The Second International Scientific Conference
المؤتمر العلمي الدولي الثاني لتكنولوجيا علوم البحار
For Marine Science Technology
لتكنولوجيا علوم البحار
Sabratha – Libya 09-10/03/2021 صبراتة - ليبيا

دراسة مصادر وآثار البلاستيك دقيق الحبيبات على الصحة والبيئة البحرية

سالم رحيمه سالم رحيمه

Salem Irhema S. Irhema

Environmental Sciences Department, Faculty of Sciences, University of Al-Zintan, Libya. Email salemerhima@yahoo.com, Sirhema19@gmail.com, Tel: 0913346151.

الملخص

يُعتبر وجود البلاستيك وخاصة دقيق الحبيبات المعروف ب Microplastics (MPs)في البيئة عامة والبيئة المائية خاصة مشكلة تلوث تواجه كل الأمم حاليا، وفي العقود الأخيرة شدت إنتباه الوسط العلمي وتم حصرها ورصدها ومتابعتها ببعض الأماكن، وخاصة تلك التي تعانى من كثافة سكانية عاليه للتقليل من مخاطرها المُحتمله علي البيئة والإنسان. ولزيادة التنبيه والإهتمام بهذه المشكلة، تمت دراسة العديد من البحوث والدرسات المسحية والمعمليه التى تناولت وجود وتأثيرات وكميات البلاستيك دقيق الحبيبات في البيئة المائية. إستهدفت هذه الدراسة بالتحليل التعريف بMPs وحصر مصادره مصنفة إلى مصادر أوليه و ثانوية، و التي ينتقل من خلالها الملايين من حبيبات MPs للأوساط المائية، ومنها ما ينتُج من عمليات التحلل الضوئي والحيوي والأكسدة الحرارية والتميؤ والتي تحدث للبلاستيك كبير الحجم بالبيئة البحريه. وتم التطرق إلى

الأثار البيئية المترتبة عن وجود MPs بالبحار والمحيطات على الكائنات المائية والإنسان، فنظراً لصغر حجم حبيباتها يتم إبتلاعها بواسطة الكائنات البحرية، وتتراكم بأجسامها مع الزمن مسببة لها أضرارعديدة تصل لنفوق بعض الأنواع، وتصل MPs للإنسان عبر غذائه البحري وتتراكم مع الزمن ببعض أنسجة الجسم الداخلية مسببة له أمراض خطيرة. وأخيراً تم التطرق إلى أكثر الطرق كفاءةً للتخلص من MPs وهو التحلل الحيوي بإستخدام الكائنات الحية الدقيقه حيث أثبتت بعض التجارب المعملية قدرتها على تفكيك البلاستيك لمواد أقل ضررا للبيئة. وخلصت المراجعة إلى أن MPs تصل للبيئة المائية من مصادر مختلفه مسببة أخطار بيئية جمة علي الحياة البحرية والبشرية، وأن التحلل الحيوي إحدي أهم طرق التخلص منها، وذلك في محاولة لزيادة فهم مشكلة تلوث البيئة المائية بMPs.

الكلمات المفتاحيه: البلاستيك دقيق الحبيبات، البيئة البحرية، الرواسب البحرية، الكائنات المائية، تحلل البلاستيك، التحلل الحيوي.

Studying the Sources and Impacts of Microplastics on Human Health and Marine Environment

Abstract

The presence of plastic and specifically Microplastics (MPs) in the environment and particularly marine ecosystems is one of the many major pollution issues currently facing several nations. The contentious issue has attracted much attention from the scientific community over the last few decades. To reduce the feasible

environmental risks of the occurrence of MPs in oceans and seas, researchers have monitored, tracked, and investigated the pollution of MPs worldwide and mostly in densely populated regions. Thus, in order to attract the people attention to this serious issue current work attempts to survey, review, summarize and conclude several studies that surveyed, reviewed and practically investigated the occurrence, sources, levels and effects of MPs in the marine environment. Firstly, the MP sources identified and explored are classified into two categories, primary and secondary, which contribute to the diffusion of millions of MP particles into oceans and seas due to the degradation of plastic wastes via biodegradation, photo-degradation, hydrolysis and thermal oxidation processes. Consequently, the resulted material (MPs) can be ingested by marine biota, causing an accumulation in their bodies, which can pose harmful future effects, and could eventually lead to the extinction of several species of sea biota. Once MPs are integrated within the food chain and concentrated in seafood, it can then translocate to the human body, and as a result can cause similar bioaccumulation over time in human organs and cause dangerous illnesses. Ultimately, biodegradation using several microbes is considered as a feasible remediation method because of its high potential in the field of MP pollution treatment according to the promising results of several studies in the management of polluted marine waters with plastic and MPs. As a conclusion, this review

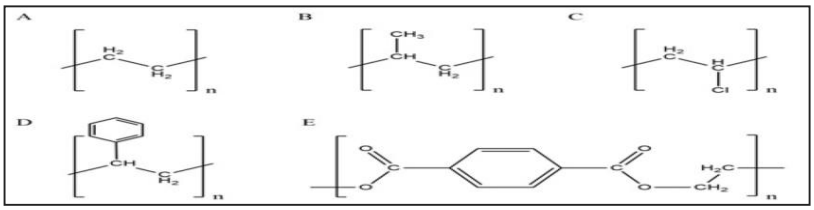
investigated the occurrence, distribution sources, the fate and effects of MPs in globe marine ecosystem and potential treatment technique by aim to improve and expand on the knowledge in the field of marine pollution by MPs.

Keywords: Biodegradation, Marine biota, Marine environment, Marine sediment, Microplastics (MPs), Plastic degradation.

المقدمة

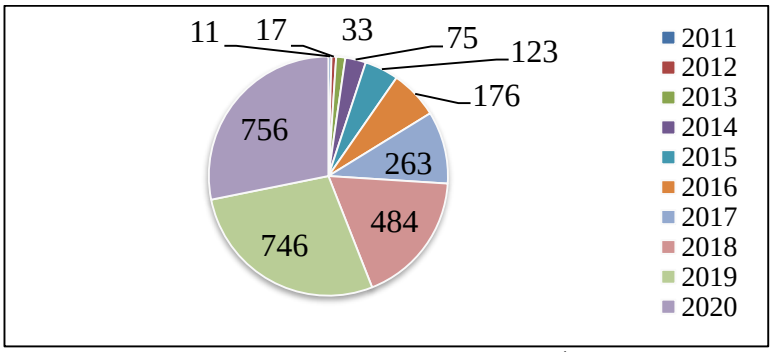
نتيجة للزيادة المضطردة فى عدد السكان وإرتفاع متطلبات الحياة العصرية زاد الطلب على الموارد المختلفة المتعلقة بالإستخدامات البشرية اليومية ومنها البلاستيك لذلك تطورت صناعته وأستخدامه، حيث قُدرالإنتاج العالمي منه عام 1950حوالي 1.7 مليون طن وزاد الطلب على منتجات البلاستيك مع الزمن تصاعديا ليصل إلى 299 مليون طن عام 2014 (Plastics Europe, 2015; UNEP, 2015). هذا ويستخدم حوالى 33.3% من البلاستيك المُنتج سنويا فى الصناعات ذات العلاقه بالأنشطه البشريه اليوميه، ويرجع تفضيل إستخدامه لأسباب عديده وهى خفة وزنه ورخص ثمنه وقوة ومتانة بعض أنواعه ومقاومته للتآكل بتأثير الأحماض والقلويات وسهولة تشكيله وفعالية عالية لبعض أنواعه كعوازل للكهرباء والحراره، ويُرجع ثبات البلاستيك بأنواعه المختلفة إلى كبر حجم جزيئاته وعدم قابليتها للذوبان فى الماء (Andrady and Neal, 2009; Alimba et al., 2019; Miloloža et al., 2021).

البلاستيك إحدى الصناعات القائمة على البترول حيث أشار العود وأخرون (2015) إلى أن من 3 إلي 5% من مجمل الإنتاج العالمي للبترول يُستخدم فى صناعة البلاستيك، وتوجد أنواع طبيعية منه مثل المطاط الطبيعي. فمن وجهة نظر كيميائيه، البلاستيك يتركب من سلاسل طويلة من الجزيئات تسمي بوليمرات (الجزيئات المتعددة) والتي تتكون من وحدات أساسيه تُعرف بالمونمرات (الجزيئات الأحادية) وهى مركبات عضويه منخفضة الأوزان الجزيئية تدخل فى تفاعلات بلمرة متحدة مع بعضها تحت ظروف معينه وعوامل مساعده مختلفة مكونةً البلاستيك بأنواعه، وقد يكون المونمر مركب واحد أو عباره عن مركبين مختلفين، ويُصنع من البلاستيك عدد هائل ولكن المتداول فى الأسواق عدد قليل من البولميرات البلاستيكية ومنها بولي بروبلين و بولي إيثلين منخفض الكثافه (Low Density Polyethylene (LDPE)) وكذلك بولي إيثلين عالي الكثافه (High Density Polyethylene (HDPE)) وألياف الأكريلك والميلامين وبولي كلوريد الفاينيل Polyvinyl Chloride (PVC) وبولي ستايرين Polystyrene (PS) وبولي إيثلين تيرفثالات Polyethylene Terephthalate (PET) وعديد الأميد ونايلون66 وغيرها و تجدر الإشارة هنا إلي أنه لكل نوع من البلاستيك مواد خام وظروف تصنيع خاصة به ومُضافات تعمل علي تحسين خواصه تعتمد علي نوعه وإستخداماته (Andrady and Neal, 2009; Andrady, 2011). والشكل (1) يوضح التركيب الكيميائي لبعض البولميرات البلاستيكيه الصناعيه المتداولة في الأسواق.



شكل 1. التركيب الكيميائي لبعض البوليمرات: (A)عديد الإيثلين، (B) عديد البروبلين، (C) عديد كلوريد الفاينايل، (D) عديد الستايرين و(E) بولي ايثلين تيرفثالات، نقلا عن Miloloža et al. (2021).

فى بداية سبعينيات القرن الماضى تم التنبيه علي وجود البلاستيك بالبحار والمحيطات، وبعدها بسنوات بدأت الأوساط العلميه المتخصصة بدراسة هذه الظاهره ومع مرور الزمن زادت البيانات والمعلومات حول وجود البلاستيك بأحجامه المختلفة وخاصة البلاستيك دقيق الحبيبات (Microplastics (MPs)) بالبيئة المائية و تأثيراته علي مكوناتها (Barletta et al., 2019). ويوضح شكل (2) عدد الأبحاث العلمية المنشورة باللغه الإنجليزية إلتى أكدت على وجود MPs فى البيئة المائية خلال الفترة من 2011 الى 2020.



شكل 2. يوضح عدد الأبحاث العلميه التى درست تلوث البيئة المائية بـMPs خلال الفتره من 2011 إلى 2020، أُعيد عرضها بيانيا من Kavya et al. (2020).

المشكلة البيئية وراء هذه الزياده فى إنتشار البلاستيك هى إن 29% فقط منه يعاد تدويره وتصنيعه والباقى يدخل للمكونات المختلفة للنظام البيئى ومنها نسبة كبيرة تصل للبيئة المائية(Sana et al., 2020) . فقد قُدر أن ملايين الأطنان من مخلفات البلاستيك تطرح للبيئة سنويا ويصل 40 - 80% منها للبيئة البحريه (Derraik, 2002). وأشار Thompson (2006) إلي أن 40 - 80% تمثل فقط 10%من البلاستيك المُنتج والمُستخدم من قبل البشريه كل عام، وهذه 10% تعادل 4.8 - 12.7 مليون طن من البلاستيك تُضخ من مصادرمختلفه للمسطحات المائية سنويا (Galloway et al., 2017)، وتزداد تراكماً بالبيئة المائية مع مرور الزمن والطلب عليه حيث توقع Peng et al. (2018) أنها ستصل إلى 100 - 250 مليون طن فى 2025. بينما وجدت دراسات أخرى إن حوالى 80 - 85% من المخلفات المتواجده فى البيئة البحريه عباره عن بلاستيك بأحجام وأشكال مختلفه ومن مصادر متعدده (Alimba et al., 2019). هذا وتوقع كلا من Ashton et al. (2010) إن بحلول عام 2050 تكون كميات البلاستيك وخاصه صغيرة الحجم (MPs) أكثر من عدد الأسماك بالبحار والمحيطات. وقد أثبتت الدراسات إن حبيبات MPs وُجدت بكميات مختلفه بالبيئة المائية فى الشواطئ والرواسب البحريه وعلى سطوح المحيطات وبالأعمده المائية وبجليد القطبين الشمالى والجنوبى بسبب سهولة نقلها بالتيارات المائية، حيث أشار Andrady (1990) إلى أن MPs تنتقل عمودياً للأعماق عبر عمود الماء وبذلك يستمر وجودها لفترة طويلة نتيجة لأن معدل تحللها يصير بطئ جدا. وتُرجع خطورة جسيمات البلاستيك الدقيقه على الأحياء

البحريه لعدة أسباب وهى، صغرحجمها وطبيعتها وفاعليتها الكيمائيه فنظراً لكبر مساحة سطحها يجعلها ناقلةً لبعض الملوثات العضوية والعناصرالثقيله الخطره على سطوحها وبذلك تكون ذات سميه عاليه وأيضا مقاومة MPs للتحلل الحيوى فقد وُجد أنها تحتاج لما يزيد عن 500 سنه للتحلل فى الطبيعه (Saeed et al., 2020).بذلك تكون سهلة التناول والإبتلاع بواسطة الهوائم والحيوانات والنباتات البحريه فتصل للسلسله الغذائيه وتتراكم بها وتنتقل من خلالها للإنسان.

المنهجية والهدف

في خضم الدرسات السابقة، أجرى كلا من De-la-Torre (2020) و Amelia et al. (2021) دراستين منفصلتين فى مجال تلوث البيئة المائية بحبيبات البلاستيك الدقيقه (MPs)، وخلصتا إلى أنه بالرغم من الكم الكبير من الدراسات في هذا المجال فمازال هناك فجوة علميه وحاجة لمزيد من الدراسات المسحيه والمعمليه حول فهم مصادر ووجود وسلوك وكميات MPs والوضع الراهن للتلوث بها وأثارها البيئية بالبحار والمحيطات فى بعض البلدان ومنها ليبيا. ومن خلال دراسة العديد من البحوث والدرسات المسحية والمعمليه الحديثه التى تناولت وجود وتأثيرات وكميات البلاستيك دقيق الحبيبات في البيئة المائية، فإن هذه الورقه إستهدفت بالتحليل التعريف بـMPs ومصادره وطرق إنتقاله للبيئة المائية وتأثيراته على الكائنات المائية والإنسان وطريقة معالجة تلوث البيئة المائية بالبلاستيك الدقيق للتنويه ولفت نظر المختصين والجهات ذات العلاقه بالبيئة لهذه المشكله محليا.

تعريف و تصنيف البلاستيك دقيق الحبيبات (MPs)

يمكن تعريف MPs على أنها جسيمات بلاستيك صغيرة بأقطار لا تزيد عن 5 ملم نتجت من تطبيقات صناعيه تحتاج بلاستيك حبيبى أو من تكسر وتفتت وتحلُل مخلفات البلاستيك المُستخدم فى حياتنا اليوميه وتتم بطرق فيزيائيه وكيميائيه مختلفة وتنتشر بالبيئات المختلفه بطرق عديده (Anjana, et al., 2020; De-la-Torre, 2020; Qi et al., 2020). وشكل (3) يوضح بعض قطع البلاستيك مختلفة ألاحجام والألوان ومنها MPs والتى تم إستخلاصها من إحدى البيئات المائية الملوثه بها.

يمكن تصنيف جسيمات البلاستيك الدقيقه أيضا حسب قطرها الى جسيمات صغيرة بقطر أقل من1 ملم ومتوسطه بقطر 1 - 3 ملم وكبيره ذات قطر يتراوح بين 3 - 5 ملم وتتواجد فى البيئة جسيمات بلاستيك بحجم أصغر وبأقطار تتراوح بين 1 - 1000 نانومتر منها على سبيل المثال خرزات عديد الإيثلين المتواجده فى منظفات الوجه وتتراوح أقطارها بين 60 - 800 نانومتر وتُقدر كميتها بالمياه العادمه البلدية بحوالى 5.0 كجم/ سنه (Auta et al., 2017).

شكل 3. بعض قطع البلاستيك بمختلف الأحجام ومنها MPs وبألوان مختلفه أستُخلصت من البيئة البحريه، نقلاً عن Auta et al. (2017).

مصادر البلاستيك دقيق الحبيبات (MPs) فى البيئة المائية

تتسلل MPs للبيئة عموما و للبيئة المائية خصوصا نتيجة لتفكك المواد البلاستيكيه بالبحار والمحيطات ومكبات القمامه بفعل العوامل الطبيعيه أو الحيويه وتصل للبيئة البحريه عن طريق الجريان السطحي وتنتقل من مصادر أخري مع المخلفات السائله البلديه والصناعية والزراعية للشواطئ والبحيرات والأنهار (Du et al., 2021). وتقسم مصادرالجسيمات البلاستيكيه الدقيقه (MPs) المتواجده بالبحار والمحيطات إلي:

1- مصادرأوليه

وهذا النوع يظم حبيبات الخرز البلاستيكى وتسهم بما نسبته 3.3% من إجمالى MPs بالبيئة والجسيمات البلاستيكيه الصغيرة والتى تدخل فى صناعات مختلفه مثل مواد التجميل والمنظفات والتى تسهم بنسبة 2% من إجمالى MPs فى البيئة، وتتواجد جسيمات البلاستيك الدقيقه فى مخلفات الصناعات النسيجيه التي تمثل 35% من إجمالى MPs فى البيئة وMPs تصل للبيئة المائية نتيجة المترسبات الجويه للغبار الناتج من المدن الصناعيه والتى تسهم بما نسبته 24% من البلاستيك دقيق الحبيبات ألتي تدحل للبيئة ومطاط الإطارات الذي يسهم بما نسبتة 20% من إجمالى MPs المتواجدة بالبيئة. فمن جميع هذه المصادر يصل كماً كبيراً من MPs في النهايه للمسطحات المائية (Wright et al., 2013; Rezania et al., 2018; Prokic 2019).

2- مصادر ثانويه

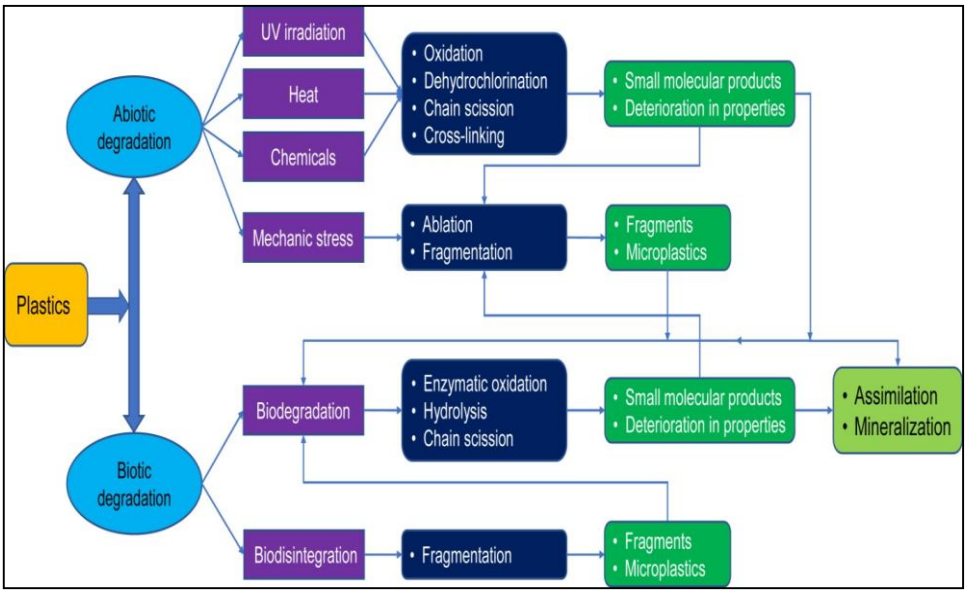
هذه المصادر ينتج عنها MPs من تفتت المواد البلاستيكيه كبيرة الحجم مثل

القنانى و الأكياس وعلب البلاستيك المُستخدم لحفظ المواد الغذائيه وبلاستيك مخلفات مصائد الأسماك وغيرها المطروحه للبيئة بعد إستخدامها، فتتفتت بالبيئة إلى جسيمات بأقطار أقل من 5 ملم بفعل عدت عوامل منها ضوء الشمس وحرارة الجو والخلط الفيزيائى بالأمواج بالبحار (Qi et al., 2020). وتعتبر عملية تفكك البلاستيك أهم المصادر الثانوية لMPs بالمياه وهى عمليه كيميائيه تحدث للبلاستيك بفعل تأثير عدة عوامل تؤدى الى تصغير وزنه الجريئى بتفكيكه الى جزيئات أصغر حجما منها MPs وتتم عملية تحلل البلاستيك بإحدى أو جميع الميكانيكيات التاليه:

- التحلل الضوئي Photo-degradation
- التحلل الحيوى Biodegradation
- التميؤ Hydrolysis
- التأكسد الحراري Thermal oxidation

حيث يتم تحطيم الروابط بين جزئيات هياكل بوليمر البلاستيك إلى جسيمات صغيره وبمعدلات تحلل تتوقف على خواص البوليمر من ناحية الكثافه والوزن الجزيئى، والجسيمات المتكونه صغيرة قد لا تُرى بالعين المجرده سهلة الإنتشار في الوسط المائى والإبتلاع من قبل الهوائم والسابحات والحيونات الراقيه والنباتات بقاع البحار، ويعد التحلل الضوئي بواسطة الأشعه الفوق بنفسجيه (Ultraviolet radiation (UV-B)) أكفأ وأهم طريقة تحلل، فتقوم UV-Bبأكسدة الروابط بين جزيئات البوليمر وكسرها وتجزئتها. فيتم توليد جذور حره جزءاً منها يتفاعل مع الأكسجين مكوناً جذور حرة للبروكسيد وهذه بدورها

تحفز إستمرار التحلل للبوليمر الهدف. والبلاستيك يتحلل بمياه الشواطئ أسرع

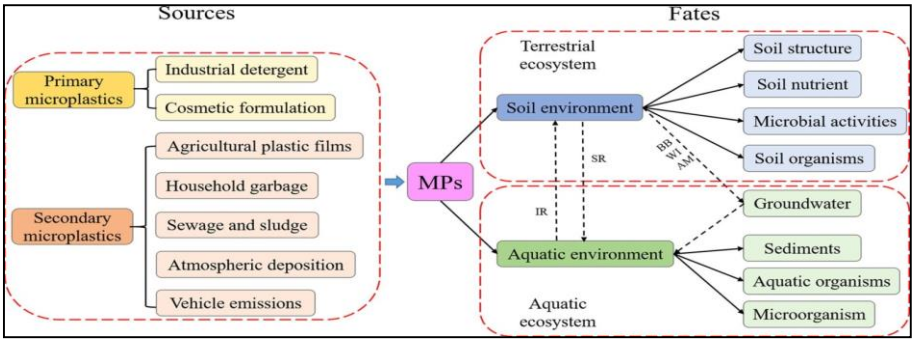


وبكفاءة عاليه من ذلك بأعالى البحار والمحيطات، نظرا لأن أشعة الشمس الفوق بنفسجيه تتواجد بتراكيز عاليه بالشواطئ وكذلك معدلات التحريك الفيزيائي للمياه بفعل الأمواج أعلي بالشواطئ وغنية بالأكسجين مقارنة بالمياه الأعمق. وتساعد الميكروبات على تحلل البلاستيك حيويا إلي جسيمات بلاستيكيه أصغر. أما التحلل بالتأكسد الحراري فيتم بتسليط حراره عاليه علي البوليمر وينتج عنها جذور حره وتستمر العمليه بنفس طريقة التحلل الضوئي وألتي تتولد عنها جسيمات MPs في نهاية عملية التحلل بأى من الطرق أعلاه (Eubeler, 2009; Andrady, 2011; Zhou et al., 2021) والموضحة بشكل (4) وهى الطرق الحيويه والغير حيويه التي تقوم بتفكيك البلاستيك وإنتاج بلاستيك صغير الحجم و منه MPs.

شكل 4. يوضح الطرق المختلفة التي تسهم في تفكيك البلاستيك كبير الحجم وإنتاج حبيبات بلاستيك صغيرة الحجم و منها MPs، نقلا عن Zhang et al. (2021).

إستخدام السماد العضوى والحمأُه فى الزراعة وأشرطة بوليمرعديد الإيثلين منخفض الكثافه (LDPE) فى حفظ المحاصيل الزراعيه يؤدى إلى وصول تراكيز إضافيه من MPs للبيئة المائية عن طريق الغسيل بمياه الأمطار ومياه الصرف الزراعي (Horton et al., 2017; Prokic 2019).

أوضح Lassen et al. (2015) أن حوالى 21500 طن/سنه من MPs تتراكم بالمسطحات المائية من المصدرين الأولي والثانوي ومنها حوالى 2000 - 5600 طن تُضخ عبر مياه الصرف الصحى للأجسام المائية المختلفه وبذلك تصل لأجسام الكائنات البحريه ومنها تصل للأنسان. وقدر Nerland et al. (2014) أن حوالى 2.4 ملجم/شخص/يوم من MPs تدخل للبيئة عبر مياه الصرف الصحى والصناعي. شكل (5) يوضح أهم مصادر MPs التى تتسرب للبيئة المائية والتربه ومصيرها بهما.



شكل 5. يوضح أهم المصادر التي تسهم في تلوث التربة والبيئة المائية بMPs حيث (BB)

التعكير الحيوي، (WI) تسرب المياه، (AM) الأدارة الزراعية، (IR) الري، (SR) الجريان السطحي، نقلا عن Qi et al. (2020).

البلاستيك دقيق الحبيبات (MPs) فى البيئة المائية

يتواجد البلاستيك دقيق الحبيبات فى البحار والمحيطات وبتراكيز مختلفه تبعا لمصادره وألتي تعتمد علي عدد السكان ومستوى المعيشه (Eubeler 2009). بين Isobe et al. (2015) أن محتوى بحار شرق أسيا حول جزر اليابان من البلاستيك دقيق الحبيبات بلغ حوالي 1.72 مليون قطعه/كم^2. وقدر Van Sebill et al. (2015) إن حوالى 15-51 تريليون قطعه بلاستيك دقيقه تسبح فى مياه البحار والمحيطات عالميا وبذلك يمكن حصر تواجد حبيبات البلاستيك الدقيقه في البيئة البحرية على النحو التالي:

1- الرواسب البحريه

تواجد جسيمات البلاستيك الدقيقه فى الرواسب البحريه يرجع إلى أن كثافتها أكبرمن كثافة مياه البحار والمحيطات فتغوص للقاع وتترسب مع الرواسب وقد تُنتج عملية التحلل الميكروبى بالقاع جسيمات MPs تترسب أيضا، فقد وجد Van et al. (2015) إن حوالى 3.3% من وزن الرواسب عبارة عن بلاستيك دقيق الحبيبات. وأكد أيضاً Alomer et al. (2016) إن الرواسب البحريه وقاع البحار تعد بالوعات MPs. ووجد Reddy et al. (2006) إن تركيز MPs بالرواسب البحريه قُرب إحدى المدن الهنديه بلغ 81 جزء بالمليون. بينما لوحظ إن حبيبات البلاستيك الصغيرة تتواجد بالرواسب الرملية بالشواطئ بكثرة عنها بتلك بالمياه الأعمق وعُزى السبب إلى غياب

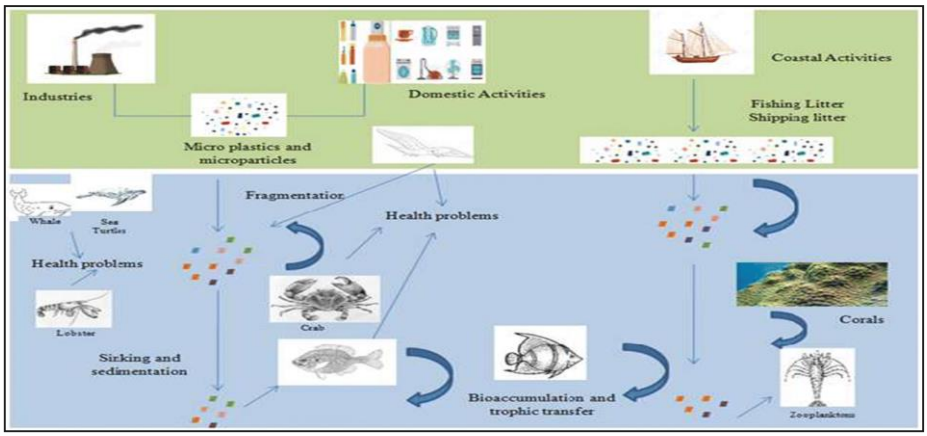
الميكروبات المحلله لها بالشواطئ (Green, 2016). وفى بحر السويد وجد كلا من Rummel et al. (2016) إن تركيز MPs فى الرواسب البحريه سجل 770 - 3300 قطعه/ كجم وزن جاف من الرواسب. وتعتبر رواسب مناطق الأيك الساحلية (Mangrove) الغنيه بالكربون (مناطق الأيك الساحلية هي مناطق ساحليه إستوائيه واقعة تحت تأثير المد البحري وتنمو بها أشجار وشجيرات مكشوفة الجذور) بالوعات طبيعيه للبلاستيك دقيق الحبيبات، حيث أكد Nor and Obbard (2014) وجود بولى إيثلين و نايلون وPVC بأقطار صغيرة وبتركيز بلغ 12- 62.1 قطعه/كجم من رواسب الأيك الساحلية بسنغافوراء وعُزي ذلك لتحلل البلاستيك الأكبر حجماً. وفى ماليزيا وجد كلا من Jayanthi et al. (2014) أن عدد الحبيبات الدقيقه البلاستيكيه بحدود 418 قطعه برواسب مناطق الأيك الساحلية. وفى Papua New Guinea وجد Smith (2012) إن حوالى 3349 قطعه بلاستيك/م^2 فى الرواسب البحريه بمناطق الأيك الساحلية منها حوالى 263 قطعه بلاستيك/م^2 من MPs. وبتواجدها بالبيئة البحرية بهذه الكميات يجعلها في متناول جميع الكائنات البحريه كالأسماك والهوائم والقشريات والثديات والنباتات.

2- الكائنات البحريه

حبيبات البلاستيك الدقيقه تتواجد بأجسام عدد هائل من الكائنات البحريه نتيجة لتراكمها بالمياه والرواسب حيث تتراكم بأجسامها إعتماداً علي الخواص الفيزوكيمائيه مثل الحجم والشكل ومساحة السطح (Ali et al., 2021). ولقد وُجد إن أكثر من 267 نوع من الكائنات البحريه ويشمل 43% من الثديات البحريه

و86% من السلاحف البحريه و44% من الطيور البحريه تحتوى أجسامها على قطع بلاستيك دقيقه بكميه تتراوح بين قطعة واحدة إلى آلاف القطع (Nerland et al., 2014). حبيبات البلاستيك الدقيقه الطافية علي سطوح البحار والمحيطات تصل للكائنات البحريه بطريقه مباشرة أو غير مباشرة ويتم إبتلاعها من قبل العوالق الحيوانيه والمحار والأسماك والسرطانات وديدان البحر، ففى الأسماك وُجد أنها تتراكم في الكبد والخياشيم والعضلات والأمعاء (Du et al., 2021). حيث درس كلا من Baalkhuyur et al. (2018) مستويات البلاستيك الدقيق في 26 نوع من الأسماك جُمعت من البحر الأحمر فتبين أن 14.6% من العينات تحتوى على MPs وأعلى تركيز كان فى (*Parascolopsiseriomma*) ألتى تتغذى على لافقاريات ونباتات القاع. وأشار كلا من Auta et al. (2017) إلي أن حوالي 18% من أسماك بعض مصائد البحر المتوسط القريبه من صقليه الأيطاليه مثل التونه زرقاء الزعانف و سمك أبوسيف و التونه البيضاء وُجدت تراكمات من MPs بأجسامها. ووجد Van and Janssen (2014) إن نوعين من ذوات الصدفتين، الأولي *Mytilus edulis* والمُصادة من مزارع بالمانيا والثانيه *Crassostrea gigas* المُجمعة من المحيط الأطلسي والمباعتان فى الأسواق الفرنسية أن أجسامها تحتوى على 0.07 ± 3.6 حبيبه$_{MPs}$/جم و0.16 ± 0.47 حبيبه$_{MPs}$/جم على التوالى. ووُجد أن حوالى 44% من الطيور البحريه تبتلع حبيبات البلاستك الصغيره وتطعمها لكتاكيتها، حيث لوحظ أن طائرالقطرس أسود القدمين يقوم بإطعام فراخه قطع من MPs (Andrady, 2011). وفى عينات محار جُمعت من سواحل الصين وُجد

أن 84% من العينات تحتوى على MPs بمتوسط تركيز بلغ 0.62 حبيبه/جم من المحار (Teng et al., 2019). وأستنتج Gouin et al. (2011) أن عينات من *Barnacles* و التي جُمعت من سواحل بحر الشمال تحتوى على MPs و بنسب بلغت 58% بولى إيثلين و5% بولى بروبلين و1% بولى استر. وفى عينات من أحد أصناف بلح البحر (*Mytilus edulis*) جُمعت من ست مناطق بالمملكه المتحده وجد Li et al. (2018) أن تركيز البلاستيك الدقيق بها بلغ 1.4 حبيبه/جم بعد غسلها وتجهيزها للطبخ أما بتلك الطازجه من غير غسل فقد وُجد أن تركيز MPs بها بلغ 0.9 حبيبه/جم وهذا يدل على أن عمليات التنظيف والتجهيز قبل الطهى تسهم بإضافه جسيمات من MPs. وفى عينات لأربعة أنواع من ذوات الصدفتين جُمعت من سواحل ثلاث مدن رئيسيه بكوريا الجنوبيه وُجد أن متوسط تركيز MPs بها بلغ 0.15 ± 0.2 قطعه/جم وقُدر أيضاً إن الكوريين يبتلعون 212 حبيبه$_{MPs}$/شخص/عام نتيجه لإستهلاكهم للمحار الملوث ب MPs(Cho et al., 2018). كل الأدله السابقه تؤكد أن البلاستيك دقيق الحبيبات يصل للبيئة المائية ومنها للكائنات البحريه فيدخل السلسلة الغذائيه والجرعات الصغيره منه تتراكم حيويا بها مع الزمن لتصل فى النهايه للأجسام البشريه مسببة لها ولكل مكونات البيئة الحيه التي تعتمد علي الغذاء البحري أمراض خطيرة. وشكل (6) يوضح تداخل MPs من مختلف المصادر مع البيئة المائية (أنهار وبحار وبحيرات ومحيطات) ودخولها للسلسلة الغذائيه.



شكل 6. تداخل MPs من مختلف المصادر مع البيئة المائية (أنهار وبحار وبحيرات ومحيطات) ودخولها للسلسلة الغذائية، نقلاً عن Sana et al. (2020) .

تاثير التلوث بالبلاستيك دقيق الحبيبات على الأحياء المائية

الكائنات البحرية تكون عُرضة لتراكم MPs بأجسامها، فقد بين كلا من Nerland et al. (2014) وSana et al. (2020) أن تراكم MPs له تأثيرات وأخطار فيزيائية وكيميائيه وحيويه على الكائنات البحريه وتشمل إنسداد الجهاز الهضمى نظراً لقدرتها علي التراكم به وتقلل من قدرته علي تناول الغذاء وقد يصل الأمر الى نفوق الكائن المُستهلك لMPs نتيجة سوء التغذيه وتسبب أيضا تآكل بعض الأنسجه وعرقله عمل بعض الأنزيمات بأحتلال المواقع النشطه بها والتأثير على هرمون النمو. وفى بحث أخر أشار كلا من Pinheiro et al. (2020) إلى أن حيوانات القاع بالبحار والمحيطات تتأثر عند تعرضها لMPs حيث بينت التجارب المعمليه إن إبتلاع البلاستيك من قبل كائنات القاع يؤثر على معدل النمو والتنفس وميزان الطاقه و إستجابة الجهاز المناعى. وهذه

التأثيرات تتوقف على حجم الحبيبات المبتلعه وشكلها فالحبيبات المسننه أكثر قدرة على إحداث ضرر بأجسام الكائنات الملتهمه لها من تلك المستديره والناعمه (Sana et al., 2020). أوضح كلا من Frydkjaer et al. (2017) أن وجود كميات كبيره متراكمه من البلاستيك دقيق الحبيبات بإجسام الكائنات البحريه قد يؤدى إلى إنقراض بعض الأنواع الحيوانيه والنباتيه بالبحار مثل العوالق البحريه وبعض الفقاريات كالأسماك والطيور البحريه. ونتيجة لتراكمها حيوياً بأنسجة الكائنات البحريه فحتماً ستصل للأنسان.

تاثيرالتلوث بالبلاستيك دقيق الحبيبات على صحة الإنسان

يعتبر الغذاء البحرى من الوجبات الهامه لمعظم سكان كوكبنا ولكن مع وجود كميات متراكمه تزداد مع الزمن من MPs بإجسام الكائنات البحريه المُستهلكه قد يسبب العديد من الأمراض للمستهلكين لها وخاصة تلك الأحياء التى تؤكل كاملة عن تلك التي تزال و تنظف من أحشائها. فخلص Van and Janssen (2014) إلى أن الأوربيين اللذين يستهلكون كميات متوسطه من Shellfish بلغ عدد حبيبات البلاستيك الدقيقه ألتي يبتلعونها حوالى 1800 قطعه سنويا أما اؤلئك اللذين يتناولون Shellfish بكثرة يصل عدد الحبيبات البلاستيكية الدقيقه إلتى يبتلعونها الى 11000 قطعه سنويا. ولكن الجزء الممتص قُدر بحوالى 0.3%من الكمية المبتلعه، ولكن فقط الحبيبات ذات الأقطار أقل من 150 ميكرومتر يمكن أن تنتقل لسائل الليمف والجهاز الدورى، ويكون إمتصاصها بواسطة الخلايا البالعه ويصل منها لإعضاء الجسم الداخليه تلك الجسيمات بأقطار أقل من 20 ميكرومتر، والأصغر منها فقط هي من تصل إلى

جدرالخلايا، وترجع سميتها لقدرتها علي التفاعل مع البروتينات و الدهون منتجة مركبات أكسجينيه نشطه (Green, 2016). أما الجسيمات البلاستيكيه الدقيقه بحجم تراوح بين 0.3 - 1 ملم فلها القدره على تحفيز إنتاج بعض المواد السامه بجسم الإنسان والتى قد تسبب التهابات مختلفه لاحقا. كذلك بقايا المواد المضافه لصناعة البلاستيك كالملدنات ومقاومات التأكسد والمواد المثبته فهي سامة، فمثلا مادة bisphenol A والتي تستخدم كمضافات في صناعة القناني و قوارير المياه وُجد منها تراكيز فى أسماك التونه والتى تسبب لمتناولي هذه الماده اضرار بالغدد الصماء (De-la-Torre, 2020). وأشار العود وآخرون (2015) إلى أن مجموعة من الدراسات أثبتت أن المواد الناتجه من تحلل حبيبات PVC و PS هى مواد مسرطنه. و بينت نتائج دراسة سريريه إن حقن 0.5 ملجم من حبيبات MPs لبولي الستايرين للمشاركين نتج عنه تراكمات في الكلي والرئتين والأمعاء، وقد تدمص من قبل البروتينات كبيرة الحجم الأمر الذي يجعلها تؤثرعلي جهاز المناعه وعلي النهايات العصيبية بالأمعاء. هذا وارتبط التأثير سلبيا بحجم الحبيبات (Sana et al., 2020).

معالجة تلوث البيئة المائية بالبلاستيك دقيق الحبيبات

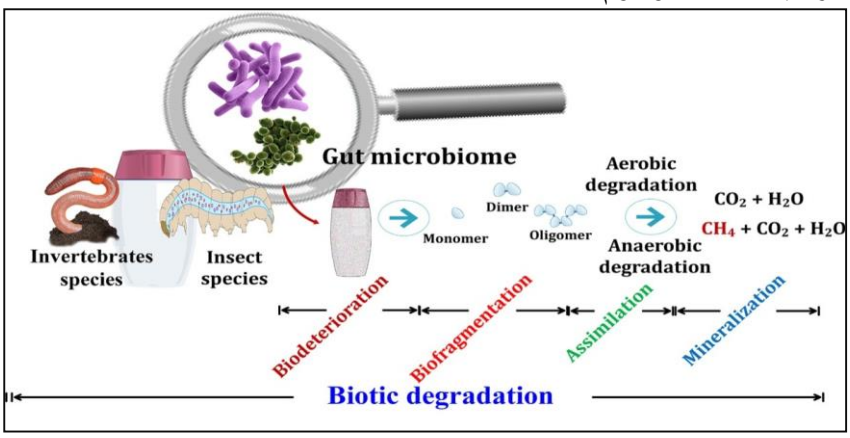
بالأخذ في الإعتبار الأثار البيئية الضارة للأنسان ومكونات البيئة المائية والتي تم إستعراض بعضها أعلاه، ونظرا لان تراكيز البلاستيك بما فيه MPs فى البحار والمحيطات تزداد مع الزمن ولأن تنظيف المسطحات المائية فيزيائيا منها تعتبر عمليه صعبه جدا ومكلفة اقتصاديا وخاصة فى حالة البلاستيك دقيق الحبيبات نظراً لصغر حجم حبيباته وصعوبة رؤيتها بالعين المجرده. لذلك يجب

إحاطة هذه القضيه بقدر من الإهتمام بمختلف الدول، حيث تبدأ بعمليه مراقبه التلوث بالبلاستيك وذلك بمعرفة مصادر التلوث ووضع الإستراتيجيات بهدف التقليل من إنتشاره من مصادره وإقتراح الطرق الأمثل لمعالجة التلوث به. ويُعد إستخدام الأحياء الدقيقه القادره على تحليل البلاستيك حيويا إحدى الطرق الواعده فى مجال معالجه تلوث البيئة البحريه بالبلاستيك وتعتمد على قدرة بعض أنواع الميكروبات على استهلاك هياكل البلاستيك الكربونيه وتحويلها الى طاقه وثانى اكسيد الكربون وماء (Auta et al., 2017). فبين Asmita et al. (2015) إن بكتيريا تم عزلها من بعض الترب لها القدره على تفكيك بعض أنواع البلاستيك. وعموما وُجد إن هناك أنواع عديده من البكتيريا لها القدره على تحليل البلاستيك بمحتلف أنواعه وأحجامه حيويا فمثلا، وجد Sing et al.(2016) إن *Bacillus sp., Staphylococcus sp., and Pseudomonas sp.* وألتى عُزلت من التربه لها القدره على تفكيك هياكل البولى إيثلين. وفي دراسة أخري إستخلص الباحثان Mor and Sivan (2008) أن الحبيبات الدقيقه لبلاستيك بولى إستايرين يمكن أن تتحلل حيوياً بواسطه الأنواع البكتيريه *Aspergillus niger, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis, Staphylococcus aureus, and Streptococcus pyogenes Rhodococcusruber.*

ومن خلال مراجعته لمجموعه من الدراسات إستنتج Auta et al. (2017) إن بعض أنواع البكتيريا لها القدره على إفراز مركب هلامي خارجى يقوم بتنشيط الأنزيمات ألتى تعمل على تحفيز تحلل البلاستيك حيوياً. حيث تتم عملية التحلل

بالميكروبات بمجموعة من الخطوات وهي تكوين الغشاء الحيوي علي سطح الحبيبه البلاستيكيه ثم تبداء عملية التحل الحيوي لها ويليها عملية التجزئه البيولوجيه لحبيبة البلاستيك ثم عملية معدنه الكربون وإنبعاث النواتج النهائية مثل CO_2 وH_2O وCH_4. وأوصت العديد من الدراسات بإستخدام الكائنات الحية الدقيقه كحل بيئى ملائم وأقل تكلفة إقتصادية من غيره للتقليل من تركيز الملوثات البلاستيكيه مختلفة الأحجام بالبيئة المائية (Anjana et al., 2020).

شكل (7) يعطي فكرة عامه علي خطوات تحلل البلاستيك بما فيه MPs ألتي تم الإشارة إليها أعلاه وتقوم بها الكائنات الحية الدقيقه.



شكل 7. الخطوات العامه لتحلل MPs حيويا بواسطة الميكروبات، نقلاً عن Ali et al. (2021).

الخلاصة

الزيادة الرهيبه فى إنتاج وإستخدام البلاستيك أدى الى زيادة كمياته فى المخلفات المنزليه والصناعيه وكم كبير منه لايعاد تدويره و يصل لمكبات القمامه ومنها

للبيئات المختلفه وخاصة المائية. هذه الدراسة عرضت نتائج لبعض البحوث الحديثه التي درست MPs و التى تتولد من تحلل مخلفات البلاستيك المختلفه حراريا أو ضوئيا أو بيولوجيا أو تلك التى تستخدم فى بعض الصناعات فتُعد من اخطر الجسيمات البلاستيكيه والتى تصل للبيئة المائية من مصادر مختلفة وتزداد تراكما بها مع الزمن ومع وجود هذه المصادر وتكون متيسره للكائنات البحريه. فالكائنات البحريه تبتلع MPs وتدخل لإجسامها وتتراكم بها مسببة لها اضرار قد تصل لنفوق بعض الأنواع ومن ثم تتراكم بالسلسلة الغذائيه و تصل للكائنات البحريه الراقيه وللإنسان وتسبب له اضرار صحيه خطيره. لذلك تم التركيز على كيفية التقليل من مستويات ووجود MPs بالبيئة البحرية ومراقبة مصادر التلوث بالبلاستيك وإقتراح طرق المعالجه وتعد طريقة التحلل الحيوى بإستخدام بعض أنواع الكائنات الحية الدقيقه أكثر الطرق ألتي أثبتت كفأتها وقدرتها على تحليل البلاستيك باحجامه المختلفه طبقا لنتائج دراسات عمليه واعدة أجريت فى هذا المجال. واخيراً هناك ضروره ملحه لمزيد من الدراسات المسحية والأبحاث العملية لتقييم الوضع الراهن لتواجد وزياده تركيز MPs بالبيئة المائية وباقى البيئات بكوكبنا وإستكشاف وتطوير طرق معالجة التلوث به. وحاجة ملحة للتحكم فى ضخ مخلفات البلاستيك بما فيها من MPs للمسطحات المائية و تشجيع إعادة تدويره وإقتراح بدائل للبلاستيك للسيطرة علي الانفجار الهائل في إستخدامه.

المراجع

العود، رشيد محمد. قشوط، صالح محمد. سلامه، أحمد محمد ومسعود، فتحى عبدالعزيز.2015. النفايات البلاستيكية وآثارها على البيئة والإنسان والطرق الحديثة للإستفادة والتخلص منها. مجله علوم البحار والتقنيات البيئية. الجامعه الأسمريه: ليبيا. المجلد الاول. العدد الثانى. ص 45 - 57.

Ali, S.S., Elsamahy, T., Koutra, E. Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E., Zhu, D. and Sun, J., 2021. Degradation of conventional plastic wastes in the environment. A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of the Total Environment*, p.144719.

Alimba, C.G. and Faggio, C., 2019. Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental toxicology and pharmacology*, 68, pp.61-74.

Alomar, C., Estarellas, F. and Deudero, S., 2016. Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research*, 115, pp.1–10.

Amelia, T.S.M., Khalik, W.M.A.W.M., Ong, M.C., Shao, Y.T., Pan, H.J. and Bhubalan, K., 2021. Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem

and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), pp.1-26.

Andrady, A.L., 1990. Environmental degradation of plastics under land and marine exposure conditions. In *Proceedings of the Second International Conference on Marine Debris* (pp. 848-869). US Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS, NOAA4-SWFC-154 Honolulu, Hawaii.

Andrady, A.L. and Neal, M.A., 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), pp.1977-1984.

Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), pp.1596-1605.

Anjana, K., Hinduja, M., Sujitha, K. and Dharani, G., 2020. Review on plastic wastes in marine environment–Biodegradation and biotechnological solutions. *Marine Pollution Bulletin*, 150, p.110733.

Ashton, K., Holmes, L. and Turner, A., 2010. Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 60(11), pp.2050–2055.

Asmita, K., Shubhamsingh, T. and Tejashree, S., 2015. Isolation of plastic degrading microorganisms from soil samples collected at various locations in Mumbai, India. *International Research Journal of Environmental Sciences*, 4(3), pp.77–85.

Auta, H.S., Emenike, C.U. and Fauziah, S.H., 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment international*, 102, pp.165-176.

Baalkhuyur FM, Bin Dohaish EA, Elhalwagy MEA, Alikunhi NM, AlSuwailem AM, Røstad A, Coker DJ, Berumen ML. and Duarte CM., 2018. Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 131, pp.407-415.

Barletta, M., Lima, A.R.A. and Costa, M.F., 2019. Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. *Science of the Total Environment*, 651, pp.1199–1218.

Cai L, Wang J, Peng J, Wu Z. and Tan X., 2018. Observation of the degradation of three types of plastic pellets exposed to UV irradiation in three different environments. *Science of the Total Environment*, 628, pp.740–747.

Cho Y, Shim WJ, Jang M, Han GM, and Hong SH., 2019. Abundance and characteristics of microplastics in market bivalves from South Korea. *Environmental Pollution*, 245, pp.1107–1116.

De-la-Torre, G.E., 2020. Microplastics: an emerging threat to food security and human health. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), pp.1601-1608.

Derraik, J.G., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), pp.842-852.

Du, J., Zhou, Q., Li, H., Xu, S., Wang, C., Fu, L. and Tang, J., 2021. Environmental distribution, transport and ecotoxicity of microplastics: A review. *Journal of Applied Toxicology*, 41(1), pp.52-64.

Eubeler, J.P., Zok, S., Bernhard, M. and Knepper, T.P., 2009. Environmental biodegradation of synthetic polymers I. Test methodologies and procedures. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28(9), pp.1057–1072.

Frydkjær CK., Iversen N. and Roslev P., 2017. Ingestion and egestion of microplastics by the Cladoceran Daphnia magna: effects of regular and irregular shaped plastic and sorbed phenanthrene. *Bulletin Environmental Contamination Toxicology*, 99(6), pp.655–661.

Galloway, T.S., Cole, M. and Lewis, C., 2017. Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature Ecology & Evolution*, 1(5), pp. 1-8.

Gouin, T., Roche, N., Lohmann, R. and Hodges, G. A., 2011. Thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic. *Environmental Science & Technology*, 45, pp.1466–1472.

Green, D.S., 2016. Effects of microplastics on European flat oysters, Ostrea edulis and their associated benthic communities. *Environmental Pollution*, 216, pp.95–103.

Horton, A.A.; Walton, A.; Spurgeon, D.J.; Lahive, E. and Svendsen, C., 2017. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586, pp.127–141.

Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T. and Iwasaki, S., 2015. East Asian Seas: a hot spot for pelagic microplastics. *Marine Pollution Bulletin*. 101, pp.618–623.

Jayanthi, B., Agamuthu, P., Emenike, C.U. and Fauziah, S.H., 2014. Microplastic abundance in selected mangrove forests in Malaysia. Proceeding of the ASEAN *Conference on Science and Technology*, pp.1-5.

Kavya, A.N.L., Sundarrajan, S. and Ramakrishna, S., 2020. Identification and characterization of micro-plastics in the marine environment: A mini review. *Marine Pollution Bulletin*, 160, p.111704.

Lassen, C., Hansen, S.F., Magnusson, K. and Hartmann, N.B., 2015. Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. *Danish Environmental Protection Agency*. Available at:

https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2015/nov/rapport-om-mikroplast [Accessed 2 January 2021].

Li J, Green C, Reynolds A, Shi H. and Rotchell JM., 2018. Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom. *Environmental Pollution*, 241, pp.35–44.

Milološa, M., KučićGrgić, D., Bolanča, T., Ukić, Š., Cvetnić, M., Ocelić Bulatović, V., Dionysiou, D.D. and Kušić, H., 2021. Ecotoxicological Assessment of Microplastics in Freshwater Sources-A Review. *Water*, 13(1), p.56.

Mor, R. and Sivan, A., 2008. Biofilm formation and partial biodegradation of polystyrene by the actinomycetes Rhodococcusruber. *Biodegradation*, 19, pp.851–858.

Nerland, I.L., Halsband, C., Allan, I. and Thomas, K.V., 2014. Microplastics in marine environments: Occurrence, distribution and effects. Report SNO. Norwegian Institute for Water Research (NERI) for the Norwegian Environment Agency. Available at: https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/283879/6754- 2014_72dpi.sequence4 [Accessed 3 January 2021].

Nor, N.H.M. and Obbard, J.P., 2014. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1-2), pp.278–283.

Peng G, Xu P, Zhu B, Bai M. and Li D,.2018. Microplastics in freshwater river sediments in Shanghai, China: a case study of risk assessment in mega-cities. *Environmental Pollution*, 234, pp.448–456.

Pinheiro, L.M., do Sul, J.A.I. and Costa, M.F., 2020. Uptake and ingestion are the main pathways for microplastics to enter marine benthos: A review. *Food Webs*, p.e00150.

Plastics Europe, 2015. Plastics-the Facts 2015: An analysis of European Plastic Production, Demand and Waste Data. Brussels, Belgium.

Prokic, M.D.; Radovanovi´c, T.B.; Gavri´c, J.P. and Faggio, C. 2019. Ecotoxicological effects of microplastics: Examination of biomarkers, current state and future perspectives. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 111, pp. 37–46.

Qi, R., Jones, D.L., Li, Z., Liu, Q. and Yan, C., 2020. Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review. *Science of the Total Environment*, 703, p.134722.

Reddy, M.S., Basha, S., Adimurthy, S. and Ramachandraiah, G., 2006. Description of the small plastics fragments in marine sediments along the Alang-Sosiya ship-breaking yard, India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68(3-4), pp.656–660.

Rezania, S.; Park, J.; Din, M.F.M.; Taib, S.M.; Talaiekhozani, A.; Yadav, K.K. and Kamyab, H., 2018. Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies. *Marine Pollution Bulletin*, 133, pp.191–208.

Rummel, C.D., Löder, M.G.J., Fricke, N.F., Lang, T., Griebeler, E.M., Janke, M. and Gerdts, G., 2016. Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea. *Marine pollution bulletin*, 102(1), pp.134-141.

Saeed, T., Al-Jandal, N., Al-Mutairi, A. and Taqi, H., 2020. Microplastics in Kuwait marine environment: Results of first survey. *Marine Pollution Bulletin*, 152, p.110880.

Sana, S.S., Dogiparthi, L.K., Gangadhar, L., Chakravorty, A. and Abhishek, N., 2020. Effects of microplastics and nanoplastics on marine environment and human health. *Environmental Science and Pollution Research*, pp.1-14.

Singh, G., Singh, A.K. and Bhatt, K., 2016. Biodegradation of polyethylene by bacteria isolated from soil. *International Journal of Research and Development in Pharmacy and Life Sciences*, 5(2), pp.2056–2062.

Smith, S.D., 2012. Marine debris: a proximate threat to marine sustainability in Bootless Bay, Papua New Guinea. *Marine Pollution Bulletin*, 64(9), pp.1880–1883.

Teng, J., Wang, Q., Ran, W., Wu, D., Liu, Y., Sun, S., Liu, H., Cao, R. and Zhao, J., 2019. Microplastic in cultured oysters from different coastal areas of China. *Science of the Total Environment*, 653, pp.1282-1292.

Thompson, R.C., 2006. Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions. *Marine Nature Conservation in Europe*, 193, pp.107-115.

UNEP, 2015. Massive Online Open Course (MOOC) on Marine Litter, 2015. UNEP-University of the Netherlands, UNEP/GPML/ GPA/OU/GUPE. Available at: https://marinelittermooc.org/learn/marine-litter-mooc-october-2015[Accessed 15 January 2021].

Van Cauwenberghe L. and Janssen CR., 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, pp.65–70.

Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M.B. and Janssen, C.R., 2015. Microplastics are taken up by mussels (Mytilus edulis) and lugworms (Arenicola marina) living in natural habitats. *Environmental Pollution*, 199, pp.10–17.

Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B.D., van Franeker, J.A., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F. and Law, K.L., 2015. A global inventory of small floating

plastic debris. *Environmental Res*earch Letters, 10(12), p.124006.

Wright, S.L.; Thompson, R.C. and Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, pp.483–492.

Zhang, K., Hamidian, A.H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J.K., Wu, C. and Lam, P.K., 2021. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, p.116554.

Zhou, A., Zhang, Y., Xie, S., Chen, Y., Li, X., Wang, J. and Zou, J., 2021. Microplastics and their potential effects on the aquaculture systems: a critical review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), pp.719-733.