

Journal of Water and Wastewater, Vol. 33, No. 1, pp: 12-26

Evaluating the Concentration of Bisphenol A and Nonylphenol and Water Quality in Caspian Sea Rivers Estuarine in Mazandaran Province by Using WQI Index

S. Pakzad Toocheai¹, A. Kazemi²

1. Assist. Prof., Dept. of Natural Ecosystems Management, Hamoun International Wetland Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran
(Corresponding Author) s.pakzad@uoz.ac.ir

2. Assist. Prof., Dept. of Environmental Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran

(Received July 12, 2021 Accepted Oct. 11, 2021)

To cite this article:

Pakzad Toocheai, S., Kazemi, A. 2022. "Evaluating the concentration of bisphenol A and nonylphenol and water quality in Caspian sea rivers estuarine in Mazandaran province by using WQI index"
Journal of Water and Wastewater, 33(1), 12-26. Doi: 10.22093/wwj.2021.294719.3162. (In Persian)

Abstract

Monitoring the quality of rivers entering the Caspian Sea can play a key role in planning to preserve and manage the health of aquatic organisms. Mazandaran province has several rivers flowing into the Caspian Sea. Hence, the quality of 28 estuaries along the coasts of Mazandaran province were investigated in the present study using water quality indexes. Method: Water sampling from 28 estuaries was performed and physicochemical parameters were measured including dissolved oxygen, pH, fecal coliform, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, phosphate, nitrate, ammonia, total dissolved solids, total suspended solids, total solids, bisphenol A and nonylphenol. Then, the water quality was evaluated through NSFQI, IRWQISC, and Liou indexes. Ranges of 1.99-18.94 mg/L and 3-12.42 mg/L were obtained in Kazemrood, Tajan, Alamkola, Kelayebon, Mahmoodabad, Talarood and Noshahr estuaries for BAP and in Chalakrood, Espirood, Chalooos, Alamkola, Fereidonkenar and Mashalakrood estuaries for NP, respectively. Results illustrated, a few rivers have high quality according to IRWQISC index. While, with the NSFQI, IRWQISC and Liou index classification, a high number of rivers, especially Sorkhrood, Tonekabon, Noor, Mahmoodabad and Tajan were placed in the worst quality categories. The urban and agricultural row wastewaters surrounding the Mazandaran Province Rivers are the main reasons for the decreasing water quality. Studies should be undertaken on wastewater treatment and riparian ecological rivers to improve the water quality of the mentioned rivers.

Keywords: Caspian Sea, IRWQISC, NSFQI, Liou, Bisphenol A, Nonyl Phenol, Quality Index.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۱، صفحه: ۲۶-۱۲

اندازه‌گیری بیسفنول A و نونیل فنول در مصب رودخانه‌های مرکزی دریای خزر و تعیین کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های کیفی آب WQI

ساحل پاکزاد توچایی^۱، علی کاظمی^۲

۱- استادیار، گروه پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، دانشگاه زابل، زابل، ایران (نویسنده مسئول) s.pakzad@uoz.ac.ir
 ۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و محیط‌زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

(دریافت ۱۴۰۰/۴/۲۱ پذیرش ۱۴۰۰/۷/۱۹)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

پاکزاد توچایی، س.، کاظمی، ع.، ۱۴۰۱، "اندازه‌گیری بیسفنول A و نونیل فنول در مصب رودخانه‌های مرکزی دریای خزر و تعیین کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های کیفی آب WQI" مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۱)، ۲۶-۱۲. Doi: 10.22093/wwj.2021.294719.3162

چکیده

آگاهی از وضعیت کیفی رودخانه‌های ورودی به دریای خزر، می‌تواند نقش به‌سزایی در برنامه‌ریزی برای حفظ و مدیریت سلامت دریا و رودخانه‌های آن و همچنین آبریان آنها داشته باشد. استان مازندران تعداد زیادی رودخانه دارد که به دریای خزر می‌ریزند. بنابراین به منظور تعیین سلامت رودخانه‌های ورودی به سواحل دریای خزر از ناحیه استان مازندران، کیفیت آب ۲۸ مصب رودخانه در امتداد سواحل این استان به کمک شاخص‌های کیفی آب بررسی شد. برای انجام کار، نمونه‌برداری از آب در مصب ۲۸ رودخانه انجام و مقدار برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل اکسیژن محلول، pH، کلیفرم مدفوعی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، غلظت فسفات، نیترات، آمونیاک، ذرات کل محلول، ذرات کل جامد و ذرات کل آب، به همراه غلظت ترکیبات بیسفنول A و نونیل فنول سنجش شد. سپس وضعیت کیفی آب این رودخانه‌ها توسط شاخص‌های کیفی NSFQI، IRWQISC و شاخص آلودگی Liou بررسی شد. بیشترین غلظت ترکیب BPA در مصب رودخانه‌های کاظم‌رود، تجن، عالم‌کلا، کلایه‌بن، محمودآباد، طارود و نوشهر با دامنه ۱/۹۹ تا ۱۸/۹۴ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین غلظت ترکیب NP در مصب رودخانه‌های چالک‌رود، اسپی‌رود، چالوس، عالم‌کلا، فریدون‌کنار و ماشلک‌رود با دامنه ۳ تا ۱۲/۴۲ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. بر اساس شاخص IRWQISC تعداد کمی از رودخانه‌ها در وضعیت مطلوب قرار داشتند. در حالی که تعداد زیادی از رودخانه‌ها به‌ویژه سرخورد، تنکابن، نور، محمودآباد و تجن، بر اساس شاخص‌های NSFQI، IRWQISC و Liou، جزء رودخانه‌های آلوده دسته‌بندی شدند. وجود مناطق مسکونی و کشاورزی در اطراف رودخانه‌های استان مازندران و ورود پساب تصفیه نشده موجب کاهش کیفیت این رودخانه‌ها شده است که باید تصفیه پساب‌های صنعتی و شهری ورودی و حریم اکولوژیکی رودخانه‌ها رعایت شود.

واژه‌های کلیدی: دریای خزر، IRWQISC، NSFQI، Liou، بیسفنول A، نونیل فنول، شاخص کیفی



۱- مقدمه

امروزه آلودگی اکوسیستم‌های آبی از مهم‌ترین معضلات محیط‌زیستی و نگرانی‌های جهانی محسوب می‌شود. چون افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی، توسعه صنایع مختلف و به تبع آن افزایش مصرف مواد شیمیایی و تولید روان آبهای حاوی آلاینده‌های مختلف می‌تواند با تأثیر بر این منابع، سلامت انسان و محیط را تحت تأثیر قرار دهد (Zhou et al., 2020a).

رودخانه‌ها علی‌رغم اینکه از مهم‌ترین منابع آب شیرین در دسترس هستند، به دلیل قرار گرفتن در دسته اکوسیستم‌های باز، بیشتر از سایر منابع آبی در معرض این قبیل آلاینده‌ها قرار دارند. رودخانه‌ها در مسیر عبور خود، تحت تأثیر کاربری‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و جمعیت شهری قرار گرفته و در نتیجه کیفیت و پیرامون قرار می‌گیرند (Abdel-Satar et al., 2017).

از طرفی دیگر، سلامت و کیفیت منابع آبی، از بارزترین ویژگی‌هایی است که برای دستیابی به توسعه پایدار باید مدنظر قرار گرفته شود و عدم توجه به وضعیت آن می‌تواند خطرات بهداشتی و محیط‌زیستی نامطلوبی را به همراه داشته باشد (Chitakira and Nyikadzino, 2020).

از مهم‌ترین آلاینده‌های خطرناکی که در اثر فعالیت‌های انسانی تولید و وارد رودخانه‌ها می‌شود، ترکیبات شبه‌استروژنی^۱ بوده که موجب اختلال غدد درون‌ریز در انسان و موجوداتی مانند آبزیان و دوزیستان می‌شوند. در بین آلاینده‌های مختلف ترکیباتی با منشأ طبیعی مانند estrone، estradiol، ethinylestradiol، فلزات سنگین و ترکیبات مصنوعی مانند انواع حشره‌کش‌ها، مواد دارویی، انواع سورفاکتانت‌ها مانند نونیل فنول^۲، آلکیل فنل‌ها و بیسفنول A^۳ وجود دارند که قادرند اثرات شبه‌استروژنی داشته باشند (Taghizadeh et al., 2020, Lin et al., 2017).

این ترکیبات به دلیل تشابه ساختاری با ترکیبات طبیعی بدن مانند β -stradiol، با گیرنده‌های این ترکیبات رقابت کرده و موجب اختلال در عملکرد صحیح آنها خواهند شد. به عبارتی دیگر، شبه‌استروژن‌ها به دلیل قابلیت کنش با ترکیبات استروژنی، توانایی

مختل‌کنندگی غدد درون‌ریز و زینواستروژن را دارد و اثرات مخرب آنها بر هورمون‌های جنسی، ناهنجاری‌های جنسی و خاصیت ضدباروری در موجودات زنده به‌ویژه آبزیان اثبات شده است (Radwan et al., 2020).

در بین ترکیبات شبه‌استروژنی، BPA که اولین بار در سال ۱۸۹۱ شناخته شده، ترکیبی آلی بوده که حاوی دو گروه فنول است. این ترکیب در زمره ترکیبات پلیمری است که از تغلیظ استون به دست می‌آید. ترکیب BPA در سنتز پلی‌استرها، پلی‌سولفون‌ها و کتون‌های پلی‌اتر استفاده می‌شود و مونومری کلیدی در تولید پلاستیک پلی‌کربنات^۴ و رزین‌های اپوکسی است. ترکیب BPA به شکل گسترده‌ای در تجهیزات الکترونیکی و تولید صنایع پلاستیکی ساخته شده از رزین‌های اپوکسی و همچنین در کامپوزیست‌های پرکننده دندان و وسایل برقی خانگی به کار می‌رود. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که این ماده شیمیایی در مایع محتوی آن آزاد شده و می‌تواند موجب انتقال این ترکیبات به مصرف‌کننده شود (Louis et al., 2013).

نوشیدن مایعات سرد از بطری‌های PC نیز مقدار BPA را در خون افزایش داده و در صورتی که این بطری‌ها گرم شوند (که در مورد بطری‌های شیر کودکان این اتفاق می‌افتد) انتظار می‌رود غلظت این ماده به میزان قابل توجهی افزایش یابد. از طرفی دیگر، علی‌رغم داشتن ساختار آلی، قابلیت تجمع در بافت‌های چربی موجودات زنده را دارد. ترکیب NP نیز از ترکیبات آلی بوده که از فنول متصل به یک رشته ۹ کربنه تشکیل شده است. نوع ساختار NP بسیار گسترده بوده که همگی، آلکیل فنول در نظر گرفته می‌شوند. از ترکیبات NP نیز در تولید روان‌کننده‌های روغنی، ضداکسیداسیون‌ها، شوینده‌های خانگی، امولسیون‌کننده‌ها و حلال‌ها استفاده می‌شود. این ترکیبات به دلیل مصرف گسترده می‌توانند از طرق مختلف مانند شیرابه‌های دفن زباله به طبیعت راه یابند (Bian et al., 2010, Ganjali et al., 2018).

بر این اساس، با توجه به ویژگی‌های مخرب آنها، توسط اتحادیه اروپا در زمره مواد سمی اکوسیستم‌های آبی قرار گرفته است و مدیریت رودخانه‌ها و بررسی کیفیت و حفاظت از آنها نیازمند بررسی انواع آلاینده‌های خطرناک در این منابع است. همچنین

¹ Endocrine Disrupting Chemicals

² Nonyl Phenol (NP)

³ Bisphenol A (BPA)

⁴ Poly Carbonate (PC)



رودخانه‌های منتهی به دریای خزر در سواحل استان مازندران و طبقه‌بندی کیفی آب این رودخانه‌ها با استفاده از شاخص‌های WQI انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

به منظور بررسی کیفی رودخانه‌های ورودی دریای خزر در استان مازندران، از مصب تعداد ۲۸ رودخانه این استان بر اساس معیارهای سازمان حفاظت محیط‌زیست و بر اساس تأثیر کاربری‌های انسانی در منطقه، با استفاده از GPS موقعیت‌یابی و نمونه‌برداری شد (جدول ۱ و شکل ۱).

نمونه‌برداری به صورت ۳ تکرار انجام شد و در حین نمونه‌برداری هریک از متغیرهای DO، کدورت، دمای آب و هدایت الکتریکی، توسط دستگاه کالیبره شده پرتابل، اندازه‌گیری شد و مطابق با استانداردهای موجود ۳ بار ثبت شد. سپس نمونه‌های برداشت شده در داخل ظروف شیشه‌ای مات استریل شده به منظور اندازه‌گیری سایر شاخص‌های کیفی مانند کلیرم مدفوعی، COD، BOD، غلظت فسفات، نترات، آمونیاک، ذرات کل محلول^۸، ذرات کل جامد^۹ و ذرات کل^{۱۰} به آزمایشگاه منتقل شدند. برای سنجش هریک از فاکتورهای مدنظر از روش استاندارد انجمن بهداشت عمومی آمریکا^{۱۱} استفاده شد (APHA, 1998).

۲-۲- آنالیز شیمیایی و تعیین کمی BPA و NP

از روش جداسازی مایع-مایع^{۱۲} برای استخراج BPA و NP استفاده شد. به این ترتیب که ۵۰ میلی‌گرم نمک کلرید سدیم به همراه ۵۰۰ میلی‌لیتر از نمونه آب در قیف جداکننده ریخته شد و تا حل شدن کامل نمک، هم زده شد. سپس محلول به دست آمده توسط اسیدکلریدریک، تا pH معادل ۲ اسیدی شد. به منظور استخراج BPA و NP، طی دو بار تکرار، نمونه مخلوط شده همراه با ۵۰ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان ابتدا به مدت ۵ دقیقه و سپس به منظور

علاوه بر اندازه‌گیری این ترکیبات، بررسی شاخص‌های معمول کیفی آب مانند میزان اکسیژن‌خواهی زیستی^۱ و شیمیایی^۲ آب و ترکیبات مغذی مثل نترات‌ها و فسفات‌ها و اکسیژن محلول^۳ آب و بررسی آنها توسط شاخص‌های کیفی آب می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر و ابزاری قوی برای بررسی وضعیت کیفیت رودخانه‌ها استفاده شود.

به طور کلی، شاخص بررسی کیفیت آب^۴ با کمترین پیچیدگی ریاضی و آماری، می‌تواند در بررسی کیفیت آب به کار رود. در این بین شاخص‌های NSFQI^۵، Liou و IRWQISC^۶ توسط پژوهشگران کاربرد بیشتری دارند. شاخص Liou یا شاخص آلودگی رودخانه^۷، توسط لیو و همکاران در سال ۲۰۰۳ به منظور ارزیابی سلامت رودخانه‌ها در تایوان به کار گرفته شد. در این مدل، بر اساس متغیرهای DO، COD، نیتروژن آمونیاکی و مواد جامد معلق و بر اساس منحنی‌های دسته‌بندی از پیش تعیین شده، سنجش می‌شود (Liou et al., 2003).

شاخص IRWQISC نیز مربوط به کیفیت منابع آب ایران بوده و با توجه به انطباق مناسب با وضعیت طبیعی، مشکلات و مسایل منابع آبی ایران کاربرد بیشتری دارد (Ranjbar et al., 2020). شاخص NSFQI نیز که به معنای شاخص کیفیت آب مؤسسه بهداشت ملی است، بنابر دقت زیاد، سادگی و وسعت کاربرد، بهترین شاخص محسوب می‌شود (Misaghi et al., 2017).

دریای خزر، یک اکوسیستم منحصربه‌فرد با گونه‌های آبی ویژه مانند انواع تاسماهیان، ماهی آزاد و کپور ماهیان و انواع کفزیان است که توسط رودخانه‌های متعدد دائمی و فصلی تغذیه می‌شود. در اهمیت این رودخانه‌ها همین بس که محل زادآوری و تکثیر بسیاری از گونه‌های اقتصادی و اکولوژیک دریای خزر هستند. بنابراین حفظ و مراقبت و پایش مداوم این نقاط حساس، به بقا و ماندگاری تنوع زیستی اکوسیستم دریای خزر کمک خواهد کرد. بنابراین این پژوهش با هدف تعیین غلظت ترکیبات BPA و NP در مصب

¹ Biological Oxygen Demand (BOD)

² Chemical Oxygen Demand (COD)

³ Dissolved Oxygen (DO)

⁴ Water Quality Criteria (WQI)

⁵ National Sanitation Foundation Water Quality (NSFWQI)

⁶ Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters (IRWQISC)

⁷ River Pollution Index (RPI)

⁸ Total Dissolved Solid (TDS)

⁹ Total Suspended Solid (TSS)

¹⁰ Total Solid (TS)

¹¹ American Public Health Association (APHA)

¹² Liquid-Liquid



جدول ۱- رودخانه‌های انتخاب شده برای نمونه‌برداری

Table 1. River selected for sampling

Number	Station	Longitude	Latitude	Land use
1	Chaboksar	36°58'25.95" N	50°34'48.94" E	Agricultural and Residential
2	Kelayebon	36°52'48" N	50°45'15.03" E	Agricultural and Residential
3	Chalacrood	36°52'22.88" N	50°46'20.10" E	Agricultural and Residential
4	Shirood	36°51'18.4" N	50°47'58" E	Agricultural and Residential
5	Tonekabon	36°49'08.1" N	50°52'55.3" E	Residential
6	Azarood	36°45'23.53" N	51°00'41.41" E	Agricultural and Residential
7	Nashtarood	36°45'0.5" N	51°01'32.55" E	Agricultural and Residential
8	Kazemrood	36°43'50.1" N	51°05'41.3" E	Agricultural and Residential
9	Asbcheen	36°43'04.46" N	51°09'25.89" E	Agricultural and Residential
10	Talarood	36°42'07" N	51°14'51.6" E	Agricultural and Residential
11	Espirood	36°41'44.96" N	51°16'58.77" E	Agricultural and Residential
12	Namakabrood	36°58'25.95" N	50°34'48.94" E	Agricultural and Residential
13	Sardabrood	36°41'08.7" N	51°23'53.1" E	Agricultural and woody
14	Chaloosood	36°39'12.16" N	51°27'46.85" E	Agricultural and Residential
15	Noshahr	36°39'04.84" N	51°30'43.87" E	Agricultural and Residential
16	Mashalakrood	36°39'02.63" N	51°30'56.02" E	Residential
17	Khiroorrood	36°37'41.22" N	51°34'51.93" E	Agricultural and Residential
18	Alamkola	36°34'06.4" N	51°53'59.3" E	Agricultural and Residential
19	Royan	36°34'18.36" N	51°57'50.50" E	Agricultural and Residential
20	Noor	36°34'41.83" N	52°01'12.62" E	Agricultural and Residential
21	Tajan	36°48'11.6" N	53°06'56.39" E	Agricultural and Residential
22	Siahrood	36°46'15.73" N	52°58'13.38" E	Agricultural and Residential
23	Ghaemshahr	36°43'21.13" N	52°44'43.36" E	Agricultural and Residential
24	Babolsar	36°42'1.2" N	52°38'35.9" E	Agricultural and Residential
25	Fereidoonkenar	36°41'14.52" N	52°30'58.84" E	Agricultural and Residential
26	Sorkhrood	36°40'26.5" N	52°26'37.2" E	Agricultural and Residential
27	Mahmoodabad	36°38'01.38" N	52°15'33.58" E	Agricultural and Residential
28	Izadshahr	36°36'11.84" N	52°08'50.26" E	Agricultural and Residential

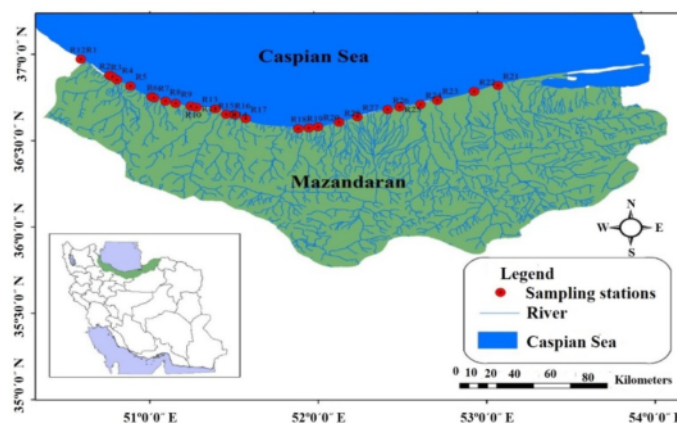
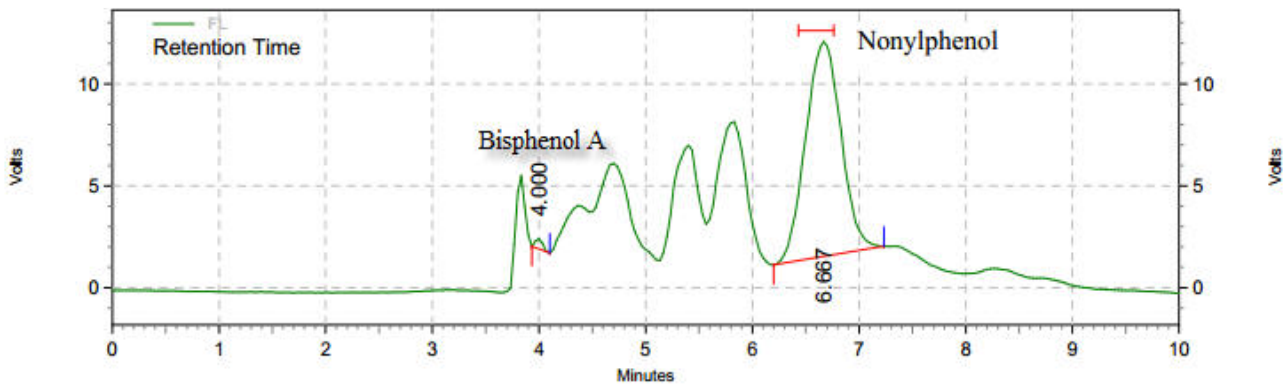


Fig. 1. Geographical position of studied area, Mazandaran province

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، استان مازندران





FL results					
Name	Retention time	Area	Area %	Height	Width
Bisphenol A	4.000	2320	0.95	494	0.17
Nonylphenol	6.667	24248	99.05	10545	1.03
Total		244800	100.00	11039	

Fig. 2. Chromatograph of BPA and NP in one sample

شکل ۲- کروماتوگراف یون‌های BPA و NP در یکی از نمونه‌ها

داشته شد. دمای مکان تزریق نیز ۲۸۰ درجه سلسیوس و با انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت انتخاب شد. از گاز بی‌اثر نیتروژن با خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. یون‌های انتخاب شده ۱۰۷، ۱۲۱، ۱۳۵ و ۲۲۰ جرم بر بار برای NP و ۲۱۳ و ۲۲۸ جرم بر بار نیز برای BPA استفاده شد (Chen et al., 2010, Ganjali et al., 2018) (شکل ۲).

۲-۴- محاسبه شاخص کیفی IRWQISC

شاخص فیزیکی و شیمیایی IRWQISC، از مهم‌ترین شاخص‌های بومی است که به‌منظور تعیین وضعیت آب‌های سطحی ایران استفاده می‌شود (معادله ۱)

$$IRWQISC = \left[\sum_{i=1}^n I_i w_i \right]^{\frac{1}{x}} \quad x = \sum_{i=1}^n w_i \quad (1)$$

که در آن

w_i وزن متغیر، n تعداد متغیرها و I_i مقدار شاخص برای متغیر i ام منحنی رتبه‌بندی است. مطابق با این معادله، به‌منظور حصول اطمینان از صحت نتایج، بهتر است تعداد حداقل ۶ متغیر، برآورد شود (Aazami et al., 2019) (جدول ۲).

جداسازی فاز آبی و آلی به‌مدت ۱۰ دقیقه به‌صورت ساکن و رو به پایین نگه داشته شد. آب موجود در حلال استخراج شده با استفاده از انیدرید سولفات سدیم حذف شد و توسط دستگاه تبخیرکننده دوار و به دنبال آن، گاز نیتروژن خشک شد. ماده خشک باقیمانده با استفاده از یک میلی‌لیتر متانول و یک میلی‌لیتر هگزان، به‌ترتیب برای تعیین کمی و کیفی ترکیبات حل شد. سپس برای شناسایی ترکیبات مدنظر، به دستگاه کروماتوگراف گازی-طیف‌سنج جرمی^۱ و برای اندازه‌گیری کمی به دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی زیاد^۲ با دکتور فلورسانس تزریق شد (Bakhtiari et al., 2009).

۲-۳- آنالیز کیفی BPA و NP

با استفاده از دستگاه GC با دکتور MS تعیین کیفی ترکیبات BPA و NP با حجم یک میکرولیتر نمونه و نوع تزریق اسپلیت‌لس^۳ انجام شد. برای انجام کار، برنامه دمایی آن برای جداسازی پیک‌ها شامل دمای اولیه ستون ۱۰۰ درجه سلسیوس، یک دقیقه و ۱۰ درجه سلسیوس به‌ازای هر دقیقه برای افزایش دما تا ۲۹۰ درجه سلسیوس انجام شد و در همین دما به‌مدت ۱۰ دقیقه ثابت نگه

¹ Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS)

² High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)

³ Split Less



جدول ۲- طبقات کیفیت آب به روش NSFQI و IRWQISC

Table 2. Water quality classification according to NSFQI and IRWQISC methods

Index	Applicable range	Water quality classification	Color
NSFWQI	0 – 25	Very bad	Red
	25 – 49.9	Bad	Orange
	50 – 69.9	Regular	Yellow
	69.9 – 90	Good	Green
	90 – 100	Excellent	Blue
IRWQISC	<15	Very bad	Purple
	15 – 29.9	Bad	Red
	30 – 44.9	Relatively bad	Yellow
	45 – 55	Regular	Cream
	55.1 – 70	Relatively good	Green
	70.1 – 85	Good	Light green
	85<	Excellent	Light blue

جدول ۳- میزان ضریب وزنی به‌کار رفته برای محاسبه شاخص NSFQI

Table 3. Weights of parameters in NSFQI

Parameter	Weight	Parameter	Weight
DO	0.17	Phosphates	0.10
Fecal coliforms	0.16	Temperature	0.10
BOD	0.11	Turbidity	0.08
pH	0.11	Total solids	0.07
Nitrates	0.10		

۲-۶- محاسبه شاخص آلودگی آب Liou

برای محاسبه این شاخص از معادله ۳ استفاده شد. این شاخص بر اساس محاسبه زیرشاخص‌های مربوط و وزن دهی، به دست می‌آید. برای طبقه‌بندی کیفیت آب نیز از مقدار عددی که بر اساس شاخص Liou به دست آمد، استفاده شد (Aazami et al., 2019) (جدول ۴)

$$Liou = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 I_i \quad (3)$$

۲-۷- آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. به منظور انتخاب نوع آزمون آماری استفاده شده برای جداسازی گروه‌های مختلف، نوع پراکنش داده‌ها (از لحاظ نرمال بودن) به کمک آزمون کولموگروف - اسمیرنوف، بررسی شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن پراکنش داده‌ها، اختلاف معنی‌دار بین داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون ANOVA بررسی شد. همچنین برای جداسازی گروه‌های مختلف از پس آزمون tukey در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. همچنین میزان ارتباط بین

۲-۵- محاسبه شاخص کیفی NSFQI

شاخص NSFQI با حمایت سازمان ملی بهداشت آمریکا تعیین شد. مقدار این شاخص که بین صفر تا ۱۰۰ بوده، بر اساس ۹ پارامتر شامل DO، BOD، pH، نیترات، فسفات کل، دما، کدورت، مواد جامد کل و کلیفرم مدفوعی، تعیین و در پنج سطح عالی، خوب، متوسط، بد و خیلی بد طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۲). این شاخص از مجموع حاصل ضرب دو فاکتور وزن و کیفیت پارامتر به دست می‌آید. برای انجام کار، مقدار هر پارامتر در این معادله، ارزش داده شد (جدول ۳) و با محاسبه میانگین مقدار، شاخص هر ایستگاه بر اساس معادله ۲ تعیین شد

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_i \quad (2)$$

که در آن

n تعداد پارامترها، I_i مقدار هر یک از پارامترها و W_i نیز ضریب وزنی هر یک از پارامترها است (Terrado et al., 2010).

(Aminpour Shiani et al., 2017)



جدول ۴- مقدار پارامتری و تفسیر شاخص Liou

Table 4. Applicable ranges and water quality classification in Liou index

Parameter	Application range	Sub index function	Range	Water quality classification
DO	$6.5 <$	$I_{DO} = 1$	$2 >$	Good
	$4.6 - 6.5$	$I_{DO} = 3$		
	$2 - 4.5$	$I_{DO} = 6$		
	$2 >$	$I_{DO} = 10$		
BOD	$3 >$	$I_{BOD} = 1$	$2 - 3$	Slightly polluted
	$3 - 4.9$	$I_{BOD} = 3$		
	$5 - 15$	$I_{BOD} = 6$		
	$15 <$	$I_{BOD} = 10$		
SS	< 20	$I_{SS} = 1$	$3.1 - 6$	Moderately polluted
	$20 - 49$	$I_{SS} = 3$		
	$50 - 100$	$I_{SS} = 6$		
	> 100	$I_{SS} = 10$		
NH ₃ -N	< 0.5	$I_{NH3-N} = 1$	$6.1 <$	Very polluted
	$0.5 - 0.99$	$I_{NH3-N} = 3$		
	$1 - 3$	$I_{NH3-N} = 6$		
	> 3	$I_{NH3-N} = 10$		

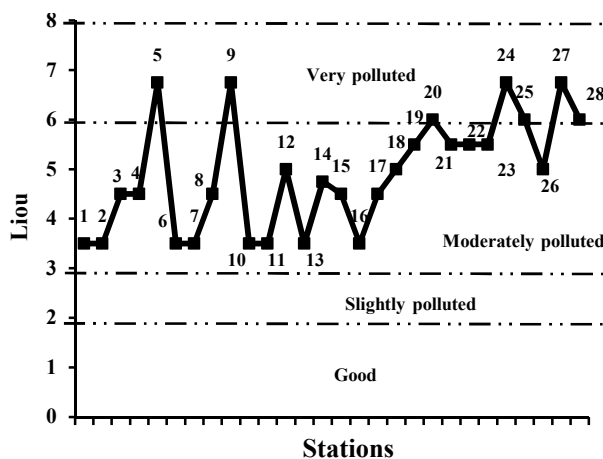


Fig. 3. Water quality of river estuaries reloads in Caspian sea from Mazandaran, according to Liou index
 شکل ۳- کیفیت آب مصب رودخانه‌های ورودی استان مازندران به

دریای خزر بر اساس شاخص Liou

آلوده‌ترین رودخانه‌ها قرار گرفتند. رودخانه‌های ایزدشهر، محمودآباد، سرخورد، بابلسر، قائم‌شهر، سیاه‌رود، چالوس‌رود و تنکابن نیز در دسته نسبتاً بد قرار گرفتند. در این بین رودخانه‌های ماشلک‌رود، سرداب‌رود، اسپه‌رود، شیرود و چالک‌رود نیز وضعیت مطلوبی داشتند. سایر رودخانه‌ها در دسته متوسط قرار گرفتند. بر اساس شاخص NSFQI، رودخانه بابلسر در وضعیت بد قرار داشته و سایر رودخانه‌ها در وضعیت متوسط از نظر آلودگی دسته‌بندی شدند. این شاخص نشان داد که هیچ‌یک از رودخانه‌های

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Heat mapper و رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Origin نسخه ۱۸ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از میانگین فاکتورهای DO، BOD، COD، TSS، TDS، TS، آمونیاک، نیترات و فسفات بر حسب میلی‌گرم در لیتر و غلظت ترکیبات BPA و NP بر اساس میکروگرم در لیتر به همراه نتایج حاصل از شاخص‌های EC (میلی-زیمنس بر سانتی‌متر) و pH در جداول ۵ و ۶ آمده است. نتایج حاصل از آزمون آماری ANOVA و پس‌آزمون tukey نشان داد که ایستگاه کاظم‌رود، تجن، عالم‌کلا، کلایه‌بن، محمودآباد و نوشهر، بیشترین مقدار BPA را دارد. بیشترین مقدار NP نیز در مصب رودخانه‌های چالک‌رود، اسپه‌رود، چالوس، ماشلک‌رود، سرخورد و محمودآباد اندازه‌گیری شد ($p < 0.05$). با توجه به نتایج به‌دست آمده از ارزیابی شاخص کیفی Liou، مصب رودخانه‌های محمودآباد، بابلسر، فریدون‌کنار، اسب‌چین، تنکابن و نور در دسته آلوده‌ترین و سایر رودخانه‌ها در دسته نسبتاً آلوده قرار گرفتند. بر اساس این شاخص، هیچ‌یک از رودخانه‌ها در وضعیت مطلوبی دسته‌بندی نشدند (شکل ۳).

شکل ۴ نیز نشان‌دهنده دسته‌بندی کیفی آب مصب رودخانه‌ها بر اساس شاخص IRWQISC است. بر اساس این شاخص، رودخانه‌های فریدون‌کنار، تجن، نور، رویان و اسب‌چین در دسته



جدول ۵- میانگین غلظت پارامترهای مورد مطالعه در نمونه‌های آب مصب رودخانه‌های استان مازندران

Table 5. The mean concentration of physicochemical parameters in the rivers estuaries of Mazandaran province

Station	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)	pH -	EC mSiemens/cm	Hardness (mg/L)	Temperature (°C)	Turbidity NTU
Chaboksar	148.6	412.76	561.36	6.68	0.68	98.33	28	10.33
Kelayebon	109.74	377.53	478.28	6.58	0.52	248.33	28	7.33
Chalakrood	105.27	338.08	433.35	6.71	0.54	403.33	29	8.31
Shirood	110.5	372.98	483.39	6.56	0.65	151.67	27	8.35
Tonekabon	79.89	210.87	290.77	6.59	0.37	120.33	27	20.33
Azarood	62.27	236.74	299.02	6.58	0.39	198.33	29	4.66
Nashtarood	82.03	305.46	387.5	6.63	0.48	199.01	29	6.66
Kazemrood	115.96	356.89	472.83	6.58	0.57	198	28	6
Asbcheen	430.34	1185.8	1616.1	6.31	1.61	403.33	28	8.33
Talarood	50.51	223.39	273.9	6.58	0.38	98.33	29	10.33
Espirood	76.3	271.62	347.92	6.64	0.48	303.33	27	8.33
Namakabrood	350.25	978.2	1328.5	6.5	1.29	306.67	29	6.33
Sardabrood	76.94	291.04	367.99	6.51	0.47	201.67	28	53.33
Chaloosood	54.69	229.41	284.11	6.53	0.37	606.67	28	22
Noshahr	74.74	261.65	336.39	6.56	0.4	703.33	29	41.66
Mashalakrood	66.11	252.41	318.51	6.7	0.36	148.33	28	9.33
Khiroorood	62.54	251.11	313.65	6.67	0.32	251.67	27	5.33
Alamkola	91.55	330.55	422.1	6.18	0.54	398.33	26	22
Royan	127.03	410.03	537.05	6.19	0.58	448.31	26	11.33
Noor	343.74	866.89	1210.6	6.26	1.15	393.20	28	18.33
Tajan	201.88	603.87	805.76	6.3	0.73	396.67	29	7.66
Siahrood	243.22	695.41	938.63	6.14	0.89	295	28	8.66
Ghaemshahr	246.3	663.05	909.36	6.09	0.83	106.67	28	11.64
Babolsar	1284.7	3223.6	4472	6.03	5.48	196.67	29	42
Fereidoonkenar	448.98	1204	1652.9	6.13	1.65	201.60	27	49.66
Sorkhrood	245.89	705.97	951.86	6.33	0.88	304.33	28	18.33
Mahmoodabad	254.28	743.51	997.79	6.83	0.93	298.35	28	15.66
Izadshahr	275.39	785.62	1061	6.82	1.03	396.67	27	20.66

رودی به دریای خزر، از ناحیه استان مازندران، وضعیت مطلوبی نداشتند (شکل ۵).
 شکل ۶ نتایج هم‌بستگی بین متغیرهای فیزیکوشیمیایی حوزه آبخیز مورد مطالعه را بر اساس نتایج شماتیک Heat mapper نشان می‌دهد. مقدار هم‌بستگی بر اساس رنگ‌بندی بین +۱ (بنفش) تا ۱- (سبز) متغیر است. بیشترین هم‌بستگی مثبت با رنگ بنفش نشان داده شده است و کاهش میزان هم‌بستگی، به رنگ‌های بنفش کم‌رنگ، سفید و سبز کم‌رنگ نشان داده شده و رنگ سبز نشان‌دهنده رابطه منفی و معکوس بین متغیرها است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان فسفات و نیترات به‌دست آمد ($p < 0.05$). همچنین تغییرات

COD و BOD با هر یک از فاکتورهای EC، آمونیوم و کدورت، TDS، EC، TSS و TS رابطه مثبت معنی‌داری داشت. همچنین ارتباط مثبت و معنی‌داری بین تغییرات BOD، EC، TDS و TSS و TS به‌دست آمد. فاکتور نیز با هر یک از فاکتورهای آمونیاک، کدورت، TSS، TDS و TS رابطه معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). همچنین رابطه مثبت و معنی‌داری بین تغییرات غلظت COD، آمونیاک و کدورت و رابطه معکوسی بین پارامتر PH با تغییرات میزان کلی‌فرم به‌دست آمد. غلظت BPA نیز با پارامترهای نیترات، فسفات، COD و BOD هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد ($p < 0.05$).

۲-۳- ترکیبات BPA و NP، از جمله آلاینده‌های شبه‌استروژنی

رودی به دریای خزر، از ناحیه استان مازندران، وضعیت مطلوبی نداشتند (شکل ۵).
 شکل ۶ نتایج هم‌بستگی بین متغیرهای فیزیکوشیمیایی حوزه آبخیز مورد مطالعه را بر اساس نتایج شماتیک Heat mapper نشان می‌دهد. مقدار هم‌بستگی بر اساس رنگ‌بندی بین +۱ (بنفش) تا ۱- (سبز) متغیر است. بیشترین هم‌بستگی مثبت با رنگ بنفش نشان داده شده است و کاهش میزان هم‌بستگی، به رنگ‌های بنفش کم‌رنگ، سفید و سبز کم‌رنگ نشان داده شده و رنگ سبز نشان‌دهنده رابطه منفی و معکوس بین متغیرها است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان فسفات و نیترات به‌دست آمد ($p < 0.05$). همچنین تغییرات



جدول ۶- میانگین غلظت پارامترهای مورد مطالعه در نمونه‌های آب مصب رودخانه‌های استان مازندران

Table 6. The mean concentration of physicochemical parameters in the rivers estuaries of Mazandaran Province

Station	NP (µg/L)	BPA (µg/L)	Ammonia (mg/L)	Nitrate (mg/L)	Phosphate (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DO (mg/L)	Coliform (MPN/100 cc)
Chaboksar	1.29	1.09	0.41	1.68	0.72	13	20.66	8.15	59
Kelayebon	1.63	4.41	0.06	1.03	0.69	10	18.23	8.3	75
Chalakrood	3.00	0.81	0.19	1.01	0.65	10	16.8	8.05	63
Shirood	1.56	0.91	0.17	0.35	0.26	9	16.83	8.4	51
Tonekabon	1.26	4.64	3.06	0.96	0.53	18	25.86	8.1	1375
Azarood	0.84	0.84	0.33	3.54	1.27	12	20.7	7.95	330
Nashtarood	0.37	0.69	0.15	0.94	0.54	10	18.83	7.8	509
Kazemrood	0.28	0.79	0.08	0.14	0.17	15	24.66	8.2	96
Asbcheen	1.12	0.94	1.53	0.8	0.53	145	160.33	8	260
Talarood	1.23	18.96	0.49	0.6	0.35	13	24.73	7.9	185
Espirood	6.93	0.91	0.17	0.34	0.28	11	20.73	8.5	72
Namakabrood	2.66	0.97	0.8	0.89	0.52	9	18.86	8.25	46
Sardabrood	2.60	0.77	0.06	0.61	0.39	8	16.63	8.2	104
Chaloosood	10.22	0.67	2.43	0.83	0.46	12	22.6	8.15	1083
Noshahr	12.29	3.55	0.3	3.01	0.9	10	20.47	8	189
Mashalakrood	12.42	1.03	0.24	0.76	0.76	9	16.56	7.8	74
Khiroorood	2.66	1.01	0.3	1.09	1.09	16	26.10	8.2	89
Alamkola	3.77	0.76	0.63	0.48	0.48	135	151.20	8.1	112
Royan	1.95	1.99	0.3	0.88	0.88	16	28.10	8.3	146
Noor	2.95	1.31	0.3	0.63	0.63	138	151.77	8.1	352
Tajan	1.35	1.00	0.37	0.77	0.47	19	30.08	8.15	760
Siahrood	1.69	0.99	0.31	2.46	1.03	24	36.36	8.3	271
Ghaemshahr	3.34	0.86	0.36	1.06	0.61	28	32.3	7.95	195
Babolsar	2.30	1.58	1.97	2.02	1.02	215	250.83	8	1020
Fereidoonkenar	1.59	0.82	0.53	1.48	0.74	22	33.76	8.2	406
Sorkhrood	4.38	0.79	0.43	0.65	0.34	6	10.56	8.3	977
Mahmoodabad	7.86	1.94	1.23	1.36	0.74	36	50.13	8.25	226
Izadshahr	1.41	0.69	0.57	1.41	0.86	40	55.96	8.45	196

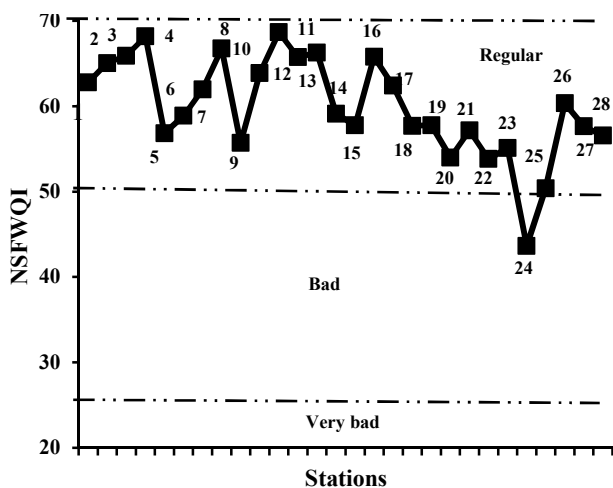


Fig. 5. Water quality of river estuaries reloads in Caspian Sea from Mazandaran, according to NSFQI index

شکل ۵- کیفیت آب مصب رودخانه‌های ورودی استان مازندران به دریای خزر بر اساس شاخص NSFQI

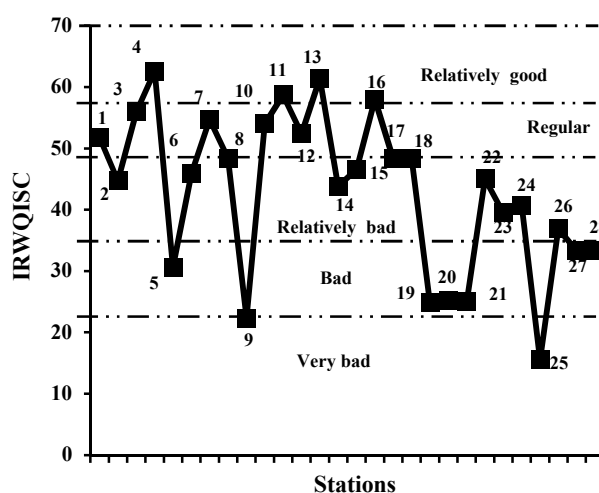


Fig. 4. Water quality of river estuaries reloads in Caspian Sea from Mazandaran, according to IRWQISC index

شکل ۴- کیفیت آب مصب رودخانه‌های ورودی استان مازندران به دریای خزر بر اساس شاخص IRWQISC



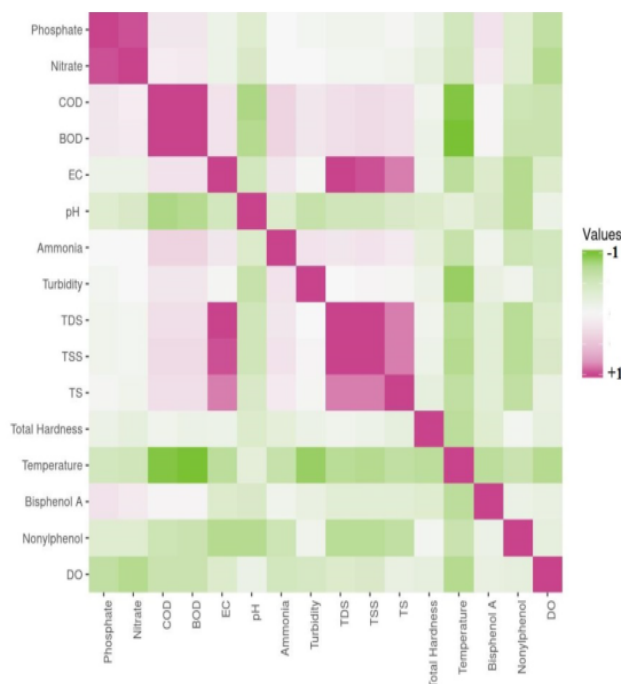


Fig. 6. Correlation coefficient between parameters

شکل ۶- ارتباط معنی‌دار بین پارامترهای بررسی شده

بیشترین غلظت ترکیب NP در مصب رودخانه‌های چالک‌رود، اسپی‌رود، چالوس، عالم‌کلا، فریدون‌کنار و ماشلک‌رود با دامنه ۳ تا ۱۲/۴۲ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. این رودخانه‌ها در مسیر امتداد خود، از مناطق پرجمعیت گذشته و علاوه بر دریافت فاضلاب تصفیه نشده انسانی، در برخی نقاط تحت تأثیر پساب صنایع مختلف مثل شهرک‌های صنعتی نیز قرار می‌گیرند. بنابراین عامل اصلی افزایش این ترکیبات در رودخانه‌های مذکور در مقایسه با سایر رودخانه‌های بررسی شده، تأثیر فعالیت‌های مذکور در اطراف رودخانه و انتقال فاضلاب آنها است. هرچند، بر اساس جدول ۲، اکثر رودخانه‌های بررسی شده تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی به‌ویژه پساب شهری بودند. اما کاهش غلظت این ترکیبات در برخی از رودخانه‌ها می‌تواند به دلیل تغییر در مقدار دبی آب، فاکتورهای شوری، دما، پخش‌کنندگی فیزیکی ترکیبات، ته‌نشست و تجمع آنها در رسوبات، توان خودپالایی این رودخانه‌ها و دوری از مناطق شهری و قرارگیری در مناطق روستایی باشد (Koumaki et al., 2017, Komaki and Riahi Bakhtiari, 2019, Taghizadeh et al., 2020, Zhou et al., 2020b). کمکی و ریاحی بختیاری با بررسی ترکیبات شبه‌استروژنی ۴-NP و اکتیل‌فنل در رسوبات و آب برخی از رودخانه‌های مازندران

هستند که به‌ویژه از طریق پساب‌های صنعتی، خانگی و شهری به اکوسیستم‌های آبی راه می‌یابند. رشد و توسعه شهرها و مناطق مسکونی در اطراف رودخانه‌ها، بدون اینکه حریم اکولوژیکی رودخانه در نظر گرفته شود و یا اینکه از ورود پساب‌های این مناطق جلوگیری شود، عامل اصلی افزودن این ترکیبات به طبیعت است (Koumaki et al., 2017, Zhou et al., 2017). به‌طوری‌که، پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که تغییرات معنی‌داری بین مقدار این ترکیبات در منابع آبی با دوری و نزدیکی به مناطق مسکونی و صنایع قابل مشاهده است (Lin et al., 2017, Komaki and Riahi Bakhtiari, 2019).

این ترکیبات به‌علت اثرات مخرب حتی در غلظت اندک و قابلیت انتقال در طول زنجیره غذایی، بیش از پیش مدنظر قرار گرفته است. بر همین اساس به دلیل اهمیت حوزه آبریز دریای خزر در استان مازندران و لزوم بررسی وضعیت کیفی آن، این ترکیبات در مصب ۲۸ رودخانه بررسی شد. نتایج حاصل از مقایسات آماری داده‌های این پژوهش نشان داد که بیشترین غلظت ترکیب BPA در مصب رودخانه‌های کاظم‌رود، تجن، عالم‌کلا، کلایه‌بن، محمودآباد، طلارود و نوشهر با دامنه ۱/۹۹ تا ۱۸/۹۴ میلی‌گرم در لیتر و



TSS و TS با تغییرات کلیفرم نیز نشان‌دهنده اثرگذاری ورود مقدار بالای مواد آلی و معدنی و املاح و به‌ویژه تأثیر آن بر فاکتورهای BOD و COD که جزء شاخص‌های حیاتی در کیفیت آب یک رودخانه هستند، می‌باشد (Emamgholizadeh et al., 2014).

بنابراین با مدیریت بهتر املاح ورودی و پساب‌های آلی در منطقه، می‌توان موجب کاهش فاکتورهای BOD و COD و به دنبال آن افزایش کیفیت آب شد.

اعظمی و همکاران با بررسی ارتباط بین فاکتورهای کیفی آب نشان دادند که هم‌بستگی بین تغییرات BOD و COD و کلیفرم ناشی از ورود ترکیبات آلی از طریق فاضلاب بهداشتی و حیوانی و توسعه نامنظم دامداری و عدم وجود مدیریت فاضلاب ورودی است. ارتباط منفی بین دما و DO نیز توسط پژوهش‌های زیادی به اثبات رسیده است که با افزایش دما مقدار DO کاهش می‌یابد (Harvey et al., 2011).

همچنین ارتباط منفی بین فاکتورهای BOD و COD با تغییرات pH نیز نشان می‌دهد که تغییرات املاح موجود در آب و همچنین شرایط بافری آب رودخانه، می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر خاصیت EC آب داشته باشد. ارتباط مثبت سختی آب با تغییرات غلظت NP نیز می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر فزاینده افزایش املاح و برخی یون‌های آبی بر افزایش غلظت ترکیبات شبه‌استروژنی باشد. بنابراین به کمک کاهش سختی آب توسط فرایندهای سختی‌گیر طی تصفیه، می‌توان اثر معنی‌داری بر کاهش غلظت این آلاینده داشت.

در پژوهش اخیر همچنین کیفیت آب رودخانه‌های ورودی دریای خزر از استان مازندران توسط شاخص‌های کیفی آب بررسی شد. در این بررسی، بر اساس شاخص IRWQISC تعداد کمی از رودخانه‌ها در وضعیت مطلوب قرار داشتند. در حالی که تعداد زیادی از رودخانه‌ها به‌ویژه سرخورد، تنکابن، نور، محمودآباد و تجن، در وضعیت مناسبی قرار نداشته و بر اساس شاخص‌های NSFQI، IRWQISC و Liou، جزء رودخانه‌های آلوده دسته‌بندی شدند. تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و شهرنشینی می‌تواند به شکل چشمگیری موجب کاهش کیفیت این رودخانه‌ها شود. بر طبق نتایج به‌دست آمده، میانگین غلظت برخی ترکیبات در بین تمامی رودخانه‌ها تقریباً برابر بود. اما در بین اینها، فاکتورهایی مانند کلیفرم مدفوعی، تغییرات میزان BOD، COD، نیترات و آمونیاک موجب تغییر دسته‌بندی رودخانه‌ها توسط هر یک از شاخص‌ها شد.

به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها همچنین نشان دادند که با توجه به عدم ارتباط معنی‌دار بین غلظت این ترکیبات در بین دو محیط آب و رسوب، عامل اصلی فزاینده این ترکیبات ورود فاضلاب تصفیه نشده صنعتی و شهری است. در بررسی این پژوهشگران، با دوری از محیط شهری، مقدار غلظت این ترکیبات کاهش معنی‌داری داشت (Komaki and Riahi Bakhtiari, 2019).

پژوهش‌های گنجعلی و همکاران نیز نتایج مشابهی را نشان داد. در این پژوهش، مصب رودخانه آستارا، بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده این ترکیبات را داشت. این پژوهشگران نیز دلیل افزایش غلظت‌های BPA و NP را عبور رودخانه آستارا از مرکز این شهر و ورود فاضلاب‌های شهری و خانگی به این رودخانه عنوان کردند (Ganjali et al., 2018).

لین و همکاران با بررسی نمونه آب و رسوب در ۶۶ رودخانه از سه شهر جنوب شرق چین که در اطراف صنایع پلاستیک قرار داشتند، نشان دادند که با فاصله از صنایع مقدار ترکیب BPA به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد. آنها نشان دادند صنایعی که از ترکیبات PC و رزین‌های پلیمری به‌عنوان پیش‌ماده استفاده می‌کنند، به شکل چشمگیری موجب افزایش غلظت این ترکیب در محیط می‌شود (Lin et al., 2017).

وانگ و همکاران در بررسی مقدار تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی ترکیبات شبه‌استروژنی در موجودات آبی دریاچه Taihu چین نشان دادند که ترکیب BPA با دامنه ۴۹/۷ تا ۳۴۸۰ نانوگرم در لیتر، بیشترین غلظت را داشت و با دستیابی به مقدار فاکتور لگاریتم جمعی^۱ این ترکیب در مقایسه با مقدار اکتانول آب (\log_{KOW}) نشان دادند که BPA قابلیت بزرگ‌نمایی زیستی در طول زنجیره غذایی را دارد (Wang et al., 2017).

با بررسی میزان ارتباط بین فاکتورهای بررسی شده، ارتباط معنی‌داری بین غلظت فسفات و نیترات به‌دست آمد که می‌تواند نشان‌دهنده اثر تغییرات مصرف کودهای شیمیایی و همچنین ورود فاضلاب‌های خانگی در منطقه و تغییرات هم‌زمان این دو شاخص در رودخانه‌ها باشد. همچنین ارتباط معنی‌دار بین تغییرات COD، BOD و EC با هر یک از فاکتورهای BOD، TDS، TSS و TS و همچنین رابطه معنی‌دار بین تغییرات غلظت آمونیاک، کدورت،

¹ Bioaccumulation Factor



با کیفیت نسبتاً بد و رودخانه‌های شاپور، مند، باهوش و حله با مقدار بین ۴۶ تا ۵۳ در وضعیت متوسط قرار گرفتند. همچنین آنها نشان دادند که این رودخانه‌ها تنها برای کشاورزی مناسب بوده و برای استفاده شرب باید تصفیه شوند (Mirzaei et al., 2017).

هرچند در شاخص Liou، هر یک از فاکتورها بدون وزن‌گیری، در محاسبه شاخص کلی در نظر گرفته می‌شوند و به تمامی فاکتورهای مدنظر ارزشی یکسان داده می‌شود و در نتیجه دقت کمتری دارد، اما در این پژوهش، نتایج به دست آمده با شاخص NSFQI، مشابهت داشت (Liou et al., 2003).

از طرفی دیگر، شاخص IRWQISC نیز رودخانه‌های مورد مطالعه را به طبقات کیفی بیشتری تقسیم کرد که تقریباً با شرایط پارامترهای کیفی رودخانه‌ها تطابق بیشتری داشت. البته مقدار تفاوت اندک می‌تواند ناشی از تفاوت در وزن‌دهی هر یک از پارامترها باشد. بنابراین به نظر می‌رسد، شاخص IRWQISC می‌تواند در پژوهش‌های آینده نیز در این ناحیه از آبخیز دریای خزر به دلیل سهولت در استفاده و در عین حال، دقت بیشتر نتایج دقیق‌تری را فراهم ساخته و قابل استفاده باشد.

پژوهش اعظمی و همکاران نیز نتایج مشابهی را نشان داد. آنها نیز پس از طبقه‌بندی کیفی آب رودخانه قزل‌اوزن در محدوده زنجان به کمک شاخص‌های مذکور، شاخص IRWQISC را به عنوان شاخص کاربردی برای منطقه در پژوهش‌های آینده معرفی کردند (Azami et al., 2019).

۵- نتیجه‌گیری

ورود فاضلاب تصفیه نشده عامل مؤثر بر افزایش غلظت ترکیبات شبه‌استروژنی بوده و بنابراین باید برای بهبود سیستم‌های تصفیه استان مازندران چاره‌اندیشی شود تا به کمک آن تنوع زیستی حساس و شکننده دریای خزر، کمتر در معرض خطر قرار بگیرد. با توجه به نتایج شاخص‌های NSFQI، IRWQISC و Liou وضعیت رودخانه‌های ورودی دریای خزر از ناحیه استان مازندران در وضعیت مناسبی نبوده و در دسته‌بندی نسبتاً آلوده تا آلوده قرار می‌گیرند. بنابراین باید به دلیل اهمیت مصب این رودخانه‌ها برای برخی ذخایر آبی و همچنین ورود آلاینده‌های آب از طریق این رودخانه‌ها به دریا، مدیریت و نظرات دقیق‌تری بر

بنابراین به نظر می‌رسد، استفاده از سموم و کودهای شیمیایی و فاضلاب حاوی بار آلی زیاد، بر کیفیت رودخانه‌ها تأثیر شدیدی داشته باشد.

یوسف‌زاده و همکاران نشان دادند که استفاده از انواع سموم و کودهای مورد استفاده در کشاورزی، موجب تغییر غلظت فسفات و نیتрат می‌شود (Yousefzadeh et al., 2014).

امین‌پور شیانی و همکاران علت تغییر کیفیت آب در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه را تغییر میزان کلیفرم مدفوعی، COD متفاوت و DO عنوان کردند. پژوهش‌های گسترده‌ای با استفاده از شاخص‌های کیفی آب انجام شده است که به کمک آن رتبه‌بندی کیفی آب رودخانه‌ها برای مدیریت بهتر آینده در نظر گرفته شده است (Aminpour Shiani et al., 2017).

وحیدونیشا و شوکلا با بررسی کیفیت آب تالاب روب سیگار هند با استفاده از شاخص NSFQI تغییرات معنی‌داری در بین ماه‌های سال به دست آوردند (Vaheedunnisha and Shukla, 2013).

اعظمی و همکاران در ارزیابی سلامت کیفی آب رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از شاخص‌های NSFQI، IRWQISC و Liou نشان دادند که کشت زیتون در منطقه طارم و توسعه ناپایدار آبی‌پروری در ماهانشان مهم‌ترین عوامل مؤثر در کیفیت آب رودخانه‌ها بوده که به موجب شاخص‌های بررسی شده، در دسته آلودگی متوسط تا شدید قرار می‌گیرند (Azami et al., 2019).

امین‌پور شیانی و همکاران به منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه گازرودبار (ورودی تالاب انزلی) با استفاده از شاخص کیفی NSFQI و Liou طی ۱۲ ماه نمونه‌برداری و بررسی میانگین ماهیانه شاخص NSFQI در محدوده ۵۰/۴ تا ۶۰ و میانگین ماهیانه شاخص Liou در محدوده ۱/۱ تا ۳/۸۵ قرار داشت. این پژوهش نشان داد که آب رودخانه گازرودبار در رده کیفی متوسط و اندکی آلوده قرار دارد. آنها تخلیه زباله، فاضلاب‌های خانگی، روستایی و شهری، زهاب کشاورزی، فضولات حیوانی و دبی پایین رودخانه را از علل اصلی کاهش کیفیت آب این رودخانه‌ها عنوان کردند (Aminpour Shiani et al., 2017).

میرزایی و همکاران در بررسی کیفیت آب رودخانه‌های جاری در استان بوشهر با استفاده از شاخص‌های NSFQI و IRWQISC نشان دادند که باغان و دالکی با مقدار ۳۱/۳ و ۳۹/۸



۶- قدردانی

نویسندگان از همکاری خانم دکتر فاطمه عین‌الهی پیر، عضو هیئت علمی دانشگاه زابل قدردانی می‌کنند.

تصفیه فاضلاب‌های ورودی به این رودخانه‌ها انجام شود. همچنین با توجه به دسته‌بندی بیشتر شاخص IRWQISC استفاده از این شاخص در پژوهش‌های آینده در این منطقه پیشنهاد می‌شود.

References

- Aazami, J., KianiMehr, N., Zamani, A., Abdolahi, Z., Zarein, M. & Jafari, N. 2019. Water quality assessment of Ghezeloan river in Zanjan province using NSFQI, IRWQI and Liou. *Journal of Environmental Health Engineering*, 6(4), 385-400. (In Persian)
- Abdel-Satar, A. M., Ali, M. H. & Goher, M. E. 2017. Indices of water quality and metal pollution of Nile river, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43(1), 21-29.
- Aminpour Shiani, S., Mohammadi, M., Khaledian, M. R. & Mir Roshandel, A. 2017. Evaluation of water quality of Gazrood Roodbar river using NSFQI quality index and Liou pollution index. *Journal of Wetland Ecobiology*, 8(27), 63-74. (In Persian)
- APHA. 1998. Standard method for examination of water and wastewater. American Public Health Association. Inc., Washington, DC.
- Bakhtiari, A. R., Zakaria, M. P., Yaziz, M. I., Lajis, M. N. H., Bi, X. & Rahim, M. C. A. 2009. Vertical distribution and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in anoxic sediment cores of Chini Lake, Malaysia: Perylene as indicator of land plant-derived hydrocarbons. *Applied Geochemistry*, 24(9), 1777-1787.
- Bian, H., Li, Z., Liu, P. & Pan, J. 2010. Spatial distribution and deposition history of nonylphenol and bisphenol A in sediments from the Changjiang river (Yangtze river) Estuary and its adjacent East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 29(5), 44-51.
- Chen, T. C., Shue, M. F., Yeh, Y. L. & Kao, T. J. 2010. Bisphenol A occurred in Kao-Pin river and its tributaries in Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161(1), 135-145.
- Chitakira, M. & Nyikadzino, B. 2020. Effectiveness of environmental management institutions in sustainable water resources management in the upper Pungwe river basin, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 118, 102885.
- Emamgholizadeh, S., Kashi H., Marofpoor, I. & Zalaghi, E. 2014. Prediction of water quality parameters of Karoon river (Iran) by artificial intelligence-based models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 645-656.
- Ganjali, S., Zebardast Rostami, M. H., Kazemi, A. & Sahebi, Z. 2018. Investigation of bisphenol A and Nonylphenol in Estuaries of rivers in south-west coast of Caspian Sea. *Journal of Environmental Science and Technology*, 2092, 50-62. (In Persian)
- Harvey, R., Iye, L. & Paterson, R. 2011. The influence of air temperature on water temperature and the concentration of dissolved oxygen in Newfoundland rivers. *Canadian Water Resources Journal*, 36(2), 171-192.
- Komaki, N. & Riahi Bakhtiari, A. R. 2019. Evaluation of the concentration of 4-nonylphenol and octyl phenol estrogen-like compounds in surface sediments of the south and south-east rivers of the Caspian sea in Mazandaran province. *Journal of Water and Wastewater*, 31(2), 76-87. (In Persian)
- Koumaki, E., Mamais, D. & Noutsopoulos, C. 2017. Environmental fate of non-steroidal anti-inflammatory drugs in river water/sediment systems. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 233-241.
- Lin, Z., Wang, L., Jia, Y., Zhang, Y., Dong, Q. & Huang, C. 2017. A study on environmental bisphenol A pollution in plastics industry areas. *Water, Air and Soil Pollution*, 9, 228-237.



- Liou, S. M., Lo, S. L. & Hu, C. Y. 2003. Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan. *Water Research*, 37(6), 1406-1416.
- Louis, M. B., Chen, Z., Croughan, M., Sundaram, R., Stanford, J., Warner, M. W., et al., 2013. Bisphenol A and phthalates and endometriosis: the endometriosis: natural history, diagnosis and outcomes study. *Fertility and Sterility*, 100(1), 162-169.
- Mirzaei, R., Abbasi, N. & Sakizadeh, M. 2017. Water quality assessment of rivers in Bushehr province by using water quality index during 2011-2013 years. *Iran South Medicine Journal*, 20(5), 470-480. (In Persian)
- Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghmanesh, M. & Myers, B. 2017. Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: a case study of the Ghezel Ozan river. *Science of the Total Environment*, 589, 107-116.
- Radwan, E., Ibrahim, M. B. M., Adel, A. & Farouk, M. 2020. The occurrence and risk assessment of phenolic endocrine-disrupting chemicals in Egypt's drinking and source water. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(2), 1776-1788.
- Ranjbar, F., Jafarian, H., Gholizadeh, M. & Harsig, M. 2020. Effect of salmon farming on river water quality (case study of Mohammadabad Katoul river) using IRWQISC Index. *Journal of Research in Environmental Health*, 6(1), 83-95. (In Persian)
- Taghizadeh, T., Talebian-Kiakalaieh, A., Jahandar, H., Amin, M., Tarighi, S. & Faramarzi, M. A. 2020. Biodegradation of bisphenol A by the immobilized laccase on some synthesized and modified forms of zeolite Y. *Journal of Hazardous Materials*, 386, 121950.
- Terrado, M., Borrell, E., Campos, S., Barcelo, D. & Tauler, R. 2010. Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks. *Trac Trends in Analytical Chemistry*, 29(1), 40-52.
- Vaheedunnisha, D. & Shukla, D. S. K. 2013. Water quality assessment of RoopSagarPond of Satna using NSF-WQI. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(5), 1386-1388.
- Wang, Q., Chen, M., Shan, G., Chen, P., Cui, S., Yi, S., et al., 2017. Bioaccumulation and biomagnification of emerging bisphenol analogues in aquatic organisms from Taihu Lake, China. *Science of the Total Environment*, 598, 814-820.
- Yousefzadeh, H., Khoramabadi Shams, G., Godini, H. & Hoseinzadeh, A. 2014. The assessment of Khorramabad river water quality with national sanitation foundation water quality index and zoning by GIS. *Yafte*, 15(5), 82-92. (In Persian)
- Zhou, Q., Jiang, N., Zhao, L. & Liu, Y. 2017. Sensitive determination of bisphenol A, 4-nonylphenol and 4-octylphenol by magnetic solid phase extraction with Fe@ MgAl-LDH magnetic nanoparticles from environmental water samples. *Separation and Purification Technology*, 182, 78-86.
- Zhou, Q., Yang, N., Li, Y., Ren, B., Ding, X., Bian, H., et al., 2020a. Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00925.
- Zhou, N., Liu, Y., Cao, S., Gou, R., Ma, Y. & Chen, J. 2020b. Biodegradation of bisphenol compounds in the surface water of Taihu Lake and the effect of humic acids. *Science of the Total Environment*, 723, 138164.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

