



REVIEW PAPER

# The Effects of Ocean Plastic Pollution on Marine Ecology

M. S. Zaman<sup>1,2,\*</sup>, Rakeen S. Zaman<sup>3</sup>, Robert C. Sizemore<sup>1</sup>, Ragib A. Khan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Biological Sciences, Alcorn State University, Lorman, MS 39076, USA

<sup>2</sup>Department of Biology, South Texas College, McAllen, TX 78501, USA

<sup>3</sup>Bagley College of Engineering, Mississippi State University, Starkville, MS 39762, USA

<sup>4</sup>Freelance Author and Researcher, Vienna, Austria, +43

\*Corresponding Author: M. S. Zaman

Corresponding Email: [zaman@alcorn.edu](mailto:zaman@alcorn.edu), [mzaman@southtexascollege.edu](mailto:mzaman@southtexascollege.edu)

Received: 12/15/2022 / Accepted: 1/22/2023

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7864063>

## ABSTRACT

The significant role of plastic in advancing human civilization is indisputable. Plastic products have become an essential part of human lives. On the other hand, discarded plastic products pollute the environment. Most of the plastic products are eventually returned to the environment as plastic wastes. Since plastic wastes are not easily biodegradable, they remain in the environment for a long period of time and pose a threat to the ecosystems. Data indicate that about 79% of the plastic ever produced, came back into the environment as waste. These wasted plastics immediately pollute the land and a substantial part of this eventually flows into the oceans through various routes. Currently, wasted plastic products represent about 70% of the total ocean pollutants and plastic debris have been associated with the deaths of over a million seabirds and about 100,000 marine animals every year. Plastic products are photodegradable and thus with the actions of sunlight and saltwater, ocean plastic debris break down into microplastics. Some of these microplastics resemble plankton, and thus they are being consumed by fish, shellfish, and various other marine organisms, and eventually enter the larger animals through the ocean food chain. Studies indicate that ingested microplastics may have disastrous impacts on marine fauna. Through the consumption of seafood, microplastics may potentially endanger human food safety and pose a threat to human health. Unfortunately, at present, due to lack of sufficient data, it isn't possible to determine the long-term effects of microplastic exposure on marine organisms or human health.

**Keywords:** Ocean plastic pollution, microplastic, plastics in pelagic organisms, ocean gyres, garbage patch.

**Cite this article as:** Zaman, M.S., Zaman, R.S., Sizemore, R.C., Khan, R.A. 2023, *The Effects of Ocean Plastic Pollution on Marine Ecology*, *Bangla J. Interdisciplinary Sci.*, 1 (2): 1-14.

## প্লাস্টিক দূষণ এবং সমুদ্রের পরিবেশের উপর তার অপ্রতিকূল প্রভাব

### সারাংশ

মানব সভ্যতার ক্রমবিকাশে প্লাস্টিকের ভূমিকা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। প্লাস্টিক সামগ্রী ক্রমশ আমাদের প্রাত্যহিক জীবন-যাত্রার একটা অপরিহার্য অংশে পরিণত হয়েছে। তবে প্লাস্টিকের দৈনন্দিন ও যথেষ্ট ব্যবহারের ফলে বিপুল পরিমাণ আবর্জনারও উৎপন্ন হয়। গবেষণায় দেখা গেছে, ব্যবহৃত প্লাস্টিক খুব অল্প পরিমাণই রিসাইক্লিং হয় এবং প্লাস্টিক সামগ্রীর প্রায় ৭৯ শতাংশই আবর্জনা হিসেবে আবার পরিবেশে ফিরে আসে। আর এই প্লাস্টিক আবর্জনার একটা বড় অংশ নানা উপায়ে ক্রমাগত সমুদ্রে পৌঁছে সমুদ্রকে দূষিত করে। সাম্প্রতিক কালে প্লাস্টিক-দূষণ আশঙ্কাজনকভাবে বৃদ্ধি পেয়েছে এবং তা চক্রবৃদ্ধি হারে বেড়েই চলেছে। প্লাস্টিক-দূষণের কারণে প্রতি বছর প্রায় দশ লক্ষ সামুদ্রিক প্রাণী এবং লক্ষাধিক অন্যান্য সামুদ্রিক প্রাণী মারা যাচ্ছে। সূর্যকিরণ এবং সমুদ্রের লবনাক্ত পানির প্রভাবে এই প্লাস্টিকগুলি ভেঙে ক্ষুদ্র মাইক্রোপ্লাস্টিকে (Microplastics) পরিণত হয়। ক্ষুদ্র মাইক্রোপ্লাস্টিক কণাগুলি প্লাঙ্কটনের (Plankton) মতো সমুদ্রের পানিতে ভাসতে থাকে। মাছসহ বিভিন্ন সামুদ্রিক প্রাণী কখনো কখনো এগুলো খেয়ে ফেলে। ফলে বিভিন্ন ধরনের সামুদ্রিক প্রাণীর মধ্যে উল্লেখযোগ্য পরিমাণে প্লাস্টিক ও মাইক্রোপ্লাস্টিক লক্ষ্য করা যায়। এই প্লাস্টিক এবং মাইক্রোপ্লাস্টিকগুলি সামুদ্রিক প্রাণীদের ক্ষেত্রে অত্যন্ত ক্ষতিকর। অন্যদিকে আমরা যখন জলজ প্রাণী (Seafood) খাদ্য হিসেবে ব্যবহার করি তখন এই মাইক্রোপ্লাস্টিক আমাদের শরীরে প্রবেশ করে; যা আমাদের স্বাস্থ্যের জন্য ক্ষতির কারণ হয়ে দাঁড়ায়। বর্তমানে আমাদের হাতে যথেষ্ট ডাটা না থাকার কারণে সামুদ্রিক প্রাণী এবং মানুষের স্বাস্থ্যের উপর মাইক্রোপ্লাস্টিকের প্রভাব সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব নয়। আলোচ্য গবেষণা-প্রবন্ধে সমুদ্রের পানিতে প্লাস্টিক দূষণের ভয়াবহতা এবং সামুদ্রিক প্রাণী ও পরিবেশের উপর তার প্রভাব নিয়ে আলোচনা করা হয়েছে।

মূল শব্দগুলি: সমুদ্রের প্লাস্টিক দূষণ, মাইক্রোপ্লাস্টিক, সামুদ্রিক প্রাণীর উপর প্লাস্টিকের প্রভাব এবং সমুদ্রের চক্রগতি।

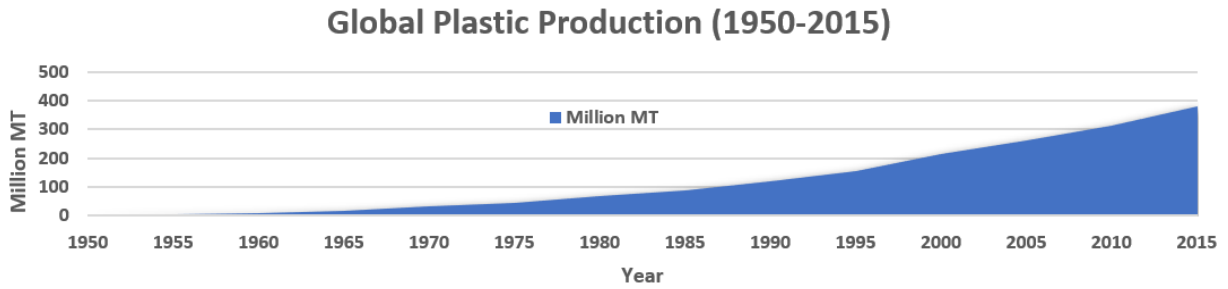
### ভূমিকা

প্লাস্টিক মূলত একটি সিনথেটিক কার্বন পলিমার যা একই ধরনের অণুর একটি লম্বা শৃঙ্খল সমন্বয়ে গঠিত। এই পলিমারসএর উদাহরণ পলিথিন, পলিভিনাইলক্লোরাইড (PVC), লাইলন ইত্যাদি। প্লাস্টিক শব্দটি একটি ল্যাটিন শব্দ 'Plasticus' এবং একটি গ্রিক শব্দ 'Plastikos' থেকে উদ্ভূত। এ দুটি শব্দেরই অর্থ হল যাকে আকৃতি দেয়া যায় (ACS,1993)। প্লাস্টিক একটি হালকা ও স্থিতিস্থাপক ক্ষমতাসম্পন্ন উপাদান। অর্থাৎ এই উপাদানটিকে না ভেঙেও প্রচণ্ড চাপ ও নিষ্পেষণের মাধ্যমে শুধু অবকাঠামোকে পরিবর্তন করা যায়। এভাবে এগুলিকে বিভিন্ন ছাঁচে (Mold) রূপ দিয়ে অসংখ্য নিত্য ব্যবহার্য পণ্য তৈরি করা সম্ভব। সহজলভ্য, স্বল্পমূল্য এবং বহুমুখী ব্যবহারের সুবিধার জন্য প্লাস্টিক একটি অত্যন্ত জনপ্রিয়

উপাদান; যার চাহিদা আমাদের জীবনের সর্বস্তরে অপরিসীম। পানির বোতল থেকে শুরু করে মহাকাশযানের মতো গুরুত্বপূর্ণ জিনিস তৈরির ক্ষেত্রেও এই উপাদানটির ব্যবহার অনস্বীকার্য।

ব্রিটিশ ধাতুবিদ্যা বিশারদ (Metallurgist) আলেকজান্ডার পার্কস (Alexander Parkes) ১৮৫৬ সালে প্লাস্টিক আবিষ্কার করেন এবং এর নাম দেন 'Parkesine'। ১৯০৭ সালে বেলজিয়ান-আমেরিকান বিজ্ঞানী লিও বেকল্যান্ড (Leo Baekeland) বাণিজ্যিকভাবে প্রথম প্লাস্টিক উৎপাদন করেন এবং এর নাম দেন 'বেকলাইট' (Bakelite) (Knight, 2014)। বেকলাইট আবিষ্কার প্লাস্টিক উৎপাদনে এক নতুন দিগন্তের উন্মোচন করে। বেকলাইট ছিল তাপ এবং বিদ্যুৎ প্রতিরোধক ক্ষমতা সম্পন্ন। এই বৈশিষ্ট্যের জন্য বেকলাইট প্রতিরক্ষা, বৈদ্যুতিক ও গাড়ির যন্ত্রপাতি উৎপাদনের ক্ষেত্রে বিপুল জনপ্রিয়তা অর্জন করেন (ACS, 1993)। বেকলাইটের উৎপাদন ছিল শ্রমসাধ্য (Knight, 2014), তাই এই উপাদানটির বিকল্প প্লাস্টিকের আবিষ্কারের পর বেকলাইটের চাহিদা অনেক কমে যায়। পর্যায়ক্রমে বিজ্ঞানীরা প্লাস্টিকের কতগুলো বহুল ব্যবহৃত বাণিজ্যিক উপাদান আবিষ্কার করেন। যেমনঃ পলিস্টেরিন, পলিয়েস্টার, পলিভিনাইলক্লোরাইড এবং লাইলন; যা যথাক্রমে ১৯২৯, ১৯৩০, ১৯৩৩ এবং ১৯৯৫ সালে আবিষ্কৃত হয় (Knight, 2014)।

স্বল্প উৎপাদন খরচ, বহুমুখী ব্যবহার এবং সহজলভ্যতার কারণে খুব অল্প সময়ের মধ্যেই প্লাস্টিক পণ্য আমাদের জীবনের নিত্য সঙ্গী হয়ে উঠে। ১৯৫০ সালে বিশ্বব্যাপী প্লাস্টিক পণ্য উৎপাদনের পরিমাণ ছিল প্রায় দুই মিলিয়ন মেট্রিক টন। পরবর্তী কয়েক দশকে প্লাস্টিক ইন্ডাস্ট্রি ব্যাপক প্রসার লাভ করে এবং ২০১৫ সালে প্লাস্টিক উৎপাদন বেড়ে ৩৮১ মিলিয়ন মেট্রিক টনে পৌঁছে যায় (Geyer et al. 2017; Ritchie and Roser, 2018) (Figure 1)।



**Figure 1:** Global plastic production from 1950-2015 (Credit: Ritchie and Roser, 2018; Zaman et al., 2020).

এ পর্যন্ত পৃথিবীব্যাপী প্রায় ৮.৩ বিলিয়ন মেট্রিক টন প্লাস্টিক পণ্য উৎপাদিত হয়েছে; তা থেকে ৭৯% প্লাস্টিক সামগ্রী আবর্জনার সাথে মিশে সরাসরি পরিবেশে যুক্ত হয়েছে (Rhodes, 2018)। এর ফলে পরিবেশ দূষণের ক্ষেত্রে প্লাস্টিক একটি মূল সমস্যা হয়ে বিশ্বের বিভিন্ন ইকোসিস্টেমের জন্য বিপদজনক হয়ে উঠেছে। বিজ্ঞানীরা মানুষের স্বাস্থ্যের উপর প্লাস্টিকের বিরূপ প্রতিক্রিয়া সম্পর্কে চিন্তিত, তবে প্লাস্টিকের প্রভাবে স্বাস্থ্যগত বিরূপ প্রতিক্রিয়া সম্পর্কে তাঁরা এখনো পুরোপুরি নিশ্চিত হতে পারেননি। এই গবেষণা পত্রে মূলত সমুদ্রের প্লাস্টিক দূষণের বিভিন্ন দিক এবং পরিবেশের উপর এর প্রতিক্রিয়া সম্পর্কে অনুসন্ধান করা হয়েছে।

## পরিবেশে প্লাস্টিকের অবস্থান

প্লাস্টিকের ব্যাপক ব্যবহারের কারণে পরিবেশে প্লাস্টিক-দূষণ চক্রবৃদ্ধি হারে বাড়ছে এবং এটি বর্তমানে মানব সভ্যতার জন্য একটি অন্যতম চ্যালেঞ্জ হয়ে দাঁড়িয়েছে। Geyer, 2017-এর রিপোর্ট অনুসারে এ পর্যন্ত সমস্ত প্লাস্টিক উৎপাদনের মাত্র ৩০ শতাংশ রিসাইক্লিং বা পুনর্ব্যবহার করা হয়েছে। আর বেশীর ভাগটিই আবর্জনা হিসেবে পরিবেশে মিশেছে। Rhodes, 2018 রিপোর্ট থেকে জানা যায় যে, পৃথিবীতে এ পর্যন্ত যে ৮.৩ বিলিয়ন মেট্রিক টন প্লাস্টিকের উৎপাদন হয়েছে এবং তা থেকে ১৯৫০ সাল থেকে ২০১৫ সালের মধ্যে ৬.৩ বিলিয়ন মেট্রিক টন প্লাস্টিক বর্জ্য পরিবেশে চুকেছে, ৯ শতাংশ রিসাইক্লিং হয়েছে, ১২ শতাংশ পোড়ানো (Incinerate) হয়েছে এবং ৭৯ শতাংশ সরাসরি পৃথিবীর পরিবেশে আবর্জনা হিসেবে প্রবেশ করেছে।

বিশ শতকের সত্তরের দশকেই বিজ্ঞানীরা প্লাস্টিক দূষণের সমস্যার ব্যাপারে বিশ্ববাসীকে সাবধান করেন। কিন্তু দুঃখের বিষয় হলো, তা যথাযথ গুরুত্বের সাথে মানুষ গ্রহণ করেনি। তবে সম্প্রতি লক্ষ্য করা যাচ্ছে যে, বিশ্ববাসী এ সমস্যাতে গুরুত্বের সাথে বিবেচনা করছেন। প্রমাণ স্বরূপ বলা যায়, গত পাঁচ বছরে প্লাস্টিক-দূষণের উপর যে পরিমাণ গবেষণাপত্র প্রকাশিত হয়েছে, তার পরিমাণ বিগত ৫০ বছরে প্রকাশিত গবেষণাপত্রের চেয়ে অনেক বেশি (Cirino, 2019)।

এটা এখন প্রতীত সত্য যে, প্লাস্টিকের কারণে সমুদ্র প্রতিনিয়ত দূষিত হচ্ছে। প্লাস্টিক দূষণের মাত্রা এভাবে চলতে থাকলে, প্রতি বছরে ৪.৮ থেকে ১২.৭ মিলিয়ন মেট্রিক টন প্লাস্টিক সমুদ্রের পানিকে দূষিত করবে। এটি স্বাভাবিক যে, ধনী দেশগুলি এবং অধিক জনসংখ্যা অধ্যুষিত দেশগুলি থেকে সমুদ্রের এই প্লাস্টিক দূষণ সবচেয়ে বেশি হারে হচ্ছে। যদিও কিছু কিছু দেশ এই সমস্যা সমাধানে প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা নিয়েছে, তবুও প্লাস্টিক বর্জ্য নদী বা সমুদ্রগুলিতে প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যাচ্ছে।

২০১০ সালের ডাটা থেকে দেখা গেছে, চীন পৃথিবীতে সবচেয়ে বেশি প্লাস্টিক উৎপাদন করছে। দেশটি বছরে গড়ে ৫৯.৮ মিলিয়ন মেট্রিক টন প্লাস্টিক উৎপাদন করে। যুক্তরাষ্ট্র পৃথিবীর দ্বিতীয় বৃহত্তম প্লাস্টিক উৎপাদনকারী দেশ। তারা বছরে উৎপাদন করে ৩৭.৮৩ মিলিয়ন মেট্রিক টন। প্লাস্টিক উৎপাদনে তিন থেকে দশতম দেশগুলি যথা জার্মানি, ব্রাজিল, জাপান, পাকিস্তান, নাইজেরিয়া, রাশিয়া, তুরস্ক এবং মিশর (Dorger, 2019)। ২০১৮ সালের এক গবেষণায় দেখা গেছে সাম্প্রতিক প্লাস্টিক-দূষণের ক্ষেত্রে পাঁচটি শীর্ষ স্থানীয় দেশ হলো - চীন, ইন্দোনেশিয়া, ফিলিপাইন, ভিয়েতনাম এবং শ্রীলংকা। সমস্ত পৃথিবীর প্লাস্টিক দূষণের ৫৬ শতাংশই উল্লিখিত এই পাঁচটি দেশ থেকে হয়েছে (Rhodes, 2018)।

## সমুদ্রের প্লাস্টিক দূষণ

সমুদ্রের প্লাস্টিক দূষণের সমস্যাটি এখন প্রায় সর্বজন স্বীকৃত। ইংল্যান্ডের UK Government Office for Science থেকে প্রকাশিত এক রিপোর্ট অনুযায়ী সমুদ্রগুলির দূষণের পিছনে ৭০ শতাংশ কারণ এই প্লাস্টিক আবর্জনা (Thompson, 2017)। এই আবর্জনার মূল উৎস সমুদ্রের উপকূলবর্তী এলাকাগুলি। কেননা খালি প্লাস্টিক বোতল, বিভিন্ন ধরনের খেলনা, মাছ ধরার যন্ত্রপাতি সহ অন্যান্য প্লাস্টিক উপাদান সমুদ্রের উপকূলগুলির যত্রতত্র ছড়িয়ে ছিটিয়ে থাকতে দেখা যায়। সেখান থেকেই প্লাস্টিকগুলি সমুদ্রের বিভিন্ন অংশে প্রায় ৫০ কিলোমিটার পর্যন্ত ছড়িয়ে পড়ে (Ritche and Roser, 2018)।

মাছ ধরার পরিত্যক্ত জালগুলিতে বিভিন্ন ধরনের সামুদ্রিক পাখি ও সামুদ্রিক প্রাণী আটকা পড়ে। এ সময় প্লাস্টিক খেয়ে ফেলার কারণে প্রচুর পরিমাণে সামুদ্রিক পাখি ও অন্যান্য প্রাণীর জীবনাবসান ঘটে। ফলে পরিবেশ ক্রমশই আরো বেশি দূষিত হতে থাকে (Wilcox et al., 2015; Bjorndal et al.1994; Brandao et al., 2011; Browne et al., 2008 and 2011; Choy and Drazen,2013; Davidson and Asch, 2011; Rothstein,1973; Jacobson et al., 2010; Fry et al.1987)। Erikson et al., 2014 এর তথ্য অনুসারে সমুদ্রের পানিতে প্রায় ৫ ট্রিলিয়ন প্লাস্টিক উপাদান ভাসমান অবস্থায় থাকে; যার ওজন প্রায় ২৫০,০০০ টন। এ বিপুল পরিমাণ প্লাস্টিক দূষণের বিষয়টি বিশ শতকের সত্তরের দশকে সবার নজরে আসতে শুরু করে (Law, 2017), ফলে সমুদ্রের পানি-দূষণ সংক্রান্ত সমস্যাটির প্রত্যক্ষ ক্ষতিকর প্রভাব সম্পর্কে বিজ্ঞানীদের পাশাপাশি সাধারণ মানুষও দ্রুত সচেতন হয়ে উঠতে থাকে। বস্তুত, সমুদ্রের সব ধরনের এলাকায়ই প্লাস্টিক আবর্জনা পাওয়া গেছে (Choy et al., 2019) যা সমুদ্রের পানি দূষণের বিশাল ব্যাপ্তিকেই প্রমাণ করে।

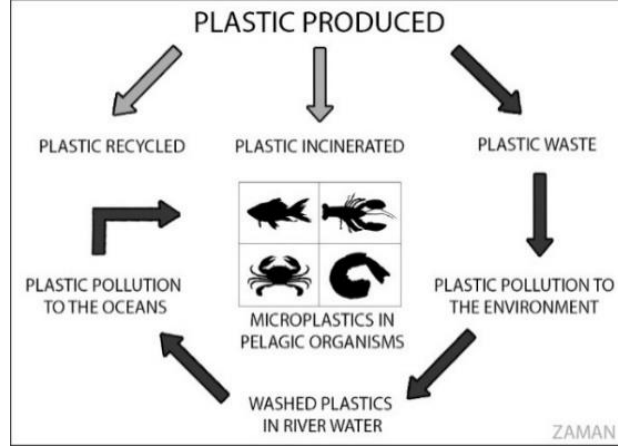
### প্লাস্টিক কিভাবে সমুদ্রে প্রবেশ করে?

ব্যবহৃত প্লাস্টিককে খুব অল্প পরিমাণই রিসাইক্লিং করা হয়। উৎপাদিত প্লাস্টিক সামগ্রীর প্রায় ৫০ শতাংশ মাত্র একবার ব্যবহার করে ডাস্টবিনে ফেলা হয় (Sloactive, 2019), আর আবর্জনার সাথে মিশ্রিত এই প্লাস্টিকের অধিকাংশই ময়লা ফেলার এলাকায় জমা হয় এবং ক্রমশ পরিবেশে ছড়িয়ে পড়ে। অন্যান্য গবেষণা থেকে জানা যায়, শুধু ২০১০ সালেই ২৭৫ মিলিয়ন মেট্রিক টন প্লাস্টিক আবর্জনা ১৯২টি সমুদ্র উপকূলীয় দেশে তৈরি হয়েছে; যা থেকে প্রায় ৪.৮-১২.৭ মিলিয়ন মেট্রিক টন সমুদ্রে প্রবেশ করেছে (Jambeck et al., 2015)। Parker, 2016 এর গবেষণায় বিজ্ঞানীরা ভবিষ্যৎবাণী করেছেন যে, ২০২৫ সাল পর্যন্ত প্রতি বৎসর প্রায় ১৫৫ মিলিয়ন মেট্রিক টন প্লাস্টিক আবর্জনা সমুদ্রে প্রবেশ করবে। ২০১৫ সালের একটি গবেষণায় দেখা গেছে ঐ ধরনের অবাছাইকৃত প্লাস্টিকের পরিমাণ ছিল ৬০ থেকে ৯৯ মিলিয়ন মেট্রিক টন (Lebreton and Andrady, 2019)।

প্লাস্টিক আবর্জনা দ্বারা সমুদ্রের পানি দূষিত হওয়ার শতকরা ২০ ভাগ উপাদান সামুদ্রিক উৎস, যেমন: মাছ ধরার পরিত্যক্ত জাল, মাছ ধরার যন্ত্রপাতির অংশ ও অন্যান্য সামগ্রী থেকে আসে। অবশিষ্ট আশি ভাগের উৎস পৃথিবীর স্থলভাগ। নদীগুলি এই প্লাস্টিক আবর্জনা সমুদ্রে বয়ে নিয়ে যায় (Sloactive, 2019)। আরেকটি গবেষণায় দেখা গেছে যে, প্রতি বৎসর নদীগুলি ১.১৫ থেকে ২.৪১ মিলিয়ন মেট্রিক টন প্লাস্টিক আবর্জনা সমুদ্রে বয়ে নিয়ে যায় (Figure 2)।

এই প্লাস্টিক আবর্জনা জনিত দূষণের ৬৭ শতাংশ এশিয়ার বৃহত্তম নদীগুলির মাধ্যমে ঘটে (Leberon, 2017)। এখানে উল্লেখ্য, নদীর পানির প্লাস্টিক আবর্জনার দ্বারা কী পরিমাণ সমুদ্রের পানি দূষিত হয়, তা নির্ণয় করতে হলে প্রথমে নদীর পানির দূষণের পরিমাণ নির্ণয় প্রয়োজন। দুঃখজনক হলেও সত্য যে, সমুদ্রে প্লাস্টিক আবর্জনার উৎস নিয়ে যে পরিমাণ গবেষণা হয়েছে, তার তুলনায় প্লাস্টিক আবর্জনা দ্বারা মিঠা পানি কী পরিমাণ দূষিত হয় তার উপর তেমন গবেষণা হয়নি। প্লাস্টিক আবর্জনা দূষিত নদীগুলির আধিকাংশ এশিয়াতে অবস্থিত হলেও প্লাস্টিক দূষণের উপর যেসব গবেষণা হয়েছে, তার মাত্র ১৪ শতাংশ হয়েছে নদীগুলির দূষণ প্রক্রিয়ার উপর (Blettler et al., 2018)। আমরা মনে করি, পৃথিবীর অধিক দূষিত

নদীগুলির উপর আরো অনেক বেশি গবেষণা হওয়া প্রয়োজন; বিশেষত বিশ্বের উন্নয়নশীল দেশগুলিতে, যেখানে কল-কারখানা দ্রুত বিকশিত হচ্ছে, সমুদ্রের প্লাস্টিক দূষণে তার যথার্থ অবস্থা নির্ণয় করা অত্যন্ত জরুরী। এভাবেই আমরা সুস্থ, সুন্দর, বাসযোগ্য পৃথিবী বিনির্মাণে সফল হব।



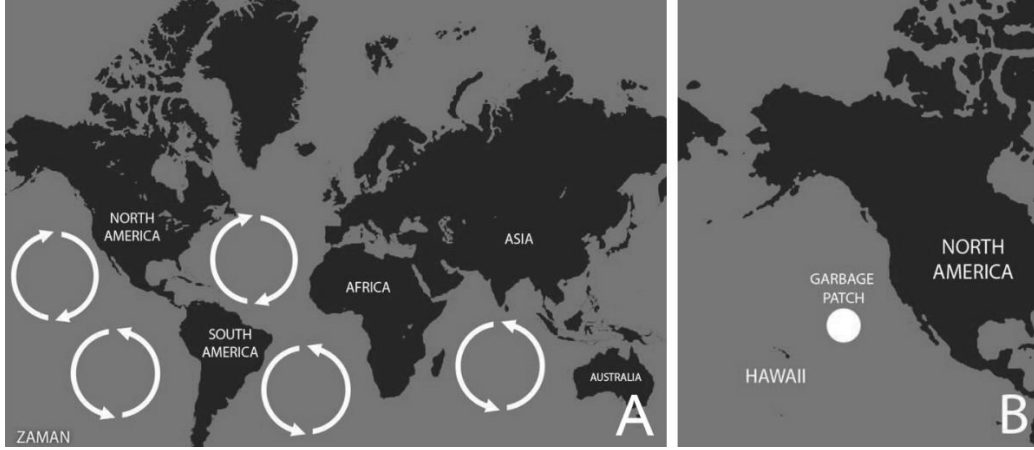
**Figure 2:** Figure showing how plastics pollute the oceans and bioaccumulate in marine organisms.

### সমুদ্রের ঘূর্ণিপ্রোত, প্লাস্টিক আবর্জনার স্তূপ ও দি গ্রেট প্যাসিফিক প্যাচ

পৃথিবীর আবর্তন, বাতাসের প্রকৃতি এবং সমুদ্রের চারপাশের স্থলভাগগুলির অবস্থিতির কারণে সমুদ্রে শক্তিশালী ঘূর্ণিপ্রোতের (Gyre) উৎপত্তি হয়। এই প্রোতগুলির গভীরতা কয়েকশ মিটার থেকে, কয়েক কিলোমিটার পর্যন্ত হতে পারে (National Geographic, 2019)। উত্তর গোলার্ধে ঘূর্ণিপ্রোত গুলি ঘড়ির কাটার গতির দিকে এবং দক্ষিণ গোলার্ধে ঘড়ির কাটার গতির উল্টো দিকে ঘুরে। ঘূর্ণিপ্রোতগুলির কারণে সমুদ্রে সচল কনভেয়ার বেল্টের (Conveyer Belt) উৎপত্তি হয়, যার মাধ্যমে প্লাস্টিক বর্জ্যগুলির গতি সচল থাকে। পাঁচটি শক্তিশালী ঘূর্ণিপ্রোতের অবস্থান উত্তর আটলান্টিকে, দক্ষিণ আটলান্টিকে, উত্তর প্যাসিফিকে, দক্ষিণ প্যাসিফিকে এবং ভারত মহাসাগরে (Figure 3A)। এগুলি, The North Pacific Subtropical Gyre, The South Pacific Subtropical Gyre, The North Atlantic Subtropical Gyre, The South Atlantic Subtropical Gyre, and The Indian Ocean Subtropical Gyre (NOAA, 2019) নামে পরিচিত। এই বিশাল প্রোতগুলির পাশাপাশি প্যাসিফিক, আটলান্টিক এবং ভারত মহাসাগরে বেশ কিছু ক্ষুদ্র ঘূর্ণিপ্রোত আছে। সমুদ্রে ভাসমান আবর্জনাগুলি সময়ের আবর্তনে ঐ প্রোতগুলির মধ্যে জমতে থাকে এবং ক্রমশ বড় হতে হতে একটা বিশাল স্তূপে পরিণত হয়।

১৯৯৭ সালে ক্যাপ্টেন চার্লস মুর (Charles Moore) সমুদ্রে ভাসমান সবচেয়ে বড় প্লাস্টিক আবর্জনা স্তূপটি আবিষ্কার করেন, যা দি গ্রেট প্যাসিফিক প্যাচ (The Great Pacific Patch) নামে পরিচিত (Parker, 2018)। এই আবর্জনার স্তূপটি ৬০০,০০০ বর্গ মাইল এলাকা নিয়ে অবস্থিত। এটা North-Central Pacific Ocean-এ হাওয়াই এবং কালিফোর্নিয়ার মাঝখানে অবস্থিত (Sharma and Polan, 2018) (Figure 3B)। ধারণা করা হয়, এ স্তূপটিতে ১.৮ ট্রিলিয়ন টুকরা প্লাস্টিক আছে। এর প্রায় অর্ধেক মাছ ধরার জালের প্লাস্টিক

এবং মাছ ধরার যন্ত্রপাতির অংশ; যা সেখানে ক্রমাগত জমা হচ্ছে। অবশিষ্ট অংশটি তৈরি হয়েছে অন্যান্য উৎস থেকে আগত প্লাস্টিক টুকরার সম্মিলনে। গত ৭০ বছর ধরে এই আবর্জনার স্তপ চক্রবৃদ্ধি হারে বড় হচ্ছে (Sharma and Polan, 2018)। ২০১৫ সালের এক রিপোর্টে বলা হয় দি গ্রেট প্যাসিফিক প্যাচ ১৫-৫১ ট্রিলিয়ন প্লাস্টিক টুকরার স্তুপে পরিণত হতে পারে, যার ওজন হবে প্রায় ৯৩-২৩৬ হাজার মেট্রিক টন (von Sebille et al., 2015)। চিত্রের মাধ্যমে ঘূর্ণিপ্রোত (Figure 3A) এবং দি গ্রেট প্যাসিফিক প্যাচের (Figure 3B) অবস্থান দেখানো হলো:



**Figure 3:** (A) The five major Gyres in the oceans, (B) The Great Pacific Garbage Patch, located between California and Hawaii.

### সামুদ্রিক ইকোলজির উপর প্লাস্টিকের প্রভাব

সামুদ্রিক পরিবেশের উপর প্লাস্টিক দূষণের বিরূপ প্রতিক্রিয়া সম্পর্কে আমাদের জানার পরিধি এখনো সীমাবদ্ধ। তবে এখন পর্যন্ত জানা তথ্যের উপর ভিত্তি করে আমরা বলতে পারি যে, যেহেতু প্লাস্টিক দূষণ সামুদ্রিক প্রাণীদের উপর অত্যন্ত ক্ষতিকর প্রভাব ফেলে, স্বভাবতই সামুদ্রিক ইকোলজির উপরও এর ক্ষতিকর প্রভাব লক্ষ্য করা যায় (Rothstein, 1973; Boerger, 2010; Murray and Cowie, 2011; Lusher et al., 2012; Vandermeersch et al., 2015; Wilcox et al., 2015; Lamb et al., 2018; Cirino, 2019)।

১৯৭৩ সালে ১৩৫ প্রকার সামুদ্রিক পাখির উপর এক গবেষণায় দেখা গেছে প্রায় ৯০ শতাংশ পাখিই এই প্লাস্টিক আবর্জনা আহার হিসেবে গ্রহণ করেছে (Rothstein, 1973)। এই গবেষণায় আরো বলা হয়, যদি এখনই আমরা সমুদ্রে প্লাস্টিক দূষণকে নিয়ন্ত্রণ করতে যথাযথ উদ্যোগ না নেই, তবে, ২০৫০ সালের মধ্যে পাখিদের নানা সমস্যায় আক্রান্ত হওয়ার সংখ্যা ৯৯ শতাংশে পৌঁছাবে (Cirino, 2019; Wilcox et al., 2015)। ইউনেস্কোর (UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) এক গবেষণায় বলা হয়ে, এই প্লাস্টিক দূষণের কারণে প্রায় দশ লক্ষ সামুদ্রিক পাখি এবং এক লক্ষ (১০০,০০০) সামুদ্রিক প্রাণী প্রতি বছর মারা যায় (UNESCO, 2017)। সামুদ্রিক প্রাণী কীভাবে প্লাস্টিক দ্বারা ক্ষতিগ্রস্ত হয় চিত্রে তা দেখানো হলো (Figure 4)।

Lamb et al., 2018 এর গবেষণায় বলা হয়েছে, প্লাস্টিক আবর্জনা থেকে নানা ধরণের অণুজীবের উদ্ভব হতে পারে এবং তা থেকে সমুদ্রের নিচের প্রবাল-প্রাচীরে নানা ধরণের রোগের সৃষ্টি হতে পারে এবং এর প্রবৃদ্ধি ৪ শতাংশ থেকে ৮৯ শতাংশে পৌঁছাতে পারে। এই গবেষণায় আরো বলা হয়, এশিয়া-প্যাসিফিকের প্রবাল প্রাচীরে প্রায় ১১ বিলিয়ন প্লাস্টিক খন্ড রয়েছে এবং ২০২৫ সালের মধ্যে এই সংখ্যা আরো ৪০ শতাংশ বেড়ে যেতে পারে।



**Figure 4:** Plastic pollution affecting the lives of marine creatures (Credit: Getty images, <https://www.gettyimages.com/photos/sea-pollution>).

প্লাস্টিক একটি ফটোডিগ্রেডেবল (Photodegradable) উপাদান এবং এগুলি পানির লবনাক্ততা ও সূর্য কিরণের কারণে ভেঙে গিয়ে মাইক্রোপ্লাস্টিকে পরিণত হয়। এই মাইক্রোপ্লাস্টিকগুলি আকারে ৫ মিলিমিটারের চেয়ে ছোট (Vandermeersch et al., 2015)।

সমুদ্রে মাইক্রোপ্লাস্টিকের বিস্তারণ নির্ভর করে প্লাস্টিক উপাদানগুলির আকার এবং ঘনত্বের উপর। হালকা উপাদানগুলি সমুদ্রের পানিতে ভাসতে থাকে, অন্যদিকে ভারি উপাদানগুলি সমুদ্রের পানির নিচে তলিয়ে গিয়ে পানির বিভিন্ন স্তরে এবং সমুদ্রের তলদেশে অবস্থান করে। তাছাড়া সামুদ্রিক প্রাণীর মধ্যে মাইক্রোপ্লাস্টিকের বায়োএকুমিলেশন (Bioaccumulation) হওয়ার কারণে সমুদ্রের পানির কলামে তাদের পুনর্বিন্യാস ঘটে (Clark et al., 2016)। Monterey Bay pelagic ecosystem-এর উপর একটি গবেষণায় দেখা গেছে যে, উন্মুক্ত সাগরের প্রায় সর্বত্র ২০০ থেকে ৬০০ মিটার গভীরতা পর্যন্ত মাইক্রোপ্লাস্টিকের অবস্থান। ধারণা করা হয়, গভীর সমুদ্রের পানির কলাম ও প্রানিকুলের মধ্যে সবচেয়ে বেশি মাইক্রোপ্লাস্টিক জমা হয়েছে। ফলে দেখা যাচ্ছে যে, সামুদ্রিক পরিবেশে অসংখ্য মাইক্রোপ্লাস্টিক ছড়িয়ে আছে এবং তা ধীরে ধীরে বাড়ছে। এই মাইক্রোপ্লাস্টিককে সমুদ্রের বিচ সেডিমেন্ট থেকে শুরু করে ১,১০০ থেকে ৫,০০০ মিটার গভীরতায় সমুদ্রের তলদেশের সেডিমেন্টে শনাক্ত করা হয়েছে (von Cauwenberghe et al., 2013; Qie et al., 2015; Clark et al., 2016)। এমনকি এই মাইক্রোপ্লাস্টিককে মেরুপ্রান্তের বরফের মধ্যেও শনাক্ত করা



হয়েছে (Obbard et al., 2014)। সমুদ্রের শক্তিশালী ঘূর্ণিঝোতের (Gyre) মধ্যেও বিশাল পরিমাণ মাইক্রোপ্লাস্টিক জমা আছে (van Sebille et al., 2015)।

মাইক্রোপ্লাস্টিকের বিস্তারণ প্রক্রিয়া এবং মানবদেহে ও অন্যান্য প্রাণীতে তাদের দীর্ঘমেয়াদি বিরূপ ফিজিওলজিক্যাল প্রতিক্রিয়া সম্পর্কে সঠিক সিদ্ধান্তে আসার জন্য এখন পর্যন্ত পর্যাপ্ত পরিমাণে তথ্য আমাদের হাতে নেই। তবে বিজ্ঞানীরা এই বিষয়ে গবেষণা করে চলেছেন। মাইক্রোপ্লাস্টিক সামুদ্রিক ‘ফুড ওয়েব’ এর মাধ্যমে সামুদ্রিক প্রাণিকুলের দেহে প্রবেশ করে। সামুদ্রিক প্রাণীরা অনেক সময় ভাসমান মাইক্রোপ্লাস্টিককে জলজ প্লাঙ্কটন মনে করে খেয়ে ফেলে। অনুপ্রবেশকারী মাইক্রোপ্লাস্টিক, সামুদ্রিক প্রাণীর দেহে প্রদাহ (Inflammation), স্বল্প কর্মক্ষমতা বা এনার্জি স্বল্পতা (Low energy), প্রজনন জটিলতা (Reproductive complications) সহ নানা ধরনের সমস্যার সৃষ্টি করতে পারে (Wright et al., 2013; Nelms et al., 2015; Wilcox et al., 2015)। বেশ কিছু গবেষণায় মাছ, জুপ্লাঙ্কটন (Zooplankton), মলাস্কস (Mollusks), এবং ক্রাস্টেসিয়ান (Crustaceans) এর মধ্যেও মাইক্রোপ্লাস্টিক পাওয়া গেছে (Vandermeersch et al., 2015; Boerger, 2010; Lusher et al., 2012; Murry and Cowie, 2011)। সুতরাং, যেসব অসংখ্য সামুদ্রিক মাছ ও প্রাণী আমরা খাদ্য হিসেবে গ্রহণ করি সেগুলি বানিজ্যিকভাবে বাজারে আসছে এবং মানুষের খাদ্য হিসেবে বিক্রয় হচ্ছে। Seafood-এ মাইক্রোপ্লাস্টিকের উপস্থিতি আমাদের স্বাস্থ্যের জন্য কতটা ক্ষতিকারক হতে পারে, তা নির্ণয় করার জন্য এখন পর্যন্ত আমাদের হাতে পর্যাপ্ত ডাটা নেই (Clark et al., 2016)।

## আলোচনা এবং উপসংহার

বর্তমানে পৃথিবীর জনসংখ্যা ৭.৫ বিলিয়ন এবং এই সংখ্যা দ্রুত বেড়ে চলেছে। এই অবস্থায় আমরা এই ভবিষ্যৎবাণী করতে পারি যে, পৃথিবীর জনসংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে প্লাস্টিক পণ্যের চাহিদাও বাড়বে, এবং এই চাহিদা বৃদ্ধির কারণে প্লাস্টিকের উৎপাদনও বাড়বে। ফলে প্লাস্টিক আবর্জনার পরিমাণও বাড়বে। উপযুক্ত রিসাইক্লিং পদ্ধতির বাস্তবায়ন না হলে এই বিশাল প্লাস্টিক আবর্জনা পরিমাণ বাড়তেই থাকবে এবং স্থল এবং জলজ ইকোসিস্টেমের ক্ষেত্রেও সমস্যা বেড়েই চলবে। বর্তমানে UNEP (United Nations Environmental program) প্লাস্টিক দূষণের এই সমস্যাটিকে গুরুত্বের সাথে গ্রহণ করেছে এবং এ সম্পর্কে কিছু কর্মসূচিও প্রণয়ন করেছে। এগুলি হলো জনগনকে সচেতন করে তোলা এবং আবর্জনা সমস্যার মোকাবেলা ব্যবস্থাপনায় প্রতিটি দেশের সরকারকে আরো সক্রিয় করে তোলা (UNEP, 2016)।

প্লাস্টিক আবর্জনার এই বিরূপ প্রতিক্রিয়া সত্ত্বেও আমরা প্লাস্টিক বিহীন জীবনযাত্রা চিন্তা করতে পারি না। কারণ প্লাস্টিক ব্যবহারের অনেকগুলি ভাল দিকও আছে। যেমন: প্লাস্টিকের বহুমুখী ব্যবহার এবং স্বল্প উৎপাদন খরচ, হালকা ওজন এবং নমনীয়তার কারণে প্লাস্টিককে সহজেই বিভিন্ন আকৃতিতে রূপান্তরিত করা যায়। ফলে প্যাকেজিং, ইলেকট্রনিকস, চিকিৎসা যন্ত্রাদি, স্বয়ংক্রিয় প্রযুক্তি, এবং প্রাত্যাহিক জীবনের প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদি উৎপাদনে প্লাস্টিকের বিপুল চাহিদা রয়েছে। তাছাড়া প্লাস্টিক উৎপাদনে তুলনামূলকভাবে কম এনার্জি দরকার হয়, যার কারণে প্রকৃতিতে কার্বনের নির্গমনও কম হয় (UNESCO, 2017)।

প্লাস্টিক দূষণ কমানো অবশ্যই একটি কঠিন কাজ, কিন্তু অসম্ভব নয়। আমাদেরকে প্লাস্টিক সামগ্রীর অপব্যবহারের ব্যাপারে সচেতন হতে হবে, ব্যবহৃত প্লাস্টিক সামগ্রীর রিসাইক্লিং করতে হবে, এবং

প্লাস্টিকের উৎপাদন কমাতে হবে। এই উদ্যোগটি সক্রিয়ভাবে বাস্তবায়ন করা গেলে প্লাস্টিক আবর্জনাকে হ্রাস করা যাবে এবং দূষণকে কমানো যাবে। বর্তমানে নরওয়ে, সুইজারল্যান্ডসহ বেশ কিছু ইউরোপিয়ান দেশে প্রায় ৮০ শতাংশ ব্যবহৃত প্লাস্টিকের রিসাইক্লিং হচ্ছে (UNESCO, 2017); যেখানে সারা বিশ্বে রিসাইক্লিং এর হার মাত্র ৯ শতাংশ (Rhodes, 2018)। এছাড়া কিছু বিকল্প সম্ভাবনার কথাও আমাদেরকে গুরুত্ব দিয়ে ভাবতে হবে, যেমন বায়োডিগ্রেডেবল (Biodegradable) প্যাকিং উপাদান তৈরি করা, যা প্লাস্টিকের বিকল্প হিসেবে বায়োপ্লাস্টিক (Bioplastiks) অথবা বায়োডিগ্রেডেবল পলিমারকে (Biodegradable polymers) অন্তর্ভুক্ত করবে (Reddy et al, 2013; Luckachan and Pillai, 2011; Jabeen et al., 2015)। এই প্রক্রিয়া শুরুর পর্যায়ে উৎপাদিত পণ্যের অপার্যুত সরবরাহ বা উচ্চ মূল্যের কারণে আমাদের হয়ত বেশ কিছু সমস্যার সম্মুখীন হতে হবে, কিন্তু সময়ের পরিবর্তনে উৎপাদন ও সরবরাহ বেড়ে গেলে এই সমস্যাগুলি থেকে আমরা সহজেই বের হয়ে আসতে পারব। এখানে উল্লেখ্য যে সম্প্রতি বাংলাদেশের বিজ্ঞানীরা পাট থেকে একটি ন্যাচারাল ফাইবার কম্পোজিট তৈরি করেছেন। এই বায়োডিগ্রেডেবল কম্পোজিট দিয়ে তৈরী ব্যাগ (সোনালী ব্যাগ) প্লাস্টিক ব্যাগের পরিবর্তক হিসেবে ব্যবহার করা যাবে (en.wikipedia, 2023)।

সাম্প্রতিক কালের আরেকটি ঘটনা রিসাইক্লিং এর প্রক্রিয়াটিকে ব্যাহত করছে। গত কয়েক বছর ধরে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রসহ বেশ কয়েকটি দেশ মিলিয়ন মিলিয়ন টন প্লাস্টিক আবর্জনা চিনের কাছে বিক্রি করছে, রিসাইক্লিং এর জন্য। বস্তুত সমস্ত পৃথিবীর ৭০% প্লাস্টিক আবর্জনা চিনে পাঠানো হতো। যদিও এই প্লাস্টিক আবর্জনা রিসাইক্লিং এর মাধ্যমে চিনের কোম্পানীগুলি বহু মিলিয়ন ডলার অর্থ উপার্জন করছিলো, তবুও চিন সরকার ২০১৮ সাল থেকে এই প্লাস্টিক আবর্জনা আমদানি নিষিদ্ধ করেছে। এই কারণে প্লাস্টিক আবর্জনাগুলি এখন এমন কিছু দেশে পাঠানো হচ্ছে, যারা প্লাস্টিক আবর্জনা রিসাইক্লিং এর জন্য যথাযথভাবে প্রস্তুত নয় বা তারা যথার্থ ব্যবস্থা গ্রহণের জন্যও প্রস্তুত নয় (Joyce, 2019)। প্লাস্টিক আবর্জনার এই সমস্যার সমাধানের জন্য প্রত্যেকটি দেশকে সক্রিয় ও স্বয়ংসম্পূর্ণ হতে হবে।

প্লাস্টিক দূষণের কারণে বর্তমানে ভূমি এবং সাগরের ইকোলজির উপর যে ক্ষতিকর প্রভাব পড়ছে, তার প্রধান কারণ মানুষের অজ্ঞতা। তাছাড়া পরিবেশের ক্ষেত্রে আমাদের দায়িত্বহীনতা ও জ্ঞানহীন কর্ম-কাণ্ডও পরিবেশ দূষণের অন্যতম প্রধান কারণ। বর্তমান বিশ্বের পরিবেশের অবনতির জন্য আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ কারণ বেশিরভাগ প্লাস্টিক পণ্যের এককালীন ব্যবহার। পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে পৃথিবীর সম্পূর্ণ প্লাস্টিক উৎপাদনের প্রায় ৫০ শতাংশ মাত্র একবার ব্যবহার করে ডাস্টবিনে ফেলা হয় (Sloactive, 2019)। উপযুক্ত পরিকল্পনা এবং তার প্রয়োগের মাধ্যমে এই ভয়াবহ সমস্যাকে আমরা প্রতিহত করতে পারব। ফলে পৃথিবীতে একটি বাসযোগ্য পরিবেশ তৈরি হবে এবং আমরা আমাদের ভবিষ্যৎ প্রজন্মের জন্য একটি আদর্শ পৃথিবী রেখে যেতে সক্ষম হব।

**বিশেষ দৃষ্টব্য:** এই প্রবন্ধটি লেখকদের প্রকাশিত এবং স্বত্বসংরক্ষিত একটি ইংরেজি প্রবন্ধ (Zaman et al., 2020) থেকে পরিবর্তিত এবং ভাষান্তরিত করা হয়েছে।

**কৃতজ্ঞতা স্বীকার:** লেখকবৃন্দ এই প্রবন্ধটি প্রফররিড করে দেবার জন্য ড. নীলুফা আহসান-কে গভীর কৃতজ্ঞতা জানাচ্ছেন।

## তথ্যসূত্র

- ACS. 1993, Leo Hendrick Baekeland and the Invention of Bakelite, Am. Chem. Soc., <https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/bakelite.html>.
- Bjorndal, K.A, Bolten, A.B, Lagueux, C.J. 1994, Ingestion of marine debris by juvenile sea turtles in coastal Florida habitats, Mar. Pollut. Bull., 28: 154-58.
- Blettler, M.C.M, Abrial, E, Khan, F.R, Sivri, N, Espinola, L.A. 2018, Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying knowledge gaps, Water Res., 143: 416-424.
- Boerger, C.M, Lattin, G.L, Moore, S.L, Moore, C.J. 2010, Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre, Mar. Pollut. Bull., 60: 2275-78.
- Brandao, M.L, Braga, K.M, Luque, J.L. 2011, Marine debris ingestion by Magellanic penguins, *Spheniscus magellanicus* (Aves: Sphenisciformes), from the Brazilian coastal zone, Mar. Pollut. Bull., 62: 2246-2249.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R. 2011, Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks, Environ. Sci. Technol., 45: 9175-9179.
- Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M., Thompson R.C. 2008, Ingested microscopic plastic translocate to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.), Environ. Sci. Technol., 42: 5026-5031.
- Choy, C.A., Drazen, J.C. 2013, Plastic for dinner? Observations of frequent debris ingestion by pelagic predatory fishes from the central North Pacific, Mar. Ecol. Prog. Ser., 485: 155-163.
- Cirino, E. 2019, Plastic Pollution: Could We Have Solved the Problem Nearly 50 Years Ago?, The Revelator, <https://therevelator.org/plastic-pollution-warnings/>.
- Clark, J.R., Cole, M., Lindeque, P.K., Fileman, E., Blackford, J., Lewis, C., Lenton, T.M., Galloway, T.S. 2016, Marine microplastic debris: a targeted plan for understanding and quantifying interactions with marine life, Front. Ecol. Environ., 14 (6): 317–324.
- Davison, P., Asch, R.G. 2011, Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre, Mar. Ecol. Prog. Ser., 432: 173-80.
- Dorger, S. 2019, These Countries Produce the Most Plastic Waste, The Street, <https://www.thestreet.com/world/countries-most-plastic-waste-14878534>.
- En.Wikipedia. 2023, Sonali Bag, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sonali\\_Bag](https://en.wikipedia.org/wiki/Sonali_Bag).
- Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C, et.al. 2014, Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea, PLoS One 9 (12): e111913, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0111913>.

- Fry, D.M., Fefer, S.I., Sileo, L. 1987, Ingestion of plastic debris by Laysan albatrosses and wedge-tailed shearwaters in the Hawaiian Islands, *Mar. Pollut. Bull.*, 18: 339-43.
- Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. 2017, Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made, *Sci. Adv.*, 3 (7) (doi: 10.1126/sciadv.1700782).
- Jabeen, N., Majid, I., Nayik, G.A. 2015, Bioplastics and food packaging: A review, *Cogent. Food Agri.* 1 (1), <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1117749>.
- Jacobsen, J.K., Massey, L., Gulland, F. 2010, Fatal ingestion of floating net debris by two sperm whales (*Physeter macrocephalus*), *Mar. Pollut. Bull.*, 60: 765-67.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., et. al. 2015, Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, 347: 768-771.
- Joyce, C. 2019, Where will your plastic trash go now that China doesn't want it?, <https://www.npr.org/sections/goatsandsoda/2019/03/13/702501726/where-will-your-plastic-trash-go-now-that-china-doesnt-want-it>.
- Knight, L. 2014, A brief history of plastics, natural and synthetic, British Broadcasting Corporation News, <https://www.bbc.com/news/magazine-27442625>.
- Lamb, J.B., Willis, B.L., Fiorenza, E.A., Couch, C.S., Howard, R., Rader, D.N., et al. 2018, Plastic waste associated with disease on coral reefs, *Science*, 359: 460-462.
- Law, K.L. 2017, Plastics in the Marine Environment, *Annl. Rev. Mar. Sci.*, 9: 205-229.
- Lebreton, L., Zwet, J., Damsteeg, J., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J. 2017, River plastic emissions to the world's oceans, *Nature Comm.*, 8: 15611.
- Luckachan, G.E., Pillai, C.K.S. 2011, Biodegradable Polymers- A Review on Recent Trends and Emerging Perspectives, *J. Polymer Environ.*, 19 (3): 637-676.
- Lusher, A., McHugh, M., Thompson, R. 2012, Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel, *Mar. Pollut. Bull.*, 67: 94–99.
- Murray, F., Cowie, P.R. 2011, Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758), *Mar. Pollut. Bull.* 62: 1207-1217.
- National Geographic. 2019, Ocean Gyres, <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/ocean-gyre/>.
- Nelms, S.E., Duncan, E.M., Broderick, A.C., Galloway, T.S., Godfrey, M.H., Hamann, M. 2015, Plastic and marine turtles: A review and call for research, *ICES J. Mar. Sci.*, 73: 165–81.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2019, What is a gyre?, <https://oceanservice.noaa.gov/facts/gyre.html>.
- Obbard, R.W., Sadri, S., Wong, Y.Q., Khitun, A.A., Baker, I., Thompson, R.C. 2014, Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice, *Earth's Future*, 2: 315-320.

- Parker, L. 2016, Eight Million Tons of Plastic Dumped in Oceans Every Year, *Nation. Geo.*, <https://news.nationalgeographic.com/news/2015/02/150212-ocean-debris-plastic-garbage-patches-science/>.
- Parker, L. 2018, The Great Pacific Garbage Patch Isn't What You Think It Is, *National Geographic*, <https://news.nationalgeographic.com/2018/03/great-pacific-garbage-patch-plastics-environment/>.
- Qie, Q., Peng, J., Yu, X., Chen, F., Wang, J., Dong, F. 2015, Occurrence of microplastics in the coastal marine environment: First observation on sediment of China, *Marine Pollut. Bull.*, 98: 274-280.
- Reddy, R.L., Reddy, V.S., Gupta, G.A. 2013, Study of Bioplastics as Green and Sustainable Alternative to Plastics, *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, 3 (5): 82-89.
- Rhodes, C.J, 2018. Plastic Pollution and Potential Solution, *Sci. Prog.*, 101 (3): 207-260.
- Ritchie, H., Roser, M. 2018, Plastic pollution, *Our World in Data*, <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>.
- Rothstein, S.I. 1973, Plastic particle pollution of the surface of the Atlantic Ocean: evidence from a seabird, *Condor*, 75: 344-366.
- Sharma, U., Polan, S. 2018, This incredible animation shows what 80,000 tons of garbage in the ocean looks like, *Business Insider*, <https://www.businessinsider.com.au/how-big-is-great-pacific-garbage-patch-2018-10>.
- Sloactive, 2019. Plastic Pollution, <https://sloactive.com/plastic-pollution/>.
- Thompson R.C. 2017. *Future of the Sea: Plastic Pollution*. Foresight – Government Office for Science (UK), <https://www.gov.uk/government/publications/future-of-the-sea-plastic-pollution>.
- UNEP (The United Nations Environment Program). 2016, *Frontiers 2016: Emerging issues of environmental concern*, <https://www.unenvironment.org/resources/frontiers-2016-emerging-issues-environmental-concern>.
- UNESCO (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2017, *Facts and figures on marine pollution*, <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/ioc-oceans/focus-areas/rio-20-ocean/blueprint-for-the-future-we-want/marine-pollution/facts-and-figures-on-marine-pollution/>.
- Vandermeersch, G., Van Cauwenberghe, L., Janssen, C.R., Marques, A., Granby, K., Fait, G. 2015, A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms, *Environ. Res.*, 143: 46-55.
- van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B.D., van Franeker, J.A. 2015, A global inventory of small floating plastic debris, *Environ. Res. Lett.*, 10 (12): 124006.
- Von Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C.R. 2013, Microplastic pollution in deep-sea sediments, *Environ. Pollut.*, 182: 495-499.

Wilcox, C.W., Seibilleb, E.V., Hardestya, B.D. 2015, Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, <https://www.pnas.org/content/early/2015/08/27/1502108112>.

Wright, S.L., Rowe, D., Thompson, R.C., Galloway, T.S. 2013, Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms, *Curr. Biol.*, 23: 1031-33.

Zaman, M.S., Zaman, R., Sizemore, R.C. 2020, Plastic Pollution of the Oceans: A Review of Marine Plastic Pollution and Its Environmental Impacts, *Adv. Sci. Tech.*, 13: 1-8.