ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج (استان البرز) با استفاده از شاخص‌های زیستی درشت بی‌مهرگان کفزی

- **سیده‌مهسا موسوی‌رینه:** گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- **شراره پورابراهیم*:** گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۷

چکیده

بررسی شرایط اکولوژیک و بیولوژیک اکوسیستم‌های آبی می‌تواند نشانگر فشارهای احتمالی بر آن‌ها باشد. گروه‌های مختلف درشت بی‌مهرگان کفزی دارای آستانه تحمل متفاوت نسبت به فشارهای محیطی ازجمله آلاینده‌ها هستند که به‌عنوان شاخص‌های زیستی کیفیت آب در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار می‌گیرند. پژوهش حاضر اجتماعات کفزیان و ساختار جمعیتی آن‌ها را در رودخانه کرج مورد بررسی قرار داده است و با توجه به عواملی که سبب آشفتگی محیطی می‌شوند، به طبقه‌بندی و ارزیابی کیفیت آب این رودخانه در ایستگاه‌های مورد بررسی پرداخته شده است. نمونه‌برداری از درشت بی‌مهرگان کفزی با استفاده از نمونه‌بردار سوربر (۳۵×۳۵سانتی‌متر مربع و با اندازه روزنه ۲۵۰ میکرون) از زمستان ۱۳۹۵ تا پایان پاییز ۱۳۹۶ در ٤ ایستگاه مطالعاتی انجام شده‌است. نمونه‌های جداسازی شده‌متعلق‌به۵رده، ۱۰ راسته و ۲۳ خانواده‌هستند. فراوان‌ترین گروه‌های‌درشت‌بی‌مهرگان‌کفزی‌در رودخانه‌کرج‌راسته Ephemeroptera با درصد فراوانی ٤٧/٦ درصد، Plecoptera ۲۰/۲ درصد و Diptera ۱۵/٦ درصد بوده است. نتایج نشان می‌دهد که آب رودخانه براساس شاخص شانون دارای آلودگی و براساس شاخص هیلسنهوف در ایستگاه‌های بالادست سد امیرکبیر (سیرا و پل‌خواب) به‌ترتیب با مقادیر ٤/٨ و ٤/٦ دارای کیفیت خوب و در ایستگاه‌های پایین‌دست سد (آدران و پورکان) به‌ترتیب با مقادیر ۵/۷ و ۵/٦ دارای کیفیت متوسط می‌باشد. هم‌چنین براساس شاخص سیمپسون میزان غالبیت در ایستگاه سیرا و پل‌خواب بالاتر است و طبق شاخص یکنواختی هیل ایستگاه‌های آدران و پورکان دارای جمعیت‌های یکنواخت‌تری می‌باشند. نتایج این تحقیق مبین کارایی استفاده از شاخص‌های زیستی در تعیین کیفیت آب رودخانه کرج می‌باشد.

کلمات کلیدی: درشت بی‌مهرگان کفزی، پایش زیستی، رودخانه کرج، تغییرات کیفیت آب

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sh_pourebrahim@ut.ac.ir

مقدمه

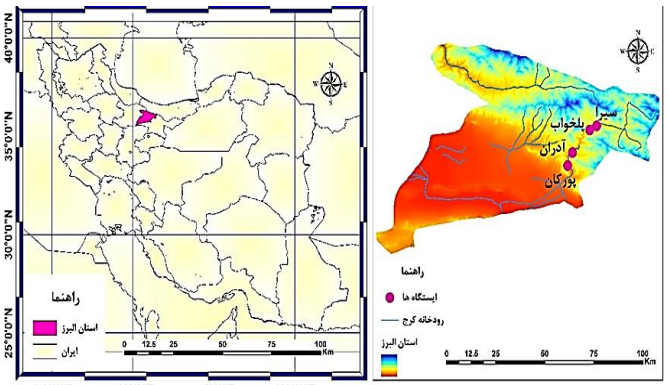
هم‌اکنون موضوعاتی از جمله افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی، توسعه کشاورزی و صنایع باعث شده که در مواردی تصفیه طبیعی قادر به پالایش و رفع آلودگی نباشد. در کنار کمیت آب که در کشور حائز اهمیت است، نظارت بر کیفیت آب از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است(پورابراهیم و خاتمی، ۱۳۹۴).از عوامل تنزل کیفیت آب می‌توان به ورود فاضلاب‌های شهری و آلودگی‌های ناشی از حوادث صنعتی اشاره نمود، هم‌چنین تغییرات کاربری اراضی و افزایش فعالیت‌های کشاورزی تهدیدی برای اکوسیستم‌های آبی به‌شمار می‌رود (Vörösmarty و همکاران، ۲۰۱۰؛ Xu و همکاران، ۲۰۱۴). اجتماعات بی‌مهرگان کفزی جزئی از تشکیلات رودخانه به‌حساب می‌آیند و این اجتماعات به آسانی قابل شناسایی و در دسترسند.برخی از آن‌ها به‌وجود آلاینده‌ها در آب رودخانه حساسند و پاسخ سریعی نشان می‌دهند (Collier، ۲۰۰۸). شناسایی هر اکوسیستم، موجودات زنده و فاکتورهای زیست محیطی حاکم بر آن، گام نخست تحقیقات علمی است (احمدی و نفیسی‌بهابادی، ۱۳۸۰). بررسی نهرها و رودخانه‌ها که در واقع به‌عنوان سیستم گردش خون عمل می‌کنند، نه تنها در تشخیص سلامت اکوسیستم‌ها مهم می‌باشند، بلکه می‌توانند نشانگر فشارهای احتمالی وارده از محیط اطراف نیز باشند(Sandin، ۲۰۰۳).مطالعه آب‌ها و شناسایی آلودگی رودها و چشمه‌ها تنها با روش‌های رایج سنجش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب کافی نیست زیرا این پارامترها فقط اطلاعاتی را در زمان نمونه‌برداری ارائه می‌کنند، به‌همین دلیل یکی از مناسب‌ترین روش‌های علمی و اقتصادی جهت تعیین سلامت اکولوژیک آب‌ها و بررسی تاثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آن‌ها ارزیابی و پایش بیولوژیک می‌باشد.به‌طور کلی محققین، اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب را به مانند برداشت عکس و بررسی بیولوژیک را مشابه تهیه فیلم از یک اکوسیستم می‌دانند (Resh و Rosenberg، ۱۹۹۳).موجودات زنده‌ای که در اکوسیستم‌های آب‌های جاری زندگی می‌کنند، عموماً موجودات کفزی هستند. کفزیان از نظر مقاومت در برابر شدت آلودگی و کاهش اکسیژن با یکدیگر متفاوت بوده و در مورد برخی از گونه‌ها این تفاوت فاحش‌تر است. به‌طوری‌که بعضی از گونه‌ها در آب‌های کاملاً تمیز و عاری از هرگونه آلودگی و بعضی در آب‌هایی با آلودگی زیاد قادر به ادامه حیات هستند (احمدی و نفیسی‌بهابادی، ۱۳۸۰). درشت بی‌مهرگان کفزی، چرخه زندگی نسبتاً طولانی دارند و مقاومت نسبی بسیاری از آن‌ها نسبت به آلودگی‌ها مشخص شده است. به‌همین دلیل این گروه مهم اکولوژیکی در مطالعات ارزیابی زیستی نسبت به سایر گروه‌ها اولویت دارند. استفاده از بی‌مهرگان کفزی بر این فرض استوار است که نهرها و رودخانه‌هایی که در فشار آلودگی هستند، تنوع کم‌تری داشته و در آن‌ها گونه‌های مقاوم غالبیت دارند (تقی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). رودخانه کرج به‌عنوان یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های دامنه جنوبی البرز تامین‌کننده آب بسیاری از نواحی است. با توجه به نقش بسیار مهم این اکوسیستم آبی در سلامت جامعه از جهت تامین آب شرب و حیات گونه‌های جانوری و گیاهی سلامت این اکوسیستم و کیفیت آب این رودخانه بسیار حائز اهمیت است. لذا پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی کیفیت آب این رودخانه براساس اجتماعات بی‌مهرگان کفزی آن صورت گرفته است. با توجه به نقش ویژه این رودخانه در تامین آب شرب منطقه و هم‌چنین جذب گردشگر و با توجه به غنای جانوری وابسته به درشت بی‌مهرگان کفزی خصوصاً ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و خال قرمز، این رودخانه از عوامل تهدید کننده منابع آب در امان نیست. مهم‌ترین خطراتی که جاری‌بودن و پاک‌بودن وحتی حیات این رودخانه را تهدید می‌کنند عبارتند از: وجود منابع آلاینده در بستر و حریم رودخانه، عدم وجود قوانین و مقررات جامع و کافی برای حفظ حریم و بستر و کیفیت آب رودخانه، خلا در اجرای قوانین موجود، بی انگیزگی مردم بومی و محلی در حفظ کاربری اراضی کشاورزی و باغات خود در حوزه رودخانه کرج، که نهایتاً منجر به تغییر کاربری آن‌ها و تبدیل شدن آن‌ها به ساخت‌وسازهای شهری شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت رودخانه کرج سعی در شناسایی گونه‌های درشت بی‌مهرگان کفزی و استفاده از شاخص‌های زیستی در برآورد وضعیت و مقایسه ایستگاه‌ها و فصول مختلف سال دارد. اخیراً محققان به رابطه میان کیفیت آب و ساختار اجتماعات بی‌مهرگان کفزی پی برده‌اند و مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است (Wang و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعه‌ای بخشی از رودخانه مارون از منطقه ایدنک تا چم‌نظامی در طول یک‌سال مورد بررسی لیمنولوژیک قرار گرفت. نتایج حاصل از شاخص‌های تنوع نشان داد که بیش‌ترین تنوع گونه‌ای در بهار در ایستگاه ۱ و ۲ و کم‌ترین تنوع گونه‌ای در تابستان در ایستگاه ۳ بوده‌است.هم‌چنین براساس شاخص هیلسنهوف آلودگی آلی آب در طبقه کیفی مناسب، نسبتاً ضعیف و ضعیف طبقه‌بندی شدند (موسوی‌ده‌موردی و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیقی کیفیت آب رودخانه کرج با بررسی تنوع و شناسایی درشت بی‌مهرگان کفزی این رودخانه مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق ۵ ایستگاه مورد مطالعه واقع شد.در بررسی‌های انجام‌شده ۲۳ جنس از ۲۱ خانواده و ۵ رده درشت بی‌مهرگان کفزی شناسایی گردید. نتایج نشان داد که ایستگاه ۴ در فصل زمستان با ۱۰۶۷

عدد در هر متر مربع بیش‌ترین فراوانی و ایستگاه ۵ در فصل بهار با ۲۵۴ عدد در هر متر مربع کم‌ترین فراوانی را داشتند. در طی این مطالعه میانگین شاخص تنوع گونه‌ای شانون وینر ۱/۷۳، غالبیت گونه‌ای سیمپسون ۰/۷۴ و غنای گونه‌ای مارگالف ۳/۳۱ محاسبه شد. براساس شاخص زیستی هیلسنهوف وضعیت کیفی آب رودخانه کرج در ایستگاه‌های ۲ و ۳ عالی، ایستگاه‌های ۱ و ۴ خیلی خوب و ایستگاه ۵ خوب ارزیابی شد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که حشرات آبزی، جمعیت غالب رودخانه کرج را تشکیل می‌دهند. در فصل زمستان رده‌های Insecta، Turbelaria، Gastropoda، Malacostraca، Clitellata از بیش‌ترین تراکم و تنوع نسبت به سایر فصول برخوردار بودند (شکری‌پور و اشجع‌اردلان ۱۳۹۵). به منظور ارزیابی زیستی رودخانه‌ی شاهرود (استان قزوین) ترکیب جمعیت درشت‌بی‌مهرگان کفزی این رودخانه بررسی شد. براساس نتایج، از ایستگاه‌های بالادست به‌طرف پایین‌دست، مقادیر شاخص‌های زیستی- جمعیتی و فراوانی ارگانیزم‌های حساس کاهش و فراوانی ارگانیزم‌های مقاوم افزایش یافت (محمودی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۳). بررسی کیفی آب رودخانه چشمه کیله با استفاده از شاخص‌های جمعیتی درشت بی‌مهرگان کفزی صورت گرفت. برطبق نتایج به‌دست آمده، در طول سال، کیفیت آب از ایستگاه ۱ تا ایستگاه ۳ (ایستگاه‌های بالادست تا میانه) بسیار خوب تا متوسط بود. اما کیفیت آب در ایستگاه ۴ در پایین‌دست، کیفیت نسبتاً ضعیفی را در طول سال نشان داد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۰). پژوهشی با استفاده از شاخص‌های زیستی در رودخانه دوهزار تنکابن در هفت ایستگاه صورت گرفت. به‌طورکلی از ایستگاه شماره ۱ تا ایستگاه شماره ۷ از مقدار عددی شاخص‌ها کاسته شد که نشان‌دهنده کاهش کیفی آب در طول رودخانه بوده‌است (مسگران‌کریمی و همکاران، ۱۳۹۱). در مطالعه‌ای در کشور چین (۲۰۱۷) ساختار درشت بی‌مهرگان کفزی و ارتباط آن‌ها با کیفیت آب رودخانه جین شوی بررسی شد. مطالعه در سه فصل تر، خشک و نرمال در منطقه مورد نظر انجام شد. نتایج نشان داد که اجتماع انواع بی‌مهرگان کیفیت آب منطقه را بهتر از فاکتورهای فیزیکوشیمیایی توصیف می‌کند. کیفیت آب منطقه متاثر از وجود انواع کاربری‌ها می‌باشد. این منطقه شامل چهار نوع کاربری مختلف است که از بالادست به پایین‌دست حوضه را می‌توان به بخش جنگلی و پوشش گیاهی، بخش کشاورزی، زمین‌های بایر و مناطق مسکونی و صنعتی تقسیم‌بندی نمود. نمونه‌های حاصل از دو کیلومتری بالادست رودخانه تنوع بیش‌تری نسبت به کل منطقه مطالعاتی نشان دادند. آزمایشات آب ایستگاه‌های پایین‌دست حاوی عناصر متعددی از جمله منیزیوم، استرانسیوم، سلنیوم، نیتروژن غیرآلی، سیلیسیوم و... است که وجود این عناصر مستقیماً با کاربری اراضی در پایین‌دست رودخانه ارتباط دارد (Wang و Tan، ۲۰۱۷). در تحقیقی، جمعیت بی‌مهرگان کفزی رودخانه یامونا هندوستان در شش ایستگاه بررسی شد. براساس نتایج شاخص زیستی ایستگاه‌های ۱ و ۲ در طبقه آلوده، ایستگاه‌های ۳ و ۴ در طبقه با آلودگی متوسط و ایستگاه‌های ۵ و ۶ در طبقه با آلودگی اندک قرار گرفتند (Sarkar، ۲۰۱۲). هم‌چنین مطالعه دیگری که براساس شاخص زیستی بلژیکی انجام شد نشان داد ایستگاه‌های موجود در مجاورت مراکز صنعتی رودخانه از کیفیت خوبی برخوردار نیستند (Girgin، ۲۰۱۰). هم‌چنین رودخانه‌های جنوب‌غربی جورجیا (Voelkerو Renn، ۲۰۰۰) کارولینای شمالی (Entrekin و همکاران، ۱۹۹۹) و رودخانه وایت (Loch و همکاران، ۱۹۹۶) در ایالات متحده، با استفاده‌از شاخص‌های زیستی و ترکیب جمعیت بی‌مهرگان کفزی مطالعه شدند. نتایج بررسی‌های فوق نشان داد در هر سه رودخانه با پیش‌روی از ایستگاه‌های بالادست به طرف پایین‌دست به‌موازات افزایش نرخ فعالیت‌های انسانی، تنوع و تراکم کفزیان تنزل یافته و کیفیت آب کاهش یافته بود. نتایج تحقیقات فوق نشان‌دهنده اهمیت استفاده از شاخص‌های زیستی و ترکیب جمعیت بی‌مهرگان کفزی در شناسایی وضعیت منابع آبی است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه: در این تحقیق شاخه اصلی رودخانه کرج، حدفاصل پورکان و سیرا به مسافت حدوداً ۳۰ کیلومتر مورد مطالعه قرار گرفته است. این رودخانه دائمی که دارای رژیم بارانی و برفی است، از دامنه کوه آسرا و جنوب گردنه عسلک، در ۴۲ کیلومتری شمال‌شرقی کرج، سرچشمه می‌گیرد. در طول رودخانه کرج ۴ ایستگاه انتخاب گردید. ایستگاه‌ها در مناطق پورکان، آدران، پل خواب و سیرا قرار دارند که ایستگاه‌های پورکان و آدران در پایین‌دست سد کرج و ایستگاه‌های پل خواب و سیرا در بالادست سد انتخاب شدند تا امکان مقایسه تاثیرات موقعیت ایستگاه‌ها در پایین‌دست و بالادست فراهم شود. فاصله ایستگاه اول و دوم در پایین‌دست حدود ۳/۵ کیلومتر و سوم و چهارم در بالادست ۳/۵ کیلومتر بوده‌است. با توجه به قدرت خودپالایی رودخانه در بالادست ونیز منابع زیاد آلاینده در حاشیه رودخانه کرج خصوصاً واحدهای خدماتی مستقر در جاده چالوس سعی شده‌است تا موقعیت ایستگاه‌ها با اهداف تحقیق هم‌خوان باشد. در تمامی ایستگاه‌ها جنس بستر قلوه‌سنگی بوده‌است. این رودخانه در بالادست مامن ماهی قزل آلای خال قرمز است که اهمیت مطالعات درشت بی مهرگان آبزی

را دو چندان می کند. جدول ۱ مشخصات مربوط به ایستگاه‌های نمونه‌برداری و شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.



شکل۱: محدوده مورد مطالعه و محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری واقع در استان البرز

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	سیرا	۳۶/۰۳	۵۱/۱۷	۱۸۳۸/۶۹
۲	پل‌خواب	۳۶/۰۱	۵۱/۱۴	۱۸۲۶/۶۴
۳	آدران	۳۵/۹۳	۵۱/۰۶	۱۵۹۹/۸۵
۴	پورکان	۳۵/۸۸	۵۱/۰۴	۱۴۸۶/۰۱

در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی ساختار جمعیتی درشت بی‌مهرگان کفزی رودخانه کرج، نمونه‌برداری در طول یک‌سال به صورت فصلی در چهار ایستگاه توسط نمونه‌بردار سوربر ۳۵×۳۵ سانتی‌متر با اندازه روزنه ۲۵۰ میکرون به‌صورت تصادفی از حاشیه و وسط رودخانه انجام گرفت. در نمونه‌برداری چارچوب کف سوربر روی بستر رودخانه قرار گرفت و نمونه‌ها به‌درون تور سوربر هدایت شدند. محتویات از تور سوربر به الک منتقل شد و سپس مواد ارگانیک‌بزرگ‌نظیربرگ‌ها، شاخه‌ها، جلبک‌ها یا باقی‌مانده گیاهان پس از شستن در تشت پلاستیکی و حصول اطمینان از نبود کفزی بر روی آن‌ها دور ریخته شد. در ادامه محتویات تشت را به‌داخل ظروف پلاستیکی که بر روی آن‌ها محل، تاریخ و زمان نمونه‌برداری ثبت‌شده بود، تخلیه و با فرمالین ۴٪ تثبیت و به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه برای شست‌وشوی نمونه‌ها، مواد جمع‌آوری شده شامل رسوبات و درشت بی‌مهرگان کفزی از ظروف نمونه به الک ۲۵۰ میکرون‌منتقل‌و در جریان ملایم آب قرار گرفتند. سپس محتویات الک به‌داخل سینی تشریح برای جداسازی انتقال یافت. جداسازی، شناسایی گروه‌های کفزی با استفاده از کلیدهای موجود در سطح خانواده، تعداد و درصد فراوانی آن‌ها تعیین شد.

برای شناسایی نمونه‌های جداسازی شده از منابع مختلف نظیر کلیدهای شناسایی (Quigley، ۱۹۷۷؛ Needham و Needham، ۱۹۷۶) استفاده‌گردید.در پژوهش حاضر از شاخص‌های غنای کل، EPT، شانون (Shannon)، سیمپسون (Simpson)، شاخص اصلاح شده یکنواختی (Evenness Index) و هیلسنهوف (Hilsenhoff) استفاده شد. در محاسبه غنای گونه‌ای (Species richness) صرفاً حضور و یا عدم حضور موجود ملاک محاسبه می‌باشد. غنای کل در واقع تعداد گروه‌های بی‌مهرگان کفزی را در هر ایستگاه نشان می‌دهد. شاخص‌غنای گونه‌ای شناخته‌شده در این زمینه، شاخص مارگالف است که به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد(Washington، ۱۹۸۴):

$$R = S - ۱/\ln(n)$$

R: شاخص مارگالف، S: تعداد کل گونه‌ها، n: افراد تشکیل‌دهنده گونه‌ها

هر مقدار که کیفیت آب و زیستگاه در محل ایستگاه بهتر باشد مقدار این سنجه افزایش می‌یابد.

درشاخص EPT مجموع‌فراوانی راسته‌های Ephemeroptera و Pelecoptera و Trichoptera محاسبه می‌شود. افزایش مقدار EPT بهتر شدن کیفیت آب را به‌دنبال دارد. استفاده از شاخص تنوع شانون در تعیین کیفیت آب بر این فرض استوار است که ساختار اجتماعات کفزیان همراه با آشفتگی‌های محیطی تغییر می‌کند. زیرا برخی از گونه‌ها بیش‌تر از سایرین تحت تاثیر فشار حاصله قرار می‌گیرند. شاخص تنوع شانون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H = -\sum_{i}^{n}(\frac{ni}{n})\ln(\frac{ni}{n})$$

H:شاخص‌شانون، n: فراوانی کل افراد گونه‌ها در نمونه، ni: فراوانی افراد گونه i ام در نمونه، Ln: لگاریتم پایه نپر

طبقه‌بندی ویلم- دوریس (Smith و همکاران، ۱۹۹۹؛ Wilhm و Dorris، ۱۹۶۸)که در جدول ۲ آورده شده است، مقادیر استاندارد شاخص شانون را تفسیر می‌نماید.

جدول ۲: مقادیر شاخص تنوع شانون در ارتباط با کیفیت آب

شاخص شانون	نتیجه
H <۱	منطقه با آلودگی بالا
۱ < H <۳	منطقه با آلودگی متوسط
H >۳	منطقه فاقد آلودگی

درشاخص‌یکنواختی گونه‌ها که در آن مقدار شانون محاسبه شده در هر ایستگاه نمونه‌برداری بر لگاریتم تعداد کل گونه‌ها تقسیم گردید (Bass، ۱۹۹۵):

$$J = H/logS$$

شاخص سیمپسون درجه غالبیت را نشان می‌دهد و بیش‌تر برای تعیین غالبیت بین جمعیت گونه‌ها به‌کار برده می‌شود. مقدار این شاخص‌بیانگر آن است که دو فرد را که به‌طور اتفاقی از

یک نمونه برگزیده شده‌اند، چقدر احتمال دارد که متعلق به یک گونه باشند (Mandaville، ۲۰۰۲) معمولاً هرچه غالبیت یک گونه در اجتماع بیش‌تر باشد، این مقدار به سمت ۱ میل می‌کند و برعکس هرچه توزیع فراوانی افراد بین گونه‌ها یکنواخت‌تر باشد، این مقدار به سمت صفر میل می‌کند: $\lambda = \sum_{i=1}^{s} Pi^2$

λ: شاخص سیمپسون، Pi: نسبت فراوانی هریک از گونه‌ها در نمونه که به‌صورت زیر آورده می‌شود: $Pi = \frac{ni}{N}$ و i= ۱, ۲, ۳...S

ni: تعداد افراد گونه i، N: تعداد کل افراد تشکیل‌دهنده تمام گونه

جهت بررسی یکنواختی گونه‌ها در این پژوهش از شاخص یکنواختی نسبت هیل اصلاح‌شده استفاده‌شده است. محاسبه این شاخص از رابطه زیر صورت می‌گیرد. مزیت این رابطه نسبت به روابط دیگر یکنواختی وابستگی کم‌تر آن به غنای گونه‌ای است (Alatalo، ۱۹۸۱):

$E = \frac{\frac{1}{\lambda}-1}{e^{H}-1}$

λ: شاخص سیمپسون، H: شاخص شانون

هیلسنهوف اعدادی را به‌منزله شاخص کیفیت آلی آب HBI برای زیستگاه‌ها ارایه داد. شاخص زیستی هیلسنهوف توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود، مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده آلودگی است: $HBI = \sum nTv/N$

HBI: شاخص زیستی هیلسنهوف، TV: ارزش مقاومتی هر خانواده، n: فراوانی هر خانواده، N: فراوانی کل

طبقات این شاخص زیستی در جدول ۳ آورده شده است (Mandaville، ۲۰۰۲؛ Hilsenhoff، ۱۹۸۸).

جدول۳: طبقات شاخص زیستی هیلسنهوف

میزان آلودگی آلی	کیفیت آب	HBI
عدم وجود مواد آلی	عالی	۰-۳/۷۵
مواد آلی جزئی	خیلی خوب	۳/۷۶-۴/۲۵
مقداری مواد آلی	خوب	۴/۲۶-۵
میزان متوسط مواد آلی	متوسط	۵/۰۱-۵/۷۵
مقدار زیاد مواد آلی	متوسط ضعیف	۵/۷۶-۶/۵۰
میزان بسیار زیاد مواد آلی	بد	۶/۵۱-۷/۲۵
آلودگی آلی شدید	خیلی بد	۷/۲۶-۱۰

محاسبه شاخص تنوع شانون: در پژوهش حاضر از این شاخص برای تعیین وضعیت کیفیت آب در نقاط مختلف رودخانه کرج استفاده شده است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص تنوع شانون در جدول ۵ آمده است. به‌طور متوسط مقدار شاخص تنوع شانون در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۱/۲۷- تا ۲/۱۲- محاسبه گردید. براساس مقادیر حاصل از این شاخص و انطباق آن با مقادیر موجود در جدول ۲، تمامی ایستگاه‌ها دارای آلودگی می‌باشند و براساس تفکیک فصل بیش‌ترین مقدار این شاخص متعلق به فصل بهار (۵/۸۹-) و کم‌ترین مقدار مربوط به فصل تابستان می‌باشد، اما سرانجام می‌توان گفت که در تمامی فصول مقدار عددی این شاخص منفی بوده و این نشان‌دهنده وجود آلودگی می‌باشد. شاخص شانون تنها تنوع را مورد بررسی قرار می‌دهد و حتی در صورت جایگزینی گونه مقاوم با پاک تغییری در این شاخص ایجاد نمی‌شود.

نتایج

براساس تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از شناسایی و شمارش خانواده‌های مختلف درشت بی‌مهرگان کفزی نتایج زیر به‌دست آمده‌است. نتایج حاصل از شناسایی و شمارش خانواده‌های درشت بی‌مهرگان کفزی در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان می‌دهد که فراوان‌ترین گروه‌های ماکروبنتوزی در رودخانه کرج در فصول نمونه‌برداری شده راسته‌های Ephemeroptera (۴۷/۶٪)، Plecoptera (۲۰/۲٪) و Diptera (۱۵/۶٪) هستند. جدول ۴ خانواده‌های شناسایی‌شده در طول یک‌سال را به تفکیک فصل نشان می‌دهد. هم‌چنین به‌دلیل وجود فاکتور ارزش مقاومتی گونه‌ها به آلودگی در محاسبه شاخص هیلسنهوف مقادیر عددی مربوط به مقاومت گونه‌ها در جدول ۴ آورده شده‌است (William Bouchard و Paul، ۲۰۱۲؛ Hilsenhoff، ۱۹۸۸).

شکل‌های ۲ تا ۵ درصد فراوانی خانواده‌های مختلف را در فصول مختلف سال در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند. شکل ۲ فراوانی خانواده‌های مختلف را در ایستگاه پورکان نشان می‌دهد. در فصل زمستان و پاییز Baetidae و در بهار Perlidae و در تابستان Chironomidae از فراوان‌ترین خانواده‌ها می‌باشند و سایر خانواده‌ها به‌دلیل فراوانی ناچیزی که دارند در محاسبه شاخص‌های زیستی از اهمیت کم‌تری برخوردارند. شکل ۳ نشان می‌دهد که فراوان‌ترین و تاثیرگذارترین خانواده‌ها در شاخص‌های زیستی، Baetidae در فصل پاییز، Perlidae در بهار، Perlodidae در زمستان و Chironomidae و Perlidae در تابستان می‌باشند. همان‌طورکه شکل ۴ نشان می‌دهد در ایستگاه پل‌خواب فراوانی خانواده‌های Baetidae و Heptageniidae در فصول مختلف از سایرین بیش‌تر می‌باشد. ایستگاه سیرا نیز وضعیتی مشابه ایستگاه پل‌خواب را داراست به‌طوری‌که خانواده‌های Baetidae و Heptageniidae و Chironomidae فراوانی بیش‌تری نسبت به سایرین دارند و سایر خانواده‌ها به‌دلیل تعداد کمی که دارند از اهمیت کم‌تری برخوردار می‌باشند.

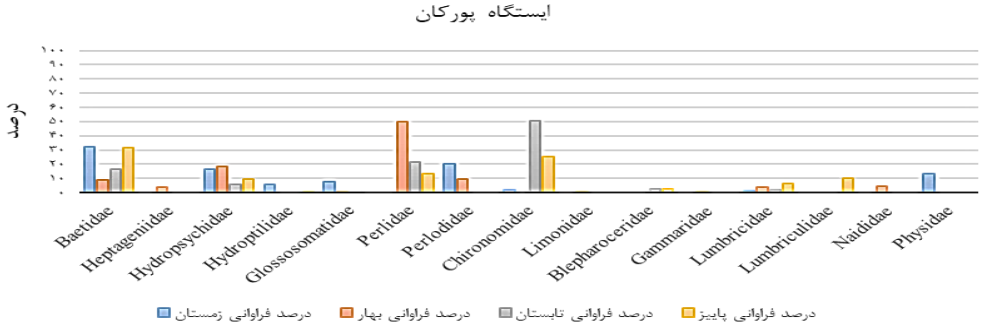
جدول۴: نمونه‌های شناسایی شده در رودخانه کرج به‌همراه ارزش مقاومتی گونه‌ها در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶

رده	راسته	خانواده	ارزش مقاومتی گونه‌ها	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	۴	*	*	*	*
		Heptageniidae	۴	*	*	*	*
	Trichoptera	Hydropsychidae	۴	*	*	*	*
		Hydroptilidae	۴	*			*
		Glossosomatidae	۰	*	*	*	
		Polycentropodidae	۶	*			
	Plecoptera	Perlidae	۱	*	*	*	*
		Chloroperlidae	۱	*			
		Perlodidae	۲	*	*		
	Diptera	Limoniidae	۳		*		
		Simuliidae	۶		*		
		Tipulidae	۳		*		*
		Blephariceridae	۰			*	*
		Chironomidae	۶	*	*	*	*
	Coleoptera	Elmidae	۴	*			
Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae	۴	*	*		
Clitellata (Oligochaeta)	Haplotaxida	Lumbricidae	۵	*	*	*	*
		Naididae	۸	*	*	*	
	Lumbriculida	Lumbriculidae	۵				*
	Hirudinae	helobdella	۸			*	
	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	۸	*			
Gastropoda	Superfamily (planorboidea)	Physidae	۸	*			*
		Limnaeidae	۶		*		

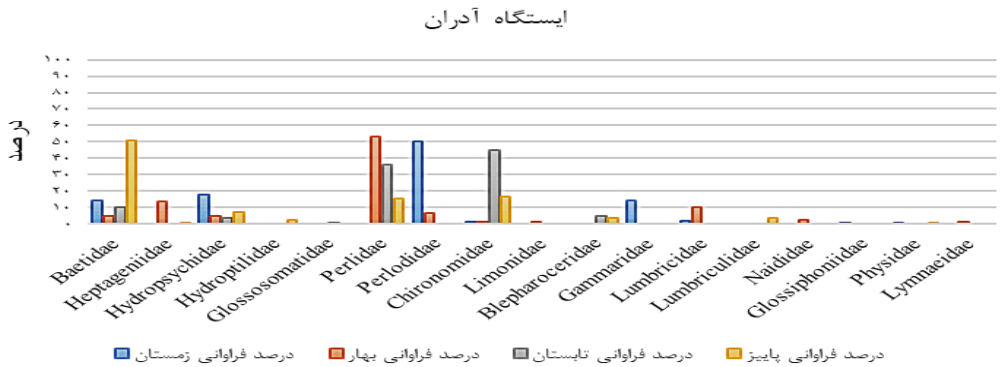
قسمت‌هایی از جدول که با علامت * نشان داده شده است خانواده‌های مشاهده شده در فصول مختلف می‌باشند

جدول ۵: مقدار شاخص شانون (±SE) در رودخانه کرج در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵

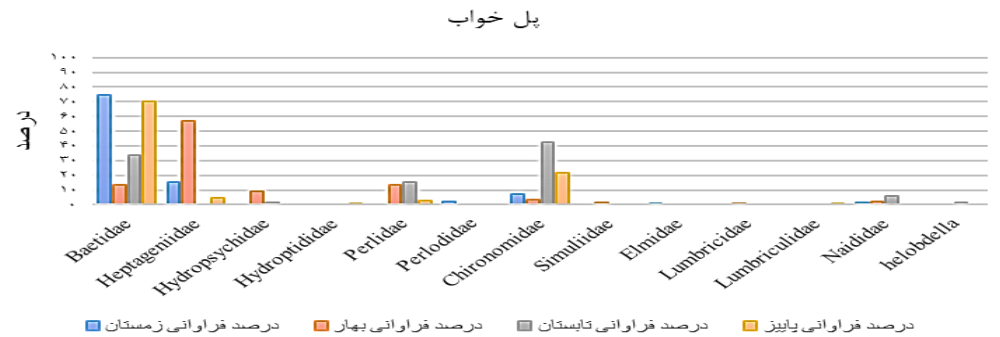
ایستگاه	یکنواختی شانون	شاخص تنوع شانون (±SE)	طبقه کیفی	شاخص تنوع شانون به تفکیک فصل			
				زمستان	بهار	تابستان	پاییز
پورکان	۱/۸	۲/۱۲±۰/۰۳-	آلودگی بالا	۱/۵۷-	۱/۵۷-	۱/۳۵-	۱/۷۶-
آدران	۱/۶۷	۲/۰۲±۰/۰۳-	آلودگی بالا	۱/۳۵-	۱/۴۷-	۱/۲۶-	۱/۳۵-
پل‌خواب	۱/۱۷	۱/۲۷±۰/۰۳-	آلودگی بالا	۰/۸۴-	۱/۳۷-	۱/۳۱-	۱/۵۴-
سیرا	۱/۴۵	۱/۶۶±۰/۰۴-	آلودگی بالا	۱/۳۳-	۱/۴۸-	۰/۸-	۰/۹۵-



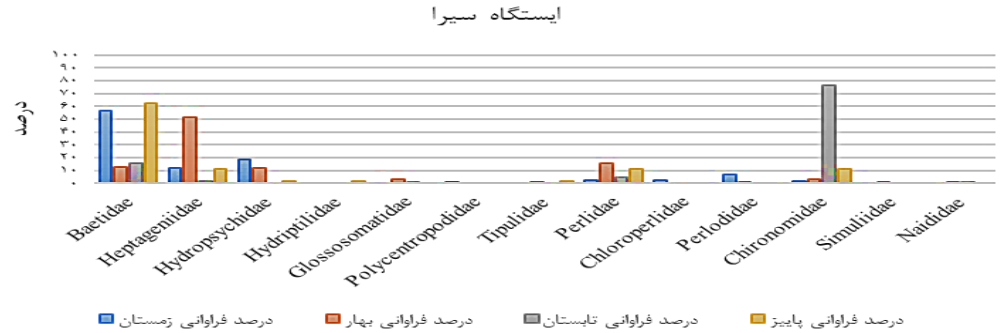
شکل۲: درصد فراوانی خانواده‌های مختلف در ایستگاه پورکان در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶



شکل۳: درصد فراوانی خانواده‌های مختلف در ایستگاه آدران در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶



شکل۴: درصد فراوانی خانواده‌های مختلف در ایستگاه پل خواب در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶



شکل ۵: درصد فراوانی خانواده‌های مختلف در ایستگاه سیرا در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶

شاخص تنوع سیمپسون: نتایج حاصل از محاسبه شاخص تنوع سیمپسون در جدول ۶ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که در ایستگاه پل‌خواب، نسبت به سایر ایستگاه‌ها غالبیت گونه‌ای بالاتر است و مقدار عددی آن نیز به ۱ نزدیک‌تر است. درحالی‌که توزیع در بقیه ایستگاه‌ها به‌صورت یکنواخت‌تری بوده است. در ادامه شاخص یکنواختی به‌صورت مجزا محاسبه شده است و نتایج آن با نتایج به‌دست آمده از شاخص سیمپسون مطابقت دارد. هم‌چنین براساس تفکیک فصول مختلف، بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به فصل تابستان و کم‌ترین میزان مربوط به فصل بهار بوده است.

جدول ۶: مقادیر شاخص تنوع سیمپسون (SE±) در رودخانه کرج در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶

ایستگاه	شاخص تنوع Simpson (SE±)	شاخص تنوع شانون به تفکیک فصل			
		زمستان	بهار	تابستان	پاییز
پورکان	۰/۱۵±۰/۰۰۴	۰/۲	۰/۳	۰/۳۳	۰/۲
آدران	۰/۱۶۵±۰/۰۰۹	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۱
پل‌خواب	۰/۳۹۹±۰/۰۲۶	۱/۵۸	۱/۳۶	۱/۳۱	۱/۵۴
سیرا	۰/۲۴۸±۰/۰۱۳	۱/۳۷	۱/۳۲	۱/۶	۱/۴۲

شاخص یکنواختی: نتایج حاصل از محاسبه این شاخص در شکل ۶ آورده شده است. شاخص یکنواختی نسبت هیل اصلاح شده در ایستگاه‌های پایین‌دست سد(پورکان ۰/۷۸ و آدران ۰/۷۷) بیش‌ترین مقدار را به‌خود اختصاص داده‌اند.

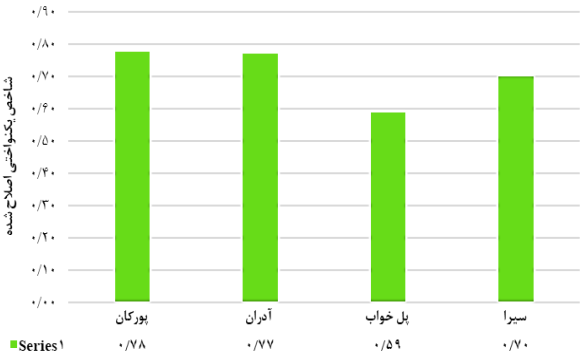
غنای گونه‌ای: با توجه به این که غنای کل تعداد گروه‌های بی‌مهرگان کفزی را در هر ایستگاه نشان می‌دهد و بالا بودن مقدار عددی این شاخص بیانگر کیفیت بالای زیستگاه می‌باشد، می‌توان بیان نمود که با توجه به جدول ۷ در طول یک‌سال شاخص مارگالف در ایستگاه آدران دارای بیش‌ترین (۷/۱) مقدار غنای گونه‌ای می‌باشد.

جدول ۷: مقادیر حاصل از شاخص مارگالف در رودخانه کرج در سال ۹۶-۱۳۹۵

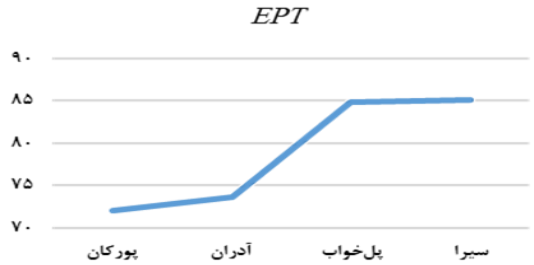
نام ایستگاه	پورکان	آدران	پل خواب	سیرا
شاخص مارگالف	۶/۵۴	۷/۱	۵/۸	۶/۳۴

شاخص EPT: نتایج مربوط به این شاخص در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۷ آمده است. براساس این نتایج مقدار این شاخص در ایستگاه‌های سیرا (۸۰/۰۳) و پل‌خواب (۸۴/۸۶) بیش‌تر از دو ایستگاه دیگر می‌باشد و مقدار این شاخص در فصل زمستان در ایستگاه پل‌خواب در حالت حداکثری (۳۷۳) و در فصل تابستان در ایستگاه سیرا دارای کم‌ترین مقدار (۱۹) بوده است. نتایج حاصل از بررسی نسبت EPT/CHIR در ایستگاه‌های مطالعاتی به‌شرح زیر است (شکل ۸). با توجه به مقادیر این نسبت می‌توان بیان کرد که کیفیت آب در ایستگاه پل‌خواب (۶/۶۸) نسبت به سایر ایستگاه‌ها بهتر می‌باشد.

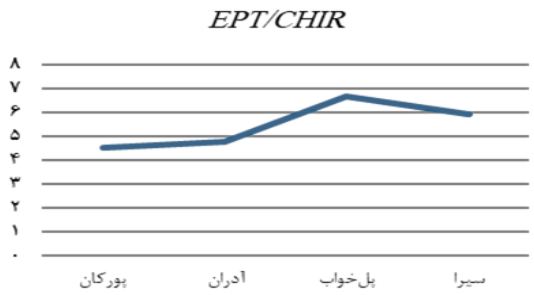
شاخص زیستی هیلسنهوف: براساس جدول ۳، مقادیر شاخص زیستی هیلسنهوف در ایستگاه‌های مختلف منطقه محاسبه گردید و نتایج در جدول ۸ آورده شده است. کیفیت، هم‌چنین مقادیر این شاخص به تفکیک فصل به گونه‌ای است که کیفیت آب در فصل تابستان در ایستگاه پورکان متوسط ضعیف (۶/۴۳) و در فصل زمستان در ایستگاه سیرا عالی (۳/۷) گزارش شده است.



شکل ۶: تغییرات شاخص یکنواختی نسبت هیل اصلاح شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه کرج در سال ۹۶-۱۳۹۵



شکل۷: روند شاخص EPT در رودخانه کرج در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵



شکل۸:روند شاخص EPT/CHIR در رودخانه کرج در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵

جدول ۸: مقادیر شاخص زیستی هیلسنهوف (±SE) در رودخانه کرج در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و طبقه بندی کیفیت آب

ایستگاه	شاخص هیلسنهوف	درجه آلودگی آلی	کیفیت آب	شاخص تنوع شانون به تفکیک فصل			
				زمستان	بهار	تابستان	پاییز
پورکان	۵/۶۵۵ ±۰/۱۱۸	میزان متوسط مواد آلی	متوسط	۵/۲۷	۵/۳۵	۶/۴۳	۵/۹۲
آدران	۵/۷۳۵ ±۰/۱۲۱	میزان متوسط مواد آلی	متوسط	۶/۱۴	۵/۶۷	۶/۳۱	۴/۹۲
پل‌خواب	۴/۵۸۵ ±۰/۱۸۹	مقداری مواد آلی	خوب	۴/۳۸	۳/۹	۵/۶	۴/۸
سیرا	۴/۸۳۲ ±۰/۱۴۶	مقداری مواد آلی	خوب	۳/۷	۴/۶	۴/۲	۴/۴

بحث

تغییرات تراکم کفزیان در این تحقیق نشان داد که بیش‌ترین تراکم درشت بی‌مهرگان کفزی مربوط به فصل زمستان (۴۲ درصد از کل نمونه‌ها) و کم‌ترین تراکم مربوط به فصل تابستان (۱۶ درصد از کل نمونه‌ها) و فصل بهار (۲۰ درصد از کل نمونه‌ها) است. افزایش و کاهش دبی رودخانه احتمالاً یکی از دلایل افزایش و کاهش تعداد کفزیان در فصول مختلف می‌باشد. در مطالعه‌ای که شکری‌پور و اشجع‌اردلان (۱۳۹۵) بر رودخانه کرج انجام دادند علت کاهش درشت بی‌مهرگان کفزی در فصل بهار را وضعیت سیلابی و افزایش دبی آب رودخانه نسبت به سایر فصول بیان نمودند. هم‌چنین به‌دلیل ادامه وضعیت سیلابی در ماه‌های خرداد و تیر در این منطقه فراوانی و تنوع گونه‌ای در فصل تابستان در مقایسه با فصل زمستان کم‌تر می‌گردد. چون افزایش دبی و سیلاب تعداد زیادی از کفزیان را شسته و با خود می‌برد و زمان برای تشکیل کلنی‌های جدید مورد نیاز است. فراوان‌ترین گروه‌های درشت بی‌مهرگان کفزی در رودخانه کرج به‌ترتیب درصد فراوانی، راسته Ephemeroptera (۴۷/۶٪)، Plecoptera (۲۰/۲٪) و Diptera (۱۵/۶٪) بوده‌است. با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌ها در طول یک‌سال (جدول ۷) غنای گونه‌ای در ایستگاه آدران بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج شاخص شانون که در جدول ۵ آمده است آب این رودخانه به‌طورکلی در تمامی ایستگاه‌ها و در فصول مختلف دارای آلودگی می‌باشد. شاخص سیمپسون نیز نشان می‌دهد که ایستگاه پل‌خواب نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای غالبیت گونه‌ای بیش‌تری است (جدول ۶)، هم‌چنین شاخص یکنواختی هیل نشان داد که ارگانیزم‌ها در ایستگاه‌های پورکان، آدران و سیرا به‌صورت یکنواخت‌تری پراکنش دارند (شکل ۶). با توجه به نتایج شاخص EPT ایستگاه‌های بالادست سد امیرکبیر (سیرا و پل‌خواب) به‌ترتیب دارای کیفیت آب بهتری نسبت به دو ایستگاه پایین‌دست سد (آدران و پورکان) می‌باشند (شکل ۷). هم‌چنین براساس شاخص EPT به تفکیک فصول کیفیت آب در فصل زمستان بهتر از سایر فصول می‌باشد. براساس شاخص هیلسنهوف نتایج نشان می‌دهد که وضعیت رودخانه از نظر کیفی در ایستگاه پورکان و آدران به‌ترتیب با مقادیر ۰/۱۱۸±۵/۶۵۵ و ۰/۱۲۱±۵/۷۳۵ متوسط و در ایستگاه پل‌خواب و سیرا با مقادیر ۰/۱۸۹±۴/۵۸۵ و ۰/۱۴۶±۴/۸۳۲ خوب ارزیابی می‌شود. بدیهی است هرچه عوامل مخرب محیط رودخانه بیش‌تر باشد جوامع جانداران فوق واکنش‌های شدیدتری از خود بروز داده و در نتیجه تفاوت‌های منطقه‌ای بارزتر می‌شود. با توجه به فعالیت کم‌تر واحدهای خدماتی و خالی از سکنه شدن روستاها در فصول سرد سال وضعیت و کیفیت آب رودخانه کرج مناسب‌تر می‌باشد که حضور گونه‌های حساس به آلودگی و نتایج فصلی شاخص‌های سیپسون، EPT و هیلسنهوف این موضوع را ثابت می‌کند از نظر میزان درجه آلودگی آلی، ایستگاه‌های سیرا و پل‌خواب مقادیر ناچیز آلودگی و ایستگاه‌های آدران و پورکان میزان متوسط آلودگی آلی را نشان می‌دهند (جدول ۸). به‌طورکلی با توجه به این‌که در محدوده مورد مطالعه اکثریت منابع آلاینده را پساب‌های کشاورزی و فاضلاب مسکونی تشکیل می‌دهد، می‌توان بیان کرد که تاثیر عمده این پساب‌ها، سبب ایجاد شرایط کیفی ضعیف برای این اکوسیستم آبی شده‌است و ایستگاه‌های پایین‌دست که متاثر از نشت و نفوذ فاضلاب‌های مسکونی و مراکز تفریحی اطراف نیز هست، رودخانه در شرایط نامناسبی قرار گرفته است. کاربرد شاخص‌های زیستی مختلف در این مطالعه نشان داد شاخص زیستی هیلسنهوف شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت رودخانه کرج می‌باشد. علی‌رغم این‌که شاخص‌های مولتی متریک نسبت به شاخص‌های یگانه ارزیابی دقیق‌تری از وضعیت اکولوژیکی ارائه می‌کنند. نتایج این مطالعه نشان داد که سلامت رودخانه کرج که جزء رودخانه های حفاظت شده و از مهم‌ترین منابع تامین آب شرب شهر تهران است، در حال حاضر در وضعیت مناسبی قرار دارد اما با توجه به روند رو به رشد احداث مراکز تفریحی-خدماتی و اماکن مسکونی و ویلایی و حضور روزافزون گردشگران در این محدوده، احتمال مواجه با خطر جدی کاهش کیفیت آب وجود داشته و پیشگیری از این امر مستلزم مدیریت صحیح و معقولانه از طریق نظارت بر ساخت و ساز و حضور گردشگران در منطقه می‌باشد. با توجه به حساسیت رودخانه کرج وجود سیستم پایش لحظه‌ای آنلاین می‌تواند در کنترل آلاینده‌ها و پایش وضعیت رودخانه بسیار مفید باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده به رابطه متقابل بزرگ بی مهرگان کفزی و ماهیان منطقه در زنجیره غذایی پرداخته شود. ضمناً پیشنهاد می‌شود پایش زیستی سالانه رودخانه کرج در ایستگاه‌های مختلف در دوره‌ای از سال که حجم آب برای نمونه‌برداری مناسب می‌باشد و می‌توان نمونه‌برداری را با دقت بیش‌تری انجام داد صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر با حمایت اداره کل محیط زیست استان البرز طی پروژه شماره ۵۷۰/۵/۹۵۲ صورت گرفته است، که بدین‌وسیله از مدیرکل، معاونین و کارشناسان دلسوز این اداره کل تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. **احمدی، م. و نفیسی‌بهابادی، م.، ۱۳۸۰.** شناسایی موجودات شاخص بی‌مهره آب‌های جاری. انتشارات خبیر.

۲. **پورابراهیم، ش. و خاتمی، ه.، ۱۳۹۴.** ارزیابی کیفیت آب رودخانه قره‌چای دراستان مرکزی بر پایه شاخص‌های بیولوژیک وشناسایی منابع آلاینده. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۳. **تقی‌نژاد، ا.؛ احمدی، م ر.؛ کمالی، ا. و حق‌بیان. س.، ۱۳۹۴.** پاسخ بوم‌شناختی بزرگ بی‌مهرگان رودخانه جاجرود به آلودگی‌های ناشی از پساب‌های انسان ساخت. تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده. دوره ۶، صفحات ۱۱ تا ۲۴.

۴. **شکری‌پور، ز. و اشجع‌اردلان، ا.، ۱۳۹۵.** شناسایی و بررسی تنوع ماکروبنتوزهای رودخانه کرج. مجله پژوهش‌های جانوری. دوره ۲۹، شماره ۴، صفحات۴۴۲ تا ۴۵۳.

۵. **عباسپور، ر.؛ علیزاده‌ثابت، ح.؛ هدایتی‌فرد، م. و مسگران کریمی، ج.، ۱۳۹۰.**ارزیابی زیستی رودخانه چشمه کیله تنکابن (استان مازندران) با استفاده از شاخص‌های زیستی، ساختار جمعیتی و زی‌توده‌ای درشت بی‌مهرگان کفزی. مجله آبزیان و شیلات. دوره ۲، شماره ۸، صفحات ۶۳ تا ۷۵.

۶. **موسوی‌ده‌موردی،ل.؛شوکت،پ.؛بنایی،م.و نعمت‌دوست، ب.، ۱۳۹۶.**بررسی لیمنولوژیک و ارزیابی زیستی رودخانه مارون در استان خوزستان. فصلنامه محیط زیست جانوری. دوره ۹، شماره ۲، صفحات ۲۸۹ تا ۲۶۶.

۷. **محمودی‌فرد، ع.؛ ایمانپورنمین، ج.؛ شریفی‌نیا، م. و علاف نویریان، ح.، ۱۳۹۳.** استفاده از ترکیب جمعیت والگوی پراکنش بی‌مهرگان کفزی، به‌منظور ارزیابی زیستی و پایش کیفیت آب رودخانه شاهرود (استان قزوین). بهره‌برداری و پرورش آبزیان. دوره ۳، شماره ۴، صفحات ۹۱ تا ۱۰۸.

۸. **مسگران‌کریمی،ج.؛آذری‌تاکامی،ق.؛ خارا، ح. و عباسپور، ر.، ۱۳۹۱.**تعیین تنوع و فراوانی بزرگ بی‌مهرگان کفزی رودخانه دوهزار تنکابن با استفاده از شاخص‌های زیستی. مجله آبزیان و شیلات. جلد ۳، شماره ۴، صفحات ۹۱ تا ۱۰۸.

۹. **Alatalo, R.V., 1981**. Problems in the measurement of evenness in ecology. Oikos. pp: 199-204.

۱۰. **Collier, K.J., 2008.** Temporal Patterns in the stability, persistence and condition of stream macroinvertebrate communities: relationships with catchment land-use and regional climate. Freshwater biology. Vol. 53, No. 3, pp: 603-616.

۱۱. **Entrekin, S.; Stephen, W.; Melanie, B. and Craig, H., 1999.** Unique steephead stream segments in Southwest Georgia: Invertebrate Diversity and Biomonitoring.

۱۲. **Girgin, S., 2010.** Evaluation of the benthic macroinrertebrate distribution in a stream environment during summer using biotic index. Gazi University,Ankara, Turkey. Vol. 7, pp: 11-16.

۱۳. **Heino, J., 2003.** Defining macroinvertebrate assemblage types of headwater streams: implications for bioassessment and conservation. Ecological applications. Vol. 13, No. 3, pp: 842-52.

۱۴. **Hilsenhoff, W.L., 1988.** Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. Journal of the North American benthological society. Vol. 7, No. 1, pp: 65-68.

۱۵. **Loch, D.; Jerry, W. and Perlmutter, D., 1996.** The effect of Trout Farm effluent on the taxa richness of benthic macroinvertebrates. Aquaculture. Vol. 147, No. 1-2, pp: 37-55.

۱۶. **Mandaville, S.M., 2002.** Benthic Macroinvertebrates in freshwaters: taxa tolerance values, metrics, and protocols. Citeseer.

۱۷. **Needham, J.G. and Needham, P.R., 1976.** A guide to the study of fresh water biology. Fifth edit.

۱۸. **Quigley, M., 1977**. Invertebrates of Streams and Rivers. Edward Arnold.

۱۹. **Resh, B.; Vincent, H. and David, M.R., 1993.** Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.

۲۰. **Sandin, L., 2003.** Benthic macroinvertebrates in swedish streams:community structure, taxon richness, and environmental relations. Ecography. Vol. 26, No. 3, pp: 269-282.

۲۱. **Sarkar, A., 2012.** Bioindicators of River Yamuna at Agra. Odonatologica. Vol. 41, No. 4.

۲۲. **Smith, H.; Tilman, D. and Nekola, J., 1999**. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental pollution. Vol. 100, No. 1-3, pp: 179-196.

۲۳. **Soldner, M., 2004.** Relationship between macroinvertebrate Fauna and environmental variables in small streams of the Dominican Republic. Water Research. Vol. 38, No. 4, pp: 863-874.

۲۴. **Voelker, D. and Renn, D., 2000.** Benthic Invertebrates and quality of streambed sediments in the White River and selected tributaries in and near Indianapolis, Indiana. pp: 1994-1996.

۲۵. **Vörösmarty, M. and Charles, J., 2010.** Global Threats to human water security and river biodiversity. Nature. Vol. 467, No. 7315, pp: 555.

۲۶. **Wang, X., 2012.** Spatial distribution of benthic macroinvertebrates in the erhai basin of Southwestern China. Journal of freshwater ecology. Vol. 27, No. 1, pp: 89-96.

۲۷. **Wang, X. and Xiang, T., 2017**. Macroinvertebrate community in relation to water quality and riparian land use in a substropical mountain stream, China. Environmental science and pollution research. Vol. 24, No. 17, pp: 14682-14689.

۲۸. **Wilhm, J.L. and Dorris, T., 1968.** Biological parameters for water quality criteria. Bioscience. pp: 477-481.

۲۹. **William Bouchard, R. and Paul, S., 2012.** Guide to Aquatic Invertebrate Families of Mongolia. Saint Paul, Minnesota, USA. pp: 38-198.

۳۰. **Xu, M.; Zhaoyin, W.; Xuehua, D. and Baozhu, P., 2014.** Effects of Pollution on macroinvertebrates and water quality bio-assessment. Hydrobiologia. Vol. 729, No. 1, pp: 247-259.