الكريات البلاستيكية التي يُعثر عليها على الشواطئ في كافة أنحاء العالم تحتوي على مواد كيميائية سامة

المؤلفون الرئيسيون:

تيريس كارلسون، دكتوراه

سارا بروشيه، دكتوراه

مونا أليدوست، ماجستير

البروفيسور هايدشيغ تاكادا، دكتوراه

كانون الأول/ديسمبر 2021

International Pellet Watch

IPEN

من أجل مستقبلٍ خالٍ من المواد السامة

الكريات البلاستيكية التي يُعثر عليها على الشواطئ في كافة أنحاء العالم تحتوي على مواد كيميائية سامة

كانون الأول/ديسمبر 2021

تيريس كارلسون، دكتوراه1، سارا بروشيه، دكتوراه1، مونا أليدوست ماجستير2، بروفيسور هايدشيغ تاكادا، دكتوراه2

1 الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات (IPEN) السويد؛ **2** مجموعة رصد الكريات البلاستيكية الدولية/ جامعة طوكيو

الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات (IPEN) هي شبكة تضم أكثر من ستمائة منظمة غير حكومية وتعمل في أكثر من مائة وعشرين بلداً بهدف الحد من الأضرار على صحة الإنسان والبيئة الناجمة عن المواد الكيميائية السامة والقضاء عليها. تسعى حملة الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات بشأن المواد الكيميائية في المواد البلاستيكية إلى القضاء على الأضرار الناجمة عن المواد الكيميائية الموجودة في المواد البلاستيكية وذلك جرّاء إنتاج المواد البلاستيكية أو استخدامها أو إعادة تدويرها أو التخلص منها.

www.ipen.org

مجموعة رصد الكريات البلاستيكية الدولية (IPW) هي مجموعة غير ربحية تجري أبحاث حول السمية البيئية وتتمثل مهمتها في رصد حالات الملوثات العضوية الثابتة (POPs) والنفايات البلاستيكية والكريات البلاستيكية على وجه الخصوص في كافة أرجاء العالم. يقع مقرها في جامعة طوكيو للزراعة والتكنولوجيا، مخبر الجيوكيمياء العضوية في مدينة طوكيو، اليابان. تقوم المجموعة بجمع البيانات وتثقيف الجمهور بشأن مخاطر النفايات البلاستيكية منذ عام 2005.

www.pelletwatch.org

ISBN: 978-1-955400-17-6

© 2021. الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات (IPEN). كافة الحقوق محفوظة

فريق التحليل: كارولينا برابكوفا، مينامي كيتاياما، ناتسوكي كيتاياما، سارا أوزانوفا، جيتكا ستراكوفا

فريق الإنتاج في الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات: بيجورن بيلر، بيتي واهلوند، تيم ورنر

يمكن الإشارة إلى هذا المنشور كما يلي:

Karlsson, T., Brosché, S., Alidoust, M. and Takada, H. *Plastic pellets found on beaches all over the world contain toxic chemicals.* International Pollutants Elimination Network (IPEN), December 2021.

تود الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات ومجموعة رصد الكريات البلاستيكية الدولية الإقرار بأنه جرى إنتاج هذه الوثيقة بمساهمات مالية من الحكومة السويدية، وصندوق الحلول البلاستيكية وهو أحد مشاريع مستشاري جمعية إحسان روكرفيلر، وغيرهما من المانحين. لا ينبغي أن تؤخذ وجهات النظر الواردة هنا على أنها تعكس الرأي الرسمي لأي من هؤلاء المانحين.

جمع الكريات البلاستكية الشاطئية في كوستا ريكا. الصورة: RAPAL

الصورة: AMSETox، المغرب

المساهمون

الأرجنتين: BIOS Quilmes

أستراليا: الشبكة الوطنية للسموم (NTN)

أذربيجان: Ruzgar

بنغلاديش: منظمة البيئة والتنمية الاجتماعية (ESDO)

جمهورية التشيك: Arnika

كتوستا ريكا: شبكة عمل مبيدات الآفات وبدلائها في أمريكا اللاتينية (RAPAL)

غينيا: Carbone Guinée

الهند: مركز الإبداع في العلوم والعمل الاجتماعي (CISSA)

جاميكا: شبكة معلومات السموم في الكاريبي (CARPIN)

كازخستان: Eco Mangystau

كينيا: مركز العدالة والحوكمة والعمل البيئية (CJGEA)

لبنان: جمعية إنسان للبيئة والتنمية (HEAD)

ماليزيا: جمعية المستهلكين في بينانغ (CAP)

موريشيوس: PAN Mauritius

المكسيك: الجمعية البيئية في سانتو توماس

موزمبيق: العدالة البيئية

المغرب: الجمعية المغربية للصحة والبيئة واليقظة السمومية (AMSETox)

نيوزيلاندا/أوتياروا: Algalita

نيجريا: مؤسسة الحفاظ على الأرض (FOCONE)

فلسطين: جمعية أصدقاء البيئة الفلسطينية

الفلبين: تحالف النفايات البيئية

بولندا: مؤسسة الشراء بمسؤولية

جمهورية الكونغو: العمل من أجل البيئة والتنمية (AED)

رومانيا: Mare Nostrum

السنغال: جمعية الدفاع عن البيئة والمستهلكين (ADEC)

سريلانكا: مركز العدالة البيئية (CEJ)

تنزانيا: تحالف تنزانيا للتنوع البيولوجي (TABIO)

تايلند: اليقظة البيئية والإصلاح في تايلاند (EARTH)

تونس: جمعية التربية البيئية للأجيال القادمة (AEEFG)

تركيا: تحالف الصحة والبيئة (HEAL)

الولايات المتحدة: جمعية العمل في ألاسكا بشأن السموم وجمعية بري في القلب للدفاع القانوني (تايوان)

فيتنام: مركز أبحاث التنمية بشأن النوع الاجتماعي والعائلة والبيئة

المحتويات

الرسائل الأساسية 5

معلومات أساسية 6

المواد الكيميائية التي تُضاف أثناء الإنتاج 6
الملوثات الكيميائية التي تُمتز إلى المواد البلاستيكية 9
مصادر الكريات البلاستيكية وسبل انتقالها 10
الهدف 10

المنهج 11

النتائج 13

مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول 13
مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور 13
مستويات مجتمعة من التلوث 17

نقاش 18

مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول 18
مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور 19

الاستنتاجات والتوصيات 22

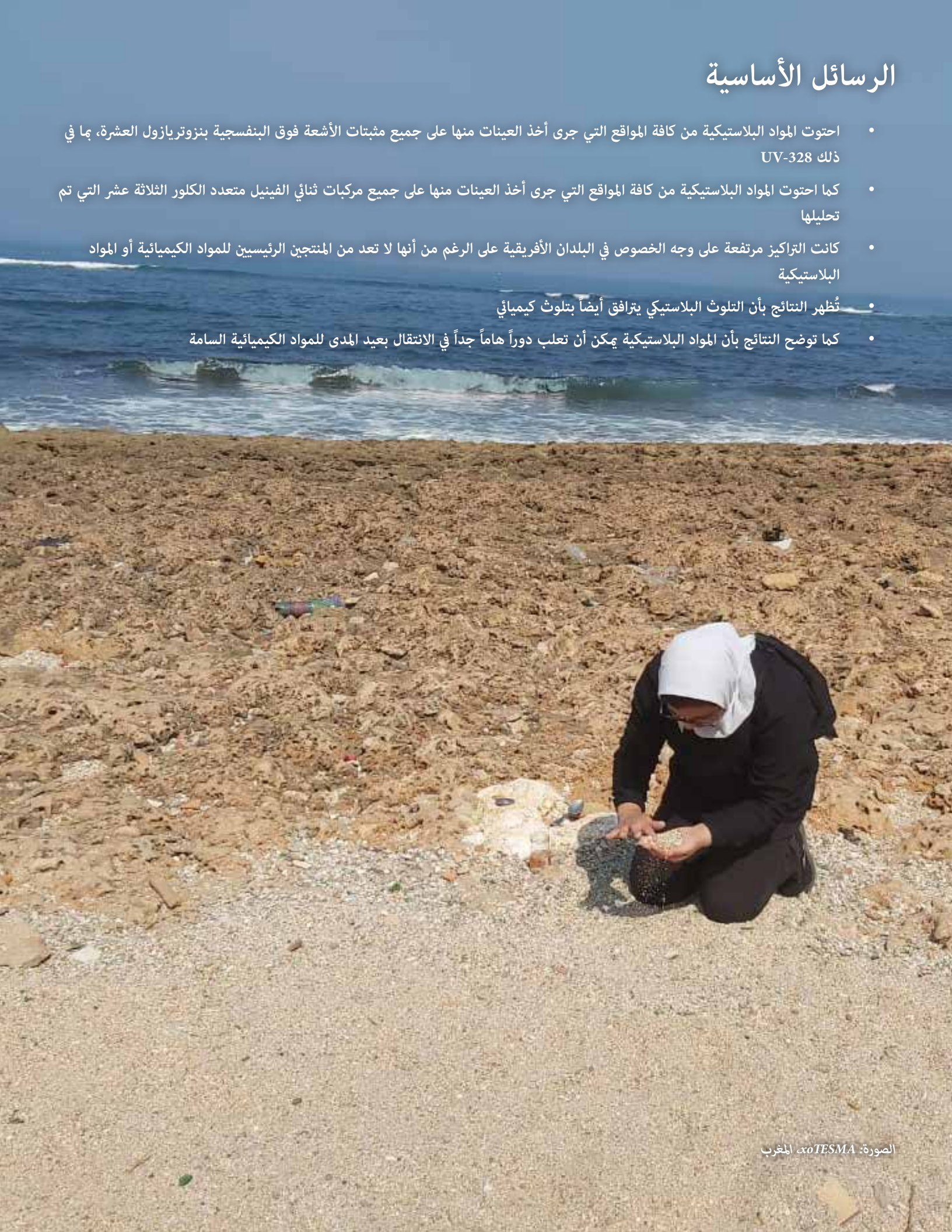
التوصيات 23

الملخص

إن المواد البلاستيكية في مرحلة ما قبل الإنتاج، والتي تكون بحجم حبة العدس والمعروفة بالكريات البلاستيكية أو الخرزات، تُستخدم لصناعة المنتجات البلاستيكية، ولكن غالباً ما يتم فقدانها أثناء الإنتاج أو النقل أو التخزين. وقد تم اكتشاف تلك الكريات على الشواطئ في كافة أرجاء العالم منذ سبعينات القرن المنصرم. وتستطيع أن تحمل العديد من المواد الكيميائية المختلفة، بدءاً من المواد التي تُضاف إلى المواد البلاستيكية بشكل متعمد وكذلك الملوثات التي تلتصق (تمتز) إلى المواد البلاستيكية في البيئة. تثير بعض من تلك المواد الكيميائية القلق على وجه الخصوص لأنه يُعرف عنها بأنها تسبب عدداً من الأضرار الصحية على صحة الإنسان والبيئة. وفي هذه الدراسة، جرى فحص الكريات البلاستيكية من ثلاثة وعشرين بلداً مختلفاً بحثاً عن ثلاثة عشر نوعاً مختلفاً من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs) وعشرة مثبتات من مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول (BUVs). فقد جرى حظر مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور منذ أواسط التسعينات من القرن المنصرم كجزء من المواد الاثنتي عشرة القذرة، ولكن لا يزال يتم العثور عليها بشكل متكرر في البيئة. وفي كثير من الأحيان، تتم إضافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول إلى المنتجات البلاستيكية، ولكن من المعروف بأنها تتسرب وبأنها تمتلك تأثيرات تسبب اضطرابات في الغدد الصماء. جرى العثور على مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ومثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول، بما في ذلك UV-328، في العينات من كافة المواقع التي شملتها الدراسة. حيث كانت التراكيز مرتفعة على وجه الخصوص في عيّنات البلدان الأفريقية، مما يبيّن بأن البلدان الأفريقية تتحمل عبئاً ثقيلاً جراء التلوث البلاستيكي على الرغم من أنها لا تعد من المنتجين الرئيسيين للمواد الكيميائية أو المواد البلاستيكية. تُظهر نتائج هذه الدراسة بشكل واضح بأن المواد البلاستيكية الشاطئية لا تجلب التلوث الفيزيائي للقمامة البلاستيكية فحسب، بل تجلب الملوثات الكيميائية أيضاً على شكل مواد كيميائية مضافة أو ممتزة. علاوة على ذلك، توضح الدراسة بأنه يمكن للمواد البلاستيكية أن تلعب دوراً هاماً جداً في الانتقال بعيد المدى للمواد الكيميائية السامة.

الرسائل الأساسية

- احتوت المواد البلاستيكية من كافة المواقع التي جرى أخذ العينات منها على جميع مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول العشرة، بما في ذلك UV-328
- كما احتوت المواد البلاستيكية من كافة المواقع التي جرى أخذ العينات منها على جميع مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الثلاثة عشر التي تم تحليلها
- كانت التراكيز مرتفعة على وجه الخصوص في البلدان الأفريقية على الرغم من أنها لا تعد من المنتجين الرئيسيين للمواد الكيميائية أو المواد البلاستيكية
- تُظهر النتائج بأن التلوث البلاستيكي يترافق أيضاً بتلوث كيميائي
- كما توضح النتائج بأن المواد البلاستيكية يمكن أن تعلب دوراً هاماً جداً في الانتقال بعيد المدى للمواد الكيميائية السامة



الصورة: *xoTESMA* المغرب

معلومات أساسية

لطالما كانت مسألة الكريات البلاستيكية التي يتم التخلص منها في البيئة أو تسربها إليها أثناء الإنتاج أو النقل مسألة معروفة منذ ما يزيد عن خمسين عاماً. حيث تعد الكريات البلاستيكية عبارة عن جزئيات صغيرة يبلغ قطرها من اثنين إلى خمس ميليمترات وتمتلك ألواناً مختلفة. ويمكن أن تُصنّع من بوليمرات بلاستيكية مختلفة وتُستخدم لصناعة المنتجات البلاستيكية. إن الكريات التي يُعثر عليها على الشواطئ هي عبارة عن مواد بلاستيكية تسرّبت إلى البيئة قبل أن تتاح لها الفرصة لتصبح منتجات بلاستيكية.

لقد تم اكتشاف هذه الكريات على الشواطئ وفي المجسمات المائية المفتوحة في كافة أنحاء العالم منذ أوائل سبعينات القرن المنصرم (Carpenter *et al.* 1972). وقد حذر الباحثون في تلك الفترة بأن تصاعد إنتاج المواد البلاستيكية مع ما يرافقه من ممارسات غير مناسبة لإدارة النفايات سيؤديان إلى تزايد الجزيئات البلاستيكية في المحيطات. كما خلصوا إلى أن الجزئيات البلاستيكية يمكن أن تشكل مصدراً لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور بالنسبة للكائنات في المحيطات، مشيرين بذلك إلى احتمالية أن تقوم الجزيئات البلاستيكية بنشر مواد كيميائية سامة.

ينتهي المطاف بالكريات البلاستيكية في البيئة جراء التسرّب أثناء الإنتاج أو النقل أو التخزين. فقد تتسرب على اليابسة حيث تحملها الأمطار والمجاري المائية إلى الأنهار والمناطق الشاطئية، أو يمكن أن تتسرب بشكل مباشر في الماء جراء حوادث الشحن البحري. وحالما تصبح في المحيطات، يمكن أن تنتقل الكريات العائمة إلى مسافات بعيدة مع التيارات المائية حاملة معها مجموعة كبيرة من المواد الكيميائية. تتم إضافة تلك المواد الكيميائية إلى الكريات أثناء الإنتاج أو تكون عبارة عن ملوثات بيئية، مثل مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، يجري امتزازها (التصاقها) إلى الكريات أثناء تواجدها في المحيطات.

المواد الكيميائية التي تُضاف أثناء الإنتاج

من المواد المستخدمة في تصنيع المواد البلاستيكية هناك اللبنات الأساسية، أي البوليمرات والمونومرات البلاستيكية، وهناك أيضاً الإضافات. حيث تعد الإضافات عبارة عن مواد كيميائية مختلفة تستخدم لإعطاء المواد البلاستيكية لوناً وخصائص محددة ومن أجل حمايتها من إشعاعات الأشعة فوق البنفسجية التي تؤدي إلى تراجع جودة المواد البلاستيكية. لا ترتبط الإضافات عادة بالبوليمر الفعلي، مما يعني أنها يمكن أن تتسرب من المواد البلاستيكية أثناء مراحل إنتاجها واستخدامها وإعادة تدويرها والتخلص منها.

وجد استعراض ممنهج حديث بأن هناك أكثر من عشرة آلاف مادة كيميائية يجري استخدامها في المواد البلاستيكية (Wiesinger *et al.* 2021)، من بينها ألفين وأربعمائة وست وثمانون مادة جرى تحديدها على أنها مصدر قلق محتمل. ولكن تشير نتائج الاستعراض إلى أن أقل من نصف تلك المواد (47%) يخضع إلى تدابير إدارة المخاطر (Wiesinger *et al.* 2021).

يمكن للمواد الكيميائية التي تنتقل مع المواد البلاستيكية أن تتسرب إلى البيئة وقد أكدت الدراسات وجود مواد كيميائية -عادة ما تكون ذات صلة بالمواد البلاستيكية- في رمال الشواطئ (Kwon *et al.* 2015, Kwon *et al.* 2020) والطيور البحرية (على سبيل المثال: Tanaka *et al.* 2019 وَTanaka *et al.* 2020 وَYamashita *et al.* 2021) وفي عدة أنواع من الأسماك (على سبيل المثال:Lu *et al.* 2016 وَLu *et al.* 2019 وَSalvaggio *et al.* 2019 وَPeng *et al.* 2021).

وقد ثبت بأن العديد من المواد الكيميائية التي تتسرب من المواد البلاستيكية تمتلك تأثيرات سامة (Zimmerman *et al.* 2021). يعني هذا في نهاية المطاف بأن أي نوع من المواد البلاستيكية يمكن أن يحمل مجموعة كبيرة من المواد الكيميائية التي قد تكون ضارة، ولا يزال العديد منها غير خاضع لأي تنظيم.

تعد مثبتات الأشعة فوق البنفسجية من ضمن أكثر الإضافات البلاستيكية شيوعاً. فوفقاً لوايزنغر وشركائه (2021)، يُستخدم سبعمائة واثنان وستون «مثبت ضوء» في المنتجات البلاستيكية. وتعد مجموعة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول (BUVs) أحد مجموعات مثبتات الضوء المستخدمة بشكل شائع. كما يتم استخدامها، فضلاً عن المواد البلاستيكية، في عدة تطبيقات أخرى مثل كريمات الوقاية من الشمس ومستحضرات التجميل والطلاء.

وكغيرها من الإضافات البلاستيكية، كثيراً ما توجد مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول في البيئة، على سبيل المثال في الطعام البحري (Kim *et al.* 2011)، ورواسب الأنهار (Kameda *et al.* 2011) ورواسب البحار (Apel *et al.* 2018) ومياه الصرف (Lu *et al.* 2017). كما يُعثر عليها في

الكريات البلاستيكية عبارة عن جزيئات بلاستيكية صغيرة، حوالي 2-5 ملم، (تقريباً بنفس حجم حبة العدس).

تُسمى الكريات أحياناً بالخرزات ويُشار إليها أحياناً بدموع الحورية.

المواد البلاستيكية الشاطئية، أي الحطام البلاستيكي الذي جرفته المياه إلى الشاطئ (Tanaka *et al.* 2017;Rani *et al.* 2017). علاوة على ذلك، تشير بعض الدراسات إلى أن مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول تعد ثابتة في البيئة (Ruan *et al.* 2012). وبما أن مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول عادة ما تكون كارهة للماء، فهي تمتلك ميلاً أعلى للدهون من الماء، حيث غالباً ما يكون لها إمكانية للتراكم البيولوجي في دهون الكائنات الحية، وتؤكد الدراسات على مختلف المستويات الغذائية المختلفة في سلسلة الغذاء البحرية بأن مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول ثابتة وتتراكم بيولوجياً (Nakata *et al.* 2009). كما تعطيها خاصيتها الكارهة للماء ميلاً للامتزاز مع القمامة البلاستيكية في البيئة، ومن أجل ذلك فمن المحتمل أن تكون التراكيز المقاسة لمثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول في القمامة البحرية هي عبارة عن مزيج من الإضافات ومثبتات أشعة فوق بنفسجية جرى امتزازها.

تتواجد الجزئيات البلاستيكية بكثرة في الطيور البحرية على وجه الخصوص، في الواقع وحتى عام 2020، تم الإبلاغ عن ابتلاع مائة وثمانين نوعاً من الطيور البحرية لمواد بلاستيكية (Kuhn and Franeker, 2020). يمكن أن يؤدي هذا الابتلاع في بعض الحالات إلى أضرار بدنية والموت من خلال انسداد القناة الهضمية والجوع الذي يلي ذلك (Pierce *et al.* 2004 ,Roman *et al.* 2019b)، بالإضافة إلى تصاعد حالات الخراجات (Roman *et al.* 2019c). كما يمكن للحبيبات التي تم ابتلاعها أن تقدم مساراً للتعرض إلى مواد كيميائية موجودة في المواد البلاستيكية بالنسبة إلى الطيور، كما يُعثر على الإضافات البلاستيكية، مثل مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول، بشكل متكرر في الطيور البحرية (Tanaka *et al.* 2019 ,Tanaka *et al.* 2020b ,Yamashita *et al.* 2021). وتُظهر الأبحاث الحديثة أنه وعلى الرغم من أن الطيور قد تتعرض إلى مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول من خلال الغذاء، فإن التسرب من الجزئيات البلاستيكية المبتلعة يعد مسار تعرض مهم (Tanaka *et al.* 2020b ,Yamashita *et al.* 2021).

لقد تم العثور على مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول لدى الإنسان، على سبيل المثال في حليب الإرضاع (Kim *et al.* 2019)، والبول البشري (Asimakopolous *et al.* 2013)، والأنسجة الدهنية (Wang *et al.* 2015)، وتمتلك عدد من مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول خصائص مسببة لاضطرابات الغدد الصماء (Sakuragi *et al.* 2021). علاوة على ذلك، تخضع عدة مثبتات أشعة فوق بنفسجية بنزوتريازول إلى التقييم فيما يخص الثبات والتراكم البيولوجي والسمية (قاعدة بيانات وكالة المواد الكيميائية الأوروبية، 2021) ويخضع UV-328 إلى التقييم فيما يخص كونه ملوثاً عضوياً ثابتاً كي يتم إدراجه في معاهدة ستوكهولم. لقد جرى دراسة بعض مثبتات الأشعة فوق

الجدول رقم1. ملخص المعلومات بشأن مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول المعنية كما وردت في قاعدة بيانات وكالة المواد الكيميائية الأوروبية (AHCE)

	الاسم في قاعدة البيانات	يُستخدم في	السمية	PBT	SVHC	POP
UV-P	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-p-cresol	منتجات الطلاء، والمواد المانعة للتسرب، والمواد القائمة على المواد البلاستيكية	سام جداً بالنسبة للأحياء المائية مع آثار طويلة المدى. قد يسبب حساسية في الجلد.	يخضع للتقييم	-	-
UV-PS	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-tert-butylphenol	لا توجد بيانات عامة مسجلة	غير معروفة	-	-	-
UV-9	Oxybenzone	مستحضرات التجميل ومنتجات العناية الشخصية، منتجات الطلاء، المالئات، المعاجين، طين النمذجة، طلاء الأصابع	سام جداً بالنسبة للأحياء المائية مع آثار طويلة المدى.	يخضع للتقييم	-	-
UV-234	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-bis(1-methyl-1-phenylethyl)phenol	منتجات الطلاء	غير معروفة	يخضع للتقييم	-	-
UV-320	2-benzotriazol-2-yl-4,6-di-tert-butylphenol	المواد البلاستيكية مثل بولي فينيل كلوريد (CVP) والبوليستر	مضر بالحياة المائية مع آثار طويلة المدى. قد يسبب ضرراً للأعضاء من خلال التعرض الطويل أو المتكرر، يُشتبه بتسببه بالسرطان.	نعم	نعم	-
UV-326	Bumetrizole	منتجات الطلاء، المواد اللاصقة، المواد المانعة للتسرب، ومنتجات الغسيل والتنظيف	غير معروفة	يخضع للتقييم	-	-
UV-327	2,4-di-tert-butyl-6-(5-chlorobenzotriazol-2-yl) phenol	الطلاءات، المواد البلاستيكية، المطاط والبولي يوريثان، مستحضرات التجميل، المواد الملامسة للأغذية، المواد اللاصقة [1]	مضر بالحياة المائية مع آثار طويلة المدى. يسبب تهيج الجلد والعينين والجهاز التنفسي.	يخضع للتقييم	-	-
UV-328	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-ditertpentylphenol	منتجات الطلاء، منتجات العناية بالهواء، المواد اللاصقة والمانعة للتسرب، المزلقات وزيوت التشحيم، مواد التلميع والشمع، منتجات الغسيل والتنظيف	قد يسبب آثاراً ضارة طويلة المدى للحياة المائية. قد يسبب أضراراً في الأعضاء من خلال التعرض الطويل أو المتكرر.	نعم	نعم	يخضع للتقييم
UV-329	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl) phenol	منتجات العناية بالهواء، منتجات الطلاء، المواد اللاصقة والمانعة للتسرب، المزلقات وزيوت التشحيم، مواد التلميع والشمع، منتجات الغسيل والتنظيف	غير معروفة	يخضع للتقييم	-	-
UV-350	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-(tert-butyl)-6-(sec-butyl)phenol	الطلاءات، المواد البلاستيكية، المطاط والبولي يوريثان، مستحضرات التجميل، المواد الملامسة للأغذية، المواد اللاصقة [1]	قد يسبب آثاراً ضارة طويلة المدى للحياة المائية. قد يسبب أضراراً في الأعضاء من خلال التعرض الطويل أو المتكرر.	يخضع للتقييم	نعم	-

PBT = الثبات والتراكم البيولوجي والثبات (Persistent, bioaccumulative, and toxic)

SVHC = مادة تثير القلق الشديد (Substance of very high concern)

POP = ملوث عضوي ثابت (persistent organic pollutant)

[1] لم ترد بيانات بشأن الاستخدام في قاعدة البيانات المدرجة ولكنها جرى التطرق إليها بالتفصيل في ECHA 2020. قاعدة البيانات: echa.europa.eu

البنفسجية أكثر من غيرها، ويحتوي الجدول رقم 1 على ملخص لمعلومات بشأن مثبتات الأشعة فوق البنفسجية العشرة التي تضمنتها هذه الدراسة.

الملوثات الكيميائية التي تُمتز إلى المواد البلاستيكية

تتضمن المواد الكيميائية التي لا تتم إضافتها بشكل متعمد إلى الكريات ولكن يمكن لها أن تمتز إلى المواد البلاستيكية في البيئة: الملوثات العضوية الثابتة القديمة مثل مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (Yamashita *et al.* 2018). لقد جرى استخدام مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في عدة تطبيقات مختلفة، بما في ذلك المحولات والمبادلات الحرارية والورق والمواد البلاستيكية وزويت التشحيم والطلاء (Erickson and Karley 2011). تتكون مركبات ثنائي الفينيل متعدد

الكلور من مائتي وتسع متجانس، يتواجد حوالي مائة وثلاثون منها (مركبات ثنائي إلى عشاري الفينيل متعدد الكلور) في الخلائط التجارية. وبين عامي 1930 و1930، تم إنتاج أكثر من 1.3 مليون طن من خلائط مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور التقنية (Breivik *et al.* 2007). وبسبب سميتها وثباتها البيئي، جرى إيقاف إنتاج مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في اليابان في بادئ الأمر عام 1972، ثم في الولايات المتحدة عام 1977، وفي البلدان الأخرى بحلول 1993 (Breivik *et al.* 2007)، وذلك بعد إدراجها ضمن قائمة المواد «الاثنتا عشرة القذرة»، وهي مجموعة من المواد الكيميائية التي صُنفت على أنها ملوثات عضوية ثابتة وجرى حظرها أو تقييدها وفقاً لمعاهدة ستوكهولم (برنامج الأمم المتحدة للبيئة 2001).

وفي يومنا هذا، لا تزال مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور موجودة في البيئة على الرغم من حظرها في معظم البلدان الصناعية (Lu et al. 2021). ومنذ عام 2005، تستخدم مجموعة رصد الكريات البلاستيكية الدولية (IPW) الكريات البلاستيكية الموجودة على الشواطئ من أجل تحليل مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ورصدها (http://www.pelletwatch.org) (Takada and Yamashita 2016, IPW 2021). يرسل أشخاص من كافة أرجاء العالم الكريات إلى مجموعة رصد الكريات البلاستيكية الدولية لتقوم بتحليلها. تحلل المجموعة خمس عينات فرعية وتستخدم القيمة الوسيطة لتصنيف تراكيز مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ضمن مستويات مختلفة من التلوث وإنشاء قاعدة بيانات للقيم من كافة أرجاء العالم. وقد تبين أن الوسيط مترابط بشكل جيد مع التراكيز الموجودة في بلح البحر كما قاسها برنامج رصد بلح البحر، وهو برنامج رصد تأسس في سبعينات القرن المنصرم (Takada and Yamashita 2016).

ومن المصادر الشائعة لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في البيئة في الوقت الراهن هناك الإنتاج غير المتعمد في عدة قطاعات صناعية مختلفة، مثل الطلاء (Anh *et al.* 2021)، والتسرب من المحولات الكهربائية والمواقع الملوثة، والتخلص من النفايات الإلكترونية وإعادة تدويرها. وقد أثّر هذا الأخير بشكل خاص على البلدان الآسيوية الأقل تصنيعاً والتي تلقت، إلى ما قبل عام 2017، أكثر من ثمانين بالمائة من النفايات الإلكترونية العالمية (Lu *et al.* 2021). علاوة على ذلك، وبما أن العديد من الأبنية قد بُنيت قبل فرض الحظر، فإن مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور غالباً ما تظهر في الهواء الداخلي، بما في ذلك الهواء الداخلي في أبنية المدارس، وهو ما يدعو للقلق لأن الأطفال أكثر حساسية للآثار السمية المرتبطة بمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (Marek *et al.* 2017). بالإضافة إلى ذلك، تتواجد مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور كملوثات قديمة في البيئة، وغالباً ما تتراكم في الرواسب حيث يمكنها إعادة التعلق في عمود الماء (Ogata, 2009).

ترتبط مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور بعدة أضرار صحية على البيئة وصحة الإنسان. وفي عام 2015، جرى تصنيفها على أنها مادة مسرطنة بالنسبة إلى البشر (الوكالة الدولية لأبحاث السرطان، 2015). **علاوة على ذلك، وعلى الرغم** من حظرها منذ سنوات عديدة، فقد أظهرت دراسة في عام 2018 بأنها لا تزال تهدد قابلية البقاء على المدى الطويلة للحيتان القاتلة (Desforges *et al.* 2018). كما تتواجد بكثرة في الطيور البحرية (Ya-mashita *et al.* 2018 ,Yamashita *et al.* 2021)، ووجدت دراسة عالمية لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في الطيور البحرية تركيزات تتراوح بين 1 إلى 60,000 نانوغرام/غرام دهون (Yamashita *et al.* 2018).

على الرغم من أن تأثير ابتلاع الكائنات الحية للمواد البلاستيكية الميكروية التي امتزت مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، ومدى أهمية هذا المسار مقارنة بالمسارات الأخرى، لم يتم توضيحها بشكل كامل، فقد أظهرت إحدى الدراسات بأن مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور يمكن أن تنتقل إلى أنظمة محاكية للأمعاء النظيفة في دودة اللوغو وسمك القد، ولكن تبيّن أن هذا الانتقال ثنائي الطور (Nor & Koelmanns, 2019)، بمعنى أنه في حال امتلك الكائن الحي عبئاً أقل من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في جسمها، فستنتقل من المواد البلاستيكية إلى الكائن الحي، ولكن إذا امتلك الكائن الحي عبئاً أعلى، فستنتقل من الكائن الحي إلى المواد البلاستيكية. وبالتالي، يمكننا افتراض بأن الكريات ذات التراكيز العالية من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور تقوم بنشر تلك المركبات إلى الكائنات الحية/المناطق ذات التلوث الأقل، وقد أظهرت دراسات حول الطيور البحرية بأن المواد الكيميائية يمكن أن تنتقل من المواد البلاستيكية الميكروية التي تم ابتلاعها (Tanaka *et al.* 2020).

مصادر الكريات البلاستيكية وسبل انتقالها

ينتهي المطاف بالكريات البلاستيكية في البيئة بسبب الانسكابات المستمرة على نطاق صغير وبسبب الانسكابات الأكبر جرّاء الحوادث. يمكن أن تصل الانسكابات صغيرة النطاق إلى ملايين الكريات سنوياً، من موقع إنتاج واحد فحسب، وقد جرى ربطها بغياب الإجراءات الوقائية ومحدودية المحاسبة في القطاع الصناعي (Karlsson *et al.* 2018a).

أما الانسكابات الأكبر، فهي غالباً بسبب حوادث تحصل أثناء النقل. تؤثر هذه الانسكابات على أجزاء كبيرة من المناطق الشاطئية وغالباً ما تكون محاولات التنظيف قائمة على المتطوعين بشكل جزئي أو إلى حد كبير. في عام 2012 خارج هونغ كونغ، انسكب مائة وخمسون طن من الكريات البلاستيكية إلى المحيط (Rochmann, 2013). بقي المتطوعون ينظفون الشواطئ في تلك المنطقة لمدة ثلاثة أشهر بعد ذلك. ومع ذلك، وبعد ست سنوات، عُثر على أكوام كبيرة من الكريات البلاستيكية على تلك الشواطئ ذاتها (Gravier and Haut, 2020). بغض النظر فيما إذا كان التلوث يحصل جرّاء انسكابات صغيرة مستمرة أم انسكابات كبيرة عرضية، فسيشكل تنظيف المواد البلاستيكية، والمواد الكيميائية المرتبطة بها، تحدياً كبيراً.

يعني مبدأ الملوِّث هو من يدفع بأن الجهة المسؤولة عن التلوث يجب أن تعالجه أيضاً. تدخل الكريات البلاستيكية إلى البيئة حتى قبل أن تصبح منتجات بلاستيكية، وبالتالي تقع مسؤولية ذلك التلوث على عاتق المُنتِج أو المقاول الفرعي الذي قام بنقلها و/أو تخزينها. هناك أيضاً عدة سياسات ولوائح تنظيمية دولية وإقليمية يمكن مناقشتها فيما يخص تلوث الكريات البلاستيكية (بالنسبة إلى الاتحاد الأوروبي، تم مراجعتها جزئياً من قبل المفوضية الأوروبية عام 2013)، (Stensgaard *et al.* 2017, and Karlsson *et al.* 2018a). تستند ملاءمة السياسات بشكل جزئي إلى السياق الذي انطلقت فيه الكريات (أي على اليابسة أو في البحر)، وبشكل جزئي أيضاً إلى ما تحتويه، وبشكل جزئي كذلك إلى ما إذا كانت تعتبر قمامة أو انبعاثات صناعية أو نفايات أو منتجات.

من الناحية العملية، غالباً ما تكون الحلول لمنع التلوث البيئي من الكريات البلاستيكية واضحة جداً. تتضمن الحلول المقترحة التكنيس في مواقع الإنتاج والتخزين وإنشاء حواجز مثل الأسوار و/أو المرشحات. على الرغم من ذلك، تعد التسربات المستمرة والعرضية أمراً شائعاً وكثيراً ما يُعثر على الكريات البلاستيكية في البيئة.

حالما تصبح في البيئة، يمكن أن تعلق الكريات العائمة على الشواطئ بالقرب من المكان الذي انطلقت منه (Karlsson *et al.* 2018a) وفي العشب البحري (Carmen *et al.* 2021)، ولكن يمكن للكريات والمواد الكيميائية المرتبطة بها أن تسافرا إلى مسافات بعيدة عن المكان الذي انطلقت منه. حيث عُثر على الكريات البلاستيكية في كافة أرجاء العالم (Fidra 2021, International Pellet Watch 2021)، وغالباً ما تكون على شواطئ ليست قريبة إلى مصانع إنتاج المواد البلاستيكية.

علاوة على ذلك، تغرق الكثير من القطع البلاستيكية العائمة في نهاية المطاف. وقد يعود ذلك إلى الخصائص المادية للقطع البلاستيكية بحد ذاتها (أي أنها تمتلك كثافة مادية أعلى من كثافة مياه البحر) أو لأنها تتعرض إلى العوامل الجوية وتنمو عليها بعض الأشياء (Karlsson *et al.* 2018b)، أو لأنها تتشابك مع حطام آخر.

الهدف

يتمثل هدف هذه الدراسة في تقصي وجود وتركيز مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الممتزة ومثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول المضافة أو الممتزة في عينات الكريات البلاستيكية التي تم جمعها من الشواطئ. سيتم استخدام النتائج لتسليط الضوء على المخاوف المتعلقة بالمواد الكيميائية المرتبطة بالكريات البلاستيكية والتي تلوّث البيئة والمساهمة في وضع توصيات حول الحد من التلوث البيئي الناجم عن الكريات البلاستيكية والملوثات الكيميائية المرتبطة بها.

الصورة: Unsplash.com, Sören Funk

المنهج

تم جمع الكريات الشاطئية في واحد وثلاثين بلداً. وقد قامت المنظمات المشاركة في الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات بعمليات الجمع. حيث بحثت تلك المنظمات عن الكريات البلاستيكية على الشواطئ الرملية على امتداد خط المد العالي.

جرى جمع أكثر من مائة كرية بلاستيكية في كل موقع. ثم غُلّفت العينات في ورق ألومينيوم وتم إرسالها إلى مخبر VSCHT في جمهورية التشيك، حيث جرى فرز كافة العينات وإرسالها بعد ذلك إلى مخبر الجيوكيمياء العضوية في جامعة طوكيو للزراعة والتكنولوجيا في اليابان. ومن بين العينات التي تم جمعها، جرى تحليل أربع وعشرين منها بحثاً عن مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور واثنين عشرين منها بحثاً عن مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول (الجدول2).

وفي المخبر في اليابان، وقبل تحليلها، تم فرز الكريات باستخدام مطياف قريب من الأشعة تحت الحمراء (Plascan-WTM OPG Research Inc., Tokyo, Japan) إلى بولي إيثيلين (PE) وبولي بروبيلين (PP) وغيرهما من البوليمرات. تم استبعاد الكريات المصبوغة من التحليل بغية تحليل الكريات التي تمتلك مجالات متجانسة من التعرض للعوامل الجوية وبالتالي يمكن اختيار الكريات التي وصلت إلى درجة معينة من الاصفرار ليتم تحليلها من خلال مقارنتها مع معايير المخبر الداخلية (كما هو موصوف في Ogata *et al.* 2009).

تم أخذ حوالي مائة كريّة من كل موقع. ثم جرى تصنيفها وفقاً للتصنيف أعلاه. ومن بين الكريات التي امتلكت المستوى الصحيح من الاصفرار وجرى التحقق من أنها تتكون من البولي إيثيلين، تم أخذ خمس عينات فرعية من خمس كريات لكل موقع كي يتم تحليلها. جرى تحضير المستخلصات من الكريات باستخدام الهكسان. تم تعريض المستخلصات للأستلة، وتلا ذلك التجزئة باستخدام عمود هلام السيليكا في الاستشراب (الكروماتوغرافيا). تم تحديد كميات مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (من رباعي إلى تساعي متجانسات CB) في أجزاء لا قطبية وذلك باستخدام مطياف كتلة صائد للأيونات مجّهز بجهاز استشراب غازي (GC-MS). تم تحديد كمية ثلاثة عشر متجانساً (CB رقم 66، 101، 110، 149، 118، 105، 153، 138، 128، 187، 180، 170، 206). يمكن الاطلاع على تفاصيل أسلوب قياس مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في Ogata *et al.* (2009).

جمع العينات: تمت غربلة النفايات البلاستيكية عند خط المد بحثاً عن كريات بلاستيكية. جرت تعبئة مائة كرية من كل موقع في عبوة، ثم تم وضع ملصق تعريفي عليها وإرسالها ليتم فحصها. الصور: Earth Thailand

الجدول رقم 2. نظرة عامة على العينات

البلد	الموقع	تم أخذ العينة من قبل	خط العرض	خط الطول	BUV	PCB
الأرجنتين	Av. Félix U. Camet 1629 Mar del Plata بوينس آيرس، الأرجنتين	Bios Quilmes	S 37°58’ 54”	W 057°32’26”	x	x
أستراليا	خليج مينيم	NTN	S 32°01’27”	E 115°46’15”	x	x
بنغلاديش	شاطئ كالاتولي	ESDO	N 21°14’02”	E 092°02’52”	x	x
كوستا ريكا	شاطئ مانتاس	Rapal	N 09°42’22”	W 084°39’45”	x	x
غينيا	بيناريس	Carbone Guinée	N 09°34’24”	W 13°36’29”	x	x
aciamaJ	فورت كلارنس	CARPIN	N 17°54’34”	W 076°53’00”	x	x
كينيا	شاطئ باوباب	CJGEA	S 03°37’27”	E 39°52’28”	x	x
ماليزيا	مضيق بينانغ	CAP	N 05°25’36”	E 100°19’35”	x	x
المكسيك	شاطئ سانشيز ماغالانز في كارديناس	Asociación Ecológica Santo Tomás	N 18°18’02”	W 093°50’38”	x	x
المغرب	شاطئ غاي فيل	AMSETox	N 33°56’14”	W 006°56’49”	x	x
نيوزيلاند/ أوتياروا	مصب آفون هيثكوت	Algalita	S 43°32’47”	E 172°42’50”	x	x
نيجريا	شاطئ فينيما	FOCONE	N 04°24’16”	E 007°08’03”	x	x
الفلبين	شاطئ باسيكو	Ecowaste Coalition	N 14°35’21”	E 120°57’16”		x
بولندا	بودابي	Buy Responsibly Foundation	N 54°37’33”	E 016°58’45”	x	x
جمهورية الكونغو	شاطئ سوفاج	AED	S 04°49’18”	E 011°51’00”	x	x
السنغال	شاطئ هان مارياس	ADEC	N14°42’45”	W 017°25’50”	x	x
سريلانكا	كولومبو	CEJ	N 06°58’28”	E 079°52’09”	x	x
تنزانيا	شاطئ كوكو	TABIO	S 06°46’28”	E 39°17’01”	x	x
تايلاند	شاطئ بانغ ساين	EARTH	N 13°17’54”	E 100°54’08”	x	x
تايلاند	شاطئ ماي رام فوينغ	EARTH	N 12°35’32”	E 101°24’53”		x
تونس	شاطئ غوليت	AEEFG	N 36°59’42”	E 010°29’03”	x	x
تركيا	شاطئ أوزونكوم	HEAL	N 41°10’14”	E 029°38’10”	x	x
الولايات المتحدة	كوكس كريك في ولاية تكساس	Wild at Heart Legal Defence Association	N 28°41’19”	W 096°31’43	x	x
فيتنام	شاطئ نغوين تات ثانه	CGFED	N 16°5’29”	E 108°09’04”	x	x

VUB = مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول (*srezilibats VU elozairtozneB*)

BCP = مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (*slynehpiB detanirolhcyloP*)

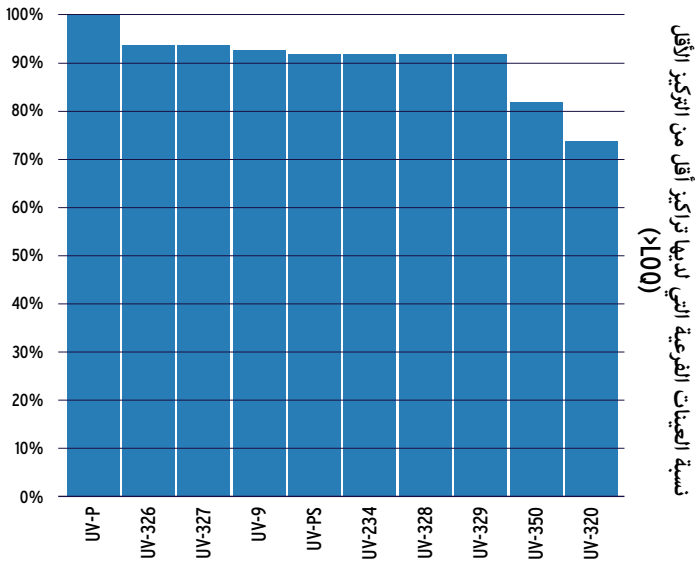
تم قياس مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول في أجزاء قطبية بواسطة جهاز استشراب غازي مجهز بمطياف كتلة (GC-MS; Agilent 7890A/5977). يمكن الاطلاع على تفاصيل أسلوب التحليل في Yamashita *et al.* (2021).

جرى قياس كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية باستخدام وضع رصد أيونات محدد وتم تحديد كميتها بناء على منطقة الذروة. تم تصحيح تراكيز UV-326 و UV-327 وUV-328 بالنسبة إلى استرداد المعايير المقابلة ذات العلامة النظيرية، بينما لم يتم تصحيح مثبتات الأشعة فوق البنفسجية الأخرى بالنسبة إلى الاسترداد.

جرى صنع كسرات مكررة لمستخلصات الحبيبات للتحقق من قابلية إعادة الإنتاج الانحراف المعياري النسبي للقيم التحليلية التي تقل عن خمسة بالمائة بالنسبة لكل من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ومثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول. وبلغت نسبة الاسترداد أكثر من ثمانين بالمائة بالنسبة إلى كلا صنفي

المركبات. جرى تمرير عينة إجرائية فارغة في كل مجموعة من العينات الخمس. يعرّف التركيز الأقل (LOQ) على أنه القيم التحليلية التي تقلّ ثلاث مرات عن العينة الفارغة. فبالنسبة لمجموعة مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الثلاث عشرة كان التركيز الأقل 0.3 نانوغرم/غرام بشكل عام. وبالنسبة لمثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول تراوح التركيز الأقل بين 0.5 نانوغرام/غرام-كرية بالنسبة إلى UV-320 وحتى 13 نانوغرام/غرام بالنسبة إلى UV-328.

ومن أجل مقارنة التراكيز مع عينات سابقة، جرى استخدام القيم الوسيطة. وقد وُجد سابقاً بأن القيم الوسيطة لخمس عينات فرعية مرتبطة بالتراكيز الموجودة في بلح البحر (Ogata *et al.* 2009). بالإضافة إلى ذلك، فإنها تستبعد التراكيز العالية العشوائية (Yamashita *et al.* 2019)، مما يجعلها أكثر تمثيلاً للتلوث المحلي.



الشكل رقم *1*. مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول في عينات الكريات.

النتائج

مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول

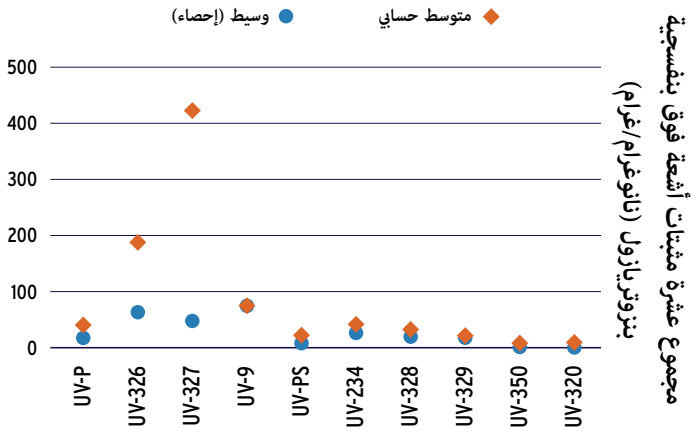
تم العثور على كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول التي جرى تحليلها في عينات فرعية من كافة المواقع. وعُثر على كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية في معظم العينات الفرعية (الشكل رقم 1). وكانت التراكيز الأعلى في العينات الفرعية المأخوذة من المغرب وجامايكا والكونغو (الشكل رقم 3). أما بالنظر إلى القيم الوسيطة، نجد أعلى التراكيز في الكونغو وتنزانيا والسنغال.

تم قياس مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول في ما مجموعه مائة وعشر عينات (22×5). حيث جرى تحليل كل عينة فرعية بحثاً عن عشرة مثبتات أشعة فوق بنفسجية مختلفة. عُثر على كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول التي جرى تحليلها في عينات فرعية من كافة المواقع. فقد عُثر على UV-P في كافة العينات الفرعية. وعثر على UV-326 إلى 329، وUV-9، وUV-PS في أكثر من تسعين بالمائة من العينات الفرعية. وعُثر على UV-350 وUV-320 في ثمانين وسبعين بالمائة من العينات الفرعية على التوالي (الشكل رقم 1).

وفيما يخص التركيب، عُثر على UV-327 وUV-326 وUV-9 بأعلى التراكيز. كما كان لها أعلى القيم المتوسطة والوسيطة (الشكل رقم 2).

تم العثور على أعلى إجمالي من تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول في العينات الفرعية من المغرب وجامايكا والكونغو (الشل رقم 3). وتلك البلدان الثلاثة هي ذاتها البلدان التي تمتلك أعلى قيمة متوسطة. وبالنظر إلى المستويات الوسطية لإجمالي تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول، نجد أن أعلى التراكيز في العينات من الكونغو وتنزانيا والسنغال.

بالنسبة إلى معظم البلدان، كانت أقل إجمالي تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول جرى قياسها دون مستوى خمسمائة نانوغرام/غرام. ويُستثنى من

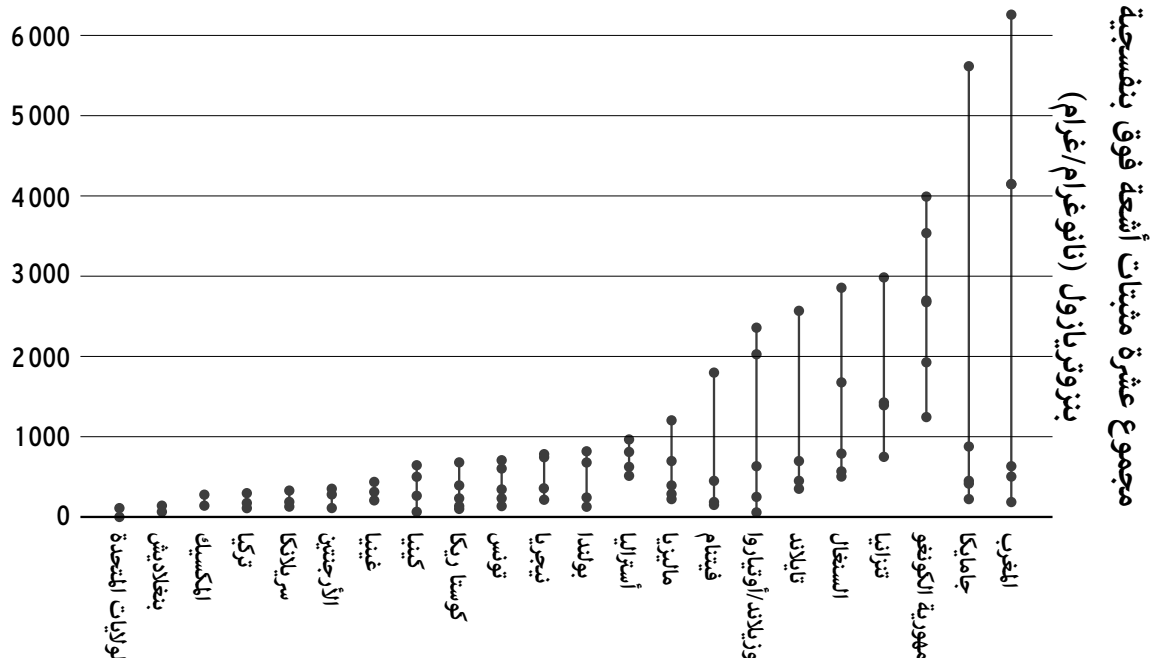


الشكل رقم *2*. قيم المتوسط والوسيط من كافة العينات الأعلى من التركيز الأقل (LOQ).

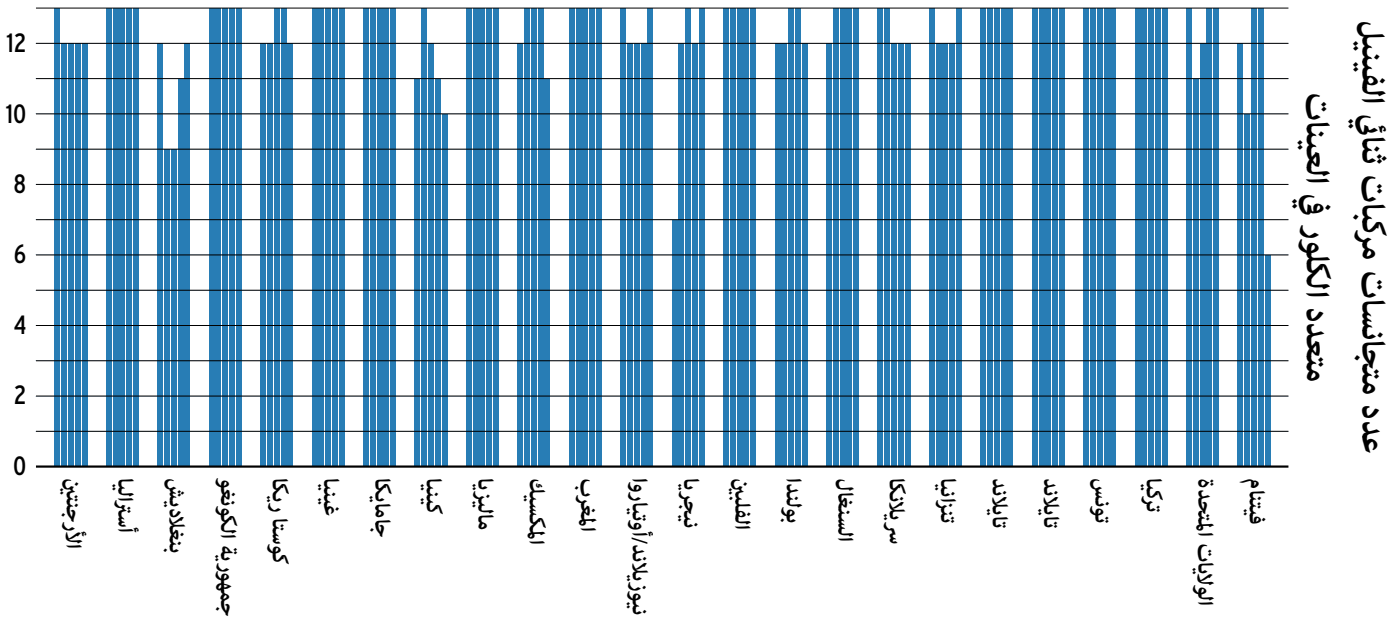
ذلك أستراليا (528 نانوغرام/غرام) والسنغال (520 نانوغرام/غرام) وتنزانيا (751 نانوغرام/غرام) والكونغو (1258 نانوغرام/غرام).

مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور

احتوت كافة العينات الفرعية المائة والعشرين على مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، وتواجدت متجانسات مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في عينات من كافة المواقع (الشكل رقم 4). كانت العينات من السنغال وتونس شديدة التلوث (الشكل رقم 6). بينما احتوت العينات من تنزانيا والكونغو والمغرب على تراكيز تراوحت من ملوثة بشكل معتدل إلى شديدة التلوث (الشكل رقم 6).



الشكل رقم *3*. تراكيز عشرة مثبتات أشعة فوق بنفسجية بنزوتريازول في عينات فرعية من الكريات من بلدان مختلفة.



الشكل رقم *4*. عدد متجانسات مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور التي تم اكتشافها في العينات (من أصل ثلاث عشرة تم قياسها).

جرى قياس مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول في ما مجموعه مائة وعشر عينة فرعية (22×5). حيث جرى تحليل كل عينة فرعية بحثاً عن عشرة مثبتات أشعة فوق بنفسجية بنزوتريازول مختلفة.

جرى قياس مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في ما مجموعه مائة وعشرين عينة فرعية (24×5). ففي كل عينة فرعية، تم قياس ثلاثة عشر متجانس مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور مختلف. احتوت كافة العينات الفرعية على مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ضمنها، بينما تواجدت كافة متجانسات مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور التي تم قياسها في عينات من كافة المواقع (الشكل رقم 4). احتوت ثمانٍ وستون من كافة العينات الفرعية على مستويات قابلة للاكتشاف لكافة متجانسات مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الثلاثة عشر. وفيما يخص تركيب مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (الملحق #) كانت متجانسات خماسي وسداسي وسباعي BC (أي: CB110, 138, 180) هي السائدة بشكل عام. ويشابه هذا النمط الأنماط التي لوحظت في الكريات من مواقع أخرى في العالم (على سبيل المثال: Hosoda *et al.* 2014؛ Mizukawa *et al.* 2013؛ Yeo *et al.* 2015). حيث اختلف التركيب المفصل بين المواقع. ولكن رأينا غلبة لِ CB-138 وCB-180 في معظم العينات وخاصة في العينات التي تمتلك تراكيز عالية من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، أي تلك من السنغال وتونس وتنزانيا. ففي الكريات من تلك البلدان، شكّل CB-138 أكثر من خمسين بالمائة من الإجمالي في معظم العينات.

تراوح إجمالي تراكيز مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (مجموع المتجانسات الثلاثة عشر) في عينات الكريات التي تم تحليلها بين 1 إلى 4188 نانوغرام/غرام. أما بالنسبة إلى التصنيفات الدولية المستخدمة من قبل مجموعة رصد الكريات البلاستيكية الدولية، فستُعتبر عندها عدة عينات فرعية ووسيط الكريات من السنغال وتونس على أنها شديدة التلوث (الشكل رقم 5).

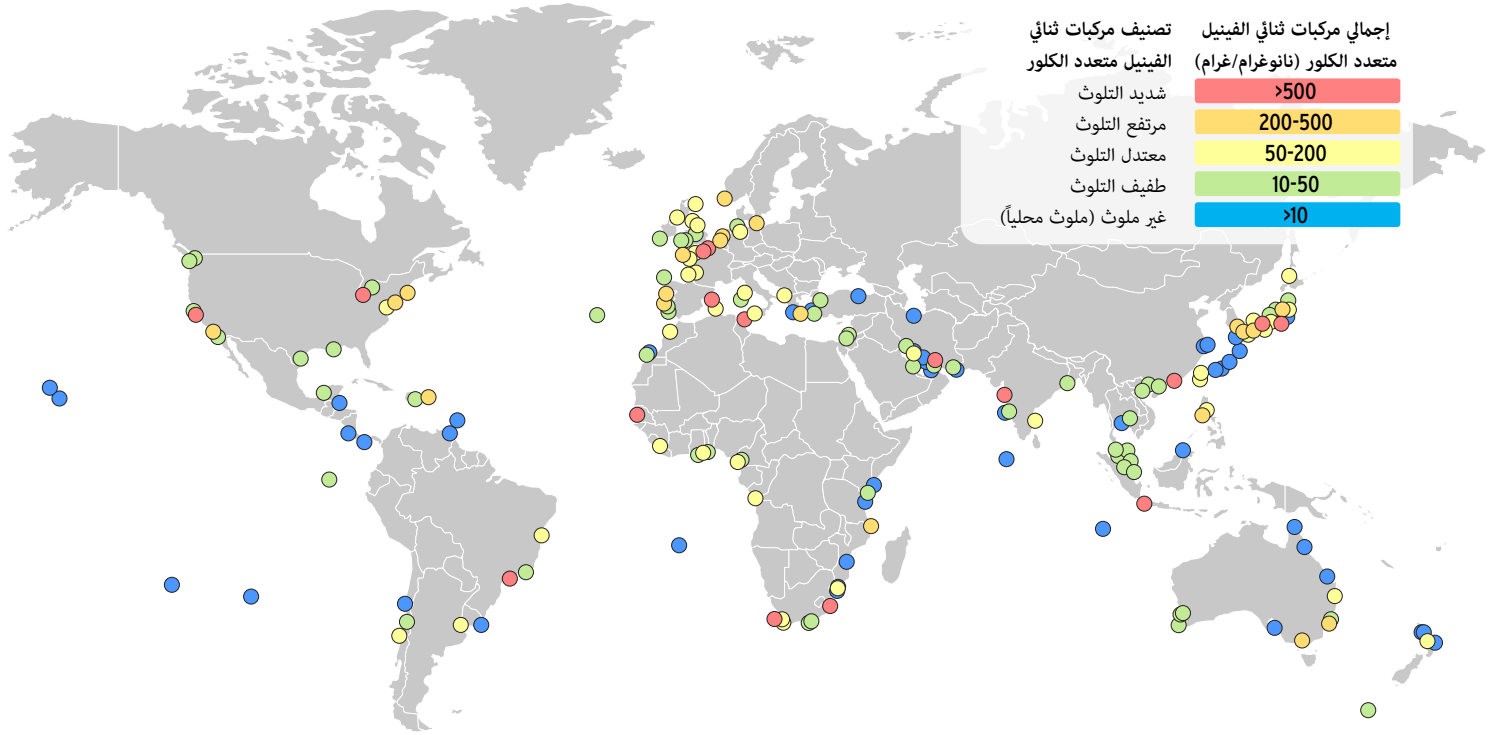
إن المستوى الأساسي للتلوث بمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، والمشتق من النقل الجوي والانتقال بعيد المدى لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور عند امتزازها إلى القطع البلاستيكية العائمة، يبلغ 10 نانوغرام/غرام. في هذه الدراسة، كانت هناك عينات من ثلاثة مواقع تتوافق تراكيزها مع المستويات الأساسية، وعُثر عليها في بنغلاديش (1-2 نانوغرام/غرام)، شاطئ باوباب، كينيا (3-9 نانوغرام/غرام) وفيتنام (1-10 نانوغرام/غرام) (الشكل رقم 6).

في الأرجنتين (3-16 نانوغرام/غرام)، كوكس كريك في ولاية تكساس، الولايات المتحدة (1-18 نانوغرام/غرام)، تايلاند (9-12 نانوغرام/غرام)، تركيا (6-23 نانوغرام/غرام)، ماليزيا (8-35 نانوغرام/غرام)، كوستاريكا (3-45 نانوغرام/غرام) تراوحت التراكيز في العينات الفرعية من غير ملوّث إلى قليل التلوث. في تايلاند (9-68 نانوغرام/غرام) تراوحت التراكيز من غير ملوثة إلى ملوثة بشكل معتدل.

في نيجريا (15-37 نانوغرام/غرام) وبولندا (10-43 نانوغرام/غرام) احتوت كافة العينات الفرعية على تراكيز قليلة التلوث.

في سيريلانكا (11-65 نانوغرام/غرام) وغينيا (31-82 نانوغرام/غرام) والمكسيك (11-83 نانوغرام/غرام) تراوحت التراكيز بين قليلة التلوث ومعتدلة التلوث. وفي جاميكا (10-286 نانوغرام/غرام) ونيوزيلاندا/أوتياروا (42-442 نانوغرام/غرام) تراوحت التراكيز من قليلة التلوث إلى عالية التلوث.

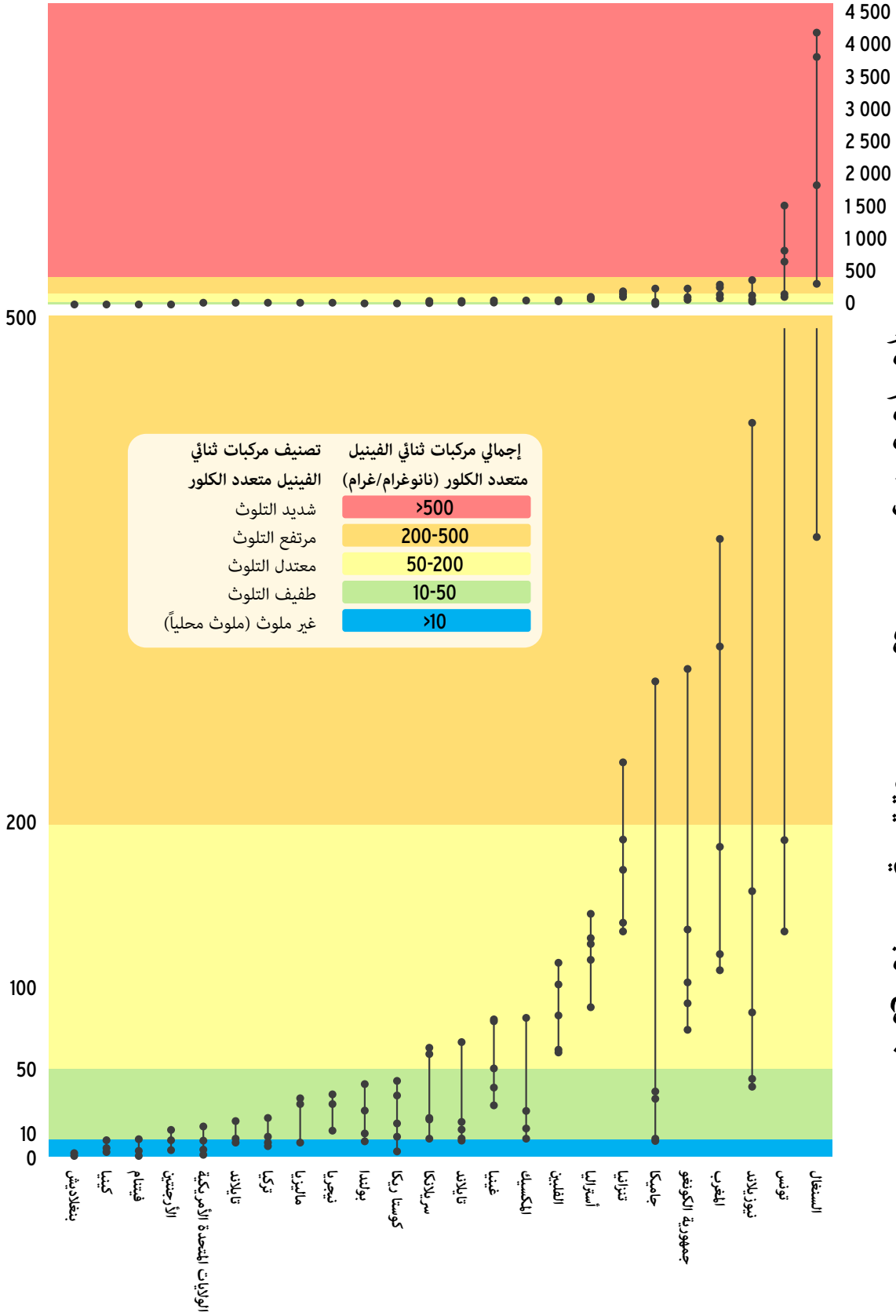
تراكيز مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (نانوغرام/غرام-كرية)



الشكل رقم 5. تركيز مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (نانوغرام/غرام، قيم الوسيط) في كريات الراتنج البلاستيكية حول العالم، بما في ذلك عينات من الدراسة الحالية.

الشكل رقم *6*. مجموع مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الثلاثة عشر في الكريات لجميع البلدان.

في الأسفل: القيم دون *005* نانوغرام/غرام. في الأعلى: تم تعديل القيم بحيث تتضمن المستويات العليا التي جرى اختبارها.



كانت العينات الفرعية من الفلبين (62-116 نانوغرام/غرام) وأستراليا (90-146 نانوغرام/غرام) معتدلة التلوث. في تنزانيا (135-238 نانوغرام/غرام) والكونغو (76-294 نانوغرام/غرام) والمغرب (135-1570 نانوغرام/غرام) تراوحت التراكيز من معتدلة التلوث إلى عالية التلوث، وفي تونس (135-1570 نانوغرام/غرام) تراوحت من معتدلة التلوث إلى شديدة التلوث. في السنغال (373-4188 نانوغرام/غرام) كانت جميع العينات الفرعية إما عالية أو شديدة التلوث.

مستويات مجتمعة من التلوث

تفاصيل نتائج المستويات المجتمعة من التلوث

لا يبدو أن تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزتريازول ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في المواد البلاستيكية تتماشى بالضرورة مع مستويات التلوث على الشاطئ. ففي غينيا على سبيل المثال، كان الشاطئ الذي تم أخذ العينات منه يحتوي على كميات كبيرة من التلوث البلاستيكي لدرجة أن هذا التلوث كان يغطي أجزاء واسعة من الشاطئ ذاته (الشكل رقم 8)، ولكن تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور كانت منخفضة بالمقارنة مع العينات الأخرى (تراكيز من قليلة إلى معتدلة التلوث بمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور).

أما الشاطئ الذي تم أخذ العينات منه في الكونغو، فلم يكن هناك كثير من التلوث المرئي (الشكل رقم 7)، ولكن عينات الكريات هناك كانت من بين أعلى تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول من الكريات التي جرى تحليلها (الشكل رقم 3).

الشكل رقم 7. شاطئ في الكونغو تم أخذ العينات منه بواسطة AED Congo.

الشكل رقم 8. شاطئ في غينيا تم أخذ العينات منه بواسطة Carbone Guinée.

نقاش

في هذه الدراسة، جرى تحليل وجود ملوثات عضوية ثابتة مضافة وممتزة، وهي مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور على وجه التحديد، في عينات كريات بلاستيكية جرى أخذها من شواطئ من كافة أنحاء العالم. تم العثور على كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في عينات من جميع المواقع.

مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول

جرى تحليل عشرة مثبتات أشعة فوق بنفسجية بنزوتريازول مختلفة في عينات من اثنين وعشرين بلداً. وعلى الرغم من العثور على كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزتريازول في عينات من جميع المواقع، إلا أن تراكيزها كانت مرتفعة على وجه الخصوص في الكونغو وتنزانيا والسنغال والمغرب وجامايكا.

تراوحت تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول المنفردة في هذه الدراسة بين 1 إلى 5802 نانوغرام/غرام-كريّة. وفي دراسة سابقة حول حطام الشواطئ، التي جرى جمعها في كوريا الجنوبية، تراوحت تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول بين 0.3 إلى 81,700 نانوغرام/غرام. بينما احتوى حطام الشاطئ في ولاية هاواي تراكيز تراوحت بين 0.2 إلى 1,130 ميكروغرام/غرام (200-1,130,000 نانوغرام/غرام). ولكن كلتا هاتين الدراستين عاينتا منتجات بلاستيكية أو أجزاء من منتجات بلاستيكية.

وفيما يخص تركيب مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول، بلغ أعلى تركيز في عينة فرعية (5,082 نانوغرام/غرام) وأعلى متوسط تركيز (430 نانوغرام/غرام) وكان ذلك لِ UV-327 والذي عُثر عليه في مائة وثلاثة عينات من أصل مائة وعشر عينات. لقد تم إدراج UV-327 كمادة ضارة بالحياة المائية وله تأثيرات طويلة المدى، كما يخضع للتقييم بشأن الثبات والتراكم البيولوجي والسمية (وكالة المواد الكيميائية الأوروبية 2021). عثرت دراسات سابقة على UV-327 في بلازما بايك الشمالية (Lu *et al.* 2016) بالإضافة إلى الحطام البلاستيكي (Rani *et al.* 2017, Tanaka *et al.* 2020a).

ومن ناحية أخرى، بلغ أعلى وسيط تركيز (80 نانوغرام/غرام) في UV-9، والذي عثر عليه في مائة واثنتين من أصل مائة وعشرة عينات جرى تحليلها. تم إدراج UV-9 كمادة سامة جداً بالنسبة إلى الحياة المائية مع تأثيرات طويلة المدى ويخضع للتقييم بالنسبة إلى الثبات والتراكم البيولوجي والسمية (وكالة المواد الكيميائية الأوروبية 2021). كما بينت الدراسات بأن UV-9 يمكن أن يكون له تأثيرات إستروجينية (Feng *et al.* 2020).

كما عُثر على UV-P في كافة العينات التي تم تحليلها، حيث يعد، كما هو الحال بالنسبة إلى UV-9، ساماً جداً بالنسبة إلى الحياة المائية وله تأثيرات طويلة المدى. كما يخضع للتقييم كمادة كيميائية ثابتة ومتراكمة بيولوجياً وسامة (وكالة المواد الكيميائية الأوروبية 2021). وقد تبيّن بأنه يحفز النشاط الأستروجيني في الدراسات المختبرية والحاسوبية (Feng *et al.* 2020). وقد عُثر عليه سابقاً في زيت غدة الزمكى لدى الطيور البحرية (Yamashita *et al.* 2021). وقد أظهرت الدراسات بأنه يستطيع تنشيط مسار مستقبلات أريل الهيدروكربونات في سمك الزرد (Feng *et al.* 2014)، كما يُظهر نشاط ربيطة لمستقبلات أريل الهيدروكربونات لدى البشر. حيث يعد مسار مستقبلات أريل الهيدروكربونات عبارة عن مسار غالباً ما يشترك في كيفية تأثير الملوثات البيئية على الحيوانات. فقد يعمل كمحفز لعدة أنواع من التأثيرات مثل عدم التوازن الهرموني وعدم توازن الاستقلاب والأنشطة السرطانية والتأثيرات التنموية. كما يمتلك UV-P إمكانية للتراكم البيولوجي (Nagayoshi *et al.* 2015) كما أظهر نشاطاً معادياً لمستقبلات الأندروجين ونشاطاً مناهضاً لمستقبلات الأستروجين (Sakuragi *et al.* 2021)، مما يعني أن بإمكانه إحداث اضطراب في التوازن الهرموني من خلال التفاعل مع مستقبلات الأستروجين والأندروجين بطرق مختلفة.

بما أن كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول تم اكتشافها في عينات من جميع المواقع وبما أنها ترتبط بعدة أضرار على صحة الإنسان والبيئة، فإن هذا يُظهر بأن المشاكل المرتبطة بِـ UV-328 موجودة أيضاً في مثبتات الأشعة فوق البنفسجية الأخرى المشابهة.

عُثر على ثاني أعلى وسيط (67 نانوغرام/غرام) ومتوسط (193 نانوغرام/غرام) في UV-326. حيث عُثر على UV-326 في مائة وثلاث عينات من أصل مائة وعشر عينة ويخضع للتقييم حالياً فيما يخص ثباته وتراكمه البيولوجي وسميته (وكالة المواد الكيميائية الأوروبية). وقد عُثر عليه سابقاً في عينات من أكباد الفقمة القطبية (Lu *et al.* 2019)، وزيت غدة الزمكى في الطيور البحرية (Yamashita *et al.* 2019) والحطام البلاستيكي (Rani *et al.* 2017, Tanaka *et al.* 2020). ويمكن لِ UV-326، كما هو الحال مع UV-9، أن يقوم بتنشيط مسار مستقبلات أريل الهيدروكربونات في سمك الزرد (Fent *et al.* 2014). وكما هو الحال أيضاً مع UV-9، فقد أظهر نشاط ربيطة لمستقبلات أريل الهيدروكربونات لدى البشر مع إمكانية للتراكم (Nagayoshi *et al.* 2015).

وكان ثالث أعلى متوسط تركيز في UV-328 والذي عُثر عليه في مائة وعينة واحدة من أصل مائة وعشر عينات. يخضع UV-328 للتقييم كمادة عضوية ثابتة وقد عُثر عليه سابقاً في عينات من الحطام البلاستيكية (Rani *et al.* 2017, Tanaka *et al.* 2020). كما تم اكتشاف UV-328 في أنسجة الكبد لطائر الفولمار الشمالي في القطب الشمالي (Lu *et al.*

رومانيا: Mare Nostrum

2019) بالإضافة إلى طائر الغاق طويل الأذن (Lu *et al.* 2019b) وفي زيت غدة الزمكى لدى الطيور البحرية (Yamashita *et al.* 2019) وبلازما الدم لدى الدولفين قاروري الأنف (Lu *et al.* 2016) وعدة أنواع من السمك (Lu *et al.* 2016, Lu *et al.* 2019). يعمل UV-328 كمضاد لمستقبلات الأستروجين (Sakuragi *et al.* 2021). وعند استقلابه، تتغير سميته ويظهر نشاطاً مضاداً للأندروجين أكثر فعالية (Zhuang *et al.* 2017). ويمكن أن يسبب تزايداً في إنتاج أنواع الأوكسجين التفاعلية في طحالب *Chlamydomonas reinhardtii* (Giraudo *et al.* 2017). كما ثبت أيضاً بأن VU-823 يقوم بحث نسخ البروتينات الريبوزومية في سمك سلمون قوس القزح الصغير، بالإضافة إلى تقليل تنظيم الجينات المرتبطة بالاستجابة المناعية (Giraudo *et al.* 2020).

يعد UV-328 مادة كيميائية سامة يصل نصف عمرها إلى عدة أشهر، وقد قد كشفت بعض الدراسات في التربة بأن نصف عمرها يبلغ من تسع وسبعين إلى مائتان وثلاث وعشرون يوماً (Lai *et al.* 2014). كما تمتلك كثافة أعلى من كثافة ماء البحر، أي في حال جرى إطلاق هذه المادة الكيميائية في المسطحات المائية، فإنها ستترسب. ومع أن الرواسب قد تنتقل إلى مسافات بعيدة، إلى أن ذلك يكون أبطأ من انتقال المياه السطحية. ولكن، وبما أنه يتم إطلاق UV-328 بشكل متكرر في البيئة على هيئة إضافة إلى مواد بلاستيكية ذات كثافة منخفضة، فقد ينتقل إلى مسافات بعيدة مع انتقال المياه السطحية، كما بيّنت هذه الدراسة، حيث عُثر عليه في المواد البلاستيكية على الشواطئ في كافة أرجاء العالم.

علاوة على ذلك، وبما أن كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول تم اكتشافها في عينات من جميع المواقع وبما أنها ترتبط بعدة أضرار على صحة الإنسان والبيئة، فإن هذا يُظهر بأن المشاكل المرتبطة بـِ UV-328 موجودة أيضاً في مثبتات الأشعة فوق البنفسجية الأخرى المشابهة. في كثير من الأحيان، يجري تقييم المواد الكيميائية بشكل منفرد، أي كل مادة على حدة. ويعد ذلك إجراءً بطيئاً يمكن أن يؤدي إلى أن يتم استبدال مادة كيميائية خطرة بمادة خطرة بشكل مماثل بسبب نقص المعلومات بشأن تلك المادة بالذات. ولكن في حال اتباع مقاربة تستند إلى الصنف، يتم تقييم المواد الكيميائية ذات الهيكلية والخصائص الكيميائية المتشابهة سوياً. وبالنظر إلى أوجه التشابه العديدة بين مختلف مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول وحقيقة أنها تمتلك تأثيرات متشابهة، فإنه من الأفضل اتباع منهج يستند إلى الصنف عوضاً عن منهج كل مادة على حدة.

مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور

لم يكن هناك ارتباط بين تراكيز مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزتريازول وتراكيز مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. ولكن، وكما هو الحال مع مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول، فقد جرى اختبار عينات من أربعة وعشرين بلداً بحثاً عن ثلاثة عشر متجانساً لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور حيث تم العثور على كافة المتجانسات في جميع المواقع. تراوحت التراكيز الإجمالية من مستويات أساسية في بعض المواقع إلى قيم عالية للغاية بالمقارنة مع عينات عالمية سابقة (Hirai *et al.* 2011).

احتوت معظم المواقع، واحد وعشرين موقعاً من أصل أربعة وعشرين، على تراكيز لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور أعلى من 10 نانوغرام/غرام-كرية. ويعني ذلك أنه لا بد أن يكون هناك مصدر محلي واحد أو أكثر لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور بالقرب من المواقع أو أن الكريات قد امتزت مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في موقع ما ثم جلبت تلك المركبات معها إلى الشاطئ.

تونس: جمعية التربية البيئية للأجيال القادمة *(GFEEA)*

يمكن مقارنة المستويات المتطرفة والعالية لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور التي عُثر عليها في عينات في أفريقيا بالمستويات التي عُثر عليها في الولايات المتحدة واليابان ومدن أوروبية في دراسات سابقة. ومن المعروف أن تلك المناطق قد مرت بمرحلة من النمو الاقتصادي والصناعي السريع بحلول السبعينات من القرن المنصرم، مما أدى إلى إنتاج كميات كبيرة من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور واستخدامها وإطلاقها في المناطق الساحلية (Karapanagioti *et al.* 2011; Mizukawa *et al.* 2013; Ogata *et al.* 2009; Yeo *et al.* 2015).

تم إنتاج مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور بشكل رئيسي في الولايات المتحدة وأوروبا وروسيا، وجرى استخدام حوالي سبع وتسعين بالمائة منه في نصف الكرة الشمالي. لم تكن أفريقياً منتجاً لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور أو مستخدماً رئيسياً لها في يوم من الأيام، لذلك لا يمكن تفسير التراكيز العالية التي عُثر عليها في الدراسة من خلال الاستخدام السابق لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في القارة (Gioia *et al.* 2011). فقد أظهرت عينة السنغال تراكيز عالية للغاية من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. وقد جرى جمع العينات من «بلاج دو هان» في خليج «هان»، وهو عبارة منطقة محاطة بالأنشطة الصناعية، وتقع بالقرب من مكب نفايات «مبويوس» في مدينة «بيكاين»، على بعد سبعة وعشرين كيلومتراً عن داكار. وفي عام 2014، أظهرت دراسة بأن ساحة لجمع خردة النفايات الإلكترونية كانت هي مصدر مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الموجود في الكريات البلاستيكية في غانا (Hosoda *et al.* 2014)، وقد يكون ذلك مصدراً محتملاً في حالتنا هذه، على الرغم من عدم امتلاكنا لأي أدلة بشأن المصادر فيما يخص هذا الموقع بالذات في دراستنا.

امتلكت تونس ثاني أعلى التراكيز من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. حيث تم أخذ العينة من خليج تونس. لا يعد استخدام مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور شأناً راسخاً في تونس. ففي عام 1986، تم حظر استيراد المحولات أو أي معدات أخرى تحتوي على مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور إلى تونس. ولكن ما زال يُستخدم عدد كبير من المحولات التي تحتوي على مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور أو يجري تخزينها بشروط غير مرضية (Barhoumi *et al.* 2014). وبالتالي فإن هناك احتمالاً لوجود مصادر محلية أخرى لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور.

وفي عينات من جنوب شرق آسيا، لاحظنا تراكيز معتدلة في شاطئ «باسيكو» في الفلبين بلغت 68 نانوغرام/غرام-كرية، وقد صُنفت على أنها ملوثة بشكل معتدل. ولكن في شاطئ «بانغ ساين» في تايلاند، عُثر على تراكيز أقل بلغت 16 نانوغرام/غرام-كرية، والتي يمكن تصنيفها على أنها ملوثة بشكل طفيف. وبالمقارنة مع التراكيز العالمية (راجع الشكل رقم 5)، فإن وضع التلوث في جنوب شرق آسيا يمكن مقارنته مع العينات السابقة التي جرى تحليلها في الإقليم ذاته.

تحتوي العينات من جامايكا والمكسيك على تراكيز منخفضة تبلغ 27 نانوغرام/غرام-كرية و16 نانوغرام/غرام-كرية على التوالي. ويقع هذان الموقعان في مناطق نائية حيث توجد أنشطة صناعية قليلة أو حيث لا توجد أنشطة صناعية أساساً، كما تقع على مسافة بعيدة عن أي مصادر كبيرة لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور،

وهو ما يفسر التراكيز المنخفضة من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور التي تم اكتشافها.

ولكن تجدر الإشارة إلى أن مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور من الممكن أن يكون قد جرى امتزازها إلى المواد البلاستيكية محلياً أو في موقع آخر قبل وصولها إلى الشاطئ المعني. فقد جرت مناقشة فكرة ارتباط امتزاز تراكيز عالية من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور إلى الكريات بوجود مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور قديمة العهد ضمن الرواسب، وبالتالي فهي غير مرتبطة بالضرورة بالانبعاثات الحالية من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. وعلى الرغم من أن امتزاز مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور إلى الكريات أو انتزازها منها يعد أمراً ثنائي الطور (أي أن مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور يتم امتزازها إلى المواد البلاستيكية وانتزازها منها) فإنه يسعى إلى تحقيق حالة التوازن، وتستغرق هذه العملية وقتاً (يُقدر بحوالي عام أو أكثر وفقاً لِ Yamashita, 2018). وبالتالي لا يمكن معرفة فيما إذا كان قد جرى امتزاز مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور إلى البلاستيك محلياً أو جرى نقلها من منطقة ذات تراكيز عالية من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. وبمقارنة التراكيز الوسيطة حول العالم، لا تزال التراكيز العالية تشير إلى إمكانية وجود مصادر محلية من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور.

وتجدر الإشارة أيضاً بأنه قد جرى جمع العينات من موقع واحد أو موقعين كحد أقصى من كل بلد، مما يعني أن ذلك لا يوفر نظرة عامة دقيقة بشأن الملوثات، بل يوفّر لمحة سريعة. بينما تعطي التراكيز العالية، وفي بعض الأحيان العالية للغاية، للعينات في هذه الدراسة مؤشراً عن المناطق التي من المحتمل أن تحتوي مستويات عالية التلوث بمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. وبالتالي، قد يكون من الضروري بذل جهود تنظيمية وعلاجية في هذه المناطق.

وتجدر الإشارة كذلك إلى أن العينات من المغرب والكونغو والسنغال التي جرى تحليلها كانت من بين أعلى خمسة تراكيز لكل من مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. كما امتلكت تنزانيا رابع أعلى تركيز من مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول، بينما امتلكت تونس ثاني أعلى تركيز من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. تقع كافة الدول الخمس هذه في أفريقيا، حيث يعد إنتاج المواد الكيميائية والمواد البلاستيكية محدوداً للغاية. وبالتالي، توضح هذه الدراسة كيفية انتقال المواد البلاستيكية عبر الحدود الوطنية وتسلط الضوء على أهمية التعاون الدولي لوقف انتشار المواد البلاستيكية والمواد الكيميائية السامة ضمن المواد البلاستيكية.

الاستنتاجات والتوصيات

في هذه الدراسة العالمية، تم العثور على كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول العشر وكافة متجانسات مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الثلاث عشرة التي تم تحليلها في كريات بلاستيكية من جميع المواقع التي تم أخذ عينات منها. تسلط هذه النتائج الضوء على حقيقة أن الكريات البلاستيكية في مرحلة ما قبل الإنتاج، والتي يجري العثور عليها على الشواطئ في كافة أنحاء العالم، تجلب معها مواد كيميائية سامة.

يُظهر وجود عدة مثبتات أشعة فوق بنفسجية بنزوتريازول، بما في ذلك UV-328، في الكريات البلاستيكية بأن حطام الكريات البلاستيكية يمكن له أن يزيد من انتشار تلك المواد الكيميائية. حيث تعد عدة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول على أنها ثابتة ومتراكمة بيولوجياً وسامة، وقد ثبت بأنها تسبب اضطرابات في عمل الغدد الصماء في دراسات علمية سابقة. وبضم ذلك إلى النتائج في هذه الدراسة، يتبين بأن عدداً من مثبتات الأشعة فوق البنفسجية عبارة عن ملوثات منتشرة في كل مكان وتشكل خطراً على صحة الإنسان والبيئة. وبالتالي فإنه من المهم أخذ مقاربة تنظيمية تستند إلى الصنف بغية تفادي الأضرار على صحة البيئة والإنسان الناجمة عن مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول.

وقد أظهرت القياسات التي تم أخذها في هذه الدراسة لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور مستويات عالية تدعو للقلق في العديد من البلدان الأفريقية، مما يشير إلى وجود مصادر إقليمية لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، قد تكون مرتبطة بمواقع النفايات الإلكترونية. وبالتالي، يجب إيلاء اهتمام خاص إلى البلدان الأفريقية التي تواجه مشاكل مرتبطة بالملوثات العضوية الثابتة قديمة العهد.

علاوة على ذلك، تجدر الإشارة إلى أن مستوى التركيز في كريات معينة، لا يعتبر قياساً مباشراً للمستوى الإجمالي في ذلك الموقع، حيث إن بعض الشواطئ أكثر تلوثاً من غيرها. ولكن وجود كافة مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور التي جرى تحليلها في جميع الشواطئ التي تم أخذ عينات منها يبيّن أن الجوانب الملموسة من القمامة ليس السبب الوحيد لتلوّث الشواطئ. كما تبيّن هذه النتائج أنه حتى لو بدا شاطئ ظاهرياً على أنه يحتوي كمية أقل من النفايات البلاستيكية، فقد تترافق الكميات الأقل من التلوث المرئي بمستويات عالية من التلوث الكيميائي.

تعتبر التحديات الكامنة وراء الوضع المعروض متعددة ومتشعبة. حيث يُعثر على الكريات البلاستيكية في كافة أرجاء العالم وهي تقوم بحمل الإضافات والملوثات البيئية الممتزة معها. بشكل جوهري، يمكن إرجاع هذا الموقف الإشكالي إلى عدة أسباب رئيسية.

أولاً، نادراً ما تتحمل القطاعات الصناعية مسؤولية الانسكابات البلاستيكية، حتى في حال وجود أطر عمل تنظيمية كان بإمكانها تفادي الانسكاب في حال جرى تطبيقها بشكل صحيح. ثانياً، لا تزال المواد الكيميائية المحظورة موجودة في البيئة بسبب ثباتها والافتقار إلى آليات لضبطها، وخاصة أثناء إعادة تدوير النفايات الإلكترونية. وأخيراً، لا يزال يُسمح بالإضافات، مثل مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول والتي ترتبط بآثار سلبية على البيئة وصحة الإنسان، ضمن المنتجات البلاستيكية وغالباً ما يقترن ذلك بشفافية محدودة للغاية.

ومن أجل منع مزيد من التلوث البيئي، فإنه من المهم:

- تخفيض الإنتاج الإجمالي للمواد البلاستيكية
- تحميل المسؤولية للشركات بغية الحد من إطلاق الكريات البلاستيكية والتخفيف من آثارها
- تحسين آليات الضبط التنظيمية الخاصة بالمواد الكيميائية المحظورة
- استبدال الإضافات المرتبطة بآثار سلبية على البيئة وصحة الإنسان، مثل مثبتات الأشعة فوق البنفسجية بنزوتريازول، ببدائل آمنة

وبما أن الملوثات البلاستيكية لا تتقيد بالحدود الوطنية، فإنه من الأهمية بمكان وضع إجراءات للوقاية والتخفيف وتطبيقها من خلال تعاون دولي.

الصورة: CISSA ، الهند

التوصيات

من أجل معالجة مشكلة الإضافات الكيميائية السامة في المواد البلاستيكية التي تدخل إلى البيئة، ينبغي على الوكالات الدولية وصانعي السياسات أن يقوموا بما يلي:

- دعم إضافة UV-328 إلى الملحق (أ) من معاهدة ستوكهولم دون إعفاءات
- تسريع التخلص التدريجي 'لمجموعات' من المواد الكيميائية السامة، عوضاً عن اتباع مقاربة كل مادة على حدة
- وضع لائحة تنظيمية بشأن حق المعرفة تشترط على المنتجين أن يفصحوا عن المواد والإضافات الكيميائية المستخدمة في المنتجات
- ضمان تطبيق مبدأ الملوّث هو من يدفع
- ضمان بأن الشركات المشاركة في إنتاج الكريات البلاستيكية وتناولها تتبنى استراتيجيات لتفادي الانسكابات في البيئة

ينبغي على قطاع صناعة المواد البلاستيكية أن يقوم بما يلي:

- وضع إجراءات لمنع إطلاق الكريات البلاستيكية أثناء الإنتاج والنقل والتخزين.
- التوقف عن إضافة مواد كيميائية سامة إلى المنتجات البلاستيكية.
- في حال كانت بعض الإضافات ضرورية لمنتجات بلاستيكية معينة، فينبغي التحقق من سلامة تلك الإضافات من قبل طرف ثالث.
- إدراج المكونات البلاستيكية، بما في ذلك الإضافات، على الملصقات التعريفية وجعل المحتوى الكيميائي للمواد الكيميائية قابلاً للتتبع على امتداد مراحل الحياة والنفايات.

بشكل عام، ينبغي على الحكومات أن تعمل على تخفيض إنتاج المواد البلاستيكية غير الأساسية، بما في ذلك إنهاء الدعم الحكومي لاستخراج الوقود الأحفوري ومنشآت إنتاج المواد البلاستيكية. يجب أن تمنع الاتفاقيات العالمية من إطلاق المواد البلاستيكية في البيئة.

المراجع

62(8):1683–1692

Hosoda, J., Ofosu-Anim, J., Sabi, E. B., Akita, L. G., Onwona-Agyeman, S., Yamashita, R., & Takada, H. (2014). Monitoring of organic micropollutants in Ghana by combination of pellet watch with sediment analysis: E-waste as a source of PCBs. Marine pollution bulletin, 86(1-2), 575-581.

IARC (2015) Polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls. IARC Monographs Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans.

Kameda, Y., Kimura, K., & Miyazaki, M. (2011). Occurrence and profiles of organic sun-blocking agents in surface waters and sediments in Japanese rivers and lakes. Environmental pollution, 159(6), 1570-1576.

Karapanagioti, H. K., S. Endo, Y. Ogata, and H. Takada. 2011. "Diffuse Pollution by Persistent Organic Pollutants as Measured in Plastic Pellets Sampled from Various Beaches in Greece." Marine Pollution Bulletin 62(2):312–17.

Karlsson, T. M., Arneborg, L., Broström, G., Almroth, B. C., Gipperth, L., & Hassellöv, M. (2018a). The unaccountability case of plastic pellet pollution. Marine pollution bulletin, 129(1), 52-60.

Kim, J. W., Isobe, T., Ramaswamy, B. R., Chang, K. H., Amano, A., Miller, T. M., ... & Tanabe, S. (2011). Contamination and bioaccumulation of benzotriazole ultraviolet stabilizers in fish from Manila Bay, the Philippines using an ultra-fast liquid chromatography–tandem mass spectrometry. Chemosphere, 85(5), 751-758.

Kim, J. W., Chang, K. H., Prudente, M., Viet, P. H., Takahashi, S., Tanabe, S., ... & Isobe, T. (2019). Occurrence of benzotriazole ultraviolet stabilizers (BUVSs) in human breast milk from three Asian countries. Science of The Total Environment, 655, 1081-1088.

Kühn, S., & Van Franeker, J. A. (2020). Quantitative overview of marine debris ingested by marine megafauna. Marine pollution bulletin, 151, 110858.

Kwon, B. G., Koizumi, K., Chung, S. Y., Kodera, Y., Kim, J. O., & Saido, K. (2015). Global styrene oligomers monitoring as new chemical contamination from polystyrene plastic marine pollution. Journal of hazardous materials, 300, 359-367.

Kwon, B. G., Chung, S. Y., & Saido, K. (2020). Sandy beaches as hotspots of bisphenol A. Environmental Research, 191, 110175.

Lai, H. J., Ying, G. G., Ma, Y. B., Chen, Z. F., Chen, F., & Liu, Y. S. (2014). Field dissipation and plant uptake of benzotriazole ultraviolet stabilizers in biosolid-amended soils. Environmental Science: Processes & Impacts, 16(3), 558-566.

Lu, Q., Liang, Y., Fang, W., Guan, K. L., Huang, C., Qi, X., Liang Z., Zeng, Y., Luo, X., He, Z., Mai, B. & Wang, S. (2021). Spatial distribution, bioconversion and ecological risk of PCBs and PBDEs in the surface sediment of contaminated urban rivers: a nationwide study in China. Environmental Science & Technology. 55, 14, 9579–9590

Lu, Z., Peart, T. E., Cook, C. J., & De Silva, A. O. (2016). Simultaneous determination of substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole ultraviolet stabilizers in blood plasma and fish homogenates by ultra high performance liquid chromatography–electrospray tandem mass spectrometry. Journal of Chromatography A, 1461, 51-58.

Lu, Z., Smyth, S. A., Peart, T. E., & De Silva, A. O. (2017). Occurrence and fate of substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in various Canadian wastewater treatment processes. Water research, 124, 158-166.

Lu, Z., De Silva, A.O., McGoldrick, D.J., Zhou, W., Peart, T.E., Cook, C., Tetreault, G.R., Martin, P.A., de Solla, S.R., (2018). Substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in aquatic organisms in the Great Lakes of North America: terrestrial exposure and biodilution. Science of the total environment, 647, 182-190.

Lu, Z., De Silva, A. O., Provencher, J. F., Mallory, M. L., Kirk, J. L., Houde, M., Stewart, C., Braune, B.M., Avery-Gomm, S., & Muir, D. C. (2019). Occurrence of substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in Arctic seabirds and seals. Science of the Total Environment, 663, 950-957.

Lu, Z., De Silva, A. O., Zhou, W., Tetreault, G. R., de Solla, S. R., Fair, P. A., Houde, M., Bossart, G., & Muir, D. C. (2019). Substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in blood plasma of fish, turtles, birds and dolphins from North America. Science of the total environment, 647, 182-190.

Marek, R. F., Thorne, P. S., Herkert, N. J., Awad, A. M., & Hornbuckle, K. C. (2017). Airborne PCBs and OH-PCBs inside and outside urban and rural US schools. Environmental science & technology, 51(14), 7853-7860.

Mizukawa, K., Takada, H., Ito, M., Geok, Y.B. Hosoda, J., Yamashita, R., Saha, M, Suzuki, S., Miguez, C., Frias, J., Antunes, J.C., Sobral, P., Santos, I., Micaelo, C. & Ferreira, A.M. (2013). Monitoring of a Wide Range of Organic Micropollutants on the Portuguese Coast Using Plastic Resin Pellets." Marine Pollution Bulletin 70(1–2):296–302.

Anh, H. Q., Watanabe, I., Minh, T. B., & Takahashi, S. (2021). Unintentionally produced polychlorinated biphenyls in pigments: An updated review on their formation, emission sources, contamination status, and toxic effects. Science of The Total Environment, 755, 142504.

Apel, C., Joerss, H., & Ebinghaus, R. (2018). Environmental occurrence and hazard of organic UV stabilizers and UV filters in the sediment of European North and Baltic Seas. Chemosphere, 212, 254–261.

Asimakopoulos, A. G., Wang, L., Thomaidis, N. S., & Kannan, K. (2013). Benzotriazoles and benzothiazoles in human urine from several countries: a perspective on occurrence, biotransformation, and human exposure. Environment international, 59, 274-281.

Barhoumi, B., Lemenach, K., Dévier, M-H, El Megdiche, Y., Hammami, B., Ameur. W.B., Hassine, S.B., Cachot, J, Budzinski, H., & Driss, M.R. (2014). Distribution and Ecological Risk of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Organochlorine Pesticides (OCPs) in Surface Sediments from the Bizerte Lagoon, Tunisia. 6290–6302. Environmental Science and Pollution Research, 21(10), 6290-6302.

Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J. M., & Jones, K. C. (2007). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners—a mass balance approach: 3. An update. Science of the Total Environment, 377(2-3), 296-307.

Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P., & Peck, B. B. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters. Science, 178(4062), 749-750.

Carmen, B., Krång, A. S., & Infantes, E. (2021). Microplastic retention by marine vegetated canopies: Simulations with seagrass meadows in a hydraulic flume. Environmental Pollution, 269, 116050.

Desforges, J. P., Hall, A., McConnell, B., Rosing-Asvid, A., Barber, J. L., Brownlow, A., De Guise, S., Eulaers, I., Jepson, P. D., Letcher, R. J., Levin, M., Ross, P. S., Samarra, F., Vikingson, G., Sonne, C., Dietz, R. Predicting global killer whale population collapse from PCB pollution. Science 2018, 361, 1373–1376.

ECHA 2020 Estimating the number and types of applications for 11 substances added to the authorisation list in February 2020. European Chemicals Agency 2020

ECHA 2021 Search for chemicals/regulated substances Retrieved 2021-11-08 https://echa.europa.eu/sv/home

European Commission Green Paper on a European Strategy on Plastic Waste in the Environment (2013) COM/2013/012

Erickson M.D., Kaley R.G., Applications of polychlorinated biphenyls. Environmental Science and Pollution Research. 2011; 18(2):135-51

Feng, H., Cao, H., Li, J., Zhang, H., Xue, Q., Liu, X., Zhang, A. & Fu, J. (2020). Estrogenic activity of benzotriazole UV stabilizers evaluated through in vitro assays and computational studies. Science of The Total Environment, 727, 138549.

Fent, K., Chew, G., Li, J., & Gomez, E. (2014). Benzotriazole UV-stabilizers and benzotriazole: antiandrogenic activity in vitro and activation of aryl hydrocarbon receptor pathway in zebrafish eleuthero-embryos. Science of the Total Environment, 482, 125-136.

FIDRA (2021) The Great Nurdlehunt. Retrieved 20211108 https://www.nurdlehunt.org.uk/nurdle-finds.html.

Gioia, R., Eckhardt, S., Breivik, K., Jaward, F. M., Prieto, A., Nizzetto, L., & Jones, K. C. (2011). Evidence for major emissions of PCBs in the West African region. Environmental science & technology, 45(4), 1349-1355.

Giraudo, M., Cottin, G., Esperanza, M., Gagnon, P., Silva, A. O. D., & Houde, M. (2017). Transcriptional and cellular effects of benzotriazole UV stabilizers UV-234 and UV-328 in the freshwater invertebrates Chlamydomonas reinhardtii and Daphnia magna. Environmental toxicology and chemistry, 36(12), 3333-3342.

Giraudo, M., Colson, T. L. L., De Silva, A. O., Lu, Z., Gagnon, P., Brown, L., & Houde, M. (2020). Food-Borne Exposure of Juvenile Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) to Benzotriazole Ultraviolet Stabilizers Alone and in Mixture Induces Specific Transcriptional Changes. Environmental toxicology and chemistry, 39(4), 852-862.

Gravier and Haut (2020) Plastic giants polluting through the backdoor: the case for a regulatory supply-chain approach to pellet pollution. Surfrider foundation.

Hirai H., Takada H., Ogata Y., Yamashita R., Mizukawa K., Saha M., Kwan C., Moore C., Gray H., Laursen D., Zettler E.R., Farrington J.W., Reddy C.M., Peacock E.E., & Ward M.W. (2011) Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. Marine Pollution Bulletin

rence and concentrations of chemical additives in plastic fragments on a beach on the island of Kauai, Hawaii. Marine pollution bulletin, 150, 110732.

UNEP, United Nations Environmental Programme. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. 2001.

Wang, L., Asimakopoulos, A. G., & Kannan, K. (2015). Accumulation of 19 environmental phenolic and xenobiotic heterocyclic aromatic compounds in human adipose tissue. Environment international, 78, 45-50.

Wiesinger, H., Wang, Z., & Hellweg, S. (2021). Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids. Environmental Science & Technology.

Yamashita, R., Takada, H., Nakazawa, A., Takahashi, A., Ito, M., Yamamoto, T., ... & Watanuki, Y. (2018). Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) using seabird preen gland oil. Archives of environmental contamination and toxicology, 75(4), 545-556.

Yamashita, R., Hiki, N., Kashiwada, F.,, N., Takada, H., Mizukawa, K., Hardesty, B. D., Roman, L., Hyrenbach, D., Ryan, P.G., Dilley, B.J., Munos-Pérez, J.P., Valle, C.A., Pham, C.K., Frias, J., Nishizawa, B., Takahashi, A., Thiebot, J-B., Will, A., Kokobun, N., Watanabe, Y.Y., Yamamoto, T., Shiomi, K., Shimabukuro, U., & Watanuki, Y. (2021). Plastic additives and legacy persistent organic pollutants in the preen gland oil of seabirds sampled across the globe. Environmental Monitoring and Contaminants Research, 1, 97-112.

Yeo, B. G., Takada, H., Taylor, H., Ito, M., Hosoda, J., Allinson, M.,

Connell, S., Greaves, L., & McGrath, J. (2015) POPs Monitoring in Australia and

New Zealand Using Plastic Resin Pellets, and International Pellet Watch as a Tool for Education and Raising Public Awareness on Plastic Debris and POPs. Marine Pollution Bulletin 101(1):137–45.

Zhuang, S., Lv, X., Pan, L., Lu, L., Ge, Z., Wang, J., Wang, J., Liu, J., Liu, W., & Zhang, C. (2017). Benzotriazole UV 328 and UV-P showed distinct antiandrogenic activity upon human CYP3A4-mediated biotransformation. Environmental Pollution, 220, 616-624.

Zimmermann, L., Bartosova, Z., Braun, K., Oehlmann, J., Völker, C., & Wagner, M. (2021). Plastic products leach chemicals that induce in vitro toxicity under realistic use conditions. Environmental science & technology, 55(17), 11814-11823.

Mohamed Nor, N. H., & Koelmans, A. A. (2019). Transfer of PCBs from microplastics under simulated gut fluid conditions is biphasic and reversible. Environmental science & technology, 53(4), 1874-1883.

Nagayoshi, H., Kakimoto, K., Takagi, S., Konishi, Y., Kajimura, K., & Matsuda, T. (2015). Benzotriazole ultraviolet stabilizers show potent activities as human aryl hydrocarbon receptor ligands. Environmental science & technology, 49(1), 578-587.

Nakata, H., Murata, S., & Filatreau, J. (2009). Occurrence and concentrations of benzotriazole UV stabilizers in marine organisms and sediments from the Ariake Sea, Japan. Environmental science & technology, 43(18), 6920-6926.

NOAA/UNEP The Honululu Strategy - A Global Framework for Prevention and Management of Marine Debris (2011)

Yuko, O., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., Mato, Y., Saha, M., Okuda, K, Nakashima, A, Murakami, M., Zurcher, N., Booyatumanondo, R, Zakaria, M.P., Dung, L.Q., Gordon, M., Miguez, C., Suzuki, S., Moore, C., Karapanagioti, H.K., Weerts, S., McClurg, T., Burres, E., Smith, W., van Velkenburg, M., Selby Lang, J., Lang, R.C., Laursen, D., Danner, B., Stewardson, N., & Thompson, R.C. (2009) International Pellet Watch: Global Monitoring of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Coastal Waters. 1. Initial Phase Data on PCBs, DDTs, and HCHs. Marine Pollution Bulletin 58(10):1437–46.

Pierce, K. E., Harris, R. J., Larned, L. S., & Pokras, M. A. (2004). Obstruction and starvation associated with plastic ingestion in a Northern Gannet Morus bassanus and a Greater Shearwater Puffinus gravis. Marine Ornithology, 32, 187-189.

Peng, X., Chen, G., Fan, Y., Zhu, Z., Guo, S., Zhou, J., & Tan, J. (2021). Lifetime bioaccumulation, gender difference, tissue distribution, and parental transfer of organophosphorus plastic additives in freshwater fish. Environmental Pollution, 280, 116948.

Rani, M., Shim, W. J., Han, G. M., Jang, M., Song, Y. K., & Hong, S. H. (2017). Benzotriazole-type ultraviolet stabilizers and antioxidants in plastic marine debris and their new products. Science of The Total Environment, 579, 745-754.

Rochman, C. M. (2013). Plastics and priority pollutants: a multiple stressor in aquatic habitats. Environmental science & Technology. 47, 6, 2439–2440

Roman, L., Paterson, H., Townsend, K. A., Wilcox, C., Hardesty, B. D., & Hindell, M. A. (2019a). Size of marine debris items ingested and retained by petrels. Marine pollution bulletin, 142, 569-575.

Roman, L., Hardesty, B. D., Hindell, M. A., & Wilcox, C. (2019b). A quantitative analysis linking seabird mortality and marine debris ingestion. Scientific Reports, 9(1), 1-7.

Roman, L., Lowenstine, L., Parsley, L. M., Wilcox, C., Hardesty, B. D., Gilardi, K., & Hindell, M. (2019b). Is plastic ingestion in birds as toxic as we think? Insights from a plastic feeding experiment. Science of the Total Environment, 665, 660-667.

Ruan, T., Liu, R., Fu, Q., Wang, T., Wang, Y., Song, S., ... & Jiang, G. (2012). Concentrations and composition profiles of benzotriazole UV stabilizers in municipal sewage sludge in China. Environmental science & technology, 46(4), 2071-2079.

Salvaggio, A., Tiralongo, F., Krasakopoulou, E., Marmara, D., Giovos, I., Crupi, R., ... & Brundo, M. V. (2019). Biomarkers of exposure to chemical contamination in the commercial fish species Lepidopus caudatus (Euphrasen, 1788): a particular focus on plastic additives. Frontiers in physiology, 10, 905.

Sakuragi, Y., Takada, H., Sato, H., Kubota, A., Terasaki, M., Takeuchi, S., ... & Kojima, H. (2021). An analytical survey of benzotriazole UV stabilizers in plastic products and their endocrine-disrupting potential via human estrogen and androgen receptors. Science of The Total Environment, 800, 149374.

Steensgaard, I.M, Syberg, K, Rist, S., Hartmann, N.B., Boldrin, A., & Hansen, S.F.

From macro-to microplastics-Analysis of EU regulation along the life cycle of plastic bags Environmental Pollution 224 (2017), pp. 289-299

Takada, H., Yamashita, R. (2016). Chapter 7.2: Pollution status of persistent organic pollutants. In IOC- UNESCO and UNEP (2016). Large Marine Ecosystems: Status and Trends. United Nations Environment Programme, Nairobi, pp 165-176.

Tanaka, K., van Franeker, J. A., Deguchi, T., & Takada, H. (2019). Piece-by-piece analysis of additives and manufacturing byproducts in plastics ingested by seabirds: Implication for risk of exposure to seabirds. Marine pollution bulletin, 145, 36-41.

Tanaka, K., Watanuki, Y., Takada, H., Ishizuka, M., Yamashita, R., Kazama, M., ... & Nakayama, S. M. (2020). In vivo accumulation of plastic-derived chemicals into seabird tissues. Current Biology, 30(4), 723-728.

Tanaka, K., Takada, H., Ikenaka, Y., Nakayama, S. M., & Ishizuka, M. (2020b). Occur-

www.pelletwatch.org

www.ipen.org

ipen@ipen.org

@ToxicsFree