ملف العـدد :

التقنيات النووية لمواجهة التغيرات المناخية والتخفيف من حدتها

أ.د. مجدى عبدالله حامد

أستاذ متفرغ بهيئة الطاقة الذرية

الملخص:

إن تغير المناخ أحد التحديات البيئية الجسيمة التى تؤثر فى الإنسانية فى الوقت الحالى، ومن بين هذه التأثيرات حدّة الارتفاع العالمى فى مُعدلات نُدرة المياه ونقص الأغذية، وفقدان التنوع البيولوجى وزيادة وتيرة الكوارث الطبيعية الناجمة عن تغير المناخ، ويساهم ارتفاع درجات الحرارة غير المُعتاد في الشتاء والربيع والطقس الذي لا يمكن التنبؤ به وفصول الأمطار القصيرة للغاية فى نُدرة المياه في العديد من المناطق، ويؤثّر ذلك بدوره تأثيراً كبيراً فى النُظُم الزراعية، والسلاسل الغذائية الدولية لاسيما مع صغار المزارعين ومُربّى الماشية، وتؤدى التغيرات المناخية إلى ارتفاع خطير فى مستوى سطح البحر وإرباك للدورة المائية مما يؤدّى إلى زيادة حالات الأحوال الجوية القاسية، وتُعدُّ زيادة الانتاج الزراعي والإنتاجية بالإضافة إلى تكيف المحاصيل مع التغيرات التي يشهدها المناخ أموراً حاسمة لضمان الأمن الغذائى .

وتُمثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية المحفل الحكومى الدولى الأهم في العالم للتعاون العلمى والتقنى في المجال النووى، حيث تُساعد الدول الأعضاء فى مكافحة التغيّر المناخى على جبهات مُتعدّدة منها التخفيف من حدة إنتاج وإفراز غازات الدفيئة ورصد آثارها السلبية والتكيّف معها .

ونجد أن التعامل مع آثار التغيرات المناخية ليس مُشكلة بلد واحد وإنما مُشكلة كل الكوكب ، مما جعل الوكالة الدولية للطاقة الذرية تتجه إلى دعم الدول الأعضاء فى تعزيز فهم كيفية إستطاعة العلوم والتقنيات النووية أن تواجه تأثيرات التغيرات المناخية ، حيث تستطيع التقنيات النووية والنظائرية أن تساعدنا في فهم العالم الذي

نعيش فيه بشكل أفضل، ومن الممكن أن تؤدي البيانات التي نجمعها باستخدام هــذه التقنيات إلى تحسين عملية صنع سياسات مسنودة علمياً بما في ذلك ما يتصل بتغيــر المناخ، وبوسعنا أن ندرس كلاً من الأنظمة البرية والمائية بالاستعانة بأساليب نوويــة مختلفة لتقييم التأثيرات المترتبة عن تغير المناخ على البيئة.

Abstract:

Climate change is one of the major environmental challenges affecting humanity at the present time. Among of these effects are the severity of the global rise in water scarcity and food shortage rates, the loss of biological diversity and the increase in the frequency of natural disasters caused by climate change. The unusual high temperatures in winter and spring contribute unpredictable weather and the very short rainy seasons lead to water scarcity in many regions, which in turn greatly affect agricultural systems and international food chains, especially with small farmers and livestock keepers. Climate changes lead to dangerous rise in sea levels and disruption of the water cycle, which leads to an increase in extreme weather conditions. Increasing agricultural production and productivity, as well as adapting crops to changes in the climate, are crucial to ensuring food and nutritional security.

The IAEA represents the world's most important intergovernmental forum for scientific and technical cooperation in the nuclear field. It helps member states to combat climate change on multiple fronts, including mitigating the production and secretion of greenhouse gases, and monitoring and adapting to their negative effects.

المقدمة

لقد كانت مستويات الغازات الدفيئة في الغلاف الجوى مُتقلّبة على مدى ملــيــارات السنين وذلك بسبب الأنشطة المدارية والشمسية والبركانية الطبيعية ، ومنــذ أواســط القرن الثامن عشر وبدأ عصر النهضة الصناعية زادت العوامل البشرية المنشأ أكثــر فأكثر من تركيز ثانى أكسيد الكربون (CO_2) في الغلاف الجوى للكرة الأرضية مــن ٢٧٨ جزءاً في المليون تقريباً إلى أكثر من ٤٠٠ جزء في المليون اعتباراً من عــام

٢٠١٦ وذلك فقاً لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ ، هذا بالإضافة إلى زيادات كبيرة في تركيز غازات دفيئة أخرى منها غاز الميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O).

ونجد أن التعامل مع آثار التغيرات المناخية ليس مُشكلة بلد واحد وإنما مُشكلة كل الكوكب ، مما جعل الوكالة الدولية للطاقة الذرية تتجه إلى دعم الدول الأعضاء في تعزيز فهم كيفية إستطاعة العلوم والتقنيات النووية أن تواجه تأثيرات التغيرات المناخية ، حيث تستطيع التقنيات النووية والنظائرية أن تساعدنا في فهم العالم الذي نعيش فيه بشكل أفضل، ومن الممكن أن تؤدي البيانات التي نجمعها باستخدام هذه التقنيات إلى تحسين عملية صنع سياسات مسنودة علمياً بما في ذلك ما يتصل بتغير المناخ، وبوسعنا أن ندرس كلاً من الأنظمة البرية والمائية بالاستعانة بأساليب نووية مختلفة لتقييم التأثيرات المترتبة عن تغير المناخ على البيئة.

ولمساعدة المجتمعات والدول على التكيف مع التغيرات المناخية تدعم الوكالة أنشطة فى مجال استيراد أنواع جديدة من النباتات مقاومة للجفاف والحرارة ، والتصرّف في التربة والمحاصيل ، وإنتاج الثروة الحيوانية ومكافحة الآفات والحشرات الناقلة للأمراض ، وذلك مثل استفادة السودان من العلوم والتقنيات النووية ومن المساعدة التي تقدّمها الوكالة لأكثر من ٣٥ مليون شخص حتى يواجهوا تغير المناخ .

ولإيجاد حلول طويلة الأمد لتداعيات تغيُّر المناخ تستخدم الوكالة مجموعة متنوعة من التقنيات النظائرية لتحديد ورصد المخاطر والتهديدات المرتبطة بانبعاثات غازات الدفيئة ، وتتقاسم بعد ذلك البيانات مع الدول الأعضاء بهدف تقديم المُساعدة على مواصلة البحوث وصياغة سياسات مناخية مُستدامة . فمثلاً تعاونت كوستاريكا مع الوكالة على قياس كميات احتجاز الكربون ورصد غازات الدفيئة المُنبعثة من القطاع الزراعى وقطاع الألبان ، وتُسهّل البيانات التي يحصل عليها علماء كوستاريكا من أجهزة تحليل النظائر المُستقرة والتى تُساعد على قياس كميات انبعاثات الكربون الجهود الرامية إلى جعل الزراعة تتخلص من الكربون .

التخفيف من حدةّ تغيُّر المناخ

إن التخفيف من حدة تغير المناخ هو الهدف الطويل الأمد الذي يحتاج إلى نُـــهُـــج وتكنولوجيا ستُقلّص من انبعاثات غازات الدفيئة، وتوفّر الوكالة الدعم للدول الأعضـــاء لتقييم تطور نُظُم الطاقة لديها وتُساعدها على دراسة الكيفية التي تستطيع بها الطاقـــة النووية أن تُسهم في توليد الطاقة وتُخفف من حدة إنبعاثات غازات الدفيئة ، ويوضـــح الشكل رقم (١) كيفية مُساعدة الوكالة الدول على استخدام العلوم والتكنولوجيا النووية في مكافحة تغيُّر المناخ .

شكل رقم (١)

كيفية مُساعدة الوكالة البلدان على استخدام

العلوم والتكنولوجياالنووية في مكافحة تغيُّر المناخ

الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة فى الزراعة بمساعدة التقنيات النووية

يزداد استخدام المزارعين للوسائل الزراعية المستدامة بغرض تعزيز الإنتاجية والتقليل من انبعاثات غازات الدفيئة فى الوقت ذاته ، وفى سلسلة من مشاريع البحث التي نسقتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ، يجري التأكد من فعالية الوسائل الزراعية المُراعية للبيئة من خلال تقنيات النظائر المستقرة .

وعادة ما تنطوى الزراعة ولا سيما العمليات التجارية وعادة الواسعة النطاق، على الزراعة الأحادية النوع إلى جانب استخدام كميات هائلة من الأسمدة الكيميائية وغالبا ما يكون ذلك على حساب النظم البيئية ، والزراعة الأحادية النوع تتمثل فى زراعة نفس المحصول فى نفس القطعة من الأرض عاما بعد عام، وذلك ما يؤدى إلى انخفاض خصوبة التربة، ويعوض المزارعون هذا الانخفاض فى خصوبة التربة باستخدام كميات زائدة من الأسمدة الكيميائية، وذلك ما يساهم فى تغيُّر المناخ من خلال إفرازها ٢,١ مليون طن من أكسيد النيتروز سنويًا على مستوى العالم، وأكسيد النيتروز غاز دفيئة أقوى من ثاني أكسيد الكربون بـ ٢٦٠ ضعف، وتنطوى الممارسات الزراعية المُستدامة الكامنة فى صميم مشاريع البحث على حلول فعالة من حيث التكلفة وترمى إلى تعزيز الإنتاجية وتكافح فى الوقت ذاته تغيّرُ المناخ .

النظم الزراعية المتكاملة تساهم فى مكافحة تغيُّر المناخ وتعزز إنتاج المحاصيل

تُعتبر النظم المتكاملة التي تجمع بين المحاصيل والثروة الحيوانية ممارسة زراعية مُستدامة تدعمها التقنيات النووية فى إطار مشروع بحثي منسق تشارك فيه الأرجنتني وإندونيسيا وأوروجواي وأوغندا والبرازيل وكينيا والهند، وترتكز هذه الممارسات على مفهوم بسيط حيث يُمكن تحقيق أعلى مقدار ممكن من غلات المحاصيل بإعادة تدوير المُغذيات الموجودة فى السماد الحيوانى ومخلفات المحاصيل ، ويحد ذلك من الحاجة

إلى الأسمدة الكيميائية التي تنبعث منها كميات كبيرة من غازات الدفيئة، الأمر الذى يُساهم فى تغيّر المناخ، وفى ظل النظام المتكامل الذى يجمع بين المحاصيل والثروة الحيوانية ، يُمكن للماشية إما أن ترعى على المحاصيل الحقلية مباشرة أو أن تتغذى بالمحاصيل بعد الحصاد ، وحينئذ يجمع المزارعون السماد الحيواني من الماشية ويستخدمونه كسماد ، ومن ثم إعادة الكثير من المغذيات إلى التربة .

حيث يتبع المزارعون فى البرازيل مُمارسات مُتكاملة تجمع بين المحاصيل والثروة الحيوانية بُغية حرث الأرض على نحو أنجح ، ونتيجة لهذا الجهد المُشتمل على النظم المتكاملة التى تجمع بين المحاصيل والثروة الحيوانية انخفضت انبعاثات غازات الدفيئة من البول والروث بنسبة ٨٩%، وأيضاً قد تمكنت الأرجنتين من زراعة المحاصيل الأكثر مقاومة لآثار تغيُّر المناخ، وذلك من خلال تحسين الأراضى الزراعية من خلال تناوب المحاصيل مما أدى إلى ارتفاع محتوى الكربون العضوى فى التربة بنسبة ٥٠%، مما عزز قدرة نظام زراعة المحاصيل على التكيف مع التغُّيرات المناخية.

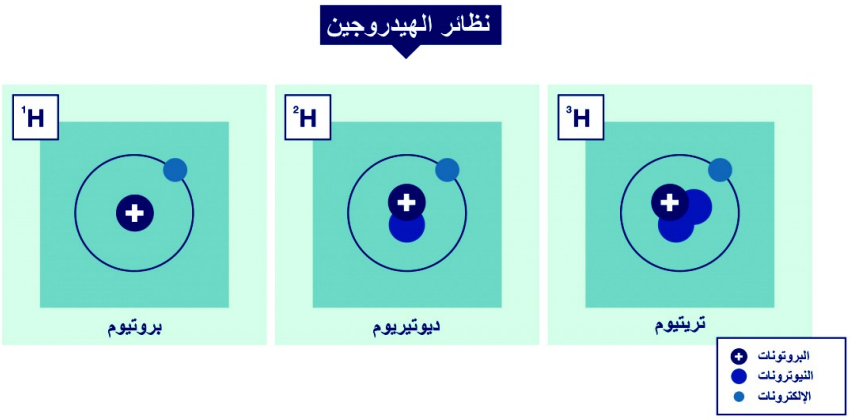
التقنيات نووية و النظائر:

تحتوي ذرات كل عنصر كيميائي على عدد مُميز من البروتونات والنيوترونات والإلكترونات ، وذرات العنصر الواحد لها نفس عدد البروتونات ولكن يختلف عدد النيوترونات فيها ، وهى نظائر تشترك في نفس الخصائص الكيميائية تقريباً ولكنها تختلف في الكتلة والخصائص الفيزيائية ، وهناك نظائر مُستقرة لا ينبعث منها الإشعاع ونظائر مُشعة غير مُستقرة .

وتُستخدم مُختلفة لقياس كميات النظائر ونسبها ، وتتبُع منشأها وتاريخها ومصادرها وتفاعلاتها في البيئة ، ومن خلال هذه القياسات يمكن فهم أفضل لعمل الأنظمة البيئية المختلفة ، وشكل رقم (٢) يوضح تركيب نظائر الهيدروجين :

شكل رقم (٢)

التركيب النظائرى لذرة الهيدروجين



" المصدر الوكالة الدولية للطاقة الذرية"

التقنيات النووية و الطفرات:

كما هو الحال مع أى كائن حى ، تستمر النباتات في التحور بمرور الوقت للتكيف مع البيئة والضغوط الخارجية ومع ذلك قد يستغرق هذا المسار الطبيعى ملايين السنين ، ولكن باستخدام التكنولوجيا النووية يمكن تسريع هذا المسار بشكل فعال للغاية ، من خلال تعريض البذور أو الأنسجة النباتية للإشعاع مثل أشعة جاما وذلك لتسريع العملية الطبيعية للطفرة ، كما تشكل أمراض النبات تهديداً رئيسياً للأمن الغذائي حيث تُقدر الخسائر العالمية فى آفات ما قبل الحصاد بأكثر من ١٠% ، و تُظهر الأمثلة التاريخية أن الآفات يمكن أن تضرب بسرعة وتُهلك المحاصيل الضعيفة فى غضون أشهر ، مع عواقب مُدمرة على السكان المحليين وتجلى ذلك فى المجاعة الأيرلندية الكبرى (مجاعة البطاطس الإيرلندية) والتى حدثت فى أربعينيات القرن التاسع عشر ،وسببت وفاةَ

مليون إنسان وهجرة مليون آخر من أيرلندا فانخفضت نسبة السكان بحوالى ٢٠%-٢٥% في الجزيرة .

ويدعم المركز المشترك بين منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) والوكالة الدولية للطاقة الذرية الاستخدام الآمن والمناسب للتقنيات النووية ذات الصلة في الأغذية والزراعة ، بهدف المساهمة في الأمن الغذائى العالمى والتنمية الزراعية المستدامة فى جميع أنحاء العالم ، وذلك من خلال الدعم السنوى والتنسيق لأكثر من ٢٥ مشروعًا بحثيًا منسقًا تضم حوالي ٤٠٠ مؤسسة بحثية ومحطة تجريبية على مستوى العالم ؛ وبناء القدرات ونقل التكنولوجيا إلى أكثر من ٢٠٠ مشروع تعاون تقنى وطنى وأقليمى .

وباستخدام التقنيات النووية تم تطوير وإطلاق أكثر من ٣٠٠٠ نوع نباتى عالمياً باستخدام تقنيات الاستيراد بالطفرات النباتية ، وستستمر هذه الأصناف الطافرة فى لعب دور رئيسى في تلبية الطلبات الغذائية العالمية حيث ينمو سكان العالم بسرعة وتصبح الظروف البيئية أكثر صعوبة ويمكنهم أيضًا المساعدة فى تجنب المجاعة ، وهى مشكلة عالمية رئيسية .

والتكاثر الطفرى للنبات هو عملية تعريض بذور النباتات أو قصاصات أو أوراق النبات المُمزقة للإشعاع مثل أشعة جاما ، ثم زراعة البذور أو زراعة المادة المُشعة فى وسط تجذير مُعقم ، مما ينتج عنه نبتة صغيرة ثم يتم مُضاعفة النباتات الفردية وفحص سماتها حيث يُستخدم التكاثر بمُساعدة الواسمات الجزيئية ، والذى يشار إليه غالبًا باسم الانتقاء بمُساعدة الواسمات وذلك لتسريع اختيار النباتات ذات السمات المرغوبة والتى تحملها الجينات ذات الأهمية ، ولا ينطوى الاستيلاد بالطفرات النباتية على تعديل الجينات ، بل يستخدم الموارد الوراثية الخاصة بالنبات ويحاكى العملية الطبيعية للطفرة التلقائية ، وباستخدام الإشعاع يمكن للعلماء تقصير الوقت الذى يستغرقه تكاثر أنواع نباتية جديدة ومُحسنة بشكل كبير،وفيما يلي عرض لاهم النماذج لاستخدامها في القارة الآسيوية :

استخدام تقنية النظائر لمساعدة مزارعى كمبوديا :

حيث تمثل الزراعة ٢٧٪ من اقتصاد كمبوديا وتوفر سُبل عيش ٦٠٪ من السكان ، فإن كمبوديا من بين عدد متزايد من الدول التي تستخدم التقنيات النووية لزيادة غلات المحاصيل وتحسين استخدام الأسمدة ، وتقييم أنواع مختلفة من الأرز والحبوب والخضروات من حيث كفاءتها فى الاستخدام الأفضل للأسمدة ، ففى بحث تدعمه الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأغذية والزراعة أوصى العلماء باستخدام التقنيات النووية لقياس الأسمدة وامتصاص المياه من الأرز والمحاصيل الأخرى .

ونجد أن النيتروجين يلعب دوراً مهماً في نمو النبات والتمثيل الضوئى ، وهى العملية التي تقوم من خلالها النباتات بتحويل الطاقة من ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية ، وغالباً ما يُضاف النيتروجين إلى التربة فى شكل سماد باستخدام الأسمدة الموصوفة بنظائر النيتروجين ١٥ المستقرة ، حيث تحتوى ذرته على نيوترون إضافى مقارنة بالنيتروجين العادى ، وأمكن للعلماء تتبُع المسار وتحديد مدى فعالية امتصاص المحاصيل للأسمدة حيث ساعدت هذه التقنية فى تحديد الكمية المُثلى من الأسمدة التى يجب استخدامها ، لنجد أن عمل المزارعين الكمبوديين هو شهادة على كيفية مُساهمة العلوم النووية فى التنمية الزراعية .

بنجلاديش تضاعف إنتاج الأرز ثلاث مرات بمساعدة التقنيات النووية

من المتوقع أن يصل عدد سُكان بنجلاديش إلى ١٩٥ مليون نسمة بحلول عام ٢٠٣٠ وهذا يُشكل ضغطاً هائلاً على إنتاج الأرز ، حيث يتم إنتاج واستهلاك أكثر من ٣٦ مليون طن كل عام مما يجعلها رابع أكبر مُنتج ومُستهلك للأرز فى العالم ، وفى هذه الأيام أصبحت تُصدر الأرز بانتظام فى منطقتها.

ومن خلال الوكالة الدولية للطاقة الذرية وبرنامجها للتعاون التقنى ، وباستخدام الاستيلاد الطفرى للنباتات تم تطوير ثلاثة عشر نوعًا جديداً من الأرز ، بالإضافة إلى أكثر من ٤٠ نوعًا نباتيًا جديداً تم تطويرها باستخدام التقنيات النووية ، وتشمل العدس والحمص والفول السودانىء وبذور الخردل وبذور السمسم وفول الصويا والجوت

والطماطم والقمح ، حيث أثبت تشعيع البذور أنه طريقة سهلة الاستخدام ومرنة وغير خطرة ومُنخفضة التكلفة لتطوير محاصيل أفضل ، وتُساعد هذه الأصناف الجديدة المُزارعين على التعامل مع المشاكل المُزمنة مثل نقص المياه والجفاف والتربة المالحة وتدهور التربة .

التقنيات النووية و زيادة إنتاج الأرز فى شمال ماليزيا:

الأرز هو أحد أهم الأغذية الأساسية في ماليزيا ومصدر دخل لآلاف المزارعين ، وفرضَ التنافس على المياه والظواهر المناخية الشديدة وعدم كفاية المغذِّيات والأسمدة وسلالات الأرز التقليدية ذات الغلّة الأقل ، أدى إلى تطويرَ سلالات وممارسات زراعية جديدة ، وتُساعد الوكالة الدولية للطاقة الذرية من خلال برنامجها للتعاون التقنى بالتعاون مع الفاو الدول في جميع أنحاء العالم بما في ذلك ماليزيا على تكييف ممارساتها الزراعية مع تغيُّر المناخ ، حيث طور الباحثون سُلالة جديدة عبر تشعيع البذور وسُميت سُلالة الأرز الجديدة NMR152 بزيادة إنتاجية بلغت ٤٠% .

كذلك يحصل المزارعون أيضاً على مادة عضوية لحثّ نمو النبات ، ومادة مُحفّزة للنبات تُعرف باسم مادة عديد السكاريد يتم إنتاجها بالتشعيع فى ماليزيا ، وهذا المُنتج مُشتقّ من مادة كيتين وهذه المادة موجودة في المخلفات المنزلية والزراعية مثل قشور جراد البحر والرُبيان والسلطعون والكركند ، ويتم تحويل مادة كيتين إلى كيتوزان باستخدام عملية كيميائية ، ثم انحلالها إلى مادة عديد السكاريد باستخدام التشعيع بأشعة جاما ، ويُقلِّل استخدامها كمادة لحثّ نمو النبات دون الحاجة إلى مبيدات الآفات والأسمدة بنحو ٣٠% ، بالإضافة إلى استخدام التقنيات النظيرية لتحديد كمية السماد المطلوبة وتعزيز استخدامها الأمثل وذلك باستخدام النظير النتروجين١٥، حيث يُضيف المزارعون إلى التربة الكمية الضرورية منه مما قلل استخدام الأسمدة بنسبة ٢٠% .

التقنيات النووية تتوسع إندونيسيا فى إنتاج إحدى سُلالات الأرز المطورة

ولمواجهة التحدِّي الذي يفرضه تغيُّر المناخ ومضاعفة إنتاج محصول الأرز ، طوَّر علماء في الوكالة الوطنية للطاقة النووية في إندونيسيا بدعم من الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الفاو ٢٢ سُلالة أرز أشهرهم سُلالة Inpari Sidenuk وذلك باستخدام الإشعاع ، وهي العملية المُستخدمة كثيراً لتوليد طفرات ذات سمات جديدة ومفيدة في المحاصيل مما يساعد على زيادة إمدادات الغذاء وبالتالى تعزيز الأمن الغذائى ، حيث يُستخدم الاستيلاد الطفرى التركيبة الوراثية للنبات نفسه ، فى محاكاة لعملية الطفر التلقائى الطبيعية ، وتنتج عن عملية الطفر تغيُّرات جينية عشوائية مما يُسفر عن نباتات طافرة ذات سمات جديدة ومفيدة .

ويستطيع المزارعون فى إندونيسيا الآن زراعة الأرز ثلاث مرات في السنة الواحدة مرة فى الموسم الجاف ومرتين في موسم الأمطار ، وقد أدى إدخال السُلالة Inpari Sidenukإلى زيادة مُعدلات الحصاد السابقة عبر تحقيق ٩ أطنان للهكتار الواحد، وحيث أن النبات أقصر بكثير فإن ذلك يجعله أقلّ عُرضة لخطر الرياح القوية التي كانت تتلف قرابة عُشر المحصول.

باستخدام التشعيع زيادة إنتاجية فول الصويا فى إندونيسيا

تعتبر منتجات فول الصويا مثل التوفو والتمبيه من العناصر الأساسية في المطبخ الإندونيسى ، ومصادر بروتين مهمة لكثير من السكان ، حيث يتم استهلاك أكثر من مليونى طن من فول الصويا فى إندونيسيا كل عام ، ولكن يتم إنتاج حوالي ٨٠٠ ألف طن فقط محلياً ، ونظراً لأن إنتاج فول الصويا الوطنى غير قادر على تلبية حتى نصف الطلب ، تتطلع الحكومة إلى تغييره باستخدام أنواع جديدة من فول الصويا تم تطويرها باستخدام التشعيع ، ولتقليص واردات فول الصويا وجعل إندونيسيا مُكتفية ذاتياً استخدمت الحكومة أصناف فول صويا جديدة طورتها الوكالة الأندونيسية للطاقة النووية (باتان) بدعم من الوكالة الدولية للطاقة الذرية وبالأشتراك مع منظمة الفاو ، وأشهرها Mutiara 1 حيث يتمتع بالخصائص المرغوبة مثل الغلة العالية ، وزيادة

التحمل لحموضة التربة ، وحجم البذور الأكبر، والمحتوى العالى من البروتين، والبذور الكبيرة التي تسمح بإنتاجية أعلى، بالإضافة إلى المذاق المُحسن والنُضج المُبكر.

وتعمل الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأغذية والزراعة مع الوكالة الوطنية للطاقة النووية (باتان) لإنشاء مرفقين للتخزين البارد في جاكرتا لتخزين البذور المُضاعفة لأصناف فول الصويا الجديدة والمُحسّنة قبل الزراعة الموسمية، مما يُتيح المزيد من البذور للمزارعين على مدار العام، حيث يزدهر اثنان من أحدث أنواع فول الصويا، وهما Kemuning 1 وKemuning 2 في التربة الجافة والحمضية، حيث تُنتج ٣ أطنان للهكتار مقابل ٢,٢ طن للهكتار من الصنف المحلى.

التقنيات النووية و إنتاج أصناف جديدة من الذرة الرفيعة فى إندونيسيا

فى إندونيسيا يقوم المزارعون أصحاب الحيازات الصغيرة بزراعة أصناف الذرة الرفيعة التقليدية ولكنهم لم يعتبروها محصولًا رئيسيًا، ولكن ومع إدخال أصناف متحولة جديدة تم تطويرها خصيصاً للواقع البيئى الإندونيسى أصبح لديها إمكانات كبيرة لتكون مساهماً أكثر أهمية في القطاع الزراعى، وتنتج الذرة الرفيعة حبوباً غنية بالألياف والحديد والبروتين ولكنها منخفضة الدهون والكوليسترول، بالإضافة إلى استخدام جميع أجزائه، فالحبوب مثلاً للاستهلاك البشرى ويمكن معالجتها إلى نشا، ويمكن أن تتحول السُكريات الموجودة في سيقان الذرة الرفيعة الحلوة إلى سكر سائل أو شراب، كما يمكن مُعالجة ألياف القصبة إلى لُب أو ورق أو مواد بناء، وتُصبح نفايات الساق وأوراقها علفاً للدواجن والمجترات الصغيرة .

وبتعريض بذور الذرة الرفيعة للتشعيع من خلال عملية تحريض الطفرات وتطوير مجموعة متحولة وفحص واختيار أفضل النباتات الطافرة التى طورها الباحثون، حيث أطلقوا نوعين جديدين من الذرة الطافرة عالية الغلة ومثالية للزراعة فى الموسم الجاف Samurai 2 و Pahat اللذان لا يتحملان الجفاف فحسب بل ينضُجان مُبكراً، وهذا يعني أنه بالإضافة إلى توفير الغذاء والأعلاف والألياف، فإن لديهم إمكانات كبيرة لزيادة إنتاجية الأراضي الهامشية، وتحسين خصوبة التربة، وتحفيز التنمية الزراعية المُستدامة وتعزيز النمو الاقتصادي، إن هذه الأصناف الجديدة تُبشر

بالخير أيضاً لدعم جهود إندونيسيا في محاولة لضمان الأمن الغذائى ، فنجد أن Samurai 2 ينتج ٨,٥ طن من الذرة الرفيعة لكل هكتار بزيادة ٣٠% عن الأصناف التقليدية ، على حين نجد أن Pahat يتم معالجة الدقيق المُستخدم منه في مُنتجات مثل البسكويت والكُسكُس المُتاح الآن فى الأسواق المحلية .

التقنيات النووية وتعزيز إنتاجية نباتات الشاى فى سرى لانكا

تُعرف سرى لانكا بصناعة الشاى ، فشاى سيلان الذي أُدرِج في القرن التاسع عشر، هو اليوم صناعة تبلغ مليارات الدولارات ولقد وضعت الدولة خططاً لتوسيع إنتاج الشاى وتحسين جودته ، ولكنه يواجه تحديات كبيرة جراء تغير المناخ وارتفاع المنافسة في السوق العالمية ، ويتطلّع العلماء في سرى لانكا من خلال برنامج الوكالة الدولية للطاقة الذرية للتعاون التقنى والتعاون مع الفاو إلى تقنية نووية للتغلب على هذه العقبات بواسطة تعزيز إنتاجية نباتات الشاى من خلال زيادة التنوع الوراثى .

وبالنسبة لسرى لانكا فإن شدة أثر تغير المناخ في الشاى يمكن أن يؤثّر تأثيراً حاسماً في اقتصادها ، فالشاي هو مصدر الدخل الرئيسى للعملة الأجنبية ، حيث يعمل ما يقارب من ١٠% من سكان البلد في صناعة الشاى بشكل مباشر أو غير مباشر، ونجد أن ما يصل إلى ٧٠% من إنتاج سرى لانكا من الشاى يأتى من أصحاب الحيازات الصغيرة، وهم أقل قدرة على التغلب على الآثار التى يجلبها تغير المناخ .

والتقنية النووية هي طريقة تشعيع تنطوى على مصدر مُشع وخلايا نباتية، والجديد فى هذه الطريقة هو تكييفها لتطبيقها على المحاصيل التي تعيش أكثر من عامين أى النباتات المُعمرة ، والجديد أيضاً هو استخدام التشعيع فى زراعة نباتات جديدة من القصاصات وحث التنوع الوراثى في المحاصيل المُعمرة وفي الأشجار باستخدام التطفير الأحادى الخلايا وتجديدها، وتستخدم هذه التقنية خلايا فردية من نبتات الشاى التي لا تُستخدم عادة في الاستنساخ، مثل قُصاصات الأوراق وتُعزَل هذه الخلايا في وسط سائل مُعلق ومُشع ويُحفز الإشعاع الطفرات الوراثية، وعندما يتم "استزراع" هذه الخلايا المُفردة – التي تزرع وتتكاثر– في أنسجة جماعية فإنها تكون موحدة وراثيا،

وسوف تُستخدم الطفرات المُستحثة فى زيادة إنتاج غلة الشاى وجودته وقدرته على الصمود للتخفيف من حدة آثار التغيرات المناخية .

ومن جانب آخر قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأغذية والزراعة بالعديد من المشروعات الهامة في القارة الآسيوية ومنها :

تطوير موز مقاوم للأمراض الفطرية الرئيسية:

ربما كان الموز الفاكهة المفضلة في العالم ، لكن المزارع في جميع أنحاء العالم تتعرض لتهديد متزايد من فطر جديد يقضي على نباتات الموز ويُهدد سُبل عيش المزارعين والصناعة ، وكان الفطر **Fusarium wilt Tropical Race 4 (TR4)** المحصور فى جنوب شرق آسيا منذ عقود ، وقد قدرت منظمة الأغذية والزراعة الضرر السنوى المباشر الذى يسببه هناك إلى حوالى ٤٠٠ مليون دولار باستثناء الآثار الاجتماعية والاقتصادية غير المُباشرة ، ومؤخراً تم رصد هذا الفطر لأول مرة في إفريقيا وأمريكا اللاتينية وأدى اندلاعه في كولومبيا إلى إعلان حالة طوارئ وطنية ، وعملت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) وباحثين من جميع أنحاء العالم لدعم تطوير أنواع جديدة من الموز تكون مقاومة للمرض ، وهناك بعض البلدان بما فى ذلك الفلبين فى مراحل متقدمة من تطوير أصناف الموز لديها باستخدام أشعة جاما .

وفى مشروع بحثى مُنسق بمشاركة ستة دول بينها الصين والفلبين يستخدم العلماء تقنيات فى المُختبر لزراعة الآلاف من نباتات الموز الصغيرة فى أنابيب زراعة مناسبة للطفرات باستخدام أشعة جاما أو الأشعة السينية ، حيث تعمل على تسريع العملية الطبيعية للطفرة فى النباتات وتخلق تنوعاً جينياً يمكن استخدامه بعد ذلك لإنتاج أنواع جديدة بما فى ذلك تلك ذات السمات المُفضلة ، وقد وجد ان استخدام التشعيع فى العديد من البلدان الآسيوية يشير إلى أن تطوير أصناف جديدة مقاومة لـ TR4 سيكون مُمكناً في المستقبل القريب فى أجزاء أخرى من العالم أيضاً .

استخدام التقنيات النووية لمكافحة التغير المناخي وتحسين غلات المحاصيل:

فى مشروع بحثي مُشترك بين الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ضم كلا من الأرجنتين، وإندونيسيا، وأوروجواى، والبرازيل، وكينيا، والهند بهدف زيادة غلات المحاصيل وتعزيز خصوبة التربة وجودتها على نحو مُراع للبيئة وفعال من حيث التكلفة ، حيث يرتكز على إمكانية زيادة غلات المحاصيل باتباع نظام إنتاج متكامل يجمع بين المحاصيل والثروة الحيوانية، ويعمل على إعادة تدوير المغذّيات الموجودة في السماد الحيوانى ومُخلّفات المحاصيل، ويحدّ ذلك من الحاجة إلى الأسمدة الاصطناعية التي ينبعث منها كميات كبيرة من غازات الدفيئة وهو ما يُسهم في تغيّر المناخ، حيث تُستخدم التقنيات النظيرية لقياس كمية الأسمدة في التربة.

وفي ظلّ تلك النُظُم المتكاملة يمكن للماشية إمّا أن ترعى على المحاصيل الحقلية مباشرة أو أن تُغذّى بالمحاصيل بعد الحصاد، وحينئذ يجمع المزارعون السماد الحيوانى من الماشية ويستخدمونه كسماد، ومن ثمَّ إعادة الكثير من المغذّيات إلى التربة، وتُثري هذه العملية التربة بالكربون وبالمغذّيات النباتية الأساسية الأخرى، مما يُقلّل بشكل كبير من الحاجة إلى الأسمدة الاصطناعية ، كما تقوم هذه المُغذّيات بتحسين بنية التربة مما يزيد من قدرتها على امتصاص المياه والحفاظ على المُغذّيات، وهو ما يؤدّي إلى زيادة غلات المحاصيل وفى نفس الوقت انخفاض انبعاثات غازات الدفيئة .

ولقياس أثر النُظُم المتكاملة التي تجمع بين المحاصيل والثروة الحيوانية، تم استخدام النظائر المستقرة التي لا تنبعث منها إشعاعات مثل النتروجين-١٥ والكربون -١٣ فى قطع أراض صغيرة ، وتعقُب وتحليل مدى كفاءة استهلاك المحاصيل للنتروجين، ومدى تراكم الكربون أو تخزينه فى التربة، ويتم ذلك بوضع كميات صغيرة من السماد الموسوم بالنتروجين-١٥ حول المحاصيل فى قطع أراض صغيرة، ويتم مُراقبة خلال فترة زمنية تمتد لعدة أشهر القدر الذي امتصته النباتات بالضبط من هذه النظائر حيث يُمكن تحديد الكمية الدقيقة للسماد الحيوانى و/أو سماد النتروجين الواجب استخدامها فى إطار مختلف، ويُستخدم الكربون-١٣ لتقييم جودة التربة، وعندما

تُخصّب التربة بوضع السماد الحيواني ومُخلّفات المحاصيل يزداد مُحتواها من الكربون العضوى، وبتعقب نظير الكربون-١٣ أمكن تحديد مصادر الكربون فى التربة ومن ثَـمّ حالة خصوبتها ، وهو أمر ضرورى لضمان التطبيق الأمثل للنظم المتكاملة التى تجمع بين المحاصيل والثروة الحيوانية.

استخدام التقنيات النووية لمكافحة ملوحة التربة

قال فيثاغورس ذات مرة إنّ الملح يولد من أنقى الآباء: الشمس والبحر ، ولـكـن على الرغم من نقاوته إلاَّ أنَّ وجوده بمعدَّلات كبيرة في التربة يمكن أن يؤثر على نمو النبات ويُسبِّب مشكلة أساسيَّة للمزارعين، الأمر الذى يجعل التربة قاحلة وبالتَّالى يُهدد الإنتاج الزراعى والأمن الغذائى، وتعمل الوكالة الدوليَّة للطاقة الذرية بالتعـاون مـع منظمة الفاو على رفع مستوى الوعى حول الطَّبقة العلويَّة الهشَّة من الأراضى الـتـي نعتمد عليها ، ونحن نفقد هذا المورد بسبب المُمارسات الزراعية السيئة وتغيُّر المناخ وتسلُّل مياه البحر وتسرُّب المياه من السدود ، حيث تُستخدم تقنيَّات النَّظائر فى العديد من الدول لدراسة مدى تدهور التُّربة وأسباب ذلك وتزويد مُتخذى القرار بالبـيـانـات الصحيحة لحماية التُّربة.

ووفقاً لتقرير الوكالة الدولية للطاقة الذرية يتأثر حوالى ٣٩٢ مليون هكتار وهو ما يُمثل حوالى خمس أجمالى الأراضى الزراعية فى العالم بملوحة التربة ، من بينها دول الشرق الأوسط وتحديداً الدُّول العربية فى آسيا تواجه نفس المشكلة ، ففى دول الخليج مثل قطر والإمارات العربية المتحدة والكويت والعراق والمملكة العربية السعودية تؤدِّى درجة الحرارة المُرتفعة لا سيَّما خلال فصل الصيف دوراً رئيسيًّا فى ملوحة التُّـربـة، وفى بلاد الشَّام مثل لبنان وسوريا والأردن نجد أن إدارة المياه هى أحـد الأسـبـاب الرئيسيَّة لملوحة التُّربة.

ولتجنُّب نقص الغذاء وتلبية الطلب المتزايد من عدد سكان العالم المتزايد ، ووفقـاً لمنظمة الفاو من المتوقع زيادة عدد سكان العالم إلى حوالى عشرة مليارات بحلول عام ٢٠٥٠ الأمر الذى يجب معه رفع الإنتاج الزراعى بنسبة ٦٠% على الصعيد العالمـى

وقد تصل النسبة إلى ١٠٠% فى بعض الدول النَّامية ، وتعمل الوكالة بالتعاون مع الفاو ومع المؤسسات فى ٦٠ دولة من الدول التى تفقد الأراضي بسبب الملوحة على تطوير المُمارسات الزراعية الذَّكيَّة مناخيًّا للتَّخفيف من ملوحة التربة والحفاظ على الأراضى الزِّراعية ، عبر استخدام مجموعة واسعة من تقنيات النظائر لزيادة الكفاءة فى استخدام المواد المُغذِّية والمياه في مواجهة ملوحة التربة المُتزايدة ، وتعزيز تثبيت النتروجين البيولوجي (N) من خلال التقاط النتروجين فى الغلاف الجوى (N2) والكربون (C) المُخزَّن فى التربة المتأثرة بالملح.

استخدام التقنيات النووية لتقييم وإدارة المياه السطحية

أصبح الأمن المائى وهو ما يعنى توافر المياه وجودتها وإدارتها وحمايتها وهى مسألة هامة بالنسبة للتنمية البشرية والاستدامة البيئية والاقتصادية ، لا سيما في ضوء النمو السكانى العالمى المتزايد ، وتواجه الوكالة الدولية للطاقة الذرية هذا التحدى من خلال منهجيات الهيدرولوجيا النظيرية المُستندة إلى العلوم ، ويُعدُّ الوصول إلى مياه الشرب المأمونة والموثوقة عاملاً رئيسياً في تلبية احتياجات السكان المتنامى عددهم والحفاظ على الصحة البشرية ، كما أنه يُعدُّ أمراً بالغ الأهمية فيما يتعلّق بالإنتاج المُستدام للأغذية والطاقة والصناعة وحماية البيئة ، وتُوفّر التقنيات النووية النظيرية معلومات أساسية عن مصادر المياه والأثر البشرى فى البيئة ، وتوسم المياه طبيعياً بـ"بصمات" نظيرية يُمكن استخدامها لتحديد مصادر المياه فوق سطح الأرض وتحته ، وعمر هذه المياه وحركتها وتفاعلاتها ، وتوفّر هذه المياه الأساس العلمى اللازم لإدارة الموارد المائية بشكل سليم .

وتُشكل الأنهار أقل من ١% من جميع المياه العذبة على سطح الكوكب ، ولكنها تُمثّل عاملاً مركزياً للبشرية من حيث الإمداد بالمياه والطاقة والنقل ، وتُعدُّ النظائر المستقرّة من المقتفيات القوية لدراسة تفاعلات المياه الجوفية ومياه الأنهار ، وتقييم مصادر وديناميات المُغذيات المائية ، وتحديد التوازن المائى لمُستجمعات المياه وتناول مسائل ديناميات الترسّب .

وفى إطار الدورة الهيدرولوجية العالمية تعمل الأنهار كأنابيب تجلب الأمطار والثلوج والجليد والمياه الجوفية إلى محيطات العالم ، حيث أن عوامل التلوث وبناء السدود والخزانات ومُمارسات الرى الزراعى المكثّف غيّرت بشكل كبير مُعظم أكبر الأنهار ومُستجمعات المياه فى العالم ، وأثرت هذه العوامل فى معدلات تصريف تدفقات المياه وموسميتها ، كما ساهمت فى تدهور جودة المياه وألحقت أضرارا بالموائل المائية الحساسة.

وباستخدام نظائر الأكسيجين والهيدروجين يُمكن تتبّع مصادر مياه الأنهار ، فى حين أن النيتروجين والكربون والنظائر الكبريتية وغيرها من البرامترات الجيوكيميائية ، تُقيّد ديناميات المُغذيات والرواسب فى أحواض البحيرات وتُساعد على نمذجتها ، ولتحسين فهمنا بشأن الأنهار استحدثت الوكالة الشبكة العالمية لاستخدام النظائر فى دراسة الأنهار.

استخدام التقنيات النووية لتقييم وإدارة المياه الجوفية فى المواقف الحرجة

في كل عام تؤدي الكوارث الطبيعية والتى من صُنع الإنسان وسوء الإدارة إلى قطع إمدادات المياه المأمونة عن الناس في أجزاء كثيرة من العالم ، وغالبًا ما تحدث تلك الكوارث بشكل مفاجئ وتؤثر على توفر مصادر المياه ، وتعتبر الفيضانات والانفجارات البركانية والجفاف والزلازل والصراعات والأوبئة والحرائق والحوادث مثل الانسكابات النفطية وتلك التى تنطوى على التخلص من النفايات ، من بين أكثر الكوارث شيوعًا التي تؤثر على الناس والبيئة ، ويؤدى تغير المناخ أيضاً إلى حدوث كوارث طبيعية بشكل مُتكرر ومكثف مما يتطلب تدابير إغاثة عاجلة ويصاحبه انخفاض في كمية ونوعية المياه السطحية ، لذلك تصبح المياه الجوفية مصدر المياه الأساسى وتعمل كعازل ضد تقلب المناخ عندما تكون مستويات المياه السطحية منخفضة.

والمياه الجوفية غير مرئية للعين وغالبًا ما تكون غير مفهومة أيضاً ، فما هى كمية المياه الجوفية المتوفرة ؟ من أين أتت وأين تذهب ؟ وما مدى استدامة هذا المورد المائى ؟ وما مدى تعرضها للتلوث ؟ حيث يصبح الحصول على معلومات

سريعة عن موارد المياه الجديدة خاصة موارد المياه الجوفية أمرًا حيويًا لضمان أمن الإمداد ، وهنا تتدخل التقنيات النووية لجعل الغير مرئى مرئياً حيث توفر إجابات سريعة وموثوقة لتلك الأسئلة .

وتُعتبر النظائر مثل نظائر النترات مُناسبة لتقييم جودة المياه وتتبُع مصادر التلوث ، كما يمكن الحصول على معلومات حول أصل المياه ومصيرها من نظائر جزىء الماء الأكسجين ١٨ والديوتيريم ، وهذه المعلومات ضرورية لتقديم المشورة للحكومات والمجتمعات بشأن تأمين مصادر المياه فى أوقات الأزمات ، وكذلك بشأن حماية مناطق تغذية المياه الجوفية الحرجة والمحافظة عليها ، وعلى سبيل المثال فى هندوراس حيث غالبًا ما يكون للجفاف تأثير شديد على توافر المياه السطحية ، تم استخدام التقنيات النظيرية لفهم مصادر المياه الجوفية بشكل أفضل ، من خلال تحديد مصدر ومعدل تجديد المياه الجوفية ، وقد مكنت هذه المعلومات سُلطات المياه المحلية من إعادة تقييم إستراتيجيتها الخاصة بإمداد المياه الجوفية ، وحماية مناطق التغذية وتحسين استراتيجيتها من أجل استخدام أكثر استدامة.

الخاتمة

تُشكل أزمة المناخ أكبر تهديد لبقائنا كنوع على سطح الكوكب ، فهى تُهدد حقوق الإنسان فى جميع أنحاء العالم ، فنجد أن درجات الحرارة العالمية فى ارتفاع مُستمر بسبب انبعاثات غازات الدفيئة الناشئة عن النشاط البشرى ، والتى يُسهم أرتفاعها إسهاما مباشرا فى حدوث الجفاف والفيضانات وارتفاع مستوى سطح البحر وموجات الحر والظواهر الجوية القصوى وفقدان التنوع البيولوجى وإنهيار النظم الإيكولوجية ، ويُهدد تغير المناخ الحياة البشرية إذ أصبح لا يؤثر فقط على حقوق الإنسان لعدد لا يُحصى من الأشخاص الأحياء فحسب بل إن آثاره ما برحت تزداد سوءاً على سوء ، واذا كان الإعلان العالمى لحقوق الإنسان يضمن لجميع البشر الحق فى نظام اجتماعى ودولى صحى سليم ، حيث يُهدد تغير المناخ هذا النظام وحقوق الجميع فيه ، فنجد أنه لا غنى عن التعاون والتضامن الدوليين لاتخاذ إجراءات جذرية لحماية البشرية

للتخفيف من حدة آثار تغير المناخ والتكيف معه .

ولهذا تُشير منظمة الصحة العالمية إلى أنه من المتوقع أن يتسبب ذلك فى وفاة ما يقرُب من ٢٥٠ ألف شخص سنوياً ما بين عامى ٢٠٣٠ و٢٠٥٠ بسبب سوء التغذية والملاريا والإسهال والإجهاد الحرارى ، كما تشير منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) إلى أن الأحوال الجوية شديدة الوطأة نتيجة التغيرات المناخية تؤدى إلى الجفاف والفيضانات وكوارث أخرى تحرم ملايين الناس فى جميع أنحاء العالم من سُبل عيشهم ، ويتضرر من ذلك بوجه خاص ما يقرب من ٧٨% من فقراء العالم أى حوالى ٨٠٠ مليون شخص يعيشون فى مناطق ريفية ويعتمد كثير منهم على الزراعة الحرجة وصيد الأسماك .

ووفقاً للبنك الدولى فإن لم تُتخذ إجراءات عاجلة فقد تُلقى آثار تغير المناخ ١٠٠ مليون شخص إضافى فى قبضة الفقر بحلول عام ٢٠٣٠ ، حيث يعيش حالياً أكثر من بليونى شخص فى بلدان تُعانى من إجهاد مائى شديد ، ويُتوقع أن يتأثر ضعف هذا العدد على وجه التقريب بحلول عام ٢٠٥٠ ، وتُقدر منظمة الأمم المتحدة للطفولة (اليونيسيف) أن طفلا واحداً من كل أربعة أطفال أى حوالى ٦٠٠ مليون طفل سيعيشون في مناطق تُعانى من إجهاد مائى بالغ الشدة بحلول عام ٢٠٤٠ .

وتوقعت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ فى تقريرها التقييمى الرابع ، أن يزداد عدد الأشخاص اللذين يلقون حتفهم ويعانون من المرض ويتعرضون للإصابة بسبب موجات الحر والفيضانات والعواصف والحرائق والجفاف ، وسلطت الهيئة الضوء على آثار تغير المناخ على الحق فى الحياه بما في ذلك ازدياد الجوع وسوء التغذية ، والآثار على نمو الطفل وتطوره والتغيرات في أمراض القلب والجهاز التنفسى والوفيات الناجمة عنها ، وفي تقريرها التقييمى الخامس أوضحت الهيئة كيف ستزداد مخاطر الوفيات ولا سيما في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى وجنوب آسيا بسبب سوء التغذية الناشئ عن انخفاض إنتاج الغذاء.

المراجع

- Center for Internal Displacement, (Geneva), 2019: Global Report on Internal Displacement 2019.
- Challenges and Opportunities for Crop Production in Dry and Saline Environments in ARASIA Member States (2018): IAEA-TECDOC-1841 ¦ 978-92-0-101918-9.
- Daisy Dune, "World population facing water stress could 'double' by 2050 as climate. warms", Carbon Brief, 2 June 2020 Hafsa Ahmed. facing-water-stress-could-double-by-2050-as-climate-warms Munia and others, "Future transboundary water stress and its drivers under climate https://agupubs. :. change: a global study", Earth's Future, vol. 8, No. 7 (2020) onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019EF00132
- FAO, Agriculture and Climate Change: Challenges and Opportunities at the Global. and Local Level - Collaboration on Climate-Smart Agriculture (Rome, 2019) www.fao.org/3/CA3204EN/ca3204en.pdf
- Kinealy, Christine (1994), This Great Calamity ،Gill & Macmillan ،ISBN 0-7171-4011-3
- Kinealy, Christine (1995), This Great Calamity: The Irish Famine 1845–52 ،Gill & Macmillan،ISBN 1-57098-034-9
- AEA Bulletin March/2018, Costa Rica paves the way for climate-smart agriculture.
- IAEA Bulletin March/2018, Fighting climate change: Rice variety developed with nuclear technhques expands in Indonesia.
- IAEA Bulletin September/2018, The IAEA and climate change: adaptation, monitoring and mitigation.
- IAEA Bulletin September/2018, Reducing greenhouse gas emissions in agriculture with the help of nuclear techniques.
- IAEA-TECDOC-1841 ¦ 978-92-0-101918-9, ARASIA (٢٠١٨ :(Challenges and opportunities for crop production in dry and saline environments in the member countries. IAEA-TECDOC-1841 ¦ 978-92-0-101918-9, ARASIA.
- Mohammad Zaman • Shabbir A. Shahid Lee Heng (2018): Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques, ISBN 978-3-319-96189-7 ISBN 978-3-319-96190-3 (eBook), Library of Congress Control Number: 2018949626.
- The intergovernmental panel on climate change, IPCC (2007): Fourth Assessment Report (AR5) on Climate Change.
- The intergovernmental panel on climate change, IPCC (2018): Fifth Assessment Report (AR5) on Climate Change.
- UNICEF, Thirsting for a Future: Water and Children in a Changing

Climate (New York, 2017)

- **UN-Water, Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report on Water and Sanitation ,2018 (Geneva, 2018).**
- **www.worldbank.org/ar/news/feature/2015/11/08/rapid- climate-informed-development-needed-to-keep-climate-change-from-pushing-more- .than-100-million-people-into-poverty-by-2030**
- **WHO, "Climate change and health", 1 February 2018, news-room/fact sheets/detail/climate-change. www.who.int/**