

برآورد شاخص زیستی آلودگی و کیفیت آب رودخانه هراز با استفاده از جوامع ماکروبتوزها

کیوان صائب^{۱*}، لعبت تقوی^۲، حسین کاظمیان^۲

۱. دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن

۲. استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۳. کارشناس ارشد مهندسی آلودگی‌های محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن

(تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۱۱/۰۲؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۴/۱۲/۲۷)

چکیده

پهنه‌بندی کیفیت آب سطحی و روند تغییرات آلودگی با استفاده از اندیکاتورهای بیولوژیک تأثیرات زیست‌محیطی پنهان را بهتر نشان می‌دهد و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی با آگاهی بیشتری به کار گرفته می‌شود. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی ساختار اجتماعات ماکروبتوزها به عنوان نشانگرهای زیستی آلودگی در رودخانه هراز است. نمونه‌برداری در ۵ ایستگاه و طی ۱۲ ماه (در سال ۱۳۹۱) با ۳ تکرار در هر ایستگاه انجام گرفت. برای ارزیابی تنوع زیستی ماکروبتوزهای منطقه مطالعه‌شده از شاخص سیمپسون استفاده شد که میانگین این پارامتر ۰/۲۵ است. به منظور پی‌بردن به وضعیت اکولوژی منطقه از میزان آلودگی آلی از شاخص HFBI استفاده شد. ۲ شاخه، ۳ رده، ۱۱ راسته و ۱۶ خانواده از ماکروبتوزها شناسایی شدند. بیشترین شاخص سیمپسون در ایستگاه شاهد و کمترین در ایستگاه سرخ‌رود بوده است. روند تغییرات HFBI به سمت ایستگاه‌های پایین‌دست در حال افزایش بوده است. کیفیت آب در بالادست از شاخص ۴/۲۶ شامل مقداری آلودگی آلی و در سطح خوب ارزیابی می‌شود. در پایان مسیر خود به شاخص ۷/۲۶ شامل آلودگی آلی شدید و در سطح بسیار ضعیف ارزیابی می‌شود. پس از بررسی شاخص هیلسنهوف و دیگر شاخص به این نتیجه رسیدیم که میانگین شاخص HFBI دوره تحقیق، کیفیت آب رودخانه هراز ۵/۷۲ را در کلاس کیفی متوسط با آلودگی آلی در حد نسبتاً قابل تشخیص بیان شده است.

کلیدواژه‌گان: رودخانه هراز، شاخص زیستی، کیفیت آب، ماکروبتوزها.

مقدمه

آب بارزترین و مهم‌ترین ماده مورد نیاز بشر است و رایج‌ترین منابع آب استفاده شده برای مصارف آشامیدنی، بهداشتی، کشاورزی و صنعتی رودخانه‌ها هستند. آب محیطی زنده است که در آن موجودات گوناگون زندگی می‌کنند، بنابراین حفظ کیفیت آن امری مهم و حیاتی است. به‌منظور بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها، از روش‌های گوناگونی از قبیل آنالیز شیمیایی و یا شاخص‌های زیستی استفاده می‌شود [۳]. روش‌های پایش زیستی برتری مهمی نسبت به آنالیزهای شیمیایی دارد. ارگانیزم‌های آبی و جوامع آنها وضعیت فعلی و همچنین تغییرات در گذر زمان و تأثیرات تجمعی آلودگی‌ها را نشان می‌دهند [۱]. در این ارزیابی زیستی از ماکروبن‌توزها استفاده شده است. این جانوران بی‌مهره بیان‌کننده شرایط حاکم بر محیط زندگی خود هستند و از سوی دیگر در رژیم غذایی ماهیان رودخانه‌ای نقش به‌سزایی دارند [۸ و ۱۷]. همچنین این موجودات زندگی ثابتی ندارند و نمی‌توانند از آلودگی فرار کنند. بنابراین، وضعیت بهتری از آلودگی را نشان می‌دهند و به‌عنوان نشانگرهای خوب بیولوژیک شناخته می‌شوند. به‌طور کلی، عوامل مختلفی در فراوانی و تنوع ماکروبن‌توزها دخالت دارند به‌طوری که می‌توان به مقدار غذا [۸ و ۹]، شرایط فیزیکی و شیمیایی حاکم بر زیستگاه [۷ و ۹]، مقدار مواد آلی [۴ و ۵]، آلودگی محیط زیست [۱۰] و میزان اکسیژن محلول اشاره کرد. رودخانه هراز جزء رودخانه‌های حفاظت‌شده سازمان محیط زیست ایران است. با توجه به اهمیت این رودخانه به‌عنوان یکی از منابع مهم آبی در منطقه، وجود گونه‌های بارز از اقتصاد و حفاظتی مطالعات انجام‌شده در این اکوسیستم آبی، کم است. تحقیق حاضر با استفاده از شاخص‌های زیستی یک ارزیابی از وضعیت کیفیت آب و توان خودپالایی رودخانه هراز صورت گرفت. در نهایت، با استفاده از شاخص زیستی هیلسنهوف (HFBI) کلاس کیفی آب آن تعیین شد.

پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی در سرتاسر جهان در زمینه استفاده از شاخص‌های زیستی برای بررسی کیفیت آب‌های سطحی صورت گرفته است. در این راستا تحقیقات پایه و اساسی Hilsenhoff (۱۹۷۷ و ۱۹۸۸) شاخص زیستی به نام HFBI تعریف کرده‌اند که براساس روش هیلسنهوف یک مبنا و رنج

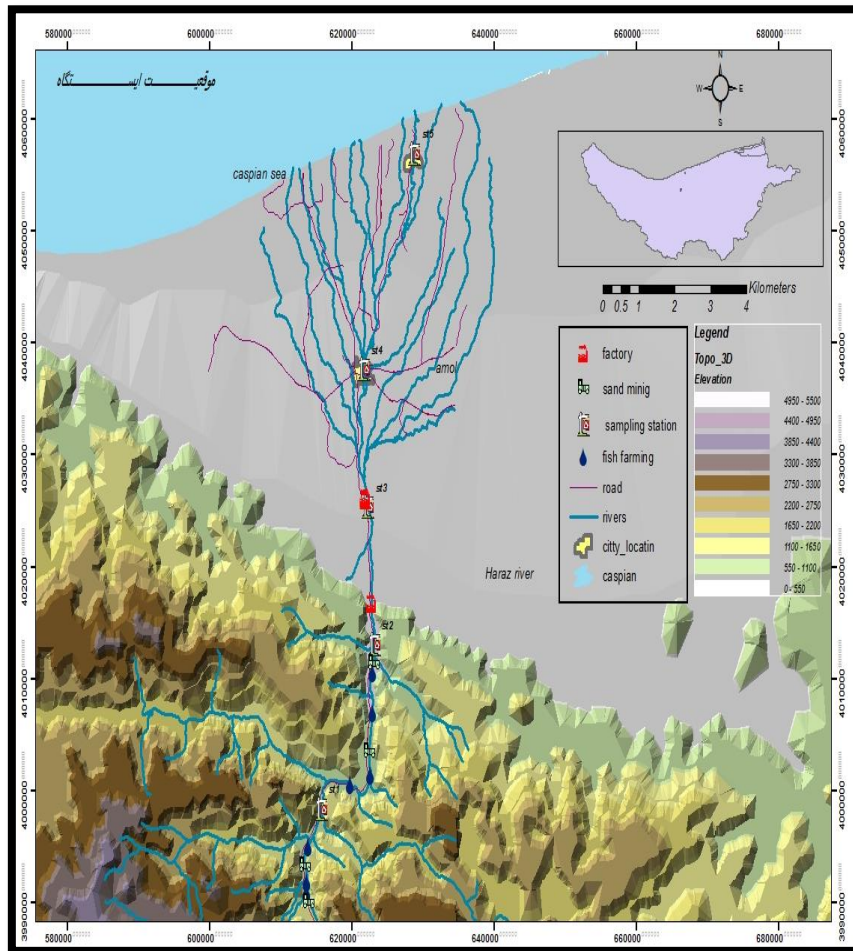
ارزش‌گذاری شاخص زیستی از صفر تا ۱۰ است. کیفیت آب نیز براساس به‌دست‌آوردن شاخص زیستی و تغییرات آن در جدول‌های مخصوص مشاهده می‌شود [۱۲ و ۱۳]. شاخص هیلسنهوف یک روش کمی است که نیازمند شمارش موجودات متعلق به هر یک از خانواده‌ها است و براساس مقیاس هرچه به طرف ۱۰ می‌رویم نشان‌دهنده آلودگی زیاد و یا موجودات با تحمل بالا و هرچه به طرف صفر می‌رویم نشان‌دهنده میزان آلودگی کم و موجودات کم‌تحمل است [۱۲]. نخستین مطالعه گسترده‌ای که توسط یک ایرانی در آب‌های خلیج فارس و دریای عمان روی بنتوزها صورت گرفته مطالعه تجلی‌پور (۱۳۷۳) است. در این پژوهش جمعاً ۲۱۶ گونه متعلق به ۱۱۳ جنس از دوکفه‌ای‌ها و شکم‌پایان شناسایی و معرفی شدند [۶]. ساندر و همکارانش (۲۰۰۷) طی تحقیقی که روی نهر دبی در امارات متحده عربی انجام دادند، مشاهده کردند که افزایش آلودگی سبب کاهش تراکم درشت بی‌مهرگان کفزی می‌شود، در حالی که در این مناطق آلوده، گونه‌های فرصت‌طلب که شاخصی برای بیان آلودگی هستند، غالب می‌شوند [۲۱]. شهسواری‌پور و اسماعیلی ساری (۱۳۸۳) به بررسی کیفیت آب رودخانه هراز برای آبیاری و تعیین منابع آلوده‌کننده آب رودخانه پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که میزان آلودگی در پایین دست رودخانه بیشتر از بالادست آن است و آلودگی میکروبی رودخانه در فصل بهار در تمامی ایستگاه‌ها بیشتر از سایر فصول است. همچنین نتایج بیانگر این است که شاخص آلودگی میکروبی در آب‌های رودخانه هراز در مقایسه با استانداردهای جهانی به دلیل انواع فاضلاب‌های خانگی، شهری و... از حد استاندارد تعیین‌شده برای آبیاری بسیار فراتر است و فقط در برخی از ماه‌های سال برای آبیاری عمومی مناسب است [۲].

مواد و روش‌ها

رودخانه هراز با مساحتی برابر ۴۱۷۶ کیلومتر مربع از غرب به حوضه آبریز رودخانه نور، از شرق به حوضه آبریز رودخانه بابل‌رود و از شمال به دریای خزر منتهی می‌شود. رودخانه هراز بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و صفر دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی در بخش مرکزی دامنه‌های شمالی رشته‌کوه‌های البرز واقع شده است.

رودخانه انتخاب شدند. در جدول ۱ دلایل انتخاب نقاط مد نظر به عنوان ایستگاه، به اختصار بیان شده است.

دلایل انتخاب محل ایستگاهها
ایستگاههای نمونه برداری روی رودخانه مطالعه شده،
براساس منابع آلاینده و شاخه های فرعی ورودی به



شکل ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاههای نمونه برداری

جدول ۱. دلایل انتخاب ایستگاههای نمونه برداری

دلایل انتخاب	ایستگاه	ردیف
در بالادست رودخانه هراز و کمربودن ورودی آلاینده و تراکم روستایی کمتر	St1	۱
قبل از الحاق رودخانه نورود به منظور بررسی تأثیرات شاخه فرعی بر جمعیت ماکروبنوتوزها	St2	۲
۲۰۰۰ متر بعد از محل سد منگل به منظور بررسی تأثیرات احداث سد در مسیر رودخانه هراز	St3	۳
حوزه شهری رودخانه از خروجی شهر آمل به منظور بررسی تأثیرات انسانی روی ماکروبنوتوز و غنای گونه های در انتهای حوضه شهری آمل	St4	۴
در انتهای مسیر رودخانه جایی که رودخانه هراز به دریای خزر وصل می شود به منظور بررسی تجمع آلاینده های مسیر و تأثیر بر گونه های ماکروبنوتوز و بررسی عملکرد خودپالایی رودخانه	St5	۵

استفاده شد. درصد EPT نیز به عنوان یک شاخص زیستی در ارزیابی اکوسیستم نهرها و رودخانه‌ها کاربرد وسیعی داشت و بنابراین مجموع فراوانی افراد متعلق به این سه راسته برای محاسبه درصد EPT برآورد شدند. برای محاسبه شاخص EPT/CHIR فراوانی مجموع افراد متعلق به راسته‌های EPT به فراوانی کل افراد متعلق به خانواده Chironomidae در هر واحد نمونه‌گیری به دست آمد [۱۵]. این شاخص در محیط‌هایی که وجود ایستگاه پرورش ماهی و برداشت شن و ماسه صورت می‌گیرد بیشتر نمایان است (شکل‌های ۲ و ۳).

برای اندازه‌گیری تنوع از شاخص سیمپسون استفاده شد. سیمپسون پیشنهاد کرد که تنوع به‌طور معکوس به احتمال اینکه دو فرد انتخاب‌شده به‌طور تصادفی به یک گونه مشابه متعلق باشند، بستگی دارد. برای یک جمعیت این مسئله توسط فرمول زیر به دست می‌آید. π : فراوانی نسبی افراد است.

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (pi)^2$$

برای ارزیابی کیفیت آب در هر ایستگاه از شاخص زیستی هیلسنهوف استفاده شد (شکل ۲). در این روش آب‌ها از نظر آلودگی به مواد آلی در ۷ طبقه قرار گرفته (جدول ۲) و برای برآورد شاخص از فرمول زیر استفاده شد:

$$HFBI = \sum [(TV_i)(n_i)] / N$$

N تعداد کل موجودات جمع‌آوری‌شده، n تعداد موجودات در هر خانواده، TV_i میزان تحمل برای هر خانواده هستند [۱۳].

در این بررسی از مواد و وسایل جمع‌آوری و نگهداری حشرات آبی و ماکروبن‌توزها، که از بین آنها سوربرسمپلر، پنس، اسپیراتور، شیشه وینکلر، الک، بیلچه، دماسنج جیوه‌ای، قلم‌مو، استریومیکروسوپ، دستگاه pH سنج و نقشه جغرافیایی رودخانه هراز به‌عنوان وسایل غیرمصرفی و الکل اتیلیک ۷۵ درصد گلیسرین و فرمالین به‌عنوان وسایل مصرفی استفاده شد. نمونه‌برداری طی ۱۲ ماه (در سال ۱۳۹۱) به‌صورت ماهیانه از ۵ ایستگاه و با ۳ تکرار در هر ایستگاه انجام گرفت. نمونه‌برداری از جمعیت ماکروبن‌توزها با استفاده از سوربرسمپلر، مخصوص آب‌های جاری و از دو قاب فلزی هر یک به ابعاد $30/5 \times 30/5$ سانتی‌متر، صورت گرفت. این دستگاه یک فوت‌مربع یعنی حدود ۹۳۰ سانتی‌مترمربع را نمونه‌برداری می‌کند. قاب تور در رسوبات فرو برده و در جای خود محکم شد و ماکروبن‌توزها بر اثر برهم‌زدن مساحت قاب یادشده از بستر جدا و در تور انتهایی سوربر جمع‌آوری می‌شوند. سنگ‌ها به‌منظور رهاشدن جوامع کفزی برگردانده و با دست شسته شدند. سپس محتویات تور در ظروف پلاستیکی با فرمالین ۴ درصد تثبیت و در آزمایشگاه مطابق با کلیدهای موجود شناسایی شد [۱۵]. در آزمایشگاه نمونه‌های بستر رودخانه به‌وسیله الک ۵۰۰ میکرون شست‌و‌شو داده شدند و سپس زیر لوپ ماکروبن‌توزها از بین زوائد گیاهی و غیره جداسازی و گروه‌های کفزی با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر، براساس خصوصیات ظاهریشان شناسایی شدند و در نهایت تراکم ماکروبن‌توزهای موجود در هر خانواده محاسبه شد [۱۶ و ۱۱].

برای محاسبه غنای EPT که شامل گروه‌های حساس به آلودگی است، تعداد جنس راسته‌های Plecoptera, Trichoptera Ephemeroptera در هر واحد نمونه‌گیری

جدول ۲. ارزیابی کیفیت آب نهرها و رودخانه‌ها با استفاده از شاخص زیستی هیلسنهوف در سطح خانواده [۱۳]

شاخص زیستی در سطح خانواده	کیفیت آب	درجه آلودگی (آلی)
۰ - ۳/۷۵	عالی	بدون آلودگی مواد آلی
۳/۷۶ - ۴/۲۵	بسیار خوب	آلودگی بسیار ناچیز
۴/۲۶ - ۵	خوب	مقداری آلودگی آلی
۵/۰۱ - ۵/۷۵	متوسط	آلودگی آلی در حد نسبتاً قابل تشخیص
۵/۷۶ - ۶/۵	نسبتاً ضعیف	آلودگی آلی قابل تشخیص
۶/۵۱ - ۷/۲۵	ضعیف	آلودگی آلی خیلی زیاد
۷/۲۶ - ۱۰	بسیار ضعیف	آلودگی آلی شدید

یافته‌ها

شرب، سبب اختلال در دستگاه گوارش می‌شود و در سیستم‌های آبی نیز خوردگی ایجاد می‌کند [۳]. در مجموع، کیفیت شیمیایی آب رودخانه هراز براساس مقادیر متوسط دو عامل قلیائیت و هدایت الکتریکی (EC) و مقایسه آن در دیاکرام ویلکوکس (برای مصارف کشاورزی) و همچنین مقادیر متوسط مجموع مواد محلول (TDS) و سختی کل (TH) و رابطه آن در دیاکرام شولر (برای مصارف شرب) در تمامی ماه‌های سال برای کشاورزی مناسب و بین حدود خوب تا قابل قبول متغیر است و از این نظر محدودیتی ندارد.

براساس نتایج به‌دست‌آمده از شکل ۳ در ایستگاه سرخ‌رود و شهرک ایشار که بیشتر تحت تأثیر عوامل استرس‌زای محیطی قرار دارند میزان غنای EPT کمتری نسبت به دیگر ایستگاه‌ها داشته‌اند. در ادامه با عریض شدن رودخانه و کم شدن سرعت آب و رفته‌رفته افزایش دمای آب، این روند کیفی کاهش می‌یابد. این اتفاق بدین علت است که ورود مولد آلاینده و دترجنت‌ها از روستا و شهر به درون رودخانه روند کیفی را به شدت کاهش می‌دهد زیرا با بالا رفتن دمای آب، قدرت نگهداری اکسیژن محلول در آب کمتر می‌شود و گونه‌های حساس از بین می‌روند و گونه‌های مقاوم مانند شیرونومیدها جایگزین آنها می‌شوند. ایستگاه ۱ در بالادست روند کیفی و غنای گونه‌ای بهتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارد و از تراکم بهتری برخوردار است.

در بررسی صورت‌گرفته بیشترین اختلاف در ایستگاه ۱ (شاهد) است که به دلیل اختلاف ارتفاع از سطح دریا و دوربودن از آلودگی‌های آلی و نوع بستر متفاوت و جریان دبی آب متغیر و دمای کمتر توانسته است روند کیفی بهتری نسبت به ایستگاه‌های دیگر داشته باشد.

طبق تحقیقاتی که توسط محققان پیشین انجام شده، افزایش مواد آلی و در نتیجه کاهش اکسیژن بستر، تأثیر منفی بر جوامع ماکروبنوتوزها دارد [۲۳]. در مطالعه حاضر نیز این موضوع به اثبات رسیده است و ایستگاه سرخ‌رود در بین ایستگاه‌های دیگر، بیشترین میزان شاخص زیستی و کمترین میزان اکسیژن محلول را داشت. پساب آبری‌پروری با افزایش غلظت مواد جامد معلق و مواد آلی محلول، موجب کاهش سطح اکسیژن محلول در آب می‌شود [۱۵] که در ایستگاه ۵ این موضوع مشاهده شد.

کمترین میانگین دمایی آب رودخانه هراز در ایستگاه شاهد ثبت شده است که به دلیل قرارگیری این ایستگاه در ارتفاع بالاتر است و بیشترین میانگین دمای آب از ایستگاه سرخ‌رود، در پایین دست رودخانه، به دست آمد که به دلیل واقع شدن این ایستگاه در ارتفاع پایین تر و افزایش ورود مواد آلاینده و تجزیه ترکیبات آلی توسط میکروارگانیسم‌ها است که فرایندی گرمازا است. به طور کلی، دما از ایستگاه‌های بالادست به پایین دست و از فصول گرم به سرد، سیر صعودی داشت.

بیشترین و کمترین میزان میانگین اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در رودخانه هراز، به ترتیب در ایستگاه شاهد و ایستگاه سرخ‌رود ثبت شد. به طور کلی، پس از بررسی میزان اکسیژن محلول به صورت سالانه، مشخص شد در فصل سرد سال به علت بارندگی‌ها و دمای پایین، میزان اکسیژن محلول آب بیشتر بود. در فصل گرم سال، به دلیل افزایش دما و افزایش ورود پساب‌های کشاورزی، از میزان اکسیژن محلول رودخانه کاسته شد.

میزان pH رودخانه هراز در فصول سرد کمتر از فصول گرم در میانگین برآورد شده از ایستگاه‌هاست. pH آب در تمامی نقاط نمونه‌برداری از رودخانه هراز، قلیایی بود. این متغیر در مواقعی که دمای آب زیاد و pH قلیایی باشد، خطرناک است و آمونیاک غیر یونی می‌سازد و محیط آبی را برای آبزیان سمی می‌کند.

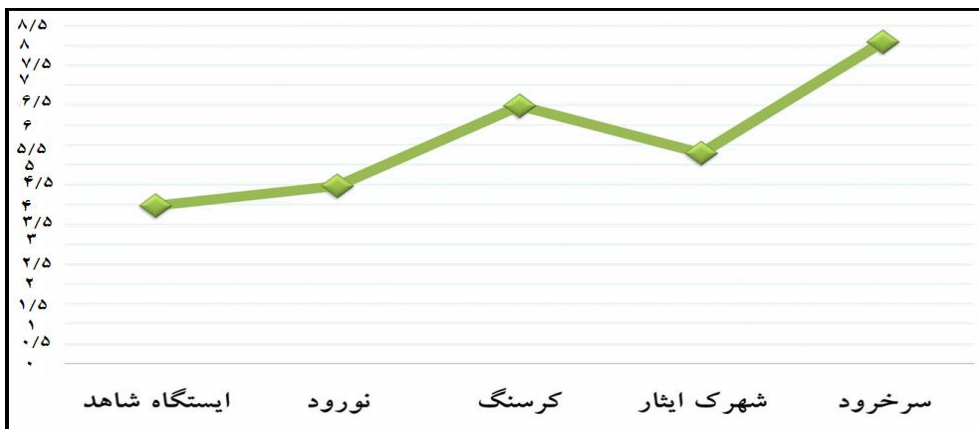
به علت عملکرد کارگاه‌های استخراج شن و ماسه به صورت موضعی، میزان میانگین جامدات معلق (TSS) به دست آمده از ایستگاه‌ها، روند افزایشی یا کاهشی منظمی نداشته است. این برآورد در میزان فصول سرد و گرم نیز به همین منوال ادامه پیدا کرده است، اما بیشترین میزان را در میانگین ۱۲ ماه از ایستگاه سرخ‌رود به دست آمده است. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان جامدات معلق در فصل سرد بیشتر از فصل گرم بوده است زیرا میزان این پارامتر به صورت کاملاً مستقیم به میزان سیلابی بودن ایستگاه بستگی دارد و به علت بارندگی زیاد در منطقه این پارامتر در فصول پرآب سال بیشتر است.

جامدات محلول (TDS) از منابع طبیعی، رواناب سطحی، انواع فاضلاب‌های شهری و استخراج معادن به وجود می‌آیند. زیادبودن میزان جامدات محلول در آب

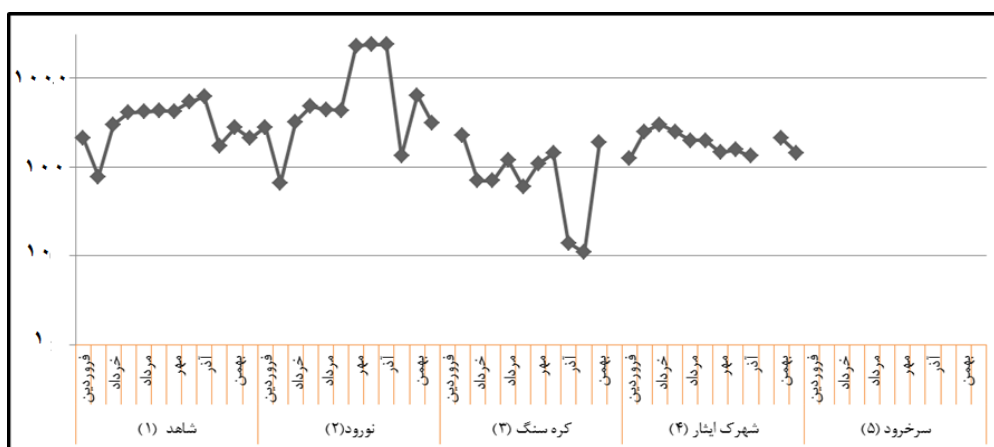
تجزیه و تحلیل آماری

برای آنالیز آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Excel و SPSS استفاده شد. برای بررسی وجود اختلاف آماری معنادار بین ایستگاه‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه

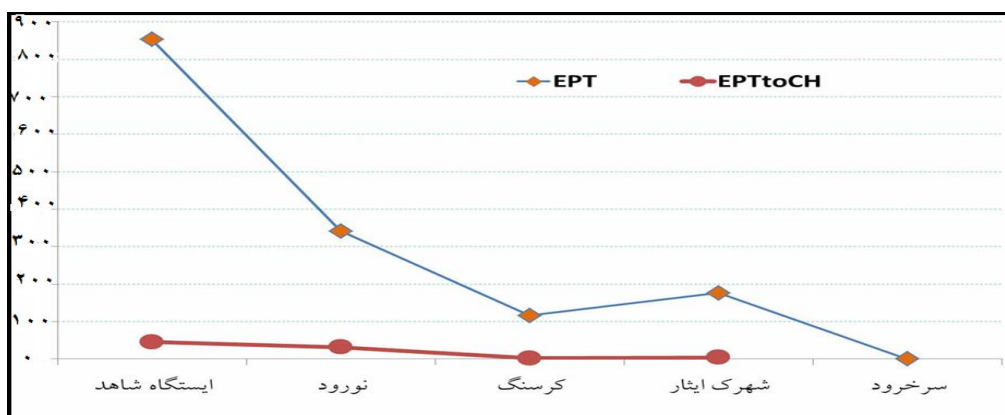
(One way ANOVA) استفاده شد. بعد از نرمال‌سازی داده‌ها درصد EPT/CHIR و EPT با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی (Tukey) استفاده شد.



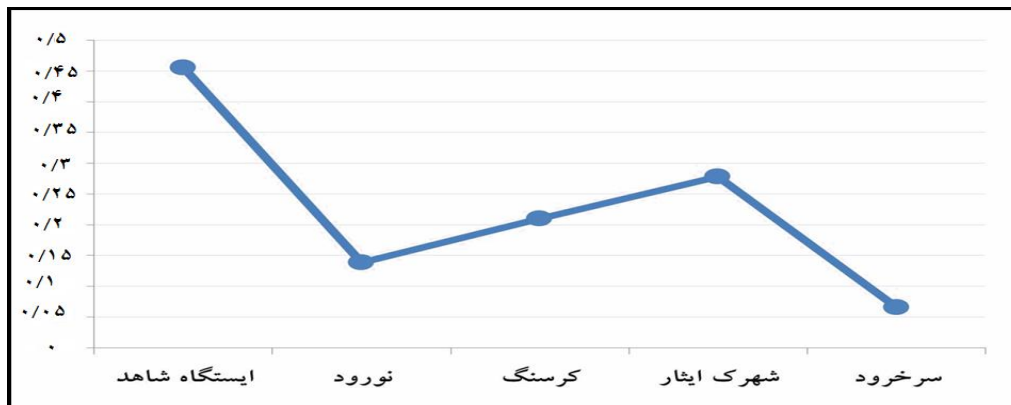
شکل ۲. نمودار ارزیابی ایستگاه‌ها براساس شاخص HFBI [۱۳]



شکل ۳. نمودار ارزیابی ایستگاه‌ها براساس شاخص EPT [۱۷]



شکل ۴. نمودار ارزیابی ایستگاه‌ها براساس شاخص EPT و Chironomidae [۱۹]



شکل ۵. نمودار ارزیابی ایستگاه‌ها براساس شاخص نسبت Simpson [۲۲]

مدت‌ها پیش شناخته شده است. به‌گونه‌ای که حضور این خانواده در کیفیت آب نقش به‌سزایی داشته است. ایستگاه سوم قبل از حوضه شهری است و ایستگاه چهارم وارد حوضه شهری می‌شویم. وجود خانواده Tubificidae به‌خصوص در ایستگاه‌های ۴ و ۵ نشان‌دهنده آلودگی شدید ترکیبات آلی در مسیر این رودخانه است. به‌علت اینکه در مجاورت رودخانه هراز حدود ۴۰ روستا قرار دارد، فاضلاب و زباله‌های خانگی آنها به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به رودخانه تخلیه می‌شود. فاضلاب شهری و روستایی شامل فاضلاب خانگی، فاضلاب گرمابه‌ها و فاضلاب‌های سطحی حاصل از شست و شوی شهر است. همچنین فاضلاب و زباله‌های بیش از ۲۰ رستوران واقع در مسیر رودخانه مستقیم وارد رودخانه می‌شوند که حاوی باقی‌مانده مواد غذایی، چربی و همچنین مواد زائد جامد دیرتجزیه مانند انواع مواد پلاستیکی، قوطی‌های خالی روغن و... و همچنین انواع میکروب‌ها، باکتری‌ها، کلی‌فرم‌های مدفوعی و ویروس‌ها و دیگر عوامل بیماری‌زای موجود در فاضلاب انسانی هستند. زمین‌های کشاورزی و باغ‌های میوه زیادی در اطراف رودخانه هراز قرار دارند که پس از آبیاری، پساب‌های کشاورزی همراه با باقی‌مانده کود و سم و یا کودهای شیمیایی و سموم اضافه بر مصرف واقعی آنها وارد رودخانه هراز می‌شود. این امر سبب تکثیر گونه‌های مقاوم به آلودگی و کاهش غنای گونه‌ای شده است. متأسفانه، در سال‌های اخیر حتی بستر این رودخانه هم مورد استفاده بخش کشاورزی قرار گرفته است که نمونه بارز آن در محدوده مصب رودخانه مشاهده می‌شود. روند تغییرات شاخص HFBI به سمت ایستگاه‌های پایین دست خود در حال افزایش است. دیگر شاخص‌ها اعم از EPT و Simpson تأکیدکننده این

بحث و نتیجه‌گیری

در بررسی انجام‌شده، لارو حشرات آبی فون غالب کفزیان را در منطقه مطالعه‌شده تشکیل دادند. محققان متعددی در مطالعات خود به غالب بودن حشرات آبی در ترکیب کفزیان اکوسیستم نهرها و رودخانه‌ها اشاره کردند [۱۴ و ۱۸]. کوهستانی بودن منطقه مطالعه‌شده، سبب شده است که لارو حشرات آبی موجودات فون غالب کفزیان رودخانه را تشکیل داده است که با نتایج مطالعات دیگران مطابقت دارد. در ایستگاه ۱ که به‌عنوان شاهد مشخص شده است فراوانی متوازی در چهار گروه مهم حشرات آبی (Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) که نشان آلودگی است در ایستگاه یادشده در کمترین میزان خود مشاهده شده است. و شاخص‌های HFBI, EPT, Simpson هر یک بر این واقعیت تأکید دارند که تنوع غنای گونه‌ای زیاد و آب در کلاسه بسیار خوب است. اما ایستگاه ۲ تحت تأثیر کارگاه‌های پرورش ماهی، برداشت شن و ماسه و رستوران‌های حاشیه رودخانه قرار دارد و کیفیت آب رودخانه در این قسمت نوسان بسیاری نشان می‌دهد. در آنجا شاهد حضور خانواده CHIRONOMIDAE و راسته Ephemeroptera بوده‌ایم که بیشترین میزان تراکم آن در فصل پاییز ثبت شده است. میزان ماده آلی، کیفیت غذا، دما و اکسیژن از جمله عوامل مؤثر بر رشد خانواده CHIRONOMIDAE است. منطقه پایین دست رودخانه (بعد از سد انحرافی آمل) در معرض اغلب فعالیت‌های آلوده‌کننده نظیر فعالیت‌های کشاورزی، روستایی و شهری و تا حدی هم صنعتی قرار دارد. همچنان که با تعریض رودخانه سرعت در واحد سطح کاهش می‌یابد، ارتباط بین افزایش ماده آلی و فراوانی این خانواده از

[۶]. تجلی پور، مهدی، ۱۳۷۳. «بررسی تکمیلی سیستماتیک و انتشار نرم تنان سواحل ایرانی خلیج فارس»، انتشارات خبیر.

[۷]. نظامی شعبان‌علی. و خارا، حسین ۱۳۸۴. «ارزیابی اثرات خشک‌سالی بر تنوع و فراوانی موجودات کفزی تالاب امیرکلایه لاهیجان». مجله علمی شیلات / ایران، شماره سوم. صص ۱۴۱-۱۵۶.

[8]. Andrew, S. Y, and Ann, L., 1996, Macrofauna: polychaetes, mollusks & Crustacean. In: Methods of the examination of organismal diversity in soil & sediment. Edited by Hall, G.S.UNESCO University Press.Cambridge, pp. 118-132.

[9]. Ansari, Z.A., Sreepada, R.A. and Kanti, A., 1994, Macrobenthic assemblage in the soft sediment of Marmugao harbours, Goa (Central west of India). India Journal of Marine Sciences. vol 23, pp. 213-235

[10]. Brundian, I., 1951. The relation of O₂ microstratification of mud surface to the ecology of the profoundly bottom fauna. Rep. Inst. Freshwater Res. Vol32, pp. 8-12

[11]. Bouchard, R.W., 2004. Guide to aquatic macroinvertebrates of the upper Midwest. Water Resources Center, University of Minnesota, St.Paul, MN. pp.19-162

[12]. Hilsenhoff, W.L. 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. Great Lakes Entomologist, vol 20, pp. 31-39.

[13]. Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution, with a family-level biotic index. Journal of North American Benthological Society, vol7(1), pp.65-68.

[14]. Lenat, D., 1993. A biotic index for southeastern United States, Derivation and list of tolerance values with criteria for assessing water quality ratings. Journal of the North American Benthological Society. Vol 12, pp. 179-290.

[15]. Loch, D.D., West, J.L., and Perlmutter, D.G. 1996. The effect of trout farm effluent on the taxa richness of benthic macroinvertebrates. Aquaculture, vol 147, pp 37-55.

[16]. Leunda, P.M., Oscoz, J., Miranda, R. and Arino, A.H., 2009. Longitudinal and seasonal variation of the benthic macroinvertebrate community and biotic indices in an undisturbed Pyrenean river. Ecological Indicators. vol9(1), pp.52-63.

واقعیت هستند که با دور شدن از محل سرچشمه و وارد شدن آلاینده هم‌زمان با افزایش شاخص HFBI از غنای گونه نیز کم می‌شود و شاخص به سمت صفر میل می‌کند. در بالادست میزان کم آن بیانگر غالبیت فون کفزیان حساس به آلودگی مانند خانواده‌های بهاره و بسیاری از خانواده‌های یک‌روزه و بال‌مرداران است و میزان بیشتر این شاخص در پایین‌دست نشان از فراوانی بیشتر جمعیت کفزیان بسیار مقاوم به آلودگی آلی مانند شیرونومیدها، کم‌تاران و زالوها بوده است [۲۰] پس از بررسی شاخص هیلسنهوف و دیگر شاخص‌ها به این نتیجه رسیده‌ایم که میانگین شاخص HFBI دوره تحقیق، کیفیت آب رودخانه هراز ۵/۷۲ را در کلاس کیفیت متوسط با آلودگی آلی در حد نسبتاً قابل تشخیص بیان شده است.

منابع

[۱]. اسماعیلی ساری، عباس، ۱۳۸۱. آلاینده‌ها بهداشت و استاندارد در محیط زیست، چاپ اول، انتشارات نقش مهر، ص ۵۹۱.

[۲]. اسماعیلی ساری، عباس، و شهسواری، ناهید. ۱۳۹۰. «بررسی آلودگی میکروبی رودخانه هراز و تعیین کاربری‌های مجاز آب رودخانه با توجه به استاندارد جهانی»، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره سیزدهم، شماره ۴.

[۳]. آخوندی، لیلا؛ نظری، عطیه؛ احمدی، جعفر؛ نخعی، محمد؛ ۱۳۹۰. «پهنه‌بندی رودخانه قم‌رود براساس شاخص کیفی آب (NSFWQI) با استفاده از سامانه جغرافیایی GIS». چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. صص ۲ و ۴.

[۴]. بیضاپور، داریوش؛ ۱۳۷۶. «بررسی تغییرات اکوسیستم‌ها با استفاده از شاخص‌های زیستی»، محیط زیست - فصلنامه علمی سازمان حفاظت محیط زیست، شماره ۴، صص ۱۲-۱۷.

[۵]. باقری، سیامک و عبدالملکی، شهرام. ۱۳۸۱. «بررسی پراکنش و تعیین توده زنده بی‌مهرگان کفزی دریاچه ارس»، مجله علمی شیلات / ایران، مؤسسات تحقیقات و آموزش شیلات ایران، سال یازدهم، شماره ۴. صص ۱-۱۱.

- [17]. Lenat, D.R., 1988. Water quality assessment of streams using qualitative collection method for benthic macroinvertebrates, *Journal of North Am. Benthol Soc.* vol 7, pp 222- 223
- [18]. Pillay, T.V.R., 2007. Aquaculture and the environment. Former Programmed. Fishing News Books, Blackwell Publishing, Ltd. pp.189.
- [19]. Plafkin, J.L., Barbour, M.T., Porter, K.D., Gross, S.K., and Hughes, R.M.. 1989. Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/4-89/001. Washington 8 chapters, Appendices A-D.
- [20]. Rosenberg, D.M., 1999. Protocols for Measuring Biodiversity: Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters”, Department of Fisheries and ceans, Freshwater Institute, Winnipeg, Manitoba, pp42.
- [21]. Saunders, J., Al Zahed, Kh.M. and Paterson, D., 2007. The impact of organic pollution on the macrobenthic fauna of Dubai creek (UAE). *Marine pollution Bulletin.* vol54(11), pp1715-1723.
- [22]. Washington, H.G., 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Res.* Vol 18, pp653-694.
- [23]. Yokoyama, H., A., Nishimura and M., Inoue. 2007. Macrobenthos as biological indicators to assess the influence of aquaculture on Japanese coastal environments. *Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities.* pp. 407-423.