شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲
صفحات ۱۳۶-۱۲۱

مطالعات شاخص‌های زیستی، کیفی و آلودگی رودخانهٔ حفاظت‌شدهٔ کرج

بهاره صمدی کوچکسرایی[۱]، کامران رضایی توابع[۲*]

۱. پژوهشگر گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

چکیده

این مطالعه جهت درک وضعیت سلامت اکوسیستم رودخانهٔ کرج به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های حفاظت شدهٔ کشور از طریق مطالعهٔ شاخص های فیزیکو شیمیایی، سمیت و خودپالایی انجام شد. نمونه‌برداری در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، از ۱۲ ایستگاه در طول رودخانه در بخش حفاظت شده صورت گرفت. شناسایی درشت‌کفزیان و محاسبهٔ ارزش زیستی صورت گرفت. 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. سمیت دارای نوسان و در کل از بالادست به پایین‌دست نزولی بود. شاخص زیستی کفزیان بیشترین مقدار را در پارک چمران و کمترین عدد را در سرشاخهٔ هفت‌چشمه داشت. از نظر شاخص آلودگی، رودخانه در طبقات الیگو ساپروب، بتامزو ساپروب و آلفامزو ساپروب قرار داشت. ایستگاه‌های بالادست نسبت به پایین‌دست و فصل سرد نسبت به فصل گرم وضع مطلوب‌تری داشت. نقشه‌های تقسیم‌بندی حوضهٔ آبریز کرج 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 به سمت پایین‌دست، تعداد منابع آلاینده بیشتر شده و نقش خود را نشان داده‌اند. افزایش تراکم مناطق روستایی و باغی 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.

واژگان کلیدی: شاخص کیفیت آب، شاخص سمیت، شاخص ارزش زیستی کفزیان، رودخانهٔ کرج

* نویسنده مسئول: کامران رضایی توابع
Email: krtavabe@ut.ac.ir

Journal of Fisheries
Vol. 76, No. 1, Spring 2023
pp. 121-136

Studies of biotic, quality and pollution parameters of the Karaj protected river

Bahareh Samadi Kuchaksaraei[1], Kamran Rezaei Tavabe[2*]

1. Researcher, Department of Fisheries, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Fisheries, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 14-Mar-2022 **Accepted: 25-Oct-2022**

Abstract

This study was conducted to understand the health status of Karaj River ecosystem as one of the most important rivers in Iran, the physicochemical parameters, toxicity and saprobic indices were analyzed due to sampling from 12 stations in 2021. Identification of benthic organisms and calculation of biological value was performed. Qualitative status, toxicity analysis, measurement of PAHs along with statistical analysis were performed as well. According to the results, the general water quality index decreased in downstream except for the branches. Toxicity had fluctuating and generally decreased from upstream to downstream. The biological value index had the highest rate in Chamran Park and the lowest recorded in Haft Cheshmeh branch. In terms of saprobic index, the river categorized in Oligosaprob, β-mesosaprob and α-amesosaprob classes. Upstream stations had favorable status compared to downstream in both cold and warm seasons. Karaj basin subdivision maps were prepared based on the Munich method, IRWQIsc index and the combination of saprobi map, BOD and land use in the region. The results of the analysis confirmed the important role of human activities in river water quality, especially in rural and garden uses, and in the next stage, roads. From upstream to downstream, the number of pollutant sources has increased and their roles were evident. Development of rural areas negatively increased BOD and benthic index. Therefore, it is necessary to monitor and treat wastewater, to issue the environmental standards for agriculture activities and groundwater uses, as well as deal with violators with the aim of conserving the river.

Key word: Water quality index, Toxicity index, Biological value index of benthos, Karaj River

* Corresponding author: Kamran Rezaei Tavabe Email: krtavabe@ut.ac.ir

۱. مقدمه

رودخانه‌ها هم از دیدگاه تنوع زیستی و هم سلامت اکوسیستم، از جمله زیستگاه‌های ارزشمندی به‌شمار می‌آیند (Ahmadi *et al.*, 2001). مطالعهٔ لیمنولوژی به‌ویژه مطالعات زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا می‌توان با تعیین شاخص‌های زیستی[1] قضاوتی معقول از یک اکوسیستم ارائه داد (Ahmadi andNafisi, 2011). همچنین ارزش زیستی مبنایی برای محاسبهٔ توان تولید نهایی بوم‌سازگان های آبی و وضعیت خود پالایی (ساپروبی[2]) آن‌ها نیز خواهد بود (Ahmadi *et al.*, 2001). خود پالایی به ظرفیت یک منبع آبی در کاهش اثرات اکوسیستمی آلاینده‌ها و به‌خصوص آلاینده‌های آلی گفته می‌شود. اکوسیستم‌های آبی براساس شدت آلودگی دریافتی به چهار طبقهٔ اُلیگوساپروب، بتامزوساپروب، آلفامزوساپروب و پلی سابروب تقسیم‌بندی و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (Steinberg, 2012). در عین حال، رهاسازی فلزات سنگین ناشی از فعالیت معادن و فرآیندهای صنعتی و ترکیبات نفتی در منابع آبی و تجمع آن‌ها در بدن موجودات زنده (Polak-Juszczak, 2009)، سبب نگرانی‌های شدید بهداشتی و اثرگذار بر سلامت موجودات و انسان‌ها شده است (Heintz *et al.*, 1999). مطالعات زیستی وضعیت شاخص کفزیان، 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 فیزیکو شیمیایی آب، در این زمینه نقش مکمّل دارند. در حال حاضر، رودخانه‌ها، علاوه بر تغییرات طبیعی خود، تحت تأثیر فعالیت های مؤثر انسان جهت کاهش مخاطرات طبیعی و بهره‌برداری بی‌رویه و در نتیجه، در معرض دگرگونی های مخرب قرار دارند. با توجه به اهمیت حفاظتی این اکوسیستم‌های ارزشمند در کشور، تعداد ۸ رودخانهٔ مهم در کشور که از نظر وضعیت تنوع زیستی و حفاظت از گونه‌های خاص آبزیان شرایط ویژه‌ای دارند، جزء مناطق حفاظت شده قرار گرفته‌اند و حفاظت زیستی و مدیریت آن‌ها در چارچوب وظایف سازمان حفاظت محیط زیست کشور می‌باشد. رودخانهٔ حفاظت‌شدهٔ کرج یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های کشور است که در طول دو دههٔ گذشته در معرض انواع آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای بوده است. پژوهش‌های زیادی در حوزه‌های بررسی فلزات سنگین در رودخانه و منابع آب (Pirsaheb *et al.*, 2013; Yarimoghadam *et al.*, 2014) و رسوبات رودخانه‌ای (Mirzaei andSolgi, 2016; Pandey andSingh, 2017) و ارزیابی کیفیت رودخانه بر اساس درشت‌بی‌مهرگان کفزی با استفاده از شاخص‌های زیستی انجام شده است (Mollazadeh, 2014; Rezaei Tavabe *et al.*, 2017). همچنین بررسی‌های کیفی، فیزیکی، شیمیایی، باکتریولوژیک، رسوب‌گذاری و ارزیابی کیفی با شاخص ارزیابی زیستی Z دربارهٔ رودخانهٔ کرج انجام شده است (Khatami *et al.*, 2007; Torabian *et al.*, 2011; Abri Nasr *et al.*, 2015; Hosseini *et al.*, 2015; Rezaei Tavabe *et al.*, 2018; Ghalandarzadeh *et al.*, 2020). با توجه به اهمیت پایش سالانهٔ وضعیت 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.

۲. مواد و روش‌ها

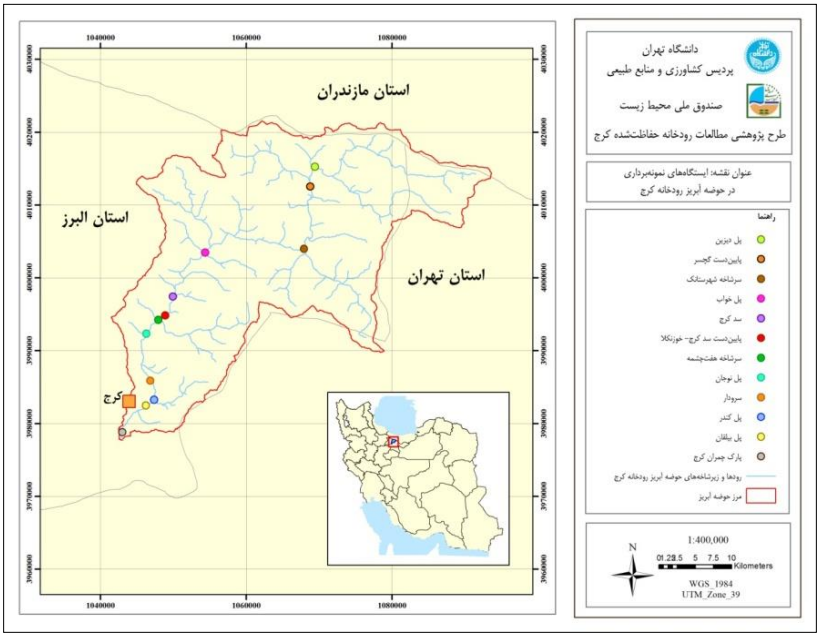
۱.۲. منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ تحت حفاظت رودخانهٔ کرج شامل رودخانهٔ کرج و رودخانه‌هایی که به آن می‌ریزند با طول تقریبی ۷۵ کیلومتر بود. بر اساس اصول لیمنولوژیک و هیدرولوژیک و

[1] Bioindicator

[2] Saprobe

همچنین استقرار منابع آلایندهٔ کلان حاشیه و حریم رودخانهٔ کرج، ۱۲ ایستگاه از بالادست تا میان‌دست بخش حفاظت شده 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.



شکل ۱- نقشهٔ ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کرج

۲.۲. نمونه‌برداری از کفزیان و ارزیابی شاخص زیستی کفزیان (Z)

برای مطالعات و نمونه‌برداری درشت کفزیان در بستر رودخانه‌ها از ابزار سوربر استفاده شد. درشت کفزیان بعد از جمع‌آوری و جداسازی با توری‌های با چشمه‌های کمتر از ۰/۱ میلی‌متر در فرمالین ۴ در صد یا اتیل الکل ۷۰ در صد تثبیت و منتقل شدند. سپس شناسایی و تنوع زیستی آن‌ها در زیر لوپ دوچشمی با کلیدهای شناسایی استاندارد تعیین شد (McIntyre andEleftheriou, 2005). پس از شناسایی و شمارش نمونه‌های کفزیان شاخص زیستی به‌دست‌آمده از ایستگاه مورد مطالعه با استفاده از جدول ۱ به‌دست آمد (Wegl, 1983). همچنین از جدول Hilsenhoff (Hilsenhoff, 1979) که وضعیت زیستی و آلودگی بخش های مختلف رودخانه را براساس میزان آلودگی آب و ارزش زیستی کفزیان را نشان می‌دهد، استفاده شد (جدول). عدد ارزش زیستی رودخانه‌ها با استفاده از درشت کفزیان 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

در روش مونیخی ناحیه‌بندی شدت آلودگی رودخانه به صورت طبقه‌های آبی مشخص می شود و در نقشه‌های منابع آب با رنگ های مختلف شامل آبی (منطقهٔ I؛ الیگوساپروب) سبز (منطقهٔ II؛ بتامزوساپروب)، زرد (منطقهٔ III؛ آلفامزوساپروب) و قرمز (IV؛ پلی‌ساپروب)

نشان داده می‌شوند.

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

ردهٔ کیفی	نام موجود زندهٔ شاخص	ردهٔ کیفی	نام موجود زندهٔ شاخص
II - I	*Hydrophylus sp.*	I	*Amphineura sp.*
- II III	*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.*	- II III	*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*

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

۳.۲. 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. برای ارزیابی و ضعیت کیفی و آلودگی آب در ایستگاه‌های تعیین شده از شاخص استاندارد کیفیت آب‌های سطحی ایران[1] (IRWQIsc)

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

استفاده شد که یک شاخص تلفیقی از NSFWQI و BCEQI می‌باشد 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 هانا آمریکا، 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 andFranson, 2005) انجام شد. آنالیز و اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول (TDS)، شوری و رسانایی الکتریکی (EC) توسط دستگاه مولتی‌متر دیجیتال و پارامتر اکسیداسیون احیایی (ORP) توسط دستگاه ORP متر دیجیتال 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 تیترا سیون با EDTA در آزمایشگاه عمومی اندازه‌گیری و ارزیابی شد. بر اساس ۱۱ فاکتور ارائه شده و جدول ۳، شاخص IRWQIsc محاسبه شده و نتایج براساس آن آنالیز شد.

جدول ۱- کلاس 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	۷۰/۱-۸۵	بیشتر از ۸۵
معادل توصفی-کیفی	خیلی بد	بد	نسبتاً بد	متوسط	نسبتاً خوب	خوب	بسیار خوب

۴.۲. تعیین شاخص های 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، 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 هیدروکربن های آرو ماتیک چندحلقه‌ای[1] PAHs روی نمونه‌های برداشت‌شده انجام شد (EPA, 2006). پس از آماده‌سازی عصاره طبق دستورالعمل و نگهداری در دمای-درجه 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 قرائت می‌شود که تقسیم‌بندی طبقه‌های کیفی آب براساس این شاخص طبق جدول ۳ انجام می‌گیرد. طبق دستورالعمل دفتر آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست، برای هر نمونه آب در هر تکرار، ۱۱ عامل سمی شامل آرسنیک، جیوه، ترکیبات هیدروکربنی

[1] Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

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).

جدول ۲ -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

۵.۲. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk انجام شد. برای دست‌یابی به 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[1] و آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد انجام شد. نمودارهای مربوطه نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخهٔ ۲۰۰۷ رسم شدند.

۳. نتایج

۱.۳. شاخص IRWQIsc رودخانهٔ کرج

براساس نتایج، تغییرات شاخص کیفیت عمومی آب (IRWQIsc)، بین ایستگاه‌ها متغیر و همراه با نوسان بود و بیشترین آن در ایستگاه سرشاخهٔ هفت‌چشمه (۸۷/۵۲) و کمترین آن در ایستگاه پارک چمران (۴۳/۶۹) ثبت شد (شکل ۲). در فصل گرم، شاخص کیفیت عمومی آب (IRWQIsc) در پارک چمران با میزان ۳۳/۲۴ در کمترین مقدار و در سرشاخهٔ هفت‌چشمه با مقدار ۷۲/۲۱ در بیشترین مقدار قرار داشت. به‌طور کلی روند کیفیت آب علی‌رغم نوسانات، رو به کاهش بود و تنها در سرشاخهٔ هفت‌چشمه روند افزایشی بود و پس از آن روند کاهشی مشاهده شد. در هر دو فصل (فصل سرد و فصل گرم)، ایستگاه پارک چمران دارای وضعیت نسبتاً بد بود. هیچ ایستگاهی در طبقهٔ بد و خیلی بد دسته‌بندی نشد.

۲.۳. تعیین مقدار فلزات سنگین و شاخص‌های سمی و IRWQIst

براساس **Error! Reference source not found.**، شاخص سمی کیفیت آب، نوساناتی را در ایستگاه‌های مختلف نشان داد و روند یکنواختی نشان نداد. بیشترین مقدار آن (۹۷/۲۷) در سرشاخهٔ هفت‌چشمه و کمترین مقدار (۶۹/۰۳) در ایستگاه پارک چمران محاسبه شد. در فصل گرم، بیشترین مقدار شاخص سمی کیفیت آب (IRWQIst) در ایستگاه سر شاخهٔ هفت‌چشمه به مقدار ۹۴/۳۱ و کمترین آن در ایستگاه پارک چمران به مقدار ۵۹/۷۴ ثبت شد. در کل، از پل دیزین به‌سمت پارک چمران، روند شاخص‌های سمی کیفیت آب، نزولی بود و تنها در سرشاخهٔ هفت‌چشمه افزایش نشان داد. ایستگاه‌های مورد سنجش از نظر شاخص‌های سمی از طبقهٔ خوب تا نسبتاً خوب دسته‌بندی شدند و هیچ یک در طبقات خیلی بد تا متوسط قرار نگرفتند.

۳.۳. مطالعات کفزیان رودخانه کرج و ارزیابی شاخص زیستی (Z)

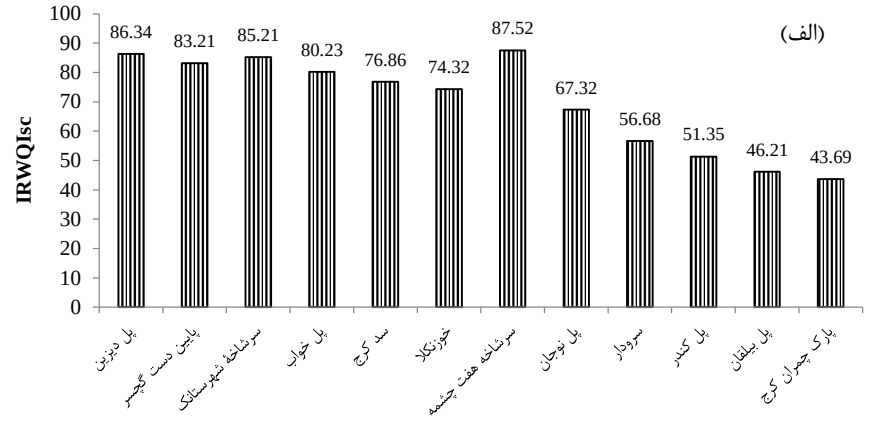
براساس نمودار ۴، تغییرات شاخص زیستی کفزیان (Z) را در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فصل سرد رودخانهٔ کرج نشان می‌دهد. براساس نتایج، بیشترین مقدار شاخص در ایستگاه پارک چمران کرج (۳/۲) و کمترین آن در سرشاخهٔ هفت‌چشمه (۱) می‌باشد. کفزیان

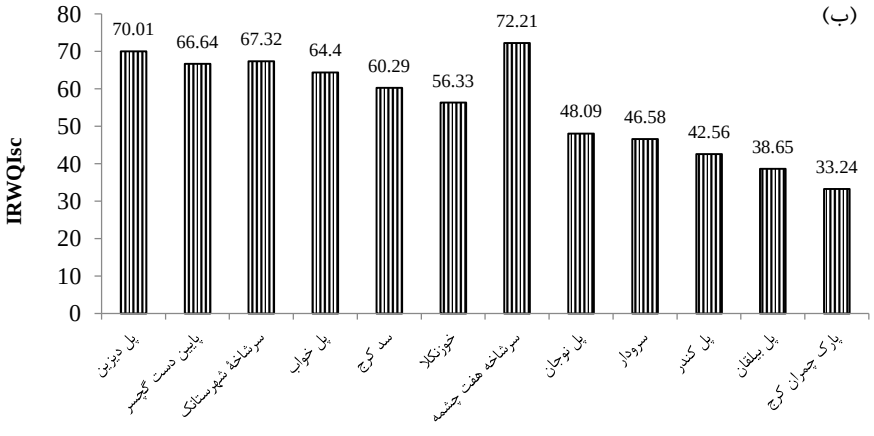
[1] One-way ANOVA

غالب در ایستگاه دیزین، *Simulium*، در ایستگاه پایین‌دست گچسر، *Rhithrogena*، ایستگاه سرشاخهٔ شهرستانک، *Baetis* و *Epeorus*، پل خواب، *Baetis*، سد کرج، *Gammarus*، خوزنکلا *Baetis*، سرشاخهٔ هفت‌چشمه *Baetis*، پل نوجان، Trichoptera، سرودار، *Hydropsych*، پل کندور، Trichoptera و *Hepatagenia*، پل بیلقان، Chironomidae و پارک چمران، *Tubifex* هستند. در فصل گرم، بیشترین مقدار شاخص به ترتیب در پارک چمران کرج و سرشاخهٔ هفت‌چشمه مشاهده شد.

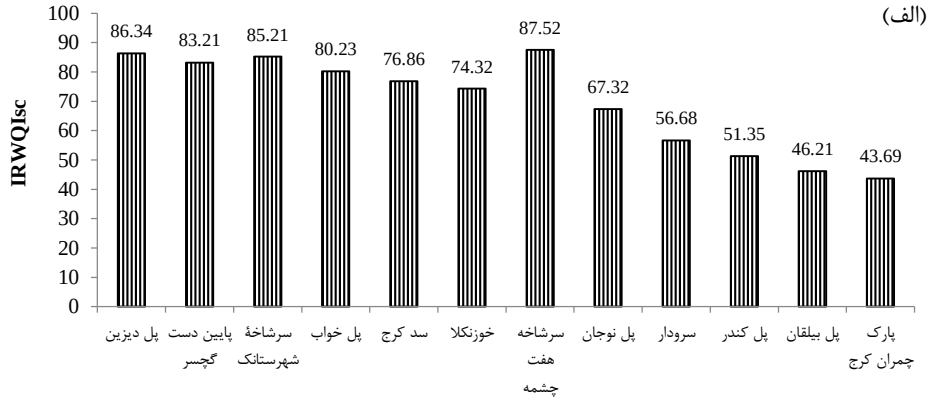
۴.۳. مقایسهٔ کفزیان و الگوی خود پالایی و BOD دو فصل سرد و گرم

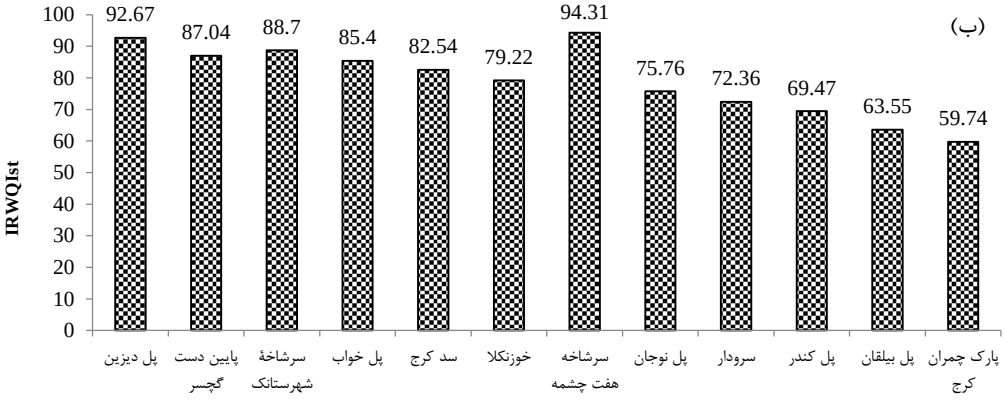
جنس *Tubifex* تنها در ایستگاه پارک چمران، خانوادهٔ Chironomidae از ایستگاه پل نوجان به بعد، *Hirunda* نیز در پل بیلقان و پارک چمران، *Gammarus* بعد از سد کرج، *Epeorus* و *Baetis* قبل از ایستگاه سرشاخهٔ هفت‌چشمه، *Rhithrogena* تا پل نوجان مشاهده شد و راسته های Plecoptera و Trichoptera و جنس های *Hydropsych* و *Simulium* از بالادست تا پایین‌دست در ایستگاه‌هایی مشاهده شد ولی در پل بیلقان و پارک چمران مشاهده نشدند. جنس *Heptagenia* در ایستگاه‌های قبل از پل نوجان مشاهده نشد و از آن ایستگاه به بعد شناسایی شد. در شکل ۵- ۵، تقسیم‌بندی خودپالایی رودخانهٔ کرج نشان داده شده است و هر بخش از رودخانه را به رنگ الگوی خودپالایی خود ارائه کرده است.





شکل ۲- نمودارهای تغییرات شاخص کیفیت عمومی آب (IRWQIsc) در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری فصل سرد (نمودار الف بالا)؛ فصل گرم (نمودار ب پایین) رودخانهٔ کرج

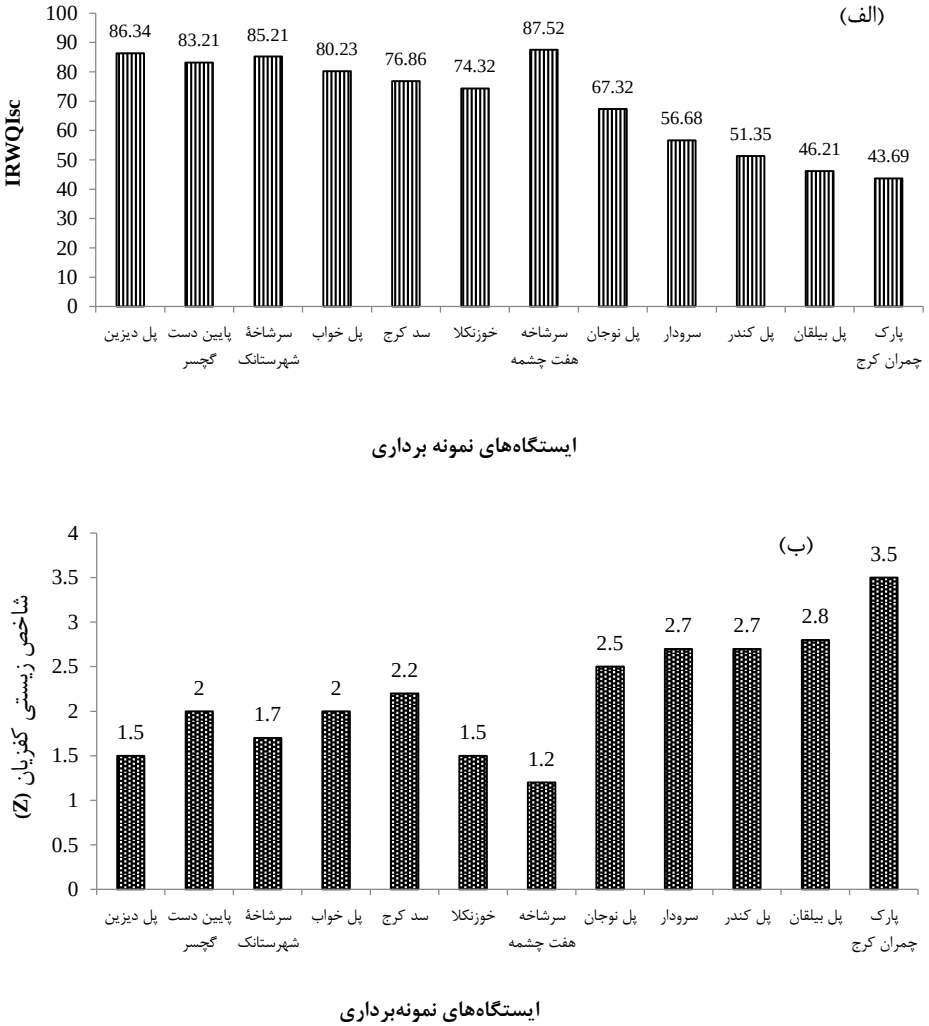




شکل ۳- نمودارهای تغییرات شاخص سمی آب IRWQIst در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری فصل سرد (نمودار الف بالا)؛ فصل گرم (نمودار ب پایین) رودخانهٔ کرج

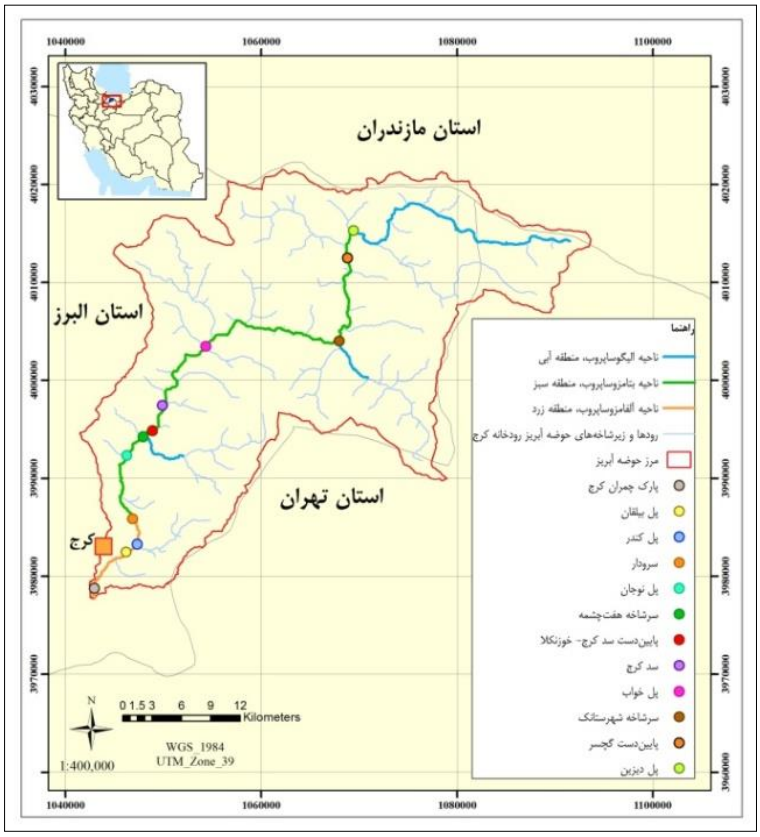
براساس نتایج، منطقهٔ زرد در فصل گرم بیش‌تر از فصل سرد است و در کل در هر دو فصل، ناحیهٔ بتامزوساپروب (منطقهٔ II)، بیشترین محدوده را به‌خود اختصاص داده است. قابل ذکر است که در این نقشه، تنها شاخه‌های اصلی به رنگ مورد نظر رنگ‌آمیزی شده‌اند، زیرا تنها شاخه‌های اصلی مورد ارزیابی خودپالایی قرار گرفته‌اند. سرشاخه‌ها با رنگ بسیار ملایم مشخص شده‌اند که تنها مشخص باشد که در چه نقاطی سر شاخه وجود دارد. البته ایستگاه‌های شهرستانک و هفت‌چشمه انتهای سرشاخه هستند و وضعیت کیفی آن‌ها نشان‌دهندهٔ وضعیت کیفی انتهای سرشاخهٔ متصل به رودخانه است. در شکل ۶، تلفیق نقشه‌های خودپالایی، کاربری اراضی و BOD در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کرج در دو فصل سرد و گرم نشان داده شده است. در فصل سرد، منطقهٔ

آلفامزوساپروب با BOD ۱۴/۹ در محدودهٔ شهری قرار دارند. مناطق روستایی در تمام مناطق خودپالایی وجود دارند اما تراکم آن‌ها در بخش‌های پایین‌دست و مناطق بتامزوساپروب و آلفامزوساپروب بیشتر است. مراتع خوب تنها در دو منطقهٔ الیگوساپروب با BOD ۲/۲ و ۲/۳ قرار گرفته‌اند. راه‌های دسترسی در تمام حوضه مشاهده می‌شود؛ اما در بالادست، تراکم کمتری دارد؛ لکه‌های کاربری باغ در تمام بخش‌ها مشاهده می‌شوند، اما بیشترین تراکم آن‌ها در مناطق آلفامزو ساپروب و مناطق بتامزو ساپروب با BOD ۸/۵، ۷/۷ و ۷/۱ مشاهده شد. در فصل گرم کاربری باغی در طول مسیر در مناطق بتامزوساپروب با BOD ۱۵/۷، ۱۶/۵ و مناطق آلفامزو ساپروب وجود داشت. بیشترین سهم آلاینده‌ها در فصل گرم نیز در این حوضه مربوط به کاربری باغ و مناطق رو ستایی بود. افزایش تراکم راه‌های دستر سی در نواحی آلفامزوساپروب با BOD بالا نیز مشاهده شد. براساس روش مونیخی در نمایش ارزش زیستی در دو فصل، ایستگاه‌ها از ناحیهٔ الیگو ساپروب تا آلفامزو ساپروب قرار گرفتند و طبقهٔ پلی‌ساپروب دیده نشد. کیفیت ایستگاه‌ها در هر سه شاخص از بالادست به‌سمت پایین‌دست کاهش یافت و این کیفیت در فصل سرد، بالاتر از فصل گرم بود.

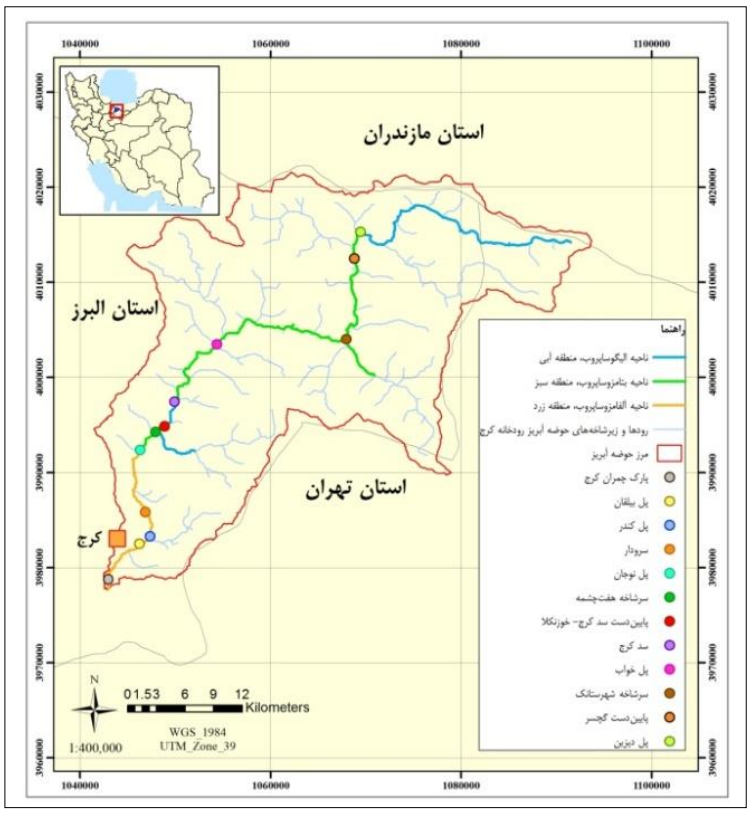


شکل ۴- نمودارهای تغییرات شاخص زیستی کفزیان (Z) در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری فصل سرد (نمودار الف بالا)؛

فصل گرم (نمودار ب پایین) رودخانهٔ کرج

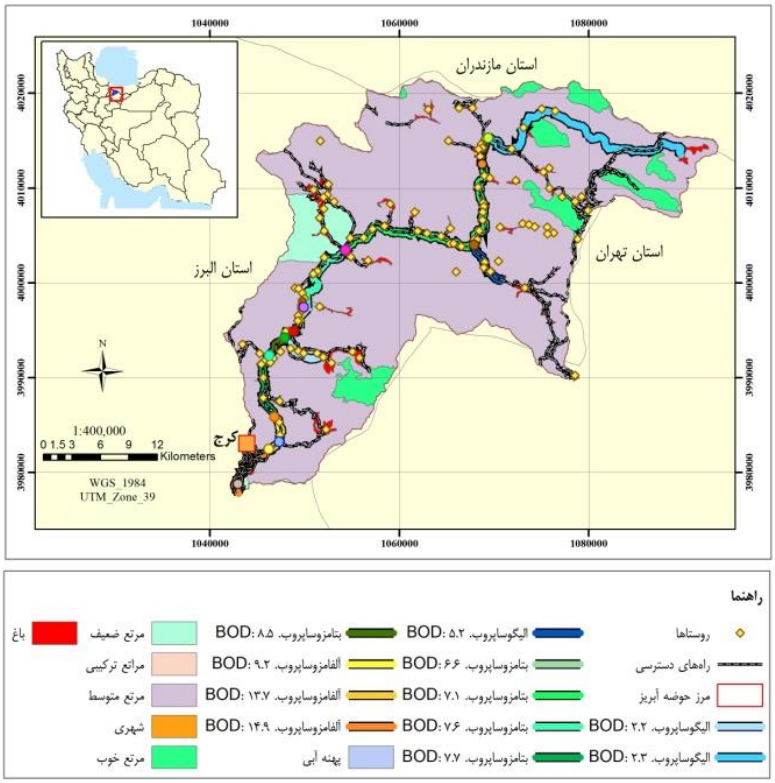


(الف)

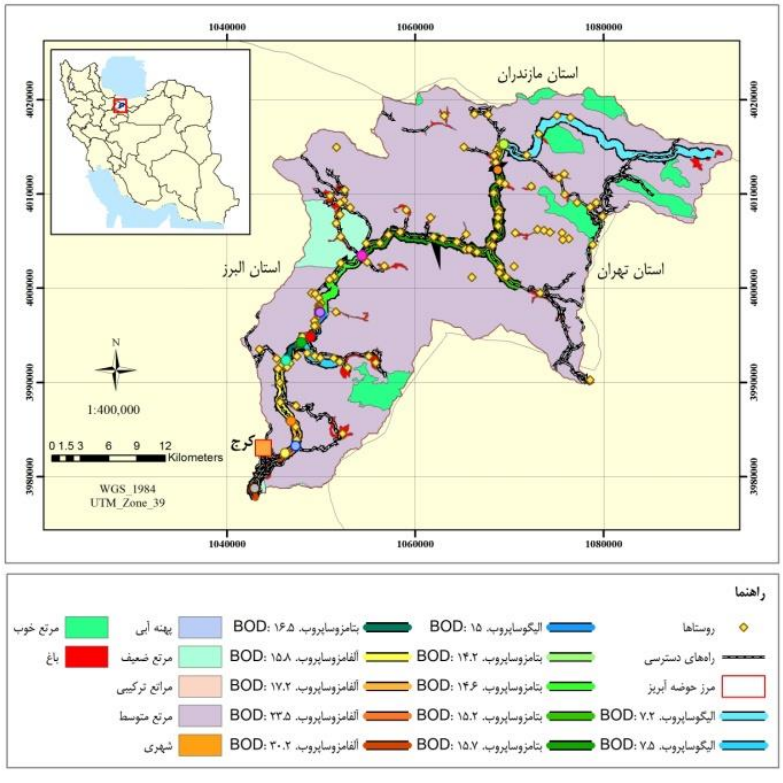


(ب)

شکل ۵- نقشه‌های تقسیم‌بندی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کرج بر اساس روش مونیخی در (شکل الف بالا): فصل سرد؛ (شکل ب پایین): فصل گرم



(الف)



(ب)

شکل ۶- نقشه‌های تلفیقی خودپالایی، BOD و کاربری اراضی در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کرج در در (شکل الف بالا): فصل سرد، (شکل ب پایین): فصل گرم

۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از تحلیل‌های این پژوهش، نقش مهم فعالیت‌های انسانی به‌خصوص کاربری‌های روستایی و باغی و وجود جاده‌ها در کیفیت آب کرج را نشان داد. از بالادست به سمت پایین‌دست، تعداد منابع آلاینده بیشتر شد. بهترین نمایندهٔ وضعیت آلایندگی، وضعیت خودپالایی، شاخص IRWQIsc، شاخص IRWQIst و شاخص ارزش زیستی کفزیان (Z) است. نتایج به‌خوبی نقش افزایش منابع آلاینده را در شاخص‌های آلودگی نشان داد. زیرا در ایستگاه دیزین تنها ۲ منبع آلاینده وجود داشت و این تعداد در ایستگاه چمران در پایین‌دست، به ۳۰ منبع رسید. در این ایستگاه هم در فصل سرد و هم در فصل گرم تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی، شرایط خودپالایی، کیفیت، سمیت و Z در بدترین شرایط بود. تلفیق نقشه‌های خودپالایی، کاربری اراضی و BOD نشان داد که افزایش تراکم مناطق روستایی و باغی، سبب افزایش BOD و شاخص کفزیان شده است و نقش آن در این الگو مؤثرتر از سایر دلایل است. همچنین مراتع خوب تنها در مناطق الیگوساپروب قرار گرفته‌اند و در خودپالایی نقش دارند. افزایش راه‌های دسترسی در پایین‌دست و نتایج منفی آن در شاخص‌های مذکور، ارتباط نزدیک آن را به آلودگی رودخانه نشان می‌دهد.

در تحقیقات پیشین به کیفیت مناسب آب رودخانهٔ کرج نیز اشاره شده (Musavi andPourebrahim, 2019) و طبقه‌بندی آن بر اساس شاخص زیستی اشاره شده است (Ghalandarzadeh *et al.*, 2020). در پژوهش مشابه، Ghalandarzadeh و همکاران (۲۰۲۰) و Hashemi (۲۰۲۰) نیز شاخص‌های کیفیت آب رودخانهٔ کرج در سرودار، نوجان و پل خواب را اندازه‌گیری نمودند. در رستوران ارکیده (نزدیک به ایستگاه هفت‌چشمه) مقدار BOD بسیار بالاتر از داده‌های این تحقیق بود که به‌دلیل نمونه‌برداری مستقیم از فاضلاب رستورانی بود (Hashemi, 2020). در پژوهش Sourinejad و Ahmadi (۲۰۰۶)، فاضلاب ماهی‌سرای کرج، تأثیر معنی‌داری بر کیفیت آب رودخانه نداشته است. اما از آنجا که ۱۵ سال از آن زمان گذشته و از طرف دیگر طبق نتایج این پژوهش، خودپالایی رودخانه در پایین‌دست افزایش یافته است، احتمالاً در طی این سال‌ها ماهی‌سرا تأثیر منفی بر رودخانه گذاشته و زیان‌های ناشی از آن به زیان‌های دیگر فعالیت‌های انسانی اضافه شده است. مطالعات قبلی به کیفیت مطلوب رودخانهٔ کرج اشاره دارند، اما باید در نظر داشت که این تحقیق در سال ۱۳۸۶ انجام شده و علاوه بر این، ایستگاه‌های مورد مطالعه، تا قبل از سد کرج را پوشش داده و مطالعهٔ بخش‌های پایین‌دست انجام نشده است (Khatami *et al.*, 2007).

بررسی نتایج تحقیق Torabian و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که بالا بودن میزان کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل و استرپتوکوک‌های مدفوعی مانع بزرگی بر سر راه مصارف تفرجی این رودخانه است و این رودخانه عملاً برای مصارف تفرجی اولیه مانند شنا، آب‌تنی، غواصی و مصارف تفرجی ثانویه مانند موج سواری، قایقرانی و ماهی‌گیری قابل استفاده نمی‌باشد. در مناطق با انرژی بیشتر، آلاینده‌ها با رسوبات سنگین‌تر رقیق شده و غلظت کاهش می‌یابد (Venkatramanan *et al.*, 2015). بنابراین، در ایستگاه‌های بالادست، به‌دلیل ارتفاع بیشتر و سرعت بیشتر جریان آب، آلاینده‌ها ماندگاری کمتری دارند و این نکته نیز دلیل دیگری بر کمتر بودن تجمع فلزات سنگین در بالادست رودخانهٔ کرج است. از آنجا که تغییرات غلظت عناصر در رسوبات به‌تنهایی نمی‌تواند وجود یا عدم وجود آلودگی را نشان دهد بنابراین شاخص‌هایی برای برآورد آلودگی مورد نیاز است، که در این پژوهش از شاخص‌های زیستی برای تعیین میزان آلودگی آب و رسوبات رودخانه استفاده شد. مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات می‌تواند گام مؤثری برای یافتن منشاء رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی زیست‌محیطی وضعیت موجود در یک منطقه باشد. در صورت نبود دسترسی به امکان لازم، می‌توان از

مطالعات آماری و ضریب همبستگی برای منشاء یابی عناصر سنگین در رسوبات استفاده کرد.

از آنجا که بیشتر منابع آلایندهٔ رودخانه، فاضلاب‌های نواحی مسکونی، کشاورزی و باغی است، باید تصفیهٔ فاضلاب اجرایی شود تا این مواد آلاینده با ورود به رودخانه سبب کاهش کیفیت آب نشوند، استانداردهای لازم برای مصرف سموم و کودها ترجیحاً جایگزین کردن روش‌های غیرشیمیایی و تولید محصولات ارگانیک برای نظام کشاورزی حوضهٔ آبریز کرج تدوین شود تا به‌خصوص در پایین‌دست، شاهد مناطق آلفامزوساپروب نباشیم. همچنین نظارت بر استفاده از آب‌های زیرزمینی و عدم حفر چاه‌های غیرمجاز در دستور کار قرار گیرد و برخورد با متخلفان در زمینهٔ کشاورزی و استفادهٔ بی‌رویه از منابع آبی و رهاسازی فاضلاب‌های تصفیه‌نشده، به کنترل محیط و حفاظت از اکوسیستم رودخانهٔ کرج کمک خواهد کرد.

۵. نتیجه گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد که کیفیت رودخانهٔ کرج بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است و ویژگی‌های هیدرولوژیک نقش چندانی در این موضوع ندارد. شاخص‌های خودپالایی و عدد BOD در پایین‌دست نسبت به بالادست و در فصل گرم نسبت به فصل سرد، وضعیت نامناسب‌تری را نشان داد و در فصل گرم، نواحی آلفامزو ساپروب نسبت به فصل سرد گسترش بیشتری داشتند. بنابراین لازم است مدیریت حفاظت رودخانه، متمرکز بر فعالیت‌ها و کاربری‌های انسانی، شامل تعریف استانداردها و ضوابط توسعهٔ کشاورزی و نظارت بر حسن اجرای آن ها، پیشگیری از ورود مواد آلایندهٔ جاده‌ای، تصفیهٔ فاضلاب ها، نظارت بر آلودگی های خانگی و رستورانی، و رعایت حریم ابنیه به‌همراه پایش زیستی سالانهٔ رودخانهٔ کرج باشد.

۶. تشکر و قدردانی

این تحقیق با توجه به اهمیت کیفیت آب برای شرب کلان شهر کرج و تهران و شرایط حفاظتی رودخانهٔ کرج با حمایت مالی صندوق ملی محیط زیست 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.

۷. منابع

References

Abri Nasr, A., Nouri, M., Parsa, B., Shahbaz Dashti, R., 2015. Qualitative evaluation of Karaj river and its branches in Alborz province. In: (Eds.), Proceeding of First National Conference on Water Resources Quality and Sustainable Development, Arak. 8 p. (In Persian)

Ahmadi, M., Karami, M.R.K., 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)

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

Eaton, A.D., Franson, M.A.H., 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, Denver, Alexandria. .

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

Ghalandarzadeh, F., Rezaei Tavabe, K., Haji Seyed Mohammad Shirazi, R., Samadi Kuchaksaraei, B. 2020. An investigation on heavy metal (cadmium, chromium, zinc) concentration changes in water and sediment, and assessing the biological value index (Z) in Karaj River. *Journal of Fisheries* 73(2), 199-212. (In Persian)

Hashemi, S.M.R., 2020. Studies on pollution sources along the Karaj Protected River and their qualitative effects on water quality and benthic parameters during cold and warm seasons M.Sc thesis, Natural Resources Faculty, University of Tehran. 150 p. (In Persian)

Heintz, R.A., Short, J.W., Rice, S.D., 1999. Sensitivity of fish embryos to weathered crude oil: Part II. Increased mortality of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) embryos incubating downstream from weathered Exxon Valdez crude oil. *Environmental Toxicology Chemistry: An International Journal* 18(3), 494-503.

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

Hosseini, F., Hasani, A.H., Javid, A.H., Sayadi, M., 2015. A Study of the Effects of Purkan Village Wastewater Refinery on Qualitative Parameters of Karaj River. *Journal of Environmental Geology* 8(28), 53-66. (In Persian)

Khatami, S.H., Riazi, B., Modaberi Asari, S.A., 2007. Investigation of Karaj river quality based on the diversity of macrobenthic families. *Journal of Environmental Science and Technology* 9, 71-78.

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

Mirzaei, M., Solgi, E., 2016. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River. *Journal of Research in Environmental Health* 1(4), 251-265.

Mollazadeh, N., 2014. Bio assessment of marbor stream quality via biological index of marco-benthos fauna .*Journal of Wetland Ecobiology* 6, 47-56.

Musavi, M., Pourebrahim, S., 2019. Water quality assessment based on biological monitoring of the Karaj River (Alborz Province) using benthic macroinvertebrates. *Journal of Animal Environment* 11(3), 335-344. (In Persian)

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

Pirsaheb, M., Khosravi, T., Sharafi, K., Babajani, L., Rezaei, M., 2013 .Measurement of heavy metals concentration in drinking water from source to consumption site in Kermanshah-Iran. *World Applied Sciences Journal* 21(3), 416-423.

Polak-Juszczak, L. 2009. Temporal trends in the bioaccumulation of trace metals in herring, sprat, and cod from the southern Baltic Sea in the 1994-2003 period. *Chemosphere* 76(10), 1334-1339.

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)

Rezaei Tavabe, K., Malekian, A., Afzali, A., Taya, A., 2017. Biological index and pollution assessment of Damghanroud river in the Semnan province. *Desert* 22(1), 69-75.

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

Torabian, A., Hassani, A.H., Izadpanah, S., 2011. Investigation of water status of Karaj and Jajroud rivers for recreational purposes. *Journal of Environmental Science and Technology* 13(2), 55-65.(In Persian)

Venkatramanan, S., Chung, S., Kim, T., Prasanna, M.V., Hamm, S., 2015. Assessment and distribution of metals contamination in groundwater ːa case study of Busan City, Korea. *Exposure and Health* 7, 219-225.

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

Yarimoghadam, N., Cheraghi, M., Hasani, A., Javid, A., 2014. The amount of heavy metals (Zn, Cu, Pb and Cd) in Abshineh River, Hamadan, Iran. *Health and Development Journal* 2(4), 296-304.