

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

- سیده مهسا موسوی رینه: 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 از جمله 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. نمونه برداری از درشت بی‌مهرگان کفزی با استفاده از نمونه بردار سوربر (۳۵×۳۵ سانتی‌متر مربع و با اندازه روزنه ۲۵۰ میکرون) از زمستان ۱۳۹۵ تا پایان پاییز ۱۳۹۶ در ۴ ایستگاه مطالعاتی انجام شده است. نمونه‌های جداسازی شده متعلق به ۵ رده، ۱۰ راسته و ۲۳ خانواده هستند. فراوان‌ترین گروه‌های درشت بی‌مهرگان کفزی در رودخانه کرج راسته Ephemeroptera با درصد فراوانی ۴۷/۶ درصد، Plecoptera ۲۰/۲ درصد و Diptera ۱۵/۶ 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 پل خواب) به ترتیب با مقادیر ۴/۸ و ۴/۶ دارای کیفیت خوب و در ایستگاه‌های پایین دست سد (آدران و پورکان) به ترتیب با مقادیر ۵/۷ و ۵/۶ دارای کیفیت متوسط می‌باشد. هم‌چنین براساس شاخص سیمپسون میزان غالبیت در ایستگاه سیرا و پل خواب 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



## 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 (پورا برهیم 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 به حساب می‌آیند و این اجتماعات به آسانی قابل شناسایی و در دسترسند. برخی از آن‌ها به وجود 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، به همین 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. به همین 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 به منظور 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 جاری بودن و پاک بودن و حتی 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، بی‌انگیزگی 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 بوده است. هم‌چنین براساس شاخص هیلسنهوف آلودگی آبی 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 انجام شده ۲۳ جنس از ۲۱ خانواده و ۵ رده درشت بی‌مهرگان کفزی شناسایی گردید. نتایج نشان داد که ایستگاه ۴ در فصل زمستان با ۱۰۶۷



سیلیسیوم... است که وجود این عناصر مستقیماً با کاربری اراضی در پایین دست رودخانه ارتباط دارد (Tan و Wang, 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 (Voelker و Renn, ۲۰۰۰) کارولینای شمالی (Entekin و همکاران, ۱۹۹۹) و رودخانه وایت (Loch و همکاران, ۱۹۹۶) در ایالات متحده، با استفاده از 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 پایین دست به موازات 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 شمال شرقی 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 پایین دست سد کرج و ایستگاه‌های پل خواب و سیرا در بالادست سد انتخاب شدند تا امکان مقایسه تاثیرات موقعیت ایستگاه‌ها در پایین دست و بالادست فراهم شود. فاصله ایستگاه اول و دوم در پایین دست حدود ۳/۵ کیلومتر و سوم و چهارم در بالادست ۳/۵ کیلومتر بوده است. با توجه به قدرت خودپالایی رودخانه در بالادست و نیز منابع زیاد آلاینده در حاشیه رودخانه کرج خصوصاً واحدهای خدماتی مستقر در جاده چالوس سعی شده است تا موقعیت ایستگاه‌ها با اهداف تحقیق هم‌خوان باشد. در تمامی ایستگاه‌ها جنس بستر قله‌سنگی بوده است. این رودخانه در بالادست مامن ماهی قزل آلاي خال قرمز است که اهمیت مطالعات درشت بی‌مهرگان آبی،

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  $1/73$ ، غالبیت گونه‌ای سیمپسون  $0/74$  و غنای گونه‌ای مارگالف  $3/31$  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. به‌طور کلی نتایج نشان داد که حشرات آبی، جمعیت غالب رودخانه کرج را تشکیل می‌دهند. در فصل زمستان رده‌های Insecta, Turbellaria, 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 درشت بی‌مهرگان کفزی این رودخانه بررسی شد. براساس نتایج، از ایستگاه‌های بالادست به طرف پایین دست، 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 پایین دست، 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. به‌طور کلی از ایستگاه شماره ۱ تا ایستگاه شماره ۷ از مقدار عددی شاخص‌ها کاسته شد که نشان‌دهنده کاهش کیفی آب در طول رودخانه بوده است (مسگران کریمی 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 پایین دست 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 پایین دست حاوی عناصر متعددی از جمله منیزیم، استرانسیوم، سلنیوم، نیتروژن غیر آلی،



برای شناسایی نمونه‌های جداسازی شده از منابع مختلف نظیر کلیده‌های شناسایی (Quigley, 1977; Needham و Needham, 1976) استفاده گردید. 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. شاخص غنای گونه‌ای شناخته شده در این زمینه، شاخص مارگالف است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد (Washington, 1984):

$$R = S - 1/\ln(n)$$

R: شاخص مارگالف، S: تعداد کل گونه‌ها، n: افراد تشکیل دهنده گونه‌ها

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

در شاخص EPT مجموع فراوانی راسه‌های Ephemeroptera و Plecoptera و Trichoptera محاسبه می‌شود. افزایش مقدار EPT بهتر شدن کیفیت آب را به دنبال 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:

$$H = - \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{n}\right) \ln\left(\frac{n_i}{n}\right)$$

H: شاخص شانون، 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، 1999؛ Wilhm و Dorris, 1968) 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**

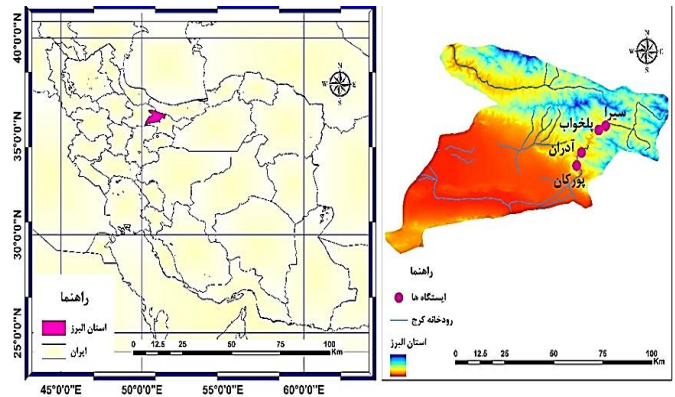
نتیجه	شاخص شانون
منطقه با آلودگی بالا	$H < 1$
منطقه با آلودگی متوسط	$1 < H < 3$
منطقه فاقد آلودگی	$H > 3$

در شاخص یکنواختی گونه‌ها که در آن مقدار شانون محاسبه شده در هر ایستگاه نمونه‌برداری بر لگاریتم تعداد کل گونه‌ها تقسیم گردید (Bass, 1995):

$$J = H/\log S$$

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

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



شکل ۱: 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	یل خواب	۳۶/۰۱	۵۱/۱۴	۱۸۲۶/۶۴
۳	آدران	۳۵/۹۳	۵۱/۰۶	۱۵۹۹/۸۵
۴	یورکان	۳۵/۸۸	۵۱/۰۴	۱۴۸۶/۰۱

در پژوهش حاضر به منظور 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 روزه ۲۵۰ میکرون به صورت تصادفی از حاشیه 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 ارگانیک بزرگ نظیر برگ‌ها، 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 ثبت شده 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 میکرون منتقل و در جریان ملایم آب قرار گرفتند. سپس محتویات الک به‌داخل سینی تشریح برای جداسازی انتقال یافت. جداسازی، شناسایی گروه‌های کفزی با استفاده از کلیده‌های موجود در سطح خانواده، تعداد و درصد فراوانی آن‌ها تعیین شد.



و براساس تفکیک فصل بیشترین مقدار این شاخص متعلق به فصل بهار (۵/۸۹-) و کمترین مقدار مربوط به فصل تابستان می باشد، اما سرانجام می توان گفت که در تمامی فصول مقدار عددی این شاخص منفی بوده و این نشان دهنده وجود آلودگی می باشد. شاخص شانون تنها تنوع را مورد بررسی قرار می دهد و حتی در صورت جایگزینی گونه مقاوم با پاک تغییری در این شاخص ایجاد نمی شود.

## نتایج

براساس تجزیه و تحلیل داده های حاصل از شناسایی و شمارش خانواده های مختلف درشت بی مهرگان کفزی نتایج زیر به دست آمده است. نتایج حاصل از شناسایی و شمارش خانواده های درشت بی مهرگان کفزی در شکل های ۲ تا ۵ نشان می دهد که فراوان ترین گروه های ماکروبنوتوزی در رودخانه کرج در فصول نمونه برداری شده راسته های Ephemeroptera (۴۷/۶٪)، Plecoptera (۲۰/۲٪) و Diptera (۱۵/۶٪) هستند. جدول ۴ خانواده های شناسایی شده در طول یک سال را به تفکیک فصل نشان می دهد. همچنین به دلیل وجود فاکتور ارزش مقاومتی گونه ها به آلودگی در محاسبه شاخص هیلسنهوف مقادیر عددی مربوط به مقاومت گونه ها در جدول ۴ آورده شده است (William Bouchard و Paul، ۲۰۱۲؛ Hilsenhoff، ۱۹۸۸).

شکل های ۲ تا ۵ درصد فراوانی خانواده های مختلف را در فصول مختلف سال در ایستگاه های مورد مطالعه نشان می دهند. شکل ۲ فراوانی خانواده های مختلف را در ایستگاه پورکان نشان می دهد. در فصل زمستان و پاییز Baetidae و در بهار Perlidae و در تابستان Chironomidae از فراوان ترین خانواده ها می باشند و سایر خانواده ها به دلیل فراوانی ناچیزی که دارند در محاسبه شاخص های زیستی از اهمیت کمتری برخوردارند. شکل ۳ نشان می دهد که فراوان ترین و تاثیر گذارترین خانواده ها در شاخص های زیستی، Baetidae در فصل پاییز، Perlidae در بهار، Perlodidae در زمستان و Chironomidae و Perlidae در تابستان می باشند. همان طور که شکل ۴ نشان می دهد در ایستگاه پل خواب فراوانی خانواده های Baetidae و Heptageniidae در فصول مختلف از سایرین بیش تر می باشد. ایستگاه سیرا نیز وضعیتی مشابه ایستگاه پل خواب را داراست به طوری که خانواده های Baetidae و Heptageniidae و Chironomidae فراوانی بیش تری نسبت به سایرین دارند و سایر خانواده ها به دلیل تعداد کمی که دارند از اهمیت کمتری برخوردار می باشند.

یک نمونه برگزیده شده اند، چقدر احتمال دارد که متعلق به یک گونه باشند (Mandaville، ۲۰۰۲) معمولاً هرچه غالبیت یک گونه در اجتماع بیش تر باشد، این مقدار به سمت ۱ میل می کند و برعکس هرچه توزیع فراوانی افراد بین گونه ها یکنواخت تر باشد، این مقدار به سمت صفر میل می کند:

$$\sum_{i=1}^s P_i^2$$

$\lambda$ : شاخص سیمپسون،  $P_i$ : نسبت فراوانی هر یک از گونه ها در نمونه که به صورت زیر آورده می شود:  $P_i = \frac{n_i}{N}$  و  $i = 1, 2, 3, \dots, S$  تعداد افراد گونه  $i$ :  $n_i$ : تعداد کل افراد تشکیل دهنده تمام گونه جهت بررسی یکنواختی گونه ها در این پژوهش از شاخص

یکنواختی نسبت هیل اصلاح شده استفاده شده است. محاسبه این شاخص از رابطه زیر صورت می گیرد. مزیت این رابطه نسبت به روابط دیگر یکنواختی وابستگی کم تر آن به غنای گونه ای است (Alatalo،

$$E = \frac{1}{e^{H-1}} \quad (1981)$$

$\lambda$ : شاخص سیمپسون،  $H$ : شاخص شانون

هیلسنهوف اعدادی را به منزله شاخص کیفیت آبی آب HBI برای زیستگاه ها ارایه داد. شاخص زیستی هیلسنهوف توسط فرمول زیر محاسبه می شود، مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده 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).

جدول ۳: طبقات شاخص زیستی هیلسنهوف

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

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. به طور متوسط مقدار شاخص تنوع شانون در ایستگاه های 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 ایستگاه ها دارای آلودگی می باشند



جدول ۴: نمونه‌های شناسایی شده در رودخانه کرج به همراه ارزش مقاومتی گونه‌ها در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶

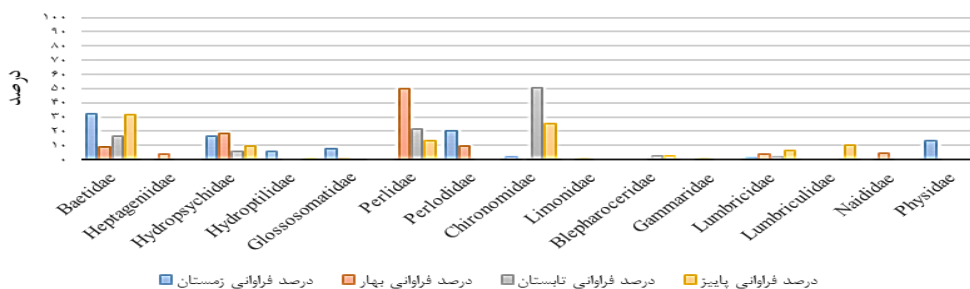
رده	راسته	خانواده	ارزش مقاومتی گونه‌ها	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	۴	*	*	*	*
		Heptageniidae	۴	*	*	*	*
		Hydropsychidae	۴	*	*	*	*
		Hydroptilidae	۴	*	*	*	*
		Glossosomatidae	۰	*	*	*	*
	Plecoptera	Polycentropodidae	۶	*	*	*	*
		Perlidae	۱	*	*	*	*
		Chloroperlidae	۱	*	*	*	*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

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 ۱۳۹۵-۱۳۹۶

ایستگاه	یکنواختی شانون	شاخص تنوع شانون (SE±)	طبقه کیفی	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
پل خواب	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

ایستگاه پورکان

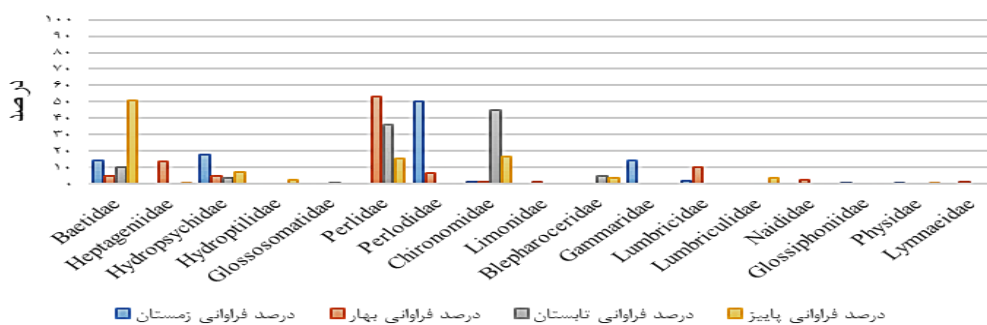


شکل ۲: درصد فراوانی خانواده‌های مختلف در ایستگاه پورکان در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶



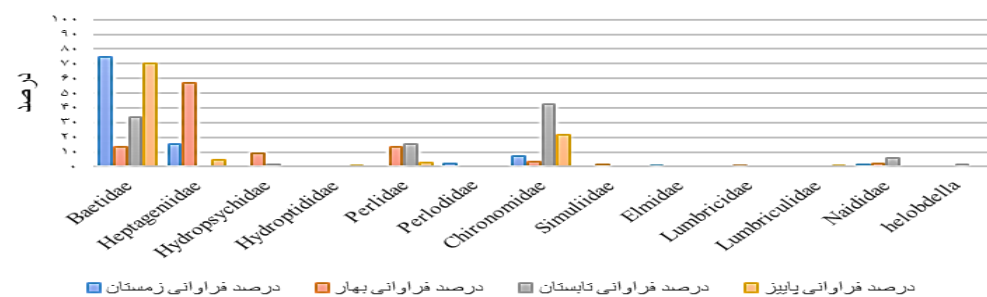


ایستگاه آدران



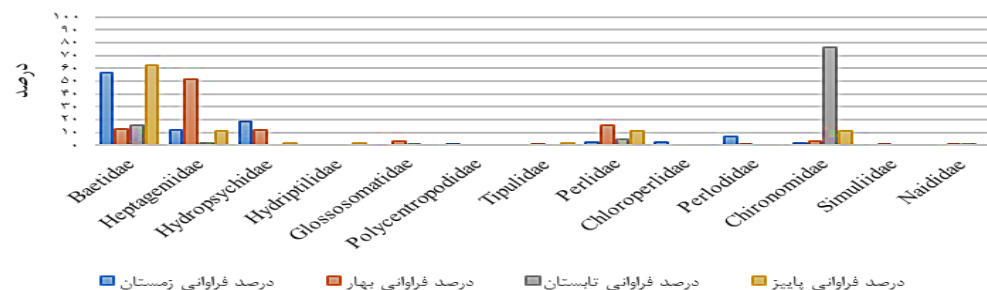
شکل ۳: درصد فراوانی خانواده‌های مختلف در ایستگاه آدران در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶

پل خواب



شکل ۴: درصد فراوانی خانواده‌های مختلف در ایستگاه پل خواب در زمستان ۱۳۹۵ و بهار و تابستان و پاییز ۱۳۹۶

ایستگاه سیرا



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

ادامه شاخص یکنواختی به صورت مجزا محاسبه شده است و نتایج آن با نتایج به دست 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.

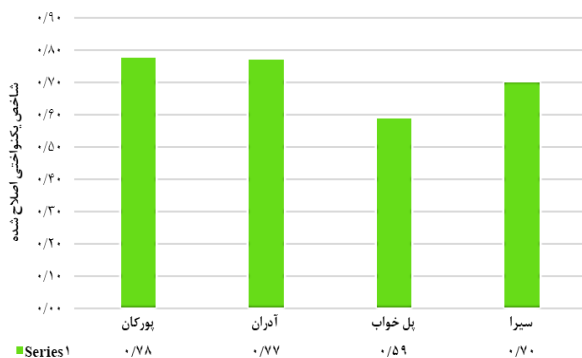
شاخص تنوع سیمپسون: نتایج حاصل از محاسبه شاخص تنوع سیمپسون در جدول ۶ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که در ایستگاه پل خواب، نسبت به سایر ایستگاه‌ها غالبیت گونه‌ای بالاتر است و مقدار عددی آن نیز به ۱ نزدیک‌تر است. در حالی که توزیع در بقیه ایستگاه‌ها به صورت یکنواخت‌تری بوده است.

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

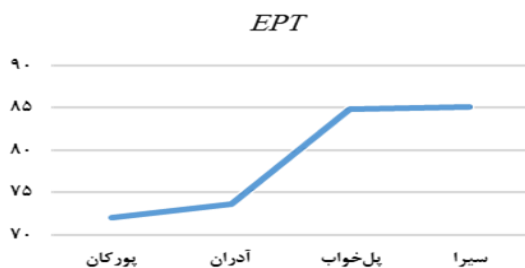
ایستگاه	شاخص تنوع سیمپسون (SE±)			
	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
پورکان	۰/۲	۰/۳	۰/۳۳	۰/۲
آدران	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۱
پل خواب	۱/۵۸	۱/۳۶	۱/۳۱	۱/۵۴
سیرا	۱/۳۷	۱/۳۲	۱/۶	۱/۴۲



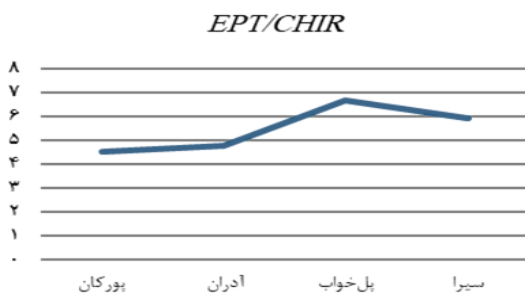
و در فصل زمستان در ایستگاه سیرا عالی (۳/۷) گزارش شده است.



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



شکل ۷: روند شاخص EPT در رودخانه کرج در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶



شکل ۸: روند شاخص EPT/CHIR در رودخانه کرج در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶

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

**غناى 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 ۱۳۹۵-۹۶

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 پل خواب (۸۴/۸۶) بیش‌تر از دو ایستگاه دیگر می‌باشد و مقدار این شاخص در فصل زمستان در ایستگاه پل خواب 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 به شرح زیر است (شکل ۸). با توجه به مقادیر این نسبت می‌توان بیان کرد که کیفیت آب در ایستگاه پل خواب (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)

جدول ۸: مقادیر شاخص زیستی هیلسنهوف (SE±) در رودخانه کرج در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶ 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
پل خواب	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

در فصول سرد سال وضعیت و کیفیت آب رودخانه کرج مناسب تر می باشد که حضور گونه های حساس به آلودگی و نتایج فصلی شاخص های سیپسون، EPT و هیلسنهوف این موضوع را ثابت می کند از نظر میزان درجه آلودگی آلی، ایستگاه های سیرا و پل خواب مقادیر ناچیز آلودگی و ایستگاه های آدران و پورکان میزان متوسط آلودگی آلی را نشان می دهند (جدول ۸). به طور کلی با توجه به این که در محدوده مورد مطالعه اکثریت منابع آلاینده را پساب های کشاورزی و فاضلاب مسکونی تشکیل می دهد، می توان بیان کرد که تاثیر عمده این پساب ها، سبب ایجاد شرایط کیفی ضعیف برای این اکوسیستم آبی شده است و ایستگاه های پایین دست که متأثر از نشت و نفوذ فاضلاب های مسکونی و مراکز تفریحی اطراف نیز هست، رودخانه در شرایط نامناسبی قرار گرفته است. کاربرد شاخص های زیستی مختلف در این مطالعه نشان داد شاخص زیستی هیلسنهوف شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت رودخانه کرج می باشد. علی رغم این که شاخص های مولتی متریک نسبت به شاخص های یگانه ارزیابی دقیق تری از وضعیت اکولوژیکی ارائه می کنند. نتایج این مطالعه نشان داد که سلامت رودخانه کرج که جزء رودخانه های حفاظت شده و از مهم ترین 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 مواجهه 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 می باشد. با توجه به حساسیت رودخانه کرج وجود سیستم پایش لحظه ای آنلاین می تواند در کنترل آلاینده ها و پایش وضعیت رودخانه بسیار مفید باشد. پیشنهاد می شود در مطالعات آینده به رابطه متقابل بزرگ بی مهرگان کفزی و ماهیان منطقه در زنجیره غذایی پرداخته شود. ضمناً پیشنهاد می شود پایش زیستی سالانه رودخانه کرج در ایستگاه های مختلف در دوره های از سال که حجم آب برای نمونه برداری مناسب می باشد و می توان نمونه برداری را با دقت بیش تری 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 بدین وسیله از مدیر کل، معاونین و کارشناسان دلسوز این اداره کل تشکر و قدردانی می گردد.

تغییرات تراکم کفزیان در این تحقیق نشان داد که بیش ترین تراکم درشت بی مهرگان کفزی مربوط به فصل زمستان (۴۲ درصد از کل نمونه ها) و کم ترین تراکم مربوط به فصل تابستان (۱۶ درصد از کل نمونه ها) و فصل بهار (۲۰ درصد از کل نمونه ها) است. افزایش و کاهش دبی رودخانه احتمالاً یکی از دلایل افزایش و کاهش تعداد کفزیان در فصول مختلف می باشد. در مطالعه ای که شگری پور و اشجع اردلان (۱۳۹۵) بر رودخانه کرج انجام دادند علت کاهش درشت بی مهرگان کفزی در فصل بهار را وضعیت سیلابی و افزایش دبی آب رودخانه نسبت به سایر فصول بیان نمودند. هم چنین به دلیل ادامه وضعیت سیلابی در ماه های خرداد و تیر در این منطقه فراوانی و تنوع گونه ای در فصل تابستان در مقایسه با فصل زمستان کم تر می گردد. چون افزایش دبی و سیلاب تعداد زیادی از کفزیان را شسته و با خود می برد و زمان برای تشکیل کلنی های جدید مورد نیاز است. فراوان ترین گروه های درشت بی مهرگان کفزی در رودخانه کرج به ترتیب درصد فراوانی، راسته Ephemeroptera (۴۷/۶٪)، Plecoptera (۲۰/۲٪) و Diptera (۱۵/۶٪) بوده است. با توجه به تجزیه و تحلیل داده ها در طول یک سال (جدول ۷) غنای گونه ای در ایستگاه آدران بیش تر از سایر ایستگاه ها می باشد. با توجه به نتایج شاخص شانون که در جدول ۵ آمده است آب این رودخانه به طور کلی در تمامی ایستگاه ها و در فصول مختلف دارای آلودگی می باشد. شاخص سیمپسون نیز نشان می دهد که ایستگاه پل خواب نسبت به سایر ایستگاه ها دارای غالبیت گونه ای بیش تری است (جدول ۶)، هم چنین شاخص یکنواختی هیل نشان داد که ارگانیزم ها در ایستگاه های پورکان، آدران و سیرا به صورت یکنواخت تری پراکنش دارند (شکل ۶). با توجه به نتایج شاخص EPT ایستگاه های بالادست سد امیر کبیر (سیرا و پل خواب) به ترتیب دارای کیفیت آب بهتری نسبت به دو ایستگاه پایین دست سد (آدران و پورکان) می باشند (شکل ۷). هم چنین بر اساس شاخص EPT به تفکیک فصول کیفیت آب در فصل زمستان بهتر از سایر فصول می باشد. بر اساس شاخص هیلسنهوف نتایج نشان می دهد که وضعیت رودخانه از نظر کیفی در ایستگاه پورکان و آدران به ترتیب با مقادیر  $5/735 \pm 0/121$  و  $5/655 \pm 0/118$  متوسط و در ایستگاه پل خواب و سیرا با مقادیر  $4/585 \pm 0/189$  و  $4/832 \pm 0/146$  خوب ارزیابی می شود. بدیهی است هر چه عوامل مخرب محیط رودخانه بیش تر باشد جوامع جانداران فوق واکنش های شدیدتری از خود بروز داده و در نتیجه تفاوت های منطقه ای بارزتر می شود. با توجه به فعالیت کم تر واحدهای خدماتی و خالی از سکنه شدن روستاها



منابع

- 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 subtropical 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.
۱. احمدی، م. و نفیسی‌بهبادی، م.، ۱۳۸۰. شناسایی موجودات شاخص بی‌مهره آب‌های جاری. انتشارات خبیر.
  ۲. پورابراهیم، ش. و خانمی، ه.، ۱۳۹۴. ارزیابی کیفیت آب رودخانه قره‌چای در استان مرکزی بر پایه شاخص‌های بیولوژیک و شناسایی 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، صفحات ۴۴۲ 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 آبریان 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 جمعیت‌والگوی پراکنش بی‌مهرگان کفزی، به‌منظور ارزیابی زیستی و پایش کیفیت آب رودخانه شاهرود (استان قزوین). بهره‌برداری و پرورش آبریان. دوره ۳، شماره ۴، صفحات ۹۱ تا ۱۰۸.
  ۸. مسگران کریمی، 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 آبریان 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 macroinvertebrate distribution in a stream environment during summer using biotic index. Gazi

