ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

# التلوث بالبلاستيك: التأثيرات على الإنسان والحيوانات والحلول المتقدمة
# Plastic Pollution: Impacts on Human and Animals & Advanced Solutions

علي منصور*

*(كلية الصيدلة،جامعة المنارة –البريد الإلكتروني): (ali.1.mansour@gmail.com)

**الملخص**

التلوث بالبلاستيك هو تراكم المنتجات البلاستيكية المركّبة حتى تصل إلى نقطة تخلق معها مشاكل للحياة البرية وموائلها وللجماعات البشرية. يهدد تلوث البلاستيك البيئة البرية والبحرية ويضع حوالي 1500 نوع من الحيوانات البرية والبحرية إلى خطر الموت جراء ابتلاع البلاستيك أو الاختناق أو أن تعلق بالبلاستيك حيث قد يصل عدد الأفراد الميتة سنويا نتيجة التلوث البلاستيكي إلى مليون فرد. تبعاً لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP فقد وجد البلاستيك الدقيق في بعض أعضاء الإنسان مثل الكلى والكبد والمشيمة، كما وجد البلاستيك الميكروي والنانوي في أنسجة الإنسان، وفي الدم، والمشيمات، وبأعضاء التكاثر. كانت منتجات البلاستيك مسؤولة عن انبعاثات 3.4% من غازات الاحتباس الحراري عام 2019 ويمكن أن تتضاعف انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بحلول عام 2060 مالم يتغير سلوك الإنسان. اهم حلول إزالة تلوث البلاستيك هو بإعادة تدويره سواء ميكانيكيا أو حراريا أو حيويا بواسطة البكتريا. تتضمن إعادة تدوير البلاستيك ميكانيكياً مرحلتين وهي الفرز (الآلي واليدوي) والتقطيع والصهر. في عملية إعادة التدوير المتقدمة (الحراري)، يتم تسخين نفايات البلاستيك المستهلك في عملية تحول حراري خالية من الأكسجين وغير قابلة للاحتراق لتنتج في النهاية حبيبات الايثيلين. أظهرت بكتيريا الزائفة الزنجارية Pseudomonas aeruginosa وهي بكتيريا سالبة غرام قدرة غير متوقعة في التحلل الحيوي للبلاستيك الطبي إذ يُمكن استغلال آلياتها البيوكيميائية لتطوير تقنيات إعادة تدوير فعّالة ومستدامة تجمع بين الصحة العامة والحفاظ على البيئة، ومن المهم أيضاً توسيع نطاق التجارب لتشمل أنواعاً مختلفة من المواد البلاستيكية.

كلمات مفتاحية: التلوث – البلاستيك- إعادة التدوير- الراتنج- الزائفة الزنجارية

**Summary:**

Plastic pollution is the accumulation of manufactured plastic products to a point where it creates problems for wildlife, their habitats, and human communities. Plastic pollution threatens terrestrial and marine environments, putting about 1,500 species of terrestrial and marine animals at risk of death from plastic ingestion, asphyxiation, or entanglement, with the annual death toll potentially reaching one million individuals.According to the United Nations Environment Programme (UNEP), microplastics have been found in some human organs such as the kidneys, liver, and placenta. Furthermore, micro- and nanoplastics have been found in human tissues, blood, placentas, and reproductive organs.Plastic products were responsible for 3.4% of global greenhouse gas emissions in 2019, and these emissions could double by 2060 if human behavior doesn't change.Solutions and Recycling Methods.The main solution for plastic pollution removal is through recycling, whether mechanical, thermal, or biological using bacteria. Mechanical recycling of plastic involves two stages: sorting (both automated and manual), and shredding and melting.

In the advanced recycling (thermal) process, spent plastic waste is heated in an oxygen-free, non-combustible thermal conversion process, ultimately producing ethylene pellets.The Gram-negative bacterium Pseudomonas aeruginosa has demonstrated an unexpected capacity for the biodegradation of medical plastics. Its biochemical mechanisms can be exploited to develop effective and sustainable recycling technologies that combine public health with environmental preservation. It is also important to expand the scope of experiments to include different types of plastic materials.

Keywords: Pollution – Plastic – Recycling – Resin – Pseudomonas aeruginosa

## I. مقدمة

التلوث بالبلاستيك هو تراكم المنتجات البلاستيكية المركّبة حتى تصل إلى نقطة تخلق معها مشاكل للحياة البرية وموائلها وللجماعات البشرية. قاد اختراع مادة بايكليت Bakelite عام 1907 إلى ثورة في تصنيع المواد بإدخال الراتينجات البلاستيكية المركبة بشكل حقيقي إلى العالم التجاري. وقد وجد في نهاية القرن العشرين أنّ المواد البلاستيكية ملوثات مقاومة للتحلل في العديد من الموائل البيئية التي تمتد من قمة إيفريست وحتى قاع البحر. وقد استرعت المواد البلاستيكية اهتماماً متزايداً كملوثات ذات مقياس كبير سواء أكانت تؤخذ كغذاء من قبل الحيوانات عن طريق الخطأ، أو تسبب طوفان المناطق المنخفضة وذلك بسد أنظمة التصريف أو تسبب تشوهاً جمالياً [1].

## II. حقائق وأرقام رئيسية عن التلوث بالبلاستيك PLASTIC POLLUTION FACTS & FIGURES.

يتم إنتاج 400 مليون طن من البلاستيك كل سنة ومن المتوقع أن يزداد هذا الرقم ثلاثة أضعاف بحلول عام2060 [2] .

- يتم إعادة تدوير اقل 10% فقط من البلاستيك المنتج حول العالم والنسبة الباقية يجرى إحراقها أو دفنها أو ينتهي بها الأمر لتلويث بيئاتنا [4,3].
- يدخل إلى المحيط حوالي 11 مليون طن من البلاستيك كل سنة، وهذا يكافئ 2000 شاحنة قمامة مليئة بالبلاستيك يجري إغراقها كل يوم في محيطات وأنهار وبحيرات العالم [2] .
- ويتوقع أن تفوق كمية البلاستيك كمية الأسماك الموجودة في البحر بحلول عام 2050 [5].

## III. خطر التلوث بالبلاستيك على الأحياء Danger of Plastic pollution in organisms

يهدد تلوث البلاستيك البيئة البحرية ويضع الأنواع البحرية تحت خطر عالي جراء ابتلاع البلاستيك أو الاختناق أو أن تعلق بالبلاستيك. تشير الأبحاث أن أكثر من 1500 نوع من الأنواع البرية والبحرية تبتلع البلاستيك [6]. يمكن أن يقتل التلوث بالبلاستيك الثدييات البحرية بشكل مباشر عبر تشابكها مع المعدّات المصنعة من المواد البلاستيكية مثل معدّات الصيد (كالشباك) (شكل1) أو عبر التهام هذه الحيوانات للبلاستيك كغذاء عن طريق الخطأ. وقد وجدت الدراسات أنّ جميع الأنواع الحيوانية البحرية تقريباً بما فيها العوالق الحيوانية والحيتان الكبيرة ومعظم الطيور البحرية والسلاحف البحرية تلتهم بسهولة قطع البلاستيك الصغيرة ومواد القمامة كولاعات السجائر، والحقائب البلاستيكية وأغطية القوارير. يجعل كل من ضوء الشمس، والبلاستيك الهش في مياه البحر، والتحلل النهائي للمواد البلاستيكية الكبيرة، البلاستيك الدقيق متاحاً للعوالق الحيوانية والحيوانات البحرية الصغيرة. تشكل قطع البلاستيك الصغيرة (أصغر من 5 مم بالطول) نسبة كبيرة من مخلفات البلاستيك في المحيطات. وجد البلاستيك الدقيق في أعضاء أكثر من 114نوعاً مائياً بحلول عام 2018، بما في ذلك أنواع توجد فقط في أعماق المحيط السحيقة. يتم قتل اكثر من 100,000 حيوان بحري ثدي ومليون طير بحري بسبب التلوث البحري بالبلاستيك كل سنة [7]. .

*شكل 1: تضرر بعض أنواع الحيوانات الناجم عن التلوث بالمنتجات البلاستيكية (شباك صيد الأسماك)*

## IV. التأثيرات على صحة الإنسان Human Health Impacts

يقدر بأنّ ثلثي مواد البلاستيك قصيرة الحياة ومعظم بلاستيك أغلفة الأغذية والشراب تكون وحيدة الاستعمال، وخلال تطبيق الاستعمالات أو بعدها يلوث البلاستيك والمواد الكيميائية المرافقة البيئة بمعدلات مرعبة [8]. تبعاً لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP فقد وجد البلاستيك الدقيق في بعض أعضاء الإنسان مثل الكلى والكبد والمشيمة [6]. فقد وجِد البلاستيك الميكروي والنانوي في أنسجة الإنسان، وفي الدم، والمشيمات، وبأعضاء التكاثر [8] .وقد وجد الاتحاد الدولي لصون الطبيعة IUCN أن بعض المواد الكيميائية المسرطنة وجدت في المنتجات البلاستيكية يمكن أن تتسرب إلى مياه الصنبور ويمكن أن تسبب اضطرابات مناعية وعصبية وتكاثرية واضطرابات نمو [6]. يوجد 4219 مادة كيميائية على الأقل في البلاستيك محل اهتمام، تترافق مع خصائص خطرة ومعروفة وتشوش أنظمة الإفراز الداخلي للبشر والحيوانات وتشكل مخاطر صحية جدية [9]. أثارت بعض الدراسات على الحيوانات بعض المخاوف المشابهة حول تأثيرات خلل عمل الغدد الصم. وهناك حاجة للبحث أكثر لتحسين فهم التأثيرات الصحية المحتملة لدقائق البلاستيك [6].

## V. تأثير التلوث بالبلاستيك على الاحتباس الحراري

قدرت منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) أنه في عام 2019 كانت منتجات البلاستيك مسؤولة عن انبعاثات 3.4% من غازات الاحتباس الحراري من خلال دورات الحياة، مع 90% من هذه الانبعاثات تأتي من إنتاج أو تحويل الوقود الأحفوري إلى منتجات بلاستيك جديدة. أبلغت OECD أيضا أن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري يمكن أن تتضاعف بحلول عام 2060 مالم يتغير سلوك الإنسان. أشار منتدى الاقتصاد العالمي انه بدون التدخل سترتفع صناعة البلاستيك العالمية إلى 20% من مجموع استهلاك النفط والى 15% من انبعاثات الكربون العالمي بحلول 2050 [6]. يمكن أن يحرر حرق طن من البلاستيك غاز ثاني أوكسيد الكربون أكثر مما يولده حرق طن من الفحم الحجري ويفاقم التغير المناخي [9].

## VI. حل المشكلة Solving the problem

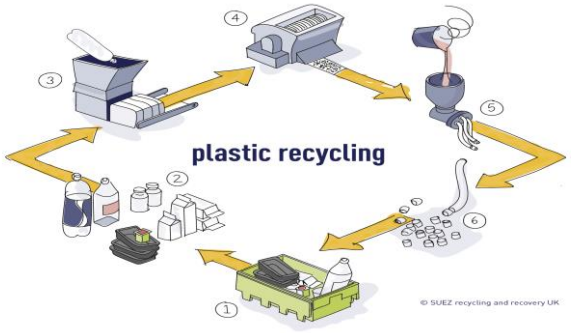
وفقاً للمؤشر العالمي للتلوث بالبلاستيك، ستكون إزاحة البلاستيك من البيئة ذات كلفة باهظة. ولذلك ستركز معظم الحلول لهذه المشكلة على منع طرح البلاستيك غير الملائم أو حتى تقييد استعمال بعض المواد البلاستيكية بالمقام الأول. وقد بُرهن أنه من الصعب فرض غرامات على رمي النفايات، ولكن يوجد عدة رسوم أو حظر تام على أوعية الأطعمة الرغوية وحقائب التسوق البلاستيكية وكذلك فهناك أموال تعويضية بأخذ قوارير المشروبات إلى مراكز إعادة التدوير (شكل 2). وهناك ما يدعى مسؤولية المنتجين الممددة (Extended Producers Responsibility (EPR أو خطط تجعل

المصنعين لبعض المواد مسؤولين عن خلق بنى تحتية لاسترجاع أو إعادة تدوير المنتجات التي أنتجوها. هذا ويتزايد الحذر من العواقب الجدية للتلوث بالبلاستيك، وقد تم تبني حلول جديدة من قبل الحكومات والشعوب تتضمن البلاستيك القابل للتحلل الحيوي (بواسطة بكتريا أو غيرها من الكائنات) وفلسفة صفر فضلات [10].

### A. كيف يتم إعادة تدوير البلاستيك ?*How is plastic recycled*

- تتضمن عملية إعادة تدوير البلاستيك معالجة فضلات البلاستيك وتتضمن العملية بشكل نموذجي جمع وفرز وإعادة معالجة هذه الفضلات وفي النهاية توليد حبيبات وكريات بلاستيكية معاد تدويرها للاستعمال في منتجات جديدة [9].
- تتضمن إعادة تدوير البلاستيك مرحلتين (شكل 2):
- الفرز: يتم الفرز أتوماتيكياً بشكل رئيسي مع فرز يدوي لتأكيد أن جميع الملوثات تم إزاحتها.
- التقطيع والصهر: وبعد فرز البلاستيك وغسله إما أن يقطع إلى رقائق أو تصهر لتعالج لتشكل حبيبات قبل أن تسكب في قوالب إلى منتجات جديدة[11].

ويعدّ الفرز أهم مرحلة في إعادة تدوير البلاستيك، وهو جوهر التدوير. ويتطلب الحصول على نوعية جيدة من البلاستيك فرزاً جيداً للمخلفات البلاستيكية حيث يفقد البلاستيك خواصه في حال وجود عناصر أخرى معه. ويتم ذلك بفصل مخلفات البلاستيك عن باقي الشوائب مثل إزالة الورق الملصق على قوارير المياه البلاستيكية، كما يتم فصل كل نوع بلاستيكي عن الأنواع الأخرى. وتجدر الإشارة إلى أن الفرز يتطلب عمالة كبيرة، وهذا ما يخلق فرص عمل كثيرة.




*شكل 2: مراحل إعادة تدوير المنتجات البلاستيكية*

### B. إعادة التدوير بإنتاج النفط بالتحول الحراري (طريقة متقدمة من إعادة تدوير البلاستيك) *Producing Pyrolysis oil (Advanced method of Plastic Recycling)*

في عملية إعادة التدوير المتقدمة، يتم تسخين نفايات البلاستيك المستهلك في عملية تحول حراري خالية من الأكسجين وغير قابلة للاحتراق. تكون عملية التحول الحراري أساسية للحصول على جزيئات الايثلين من النفايات ما بعد الاستهلاك هذا ينتج نفط بالتحول الحراري.

يُعالج النفط المُحَول حرارياً عبر نفس المفاعلات مثل الغاز الطبيعي والنفط الخام منتجاً نفس جزيئات الايتلين. تنتج جزيئات الايتلين، المشتقة من جميع المصادر، مادة الراتنج الخام والذي يصنع بشكل أساسي باستعمال الجزيئات المشتقة من نفايات البلاستيك المستهلك. يعدّ تحويل نفايات بلاستيكية صعبة الاستخدام إلى مواد خام جزيئية مستعملة لخلق راتنج خام فائدة أساسية في إعادة التدوير المتقدمة. هذه المواد البلاستيكية تتضمن البولي ايثيلين، البولي بروبلين، بولي ستيرين وغيرها (شكل 3).

لا يمكن تمييز الإيثيلين المصنع عبر هذه العملية عن الايثلين الإحفوري أو الحيوي، بما أنه يملك نفس التركيب الجزيئي الدقيق. وبشكل مماثل، راتنج البولي إيثيلين المنتج من هذه الجزيئات مطابق للراتنج المنتج من الايتلين الإحفوري أو الحيوي.

*الشكل3: مراحل إعادة تدوير البلاستيك بالتحول الحراري*

إنتاج النفط بالتحول الحراري ليس تقنية حديثة: وبسبب الاحتمالية المذهلة لصنع نموذج إعادة تدوير مغلق بشكل مطلق، بدأت الشركات بتمويل بناء بنى تحتية لدعم إنتاج التحول الحراري بمقياس كبير. إنّ مفاعلات التحول الحراري المتقدمة إلكترونيا ذات خطط لخلق مليارات الأطنان من البلاستيك ضمن 5 إلى 10 سنوات، يعرض التحول الحراري لنا طريق لحل دائم الذي قد يتخلص من النفايات البلاستيكية في البيئة.

### C. استدامة فوائد إعادة التدوير *Sustainability Benefits*

اختيار الراتنج هو خطوة مهمة في عملية تصميم تغليف المنتج. هناك اختلافات كبيرة بين الراتنج المنتج عبر إعادة التدوير المتقدمة أو عبر إعادة التدوير الميكانيكي، أو عبر المادة الحيوية المتجددة [12].

يكون الراتنج المصنوع من عملية إعادة التدوير المتقدمة الخيار الصحيح لأنه يملك عدة مزايا لزيادة الاستدامة لأنه يبقي البلاستيك خارج مطامر النفايات ويساعد على خلق دورة اقتصادية أكبر [12].

الاستدامة هامة ولذلك فهناك شركات تخلق الأدوات وتصنع الخيارات وتعرض الاقتراحات لمساعدة الزبائن على إبداع مواد تغليف بلاستيكية صديقة للبيئة بشكل أكبر. وتوضح كيف تؤثر إعادة التدوير المتقدمة إيجابيا على البيئة، وتعتمد بشكل اقل على الوقود الأحفوري، وتقلص كمية النفايات البلاستيكية التي تذهب إلى مكبات النفايات[12] .

### D. لماذا إعادة تدوير البلاستيك هامة *Why is it important to recycle plastic*

يعد البلاستيك مادة شائعة ومتعددة استعمالات بشكل كبير، ونستعمل الكثير منها. إعادة استعمال وإعادة تدوير المواد قدر الإمكان يقلص الحاجة إلى صنع بلاستيك جديد [11].

هذا يعني أنه بإمكاننا:

- حفظ الوقود الأحفوري غير المتجدد.
- تقليص استهلاك الطاقة المستخدمة في إنتاج البلاستيك الجديد.
- تقليص كمية الفضلات الصلبة.
- تقليص انبعاث الغازات مثل ثاني أوكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي [11].

### E. كيف يستعمل البلاستيك المعاد تدويره *How is recycled plastic used?*

يمكن صنع مجال واسع من المنتجات من البلاستيك المعاد تدويره تتضمن [11].:

- عبوات الشراب وعلب الطعام وصواني الطعام.
- نسيج البوليستير للملابس.
- أكياس النفايات وحقائب التسوق.
- صناديق الأسمدة وصناديق تربية الديدان العضوية.
- بطانة قوس العجلة والمضخة في السيارات.
- الأغشية العازلة للرطوبة.
- الحبيبات المعاد استعمالها.
- أحواض الأزهار، صواني البذور، عبوات الري.

بدأت بعض المتاجر ومحلات التجزئة حديثا بجمع مجال أوسع من حقائب البلاستيك والتغليف أو ما يدعى أحيانا بالبلاستيك اللين. وهذا يعني بأنه أصبح من الممكن الآن تدوير طيف واسع من المواد البلاستيكية مثل أكياس غذاء الحيوانات الأليفة عبوات البطاطا المقلية والحلويات وحقائب طلبيات المطاعم، وحقائب السلطة، وحقائب الحمل وحقائب الخبز [11].

بعض أنواع البلاستيك قابلة للتحلل في المخمر المنزلي. هذه الأنواع من البلاستيك يجب ألا توضع في مجموعات إعادة التدوير الجافة أو سلة فضلات الحديقة. ولا يمكن أن يجري إعادة تدويرها بنفس طريقة البلاستيك غير القابل للتحلل الحيوي [11] .

قد يكون من الصعب أحيانا فهم كيف يتم إعادة تدوير بعض المواد. الرمز الموجود على بلاستيك التغليف يمكن أن يساعد على شرح أي نوع من البلاستيك تم صنعه وكيف يتم إعادة تدوير [11].

### F. تفكيك البلاستيك حيويا باستخدام بعض أنواع البكتريا

في ظل التحديات البيئية والصحية المتزايدة التي تواجه العالم اليوم، برزت الحاجة إلى البحث عن حلول طبيعية ومبتكرة لمعالجة النفايات البلاستيكية، خاصة تلك المستخدمة في المجال الطبي. ومن بين الظواهر العلمية اللافتة التي حظيت باهتمام الباحثين عالميًا، برزت بكتيريا الزائفة الزنجارية Pseudomonas aeruginosa وهي بكتيريا سالبة غرام منتشرة بكثرة، تنتمي إلى فصيلة الفلجيّاتPseudomonadaceae، [13] وتظهر في أنظمة متنوعة بدءاً من البيئات الطبيعية وصولاً إلى البيئات الصناعية والمستشفيات. تزدهر هذه البكتيريا في الأجواء الطبيعية وفي الأجواء قليلة الأكسجين في العديد من البيئات الطبيعية والاصطناعية. يتميز هذا الكائن بنظام دفاعي متطور يشمل تشكيل طبقات مخاطية تساعده على الالتصاق بالأسطح والعيش في بيئات ذات ظروف قاسية.

وتعتبر البنية الخلوية للبكتيريا عاملاً رئيسياً في مقاومتها للأدوية والعوامل الكيميائية، مما يتيح لها فرصة استغلال مختلف المصادر الغذائية غير التقليدية مثل البوليمرات الاصطناعية الموجودة في المواد الطبية [14, 15, 16].

أظهرت هذه البكتريا قدرة غير متوقعة في التحلل الحيوي للبلاستيك الطبي. يعد هذا الاكتشاف نقطة تحول في المفاهيم التقليدية لإدارة المخلفات البلاستيكية، إذ يُمكن استغلال آلياتها البيوكيميائية لتطوير تقنيات إعادة تدوير فعّالة ومستدامة تجمع بين الصحة العامة والحفاظ على البيئة [16]

ومع تزايد استخدام المواد البلاستيكية في القطاع الطبي، انتشرت أجهزة ومواد مبتكرة مثل الأنابيب والأجزاء الاصطناعية والأجهزة التعويضية التي تعتمد على البوليمرات عالية الجودة لضمان السلامة والمتانة. إلا أن هذه المواد، رغم كونها مصممة للاستخدام المؤقت أو طويل الأمد،

تُترك بعد انتهاء صلاحيتها لتشكل كميات هائلة من النفايات التي يصعب معالجتها بطرق تقليدية. هنا برز البحث العلمي لاستكشاف طرق طبيعية لتحويل وتدوير هذه النفايات باستخدام الكائنات الدقيقة القادرة على تفكيك البوليمرات. تُعتبر بكتيريا الزائفة الزنجارية نموذجًا فريدًا في هذا المجال، إذ أجرت العديد من الدراسات التجريبية على قدرتها في تحلل البلاستيك الطبي، مما فتح آفاقًا جديدة في مجال الاستدامة البيئية وإدارة النفايات. وهي أيضا قادرة على تحليل المواد الهيدروكربونية وقد استخدمت لتكسير القطران والنفط عند حدوث تسرب في النفط [16, 15, 14].

### G. *الآفاق المستقبلية لاستخدام الزائفة الزنجارية في إعادة تدوير المواد البلاستيكية*

يشكل استغلال هذا النوع من البكتيريا لتحلل البلاستيك الطبي فرصة سانحة للابتكار في الاقتصاد، حيث يمكن تطوير عمليات آلية لإعادة تدوير المخلفات وتحويلها إلى مواد خام لصناعات جديدة. كما أن التقدم في مجال الهندسة الوراثية قد يُسهم في تعزيز كفاءة هذه البكتيريا عبر إدخال تعديلات وراثية دقيقة تُحسن الأداء الإنزيمي دون التأثير على سلامة الاستخدام. إن التعاون بين الباحثين من مجالات الميكروبيولوجيا والبيئة والهندسة والتكنولوجيا الرقمية سيكون العامل المحوري الذي سيحدد مدى نجاح هذه المبادرة في المستقبل[16, 15, 14].

من المهم أيضًا توسيع نطاق التجارب لتشمل أنواعاً مختلفة من المواد البلاستيكية، ليس فقط تلك الطبية، بهدف إيجاد حلول شاملة تسهم في الحد من التلوث البلاستيكي في البيئات الطبيعية. إن النظم الرقمية الحديثة التي تقوم بالرصد اللحظي والتحليل البياني لعملية التفكيك ستكون بمثابة الجهاز العصبي الذي يضمن عمل هذه الآليات بكفاءة تامة، مما يساعد في اتخاذ التدابير الوقائية المناسبة عند الحاجة [16,15, 14].

*الشكل4: بكتيريا الزائفة الزنجارية Pseudomonas aeruginosa*

**المراجع**:

[1] Britannica. 2025. Plastic pollution. 28/92025
https://www.britannica.com/science/plastic-pollution
[2] UNEP: UN environment Programme.2025. Plastic Pollution.
https://www.unep.org/plastic-pollution 28/9/2025
[3] Y Liu, J Shi, H Jin, L Guo. Chemical recycling methods for managing waste plastics: a review. Environmental Chemistry Letters, 2024. Springer
[4] Houssini, K., Li, J. & Tan, Q. Complexities of the global plastics supply chain revealed in a trade-linked material flow analysis. Commun Earth Environ 6, 257 (2025). https://doi.org/10.1038/s43247-025-02169-5
[5] UNNews. 2017. FEATURE: UN's mission to keep plastics out of oceans and marine life. Downloaded 25/6/2025
https://news.un.org/en/story/2017/04/556132-feature-uns-mission-keep-plastics-out-oceans-and-marine-life
[6] EPA. 2025. United States Environmental Protection Agency
https://www.epa.gov/plastics/impacts-plastic-pollution in 25/5/2025
[7] Sustainable Development. 2018. THE OCEAN CONFERENCE. United Nations. New York. 5-9 June 2017.
https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Ocean_Factsheet_Pollution.pdf downloaded 21/9/2025
[8] Yates, J., Deeney, M., Muncke, J. et al. Plastics matter in the food system. Commun Earth Environ 6, 176 (2025). https://doi.org/10.1038/s43247-025-02105-7
[9] SAS. 2025. Plastic pollution: facts & figures.
https://www.sas.org.uk/plastic-pollution/plastic-pollution-facts-figures/ in 25/5/2025
[11] Recycle Now. 2025. How to recycle plastic.
https://www.recyclenow.com/how-to-recycle/plasticrecycling
[12] Drugplastics, 2025. An Introduction to Advanced Plastic Recycling.
https://www.drugplastics.com/resource-hub/blog/an-introduction-to-advanced-plastic-recycling in 25/5/2025
[13] Wilson, M, G ·and S, Pandey. 2023 · Pseudomonas aeruginosa . StatPears.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557831/
[14] Howard, S.A; de Dios, R; Maslova, E; Myridakis, A; Miler, T. H and McCarthy. 2025. *Pseudomonas aeruginosa* clinical isolates can encode plastic-degrading enzymes that allow survival on plastic and augment biofilm formation. cell reports. Issue 5. Vol. 44. 27 May 2025.
[15] Al Balushi, A; Amara, Y; Al Balushi, K; Mannal, S; ben Saber,R; Mahmodi, A; Cherif, A, and Souissi, Y. 2024. Harnessing the plastic-degrading potential of Pseudomonas aeruginosa species for environmental sustainability. Earth Environ. Sci.
[16] Kyaw, B, M; R, Champakalakshmi, M, K, Sakharkar, C, S. Lim; K, R Sakharkar . 2012. Biodegradation of Low Density Polythene (LDPE) by Pseudomonas Species. Indian J Microbiol
. 2012 Feb 5;52(3):411–419.