



Research Paper

Assessing Zayandeh-Rud Coasts Pollution with Plastic Waste Based on the Clean-Coast Index

Mokarrameh Behmanesh¹, Atefeh Chamani^{2*} and Elham Chavoshi³

¹Ph.D. Scholar, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

²Assoc. Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

³ Assoc. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Article information

Received: March 25, 2023

Revised: May 17, 2023

Accepted: May 17, 2023

Keywords:

Clean-Coast Index

Macroplastic

Mesoplastic

Plastic pollution

Zayandeh-Rud

*Corresponding author:

a.chamani@khuisf.ac.ir



Abstract

Plastic pollution is an important emerging environmental problem with possible impacts on biodiversity and human health. Although the majority of the scholarly attention in this field has been directed to oceans, plastic pollution has not been fully elucidated in freshwater ecosystems. Hence, this study aimed to investigate the spatial distribution and macro- and meso-characteristics of sedimentary plastic waste items along the Zayandeh-Rud River course. A number of 400 types of anthropogenic debris were collected from 21 sampling sites consisting of macroplastic 58.3% (233 items), mesoplastic 18% (72 items), and other waste 23.8% (94 items). Bags (polyethylene), food packs (mainly polypropylene and polystyrene), and bottles (polyethylene terephthalate) were the dominant plastics. The Clean-Coast index was used to determine the river's cleanliness, showing that most parts of the river are clean. The Clean-Coast Index revealed useful implications in evaluating the continuity and success of protective measures such as educational, media, and enforcement actions to reduce river pollution.

How to cite this paper: Behmanesh, M., Chamani, A. and Chavoshi, E. (2024). Assessing Zayandeh-Rud coasts pollution with plastic wastes based on clean-coast index. *Environ. Water Eng.*, 10(1), 63-78. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.389483.1857> [In Persian]



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Over the decades, humans have caused the pollution of beaches and waters by disposing of plastic litter in the sea and rivers. At present, plastic pollution has been identified as an emerging environmental problem that may affect human health and biodiversity in the near to medium term. Plastics enter aquatic systems from several sources such as sanitary sewage overflows, coastal tourism, inadequate waste disposal and management, industrial activities, construction, and illegal dumping, and cause harmful ecological effects on living organisms at all trophic levels. Plastics are classified according to size into macroplastics (diameter larger than 2.50 cm), mesoplastics (diameter: 2.50-0.500 cm), and microplastics (diameter smaller than 5 mm). Widespread effects of beach litter have been reported around the world. Wastes are considered important as one of the damaging factors of beaches with adverse impacts on the economy and ecosystems. Therefore, indices have been developed to measure marine debris pollution in coastal environments, such as the Clean-Coast Index. This index provides the possibility to grade the pollution of the beaches. Since there is no published study on plastic pollution in coastal sediments of Iranian rivers, this study was conducted to investigate the spatial distribution of microplastics and mesoplastics, determine the composition of plastic waste and evaluate the cleanliness of the beaches in Zayandeh-Rud River.

Material and Methods

From the upstream to the downstream of Zayandeh-Rud River, 21 stations were sampled during the summer season of 2020 based on land use, the degree of industrialization and urbanization around the river, distance and proximity to various sources of pollutants, the presence of the tourism industry, and ease of access to the river. To investigate plastic litter at each sampling station, a plot of $2 \times 2 \text{ m}^2$ was selected (the plot size was selected according to field observations and regional conditions). All visible plastic litter on the surface of each plot was collected and photographed. Finally, to classify the plastic into meso or macroplastic, the diameter of each particle was measured. Then all these particles were weighed and classified according

to the type of plastic (line, film, hard, and foam). In this study, the CCI index was used to show the cleanliness of the studied beaches. CCI for beaches was calculated according to Eq. 1. In this index, the density of plastic litter is determined based on the number per m^2 by applying a fixed value ($K=20$). According to the CCI scale, beaches are classified from "clean" to "very dirty", 0-2 is very clean, 2-5 is clean, 5-10 is fairly clean, 10-20 is dirty, and more than 20 is very dirty.

$$CCI = \frac{\sum \text{Plastic Litter}}{\text{Length}(m) \times \text{Width}(m)} \times k \quad (1)$$

Results

The average abundance of plastic litter 2.8 macroplastics and 1.4 mesoplastics (item/ m^2) collected from the beaches of Zayandeh-Rud is more than the Caribbean beaches (0.910 ± 0.500 items / m^2), the beaches of Alicante, Spain (0.120 items / m^2) and the Silveria coast. Brazil (2 items / m^2) was obtained. The results of the abundance of plastic litter for all the studied stations are also considerably higher than the global average (1 item / m^2). Based on the comparison with the studies, it can be concluded that the beaches of the Zayandeh-Rud River are considerably polluted with plastics. The evaluation of macro and mesoplastics identified in this study showed that land resources such as waste disposal and tourism in the region are essential and the main factors of plastic litter in the region. Based on the results of the mean comparison test, the highest and lowest number of macroplastics were identified in stations 13 (22 particles) and stations 4 and 18 (4 particles), respectively. The low pollution of these stations can be related to the low population density and the presence of agriculture and gardening around them. Considering that Station 13 (Bagh Bahadoran) has historical and recreational attractions, the high amount of large plastic litter in this area is not far from expected. The highest number of mesoplastics in the samples was observed at station 15 (26 particles). Station 15 is close to the residential area, which is therefore exposed to a lot of litter due to the concentration of the population. On average, 11.1 ± 6.04 macroplastics and 5.54 ± 7.30 mesoplastics were identified with an average weight of 65.8 and 0.462 grams, respectively. The highest macro and meso weight were related to station 6 (222 g) and 20 (3.06 g), respectively, and the lowest

macro (1.33 g) was related to station 21 (Shakh Kenar). On the edge of Zayandeh-Rud dam Lake (station 6), Chadegan tourist village is located, which can be attributed to the high mass of plastics in this area due to tourism activities, while the low amount of plastic litter in Shakh Kenar station can be attributed to factors such as long distance from population centers and tourism activities. The abundance of macro and mesoplastics in the region was classified into different types of film, line, hard, and foam in terms of shape (Table 1). As shown in Table 1, hard and film had higher repetition and foam had the lowest repetition. Leaving litter such as drink bottles, food packaging, bags, and disposable

containers by tourists into the water and the shores of the Zaindeh-Rud River can be the origin of the high presence of macro and mesoplastics, hard and films. Among all registered polymers, bags (polyethylene) were more than other polymers. On the other hand, bottles (PET) were the heaviest group of plastics (Table 1). Based on the CCI scale, 52.4% were classified as clean, 28.6% as very clean, and 14.3% as fairly clean, and only station 15 was placed in the dirty class. Although the abundance of plastic litter on the beaches of Zayandeh-Rud is considerably higher than the world average based on the CCI, they are not classified as dirty.

Table 2 Characteristics of found plastics on the coast of Zayandeh-Rud river based on type, number, weight and polymer

Plastic Debris	Type	Number of Items	Weight (g)	Polymer
Bags	Film	109	181	PE
Packing	Film	76	235	PP, PS
Hard Food Container	Hard	70	258	PS, PET
Foam Food Containers	Foam	7	12.5	EPS
Drink Bottles	Hard	15	419	PET
Fish Lines	Line	10	17.4	Nylon
Others	Others	18	266	PVC, SAN
Total		305	1389	8

Conclusions

Collected plastics were determined as 58.25% macroplastics and 18% as mesoplastics. The presence of plastic items, such as food packaging, bottles, and bags, indicates the predominance of household waste over industrial waste. According to the CCI index, all the beaches except station 15 were classified in the clean range. Despite the cleanness of the beaches, improving solid waste management, supporting public awareness programs, and carrying out beach cleaning

activities are necessary to prevent or reduce plastic litter pollution.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی آلودگی سواحل زاینده رود به پسماندهای پلاستیکی بر اساس شاخص ساحل پاک

مکرمه بهمنش^۱، عاطفه چمنی^{۲*} و الهام چاوشی^۳

^۱دانشجوی دکترا، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

^۲دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

^۳دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۱/۰۵]	آلودگی پلاستیکی یک مشکل محیط زیستی مهم در نظر گرفته می شود و به عنوان یک موضوع نوظهور که ممکن است تنوع زیستی و سلامت انسان را تحت تأثیر قرار دهد، شناسایی شده است. با این حال، علی رغم مطالعات علمی گسترده برای بررسی پلاستیک ها در اقیانوس ها، مطالعات به نسبت کمی روی سامانه های آب شیرین متمرکز شده اند. هدف از این مطالعه بررسی توزیع مکانی و ویژگی های ماکرو و مزوپلاستیک در رسوبات خط ساحلی رودخانه زاینده رود است. بدین منظور، در امتداد رودخانه زاینده رود در مجموع ۴۰۰ نوع زباله انسانی از ۲۱ ایستگاه نمونه برداری جمع آوری شد که شامل ماکروپلاستیک ۵۸/۳٪ (۲۳۳ مورد)، مزوپلاستیک ۱۸٪ (۷۲ مورد) و سایر زباله ها ۲۳/۸٪ (۹۴ مورد) بودند. کیسه ها (پلی اتیلن)، بسته بندی مواد غذایی (به طور عمده پلی پروپیلن و پلی استایرن) و بطری ها (پلی اتیلن ترفتالات) پلاستیک های غالب ثبت شده در این مطالعه بودند. برای شناسایی سطح تمیزی سواحل از شاخص ساحل پاک استفاده شد. بر اساس این شاخص، اکثر سواحل در محدوده تمیز طبقه بندی شدند. شاخص ساحل پاک ابزاری مفید برای ارزیابی میزان پیشرفت و موفقیت فعالیت هایی مانند اقدامات آموزشی، رسانه ای و اجرایی در راستای کاهش آلودگی سواحل است.
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۲/۲۷]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۲/۲۷]	
واژه های کلیدی: آلودگی پلاستیک زاینده رود شاخص ساحل پاک ماکرو پلاستیک مزوپلاستیک	
*نویسنده مسئول: a.chamani@khuisf.ac.ir	
	

نحوه استناد به این مقاله:

بهمنش، مکرمه، چمنی، عاطفه & چاوشی، الهام. (۱۴۰۳). ارزیابی آلودگی سواحل زاینده رود به پسماندهای پلاستیکی بر اساس شاخص ساحل پاک. محیط زیست و مهندسی آب. 10 (1) 63-78. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.389483.1857>



۱- مقدمه

طبقه‌بندی به شناسایی زباله‌های پلاستیکی و منابع آن‌ها کمک می‌کند. پلاستیک‌ها بر اساس اندازه به ماکرو پلاستیک (قطر بزرگ‌تر از ۲/۵۰ cm)، مزوپلاستیک (قطر ۵۰۰-۰/۵۰ cm) و میکروپلاستیک (قطر کوچک‌تر از ۵ mm) طبقه‌بندی می‌شوند (Garces-Ordonez et al. 2020). با کاهش اندازه ذرات پلاستیک، اثر آن‌ها بر موجودات افزایش می‌یابد (Sun et al. 2017). بنابراین، تعیین مقدار ماکرو و مزوپلاستیک‌ها قبل از تجزیه آن‌ها از طریق شرایط محیطی مانند اشعه ماوراءبنفش، واکنش‌های شیمیایی، میکروارگانیزم‌ها و امواج، مرحله مهمی است (Guo and Wang 2019).

بیشتر پلاستیک‌های شناخته شده در رودخانه‌ها، از نظر جرم، ماکروپلاستیک‌ها هستند (Weideman et al. 2020). کاربری اراضی شهری و تراکم جمعیت، ارتباط مثبتی با غلظت پلاستیک‌های مشاهده شده دارد (Baldwin et al. 2016).

در مقایسه با آلاینده‌های معمولی آبی، تهدید پلاستیک‌ها پیچیده‌تر است. به جز تأثیر خود پلاستیک‌ها، آن‌ها به‌عنوان ناقل مهم سایر آلاینده‌ها مانند بسیاری از آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین نیز عمل می‌کنند (Munier and Bendell 2018). سمیت پلاستیک‌ها می‌تواند توسط خود پلیمرهای پلاستیک، مواد افزودنی موجود در آن‌ها یا سایر آلاینده‌های جذب شده روی پلاستیک‌ها ایجاد شود. جذب آلاینده‌ها روی پلاستیک‌ها یک فرایند مهم محیط‌زیستی تلقی می‌شود زیرا این امر بر تحرک و فراهمی زیستی این آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارد (Zettler et al. 2013). هنگامی که این ذرات وارد محیط‌های آبی شده و تحت تأثیر عوامل مختلفی تخریب می‌شوند، به‌اشتباه به‌وسیله گونه‌های مختلف آبی بلعیده می‌شوند و در نهایت می‌توانند از طریق مصرف غذاهای آبی آلوده به پلاستیک وارد بدن انسان شوند (Mishra et al. 2021). همچنین درهم‌تنیدگی گونه‌های موجود در بوم‌سازگان آبی با ماکرو پلاستیک‌ها (از جمله تورهای ماهیگیری رهاشده، طناب‌ها و زباله‌های عمومی مانند کیسه‌های پلاستیکی)، به‌عنوان یک مشکل جهانی شناخته می‌شود (Laist 1997).

در طول دهه‌های گذشته، انسان‌ها با دفع زباله‌های پلاستیکی در دریا و رودخانه‌ها باعث آلودگی سواحل و آب‌ها شده‌اند (Faure et al. 2015). در حال حاضر، آلودگی پلاستیکی به‌عنوان یک مشکل محیط‌زیستی، به یک موضوع جدی در مقیاس جهانی تبدیل شده است. آلودگی پلاستیکی در کنار تغییرات اقلیمی، به‌عنوان یک موضوع نوظهور، ممکن است در آینده نزدیک تا میان‌مدت بر سلامت انسان و تنوع زیستی تأثیر بگذارد (William et al. 2010). علی‌رغم تلاش‌های پژوهشی گسترده برای بررسی پلاستیک‌ها در اقیانوس‌ها، مطالعات کمی روی سامانه‌های آب شیرین متمرکز شده‌اند.

به طور تقریبی نیمی از جمعیت جهان در ۱۰۰ km سواحل زندگی می‌کنند. از این رو، قابلیت این‌گونه پلاستیک‌ها، برای ورود به سامانه‌های دریایی از طریق رودخانه‌ها و سیستم‌های فاضلاب یا بادهای وزش یافته از خشکی افزایش می‌یابد. ورود زباله‌های پلاستیکی به محیط‌های آبی، تهدیدی برای سلامت انسان و موجودات دریایی ایجاد می‌کند و باعث کاهش چشمگیر ارزش فعالیت‌های دریایی، ماهیگیری، گردشگری و خدمات اکوسیستمی می‌شود (Haberstroh et al. 2021a). برخی از مطالعات اخیر، اهمیت نسبی عواملی مانند طوفان‌ها و بارندگی‌های شدید را بر روی الگوهای انتقال پلاستیک در سامانه‌های آب شهری نشان داده‌اند (Roebroek et al. 2021).

پلاستیک‌ها از منابع متعددی مانند سرریز فاضلاب‌های بهداشتی، گردشگری ساحلی، دفع و مدیریت ناکافی زباله، فعالیت‌های صنعتی، ساخت‌وساز و تخلیه غیرقانونی وارد سامانه‌های آبی شده (Cowger et al. 2019) و باعث اثرات بوم‌شناختی مضر روی موجودات زنده در تمام سطوح تغذیه‌ای می‌شوند (Erni-Cassola et al. 2019). مطالعات انجام گرفته بر روی سامانه‌های آبی کشورهای فیلیپین (Sajorne et al. 2021)، هند (Mugilarasan et al. 2021)، قبرس (Loizia et al. 2021) و جنوب آفریقا (Weideman et al. 2020) منشأ و خطرات ناشی از حضور زباله‌های پلاستیکی در محیط‌های آب شیرین را نشان می‌دهند.

Akarsu et al. (2022) نیز میزان CCI در چهار ساحل ترکیه را بسیار کثیف ارزیابی کردند. از آنجا که مطالعه منتشر شده‌ای در خصوص آلودگی پلاستیکی در رسوبات ساحلی رودخانه‌های ایران وجود ندارد، این پژوهش با هدف بررسی توزیع مکانی ماکرو و مزوپلاستیک‌ها، تعیین ترکیب زباله‌های پلاستیکی و ارزیابی میزان تمیزی سواحل در رودخانه زاینده‌رود انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زاینده‌رود به‌عنوان سومین حوضه پرجمعیت ایران با میزبانی نزدیک به ۴ میلیون نفر که ۵٪ از جمعیت کشور را تشکیل می‌دهد، طبقه‌بندی می‌شود (Sharifinejad et al. 2020). رودخانه زاینده‌رود با طول تقریبی ۴۵۰ km به‌عنوان مهم‌ترین جاذبه بوم‌گردی حوضه، از ارتفاعات غربی سرچشمه گرفته و از بخش میانی منطقه از جمله جنوب شهر اصفهان می‌گذرد و در شرق، به تالاب بین‌المللی گاوخونی می‌ریزد (Karimian et al. 2020).

به دلیل مجاورت با سکونتگاه‌های انسانی، انواع مختلف زباله‌های پلاستیکی ناشی از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی، فعالیت‌های گردشگری، ماهیگیری و غیره به این رودخانه سرازیر شده و کیفیت این بوم‌سازگان را کاهش داده است.

۲-۲- نمونه‌برداری

از بالادست تا پایین‌دست رودخانه زاینده‌رود، از ۲۱ ایستگاه، بر اساس کاربری زمین، میزان صنعتی‌شدن و شهرنشینی در اطراف رودخانه، دوری و نزدیکی به منابع مختلف آلاینده‌ها، حضور صنعت گردشگری و سهولت دسترسی به رودخانه، در طول فصل تابستان ۱۴۰۰ نمونه‌برداری شد (شکل ۱). قبل از انجام نمونه‌برداری، برخی از اطلاعات سواحل مانند ویژگی‌های مورفولوژیکی و تأثیرات انسانی (به‌عنوان مثال، نوع استفاده از سواحل در فصول تابستان و زمستان)، بر اساس تفاهم‌نامه فنی NOAA مورد بررسی و در انتخاب سواحل نمونه‌برداری مورد استفاده قرار گرفت (Lippiatt et al. 2013). برای بررسی زباله‌های پلاستیکی در هر ایستگاه نمونه‌برداری، یک کرت $2 \times 2 \text{ m}^2$ با توجه به مشاهدات میدانی و شرایط منطقه

وجود ماکروپلاستیک‌ها هم‌چنین می‌تواند باعث انسداد سامانه‌های زهکشی شهری شود (Windsor et al. 2019) که منجر به تحمیل هزینه‌های اضافی برای نگهداری و نظافت می‌شود. در شهرهایی که سیستم زهکشی و فاضلاب ترکیبی دارند، وجود پلاستیک (مانند دستمال مرطوب و پوشک بچه)، همراه با اجزای دیگر، مانند روغن و گریس، می‌تواند انسداد سامانه را تشدید کند (Okwori et al. 2020). علاوه بر این، وجود پلاستیک در رودخانه‌ها می‌تواند ارزش زیبایی‌شناختی منظره را کاهش دهد و در نتیجه بر بازدهی اقتصادی مناطق آلوده تأثیر منفی بگذارد (Gabrielides 1995). هم‌چنین، مواد سمی و فلزات سنگین جذب‌شده توسط زباله‌های پلاستیکی می‌توانند از طریق زنجیر غذایی وارد بدن انسان شوند و تأثیرات احتمالی بر سلامت داشته باشند (Holmes et al. 2014).

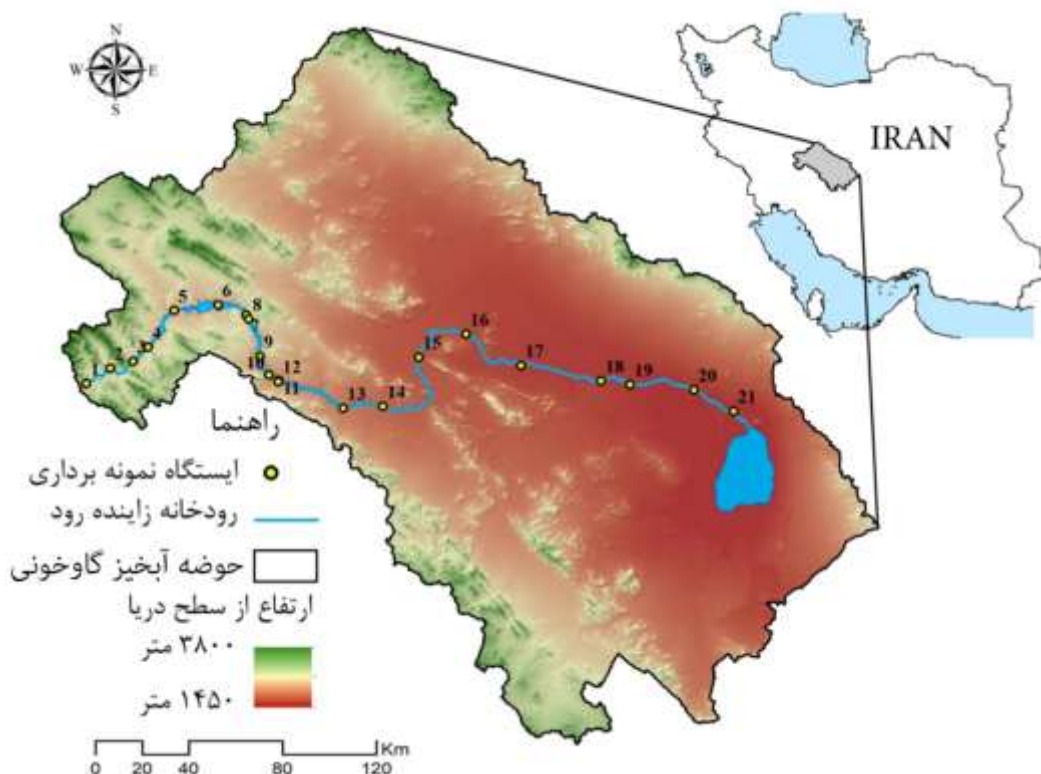
در سال ۲۰۲۰، سازمان بین‌المللی حفاظت از زیست‌بوم اقیانوس‌ها، گزارش بین‌المللی سواحل پاک را منتشر کرد و وضعیت فعلی فراوانی زباله در مناطق ساحلی ۱۱۶ کشور را نشان داد. بر اساس این گزارش، پلاستیک‌های یک‌بارمصرف در رتبه اول قرار دارند و پس از آن، بطری‌های پلاستیکی، درب بطری‌ها و کیسه‌های پلاستیکی قرار دارند (Simeonova and Chuturkova 2020). مواد پلاستیکی به‌عنوان شایع‌ترین زباله‌های سواحل یافت می‌شوند (Chen et al. 2019). از این رو، مطالعه زباله‌ها به‌عنوان یکی از عوامل مخرب سواحل با اثرات نامطلوب بر اقتصاد و بوم‌سازگان، حائز اهمیت است. بدین منظور، در دهه‌های اخیر، مطالعات مختلفی برای معرفی شاخص‌هایی به‌منظور مقایسه داده‌های کمی زباله‌ها در سواحل انجام شده است. برخی از این شاخص‌ها مانند شاخص ساحل پاک (CCI^۱) تنها تعداد زباله‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و جنبه کمی آن‌ها را در نظر می‌گیرد (Rangel-Buitrago et al. 2020). از سوی دیگر، برخی از شاخص‌ها بر قابلیت خطر انواع مختلف زباله‌ها تمرکز می‌کنند و موضوع را از نظر خطر برای سواحل ارزیابی می‌کنند، مانند شاخص زباله‌های انسانی خطرناک (HALI^۲)، که توسط Rangel-Buitrago et al. (2020) استفاده شده است. این شاخص‌ها امکان درجه بندی آلودگی سواحل را فراهم می‌کنند.

²Hazardous Anthropogenic Litter Index
Environment and Water Engineering

¹Clean-Coast Index (CCI)

نوع پلاستیک به رشته، فیلم، خرده ذره و فوم، طبقه‌بندی شدند. طبقه‌بندی پلاستیک‌های یافت‌شده، مانند الگوی مورد استفاده در طبقه‌بندی میکروپلاستیک‌ها (Viršek et al., 2016)، انجام شد.

انتخاب شد. تمامی زباله‌های پلاستیکی قابل مشاهده در سطح هر کرت جمع‌آوری و عکس‌برداری شد. در نهایت، به منظور طبقه‌بندی پلاستیک به مزو یا ماکرو پلاستیک، طول هر قطعه اندازه‌گیری شد. سپس همه این ذرات وزن شده و بر اساس



شکل ۱- ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه زاینده‌رود

Fig. 1 Sampling stations in Zayandeh-Rud River

۴-۲- آنالیزهای آماری

تمامی نمودارها و تجزیه و تحلیل داده‌ها در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای IBM SPSS Statistics 26 و Excel 2013 انجام شد. باتوجه به ماهیت داده‌ها، برای بررسی نرمال بودن از آزمون شاپیرو-ویلک^۱، برای بررسی همگنی واریانس از آزمون لوین^۲ و برای مقایسه میانگین بین ایستگاه‌ها از آزمون ولش^۳ استفاده شد.

۳- یافته‌ها و بحث

باتوجه به شرایط اولیه و شرایط مرزی، حل عددی به صورت غیردائمی شروع شده و تا زمان رسیدن جریان به حالت ماندگار و پایدار، ادامه پیدا می‌کند.

۳-۲- شاخص ساحل پاک

در این مطالعه از شاخص ساحل پاک برای نشان دادن میزان تمیزی سواحل مورد مطالعه و مقایسه با مطالعات مشابه استفاده شد. شاخص ساحل پاک برای سواحل طبق رابطه (۱) محاسبه شد (Jafari et al. 2021).

$$CCI = \frac{\sum \text{قطعات پلاستیکی}}{\text{طول}(m) \times \text{عرض}(m)} \times k \quad (1)$$

در این رابطه، K یک مقدار ثابت است که طبق بررسی منابع، در ۲۰ در نظر گرفته می‌شود. بر اساس مقیاس این شاخص، طبقه‌بندی سواحل از تمیز به بسیار کثیف انجام می‌شود. ۲-۰ نشان‌دهنده بسیار تمیز، ۵-۲ تمیز، ۱۰-۵ نسبت تمیز، ۲۰-۱۰ کثیف و بیش‌تر از ۲۰ بسیار کثیف است.

³Welsh

¹Shapiro-Wilk

²Levene

۳-۱- فراوانی ماکرو و مزوپلاستیک‌ها

پلاستیک ۱۸٪ با ۷۲ مورد و سایر زباله‌ها ۲۳/۸٪ با ۹۴ مورد است. اگرچه ۷۶/۳٪ زباله‌های جمع‌آوری شده در سواحل از جنس پلاستیک است، ولی تفاوت بین نسبت اقلام جمع‌آوری شده در مقایسه با سایر مطالعات، کمتر است. در اکثر سواحل، بیش از ۸۰٪ از کل اقلام جمع‌آوری شده پلاستیکی هستند (Neto 2014).

جدول (۱) آمار توصیفی ماکرو پلاستیک‌ها و مزوپلاستیک‌های شناسایی شده رسوبات سطحی رودخانه زاینده‌رود را در تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. در مجموع ۴۰۰ مورد از انواع زباله از ۲۱ نقطه نمونه‌برداری جمع‌آوری شد که شامل ماکرو پلاستیک ۵۸/۳٪ با ۲۳۳ مورد، مزو

جدول ۱- فراوانی ماکرو و مزوپلاستیک در رسوبات

Table 1 Abundance of macro and mesoplastic in sediments

Stations	Macroplastics			Mesoplastics		
	Number	Size range (cm)	weight (g)	Number	Size range (cm)	weight (g)
1	5	53-6.30	71.5	-	-	-
2	6	48-3.10	15.2	-	-	-
3	9	38.5-4.50	48.8	1	2	0.010
4	4	32-14.4	12.9	-	-	-
5	15	59.5-3.30	129	-	-	-
6	13	32.7-3	222	-	-	-
7	21	106-3	94.4	1	0.500	2.04
8	20	44-5	112	-	-	-
9	8	98-3	38.3	1	1.80	0.001
10	11	43-3	69.14	-	-	-
11	7	11-8	24.62	12	1.50-0.500	0.012
12	10	150-3	44.77	1	0.600	0.001
13	22	41-3	184	3	2.50-2	2.51
14	19	52-3	103	4	2.50-0.500	0.029
15	18	35-3	25.5	26	2.50-0.500	0.091
16	13	44-3	40.9	2	2.50-0.800	0.013
17	12	150-3	66.1	6	2.50-0.800	0.038
18	4	20-3.50	9.47	-	-	-
19	7	31-8	54.6	12	1.90-0.500	0.042
20	5	26.5-4.50	13.2	2	2.50-2	3.06
21	4	11-6.50	1.33	1	2.50	1.85
Sum	233	-	1380	72	-	9.70
Min	4	-	1.33	1	-	0.001
Max	22	-	222	26	-	3.06
Mean	11.1	-	65.8	5.54	-	0.462
Std.Deviation	6.04	-	58.2	7.30	-	0.969

ایستگاه‌ها می‌تواند مربوط به تراکم کم جمعیت و حضور زمین‌های کشاورزی و باغداری اطراف آن‌ها باشد. با توجه به اینکه ایستگاه ۱۳ یعنی باغ بهادران، دارای جاذبه‌های تفریحی و تاریخی است، بالابودن میزان زباله‌های پلاستیکی بزرگ در این منطقه دور از انتظار نیست. بیشترین تعداد مزو پلاستیک

بر اساس نتایج آماره ولش، اختلاف معنادار بین میانگین تعداد قطعات ماکرو و مزو پلاستیک جمع‌آوری شده بین ایستگاه‌های مختلف وجود دارد (جدول ۳). بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد ماکرو پلاستیک به ترتیب در ایستگاه ۱۳ با ۲۲ قطعه و ایستگاه‌های ۴ و ۱۸ با ۴ قطعه شناسایی شد. آلودگی کم این

داده است که مقادیر زیادی از آلودگی پلاستیکی در مناطق پرجمعیت و مناطق با فعالیت‌های شدید انسانی ظاهر می‌شود (Horton and Dixon, 2018). میانگین فراوانی زباله‌های پلاستیکی، ۲/۸ ماکرو پلاستیک و ۱/۴ مزو پلاستیک (مورد در m^2) جمع‌آوری شده از سواحل زاینده‌رود از مطالعات Asensio-(2019), Scisciolo et al. (2016), Montesinos et al. (2019), Marin et al. به ترتیب از سواحل کارائیب ($0/500 \pm 0/910$ مورد در m^2)، سواحل آلیکانته اسپانیا ($0/12$ مورد در m^2) و ساحل سیلوریا برزیل (۲ مورد در m^2) بیشتر است.

بر اساس نتایج آزمون شاپیرو-ویلک، داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار نیستند ($P\text{-value} < 0/05$ ، جدول ۲). همچنین نتایج آزمون لوین نشان داد که داده‌ها همگن نیستند (جدول ۳).

جدول ۳ آزمون همگنی واریانس لوین و مقایسه میانگین ولش

	Levene Statistic	df1	df2	P-value
Size	3.003	20	284	.000
weight	3.111	20	284	.000
	Welch Statistic	df1	df2	Sig.
Size	5.215	20	60.959	.000
Weight	2.573	20	62.892	.002

نتایج فراوانی زباله‌های پلاستیکی برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز به طور قابل توجهی بیش‌تر از میانگین جهانی که یک قطعه در m^2 است، گزارش شده است (Galvani et al. 2015). بر اساس مقایسه با مطالعات مذکور می‌توان نتیجه گرفت که سواحل زاینده‌رود آلودگی قابل توجهی به پلاستیک‌ها دارد. در ایران، (Sarafratz et al. 2016) فراوانی و ترکیب زباله‌های دریایی در بندرعباس را بررسی کرده و فعالیت‌های گردشگری را مسئول بیش از ۹۰٪ زباله‌های تولیدشده در منطقه مورد مطالعه اعلام کردند. این مطالعه نیز نشان داد که منابع زمینی مانند دفع زباله و گردشگری در منطقه از عوامل مهم و اصلی وجود زباله‌های پلاستیکی در منطقه است. این موضوع در مطالعه (Jeyasanta et al. 2020) و (Blaskovic et al. 2017) نیز تأیید شده‌است.

فراوانی ماکرو و مزو پلاستیک در منطقه از لحاظ شکل به انواع مختلف فیلم، رشته، خرده ذره و فوم طبقه‌بندی شدند (جدول

در نمونه‌ها در ایستگاه ۱۵ با ۲۶ قطعه مشاهده شد. ایستگاه ۱۵ نزدیک به منطقه مسکونی است که در نتیجه به دلیل تمرکز جمعیت، در معرض زباله‌های زیادی قرار می‌گیرد.

جدول ۲- آزمون شاپیرو-ویلک به منظور بررسی نرمالیت داده‌ها

Stations	P-value based on size	P-value based on weight
1	0.263	0.049
2	0.355	0.240
3	0.003	0.000
4	0.525	0.134
5	0.045	0.002
6	0.038	0.010
7	0.000	0.000
8	0.000	0.000
9	0.004	0.000
10	0.329	0.001
11	0.000	0.000
12	0.000	0.000
13	0.000	0.000
14	0.099	0.000
15	0.000	0.000
16	0.000	0.000
17	0.000	0.000
18	0.473	0.992
19	0.000	0.000
20	0.356	0.753
21	0.833	0.043

از نظر وزنی، g ۱۳۸۰ ماکروپلاستیک و g ۹/۷۰ مزو پلاستیک از نمونه‌های رسوب ساحلی جدا شد. به طور میانگین $6/04 \pm$ و $11/1$ ماکروپلاستیک و $7/30 \pm 5/54$ مزو پلاستیک به ترتیب با میانگین وزنی g ۶۵/۸ و $0/462$ شناسایی شد. بیشترین وزن ماکرو و مزو به ترتیب مربوط به ایستگاه ۶ با $222g$ و ۲۰ با $3/06g$ و کمترین ماکرو مربوط به ایستگاه ۲۱ با $1/33g$ بود. در حاشیه دریاچه سد زاینده‌رود، دهکده توریستی چادگان قرار دارد که می‌توان دلیل بالابودن جرم پلاستیک‌ها در این منطقه را به فعالیت‌های گردشگری نسبت داد درحالی‌که ناچیز بودن جرم زباله‌های پلاستیکی در ایستگاه شاخ کنار، نزدیک‌ترین ایستگاه به پایاب زاینده‌رود را می‌توان به عواملی مانند فاصله زیاد از مراکز جمعیتی و فعالیت‌های گردشگری نسبت داد. محدوده اندازه ذرات ماکرو و مزو شناسایی شده به ترتیب ۳-۱۵۰ و $2/50-0/500$ cm است.

به دلیل فرآیند نمونه‌گیری متفاوت، مقایسه این آمار با سایر مطالعات دشوار است. اما مطالعات رودخانه‌ها و سواحل نشان

راستا، نمونه‌های زیادی از جنس پلی‌اتیلن (عمدتاً کیسه‌های مواد غذایی) بین رسوبات مشاهده شد (جدول ۴). منشأ بیشتر آلودگی پلاستیک در این منطقه زباله‌های جامد خانگی است. نتایج Gasperi et al. (2014) نشان دادند که بسته‌بندی مواد غذایی، ظروف و کارد و چنگال‌های پلاستیکی به‌عنوان زباله‌های شناور غالب در رودخانه سن است. از بین همه پلیمرهای ثبت شده، کیسه‌های پلاستیکی (پلی‌اتیلن) از سایر پلیمرها بیشتر بود (جدول ۴). بر خلاف این مطالعه، Morritt et al. (2014) مقدار نسبتاً کمی از کیسه‌های پلاستیکی (کمتر از ۰.۲٪) را در امتداد رودخانه تایمز گزارش کردند. آن‌ها اذعان داشتند که سیاست‌های عمومی بریتانیا مردم را تشویق می‌کند از کیسه‌های حمل سوپرمارکت استفاده نکنند که می‌تواند به توضیح این اختلاف کمک کند. تصور می‌شود مونومرهایی که برخی از کیسه‌های پلاستیکی را تشکیل می‌دهند نسبتاً بی‌ضرر هستند. باین‌حال، این مواد هنوز هم می‌توانند با جذب سایر آلاینده‌ها سمی شوند. از سوی دیگر، بطری‌های نوشیدنی (PET) سنگین‌ترین گروه پلاستیک‌ها بودند (جدول ۴). از منظر محیط‌زیستی، بطری‌ها می‌توانند باعث هجوم گونه‌هایی شوند که سطوح سخت را ترجیح می‌دهند در نتیجه می‌تواند منجر به جابه‌جایی گونه‌های بومی از زیستگاه خود شوند (Derraik, 2002).

جدول ۴- خصوصیات پلاستیک‌ها در سواحل رودخانه زاینده‌رود براساس نوع، تعداد، وزن و پلی‌مر

Table 4 Characteristics of plastics on the coast of Zayandeh-Rud river based on type, number, weight and polymer

Plastic debris	Type	Number of items	Weight (g)	Polymer
Bags	Film	109	181	PE
packing	Film	76	235	PP, PS
Hard food container	Hard	70	258	PS, PET
Foam food containers	Foam	7	12.5	EPS
Drink bottles	Hard	15	419	PET
Fish lines	Line	10	17.4	Nylon
Others	Others	18	266	PVC, SAN
Total		305	1389	8

PE: پلی‌اتیلن، PP: پلی‌پروپیلن، PS: پلی‌استایرن، PET: پلی‌اتیلن ترفتالات، EPS: پلی‌استایرن منبسط شده، Nylon: پلی‌آمید خشک، PVC: پلی‌وینیل کلراید، SAN: استایرن آکریل نیتریل

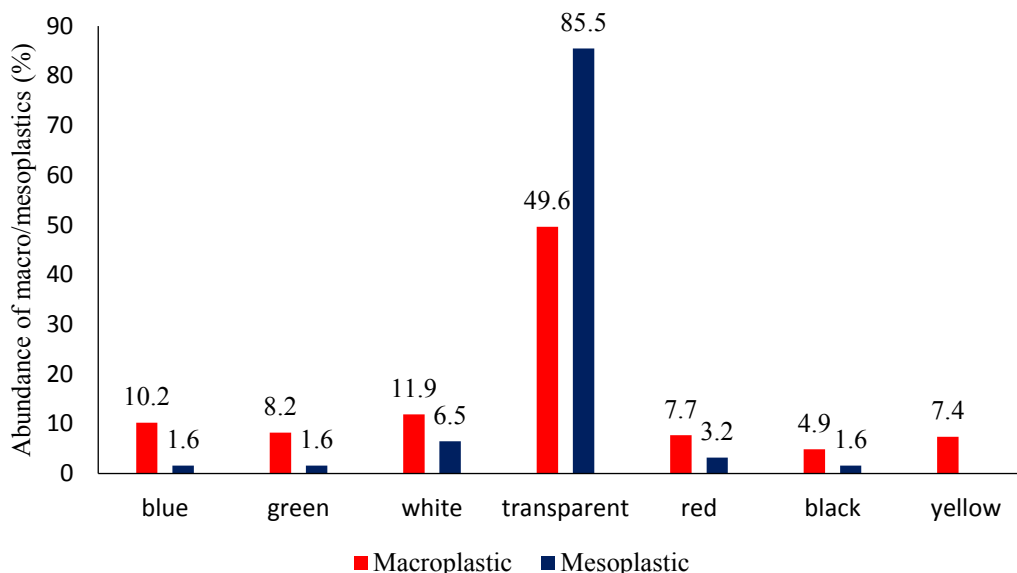
قرمز و مشکی شناسایی شدند. بیشترین درصد رنگ ماکرو پلاستیک‌ها و مزو پلاستیک‌ها به ترتیب با ۴۹/۶٪ و ۸۵/۵٪ مربوط به رنگ شفاف است که با نتایج Blettler et al. (2017) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش دادند که بیشتر مزو

۴. همان‌طور که در جدول (۴) نشان داده شده است خرده ذره و فیلم دارای تکرار بالاتر و فوم کمترین تکرار را داشت. رهاکردن زباله‌هایی مانند بطری‌های نوشابه، بسته‌بندی مواد غذایی، کیسه‌های پلاستیکی و ظروف یک‌بارمصرف توسط گردشگران به درون آب و سواحل رودخانه زاینده‌رود، می‌تواند منشأ حضور بالای ماکرو و مزو پلاستیک‌های خرده ذره و فیلم باشد (Behmanesh et al. 2022). PP به طور گسترده در بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۴). تخریب PP در اثر گرما و تابش اشعه UV و توانایی آن در جذب آلاینده‌های آلی پایدار، ممکن است باعث افزایش مشکلات محیط زیستی شود. اطلاعات کمی در مورد اثرات PP در سامانه‌های آب شیرین وجود دارد. باین‌حال، Mato et al. (2001) گزارش کردند که غلظت PCB^۱ و DDT^۲ موجود بر سطح قطعات PP یافت شده در دریا، ۱۰۰۰۰ تا ۱ میلیون برابر بیشتر از قطعات PP یافت شده در آب‌های اطراف است. Williams and Simmons (1996) علت اصلی تخریب پلیمر پلی‌اتیلن در سواحل رودخانه را تخریب نوری بیان کردند. این پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که طول عمر چنین پلاستیک‌هایی دلیل اصلی فراوانی و توزیع گسترده آن‌ها در سواحل رودخانه‌ها است. در این

شکل (۲) فراوانی ماکرو و مزو پلاستیک را بر اساس رنگ ظاهری نشان می‌دهد. ماکرو پلاستیک‌های شناسایی شده در ۹ رنگ آبی، زرد، سبز، سفید، شفاف، قرمز، کرمی، مشکی و نارنجی و مزو پلاستیک‌ها در ۶ رنگ آبی سبز، سفید، شفاف،

فرابنفش، امواج) به وجود می‌آیند حضور این قطعات بزرگ پلاستیکی رنگی می‌تواند نگران‌کننده باشد. چراکه ذرات میکروپلاستیکی رنگی به راحتی توسط موجودات وابسته به بوم‌سازگان آبی به‌عنوان غذا اشتباه گرفته می‌شود (Arias- Andres et al. 2018).

پلاستیک‌های شناسایی شده در سواحل، سفید و شفاف هستند و تنوع رنگ آن‌ها به دلیل منشأ پلاستیک‌هایی است که از منابع مختلف منشأ می‌گیرند یا تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف مانند هوازدگی قرار می‌گیرند (Blettler et al. 2017). از آنجایی که ذرات میکروپلاستیک در اثر تجزیه و قطعه‌قطعه شدن اقلام پلاستیکی بزرگ‌تر (بر اثر هوازدگی، اشعه



شکل ۲- درصد فراوانی ماکرو و مزوپلاستیک در نمونه‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه بر اساس رنگ

Fig. 2 Abundance of macro and mesoplastic in the sediment samples of the study area based on color

جدول ۵- نتایج شاخص ساحل پاک برای هر ایستگاه

Table 5 Clean-coast index for each station

Stations	CCI	Classification
1	1.25	CV
2	1.50	CV
3	2.50	C
4	1	CV
5	3.75	C
6	3.25	C
7	5.50	MC
8	5	C
9	2.25	C
10	2.75	C
11	4.75	C
12	2.75	C
13	6.25	MC
14	5.75	MC
15	11	D
16	3.75	C
17	4.50	C
18	1	CV
19	4.75	C
20	1.75	CV
21	1.25	CV

very clean (VC), clean (C), moderately clean (MC), dirty (D), extremely dirty (ED)

۳-۲- نتایج شاخص CCI

مقیاس CCI در محدوده تمیز و خیلی کثیف طبقه‌بندی شدند (Sajorne et al. 2021). نتایج پژوهش‌های مختلف به شدت به روش مورد استفاده برای نمونه‌برداری وابسته است و مقایسه مطالعات را نسبتاً دشوار می‌کند (Filella 2015). در این پژوهش، سواحل بر اساس مقیاس CCI در محدوده خیلی تمیز تا نسبتاً تمیز و تنها ایستگاه ۱۵ در طبقه کثیف قرار گرفت. هر چند که فراوانی زباله‌های پلاستیکی سواحل زاینده‌رود به طور قابل توجهی بالاتر از میانگین جهانی است، ولی بر اساس شاخص ساحل پاک، در طبقه کثیف قرار نمی‌گیرند.

در این پژوهش، بر اساس مقیاس CCI، ۵۲/۴٪ سواحل تمیز، ۲۸/۶٪ سواحل بسیار تمیز و ۱۴/۳٪ سواحل نسبتاً تمیز طبقه‌بندی شد (جدول ۵). نتایج این پژوهش با مطالعات انجام‌شده در سواحل دیگر در جدول (۶) مقایسه شد. مشابه این پژوهش، سواحل مطالعات Loizi et al. (2021) و Nachite et al. (2019) به ترتیب در طبقه تمیز و خیلی تمیز قرار گرفتند. در صورتی که سواحل فیلیپین، بر اساس

جدول ۶- مقایسه میزان شاخص ساحل پاک در سواحل سایر نقاط جهان

Table 6 Comparison of the Clean-Coast Index in the beaches of other parts of the world

Area – beach name	Country	CCI	CCI description	Reference
San Manuel	Philippines	16.7	D	
San Miguel	Philippines	45.8	ED	Sajorne et al. (2021)
Bacungan	Philippines	5	C	
Inagawan	Philippines	111	ED	
El Salvador City	Philippines	2.27	C	Kalnasa et al. (2019)
Bulua	Philippines	33.3	ED	Esquinas et al. (2020)
Macabalan	Philippines	93.3	ED	
Talsari	India	14.8	D	
New Digha	India	32.1	ED	Mugilarasan et al. (2021)
Sankarpur	India	7.70	MC	
Paralimni	Cyprus	0.900-2.60	C	Loizia et al. (2021)
Centro	Brazil	12.6	D	
Meia Praia	Brazil	34.8	ED	
Silveria	Brazil	1	VC	Marin et al. (2019)
Taquarinhas	Brazil	4	C	
Vermelha	Brazil	71.8	ED	

۴- نتیجه‌گیری

۴- بر اساس شاخص CCI تمامی سواحل به جز ساحل ایستگاه ۱۵ در محدوده تمیز طبقه‌بندی شدند.

با وجود تمیز بودن سواحل زاینده‌رود، بهبود شیوه‌های مدیریت زباله جامد، حمایت از برنامه‌های افزایش آگاهی عمومی و انجام فعالیت‌های پاک‌سازی سواحل، برای جلوگیری یا کاهش آلودگی زباله‌های پلاستیکی ضروری است. مطالعات بیشتری برای توصیف کامل تأثیر آلودگی پلاستیکی در این سواحل مورد نیاز است. از این رو لازم است که شاخص زباله‌های انسانی خطرناک برای بررسی پتانسیل خطر انواع زباله‌های تجمع یافته در سواحل رودخانه زاینده‌رود محاسبه شود. همچنین با توجه به اینکه رودخانه، تغییرات درون سالانه قابل توجهی را تجربه می‌کند، بررسی‌های زمانی دقیق می‌تواند درک ما را از توزیع

در این پژوهش توزیع مکانی و ویژگی‌های ماکرو و مزو پلاستیک در رسوبات خط ساحلی رودخانه زاینده‌رود بررسی و نتایج کلی به شرح ذیل حاصل شد:

۱- ۵۸/۲۵٪ پلاستیک‌های جمع‌آوری شده به‌عنوان ماکرو پلاستیک و ۱۸٪ به‌عنوان مزو پلاستیک تعیین شدند.

۲- حضور اقلام پلاستیکی، مانند بسته‌بندی مواد غذایی، بطری‌ها و کیسه‌ها نشان‌دهنده غلبه زباله‌های خانگی بر زباله‌های صنعتی است.

۳- وجود مقادیر زیاد پلاستیک مشاهده‌شده، بوم‌سازگان رودخانه را به خطر می‌اندازد و نیازمند بهبود سیاست‌های محیط‌زیستی و راهبردهای آموزشی است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده‌شده (یا تولیدشده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده‌است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

ماکرو پلاستیک‌ها در رودخانه بهبود بخشند. اگرچه در این مطالعه از شاخص ساحل پاک برای بررسی آلودگی پلاستیکی سواحل استفاده شده است؛ ولی باتوجه به رفرنس‌های موجود، این شاخص برای همه انواع زباله‌های موجود در ساحل قابل اجرا است.

References

- Akarsu, C., Sönmez, V. Z., Altay, M. C., Pehlivan, T., & Sivri, N. (2022). The spatial and temporal changes of beach litter on Istanbul (Turkey) beaches as measured by the clean-coast index. *Mar. Pollut. Bull.*, 176, 113407. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2022.113407](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113407).
- Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K., & Grossart, H. P. (2018). Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environ. Pollut.*, 237, 253-261. DOI: [10.1016/j.envpol.2018.02.058](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.058).
- Asensio-Montesinos, F., Anfuso, G., Randerson, P., & Williams, A. (2019). Seasonal comparison of beach litter on Mediterranean coastal sites (Alicante, SE Spain). *Ocean Coast Manag.*, 181, 104914. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2019.104914](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104914).
- Baldwin, A. K., Corsi, S. R., & Mason, S. A. (2016). Plastic debris in 29 Great Lakes tributaries: relations to watershed attributes and hydrology. *Environ. Sci. Technol.*, 50(19), 10377-10385. DOI: [10.1021/acs.est.6b02917](https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02917).
- Behmanesh, M., Chamani, A., & Chavoshi, E. (2022). Occurrence, Abundance and Characteristics of Microplastics in the Sediments of the Zayandeh- Rud River. *Environ. Interdisciplin. Develop.*, 7(76), 74-89. DOI: [10.22034/envj.2022.159474](https://doi.org/10.22034/envj.2022.159474) [In persian]. DOI: [10.22034/envj.2022.159474](https://doi.org/10.22034/envj.2022.159474).
- Blašković, A., Fastelli, P., Čížmek, H., Guerranti, C., & Renzi, M. (2017). Plastic litter in sediments from the Croatian marine protected area of the natural park of Telašćica bay (Adriatic Sea). *Mar. Pollut. Bull.*, 114(1), 583-586. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2016.09.018](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.018).
- Blettler, M., Ulla, M. A., Rabuffetti, A. P., & Garello, N. (2017). Plastic pollution in freshwater ecosystems: macro-, meso-, and microplastic debris in a floodplain lake. *Environ. Monit. Assess.*, 189(11), 1-13. DOI: [10.1007/s10661-017-6305-8](https://doi.org/10.1007/s10661-017-6305-8).
- Chen, H., Wang, S., Guo, H., Lin, H., Zhang, Y., Long, Z., & Huang, H. (2019). Study of marine debris around a tourist city in East China: Implication for waste management. *Sci. Total Environ.*, 676, 278-289. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.04.335](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.335).
- Cowger, W., Gray, A., Eriksen, M., Moore, C., & Thiel, M. (2019). Evaluating wastewater effluent as a source of microplastics in environmental samples. *Microplastics in Water and Wastewater*. London: IWA Publishing, 109-131. DOI: [10.2166/9781789061697_0109](https://doi.org/10.2166/9781789061697_0109).
- de Scisciolo, T., Mijts, E. N., Becker, T., & Eppinga, M. B. (2016). Beach debris on Aruba, Southern Caribbean: attribution to local land-based and distal marine-based sources. *Mar. Pollut. Bull.*, 106(1-2), 49-57. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2016.03.039](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.039).
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar. Pollut. Bull.*, 44(9), 842-852. DOI: [10.1016/S0025326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025326X(02)00220-5).
- Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M. I., & Christie-Oleza, J. A. (2019). Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis. *J. Hazard. Mater.*, 369, 691-698. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.06>.
- Esquinas, G. G. M. S., Mantala, A. P., Atilano, M. G., Apugan, R. P., & Van Ryan Kristopher, R. G. (2020). Physical characterization of litter

- and microplastic along the urban coast of Cagayan de Oro in Macajalar Bay, Philippines. *Mar. Pollut. Bull.*, 154, 111083. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2020.111083](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111083).
- Faure, F., Demars, C., Wieser, O., Kunz, M., & De Alencastro, L. F. (2015). Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environ. Chem.*, 12(5), 582-591. DOI: [10.1071/EN14218](https://doi.org/10.1071/EN14218).
- Gabrielides, G. (1995). Pollution of the Mediterranean sea. *Water Sci. Technol.*, 32(9-10), 1-10. DOI: [10.1016/0273-1223\(96\)00070-4](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00070-4).
- Galgani, F., Hanke, G., & Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. In *Marine anthropogenic litter* (pp. 29-56): Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-319-16510-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3).
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Cardoso, R. P., Cardozo, B. B. I., & Dos Anjos, R. M. (2020). Plastic litter pollution along sandy beaches in the Caribbean and Pacific coast of Colombia. *Environ. Pollut.*, 267, 115495. DOI: [10.1016/j.envpol.2020.115495](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115495).
- Gasperi, J., Dris, R., Bonin, T., Rocher, V., & Tassin, B. (2014). Assessment of floating plastic debris in surface water along the Seine River. *Environ. Pollut.*, 195, 163-166. DOI: [10.1016/j.envpol.2014.09.001](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.09.001).
- Guo, X., & Wang, J. (2019). The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.*, 142, 1-14. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.03.019](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.019).
- Haberstroh, C. J., Arias, M. E., Yin, Z., & Wang, M. C. (2021). Effects of hydrodynamics on the cross-sectional distribution and transport of plastic in an urban coastal river. *Water Environ. Res.*, 93(2), 186-200. DOI: [10.1002/wer.1386](https://doi.org/10.1002/wer.1386).
- Holmes, L. A., Turner, A., & Thompson, R. C. (2014). Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions. *Mar. Chem.*, 167, 25-32. DOI: [10.1016/j.marchem.2014.06.001](https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.06.001).
- Horton, A. A., & Dixon, S. J. (2018). Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *WIREs Water*, 5(2), e1268. DOI: [10.1002/wat2.1286](https://doi.org/10.1002/wat2.1286).
- Jafari, A. J., Latifi, P., Kazemi, Z., Kazemi, Z., Morovati, M., Farzadkia, M., & Torkashvand, J. (2021). Development a new index for littered waste assessment in different environments: A study on coastal and urban areas of northern Iran (Caspian Sea). *Mar. Pollut. Bull.*, 171, 112684. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.112684](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112684).
- Jeyasanta, K. I., Sathish, N., Patterson, J., & Edward, J. P. (2020). Macro-, meso-and microplastic debris in the beaches of Tuticorin district, Southeast coast of India. *Mar. Pollut. Bull.*, 154, 111055. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2020.111055](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111055).
- Kalnasa, M. L., Lantaca, S. M. O., Boter, L. C., Flores, G. J. T., & Van Ryan Kristopher, R. G. (2019). Occurrence of surface sand microplastic and litter in Macajalar Bay, Philippines. *Mar. Pollut. Bull.*, 149, 110521. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110521](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110521).
- Karimian, S., Chamani, A., & Shams, M. (2020). Evaluation of heavy metal pollution in the Zayandeh-Rud River as the only permanent river in the central plateau of Iran. *Environ. Monit. Assess.*, 192(5), 1-13. DOI: [10.1007/s10661-020-8183-8](https://doi.org/10.1007/s10661-020-8183-8).
- Laist, D. W. (1997). Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. In *Marine debris*. 99-139 pp. Springer. DOI: [10.1007/978-1-4613-8486-1_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8486-1_10).
- Lippiatt, S., Opfer, S., & Arthur, C. (2013). Marine debris monitoring and assessment. NOAA Technical Memorandum NOS-ORandR-46,82.
- Loizia, P., Voukkali, I., Chatziparaskeva, G., Navarro-Pedreno, J., & Zorpas, A. A. (2021). Measuring the level of environmental performance on coastal environment before and during the COVID-19 pandemic: a case study from Cyprus. *Sustain.*, 13(5), 2485. DOI: [10.3390/su13052485](https://doi.org/10.3390/su13052485).
- Marin, C. B., Niero, H., Zinnke, I., Pellizzetti, M. A., Santos, P. H., Rudolf, A. C., Beltrão, M., de Souza Waltrick, D., & Polette, M. (2019).

- Marine debris and pollution indexes on the beaches of Santa Catarina State, Brazil. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 31, 100771. DOI: [10.1016/j.rsma.2019.100771](https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100771).
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., & Kaminuma, T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environ. Sci. Technol.*, 35(2), 318-324. DOI: <https://doi.org/10.1021/es0010498>.
- Mishra, S., Rout, P. K., & Das, A. P. (2021). Emerging microfiber pollution and its remediation. In *Environmental Pollution and Remediation*. 247-266 pp. Springer. DOI: [10.1007/978-981-15-5499-5_9](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5499-5_9).
- Morritt, D., Stefanoudis, P. V., Pearce, D., Crimmen, O. A., & Clark, P. F. (2014). Plastic in the Thames: a river runs through it. *Mar. Pollut. Bull.*, 78(1-2), 196-200. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2013.10.035](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.035).
- Mugilarasan, M., Karthik, R., Purvaja, R., Robin, R. S., Subbareddy, B., Hariharan, G., Rohan, S., Jinoj, T. P. S., Anandavelu, I., Pugalenth, P., & Ramesh, R. (2021). Spatiotemporal variations in anthropogenic marine litter pollution along the northeast beaches of India. *Environ. Pollut.*, 280, 116954. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116954>.
- Munier, B., & Bendell, L. (2018). Macro and micro plastics sorb and desorb metals and act as a point source of trace metals to coastal ecosystems. *PLoS One*, 13(2), e0191759. DOI: [10.1371/journal.pone.0191759](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191759).
- Nachite, D., Maziane, F., Anfuso, G., & Williams, A. T. (2019). Spatial and temporal variations of litter at the Mediterranean beaches of Morocco mainly due to beach users. *Ocean Coast Manag.*, 179, 104846. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2019.104846](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104846).
- Neto, A. (2014). Ocorrência, distribuição e grau de poluição por pellets, lixo de praia e lixo bentônico nas praias do município de Salvador, Bahia, Brasil. <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/21545>.
- Okwori, E., Viklander, M., & Hedström, A. (2020). Performance assessment of Swedish sewer pipe networks using pipe blockage and other associated performance indicators. *H₂ Open J.*, 3(1), 46-57. DOI: [10.2166/h2oj.2020.027](https://doi.org/10.2166/h2oj.2020.027).
- Rangel-Buitrago, N., Velez-Mendoza, A., Gracia, A., & Neal, W. J. (2020). The impact of anthropogenic litter on Colombia's central Caribbean beaches. *Mar. Pollut. Bull.*, 152, 110909. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2020.110909](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110909).
- Roebroek, C. T., Harrigan, S., Van Emmerik, T. H., Baugh, C., Eilander, D., Prudhomme, C., & Pappenberger, F. (2021). Plastic in global rivers: are floods making it worse? *Environ. Res. Lett.*, 16(2), 025003. DOI: [10.1088/1748-9326/abd5df](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd5df).
- Sajorne, R. E., Bacosa, H. P., Cayabo, G. D. B., Ardines Jr, L. B., Sumeldan, J. D., Omar, J. M., and Creencia, L. A. (2021). Plastic litter pollution along sandy beaches in Puerto Princesa, Palawan Island, Philippines. *Mar. Pollut. Bull.*, 169, 112520. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.112520](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112520).
- Sarafraz, J., Rajabizadeh, M., & Kamrani, E. (2016). The preliminary assessment of abundance and composition of marine beach debris in the northern Persian Gulf, Bandar Abbas City, Iran. *J. Mar. Biol. Assoc. U K*, 96(1), 131-135. DOI: [10.1017/S0025315415002076](https://doi.org/10.1017/S0025315415002076).
- Sharifinejad, A., Zahraie, B., Majed, V., Ravar, Z., & Hassani, Y. (2020). Economic analysis of water-food-energy nexus in Gavkhuni basin in Iran. *J. Hydro-environ. Res.*, 31, 14-25. DOI: [10.1016/j.jher.2020.03.001](https://doi.org/10.1016/j.jher.2020.03.001).
- Simeonova, A., & Chuturkova, R. (2020). Macroplastic distribution (Single-use plastics and some Fishing gear) from the northern to the southern Bulgarian Black Sea coast. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 37, 101329. DOI: [10.1016/j.rsma.2020.101329](https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101329).
- Sun, X., Li, Q., Zhu, M., Liang, J., Zheng, S., & Zhao, Y. (2017). Ingestion of microplastics by natural zooplankton groups in the northern South China Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 115(1-2), 217-224. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2016.12.004](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.004).
- Viršek, M. K., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for microplastics sampling on the sea surface

- and sample analysis. *J. Vis. Exp.*, e55161. DOI: [10.3791/55161](https://doi.org/10.3791/55161).
- Weideman, E. A., Perold, V., & Ryan, P. G. (2020). Limited long-distance transport of plastic pollution by the Orange-Vaal River system, South Africa. *Sci. Total Environ.*, 727, 138653. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.138653](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138653).
- Williams, A., & Simmons, S. (1996). The degradation of plastic litter in rivers: implications for beaches. *J. Coast Conserv.*, 2(1), 63-72. DOI: [10.1007/BF02743038](https://doi.org/10.1007/BF02743038).
- William, J. S., Mick, C., Isabelle, M. C., Peter, D., Michael, H. D., Liz, F., & Lloyd, S. P. (2010). A horizon scan of global conservation issues for 2010. *Trends Ecol. Evol.*, 25(1), 1-7. DOI: [10.1016/j.tree.2009.10.003](https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.10.003)
- Windsor, F. M., Durance, I., Horton, A. A., Thompson, R. C., Tyler, C. R., & Ormerod, S. J. (2019). A catchment-scale perspective of plastic pollution. *Glob. Change Biol.*, 25(4), 1207-1221. DOI: [10.1111/gcb.14572](https://doi.org/10.1111/gcb.14572).
- Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. 2013. Life in the “plastisphere”: microbial communities on plastic marine debris. *Environ. Sci. Technol.*, 47(13), 7137-7146. DOI: [10.1021/es401288x](https://doi.org/10.1021/es401288x)