اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۵، ص ۵۳-۴۵

برآورد شاخص زیستی آلودگی و کیفیت آب رودخانهٔ هراز با استفاده از جوامع ماکروبنتوزها

کیوان صائب[1*]، لعبت تقوی[2]، حسین کاظمیان[2]

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

۲. استادیار دانشکدهٔ 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 ۱۳۹٤/۱۱/۰۲؛ تاریخ تصویب ۱۳۹٤/۱۲/۲۷)

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 به‌کار گرفته می‌شود. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی ساختار اجتماعات ماکروبنتوزها به‌عنوان نشانگرهای زیستی آلودگی در رودخانهٔ 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 ماکروبنتوزهای منطقهٔ مطالعه‌شده از شاخص سیمپسون استفاده شد که میانگین این پارامتر ۰/۲۵ است. به‌منظور پی‌بردن به وضعیت اکولوژی منطقه از میزان آلودگی آلی از شاخص HFBI استفاده شد.۲ شاخه، ۳ رده، ۱۱ راسته و ۱٦ خانواده از ماکروزئوبنتوزها 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 ٤/۲٦ شامل مقداری آلودگی آلی و در سطح خوب ارزیابی می‌شود. در پایان مسیر خود به شاخص ۷/۲٦ 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 دورهٔ تحقیق، کیفیت آب رودخانهٔ هراز ۵/۷۲ را در کلاسهٔ کیفی متوسط با آلودگی آلی در حد نسبتاً قابل تشخیص بیان شده است.

کلیدواژگان: رودخانهٔ هراز، شاخص زیستی، کیفیت آب، ماکروبنتوزها.

* نویسندهٔ مسئول

Email: keivansaeb@gmail.com

مقدمه

آب باارزش‌ترین و مهم‌ترین مادهٔ مورد نیاز بشر است و رایج‌ترین منابع آب استفاده‌شده 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 بیان‌کنندهٔ 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. رودخانهٔ هراز جزء رودخانه‌های حفاظت‌شدهٔ سازمان محیط زیست ایران است. با توجه به اهمیت این رودخانه به‌عنوان یکی از منابع مهم آبی در منطقه، وجود گونه‌های باارزش اقتصادی 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 رودخانهٔ هراز صورت گرفت. در نهایت، با استفاده از شاخص زیستی هیلسنهوف (HFBI) کلاسهٔ کیفی آب آن تعیین شد.

پیشینهٔ تحقیق

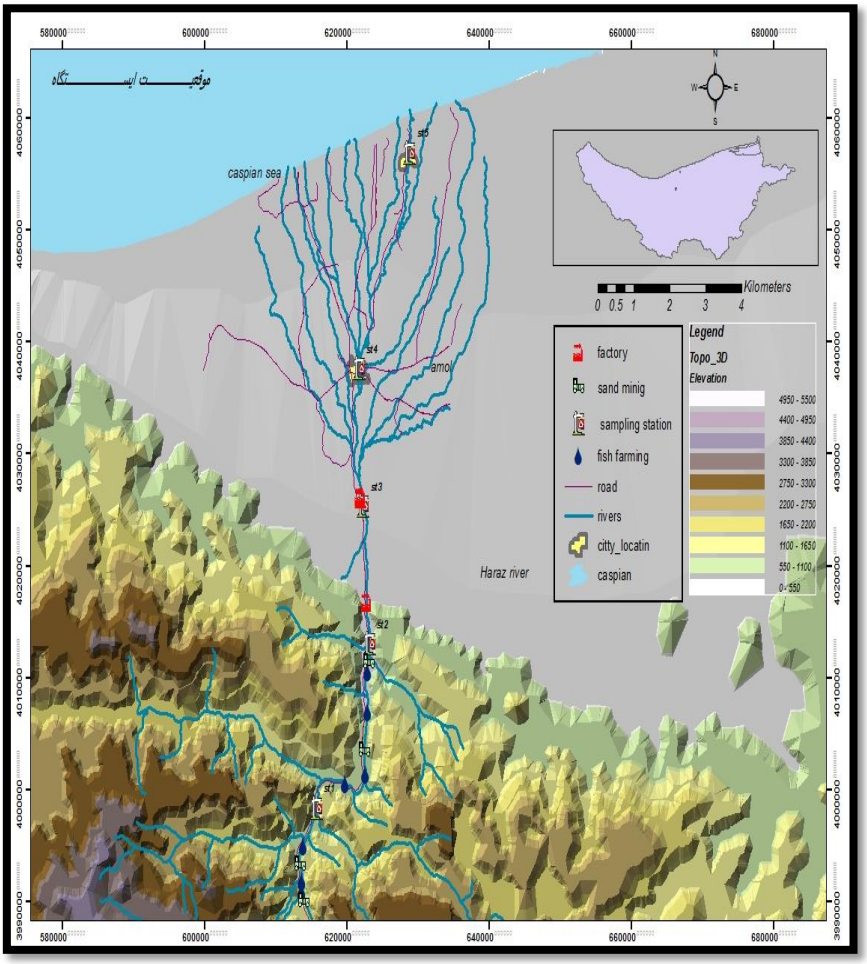
تحقیقات زیادی در سرتاسر جهان در زمینهٔ استفاده از شاخص‌های زیستی برای بررسی کیفیت آب‌های سطحی صورت گرفته است. در این راستا تحقیقات پایه و اساسی Hilsenhoff (۱۹۷۷ و ۱۹۸۸) شاخص زیستی به نام HFBI تعریف کرده‌اند که براساس روش هیلسنهوف یک مبنا و رنج ارزش‌گذاری شاخص زیستی از صفر تا ۱۰ است. کیفیت آب نیز براساس 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 هریک از خانواده‌ها است و براساس مقیاس هرچه به طرف ۱۰ می‌رویم نشان‌دهندهٔ آلودگی زیاد و یا موجودات با تحمل بالا و هرچه به طرف صفر می‌رویم نشان‌دهندهٔ میزان آلودگی کم و موجودات کم‌تحمل است [۱۲]. نخستین مطالعهٔ گسترده‌ای که توسط یک ایرانی در آب‌های خلیج‌فارس و دریای عمان روی بنتوزها صورت‌گرفته مطالعهٔ 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 رودخانهٔ هراز برای آبیاری و تعیین منابع آلوده‌کنندهٔ آب رودخانه پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که میزان آلودگی در پایین‌دست 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 رودخانهٔ هراز در مقایسه با استانداردهای جهانی به‌دلیل انواع فاضلاب‌های خانگی، شهری و... از حد استاندرد تعیین‌شده برای آبیاری بسیار فراتر است و فقط در برخی از ماه‌های سال برای آبیاری عمومی مناسب است [۲].

مواد و روش‌ها

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

دلایل انتخاب محل ایستگاه‌ها

ایستگاه‌های نمونه‌برداری روی رودخانهٔ مطالعه‌شده، براساس منابع آلاینده و شاخه‌های فرعی ورودی به رودخانه انتخاب شدند. در جدول ۱ دلایل انتخاب نقاط مد نظر به‌عنوان ایستگاه، به‌اختصار بیان شده است.



شکل ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۱. دلایل انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ردیف	ایستگاه	دلایل انتخاب
۱	St1	در بالادست رودخانهٔ هراز و کمتربودن ورودی آلاینده و تراکم روستایی کمتر
۲	St2	قبل از الحاق رودخانهٔ نورود به‌منظور بررسی تأثیرات شاخهٔ فرعی بر جمعیت ماکروبنتوزها
۳	St3	۲۰۰۰ متر بعد از محل سد منگل به‌منظور بررسی تأثیرات احداث سد در مسیر رودخانهٔ هراز
۴	St4	حوزهٔ شهری رودخانه از خروجی شهر آمل به‌منظور بررسی تأثیرات انسانی روی ماکروبنتوز و غنای گونه‌ای در انتهای حوضهٔ شهری آمل
۵	St5	در انتهای مسیر رودخانه جایی که رودخانهٔ هراز به دریای خزر وصل می‌شود به‌منظور بررسی تجمع آلاینده‌های مسیر و تأثیر بر گونه‌های ماکروبنتوز و بررسی عملکرد خودپالایی رودخانه

در این بررسی از مواد و وسایل جمع‌آوری و نگهداری حشرات آبزی و ماکروبنتوزها، که از بین آنها سوربرسمپلر، پنس، آسپیراتور، شیشهٔ وینکلر، الک، بیلچه، دماسنج جیوه‌ای، قلم‌مو، استریومیکروسوپ، دستگاه pH سنج و نقشهٔ جغرافیایی رودخانهٔ 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 ماکروزئوبنتوزها با استفاده از سوربرسمپلر، مخصوص آب‌های جاری و از دو قاب فلزی هریک به ابعاد ۳۰/۵ × ۳۰/۵ 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 ماکروزئوبنتوزها 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 به‌وسیلهٔ الک ۵۰۰ میکرون شست‌وشو داده شدند و سپس زیر لوپ ماکروزئوبنتوزها از بین زوائد گیاهی و غیره جداسازی و گروه‌های کفزی با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر، براساس خصوصیات ظاهریشان شناسایی شدند و درنهایت تراکم ماکروزئوبنتوزهای موجود در هر خانواده محاسبه شد [۱۶ و ۱۱].

برای محاسبهٔ غنای EPT که شامل گروه‌های حساس به آلودگی است، تعداد جنس راسته‌های Plecoptera, TrichopteraEphemeroptera در هر واحد نمونه‌گیری استفاده شد. درصد EPT نیز به‌عنوان یک شاخص زیستی در ارزیابی اکوسیستم نهرها و رودخانه‌ها کاربرد وسیعی داشت و بنابراین مجموع فراوانی افراد متعلق به این سه راسته برای محاسبهٔ درصد EPT برآورد شدند. برای محاسبهٔ شاخص EPT/CHIR فراوانی مجموع افراد متعلق به راسته‌های EPT به فراوانی کل افراد متعلق به خانوادهٔ Chironomidae در هر واحد نمونه‌گیری به‌دست 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 گونهٔ مشابه متعلق باشند، بستگی دارد. برای یک جمعیت این مسئله توسط فرمول زیر به‌دست می‌آید. pi : فراوانی نسبی افراد است.

$$D = ۱ - \sum_{i=۱}^{s} (pi)^{۲}$$

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:

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

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

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

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

یافته‌ها

کمترین میانگین دمایی آب رودخانهٔ هراز در ایستگاه شاهد ثبت شده است که به‌دلیل قرارگیری این ایستگاه در ارتفاع بالاتر است و بیشترین میانگین دمای آب از ایستگاه سرخ رود، در پایین‌دست رودخانه، به‌دست آمد که به‌دلیل واقع‌شدن این ایستگاه در ارتفاع پایین‌تر و افزایش ورود مواد آلاینده و تجزیهٔ ترکیبات آلی توسط میکروارگانیزم‌ها است که فرایندی گرمازاست. به‌طور کلی، دما از ایستگاه‌های بالادست به پایین‌دست و از فصول گرم به سرد، سیر صعودی داشت.

بیشترین و کمترین میزان میانگین اکسیژن محلول اندازگیری‌شده در رودخانهٔ هراز، به‌ترتیب در ایستگاه شاهد و ایستگاه سرخ‌رود ثبت شد. به‌طور کلی، پس از بررسی میزان اکسیژن محلول به‌صورت سالانه، مشخص شد در فصل سرد سال به‌علت بارندگی‌ها و دمای پایین، میزان اکسیژن محلول آب بیشتر بود. در فصل گرم سال، به‌دلیل افزایش دما و افزایش ورود پساب‌های کشاورزی، از میزان اکسیژن محلول رودخانه کاسته شد.

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

به‌علت عملکرد کارگاه‌های استخراج شن و ماسه به‌صورت موضعی، میزان میانگین جامدات معلق (TSS) به‌دست‌آمده 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 به‌دست آمده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که میزان جامدات معلق در فصل سرد بیشتر از فصل گرم بوده است زیرا میزان این پارامتر به‌صورت کاملاً مستقیم به میزان سیلابی‌بودن ایستگاه بستگی دارد و به‌علت بارندگی زیاد در منطقه این پارامتر در فصول پرآب سال بیشتر است.

جامدات محلول (TDS) از منابع طبیعی، روانآب سطحی، انواع فاضلاب‌های شهری و استخراج معادن به‌وجود می‌آیند. زیادبودن میزان جامدات محلول در آب شرب، سبب اختلال در دستگاه گوارش می‌شود و در سیستم‌های آبی نیز خورندگی ایجاد می‌کند [۳].

در مجموع، کیفیت شیمیایی آب رودخانهٔ هراز براساس مقادیر متوسط دو عامل قلیائیت و هدایت الکتریکی (EC) و مقایسهٔ آن در دیاگرام ویلکوکس (برای مصارف کشاورزی) و همچنین مقادیر متوسط مجموع مواد محلول (TDS) و سختی کل (TH) و رابطهٔ آن در دیاگرام 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 ایثار که بیشتر تحت تأثیر عوامل استرس‌زای محیطی قرار دارند میزان غنای EPT کمتری نسبت به دیگر ایستگاه‌ها داشته‌اند. در ادامه با عریض‌شدن رودخانه و کم‌شدن سرعت آب و رفته‌رفته افزایش دمای آب، این روند کیفی کاهش می‌یابد. این اتفاق بدین علت است که ورود مولد آلاینده و درجنت‌ها از روستا و شهر به درون رودخانه روند کیفی را به‌شدت کاهش می‌دهد زیرا با بالارفتن دمای آب، قدرت نگهداری اکسیژن محلول در آب کمتر می‌شود و گونه‌های حساس از بین می‌روند و گونه‌های مقاوم مانند شیرونومیدها جایگزین آنها می‌شوند.

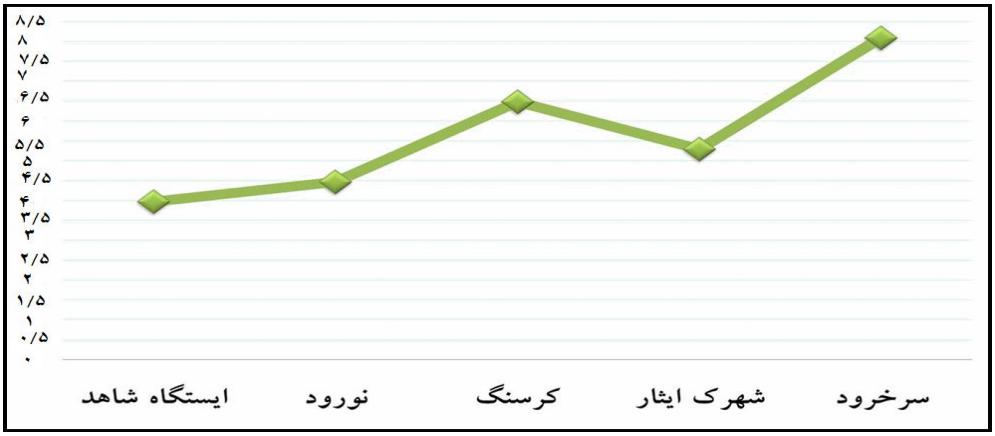
ایستگاه ۱ در بالادست روند کیفی و غنای گونه‌ای بهتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارد و از تراکم بهتری برخوردار است.

در بررسی صورت‌گرفته بیشترین اختلاف در ایستگاه ۱ (شاهد) است که به‌دلیل 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.

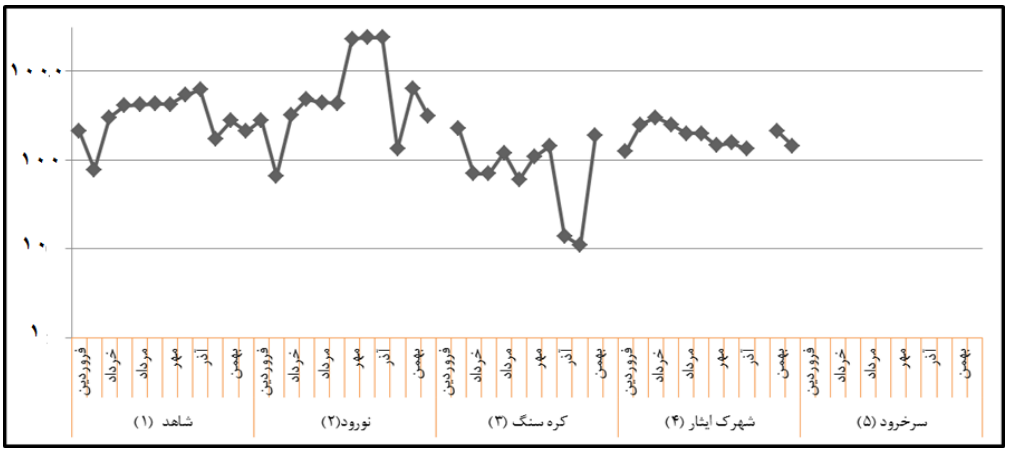
طبق تحقیقاتی که توسط محققان پیشین انجام شده، افزایش مواد آلی و درنتیجه کاهش اکسیژن بستر، تأثیر منفی بر جوامع ماکروبنتوزها دارد [۲۳]. در مطالعهٔ حاضر نیز این موضوع به‌اثبات رسیده است و ایستگاه سرخ‌رود در بین ایستگاه‌های دیگر، بیشترین میزان شاخص زیستی و کمترین میزان اکسیژن محلول را داشت. پساب آبزی‌پروری 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.

تجزیه و تحلیل آماری

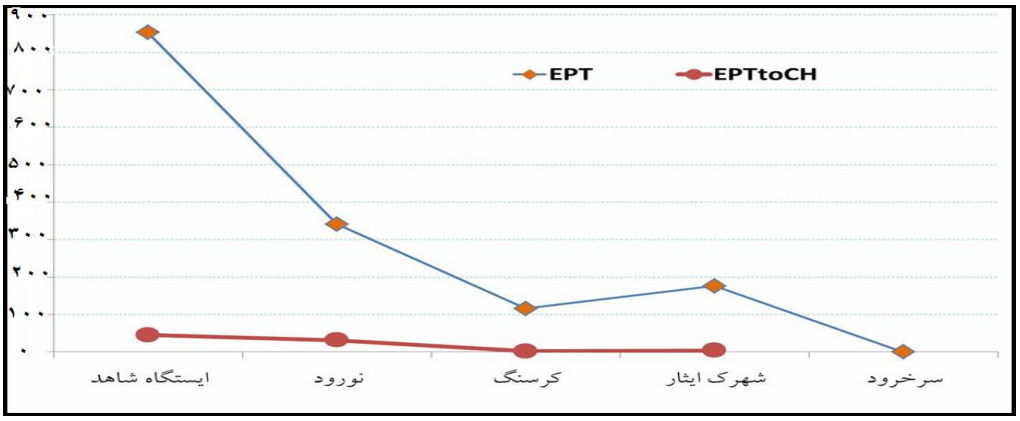
برای آنالیز آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Excel و SPSS استفاده شد. برای بررسی وجود اختلاف آماری معنادار بین ایستگاه‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One way ANOVA) استفاده شد. بعد از نرمال‌سازی داده‌ها درصد EPT و EPT/CHIR با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov انجام شد. برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون توکی (Tukey) استفاده شد.



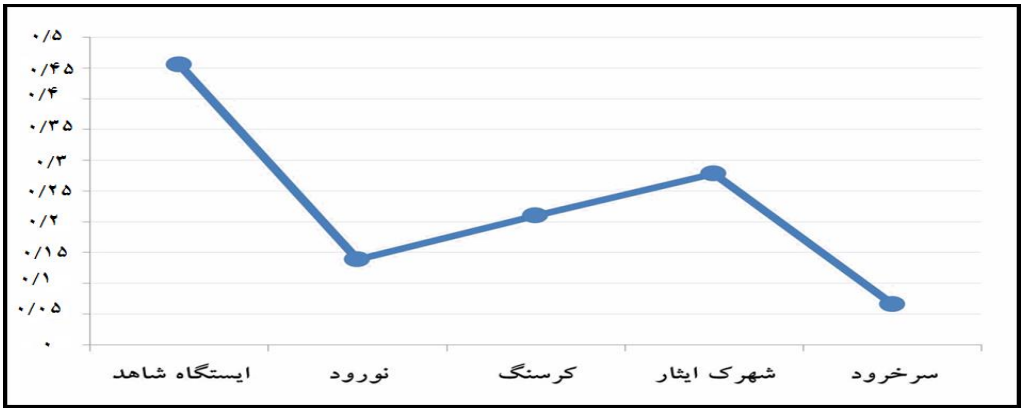
شکل ۲. نمودار ارزیابی ایستگاه‌ها براساس شاخص HFBI [۱۳]



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]

بحث و نتیجه‌گیری

در بررسی انجام‌شده، لارو حشرات آبزی فون غالب کفزیان را در منطقهٔ مطالعه‌شده تشکیل دادند. محققان متعددی در مطالعات خود به غالب‌بودن حشرات آبزی در ترکیب کفزیان اکوسیستم نهرها و رودخانه‌ها اشاره کردند [۱۴ و ۱۸]. کوهستانی‌بودن منطقهٔ مطالعه‌شده، سبب شده است که لارو حشرات آبزی 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 متوازنی در چهار گروه مهم حشرات آبزی (Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) که نشان آلودگی است در ایستگاه یادشده در کمترین میزان خود مشاهده شده است. و شاخص‌هایEPT,simpson, HFBI هریک بر این واقعیت تأکید دارتد 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 حاشیهٔ رودخانه قرار دارد و کیفیت آب رودخانه در این قسمت نوسان بسیاری نشان می‌دهد. در آنجا شاهد حضور خانوادهٔ CHIRONOMIDAE و راستهٔ Ephemeroptera بوده‌ایم که بیشترین میزان تراکم آن در فصل پاییز ثبت شده است. میزان مادهٔ آلی، کیفیت غذا، دما و اکسیژن از جمله عوامل مؤثر بر رشد خانوادهٔ CHIRONOMIDAE است. منطقهٔ پایین‌دست 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 مادهٔ آلی و فراوانی این خانواده از مدت‌ها پیش شناخته شده است. به‌گونه‌ای که حضور این خانواده در کیفیت آب نقش به‌سزایی داشته است. ایستگاه سوم قبل از حوضهٔ شهری است و ایستگاه چهارم وارد حوضهٔ شهری می‌شویم. وجود خانوادهٔ Tubificidae به‌خصوص در ایستگاه‌های ۴ و ۵ نشان‌دهندهٔ آلودگی شدید ترکیبات آلی در مسیر این رودخانه است. به‌علت اینکه در مجاورت رودخانهٔ 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 وشوی شهر است. همچنین فاضلاب و زباله‌های بیش از ۲۰ رستوران واقع در مسیر رودخانه مستقیم وارد رودخانه می‌شوند که حاوی باقی‌ماندهٔ 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 میوهٔ زیادی در اطراف رودخانهٔ هراز قرار دارند که پس از آبیاری، پساب‌های کشاورزی همراه با باقی‌ماندهٔ کود و سم و یا کودهای شیمیایی و سموم اضافه بر مصرف واقعی آنها وارد رودخانهٔ 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 استفادهٔ بخش کشاورزی قرار گرفته است که نمونهٔ بارز آن در محدودهٔ مصب رودخانه مشاهده می‌شود. روند تغییرات شاخص HFBI به سمت ایستگاه‌های پایین‌دست خود در حال افزایش است. دیگر شاخص‌ها اعم از EPT و Simpson تأکیدکنندهٔ این

واقعیت هستند که با دورشدن از محل سرچشمه و واردشدن 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 بال‌موداران 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 دیگرشاخص ها به این نتیجه رسیده‌ایم که میانگین شاخص HFBI دورهٔ تحقیق، کیفیت آب رودخانهٔ هراز ۵/۷۲ را در کلاسهٔ کیفی 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 رودخانهٔ هراز و تعیین کاربری‌های مجاز آب رودخانه با توجه به استاندارد جهانی»، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، دورهٔ سیزدهم، شمارهٔ ۴.

[۳]. آخوندی، لیلا؛ نظری، عطیه؛ احمدی، جعفر؛ نخعی، محمد؛ ۱۳۹۰. «پهنه‌بندی رودخانهٔ قم‌رود براساس شاخص کیفی آب (NSFWQI) با استفاده از سامانهٔ جغرافیایی GIS». چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. صص۲ و ۴.

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

[۵]. باقری، سیامک و عبدالملکی، شهرام. ۱۳۸۱. «بررسی پراکنش و تعیین تودهٔ زندهٔ بی‌مهرگان کفزی دریاچهٔ ارس»، مجلهٔ علمی *شیلات ایران*، مؤسسات تحقیقات و آموزش شیلات ایران، سال یازدهم، شمارهٔ۴. صص ۱- ۱۱.

[۶].تجلی‌پور، مهدی، ۱۳۷۳. «بررسی تکمیلی سیستماتیک و انتشار نرم‌تنان سواحل ایرانی خلیج‌فارس»، انتشارات خبیر.

[۷]. نظامی شعبان‌علی. و خارا، حسین ۱۳۸۴. «ارزیابی اثرات خشک‌سالی بر تنوع و فراوانی موجودات کفزی تالاب امیرکلایه لاهیجان». مجلهٔ علمی *شیلات ایران*، شمارهٔ 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, Macrobentic assemblage in the soft sediment ofMarmugao harbours, Goa (Centrl west of India). India Journal of Marine Sciences. vol 23,pp. 213-235

[10]. Brundian, I., 1951. The relation of O_2 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 Sataes, 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 effeluent 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.

[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, JL., 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 Macrointertebrates 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.