University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Studies of qualitative indices and the proposal of necessary protection measures for protected Haraz River

Parva Mazandarani[1] | Kamran Rezaei Tavabe[2]✉ | Bahareh Samadi Kuchaksaraei[3] | Hadi Poorbagher[4] | Mohsen Eslamizadeh[5]

1. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: parva.maz@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: krtavabe@ut.ac.ir
3. Researcher, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: bahareh.samadi.k@ut.ac.ir
4. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: poorbagher@ut.ac.ir
5. Regional Water Company of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mohsen.slamizadeh@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 23 June 2023

Received in revised form 03 October 2023

Accepted 10 October 2022

Published online 27 January 2024

Keywords:

Haraz River,

Toxicity index,

Water quality index,

Z index.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the health status of the Haraz River ecosystem as one of the most important protected rivers in Iran. Sampling was done in 2020 and 2021 from 14 stations along the river. Identification of macrobenthos and calculation of Z index was performed along with Quality status, determination of toxicity, measurement of PAHs and statistical analysis of data. Based on the results, IRWQIsc was decreasing towards the downstream, except for the branches. IRWQIst fluctuated and generally decreased from upstream to downstream. The Z index had the highest value (4) in the downstream stations. In terms of self-purification, the river was in oligosaprobe, betamzosaprobe, alphamzosaprobe and polysaprobe classes. Upstream was more favorable than downstream and the cold season was more suitable than the warm season. Maps were prepared based on saprobe, integration of self-purification, BOD and land use of the region. The results of the analysis showed the important role of human activities, especially rural and garden uses, and in the next stage, roads, in the quality of river water. From upstream to downstream, the number of polluting sources has increased and they have shown their role. The increase in the density of rural areas, gardens, and fish farms has caused an increase in BOD and Z index. Therefore, it is necessary to follow up and carry out the treatment of sewage, development of agricultural system standards and supervision of the use of underground water along with dealing with the violators in order to protect the river.

Cite this article: Mazandarani, P., Rezaei Tavabe, K., Samadi Kuchaksaraei, B., Poorbagher, H., & Eslamizadeh, M. (2024). Studies of qualitative indices and the proposal of necessary protection measures for protected Haraz River. *Journal of Natural Environment*, 76 (Special Issue), 97-110. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.361220.2570

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.361220.2570

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

بررسی شاخص‌های کیفی و پیشنهاد اقدامات حفاظتی لازم برای رودخانهٔ حفاظت‌شدهٔ هراز

پروا مازندرانی[۱] | کامران رضایی‌توابع[۲]✉ | بهاره صمدی‌کوچسرائی[۳] | هادی پورباقر[۴] | محسن اسلامی‌زاده[۵]

۱. گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: parva.maz@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: krtavabe@ut.ac.ir
۳. پژوهشگر. دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: bahareh.samadi.k@ut.ac.ir
۴. گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: poorbagher@ut.ac.ir
۵. شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، تهران، ایران. رایانامه: mohsen.slamizadeh@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

کلیدواژه‌ها:
شاخص کیفیت آب،
شاخص سمیت،
شاخص ارزش زیستی کفزیان،
رودخانهٔ هراز.

چکیده

این مطالعه جهت بررسی وضعیت سلامت اکوسیستم رودخانهٔ هراز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های حفاظت شدهٔ کشور از طریق ارزیابی شاخص‌های فیزیکوشیمیایی، کیفیت، سمیت و خودپالایی انجام شد. نمونه‌برداری در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، از ۱۴ ایستگاه در طول رودخانه صورت گرفت. نمونه‌برداری و شناسایی درشت‌کفزیان و محاسبهٔ ارزش زیستی انجام شد. وضعیت کیفی، تعیین مقدار سمیت، اندازه‌گیری PAHs تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها انجام شد. براساس نتایج، شاخص کیفیت عمومی آب به‌سمت پایین‌دست غیر از سرشاخه‌ها رو به کاهش بود. شاخص سمیت دارای نوسان و در کل از بالادست به پایین‌دست نزولی بود. شاخص زیستی کفزیان بیشترین مقدار را در ایستگاه‌های پایین‌دست و با عدد حداکثر ۴ را داشت. از نظر ساپروبی، بخش‌های مختلف رودخانه در طبقات الیگوساپروب، بتامزوساپروب، آلفامزوساپروب و پلی ساپروب قرار داشت. ایستگاه‌های بالادست نسبت به پایین‌دست و فصل سرد نسبت به فصل گرم وضع مطلوب‌تری داشت. نقشه‌های تقسیم‌بندی حوضهٔ آبریز هراز براساس روش مونیخی، شاخص IRWQIsc و تلفیق نقشهٔ خودپالایی، BOD و کاربری اراضی منطقه تهیه شدند. نتایج حاصل از تحلیل‌ها، نقش مهم فعالیت‌های انسانی به‌خصوص کاربری‌های روستایی و باغی و در مرحلهٔ بعد جاده‌ها در کیفیت آب رودخانه را نشان داد. از بالادست به‌سمت پایین‌دست، تعداد منابع آلاینده بیشتر شده و نقش خود را نشان داده‌اند. افزایش تراکم مناطق روستایی، باغی، مزارع پرورش ماهی، سبب افزایش BOD و شاخص کفزیان شده است. بنابراین لازم است تصفیهٔ فاضلاب‌ها، تدوین استانداردهای نظام کشاورزی و نظارت بر استفاده از آب‌های زیرزمینی به‌همراه برخورد با متخلفان جهت حفاظت از رودخانه پیگیری و انجام شود.

استناد: مازندرانی، پروا؛ رضایی‌توابع، کامران؛ صمدی‌کوچکسرائی، بهاره؛ پورباقر، هادی؛ و اسلامزاده، محسن (۱۴۰۲). بررسی شاخص‌های کیفی و پیشنهاد اقدامات حفاظتی لازم برای رودخانهٔ حفاظت‌شدهٔ هراز. *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (ویژه نامه)، ۱۱۰-۹۷.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.361220.2570

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

رودخانه‌ها سیستم‌های پیچیده و پویای اکوهیدروبیولوژیک هستند (Pinto *et al*., 2012). افزایش فعالیت‌های انسانی باعث تخریب شدید آن‌ها شده است. در این راستا، احیاء و حفاظت رودخانه‌ها اهمیت ویژه‌ای یافته است (Song *et al*., 2015). در مطالعات لیمنولوژیک، با تعیین شاخص‌های زیستی[1] می‌توان وضعیت یک اکوسیستم را به‌درستی ارزیابی کرد (Ahmadi and Nafisi, 2011). شاخص ارزش زیستی مبنای محاسبهٔ توان تولید و وضعیت خودپالایی (ساپروبی[2]) اکوسیستم آبی است (Ahmadi *et al*., 2001) که ظرفیت یک بوم‌سازگان آبی در کاهش اثرات اکوسیستمی آلاینده‌ها، به‌خصوص آلاینده‌های آلی می‌باشد. اکوسیستم‌های آبی براساس شدت آلودگی ورودی، به چهار طبقهٔ اُلیگوساپروب، بتامزوساپروب، آلفامزوساپروب و پلی‌سابروب تقسیم می‌شوند (Steinberg, 2012).

مطالعات زیستی وضعیت شاخص کفزیان و ساپروبی، مهم‌ترین و کاربردی‌ترین بخش از بررسی لیمنولوژیک و مطالعهٔ اثرات آلاینده‌ها در یک اکوسیستم رودخانه‌ای است که لازم است در تدوین برنامه‌های حفاظتی برای این اکوسیستم‌ها مد نظر قرار گیرد. سایر مطالعات، شامل بررسی‌های باکتریولوژیک، آنالیز کیفی سمّیت و آزمایشات فیزیکوشیمیایی آب، در این زمینه نقش مکمّل دارند (Samadi Kuchaksaraei and Rezaei Tavabe, 2023). در حال حاضر، رودخانه‌ها، علاوه بر تغییرات طبیعی خود، تحت تأثیر فعالیت‌های مؤثر انسان جهت کاهش مخاطرات طبیعی و بهره‌برداری بی‌رویه و در نتیجه، در معرض دگرگونی‌های مخرب قرار دارند. با توجه به اهمیت حفاظتی این اکوسیستم‌های ارزشمند در کشور، تعداد ۸ رودخانهٔ مهم که از نظر وضعیت تنوع زیستی و حفاظت از گونه‌های خاص آبزیان شرایط ویژه‌ای دارند، جزء مناطق حفاظت‌شده قرار گرفته‌اند و حفاظت زیستی و مدیریت آن‌ها در چارچوب وظایف سازمان حفاظت محیط زیست کشور می‌باشد. رودخانهٔ حفاظت‌شدهٔ هراز یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های کشور است که در طول دو دههٔ گذشته در معرض انواع آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای بوده است. پژوهش‌های پیشین دربارهٔ رودخانهٔ هراز از نظر منابع آلاینده (Karbasi and Kalantari, 2007)، آلودگی‌های نفتی (Taheriazad *et al*., 2008)، بررسی کیفیت با استفاده از شاخص‌های زیستی (Mollazadeh *et al*., 2001)، پهنه‌بندی کیفی براساس شاخص NSFWQI (Nasirahmadi *et al*., 2012)، تعیین کلاسهٔ کیفی توسط پارامترهای فیزیکوشیمیایی (Ijadpanah-Saravi and Kiani, 2012)، بررسی میکروبی (Yaghoubzadeh and Safari, 2015; Yaghoubzadeh and Safari, 2016)، اثرات فاضلاب آبزی‌پروری (Rezaei Tavabe *et al*., 2018; Sarkhosh *et al*., 2019; Nabavi *et al*., 2020) و ارزیابی فلزات سنگین (Khalili *et al*., 2021) بوده است. با توجه به اهمیت پایش منظم و سالیانهٔ رودخانه‌ها، در مسیر توسعهٔ شهری و ورود آلاینده‌ها، در مطالعهٔ حاضر مقدار فلزات سنگین، مواد سمی آلی، شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آب، شاخص ارزش زیستی کفزیان، شاخص سمّیت (IRWQIst)، شاخص کیفی (IRWQIsc) و در نهایت وضعیت خودپالایی این رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه می‌تواند در راستای حفاظت و مدیریت این اکوسیستم مفید واقع شود.

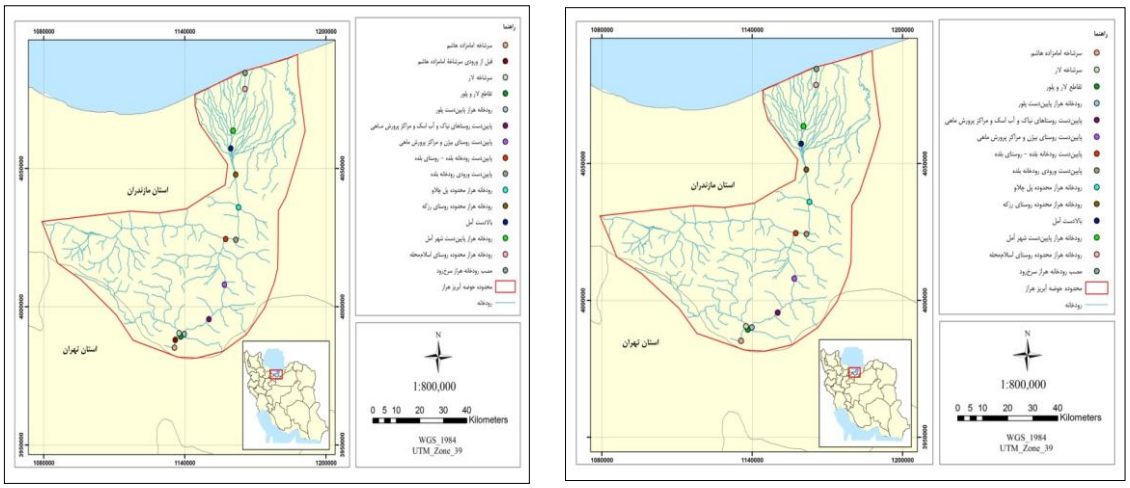
روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه: محدودهٔ مورد مطالعه، شامل رودخانهٔ هراز و سرشاخه‌های آن بود. براساس اصول لیمنولوژیک و هیدرولوژیک (EPA, 2006) و همچنین ا ستقرار منابع آلایندهٔ کلان حا شیه و حریم رودخانهٔ هراز، ۱۴ ای ستگاه از بالاد ست تا مصب این رودخانه تعیین گردید که جایگاه آن‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. نمونه‌برداری در دو فصل سرد (بهمن‌ماه ۱۳۹۹) و گرم (تیرماه ۱۴۰۰) انجام شد.

نمونه‌برداری از کفزیان و ارزیابی شاخص زیستی کفزیان (Z): برای مطالعات و نمونه‌برداری درشت کفزیان در بستر رودخانه‌ها از ابزار سوربر استفاده شد که بعد از جمع‌آوری و جداسازی با توری‌های با چشمه‌های کمتر از ۰/۱ میلی‌متر در فرمالین ۴ درصد یا اتیل الکل ۷۰ درصد تثبیت و منتقل شدند. سپس شناسایی و تنوع زیستی آن‌ها در زیر لوپ دوچشمی شرکت Tissa

[1] Bioindicator

[2] Saprobe



(ب) (الف)

شکل ۱- ایستگاه‌های نمونه‌بردار از روخانهٔ هراز در الف) فصل سرد؛ ب) فصل گرم

جدول ۱- موجودات بی‌مهره کفزی شاخص (اقتباس Wegl, 1983)

ردهٔ کیفی	نام موجود زندهٔ شاخص	ردهٔ کیفی	نام موجود زندهٔ شاخص
II - I	*Hydrophylus* sp.	I	*Amphineura* sp.
III - II	*Hydropsyche* sp.	-	*Asellus aquaticus*
II	*Limnophilus* sp.	II - I	*Athrix* sp.
II - I	*Limnophora* sp.	II - I	*Baitis* sp.
I	*Liponeura* sp.	I	*Capnia* sp.
I	*Perla* sp.	VI	*Chironomidae*
II - I	*Physa* sp.	III - II	*Coenogrion* sp.
I	*Protonemura* sp.	II - I	*Corduleguster* sp.
I	*Rhitrogena* sp.	II - I	*Dicranota* sp.
II - I	*Rhyacophila* sp.	I	*Dinocras* sp.
II - I	*Sericostoma* sp.	II - I	*Dugosia* sp.
II	*Simulium* sp.	II	*Eisenella* sp.
II - I	*Stenophylux* sp.	II - I	*Elmis* sp.
II - I	*Tinodus* sp.	I	*Epeorus alphina*
II - I	*Tipula* sp.	I	*Epeorus Essimilis*
VI	*Tubificidae*	II	*Galba* sp.
II	*Heptagenia* sp.	-	*Gammarrus* sp.
		VI	*Haplotoxidae*

مدل Cs-5CAW ساخت کشور چین، با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر و استاندارد تعیین شد (McIntyre and Eleftheriou, 2005). کفزیان جمع‌آوری‌شده، شناسایی و شمارش شدند و سپس شاخص زیستی ایستگاه‌های مورد مطالعه، با استفاده از جدول ۱ به‌دست آمد (Wegl, 1983). همچنین از جدول Hilsenhoff (Hilsenhoff, 1979) که وضعیت زیستی و آلودگی بخش‌های مختلف رودخانه را براساس میزان آلودگی آب و ارزش زیستی کفزیان را نشان می‌دهد، استفاده شد (جدول ۲). عدد ارزش زیستی رودخانه‌ها با استفاده از درشت‌کفزیان شاخص، براساس رابطهٔ زیر محاسبه شد (Bauer, 2000).

$$Z = \frac{\sum o + 2\sum \beta + 3\sum \alpha + 4\sum p}{\sum h}$$

Z= ارزش زیستی هر ایستگاه از رودخانه
∑o= مجموع تعداد موجودات منطقهٔ الیگو ساپروب
∑β= مجموع تعداد موجودات منطقه بتا–مزو ساپروب
∑α= مجموع تعداد موجودات منطقهٔ آلفا–مزو ساپروب
∑p= مجموع تعداد موجودات منطقه پلی ساپروب
∑h= مجموع کل فراوانی موجودات

جدول ۲- ضرایب و شاخص‌های زیستی براساس میزان آلودگی آلی آب (Hilsenhoff, 1979)

میزان آلودگی	کیفیت آب	شاخص زیستی
بدون آلودگی	عالی	۰-۰/۷۵
آلودگی بسیار کم	خیلی خوب	۰/۷۵-۱/۲۵
آلودگی کم	خوب	۱/۲۶-۱/۷۵
آلودگی زیاد	نسبتاً ضعیف	۱/۷۶-۲/۵۰
آلودگی خیلی زیاد	ضعیف	۲/۵۱-۳/۲۵
کاملاً آلوده	خیلی ضعیف	۳/۲۶-۴

در روش مونیخی، ناحیه‌بندی شدت آلودگی رودخانه به‌صورت طبقه‌های آبی مشخص می‌شود و در نقشه‌های منابع آب با رنگ‌های مختلف شامل آبی (منطقهٔ I؛ الیگوساپروب) سبز (منطقهٔ II؛ بتامزوساپروب)، زرد (منطقهٔ III؛ آلفامزوساپروب) و قرمز (IV؛ پلی‌ساپروب) نشان داده می‌شوند.

آنالیز فیزیکوشیمیایی و شاخص IRWQIsc: در هر ایستگاه با سه تکرار شامل فاصلهٔ یک سوم از طرفین و وسط رودخانه نمونه‌برداری انجام شد. برای هر تکرار ۲۵۰ سی‌سی نمونه‌برداری در قوطی‌های نمونه‌برداری انجام شد و برای آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی کیفی آب و شاخص سمیت به آزمایشگاه بوم‌شناسی آبزیان و آزمایشگاه عمومی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد (Samadi Kuchaksaraei and Rezaei Tavabe, 2023). برای ارزیابی وضعیت کیفی و آلودگی آب در ایستگاه‌های تعیین شده از شاخص استاندارد کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQIsc)[3] استفاده شد که یک شاخص تلفیقی از NSFWQI و BCEQI است که با وزن‌دهی به ۱۱ فاکتور اصلی کیفی آب (شامل BOD، COD، pH، نیترات، فسفات، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، آمونیوم، کدورت، سختی کل و کلیفرم مدفوعی) برای منابع آب سطحی کشور بهینه‌سازی شده و وضعیت کیفیت آب را در اکوسیستم‌ها و منابع آبی به‌صورت کمّی ارائه می‌کند و عدد کمّی به‌دست آمده در دامنهٔ عددی ۱۰۰-۰ می‌باشد. pH با دستگاه HACH، اشباعیت اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن‌خواهی بیولوژیک (BOD) به‌وسیلهٔ اکسیژن‌متر و BOD متر دیجیتال شرکت Hanna مدل F0021256 ساخت رومانی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) با روش تقطیر برگشتی باز، میزان فسفات (PO4) تحت شرایط اسیدی توسط واکنش با آمونیوم هپتامولبیدات، نیترات (NO3) توسط احیاء با کادمیم و سپس واکنش با سولفانیلیک اسید (Eaton and Franson, 2005) انجام شد. آنالیز و اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول (TDS)، شوری و رسانایی الکتریکی (EC) توسط دستگاه مولتی‌متر دیجیتال شرکت Hanna مدل DS-5467 ساخت رومانی و پارامتر اکسیداسیون احیایی (ORP) توسط دستگاه ORP متر دیجیتال شرکت Azgia مدل AZ-8651 ساخت چین انجام شد. اندازه‌گیری و ارزیابی شمارش کلی‌فرم مدفوعی به‌صورت رقت لوله‌ای و با محیط کشت EC در آزمایشگاه عمومی میکروبیولوژی آنالیز و شمارش گردید و همچنین فاکتور سختی کل (TH) نیز با استفاده از تیتراسیون با EDTA در آزمایشگاه عمومی اندازه‌گیری و ارزیابی شد. براساس ۱۱ فاکتور ارائه شده و جدول ۳، شاخص IRWQIsc محاسبه شده و نتایج براساس آن آنالیز شد.

تعیین شاخص‌های سمّی آب و ارزیابی شاخص IRWQIst: بعد از نمونه‌برداری نمونه‌های آب جهت تعیین شاخص‌های سمیت به آزمایشگاه مرکزی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد و با دستگاه‌های ICP و کروماتوگرافی گازی (GC) اندازه‌گیری شد. فلزات سنگین به‌وسیلهٔ دستگاه ICP-OES شرکت TERMO مدل ICP6000 قرائت شد. شاخص های سمی ترکیبات هیدروکربنی نفتی کل (TPH)، فنول، شوینده‌های (دترجنت) کل و سیانید نیز با دستگاه کروماتوگرافی گازی GC-ms مدل 7890A، شرکت Agilent کشور ایالات متحده آمریکا اندازه‌گیری و قرائت شد. همچنین تعیین مقدار و نوع هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای[4] PAHs روی نمونه‌های برداشت‌شده انجام شد (EPA, 2006). پس از آماده‌سازی عصاره، طبق دستورالعمل، PAHs استخراج شده جداسازی، شناسایی و تعیین مقدار شدند. برای ارزیابی و تعیین سمیت در ایستگاه‌های تعیین شده از شاخص استاندارد سمیت آب‌های سطحی ایران (IRWQIst) استفاده شد. عدد کمّی به‌دست آمده در دامنهٔ عددی ۱۰۰-۰

[3]Iran Water Quality Index for Surface Water Rocources-Conventional parameters

[4]Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

جدول ۳- طبقهٔ کیفی منابع آب‌های سطحی براساس عدد شاخص IRWQIsc

مقدار عددی شاخص	کمتر از ۱۵	۱۵-۲۹/۹	۳۰-۴۴/۹	۴۵-۵۵	۵۵/۱-۷۰	۸۵-۷۰/۱	بیشتر از ۸۵
معادل توصفی-کیفی	خیلی بد	بد	نسبتاً بد	متوسط	نسبتاً خوب	خوب	بسیار خوب

جدول ٤ -مقادیر توصیفی-کیفی شاخص سمّیت منابع آب سطحی IRWQIst

مقدار عددی شاخص	کمتر از ۱۵	۱۵-۲۹/۹	۳۰-۴۴/۹	۴۵-۵۵	۵۵/۱-۷۰	۷۰/۱-۸۵	بیشتر از ۸۵
معادل توصفی-کیفی	خیلی بد	بد	نسبتاً بد	متوسط	نسبتاً خوب	خوب	بسیار خوب

قرائت می‌شود که تقسیم‌بندی طبقه‌های کیفی آب براساس این شاخص طبق جدول ۳ انجام می‌گیرد. طبق دستورالعمل دفتر آب و خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست، برای هر نمونه آب در هر تکرار، ۱۱ عامل سمی شامل آرسنیک، جیوه، ترکیبات هیدروکربنی کل (TPH)، شوینده‌ها (دترجنت)، سرب، کادمیم، فنول، کروم، سیانید، آهن و منگنز مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار گرفتند. در نهایت بر اساس مقدار این مواد، شاخص سمیت محاسبه شد (جدول ۴).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk انجام شد. برای بیان اختلافات معنی‌دار فاکتورهای فیزیکوشیمیایی بین ایستگاه‌ها، با توجه به تعداد ایستگاه‌ها و ۳ تکرار، از روش کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزارSPSS نسخهٔ ۲۲ روش آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه[5] و آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد انجام شد. نمودارهای مربوطه نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخهٔ ۲۰۰۷ رسم شدند.

یافته‌های پژوهش

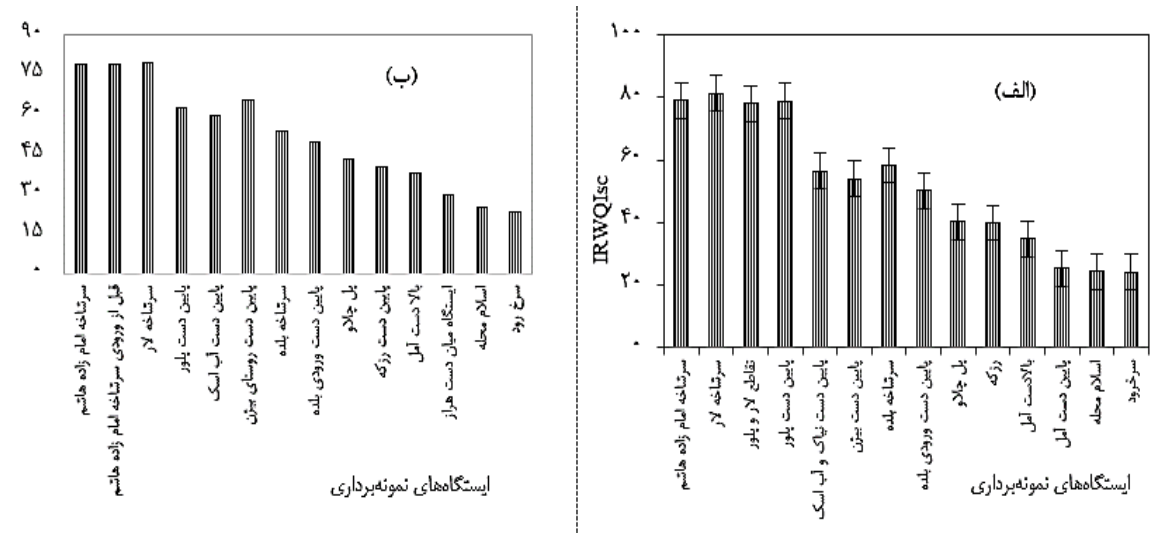
شاخص IRWQIsc رودخانهٔ هراز: براساس نتایج، تغییرات شاخص کیفیت عمومی آب (IRWQIsc)، بین ایستگاه‌ها متغیر و همراه با نوسان بود. مطابق با شکل ۲، در فصل سرد، شاخص IRWQIsc از بالادست تا پایین‌دست، در کل روندی رو به کاهش دارد. بیشترین مقدار آن در سرشاخهٔ لار (۸۱/۳) و کمترین آن در سرخرود (۲۴/۲۷) می‌باشد. در فصل گرم، روند شاخص IRWQIsc از ایستگاه‌های بالادست به سمت پایین‌دست کاهشی است. بیشترین شاخص کیفیت در ایستگاه سرشاخهٔ لار (۷۹/۸) و کمترین آن در سرخرود (۲۳/۲) محاسبه شده است. هرچند نمودار با نوساناتی همراه است، اما الگوی کلی حاکی از کاهش شاخص کیفیت آب از بالادست به سمت پایین‌دست است.

تعیین مقدار فلزات سنگین و شاخص‌های سمی و IRWQIst: شکل ۳، تغییرات شاخص سمیت IRWQIst را در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فصل سرد رودخانهٔ هراز نشان می‌دهد. براساس نتایج، شاخص سمیت در کل روندی رو به کاهش را از بالادست تا پایین‌دست نشان می‌دهد. بیشترین مقدار این شاخص، ۹۶/۵۲ در ایستگاه سد لار و کمترین آن با ۳۸/۲۳ در اسلام محله است. در فصل گرم بیشترین شاخص سمیت در سرشاخهٔ لار (۹۵/۱۹) و کمترین آن در سرخرود (۳۶/۳۷) مشاهده شده است.

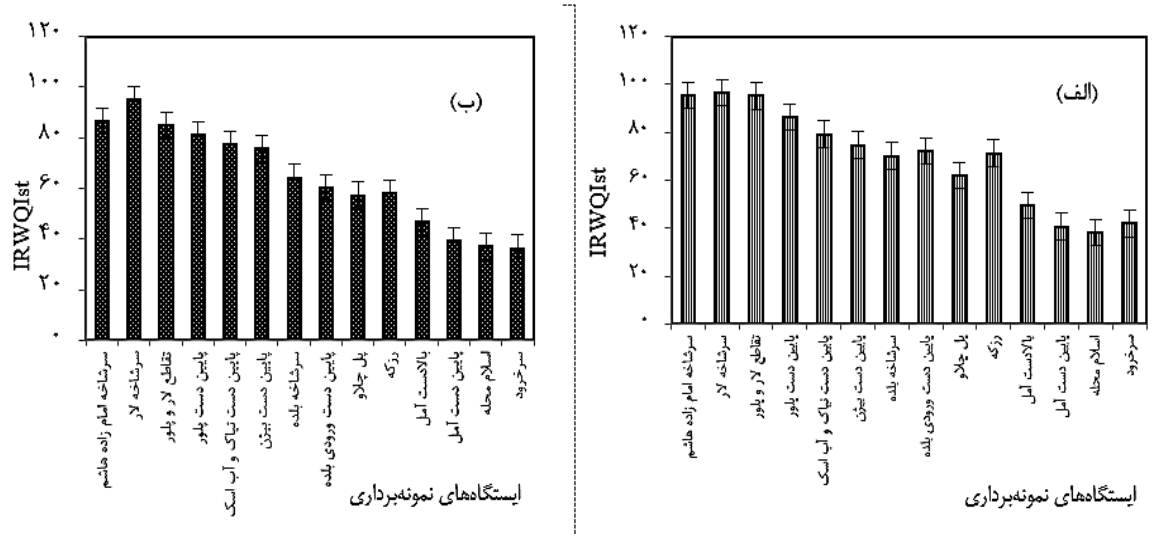
مطالعات کفزیان رودخانهٔ هراز و ارزیابی شاخص زیستی (Z): شکل ۴، بیانگر مقادیر شاخص ارزش زیستی کفزیان در ایستگاه‌ها با استفاده از مدل هیلسنهوف و فرمول بُور می‌باشد. در فصل سرد، بیشترین شاخص ارزش زیستی کفزیان، مربوط به سه ایستگاه پایین‌دست و انتهایی رودخانهٔ هراز شامل ایستگاه‌های پایین‌دست شهر آمل، محدودهٔ روستای اسلام محله و مصب رودخانهٔ هراز با بیشینهٔ عددی ۴ و کمترین آن مربوط به دو ایستگاه پایین‌دست تقاطع لار و پلور و پایین‌دست پلور با عدد ۱/۴ است. روند نمودار شاخص زیستی کفزیان در طول ایستگاه‌های موجود در طول رودخانه به‌طور کلی روندی افزایشی است اما در برخی ایستگاه‌ها نوساناتی وجود دارد. در فصل گرم، از سرشاخهٔ بلده تا سرخرود، به جز بالادست آمل، شاخص Z عدد ۴ است.

مقایسهٔ کفزیان رودخانهٔ هراز در دو فصل سرد و گرم: در جدول ۵، کفزیان شناسایی‌شده در ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ رودخانهٔ هراز در دو فصل سرد و گرم مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. چنان‌چه مشاهده می‌شود، در فصل گرم، در ایستگاه‌های پایین‌دست روستای بیژن غیر از بالادست آمل، هیچ کفزی‌ای مشاهده نشده است. در ایستگاه‌های اسلام‌محله و سرخرود نیز در فصل سرد کفزی مشاهده نشد.

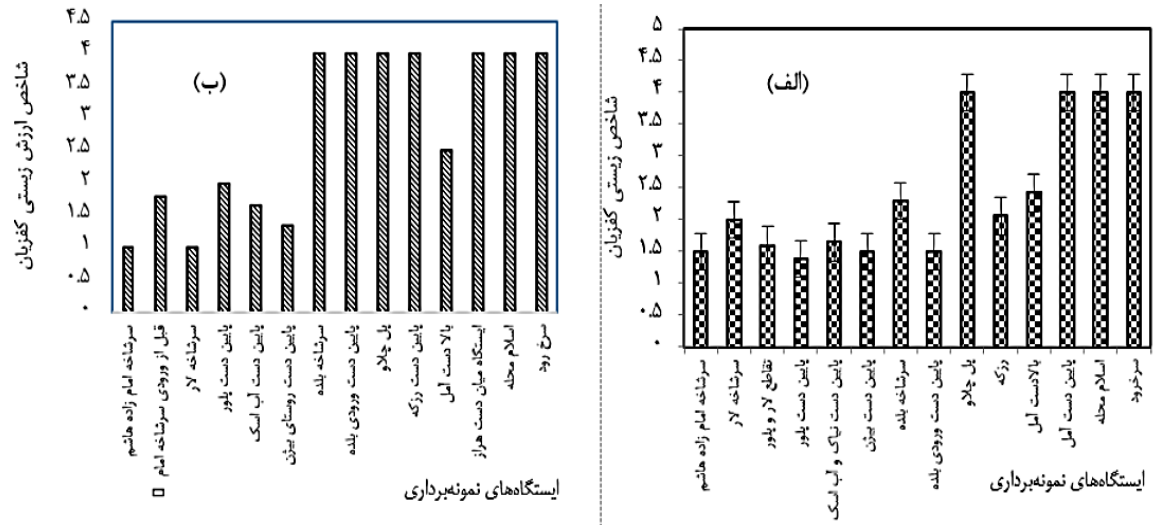
[5]One-way ANOVA



شکل ۲- تغییرات شاخص IRWQIsc در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در الف) فصل سرد؛ ب) فصل گرم رودخانهٔ هراز



شکل ۳- تغییرات شاخص سمیت IRWQIst در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در الف) فصل سرد؛ ب) فصل گرم رودخانهٔ هراز



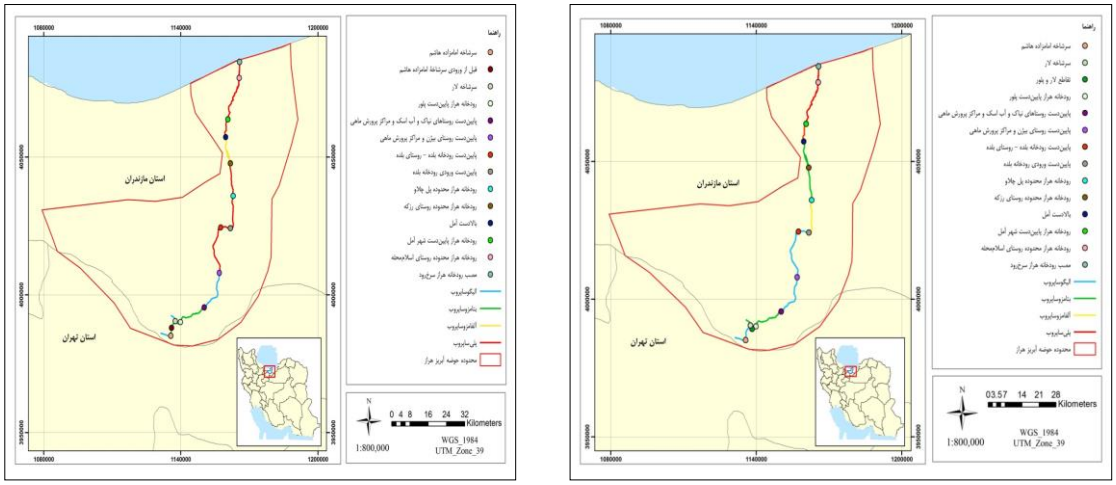
شکل ٤- نمودار مقادیر شاخص ارزش زیستی کفزیان در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری الف) فصل سرد؛ ب) فصل گرم رودخانهٔ هراز

جدول ۵- مقایسهٔ کفزیان در ایستگاه‌های مختلف رودخانهٔ هراز در دو فصل سرد و گرم

ایستگاه / کفزی	سرشاخه امامزاده هاشم		پایین‌دست سر شاخه امام زاده هاشم		سرشاخهٔ لار		تقاطع لار و پلور		پایین‌دست پلور		پایین‌دست آب اسک		پایین‌دست روستای بیژن		سرشاخهٔ بلده		پایین‌دست ورودی بلده		پل چلاو		پایین‌دست رزکه		بالادست آمل		پایین‌دست آمل	
	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲
Epeorus	*	*		*								*		*									*			
Baetis						*	*		*	*	*	*	*	*	*	*		*			*			*			
Rhytrogena		*				*	*		*	*	*		*	*	*	*		*			*				*		
Simulium				*		*			*			*		*													
Hydropsyche					*		*		*	*	*	*	*	*	*	*		*			*			*	*		
Disranota								*																			
Gammarus											*			*				*									
Hepatagenia														*													
Ephemeroptera																						*					
Hirudina																											*
Tubefex																											*
Haplotoxidae																											*
Chironomidae																											*

نکته: عدد ۱: فصل سرد و ۲: فصل گرم

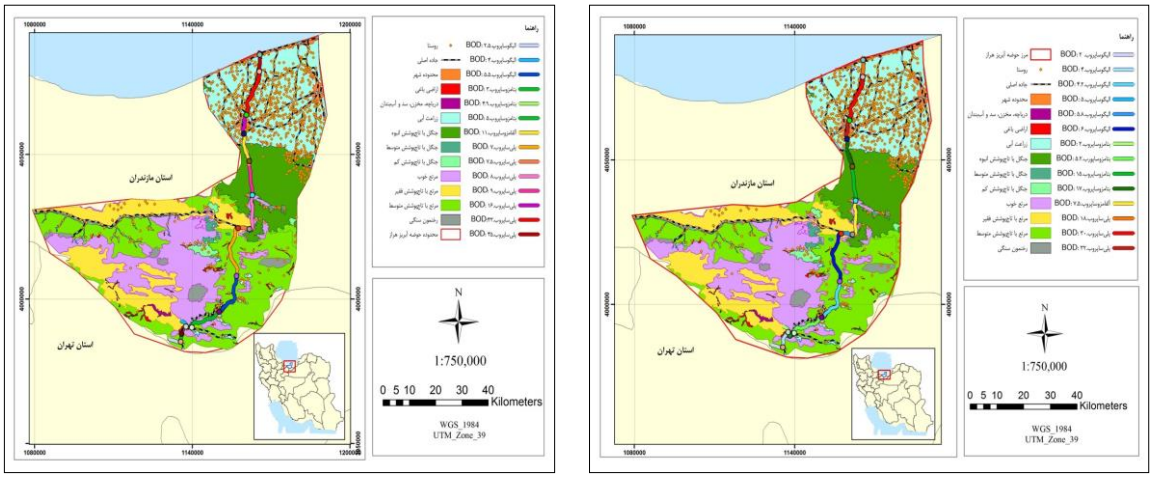
وضعیت ساپروبی رودخانهٔ هراز: تقسیم‌بندی ساپروبی رودخانهٔ هراز را بر روی نقشه در شکل ۵ نشان داده شده است و هر بخش از رودخانه به رنگ الگوی ساپروبی خود ارائه شده است. در فصل سرد، بخش‌های بالادست الگوی الیگوساپروبی بیشتری را نشان‌می‌دهند. در محدودهٔ پل چلاو منطقهٔ آلفامزوساپروب وجود دارد و بعد از آن مناطق بتامزوساپروب و پلی‌سابروب مشاهده شده‌اند. در فصل گرم، بخش‌های بالادست الگوی الیگوساپروبی و بتامزوساپروبی را نشان داده و از پایین‌دست ورودی روستای بیژن و مراکز پرورش ماهی به بعد، الگوهای آلفامزوساپروب به میزان اندک و بیشتر الگوی پلی‌ساپروب مشاهده شده است.



(ب) (الف)

شکل ۵- تقسیم‌بندی ساپروبی رودخانهٔ هراز در الف) فصل سرد؛ ب) فصل گرم

در شکل ۶، تلفیق نقشه‌های ساپروبی، کاربری اراضی و BOD در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ هراز در دو فصل سرد و گرم نشان داده شده است. در فصل سرد، ناحیهٔ الیگوساپروب با BOD برابر ۲ تنها در منطقهٔ مرتع متوسط قرار دارد. الیگوساپروب با BOD برابر ۴ در مناطق مراتع متوسط، خوب، اراضی باغی و شهری قرار دارد. الیگوساپروب با BOD برابر ۵ تنها در مرتع خوب، با BOD برابر ۵/۸ در مراتع فقیر، خوب و اراضی باغی و با BOD برابر ۶ در مراتع فقیر، متوسط، اراضی باغی و زراعت آبی قرار دارد. مناطق بتامزوساپروب با BOD برابر ۲ در مراتع فقیر، مناطق شهری، باغی و مراتع خوب وجود دارند. با BOD برابر ۵/۲ در مراتع خوب، متوسط و زراعت آبی قرار دارند. با BOD برابر ۱۵ در زمین‌های باغی، مراتع خوب، مراتع انبوه، زراعت آبی، با BOD برابر ۱۷ در مراتع انبوه، زراعت آبی قرار دارند. مناطق آلفامزوساپروب با BOD برابر ۷/۵ در مناطق باغی، مراتع فقیر، مراتع خوب قرار گرفته‌اند. در تمام مناطق گفته‌شده، مناطق روستایی و جاده نیز قرار دارند. مناطق پلی‌ساپروب در نواحی با کاربری اراضی زراعت آبی و شهری و روستایی قرار دارند. در نواحی پلی‌ساپروب، تقریباً تمام محدوده با کاربری زراعت آبی پوشش داده شده و مناطق شهری، روستایی و راه‌های دسترسی متراکم‌تر شده‌اند. در فصل گرم، نواحی پلی‌ساپروب نسبت به فصل سرد بسیار گسترش یافته و حتی به مناطق بالادست که شامل مراتع متوسط می‌باشد نیز رسوخ کرده است. یکی از نکات مهم در اینجا این است که منطقه تا قبل از پایین‌دست روستای بیژن الیگوساپروب بوده و پس از آن پلی‌ساپروب می‌شود. البته تغییرات ناشی از BOD چندان چشم‌گیر نیست. زیرا در ناحیهٔ الیگوساپروب بالادست، BOD برابر ۵/۵ و در ناحیهٔ پلی‌ساپروب، ۷ شده است.



(ب) (الف)

شکل ٦- تلفیق نقشه‌های ساپروبی، BOD و کاربری اراضی در الف) فصل سرد؛ ب) فصل گرم رودخانهٔ هراز

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، با هدف مطالعات فلزات سنگین، پارامترهای سمی آلی، پارامترهای فیزیکوشیمیایی، ارزش زیستی، شاخص کفزیان، شاخص سمّیت (IRWQIst)، شاخص کیفی (IRWQIsc)، وضعیت ساپروبی و منابع آلایندهٔ رودخانهٔ هراز به‌عنوان یکی رودخانه‌های مهم شمالی انجام شد. تحقیق میدانی در دو فصل سرد و گرم در ۱۴ ایستگاه براساس دستورالعمل EPA (۲۰۰۶) انجام شد. در بالادست هراز، ۱۲ مرکز رستورانی وجود دارد. از بالادست چلاو تا بالادست آمل، مزارع کشاورزی زراعی و ۱۱ روستا و شهر به همراه سایت دفع پسماند در حریم رودخانه وجود دارند که سبب میل رودخانه، به شرایط ساپروبی نامناسب شده‌اند. البته دلیل این‌که در محدودهٔ چلاو منطقه آلفامزوساپروب شده و بعد از آن در دو ایستگاه وضعیت بهتر شده و به سمت بتامزوساپروبی رفته است، این است که در بالادست چلاو، ۴۲ مرکز پرورش ماهی و رستورانی و کشاورزی و زراعی به همراه ۹ روستا و شهر وجود دارد. همچنین قبل از پل چلاو، سرشاخهٔ بلده وارد رودخانه می‌شود و حجم جدیدی از آلاینده‌ها همراه با این سرشاخه وارد رودخانه می‌شود و در پایین‌دست بلده نیز کارخانجات برداشت شن و ماسه وجود دارد. مجموع این عوامل، آلودگی رودخانه در پل چلاو را به‌دلیل نزدیکی به منبع، موجب می‌شود. بعد از پل چلاو، به‌دلیل قدرت خودپالایی رودخانه شرایط مقداری بهتر می‌شود و در روستای

رزکه و بالادست آمل بتامزوساپروب می‌شود. اما از پایین‌دست آمل تا سرخرود، به‌دلیل ورود فاضلاب‌های شهر آمل و شهرک صنعتی جمشیدآباد و افزایش مزارع کشاورزی و باغی، مجدداً شرایط نامناسب شده و رودخانه پلی‌ساپروب شده است. البته شرایط ساپروبی طبیعتاً در فصل گرم از فصل سرد نامناسب‌تر است؛ زیرا در فصل سرد وجود بارش‌ها و شست‌وشوی مواد آلاینده در رودخانه، خودپالایی و بهبود شرایط رودخانه را به‌دنبال خواهد داشت. در بالادست نیز در مناطقی، نواحی بتامزوساپروب وجود دارد که به‌علت وجود مراکز رستورانی و مراکز پرورش ماهی است؛ که البته به اندازهٔ فاضلاب‌های شهری و شهرک‌های صنعتی به همراه افزایش مزارع و باغات در پایین‌دست، تأثیرگذاری منفی نخواهند داشت.

الگوی ساپروبی بیش از آن‌که با نوع پوشش گیاهی، درجهٔ کیفی مرتع و تاج‌پوشش جنگل مرتبط باشد، مرتبط با فعالیت‌های انسانی است که تأثیر آن به‌خصوص در نواحی پایین‌دست با افزایش نواحی شهری مشهود است. در تلفیق نقشه‌های ساپروبی، BOD و کاربری اراضی، در فصل سرد، هر چه BOD بالاتر رفته و منطقه به سمت پایین‌دست می‌رود، نقش مناطق شهری، روستایی، زراعی و آلودگی‌های ناشی از جاده‌ها بیشتر نمایان می‌شود. در فصل گرم، نمی‌توان نقش کارگاه‌های پرورش ماهی را نادیده گرفت. زیرا با تخلیهٔ فاضلاب این کارگاه‌ها به آب رودخانه، مواد آلی افزایش ناگهانی یافته و کفزیان و در نتیجه شاخص ارزش زیستی کفزیان افزایش یافته و وضعیت ساپروبی را با سه پله جهش از الیگوساپروب به پلی‌ساپروب رسانده است. بنابراین بیشترین نقش در الگوی ساپروبی و BOD رودخانه، مربوط به فعالیت‌های انسانی است. زراعت، کارگاه‌های پرورش ماهی، فاضلاب‌های ناشی از شهرنشینی و زندگی روستایی و همچنین زباله‌های تولیدی در این مناطق، در شکل‌گیری این الگو نقش اساسی ایفا می‌کنند.

با توجه به با صنعتی شدن سریع و توسعهٔ اقتصادی، فلزات سنگین از منابع مختلف به آب و رسوب نفوذ می‌کنند. بررسی آلودگی آب و رسوبات رودخانه‌ای به فلزات سنگین، از طرف پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است (Co Corbi *et al*., 2011). دلایل آلودگی به فلزات سنگین، شامل انتقال آب از سرشاخه‌های رودخانه و برگشت زهاب‌های کشاورزی، صنعتی و مصارف شهری است (Babapour Mofrad *et al*., 2013; Pandey *et al*., 2017; Nambatingar *et al*., 2017). این عناصر به‌عنوان آلاینده وارد اکوسیستم شده و بسیار پایدار هستند (Burgess, 2015). در پژوهشی که توسط Mokarram و همکاران (۲۰۲۰) در رودخانهٔ کر انجام شد، تأثیر کارخانجات و صنایع در افزایش فلزات سنگین رودخانه‌ای اثبات شده است. همچنین تخلیه‌های ناگهانی در طول سال از سوی صنایع بالادستی و افزایش میزان استفاده از کودهای شیمیایی و مزارع پرورش ماهی غیرمجاز، از عوامل آلودگی مقطعی هستند (Babapour Mofrad *et al*., 2013). طبق نتایج این پژوهش، هر ۴ ناحیهٔ ساپروبی در هر دو فصل سرد و گرم در رودخانهٔ هراز مشاهده شده‌اند. براساس شناسایی گونه‌های کفزیان و آنالیز جمعیتی آن‌ها در ایستگاهای نمونه‌برداری رودخانهٔ هراز در ایستگاه‌های بالادست رودخانهٔ هراز غالب ترکیب جمعیتی کفزیان مربوط به شاخص‌های *Hydropsyche*، *Baetis* و *Rhitrogena* می‌باشد. طبق جدول کلاسه‌بندی Wegl (۱۹۸۳) این شاخص‌ها مربوط به آب‌های با درجهٔ کیفی یک یا دو هستند و چرخهٔ زیستی دورهٔ آبزی هر سه شاخص غالب جمعیتی این ایستگاه در مناطقی سپری می‌شود که سرعت جریان آب بالا بوده و دارای غلظت اکسیژن محلول بالا در شرایط اشباعیت است (Pennak, 1987; Kunwar *et al*., 2005). در ایستگاه‌های میان‌دست رودخانهٔ هراز که شرایط کیفی آب به‌خاطر ورود فاضلاب‌های مختلف تغییر می‌کند ترکیب جمعیتی کفزیان به سمت گونه‌های با درجهٔ کیفی دو و سه مانند *Gammarus*، *Heptagenia* گونه‌های جنس *Hydropsyche* که مربوط به کلاس کیفی دو و سه هستند تغییر می‌کند. در رودخانه‌ها و منابع آب جاری با آلودگی متوسط در مناطق میان‌دست به پایین معمولاً مناطق تجمع و ورود فاضلاب‌های مواد با بار آلی بالا می‌باشد که با ورود آلاینده‌های مختلف مواد آلی BOD افزایش یافته و به همان نسبت اشباعیت DO کاهش یافته و همچنین با کاهش سرعت جریان هیدرولوژیکی آب، ترکیب جمعیتی کفزیان به سمت شاخص‌های کلاس کیفی ۲ و ۳ تغییر می‌کند (Horne and Goldman, 1994; Kannel *et al*., 2007). در ایستگاه پایین‌دست آمل بخاطر بالا بودن بار مواد آلاینده و مواد آلی، جنس‌های زیستی شاخص غالب شامل *Hirudina*، *Tubfex* و *Chironomidae* می‌باشد که هر سه گروه شاخص زیستی مربوط به مناطق با آلودگی شدید و ساپروبی بالاست (Nguyen *et al*., 2014). در دو ایستگاه پایین‌دست و انتهایی رودخانهٔ هراز شامل ایستگاه محدودهٔ اسلام‌محله و مصب رودخانهٔ هراز از نظر زیستی به خاطر ورود

فاضلاب‌های مختلف شهری–خانگی، کشاورزی و صنعتی، تجمع آلاینده‌های مختلف و به‌خصوص آلاینده‌های آلی میزان اشباعیت و سطح اکسیژن به‌شدت کاهش یافته تا زیر ۱۰ درصد اشباعیت رسیده است و چرخهٔ بیوشیمیایی نوترینت‌ها به‌صورت بی هوازی شده و سطح پتانسیل اکسیداسیون احیایی (ORP) منفی و بی هوازی شده است. در این شرایط به‌دلیل بافت رسی و گلی و شرایط نامناسب محیطی، درشت کفزیان قابلیت زیست خود را از دست داده و جوامع باکتری‌های بی‌هوازی هتروتروف جایگزین می‌شوند (Babaei Semiromi *et al*., 2011; Huang et al., 2021) و عدد شاخص زیستی رودخانه به‌صورت بیشینه و عدد ۴ در نظر گرفته می‌شود. به‌همین دلیل، دو ایستگاه محدودهٔ اسلام‌محله و مصب رودخانهٔ هراز فاقد ماکربنتوز بوده و جوامع زیستی با باکتری‌های بی‌هوازی هتروتروف غالب شده است. بر اساس ارزیابی آلاینده‌های کلان رودخانهٔ هراز، انواع فاضلاب‌ها وارد رودخانه می‌شوند که منابع عمدهٔ آن‌ها شهرها و روستاهای حاشیهٔ رودخانه، مراکز پرورش ماهی، کشاورزی، زراعی و باغی هستند. از طرفی دیگر شرایط قدرت خودپالایی رودخانهٔ هراز در ایستگاه‌های بالادست با تلاطم آب شرایط مناسب‌تری داشته و در میان‌دست و پایین‌دست رودخانه با کاهش شیب بستر رودخانه و کاهش سرعت و تلاطم آب، شرایط قدرت خود پالایی پایین‌تر است. این امر باعث می‌شود که بیلان ورود فاضلاب‌ها و آلاینده‌ها در مناطق میان‌دست و پایین‌دست نسبت به شرایط قدرت خودپالایی رودخانه بیشتر شود و با تجمع آلاینده‌ها در میان‌دست و پایین‌دست رودخانه، شرایط آلودگی رودخانه در مناطق پایین‌دست تشدید یابد. از بالادست به سمت پایین‌دست، تعداد منابع آلاینده بیشتر شده است. بهترین نمایندهٔ وضعیت آلایندگی، وضعیت ساپروبی، شاخص IRWQIsc، شاخص IRWQIst و شاخص ارزش زیستی کفزیان (Z) است که به روشنی نقش افزایش منابع آلاینده را در شاخص‌های آلودگی نشان داده است. زیرا در بالاترین ایستگاه، کمترین منبع آلاینده وجود دارد و این تعداد آخرین ایستگاه در پایین‌دست، به بیشترین تعداد رسیده است. در این ایستگاه هم در فصل سرد و هم در فصل گرم، شرایط ساپروبی، کیفیت، سمیت و Z در بدترین شرایط خود قرار گرفته که دلیلی جز نقش انسانی ندارد.

در تحقیق Karbasi و Kalantari (۲۰۰۷) نیز تأکید شده است که مدیریت بهینه و کنترل آلودگی رودخانهٔ هراز نیازمند جلوگیری از ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی و کشاورزی به رودخانه می‌باشد. براساس تحقیق Mollazadeh و همکاران (۲۰۱۱) نیز ساختار جامعهٔ ماکروبنتوز در رودخانهٔ هراز با کاهش و کیفیت آب همبستگی داشت. مطالعهٔ Nasirahmadi و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که میزان پارامترهای BOD، TS، EC، کدورت، نیترات، فسفات و کلی‌فرم مدفوعی در محل ورود رودخانه به دشت و تلاقی با پساب‌های کشاورزی و مراکز مسکونی با آب رودخانهٔ هراز، تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته، به‌گونه‌ای که در ایستگاه سرخرود این افزایش معنی‌دار است. و نواحی پایین‌دست، نواحی با کیفیت ضعیف محاسبه شده‌اند. هرچند Ijadpanah-Saravi و Kiani (۲۰۱۲) در کل رودخانه را دارای آلودگی متوسط و مزوساپروب قرار دادند که در حال حاضر توان خودپالایی آلاینده‌ها را دارد، اما تحقیق حاضر نشان داد که این رودخانه دارای نواحی آلفامزوساپروب و حتی پلی‌ساپروب است و در بسیاری مناطق با آلودگی شدید مواجه است. بنابراین در یک دههٔ گذشته، آلودگی رودخانهٔ هراز افزایش یافته و این افزایش آلودگی، مسلماً بر توان خودپالایی رودخانه تأثیر منفی خواهد گذاشت. مطالعهٔ Yaghoubzadeh و Safari (۲۰۱۵) بیشترین مقدار کلی‌فرم مدفوعی را در ایستگاه سرخرود تشخیص دادند. به‌دلیل تخلیه زباله در اطراف رودخانه و استفاده از مسیر رودخانه‌ها برای انتقال فاضلاب‌های شهری و صنعتی و پساب‌های مزارع کشاورزی و باغداری، رواناب‌های رودخانهٔ هراز در معرض آلودگی‌های میکروبی و انگلی قرار دارند که بعد از ورود به رودخانه موجب کاهش کیفیت آب آن می‌شود (Yaghoubzadeh and Safari, 2016). Sarkhosh و همکاران (۲۰۱۹) نیز تأکید کرده‌اند که کارگاه‌های پرورش ماهی رودخانهٔ هراز، تأثیرات مهمی بر بنتوز رودخانه داشته و سبب افزایش بی‌مهرگان کفزی مقاوم به آلودگی شده‌اند. در تحقیق Nabavi و همکاران (۲۰۲۰) به جز فسفات، در تمام ایستگاه‌های پایین‌دست مراکز پرورش ماهی، تمام آلاینده‌ها افزایش معنی‌دار دارند. البته خودپالایی رودخانه در مواجهه با پساب مناسب بود ولی به‌خاطر حجم بالای فاضلاب وارد شده بیشتر بخش‌های رودخانه در شرایط یوتروفی کامل و پلی‌ساپروبی قرار دارند. بر اساس پژوهش Nabavi و همکاران (۲۰۲۰) نیز خودپالایی هراز مناسب است اما با افزایش تعداد کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی و همچنین عدم نظارت برمنابع آلاینـدهٔ ورودی، در آینده‌ای نزدیک با معضلات جدی به‌ویژه بروز پدیدهٔ تغذیه‌گرایی مواجه خواهد شد. همچنین در پژوهش Nabavi و همکاران (۲۰۲۰) تمام پارامترهای در قسمت‌های آب اسک و رزکه بیش از مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ این پژوهش بودند؛ زیرا در این تحقیق، نمونه‌برداری از نقاط نزدیک به منشأ فاضلاب‌های آبزی‌پروری، شهری

خانگی و کشاورزی انجام شده بود.طبق مطالعهٔ Shahsavaripour و همکاران (۲۰۰۸) آلودگی میکروبی در تمام ایستگاه‌های رودخانهٔ هراز بالاتر از حد استاندارد است که این آلودگی در فصل بهار بیشتر است. بنابراین لازم است دربارهٔ آلودگی میکروبی این رودخانه نیز ابراز نگرانی نمود. مطالعات نشان می‌دهند که هر چه به سمت مناطق شهری می‌رویم، مشکلات و آلودگی‌های رودخانه و غلظت فاضلاب‌ها افزایش می‌یابد (Akhtar *et al*., 2021; Farkhani, 2121; Uddin and Jeong, 2021). بنابراین نتایج این مطالعه و پژوهش‌های پیشین، مؤید نقش اصلی فعالیت‌های انسانی بر آلودگی رودخانهٔ هراز است. زراعت آبی به‌خصوص در شمال کشور و تولید و پرورش ماهی ضمن تأمین بخشی از پروتئین مورد نیاز کشور، از نظر اقتصادی هم قابل توجیه بوده و ضمن ایجاد اشتغال، در پاره‌ای موارد از مهاجرت مردم به شهرها نیز جلوگیری خواهد کرد. فعالیت‌های صنعتی نیز همین نقش را در منطقه ایفا می‌کند؛ ولی باید توجه داشت احداث و ایجاد بی‌رویه و بدون مطالعهٔ این کارگاه‌های آبزی‌پروری و شهرک‌های صنعتی، ممکن است در آینده مشکلاتی را از نظر تأمین بهداشت آب در پی داشته باشد. بنابراین ضروری است سازمان‌ها یا مؤسسات صادرکنندهٔ مجوز فعالیت پروژه‌های پرورش ماهی، قبل از تصمیم‌گیری جهت صدور مجوز و پروانهٔ فعالیت، تمامی پیامدها و عواقب امر اعم از مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را به‌دقت مدنظر داشته باشند و مجریان و دست‌اندرکاران احداث پروژه‌های پرورش ماهی نیز در هنگام اجرای این نوع طرح‌ها جوانب مختلف کار را کاملاً مورد توجه قرار دهند تا با اتخاذ روش‌های صحیح و اصولی، درآینده شاهد بروز مشکلات جدی زیست‌محیطی نباشیم.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با توجه به اهمیت کیفیت آب روخانهٔ هراز و شرایط حفاظتی آن، با حمایت مالی صندوق ملی محیط‌زیست کشور انجام شد که صمیمانه از تمامی پرسنل صندوق تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید. همچنین نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از کارشناسان آزمایشگاه مرجع آب و خاک دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران بابت همکاری در آنالیزهای آزمایشگاهی اعلام می‌دارند.

References

Ahmadi, M., Karami, M., Kazemi, R., 2001. Determination of biomass and production estimate in Aghasht and Kordan rivers. Journal of Iranian Natural Resources 53(1), 3-20. (in Persian)

Ahmadi, M.R., Nafisi, M., 2011. Identification of invertebrates of running water. Khabir Publications, Tehran, 240 p. (In Persian)

Akhtar, F., Fazloula, R., Darzi Naftchali, A., Mashhadi Kholerdi, F., 2021. Investigation and analysis of the impact of urban area (Amol city) on water quality of the Haraz River based on qualitative standard indicators. Water Resources Engineering Journal 14(50), 117-129.

Babaei Semiromi, F., Hassani, A.H., Torabian, A., Karbassi, A.R., Hossenzadeh Lotfi, F., 2011. Evolution of a new surface water quality index for Karoon catchment in Iran. Water Science and Technology 64(12), 2483-2491.

Babapour Mofrad, A., Rostami, S., Alanezhad, M., Forozanfar, M., Khaksar, E., Ramezani, Z., 2013. Determination of the amount of some heavy metals in the waters of Karoun and Dez rivers. Jentashapir, Special volume pp. 78-100. (in Persian)

Baur, W., 2000. Gewasser guete bestimmen and beurtilen, Paul Parey Verlag, Stuttgart, 453 p.

Burgess, G.L., 2015. Effects of Heavy Metals on Benthic Macroinvertebrates in the Cordillera Blanca, Peru, WWU Master Thesis Collection, 414 p.

Co Corbi, J, J., dos Santos, F.A., Zerlin, R., dos Santos, A., Froehlich, C.G., Trivinho-Strixino, S., 2011. Assessment of chromium contamination in the Monte Alegre Study. Brazilyan Arcaives of Bbiology and Technology 54(3), 613-620.

Eaton A.D., Clesceri L.S., Rice E.W., Greenberg A.E. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th edition. American Public Health Association. Washington, DC.

EPA, 2006. Method for chemical analysis of water and wastes. Environmental Protection Agency, Ohio, USA.

Farkhani, S., 2021. Investigating the Quality Status of Haraz River Using Numerical Modeling. Iran-Water Resources Research 17(1), 262-276.

Hilsenhoff, W.L., 1979. Coptotomus (Coleoptera: Dytiscidae) in eastern North America with descriptions of two new species. Transactions of the American Entomological Society 461-471.

Horne, A.J., Goldman, C.R., 1994. Limnology, second edition, Mc Graw-Hill Inc., New York. 245 p.

Huang, Y., Yuan, L., Fan, Y., Jakhrani, H.U.R., Wang, J., 2021. Diurnal changes in bacterial communities in oxic surface and hypoxic middle seawater layers of the Changjiang River Estuary. Acta Oceanologica Sinica 40(4), 92-106.

Ijadpanah-Saravi, H., Kiani, A., 2012. Determining the quality class of Haraz river water using physicochemical parameters. Water Flow and Pollution national conference, Tehran, Iran. 10 p. https://civilica.com/doc/148305. (In Persian)

Kannel, P., Lee, S., Lee, Y., Kanel, S. and Pelletier, G., 2007. Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River. Nepal Journal of Ecological Medelling. 202(3), 503-517.

Karbasi, A., Kalantari, F., 2007. Examining the polluting sources of Haraz River and providing management solutions to control it. Journal of Environmental Science and Technology 9(3), 61-70. (In Persian)

Khalili, R., Zali, S.A., Motaqi, H., 2021. Evaluation of heavy metals in water and sediments of Haraz River, using pollution load index (PLI) and geoaccumulation index (Igeo). Iranian Journal of Soil and Water Research 52(4), 933-942. (In Persian)

McIntyre, A.D., Eleftheriou, A., 2005. Methods for the study of marine benthos. Blackwell Science, New Jersey, USA, 502 p.

Mokarram, M., Saber, A., Sheykhi, V., 2020. Effects of heavy metal contamination on River water quality due to release of industrial effluents. Journal of Cleaner Production 277, 123380.

Mollazadeh, N., Esmaeili Sari, A., Riahi Bakhtiari, A., 2011. Investigating the quality status of Haraz River using physico-chemical parameters and biological index of macrobenthic invertebrates. 1st Regional Conference of Environment and Pullution, Ahvaz, Iran. https://civilica.com/doc/124028/. (In Persian)

Nabavi, B., Rezaei Tavabe, K., Javanshir Khoei, A., Samadi Kuchaksaraei, B., 2020. Investigation on the impacts of the Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms effluents on eutrophic and saproby conditions of the Haraz River, Mazandaran Province. Journal of Aquaculture Sciences 8(1), 112-122. (In Persian)

Nambatingar, N., Clementm, Y., Merle, A., New Mahama, T., Lanteri, P., 2017. Heavy Metal Pollution of Chari River Water during the Crossing of N'Djamena (Chad). Toxics 5(4), 26.

Nasirahmadi, K., Yousefi, Z., Tarassoli, A., 2012. Zoning of water quality on Haraz river bases on National sanitation foundation water quality index. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 22(92), 64-71. (In Persian)

Nguyen, H.H., Everaert, G., Gabriels, W., Hoang, T.H., Goethals, P.L., 2014. A multimetric macroinvertebrate index for assessing the water quality of the Cau river basin in Vietnam. Limnologica 45, 16-23.

Pandey, J. and Singh, R., 2017. Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences. Applied Water Science, 7, 1669-1678.

Pinto, U., Maheshwari, B. L., Sherestha, S., Morris, C., 2012. Understanding the meaning of river
health for a community: perspectives from the peri- urban region of the Hawkesbury-Nepean catchment, Australia. Water Policy 766-783.

Rezaei Tavabe, K., Fallahpour, A., Haji Seyyed Mohammad Shirazi, R., Yavar, M., 2018. Investigating the Effects of Different Levels of Ozonation on Physicochemical Parameters of Produced Wastewater of the Rainbow Trout Fish Culture. Journal of Fisheries 71(2), 140-149. (In Persian)

Samadi Kuchaksaraei, B., Rezaei Tavabe, K., 2023. Studies of biotic, quality and pollution parameters of the Karaj protected river. Journal of Fisheries 76(1), 121-136.

Sarkhosh, S., Patimar, R., Gafaryan, H., Ghorbani, R., Golzarianpur, K., 2019. Density and identification of macrobenthose Haraz River influenced rainbow trout farm. Utilization and Cultivation of Aquatics 8(1), 47-55. (In Persian)

Shahsavaripour, N., Esmaeili Sari, A., Salehi, A., Mousavi Kashka, M., 2008. Investigating the quality of Haraz river water for irrigation purposes and determining the sources of river water pollution. Ninth National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Iran. https://civilica.com/doc/38593/. (In Persian)

Song, J., Cheng, D., Li, Q., He, X., Long, Y., Zhang, B. 2015. An Evaluation of River Health for the Weihe River in Shaanxi Province, China. Advances in Meteorology 1-13.

Steinberg, C.E., 2012. Stress ecology: environmental stress as ecological driving force and key player in evolution. Springer Science & Business Media, Germany, 484 p.

Taheriazad, L., Esmaeili Sari, A., Rezaei Tavabe, K., Shahsavaripour, N., 2008. Measuring the residues of oil pollutants (PAHs) in Haraz river water and comparing its values with international standards. 1st Conference on Environmental Systems Planning and Management Engineering, Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/50980/. (In Persian)

Uddin, M.J., Jeong, Y.K., 2021. Urban river pollution in Bangladesh during last 40 years: potential public health and ecological risk, present policy, and future prospects toward smart water management. Heliyon 7(2), 1-23.

Wegl, R., 1983. Wasser and abwasser, Index fure die limnosaprobitaet, Beitrege zur Gewasser Forschung, Wien, 311p.

Yaghoubzadeh, Z., Safari, R., 2015. Evaluation of bacterial contamination of surface waters of Haraz River. Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology) 28(1), 136-144. (In Persian)

Yaghoubzadeh, Z., Safari, R., 2016. Evaluation of coliform bacteria and Nematode eggs in Haraz River runoff. Iranian Scientific Fisheries Journal 25(1), 29-38.