IAEA

الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تسخير الذرة من أجل السلام والتنمية

تسخير التكنولوجيات النووية لمكافحة التلوث بالمواد البلاستيكية (مبادرة نوتيك)

تسخير التكنولوجيات النووية لمكافحة التلوث بالمواد البلاستيكية
(مبادرة نوتيك)

قائمة المحتويات

موجز جامع ١

١- السياق الاستراتيجي ٥

١-١- التحدي المتعلق بالتنمية ٥

١-٢- نتائج الجهود الدولية حتى الآن ٨

٢- الميزة التفضيلية للتكنولوجيات النووية ١٠

٢-١- التكنولوجيا النووية في سياق اقتصاد دائري للبلاستيك ١٠

٢-٢- التلوث البحري بالمواد البلاستيكية ١٣

٢-٣- دور الوكالة ونهجها ١٥

٣- النهج القائم على النتائج الذي تتبناه مبادرة نوتيك ١٩

٣-١- كيف ستدعم مبادرة نوتيك التحول نحو اقتصاد دائري: نظرية التغيير ١٩

٣-٢- الهدف والحصائل ٢١

٣-٣- النمذجة الاقتصادية ٢٤

٣-٤- الاستدامة والمخاطر والتخفيف ٢٥

٣-٥- الاحتياجات من الموارد والتمويل ٢٦

٤- الشراكات ٢٦

٥- التنفيذ ٢٨

٥-١- نهج التنفيذ ٢٨

٥-٢- الرصد والتقييم ٣٠

المرفق: المراجع ٣١

موجز جامع

باتت المواد البلاستيكية لا غنى عنها للحياة الحديثة. ولئن كان البلاستيك يؤتي العديد من المنافع ووسائل الراحة، فإن الكميات الهائلة من البلاستيك التي تُنتج ثمّ يُتَخلّص منها تلحق الضرر بالنظم الإيكولوجية مع ما يترتب عن ذلك من آثار خطيرة على التنوع البيولوجي وسلامة الأغذية وصحة الإنسان في نهاية المطاف. ونحو ٧٠٪ من مجموع المواد البلاستيكية المنتجة هي الآن في شكل نفايات، ولم يُحظَ بإعادة التدوير سوى ٩٪ من هذه المواد.

وفي العديد من الأماكن في مختلف أنحاء العالم، يُساء التصرف في النفايات البلاستيكية، فتنتهي بها الحال إلى مدافن النفايات غير الخاضعة للرقابة، أو مكبات النفايات المفتوحة، فتدخل من هنالك إلى المحيطات عبر الأنهار، أو الممرات المائية، أو تنتقل عن طريق الرياح أو المد والجزر. ولا يقتصر التلوث بالنفايات البلاستيكية على المحيطات فحسب، بل يمكن أن يؤدي أيضا إلى تلويث البيئات الأرضية مثل التربة والمياه الجوفية. ويتسم البلاستيك بطبعه بالمتانة، فهو يعمر طويلاً فلا يتحلل حتى بعد أن يتحول إلى نفايات. وعندما يصل إلى المحيطات، يمكن أن يبقى هناك لمئات السنين، وبمرور الوقت يتفتت ويتحول إلى جزيئات بلاستيكية دقيقة ونانوية، مما يجعل من الممكن أن تدخل إلى السلسلة الغذائية بسهولة أكبر بسبب صغر حجمها. وفي نهاية المطاف لا يختفي البلاستيك بل يتراكم في المحيطات بمرور الوقت. وفي ظل الاتجاهات الحالية، من المتوقع أن تحتوي المحيطات على طن واحد من البلاستيك في مقابل كل ثلاثة أطنان من الأسماك بحلول عام ٢٠٢٥، وبحلول عام ٢٠٥٠ سوف تكون كميات البلاستيك أكثر من الأسماك.

وهناك العديد من الأسباب التي تؤدي إلى حقيقة أن نسبة إعادة التدوير لا تتعدى ٩٪ من كل أنواع البلاستيك، لكن أهمها ارتفاع تكاليف إعادة التدوير. وبالإضافة إلى ذلك، تحتوي بعض أنواع البلاستيك على طبقات متعددة من أنواع مختلفة من البلاستيك، أو تُدمج فيها مواد أخرى، مما يجعل عملية إعادة التدوير معقدة بشكل خاص وبالتالي مكلفة. ورغم أن مشكلة التلوث بالمواد البلاستيكية تحظى باهتمام عالمي متزايد، فإن الاستجابة الدولية لها تتسم حتى الآن بالارتجالية. وتعود أوجه القصور في التصدي للتلوث بالمواد البلاستيكية إلى الافتقار إلى ما يكفي من الوعي والمعرفة والسياسات والتكنولوجيا والتمويل.

ما هي مبادرة نوتيك؟ *يتمثل هدف مبادرة نوتيك في مساعدة الدول الأعضاء في الوكالة على إدماج التقنيات النووية وتلك المستمدة من المجال النووي في جهودها الرامية إلى التصدي لتحديات التلوث البلاستيكي. وتعتمد مبادرة نوتيك على حافظة من المشاريع البحثية ومشاريع التعاون التقني التي تضطلع بها الوكالة بشأن إعادة تدوير البلاستيك باستخدام التكنولوجيا الإشعاعية والرصد البحري للمواد البلاستيكية الدقيقة باستخدام تقنيات الاقتفاء النظيري. وتضع مبادرة نوتيك الوكالة إزاء مسألة مهمة مثيرة للانشغال على المستوى العالمي، ألا وهي* ***التلوث بالمواد البلاستيكية****. وتجمع الوثيقة التي بين أيدينا ما يمكن أن تقدمه الوكالة، وأين يمكن لها أن تضيف قيمة باستخدام التقنيات النووية والتقنيات المستمدة من المجال النووي، وتوضح مجموعة من الأنشطة التي تكمل الجهود الوطنية والدولية الجارية بالفعل. وتستند المبادرة إلى أحدث المعارف التقنية والعلمية والاقتصادية حول سلسلة قيمة البلاستيك والانتقال إلى اقتصاد دائري للبلاستيك. وتسعى مبادرة نوتيك إلى إثراء الحوار وتوسيع نطاقه مع الدول الأعضاء والشركاء والصناعة والمجتمع المدني. وهي تقدم رؤية للحلول التي تطرحها الوكالة للتصرف في النفايات البلاستيكية على نحو أفضل. وستُنفّذ الأنشطة المحددة من خلال طرائق التنفيذ التي وضعتها الوكالة مثل مشاريع التعاون التقني، والمشاريع البحثية المنسقة وغير ذلك من الأنشطة البرنامجية.*

النموذج الخطي لإنتاج البلاستيك واستخدامه والتخلص منه نموذجٌ غير قابل للاستدامة. هناك حاجة إلى نهج عالمي يؤسس لاقتصاد دائري ويركز على أربعة مبادئ: التقليل وإعادة الاستخدام والتدوير والتجديد. ويبين التحليل والأدلة أن التطبيقات النووية قادرة على أداء دور مكمّل للتكنولوجيات القائمة وبالتالي التعجيل بالتحول نحو **اقتصاد دائري للبلاستيك**. ولكن فيما عدا في أوساط المتخصصين، يكاد الناس يجهلون إمكانية مساهمة العلوم والتكنولوجيا النوويين في حل مشكلة النفايات البلاستيكية، وبالتالي فإنها نادراً ما تجد طريقها إلى المقترحات المقدمة لإيجاد حلول مستدامة وقابلة للتطوير. والتغيير مطلوب ليس فقط لجعل الإمكانات التي تنطوي عليها التقنيات والتكنولوجيات النووية معروفة على نطاق أوسع، بل، والأهم من ذلك، أن تُطبق على نطاق أوسع في الممارسة العملية للاستفادة من الإمكانات الكاملة للدور الذي تؤديه التقنيات النووية في الحد من أعباء النفايات البلاستيكية عالمياً. لكي يحدث ذلك، وعلى أساس العمل السابق والحاليّ الذي تضطلع به الوكالة بشأن هذه المسألة، قامت الوكالة بتطوير مبادرة نوتيك من أجل مساعدة الدول الأعضاء في الوكالة على دمج التقنيات النووية والتقنيات المستمدة من المجال النووي في جهودها الرامية إلى معالجة التحديات المتمثلة في التلوث البلاستيكي ـــ الأمر الذي جعل إسهام الوكالة في حل هذه المشكلة العالمية أكثر وضوحاً.

وما فتئت الوكالة تدعم البحوث في التقنيات النووية وتمثُّلها في مجالين رئيسيين من مجالات النشاط: رصد وتقييم المواد البلاستيكية البحرية، وتدوير النفايات البلاستيكية/البوليمرات وترقيتها.

وتوفر التكنولوجيا الإشعاعية، وبخاصة أشعة غاما والحزم الإلكترونية، خصائص وميزات فريدة للحد من نفايات البلاستيك والبوليمرات، وبالتالي سد الفجوات التكنولوجية القائمة في التعامل مع النفايات. ومن الممكن أن يعالج التشعيع تحديات الفرز التي تواجهها أساليب التدوير الميكانيكية السائدة، من خلال السماح للفرز الفعّال للنفايات البلاستيكية بتلقيم تدفقات التدوير، وبالتالي تحسين جودة المواد البلاستيكية المدوّرة وتحسين قيمتها. ويمكن استخدام التقنيات الإشعاعية لتحويل أو إعادة تدوير النفايات البلاستيكية إلى منتجات أخرى، مثل مواد الحشو والربط في مجال البناء. ومن الممكن استخدامها لتكسير البوليمرات البلاستيكية إلى مكونات أصغر لاستحداث مواد خام كيميائية لإنتاج مواد التلقيم، مع إضافة بوليمرات بِكر (مثل البوليمرات غير المعاد تدويرها) أو بدونها. كما يمكن الحد من النفايات البلاستيكية عن طريق استبدال المواد البلاستيكية القائمة على البترول ببوليمرات أحيائية قابلة للتحلل الأحيائي باستخدام التماثر المستحث بالتشعيع. علاوة على ذلك، تتيح التكنولوجيا الإشعاعية عمليات إنتاج وإعادة تدوير أكثر رفقاً بالبيئة، مما يقلل من استخدام المواد المضافة والمذيبات التي يمكن أن تكون ضارة، فضلاً عن توفير الطاقة.

والمحيطات هي المستودع النهائي لمعظم المواد البلاستيكية غير المعاد تدويرها القادمة من البر، وهناك نقص في المعرفة والفهم بشأن كميات المواد البلاستيكية الدقيقة وتأثيرها **في المحيطات**. وثمة حاجة إلى بيانات أكثر دقة لتقييم التأثير الذي تخلفه المواد البلاستيكية الدقيقة والملوثات المرتبطة بها على الكائنات البحرية التي تشكل جزءاً من السلسلة الغذائية العالمية، بما في ذلك الأغذية البشرية، وبالتالي على صادرات المأكولات البحرية، وسلامة الأغذية، وصحة الإنسان. **وتقدم التقنيات النظيرية** دقة لا مثيل لها، وتكمل التقنيات التقليدية في اقتفاء كميات وتوزيع المواد البلاستيكية النانوية والدقيقة في البيئة البحرية. وتتمتع المقتفيات النظيرية وتقنيات التصوير وعدادات غاما وبيتا بقدرات فريدة لتقييم تأثيرات المواد البلاستيكية الدقيقة والنانوية على الكائنات الحية البحرية. وتوفر هذه التقنيات علامات مهمة لدراسة سمية المواد البلاستيكية على الكائنات الحية، والكشف بالتفصيل عن الأعضاء والأجهزة المتأثرة، والسماح باقتفاء التركيز السمي الفعلي واحتمال انتشاره في السلاسل الغذائية التي يمكن أن تؤثر في نهاية المطاف على البشر من خلال استهلاك المأكولات البحرية.

وتحتفظ الوكالة **بمختبرات بيئية** في النمسا وموناكو وتقوم بتشغيلها. وللمختبرات سجل حافل فيما يتعلق بإجراء عمليات البحث والتطوير التطبيقية، وتوفير خدمات التدريب والتحليل، فضلا عن نقل التقنيات النووية المثبتة إلى الدول الأعضاء في ميدان الرصد البيئي. وتضطلع الوكالة بأنشطة البحث والتطوير هذه ليس فقط في مختبراتها الخاصة – ما يحقق للوكالة التفرد ضمن منظومة الأمم المتحدة – بل أيضا من خلال شبكاتها البحثية الموسعة، المؤلفة من مؤسسات بحثية، ومؤسسات أكاديمية ومختبرات مرجعية في جميع أنحاء العالم. وهي تقوم بذلك من خلال برنامجها الخاص بالمشاريع البحثية المنسقة وخطط المراكز المتعاونة معها.

وتدعم الوكالة، من خلال **برنامجها للتعاون التقني**، البلدان لبناء القدرات ونقل التكنولوجيات والمعارف في مجال التكنولوجيا الإشعاعية والرصد البحري، وغير ذلك. ويوجد حاليا ما يزيد على ٤٠ مشروعا من مشاريع التعاون التقني الوطنية والإقليمية الجارية/المزمع تنفيذها ذات العلاقة بتكنولوجيات الإشعاع والرصد البيئي فيما يتصل بالمحيطات.

وتستخدم النماذج الاقتصادية والمالية لتقدير المساهمة التي يمكن أن تقدمها التكنولوجيات، بما في ذلك تلك التي تستند إلى الحلول النووية، بغية التعجيل بالانتقال إلى اقتصاد دائري للبلاستيك. وقد طبق النهج المنهجي على مستويين: أولاً، يقوم تحليل مقارنة لتدفق النقد المكاسب الناجمة عن استخدام تكنولوجيات التشعيع بما يكمل عمليات إعادة التدوير الحالية (الكيماوية و/أو الميكانيكية)؛ وثانيا، باستخدام نموذج انتقال البلاستيك إلى المحيط (P2O) [١]، الذي وُضِع بغرض تحليل مخزونات وتدفقات البلاستيك والنفايات البلاستيكية على مستوى عالمي، أُجْري تحليل على أساس قطاعي لتقييم الفوائد المحتملة التي يؤتيها إدخال التكنولوجيات الجديدة. ويقدّر هذا النهج "القيمة المضافة" التي تستطيع التقنيات النووية والتقنيات المستمدة من المجال النووي أن تجلبها وتقدم لنا الأساس المنطقي لربط المختبرات باختبار تكنولوجيا إعادة تدوير البلاستيك ومبادرات التثبت مع برامج التعاون التقني، الأمر الذي يقلص الفارق الزمني في نقل التكنولوجيا ويزيد من كفاءة جهود وفعاليتها.

وستعمل المبادرة إلى الإمعان في توسيع نطاق تطوير تقنيات موثوقة وفعالة من حيث التكلفة لتقييم كميات **المواد البلاستيكية البحرية** من حيث المكان والزمان وتقييم طابعها، من أجل اكتساب فهم أفضل لأصلها وآليات نقلها فضلاً عن مصيرها وما ستخلفه من آثار. ويشمل ذلك وضع بروتوكولات موحدة منسقة لتحديد المواد البلاستيكية الدقيقة في العينات البيئية، والتقنيات التحليلية التي تتماشى مع أفضل الممارسات والعلوم المتطورة، وتدريب العلماء والتقنيين على استخدامها.

وستدمج مبادرة نوتيك **التقنيات الإشعاعية** المستخدمة في إعادة تدوير النفايات البلاستيكية في المبادرات الوطنية والإقليمية والعالمية. وتمهّد الأنشطة الجارية على نطاق المختبرات الطريق أمام محطات رائدة لإعادة تدوير البلاستيك لتحديد الحجم والطاقة والموازنات المالية المرتبطة باستخدام التكنولوجيات الإشعاعية لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية المختلفة. واستناداً إلى دليل المبدأ والخبرة المكتسبة من المحطة/المحطات الرائدة، سوف تُرفع درجة استخدام هذه التكنولوجيا في محطات إيضاحية واسعة النطاق لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية.

ويتطلب التوصل إلى حل شامل ومستدام للعبء البلاستيكي العالمي نهجاً متكاملاً وشاملاً لا يمكن تحقيقه إلا **بالشراكة** مع الهيئات التي لها دور تكميلي وتحظى بالخبرة. ومن الضروري العمل في إطار المبادرات الوطنية والإقليمية والدولية القائمة، بما في ذلك الشراكات بين القطاعين الخاص والعام، على الصعيدين العالمي والقُطري. ويشمل ذلك التعاون مع كيانات الأمم المتحدة، والبنوك الإنمائية المتعددة الأطراف، والمؤسسات الخيرية، والشراكات القائمة على نطاق واسع، بما في ذلك منصات أصحاب المصلحة المتعددين، والقطاع الخاص، والمؤسسات العلمية والبحثية. وسوف يكون القطاع الخاص شريكاً بالغ الأهمية في الانتقال إلى اقتصاد دائري قائم

على تدابير حكومية قوية وتحقيق الملكية من خلال سياسات تمكينية وبيئة قانونية داعمة. ومن هنا، فمن الضروري أن تتعاون الوكالة مع الشراكات الرفيعة المستوى القائمة **بين القطاعين العام والخاص** ومع المؤسسات وجمعيات القطاع الخاص، وكذلك مع الشركات المنتجة للمنتجات البلاستيكية والصناعات التي تقوم بإعادة تدوير البلاستيك أو التي هي تعتبر من المستخدمين الرئيسيين لهذه المنتجات لاختبار وتطبيق جدوى وفعالية الإشعاع في إعادة تدوير البلاستيك وتوسيع نطاق الحلول المقترحة.

والمكونان الرئيسيان في مبادرة نوتيك، وهما الرصد والتقييم، وإعادة تدوير البلاستيك ــ متشابكان منطقياً، حيث أن كلاً منهما يسهم في حل المشكلة العالمية المتمثلة في التلوث بالمواد البلاستيك. بيد **أن تنفيذ أي من** المكونين لا يتوقف على تنفيذ الآخر. ومع أخذ في الاعتبار هذا الارتباط الذي لا يعني الاعتماد المتبادل بين هذين المكونين، تتبنى المبادرة **نهجًا معياريًا**. ويوفر هذا النهج ميزة تيسير تنفيذ أنشطة معينة وفقا لمدى توفر الموارد، مع إتاحة الفرصة للمانحين والشركاء للمشاركة في أنشطة محددة مرتبطة بموضوعهم وأفضلياتهم وأولوياتهم. ويجري حاليا تنفيذ العديد من الأنشطة المتصلة بالبلاستيك.

وتنفذ المبادرة الآن وفي المستقبل باستخدام مجموعة متنوعة من **طرائق التنفيذ الراسخة لدى الوكالة**، مثل مشاريع التعاون التقني، والمشاريع البحثية المنسقة، وغير ذلك من الأنشطة البرنامجية.

١- السياق الاستراتيجي

١-١- التحدي المتعلق بالتنمية

وصف التحدي الذي تشكله المواد البلاستيكية

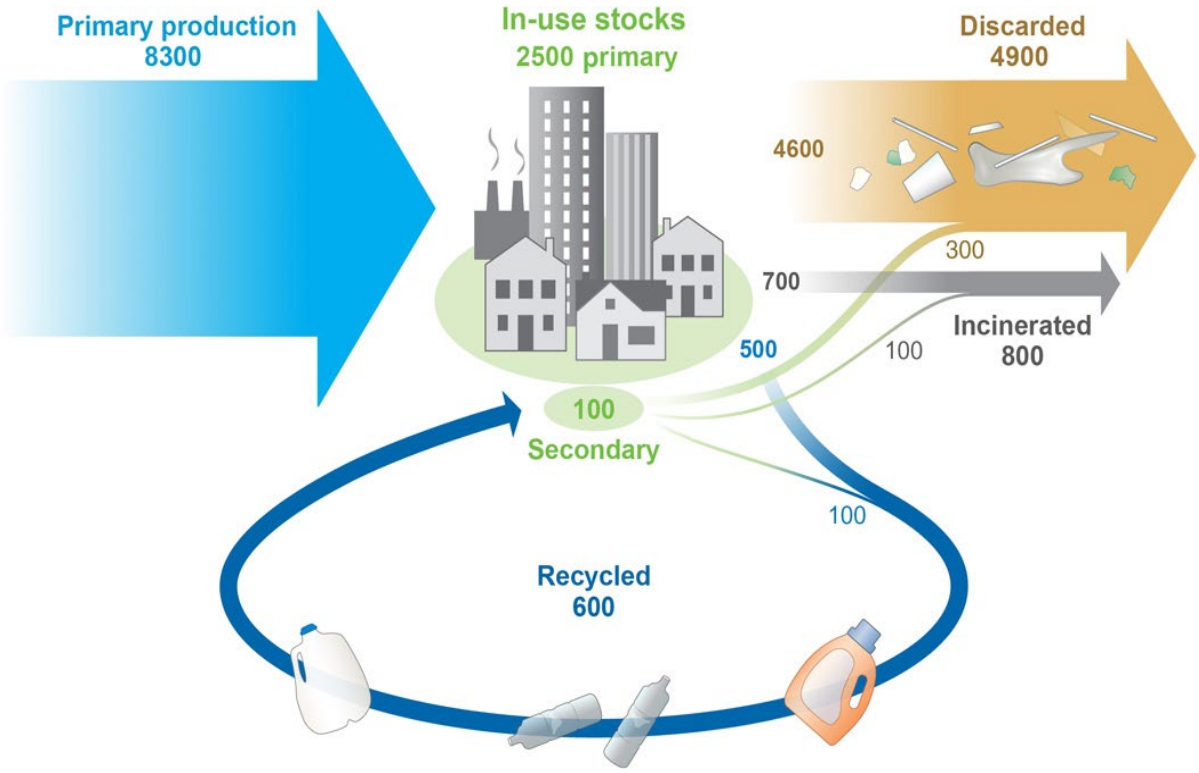
يشكل البلاستيك سمة لا غنى عنها في الحياة الحديثة، بل ربما يكون أكثر المواد استخداماً على مستوى العالم. ونظراً لأن البلاستيك متين بطبعه، وغير مكلف في إنتاجه، فقد أحدثت المواد البلاستيكية تحولاً في عالمنا خلال الـ١٥٠ عاما منذ اختراع البوليمرات الصناعية والـ٧٠ عاماً منذ بدأ إنتاجها على نطاق واسع. ومما لا شك فيه أن للبلاستيك فوائد كثيرة: فهو يحمي المنتجات الهشة من الضرر الذي يلحق بها أثناء المرور العابر، ومن التلوث أو غيره من الأضرار الناجمة عن الرطوبة أو الكائنات الدقيقة أو الضوء، مما يؤدي إلى تحسين سلامة الأغذية؛ وتحفظ المواد البلاستيكية المنتجات لفترات أطول، مما يقلل من النفايات؛ ونظرًا لخفة وزن البلاستيك، فإنه يساعد على توفير الوقود أثناء النقل لمسافات طويلة، مما يجعل النقل أكثر كفاءة. ومع ذلك، فإن انتشار البلاستيك في كل مكان هو الذي خلق تحدياً عالمياً متنامياً. وتبين البيانات العلمية أن الكميات الهائلة من المواد البلاستيكية التي يجري إنتاجها والتخلص منها تضر بالنُظم الإيكولوجية والموارد الطبيعية، مع ما ينطوي عليه ذلك من آثار خطيرة على التنوع البيولوجي وسلامة الأغذية وصحة الإنسان [٢].

الاقتصاد الخطي ونطاق التلوث بالمواد البلاستيكية وتأثيره

في عام ٢٠١٧، قدر أول تحليل عالمي أُجري بشأن إنتاج المواد البلاستيكية واستخدامها ومصيرها أن ما يزيد عن ٧٠٪ من كل المواد البلاستيكية المنتجة حتى الآن أصبحت من النفايات – ويبلغ ذلك ٦,٣ مليار طن متري من إجمالي ٨,٣ مليار طن متري – ولم تتجاوز نسبة إعادة التدوير الـ٩٪ حتى الآن [٣]. وفي ظل الاتجاهات الحالية، من المتوقع أن تحتوي المحيطات على طن واحد من البلاستيك في مقابل كل ثلاثة أطنان من الأسماك بحلول عام ٢٠٢٥، وبحلول عام ٢٠٥٠ سوف تكون كميات البلاستيك أكثر من الأسماك في البيئة البحرية [٤]. وفي العديد من الأماكن في مختلف أنحاء العالم، يُساء التصرف في النفايات البلاستيكية وينتهي بها الأمر إلى مدافن نفايات غير خاضعة للرقابة أو في مكبّات مفتوحة، ومن هناك يدخل جزء كبير منها إلى المحيطات إما عبر الأنهار والممرات المائية الأخرى أو تحمله الرياح إلى هناك. غير أن للنفايات البلاستيكية آثار أيضا على الأراضي، حيث تتعرض التربة أو المياه الجوفية للتلوث.

ويتسم البلاستيك بطبعه بالمتانة والعمر الطويل، ويعني ذلك أنه عند دخوله إلى المحيط يصبح من الممكن أن يظل هناك لمئات السنين. وبمرور الوقت، يتقطع ويتحول إلى مواد بلاستيكية دقيقة ونانوية، يمكنها دخول الكائنات الحية والسلسلة الغذائية. وفي نهاية المطاف لا يختفي البلاستيك بل يتراكم لا سيما في المحيطات. ويقدر أن أكثر من ١٥٠ مليون طن متري من البلاستيك قد وصلت إلى المحيطات منذ عام ١٩٥٠ [٥].

ومن المعروف أن التلوث بالمواد البلاستيكية يؤثر بشكل خاص على النظم الإيكولوجية البحرية وحيواناتها [٦]. ويمثل التأثير المحتمل للمواد البلاستيكية على صحة الإنسان موضوعاً لمجموعة واسعة من الدراسات. وتتناول العديد من هذه الدراسات الاستهلاك البشري من المواد البلاستيكية الدقيقة عبر السلسلة الغذائية، والتأثيرات الضارة المحتملة للبلاستيك من خلال تراكم الإضافات السامة. وحتى الآن، ليس هناك أي دليل علمي مباشر يشير إلى أن المواد البلاستيكية الدقيقة تضر بصحة الإنسان بشكل مباشر. وغير أن التلوث البلاستيكي ليس مشكلة بيئية وصحية بشرية فحسب، بل هو أيضا تحدٍ إنمائي واجتماعي اقتصادي رئيسي يمكن أن يؤثر على التنوع البيولوجي والبنية الأساسية والسياحة وسبل العيش في قطاع مصائد الأسماك.



الشكل ١ - المعادلة الكلية للنفايات البلاستيكية: أين ينتهي المطاف بالمواد البلاستيكية؟
(المصدر: GEYER, R. ، و JAMBECK, J.R.، و LAW, K.L.، المرجع [٣])

وقد ظل اقتصاد البلاستيك حتى الآن يتبع إلى حد كبير نموذجاً خطياً يتمثل في "خذ، اصنع، إرمِ"، وهو يعني رمي البلاستيك حالما يصبح غير مفيد لأداء الغرض الأصلي. وعلى الرغم من الأهمية الضخمة التي يتسم بها البلاستيك بالنسبة للاقتصاد العالمي، فمن الواضح أن فوائده العديدة باتت تخيم عليها الآن وطأة التأثيرات الضارة والعوامل الخارجية السلبية التي تنطوي عليها النفايات البلاستيكية. ونتيجة لهذا، حظرت العديد من البلدان أنواعاً معينة من البلاستيك أحادي الاستخدام. وسوف تضيف جائحة كوفيد-١٩ إلى عبء النفايات البلاستيكية العالمي القائم حالياً، وذلك بسبب الزيادة الحادة في الطلب على المنتجات البلاستيكية أحادية الاستخدام مثل المعدات الوقائية الشخصية، وغير ذلك من المواد البلاستيكية الأحادية الاستخدام المستخدمة نتيجة لاعتبارات الصحة والنظافة الشخصية.

الآثار الجنسانية المتباينة

يختلف مدى تأثر الفئات المختلفة في المجتمع بالتلوث الناجم عن النفايات البلاستيكية – كما هي الحال مع الأنواع الأخرى من التلوث البيئي – وفقاً لخصائص من قبيل الجغرافيا، والثروة، والسن، والنوع الجنساني. وهكذا، فإن تحليل النوع الجنساني، عند تناول اقتصاديات البلاستيك وآثاره وتأثيره، أمر مهم لمراعاة الجوانب المختلفة للآثار المتعددة للتلوث بالمواد البلاستيكية على النساء والرجال. والانتقال إلى اقتصاد دائري للبلاستيك عملية معقدة تتطلب مشاركة جميع أصحاب المصلحة على طول سلسلة القيمة البلاستيكية. ولذلك، من الأهمية بمكان ألا يقتصر الأمر على تلبية الاحتياجات المحددة للمرأة بل أيضاً تلبية احتياجات الفئات الضعيفة أو المهمشة الأخرى في المجتمع التي تتأثر بالتلوث الناجم عن النفايات البلاستيكية.

سوء إدارة استخدام البلاستيك وسوء التصرف في النفايات البلاستيكية

نجم الارتفاع الحاد في إنتاج البلاستيك عن عوامل متعددة، مثل النمو السكاني وزيادة الدخل، لكن السبب الأبرز هو تنامي استخدام التغليف البلاستيكي. ويستخدم ٤٢ في المائة من كل كميات البلاستيك غير المصنوع من الألياف لإنتاج مواد التغليف، التي تستخدم لمدة سنة أو أقل، في المتوسط، قبل التخلص منها. ومن بين كل أنواع البلاستيك المنتجة في الفترة بين عامي ١٩٥٠ و٢٠١٥، أُعيد تدوير ما نسبته ٩٪ فقط، بينما أحرق ١٢٪، وتُخُلِّص من ٦٠٪ في مدافن النفايات أو في البيئة، والباقي مخزّن/قيد الاستخدام [٣]. (انظر الشكل ١).

وتقدم هذه الأرقام صورة عالمية شاملة على مدى ستة عقود ونصف العقد. ومع ذلك، من الواضح أيضا أن التصرف في النفايات البلاستيكية، وعلى وجه التحديد إعادة تدوير البلاستيك، يظهر تباينات حسب المناطق ومع مرور الوقت. وعلى سبيل المثال، استمرت معدلات إعادة تدوير البلاستيك في العديد من البلدان ذات الدخل المرتفع في الارتفاع بشكل مضطرد منذ أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، وكانت في بعض الحالات تتجاوز نسبة ٣٠٪ في حين أن العديد من البلدان الأكثر فقراً لم تصل بالكاد إلا إلى معدلات لإعادة تدوير للبلاستيك بنسبة ١٠٪ [٧]. وبالنسبة للبلدان ذات الدخل المنخفض والمتوسط، فإن معدلات إعادة تدوير البلاستيك غير معروفة جيدا، ولكن يمكن أن يتوقع أن تكون كبيرة على الأقل في البلاد التي يوجد فيها نظام غير رسمي فعال للتصرف في النفايات البلاستيكية [٨].

وبالنسبة للمصادر البرية للتلوث بالبلاستيك، فإن تحسين نظم التصرف في النفايات الصلبة الموجودة في مراحل دورة حياة المنتجات وجمعها وإعادة تدويرها أمر أساسي لحل المشكلة، لا سيما في البلدان ذات الدخل المنخفض والمتوسط. وطبقاً لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، لا يتجاوز متوسط التغطية بعمليات جمع النفايات في البلدان ذات الدخل المنخفض نسبة ٣٦٪، وتصل النسبة في الشريحة الدنيا من البلدان ذات الدخل المتوسط ٦٤٪، وفي الشريحة العليا من البلدان ذات الدخل المتوسط تصل النسبة إلى ٨٢٪، وفي البلدان ذات الدخل المرتفع تقارب النسبة ١٠٠٪ [٩]. ومن العوامل الرئيسية لتحقيق معدلات عالية من إعادة تدوير البلاستيك وجود نظم وهياكل أساسية موثوق بها وشاملة للتخلص من النفايات في ظل وجود لوائح تشجع على إعادة التدوير.

وبالتالي فإن ما يحدث للبلاستيك بعد استخدامه يختلف كثيراً من بلد إلى آخر، اعتماداً على نظام التصرف في النفايات المعمول به. وبالتالي إنْ لم يُتخلص من النفايات البلاستيكية بشكل مناسب، سواء من خلال إعادة التدوير أو الحرق أو طمر النفايات بشكل منظم، فسوف ينتهي بها المطاف إلى البيئة عاجلاً أم آجلاً. وبدون اتخاذ أي إجراء، فقد تتضاعف كمية النفايات البلاستيكية التي تدخل إلى المحيطات إلى ثلاثة أمثالها تقريباً بحلول عام ٢٠٤٠. وحتى في حال نُفِّذت بالكامل الالتزامات الحالية من جانب الحكومات والصناعة بالحد من تدفق التلوث البلاستيكي، فإن هذا لن يؤدي إلا إلى خفض سنوي لتسرب البلاستيك إلى المحيطات بنسبة تقترب من ٧٪ [١٠].

وهناك العديد من الأسباب التي تجعل نسبة ما أعيد تدويره من كل كميات البلاستيك المنتجة حتى الآن لا تتجاوز ٩٪؛ ويرتبط أحد أكثر الأسباب أهمية بتكاليف الانتقال من اقتصاد بلاستيكي خطي إلى اقتصاد دائري، حيث لا يعتبر البلاستيك المستغنى عنه من القمامة، بل يعتبر من الموارد والمواد الخام المهمة. ويتطلب هذا التغيير تكاليف استثمار عالية وبيئة تمكينية أكثر مواتاة [١١]. وعلى سبيل المثال، تعد إعادة تدوير النفايات البلاستيكية أكثر تعقيداً من إدارة النفايات التقليدية ومعالجتها، إذ إنها تتطلب التجميع والفرز بشكل منفصل، مما يؤدي إلى تكاليف إجمالية أعلى من أنظمة إعادة تدوير المواد الأخرى مثل الزجاج أو الورق. وترتبط العوامل المثبطة الأخرى التي تفسر انخفاض معدلات إعادة تدوير البلاستيك بالميزات المادية لبعض أنواع البلاستيك، والتي قد تكون مثلاً رقيقة بشكل خاص، مثل الأكياس أو الأفلام، أو التي تحتوي على طبقات متعددة من أنواع مختلفة من البوليمرات، ولذلك فهي

صـعبة و/أو مكلفة بشـكل خاص عند إعادة تدويرها. ويشـكل انخفاض معدلات إعادة تدوير العبوات البلاسـتيكية خسـارة اقتصـادية هائلة: حيث تقدر قيمة المواد المفقودة سـنوياً بما يتراوح بين ٨٠ إلى ١٢٠ مليار دولار أميركي [١٢].

١-٢- نتائج الجهود الدولية حتى الآن

من الواضح أن النموذج الخطي لإنتاج البلاستيك واستخدامه والتخلص منه ليس مستداما. بل إن الأمر يتطلب توجهاً مختلفاً، كما تجلى في مبادرات العديد من المنظمات، وفي هذا السـياق تعمل مبادرة نوتيك على تأسـيس اقتصـاد دائري للبلاستيك والتركيز على "الخطوات الأربع": التقليل، وإعادة الاستخدام، وإعادة التدوير، والتجديد. وتتضمن عناصـر مفهوم "الخطوات الأربع" حوافز اقتصـادية لإعادة اسـتخدام وإعادة تدوير البلاسـتيك، والحد من تسـرب النفايات البلاستيكية التي يساء التصرف فيها إلى البيئة، ووقف إنتاج البلاستيك من مواد التلقيم الأحفورية باستخدام مواد تلقيم بديلة قابلة للتجديد. ويتطلب ذلك جهوداً طموحة يبذلها عدد كبير من الجهات الفاعلة التي تسـتغل كل التكنولوجيات المتاحة على أفضل وجه.

وقد أصبح التلوث البلاستيكي قضية ذات أهمية بيئية عالمية، واجتذب الانتباه ليس فقط من الأوساط العلمية بل أيضا من الحكومات [١٣]. وفي واقع الأمر، بدأت البلدان في مختلف أنحاء العالم بالفعل في اتخاذ التدابير اللازمة من خلال تبني سياسات وبرامج وطنية للحد من النفايات البلاستيكية وزيادة إعادة تدوير البلاستيك. ويواكب هذه الجهود عدد كبير من المبادرات الإقليمية والعالمية بشـأن النفايات البلاسـتيكية. وتتطلب معالجة التلوث الناجم عن النفايات البلاستيكية، شـأنها في ذلك شـأن المشـاكل البيئية العالمية الأخرى، التعاون من مجموعة واسعة من الجهات الفاعلة على المسـتويات الدولية والإقليمية والوطنية والمحلية. ولكن في نهاية المطاف، تظل الحكومات هي التي تشـكل المحرك الرئيسي لمعالجة المشكلة، نظراً لمسؤوليتها عن التنظيم الرقابي للأمور السياسية والاجتماعية والاقتصادية على المستوى المحلي وفي مواجهة الدول الأخرى.

وتمثل البيئة السـياسـية والرقابية عاملا حاسـما في تحديد نجاح الجهود الرامية إلى الحد من التلوث بالنفايات البلاستيكية عن طريق التشجيع على خفض استخدام البلاستيك البكر، وزيادة حصص إعادة التدوير، وزيادة الطلب على البلاسـتيك المعاد تدويره. وحتى في حال أمكن الوفاء بالالتزامات الحكومية والصـناعية الحالية، فإن الانخفاض المحتمل في تسرب المواد البلاستيكية سنوياً إلى المحيطات سوف يكون بنسبة ٧٪ فقط (±١٪)، مقارنة بسيناريو العمل على الوجه المعتاد [١٠]. ويتلخص ما هو مطلوب الآن في إحداث تغيير في النظام والاتجاه نحو اقتصـاد دائري للبلاسـتيك، بحيث تتقلص إلى حد كبير كمية البلاسـتيك الذي يُسـاء التصـرف فيه أو يتخلص منه، وذلك من خلال الحد من الطلب على البلاسـتيك بالاسـتعاضـة عنه بالمواد البديلة وزيادة معدلات إعادة التدوير. ولكي يحدث ذلك لابد من توفير الحوافز المناسبة، وتحقيق المزيد من الابتكار، واستثمار رأس المال المطلوب.

الانجازات والفجوات في الأطر السياسية والرقابية

وفقا لقائمة السياسات المتعلقة بالبلاستيك[١]، اعتُمد نحو ٣٢٢ صكا من صكوك السياسات العامة في الفترة ما بين عام ٢٠٠٠ ومنتصـف عام ٢٠١٩ بهدف صـريح يتمثل في معالجة التلوث البلاسـتيكي؛ ومن بين هذه الصـكوك، كان هناك ٢٩ صـكا دوليا و ٤٣ صـكا إقليميا و١٥١ وطنيا و٩٩ دون وطني [١٤]. وكانت هذه الأدوات السـياسـية ذات طابع رقابي أو اقتصـادي أو إعلامي وتشـير إلى مختلف الطرائق المسـتخدمة في معالجة التلوث البلاسـتيكي، على سبيل المثال، وضع خطط لخفض البلاستيك، وتطوير عمليات إنتاج جديدة أو تحسين عمليات الإنتاج الحالية، والحد

[١] انظر DUKE UNIVERSITY, Plastics Policy Inventory (2020), https://nicholasinstitute.duke.edu/plastics-policy-inventory.

من استخدام البلاستيك، وحظر بعض المنتجات، وحصص إعادة التدوير، والإعانات، وخطط النقد مقابل الإعادة، والضرائب، وما إلى ذلك.

الصكوك والمبادرات الدولية

الصكوك المعتمدة على الصعيد الدولي في الغالب غير ملزمة قانونا. وبمرور الوقت، أصبحت هذه الأدوات أكثر تعقيداً وتحديداً في نطاقها، مستهدفةً على وجه التحديد التلوث البلاستيكي. وركزت الصكوك بالأحرى على الرصد الطوعي وعلى دعوة الدول إلى وضع خطط عمل وطنية وتنفيذها. وتتضمن التوصيات الموضوعة على الصعيد الدولي في معظمها إجراءات رقابية تشجيعية فيما يتعلق بالتصرف في النفايات البلاستيكية وتنظيفها؛ وحملات التثقيف والتوعية؛ والحوافز الاقتصادية على تحسين التصرف في النفايات البلاستيكية؛ وفرض مثبّطات اقتصادية على البلاستيك الأحادي الاستخدام.

ولا يقتصر العمل على مكافحة التلوث بالنفايات البلاستيكية على الصعيد الدولي على اعتماد صكوك بعينها. ومن أمثلة هذه المبادرات التحالف من أجل وضع حد للنفايات البلاستيكية، والالتزام العالمي لمؤسسة إلين ماك آرثر باقتصاديات جديدة للبلاستيك بالتعاون مع برنامج الأمم المتحدة للبيئة، والشراكة العالمية للعمل بشأن البلاستيك تحت ضيافة المحفل الاقتصادي العالمي، والميثاق بشأن المواد البلاستيكية في المحيطات التابع لمجموعة الدول السبع، وإطار عمل مجموعة العشرين بشأن تنفيذ الإجراءات الخاصة بإلقاء النفايات البلاستيكية في البحر. وأعلنت الأمم المتحدة عقد علوم المحيطات من أجل التنمية المستدامة (٢٠٢١-٢٠٣٠) لدعم الجهود الرامية إلى تنكيص دورة التدهور في صحة المحيطات وجمع أصحاب المصلحة المعنيين بالمحيطات في شتى أنحاء العالم خلف إطار عمل مشترك [١٥].

وتعمل معظم هذه المبادرات في عدة بلدان، وترأس معظمها منظمات حكومية دولية مثل هيئات الأمم المتحدة، وأمانات الاتفاقيات، والمراكز الإقليمية والتنسيقية (على سبيل المثال برنامج الأمم المتحدة للبيئة، والبنك الدولي، ومنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي)، تليها المنظمات غير الحكومية، وقطاع الأعمال والصناعة. والواقع أن ما يقرب من نصف هذه المبادرات يضطلع به أصحاب مصلحة متعددون، وغالباً ما يكون ذلك بالعمل المشترك مع هيئات الأعمال والمنظمات غير الربحية بغية الانتقال نحو اقتصاد دائري للبلاستيك.[٢]

الصكوك والمبادرات الإقليمية

على الصعيد الإقليمي، يجري اعتماد عدد متزايد من السياسات والصكوك. وعلى غرار ما يحدث على المستوى الدولي، أصبحت السياسات الإقليمية بشأن التلوث البلاستيكي أكثر تحديداً في هدفها بمرور الوقت، إذ باتت تركز على أنواع محددة من التلوث البلاستيكي [١٤].

وفي عام ٢٠١٨، اعتمد الاتحاد الأوروبي استراتيجيته بشأن البلاستيك في اقتصاد دائري، التي تهدف إلى تغيير الطريقة التي تُصمّم بها المنتجات البلاستيكية وتستخدم، وتُنتج، ويُعاد تدويرها [١٦]. ووفقاً لهذه الاستراتيجية، يتعين أن تغدو كل مواد التغليف البلاستيكية الواردة في سوق الاتحاد الأوروبي إما قابلة لإعادة الاستخدام أو لإعادة التدوير بحلول عام ٢٠٣٠؛ ولابد من إعادة تدوير أكثر من نصف النفايات البلاستيكية المتولدة في الاتحاد الأوروبي؛ كما لابد من مضاعفة القدرة على الفرز وإعادة التدوير إلى أربعة أمثالها مقارنة بمستويات عام ٢٠١٥.

---

[٢] أطلقت مؤسسة إلين ماك آرثر، بالتعاون مع برنامج الأمم المتحدة للبيئة، الالتزام العالمي بإنشاء اقتصاديات جديدة للبلاستيك في عام ٢٠١٨، حيث قامت أكثر من ٥٠٠ منظمة بتحديد أهداف لمعالجة النفايات البلاستيكية والتلوث في مصادرها بحلول عام ٢٠٢٥. انظر https://www.newplasticseconomy.org/assets/doc/npec-vision.pdf

وفي آسيا، تبنت رابطة دول جنوب شرق آسيا (آسيان) في عام ٢٠١٩ إعلان بانكوك بشأن مكافحة النفايات البحرية في منطقة رابطة دول جنوب شرق آسيا (آسيان)، حيث أعلن الأعضاء عن اعتزامهم تكثيف الجهود لمنع وخفض التلوث البلاستيكي البحري ضمن نهج متكامل من البر إلى البحر، لتعزيز القوانين واللوائح، وتشجيع الحلول المبتكرة الرامية إلى تحقيق اقتصاد دائري للبلاستيك، وتعزيز التعاون الإقليمي والدولي، وتقاسم المعلومات [١٧]. وثمة مبادرة أخرى تتمثل في قيام اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ التابعة للأمم المتحدة بمشروع سد الثغرات، الذي يهدف إلى اكتشاف ورصد مصادر ومسارات النفايات البلاستيكية التي تدخل إلى الأنهار [١٨]. وفي أفريقيا، يشكل مشروع الشبكة الأفريقية للنفايات البحرية مبادرة تعمل على خلق المعرفة بشأن التلوث البلاستيكي، وزيادة الوعي والتثقيف [١٩]. وفي أمريكا اللاتينية ومنطقة البحر الكاريبي، تركز المبادرة الإقليمية المتعددة القطاعات لإعادة التدوير الشامل، بقيادة مصرف التنمية للبلدان الأمريكية، على قطاعات إعادة التدوير الرسمية وغير الرسمية [٢٠].

الصكوك والمبادرات الوطنية ودون الوطنية

اعتمدت معظم الصكوك حتى الآن على الصعيدين الوطني ودون الوطني، وحدث ذلك في معظم الأحوال في البلدان ذات الدخل المرتفع وفي الشريحة العليا من البلدان ذات الدخل المتوسط [١٤]. وتشمل الإجراءات الرقابية التشجيعية وضع الخطط، وتحسين العمليات والمنتجات القائمة، أو تقديم الحوافز للتعامل المسؤول مع البلاستيك. ومن بين الإجراءات الرقابية الحاظِرة فرض قيود على استخدام البلاستيك أو منعه، أو حظر التعامل غير المسؤول مع البلاستيك. وتستخدم كطرائق اقتصادية إضافية كل من الإعانات، والإعفاءات الضريبية، وخطط تقديم النقد مقابل الإعادة، والتدابير التثبيطية مثل الرسوم والضرائب والمكوس والفروض الجمركية. وأخيرا، تستفيد الدول من الحملات الإعلامية من خلال التعليم والتوعية، ووضع العلامات على البلاستيك، وإجراء البحوث، وجمع البيانات وتقديم التقارير.

٢- الميزة التفضيلية للتكنولوجيات النووية

٢-١- التكنولوجيا النووية في سياق اقتصاد دائري للبلاستيك

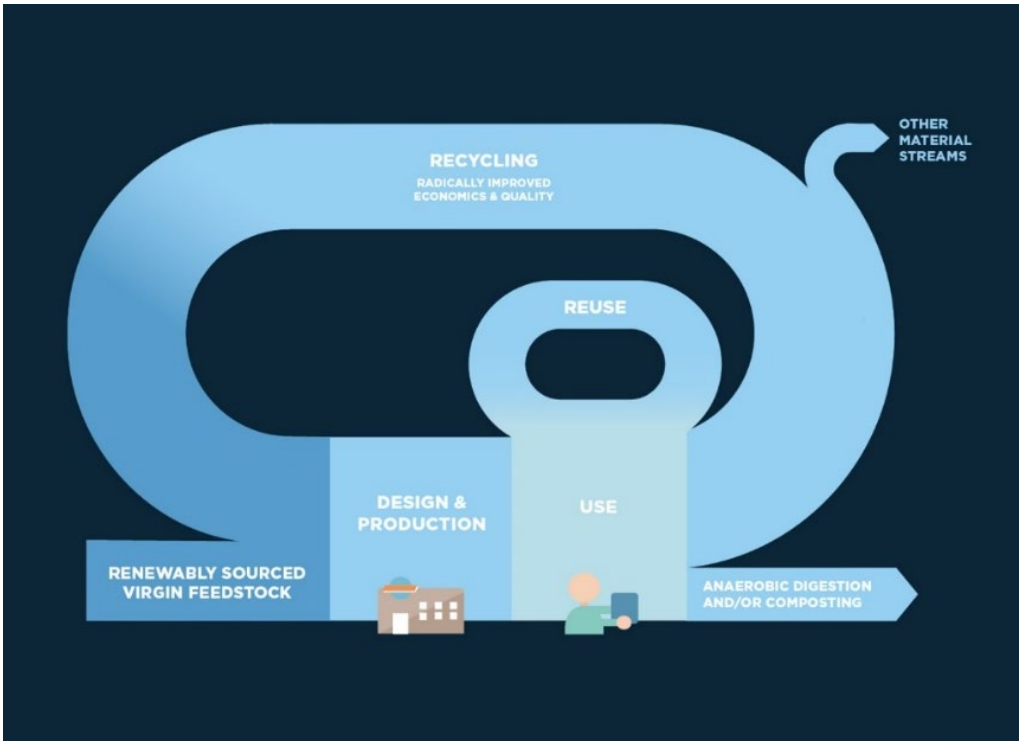
ثمة اعتراف عالمي بأن التلوث البلاستيكي يتطلب حلاً طويل الأجل ومستداماً ومجدياً من الناحية الاقتصادية وينأى بعيداً عن النموذج الخطي المتمثل في "خذ-اصنع-حول إلى نفايات".[٣] ويتوقف معالجة هذا التحدي على التحول السريع إلى اقتصاد دائري للبلاستيك ـ اعتماداً على الجدوى التقنية والاقتصادية ـ ويستند إلى أربعة مبادئ: التقليل، وإعادة الاستخدام، وإعادة التدوير، والتجديد.

ورغم أن مشكلة التلوث البلاستيكي تحظى باهتمام عالمي كبير، فإن الاستجابة الدولية لها تتسم حتى الآن بالارتجالية. وتشكل الفجوات في التصدي للتلوث البلاستيكي عائقا رئيسيا، بما في ذلك الافتقار إلى الوعي الكافي والمعرفة والتكنولوجيات والتمويل والسياسات [٢١]. ويوفر تطبيق تقنيات مصممة خصيصا لأغراض نووية

---

[٣] تتضمن قرارات جمعية الأمم المتحدة للبيئة الأربعة ذات الصلة كلاً من القرار ٦/٤ بشأن معالجة القمامة البحرية والجسيمات البلاستيكية البحرية الدقيقة (UNEP/EA.4/RES.6)، والقرار ٩/٤ بشأن معالجة التلوث بالمنتجات البلاستيكية التي تستخدم مرة واحدة (UNEP/EA.4/RES.9)، والقرار ١١/٤ بشأن حماية البيئة البحرية من الأنشطة البرية (UNEP/EA.4/RES.11) والقرار ١/٤ بشأن المسارات المبتكرة لتحقيق الاستهلاك والإنتاج المستدامين (UNEP/EA.4/RES.1)، وهي متاحة على الموقع التالي: https://web.unep.org/environmentassembly/proceedings-report-ministerial-declarationresolutions-and-decisions.

ومستمدة من المجال النووي حلولا فريدة قائمة على العلم لرصد التلوث البحري بالمواد البلاستيكية الدقيقة وآثارها على النظم الإيكولوجية، فضلا عن تحسين إعادة تدوير النفايات البلاستيكية.



الشكل ٢ - الاقتصاد الدائري للبلاستيك.(المصدر: مؤسسة إلين ماك آرثر [٤])

تقنيات إعادة التدوير التقليدية الحالية

يتلخص خيار التصرف المستدام الوحيد في المواد البلاستيكية التي انتهى عمرها الافتراضي في عملية إعادة التدوير الشاملة ـــ عملية تحويل النفايات البلاستيكية إلى منتجات بلاستيكية جديدة. وهناك أسلوبان رئيسيان لإعادة التدوير يستخدمان حاليا: إعادة التدوير الميكانيكية والكيميائية. ويمكن حرق النفايات البلاستيكية غير المتوافقة مع تقنيات إعادة التدوير السائدة الحالية كمصدر للوقود، وهي عملية تُعرف باسم استرداد الطاقة، أو إعادة تصنيعها، أو إعادة استخدامها بصورة خلاقة في منتجات جديدة ذات قيمة.

وإعادة التدوير الميكانيكية هي حتى الآن الطريقة الأكثر شيوعاً لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية [٢٢]. وفيها تستعاد نفايات البلاستيك، وتنتج منها مواد خام يمكن إعادة تصنيعها لإنتاج مواد بلاستيكية، وبالتالي تحل نفايات البلاستيك محل البلاستيك البكر. وتشمل هذه العملية عادة جمع وفرز وغسيل وطحن المواد لخلق حبيبات بلاستيكية وتصهر في وقت لاحق وتعاد معالجتها لإنتاج منتجات بلاستيكية جديدة [٢٣]. ولا يمكن استرداد سوى البلاستيك الحراري بهذه الطريقة (على سبيل المثال، المواد التي يمكن إعادة صهرها وإعادة معالجتها لتخرج في شكل منتجات جديدة). وتشكل هذه المنتجات نحو ١٢٪ من إنتاج البلاستيك العالمي [٢٤].

---

[٤] انظر:
ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, A Circular Economy for Plastic (2016), www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/images/Deep-Dives/m4_circular_economy_for_plastics_big_image_2000px.jpg.

وعلى الرغم من أن إعادة التدوير الميكانيكية للمواد البلاستيكية تعتبر من عمليات التصنيع الرخيصة نسبياً، فإنها تتسم ببعض أوجه القصور. فهي تتطلب فرز البوليمرات المختلفة، وهو ما يشكل تحدياً صعباً بالنسبة للمواد البلاستيكية متعددة الطبقات. علاوة على ذلك، تتدهور جودة المواد المعاد تدويرها في كل دورة، ونتيجة لذلك، لا يمكن استخدام المعالجة الميكانيكية لأكثر من دورة أو دورتين من دورات إعادة التدوير.

وعلى عكس إعادة التدوير الميكانيكية، يمكن أن تعالج إعادة التدوير الكيميائي مجموعات مختلطة من النفايات البلاستيكية. وتشير إعادة التدوير الكيميائية إلى مجموعة متنوعة من التكنولوجيات ــ على سبيل المثال التحويل إلى غاز، والانحلال الحراري، والتشقق المحفز بالسوائل، والتكسير الهيدروجيني – التي تعمل على تفكيك البلاستيك إلى مستوياته الجزيئية، وتحويل النفايات البلاستيكية إلى مواد خام ثانوية.

ولإعادة التدوير الكيميائية ميزة على إعادة التدوير الميكانيكية إذ يمكن استخدامها لمعالجة تدفقات أكبر من المواد البلاستيكية بما في ذلك المواد المختلطة أو الملوثة أو ذات الجودة المنخفضة. لكن للأسف، تؤدي إعادة التدوير الكيميائي إلى إطلاق المواد المضافة السامة والملوثات، وبعضها محظور بالفعل بموجب اللوائح الوطنية في العديد من الولايات القضائية. ونتيجة لهذه المشاكل والتكاليف المرتبطة بها، فإن عمليات إعادة التدوير الكيميائية التجارية لا تستخدم إلا نادراً.

التكنولوجيات النووية في سلسلة القيمة الدائرية للبلاستيك

تقدم تكنولوجيا الإشعاع، وتحديداً أشعة غاما والحزم الإلكترونية، مزايا فريدة لمعالجة الثغرات التكنولوجية الموجودة في إعادة تدوير البلاستيك. وتستطيع هذه التكنولوجيات أن تكمل التكنولوجيات التقليدية وأن تحل محلها في بعض الحالات، وأن تعالج عيوبها. وتشير أحدث البحوث إلى أن إعادة التدوير المدعومة بالإشعاع تقدم مزايا تشمل تحسين التحكم في العمليات وتحسين جودة المواد البلاستيكية المعاد تدويرها والقدرة على تكييف خصائص المنتجات، فضلاً عن تحقيق توفير كبير في التكاليف والطاقة. وتستند مزايا هذه التقنية إلى القدرة على التحكم في كيفية تكوين الروابط الكيميائية في البوليمرات البلاستيكية أو كسرها، وبالتالي السماح بتغيير الخصائص المميزة للبوليمرات، أو خلق تركيبات كيميائية جديدة، أو تفكيكها.

ومن الممكن أن تعمل التكنولوجيات الإشعاعية على تفكيك البوليمرات البلاستيكية إلى أجزاء أصغر من جزيئات السلاسل التي يمكن استخدامها كمواد تلقيم لإنتاج منتجات استهلاكية جديدة، بدمجها في البوليمرات البكر أو بدون ذلك. ووفقًا لمقاومة الأشعة في البوليمر المستخدم في البلاستيك المراد إعادة تدويره، يمكن القيام بذلك إما باستخدام المعالجة الحرارية المشتركة أو بدونها. كما يمكن استخدام الإشعاع لتعديل خصائص البوليمرات المستعملة، وذلك، على سبيل المثال، للحصول على مواد جديدة يمكن استخدامها بعد ذلك لصنع منتجات جديدة. ويمكن أن يؤدي التشعيع إلى فصل النفايات البلاستيكية بشكل أكثر فعالية، مما يسمح بتلقيمها في الخطوط المستخدمة في إعادة التدوير الميكانيكية، مما يؤدي إلى تحسين جودة المواد البلاستيكية المعاد تدويرها وتحسين قيمتها.

ويمكن استخدام التكنولوجيات الإشعاعية لتشعيع كميات كبيرة من نفايات البوليمرات. ولذلك أثره من حيث المنفعة التجارية وتطبيق التكنولوجيا. كما يمكن استخدام التقنيات الإشعاعية لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية في شكل منتجات جديدة عندما لا تعود الأساليب الأخرى مجدية. ومن شأن ذلك أن يحد من كميات المواد البلاستيكية البكر المصنوعة من الوقود الأحفوري التي تدخل في سلسلة القيمة البلاستيكية، الأمر الذي يعود بفوائد بيئية إضافية.

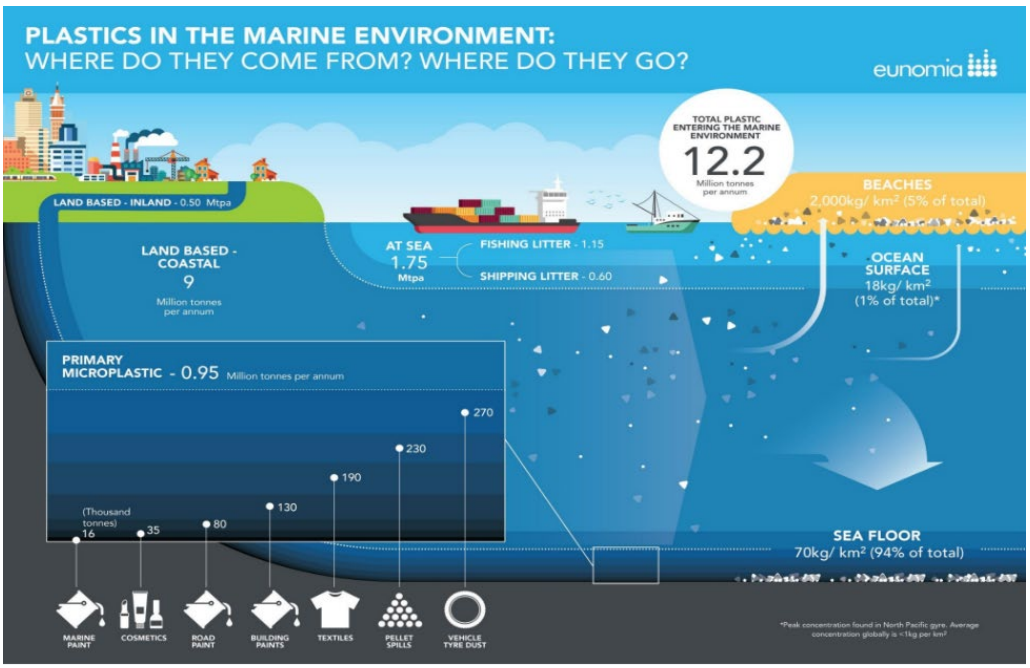
استخدام التشعيع لتحسين عمليات إعادة التدوير الكيميائية

من خلال الجمع بين التشعيع وبين الانحلال الحراري ــ تغيير التركيبة الكيميائية للمواد باستخدام الحرارة ــ لتوليد مواد تلقيم كيميائية بلاستيكية جديدة، يوفر التشعيع عمليات إنتاج أنظف لإعادة التدوير الكيميائية من خلال تجنب المذيبات وإضافة المواد الحفّازة. كما أنه ينطوي على إمكانية تحسين كفاءة هذه العملية في استخدام الطاقة وتعزيز جودة المنتج النهائي وغلته.

ويمكن كذلك استخدام الحزم الإلكترونية لزيادة وتحسين إعادة التدوير من خلال تحسين فرز المواد البلاستيكية المختلطة نتيجة للفصل الكهروستاتيكي. كما تسمح المعالجة الإشعاعية بتحديد خواص نفايات البوليمرات، مما يؤدي إلى إنشاء مركبات جديدة ويُمكّن من إعادة تشكيل تلك النفايات على نحو مبتكر. ويساعد ذلك في الحفاظ على استخدام البلاستيك بشكل متكرر، مما يقلل من النفايات البلاستيكية بشكل أكبر.

٢-٢- التلوث البحري بالمواد البلاستيكية

المحيط هو المستودع النهائي لمعظم التلوث البلاستيكي البري [٢٥]. وتدخل ملايين الأطنان من النفايات البلاستيكية في البيئة البحرية سنويا، ومن المتوقع أن تزداد هذه الكميات في السنوات المقبلة [٢٦]. وبسبب حجم الجسيمات البلاستيكية، فإن العديد من الأنواع البحرية، بما في ذلك تلك المتصلة بمصائد الأسماك العالمية، يمكن أن تبتلعها سلباً أو إيجاباً. ولم يتسنّ بعد بيان الحجم الكامل من النفايات البلاستيكية البحرية بصورة منتظمة أو كاملة [٢٧].



الشكل ٣- المواد البلاستيكية في البيئة البحرية: من أين تأتي؟ أين تذهب؟ (المصدر: ECOWATCH[٥])

---

[٥] انظر:
ECOWATCH, 80% of Ocean Plastic Comes From Land-Based Sources, New Report Finds (2016), www.ecowatch.com/80-of-ocean-plastic-comes-from-land-based-sources-new-report-finds-1891173457.html.

لا تزال الآثار المترتبة عن التلوث البلاستيكي في الحياة البحرية وعلى النظم الإيكولوجية الساحلية والمفتوحة للمحيطات غير مؤكدة وتحتاج إلى الرصد والتقييم بتأنٍ [٢٨، ٢٩]. وفي الواقع، تشير التقييمات الأخيرة إلى النتائج الأولية لتراكم المواد البلاستيكية الدقيقة حتى في المسالك الهضمية البشرية، ما قد يؤدي إلى آثار ضارة [٣٠ و٣١].

وبالنظر إلى أوجه عدم اليقين العديدة المحيطة بالنفايات البلاستيكية البحرية، من الضروري زيادة فهمنا لحجم التلوث البلاستيكي البحري وأثره على النظم الإيكولوجية الساحلية والبحرية والكائنات الحية [٣]. وعلى مدى العقد الماضي، بذل المجتمع العلمي العالمي جهودا كبيرة لتعزيز المعرفة بمدى كثرة وتأثير جسيمات بلاستيكية منتقاة على الكائنات الحية المائية [٢٧]. ولوحظ أيضا أن البلاستيك في المحيطات ينتشر بشكل فعال في جميع أنحاء المياه بفعل التيارات والمد والجزر، ويتعرض للتحلل الفيزيائي والكيميائي المستمر، ما يؤدي إلى نشوء جسيمات بلاستيكية أصغر فأصغر حجما. كما يمكن لعملية التحلل هذه أن تطلق الملوثات المشاركة، وهي إما متأصلة في تركيب الجسيمات البلاستيكية أو تلتقطها الأسطح التفاعلية للجسيمات [٢٩]. وهناك حاجة إلى مزيد من البيانات من أجل التوصل إلى فهم كامل لتأثيرات هذه الملوثات المشاركة على الكائنات البحرية ولتعزيز سلامة الأغذية والأمن الغذائي، بما في ذلك صادرات المأكولات البحرية التي يعتمد عليها سكان المناطق الساحلية في معايشهم في العديد من البلدان.

مزايا التقنيات النووية

تتيح التقنيات النظيرية المتخصصة دقة وفائدة لا مثيل لهما، ويمكنها أن تكمل التقنيات الأخرى في اقتفاء غزارة وجود الجسيمات البلاستكية البحرية من حيث المكان والزمان، فضلاً عن طبيعة تلك الجسيمات وتأثيرها. ومن ثم، فإنها تسهم في الرصد والتقييم الشاملين للنفايات البحرية، وفي وضع استراتيجيات التخفيف على مستوى السياسات، وفي تقييم فعالية هذه التدابير.

وتوفر المقتفيات النظيرية وتقنيات التصوير النووى عدة مزايا لتقييم الأثر والاجهاد الناجم عن البلاستيك في البيئة البحرية: '١' فهى حساسة من الناحية التحليلية، مما يتيح توقعات أكثر دقة ومن ثم أكثر موثوقية؛ '٢' ويعتبر انتقال التلوث للعينات أهون بكثير مقارنةً بالعمل مع الملوثات العضوية أو غير العضوية، مما يسهل التبادل الواسع بين المختبرات؛ '٣' وتسمح هذه التقنيات بإجراء تحليلات غير متلفة، ما يتيح القيام بالعمل التجريبي على الكائنات الحية '٤' وتقدم نظرة عامة على آثار الملوثات على الكائن الحي بأكمله وفي داخله وعلى حركة تلك الملوثات. ومن شأن ذلك أن يشكل واسمة مهمة لاحتمال سمية المواد البلاستيكية على الكائنات الحية، وأن يكشف بالتفصيل عن الأعضاء والأجهزة المتأثرة، مما يسمح بالتالي باقتفاء التركيز السمي الفعلي واحتمال انتشاره في السلاسل الغذائية التي يمكن أن تؤثر في نهاية المطاف على البشر من خلال استهلاك المأكولات البحرية.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تساعد التقنيات النووية في تحديد الأثر البيئي المضاف للمواد البلاستيكية عند تحللها وعندما تقوم بإطلاق الملوثات المشاركة والتقاطها، مثل مركبات ثنائي الفينيل المتعدد الكلور ومثبطات اللهب الهالوجيني، فضلاً عن العناصر النزرة مثل الزئبق والرصاص. ويكتسب تقدير مسارات وآثار هذه العمليات أهمية متزايدة مع تنامي كميات البلاستيك في المحيطات والمحيطات، وعندما تصبح المحيطات عرضة لزيادة الاحترار من جراء تغير المناخ.

٢-٣- دور الوكالة ونهجها

ينص النظام الأساسي للوكالة[٦] على تكليفها بتسريع وتوسيع مساهمة العلوم والتكنولوجيا النوويين في الاستخدامات السلمية. وعلى هذا النحو، فإن الوكالة هي مركز تطوير التكنولوجيات والتطبيقات النووية ونقلها. وتخضع التكنولوجيات النووية لبحوث دقيقة وعمليات تثبُّت من خلال الأنشطة البحثية التي تضطلع بها الوكالة. وحين تصبح التكنولوجيات النووية ذات الصلة ناضجة بالقدر الكافي، يغدو ممكناً نقلها إلى جميع البلدان، وخاصة الدول الأعضاء النامية من خلال برنامج الوكالة للتعاون التقني.

وتتمتع الوكالة بتاريخ طويل وناجح في دعم البحث والتطوير في مجال تطبيقات التكنولوجيات النووية وتلك المستمدة من المجال النووي. وتقوم الوكالة، من خلال إدارة العلوم والتطبيقات النووية التابعة لها، بصيانة وتشغيل مختبرات بيئية في النمسا وموناكو.[٧] وتقوم المختبرات بدعم وتنفيذ أنشطة تستجيب للاحتياجات الانمائية للدول الأعضاء في مجموعة من المجالات. وهي تتمتع بسجل راسخ في مجال البحث والتطوير، وتوفر التدريب والخدمات التحليلية، فضلا عن نقل التكنولوجيات والتقنيات النووية التي ثبتت جدواها إلى الدول الأعضاء.

وتضطلع الوكالة بأنشطة البحث والتطوير ليس فقط في مختبراتها، بل أيضا من خلال شبكاتها البحثية الموسعة، المؤلفة من مؤسسات البحوث، والأوساط الأكاديمية والمختبرات المرجعية. وهي تقوم بذلك من خلال برنامجها الخاص بالبحوث المنسقة وخطط المراكز المتعاونة[٨].

وهناك عدد من المراكز المتعاونة ذات صلة مباشرة بمبادرة نوتيك. وفي حين تتمتع بعض المؤسسات الشريكة بخبرات خاصة في مجال المعالجة الإشعاعية للبوليمرات، ونفايات البوليمرات، والمركبات الحيوية، فإن بعضها الآخر يركز أبحاثه على الدراسات البحرية والأوقيانوغرافية، بما في ذلك تلوث البيئة البحرية. وقد تعززت الفوائد المحتملة لاستخدام مبادرة نوتيك في الأقاليم والبلدان التي توجد بها هذه المراكز المتعاونة مع الوكالة.

---

[٦] تنص المادة الثالثة من **النظام الأساسي** على أن الوكالة مأذون لها "أن تشجع وتساعد البحث في مجال الطاقة الذرية وتنميتها وتطبيقها العملي للأغراض السلمية في العالم أجمع، وأن تعمل وسيطاً، إذا طلب منها ذلك، كيما تجعل أحد أعضاء الوكالة يقدم إلى عضو آخر خدمات أو مواد أو معدات أو مرافق، وأن تقوم بأي عملية أو خدمة يكون فيها نفع للبحث في مجال الطاقة الذرية أو تنميتها أو تطبيقها العملي للأغراض السلمية."

[٧] يقوم مختبر العلوم والأجهزة النووية بتطوير وتكييف ونقل المعدات النووية، فضلا عن تطبيقات المعجلات، للدول الأعضاء لأداء طائفة واسعة من العمليات، من الرصد البيئي إلى علوم المواد. ومختبرات البيئة البحرية الثلاثة التابعة للوكالة في موناكو مكرسة لفهم البيئة البحرية السليمة وحفظها والتنمية المستدامة للموارد البيئية.

[٨] لمزيد من المعلومات حول المراكز المتعاونة، أنظر:
https://www.iaea.org/sites/default/files/16/07/iaea_collaborating_centers_scheme_external_guide_v1.1_april_2016.pdf.

تجري التجارب يوميا في مختبرات البيئة التابعة للوكالة الدولية للطاقة الذرية.

علاوة على مخطط المراكز المتعاونة الذي وضعته الوكالة، والعمل الذي تقوم به في مختبراتها، تشجع الوكالة أيضا البحث والتطوير والاستخدام العملي للتكنولوجيات والتطبيقات النووية وتساعد على ذلك في الدول الأعضاء في جميع أنحاء العالم. وتقوم بجمع مؤسسات البحوث من الدول الأعضاء النامية والمتقدمة النمو للتعاون في مشاريع البحوث ذات الاهتمام المشترك فيما يسمى بالمشاريع البحثية المنسقة. ومن خلال هذه البرامج، تقوم الوكالة، بوصفها الجهة التنسيقية، بمنح البحوث، والعقود التقنية وعقود الدكتوراه، واتفاقات البحوث إلى المعاهد في الدول الأعضاء.

وتتمتع الوكالة بسجل حافل في دعم البحوث والتنمية والأخذ بتقنيات نووية محددة في سياق سلسلة القيمة البلاستيكية. وتطبق الوكالة العلوم والتكنولوجيا النوويين لتكملة التقنيات التقليدية القائمة ولتقديم حلول جديدة لمساعدة دولها الأعضاء.

وفي إطار مبادرة نوتيك، ستعمل المبادرة على الإمعان في توسيع نطاق تطوير تقنيات موثوقة وفعالة من حيث التكلفة لتقييم مدى غزارة المواد البلاستيكية البحرية من حيث المكان والزمان وتقييم طابعها، من أجل اكتساب فهم أفضل لأصلها وآليات نقلها فضلاً عن مصيرها وما ستخلفه من آثار. ويشمل ذلك وضع بروتوكولات موحدة ومنسقة لتحديد المواد البلاستيكية الدقيقة في العينات البيئية، وتدريب العلماء والتقنيين، وإنشاء تقنيات تحليلية تتماشى مع أفضل الممارسات وأحدث العلوم. وفي الوقت نفسه، يمكن أن يساعد الرصد المقارن للمواد البلاستيكية الدقيقة في تحديد الأثر البيئي للمحطة الإيضاحية نوعاً وكماً.

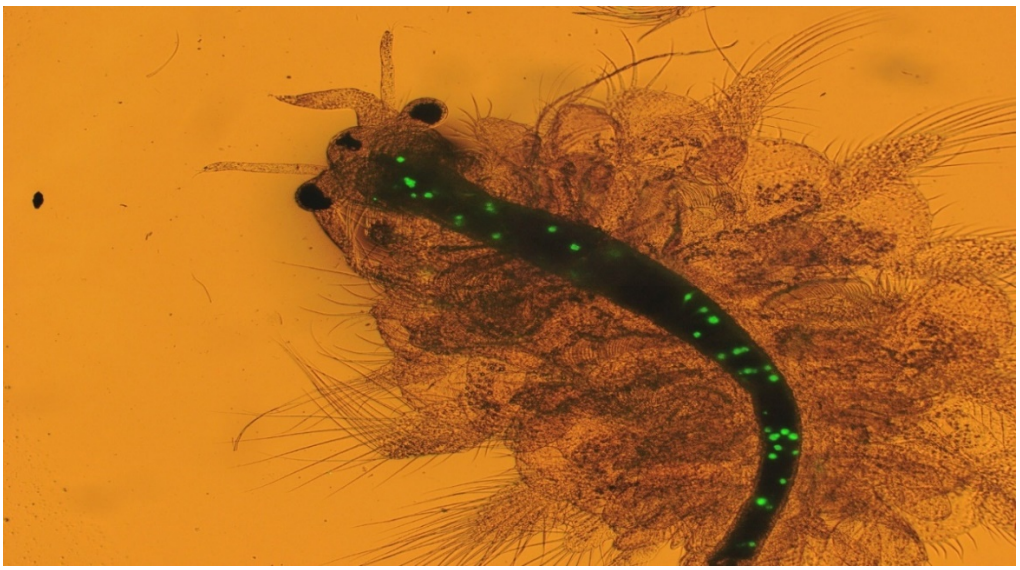
الرصد البحري

باستخدام التقنيات النووية، تدعم الوكالة الدول الأعضاء التي تعمل على الصعيد الوطني من أجل تحقيق أهداف وأرقام التنمية المستدامة التي وضعتها الأمم المتحدة، فضلاً عما تقوم به في إطار عقد الأمم المتحدة لتسخير علوم المحيطات لأغراض التنمية المستدامة. ويشمل هذا العمل تغير المناخ والآثار البشرية المنشأة على المحيطات، مثل التلوث البري أو البحري، والاحترار في المحيطات، وتحمض المحيطات، وفقدان الأكسجين في المحيطات. ومنذ

عام ٢٠١٦، تعكف مختبرات البيئة التابعة للوكالة على دراســـة تأثير المواد البلاســـتيكية على الكائنات البحرية. وتستخدم الحكومات النتائج التي توصلت إليها هذه الدراسات باعتبارها معلومات قائمة على العلم في اتخاذ القرارات السياسية.

وتستخدم الوكالة تقنيات المقتفيات الإشعاعية لدراسة مصير الملوثات أو السموم الحيوية في البيئات الساحلية، فضلاً عن تأثير عوامل الإجهاد العالمية مثل تغير المناخ على الكائنات البحرية. ولهذه الأدوات الآن أهمية كبيرة في دراسة تأثير البلاستيك على الحياة المائية.

ومن خلال برنامج التعاون التقني التابع للوكالة، تعمل العديد من البلدان على تعزيز معارفها في رصـــد الملوثات المختلفة وتخفيف حدتها، مثل تقييم النويدات المشعة والملوثات غير المشعة وتأثيراتها على البيئة والأنظمة البيئية. والوكالة هي أكبر مورد للمواد المرجعية في العالم للونويدات المشعة في شتى المصفوفات، مثل الأسماك والنباتات والتربة والمياه وغيرها من المواد، وبعضـــها يعمل كمعايير قياس دولية، وتوفر الوكالة هذه المعلومات للمختبرات في مختلف أنحاء العالم لمساعدتها في ضمان تطبيق التقنيات التحليلية النووية وغير النووية المناسبة لتحقيق نتائج دقيقة وموثوق بها ويمكن التعويل عليها.



صورة عن قرب لروبيان الأرتيميا بعد تناوله جسيمات بلاستيكية دقيقة في مختبرات البيئة التابعة للوكالة.
(الصورة من: ف. أوبرهاينسلي/الوكالة)

ويتوفر أساس قوي لتنفيذ أنشطة رصد وتقييم المواد البلاستيكية الدقيقة بفضل القدرات التي أنشأها من قبل برنامج التعاون التقني في مجال أخذ عينات التلوث البحري، والتحكم في ازدهار الطحالب، وتحليل الملوثات (بما في ذلك المعادن الثقيلة والمركبات العضوية والنشاط الإشعاعي والسموم)، وسلامة المأكولات البحرية، فضلاً عن التجارب المختبرية باستخدام المقتفيات الإشعاعية. ومن الممكن زيادة القدرات الحالية في هذه المجالات لاستيعاب توصيف وتقييم تلوث البلاستيك من خلال تكنولوجيا إضافية متطورة (مثل: تنظير الطيف بالأشعة تحت الحمراء باستخدام تحويل فورييه (micro-FTIR)، ورامان، والفصل الكروماتوغرافي الغازي-قياس الطيف الكتلي، وغيرها)، فضلاً عن الدورات التدريبية المتخصصة.

إشعاع البوليمرات

في ثمانينات وتسعينات القرن العشرين، كانت البحوث الأساسية حول إشعاع البوليمرات جارية بالفعل من خلال المشاريع البحثية المنسقة، مع التركيز بشكل خاص على البوليمرات للتطبيقات الطبية الحيوية والكيميائية الحيوية، أو البوليمرات للاستخدام الصناعي والطبي، أو المعالجة الإشعاعية للبوليمرات الطبيعية الأصلية.[٩] وفي العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، استمر البحث والتطوير في مجال التكنولوجيا الإشعاعية بشأن البوليمرات،[١٠] كما اشتمل على التطعيم المستحث بالإشعاعات من أجل تطوير ممتزات وأغشية جديدة.[١١] وركز مشروع بحثي منسق آخر على تطوير منتجات معالجة بالإشعاع باستخدام البوليمرات الطبيعية لتوليد منتجات ذات قيمة مضافة ومنتجات قابلة للتسويق لاستخدامها في الزراعة والرعاية الصحية والصناعة والبيئة.[١٢] كما تضمنت بروتوكولات المشاريع البحثية المنسقة توليد مركبات نانوية؛ وتركيبات طلاء جديدة مقاومة للخدش والتآكل باستخدام الإشعاع؛ والبلمرة المستحثة بالإشعاع للطلاءات مع التشطيب المعزز للأسطح؛[١٣] وتطوير مواد تغليف من البوليمرات الطبيعية والمخلقة الجديدة باستخدام التقنيات الإشعاعية، وتقييم تأثيرات الإشعاع على مواد تغليف المواد الغذائية.[١٤] وقد عالجت العديد من المشاريع البحثية المنسقة التطبيقات الصناعية الأخرى للتكنولوجيات الإشعاعية،[١٥] التي أدى الكثير منها إلى نجاح نقل التكنولوجيا وظهور صناعات مستدامة، مما يدل على سجل الوكالة وشركائها في هذه الجهود.

وهناك مشروع بحثي منسق جديد (اعتمد في عام ٢٠٢٠) حول "إعادة تدوير النفايات البوليمرية لأغراض المواد الهيكلية وغير الهيكلية باستخدام الإشعاع المؤيّن" هو في وضع ملائم يسمح له بأن يشكل العمود الفقري للبحث والتطوير لعنصر إعادة تدوير المواد البلاستيكية في إطار مبادرة نوتيك. وفي نهاية عام ٢٠٢٠، قدم اجتماع تشاوري ضم خبراء في الميدان ونظراء من مختلف أنحاء العالم، نظرة عامة واضحة للتكنولوجيات التي يجري اختبارها، فضلاً عن توصيات بشأن أفضل طريقة للمضي قدماً. وتخضع العديد من التكنولوجيات لمراحل مختلفة من البحث والاختبار.

---

[٩] وهذه المشاريع هي: المشروع CRP385 "البوليمرات المعدلة بالإشعاع للتطبيقات الطبية الحيوية والكيميائية الحيوية" (١٩٨٠-١٩٨٣)؛ والمشروع CRP927 "التعديل الإشعاعي للبوليمرات للاستخدام الصناعي والطبي" (١٩٨٤-١٩٨٩)؛ والمشروع CRP1018 "ثبات وتثبيت البوليمرات تحت التشعيع" (١٩٩٣-١٩٩٧)؛ والمشروع CRP931 "المعالجة الإشعاعية للبوليمرات الطبيعية الأصلية" (١٩٩٧-٢٠٠٠).

[١٠] المشروع CRP565 "مكافحة آثار التحلل في المعالجة الإشعاعية للبوليمرات" (٢٠٠٣-٢٠٠٦).

[١١] المشروع CRP1434 تطوير ممتزات وأغشية جديدة بالتطعيم المستحث بالإشعاع لأغراض الفصل الانتقائي (٢٠٠٧-٢٠١١).

[١٢] المشروع CRP1467 تطوير المنتجات المعالجة بالإشعاع من البوليمرات الطبيعية للتطبيق في مجالات الزراعة والرعاية الصحية والصناعة والبيئة (٢٠٠٧-٢٠١٣).

[١٣] والمشروع CRP1783 المعالجة الإشعاعية للمركبات لأجل تحسين سماتها وفائدتها في الرعاية الصحية والصناعة (٢٠١١-٢٠١٥)

[١٤] المشروع CRP1947 تطبيق التكنولوجيا الإشعاعية في تطوير مواد تعبئة وتغليف متقدمة للمنتجات الغذائية (٢٠١٣-٢٠١٧).

[١٥] المشروع CRP1539 معالجة مياه المجاري بالإشعاعات قصد إعادة استخدامها لاسيما مياه المجاري المحتوية على ملوثات عضوية (٢٠١٠-٢٠١٦)؛ والمشروع CRP2220 إبطال مفعول المخاطر البيولوجية إشعاعياً باستخدام معجّلات الحزم الإلكترونية العاملة بطاقة عالية (٢٠١٨-٢٠٢٢)؛ والمشروع CRP2216 التكنولوجيات الإشعاعية لمعالجة الملوّثات العضوية الناشئة، (٢٠١٩-٢٠٢٣).

وتبرز التوصيات المقدمة إلى الوكالة من الاجتماع التشاوري أهمية مكون إعادة تدوير البلاستيك في إطار مبادرة نوتيك. وتتسم إمكانات التكنولوجيا الإشعاعية لتحويل نفايات البوليمرات إلى مواد تلقيم ومواد جديدة للتطبيقات الهيكلية وغير الهيكلية ذات الأداء العالي بالرسوخ، ولذلك تلقت الوكالة نداءات من الدول الأعضاء لزيادة اعتمادها وتعزيزها ونقلها. وعلى وجه التحديد، يوصى بأن تقوم الوكالة بتحليل وتشجيع استخدام تكنولوجيات المعالجة الإشعاعية الخطية والقابلة للتعديل التي تكمل العمليات الميكانيكية والكيميائية القائمة، كمثال على أساليب التصنيع القابلة للتوسّع، من أجل إيجاد حلول مستدامة وفعالة من حيث التكلفة ورفيقة بالبيئة في إنتاج البلاستيك وإعادة تدويره. ولبلوغ هذه الغاية، تعمل الوكالة على المساعدة في إقامة تعاون دولي على المستويات الحكومية والصناعية والعلمية، فضلا عن العمل على زيادة إبراز فائدة التطبيقات المأمونة والآمنة للتكنولوجيات الإشعاعية في إعادة تدوير النفايات البوليمرية، وزيادة حضور تلك التطبيقات والوعي العالمي بها.

والواقع أن نتائج أنشطة البحث والتطوير التي تضطلع بها الوكالة تنتقل في شكل معارف راسخة وتكنولوجيا مثبتة إلى الدول الأعضاء. وقد أفلح برنامج التعاون التقني التابع للوكالة بالفعل في بناء القدرات الوطنية وتعزيز القدرات التقنية للدول الأعضاء لاستخدام التكنولوجيا الإشعاعية في إعادة تدوير البوليمرات. وقد استفادت دول أعضاء كثيرة بالفعل من نقل تكنولوجيات من قبيل الأشعة الإلكترونية وأجهزة التشعيع بأشعة غاما لمعالجة المواد ولإنتاج مواد متقدمة.

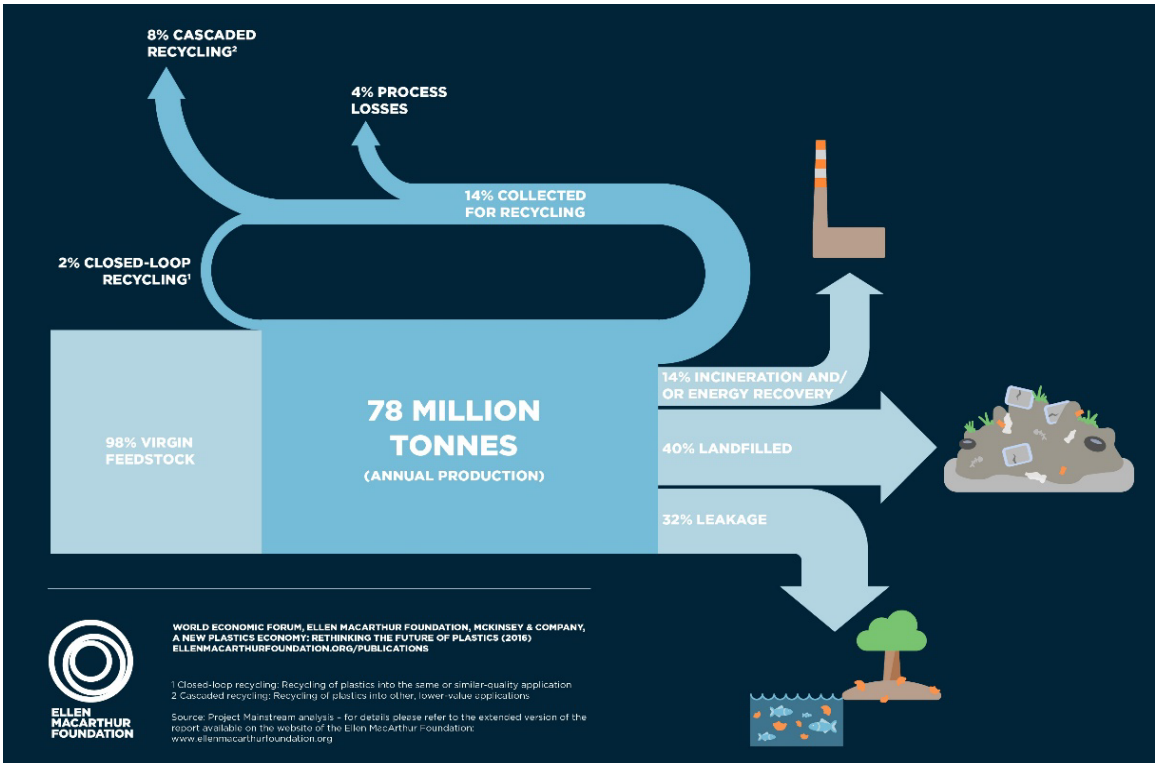
٣- النهج القائم على النتائج الذي تتبناه مبادرة نوتيك

٣-١- كيف ستدعم مبادرة نوتيك التحول نحو اقتصاد دائري: نظرية التغيير

من النموذج الخطي إلى النموذج الدائري

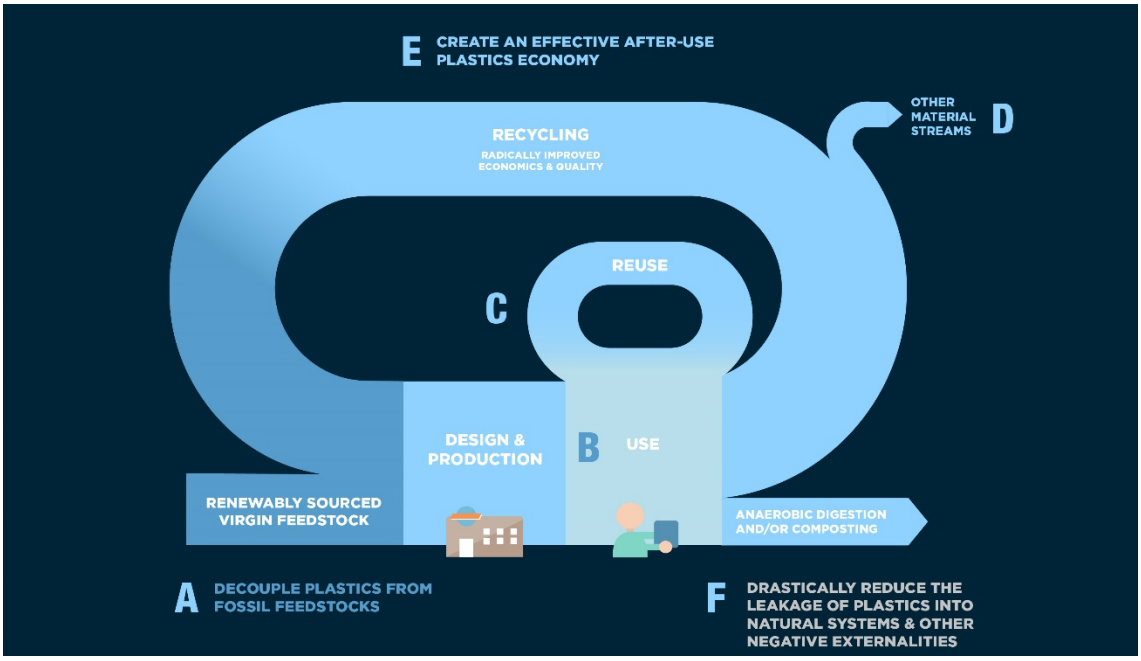
تتعهد خطة عام ٢٠٣٠ بالقضاء على الفقر المتعدد الأبعاد وتحقيق التنمية المستدامة والمنصفة للجميع. ويشكل استخدام التكنولوجيات النووية لدعم التحول من اقتصاد خطي إلى اقتصاد دائري للبلاستيك إسهاماً أصيلاً في أجندة ٢٠٣٠. ويتعهد الهدف الثاني عشر بالالتزام من جانب المجتمع الدولي بأنماط الاستهلاك والإنتاج المستدامة، ويدعو الهدف ١٢-٥ من أهداف التنمية المستدامة الدول على وجه التحديد إلى "الحد بدرجة كبيرة من إنتاج النفايات، من خلال المنع والتخفيض وإعادة التدوير وإعادة الاستعمال" بحلول عام ٢٠٣٠.

وتتطلب معالجة الأسباب الجذرية للتلوث البلاستيكي حلولاً انتظامية تعمل على الحد من الطلب على مواد الوقود الأحفوري المحدودة وتقليص العوامل الخارجية السلبية المرتبطة بسلسلة القيمة البلاستيكية الحالية. باختصار، يتعين على المجتمع العالمي أن يقلل من كميات البلاستيك من مواد التلقيم البكر التي تدخل في الاقتصاد وتخرج منه بدون أي قيمة مضافة إضافية. وبعبارة أخرى، يتعين على العالم أن يتحول من نهج التصرف في النفايات إلى نهج إدارة الموارد. ويمكن تحقيق هذا بالانتقال من نموذج "خذ-اصنع-إرمِ" الخطي إلى اقتصاد دائري. وفي إطار هذا النموذج، يمكن اتخاذ الإجراءات في مراحل متعددة من سلسلة القيمة كما هو موضح أدناه.



الشكل ٤- التدفقات العالمية للتغليف البلاستيكي (٢٠١٣). (المصدر: مؤسسة إلين ماك آرثر)

إن نموذج انتقال البلاستيك إلى المحيط (P2O) [١] هو "النموذج الأول من نوعه" الذي طوّر بغية تحليل المخزونات والتدفقات من المواد والنفايات البلاستيكية داخل المجتمع ومن خلاله على مستوى عالمي. ويسمح هذا النموذج بإجراء التوقعات والتحليلات العالمية على جميع مكونات نظام التصرف في النفايات البلاستيكية. وتستخدم مبادرة نوتيك هذا النموذج لتقييم الأثر الاقتصادي للتكنولوجيات النووية على اقتصاديات النفايات البلاستيكية. وفي الوقت الحالي، تستند بارامترات مدخلات النموذج إلى التوقعات والتقديرات. وبمجرد تشغيل المحطات التجريبية وتوفير بيانات الأداء الرئيسية، ينبغي أن تزداد موثوقية توقعات النموذج.



ألف- **الحد من إنتاج البلاستيك**

باء- **الحد من استخدام البلاستيك**

جيم- **زيادة إعادة استخدام المنتجات البلاستيكية (لتجنب زيادة المواد الأحادية الاستخدام وحدوث زيادة هائلة في النفايات البلاستيكية)**

دال- **زيادة إعادة تدوير النفايات البلاستيكية للحصول على منتجات أخرى**

هاء- **زيادة جودة النفايات المُعاد تدويرها لاستخدامها كمدخلات في إنتاج البلاستيك / استبدال المدخلات القائمة على النفط**

واو- **تنظيف المحيطات والبر من النفايات البلاستيكية الموجودة**

الشكل ٥- أهداف الاقتصاد الجديد للبلاستيك. (المصدر: المحفل الاقتصادي العالمي، مؤسسة إلين ماك آرثر، مركز ماكينزي للأعمال والبيئة، المرجع [٤])

٣-٢- الهدف والحصائل

يتمثل الهدف الشامل لمبادرة نوتيك ***في مساعدة الدول الأعضاء في الوكالة على إدماج التقنيات النووية في جهودها الرامية إلى التصدي لتحديات التلوث البلاستيكي***.

والحصيلتان الرئيسيتان هما:

١- تعزيز الفهم العالمي لشدة التلوث البلاستيكي البحري وتأثيره.

٢- تحسين أساليب إعادة التدوير والإنتاج من خلال تطبيق التقنيات الإشعاعية لتكملة الممارسات التقليدية.

تعزيز الفهم العالمي لشدة التلوث البلاستيكي البحري وتأثيره

يهدف هذا المكوّن إلى تمكين الدول الأعضاء من تحسين إدارة البلاستيك البحري من خلال تقييم حالتها الأساسية وسيناريوهاتها المتوقعة فيما يتعلق بالتلوث البلاستيكي في مياهها الإقليمية وحواليها. وسوف تقوم مبادرة نوتيك ببناء قدرات المختبرات في جميع أنحاء العالم على نشر التقنيات النظيرية، إلى جانب غيرها، لرصد وتقييم أثر التلوث البلاستيكي البحري، والتمكين من تبادل البيانات والمعارف وأفضل الممارسات في هذا المجال. وقد أنشأت عدة دول أعضاء من جميع الأقاليم الجغرافية بالفعل قدرات قوية في مجال رصد البيئة البحرية بمساعدة الوكالة، ويمكن أن تستفيد أكثر من ذلك من مبادرة نوتيك.

المُخرج ١-١: رفع الوعي العالمي بشأن تطبيق التقنيات النظيرية لرصد البلاستيك البحري وتقييم أثره.

يهدف هذا المخرج إلى بناء وعي عالمي بمزايا التقنيات النظيرية من حيث الصحة والدقة بغية سد الفجوة المعرفية العالمية في رصد المواد البلاستيكية البحرية الدقيقة والنانوية وتقييم أثرها.

المُخرج ١-٢: تحديد الشركاء من القطاعين العام والخاص لدعم تحسين قدرات الرصد في المختبرات البحرية.

يهدف هذا المخرج إلى الاستفادة من الشراكات اللازمة بين أصحاب المصلحة المتعددين لتيسير الاستخدام الأوسع للتقنيات النظيرية من أجل الرصد الدقيق للمواد البلاستيكية الدقيقة والنانوية وتقييمها من حيث الأثر في البيئة البحرية.

المُخرج ١-٣: إنشاء مختبرات عاملة تتمتع بمعدات كافية وموظفين مدربين واعتماد ما يلائم من البروتوكولات.

يركز هذا المنتج على نقل المعدات والخدمات الاستشارية التقنية والتدريبات، فضلا عن دعم البلدان في وضع البروتوكولات اللازمة لجمع المواد البلاستيكية الدقيقة في المحيطات ورسم خرائط لها وتعقبها، وتقييم أثرها على النظم الإيكولوجية البحرية.

المُخرج ١-٤: شبكة الرصد التابعة لمبادرة نوتيك.

سينشئ هذا المخرج شبكة عالمية من المختبرات القادرة على رصد وتقييم أثر البلاستيك البحري لإتاحة تبادل البيانات والمعارف وأفضل الممارسات. وستستخدم هذه المختبرات كمراكز إقليمية للموارد من أجل توفير الخدمات والتعلم توفيراً مستمراً.

المُخرج ١-٥: معرفة مصادر المواد البلاستيكية الدقيقة والنانوية ومعرفة توزيعها ونقلها وتأثيراتها ووجهتها.

وسوف يعزز هذا المخرج البحث والمعرفة حول المواد البلاستيكية الدقيقة والنانوية.

تحسين أساليب إعادة التدوير والإنتاج من خلال تطبيق التقنيات الإشعاعية

المعالجة الإشعاعية هي تقنية مثبتة في المختبرات العلمية، ومن الممكن أن تكمل إعادة التدوير الميكانيكي والكيميائي. ومع ذلك، لا يعرفها مجتمع البلاستيك العالمي ولم تُدرج كحل بديل. ويهدف هذا المكون إلى تزويد أصحاب المصلحة بأدلة على فعالية وكفاءة التقنيات الإشعاعية في تحسين أساليب إعادة التدوير القائمة. كما أنه سيعجل بعملية نقل التكنولوجيات من المختبرات إلى الاستخدام التجاري عن طريق إشراك الجهات الفاعلة من القطاع الخاص في عملية التحقق من الصحة وبناء الشراكات لدعم تبنيها باكراً.

والتكنولوجيا الإشعاعية هي تقنية مكملة لعملية إعادة التدوير الكيميائية والميكانيكية القائمة حالياً، ومن ثمّ فإنه يتعين على البلدان الراغبة في تنفيذ أنشطة في إطار هذا المكون أن تكفل مجموعة من الشروط المسبقة لسلاسل قيمة المواد البلاستيكية فضلا عن وضع الأطر الرقابية المساعدة.

المُخرج ٢-١: زيادة الوعي العالمي بالميزة النسبية للتكنولوجيا الإشعاعية في مجال معالجة البلاستيك وإعادة تدويره.

ويهدف هذا المخرج إلى زيادة إبراز دور التقنيات الإشعاعية كجزء من حل مشكلة التلوث البلاستيكي من خلال بناء الوعي في المجتمع البلاستيكي العالمي.

المُخرج ٢-٢: تحديد الشركاء من القطاعين العام والخاص لدعم عمليات نقل التكنولوجيا الإشعاعية من المختبر إلى المصنع.

يهدف هذا المخرج إلى الاستفادة من الشراكات الضرورية بين أصحاب المصلحة المتعددين لتيسير الاستخدام الأوسع لأساليب التشعيع في استكمال العمليات المعمول بها حالياً في مجال إنتاج البلاستيك وإعادة تدويره.

المُخرج ٢-٣: المرحلة ١: تركيب آلات تشعيع تجريبية في محطات إعادة التدوير.

يركز هذا المخرج على ضمان توافر القدرات المؤسسية الكافية لوضع برامج تجريبية بشأن التكنولوجيات الإشعاعية للتصرف في النفايات البلاستيكية. وهو يدعم نقل المعدات، والتدريب، وإسداء مشورة الخبراء بشأن وضع البروتوكولات اللازمة على أساس خطط عمل تطوير المحطات التجريبية. ويتضمن أيضا عملية تقييم التكنولوجيا المنقولة والتثبت منها من خلال تحليل نسبة المنفعة إلى التكلفة ووضع نماذج للجدوى بالنسبة للبلدان/الجهات المرشحة.

المُخرج ٢-٤: المرحلة ٢: تشغيل محطة إيضاحية بالتعاون مع شركاء من القطاعين العام والخاص، بما يمكّن من تحويل هذه التكنولوجيا إلى النطاق التجاري.

يركز هذا المخرج على دعم عملية إعداد المحطة التجريبية، فضلاً عن تقديم مشورة الخبراء والإشراف على تركيب جهاز التشعيع بالمحطة وتشغيله.

٣-٣- النمذجة الاقتصادية

ترتبط النفايات البحرية بتكاليف تبلغ ١٣ بليون دولار أمريكي سنويا، وينتج ذلك بصورة رئيسية من خلال تأثيرها السلبي على مصائد الأسماك والسياحة والتنوع البيولوجي [٣٢]. وتقدر التكلفة الاجتماعية والبيئية الكلية للتلوث البلاستيكي بمبلغ ١٣٩ بليون دولار أمريكي في السنة [٣٣]. وينشأ نصف ذلك عن التأثيرات المناخية الناجمة عن انبعاثات غازات الدفيئة التي ترتبط بإنتاج البلاستيك ونقله. وينشأ ثلث آخر عن تأثير تلوث الهواء والمياه والأراضي ذي الصلة على الصحة والمحاصيل والبيئة، بالإضافة إلى تكلفة التخلص من النفايات. وأي جهد يبذل للحد من هذا العبء الاجتماعي سوف يكون نتيجة إيجابية تساهم الوكالة في تحقيقها.

القيمة المضافة للتكنولوجيات النووية على سلسلة القيمة البلاستيكية الشاملة

يعرض هذا الفرع النهج المنهجي المستخدم لتقدير المساهمة التي يمكن أن تقدمها التكنولوجيات المستمدة من المجال النووي للتعجيل بالانتقال إلى اقتصاد دائري للبلاستيك. وسيساعد هذا النهج في تحسين تقدير "القيمة المضافة" التي يمكن أن تجلبها التكنولوجيات النووية وتلك المشتقة من المجال النووي إلى سلسلة القيمة البلاستيكية. ويساعد توضيح القيمة المضافة المتوقعة من هذه التكنولوجيات التجريبية في ربط المختبرات بمحطات إعادة التدوير التجارية، وكيانات القطاع الخاص الأخرى، ومبادرات التثبت التقني المدعومة ببرامج التعاون التقني، وبالتالي الحد من التأخير في نقل التكنولوجيا، وزيادة فعالية جهود الوكالة.

ويؤدي النهج المنهجي دوره على مستويين، مستخدماً نظماً متقدمة للنمذجة الاقتصادية والمالية.

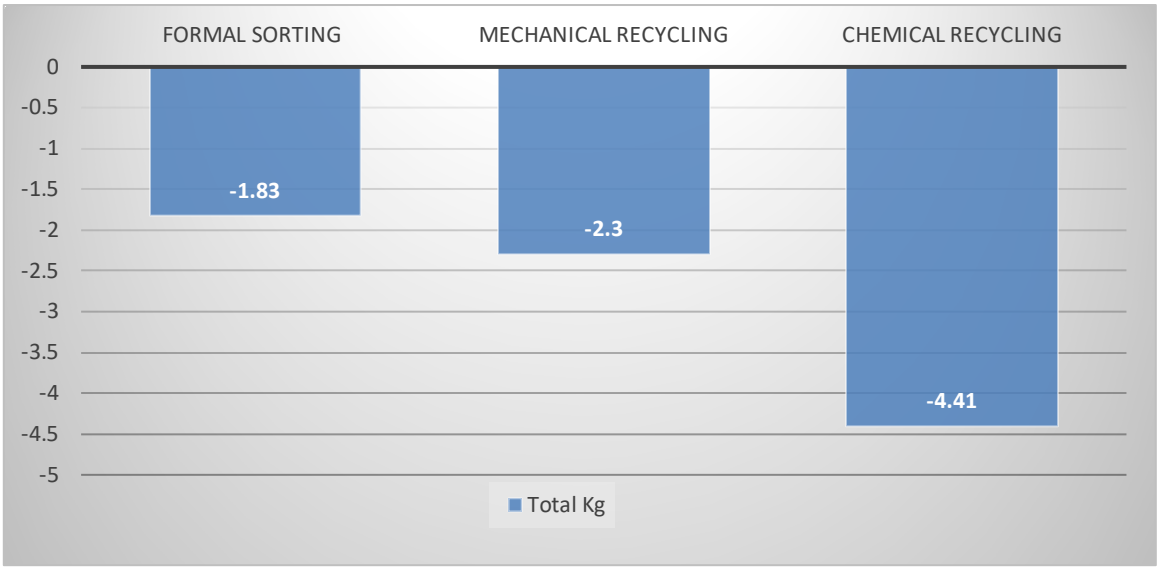
أولا، أُجري تحليل أولي للمنفعة إلى التكلفة فيما يخص مختلف درجات المحطات لتقييم الميزة المحتملة التي يمكن أن تتمتع بها هذه المحطات مقارنة بالمرافق القائمة. واستند التحليل إلى افتراض أن التكنولوجيا الإشعاعية من الممكن أن تحسن عمليات إعادة التدوير القائمة وتولد حبيبات عالية الجودة من خلال عملية توفير الطاقة مع خفض تكاليف المدخلات عموما.[١٦] وسيطبق هذا النهج المنهجي أثناء التنفيذ لضمان التثبت بدقة من التكنولوجيا، وتحديث البيانات الرئيسية المتعلقة بالسوق والصناعة بمجرد توفرها، ووضع كل اقتراح محدد في سياقه حسب الاقتضاء.

وثانيا، عُدِّدت الفوائد المتوقعة من الأعمال المنسقة التي اضطلعت بها مبادرة نوتيك، بمقارنة الحالة الراهنة بالأثر المحتمل الناتج عن إدخال هذه التكنولوجيات الجديدة. وقد تسنى القيام بذلك عن طريق تحليل الحساسية باستخدام نموذج P2O المشار إليه أعلاه. وحددت البارامترات الخاصة بهذا النموذج وعدّلت لتعكس التحسينات التكنولوجية المفترضة في نماذج المستوى الجزئي. وسيجري الاضطلاع بأعمال إضافية لتشمل الفوائد المتوقعة من زيادة قدرات الرصد البحري للمواد البلاستيكية الدقيقة وما يتصل بذلك من صنع القرار القائم على المعطيات العلمية بمجرد توفر المعلومات المفصلة.

---

[١٦] افتراضات قائمة على استنتاجات اجتماع الخبراء الاستشاريين الافتراضي الذي عقدته الوكالة في الفترة ٢٧-٣٠ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٢٠، حيث تأكد أن التحلل الإشعاعي يمكن أن يقلص درجات حرارة التحلل الحراري بمقدار ١٥٠ درجة، أي بما يعادل توفير طاقة تصل إلى ٧٠٠ كيلوجول/كغ، ما يؤكد مجدداً النتائج التي توصل إليها أي في بونوماريف (٢٠٢٠). Radiolysis as a Powerful Tool for Polymer Waste Recycling [التحلل الإشعاعي كأداة فعالة لإعادة تدوير النفايات البوليمرية]. مجلة *High Energy Chemistry*، ٥٤، ١٩٤-٢٠٤.

ومن خلال نموذج P2O، اختُبر الانخفاض المحتمل الذي يمكن أن توفره التكنولوجيا الإشـــعاعية من حيث الحد من تسرب المواد البلاستيكية إلى المحيط. ويكشف تمرين النمذجة أن التكنولوجيا الإشعاعية، إذا نُشرت إلى جانب عملية الفرز أو عملية إعادة التدوير الميكانيكية أو الكيميائية، من شأنها أن تحد من النفايات البحرية. وكما يوضح الشكل ٦ أدناه، فإن الإشـــعاع إلى جانب الفرز الرســـمي يقلل النفايات بمقدار ١,٨٣ كغم/طن متري، وإذا نشـــرت إلى جانب إعادة التدوير الميكانيكية فســـوف يصـــل الرقم إلى ٢,٣ كغم/طن متري. ويمكن أن يتحقق أعلى خفض في النفايات البحرية إذا نشـــرت التكنولوجيات الإشـــعاعية جنباً إلى جنب مع التحويل الكيميائي إلى مونومرات وإلى مواد هيدروكربونية (٤,٤١ كغم/طن متري). وخلص التحليل إلى أنه من خلال اســـتكمال التحويل الكيميائي بالإشـــعاع، **تزداد نسبة الانخفاض المقدرة في قمامة المحيطات مرتين** مقارنة بالانخفاض المتأتي عن طريق نشـر التكنولوجيا الإشعاعية في عملية الفرز أو إلى جانب إعادة التدوير الميكانيكية.



الشكل ٦- تقليل احتمال تسرب البلاستيك إلى المحيطات عن طريق نشر التقنية الإشعاعية جنباً إلى جنب مع التقنيات التقليدية بالطن المتري. إعداد خاص استنادًا إلى أدوات نموذج P2O.

هذه هي النتائج الأولية استناداً إلى افتراضات تتعلق بتكنولوجيات إعادة التدوير المحسنة. وهذه النتائج متحفظة، لأن البلاســتيك المعاد تدويره يمثل ٩٪ فقط من معادلة التصــرف في النفايات البلاســتيكية الكلية؛ ومع ذلك، يجري حاليا وضـــع نموذج ديناميكي، يأخذ في الاعتبار الزيادات المتوقعة في أحجام إعادة التدوير (حتى ٦٠ في المائة)، وذلك لدراســة الأثر الذي قد يترتب عن التكنولوجيات الجديدة التي تقدمها مبادرة نوتيك كجزء من عملية انتقال شــاملة إلى اقتصاد دائري [٣٤].

٣-٤- الاستدامة والمخاطر والتخفيف

يعتمد تحقيق التحول الإجمالي إلى اقتصـــاد دائري للبلاســـتيك على تعظيم الكفاءة والفعالية من حيث التكلفة في استخدام البلاستيك المعاد استخدامه وإعادة تدويره مقارنة بالبلاستيك الجديد المستمد من الوقود الأحفوري. وتعتبر الميزة التنافسية التي تؤتيها التكنولوجيات الإشعاعية عنصراً أساسياً لتحقيق النجاح.

وستقوم أداة نتائج الإدارة الشاملة والرصد باقتفاء التقدم المحرز في التنفيذ والنفقات المتصلة بالأنشطة المضطلع بها في إطار مبادرة نوتيك، وسيستخدم نموذج P2O المشار إليه أعلاه في تقييم النتائج المحققة وتوقعها. وسوف يسمح هذا النموذج أيضاً بتحديد الاختناقات الرئيسية في التدفق المتوقع لتدخلات محددة، الأمر الذي يجعل من الممكن معالجة التدخلات المركزة لتلافي أوجه القصور في استدامة الانتقال نحو اقتصاد دائري للبلاستيك. وستمهد هذه الحجج الطريق للمضي قدما للنظر إلى البلاستيك ليس باعتباره مادة خاما ذات قيمة وليس مجرد نفايات.

وهناك العديد من أوجه عدم اليقين التي تحيط بالسيناريوهات المحتملة المختلفة لتحقيق أهداف مبادرة نوتيك، وهي تعتمد على مجموعة من العوامل والجهات الفاعلة التي تقع خارج نطاق سيطرة مبادرة نوتيك. وفي الوقت الذي وضعت فيه نظرية التغيير، حُدِّدت مجموعة من الشروط المسبقة الرئيسية، ووضعت افتراضات بشأن الإجراءات ذات الصلة التي يلزم اتخاذها لكي تحقق مبادرة نوتيك النتائج المرجوة منها. وإذا لم يتحقق أي من هذه الإجراءات، فقد يشكل ذلك خطراً على المبادرة.

٣-٥- الاحتياجات من الموارد والتمويل

سوف يتكلف تعزيز قدرة مختبرٍ بحري نحو ١,١ مليون يورو (بما في ذلك تقييم الاحتياجات وبناء القدرات والمعدات)، وسوف تبلغ تكلفة إنشاء محطة تجريبية للتشعيع نحو ٢,١ مليون يورو (بما في ذلك بناء القدرات، ودراسات الجدوى، والمعدات/أعمال التشييد). وهذه أرقام استرشادية. وسيجري إعداد مشاريع وموازنات محددة للمبادرة بالتشاور مع الدول الأعضاء المعينة التي طلبت ذلك. وبناء على ذلك، ستحدد الاحتياجات المالية للمشاريع الخاصة.

٤- الشراكات

مشكلة البلاستيك العالمية مشكلة عابرة للحدود بطبيعتها وتؤثر على كل بلدان العالم، حيث تتحمل الاقتصادات النامية العبء الأثقل. ولا تزال هناك قضايا قائمة على طول سلسلة القيمة البلاستيكية، وتشارك مجموعة متنوعة من الجهات الفاعلة في حلها. ولا تغطي ولاية الوكالة سوى جزء من سلسلة قيمة البلاستيك من خلال تطبيق العلوم والتكنولوجيا النووية باعتبارها مكملة للأساليب القائمة. ويتطلب التوصل إلى حل شامل ومستدام للعبء البلاستيكي العالمي نهجاً متكاملاً وشاملاً لا يمكن تحقيقه إلا بالشراكة مع الهيئات التي لها دور تكميلي. وسيكون من الضروري العمل مع المبادرات الوطنية والإقليمية والدولية القائمة على الصعيدين العالمي والقُطري. ويشمل ذلك التعاون مع كيانات الأمم المتحدة، والبنوك الإنمائية المتعددة الأطراف، والمؤسسات الخيرية، والشراكات القائمة على نطاق واسع، بما في ذلك منصات أصحاب المصلحة المتعددين، والشراكات والمبادرات بين القطاعين العام والخاص، فضلا عن المؤسسات العلمية والبحثية.

وتعتزم الوكالة توفير قيمة مضافة للشراكات القائمة التي تتصدى للتحدي البلاستيكي العالمي. وسوف تقوم بذلك من خلال ما يلي:

- تزويد الشركاء بتقييم دقيق لتوصيف خصائص المواد البلاستيكية، وكمياتها، وتوزيعها وتأثيرها، من أجل الاسترشاد بها في وضع السياسات واتخاذ القرارات الإدارية في المسائل البيئية.

- تقديم خيارات جديدة لإعادة تدوير البلاستيك من خلال التكنولوجيات الإشعاعية لتكميل الأساليب التقليدية ابتغاء سد الفجوات القائمة التي لم تعالج حتى الآن من خلال أي مبادرة بشأن النفايات البلاستيكية.

ولتحقيق هذه الغاية، ستعمل الوكالة على تكثيف مشاركتها مع الشركاء المعنيين لزيادة الوعي بالمزايا الفريدة للتكنولوجيات النووية لتكميل التكنولوجيات القائمة والسعي إلى إقامة شراكات للتعجيل بالانتقال إلى اقتصاد دائري للبلاستيك.

وتعتزم الوكالة تعزيز تعاونها مع المنظمات الشقيقة في منظومة الأمم المتحدة التي تعمل على جوانب تكميلية بشأن التحدي العالمي المتمثل في البلاستيك. وتشمل هذه البرامج اللجنة الأوقيانوغرافية الحكومية الدولية-اليونسكو، ومنظمة الأغذية والزراعة (الفاو)، وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ومنظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (اليونيدو) التي تشارك أيضا في عقد علوم المحيطات من أجل التنمية المستدامة، الذي تعد الوكالة أيضا شريكا رسميا فيه. ولدى الوكالة بالفعل شراكات مع العديد من هذه المنظمات التي تعمل بصورة مباشرة أو غير مباشرة في مجال النفايات البلاستيكية العالمية وآثارها المختلفة على الأرض وفي المحيطات والغلاف الجوي.

وسوف يكون القطاع الخاص شريكاً بالغ الأهمية في الانتقال إلى اقتصاد دائري قائم على تدابير حكومية قوية وتحقيق الملكية من خلال سياسات تمكينية وبيئة قانونية داعمة. وبالتالي فسوف تتعاون الوكالة مع الشراكات القائمة الرفيعة المستوى بين القطاعين العام والخاص (على سبيل المثال الشراكة العالمية بشأن البلاستيك)، والمؤسسات، وجمعيات القطاع الخاص، فضلا عن شركات القطاع الخاص التي تنتج منتجات بلاستيكية لاختبار وتطبيق جدوى وفعالية الإشعاع في إعادة تدوير المواد البلاستيكية. ومن شأن الاستفادة من الشراكات مع مجتمع الأعمال، والشراكات الراسخة بين القطاعين العام والخاص، والمؤسسات، والجمعيات المعنية بالبلاستيك، وغيرها من أصحاب المصلحة ذوي الصلة، أن تزيد من الوعي بفوائد العلوم والتكنولوجيا النوويين في التعامل مع النفايات البلاستيكية، حيث تُطبق الابتكارات التكنولوجية والحلول الإبداعية في الممارسة العملية، وأن تعمل على توسيع نطاق التواصل مع شبكات الشركاء المحتملين الآخرين.

وإدراكا من الوكالة للاستثمارات الواسعة النطاق اللازمة للتحول الضروري إلى ممارسات أكثر استدامة في مجال إدارة البلاستيك، فإنها ستعمل عن كثب مع المؤسسات المالية الدولية ومؤسسات تمويل التنمية بوصفها جهات استثمارية مهمة في الجهود التي يبذلها القطاعان الوطني والخاص لسد الفجوات في الاقتصاد الدائري للبلاستيك.

وستبذل المساعي للتعاون مع المؤسسات التقنية والعلمية الأخرى لتبادل المعلومات والاستفادة من المساهمات، ومن هذه المؤسسات:

- المؤسسات البحثية التي تركز على التلوث البلاستيكي في العينات الجوفية الأسطوانية من الجليد في القطب الشمالي مثل مركز هيلهولتز التابع لمعهد ألفريد فيغنر الألماني للبحوث القطبية والبحرية؛ والمعهد السويسري لبحوث الثلج والانجرافات الجليدية؛ ومجلس البحوث في النرويج؛ والمركز الدانمركي للبحوث البحرية؛ والاستقصاء البريطاني للقطب الجنوبي؛ والمعهد القطبي النرويجي؛ وآركتيك نت، وغيرها.

- أصحاب المصلحة الذين لديهم قدرات متطورة في مجال النمذجة، مثل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، وهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية ، والمركز الدولي للفيزياء النظرية.

٥- التنفيذ

٥-١- نهج التنفيذ

ستنفذ الأنشطة الموصوفة في وثيقة مبادرة نوتيك باستخدام مجموعة متنوعة من آليات التنفيذ المعمول بها في الوكالة، مثل مشاريع التعاون التقني، والمشاريع البحثية المنسقة، والأنشطة البرنامجية الأخرى. والمكونان الرئيسيان في مبادرة نوتيك للبلاستيك، وهما الرصد البحري وإعادة التدوير/الاستخدام متشابكان منطقياً، حيث أن كلاً منهما يشكل إسهاماً في حل المشكلة العالمية المتمثلة في التلوث بالمواد البلاستيك. غير أنهما مستقلان من الناحية التشغيلية، لأن تنفيذ الأنشطة في أحدهما لا يتوقف على تنفيذ المكون الآخر. وتأخذ مبادرة نوتيك في الاعتبار علاقة الارتباط غير الاعتمادي هذه بين المكونين من خلال اتباع **نهج معياري في التنفيذ**. ولهذا النهج ميزة مزدوجة:

فأولا، يعد النهج المعياري الأنسب لتلبية الاحتياجات والتفضيلات والقدرات المختلفة للبلدان لمعالجة مشكلة البلاستيك الخاصة بكل منها. وفي بعض الحالات، قد يستلزم ذلك ضرورة إجراء رصدٍ وتقييم أكثر دقة للتلوث البلاستيكي البحري، وفي حالات أخرى قد يستلزم ذلك تحسين مرافق إعادة تدوير البلاستيك باستخدام التكنولوجيا الإشعاعية، وفي ظروف أخرى، قد ترغب البلدان في اختيار كلا العنصرين. ويكفل النهج المعياري الاضطلاع بالتنفيذ بأقصى قدر من المرونة، بالاستناد بشكل وثيق إلى احتياجات الدول الأعضاء وأولوياتها.

وثانيا، يوفر النهج المعياري المرونة في حشد الموارد المالية (وغير المالية) اللازمة وتأمينها، وبالتالي التمكين من التنفيذ مبكراً. ومن الممكن أن يبدأ تنفيذ أنشطة مبادرة نوتيك بمجرد توافر أقل قدر من الموارد يكفي للانطلاق، ريثما يجري العمل لتوفير الموارد المتبقية. ولهذا النهج ميزة إضافية تتمثل في السماح للمانحين والشركاء بالمشاركة في أنشطة محددة، حسب تفضيلاتهم وأولوياتهم.

وهناك ما يزيد على ٤٠ مشروعاً جارياً أو مخططاً له من مشاريع التعاون التقني والمشاريع البحثية المنسقة، وغير ذلك من الأنشطة البرنامجية المتصلة بالتكنولوجيات الإشعاعية والرصد البيئي. ومن بين هذه المشاريع هناك أكثر من ٢٥ مشروعاً يتصل مباشرة بالبلاستيك. ويمكن أن توسع هذه المشاريع نطاق أنشطتها لتشمل مبادرة نوتيك حسب الاقتضاء.

وسيطلب إلى البلدان التي ترغب في المشاركة في أنشطة مبادرة نوتيك، إما في مكون إعادة التدوير أو مكون الرصد (أو كليهما)، أن تنظر في المعايير التالية:

- حجم مشكلة النفايات البلاستيكية الوطنية/الإقليمية.
- الالتزام السياسي القوي بمعالجة تلوث النفايات البلاستيكية، وهو ما يتجلى في السياسات والخطط والأهداف ذات الصلة، بالإضافة إلى الروابط القوية والاستراتيجية بين مؤسساتها الوطنية، والشبكات ومنصات التعاون الإقليمية ذات الصلة.
- جمع النفايات البلاستيكية وفرزها من خلال عمليات التصرف الرسمية أو غير الرسمية في النفايات البلاستيكية.
- المشاركة القائمة في المبادرات الخاصة بالنفايات البلاستيكية. من شأن ذلك أن يضمن معالجة سلسلة القيمة البلاستيكية بالكامل ويضمن أن تكون مساهمة الوكالة وتأثيرها أكبر مما لو تدخلت منفردة.

- الالتزام بزيادة فهم الآثار البحرية للتلوث بالمواد البلاستيكية الدقيقة.
- القدرة الحالية في مجال التكنولوجيات الإشعاعية و/أو التحليلات البيئية البحرية.
- الخبرة في العمل مع الوكالة في ميدان التقنيات والتطبيقات النووية، مثل العمل من خلال المراكز المتعاونة مع الوكالة.
- وجود البيئة الرقابية الضرورية لاستخدام التقنيات الإشعاعية أو الاستعداد لوضعها موضع التنفيذ.
- قطاع خاص (بلاستيكي) منخرط في التعاون، أو يتمتع بالخبرة، و/أو الاستعداد للتعاون، من خلال الشراكات بين القطاعين العام والخاص.

الأنشطة	الفترات				
	٢٠٢١	٢٠٢١	٢٠٢٣	٢٠٢٤	٢٠٢٥
إعادة التدوير					
التوعية					
حملات التواصل					
المحطة التجريبية					
الجدوى					
التشييد					
التشغيل					
المحطة الإيضاحية					
الجدوى					
التشييد					
التشغيل					
الشراكات					
الشراكات					
الرصد					
التوعية					
حملات التواصل					
الشراكات بين القطاعين العام والخاص					
الشراكات					
قدرة المختبرات					
شراء المعدات					
التدريب					
الشبكة					
شبكة الرصد					
المعارف					
المعارف					

الشكل ٧- جدول تنفيذ مبادرة نوتيك.

٥-٢- الرصد والتقييم

سوف تستخدم كل واحدة من طرائق التنفيذ (مشاريع التعاون التقني، والمشاريع البحثية المنسقة، والأنشطة البرنامجية الأخرى) إجراءات وآليات الرصد والتقييم والإبلاغ الخاصة بكل منها. وفي قلب نظام الرصد والتقييم المعمول به الوكالة يكمن النهج القائم على النتائج، الذي يستخدم الإطار المنطقي والمؤشرات ووسائل التحقق والافتراضات. وتتضمن مبادرة نوتيك مؤشرات للنتائج خاصة بكل مكون. وقد وضعت أداة مفصلة للرصد والإدارة. وستخضع المؤشرات للرصد أثناء التنفيذ، وسيوثق التقدم المحرز في التقارير نصف السنوية. ولأن مبادرة نوتيك تعمل في بيئة متغيرة يؤدي فيها أصحاب المصلحة الآخرون أدوارًا رئيسية، فإن بعض الافتراضات المعتمدة في نظرية التغيير تعتبر عوامل رئيسية للنجاح في تحقيق النتائج. وستُرصد هذه الافتراضات عن كثب أثناء التنفيذ كجزء من إطار إدارة المخاطر وستتخذ الإجراءات التصحيحية في حال لم تحقق هذه الافتراضات وأصبحت تشكل خطراً على تحقيق أي من مكونات مبادرة نوتيك.

المرفق: المراجع

[1] BAILEY, R.M. richardmbailey/P2O: P2O v1.0.0. Zenodo (2020) https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3929470

[2] BARRA, R., LEONARD, S.A., Plastics and the Circular Economy, Scientific and Technical Advisory Panel to the Global Environment Facility, Washington, DC (2018).

[3] GEYER, R., JAMBECK, J.R., LAW, K.L., Production, use, and fate of all plastics ever made, Sci. Adv., **3** 7 (2017).

[4] WORLD ECONOMIC FORUM, ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, McKINSEY CENTER FOR BUSINESS AND ENVIRONMENT, The New Plastics Economy – Rethinking the Future of Plastics, WEF, Cologny (2016).

[5] OCEAN CONSERVANCY, McKINSEY CENTER FOR BUSINESS AND ENVIRONMENT, Stemming the Tide: Land-based strategies for a plastic free ocean (2015) https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/04/full-report-stemming-the.pdf

[6] INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES, Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES, Bonn (2019).

[7] PLASTICSEUROPE, Plastics: The Facts (2019), www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf

[8] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, Improving Plastics Management: Trends, Policy Responses, and the Role of International Co-operation and Trade Background Report, OECD Environment Policy Paper No. 12, OECD, Paris (2018).

[9] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, Global Waste Management Outlook, UNEP, Nairboi (2015).

[10] LAU, W.W., et al., Evaluating scenarios toward zero plastic pollution, Sci. **369** 6510 (2020), 1455–1461.

[11] BOURGUIGNON, D., Plastics in a Circular Economy: Opportunities and Challenges, PE 603.940, European Parliament, Brussels (2017).

[12] ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, The New Plastics Economy: Rethinking the Future & Catalysing Action, Ellen MacArthur Foundation, Cowes (2017).

[13] NIELSEN, T.D., HASSELBALCH, J., HOLMBERG, K., STRIPPLE, J., Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle, Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ. **9** 1 (2020) e360.

[14] KARASIK, R., 20 Years of Government Responses to the Global Plastic Pollution Problem: The Plastics Policy Inventory, Publication NI X 20-05, Duke University, Durham, NC (2020).

[15] UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION, INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION, The Science We Need for the Ocean We Want: The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021–2030), IOC/BRO/2018/7 Rev, UNESCO, Paris (2019).

[16] EUROPEAN COMMISSION, A Circular Economy for Plastics, EC, Brussels (2019).

[17] ASSOCIATION OF SOUTHEAST ASIAN NATIONS, Bangkok Declaration on Combating Marine Debris in ASEAN Region (2019), https://asean.org/storage/2019/06/2.-Bangkok-Declaration-on-Combating-Marine-Debris-in-ASEAN-Region-FINAL.pdf

[18] UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR ASIA AND THE PACIFIC, Closing the Loop (2020), www.unescap.org/projects/closing-the-loop

[19] SUSTAINABLE SEAS TRUST, African Marine Waste Network (2020), https://sst.org.za/projects/african-marine-waste-network/

[20] RECICLAJE INCLUSIVO HACIA UNA ECONOMIA CIRCULAR, Latitud (2020), https://latitudr.org/

[21] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, Addressing Marine Plastics: A Systematic Approach — Recommendations for Action, UNEP, Nairobi (2019)

[22] AL-SALEM, S., LETTIERI, P., BAEYENS, J., Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, Waste Manage. **29** 10 (2009) 2625–2643.

[23] RAGAERT, K. DELVAA, L., VAN GEEMB, K., Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste, Waste Manage. **69** (2017) 24–58.

[24] VOLLMER, I., et al., Beyond mechanical recycling: Giving new life to plastic waste, Angew. Chem. Int. Ed. **59** 36 (2015) 15402–15423.

[25] COLE, M., LINDEQUE, P., HALSBAND, C., GALLOWAY, T.S., Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, Mar. Pollut. Bull. **62** 12 (2011) 2588–2597.

[26] KANE, I.A., et al. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation, Sci. **368** 6495 (2020) 1140–1145.

[27] BANK, M.S., HANSSON, S.V. The plastic cycle: A novel and holistic paradigm for the Anthropocene, Environ. Sci. Technol. **53** 13 (2019) 7177–7179.

[28] ROCHMAN, C.M., HOH, E., KUROBE, T., TEH, S.J. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress, Sci. Rep. **3** (2013) 3263.

[29] ROCHMAN, C.M., et al. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite, Environ. Toxicol. Chem. **38** 4 (2019) 703–711.

[30] LIEBMANN, B., et al., Assessment of Microplastic Concentrations in Human Stool: Final Results of a Prospective Study, Environment Agency Austria, Vienna (2018).

[31] INTERNATIONAL MOLDED FIBER ASSOCIATION, Study Finds Microplastics Harm Immune Cells (2019), www.imfa.org/study-finds-microplastics-harm-immune-cells/

[32] RAYNAUD, J., Valuing Plastics: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry, United Nations Environment Programme, Nairobi (2014).

[33] ECONOMIST, The known unknowns of plastic pollution (2018), www.economist.com/international/2018/03/03/the-known-unknowns-of-plastic-pollution

[34] THE PEW CHARITABLE TRUSTS, SYSTEMIQ, Breaking the Plastic Wave: A Comprehensive Assessment of Pathways Towards Stopping Ocean Plastic Pollution, The Pew Charitable Trusts, London (2020).

من إعداد الوكالة الدولية للطاقة الذرية
www.iaea.org
nutecplastics@iaea.org
أيار/مايو ٢٠٢١

IAEA