بررسی ارتباط بین جمعیت ماکروفونا و وضعیت کیفی رودخانه کرج

- **سیدقاسم قربان‌زاده‌زعفرانی***: گروه تنوع‌زیستی و ایمنی‌زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران
- **علیرضا ساری**: دانشکده زیست‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- **تارا ابراهیمی**: گروه تنوع‌زیستی و ایمنی‌زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران
- **فرهاد حسینی‌طایفه**: گروه تنوع‌زیستی و ایمنی‌زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران
- **سپیده برزگر**: دانشکده زیست شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- **منا ایزدیان**: گروه تنوع‌زیستی و ایمنی‌زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران
- **آریا اشجع‌اردلان**: گروه بیولوژی دریا، دانشکده علوم و فنون دریا، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- **سیدکرامت هاشمی‌عنا**: گروه تنوع‌زیستی و ایمنی‌زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران
- **احمدرضا کاتوزیان**: دانشکده زیست شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- **جلیل بادام‌فیروز**: گروه اقتصاد محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۹

چکیده

پراکنش، فراوانی و ساختار ماکروبنتوزها به‌عنوان ابزاری مهم در بررسی کیفیت آب در طول ۹ ایستگاه در رودخانه کرج به‌صورت فصلی (پاییز و زمستان ۱۳۹٦ و بهار و تابستان ۱۳۹۷) تعیین گردید. نمونه‌برداری ماکروبنتوزها با سوربرسمپلر و مقادیر پارامترهای عمق (۳±۱۱ سانتی متر)، دمای آب (۳/٤±٥/۱۰ درجه سانتی‌گراد)، شوری (۰/۰۱±۰/۰۱ قسمت در هزار)، اکسیژن محلول (۰/۹±۹/۳ میلی‌گرم درلیتر)، کدورت (۱NTU±۲۹/٦/۱۹)، هدایت الکتریکی (۰/۱±۰/۱۹ میکروزیمنس بر متر)، pH (۰/۲±۸/٥)، TDS (۰/۰۷±۰/۱۲ گرم در لیتر) با مولتی پارامتر اندازه‌گیری شد. ۳۸٤٥٤ نمونه متعلق به ٤۲ خانواده و ٥۲ تاکسون شناسایی شدکه شیرنومیده‌ها، خانواده غالب بودند. ۹ خانواده (Baetis، Tubifex، Micrasema، Rhithrogena، Eporus، Hydropsyche، Leptophlebiidae و Simulium)، ۸۳ درصد نمونه‌ها را تشکیل دادند. بیش‌ترین تراکم (۷۷٥۸ عدد/مترمربع) در ایستگاه ۸، درحالی‌که کم‌ترین تراکم (٥۹۲ عدد/مترمربع) در ایستگاه ٥ مشاهده شد. ایستگاه ۷ با بالاترین میزان تنوع گونه‌ای شانون (۲/۷۸) و ایستگاه ۸ با کم‌ترین میزان شانون (۱/٥۷) توصیف می‌شود. براساس آنالیز PCA، متغیرهای TDS، هدایت الکتریکی، شوری و pH، پارامترهای موثرتر در این مطالعه بودند. براساس آنالیز خوشه، ایستگاه‌ها به سه گروه (گروه ۱: ایستگاه ۲ و ٦؛ گروه ۲: ایستگاه‌های ۱، ۷، ۸ و ۹؛ گروه ۳: ایستگاه‌های ۳، ٤ و ٥) تقسیم شدند. گرچه براساس شاخص شانون، ایستگاه‌های بالادست رودخانه بهتر ارزیابی شدند، به‌طورکلی وضعیت کیفی آب رودخانه، در طبقه متوسط قرار گرفت.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، شاخص شانون، ماکروبنتوز، رودخانه کرج

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ghorbanzadeh110@yahoo.com

مقدمه

یکی از روش‌های مطالعه زیستی بر روی خصوصیات کیفی آب، بررسی جانوران آبزی به‌خصوص ماکروبنتوزها می‌باشد.مطالعه و بررسی ساختار این موجودات در اکوسیستم‌های آبی (آب‌های رودخانه‌ای، تالابی، دریاچه‌ای و ساحلی- دریایی) جایگاه خاصی در بررسی‌های اکولوژیک موجودات آبزی به‌خود اختصاص داده است (Humpeschو Fesl، ۲۰۰۲). استفاده از ماکروبنتوزها در این نوع از ارزیابی‌های اکولوژیک، به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی ازجمله تحرک کم، طول عمر زیاد، غنای گونه‌ای بالا و پاسخ های متفاوت نسبت به عوامل محیطی می‌باشد (Carew و همکاران،۲۰۱۳). بنا به عقیده روزنبرگ، مهم‌ترین ذخایر آبزی نهرها و رودخانه‌ها، بی‌مهرگان کفزی ساکن آن‌ها می‌باشند که در شبکه غذایی و تولیدات رودخانه نقش اساسی دارند. (Keylock، ۲۰۰۵). تعیین تنوع، فراوانی و تغییرات فصلی آن‌ها نقش به‌سزایی در تعیین توان تولید طبیعی نهایی رودخانه، تقسیم‌بندی رودخانه از نظر آلودگی (ساپروبی) و قضاوت نهایی بر این اکوسیستم خواهد داشت. هم‌چنین چون پراکنش بزرگ بی‌مهرگان آبزی با عمق‌های متفاوت آب، میزان اکسیژن محلول، مواد آلی و دماهای مختلف ارتباط دارد، از آن‌ها به‌عنوان شاخص آلودگی آب‌های راکدو جاری استفاده می‌شود. مشهورترین شاخص تنوع، شاخص شانون- وینر است. در این شاخص، نتایج مربوط به غنای گونه‌ای (Richness) و یکنواختی زیستی (Evenness) در محاسبه مدنظر قرار می‌گیرد (Barbour و همکاران، ۱۹۹۹). این شاخص برای محاسبه تنوع زیستی در اکوسیستم‌های خشکی و آبی به‌طور گسترده استفاده می‌شود. ارزش بالای 'H بیانگر تنوع بالاتر، تعداد بیش‌تر و پراکنش یکنواخت‌تر خانواده‌ها است (Gerritsen و همکاران، ۱۹۹۸). برای محاسبه شانون از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$H = -\sum_{i=1}^{s}(p_i\, Lnp_i)$$

'H: شاخص شانون، S: تعداد خانواده، Pi: فراوانی نسبی خانواده i ام

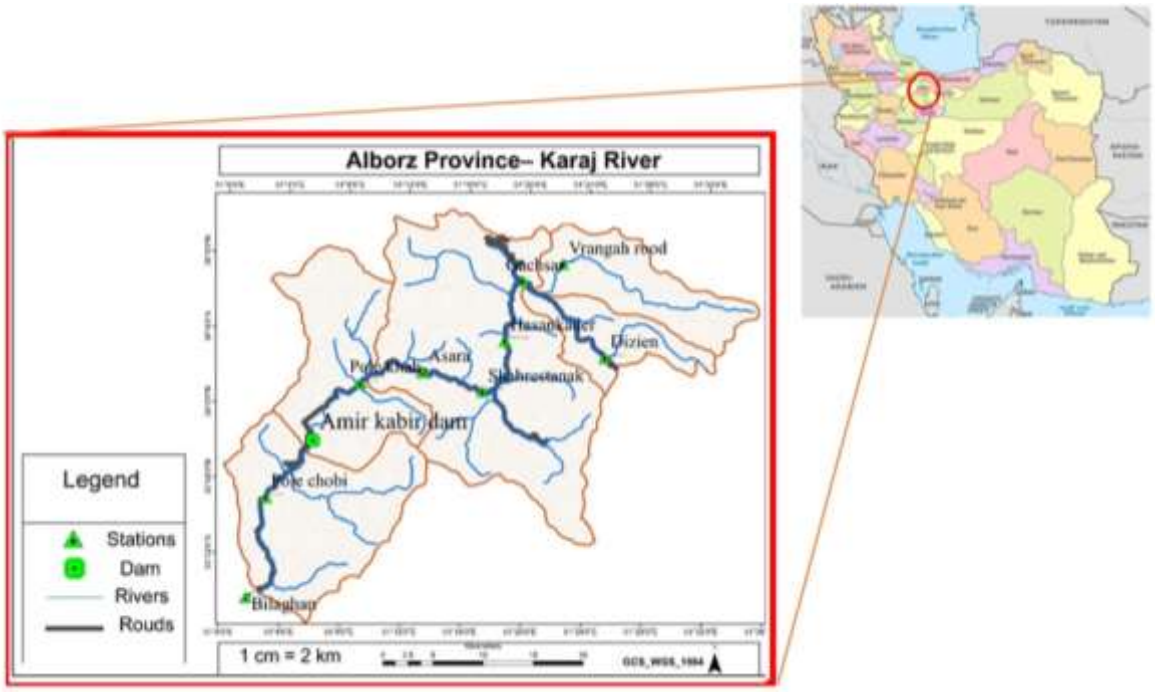
رودخانه کرج به‌عنوان شاهرگ حیاتی دو استان البرز و تهران، تأمین کننده آب شرب تهران، آب کشاورزی مناطق هم‌جوار و منبع تأمین برق کشور است و با توجه به ساختار بستر و مشخصه‌های هیدرولوژیکی و برخورداری از پتانسیل‌های بالقوه زیستی، نظیر قدرت خودپالایی چشمگیر و اکسیژن سرشار توانسته از لحاظ بوم‌شناختی، اکوسیستمی مناسب حیات برای انواع پرندگان آبزی و کنارآبزی و آبزیان مهیا سازد (عبدلی، ۱۳۹۵). طول رودخانه حدود ۲۴۵ کیلومتر و مساحت حوضه آبریز آن حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع تخمین زده شده است (جوادی و همکاران، ۱۳۹۱). بارندگی منطقه از آبان شروع شده و تا اردیبهشت ادامه داشته به‌نحوی که در مردادماه دارای مقدارکمینه می‌باشد. کاربری اراضی در محدوده موردنظر رودخانه کرج شامل زراعت، باغ‌های میوه و مجتمع‌های درختی و مرتع است (Azizi Jalilian، ۲۰۰۹). به‌طورکلی عوامل تهدید به‌ترتیب شامل: ساخت و ساز در حریم رودخانه، آلودگی آب به‌دلیل ورود فاضلاب، تراکم گردشگر، پخش شدن زباله در محیط، آلودگی آب به‌دلیل وجود زباله در حاشیه و روی آب و توسعه فیزیکی تفرج متمرکز می‌باشد. در سال‌های اخیر عملیات راه‌سازی آزادراه تهران- شمال که در حال انجام می‌باشد نیز می‌تواند بر کیفیت آب رودخانه تاثیر گذار باشد. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی ارتباط بین ساختار جمعیتی ماکروبنتوزها، عوامل فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر جمعیت آن‌ها و تغییرات کیفیت آب رودخانه کرج انجام شده است. شایان ذکر است که پژوهش حاضر با فرض این‌که کیفیت اکولوژیک آب در بالادست و پایین‌دست رودخانه کرج متفاوت می‌باشد، در ادامه مطالعه خاتمی (www.deo.ir) و مطالعه بررسی تغییرات فیزیکو شیمیایی و زیستی کیفیت رودخانه کندور تحت تاثیر احداث تونل انتقال آب کرج-تهران توسط شجاعی تکمداش و همکاران (۱۳۹۳)، شکری‌پور (۱۳۹۴)، عبدلی (۱۳۹۵) و موسوی و پورابراهیم (۱۳۹۸) انجام می‌شود. با این تفاوت که پوشش سراسری رودخانه (بالادست و پایین‌دست امیرکبیر) در این مطالعه (برخلاف مطالعات قبلی که فقط بخشی از مسیر رودخانه مد نظر بوده)، با آنالیزهای چند متغیره مورد تحلیل قرار گرفته و نقشه پراکنش ماکروبنتوزها نیز تهیه گردید.

مواد و روش‌ها

عملیات نمونه‌برداری به‌مدت یک‌سال از آبان و بهمن ۹۶ و اردیبهشت و مرداد ۹۷ از ۹ ایستگاه واقع در شاخه اصلی رودخانه کرج، حد فاصل آبگیر بیلقان (پایین‌دست سد امیرکبیر) و ولایت‌رود (دیزین) و وارنگه رود در بالا دست سد، به طول حدود ۸۵ کیلومتر انجام شد (جدول ۱ و شکل ۱). بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و پیشینه مطالعات منطقه و هم‌چنین بازدید میدانی مهر ماه سال ۹۶، ایستگاه‌های نمونه‌برداری مناسب براساس تمرکز مناطق مسکونی و کاربری‌های انسانی و امکان دسترسی محل تعیین و با GPS (Garmin:GPSMAP76CS) ثبت گردید. کلیه روش‌های نمونه‌برداری و آنالیز پارامترها براساس روش‌های ارائه شده توسط (Mandaville، ۲۰۱۲؛ Cavanagh و همکاران، ۱۹۹۶) انجام شد. سنجش فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی شامل دما، شوری، TDS، هدایت الکتریکی و کدورت توسط دستگاه مولتی پارامتر هوریبا (U53) و pH و اکسیژن محلول توسط دستگاه DO متر و PH متر (HQ30d) اندازه‌گیری شد . عمق هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری توسط متر فلزی ثبت شد. نمونه‌های ماکروبنتیک در هر ایستگاه (سه تکرار از سمت راست، وسط و سمت چپ رودخانه) به‌وسیله نمونه‌بردار سوربر (۳۵×۳۵ سانتی‌متر با توری با مش ۵۰۰ میکرون) جمع‌آوری شد. نمونه‌ها با فرمالین ۵ درصد تثبت شدند.

جدول ۱: موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در مسیر رودخانه کرج ۹۷-۱۳۹۶

ایستگاه	y	x	ارتفاع (متر)	فاصله بین ایستگاه‌ها (کیلومتر)
بیلقان (St1)	۳۵,۸۲۹۷۳۹°	۵۱,۰۳۳۸۶۴°	۱۳۷۶	۰
قبل از پل چوبی (St2)	۳۵,۹۱۶۵۸°	۵۱,۰۴۸۳۱°	۱۶۵۰	۲۰
بعد از پل خواب (St3)	۳۶,۰۱۹۵۰°	۵۱,۱۵۰۳۹°	۱۸۱۷	۲۲
قبل از آسارا (St 4)	۳۶,۰۳۱۱۳۶°	۵۱,۲۱۵۲۵۳°	۱۹۰۵	۹
بعد از شهرستانک (St5)	۳۶,۰۱۵۰۶۹°	۵۱,۲۸۵۶۲۸°	۲۰۰۴	۸
حسنکدر (St 6)	۳۶,۰۶۰۹۱۱°	۵۱,۳۰۹۲۱۷°	۲۱۴۵	۷
گچسر (St7)	۳۶,۱۱۳۶۸°	۵۱,۳۲۷۵۱°	۲۲۷۷	۳
دیزین/ولایت رود (St8)	۳۶,۰۴۷۵۸°	۵۱,۴۲۰۱۲°	۲۷۱۲	۱۴
وارنگه رود (St9)	۳۶,۱۲۹۴۹°	۵۱,۳۷۱۲۸°	۲۵۲۸	(از گچسر) ۷



شکل۱: نقشه ایستگاه‌های مورد مطالعه در مسیر رود خانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

نمونه‌های بنتیک در آزمایشگاه تا حد ممکن در زیر استریومیکروسکوپ (SMZ800) شناسایی، و در ویال‌های حاوی الکل ۷۰ درصد براساس تاکسون مربوطه طبقه‌بندی گردیدند. نمونه‌ها برای شناسایی تکمیلی و شمارش به آزمایشگاه جانورشناسی دانشگاه تهران ارسال گردید. بر اساس نرمال بودن یا نرمال نبودن داده‌ها، به‌ترتیب آنالیز واریانس یک‌طرفه وکروسکال والیس برای تعیین اختلاف بین گروه‌های داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS23 انجام شد.هم‌چنین برای تعین مولفه‌های اصلی از PCA و برای دسته‌بندی گروه‌ها از آنالیز خوشه‌ای استفاده گردید. به‌منظور محاسبه شاخص تنوع از نرم‌افزار پرایمر ۶ و جهت تهیه نقشه‌های مربوط به الگوی پراکنش ماکروبنتوزها در رودخانه کرج با روش IDW از نرم‌افزار ArcGIS10.3 و Terrset17.3 استفاده گردید.

ارزیابی کیفی آب و اثرات آلودگی با استفاده از شاخص تنوع شانون بر اساس جدول ۲ انجام شد.

جدول۲: ارزیابی کیفی آب بر اساس امتیاز شاخص شانون

شاخص شانون	H' <۱	۱ الی۳ = H'	۳ <H'
وضعیت آلودگی	آلودگی زیاد	نسبتاً آلوده (متوسط)	غیرآلوده یا تمیز

نتایج

دمای آب: میانگین دمای آب در کل رودخانه کرج در محدوده مطالعاتی، ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید(جدول۳). بیشینه مقدار

میانگین فصلی دمای آب (۱۵/۱) در فصل تابستان و کمینه مقدار آن (۶/۶) در فصل زمستان مشاهده شد. آنالیز واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری بین میزان حرارت در فصول مختلف نشان می‌دهد (p<۰/۰۰۱). علاوه بر این بیشینه مقدار دمای آب (۱۵/۹) و میانگین سالانه (۱۲/۷) در ایستگاه ۳ و کمینه مقدار آن (۶/۷) در ایستگاه ۸ ثبت گردید. روند کاهشی در تغییرات دما در ایستگاه‌های مختلف از پایین‌دست به سمت بالادست دیده می‌شود. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین درجه حرارت ایستگاه‌های مختلف در کل سال وجود ندارد (p>۰/۰۵).

شوری: مطابق با جدول ۳، میانگین شوری در رودخانه کرج ۰/۰۱۱ قسمت در هزار (ppt) ثبت گردید. بیشینه مقدار شوری (۰/۰۱۳) در فصل بهار و کمینه مقدار آن (۰/۰۰۹) در فصل تابستان مشاهده شد که از نظر آماری، این تغییر فصلی معنی‌دار نیست (جدول ۴). هم‌چنین بیشینه مقدار شوری (۰/۰۱۷) در ایستگاه ۶ و کمینه مقدار آن (۰/۰۰۶) در ایستگاه ۹ ثبت گردید. روند شوری براساس ایستگاه‌ها از بالادست به سمت پایین‌دست افزایشی می‌باشد. آنالیز کروسکال والیس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین میزان شوری در ایستگاه‌های مختلف در طول سال وجود دارد (p<۰/۰۰۱).

pH: میانگین میزان pH آب رودخانه کرج در این مطالعه، ۸/۵ ثبت گردید (جداول ۳ و ۴). بیشینه مقدار pH (۸/۶) در فصل زمستان و کمینه مقدار آن (۸/۳) در فصل بهار مشاهده شد. با انجام آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (p<۰/۰۰۱) اختلاف معنی‌داری میانگین بین pH در فصول مختلف مشاهده شد. آزمون توکی اختلاف معنی‌داری را بین مقادیر pH زمستان و بهار نشان داده است (p<۰/۰۵). بیشینه مقدار pH (۸/۷) در ایستگاه ۹ و کمینه مقدار آن (۸/۱) در ایستگاه ۶ مشاهده شد. روند تغییرات از بالادست به سمت پایین‌دست تقریباً ثابت بوده است. آنالیز واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری بین pH ایستگاه‌های مختلف در طول یک سال نشان داد (p<۰/۰۵). آزمون Games-Howell اختلاف معنی‌داری را بین ایستگاه ۶ با سایر ایستگاه‌ها نشان داد (p<۰/۰۵). به‌همین لحاظ بر سراسر رودخانه در طول سال pH تقریباً یکنواختی حاکم است و تغییرات اندک آن قابل توجه نیست. در مجموع رودخانه دارای آبی با درجه قلیایی است.

اکسیژن محلول (DO): براساس جدول ۳، میانگین میزان اکسیژن محلول در رودخانه کرج ۹/۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. بیشینه مقدار اکسیژن محلول (۱۰/۳) در فصل زمستان و کمینه مقدار آن (۸/۴) در تابستان مشاهده شد (جدول ۴). ضمناً روند تغییرات فصلی از پاییز تا تابستان، کاهشی می‌باشد. آنالیز واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری بین میزان اکسیژن محلول در فصول مختلف نشان می‌دهد (p<۰/۰۰۱). آزمون Games-Howell نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین میزان اکسیژن محلول فصل زمستان و تابستان با سایر فصول وجود دارد (p<۰/۰۵). هم‌چنین بیشینه مقدار اکسیژن محلول (۹/۸) در ایستگاه ۱ و کمینه مقدار اکسیژن محلول (۸/۸) در ایستگاه ۶ مشاهده شد.

کدورت: در این مطالعه میانگین کدورت در رودخانه کرج NTU ۱۹/۶ می‌باشد. بیشینه مقدار کدورت (۴۵/۷) در فصل بهار و کمینه مقدار آن (۷/۲) در زمستان مشاهده شد. بنابراین روند تغییرات فصلی کدورت از فصل پاییز تا تابستان، افزایشی می‌باشد. آزمون کروسکال والیس اختلاف معنی‌داری را بین کدورت در فصول مختلف نشان می‌دهد (p<۰/۰۰۱). آزمون من ویتنی با ضریب تصحیح بونفرنی (Corrected α=۰/۰۰۸) اختلاف معنی‌داری را بین کدورت فصل بهار سایر فصول نشان می‌دهد. بیشینه مقدار کدورت (۴۴/۷) در ایستگاه ۵ و کمینه مقدار آن (۱/۸) در ایستگاه ۹ مشاهده شد. روند تغییرات از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه افزایشی بود. آنالیز کروسکال والیس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین کدورت در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد (p<۰/۰۰۱).

عمق آب: در این مطالعه میانگین کل عمق در رودخانه کرج ۲۹ سانتی‌متر می‌باشد. بیشینه مقدار عمق (۳۱/۵ سانتی‌متر) در فصل بهار و کمینه مقدار آن (۲۷/۴ سانتی‌متر) در پاییز و زمستان مشاهده شد. بنابراین روند تغییرات فصلی عمق از فصل پاییز تا تابستان به‌دلیل افزایش احتمالی دبی و ورودی آب به رودخانه، افزایشی می‌باشد. آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری را بین عمق در فصول مختلف نشان نمی‌دهد (p>۰/۰۵). بیشینه مقدار عمق (۳۷/۳ سانتی متر) در ایستگاه ۶ و کمینه مقدار آن (۲۰ سانتی‌متر) در ایستگاه ۸ مشاهده شد. روند تغییرات عمق از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه افزایشی می‌باشد. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین عمق در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد (p<۰/۰۰۱).

TDS: در این مطالعه میانگین کل TDS در رودخانه کرج ۰/۱۲ گرم بر لیتر می‌باشد. بیشینه مقدار TDS (۰/۱۵ گرم بر لیتر) در فصل بهار و کمینه مقدار آن (۰/۱ گرم بر لیتر) در تابستان مشاهده شد. بنابراین روند تغییرات فصلی عمق از فصل پاییز تا تابستان، کاهشی می‌باشد. آزمون کروسکال والیس اختلاف معنی‌داری را بین TDS در فصول مختلف نشان می‌دهد (p=۰/۰۰۶). آزمون من ویتنی با ضریب تصحیح بونفرنی (Corrected α=۰/۰۰۸) اختلاف معنی‌داری را بین TDS فصل تابستان با بهار و زمستان نشان می‌دهد. بیشینه مقدار TDS (۰/۲ گرم برلیتر) در ایستگاه ۶ و کمینه مقدار آن (۰/۷۰ گرم بر لیتر) در ایستگاه ۹ مشاهده شد. روند تغییرات TDS، از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست آن افزایشی می‌باشد. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین TDS در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد (p<۰/۰۰۱).

هدایت الکتریکی (EC): مطابق با جدول ۳، میانگین هدایت الکتریکی در رودخانه کرج ۰/۱۸۹ میکروزیمنس برمتر ثبت گردید. بیشینه مقدار هدایت الکتریکی (۰/۲۳۹) در فصل بهار و کمینه مقدار آن (۰/۱۳۲) درفصل پاییز مشاهده شد (جدول ۴). هم‌چنین روند آن از پاییز به فصل تابستان کاهشی می‌باشد. آزمون کروسکال‌والیس اختلاف معنی‌داری را بین میزان EC در فصول مختلف نشان داد (p=۰/۰۰۲). آزمون من ویتنی با ضریب تصحیح بونفرنی (Corrected α=۰/۰۰۸) اختلاف معنی‌داری را بین EC فصل تابستان با بهار نشان می‌دهد. هم‌چنین بیشینه مقدار EC (۰/۲۹۲) در ایستگاه ۶ و کمینه مقدار آن (۰/۱۲) در ایستگاه ۹ ثبت گردید. روند EC براساس ایستگاه‌ها از بالادست به‌سمت پایین‌دست افزایشی می‌باشد. بنابراین براساس جدول ۳، آنالیز کروسکال والیس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین میزان EC درایستگاه‌های مختلف در طول سال وجود دارد (p=۰/۰۱۷).

مولفه‌های اصلی پارامترهای محیطی آب: با آزمون PCA (Principal Components Analysis) (p<۰/۰۰۱، Eigenvalues≥۱، KMO=۰/۶۵۳)، متغیرهای محیطی آب رودخانه کرج به‌صورت دو مولفه اصلی (PC) گروه‌بندی شدند که مولفه اصلی اول با ۳۷/۸٪ و مولفه اصلی دوم با ۲۱/۳٪، جمعاً ۵۹/۱٪ از کل واریانس‌ها را پوشش می‌دهد. به‌طورکلی مطابق با نمودار PCA، TDS، هدایت الکتریکی و شوری دارای ارتباط مثبت و قوی و pH دارای ارتباط منفی و متوسط با PC1، می‌باشد. ولی دما دارای ارتباط مثبت و قوی و عمق و کدورت دارای ارتباط مثبت و متوسط با محور دوم (PC2) بوده درصورتی‌که اکسیژن محلول ارتباط منفی و قوی با این محور دارد (جدول۵).

دسته‌بندی ایستگاه‌های مختلف براساس پارامترهای محیطی آب: همانطورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با آزمون خوشه‌ای (Squared Euclidean distance, Between -Group linkage) میزان شباهت بین ایستگاه‌های رودخانه کرج براساس میزان فواصل ناشی از میزان پارامترهای دما، شوری، اکسیژن محلول، کدورت، pH، هدایت الکتریکی، TDS و عمق (در عدد ۵) مشخص شده، در نتیجه ایستگاه‌ها به ۳ گروه عمده تفکیک شدند. طوری‌که ایستگاه ۲ و ۶ در یک گروه و ایستگاه‌های ۸، ۹، ۱ و ۷ از سایر ایستگاه‌ها جدا شده و ایستگاه ۴، ۵ و ۳ در گروه مجزا قرار گرفتند.

ساختار جمعیت ماکروبنتوزها: در جدول ۶ لیست ماکروبنتوزهای شناسایی شده در مطالعه حاضر ارائه شده است. طبق جدول ۶، چهار شاخه از ماکروبنتوزها شناسایی شد که از شاخه کرم‌های حلقوی (Annelida)، رده کلیتلاتا با دو خانواده و هیرودینه با یک خانواده، از شاخه بندپایان رده آراچیندا (Arachinda) با یک خانواده، رده حشرات (Insecta) با ۳۲ خانواده، رده مالاکوستراکا (Malacostraca) و رده کالمبولا (Collembola) هرکدام با یک خانواده، از شاخه کرم‌های پهن (Platyhelminthes) رده رابدتوفورا (Rhabditophora) با یک خانواده و از شاخه نرم‌تنان، دوکفه‌ای‌ها با یک خانواده و شکم‌پایان با دو خانواده شناسایی گردید.

جدول۳: مقادیر میانگین± انحراف معیار(±SD)، حداقل و حداکثر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در ایستگاه‌های مختلف رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

ایستگاه	عمق (سانتی‌متر)	دمای آب (درجه سانتی‌گراد)	شوری (قسمت در هزار)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم در لیتر)	کدورت (NTU)	pH	TDS (گرم در لیتر)	EC (میکروزیمنس بر متر)
بیلقان (ST1)	۲۳ ± ۱۱^{a} (۵ −۴۵)	$۱۰/۱ \pm ۳/۰^{a}$ (۵/۶ − ۱۴/۷)	$۰/۰۱ \pm ۰/۰^{ach}$ (۰/۰۱ − ۰/ ۰۲)	$۹/۵ \pm ۰/۷^{a}$ (۸/۹ − ۱۰/۹)	$۱۲/۶ \pm ۱۲/۸^{ac}$ (۲/۴ − ۳۱/۷)	$۸/۴ \pm ۰/۲^{a}$ (۸/۳ − ۸/۷)	$۰/۱۴ \pm ۰/۰۸^{abc}$ (۰/۰۷ − ۰/ ۲۶)	$۰/۲۰ \pm ۰/۱^{aced}$ (۰/۱۲ − ۰/ ۳۶)
پل چوبی (ST2)	۳۷ ± ۱۱^{b} (۱۵ −۵۵)	$۱۰/۷ \pm ۱/۸^{a}$ (۸/۴ − ۱۳/۷)	$۰/۰۲ \pm ۰/۰۱^{ac}$ (۰/۰۱ − ۰/۰۲)	$۹/۶ \pm ۰/۶^{a}$ (۸/۴ − ۱۰/۴)	$۱۴/۱ \pm ۱۳/۸^{ac}$ (۰/۶ − ۴۳/۲)	$۸/۵ \pm ۰/۲^{a}$ (۸/۳ − ۸/۹)	$۰/۱۶ \pm ۰/۰۷^{be}$ (۰/۰۵ − ۰/۲۲)	$۰/۲۴ \pm ۰/۱۱^{e}$ (۰/۰۰ − ۰/۳۴)
پل خواب (ST3)	۳۶ ± ۱۰^{b} (۳۰ −۵۰)	$۱۲/۷ \pm ۴/۷^{a}$ (۱۵/۹ − ۲۰/۸)	$۰/۰۱ \pm ۰/۰^{ab}$ (۰/۰۱ − ۰/۰۱)	$۹/۵ \pm ۰/۸^{a}$ (۱۰/۱۱-۶/۱)	$۳۶/۶ \pm ۳۱/۹^{ac}$ (۱۲/۹ -۱۰۵/۰)	$۸/۵ \pm ۰/۲^{a}$ (۸/۷ − ۸/۷)	$۰/۱۰ \pm ۰/۰۷^{ab}$ (۰/۱۵ − ۰/۱۸)	$۰/۱۵ \pm ۰/۰۸^{c}$ (۰/۰۰ − ۰/۲۶)
اسارا (ST4)	۲۸ ± ۹^{ab} (۱۰ −۴۰)	$۱۱/۶ \pm ۴/۵^{a}$ (۵/۶ − ۱۷/۵)	$۰/۰۱ \pm ۰/۰^{acb}$ (۰/۰۱ − ۰/۰۲)	$۹/۳ \pm ۱/۱^{a}$ (۸/۰ − ۱۰/۸)	$۴۳/۲ \pm ۴۵/۸^{ac}$ (۹/۸ − ۱۱۱/۰)	$۸/۶ \pm ۰/۲^{a}$ (۸/۵ − ۹/۱)	$۰/۱۱ \pm ۰/۰۵^{abc}$ (۰/۰۶ − ۰/۲۱)	$۰/۱۷ \pm ۰/۰۹^{acd}$ (۰/۰۰ − ۰/۳۲)
شهرستانک(ST5)	۳۰ ± ۷^{ab} (۱۵ −۴۰)	$۱۱/۰ \pm ۴/۶^{a}$ (۵/۳ − ۱۷/۱)	$۰/۰۱ \pm ۰/۰^{acb}$ (۰/۰۱ − ۰/۰۲)	$۹/۳ \pm ۰/۸^{a}$ (۸/۲ − ۱۰/۴)	$۴۴/۷ \pm ۲۹/۵^{c}$ (۱۰/۵ − ۸۱/۴)	$۸/۶ \pm ۰/۲^{a}$ (۸/۳ − ۸/۸)	$۰/۱۴ \pm ۰/۰۶^{ab}$ (۰/۰۷ − ۰/۲۳)	$۰/۲۱ \pm ۰/۱۱^{abc}$ (۰/۰۰ − ۰/۳۷)
حسنکدر (ST6)	۳۶ ± ۱۵^{b} (۲۰ −۷۵)	$۱۱/۲ \pm ۴/۰^{a}$ (۶/۶ − ۱۷/۰)	$۰/۰۲ \pm ۰/۰^{cd}$ (۰/۰۱ − ۰/۰۲)	$۸/۸ \pm ۰/۹^{a}$ (۷/۵ − ۹/۸)	$۱۵/۱ \pm ۱۶/۱^{ac}$ (۲/۷ -۴۰/۱)	$۸/۱ \pm ۰/۱^{b}$ (۷/۹ − ۸/۱)	$۰/۲۰ \pm ۰/۰۹^{b}$ (۰/۰۶ − ۰/۳۳)	$۰/۲۹ \pm ۰/۱۶^{d}$ (۰/۰۰ − ۰/۵۱)
گجسر (ST7)	۳۰ ± ۱۰^{ab} (۱۰ −۴۰)	$۱۰/۰ \pm ۵/۰^{a}$ (۳/۶ − ۱۶/۵)	$۰/۰۱ \pm ۰/۰^{b}$ (۰/۰۰ − ۰/۰۱)	$۹/۱ \pm ۱/۱^{a}$ (۷/۸ − ۱۰/۶)	$۵/۹ \pm ۵/۲^{ah}$ (۱/۱ − ۱۴/ ۹)	$۸/۵ \pm ۰/۱^{a}$ (۸/۴ − ۸/۷)	$۰/۰۹ \pm ۰/۰۴^{ace}$ (۰/۰۵ − ۰/۱۵)	$۰/۱۵ \pm ۰/۰۷^{abc}$ (۰/۰۹ − ۰/۲۷)
دیزین (ST8)	۲۰ ± ۱۰^{a} (۵ −۳۵)	$۶/۷ \pm ۳/۵^{a}$ (۳/۲ − ۱۳/۳)	$۰/۰۱ \pm ۰/۰^{ab}$ (۰/۰۱ − ۰/۰۱)	$۹/۶ \pm ۰/۴^{a}$ (۸/۹ − ۱۰/۳)	$۲/۷ \pm ۲/۸^{ab}$ (۰/۸ − ۲۲/۹)	$۸/۴ \pm ۰/۲^{a}$ (۸/۲ − ۸/۸)	$۰/۱۰ \pm ۰/۰۵^{ab}$ (۰/۰۴ − ۰/۱۶)	$۰/۱۵ \pm ۰/۰۸^{abc}$ (۰/۰۰ − ۰/۲۴)
وارنگه رود (ST9)	۲۲ ± ۶^{a} (۱۰ −۳۰)	$۱۰/۴ \pm ۵/۶^{a}$ (۳/۱ − ۱۹/۵)	$۰/۰۱ \pm ۰/۰۱^{b}$ (۰/۰۰ − ۰/۰۱)	$۹/۱ \pm ۰/۷^{a}$ (۸/۱ − ۹/۷)	$۱/۸ \pm ۱۰/۲^{ab}$ (۰/۴ − ۵/۶)	$۸/۷ \pm ۰/۲^{a}$ (۸/۴ − ۸/۹)	$۰/۰۷ \pm ۰/۰۴^{c}$ (۰/۰۴ − ۰/۱۷)	$۰/۱۲ \pm ۰/۰۵^{b}$ (۰/۰۷ − ۰/۲۶)
میانگین کل (±SD)	۲۹ ± ۱۱ (۵ −۷۵)	$۱۰/۵ \pm ۴/۳$ (۳/۱− ۲۰/۸)	$۰/۰۱ \pm ۰/۰۱$ (۰/۰۱ − ۰/۰۲)	$۹/۳ \pm ۰/۹$ (۷/۵ − ۱۱/۱)	$۱۹/۶ \pm ۲۹/۱$ (۰/۴ − ۱۱۱/۰)	$۸/۵ \pm ۰/۲$ (۷/۹ − ۹/۱)	$۰/۱۲ \pm ۰/۰۷$ (۰/۳۳ − ۰/۰۲)	$۰/۱۹ \pm ۰/۱۱$ (۰/۰۰ − ۰/۵۱)

جدول۴: میانگین (± انحراف معیار) تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه کرج در فصول مختلف (۹۷-۱۳۹۶)

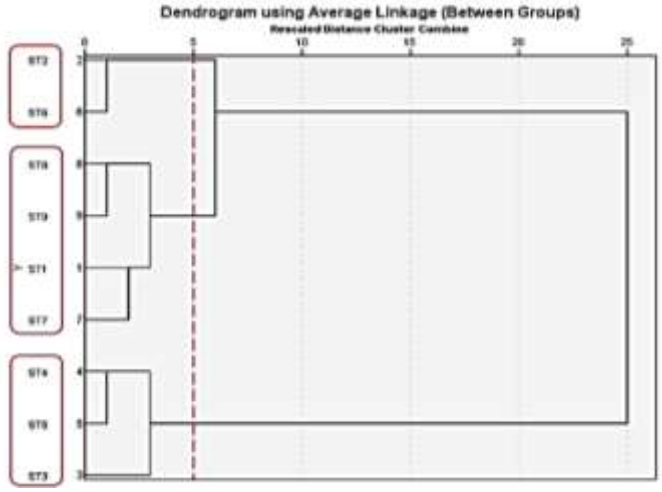
فصل	عمق (سانتی‌متر)	دمای آب (درجه سانتی‌گراد)	شوری (قسمت در هزار)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم در لیتر)	کدورت (NTU)	pH	TDS (گرم در لیتر)	EC (میکروزیمنس بر متر)
پاییز	۲۶ ۱۰±^{ab} (۵ – ۴۰)	۱۰/۰ ± ۴/۳^{ab} (۳/۱ – ۱۴/۷)	۰/۰۱ ± ۰/۰۰^{a} (۰/۰۱ – ۰/۰۲)	۹/۲ ۰±/۵^{a} (۸/۴ – ۱۱/۱)	۸/۲ ± ۱۱/۰ ^{a} (۰/۴ – ۳۱/ ۵)	۸/۵ ± ۰/۳ ^{ab} (۷/۹ – ۸/۹)	۰/۱۴ ± ۰/۰۷ ^{ab} (۰/۰۷– ۰/۲۶)	۰/۱۳ ± ۰/۱۳ ^{abd} (۰/۰۰– ۰/۴۱)
زمستان	۲۷ ± ۱۱ ^{ac} (۱۰ – ۵۰)	۶/۶ ± ۱/۹^{ac} (۳/۳ – ۱۰/۴)	۰/۰۱ ± ۰/۰۰^{a} (۰/۰۱ – ۰/۰۲)	۱۰/۳ ۰±/۵ ^{c} (۹/۴ – ۱۱/۱)	۷/۲ ± ۵/ ۸ ^{a} (۰/۷ – ۱۹/ ۲)	۸/۶ ± ۰/۲ ^{a} (۸/۰ – ۸/۸)	۰/۱۲ ± ۰/۰۷ ^{a} (۰/۰۵ – ۰/۳۳)	۰/۱۹ ± ۰/۰۹ ^{abd} (۰/۰۹ – ۰/۵۱)
بهار	۳۱ ± ۱۴^{d} (۱۰ – ۷۵)	۹/۹ ± ۲/۳^{d} (۳/۳ – ۱۰/۴)	۰/۰۱ ± ۰/۰۱^{a} (۰/۰۰ – ۰/۰۲)	۹/۳ ۰±/۳^{a} (۸/۸ – ۹/۷)	۴۵/۷ ± ۴۰/۱ ^{b} (۱/۳ – ۱۱۱/ ۰)	۸/۳ ± ۰/۲ ^{b} (۸/۰ – ۹/۱)	۰/۱۵ ± ۰ /۰۶ ^{a} (۰/۰۴ – ۰/۲۴)	۰/۲۴ ± ۰/۰۹ ^{d} (۰/۰۷ – ۰/۳۶)
تابستان	۳۰ ۱۰±^{b} (۵ – ۵۰)	۱۵/۱ ± ۳/۳^{b} (۷/۶ – ۲۰/۸)	۰/۰۱ ± ۰/۰۱^{a} (۰/۰۰ – ۰/۰۱)	۸/۴ ۰±/۶^{b} (۷/۵ – ۹/۴)	۹/۸ ± ۱۴/ ۵ ^{a} (۱/۲ – ۷۲/ ۳)	۸/۵ ± ۰/۲ ^{ab} (۸/۱ – ۸/۹)	۰/۱۰ ± ۰/۰۷ ^{b} (۰/۰۲ – ۰/۲۵)	۰/۱۶ ± ۰/۱۱ ^{b} (۰/۰۴ – ۰/۳۸)

(حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد)

جدول ۵: میزان تاثیر هریک از متغیرهای محیطی آب رودخانه کرج در دو مولفه‌های اصلی (۹۷-۱۳۹۶)

Rotated Component Matrix[a]		
Component		
2	1	
-0/023	0/944	TDS
0/056	0/942	EC
-0/002	0/893	شوری
-0/267	-0/505	pH
-0/803	-0/015	DO
0/771	-0/241	دما
0/487	0/160	عمق
0/422	0/281	کدورت

Extraction Method: Principal Component Analysis, Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization. a. Rotation converged in 3 iterations



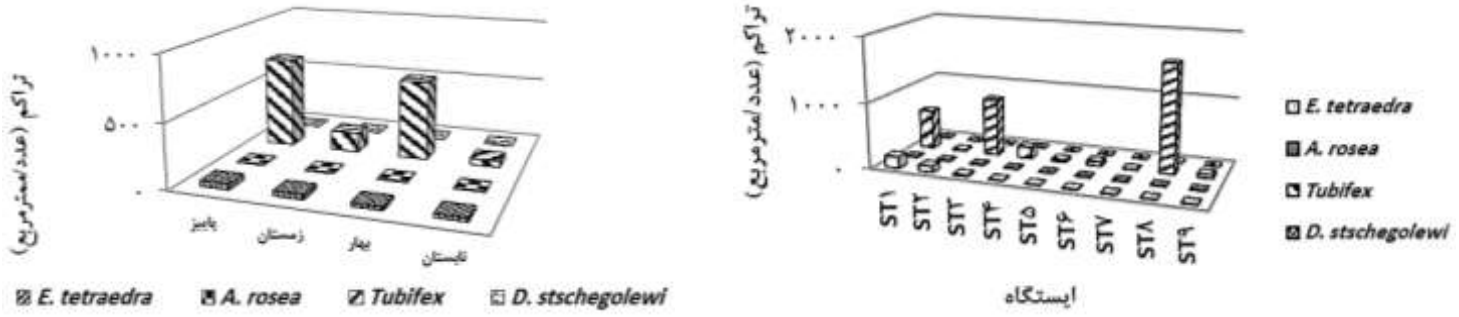
شکل ۲: دسته‌بندی ایستگاه‌های رودخانه کرج براساس پارامترهای محیطی آب با آزمون خوشه‌ای ۹۷-۱۳۹۶

در این مطالعه تعداد کل افراد جمع‌آوری شده و میانگین سالانه تراکم (±SD) در محدوده مورد مطالعه رودخانه کرج به‌ترتیب برابر با ۳۸۴۵۴ عدد و (±۱۴۷)۲۹۰۷ عدد/مترمربع بود که بیش‌ترین تعداد آن معادل ۱۵۳۱۳ عدد در پاییز و کم‌ترین آن در فصل تابستان برابر با ۳۸۰۶ عدد شمارش شده است. در این مطالعه بندپایان به‌عنوان عمده‌ترین گروه ماکروبنتوزها در ۱۰۰٪ از نمونه‌ها یافت شدند. هم‌چنین کرم‌های حلقوی در ۷۷٪، کرم‌های پهن در ۲۱٪ و نرم‌تنان در ۱۹٪ از نمونه‌ها مشاهده شدند. همان‌طورکه در شکل ۵ نشان داده شده ۹ تاکسون Chironomidae، *Baetis*، *Tubifex*، *Micrasema*، *Rhithrogena*، *Eporus*، *Hydropsyche*، Leptophlebiidae و *Simulium* حدود ۸۳ درصد تراکم گونه‌های ماکروبنتوزها را تشکیل می‌دهند. مطابق با جداول ۷ و ۸، بیشینه میزان تراکم بندپایان در ایستگاه ۸، ۶۱۱۰ عدد/مترمربع و فصل پاییز ۳۷۵۱عدد/مترمربع و کمینه میزان آن در ایستگاه ۵، ۵۵۶ عدد/مترمربع و فصل تابستان ۱۰۶۸ عدد/مترمربع مشاهده شده است. تاکسون غالب این گروه Chironomidae در ایستگاه ۸ و فصل زمستان مشاهده گردید. هم‌چنین بیشینه تراکم کرم‌های حلقوی در ایستگاه ۸، ۱۶۴۸ عدد/مترمربع و فصل پاییز ۷۵۵ عدد/متر مربع و کمینه آن در ایستگاه ۷، ۱۲ عدد/مترمربع و فصل تابستان ۷۷عدد/مترمربع مشاهده شده است. تاکسون غالب این گروه *Tubifex* می‌باشد که در ایستگاه ۸ و فصل پاییز دیده شد (شکل ۳). بیشینه تراکم نرم‌تنان در ایستگاه ۱، ۳۹۴ عدد/مترمربع و فصل پاییز ۱۱۹ عدد/مترمربع و کمینه میزان آن در ایستگاه‌های ۶ الی ۹، ۰ عدد/متر مربع) و فصل تابستان ۲ عدد/مترمربع مشاهده شده است (شکل ۳). گونه غالب این گروه *P. acuata* در ایستگاه ۱ و فصل پاییز دیده شد (شکل۴). بیشینه تراکم کرم‌های پهن در ایستگاه ۷، ۱۰۹ عدد/متر مربع) و فصل زمستان ۴۰عدد/مترمربع و کمینه میزان آن در ایستگاه ۱ و ۸، ۰ عدد/مترمربع) و فصل تابستان ۴عدد/مترمربع مشاهده شده است. تنها تاکسون این گروه Planariidae می‌باشد.

جدول ۶: لیست ماکروبنتوزهای شناسایی شده در مطالعه حاضر، رودخانه کرج به‌همراه میزان تحمل آن‌ها (۹۷-۱۳۹۶)

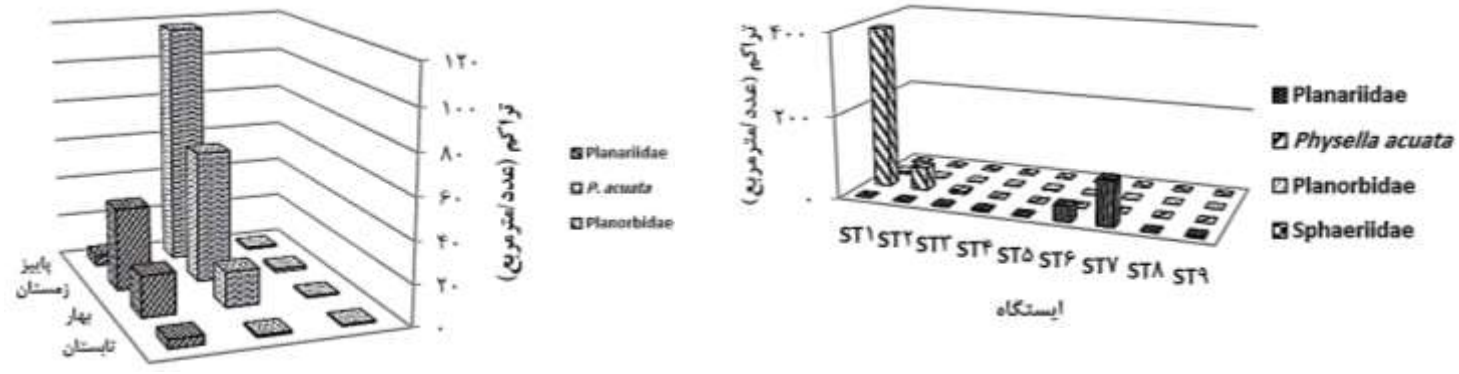
میزان تحمل (Hilsenhoff، ۱۹۸۸)	Species	Genus	Family	Order	Class	Phylum
۵	*Eiseniella tetraedra*	*Eiseniella*	Lumbricidae	Lumbricidae	Clitellata	Annelida
۵	*Aporrectodea rosea*	*Aporrectodea*				
۹		*Tubifex*	Naididae	Oligochaeta		
۸	*Dina stschegolewi*	*Dina*	Erpobdellidae	Arhynchobdellida	Hirudina	
۸		*Hydrachna*	Hydrachnidae	Trombidiformes	Arachinda	Arthropoda
۵		*Eporus*	Heptageniidae	Ephemeroptera	Insecta	
۳		*Rhithrogena*				
۵		*Baetis*	Baetidae			
۵		*Pseudocloeon*				
۳		*(Unknown)*	Leptophlebiidae			
۶		*Caenis*	Caenidae			
۸		*(Unknown)*	Cyprididae	Ostracoda		
۵		*Stenelmis*	Elmidae	Coleoptera		
۴		*Hydropsyche*	Hydropsychidae	Trichoptera		
۲		*Stactobiella*	Hydroptilidae			
۱		*Micrasema*	Brachycentridae			
۳		*(Unknown)*	Apataniidae			
۱		*(Unknown)*	Rhyacophilidae			
۲		*Lype*	Psychomyiidae			
۱		*Glossosoma*	Glossosomatidae			
۳		*(Unknown)*	Limnephilidae			
۴		*(Unknown)*	Phryganeidae			
۲		*Taeniopteryx*	Taeniopterygidae	Placoptera		
۰		*Pontoperla*	Chloroperlidae			
۲		*Perlodes*	Perlodidae			
۶		*(Unknown)*	Chironomidae	Diptera		
۲		*Tipula*	Tipulidae			
۳		*Dicranata*				
۷		*Erioptera*				
۶		*(Unknown)*	Ceratopogonidae			
۴		*Dolichopus*	Dolichopodidae			
۴		*Simulium*	Simuliidae			
۵		*Tonoiriella*	Psychodidae			
۸		*(Unknown)*				
۶		*(Unknown)*	Empididae			
۰		*(Unknown)*	Blephariceridae			
۴		*Atherix*	Athericidae			
۶		*(Unknown)*	Muscidae			
۵		*Tabanus*	Tabanidae			
۷		*(Unknown)*	Stratiomyidae			
۷		*Oxycera*				
۶		*Limonia*	Limoniidae			
۲		*Hexatoma*				
۶		*(Unknown)*				
۵		*(Unknown)*	Corixidae	Hemiptera		
۶		*(Unknown)*	Gammaridae	Amphipoda	Malacostraca	
۴		*(Unknown)*	Entomobryidae	Collembola	Collembola	
۴		*(Unknown)*	Planariidae	Tricladida	Rhabditophora	Platyhelminthes
۸	*Physella acuata*	*Physella*	Physidae	Bosommatophora	Gastroopoda	Mollusca
۴		*(Unknown)*	Planorbidae	Littorinimorpha		
۶		*(Unknown)*	Sphaeriidae	Veneroida	Bivalvia	

تراکم و شاخص تنوع زیستی (شانون) ماکروبنتوزها: میانگین سالانه تراکم و شانون در رودخانه کرج به‌ترتیب حدود ۲۹۱۱ عدد/متر مربع و ۲/۱۲ محاسبه شده است. بیشینه تعداد کل گونه‌ها ۳۶ تاکسون در ایستگاه ۹ (بخش بالادست رودخانه) و کمینه تعداد آن ۲۱ در ایستگاه‌های ۵ (بخش میانی رودخانه و بالادست سد امیرکبیر) مشاهده شد. هم‌چنین بیشینه میزان شاخص شانون ۴۳/در فصل پاییز و کمینه آن ۱/۶۹ در تابستان مشاهده شد. روند تغییرات زمانی شاخص شانون از فصل پاییز به تابستان، کاهشی می باشد (شکل ۸). با توجه به نرمال بودن داده‌های شاخص شانون براساس فصول مختلف (بر اساس تست Shapiro-Wilk)، آنالیز واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری را بین شاخص شانون در فصول مختلف در محدوده مورد مطالعه رودخانه کرج نشان می‌دهد ($p<۰/۰۰۱$). بیشینه میزان شاخص شانون ۲/۷۸ در ایستگاه ۷ و کمینه آن ۱/۵۷ در ایستگاه ۸ مشاهده شد. روند تغییرات شاخص شانون از بالادست به پایین‌دست رودخانه کرج، تقریباً یکسان می‌باشد (شکل ۹). آنالیز واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری را بین شاخص شانون در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد ($p<۰/۰۰۱$). این اختلاف معنی‌دار در نقشه درون‌یابی شانون (شکل ۱۰) به‌وضوح مشخص می‌باشد. بیشینه میزان تراکم ماکروبنتوزها ۴۶۴۹ عدد/مترمربع در فصل پاییز و کمینه آن ۱۱۵۱ عدد/مترمربع در فصل تابستان مشاهده شد. بنابراین روند تغییرات فصلی تراکم ماکروبنتوزها از فصل پاییز به تابستان کاهشی می‌باشد (شکل ۶). آزمون کروسکال والیس اختلاف معنی‌دار ($p=۰/۰۱۶$) بین تراکم فصلی نشان می‌دهد. بنابراین آزمون من ویتنی (Mann-whitney tests) با احتساب ضریب تصحیح بونفرنی (Corrected $\alpha=۰/۰۰۸$) نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار ($p=۰/۰۰۳$) بین تراکم ماکروبنتوزها بین فصل تابستان و پاییز وجود دارد (شکل ۶). بیشینه میزان تراکم ماکروبنتوزها ۷۷۵۸ عدد/مترمربع مربوط به ایستگاه ۸ و کمینه مقدار آن ۵۹۲ عدد/مترمربع مربوط به ایستگاه ۵ می‌باشد (شکل ۷). آنالیز واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری را بین تراکم سالانه ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد ($p<۰/۰۵$). با آزمون توکی مشخص شد که اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه ۸ با ایستگاه‌های ۴ و ۵ وجود دارد ($p<۰/۰۵$).



(الف) (ب)

شکل ۳: پراکنش مکانی و زمانی گونه‌های مشاهده شده کرم‌های حلقوی (آنالیدا) در رودخانه کرج براساس ایستگاه (الف) و فصل (ب)، ۹۷-۱۳۹۶



(الف) (ب)

شکل ۴: پراکنش مکانی و زمانی کرم‌های پهن و نرم‌تنان مشاهده شده در رودخانه کرج براساس ایستگاه (الف) و فصل (ب)، ۹۷-۱۳۹۶

جدول ۷: میانگین تراکم گونه‌ای (عدد/مترمربع) تاکسون شناسایی شده در رودخانه کرج براساس ایستگاه (۹۷-۱۳۹۶)

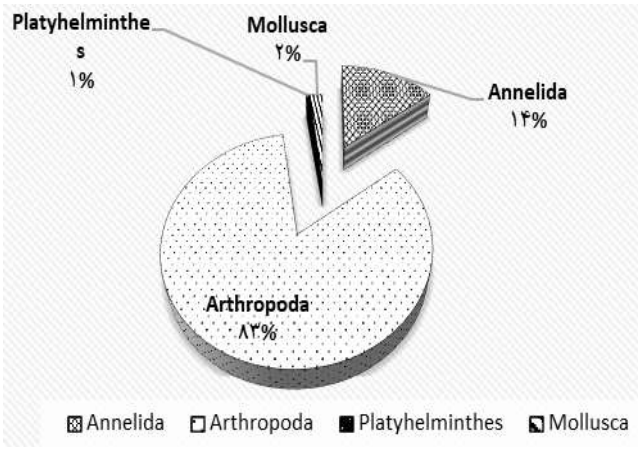
تراکم (عدد/مترمربع)																					
Arthropoda																					
Chironomidae	Perlodes	Pontoperla	Taeniopteryx	Phryganeidae	Limnephilidae	Glossosoma	Lype	Rhyacophilidae	Apatanidae	Micrasema	Stactobiella	Hydropsyche	Stenelmis	Cyprididae	Caenis	Leptophlebiidae	Pseudocleon	Baetis	Rhithrogena	Eporus	Hydrachna	ایستگاه
۶۲۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۱۶۳	۱	۰	۵۳	۰	۵۸	۱۰۳۰	۱۱۳	۵	۴	ST1
۱۳۱	۰	۱	۰	۳	۴۸	۱۱	۱	۰	۲۶	۴۹	۳۳	۵۰۱	۱	۰	۱	۰	۳۶۵	۳۷۷	۷۱	۴۸	۱۴	ST2
۷۶	۰	۰	۳	۰	۰	۳۱	۱	۰	۰	۱۲	۱۰۵	۶۷	۲	۰	۰	۰	۳۵	۳۶۲	۶۵	۹۰	۴	ST3
۱۰۷	۰	۰	۴	۰	۰	۳	۰	۰	۱	۱	۱	۶۸	۶	۰	۰	۰	۶۲	۱۶۱	۴۰	۱۵۰	۲	ST4
۶۵	۰	۰	۱۰	۰	۰	۳	۰	۰	۱	۳	۰	۱۳	۳	۰	۰	۰	۷۳	۲۱۵	۱۲۰	۳۱	۱	ST5
۳۲۰	۱	۵	۲	۰	۰	۲۶	۰	۰	۲	۱۷۲	۱	۱۵۰	۵	۰	۰	۰	۳۹	۵۶۷	۶۳۱	۱۳۳	۳	ST6
۱۲۱	۰	۹۲	۵۹	۰	۰	۱۴۰	۱	۰	۲۴۵	۴۷۴	۳	۶۷	۲۲	۰	۰	۰	۱۱۶	۳۶۵	۱۱۱	۵۲۱	۱۳	ST7
۴۳۲۵	۰	۰	۵	۰	۲۹	۰	۳۸	۸	۷۸	۷	۰	۰	۳	۱۶۷	۰	۰	۳۷	۲۵۲	۱	۱۸	۱۲	ST8
۲۵۱۹	۰	۳۴۳	۳۷	۲	۷	۱	۳۱	۳۱	۸۸	۵۶۵	۱۵	۰	۱۷۳	۱	۰	۱	۱۱۳	۱۴۱	۱۱۶	۱۶۸	۳۰	ST9

جمع کل	Entomobrydae	Gammaridae	Coridae	Limoniidae	Hexatoma	Limonia	Oxycera	Stratiomyidae	Tabanus	Muscidae	Atherix	Blepharicridae	Empididae	Psychodidae	Tonoirella	Simulium	Dolichopus	Ceratopogonidae	Eriopera	Dicranata	Tipula	ایستگاه
۲۰۶۸	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۹	۱	۰	۰	۰	۱	ST1
۱۶۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۷	۰	۰	۰	۱	۰	ST2
۸۷۱	۲	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۹	۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	ST3
۶۱۸	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۴	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۴	ST4
۵۵۶	۴	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	ST5
۲۱۴۵	۶	۰	۰	۰	۱۰	۰	۱	۱	۰	۰	۲۶	۲۸	۱۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۵	۱	ST6
۲۴۴۸	۰	۰	۰	۰	۸	۰	۵	۰	۱	۱	۲۴	۱۲	۱	۰	۲	۳۳	۰	۰	۰	۷	۳	ST7
۶۱۱۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۵	۰	۰	۰	۵	۱	۷۷	۷۴	۴۸۴	۱۸	۰	۱	۱	۴۵۶	۷	ST8
۵۲۷۴	۱	۰	۰	۴	۱۲	۰	۸	۰	۲۸	۱	۱۸	۳	۲۱	۱	۴	۷۵۶	۰	۰	۰	۳۶	۱	ST9

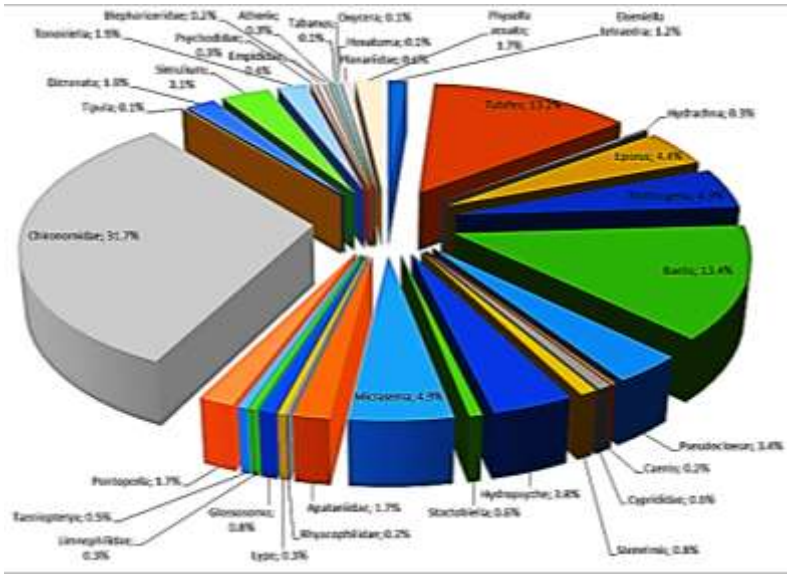
جدول ۸: میانگین تراکم گونه‌ای (عدد/مترمربع) تاکسون شناسایی شده در رودخانه کرج براساس فصل (۹۷-۱۳۹۶)

تراکم (عدد/مترمربع)																					
Arthropoda																					
Chironomidae	Perlodes	Pontoperla	Taeniopteryx	Phryganeidae	Limnephilidae	Glossosoma	Lype	Rhyacophilidae	Apatanidae	Micrasema	Stactobiella	Hydropsyche	Stenelmis	Cyprididae	Caenis	Leptophlebiidae	Pseudocleon	Baetis	Rhithrogena	Eporus	Hydrachna	فصل
۱۰۲۷	۰	۶۳	۳۳	۰	۰	۲۱	۱	۱۷	۱۱۰	۲۸۷	۵۱	۲۴۸	۸۳	۵۰	۱۴	۰	۱۸۰	۷۷۶	۳۱۲	۲۲۶	۲۰	پاییز
۱۷۵۹	۰	۱۱۹	۱۸	۰	۰	۶۰	۱۸	۰	۸۱	۲۴۵	۱۸	۱۳۲	۴	۴	۸	۰	۱۲۴	۳۷۸	۱۷۹	۲۰۴	۱۳	زمستان
۴۵۰	۰	۱۴	۰	۲	۳۴	۹	۱۲	۰	۴	۳۸	۲	۷۰	۳	۲۱	۱	۰	۵۷	۲۳۲	۷۰	۶۹	۱	بهار
۴۴۶	۰	۰	۲	۰	۳	۵	۱	۰	۱	۱	۰	۷	۵	۰	۱	۰	۳۷	۱۵۵	۲	۱۸	۴	تابستان

جمع کل	Entomobrydae	Gammaridae	Coridae	Limoniidae	Hexatoma	Limonia	Oxycera	Stratiomyidae	Tabanus	Muscidae	Atherix	Blepharicridae	Empididae	Psychodidae	Tonoirella	Simulium	Dolichopus	Ceratopogonidae	Eriopera	Dicranata	Tipula	فصل
۳۷۵۱	۲	۰	۰	۲	۳	۱	۵	۰	۰	۰	۱۴	۱	۷	۸	۱۲۲	۱۹	۱	۰	۱	۳۹	۶	پاییز
۲۵۹۱	۲	۰	۰	۰	۶	۰	۲	۰	۱۲	۰	۱۵	۰	۴۰	۱۹	۷۴	۱۲	۰	۱	۰	۴۱	۲	زمستان
۱۲۷۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۲	۰	۰	۰	۲	۱	۴	۶	۲۲	۲	۰	۰	۰	۱۳۸	۲	بهار
۱۰۶۸	۲	۰	۰	۰	۵	۰	۲	۰	۰	۰	۲	۲۷	۲	۰	۰	۳۳۴	۰	۰	۰	۶	۱	تابستان

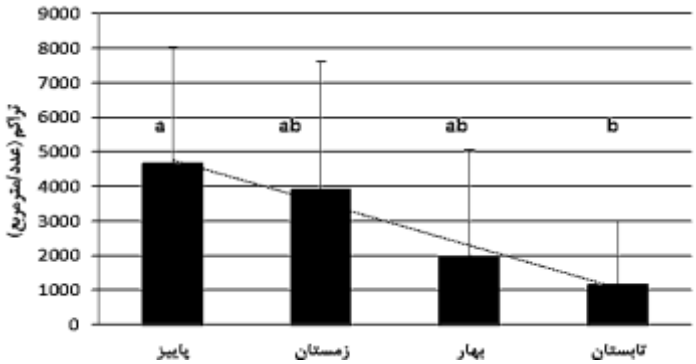


(ب)



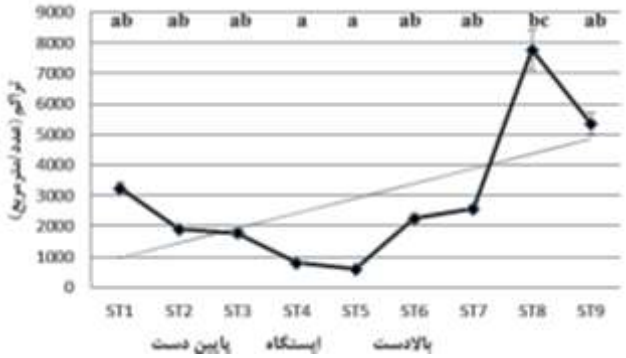
(الف)

شکل ۵: درصد گونه‌های ماکروبنتوزها (الف) و ترکیب گروه‌های عمده در رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)



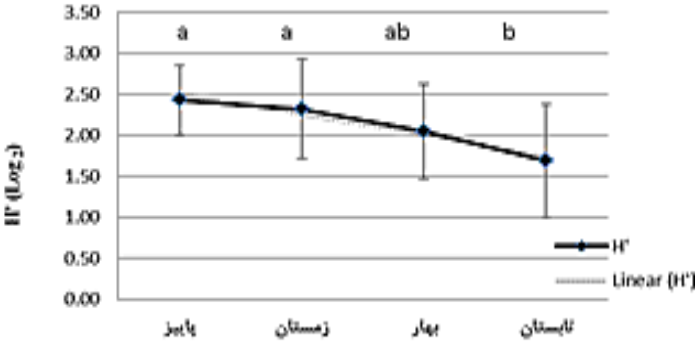
شکل ۶: میانگین (±SD) تغییرات فصلی تراکم ماکروبنتوزها در رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

(خط نقطه چین معرف شیب تغییرات و حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری Corrected α=۰/۰۰۸ با انجام آزمون Mann-whitney test می‌باشد)



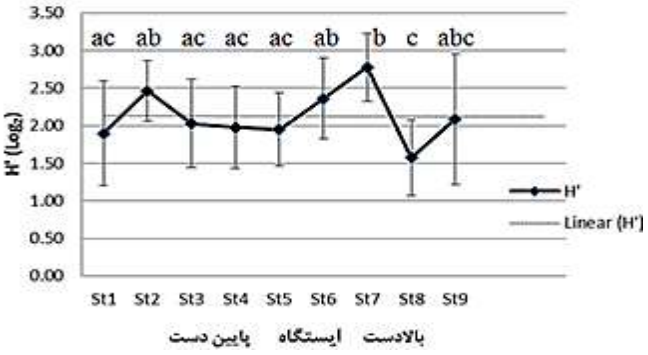
شکل ۷: میانگین سالانه (±SD) تراکم ماکروبنتوزها در ایستگاه‌های رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

(خط نقطه چین معرف شیب تغییرات و حروف متفاوت، نشانه وجود اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری p<۰/۰۵ با آزمون توکی می‌باشد)



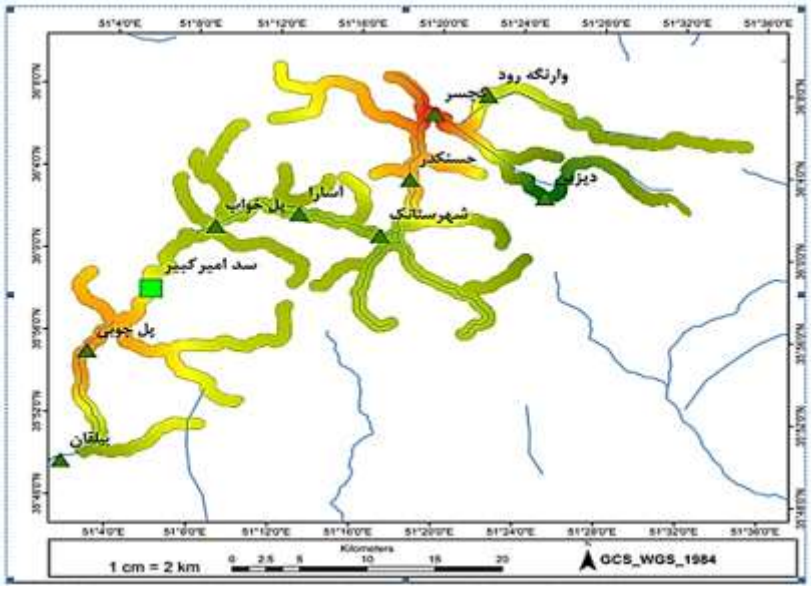
شکل ۸: میانگین (±SD) شاخص شانون براساس فصل در رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

(نقطه چین نشانه شیب تغییرات و اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری p<۰/۰۵ با آزمون توکی می‌باشد)



شکل۹ : میانگین سالانه (±SD) شاخص شانون - وینر (H') در ایستگاه‌های مختلف رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶)

(نقطه چین نشانه شیب تغییرات و حروف متفاوت، نشانه وجود اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری p<۰/۰۵ با آزمونTukey HSD می‌باشد)



شکل ۱۰: نقشه درون‌یابی (IDW) شاخص شانون در ایستگاه‌های رودخانه کرج (۹۷- ۱۳۹۶)

رنگ قرمز نقاط با کیفیت پایین‌تر و رنگ سبز، کیفیت بهتر را نشان می‌دهد.

جدول ۹: طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک ایستگاه‌های رودخانه کرج براساس شاخص شانون (۹۷-۱۳۹۶)

B.I	ایستگاه (پایین دست)					ایستگاه (بالادست)				وضعیت اکولوژیک منطقه (٪)	
	ST9	ST8	ST7	ST6	ST5	ST4	ST3	ST2	ST1	غیر قابل قبول(B,P,M)	قابل قبول (G, H)
$H'(log_2)$	(M)	(P)	(M)	(M)	(P)	(P)	(M)	(M)	(P)	۱۰۰	۰

بحث

براساس داده‌ها و نتایج مطالعات فیزیکوشیمیایی آب رودخانه به‌نظر می‌رسد روند تغییرات مکانی از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه کرج و هم‌چنین روند تغییرات زمانی از پاییز به تابستان، دارای روال مشخص و غالباً معنی‌دار می‌باشد. براساس جداول ۳ و ۴، فصل بهار با افزایش حجم آب رودخانه با سایر فصول متفاوت بوده و ایستگاه ۶ و سپس ایستگاه ۲ با اکثر ایستگاه‌های بالادست (ایستگاه ۸ و ۹) به‌واسطه پارامترهای شوری، هدایت الکتریکی و TDS و ایستگاه ۵ نیز به‌خاطر افزایش کدورت از سایر ایستگاه‌ها متمایز به‌نظر می‌رسد. درخصوص روند تغییرات دمایی در طول رودخانه کرج می‌توان گفت تغییرات از ایستگاه‌های ۷، ۸ و ۹ (به‌عنوان ایستگاه‌های شاهد) به‌دلیل دارا بودن ارتفاع بالاتر (بیش از ۲۲۰۰ متر) به‌سمت ایستگاه‌های دارای ارتفاع کم‌تر افزایشی می‌باشد.طوری‌که این روند تا ایستگاه سوم‌که در مجاور سد در بالادست این سازه قرار دارد ادامه داشته ولی بعد از سد (ایستگاه دوم با ارتفاع تقریباً ۱۶۰۰ متر) این روند افزایشی دمای آب دچار اختلال‌شده است. این‌موضوع می‌تواند بیانگر اثر ساخت این سازه در تغییر شرایط اکولوژیک رودخانه و زیست‌مندان آن باشد. به‌طورکلی در ایستگاه‌های مختلف این مطالعه، میزان شوری با هدایت الکتریکی و TDS و میزان کدورت با افزایش TDS و هدایت الکتریکی‌ارتباط مثبت نشان می‌دهد. از طرفی براساس آزمون PCA، TDS، هدایت الکتریکی و شوری و pH ازجمله متغیرهای اصلی و موثر (PC1) در مطالعه حاضر به‌حساب می‌آیندو دما، اکسیژن محلول،عمق و کدورت به‌عنوان مولفه دوم (PC2) و مجموعه متغیرهای موثر بعدی معرفی می‌شوند (جدول۵). نتایج محمودی (۱۳۹۳) نیز بیانگر این بود که پارامترهای شیمیایی کدورت، نیترات، فسفات و pH از مهم‌ترین عوامل محیطی موثر بر شاخص‌های جمعیت کفزیان درمحدوده ولایت‌رودو شهرستانک بوده است. این موضوع با نتایج عادلی و همکاران (۱۳۹۸) که ارتباط معنی‌داری را بین پارمترهای مختلف محیطی ازجمله اکسیژن محلول، دمای آب و pH با همدیگر و با تغییرات ساختاری جمعیت ماکروبنتوزها گزارش نکرده کاملاً در تضاد می‌باشد. در صورتی‌که در گزارشات مختلف ارتباط بین پارامترهای محیطی و تغییرات ساختاری وفراوانی‌ماکروبنتوزها به‌اثبات‌رسیده است(صابری و همکاران، ۱۳۹۰؛ Wangو همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین با توجه به تغییرات معنی‌دار

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در زمان و مکان، به‌نظر می‌رسد بر کیفیت آب و در نتیجه پراکنش جمعیت ماکروبنتوزها قابل اثرگذار باشند. براساس نتایج و داده‌های محیطی آب می‌توان ایستگاه‌ها را بر اساس میزان شباهت یا میزان اختلاف در گروه‌های مختلفی دسته‌بندی نمود (شکل ۲). بنابراین می‌توان گفت ایستگاه‌های ۶ و ۶ شباهت بالایی با هم داشته که می‌تواند به‌دلیل حضور فعالیت‌های انسانی استرس‌زا (ساخت و ساز جاده‌ای و فعالیت‌های تفرجی) و سازه‌های موجود (مثل سد) باشد. ایستگاه‌های ۳، ۴ و ۵ با سایر ایستگاه‌ها، از لحاظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب تفاوت بیش‌تری را نشان دادند. براساس دسته‌بندی ایستگاه‌ها در این مطالعه می‌توان به‌منظور کاهش هزینه‌های تحقیقاتی در مطالعات مشابه در زمینه ارزیابی کیفی آب رودخانه کرج، تعداد ایستگاه‌هایی که تشابه زیادی دارند را کم کرد و به‌جای آن از ایستگاه نماینده هر گروه استفاده نمود. البته به‌منظور پیش‌بینی دقیق‌تر و انتخاب ایستگاه‌های شاخص برحسب اهداف مطالعات، بهتر است از نتایج سایر پارامترهای مورد مطالعه نیز در گروه‌بندی ایستگاه‌ها بهره جست.

در مطالعه حاضر، ۵۱ تاکسون از ۴۲ خانواده شناسایی شد که بیش‌تر از تعداد تاکسون‌های گزارش شده قبلی می‌باشد. در مطالعه محمودی(۱۳۹۳)، شکری‌پور و اشجع‌اردلان (۱۳۹۵)، عبدلی (۱۳۹۵) و موسوی‌رینه و پورابراهیم(۱۳۹۸)، به‌ترتیب ۳۷، ۲۲، ۲۴ و ۲۳ خانواده گزارش شده است. یکی ازدلایل تفاوت در تعداد تاکسون‌های گزارش شده می‌تواند تعداد ایستگاه‌ها و تعداد فصول مورد مطالعه باشد که از مطالعات قبلی جامع‌تر بوده است. با توجه به این ویژگی در این مطالعه تعداد کل موجودات و به اصطلاح نمونه مشاهده شده بالغ بر ۳۸۴۰۰ عدد جمع‌آوری گردید که بالغ بر ۱۵۰۰۰ عدد نمونه فقط در پاییز مشاهده شد. این میزان نمونه از گزارشات قبلی به‌مراتب بیش‌تر بوده است. تعداد شاخه‌ها و جنس شناسایی‌شده در مطالعه عادلی و همکاران (۱۳۹۸) در محدوده رودخانه گرگانرود به‌ترتیب ۳ و ۱۶ گزارش شده که با نتایج مطالعه حاضر اختلاف فاحشی داشته است. این موضوع می‌تواند به‌دلیل اختلاف شرایط اکولوژیک ازجمله پارامترهای محیطی، اقلیمی، نوع بستر و ... در دو منطقه مورد مطالعه باشد. در این مطالعه، میانگین تراکم سالانه در رودخانه کرج ۲۹۱۱ عدد/مترمربع به ثبت رسید. همان‌طورکه در شکل ۵–ب نشان داده شده است، جمعیت بندپایان و کرم‌های حلقوی در مجموع ۹۷ درصد تراکم ماکروبنتوزهای شناسایی شده را تشکیل می‌دهند. درصد فراوانی ماکروبنتوزها در مطالعه حاضر با نتایج گزارش شده عادلی و همکاران (۱۳۹۸) کاملاً متفاوت می‌باشد. در گزارش مذکور نرم‌تنان ۶۳ درصد فراوانی را شامل می‌شدند درصورتی‌که در مطالعه حاضر بندپایان گروه غالب می‌باشند. ۸ تاکسون Chironomidae ,*Hydropsyche*, *Eporus*, *Rhithrogena*, *Baetis*, *Micrasema* ,*Pseudocloeon* و *Simulium* از بندپایان و *Tubifex* از کرم‌های حلقوی در مجموع حدود ۹۳ درصد تراکم گونه‌های ماکروبنتوزها را تشکیل می‌دهند. براساس نتایج جمعیت ماکروبنتوزها، تغییرات زمانی و مکانی پراکنش ماکروبنتوزها (بندپایان، کرم‌های حلقوی، کرم‌های پهن و نرم‌تنان) در طول رودخانه (جداول ۷ و ۸ و اشکال ۳ و ۴) مشهود می‌باشد. ماکروبنتوزها در فصل پاییز بیش‌ترین تراکم را داشتند که از این لحاظ با نتیجه شکری‌پور (۱۳۹۴) که در زمستان بیش‌ترین فراوانی را گزارش نموده، کمی متفاوت می‌باشد. البته در مطالعه حاضر بعد از پاییز، در زمستان بیش‌ترین تراکم ماکروبنتوزها مشاهده گردید. بیشینه فراوانی بندپایان ۶۱۱۰ عدد/مترمربع و کرم‌های حلقوی ۱۶۴۸ عدد/مترمربع در ایستگاه ۸ و کرم‌های پهن ۱۰۹ عدد/مترمربع در ایستگاه ۷ مشاهده شده ولی بیشینه فراوانی نرم‌تنان ۳۹۴ عدد/مترمربع در ایستگاه ۱به ثبت رسید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آنالیدها، کرم‌های پهن و بندپایان، در بالادست رودخانه دارای تراکم بالاتری بوده ولی نرم‌تنان در پایین‌دست رودخانه بیش‌تر مشاهده شدند.

در طول این مطالعه Chironomidae، *Baetis* و *Tubifex* تاکسون‌های غالبی بودند که در همه ایستگاه‌ها مشاهده شدند. Chironomidae در همه فصول بیش‌ترین تراکم را داشته و در زمستان بالاترین تراکم را نشان داده است. هم‌چنین نتایج مشابهی توسط محمودی (۱۳۹۳) در سرشاخه‌های ولایت‌رود و شهرستانک در ۷ ایستگاه نشان داد که بالاترین درصد تراکم متعلق به خانواده‌های Baetidae و Chironomidae بوده و بیش‌ترین فراوانی ماکروبنتوزها در فصل تابستان مشاهده گردید. در مطالعه حاضر Chironomidae در همه فصول بیش‌ترین تراکم را نسبت به سایرین داشته و در زمستان بالاترین تراکم خود را نشان داده است که از این لحاظ متفاوت با نتیجه به ثبت رسیده محمودی (۱۳۹۳) می‌باشد. نتایج مشابه مبنی بر بالاترین فراوانی نسبی شیرونومیده‌ها نیز توسط شیرچی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش شده است که در ۴ ایستگاه در طول رودخانه جاجرود انجام شد. به‌طورکلی تغییرات زمانی فراوانی ماکروبنتوزها می‌تواند به ویژگی‌های زیستی و سیکل زندگی این موجودات وابسته باشد. از طرفی حضور یا عدم حضور برخی تاکسون‌ها ازجمله حضور شیرونومیده در اکثر ایستگاه‌ها می‌تواند تحت تاثیر عوامل طبیعی، استرس‌های موجود و مقاومت نسبی آن‌ها به عوامل محیطی باشد (صابری و همکاران، ۱۳۹۰؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۲). براساس میزان تحمل (جدول ۶)، تاکسون‌هایی که تحمل آن‌ها به استرس و آلودگی کم‌تر است در بالادست رودخانه و ایستگاه‌های ۷، ۸ و ۹ و گونه‌های مقاوم‌تر در ایستگاه‌های ۳، ۴ و ۵ پراکنش و تراکم بیش‌تری دارند. این موضوع می‌تواند تاثیر شرایط محیطی بر پراکنش ماکروبنتوزها را نشان دهد و از طرفی می‌توان براساس واکنش متقابل این موجودات به ارزیابی کیفی آن‌ها پرداخت.

بنابراین به‌منظور بررسی کیفیت آب رودخانه با استفاده از تغییرات جمعیت ماکروبنتوزها شاخص تنوع شانون محاسبه شد. در مطالعه حاضر میانگین شاخص شانون در منطقه ۲/۱۲ محاسبه شد که از نتایج شکری‌پور (۱۳۹۴) با میانگین شاخص ۱/۷۳، بیش‌تر می‌باشد. لذا براساس جدول ۲، وضعیت آلودگی رودخانه، نسبتاً آلوده (متوسط) ارزیابی می‌شود. نتایج مشابهی توسط موسوی‌رینه و پورابراهیم (۱۳۹۸)، کیفیت ایستگاه‌های سیرا، پل خواب، آدران و پورکان (به‌ترتیب در بالادست و پایین‌دست سد امیرکبیر) را دارای آلودگی ارزیابی نمود. از طرفی بیشینه میزان شاخص شانون ۲/۴۳ در فصل پاییز و کمینه آن ۱/۶۹ در تابستان مشاهده شد که مشابه نتایج گزارش شده توسط عادلی و همکاران (۱۳۹۸) در ایستگاه‌های مطالعاتی گرگانرود می‌باشد. همان‌طور که از توزیع تراکم و شاخص شانون می‌توان مشاهده نمود (اشکال ۷ و ۹)، به‌طورکلی بخش بالادست رودخانه کرج با تراکم بالای افراد و تنوع گونه‌ای بیش‌تر (به‌ویژه ایستگاه ۷ با بیشینه مقدار ۲/۷۸) توصیف شده است. درصورتی‌که ایستگاه‌های ۳، ۴ و ۵ که احتمالاً در مکان‌های با استرس بیش‌تر واقع شده‌اند، با تراکم و تنوع پایین گونه‌ای توصیف می‌شوند. در این بخش از رودخانه، آنالیدها و بندپایان (Chironomidae، *Tubifex* و *Baetis*) گروه‌های شاخص آن محسوب می‌شوند. در این مطالعه، شیرونومیدها عمده‌ترین گروه ماکروبنتوزها در ایستگاه ۸ را تشکیل می‌دهند. این ایستگاه چون دارای بالاترین تراکم ولی دارای عدم‌یکنواختی در توزیع فراوانی بوده لذا از شاخص تنوع کم‌تری (۱/۵۷) نسبت به سایر ایستگاه‌ها برخوردار می‌باشد. براساس مقدار محاسبه شده شاخص شانون در طول سال (جدول ۹)، ایستگاه‌های ۲، ۳، ۶، ۷ و ۹ با کیفیت متوسط (M) و ایستگاه‌های ۱، ۴، ۵ و ۸ با کیفیت ضعیف (P) ارزیابی شدند. این موضوع بیانگر آن است که کیفیت اکولوژیک رودخانه براساس این شاخص ۱۰۰ درصد از نظر مدیریت محیط‌زیستی غیرقابل قبول می‌باشد که اهمیت مدیریت زیست‌محیطی شامل پایش و کنترل استرس‌های موجود دو چندان می‌نماید. از طرفی موضوعی که مهم و محل ابهام می‌باشد این است که با توجه به این‌که در این مطالعه، بیش‌ترین مقدار شانون در ایستگاه ۷ (۲/۷۸) به‌عنوان ایستگاه شاهد محاسبه شده، باید از بالاترین مقادیر عددی محاسبه شده شاخص شانون، در طبقه‌بندی و ارزیابی وضعیت آب منطقه استفاده نمود. بنابراین به‌منظور بومی‌سازی این شاخص در منطقه باید بالاترین مقدار شانون، در جدول ۲ لحاظ شده و براساس آن رتبه‌بندی میزان آلودگی را انجام داد. قطعاً با اعمال این تغییر، کیفیت آب منطقه بهتر ارزیابی خواهد شد. البته برای بومی‌سازی این شاخص نیاز به ثبت داده‌های مربوطه از ایستگاه‌های شاهد بیش‌تر از سرشاخه‌های رودخانه کرج می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد با تدوین برنامه پایش زیستی رودخانه کرج و ودخانه‌های مشابه در سایر نقاط کشور بتوان داده‌های جامع و منسجم جهت تدوین شاخص‌های تنوع و سایر شاخص‌های زیستی برای ارزیابی کیفی آب رودخانه جمع‌آوری نمود.

منابع

۱. **جوادی، س.م.ا.؛ بدلیانس‌قلی‌کندی، گ. و غلامی، آ.، ۱۳۹۱.** ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج برمبنای شاخص ساپروبی. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. بهمن ۱۳۹۱، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

۲. **خاتمی، س.ه.،** طبقه‌بندی کیفیت رودخانه کرج با استفاده از شاخص اکولوژیک. سازمان حفاظت محیط زیست. www.deo.ir.

۳. **شجاعی‌تکمداش، ف.؛ باباپور، م. و بیشکول، غ.، ۱۳۹۳.** بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی و زیستی کیفیت آب رودخانه کندور تحت تاثیر احداث تونل انتقال آب کرج–تهران. کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری.

۴. **شکری‌پور، ز.، ۱۳۹۴.** شناسایی و بررسی تنوع ماکروبنتوزهای رودخانه کرج. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پزشکی تهران، دانشکده علوم نوین پزشکی. ۱۲۹ صفحه.

۵. **شکری‌پور، ز. و اشجع‌اردلان، آ.، ۱۳۹۵.** شناسایی و بررسی تنوع ماکروبنتوزهای رودخانه کرج. مجله پژوهش‌های جانوری (مجله زیست شناسی ایران). دوره ۲۹، شماره ۴، صفحات ۶۷۶ تا ۶۸۲.

۶. **شیرچی‌ساسی، ز.، ۱۳۹۱.** استفاده از شاخص زیستی ماکروبنتوز برای ارزیابی کیفیت آب: مطالعه موردی رودخانه جاجرود. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.

۷. **صابری، س.ا.؛ جرجانی، س.؛ میرا، س.م. و قلیچی، ا.، ۱۳۹۰.** تعیین فون بنتیک خرمارود شهرستان آزادشهر. مجله علوم زیستی واحد لاهیجان. سال ۵، شماره ۴، صفحات ۱۰۹ تا ۱۱۹.

۸. **عادلی، م.؛ هدایتی، س.ع.ا.؛ پولادی، م. و عادلی، ز.، ۱۳۹۸.** بررسی ترکیب فصلی، فراوانی و تنوع زیستی جوامع کفزیان در رودخانه گرگان‌رود، استان گلستان. مجله محیط‌زیست جانوری. دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات ۳۰۳ تا ۳۱۰.

۹. **عبدلی، ا.، ۱۳۹۵.** ارزیابی ذخایر آبزیان پشت‌سد کرج و رودخانه‌های منهی به آن. سازمان حفاظت محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز.

۱۰. **محمودی، م.، ۱۳۹۳.** بررسی شاخص‌های ماکروبنتیک به‌منظور بررسی آلودگی‌های آب (مطالعه موردی سرشاخه‌های شهرستانک و ولایت‌رود رودخانه کرج). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زیستگاه‌ها و تنوع زیستی. دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم تحقیقات تهران دانشگاه آزاد اسلامی.

۱۱. **موسوی‌رینه، س.م. و پورابراهیم، ش.، ۱۳۹۸.** ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج (استان البرز) با استفاده از شاخص‌های زیستی

درشت‌بی‌مهرگان کفزی. مجله محیط‌زیست جانوری. دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات ۳۳۵ تا ۳۴۴.

12. **Azizi Jalilian, M., 2009.** Selection of Limits of Acceptable Change Indicators for Recreational Activities on Central Alborz Protected Area (southern part), Case study: Karaj River. Mcs. Thesis of Environmental Science, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Karaj. 171 p.
13. **Barbour, M.T.; Gerritsen, J.; Snyder, B.D. and Stribling, J. B., 1999.** Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish (Vol. 339): US Environmental Protection Agency, Office of Water Washington, DC.
14. **Carew, M.E.; Pettigrove, V.J.; Metzeling, L., And Hoffmann, A.A. 2013.** Environmental monitoring using next generation sequencing: rapid identification of macroinvertebrate bioindicator species. Frontiers in zoology. Vol. 10, No. 45, 15 p.
15. **Cavanagh, N.; Nordin, R.N. and Warrington, P.D., 1996**. Freshwater Biological Sampling Manual. Water Management, Ministry of Environment, Lands and Parks, Victoria, BC.
16. **Gerritsen, J.; Carlson, R.E.; Dycus, T.l.; Faulkner, C.; Gibson, G.R.; Harcum, J. and Markowitz, S.A., 1998.** Lake and Resrevoir Bioassessment and Biocriteria Technical Guidance Document. United States Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, Dc (4504f), EPA 841-b-98-007.
17. **Hilsenhoff, W.L., 1988.** Rapid field assessment of of organic pollution with a family-level biotic index. Journa of the North American Benthological Society. Vol. l, pp: 65-68.
18. **Humpesch, U.H. and Fesl. C., 2002.** The effect of river bed management on the habitat structure and Macroinvertebrates community of a ninth order river, in Austria. Archir fur Hydrobiology Large Rivers. Vol. 13, No. 1, pp: 29-46.
19. **Keylock, C., 2005.** Simpson diversity and the Shannon Wiener index as special cases of a generalized entropy. Oikos. Vol. 109, No. 1, pp: 203-207.
20. **Mandaville, S., 2012.** Benthic macroinvertebrates in freshwaters: Taxa tolerance values, metrics, and protocols, Citeseer.
21. **Wang, X., 2012.** Spatial distribution of benthic macro invertebrates in the erhai basin of Southwestern China. Journal of freshwater ecology. Vol. 27, No. 1, pp: 89-96.

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.129548

Scientific Research Journal of Animal Environment Vol. 12, No. 4, Winter 2020

Study of correlation between macrofauna population and water quality status, of Karaj River

- **Seyed Ghasem Ghorbanzadeh Zaferani***: Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran
- **Alireza Sari:** Faculty of Biology, Campus of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
- **Tara Ebrahimi**: Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran
- **Farhad Hosseini Tayefeh:** Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran
- **Sepideh Barzegar:** Faculty of Biology, Campus of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
- **Mona Izadian:** Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran
- **Arya Ashja Ardalan:** Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
- **Seyed Keramat Hashemi Ana**: Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran
- **Ahmadreza Katouzian:** Faculty of Biology, Campus of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
- **Jalil Badamfirouz:** Research Group of Environmental Economics, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran

Received: March 2020 Accepted: June 2020

Key words: Water quality, Shanon index, Macrofauna, Karaj River

Abstract

The distribution, abundance and assemblage structure of macrofauna as one of the important tools in assessing the quality of water, were determined during 9 stations in Karaj River, seasonally; 2017-2018. Sampling of macrofauna was performed with Surber sampler. Also, depth (11±3 cm), temperature (10.5 ± 4.3 ◦C), Salinity (0.01±0.01 ppt), DO (9.3±0.9 mg/l), EC (0.19±0.1^{u}s/m), pH (8.5±0.2), TDS (0.12±0.07 g/l) and Turbidity (19.6±29.1NTU) were measured in each station by multimeter device. A total 38454 individuals belonged to 42 families and 52 taxa were identified. Chironomidae was the most dominant family. The nine families making up 83% of all specimens (*Baetis*, *Tubifex*, *Micrasema*, *Rhithrogena*, *Eporus*, *Hydropsyche*, Leptophlebiidae and *Simulium*). The maximum density (7758 ind/m2) was obtained at station 8 while the minimum (592 ind/m2) was observed at station 5. The station 7 was characterized by the higher species diversity (H', 2.78) and the stations 8 was characterized by the lowest diversity indices (H', 1.57). The PCA showed that TDS, EC, Salinity and pH were the main parameters, and the cluster analysis divided the stations into three groups (G1: St2, St 6; G2: St 8, St 9, St 1, St 7; G3: St 4, St 5, St 3). Although the Shannon Index evaluated the upstream stations better, it generally assessed the water quality of the Karaj River as medium.

* Corresponding Author's email: ghorbanzadeh110@yahoo.com