى الماء في التربة.

من المهم الإشارة إلى أن كثافة النيوترونات المقاسة في البيئة لا يعتمد فقط على الماء في التربة ولكن أيضاً على تدفق نيوترونات الأشعة الكونية الواردة. يتغير هذا المكون مع تغير الظروف الجوية وأيضاً مع إختلاف التدفق الوارد للأشعة

الكونية. لهذا السبب تم تجهيز CRNS عادةً بأجهزة استشعار لقياس ضغط الهواء ودرجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية. تجدر الإشارة إلى أن تصحيح التدفق الوارد لا يتم قياسه بشكل مباشر في الموقع، ولكن يتم الحصول عليه من قواعد البيانات الخاصة بمحطات مراقبة عالمية حول المنطقة.

تُعد CRNS تقنيةً عمليةً وتقدم العديد من المزايا، فهي لا تتطلب التعامل مع مقطع التربة، ولا تعطل العمليات الزراعية الحقلية، وتسمح بتحديد كمية رطوبة التربة على مساحات كبيرة باستخدام مسبار واحد فقط. تتمثل المزايا الرئيسية لـ CRNS في مسحها الأفقي الكبير (حتى عشرات الهكتارات) وعمق الإختراق لعشرات السنتيمترات، وهو ما يكفي للوصول إلى عمق الجذور النموذجي. قام العلماء منذ عام 2013 بإختبار ومعايرة جهاز استشعار نيوترونات الأشعة الكونية، بما في ذلك إختبار نسخة متنقلة تأتي على شكل حقيبة ظهر، وأظهرت الدراسات التي أجريت على محاصيل مثل الذرة أن جدولة الري باستخدام جهاز استشعار نيوترونات الأشعة الكونية يمكن أن يوفر ما يصل إلى 100 ملم من مياه الري في كل موسم، أي ما يعادل مليون لتر من الماء للهكتار الواحد. ويوجد حالياً بعض التطبيقات المفيدة للمسبار النيوتروني للأشعة الكونية، حيث يتيح لنا عند إستعماله كأداة متنقلة إنشاء خرائط مكانية لرطوبة التربة. تظهر هذه الخرائط المترافقة مع تحديد إرتفاع الطبقة المقاسة إرتباطاً معنوياً من الناحية الإحصائية مع الخصائص الهيدروليكية للتربة المقاسة في المختبر. يمكن من خلال هذه الخرائط إستنتاج الخصائص الهيدروليكية للتربة، كما يمكن إستخدام هذه الخرائط، التي تركز بدورها على نقطة الذبول والسعة الحقلية، تحديد التوقيت الأمثل للري ومعدلات الري الواجب إضافتها من الماء. فالكثير من المزارعين لديهم

الرغبة في تنظيم عمليات الري والتوزيع المكاني للمياه في الحقل، لكنهم يفتقرون إلى البيانات المطلوبة لدعم ممارسة هذه الإدارة.

خلاصة

يفرض الطلب المتزايد على موارد المياه الحاجة إلى أساليب مبتكرة مثل التقنيات النووية لتقليل استخدام المياه في المستقبل، مع الأخذ بعين الاعتبار عوامل التغير المناخي التي تحتم رفع كفاءة الري الزراعي كونه القطاع الأكثر استهلاكاً للمياه العذبة من بين القطاعات الإنتاجية الأخرى. على الرغم من أن طريقة تشتت النيوترونات تُستخدم بشكل روتيني في العديد من البلدان المتقدمة، إلا أن استخدامها لا يزال محدوداً في البلدان العربية. يؤخذ على هذه الأجهزة ويعيق إنتشارها عدة عوامل أهمها إحتوائها على مصادر مشعة، وما يترتب على ذلك من إجراءات الأمان الواجب إتخاذها عند تداولها ونقلها وتخزينها، الأمر الذي تضبطه التشريعات واللوائح الوطنية والدولية. كما تعتمد الجدوى الاقتصادية لإستعمال التقنيات النووية في تقدير رطوبة التربة على العديد من عوامل التكلفة.

تُعتبر التقنيات النووية المستعملة لتقدير محتوى التربة المائي أداة لإدارة المشاريع الزراعية، خاصة في الدول التي تعاني من الجفاف والتغير المناخي، وهي تساعد المزارعين في العديد من الدول التي تعاني من شح المياه على توفير إدارة جيدة لمياه الري، ذلك عن طريق تقدير كمية المياه التي يحتاجها المزارع وتحديد الوقت الأمثل لإضافتها، مما يؤدي في النهاية إلى تحسين غلة المحاصيل الزراعية وترشيد إستهلاك مياه الري.

الأنظمة البيئية في مهب عصر النفايات البلاستيكية

Abstract

Today, the world is going through the “Plastic Age”. Nowadays, it is difficult to find a commonly used convenient item that is non-plastic. Plastic production and consumption, thus, increased exponentially, and plastic has emerged as one of the major concerns for waste management. Much research has been conducted since the discovery of the “Pacific Garbage Patch,” and the scope has expanded from marine to soil, groundwater, air, and food chain. Multiple kinds of literature indicated that micro and nanoplastics (MNPs) are not stationary at the point of contamination but travel across the nation (transboundary) and medium (transmedium). Thus, only the waste reduction policy (i.e. production and consumption reduction) would be effective through a single national or local effort, while pollution management require more of a collective, if not global approach. The strong adsorption capacity of the (MNPs) surface plays an important role in its migration throughout the environment. Synergistic effects between these compounds and persistent organic pollutants increase the toxicity of pollutants to organisms. Therefore, studying the impact of the plastic materials on the ecological environment would provide insights into controlling their pollution. This paper discusses the source, distribution, and transmission of micro and nanoplastics and summarizes the current situation of their impact on the ecological environment.

مقدمة

تغلغلت المواد البلاستيكية في كل منحي من نواحي الحياة الحديثة منذ اللحظة التي إقتحمت فيها السوق الإستهلاكية كبديل عن المواد المستخرجة من الحيوانات مثل عاج الفيلة أو قواقع السلاحف. يعود هذا الإجتياح لأكثر من 150 عاماً (1862).

كما أنها متهمة بخلق وتسويق ثقافة الإستخدام لمرة واحدة، نظراً لإمكانية إنتاجها بكميات كبيرة ورخص أسعارها مقارنة بالمواد التقليدية (مثل الورق والزجاج والمعادن)، حيث أصبح قضاء يوم واحد دون إستخدام نوع واحد على الأقل من البلاستيك ضرباً من المستحيل. تشير التقديرات مؤخراً إلى إزدهار صناعة البلاستيك بشكل فلكي من بضعة أطنان في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي إلى ما يقارب 400 مليون طن في عام 2018. ومنذ ذلك الحين، إنتشرت بشكل واسع عبر النظم البيئية المختلفة مع التأكيد على عدم قابليتها للتحلل نسبياً؛

وهكذا، فقد أصبحت مصدراً لقلق متزايد بين علماء الأحياء والبيئة ودعاة الحفاظ على البيئة، فضلاً عن عامة الناس. نظراً لتكلفتها المنخفضة، ومتانتها، وعدم قابليتها للكسر، ومقاومتها للحرارة، وخفة وزنها. إزداد الإهتمام بالنفايات البلاستيكية مع إكتشاف "بقعة نفايات المحيط الهادئ" من قبل تشارلز مور في العام 1997 أثناء إبحاره عائداً من هاواي إلى كاليفورنيا. كشفت هذه البقعة من النفايات (على العكس من النفايات البلاستيكية التي تطفو على سطح المحيط أو تترسب في أعماق البحار)، عن "منطقة رغوية كالغيوم وسط المحيط الهادئ" مكونة من قطع صغيرة من البلاستيك، تسمى الآن بالبلاستيك الدقيق (Microplastics) والنانوي (Nanoplastics) والتي تشكل خطراً كبيراً على البيئة يرمز للنوعين إختصاراً ب (MNPs).

حددت العديد من الدراسات الحدود العليا للمواد البلاستيكية الدقيقة عند 5 ملم، في حين عرف الحد الأعلى للمواد البلاستيكية النانوية عند 100 نانومتر. سلطت الأضواء العلمية على هذه الجزيئات البلاستيكية الدقيقة في السبعينيات من القرن الماضي بعد أن تم تحديدها كمكون رئيسي للنفايات في قاع المحيط، بل وإكتسبت المزيد من الإهتمام عندما تم تقديم مصطلح "اللداائن الدقيقة" الذي صاغه طومسون وآخرون في العام (2004).

توسع نطاق الدراسات التي تعمل على تقييم تأثيراتها وإنتشارها من البيئة البحرية إلى المياه العذبة والجوفية والتربة والهواء. كما تبنت العديد من الحكومات موقفاً سياسياً للحد من المواد البلاستيكية الدقيقة خلال أقل من عقد من الزمن، ذلك بفضل الوعي العام المتزايد والضغط الدولية. تحاول هذه الورقة مراجعة التقدم الحاصل في دراسة وتحليل التلوث البلاستيكي الدقيق في مختلف المجالات البيئية (البحرية، والتربة، والمياه الجوفية، والهواء، والسلسلة الغذائية) بهدف المساعدة في صياغة السياسات المحتملة لدعم تقدم الأبحاث لمواجهة هذا التحدي البيئي الناشئ حديثاً الذي سببه "العصر البلاستيكي".

التلوث البلاستيكي للأنظمة البيئية المختلفة

1- تلوث البيئة البحرية: تصل المواد البلاستيكية الدقيقة إلى البيئة البحرية عن طريق التحلل الطبيعي للمواد البلاستيكية الكبيرة أو عن طريق تدفق المواد البلاستيكية الدقيقة إلى مياه البحر عبر الأنهار والدورات المائية الأخرى الموجودة على سطح اليابسة. تعتبر الصناعة السمكية المصدر الرئيسي للمواد البلاستيكية الكبيرة في البيئة البحرية: حيث تساهم شباك صيد الأسماك بحوالي 640 ألف طن (10% من إجمالي النفايات البحرية)، ينتج عن تحللها الحيوي، أو الضوئي، أو المائي، بلاستيك دقيق بحجم أقل من 5 مم. الأنواع الأكثر شيوعاً من المواد البلاستيكية الموجودة في البيئات البحرية هي البولي إيثيلين (PE)، والبولي بروبيلين (PP)، والبوليسترين (PS)، والبولي فينيل كلورايد (PVC). تعتبر نفايات الشاطئ أكبر مساهم في التلوث البلاستيكي البحري الدقيق الناتج عن تحلل البلاستيك، وذلك لأن انخفاض درجة حرارة المياه المالحة يؤدي إلى إبطاء عملية التحلل، مما يجعل معدل تكوين المواد البلاستيكية الدقيقة أقل في أعماق المحيطات البعيدة. لم تتحضر الجهود البحثية في المجالات ذات

الصلة إلا بعد نشر الباحث طومسون مقالته في مجلة Science عام 2004 بعنوان: ضائع في البحر، أين هو البلاستيك؟ التي قدمت لأول مرة مصطلح "البلاستيك الدقيق"، حيث بينت التجارب أن حيوانات المحار المعرضة للمياه الملوثة بالبلاستيك الدقيق تنتج بيوضاً وحيوانات منوية غير صحية، مما أدى إلى انخفاض عدد اليرقات بنسبة 41% مقارنة بالحيوانات الموجودة في المياه النظيفة. وقد لوحظ تجريبياً أن سمك الكريل (*Euphasea Pacifica*) يتلع الطحالب وحببيات البولي إيثيلين المطحونة؛ وبما أن الكريل هو الغذاء المفضل للحيوانات المفترسة وطيور النورس القريبة، يزيد هذا من احتمالية غزو المواد البلاستيكية الدقيقة للسلسلة الغذائية. أدت هذه الأبحاث إلى طرح مفهوم "اللداين النانوية الثانوية" الناتجة عن التحلل الحيوي للبلاستيك الدقيق من خلال الهضم والتراكم في السلسلة الغذائية. ومع ذلك، لا توجد حالياً أبحاث كافية حول تأثير المواد البلاستيكية الدقيقة في البيئات البحرية، ولا يزال فهم العواقب المحتملة على البيئة البحرية وصحة الإنسان منخفضاً للغاية لدرجة لا يمكن ترجمتها إلى سياسة فعالة.

2- تلوث بيئة التربة: إهتم الباحثون بالآثار الخطيرة للجسيمات البلاستيكية الدقيقة وسرعة إنتشارها في التربة والنظم البيئية على اليابسة، حيث أشارت الدراسات الحديثة إلى أن تركيز المواد البلاستيكية الدقيقة على اليابسة أعلى بنسبة 4 إلى 23 مرة منه في المحيطات. يعود ذلك إلى تعدد مصادر التلوث فيها مثل: الألياف الدقيقة الناتجة عن الملابس، الحبيبات البلاستيكية الصغيرة الناتجة عن منتجات العناية الشخصية، المواد العضوية الصلبة، مواقع الإستصلاح في الريف والمناطق الصناعية، نفايات الطرق، التخلص غير القانوني من النفايات، تآكل إطارات المركبات، والجزيئات المنتشرة في الجو والأسمدة. أدى إستخدام البولي إيثيلين في العمليات الزراعية عام 1938 إلى إحداث ثورة في إنتاجية المحاصيل التجارية، ولكنه

بالمقابل أدى إلى تلوث جدي للتربة بالجسيمات البلاستيكية (حوالي 10% من إجمالي التربة الزراعية). وتفاقم الوضع بعد إدخال الحماة الناتجة عن مياه الصرف الصحي كأسمدة زراعية في عملية إدارة المزروعات. يؤدي تلوث التربة باللدائن الدقيقة إلى تغيير خصائصها الفيزيائية، التقليل من خصوبتها، وتدمير المجتمعات الميكروبية المقيمة فيها، وضعف جودة التربة وعرقلة الدورة الغذائية للعناصر الضرورية لنمو المحاصيل، والإضرار بتلقيح وإخصاب النباتات والزيادة في تعرضها للتسمم.

لقد ثبت أن تلوث التربة بالبقايا البلاستيكية الدقيقة والكبيرة له تأثير سلبي على نمو القمح (*Tricum aestivum*). كما يمكن لهذه المواد أن تسد مسام البذور وتعرقل إمتصاصها للرطوبة وبالتالي تأخير إنباتها. كما تم تأكيد إمتصاص المواد البلاستيكية النانوية (20 و 40 نانومتر) في المنطقة بين الخلية عند نبات التبغ والخس. بالإضافة إلى ذلك، وجد أن المواد البلاستيكية الدقيقة التي تبتلعها ديدان الأرض تنتقل عبر السلسلة الغذائية، مما قد يشكل تهديداً محتملاً للمفترسات الأرضية وحتى البشر.

تعد المعلومات المتاحة حالياً حول التأثير البيئي للجسيمات البلاستيكية الدقيقة على التربة، أو حول كيفية إعاقة التربة الملوثة باللدائن الدقيقة للدورة الغذائية، تعتبر محدودة.

3- تلوث بيئة المياه الجوفية: بدأت الأبحاث المتعلقة بتلوث المياه الجوفية بالجسيمات البلاستيكية بشكل متأخر (عام 2017). يعود ذلك إلى الإعتقاد السائد أن المياه الجوفية غير قابلة للإختراق. تتدفق المواد البلاستيكية الدقيقة المختلفة إلى طبقة المياه الجوفية عبر مجاري الصرف الصحي، آبار ضخ المياه الجوفية، رشح وتسرب مياه البحر، النقل العمودي عن طريق كائنات التربة أو هطول الأمطار، والمياه السطحية التي تعد الممر الأساسي للمركبات البلاستيكية. على الرغم من أن الأبحاث

حول هذا الناقل المهم، أي المياه السطحية، بدأت قبل تلك المتعلقة بالمياه الجوفية بعشر سنوات (2007)، إلا أنها لا تزال في مراحلها الأولى.

أشارت نتائج التحاليل إلى زيادة في متوسط تركيز البلاستيك الدقيق في طبقات الرواسب العميقة مع انخفاض حجم الجسيمات. يهيم كل من البولي إيثيلين، والبولي بروبيلين على باقي البوليمرات البلاستيكية الدقيقة الموجودة في المياه السطحية والجوفية. تأخذ أغلبية هذه الأنواع البلاستيكية شكل ألياف في المياه السطحية، ويتحلل معظمها إلى أجزاء يقل حجمها عن 50 ميكرومتر في المياه الجوفية. يتناسب هذا الاختلاف الشكلي مع الإستنتاج القائل بأن المياه السطحية تساهم بشكل كبير في التلوث البلاستيكي الدقيق في المياه الجوفية وأن البيئة الجيولوجية المحيطة بالمياه الجوفية تعمل كفلتر طبيعي للملوثات الكبيرة. يشكل تلوث المياه الجوفية بالبلاستيك الدقيق تهديداً خطيراً على صحة الإنسان، وربما أسوأ من الغذاء الملوث بهذه المركبات نظراً لأن المياه الجوفية تستخدم بشكل رئيسي لأغراض الزراعة والشرب وتعتبر مورداً مائياً مهماً لأكثر من 97% من المياه العذبة المتاحة. علاوة على ذلك، هناك قلق متزايد بشأن آثار التلوث باللدائن الدقيقة على الكائنات الحية الأصغر التي تعيش في بيئة المياه الجوفية. ومع ذلك، يقتصر البحث عن تلوث المياه الجوفية.

4- تلوث بيئة الهواء: أقرت الجهود البحثية الأولية بالعلاقة السببية المحتملة بين تساقط الجسيمات البلاستيكية المحمولة جواً وتلوث المياه العذبة ومياه الصرف الصحي بالجسيمات البلاستيكية. تشير سلسلة أخرى من الدراسات في المناطق التي لا توجد بها أي أنشطة بشرية تقريباً (مثل جبال البيرينييه، وهو جبل محمي طبيعياً في فرنسا) إلى احتمالية انتقال الجسيمات البلاستيكية عن طريق الغلاف الجوي. على وجه التحديد، وُجد أن عوامل الأرصاد الجوية وعملية تكوين السحب (التيارات الجوية) هي الأكثر أهمية في تحديد مسافة وزمن إنتقال الجسيمات البلاستيكية في الغلاف

الجوي. كما لوحظ أن تركيز تساقط الجسيمات البلاستيكية في الغلاف الجوي يكون أعلى في الأيام الممطرة وفصول الشتاء مقارنة بالصيف والربيع.

تسمح كثافتها المنخفضة وحجمها الصغير جدًا بفترة طفو أو تعلق طويلة في الهواء، ويبدو أن هناك تبادلاً حرّاً يحدث بين البلاستيك الدقيق المحمول جواً والبيئات الأرضية والمائية. تلعب العواصف الترابية دوراً رئيسياً في نقل المواد البلاستيكية الدقيقة في الغلاف الجوي. يعتبر تآكل المواد الصناعية مثل الإطارات والألياف ومواد البناء المصدر الرئيسي للبلاستيك الدقيق المحمول جواً، يليها حرق النفايات، الأسمدة المصنوعة من الحمأة، المساحيق الكاشطة، والطباعة ثلاثية الأبعاد. وفقاً لذلك، فإن الأجزاء والرقائق والألياف المصنوعة من البولي إيثيلين، والبولي بروبيلين، والبوليسترين، هي الأشكال والأنواع الأكثر شيوعاً من البلاستيك الدقيق الموجود في الغلاف الجوي. لذلك، يعتبر تلوث الهواء بالجسيمات البلاستيكية عابراً للحدود، ويمكن نقله إلى أوساط وبيئات أخرى، ويشكل خطراً على الصحة.

5- تلوث بيئة الأغذية: بدأت الأبحاث المتعلقة بتلوث المواد الغذائية بالجسيمات البلاستيكية بعد التعرف على جسيمات متميزة عن حبوب اللقاح في العسل والسكر على أنها ألياف وأجزاء دقيقة، كما سمح إكتشاف جزيئات بلاستيكية صغيرة في البيرة المباعة محلياً في ألمانيا في العام 2014، بإجراء أبحاث ذات صلة بالموضوع جنباً إلى جنب مع النتائج التي تفيد بتعرض الكائنات البحرية للنفايات البلاستيكية البحرية لسنوات طوال تنتقل بعد إبتلاعها من قبل كائنات البلاكتون إلى الأسماك ثم الإنسان. أجريت تجارب بهدف فهم مدى إقتراب التلوث بالبلاستيك الدقيق من حياة الإنسان اليومية، إكتشف على أثرها وجود النفايات البلاستيكية الدقيقة في العديد من المواد الغذائية مثل نوات الصدفتين، الأسماك المختلفة، الملح، الأسماك المجففة، بلح البحر، مياه الصنبور، البيرة والحليب. من الأمثلة الأخرى على إختراق بقايا البلاستيك

للسلسلة الغذائية: إمتصاص القمح طبقة التغطية البلاستيكية المستخدمة في الزراعة، إنتقال البلاستيك الدقيق الموجود في المياه الجوفية إلى مياه الشرب، وجود البلاستيك الدقيق في العديد من المشروبات المعبأة في أواني بلاستيكية، إطلاق أكياس الشاي البلاستيكية جزيئات بلاستيكية صغيرة في الماء الساخن، إمتصاص اللحوم النيئة البلاستيك الدقيق من البوليسثيرين المضغوط المستخدم في التعبئة والتغليف، إطلاق البلاستيك الدقيق من مختلف الأدوات البلاستيكية مثل الصحون وأدوات المائدة والأكواب البلاستيكية في ظل ظروف مختلفة. كما أثار الباحثون مزيداً من المخاوف بشأن احتمال تحول المواد البلاستيكية الدقيقة إلى مادة سامة بمجرد ابتلاعها (ملتصقة بمواد كيميائية أخرى وملتحمة مع المعادن أو البكتيريا). لا تزال الآثار اللاحقة للبلاستيك الدقيق الموجود في هذه الظروف الصالحة للأكل، ودرجة إمتصاصها بمجرد نجاح وصولها إلى جسم الإنسان غير معروفة بدقة.

آلية تأثير المواد البلاستيكية الدقيقة على الكائنات الحية

1- الإجهاد التأكسدي: تؤثر المواد البلاستيكية الدقيقة على نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة في الجسم الحي، مما يؤدي إلى ضرر تأكسدي للجزيئات البيولوجية الكبيرة والتدخل في أنشطة الحياة الطبيعية. ينتج عن ذلك، تلف الخلايا وبنية الغشاء الخلوي، وإنخفاض نفاذية غشاء الخلية والتأثير على العملية الفيزيولوجية الطبيعية للخلايا (مثل، إنخفاض معدل نمو الخلايا وخصوبتها). تمنع المواد البلاستيكية الدقيقة نشاط الأنزيم الضروري للحفاظ على توازن الأكسدة والإختزال في الخلايا وهو إيزوسيترات داي هيدروجينيناز (IDH). مما يعرض الخلايا للإجهاد التأكسدي وإلحاق الأذى بعضلات الكائنات الحية. وقد لوحظ أن الجسيمات النانوية تمنع الطحالب

المعرضة لها من القيام بعملية التمثيل الضوئي وتبدأ بإنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) بدلاً من ذلك، مما يسبب زيادة في الإجهاد التأكسدي في هذه الخلايا.

2- الأذى العصبي: تمتلك الجسيمات البلاستيكية الدقيقة القدرة على تثبيط إنزيم الأسيتيل كولين إستيراز في العديد من الكائنات الحية المعرضة لها. مما يسبب إعاقة وظيفة الخلايا العصبية وبالتالي وظيفة الشبكة العصبية بالمجمل. يعمل الأنزيم المذكور على إذابة الأسيتيل كولين إلى الكولين وحمض الأسيتيك، وهما عنصران أساسيان في الوظيفة الطبيعية للجهاز العصبي. على سبيل المثال، لوحظ إنتفاخ في أنسجة المخ وانخفاض في نشاط سمك الشبوط الأسود بعد تناول يرقاتها لجسيمات بلاستيكية دقيقة من البوليسترين (0.2 ± 24.7 نانومتر)؛ بالإضافة إلى منع نشاط إنزيم الأسيتيل كولين إستيراز، وبالتالي منع الناقلات العصبية في الأسماك من القيام بدورها والتأثير على وظيفة العصب، بعد تعريض يرقات سمك القوبي (Common goby) إلى محلول مكون من 184 ميكروغرام/لتر من البولي إيثيلين (1-5 ميكرومتر).

3- اضطراب الغدد الصماء: يضاف في إنتاج ومعالجة المواد البلاستيكية مركبات كيميائية عضوية وغير عضوية لزيادة كفاءة المنتج البلاستيكي النهائي، مثل الفثالات، ومركب الإيتر ثنائي الفينيل متعدد البروم، وثنائي الفينول A كمواد ملدنة، ومؤخرات إشتعال، ومثبتات، ومبيدات فطرية. تسبب هذه المواد خلل في الغدد الصماء، مما ينتج عنه آثار كبيرة على النمو والتكاثر. حيث يمكن للفثالات وثنائي الفينول A أن يدمرا وظيفة الغدة الدرقية لدى البرمائيات ويؤثران على نمو اليرقات. كما تسبب الفثالات اضطراباً في الغدد الصماء عند الأسماك عن طريق التأثير على مسار نقل السيالات الذي يستهدف مستقبل الهرمون النووي وبالتالي تدمير نظام الغدد الصماء.

4- الأذى المناعي: يمكن للجسيمات البلاستيكية الدقيقة بعد تناولها أن تدخل إلى الجهاز المناعي من خلال تراكمها وانتقالها في الأنسجة والأعضاء وتتداخل فيما بعد مع الإستجابة المناعية. يمكن أن تتداخل المواد البلاستيكية الدقيقة مع آلية الدفاع الطبيعية للأسمك وأن تكون مصدرًا للإجهاد. ولذلك، يمكن أن يؤدي دخول الجسيمات الدقيقة إلى جسم الأسماك إلى انخفاض نشاط البلعمة للخلايا المناعية، وإنخفاض قدرة الخلية على البقاء. قد يسبب التعرض للبلاستيك الدقيق أيضًا التهاباً وتأثيراً على نشاط السيتوكينات المسببة للإلتهابات، مما يؤثر على إطلاق هذه السيتوكينات ويحدث تغيرات في جينات الإستجابة الإلتهابية للخلايا في المختبر.

التفاعل بين المواد البلاستيكية الدقيقة والملوثات العضوية

تمتاز المواد البلاستيكية الدقيقة بقدرة إدمصاص قوية. وجد الباحثون أن المصدر الرئيسي للمواد الكيميائية السامة في المحيط هو إدمصاص المواد المضافة للبلاستيك أو نواتج تحللها للملوثات العضوية. ولذلك، يمكن للجسيمات البلاستيكية أن تدمص الملوثات العضوية المثابرة وتنقلها إلى المحيطات في جميع أنحاء العالم، وتتشارك معها في السمية.

التحلل الحيوي للجزيئات البلاستيكية الدقيقة والنانوية

يعرف التحلل الحيوي على أنه تحلل المواد البوليمرية المعقدة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، بما في ذلك العتائق والبكتيريا والفطريات، إلى منتجات غير سامة. إقترحت العديد من الآليات العامة التي يركز عليها التحلل الحيوي منها: التلف

الحيوي، التجزئة الحيوية، الهضم، والتمعدن، حيث تعتمد جميعها على الأنشطة الأنزيمية وكسر الروابط المختلفة.

يبدأ التدهور الحيوي للمركبات البلاستيكية من خلال إتصاق الكائنات الحية الدقيقة على سطح البوليمر لتسهيل تكوين مستعمرات على السطح. تؤدي بعد ذلك التأثيرات الكيميائية والفيزيائية للكائنات الحية الدقيقة، بالإضافة إلى العوامل البيولوجية الأخرى والظروف البيئية الخارجية (المواد الكيميائية والضوء ودرجة الحرارة)، إلى تعديل خصائص هذه المركبات. تقوم الكائنات الحية من خلال إنزيماتها بإزالة بلمرة المواد البلاستيكية المتحللة وتوليد الجذور الحرة. ينتج عادة عن هذا التحلل الأنزيمي بوليمرات أقصر تسمى المونوميرات أو الأوليغوميرات، مثل جلايكول الإثيلين وحمض التريفثاليك، والتي يمكن أن تخضع للهضم عن طرق الخلايا. تعتمد الخطوة الأخيرة في عملية التحلل على عمل الإنزيمات بين الخلوية، والتي تقوم بتفكيك المواد المتحللة بشكل كامل إلى نواتج إستقلاب مثل الميثان، غاز الكربون، الماء والنيتروجين. حيث تعتمد ماهية المواد الناتجة في التحلل النهائي على مدى توفر الأوكسجين. كما أثبتت العديد من الدراسات قدرة بعض أنواع البكتيريا على تحليل المواد البلاستيكية منها *Bacillus* و *pseudomonas*، بالإضافة لبعض الأنواع الفطرية مثل الفطر البحري *Zalerion maritimum* والفطر *Aspergillus flavus* المعزول من أمعاء الحشرات. كما تستطيع يرقات بعض الحشرات تحليل البوليمرات القوية مثل البولي إيثيلين و / أو البوليستيرين. نذكر منها تلك التابعة إلى رتبة حرشفيات الأجنحة مثل فراشة الطحين الهندية *Plodia interpunctella* وفراشتي الشمع الكبرى *Galleria mellonella* والصغرى *Achroia grisella* ويرقات غمدية الأجنحة مثل ديدان الطحين *Tenebrio molitor* و *Zophobas atrium*. ومع ذلك، فإن الأهمية البيئية للتحلل

الحيوي للمواد البلاستيكية بشكل عام، لا تزال مسألة تخمين، حيث يعتقد أن معدل التحلل الحيوي منخفض جدًا لدرجة أنه ليس له أي آثار كبيرة على تجديد البيئة لنفسها.

خلاصة

إستمع العالم بعصر البلاستيك المريح ويواجه الآن عصر تغير المناخ وإدارة التلوث. يعود الفضل في تغيير وجهة النظر العالمية بأكملها حول التلوث البلاستيكي وإدراك العالم لوجود المواد البلاستيكية الدقيقة في حياتنا اليومية إلى إكتشاف "رقعة القمامة في المحيط الهادئ" عام 1997.

تعتبر المواد البلاستيكية الدقيقة والنانوية منتجات مصغرة من المواد البلاستيكية، تمتاز بقدرتها على التحرك لمسافات كبيرة حول الكوكب بسبب خصائصها المميزة، بما في ذلك الطفو والمتانة وخفة الوزن وتنوع أشكالها. وقد أدى التراكم المتزايد لهذه المركبات في هذه البيئات المختلفة على اليابسة وفي البيئات المائية، إلى ضمان وصولها إلى الميكروبات والكائنات الحية الأخرى في أسفل السلسلة الغذائية، وخاصة الكائنات الحية البحرية مثل العوالق النباتية، وفي النهاية تجد طريقها إلى أعلى السلسلة الغذائية. يعد التلوث البلاستيكي الدقيق أحد العناصر التي تتطلب جهودًا عالمية لتقليل الإنتاج الأولي، إيقاف الانتقال عبر الحدود، إصلاح الأضرار التي حدثت، والتغيير نحو أسلوب حياة مستدام. ويحتاج العالم إلى المزيد من المعلومات لتحويل هذه الإجراءات المشتركة الدولية إلى سياسات وأنظمة. والخطوة الأولى لتحقيق ذلك هي الاعتراف بخصائص التلوث باللدائن الدقيقة العابرة للحدود وللبيئات، والنص على ذلك في الإجراءات العالمية.

د. إبراهيم إسماعيل

هيئة الطاقة الذرية السورية

issmaeil@aec.org.sy

References

- (1) Amobonye, A., Bhagwat, P., Raveendran, S., Singh, S., Pillai, S. 2021. Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview. *Front. Microbiol.* 12:768297. 10.3389 /fmicb .2021 .768297 doi :
- (2) Chae Y and An YJ. Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: a review. *Environ Pollut* 2018; 240: 387–395.
- (3) Lee, M., Kim, H., Ryu, H.S., Moon, J., Khan, t N.A., Yu, C., Yu, J.H.2022. Review on invasion of microplastic in our ecosystem and implications. *Sci Prog.* 2022 Oct-Dec;105(4):368504221140766. doi: 10.1177/00368504221140766. PMID: 36426552; PMCID: PMC10306144.
- (4) Mao, X., Xu, Y., Cheng, Z., Yang, Y., Guan, Z., Jiang, L., Tang, K. 2022. The impact of microplastic pollution on ecological environment: a review. *Front Biosci (Landmark Ed).* Jan 26;27(2):46. doi: 10.31083/j. fb12702046. PMID: 35226989.
- (5) Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, et al. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 2004; 304: 838–838.

تطور التقنيات النووية المستعملة في تشعيع الأغذية

Abstract

Most of food and agricultural products treated with ionizing radiation are processed in facilities using gamma radiation generated from cobalt-60 as a source of radiation. In fact, gamma source radiation is a simple, robust and very well established technology. Cobalt-60 is expected to be more difficult to get in the future; however, it becomes necessary to ensure that alternative technologies are available. X ray and Electron beam (E-beam) machines with low energy (not more than 300 KeV) are alternative technologies, that use electricity to produce ionizing radiation. The effect of ionizing radiation produced from those two sources (X ray and E-beam) on food is similar to that produced by gamma radiation generated by cobalt-60. It has the advantages, that it is generated from electrical machines eliminating, therefore, consumers concern about using nuclear energy from isotopes for treating food commodities. One more advantage is related to the fact that those machines do not require heavy shielding and can be installed at the end of the production line in the food factory, eliminating the need for transportation of food to irradiation facilities that could be hundreds of miles away. However, the use of electrical machine sources with low energy, is still very limited. Should this technology prevail, it will revolutionize the idea of food irradiation.

مقدمة

تُعرّف منظمة الصحة العالمية تقنية تشعيع الأغذية على أنها تقنية لحفظ الغذاء وزيادة أمان الأغذية المشعة. تعود البدايات الأولى لهذه التقنية إلى إكتشاف الأشعة المؤينة ذاتها. فبمجرد إكتشاف هذه الأشعة في نهاية القرن التاسع عشر (1895)، بدأت التكهّنات حول إمكانية إستعمالها في مجالات عدة ومنها حفظ الأغذية. في عام 1921 سجّل سفارتز (B. Schwartz) في بريطانيا براءة إختراع حول إمكانية إستعمال الأشعة السينية في معالجة لحم الخنزير المصاب بالديدان الخيطية؛ وبعد ذلك بأقل من عقد من الزمن (1930) سجّل فوست (O. Wust) في فرنسا براءة إختراع حول إستعمال نفس الأشعة في تعقيم وحفظ الأغذية المغلفة. ولكن، وحتى منتصف القرن العشرين، بقي موضوع تشعيع الأغذية أكاديمياً إلى حد بعيد نظراً لإنشغال الباحثين بالجانب العسكري للتقانات النووية وعدم توفر أجهزة تشعيع مناسبة، في ذلك الوقت، يمكن إستعمالها لهذا الغرض.

جاءت الفقرة الأولى للبحث العلمي في مجال إستعمال التقانات النووية في حفظ الأغذية مع برنامج الرئيس الأمريكي أيزنهاور (Eisenhower) "الذرة من أجل السلام" (Atom for peace) الذي طرحه عام 1953، وشجع فيه المعاهد الأمريكية على تطوير برامجها البحثية في مجال إستعمالات الطاقة النووية لأغراض سلمية، ومن ضمنها حفظ الأغذية بالإشعاع، وذلك خارج الإستخدام العسكري للطاقة الذرية. ولحسن الحظ، فقد أدى تطور التقانات النووية للأغراض العسكرية في منتصف القرن العشرين إلى توفر مصادر للأشعة المؤينة يمكن إستعمالها تجارياً في مجال تشعيع وحفظ الأغذية.

تعرض هذه المقالة للتطور التاريخي للتقنيات النووية المستعملة في تشعيع الأغذية والأسس العلمية التي تعتمد عليها. تستعرض المقالة أيضاً أنواع الأشعة المؤينة، وخاصة المستعملة منها في تشعيع الأغذية، وخواصها ومصادرها، ومحطات التشعيع المستعملة لهذا الغرض ومزايا ومآخذ كل واحدة منها. تتطرق المقالة، إضافة إلى ذلك، للصعوبات التطبيقية التي تعاني منها تقنية تشعيع الأغذية، وخاصة المتعلقة منها بتقنيات التشعيع المستعملة حالياً، والبدائل المقترحة.

التقنيات النووية المستعملة في تشعيع الأغذية: لمحة تاريخية

إكتشفت الأشعة المؤينة، بأشكالها المختلفة، في نهاية القرن التاسع عشر (1895) من قبل العالمان رونتجين (Rontgen) وبيكرال (Becquerel) وأكتشفت تأثيرها القاتل على البكتريا بعد ذلك مباشرة، مما ولد أفكاراً مبدعة وأثار جدلاً واسعاً وتكهنات مثيرة حول إمكانية إستعمالها لأغراض مختلفة ومنها حفظ الأغذية.

عملياً لم تكن طاقة المصادر المشعة المتوفرة خلال النصف الأول من القرن العشرين كافية للإستعمال التجاري مما إضطر الباحثين للعمل على نطاق مخبري بالإعتماد على عينات صغيرة جداً ولأغراض مخبرية فقط. وقد مكنهم ذلك من ملاحظة التأثيرات البيولوجية للأشعة المؤينة على الكائنات الحية والتنبؤ بإمكانية الإستفادة من نتائجهم على نطاق واسع مستقبلاً. في عام (1906)، إقترح العالمان أبليباي وبانكس (Appleby and Banks) آلية لتشعيع الأغذية المحببة (الحبوب مثلاً) عن طريق تمريرها على سير ناقل وتشعيها بتمرير غاز الرادون فوقها بالإتجاه المعاكس. لسوء الحظ، فإن هذا التطبيق لم ير النور نتيجة للصعوبات الفنية التي واجهها. إستعملت فكرة أبليباي وبانكس لاحقاً (بعد منتصف القرن الماضي) من قبل الولايات المتحدة الأمريكية لبناء محطة لتشعيع الحبوب في ولاية جورجيا الأمريكية يتم

فيها تمرير الحبوب المراد تشعيها على سير ناقل أمام مصدر مشع يعطيها الجرعة الإشعاعية المطلوبة. كما قام الإتحاد السوفيتي، بشكل مشابه، بإنشاء محطة لتشعيع الحبوب في ميناء الأوديسا على ساحل البحر الأسود (أوكرانيا حالياً).

مع الزمن، وخاصة بعد الحرب العالمية الثانية، توفرت النظائر المشعة، بكميات كافية، كنتيجة ثانوية لبرامج الأسلحة النووية خلال فترة الحرب الباردة. هذه المسألة كان لها أثراً محفزاً لمزيد من البحث العلمي. فمع توفر المفاعلات النووية، أصبح من الممكن الحصول على الكميات اللازمة من السيزيوم-137 والكوبالت-60، مما مهد الطريق لبناء أجهزة تشعيع صغيرة للتجارب والدراسات ومنشآت كبيرة لتشعيع الأغذية على المستوى التجاري. كما تم، خلال الفترة نفسها، تصنيع المصادر الكهربائية (بدلاً من النظائر المشعة) للأشعة المؤينة، وتوفرت أجهزة التشعيع بأشعة X. إضافة لأشعة X، بدأ خلال نفس الفترة تصنيع المسرعات الإلكترونية كمصدر كهربائي جديد للأشعة المؤينة. وكان الإستعمال الأول لهذه المصادر، على نطاق تجاري، في المسرع الإلكتروني لتشعيع البهارات الذي بنته شركة ألمانية لتغليف البهارات في مدينة شتوتغارت الألمانية في عام 1958. حدث بعد ذلك تطور كبير في مجال تشعيع الأغذية والتقنيات المستعملة لهذا الغرض ولكن قبل الخوض في هذا الموضوع لابد من إستعراض أهم أنواع الأشعة المؤينة، وخاصة المستعملة منها اليوم في تشعيع الأغذية، وميزات ومآخذ كل واحدة منها.

أنواع الأشعة المؤينة المستعملة في التشعيع

لقد تم تقييم الأشعة المؤينة الناتجة عن النظائر المشعة وفقاً لإنحرافها في الحقول الكهربائية والمغناطيسية، ووفقاً لخصائصها إلى ثلاثة أنواع هي أشعة ألفا (α particles) وأشعة بيتا (β particles) وأشعة غاما (γ rays). تتكون أشعة α

وأشعة β من جسيمات مشحونة تجعلها تنحرف في حقل مغناطيسي أو كهربائي وفقاً للشحنة التي تحملها، ولكن أشعة غاما عديمة الشحنة، وبالتالي لا تتأثر إذا ما وضعت في حقل كهربيسي. وهي تشبه إلى حد بعيد بخواصها الضوء المرئي. إضافة للأشعة المؤينة التي تنتجها النظائر المشعة، يوجد نوعان من الأشعة المؤينة التي تُنتج كهربائياً وهما أشعة X والحزم الإلكترونية. وفيما يلي ملخص أنواع من هذه الأشعة مستعملة في التشعيع:

1 أشعة غاما (γ): وهي أشعة كهربيسية ذات طاقة عالية جداً وقدرة إختراق شديدة، ونظراً لكون هذه الأشعة غير مشحونة كهربائياً فإنها تؤين المواد بشكل غير مباشر عن طريق طرد الإلكترونات من المادة التي إمتصتها. قدرة الإختراق العالية لهذه الأشعة تجعلها مرشحاً ممتازاً لحفظ المواد الغذائية بالإشعاع.

2 أشعة X: إكتشف هذه الأشعة العالم الألماني الشهير رونتنجن في أواخر القرن التاسع عشر. وهي أشعة كهربيسية مؤينة مشابهة بخواصها لأشعة غاما، لكنها لا تنتج عن النظائر المشعة، وإنما تنتج عن إصطدام الإلكترونات المسرعة بهدف (Target) داخل أنبوب الأشعة السينية (أنبوب رونتنجن). يمكن تشغيل أجهزة الأشعة السينية وإيقافها وفقاً للحاجة (كأي جهاز كهربائي). كما أنها، بشكل مشابه لأشعة غاما، تمتاز بقدرتها العالية على الإختراق، وبالتالي بأهمية كبيرة في حفظ الأغذية.

3 الحزم الإلكترونية: تُنتج الحزم الإلكترونية في المسرعات الإلكترونية التي تولد إلكترونات تصل سرعتها إلى 99% من سرعة الضوء. تمتاز المسرعات الإلكترونية، بشكل مشابه لأشعة X، بإمكانية تشغيلها عند الحاجة فقط. كما

أنها أقل كلفة من محطات التشعيع المنتجة لأشعة غاما. ولكن يعاب على الحزم الإلكترونية ضعف قدرتها على الإختراق، ولذلك تستعمل لتشعيع المواد الغذائية ذات الكثافة المنخفضة والتي يمكن تمريرها أمام المنبع بسماكة مناسبة.

يقتصر استعمال الأشعة المؤينة في مجال حفظ المواد الغذائية على أشعة غاما وأشعة X بطاقة لا تزيد عن 5 مليون إلكترون فولط (5 MeV) والحزم الإلكترونية بطاقة لا تزيد عن 10 مليون إلكترون فولط (10 MeV). يعود السبب في ذلك إلى أن هذه الأشعة، بهذا المجال من الطاقة، تنتج التأثير المطلوب في الغذاء المشع دون أن تؤدي إلى إنتاج أي نشاط إشعاعي في الغذاء أو مواد التغليف.

محطات التشعيع المستعملة في تشعيع الأغذية

1 محطات ثابتة

أ - محطات تنتج أشعة غاما: تستعمل معظم محطات التشعيع التي تنتج أشعة غاما الكوبالت-60 والقليل منها يستعمل السيزيوم-137. تمتاز أشعة غاما التي تصدرها محطات التشعيع التي تعمل على النظائر المشعة بقدرتها العالية على الإختراق، وبالتالي قدرتها على تشعيع مواد غذائية بسماكة كبيرة. مع ذلك، يعاب على هذه المحطات كلفة بنائها العالية الناتجة عن جدران الحماية وإجراءات الأمان اللازم إتباعها وحقيقة أن النظائر المشعة تتفكك بشكل مستمر، سواء عملت المحطة أم لم تعمل. كما أنه لا بد من حفظ المنبع المشع، عند عدم الإستعمال، ضمن حاويات فولاذية خاصة أو في بركة ماء لإمتصاص الأشعة الناتجة.

ب - محطات تنتج الحزم الإلكترونية (المسرعات الإلكترونية): هي عبارة عن آلات كهربائية تنتج حزماً إلكترونية تُولد من تسريع سيل من الإلكترونات

وتركزها في حزم ضيقة. وتتمرر المواد الغذائية المراد تشعيها بشكل عمودي على الحزم الإلكترونية. معدل الجرعة مرتفع جداً في محطات التشعيع التي تعتمد على المسرعات الإلكترونية. ولكن يعاب على هذه المحطات إنخفاض تجانس الجرعة وتدني قدرة الحزم الإلكترونية على الإختراق. لذلك فهي تستعمل لتشعيع المواد ذات الكثافة المنخفضة أو الموضوعه بسماكات صغيرة (عدة سنتمترات فقط)، أو لمعالجة المواد خارجياً فقط مثل القضاء على الميكروبات المرضية الموجودة على اللحوم.

ج - محطات تنتج أشعة X: بشكل مشابه للحزم الإلكترونية، تنتج أشعة X عن آلات كهربائية يمكن تشغيلها وإيقافها وفقاً للحاجة، فالإلكترونات الناتجة عن الآلات تُسرَّع وتصدم بدريئة معدنية (ذهب أو تنغستن) لينتج عنها سيل من أشعة X. ونظراً لقدرة الإختراق العالية لأشعة X المشابه لأشعة غاما، فمن الممكن إستعمالها لتشعيع المواد مرتفعة السماكة أو الكثافة. ولكن نظراً لكلفتها العالية الناتجة عن فقد الطاقة على شكل حرارة، فإن محطات التشعيع التي تعتمد على إنتاج أشعة X حول العالم ليست كثيرة.

2- محطات متنقلة

لضمان توفير تقنية التشعيع بشكل مستمر لمختلف الجهات المهمة بها، وخاصة منها قطاع حفظ الأغذية، فقد صُنعت أجهزة تشعيع متنقلة يمكن تركيبها على شاحنات. وقد بنت الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وروسيا العديد من هذه المنشآت. حتى أن الولايات المتحدة صَنَعَت وشَغَلَت سفينة بحرية تحمل منشأة تشعيع بأشعة غاما صادرة عن الكوبالت-60 لتشعيع الأسماك البحرية، كما بنت كندا منشأة لتشعيع الألبان والدرنات بأشعة غاما صادرة عن الكوبالت-60 وشغلتها في تشعيع البطاطا بغرض منع الإنبات، وبنت ألمانيا سفينة أبحاث لتشعيع الأسماك. هدفت

جميع هذه المنشآت للتأكد من إمكانية حفظ المواد الغذائية بالإشعاع واكتساب الخبرة اللازمة في هذا المجال.

الصعوبات التي تواجهها تقنيات أشعة غاما المستعملة حالياً في تشعيع الأغذية

مع أن التشعيع بأشعة غاما طريقة بسيطة، وفعالة وباتت معروفة بشكل جيد، تواجه هذه الطريقة جملة من المصاعب التي تقف حجر عثرة أمام تطور إستعمال هذه التقنية في تشعيع وحفظ الأغذية، إذ أن إجمالي كميات المواد الغذائية والمنتجات الزراعية المشعة سنوياً، حتى نهايات العقد الماضي، لم تزد عن مليون طن. وأهم هذه المصاعب هي:

- عدم توفر العدد الكافي من منشآت التشعيع في العالم. ويعود السبب في ذلك، بالدرجة الأولى، إلى الكلفة الأولية العالية لإنشائها، وصعوبة الحصول على النظائر المشعة والتراخيص اللازمة لذلك، مقارنة مع التقنيات الأخرى المستعملة للغرض نفسه.

- تُشع معظم المواد الغذائية والمنتجات الزراعية حول العالم اليوم بإستعمال منشآت تشعيع تعتمد في إنتاج أشعة غاما على الكوبالت-60. ولكن كمية الكوبالت-60 المنتجة في العالم اليوم محدودة، ويبدو أن الحصول عليها سيصبح أكثر صعوبة في المستقبل. كما أن عملية إنتاج ونقل النظائر المشعة حول العالم تزداد كلفة بسبب درجة الأمان العالية والتعقيدات العملية في نقلها وخاصة عبر الحدود.

- رغم توفر السيزيوم-137 كبديل للكوبالت-60 في محطات التشعيع وبعمر نصف يزيد على 30 عاماً، في حين أن عمر النصف للكوبالت-60 أقل من ذلك بكثير (5.3 عام)، إلا أنه غير مرغوب فيه لهذا الغرض. ويعود السبب في ذلك لعدة عوامل أهمها ضعف طاقة أشعة غاما الصادرة عن السيزيوم-137 التي تبلغ بحدود 0.66 مليون إلكترون فولط مقارنة مع الكوبالت-60 الذي يصدر أشعة غاما بضعف الطاقة (1.17 إلى 1.33 مليون إلكترون فولط) إضافة إلى ذلك، فإن السيزيوم-137، بعكس الكوبالت-60، يشكل أكاسيد ذوابة في الماء، وبالتالي فهو أكثر خطورة على البيئة والنظام البيئي.

- نضطر في الوقت الحاضر، لتشعيع المواد الغذائية أو المنتجات الزراعية، لإرسالها إلى محطات تشعيع خارج معامل إنتاج المواد الغذائية أو مراكز تعبئة وتغليف السلع الزراعية. وقد تكون هذه المحطات على بعد مئات الكيلومترات من مكان الإنتاج، ومدارة من قبل جهاز مستقل، مما يستدعي صرف مبالغ إضافية ويحتاج لوقت إضافي ومرونة أعلى ومسؤوليات إدارية إضافية في برمجة العملية الإنتاجية.

- عائق آخر يتعلق بقبول المستهلك للأغذية المشعة في محطات التشعيع التي تستخدم النظائر المشعة. فبالرغم من أن نسبة كبيرة من المستهلكين لا يمانعون إستهلاك الأغذية المشعة فإن البعض منهم يتحاشاها. ونسبة قليلة منهم معارضة لها كلياً مما يدفع بعض الشركات المعنية إلى تحاشي تسويق المواد المشعة إرضاء لهذه الشريحة الصغيرة من المستهلكين، وخوفاً من الآثار السلبية التي يمكن أن تنتج عن الحملات الدعائية ضدهم.

نظرة جديدة للتقنيات المستعملة في تشعيع الأغذية

يميل الكثيرون للإعتقاد بأن تشعيع الأغذية، نتيجة للأسباب آنفة الذكر، لن يرقى إلى المستوى الذي يستحقه دون تلافي الإشكاليات السابق ذكرها، وبشكل خاص تشعيع السلع الغذائية أو الزراعية في مكان إنتاجها (نفس المعمل أو المنشأة)، إضافة إلى مراعاة تخوف المستهلك من الأغذية المشعة بالأشعة المؤينة الناتجة عن النظائر المشعة.

أدت التطورات الحديثة في تقنية الحزم الإلكترونية منخفضة الطاقة (Low energy electron beam (LEEB) (أقل من 300 كيلو إلكترون فولط) إلى إحداث ثورة في عالم التغليف المعقم. مكنت هذه التطورات من توفر أجهزة تشعيع بالحزم الإلكترونية منخفضة الطاقة (LEEB) فعالة، موثوقة، سريعة ومجزية اقتصادياً. كما ألغت الحاجة لنقل السلع إلى منشآت التشعيع لمعالجتها. هذه الأجهزة متوفرة اليوم من شركات عالمية وتستعمل بشكل خاص لمعالجة الأغذية الجافة والبهارات بغرض خفض حمولتها الميكروبية. بدأت هذه التقنية قبل قرابة ثلاثة عقود حيث عرفت الإلكترونات التي لاتزيد طاقتها عن 300 كيلو إلكترون فولط بالإلكترونات الناعمة (Soft electrons). تستعمل هذه التقنية للقضاء على الميكروبات التي تحملها البقوليات والحبوب والبذور والشاي والبهارات والخضار المجففة والبذور المنبته أو المبرعمة (Sprouts).

بدأت الوكالة الدولية للطاقة الذرية، إدراكاً منها لأهمية الأشعة المؤينة ذات الطاقة المنخفضة والتي يمكن تركيبها في نهاية خط الإنتاج في موضوع تشعيع الأغذية، وذلك بالإشتراك مع منظمة الاغذية والزراعة العالمية، في عام 2015 مشروع بحث (D61024, DEXAFI) بعنوان "تطوير تطبيقات المسرعات الإلكترونية وأشعة X في مجال تشعيع الأغذية" (Development of E-beam and X-ray applications in food irradiation). هدف هذا البحث إلى تطوير تقانات عملية

تعتمد على الحزم الإلكترونية وأشعة X لتشجيع المنتجات الزراعية والمواد الغذائية وتسهيل إستعمالها. كما هدف هذا البحث بشكل خاص إلى إيجاد مفهوم جديد يستعمل أجهزة كهربائية لإنتاج الأشعة السينية والحزم الإلكترونية يمكن تركيبها في نهاية خط الإنتاج في معامل المواد الغذائية ومراكز تعبئة وتغليف المواد الزراعية. لحسن الحظ، فقد أسفر هذا البرنامج، بالإشتراك مع بعض الشركات الخاصة المهمة بتطوير أجهزة وتقنيات التشعيع، عن تطوير أجهزة لإنتاج الحزم الإلكترونية منخفضة الطاقة (LEEB) وأخرى لأشعة X منخفضة الطاقة (LEEX) لا تتجاوز طاقتها 300 كيلو إلكترون فولط، أو ما يسمى بالحزم الإلكترونية الناعمة أو أشعة X الناعمة. يمكن تركيب هذه الأجهزة، نظراً لأنها لا تحتاج إلى الكثير من التدريع، في نهاية خط إنتاج السلع الغذائية لتشجيعها بالجرعة المناسبة.

أدت النتائج الإيجابية المستحصل عليها إلى إقرار مشروع بحث جديد في عام 2021 (D61025) بعنوان "تطوير تشعيع الأغذية بإستعمال الطاقات المنخفضة من مصادر آلية" تركيب على خط الإنتاج في معامل الأغذية مما يُمكن من نقل جهاز التشعيع إلى معمل إنتاج أو تعبئة المواد الغذائية.

تشكل تقنية الحزم الإلكترونية منخفضة الطاقة (LEEB) وأجهزة أشعة X منخفضة الطاقة (LEEX) اليوم حلاً محتملاً لإحتياجات صناعة الغذاء، إذ تصلح أجهزة الحزم الإلكترونية منخفضة الطاقة لمعالجة اللحوم والمواد الغذائية الأخرى لتخليصها خارجياً من الميكروبات وخفض حملتها الميكروبية في حين تستعمل أجهزة أشعة X منخفضة الطاقة (LEEX) لمعالجة المواد الغذائية والشحنات الزراعية بقصد القضاء على الميكروبات والأحياء الأخرى، وخاصة الحشرات، ليس على سطحها فحسب، بل وفي داخلها أيضاً، نظراً لفعاليتها العالية المشابهة لأشعة غاما.

ومع أن هذه التقنيات ما تزال في مرحلة الإختبار للتأكد من فعاليتها وموثوقيتها، فإن المعلومات الأولية تشير إلى أن هذه التجهيزات ستحدث ثورة في إستعمال الأشعة المؤينة في معالجة المواد الغذائية والشحنات الزراعية.

خلاصة

تسير الأمور حالياً إلى اتجاه جديد في تشعيع الأغذية والمنتجات الزراعية يعتمد على إستعمال أجهزة تشعيع منخفضة الطاقة (لا تزيد عن 300 كيلو فولط) مثل الحزم الإلكترونية منخفضة الطاقة (LEEB) وأشعة X منخفضة الطاقة (LEEX).

تستطيع الحزم الإلكترونية منخفضة الطاقة تطهير السلع من الخارج ولكنها لا تستطيع تطهيرها من الداخل، ويمكن إستعمالها لتطهير البذور الداخلة في خلطات المواد الغذائية أو المستعملة للتنبيت، فتطهير البذور من الخارج بهذه التقنية يقضي على الميكروبات لكنه لا يؤثر في قدرة البذور على الإنبات. تتوفر في الوقت الحاضر تقنية التشعيع بالحزم الإلكترونية منخفضة الطاقة بشكل تجاري ولأغراض كثيرة مثل التغليف العقيم للمواد الغذائية ومعالجة البوليميرات وأحبار الطباعة وتعقيم التجهيزات والأدوات الطبية وحتى لخفض الحمولة الميكروبية للبهارات.

بشكل مشابه لأشعة غاما، تستطيع أشعة X منخفضة الطاقة (LEEX) أو أشعة X الناعمة النفاذ إلى داخل المواد المعاملة، وبالتالي تعقيمها بالكامل (من الداخل والخارج). وقد باتت مصابيح أشعة X منخفضة الطاقة متوفرة للإستعمال التجاري وتستعمل حالياً لتعقيم أكياس الدم وفي معاملات الصحة النباتية للشحنات الزراعية التي تخضع للحجر الزراعي.

تمتاز هذه التقنيات (LEEX and LEEB) بعدم الحاجة للتدريج السميك أو الثقليل للحماية وبالتالي يمكن تركيبها في نهاية خط إنتاج السلع في معامل الإنتاج والإستغناء عن نقل السلع إلى محطات بعيدة لتشيعها.

د. محمد منصور

هيئة الطاقة الذرية السورية

mmansour@aec.org.sy

References

- (1) IAEA, Development of electron beam and X ray applications for food irradiation (DEXAFI). Report of the First Research Coordination Meeting, IAEA, Vienna, Austria, 19-23 Oct. 2015
- (2) Hall, M., Redpath, S.P., Sanxter, S., Wall, M., Follett, P.A., Silva, S., Postler, M., Wohlers, M., Jamieson, L.E. and Woolf, A.B. 2020. Exploring X-ray treatments for disinfesting apples. Acta Hort. 1275, 93-98. DOI: 10.17660/Acta Hort. 1275.13 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1275.13>.
- (3) Yun, S., H. Koo , J. Yang, G. Kim. 2016. X-ray irradiation as a quarantine treatment for the control of six insect pests in cut flower boxes. J. of Asia pacific Entomology. 2015. 19: 31-38. By
- (4) Setsuko Todoriki et al, 2002 . Soft electron processing of foods for microbial control, Radiation Physics and Chemistry 63: 349–351 [https://doi.org/10.1016/S0969-806X\(01\)00588-6](https://doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00588-6)
- (5) IAEA, Consultants Meeting on “Innovation of Irradiation Technologies on Surface Treatment of Food Commodities”, IAEA Headquarters, Vienna, Austria 7 – 11 October 2019.

أخبار عربية وعالمية

هيئة المحطات النووية المصرية تعلن إنتهاء تركيب المستوى الأول لمبنى الإحتواء الداخلي لمبنى المفاعل بالوحدة النووية الثانية*

صرح الدكتور أمجد الوكيل رئيس مجلس إدارة هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء أن يوم الخميس الموافق 26 سبتمبر 2024 شهد بدء تركيب الجزء الأول من وعاء الإحتواء الداخلي لمبنى المفاعل الخاص بالوحدة النووية الثانية بموقع المحطة النووية بالضبعة.

ويعد وعاء الإحتواء الداخلي أحد أهم العناصر في وحدة الطاقة النووية، حيث يعمل على ضمان السلامة النووية والبيئية للمنشأة النووية، وتتلخص مهمته في منع تسرب المواد المشعة إلي البيئة المحيطة في حالة حدوث أي حالة طوارئ في المحطة النووية. هذا وبإكمال تركيب وعاء الإحتواء سيكون تصميمه عبارة عن هيكل أسطواني من الخرسانة المسلحة ذات قبة نصف كروية، وسيضم بداخله المفاعل النووي وكذلك معدات الدائرة الأولية لمحطة الطاقة النووية.

وصرح السيد الدكتور محمد دويدار، مدير مشروع المحطة النووية بالضبعة أن "هيئة المحطات النووية تشهد اليوم إنجازاً جديداً في مسار تقدم الأعمال بمشروع إنشاء المحطة النووية بالضبعة، فقد بدأنا اليوم بفضل الله مرحلة جديدة من مراحل إنشاء الوحدة النووية الثانية، حيث نحقق اليوم ببدء تركيب وعاء الإحتواء الداخلي لمبنى المفاعل الخاص بالوحدة النووية الثانية، كنتيجة لتضافر الجهود بين فريق العمل المصري المتمثل في هيئة المحطات النووية - الجهة المالكة وفريق العمل الروسي". على الجانب الأخر، أوضح السيد أليكسي كونونينكو، نائب رئيس شركة أتوم ستوري إكسبورت ومدير مشروع إنشاء المحطة النووية بالضبعة، أن "اليوم يشهد إنتقال الوحدة النووية الثانية إلى مرحلة جديدة من أعمال الإنشاءات بالمحطة النووية بالضبعة في مصر. لا شك أن فريقنا الدولي قام بعمل هائل للوصول إلى هذه

* موقع هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء، بتاريخ 2024/09/29.

المرحلة، حيث أن تركيب وعاء الإحتواء الداخلي لمبنى المفاعل يمثل أحد العمليات التكنولوجية والتي ينتج عنها التشغيل الآمن لمحطة الطاقة النووية في المستقبل. إنه لمن دواعي السرور أن نُسلم بالتعاون الوثيق بين الطرفين المصري والروسي، حيث نقوم في الوقت الراهن ببناء جميع الوحدات الأربع لمحطة الطاقة النووية بالضبعة في آنٍ واحد، مما يضمن التطوير الشامل لموقع الإنشاء بمحطة الطاقة النووية"

إنجاز تاريخي لدولة الإمارات: بدء التشغيل التجاري للمحطة الرابعة في البراقة

*

أعلنت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية اليوم عن إنجاز تاريخي لدولة الإمارات العربية المتحدة مع التشغيل التجاري للمحطة الرابعة ضمن محطات بركة للطاقة النووية، وبذلك تكون هذه المرة الأولى التي تعمل فيها المحطات الأربع بشكل كامل.

أعلن معالي خلدون خليفة المبارك، رئيس مجلس إدارة مؤسسة الإمارات للطاقة النووية: "في عام 2008، إتخذت القيادة الرشيدة نهجاً مدروساً من خلال إصدار سياسة شاملة لتطوير الطاقة النووية السلمية في دولة الإمارات العربية المتحدة لتعزيز جهودها في الإنتقال إلى مصادر الطاقة النظيفة. والآن مع التشغيل التجاري للمحطة الرابعة في بركة، تحققت هذه الرؤية، حيث تنتج محطات بركة الأربع 25% من إحتياجات دولة الإمارات من الكهرباء، وهو ما يعزز المكانة الريادية للدولة فيما يتعلق بتطوير الطاقة النووية السلمية على مستوى العالم."

وأضاف معاليه قائلاً: "تعد الطاقة النووية من القطاعات الجاذبة للصناعات العالمية التي تتطلب كميات ضخمة من الكهرباء".

ويأتي إكمال التشغيل التجاري لمحطات بركة الأربع وسط تنامي الإدراك العالمي للدور المحوري للطاقة النووية في خفض البصمة الكربونية لأنظمة الطاقة وتحقيق الحياد المناخي، ولا سيما أن وكالة الطاقة الدولية ترجح إرتفاع الطلب العالمي على الكهرباء بمعدل أسرع على مدى السنوات الثلاث المقبلة، وبما يصل إلى 3.4% سنوياً حتى عام 2026.

* مؤسسة الإمارات للطاقة النووية، بتاريخ 2024/09/30.

**الأردن يترأس أعمال المؤتمر الدولي للمفاعلات البحثية: الإنجازات والخبرات
والطريق إلى مستقبل مستدام، المنعقد في العاصمة النمساوية فيينا، 11-15
تشرين ثاني 2024 ***

ترأس الدكتور خالد طوقان، رئيس هيئة الطاقة الذرية الأردنية أعمال افتتاح المؤتمر الدولي للمفاعلات البحثية بحضور مدير عام الوكالة الدولية للطاقة الذرية سعادة السيد روفائيل جروسي، والذي يعقد في مقر الوكالة الدولية للطاقة الذرية في العاصمة النمساوية فيينا هذا الأسبوع.

وفي كلمته الافتتاحية، أكد الدكتور طوقان على أهمية المفاعلات البحثية في دعم البحث العلمي وتطوير التقنيات النووية الحديثة، مشدداً على دورها الحيوي في مجالات الطب النووي، والصناعة، وتوليد الطاقة والبحوث الأساسية. كما أشار الى إن المفاعلات البحثية ضرورية لدفع الاكتشافات والابتكارات العلمية التي تعود بالنفع على المجتمعات البشرية. وفي الأردن، يقف المفاعل النووي الاردني للبحوث والتدريب كشهادة على حرص الهيئة الدفع قدماً بالتنمية المستدامة وتعزيز التعاون الإقليمي. حيث ومنذ تشغيله في عام 2016، أصبح المفاعل النووي الأردني مركزاً حيوياً للبحث العلمي والتعليم والتدريب وبناء القدرات البشرية النووية المتخصصة، على مستوى الأردن ومنطقة الشرق الأوسط، كما أن هذا المفاعل ينتج حالياً عدة نظائر مشعة كاليود المشع (131) والهولميوم (166) المستخدم في تشخيص وعلاج السرطان إضافة الى نظير الاريديوم (192) المستخدم في التصوير اللاتلافي الصناعي، عدا عن السير في اجراءات البحث والتطوير لإنتاج نظير التكنيشيوم (99) المستخدم في الطب النووي. كما تعكف إدارة المفاعل البحثي حالياً على إدخال تقنية الغرز النيوتروني لبلورات السيليكون عالية النقاوة المستخدمة في صناعة أشباه الموصلات.

* موقع هيئة الطاقة الذرية الأردنية.

كما أشار الدكتور طوقان إلى التحديات التي تواجه هذا القطاع، داعيًا المشاركين إلى استثمار المعرفة المكتسبة خلال المؤتمر في تطوير استراتيجيات جديدة تعزز من استخدام وتطوير المفاعلات البحثية بشكل آمن ومستدام.

وفي الكلمة الافتتاحية لمدير عام الوكالة الدولية للطاقة الذرية أشار السيد جروسي إلى وجود (227) مفاعل بحثي عامل في أربع وخمسين بلدًا حول العالم، ومن ضمنها إحدى عشر مفاعل بحثي قيد الإنشاء.

كما بين أن لهذه المفاعلات البحثية أدوار رئيسية في التعليم وتأهيل قوة بشرية مؤهلة لإستخدام هذه المفاعلات في الطب، الزراعة، الصناعة ودعم التقدم العلمي والإبتكار التكنولوجي. كما أشار إلى أن الوكالة تقدم الدعم للدول الأعضاء من خلال مهما إختصاصية تشمل تقييم تشغيل المفاعلات البحثية إضافة الى الإستخدام الفاعل لهذه المفاعلات البحثية.

ويهدف المؤتمر والذي دأبت الوكالة على عقده كل أربع سنوات منذ عام 1999 إلى تعزيز التعاون العلمي والتقني بين الدول المشاركة وتبادل الخبرات في مجال تصميم واستخدام المفاعلات البحثية وتطبيقاتها المتنوعة.

يشارك في هذا المؤتمر ثلاث مئة وخمسون من الخبراء والعلماء والباحثين من مختلف دول العالم المختصين في المفاعلات البحثية النووية بالإضافة إلى إثني عشر من خبراء هيئة الطاقة الذرية الأردنية وعدد من الخبراء الأردنيين من قطاعات مختلفة، حيث تم إلقاء ثلاث محاضرات علمية في مواضيع تتعلق بإدارة وتشغيل المفاعل النووي الاردني للبحوث والتدريب إضافة الى تطوير

منظومة الرقابة النووية الأردنية ومحاضرة أخرى عن بناء منظومة الأمن النووي الخاصة بالمفاعل النووي الأردني، وتم عرض تسعة عشر ملصق علمي (بوستر) من قبل باحثين أردنيين. كما تضمن جدول أعمال المؤتمر ورش عمل وحلقات علمية حول أحدث التطورات في مجال المفاعلات البحثية، حيث جاءت مشاركة للأردن في الحلقة الخاصة بالتحديات والفرص المتاحة لدور المرأة في المفاعلات البحثية.

ومن المتوقع أن يسهم هذا المؤتمر في تعزيز الشراكات الدولية وتطوير الأبحاث التي تدعم الابتكار في تصميم وإستخدام المفاعلات البحثية في تطبيقات نووية متعددة وتشغيل وصيانة المفاعلات البحثية بالإضافة الى سلامة وأمن وأمان وإدارة الوقود للمفاعلات البحثية والإعتبرات الإدارية الشائعة والمشاركة في المفاعلات البحثية.

هل إستعملت إسرائيل اليورانيوم المنضب في قصف لبنان *

أكد المكتب الإعلامي في وزارة الصحة العامة اللبنانية في بيان، بأنه تعقيباً على ما ورد في بيان صادر عن مجلس نقابي في لبنان حول إستخدام جيش الإحتلال الإسرائيلي قنابل تحتوي على اليورانيوم المنضب، يهم الوزارة التوضيح أنه ويقصد التحقق، تم التواصل في هذا الشأن مع الهيئة اللبنانية للطاقة الذرية.

وقد صرح مدير الهيئة الدكتور بلال نصولي أن ليس من أدلة على إستخدام اليورانيوم في الإعتداءات الإسرائيلية ضد لبنان حتى الساعة وأن بيانا علمياً سيصدر في هذا الشأن في وقت لاحق، علماً بأن الهيئة هي صاحبة الإختصاص والسلطة في هذا الشأن وتقوم بالتنسيق مع الجهات الرسمية والدولية المعنية لبنى على الشيء مقتضاه.

بناء عليه، شددت وزارة الصحة العامة على توخي الدقة في تبني معلومات علمية والتسرع في نشرها من دون التحقق من صحتها، وتدعو إلى مراجعة الجهات المعنية حرصاً على صدقية المعلومات المتداولة وعدم التشكيك بها خصوصاً أن لبنان بصدد التقدم بشكوى ضد إسرائيل في إستخدام الأسلحة المحرمة دولياً إنما بناء على معلومات موثقة ومؤكدة.

إعداد: د. خالد زهران

أخبار الهيئة

إجتماعات الخبراء

1 - إجتماع الخبراء في مجال إنتاج النظائر المشعة (الحمامات - الجمهورية التونسية: 2024/06/11-10):

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية، في الحمامات - الجمهورية التونسية، إجتماع خبراء حول "إنتاج النظائر المشعة" في الدول العربية وذلك من أجل مراجعة واعتماد المواصفات العربية في "قواعد ممارسات التصنيع الجيد للمستحضرات الصيدلانية المشعة GMP" والذي وُضعت مسودته في عدد من الإجتماعات السابقة والذي كان آخرها الإجتماع الذي عقد في القاهرة بين 26 و 28 أيلول/ سبتمبر 2023 والذي تلاه إجتماع افتراضي يوم 27 آذار/ مارس 2024؛ كما وضع تصور لتعاون عربي مشترك حول إنتاج وتصدير النظائر المشعة في الاستخدامات الطبية المختلفة، وعرض البرامج الوطنية في مجال إنتاج النظائر والمستحضرات الصيدلانية المشعة ومن ضمنها الإمكانيات المتاحة والاحتياجات المطلوبة لكل بلد عربي مشارك.

شارك في هذا الاجتماع 5 خبراء من الدول العربية التالية:

- 1- المملكة الاردنية الهاشمية ومثلها الدكتور إبراهيم الحباشنة.
- 2- الجمهورية التونسية ومثلها الدكتور المولدي سعدي.
- 3- الجمهورية العربية السورية ومثلها الدكتور عبد الحميد الرئيس.
- 4- جمهورية العراق ومثلها الدكتور حسن الشموسي.
- 5- جمهورية مصر العربية ومثلها الدكتور تامر صقر.
- 6- الدكتور خالد زهران ممثلاً للهيئة العربية للطاقة الذرية.

بعد إستعراض ومناقشة الأنشطة الوطنية من خلال محاضرات تعريفية لكل بلد مشارك عن برامجها الوطنية وعما وصل إليه في مجال إنتاج النظائر والمستحضرات الصيدلانية المشعة ومن ضمنها الإمكانيات المتاحة والإحتياجات المطلوبة، تمت مراجعة المواصفة بشكل تفصيلي وإعتمادها.

وتلا ذلك إقتراح تحضير مشروع بحثي، تحت مظلة أحد المشاريع لإستراتيجية التي إعدتها الهيئة العربية للطاقة الذرية في 2023، في مجال إنتاج نظير اللوتيتيوم-177 وتحضير عدد من المستحضرات الصيدلانية المشعة الموسومة به.

ثم تم إقتراح التقدم بمشروع إقليمي في مجال إنتاج النظائر المشعة الطبية المستحدثة مثل اللوتيتيوم-177 والاكينيوم-225 لأحد الجهات الدولية المانحة مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية. كما تم إقتراح عدد من البرامج التدريبية في مجال إنتاج النظائر والمستحضرات الصيدلانية المشعة.

كما أوصى السادة الخبراء بإجراء مراجعة لغوية للمواصفة بعد إعتمادها من الناحية الفنية. وتقدم السادة الخبراء بالشكر والإمتنان للدعم الذي قدمته الهيئة العربية للطاقة الذرية.

وفي النهاية أوصى أعضاء اللجنة بإستمرار عمل لجنة الخبراء لإستكمال المهام الآتية:

- إعداد منهج تقني وفني وعلمي في مجال النظائر والصيدلانيات المشعة لرفع وتأهيل العاملين بهذا المجال لدعم التعليم المستمر للكوادر العربية في مجال الصيدلانيات المشعة.
- إعداد دليل الأدوية المشعة بالدول العربية.
- إعداد دستور دواء عربي للمستحضرات الصيدلانية المشعة.
- تجميع أسماء وخبرات الكوادر العربية في مجال إنتاج النظائر والمستحضرات الصيدلانية المشعة.

اجتماعات علمية وندوات

1 - تقرير عن الندوة الافتراضية الأولى للمرأة العربية والإفريقية في مجال الطاقة النووية (خلال الفترة: 2024/06/20)

في إطار أنشطة مركز المعلومات والمختبر الافتراضي في جانبها التوعوي، نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع جمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية وجمعية المرأة الإفريقية في مجال الطاقة النووية، في 20 يونيو 2024 الندوة الافتراضية الأولى للمرأة العربية والإفريقية والتي ركزت على الإستخدامات السلمية للطاقة النووية وتطبيقات التكنولوجيا النووية لمعالجة البيئة وحمايتها. اجتذب الحدث ما يقرب من 80 مشاركاً وتم بثه على الهواء مباشرة لأكثر من 300 مشاهد إضافي. والمحتوى العلمي للندوة متاح للجميع في موقعها على منصة التواصل الاجتماعي.

خلال الندوة الافتراضية، تدخل خمسة متحدثين من خمس دول مختلفة (تونس، مصر، السنغال، الأردن وجمهورية الكونغو الديمقراطية) بمدخلاتهم المتميزة، حيث قدموا دراسات بحثية ومحاضرات عالية المستوى. تسلطت العروض على أهمية إستخدام تقنيات الإشعاع في إدارة الموارد المائية ومكافحة التلوث. المتحدثون ناقشوا بشكل رئيسي فوائد تقنيات التشعيع في حماية البيئة وإدارة الموارد، مع تسليط الضوء على مواضيع مختلفة، منها:

- الأستاذة سناء بن إسماعيل من تونس، حول "التقنيات النووية للسيطرة على تلوث البلاستيك البحري".
- الأستاذة كاميليا حجاج من مصر، تناولت "إستدامة مياه الجوف في المناطق القاحلة بإستخدام مؤشرات هيدرولوجية نووية: رؤية جديدة".

- الأستاذة سينا بو سيسي فاي من السنغال، عن "تتبع إعادة شحن المياه الجوفية وتكثيف الأمطار تحت تأثير تغير المناخ باستخدام علامات العناصر المشعة: ملاحظات من دكار، السنغال".
- الدكتورة زينب نذاف من الأردن، عرضت عن "الرادون في المياه الجوفية في حوض عمان والبيئات المتصلة في الأردن".
- الدكتور غود بولا بوسونغو من جمهورية الكونغو الديمقراطية، عن "تقنيات التحليل النووي المطبقة على إدارة موارد المياه".

أعرب المشاركون من الدول الأعضاء في الهيئة العربية للطاقة الذرية عن إهتمامهم بالتكنولوجيا النووية لمعالجة البيئة وحمايتها وأكدوا على أهمية التعاون وتبادل المعرفة والموارد من خلال دورات تدريبية لتعميق الفهم وتحسين تطبيق هذه التقنيات الجديدة. وأشاروا إلى أن هذا التعاون يمكن أن يؤدي إلى تقدم كبير في هذا مجال.

2 - أنشطة مركز المعلومات والمختبر الافتراضي

في إطار التعاون الوثيق بين الهيئة العربية للطاقة الذرية والمعهد المشترك للبحوث النووية JINR ومقره في روسيا الاتحادية، تم تدشين مركز المعلومات والمختبر الافتراضي رسمياً بحضور مدير المعهد والمدير العام للهيئة العربية للطاقة الذرية وأعضاء المجلس التنفيذي للهيئة وذلك في مقر الهيئة يوم 4 ديسمبر 2023.

وافق المجلس التنفيذي للهيئة على الخطة العلمية لمركز المعلومات والمختبر الافتراضي التي تشمل أنشطة في الجوانب التعليمية والتوعوية والمعلوماتية وكذلك أنشطة تنسيقية وتكاملية بين المعهد والهيئة.

هدفت هذه الأنشطة إلى نقل المعرفة في مجال العلوم والتكنولوجيا النووية وتوطينها في الدول العربية، مع إستعداد الهيئة للعب دور سفير للمعهد في العالم العربي ونشر المعلومات العلمية تحت مظلة مذكرة التفاهم والبروتوكولات المتعاقبة بين المعهد

والهيئة. كما أن الهيئة مسؤولة عن تشغيل وإستدامة أنشطة مركز المعلومات والمختبر الافتراضي. ولقد تم رسم دور مركز المعلومات والمختبر الافتراضي في الورقة المفاهيمية المتفق عليها بين الطرفين. وفي هذا السياق قامت الهيئة بتنظيم الفعاليات الآتية:

1. إجتماع جمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية: إحتضنت الهيئة العربية للطاقة الذرية يوم الخميس 4 أبريل 2024 الموافق 25 رمضان 1445هـ في مقرها بتونس إجتماع جمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية.

هدف هذا الإجتماع إلى تعريف أعضاء الجمعية على الهيئة العربية للطاقة الذرية وكذلك التعرف بمركز المعلومات والمختبر الافتراضي الذي أسسته الهيئة بالتعاون مع المعهد المشترك للبحوث النووية ومقره دونا بجمهورية روسيا الاتحادية JINR.

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

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، وتهدف إلى دعم وتمكين النساء المحترفات العاملات في مجالات متنوعة من تطبيقات الطاقة النووية والإشعاع. وقالت إن المنظمة الأم تأسست عام 1992 وهي داعمة قوية للإستدامة البيئية والتنوع والمساواة بين الجنسين وهي مفتوحة للجميع ومسجلة قانونياً في فيينا.

ثم كانت هناك جلسة خاصة عن مركز المعلومات والمختبر الافتراضي تداخل فيها 5 خبيرات وباحثات من معهد JINR، حيث 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 الافتراضي عرضاً تعريفياً عن المركز وبين نماذج من التجارب الأساسية في الفيزياء النووية وكذلك نموذج من محاكيات مفاعلات القوى التي زودت بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية مركز التدريب هذا.

2. ندوة إفتراضية حول كيفية إستخدام التقنيات الإشعاعية في تعديل البوليمرات لتطبيقات متعددة في مجالات العلوم الحياتية والبيئية: نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع جمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية والمعهد المشترك للبحوث النووية بجمهورية روسيا الاتحادية ندوة إفتراضية حول " كيفية إستخدام التقنيات الإشعاعية في تعديل البوليمرات لتطبيقات متعددة في مجالات العلوم الحياتية والبيئية" وذلك عن بُعد يوم الاثنين الموافق 22 ابريل 2024.

هدفت هذه الندوة إلى توفير فهم شامل لكيفية إستخدام تقنيات الإشعاع في تعديل هياكل البوليمرات وتحقيق تعديلات دقيقة على مستوى الجزيئات، مما يمكن إستخدامها في مجموعة متنوعة من المجالات التطبيقية. قدمت الدكتورة أوليانا

بينايفا" الندوة باللغة الإنجليزية حيث تم التركيز على الإستخدامات السلمية للطاقة النووية وتطبيقات الفيزياء النووية في مجالات علوم الحياة.

شارك في هذا الحدث عن بعد حوالي 60 مشاركاً، إضافة إلى 600 متابع على موقع الهيئة على منصة التواصل الاجتماعي.

إفتتح الإجتماع بكلمة ترحيبية الأستاذ سالم حامدي، مدير الهيئة العربية للطاقة الذرية، تلتها كلمة الأستاذ ديمتري كمانين، مدير معهد البحوث النووية المشترك، والأستاذ بوريس شاركوف، الممثل الخاص لمعهد البحوث النووية المشترك للتعاون مع المنظمات العلمية الدولية. خلال اللقاء، قامت الدكتورة أوليانا بينايفا من مركز الفيزياء التطبيقية بتقديم محاضرة حول "التعديل الناتج عن الإشعاع للبوليمرات في علوم الحياة والتطبيقات البيئية". تم تسليط الضوء في هذه المحاضرة على أهمية وتأثير تقنيات التشعيع في تعديل البوليمرات وتطبيقاتها في مجالات مثل الطاقة النظيفة والمستدامة والطب الحيوي. أعرب المشاركون من الهيئة العربية للطاقة الذرية وجمعية المرأة التونسية في مجال الطاقة النووية، عن إهتمامهم الكبير بتطوير مواد وظيفية جديدة من خلال الإشعاع المؤين، وأكدوا على أهمية التعاون في هذه المجالات وفرص البحث المشترك وتبادل المعرفة والموارد. وأشاروا إلى أن هذا التعاون قد يؤدي إلى تقدم كبير في مجالات متعددة مثل الطب الحيوي والعلوم البيئية وتطبيقات الطاقة، وبالتالي تمهيد الطريق لحلول مبتكرة ومستدامة للتحديات العالمية الحالية. وعبر المشاركون عن تطلعهم للفاعليات المقبلة في مجالات متعددة من المعرفة والتكنولوجيا النووية.

3. زيارات سفراء الدول العربية المعتمدة في الجمهورية التونسية: أصبح مركز المعلومات والمختبر الافتراضي وجهة لزيارات سفراء الدول العربية في الجمهورية التونسية. حيث يقوم سعادة المدير العام بتعريف ضيوفه بالهيئة العربية للطاقة

الذرية وأنشطتها وإستراتيجيتها، وكذلك يقوم بإصطحابهم إلى مركز المعلومات وشرح دوره في نقل المعرفة النووية وإمكاناته المتعددة.

قام كل من سفراء: دولة ليبيا وجمهورية العراق ودولة الكويت والمملكة العربية السعودية ومملكة البحرين وسلطنة عُمان بزيارة هذا المرفق وأبدوا جميعاً تمشينهم للفكرة.

الأنشطة التدريبية

1 - دورة تدريبية في مجال النظائر المشعة والمستقرة في ترشيد إستهلاك المياه (الأردن - عمان: 21-25/04/2024)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية دورة تدريبية في مجال "النظائر المشعة والمستقرة في ترشيد إستهلاك المياه" وذلك في سلطنة عمان خلال الفترة: 21-25/04/2024. هدفت هذه الدورة إلى تدريب المشاركين ونشر الثقافة النووية ودورها في إدارة المصادر الأرضية والمائية وتعريفهم بالتقانات الحديثة للنظائر المشعة في مجال ديناميكية حركة المياه في التربة وطبقاتها وتسربها من المسطحات المائية وآلية فقدانها بالتبخر من المسطحات المائية ورفع كفاءة إستخدامها من قبل النبات. كما هدفت الدورة إلى التعرف على الوسائل الحديثة في تقييم تقانات تحسين إدارة الموارد المائية المتاحة وتقدير الكلف المتوقعة لإستخدام هذه التقانات في إدارة التربة والمياه بهدف تحسين إدارة الموارد المائية وإستغلالها للإستخدام الأمثل للتغلب على مشكلة الشح المائي في المنطقة العربية.

إفتتح الدورة الدكتور نزار حداد مدير عام المركز الوطني للبحوث الزراعية والدكتور يحيى شخاتره ممثلاً" للهيئة العربية للطاقة الذرية والدكتور نبيل بني هاني المنسق المحلى للدورة وبحضور المشاركين وعدد من السادة المحاضرين أعمال هذه الدورة، والتي عقدت على مدار خمسة أيام.

تضمن البرنامج العلمي للدورة 25 ساعة من المحاضرات النظرية والدروس العملية والحلقات النقاشية وذلك على مدى 5 أيام، وذلك من خلال تقديم المحاضرات النظرية والتطبيقات العملية وفقاً للمحاور التالية:

- أنظمة الري المختلفة وطرق إدارتها ورفع كفاءة إستخدامها.
- تتبع محتوى التربة من المياه وإستخدام أجهزة قياس حقلية متطورة مثل أجهزة التشتت النيتروبي لرفع كفاءة إستخدام المياه في الري.
- جدولة مياه الري بإستخدام تقنيات الإستشعار عن بعد.
- تقدير عمر المياه الجوفية والتعرف على مدى تجدها وزمن بقائها وعلاقة ذلك بالخصائص الهيدروديناميكية للمياه الجوفية.
- إستخدام النظائر مثل N15 والفسفور P32 في الحد من تلوث المياه والتربة ورفع كفاءة إستخدام الأسمدة.
- إستخدام التقنيات النووية في دراسة تلوث المياه.
- دراسة المياه السطحية وفهم ديناميكية فقد المياه من الخزانات المائية (حساب كمية التبخر).
- رفع كفاءة إستخدام مياه الجريان السطحي وتحسين إدارة إعادة إستخدام مياه الصرف الزراعي والمياه المعالجة لرفع إنتاجية القطاع الزراعي.
- فهم آلية حركة المياه من التربة إلى النبات ومن النبات إلى الجو.

- إستخدام الطاقة الشمسية كمصدر لتحلية المياه وضخها للري.

- إستخدام النظائر المشعة والمستقرة لتقدير أعمار المياه ومصادرها.

كما تضمن برنامج الدورة زيارة ميدانية إلى محطة ديرعلا للبحوث التطبيقية المتعلقة بإدارة مياه الري في منطقة وادي الأردن، وزيارات ميدانية لجمعيات مستخدمي المياه ودورها الريادي في رفع كفاءة استخدام المياه والحد من الهدر المائي.

حضر الجلسة الختامية للدورة الدكتور نعيم مزاهرة نائب مدير عام المركز الوطني للبحوث الزراعية والمشرف المحلي للدورة الدكتور نبيل بني هاني والدكتور يحيى شخاتره ممثلاً عن الهيئة العربية للطاقة الذرية والمشاركين وعدد من السادة المحاضرين.

2 - ورشة عمل حول المواد البوليميرية المطورة بالإشعاع: منصة متكاملة للتطبيقات الطبية الحيوية من أجل حياة أفضل: (القاهرة - جمهورية مصر العربية خلال الفترة: 2024/05/9-5)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية ورشة عمل حول "المواد البوليميرية المطورة بالإشعاع: منصة متكاملة للتطبيقات الطبية الحيوية من أجل حياة أفضل" وذلك في القاهرة - جمهورية مصر العربية خلال الفترة: 5-9/05/2024.

إفتتح الدورة الدكتور عمرو الحاج رئيس هيئة الطاقة الذرية المصرية بحضور يحيى شخاتره ممثلاً للهيئة العربية للطاقة الذرية والدكتورة أماني إسماعيل المنسق المحلي للدورة وبحضور المشاركين وعدد من السادة المحاضرين في أعمال هذه الورشة. هدفت هذه الورشة إلى تبادل الخبرات المكتسبة للعلماء والباحثين من مختلف الدول العربية في مجالات علوم كيمياء البوليميرات وعلوم المواد والعلوم البيولوجية والصيدلانية وطب الاسنان والعظام وامراض الدم وكذلك علم هندسة الانسجة،

- ومناقشة التحديات العملية لتطبيق المواد البوليميرية المطورة في هذه المجالات والتوصل إلى أفضل الطرق التكنولوجية المقترحة لحل هذه التحديات.
- تضمن البرنامج العلمي للورشة 26 ساعة من المحاضرات النظرية والدروس العملية والحلقات النقاشية وذلك على مدى 5 أيام، والذي إشمئل على المحاور التالية:
- إستخدام تقنية التشعيع الجامي والتشعيع بالحزم الإلكترونية في تطوير وتحضير المواد البوليميرية الوظيفية ومركباتها النانومترية.
 - التوصيف الدقيق للمواد البوليميرية الوظيفية ومركباتها النانومترية بإستخدام الاجهزة التحليلية المناسبة.
 - إستراتيجيات تصميم وتصنيع الأنظمة المختلفة من المواد البوليميرية الوظيفية لتتوافق مع المعايير القياسية لتطبيق محدد.
 - إستخدام المشتقات النباتية الطبية والمواد النانومترية المختلفة لتطوير خصائص المواد البوليميرية المحضرة بالإشعاع.
 - المواد البوليميرية الوظيفية المطورة ومركباتها النانومترية كموصلات دوائية: التطبيقات والتحديات.
 - تطبيقات وتحديات إستخدام المواد البوليميرية الوظيفية المطورة ومركباتها النانومترية في الصناعات الدوائية.
 - تطبيقات وتحديات إستخدام المواد البوليميرية الوظيفية المطورة ومركباتها النانومترية في الجراحات التعويضية.
 - تطبيقات وتحديات إستخدام المواد البوليميرية الوظيفية المطورة ومركباتها النانومترية في جراحات التجميل.
 - التطبيقات والتحديات في إستخدام المواد البوليميرية الوظيفية ومركباتها النانومترية المطورة لعلاج وتسريع التئام الجروح.

• المواد البوليميرية الوظيفية المطورة ومركباتها النانومترية كحشوات للأسنان وكسقالات لبناء عظم الفك.

كما تضمن برنامج الورشة زيارة إلى المعامل المركزية وإلى زيارة المعجل الإلكتروني وخلية التشعيع الجامي.

تم عقد الجلسة الختامية حضور الدكتور عمرو الحاج رئيس هيئة الطاقة الذرية المصرية والدكتور يحيى شخاتره ممثلاً للهيئة العربية للطاقة الذرية والدكتورة امانى اسماعيل المنسق المحلى والمشاركين وعدد من السادة المحاضرين.

3 - الدورة التدريبية في مجال استخدام مفاعلات الأبحاث في التحليل بالتنشيط النيتروني (ليبيا- طرابلس: 23 - 2024/06/27)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع مؤسسة الطاقة الذرية الليبية دورة تدريبية في مجال "استخدام مفاعلات الأبحاث في التحليل بالتنشيط النيتروني" وذلك في مدينة طرابلس الغرب - دولة ليبيا خلال الفترة: 23 - 2024/06/27.

هدفت هذه الدورة المتخصصة إلى تدريب ورفع من كفاءة المهندسين النوويين والفيزيائيين العاملين في مجالات الاستخدامات السلمية لمفاعلات الأبحاث والمنظومة الحرجة المبنية على تقنية التحليل بالتنشيط النيوتروني والقياسات الإشعاعية المبنية على منظومات قياس أشعة جاما. كما هدفت هذه الدورة إلى الاستخدام الأمثل لمنظومات القياس. ويعتبر هذا النهج أيضاً وسيلة مناسبة لنقل المعرفة والتي من خلالها يمكن تحسين الأداء وإستخدام هذه المنظومات بطريقة موضوعية تتوخى فيها الدقة التي تؤدي إلى الرفع من كفاءة المعامل إلى مستوى عالي يمكن الإعتراف بها كمعامل مرجعية محترفة مستقبلاً وتغادى السلبيات التي كثيراً ما يقع فيها المحلل.

أُتاحت هذه الدورة للمتدربين الإلمام بالجوانب النظرية والعملية لتقنية التحليل بالتنشيط النيتروني والتعرف عن قرب على مفاعل أبحاث تاجوراء والمنظومة الحرجة وكيفية تحضير وتشعيع العينات المختلفة ثم تحليل الأطياف بغية التعرف على العناصر التي تحتويها العينة. تضمن البرنامج العلمي للدورة 32 ساعة من المحاضرات النظرية والمداخلات العامة. وقد تناولت الدورة بشكل تفصيلي المحاور التالية:

- 1 - التحليل بالتنشيط النيتروني.
- 2 - تقنيات وتطبيقات التحليل بالتنشيط النيتروني.
- 3 - مفاعلات الأبحاث - مفاعل أبحاث تاجوراء والمنظومة الحرجة.
- 4 - الوقاية الإشعاعية في المفاعلات.
- 5 - آلية ضمان الجودة في معمل التحليل بالتنشيط النيتروني.
- 6 - قياس الفيض النيتروني والثابت النيترونية.
- 7 - تقدير الأخطاء في التحليل بالتنشيط النيتروني.
- 8 - طرق أخذ وتحضير العينات المدروسة والعيارية وتحضير الكواشف.
- 9 - معايرة الكواشف (طاقة، كفاءة).
- 10 - التشعيع القصير والمتوسط والمتكرر للعينات.
- 11 - حلقات نقاش وتقديم عروض لبعض المواضيع التي تهم المشاركين.

إفتتح الدورة الأستاذ الدكتور البهلول العباني عضو مجلس إدارة مؤسسة الطاقة الذرية الليبية والأستاذ الدكتور إبراهيم أبوقصة المشرف العلمي المحلي للدورة بالإضافة إلى الأستاذ الدكتور ضو سعد مصباح مشرف الهيئة العربية للطاقة الذرية على الدورة.

وتم الترحيب بالحاضرين والتتويه بجدوى الدورات التي تنظمها الهيئة العربية للطاقة الذرية لما لها من دور إيجابي في تأهيل الكوادر العربية العاملة في مجال الإستخدام السلمي للطاقة الذرية والدفع بخطط التنمية الإقتصادية والإجتماعية في المنطقة العربية. كما تم التعريف بموضوع الدورة وإستعراض برنامجها.

كما عبر الجميع على سعادتهم بإستئناف التعاون في تنفيذ الأنشطة بين الهيئة العربية للطاقة الذرية ومؤسسة الطاقة الذرية الليبية حيث تأتي هذه الدورة بعد انقطاع دام حوالي 14 سنة.

شارك في هذا النشاط 20 متدرباً من خريجي الهندسة النووية والفيزياء ومنهم في مجال إستخدامات مفاعلات الابحاث والقياسات الاشعاعية ومن المراكز البحثية ذات العلاقة في ليبيا.

إعداد: خالد زهران

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 الإشعاع 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 وإنجليزية | 1993 | 20 |
| 7 | الطب النووي تشخيصاً وعلاجاً | 289 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1994 | 15 |
| 8 | طرق إعداد تقرير 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 وإنجليزية | 1994 | 15 |
| 12 | إعداد برامج الرقابة البيئية | 618 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1995 | 20 |
| 13 | الإستعداد الطبي للحوادث الإشعاعية والنووية | 652 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1995 | 20 |
| 14 | تقييم 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 وإنجليزية | 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 شرياش | عربية | 1996 | 20 |
| 23 | معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة | 349 | الوكالة الدولية | عربية | 1996 | 15 |
| 24 | الهيئة في أربعة أعوام 1996 . 93 | 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 والعملية 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 "الأفاق والآليات والمشاكل" | 419 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2000 | 20 |
| 36 | الهيئة في أربعة أعوام 97 - 2000 | مجلدان | الهيئة العربية | عربية | 2000 | - |
| 37 | البرنامج النظري والعملية للتدريب في الإختبارات بالأمواج فوق الصوتية (المستوى الأول) | 278 | مجموعة مؤلفين | عربية | 2001 | 20 |
| 38 | البرنامج النظري والعملية للتدريب في الإختبارات بالسوائل النافذة والجسيمات المغناطيسية (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 | نقد |
| 41 | وقائع المؤتمر العربي السادس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 4 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2003 | نقد |
| 42 | وقائع المؤتمر العربي السابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 3 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2004 | نقد |
| 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 الرزاق | إنجليزية | 2008 | 10 |
| 47 | المفاعلات البحثية : أنواعها واستخداماتها | 88 | (مترجم) م. نهلة نصر | عربية | 2008 | 10 |
| 48 | إستخدام التقنيات النووية والذرية في التحليل العنصري والنظائري | 176 | مجموعة مؤلفين | عربية | 2008 | 20 |
| 49 | الهيئة العربية للطاقة الذرية في ثماني سنوات 2001 . 2008 | 174 | الهيئة العربية | عربية | 2008 | - |
| 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 اللآتلافية وعلم المواد . المستوى الأول | 178 | أ. د. حسن إبراهيم شعبان أ. د. جمال محمد عاشور الدرويش | عربية | 2013 | 20 |
| 58 | البرنامج النظري والعملية في الإختبارات اللآتلافية بالتيارات الدوامية - 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 ادناه وإرفاق شيك باسم 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: 840-3-4173-90-100-404 // IBAN: TN 59 1040 4100 9041 7338 4007

BIC: STBKNTXXXX

دعوة للعلماء والإختصاصيين العرب

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

- 1 - تكون المقالات موجهة لزيادة تعريف أبناء الوطن العربي بأساسيات العلوم والتقنيات النووية واستخداماتها في مختلف المجالات التطبيقية .
- 2 - يكتب ملخص باللغة الإنجليزية السليمة في بداية المقالة على ألا يتجاوز عدد كلماته 200 كلمة، وتضاف قائمة بالمراجع في نهاية المقالة على ألا تزيد على 5 مراجع .
- 3 - 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 - مراعاة تجنب التفاصيل العلمية الدقيقة أو الإستنتاجات الرياضية المعقدة التي تفوق مستوى القارئ غير المتخصص باعتباره القارئ المفضل لنشرة الذرة والتنمية .
- 5 - يجب أن تكون الموضوعات المطروحة لم تسبق معالجتها بشكل مشابه في الأعداد السابقة وملائمة لأغراض النشرة ومتوافقة مع سياسة النشر بها ولا تتضمن أية إشارات سياسية أو خصوصيات أمنية لأي من الدول العربية.
- 6 - يشترط في المقالات المترجمة أن تكون مرفقة بالأصل الذي ترجمت منه، علماً بأنه عند نشر المقالات المترجمة في نشرتنا يشار إلى اسم صاحب المؤلف الأصلي بالإضافة إلى ذكر اسم الوثيقة المنشور فيها سابقاً مع تحديد العدد وتاريخ النشر .
- 7 - يمكن للسادة المؤلفين أو المترجمين إرسال استفساراتهم بشأن المواضيع التي يرغبون في تقديمها للنشرة للحصول على رأي لجنة التحرير قبل إرسالها للنشر .

