

المؤلفون المرسلون: كريستوفر كورتسن (جامعة مانشستر، المملكة المتحدة)، باتريك أوهير (جامعة سانت أندروز، المملكة المتحدة).  
po35@st-andrews.ac.uk ;kristoffer.kortsen@manchester.ac.uk

اعتباراً من عام 2015، وصل حجم النفايات البلاستيكية إلى 6.3 مليار طن متري تقريباً، تم حرق حوالي 12% منها، وتراكم 79% منها في مدافن النفايات أو البيئة الطبيعية، وإعادة تدوير 9% منها فقط.<sup>1</sup> وتقدر منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) أنه في ظل سيناريو العمل على النحو المعتاد، ستزيد النفايات البلاستيكية العالمية إلى أكثر من مليار طن سنوياً بحلول عام 2060.<sup>2</sup> في حين أنه يجب إعطاء الأولوية للحد من إنتاج واستهلاك البلاستيك، يجب أيضاً ضمان الإدارة الشاملة للنفايات من المواد البلاستيكية في نهاية عمرها. ستكون هناك حاجة إلى استراتيجية متماسكة بشأن التصميم والاستخدام وإدارة ما بعد الاستخدام. يجب تنسيق النتائج المحتملة للنفايات البلاستيكية في نظام آمن وسليم بيئياً ومستند إلى الاقتصاد الدائري للحفاظ على البلاستيك في حالته الأعلى قيمة لأطول فترة ممكنة. ويتطلب ذلك أشكالاً تكميلية من إعادة التدوير، والتي يمكن إتاحتها من خلال تصميم المواد البلاستيكية بما يتوافق مع الاقتصاد الدائري، بما في ذلك تركيبها الكيميائي، مع تحسين الجمع والفرز من أجل المعالجة المناسبة. يستند موجز السياسات هذا إلى الأدلة العلمية لتحديد المبادئ اللازمة في نظام سليم بيئياً لإدارة وإعادة تدوير النفايات البلاستيكية.

### إدارة النفايات

- تعطي مبادئ الخفض وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير والتسلسل الهرمي للنفايات الأولية لتقليل إنتاج واستهلاك المواد، ثم إعادة استخدام الأشياء، يليها تحسين جهود إعادة التدوير. وجميع هذه العناصر الثلاثة مطلوب في تضافر الجهود.<sup>6-2</sup>
- لا يوجد نظام إعادة تدوير "واحد مناسب لجميع الحالات" للنفايات البلاستيكية. سيكون للمصانن المختلفة المحتملة في نهاية العمر تأثيرات بيئية واقتصادية وصحية ومناخية ومطلبات طاقة مختلفة.<sup>7</sup>
- ويجب أن تستند إدارة النفايات البلاستيكية الآمنة والمستدامة والضرورية إلى تسلسل هرمي لخيارات نهاية العمر، بهدف تحقيق أقصى قدر من التدوير. إن الآثار السلبية لمصانن النفايات التي تتمثل في الطمر في المدافن والحرق والتحويل إلى طاقة لا تتوافق مع أهداف الاستدامة، ويجب تجنبها حيثما أمكن ذلك.<sup>8-11</sup>
- وينتشر على نطاق واسع تصدير النفايات البلاستيكية كمعاد تدويرها، بشكل أساسي من البلدان المرتفعة الدخل إلى البلدان المنخفضة الدخل، بسبب انخفاض تكاليف العمالة ومعايير الصحة والسلامة والبيئة في البلدان المستقبلة.<sup>12</sup> ومع أن التعديلات المتعلقة بالنفايات البلاستيكية في اتفاقية بازل لعام 2019 تهدف إلى حظر مثل هذه الصادرات، سيستمر العديد منها.<sup>13</sup> وهذا يشكل مخاطر بيئية واجتماعية واقتصادية بسبب التلوث وسوء الإدارة والنقل.<sup>14,15</sup>
- وتؤثر تركيبة النفايات غير المعلن عنها أو غير الواضحة سلباً على نتائج إدارة النفايات. غالباً ما يتم جمع النفايات البلاستيكية المفصلة، ولكن لا يتم إعادة تدويرها بسبب انتقال التلوث بين المواد والبوليمرات وعدم كفاية الفرز.<sup>16,24</sup>
- تحتوي بعض المواد البلاستيكية ذات الأساس الحيوي على بصمة كربونية أقل من المواد البلاستيكية المعتمدة على الوقود الأحفوري، ولكن يمكن أن تكون خيارات المعالجة في نهاية العمر غير واضحة أو غير مناسبة أو غير مستدامة أو غير آمنة، بل إنها قد تؤثر سلباً على أنظمة إعادة التدوير الحالية.<sup>17-20</sup>

### جمع النفايات وفرزها

- بغض النظر عن طريق المعالجة أو التخلص، هناك حاجة إلى نظام جمع متنسق للنفايات المفصلة لتقليل التلوث وسوء الإدارة. ولمعالجة مصادر التلوث، ينبغي إعطاء الأولوية للمجتمعات المحلية، وخاصة في البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل، التي تعاني من نقص خدمات جمع النفايات أو لا تحصل عليها من الأساس.<sup>21</sup>
- يُعد الفرز من أجل إعادة الاستخدام الطريق الأقصر لضمان تحقيق الاقتصاد الدائري، ويفضل على إعادة التدوير. وإتاحة نظم إعادة الاستخدام، يمكن استخدام تصميم التغليف ولوائح وضع العلامات البيئية ونظم التسعير والإيداع.<sup>22</sup>
- يؤدي جامعو النفايات دوراً رئيسياً في عملية الجمع والفرز، حيث يسهمون في استرداد ما يصل إلى 60% من النفايات البلاستيكية التي يُعاد تدويرها على مستوى العالم، هذا فضلاً عن أنهم جهات فاعلة رئيسية في البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل، وكذلك في بعض الدول الأكثر تقدماً.<sup>23,24</sup>
- وستكون هناك حاجة دائماً إلى فرز عالي الجودة لإعادة التدوير بشكل أكثر أماناً واستدامة.<sup>25</sup> يعد انتقال التلوث والاختلاط بين أنواع البلاستيك، خاصة في النفايات المنزلية، من العوائق الكبيرة أمام الاحتفاظ بالقيمة والتي يجب التقليل منها إلى الحد الأدنى.<sup>26</sup>
- ويقال وجود مواد متعددة ومواد كيميائية، بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة والمواد المضافة، من إمكانية إعادة تدوير البلاستيك وفرزه.<sup>27,28</sup>
- وتمثل إعادة تدوير المواد الغذائية تحدياً كبيراً بسبب مخاطر التلوث والفرز غير المتسق.<sup>26,27</sup>
- يمكن للتكنولوجيات المستجدة، مثل العلامات المائية الرقمية أو الفرز بالذكاء الاصطناعي أو الغسيل بالمذيبات، أن تقلل من انتقال التلوث وتحسن نتائج الفرز ولكنها تتطلب مزيد من الأدلة لإثبات نجاحها على نطاق واسع.<sup>29-32</sup>

### طرق معالجة البلاستيك بعد الاستخدام

- إعادة التدوير الميكانيكية
- تُعد إعادة التدوير الميكانيكية (بما في ذلك عمليات مثل الطحن والغسيل والفصل والتجفيف وإعادة التثبيت والتركيب) الطريقة الوحيدة المعتمدة لإعادة تدوير البلاستيك حالياً،<sup>33</sup>
- كما أنها طريقة إعادة التدوير المفضلة بيئياً لمعظم المواد البلاستيكية عند فرزها بشكل صحيح، ولكن يعتمد التأثير البيئي على نوع البوليمرات والتلوث والتحلل الناتجين عن إعادة التدوير المتكررة.<sup>30,34,35</sup>
- يمكن أن تكون إعادة تدوير المنتجات إلى مواد يمكن استخدامها لعمر أطول مفيدة عندما يقلل ذلك من الاعتماد على المواد الأولية الخام أو يصرف المنتجات عن مدافن القمامة والحرق، ولكن يمكن أن يؤدي أيضاً إلى تلوث ثانوي (على سبيل المثال من خلال إطلاق مواد بلاستيكية دقيقة، وهو مصدر قلق ناشئ باعتباره منتج ثانوي لإعادة التدوير الميكانيكية).<sup>36</sup>

- يُعد تصميم المنتجات بحيث تكون قابلة لإعادة التدوير أمراً ضرورياً لتحسين معدلات إعادة التدوير الميكانيكية وتجنب المواد المضافة أو الاستخدامات التي يمكن أن تؤثر سلباً على نتائج إعادة التدوير وصحة الإنسان والكوكب.<sup>27</sup> إعادة التدوير الكيميائية
  - إعادة التدوير الكيميائية هو مصطلح شامل يغطي العديد من التكنولوجيات ذات العواقب البيئية المختلفة. يمكن أن تكمل إعادة التدوير الكيميائية الأمانة والمستدامة من بلاستيك إلى بلاستيك إعادة التدوير الميكانيكية وتساهم بشكل إيجابي في نظام إدارة نفايات البلاستيك المستدام. ولا ينبغي أن تكون هدفاً أساسياً في نهاية عمر المواد البلاستيكية، بل يجب أن يكون خياراً لاسترداد المواد غير المناسبة لإعادة التدوير الميكانيكية.<sup>37-39</sup> ويعادل التلوث الناتج عن إعادة التدوير الكيميائية من بلاستيك إلى وقود ما يسببه الحرق المتأخر للوقود الأحفوري، حيث تؤدي إلى إنتاج كميات كبيرة من الغازات الدفينة والتلوث. وهي لا تعتمد نظام الاقتصاد الدائري وتحدث أضراراً بيئية أقل حيث يتم استرداد الطاقة المتبقية الناتجة عن تحويل النفايات في أفران الأسمنت.<sup>39,41,5</sup> ويعادل التلوث الناتج عن إعادة تدوير البلاستيك إلى طاقة، من خلال نظم الانحلال الحراري أو استخلاص الطاقة من النفايات، ما يسببه حرق الوقود الأحفوري ويسبب تلوث أكبر من ذلك الناتج عن توليد الكهرباء من الفحم، ويجب تجنبه ضمن نظام آمن ومستدام.<sup>39,11</sup>
  - وتتطلب إعادة التدوير الكيميائية مسارات نفايات عالية النقاء، وتكون حساسة للتلوث. تتسم إعادة التدوير الكيميائية لمواد بلاستيكية مختلطة بأنها تستهلك كميات طاقة كبيرة، وتتسبب في التلوث وغير صديقة للبيئة.<sup>33,5</sup>
  - تُعد عملية إزالة بلمرة البوليمرات إلى مونومرات مناسبة بشكل أساسي للبوليمرات ذات روابط الكربون والهالوجين في السلسلة، مثل البوليسترات أو البولي كربونات أو البولي أميدات. وهي غير مناسبة للبولي أوليفينات التي تحتوي فقط على روابط كربون - كربون.<sup>35</sup>
  - يتم تحويل البولي أوليفينات إلى سلائف بلاستيكية أو مواد كيميائية أخرى من خلال التحلل الحراري في ظروف قاسية كثيفة الاستهلاك للطاقة، وغالباً ما تكون بكفاءة منخفضة جداً.<sup>11</sup> هناك حاجة إلى حدوث تقدم تكنولوجي مراعي للبيئة قبل أن يمكن استخدامها كبديل احتياطي ناجح لطرق إعادة التدوير الأخرى.<sup>39-41</sup>
  - يتطابق التحلل إلى سلائف بلاستيكية مع التحلل إلى وقود من الناحية التكنولوجية، مما يفتح الباب أمام أنظمة مخفية لتحويل البلاستيك إلى وقود، والتي لا تتوافق مع التسلسل الهرمي للنفايات.<sup>43,42,39,7,11</sup>
  - إن إعادة التدوير البيولوجية، أي تحلل النفايات البلاستيكية بواسطة الإنزيمات أو الميكروبات، بإمكانها المساهمة في نظام مستدام لإدارة النفايات، ولكن الانتقار إلى الاستعداد التكنولوجي ومعايير السلامة يمثل عقبة.<sup>45,44,42</sup>
- دفن النفايات
- لا يزال دفن النفايات طريقة شائعة للتخلص من النفايات البلاستيكية، وخاصة المواد البلاستيكية غير القابلة لإعادة التدوير والملوثة وحيث لا توجد نظم جمع للنفايات المفصلة.<sup>46</sup>
  - يمكن وضع مدافن النفايات على نطاق واسع بين مدافن النفايات الصحية (المبونة والمغطاة يومياً، والتي تحتجز غاز الميثان والسوائل النضبة) ومدافن النفايات غير الصحية (غير المبونة وغير المغطاة والعرضة لاشتعال الحرائق). تعرّض مدافن النفايات غير الصحية وحرق النفايات في الهواء الطلق للخطر الأشخاص الذين يعيشون ويعملون بالقرب من أماكن الحرق، والتي غالباً في البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل.
  - تعتبر مدافن النفايات غير المبونة، سواءً استخدمت حديثاً أو قديماً، من المصادر الكبيرة للتلوث بالبلاستيك والمواد البلاستيكية الدقيقة.<sup>47</sup>
  - يمكن أن يؤدي إغلاق مدافن النفايات المفتوحة إلى تفاقم الوضع الاجتماعي والاقتصادي الهش للعمال الذين يعتمدون في عيشهم على النفايات الموجودة في هذه المدافن.<sup>48</sup> وينبغي أن تراعي الخطط الرامية إلى تحسين مدافن النفايات المفتوحة أو إغلاقها معارف وخبرات جامعي النفايات في عملية تشاركية ترمي إلى إعادة الاستخدام وإعادة التدوير الآمنين والمستدامين ضمن إطار انتقال عادل.<sup>49</sup>
- الحرق في الهواء الطلق
- يتم حرق ما يصل إلى 1 مليار طن من النفايات الصلبة في الهواء الطلق في جميع أنحاء العالم كل عام.<sup>50</sup> يؤدي حرق النفايات البلاستيكية في الهواء الطلق إلى إنتاج غازات دفيئة ومجموعة من الانبعاثات السامة المحتملة، بما في ذلك المواد البلاستيكية الدقيقة، التي تعرّض للخطر الأشخاص الذين يعيشون ويعملون بالقرب من هذه الأماكن، والتي غالباً ما تكون في البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل.<sup>51</sup>
  - قد يرجع السبب في اللجوء إلى حرق النفايات إلى افتقار المجتمعات المحلية إلى طرق أخرى للتخلص منها، أو لمنع وصول مدافن النفايات إلى سعتها القصوى، أو لاستخراج مواد قيّمة مثل المعادن. في حين أن هذه هي طريقة التخلص الأقل استحقاقاً، تكشف الأبحاث أن الحظر لن يكون كافياً بدون اتخاذ تدابير تكميلية ونقل التكنولوجيا بشروط متفق عليها بين الأطراف المعنية توفر للمجتمعات والسلطات المحلية طرقاً بديلة وآمنة ومستدامة للتخلص من النفايات البلاستيكية.<sup>51</sup>

## كيف يمكن للمعاهدة الخاصة بالبلاستيك معالجة مسائل إدارة النفايات وإعادة التدوير؟

تتشابك إدارة النفايات مع جميع الالتزامات المقترحة لمعاهدة البلاستيك. لا بد من تعزيز الوضع نحو التصميم المستدام للمنتجات البلاستيكية، وكذلك وضع البنية الأساسية لإعادة الاستخدام وإعادة التدوير لتقليل الإنتاج غير الآمن وغير المستدام وغير الضروري والتلوث الناتج مع تمكين اقتصاد دائري أكثر أماناً واستدامة للبلاستيك. ويجب تجنب الاعتماد المفرط على تكنولوجيا واحدة، وتبرز الحاجة إلى مجموعة من النظم للتعامل مع مشكلة البلاستيك، مع إعطاء الأولوية لخفض إنتاج واستهلاك البلاستيك مع إعادة التصميم بما يتوافق مع الاقتصاد الدائري. وهذا يتطلب حلولاً محلية ودعماً لبناء القدرات المحلية. ويجب أيضاً مراعاة السلامة والعواقب غير المقصودة لنظم إدارة البلاستيك والنفايات بعد الاستخدام في المفاوضات المتعلقة بالمعاهدة الخاصة بالبلاستيك.

## المساهمون

أعد هذا الموجز أعضاء "تحالف العلماء من أجل معاهدة بلاستيك فعالة"

يرجى الاستشهاد بمضمون هذا المستند على النحو التالي: موجز السياسات الصادر عن "تحالف العلماء من أجل معاهدة بلاستيك فعالة لعام 2023: إدارة النفايات.

DOI10.5281/zenodo.10020855

المؤلفون: كريستوفر كورتسن (رئيس مشارك) (جامعة مانشستر، المملكة المتحدة)، باتريك أوهرير (رئيس مشارك) (جامعة سانت أندروز، المملكة المتحدة)، هانز بيتر أرب (NTNU، النرويج)، إيمي نوكليني (المعهد النرويجي لأبحاث المياه، النرويج)، مايكل بي شيفر (جامعة مانشستر، المملكة المتحدة)

المراجعون: دانيال أكروفي (جامعة لينكون، المملكة المتحدة)، إريكا إيغيث سيديلو غونزاليس (Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia، إيطاليا)، ماري فرانس ديغاك (INRAE، فرنسا)، جان فرانسوا غيلوني (CNRS، فرنسا)، كارين كفال (GNS Science، نيوزيلندا)، موراج نيكسون (جامعة نوتنغهام، المملكة المتحدة)، غوري باتاك (جامعة أوهوس، النمسا)، أندرو إن. رولينسون (Blushful Earth، المملكة المتحدة)، جيفري سي (جامعة كنتاكي، الولايات المتحدة الأمريكية)، دير وايلد سنيكيفيك (المعهد النرويجي لأبحاث المياه، النرويج)، بيتر جي ستويت (جامعة أونتاريو للتكنولوجيا، كندا)، نيل تانغري (التحالف العالمي لبدائل محطات الترميد، الولايات المتحدة الأمريكية)، توني آر ووكر (جامعة دالهوري، كندا)



## المراجع

- Geyer, R. *et al*. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, **3** e1700782, doi:<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>. (2017)
- OECD. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. doi:<https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en> Paris. (2022)
- Sakai, S.-i. *et al*. International comparative study of 3R and waste management policy developments. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **86-102**, **13** doi:<https://doi.org/10.1007/s10163-011-0009-x>. (2011)
- Ellen MacArthur Foundation. *Plastics and the circular economy*, <https://ellenmacarthurfoundation.org/plastics-and-the-circular-economy-deep-dive>. (2023)
- Bachmann, M. *et al*. Towards circular plastics within planetary boundaries. *Nature Sustainability* **599-610**, doi:<https://doi.org/10.1038/s41893-022-01054-9>. (2023)
- Simon, J. M. *A zero waste hierarchy for Europe*, <https://zerowasteurope.eu/2019/05/a-zero-waste-hierarchy-for-europe> (2019)
- Ragaert, K. *et al*. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management* **24-58**, doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>. (2017)
- Stegmann, P. *et al*. Plastic futures and their CO2 emissions. *Nature* **272-612**, doi:<https://doi.org/10.1038/s41586-022-05422-5>. (2022)
- Zheng, J. & Suh, S. Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change* **374-378**, doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z>. (2019)
- Kortsen, K. *et al*. A plastics hierarchy of fates: sustainable choices for a circular future. *arXiv preprint arXiv:2303.14664*. doi:<https://arxiv.org/abs/2303.14664v1>. (2023)
- Meys, R. *et al*. Towards a circular economy for plastic packaging wastes – the environmental potential of chemical recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, **162**, doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105010>. (2020)
- Gregson, N. & Crang, M. From Waste to Resource: The Trade in Wastes and Global Recycling Economies. *Annual Review of Environment and Resources*, **151-176**, **40** doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-environ.102014.021105>. (2015)
- Raubenheimer, K. & McIlgorm, A. Can the Basel and Stockholm Conventions provide a global framework to reduce the impact of marine plastic litter? *Marine Policy* **285-290**, doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.013>. (2018)
- Wen, Z. *et al*. China's plastic import ban increases prospects of environmental impact mitigation of plastic waste trade flow worldwide. *Nature Communications*, **425**, **12** doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-020-20741-9>. (2021)
- Antonopoulos, I. *et al*. Recycling of post-consumer plastic packaging waste in the EU: Recovery rates, material flows, and barriers. *Waste Management*, **694-705**, **126** doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.002>. (2021)
- European Commission & Directorate-General for Communication. Circular economy action plan : for a cleaner and more competitive Europe. doi:<https://data.europa.eu/doi/05068/10.2779/Publications Office of the European Union>. (2020)
- Rosenboom, J.-G. *et al*. Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials* **117-137**, doi:<https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8>. (2022)
- Rossi, V. *et al*. Life cycle assessment of end-of-life options for two biodegradable packaging materials: sound application of the European waste hierarchy. *Journal of Cleaner Production* **132-145**, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.049>. (2015)
- Purkiss, D. *et al*. The Big Compost Experiment: Using citizen science to assess the impact and effectiveness of biodegradable and compostable plastics in UK home composting. *Frontiers in Sustainability*, **3** doi:<https://doi.org/10.3389/frsus.2022.942724>. (2022)
- Dedieu, I. *et al*. The thermo-mechanical recyclability potential of biodegradable biopolyesters: Perspectives and limits for food packaging application. *Polymer Testing*, **111**, doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107620>. (2022)
- UN-Habitat & NIVA. Leaving no one behind - How a global instrument to end plastic pollution can enable a just transition for the people informally collecting and recovering waste. doi:<https://unhabitat.org/leaving-no-one-behind-how-a-global-instrument-to-end-plastic-pollution-can-enable-a-just-transition> Nairobi/Oslo. (2022)
- Bradley, C. G. & Corsini, L. A literature review and analytical framework of the sustainability of reusable packaging. *Sustainable Production and Consumption*, **126-141**, **37** doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.009>. (2023)

- 23 Browning, S *et al* .Addressing the challenges associated with plastic waste disposal and management in developing countries .*Current Opinion in Chemical Engineering* ,**32** ,100682doi:<https://doi.org/10.1016/j.coche>.(2021) [2021.100682](https://doi.org/10.1016/j.coche).
- 24 Lau, W. W. Y *et al* .Evaluating scenarios toward zero plastic pollution .*Science*1455- ,**369** ,1461doi:<https://doi.org/10.1126/science.aba>.(2020) [9475](https://doi.org/10.1126/science.aba)
- 25 Plastic Recyclers Europe. Guidance on quality sorting of plastic packaging; Establishing highly refined packaging waste streams. doi:<https://www.plasticsrecyclers.eu/wp-content/uploads/2022/10/pre-packaging-sorting-guidance-june-2019.pdf>.(2019)
- 26 Eriksen, M. K. & Astrup, T. F. Characterisation of source-separated, rigid plastic waste and evaluation of recycling initiatives: Effects of product design and source-separation system .*Waste Management*161- ,**87** ,172doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman>.(2019) [2019.02.006](https://doi.org/10.1016/j.wasman).
- 27 United Nations Environment Programme & Secretariat of the Basel Rotterdam and Stockholm Conventions. Chemicals in plastics: a technical report. doi:[https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report\(Geneva](https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report(Geneva).(2023 ,
- 28 Deeney, M *et al* .Human health effects of recycling and reusing food sector consumer plastics: A systematic review and meta-analysis of life cycle assessments .*Journal of Cleaner Production* ,**397** ,136567doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro>.(2023) [2023.136567](https://doi.org/10.1016/j.jclepro).
- 29 Roosen, M .*et al* .Tracing the origin of VOCs in post-consumer plastic film bales .*Chemosphere* ,**324** ,138281doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere>.(2023) [2023.138281](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere).
- 30 Lase, I. S *et al* .Material flow analysis and recycling performance of an improved mechanical recycling process for post-consumer flexible plastics .*Waste Management*249- ,**153** ,263doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman>.(2022) [2022.09.002](https://doi.org/10.1016/j.wasman).
- 31 Ügdüler, S .*et al* .Challenges and opportunities of solvent-based additive extraction methods for plastic recycling .*Waste Management*,148-182 ,**104** doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman>.(2020) [2020.01.003](https://doi.org/10.1016/j.wasman).
- 32 Mangold, H. & von Vacano, B. The Frontier of Plastics Recycling: Rethinking Waste as a Resource for High-Value Applications *Macromolecular Chemistry and Physics*,2100488 ,**223** doi:<https://doi.org/10.1002/macp> [202100488](https://doi.org/10.1002/macp) .(2022)
- 33 Garcia, J. M. & Robertson, M. L. The future of plastics recycling .*Science*870- ,**358** ,872doi:<https://doi.org/10.1126/science.aag>.(2017) [0324](https://doi.org/10.1126/science.aag)
- 34 Schyns, Z. O. G. & Shaver, M. P. Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review *Macromolecular Rapid Communications*,2000415 ,**42** doi:<https://doi.org/10.1002/marc>.(2021) [202000415](https://doi.org/10.1002/marc).
- 35 Uekert, T *et al* .Technical, Economic, and Environmental Comparison of Closed-Loop Recycling Technologies for Common Plastics .*ACS Sustainable Chemistry & Engineering*965- ,**11** ,978doi:<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c>.(2023) [05497](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c)
- 36 Suzuki, G *et al* .Mechanical recycling of plastic waste as a point source of microplastic pollution .*Environmental Pollution*,119114 ,**303** doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol>.(2022) [2022.119114](https://doi.org/10.1016/j.envpol).
- 37 Lase, I. S .*et al* .How much can chemical recycling contribute to plastic waste recycling in Europe? An assessment using material flow analysis modeling .*Resources, Conservation and Recycling* ,**192** ,106916doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec>.(2023) [2023.106916](https://doi.org/10.1016/j.resconrec).
- 38 Biessey, P .*et al* .Plastic Waste Utilization via Chemical Recycling: Approaches, Limitations, and the Challenges Ahead .*Chemie Ingenieur Technik*,1199-1214 ,**95** doi:<https://doi.org/10.1002/cite>.(2023) [202300042](https://doi.org/10.1002/cite).
- 39 Zero Waste International Alliance .*Zero Waste Hierarchy of Highest and Best Use* > ,**8**.0<https://zwia.org/zwih> </> .(2022)
- 40 Chen, J .*et al* .How to Build a Microplastics-Free Environment: Strategies for Microplastics Degradation and Plastics Recycling .*Advanced Science*,2103764 ,**9** doi:<https://doi.org/10.1002/advs>.(2022) [202103764](https://doi.org/10.1002/advs).
- 41 Erkmén, B *et al* .Can Pyrolysis Oil Be Used as a Feedstock to Close the Gap in the Circular Economy of Polyolefins ? *Polymers*> .(2023) **15** [https://mdpi-res.com/d\\_attachment/polymers/polymers-15-00859/article\\_deploy/polymers-15-00859.pdf?version=1675932314](https://mdpi-res.com/d_attachment/polymers/polymers-15-00859/article_deploy/polymers-15-00859.pdf?version=1675932314)=
- 42 Ellis, L. D .*et al* .Chemical and biological catalysis for plastics recycling and upcycling .*Nature Catalysis*539- ,**4** ,556doi:<https://doi.org/10.1038/s>.(2021) [41929-021-00648-4](https://doi.org/10.1038/s)
- 43 Li, H *et al* .Expanding Plastics Recycling Technologies: Chemical Aspects, Technology Status and Challenges .*Green Chemistry*,doi:<https://doi.org/10.1039/D2GC02588D>.(2022)
- 44 Ru, J .*et al* .Microbial Degradation and Valorization of Plastic Wastes .*Frontiers in Microbiology* ,**11**doi:<https://doi.org/10.3389/fmicb>.(2020) [2020.00442](https://doi.org/10.3389/fmicb).
- 45 Tournier, V .*et al* .An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles .*Nature*216- ,**580** ,219doi:<https://doi.org/10.1038/s>.(2020) [41586-020-2149-4](https://doi.org/10.1038/s)
- 46 Kaza, S .*et al* .What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to .2050 *Urban Development*,doi:<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>.(2018)
- 47 Wojnowska-Baryła, I .*et al* .Plastic Waste Degradation in Landfill Conditions: The Problem with Microplastics, and Their Direct and Indirect Environmental Effects .*International Journal of Environmental Research and Public Health* ,**19**doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph>.(2022) [192013223](https://doi.org/10.3390/ijerph)

- 48 O' Hare, P. 'The landfill has always borne fruit': precarity, formalisation and dispossession among Uruguay's waste pickers .*Dialectical Anthropology*,31-44 ,**43** doi:<https://doi.org/10.1007/s.>(2019) [10624-018-9533-6](https://doi.org/10.1007/s.)
- 49 Schenck, C. J .*et al* .The management of South Africa's landfills and waste pickers on them: Impacting lives and livelihoods .*Development Southern Africa*,80-98 ,**36** doi:<https://doi.org/10.1080/0376835X.>(2019) [2018.1483822.](https://doi.org/10.1080/0376835X.)
- 50 Cook, E. & Velis, C. Global Review on Safer End of Engineered Life. doi:<https://doi.org.>(2021) [58/100/10.5518/](https://doi.org.)
- 51 Velis, C. A. & Cook, E. Mismanagement of Plastic Waste through Open Burning with Emphasis on the Global South: A Systematic Review of Risks to Occupational and Public Health .*Environmental Science & Technology* ,**55** ,7186-7207doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c.>(2021) [08536](https://doi.org/10.1021/acs.est.0c.)