

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور - پژوهشکده اکولوژی دریای خزر

عنوان:

بررسی تنوع، فراوانی و زی توده جوامع ماکروبنتوز شاخه های
رودخانه سیروان (سدرآوه - سنندج) (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

مجری:

متین شکوری

شماره ثبت

۶۸۴۱۲

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور - پژوهشکده اکولوژی دریای خزر

عنوان طرح/پروژه: بررسی تنوع، فراوانی و زی توده جوامع ماکروبتوز شاخه های رودخانه سیروان (سدژاوه- سنندج) (۱۴۰۳-۱۴۰۲)

کد مصوب: ۱۴-۷۶-۱۲-۱۰۰-۰۲۰۴۶-۰۲۰۸۴۸

نام و نام خانوادگی نگارنده/ نگارندگان: متین شکوری

نام و نام خانوادگی مجری مسئول (اختصاص به پروژه ها و طرح های ملی و مشترک دارد) : -

نام و نام خانوادگی مجری/ مجریان استانی: متین شکوری

نام و نام خانوادگی همکار(ان): حسن نصراله زاده ساروی، حسن فضلی، محمدعلی افرائی بندپی، بهزاد رهنما، رضا

صفری، میثم عرفانی، احد احمدنژاد چهره، محمد کارد رستمی، نرگس عالیشاه، حوریه یونسی پور بهنمیری، سید

اسداله سجادی، ایوب داودی، مرضیه رضائی، محمدرضا شیخ حسنی

نام و نام خانوادگی مشاور(ان): -

محل اجرا: استان مازندران

تاریخ شروع: ۱۴۰۲/۷/۱

مدت اجرا: ۱ سال و ۱۱ ماه

ناشر: موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور

تاریخ انتشار: سال ۱۴۰۴

حق چاپ برای مؤلف محفوظ است . نقل مطالب ، تصاویر ، جداول ، منحنی ها و نمودارها با ذکر مأخذ بلامانع است .

«سوابق طرح یا پروژه و مجری مسئول / مجری»

طرح/پروژه: بررسی تنوع، فراوانی و زی توده جوامع ماکروبتوز
شاخه های رودخانه سیروان (سدژاوه- سنندج) (۱۴۰۳-۱۴۰۲)

کد مصوب: ۱۴-۷۶-۱۲-۱۰۰-۰۲۰۴۶-۰۲۰۸۴۸

شماره ثبت (فروست): ۶۸۴۱۲ تاریخ: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸

با مسئولیت اجرایی سرکار خانم متین شکوری دارای مدرک
تحصیلی دکتری تخصصی در رشته علوم دامی است.

پروژه توسط داوران منتخب بخش اکولوژی منابع آبی در تاریخ

۱۴۰۴/۰۹/۰۲ مورد ارزیابی و با رتبه عالی تأیید گردید.

در زمان اجرای پروژه، مجری در:

ستاد ☐ پژوهشکده ☒ مرکز ☐ ایستگاه ☐

با سمت محقق غیر هیئت علمی در پژوهشکده اکولوژی دریای خزر

مشغول بوده است.

عنوان	«فهرست مندرجات»	صفحه
چکیده		۱
۱-مقدمه		۲
۱-۱-مروری بر مطالعات		۳
۱-۱-۱-سوابق داخل کشور		۳
۱-۱-۲-سوابق خارج از کشور		۴
۲-مواد و روش ها		۶
۲-۱-منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های نمونه برداری		۶
۲-۲-نمونه برداری و شناسایی		۹
۲-۳-اندازه گیری میزان مواد آلی بستر (TOM)		۹
۲-۴-تعیین دانه بندی رسوبات بستر		۱۰
۲-۵-محاسبه شاخص های زیستی		۱۰
۲-۵-۱-شاخص زیستی هیلسنهوف (HFBI)		۱۰
۲-۵-۲-شاخص تنوع شانون-وینر		۱۱
۲-۵-۳-شاخص مقایسه ای تراکم/زیتوده (ABC)		۱۲
۲-۵-۴-تعیین رابطه بین اجتماع ماکروبتوزها و پارامترهای محیطی		۱۲
۲-۵-۵-روش تجزیه و تحلیل آماری داده ها		۱۲
۳-نتایج		۱۳
۳-۱-فصل تابستان ۱۴۰۲		۱۳
۳-۱-۱-تراکم و زی توده جوامع ماکروبتوزی		۱۳
۳-۱-۲-فراوانی نسبی جوامع ماکروبتوزی در ماه های مختلف فصل تابستان		۱۴
۳-۱-۳-میزان مواد آلی رسوبات بستر (TOM)		۱۶
۳-۲-فصل پائیز ۱۴۰۲		۱۷
۳-۲-۱-تراکم و زی توده جوامع ماکروبتوزی		۱۸
۳-۲-۲-فراوانی نسبی جوامع ماکروبتوزی در ماه های مختلف فصل پائیز		۱۹
۳-۲-۳-میزان مواد آلی رسوبات بستر (TOM)		۲۱
۳-۳-فصل زمستان ۱۴۰۲		۲۲
۳-۳-۱-تراکم و زی توده جوامع ماکروبتوزی		۲۲

۲۴	۳-۲-۲- فراوانی نسبی جوامع ماکروبتوزی
۲۵	۳-۳-۳- میزان مواد آلی رسوبات بستر (TOM):
۲۶	۳-۴- فصل بهار ۱۴۰۳
۲۷	۳-۴-۱- تراکم و زی توده جوامع ماکروبتوزی
۲۸	۳-۴-۲- فراوانی نسبی جوامع ماکروبتوزی
۳۰	۳-۴-۳- میزان مواد آلی رسوبات بستر (TOM)
۳۱	۳-۴-۴- تراکم جوامع ماکروبتوزی در کل ایستگاه‌ها طی دوره نمونه برداری
۳۳	۳-۵- زی توده جوامع ماکروبتوزی در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره نمونه برداری
۳۴	۳-۶- فراوانی جوامع ماکروبتوزی در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره نمونه برداری
۳۵	۳-۷- میزان مواد آلی در ایستگاه‌های مورد بررسی در کل دوره نمونه برداری
۳۶	۳-۸- دانه بندی رسوبات بستر در کل دوره نمونه برداری
۳۶	۳-۹- شاخص‌های زیستی
۳۶	۳-۹-۱- شاخص زیستی هیلسنهوف (HFBI)
۳۷	۳-۹-۲- شاخص شانون-وینر (H)
۳۸	۳-۹-۳- شاخص مقایسه‌ای تراکم/زی توده (ABC)
۳۹	۳-۱۰- شاخص‌های محیطی
۴۱	۳-۱۰-۱- روابط بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها با پارامترهای محیطی
۴۲	۳-۱۰-۲- روابط شاخص‌های زیستی و جوامع ماکروبتوز با پارامترهای محیطی
۴۴	۴- بحث
۴۴	۴-۱- تراکم، زی توده و فراوانی جوامع ماکروبتوزها
۴۵	۴-۲- میزان مواد آلی رسوبات بستر
۴۶	۴-۳- دانه بندی رسوبات بستر
۴۶	۴-۴- شاخص‌های زیستی
۴۸	۴-۵- روابط شاخص‌های زیستی و جوامع ماکروبتوز با پارامترهای محیطی
۵۰	۵- نتیجه گیری کلی
۵۱	منابع
۵۴	چکیده انگلیسی

عنوان	«فهرست جداول»	صفحه
جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در حوضه آبریز سد ژاوه - سنندج	۶.....	
جدول ۲: طبقات کیفی آب رودخانه در سیستم هیلسنهوف (Hilsenhoff)	۱۱.....	
جدول ۳: طبقه بندی کیفیت آب بر اساس شاخص تنوع شانون-وینر (Shannon and Wiener, 1949)	۱۱.....	
جدول ۴: وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (تابستان-۱۴۰۲)	۱۳.....	
جدول ۵: وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (پائیز-۱۴۰۲)	۱۸.....	
جدول ۶: وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج (زمستان-۱۴۰۲)	۲۲.....	
جدول ۷: وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (بهار-۱۴۰۳)	۲۷.....	
جدول ۸: تراکم و زی توده ماکروبتوزها در ایستگاه‌های مورد مطالعه رودخانه سیروان (مقیاس‌های رنگی: قرمز-زرد-سبز)	۳۱.....	
جدول ۹: تغییرات پارامترهای محیطی در فصل‌های مختلف طی دوره نمونه‌برداری (۱۴۰۲-۱۴۰۳)	۴۰.....	
جدول ۱۰: ارتباط نسبت پارامترهای محیطی با شاخص‌های زیستی و سه گروه از ماکروبتوزها در رودخانه سیروان	۴۳.....	

عنوان	«فهرست اشکال»	صفحه
شکل ۱: نقشه موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در رودخانه سیروان (سنندج)		۷
شکل ۲: تصاویر ایستگاه های نمونه برداری در رودخانه سیروان (سنندج)		۹
شکل ۳: تغییرات تراکم ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان (تابستان-۱۴۰۲)		۱۴
شکل ۴: تغییرات زی توده ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (تابستان-۱۴۰۲)		۱۴
شکل ۵: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (تیر-۱۴۰۲)		۱۵
شکل ۶: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (مرداد-۱۴۰۲)		۱۵
شکل ۷: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (شهریور-۱۴۰۲)		۱۶
شکل ۸: درصد کل مواد آلی رسوبات بستر (TOM) در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (تابستان-۱۴۰۲)		۱۷
شکل ۹: تغییرات تراکم خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (پائیز-۱۴۰۲)		۱۹
شکل ۱۰: تغییرات زی توده ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (پائیز-۱۴۰۲)		۱۹
شکل ۱۱: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (مهر-۱۴۰۲)		۲۰
شکل ۱۲: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (آبان-۱۴۰۲)		۲۰
شکل ۱۳: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (آذر-۱۴۰۲)		۲۱
شکل ۱۴: درصد کل مواد آلی رسوبات بستر (TOM) در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (پائیز-۱۴۰۲)		۲۱
شکل ۱۵: تغییرات تراکم خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (زمستان-۱۴۰۲)		۲۳
شکل ۱۶: تغییرات زی توده ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (زمستان-۱۴۰۲)		۲۳
شکل ۱۷: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (دی-۱۴۰۲)		۲۴
شکل ۱۸: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (بهمن-۱۴۰۲)		۲۵
شکل ۱۹: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (اسفند-۱۴۰۲)		۲۵
شکل ۲۰: درصد کل مواد آلی رسوبات بستر (TOM) در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (زمستان-۱۴۰۲)		۲۶
شکل ۲۱: تغییرات تراکم خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (بهار-۱۴۰۳)		۲۸
شکل ۲۲: تغییرات زی توده ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (بهار-۱۴۰۳)		۲۸
شکل ۲۳: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (فروردین-۱۴۰۳)		۲۹
شکل ۲۴: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (اردیبهشت-۱۴۰۳)		۲۹
شکل ۲۵: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوز در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (خرداد-۱۴۰۳)		۳۰
شکل ۲۶: درصد کل مواد آلی رسوبات بستر (TOM) در ایستگاه های رودخانه سیروان-سنندج (بهار-۱۴۰۳)		۳۰
شکل ۲۷: تغییرات تراکم ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان در ماه های مختلف (۱۴۰۲-۱۴۰۳)		۳۲
شکل ۲۸: تغییرات تراکم ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)		۳۲
شکل ۲۹: تغییرات زی توده ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان در ماه های مختلف (۱۴۰۲-۱۴۰۳)		۳۳
شکل ۳۰: تغییرات زی توده ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)		۳۳
شکل ۳۱: درصد فراوانی خانواده های ماکروبتوزها در رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)		۳۴
شکل ۳۲: درصد فراوانی ماکروبتوزها در ایستگاه های رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)		۳۴
شکل ۳۳: تغییرات میزان مواد آلی رسوبات بستر در ایستگاه های رودخانه سیروان در ماه های مختلف (۱۴۰۲-۱۴۰۳)		۳۵
شکل ۳۴: تغییرات میزان مواد آلی رسوبات بستر در ایستگاه های مختلف رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)		۳۵

- شکل ۳۵: تغییرات دانه بندی رسوبات بستر درایستگاه‌های رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳) ۳۶
- شکل ۳۶: تغییرات شاخص هیلسنهوف درایستگاه، ماه و فصل های نمونه برداری در رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳) ۳۷
- شکل ۳۷: تغییرات شاخص هیلسنهوف درایستگاه‌های رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳) ۳۷
- شکل ۳۸: تغییرات شاخص تنوع شانون در ماه و فصل های مختلف در رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳) ۳۸
- شکل ۳۹: منحنی‌های ABC برای جوامع ماکروبتوز در ایستگاه‌های مختلف رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳) ۳۹
- شکل ۴۰: تحلیل تطبیقی مبتنی بر فاصله (dbRDA) روابط بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها با متغیرهای محیطی در رودخانه سیروان ۴۱
- شکل ۴۱: رتبه‌بندی nMDS بر اساس شباهت Bray-Curtis و خوشه‌بندی ترکیب مجموعه ماکروبتوزها در ۶ ایستگاه و چهار فصل در رودخانه سیروان ۴۲

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی وضعیت ماکروبنتوزهای رودخانه سیروان به منظور تعیین تنوع، تراکم و زی‌توده گروه‌های مختلف ماکروبنتوز و تعیین کیفیت آب رودخانه بر اساس جوامع ماکروبنتوزی بود. این تحقیق در شاخه‌های رودخانه سیروان استان کردستان (بعد از سد مخزنی ژاوه) انجام شد. نمونه‌برداری با استفاده از نمونه بردار سوربر و از ۶ ایستگاه شامل ایستگاه ۱ (بالادست قشلاق)، ایستگاه ۲ (شاخه قشلاق قبل از تصفیه خانه فاضلاب، ایستگاه ۳ (شاخه قشلاق بعد از تصفیه خانه)، ایستگاه ۴ (شاخه قشلاق)، ایستگاه ۵ (شاخه گاوه‌رود) و ایستگاه ۶ (شاخه سیروان-تلاقی) از تیر ۱۴۰۲ تا خرداد ۱۴۰۳ به مدت یکسال (به صورت ماهانه) انجام شد. نمونه‌ها توسط الکل اتیلیک ۷۰ درصد تثبیت و در آزمایشگاه جداسازی، شناسایی و شمارش شدند. شناسایی نمونه‌ها با استفاده از استریومیکروسکوپ و کلیدهای شناسایی معتبر انجام شد. شاخص زیستی هیلسنهوف و میزان مواد آلی رسوبات بستر نیز تعیین شد. در مجموع تعداد ۳۳۴۸۹ موجود از ۳ شاخه، ۷ رده، ۱۱ راسته و ۱۵ خانواده شامل Chironomidae، Lumbriculidae، Simuliidae، Baetidae، Hydropsychidae، Erpobdellidae، Potamidae، Glosiphonidae، Physidae، Sphaeriidae، Heptageniidae، Gammaridae، Tipulidae و Valvatidae شناسایی شدند. بیشترین میانگین تراکم طی بررسی یک سال، در ایستگاه ۲ با $(932 \pm 203 / 46)$ بود که با سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار داشت ($p < 0.05$). بیشترین میانگین زی‌توده در ایستگاه ۵ $(14 / 509 \pm 7 / 051)$ مشاهده شد که با سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار را نشان داد ($p < 0.05$). همچنین بیشترین تراکم متعلق به خانواده Chironomidae با 13286 ± 222 عدد در متر مربع (با بیشترین فراوانی، ۴۰٪) و کمترین تراکم متعلق به خانواده Potamidae با 29 ± 3 عدد در متر مربع بود. درصد فراوانی ماکروبنتوزها در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که کمترین و بیشترین فراوانی به ترتیب با ۳٪ و ۲۶٪ مربوط به ایستگاه ۳ و ۵ بود. بررسی سالانه میزان مواد آلی رسوبات بستر نشان داد که ایستگاه ۱ با $(3 / 29 \pm 0 / 58)$ کمترین میانگین میزان درصد مواد آلی رسوبات بستر و ایستگاه ۳ با $(23 / 55 \pm 7 / 14)$ بیشترین آن را طی سال به خود اختصاص دادند. نتایج نشان داد که ایستگاه ۵ در اغلب شاخص‌ها بهترین وضعیت زیستی را نشان داد و با بالاترین تنوع، زی‌توده و پایین‌ترین شاخص هیلسنهوف، دارای کم‌ترین آلودگی بود.

کلمات کلیدی: تنوع، ماکروبنتوز، کیفیت آب، شاخص زیستی هیلسنهوف، رودخانه سیروان، استان کردستان.

۱- مقدمه

آب‌های جاری تنها منابع آبی هستند که در بین اکوسیستم‌های آبی، مسیرهای طولانی را از میان اکوسیستم‌های کوچک و بزرگ مانند کوه، جنگل، شهر و روستا طی می‌کنند و به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تامین نیاز شرب، کشاورزی و صنعت هر منطقه محسوب می‌شوند. از طرفی افزایش سریع جمعیت و نیاز روز افزون به تولیدات کشاورزی، استفاده صحیح و بهره‌برداری کامل از کوچک‌ترین منابع آبی موجود به‌ویژه در مناطق خشک‌تر امری ضروری است (Zhang et al., 2015). فعالیت‌های انسانی از جمله ساخت سد در بالادست، تخلیه فاضلاب و ورود پساب‌های کشاورزی حاوی کودها و سموم، نه‌تنها زیستگاه‌های بستر رودخانه را محدود کرده، بلکه باعث تغییر در ساختار میکروبتوزها نیز شدند (Du et al., 2019). میکروبتوزها مؤثرترین اجزای زیستی رودخانه‌ها هستند و به‌دلایل متعدد در برنامه‌های پایش زیست بوم‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این موجودات بسترزی نسبتاً غیر مهاجر، بیانگر شرایط محلی می‌باشند و دارای دوره زندگی کافی برای نشان دادن کیفیت محیط زیست خود هستند (پیرعلی و ابراهیمی، ۱۳۹۵). برنامه‌های کنترل زیستی کیفیت آب عموماً بر اساس کنترل پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است که بیانگر وضعیت لحظه‌ای محیط آبی هستند ولی ارزیابی زیستی با استفاده از موجودات شاخص نظیر میکروبتوزها نیز منعکس‌کننده تغییرات درگذر زمان است و از این جهت قابلیت استناد بیشتری دارد. میکروبتوزها یکی از عمومی‌ترین ابزارهای مورد استفاده به‌عنوان شاخص زیستی برای ارزیابی تأثیر آلودگی بر محیط‌های آبی هستند (Kim et al., 2020). از این رو پایش زیستی از طریق جوامع میکروبتوزها می‌تواند مؤثر باشد و برنامه‌هایی که از روش‌های پایش زیستی برای تعیین پیامدهای زیست‌شناختی رودخانه‌ها استفاده می‌شود، در سراسر جهان اثبات شده است (Kevin and Vincent, 2011). سدهای مخزنی در مسیر رودخانه‌ها و برای ذخیره‌سازی آب رودخانه و با اهداف متفاوت احداث می‌شوند و از مناسب‌ترین روش‌ها برای مهار و ذخیره‌سازی منابع آب‌های سطحی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از آن‌ها برای تامین نیازهای آبی برای توسعه و گسترش فعالیت‌های کشاورزی در جهت تامین نیازهای غذایی جامعه هستند. در مقابل اثرات مثبت احداث سد، پیامدهای منفی مانند تشدید فرسایش در مسیر رودخانه پائین دست، مانع حرکت ماهی‌ها به بالادست، باعث تغییر دمای آب‌های پائین دست و باعث آسیب به گونه‌های بومی و غنی شدن آب مخزن سد معمولاً با ورود عناصر غذایی زیاد از قبیل فوسفور و نیتروژن می‌شود (کیان ارثی و همکاران، ۱۳۸۷). سد مخزنی ژاوه در استان کردستان و در مجاورت استان‌های آذربایجان غربی، زنجان، همدان و کرمانشاه و در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سنندج احداث شده است و ساختگاه سد در فاصله ۶ کیلومتری پائین دست محل تلاقی رودخانه‌های گاوهرود و قشلاق و حوضه آبریز آن در گستره سلسله جبال زاگرس قرار گرفته است (امینی و گفتاری، ۱۳۹۶). با توجه به این که اطلاعات در مورد میکروبتوزهای رودخانه‌های قشلاق و سیروان محدود می‌باشد، لذا آگاهی از ساختار جمعیتی میکروبتوزی به‌عنوان یکی از شاخص‌های زیستی در تعیین کیفیت آب رودخانه سیروان (شاخه قشلاق و گاوهرود) قبل از آبرگیری در راستای مطالعات جامع طرح سد ژاوه به‌منظور مصارف غیر شرب و کشاورزی منطقه ضروری است.

۱-۱- مروری بر مطالعات

پژوهش‌های متعدد در خصوص بررسی کیفیت آب و رسوبات رودخانه‌ها در ایران و جهان صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد:

۱-۱-۱- سوابق داخل کشور

میررسولی و همکاران (۱۳۹۰) با ارزیابی زیستی رودخانه زرین گل استان گلستان در ایستگاه‌های مورد مطالعه، ۷ رسته از ماکروبنتوزها را شناسایی کردند و بیان نمودند که حشرات جمعیت غالب این جوامع را تشکیل دادند و مقدار شاخص زیستی هیلسنهوف طی مسیر ایستگاه‌ها دارای نوساناتی بود اما اختلاف معنی‌دار دیده نشد و در طبقه بندی کیفیت آب خوب قرار گرفت.

مطالعه نیک منش و همکاران (۱۳۹۳) در ارزیابی تنوع زیستی رودخانه قشلاق (بالادست)، در کل ۵۹ خانواده از ۶ رده و ۴ شاخه از جوامع ماکروبنتوزی را مشاهده کردند. بیشترین تنوع از رده حشرات با ۱۶ خانواده شناسایی شدند. نادری و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی ماکروبنتوزها در پایاب سد سبلان، گزارش کردند که خانواده مقاوم به آلودگی (Chironomidae) درصد فراوانی قابل توجه‌ای را در مقایسه با گروه‌های حساس به آلودگی آلی (Ephemeroptera, Plecoptera و Trichoptera) تشکیل دادند و بیان نمودند که احتمالاً آلودگی آلی منجر به افزایش گروه‌های مقاوم و کاهش گروه‌های حساس گردید و افزایش غیرعادی تعداد Chironomidae نسبت به موجودات حساس که کاهش مقدار EPT/CHIR را در پی دارد نشان دهنده استرس محیطی است.

نتایج تحقیق ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶) بر رودخانه تجن استان مازندران نشان داد که در مجموع ۹ خانواده از ۷ رسته و ۳ رده شناسایی شدند و شاخص هیلسنهوف کیفیت آب رودخانه را در ماه آبان مناسب و سایر ماه‌های سال ضعیف و نسبتاً ضعیف را نشان داد و بیان نمودند که رودخانه تجن به‌طور فزاینده‌ای تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد و با توجه به کم بودن جریان آبی رودخانه، بهره‌برداری زیاد از آب در فصول کشاورزی، دریافت پساب‌های کشاورزی و تخلیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی کاهش کیفیت آب سیر صعودی دارد.

روچی دقیق و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی ماکروبنتوزهای دریاچه پشت سد ارسباران بیان نمودند که میانگین تراکم ماکروبنتوزهای دریاچه مذکور بسیار پائین‌تر از مطالعات انجام شده بر دریاچه‌های سد تهم، مهاباد، ارس و شویر (Mirzajani, 2007) بود اگرچه به لحاظ ترکیب موجودات با دارا بودن گروه‌های Chironomidae و Tubificidae مشابه اکثر آن‌ها بود اگرچه فراوانی این دو خانواده با ساختار نرم بستر و بالا بودن میزان مواد آلی در ارتباط است.

بررسی‌های هاشمیان (۱۳۹۶) بر ماکروبنتوزهای مشاهده شده در دریاچه پشت سد آزاد سنندج نشان داد که با توجه به جوان بودن این سد، تنها یک گروه از کرم‌های حلقوی با خانواده Lumbriculidae و Tubificidae حضور دارد که خانواده Lumbriculidae بیشترین فراوانی را به خود اختصاص دادند و در مجموع میانگین تراکم و زی‌توده بنتوزها

به ترتیب ۱۱۴۵ عدد در مترمربع و ۴/۱ گرم در مترمربع ثبت شد و بیان شد که تنها کرم‌های حلقوی در دریاچه پشت سد توانایی زیست دارند و با حفاری بستر و ایجاد آشفستگی زیستی در رسوبات منجر به آزادسازی بیشتر فسفر از رسوبات به آب دریاچه می‌شوند که این پدیده با در دسترس قرار دادن رسوبات لایه‌های عمیق‌تر زمینه فعالیت میکروارگانیسم‌ها را بر روی رسوبات فراهم می‌کند و در نتیجه به بهبود شرایط اکسیژنی رسوبات کمک می‌کند. و بیان نمودند که با توجه به عدم غنای گونه‌ای و تراکم پائین ماکروبتوزها در پشت سد نمی‌توان انتظار زیادی از تولید آبزیان با تغذیه ماکروبتوزها داشت.

افرائی بندپی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعاتشان بر روی رودخانه پل سه منتهی به سد میجران در استان مازندران نشان دادند که گروه‌های حساس به آلودگی شامل Baetidae, Heptageniidae و Hydropsychidae بیشترین فراوانی (۸۸٪) را داشتند و بیان نمودند که این امر می‌تواند به زمان و مکان نمونه‌برداری، وضعیت توپوگرافی منطقه، جنس بستر، عمق نمونه برداری، اندازه ذرات، پوشش گیاهی مرتبط باشد.

مطالعات نادری و همکاران (۱۴۰۱) بر شاخه‌های قشلاق و گاوه‌رود با بررسی وضعیت ماکروبتوزها گزارش نمودند که تعداد ۲۱۰۲۰ عدد در مترمربع ماکروبتوز از ۱۰ خانواده طی ۴ فصل شمارش شدند. خانواده Chironomidae در فصول زمستان و تابستان بیشترین حضور را داشت. با بررسی میزان مواد آلی بستر و شاخص زیستی هیلسنهوف گزارش کردند که منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر انواع آلاینده‌ها می‌باشد و بایستی تمام منابع آلاینده‌ها در شاخه‌های اصلی قشلاق و گاوه‌رود و همچنین شاخه‌های فرعی حاوی فاضلاب‌های روستایی مدیریت و ساماندهی شوند.

در ارزیابی کیفیت آب پائین دست رودخانه تجن، نادری و همکاران (۱۴۰۲) تعداد ۸ خانواده از ماکروبتوزها را شناسایی کردند و بر اساس شاخص زیستی هیلسنهوف درجه آلودگی و کیفیت آب را در ایستگاه‌های مختلف بررسی و بیان نمودند این شاخص برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن مناسب بود.

۱-۱-۲- سوابق خارج از کشور

Hahn و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثرات سه سد در آلمان بیان کردند که احداث سدها بر انتقال مواد آلی و مواد معدنی به مناطق پایین دست تأثیر می‌گذارند و در نتیجه بر کیفیت آب و ویژگی‌های زیستی اکوسیستم‌های رودخانه اثر بسزایی دارند و در سد نسبت به آب جاری به دلیل زمان ماندگاری طولانی آب، ذرات محلول و معلق انباشته شده و در نتیجه شفافیت آب پایین دست افزایش می‌یابد.

Wu و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که احداث سدها جوامع ماکروبتوزهای رودخانه‌های پائین دست را تحت تاثیر قرار می‌دهند و بارهای رسوبی را در پایین دست کاهش می‌دهد و تأثیر مثبتی بر تجزیه مواد آلی می‌گذارد که منبع مهم انرژی در رودخانه‌ها است و در نهایت سبب تغییرات گسترده در جوامع زیستی می‌شوند.

Wang و همکاران (۲۰۲۰) یک مطالعه متاآنالیز جهانی برای تعیین کمیت اثرات احداث سدها بر جوامع ماکروبتنوزها با بررسی ۵۴ نشریه انجام دادند و بیان نمودند که سدها رودخانه‌ها را تکه تکه می‌کنند و تنوع زیستی آبزیان را تحت تاثیر قرار می‌دهند و یافته‌های مربوط به اثرات سدها بر ماکروبتنوزهای رودخانه در مناطق و گونه‌های مختلف متفاوت است و مناطق آب و هوایی، ارتفاعات، اندازه سدها، فواصل پایین دست از سدها بر حضور این جوامع اثرگذارند و Plecoptera, Trichoptera و Hemiptera حساس‌ترین گروه‌ها بودند.

Gezie و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی ماکروبتنوزهای رودخانه کوگا اتیوپی بعد از احداث سد، گزارش کردند که فراوانی ماکروبتنوزها (حضور ۴۰ گونه) به‌طور معنی داری افزایش یافت بطوری که در منطقه بالادست بتنوزهای فیلترکننده و در منطقه پائین دست ماکروبتنوزهای خانواده‌های خراش دهنده بیشتر مشاهده شد و بیان نمودند که تنوع و حضور کمتر ماکروبتنوزها را می‌توان به سن پائین سد نسبت داد و پارامترهای کیفیت آب، اثرات انسانی را بر شرایط اکولوژیکی را نشان می‌دهد.

Bredenhand و Samways (۲۰۰۹) با مطالعه ماکروبتنوزهای رودخانه ارست (پشت سد) در آفریقای جنوبی گزارش کردند که تنوع و فراوانی Ephemeroptera, Plecoptera و Trichoptera کاهش یافت و بیان نمودند که بررسی‌های انجام شده در خصوص موجودات بنتیکی نشان داده که شرایط هیپوکسی در رسوبات سبب مرگ و میر موجودات بنتیکی و نیز کاهش تنوع گونه‌ای خواهد شد (Belal et al., 2017).

برای درک و شناخت نقش زیستی ماکروبتنوزها در هر منطقه، تعیین میزان تولید آن‌ها در یک مقطع زمانی ضروری است. این میزان تولید به نوبه خود به میزان رشد و سن موجودات شناسایی شده از محیط بستگی دارد. با بررسی توده زنده و تولید ثانویه موجودات، می‌توان نقش آن‌ها را در اجتماعات بتنوزی ارزیابی و اکوسیستم‌های گوناگون را با هم مقایسه نمود (Wang et al., 2018). در سال ۱۹۷۹ میلادی، هیلسنهوف براساس رابطه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و تاثیرگذاری آلودگی مواد آلی بر جمعیت ماکروبتنوزها فرمول زیستی خود را ارائه داد که به شاخص زیستی هیلسنهوف شهرت یافت (Hilsenhoff, 1988). که از این شاخص برای ارزیابی کیفیت آب استفاده می‌شود. در خصوص سرشاخه‌های قشلاق، گاو رود و سیروان سد ژاوه سندج اطلاعات محدود است.

با توجه به این که اطلاعات در مورد ماکروبتنوزهای شاخه‌های رودخانه سیروان محدود می‌باشد بنابراین آگاهی از این جوامع به‌عنوان یکی از شاخص‌های زیستی در تعیین کیفیت آب رودخانه‌های ذکر شده در راستای طرح ارزیابی اکوبیولوژیکی و آلاینده‌های محیط زیستی شاخه‌های رودخانه سیروان مورد بررسی قرارگرفت.

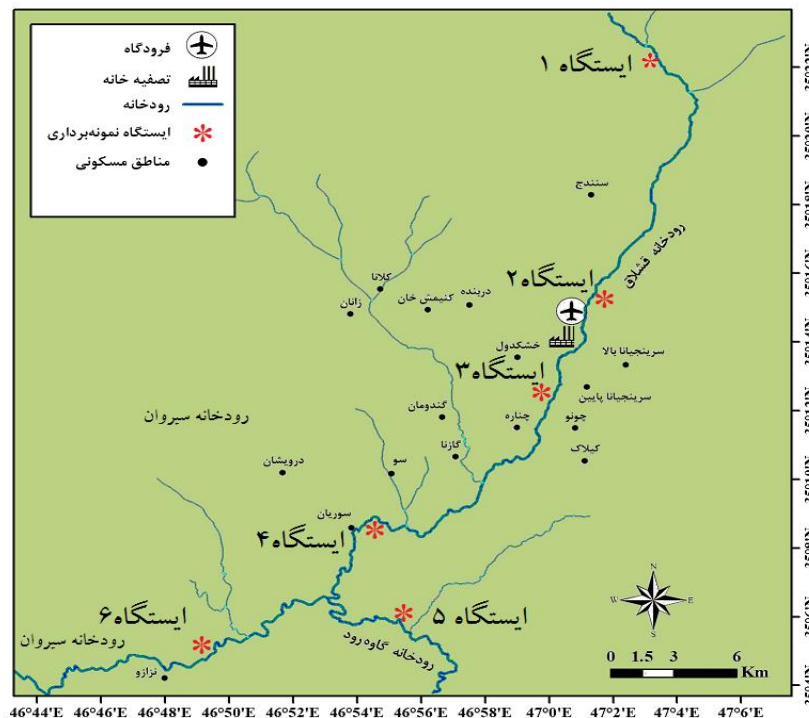
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه برداری

حوضه آبریز سیروان در بخش جنوبی استان کردستان واقع شده است. رودخانه قشلاق نیز جزء حوضه آبریز سیروان و یکی از سرشاخه‌های اصلی آن است که از شمال به جنوب جریان دارد و پس از عبور از شرق شهر سنندج (در فاصله ۲۰ کیلومتری سنندج با روستای بزلانه) با رودخانه گاوه‌رود تلاقی می‌نماید (امانی و همکاران، ۱۳۹۰). پس از بازدید از منطقه مورد نظر و بررسی شرایط محیطی و کاربری‌های متفاوت (کشاورزی، نزدیکی به جاده و روستا) (قلی زاده و پاکروان، ۱۳۹۵) و تعداد ۶ ایستگاه در طول رودخانه تعیین شد. شماره و نام ایستگاه‌های نمونه برداری به همراه موقعیت جغرافیایی آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. ایستگاه ۱ در بالادست قشلاق رود، ایستگاه ۲ قبل از تصفیه خانه فاضلاب و ایستگاه‌های ۳ و ۴ در پائین دست تصفیه خانه و ایستگاه ۵ در شاخه گاوه‌رود و ایستگاه ۶ در شاخه سیروان و در پشت سد بعد از تلاقی قشلاق رود و گاوه‌رود انتخاب شدند (شکل ۱).

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در حوضه آبریز سد ژاوه - سنندج

شماره ایستگاه	ایستگاه	مختصات جغرافیایی
۱	بالادست قشلاق (زیر پل - سه راه مریوان)	N ۳۵° ۲۲' ۳۶"
		E ۴۷° ۰۱' ۱۲"
۲	شاخه قشلاق رود قبل از تصفیه خانه (فرودگاه)	N ۳۵° ۲۲' ۶۱"
		E ۴۷° ۶۲' ۹۱"
۳	شاخه قشلاق رود (پائین دست تصفیه خانه)	N ۳۵° ۱۲' ۱۲"
		E ۴۶° ۵۹' ۳۳"
۴	شاخه قشلاق رود (حدود ۳ کیلومتر پایین تر از ایستگاه ۲ واقع گردید)	N ۳۵° ۰۸' ۰۸"
		E ۴۶° ۵۳' ۵۹"
۵	شاخه گاوه رود	N ۳۵° ۰۵' ۰۴"
		E ۴۶° ۵۵' ۲۱"
۶	شاخه سیروان (پشت سد)	N ۳۵° ۰۳' ۵۲"
		E ۴۶° ۴۹' ۵۱"



شکل ۱: نقشه موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در رودخانه سیروان (سنندج)

تصاویر شکل ۲ ایستگاه های نمونه برداری را نشان می دهد. خصوصیات ایستگاه های نمونه برداری :

الف: ایستگاه ۱، در زیر پل نزدیک به سه راه مریوان با بستر قله سنگی و شنی، این ایستگاه قبل از شهر سنندج واقع شده و عمق آب حدود ۷۰ سانتی متر و جریان نسبتاً شدید داشت.

ب: ایستگاه ۲، رودخانه شاخه قشلاق قبل از تصفیه خانه و مجاور باند فرودگاه بود. در برخی از ماه های سال، امکان نمونه برداری به علت نوع بستر و صعب العبور بودن مسیر و همچنین به علت آلودگی زیاد وجود نداشت.

ج: ایستگاه ۳ با بستر قله سنگی، لایروبی شده در فاصله یک کیلومتری پایین دست تصفیه خانه. عمق آب حدود ۵۰ سانتی متر با جریان نسبتاً شدید. در حاشیه رودخانه باغات و فعالیت های کشاورزی بصورت پراکنده وجود داشت. انواع فاضلاب های صنعتی، شهری و خانگی وارد این ایستگاه می شوند.

د: ایستگاه ۴ با بستر گلی توأم با سنگلاخ و با فاصله حدود ۳ کیلومتر از ایستگاه دوم انتخاب شد. در حاشیه رودخانه بصورت پراکنده باغات و فعالیت های کشاورزی مشاهده شد. عمق آب بیش از ۱/۲۰ متر با سرعت آب نسبتاً شدید و آلوده به انواع فاضلاب هاست.

ه: ایستگاه ۵ با بستر قله سنگی و شنی توأم با سنگلاخ را بود. این ایستگاه در خروجی شاخه گاهورود واقع شده و کمتر دست کاری شده است. این شاخه به شاخه قشلاق یکی شده و شاخه اصلی سیروان را تشکیل می دهد. پوشش گیاهی

حاشیه رودخانه در این ایستگاه از تمامی ایستگاه‌ها بیشتر بوده و عمق آب بیشتر از ۸۰ سانتی متر با سرعت نسبتاً بالا بود. آب نسبتاً شفاف و در حاشیه رودخانه بصورت پراکنده باغات و فعالیت‌های کشاورزی دیده شد.

و: ایستگاه ۶ با بستر سنگلاخی و قلوه سنگی، کمتر دستکاری شده و در فاصله حدود ۷ کیلومتری پایین دست محل تلاقی دو شاخه واقع می شود که شاخه سیروان را تشکیل می دهد. بستر رودخانه دره‌ای (کوهستانی با دیواره بلند)، شیب تند، عمق آب حدود ۲ متر با سرعت بالا مشاهده شد. کدورت آب نسبتاً پایین است.



ب



الف



د



ج



شکل ۲: تصاویر ایستگاه‌های نمونه برداری در رودخانه سیروان (سنندج)

۲-۲- نمونه‌برداری و شناسایی

نمونه برداری از ماکروبنتوزها در راستای مطالعات رودخانه‌ای طرح سد ژاوه در ۶ ایستگاه تعیین شده صورت گرفت. در نمونه برداری از ماکروبنتوزها رودخانه از نمونه بردار سوربر سمپلر به ابعاد $30/5 \times 30/5 \text{ cm}^2$ استفاده شد (Pennak, 1953). نمونه‌برداری از تیر ۱۴۰۲ تا خرداد ۱۴۰۳ به مدت یکسال (به صورت ماهانه) با سه تکرار در هر ایستگاه انجام شد و نمونه‌ها پس از شستشو با الک ۵۰۰ میکرون جداسازی و با محلول الکل اتیلیک ۷۰ درصد تثبیت شدند (Ortiz and Puig, 2007). مشخصات ایستگاه نمونه‌برداری روی آن نوشته شده و به آزمایشگاه بنتوزشناسی در پژوهشکده اکولوژی دریای خزر منتقل شدند. برای شناسایی موجودات از استریومیکروسکوپ مدل SMZ800 و کلیدهای شناسایی معتبر (Edmondson, 1959; Needham, 1962; Hauer and Lamberti, 2007) استفاده شد. همچنین تعداد گونه‌ها شمارش و پس از خشک کردن روی کاغذ صافی با ترازوی حساس دقت (۰/۰۰۱ گرم) وزن تر آن‌ها محاسبه شد. لازم به ذکر است که در بعضی از ماه‌های سال به دلیل شرایط نامساعد اکولوژیکی، نمونه‌برداری از برخی ایستگاه‌ها امکانپذیر نبود.

۲-۳- اندازه‌گیری میزان مواد آلی بستر (TOM)^۱

مقداری از رسوب بستر برای بررسی درصد مواد آلی رسوبات بستر به آزمایشگاه منتقل شد. رسوب بستر برداشت شده از هر ایستگاه در سه تکرار، در بوته چینی ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در آون تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بوته‌ها بعد از خنک شدن در دسیکاتور، توزین و سپس به مدت ۴ ساعت و تحت دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در

^۱. Total Organic Matter

کوره الکتریکی قرار داده شده و پس از خنک شدن، مجدداً توزین شدند و در نهایت با استفاده از رابطه (۱) درصد مواد آلی کل محاسبه شد (Holme and McIntyre, 1984). اندازه‌گیری میزان مواد آلی بستر بصورت ماهانه انجام شد.

$$\text{رابطه (۱): } \text{TOM} = (B-C)/(B-A) \times 100$$

A = وزن بوته چینی خالی، B = وزن بوته‌ی چینی با رسوب بعد از خشک شدن در آون، C = وزن بوته چینی با رسوب بعد از سوختن در کوره الکتریکی

۲-۴- تعیین دانه بندی رسوبات بستر

مقدار ۲۵ گرم از رسوبات هر ایستگاه که در آون خشک شده است، جدا شده و به مدت ۱۲ ساعت در محلول هگزامتافسفات سدیم (با غلظت ۶/۲۸ گرم در لیتر) قرار داده شد و برای جداسازی شن و ماسه (Sand & Gravel) از لای و رس (Silt & Clay) از الک‌های سریالی با چشمه‌های ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵ و ۶۳ میکرون عبور داده شدند. رسوب باقیمانده روی هر الک توزین شده و درصد وزنی هر کدام از آن‌ها محاسبه شد (Holme and McIntyre, 1984).

۲-۵- محاسبه شاخص‌های زیستی

۲-۵-۱- شاخص زیستی هیلسنهوف (HFBI)^۲

به منظور بررسی شرایط و کیفیت آب رودخانه از شاخص زیستی هیلسنهوف استفاده شد. شاخص زیستی هیلسنهوف از رایج ترین شاخص‌های زیستی است که تحمل به آلودگی آلی در موجودات آب‌های جاری را نشان می‌دهد. در این روش آب از نظر آلودگی به مواد آلی طبقه بندی شده (جدول ۲) و میزان شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Hilsenhoff, 1988).

$$\text{رابطه (۲): } \text{HFBI} = \sum [(\text{TV}_i) \text{ Ni}] / N$$

TV_i ارزش تحمل آلودگی در آن گروه، Ni تعداد افراد هر گروه و N تعداد کل افراد می‌باشد (Hilsenhoff, 1988).

^۲.Hilsenhoff Biotic Index

جدول ۲: طبقات کیفی آب رودخانه در سیستم هیلسنهوف (Hilsenhoff)

شاخص زیستی هیلسنهوف	کیفیت آب	درجه آلودگی
۰/۰۰-۳/۷۵	عالی	بدون آلودگی
۳/۷۶-۴/۲۵	بسیار خوب	آلودگی بسیار ناچیز
۴/۲۶-۵/۰۰	خوب	مقداری آلودگی
۵/۰۱-۵/۷۵	متوسط	آلودگی در حد نسبتاً قابل توجه
۵/۷۶-۶/۵۰	نسبتاً ضعیف	آلودگی قابل توجه
۶/۵۱-۷/۲۵	ضعیف	آلودگی خیلی زیاد
۷/۲۶-۱۰/۰۰	بسیار ضعیف	آلودگی شدید

۲-۵-۲- شاخص تنوع شانون-وینر

شاخص Shannon-Wiener که به شاخص شانون معروف است یکی از متداولترین شاخص های تنوع گونه‌ای است که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Shannon and Wiener, 1949). مقدار شاخص شانون از یک محیط تحت استرس شدید با آلودگی زیاد، از مقدار عددی صفر شروع می‌شود و تا حدود ۵ که بیانگر یک محیط سالم است، می‌رسد (جدول ۳).

رابطه (۳):

$$H' = -\sum P_i \times \ln P_i$$

$$P_i = n_i / N$$

H' = شاخص تنوع شانون و واحد آن nits per individual است.

i = گونه

P_i = فراوانی نسبی گونه

جدول ۳: طبقه بندی کیفیت آب بر اساس شاخص تنوع شانون-وینر (Shannon and Wiener, 1949)

شاخص شانون-وینر	طبقه کیفی آب
۳-۵	تمیز
۱-۳	آلودگی متوسط
$1 >$	آلودگی زیاد

۲-۵-۳- شاخص مقایسه‌ای تراکم/زیتوده (ABC)^۳

برای محاسبه این شاخص ابتدا منحنی زیتوده تاکسون‌ها به تراکم آن‌ها برای فصول و ایستگاه‌های مختلف ترسیم شد و سپس شاخص W (Warwick and Clarke, 1994) محاسبه شد. مقادیر منفی، صفر و مثبت به ترتیب نشانگر تحت استرس شدید، متوسط و بدون استرس بودن اکوسیستم هستند.

۲-۵-۴- تعیین رابطه بین اجتماع ماکروبتوزها و پارامترهای محیطی

متغیرهای محیطی شامل پارامترهای فیزیکوشیمیایی (دمای آب، دمای هوا، کدورت، غلظت اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن خواهی شیمیایی، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول در آب (TDS)، فسفات، فسفر کل، غلظت نیتريت، آمونیوم، آمونیاک، نترات و pH) از سایر مطالعات مرتبط با طرح استخراج شد و از مدل خطی مبتنی بر فاصله DistLM برای تجزیه و تحلیل روابط بین ترکیب تاکسون‌ها و متغیرهای محیطی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل پس از نرمال سازی و حذف متغیرهای محیطی بسیار همبسته (بیشتر از ۰/۸) انجام شد. برای انتخاب بهترین مدل از AIC استفاده شد.

۲-۵-۵- روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل تک متغیره داده‌ها شامل شاخص‌های تنوع، چند متغیره و ABC با استفاده از نرم افزار Primer + PERMANOVA انجام شد. مقایسه جوامع در فصول و یا ایستگاه‌های مختلف با استفاده از آزمون پرمانوا (PERMANOVA test) استفاده شد (Anderson et al., 2008). برای مقایسه شاخص‌های تک متغیره از آزمون آنالیز واریانس، پس از نرمال سازی داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گردید. برای رسم جداول، گراف‌ها و برخی محاسبات از نرم افزار Excel استفاده شد.

^۳. Abundance Biomass Comparison

۳- نتایج

۳-۱- فصل تابستان ۱۴۰۲

در آنالیز اطلاعات کیفی و کمی ماکروبتوزها در فصل تابستان (ماه‌های تیر، مرداد و شهریور)، سه شاخه از موجودات مشتمل بر Arthropoda، Mollusca و Annelida و ۱۱ راسته Diptera، Trichoptera، Ephemeroptera، Hygrophila، Rhynchobdellida، Heterostropha، Arhynchobdellida، Amphipoda، Unionida، Lumbriculida و Decapoda مشاهده شدند. در مجموع در فصل تابستان در حوضه آبریز تعداد ۱۳ خانواده شامل Lumbriculidae، Chironomidae، Simuliidae، Baetidae، Tipulidae، Hydropsychidae، Erpobdellidae، Valvatidae، Sphaeriidae، Gammaridae، Glossiphoniidae، Physidae و Potamidae شناسایی شدند که وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) آن‌ها در ماه‌های مختلف تابستان در جدول ۴ نشان داده شده است.

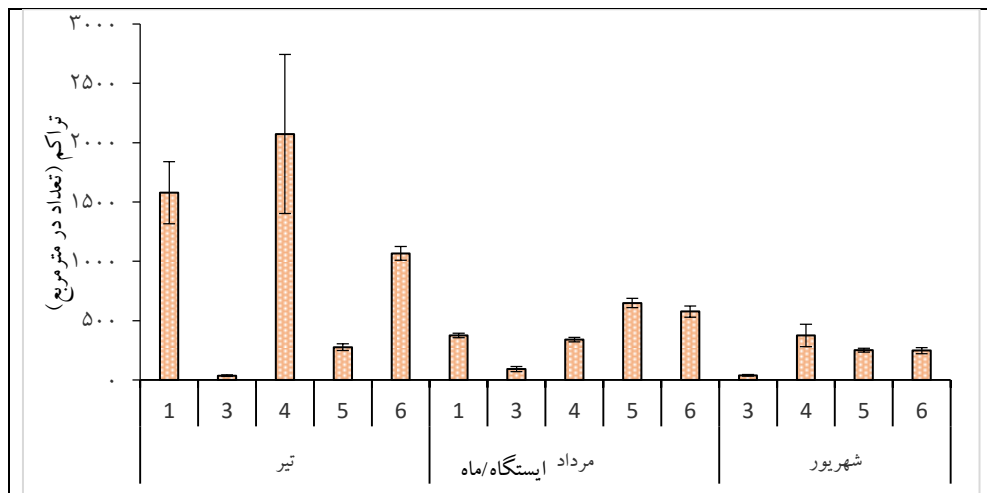
جدول ۴: وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (تابستان-۱۴۰۲)

راسته	خانواده	تیر					مرداد					شهریور			
		۱	۳	۴	۵	۶	۱	۳	۴	۵	۶	۳	۴	۵	۶
Diptera	Chironomidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
	Simuliidae	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-
	Tipulidae	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trichoptera	Hydropsychidae	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-
Ephemeroptera	Baetidae	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-
Lumbriculida	Lumbriculidae	+		+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
Unionida	Sphaeriidae	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-
Amphipoda	Gammaridae	-	-	-	+		-	-	-	+	-	-	-	+	-
Arhynchobdellida	Erpobdellidae	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Heterostropha	Valvatidae	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
Hygrophila	Physidae	-	-	-	-		+	-	-	-	-	-	-	-	+
Decapoda	Potamidae	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-

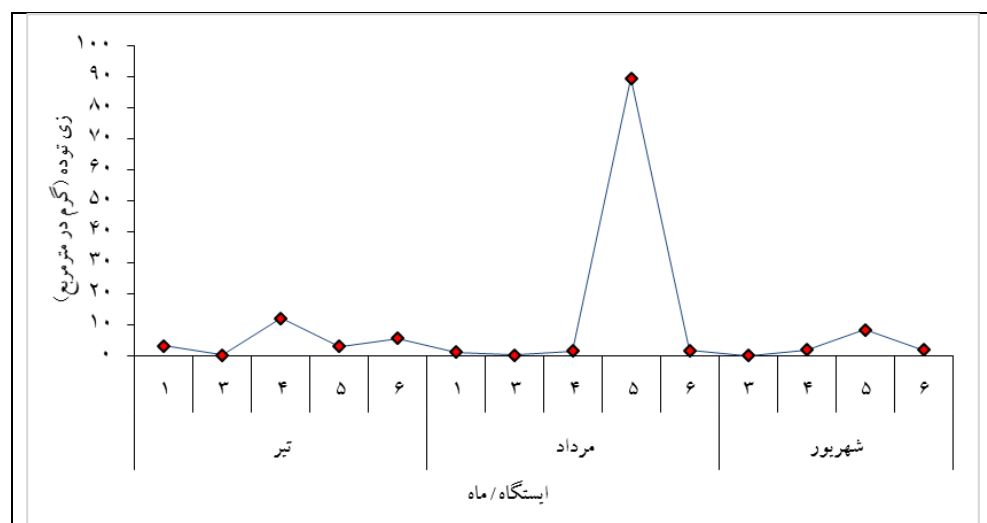
۳-۱-۱- تراکم و زی‌توده جوامع ماکروبتوزی

در شکل ۳ تغییرات تراکم خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد ژاوه در ماه‌های مختلف تابستان نشان داده شد. بیشترین تراکم ماکروبتوزها در تیرماه (50.30 ± 10.6 عدد در مترمربع) مشاهده شد که با سایر ماه‌های سال

اختلاف معنی دار داشت ($p < 0/05$). شکل ۴ تغییرات زی‌توده ماکروبتنوزها را در ایستگاه‌های مورد بررسی در ماه‌های تابستان نشان داده شده است. بیشترین زی‌توده در ایستگاه ۵ مرداد ماه ($89/36 \pm 3/12$ گرم در مترمربع) ثبت شد. بررسی آماری اختلاف معنی‌داری را بین زی‌توده ایستگاه ۵ با سایر ایستگاه‌ها نشان داد ($p < 0/05$) که به دلیل حضور *Sphaeriidae* بود.



شکل ۳: تغییرات تراکم ماکروبتنوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان (تابستان-۱۴۰۲)

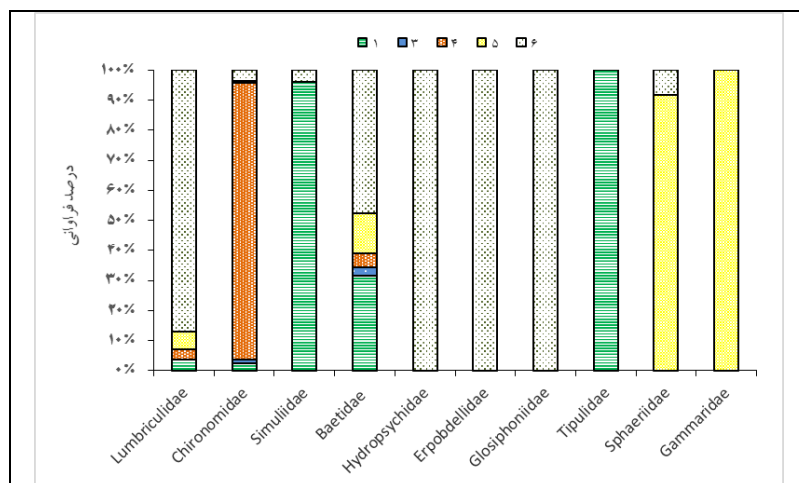


شکل ۴: تغییرات زی‌توده ماکروبتنوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (تابستان-۱۴۰۲)

۳-۱-۲- فراوانی نسبی جوامع ماکروبتنوزی در ماه‌های مختلف فصل تابستان

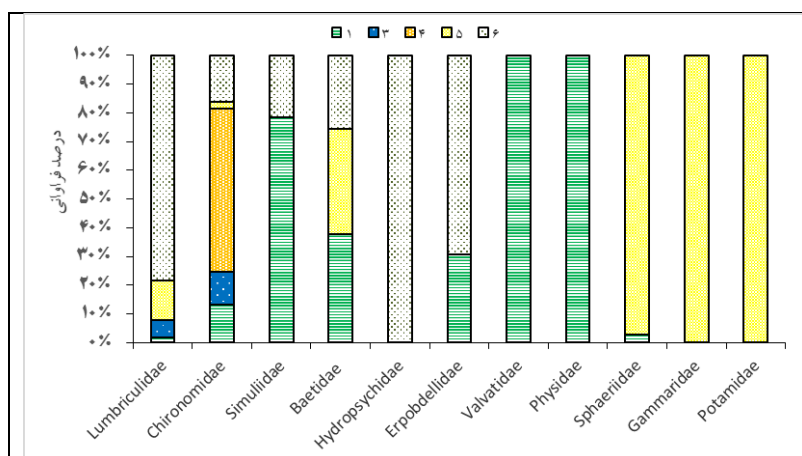
در فصل تابستان، *Chironomidae* و *Simuliidae* به ترتیب با فراوانی ۴۰٪ و ۲۲٪ جمعیت غالب ماکروبتنوزها را در کل ایستگاه‌ها تشکیل دادند. شکل ۵ درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتنوز را در تیرماه در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. خانواده *Chironomidae* بیشترین و کمترین فراوانی را به ترتیب در ایستگاه‌های ۴ و ۵ با ۹۲٪ و ۰/۵٪ و

Lumbriculidae نیز بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۶ با ۸۷٪ داشت. خانواده‌های Baetidae و Simuliidae که درجه مقاومت به آلودگی متوسط را دارند بیشترین فراوانی را به‌ترتیب در ایستگاه ۶ و ۱ با ۴۷٪ و ۹۶٪ داشتند. خانواده Hydropsychidae فقط در ایستگاه ۵ دیده شد. خانواده‌های Erpobdellidae و Glossiphoniidae از رده زالوها فقط در ایستگاه ۶ و Gammaridae نیز فقط در ایستگاه ۵ حضور داشتند.



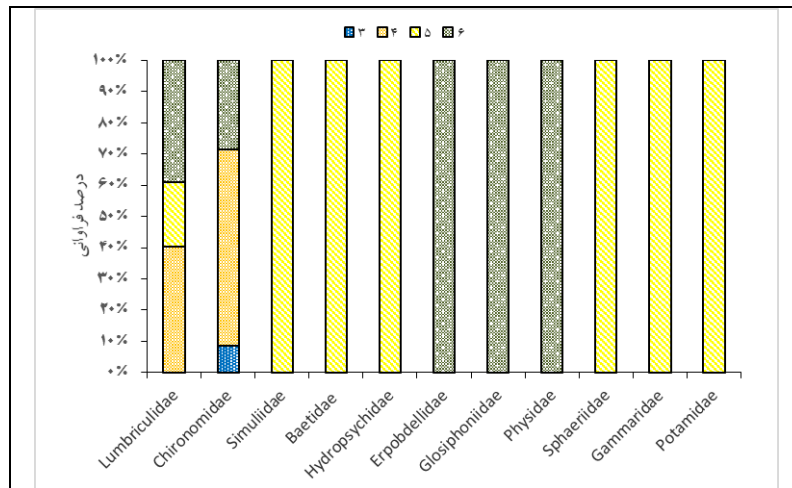
شکل ۵: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبن‌توز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (تیر-۱۴۰۲)

شکل ۶ درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبن‌توز را در مردادماه در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. خانواده Chironomidae در همه ایستگاه‌ها حضور داشت و خانواده Lumbriculidae نیز به‌جز در ایستگاه ۴، در سایر ایستگاه‌ها حضور داشت. بیشترین فراوانی خانواده Chironomidae (با فراوانی ۵۷٪ از کل) در ایستگاه ۴ و بیشترین فراوانی خانواده Lumbriculidae (با فراوانی ۷۸٪ از کل) در ایستگاه ۶ بود. خانواده‌های Baetidae و Simuliidae بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۱ به‌ترتیب با ۳۸٪ و ۷۸٪ و خانواده Hydropsychidae فقط در ایستگاه ۶ حضور داشت. خانواده‌های Gammaridae و Sphaeriidae، Potamidae فقط در ایستگاه ۶ مشاهده شد.



شکل ۶: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبن‌توز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (مرداد-۱۴۰۲)

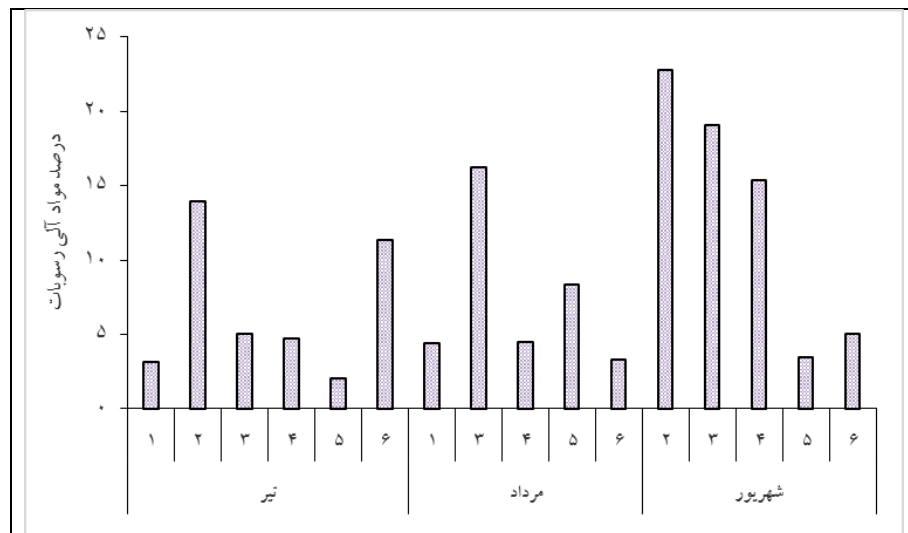
شکل ۷ درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز را در شهریور ماه در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. خانواده Chironomidae به‌جز در ایستگاه ۵ در سایر ایستگاه‌ها حضور داشت و بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۴ با ۶۳٪ داشت. خانواده Lumbriculidae نیز در ایستگاه ۶ با ۳۹٪ بیشترین فراوانی را داشت. خانواده‌های Baetidae و Simuliidae فقط در ایستگاه ۵ حضور داشتند. خانواده‌های Sphaeriidae، Gammaridae و Potamidae نیز فقط در ایستگاه ۵ دیده شدند.



شکل ۷: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان - سنندج (شهریور - ۱۴۰۲)

۳-۱-۳- میزان مواد آلی رسوبات بستر (TOM)

درصد مواد آلی رسوبات بستر در ماه‌های مختلف و ایستگاه‌های مختلف فصل تابستان دارای نوساناتی بود (شکل ۸) و از ۲٪ تا ۲۲/۸۲٪ متغیر بود. کمترین درصد مواد آلی در ایستگاه ۵ در تیرماه و بیشترین آن در شهریور ماه در ایستگاه ۲ ثبت شد ($p < 0.05$).



شکل ۸: درصد کل مواد آلی رسوبات بستر (TOM) در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (تابستان - ۱۴۰۲)

۳-۲- فصل پائیز ۱۴۰۲

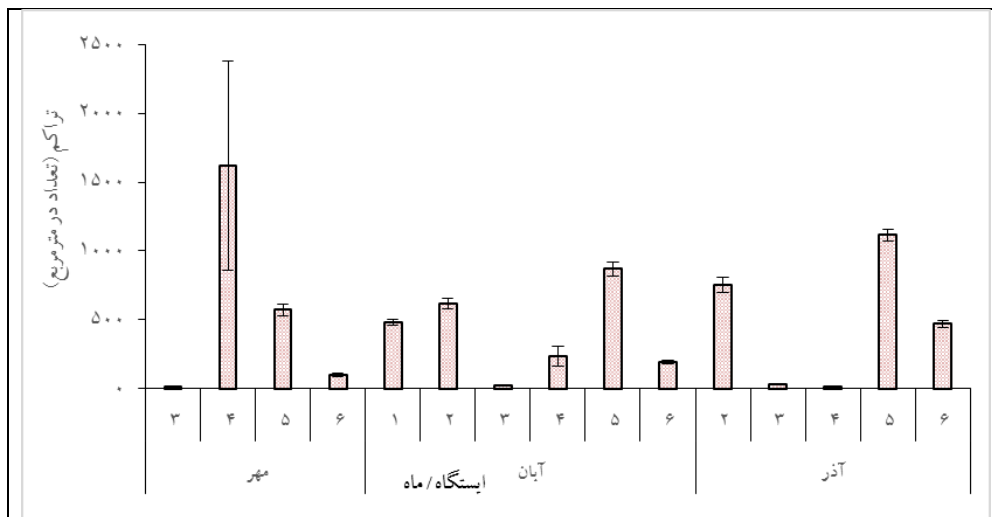
در آنالیز اطلاعات کیفی و کمی ماکروبنتوزها در فصل پائیز (ماه‌های مهر، آبان و آذر)، سه شاخه از موجودات مشتمل بر Arthropoda، Mollusca و Annelida و ۱۱ راسته مشاهده شدند. در مجموع در فصل پائیز در حوضه آبریز تعداد ۱۳ خانواده شامل Lumbriculidae، Chironomidae، Simuliidae، Baetidae، Tabanidae، Hydropsychidae، Erpobdelidae، Valvatidae، Sphaeriidae، Gammaridae، Glossiphoniidae، Physidae و Potamidae شناسایی شدند که وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) آن‌ها در ماه‌های مختلف فصل پائیز در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (پائیز-۱۴۰۲)

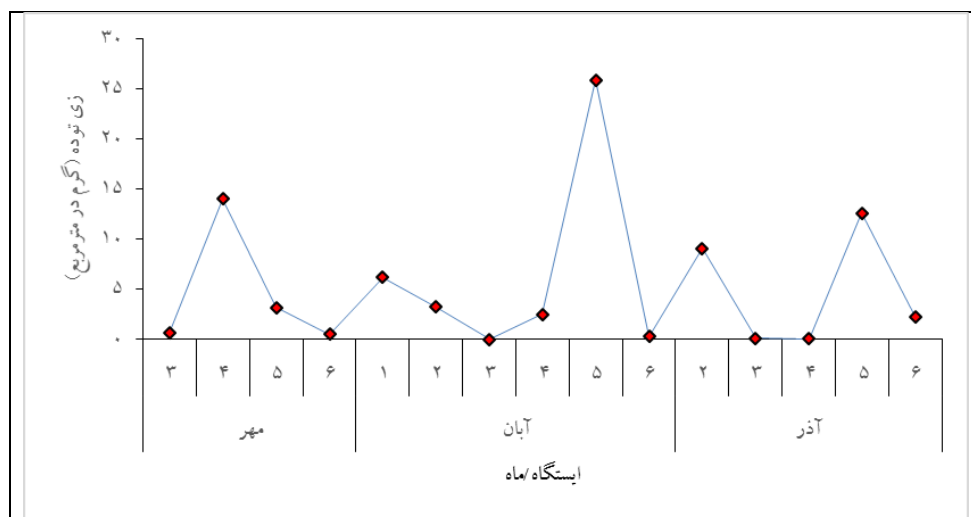
راسته	خانواده	آذر					آبان						مهر			
		۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۳	۴	۵	۶
Diptera	Chironomidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Simuliidae	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-
	Tabanidae	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
Trichoptera	Hydropsychidae	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
Ephemeroptera	Baetidae	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-
Lumbriculida	Lumbriculidae	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+
Unionida	Sphaeriidae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Amphipoda	Gammaridae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
Arhynchobdellida	Erpobdellidae	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heterostropha	Valvatidae	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Hygrophila	Physidae	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+
Decapoda	Potamidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-

۳-۲-۱- تراکم و زی‌توده جوامع ماکروبتوزی

در شکل ۹ تغییرات تراکم خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد زاوه در ماه‌های مختلف فصل پائیز نشان داده شده است. تراکم ماکروبتوزها در مهرماه ($103/08 \pm 2301$ عدد در مترمربع)، آبان ماه ($19/21 \pm 2414$ عدد در مترمربع) و در آذر ماه ($22/59 \pm 2328$ عدد در مترمربع) ثبت شد. بررسی آماری نشان داد که میانگین تراکم در ماه‌های مختلف فصل پائیز اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند ($p > 0/05$). شکل ۱۰ تغییرات زی‌توده خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد زاوه در ماه‌های پائیز نشان می‌دهد. بین میانگین زی‌توده در ماه آبان با سایر ماه‌های فصل پائیز اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($p < 0/05$).



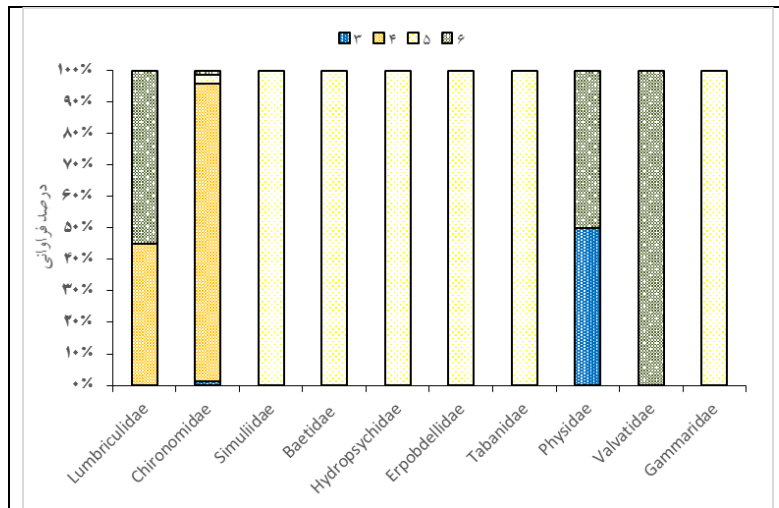
شکل ۹: تغییرات تراکم خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (پائیز-۱۴۰۲)



شکل ۱۰: تغییرات زی‌توده ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (پائیز-۱۴۰۲)

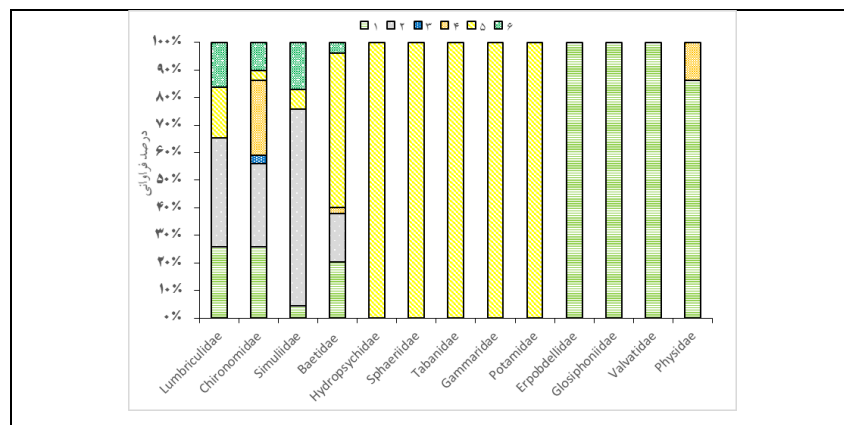
۳-۲-۲- فراوانی نسبی جوامع ماکروبتوزی در ماه‌های مختلف فصل پائیز

در فصل پائیز، Chironomidae و Baetidae به ترتیب با فراوانی ۴۰٪ و ۲۰٪ جمعیت غالب ماکروبتوزها را در کل ایستگاه‌ها تشکیل دادند. شکل ۱۱ درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز را در مهرماه در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. خانواده Chironomidae، بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۴ با ۹۵٪ داشت. Lumbriculidae نیز در ایستگاه ۴ و ۶ به ترتیب با فراوانی ۴۵٪ و ۵۵٪ حضور داشتند. خانواده‌های Hydropsychidae، Simuliidae، Baetidae، Erpobdellidae و Gammaridae فقط در ایستگاه ۵ حضور داشتند.



شکل ۱۱: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (مهر-۱۴۰۲)

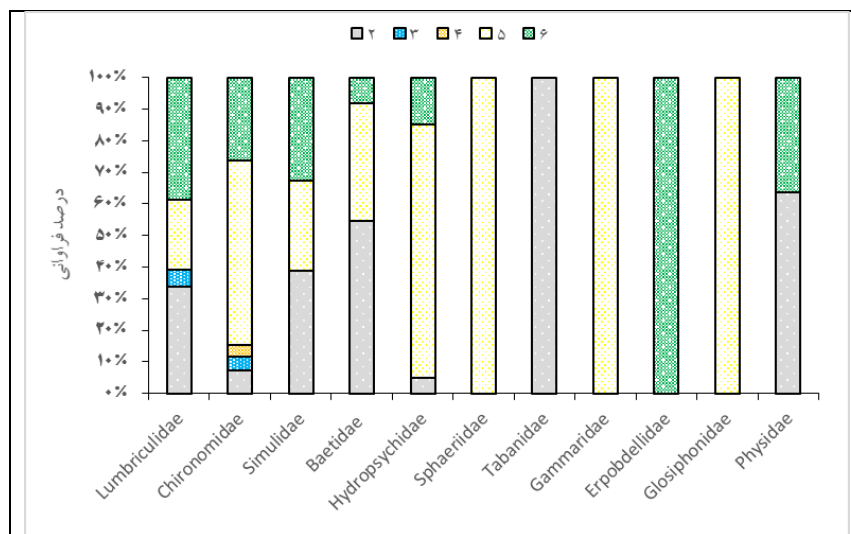
شکل ۱۲ درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز را در آبان ماه در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، خانواده Chironomidae بیشترین فراوانی را با ۲۶٪ در ایستگاه ۱ و خانواده Lumbriculidae با ۴۰٪ بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۲ داشتند. خانواده Simuliidae بیشترین فراوانی را با ۷۱٪ در ایستگاه ۲ و خانواده Sphaeriidae و Potamidae با ۵۶٪ بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۵ داشتند. خانواده‌های Gammaridae، Physidae فقط در ایستگاه ۵ حضور داشتند. نیز فقط در ایستگاه ۱ و ۴ با فراوانی به‌ترتیب ۸۶٪ و ۱۴٪ حضور داشتند.



شکل ۱۲: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (آبان-۱۴۰۲)

شکل ۱۳، درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در آذر ماه در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. خانواده Chironomidae بیشترین فراوانی را با ۵۹٪ در ایستگاه ۵، خانواده Lumbriculidae بیشترین فراوانی را با ۳۹٪ در ایستگاه ۶ و خانواده Baetidae با ۵۵٪ بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۲ داشتند. خانواده Hydropsychidae بیشترین

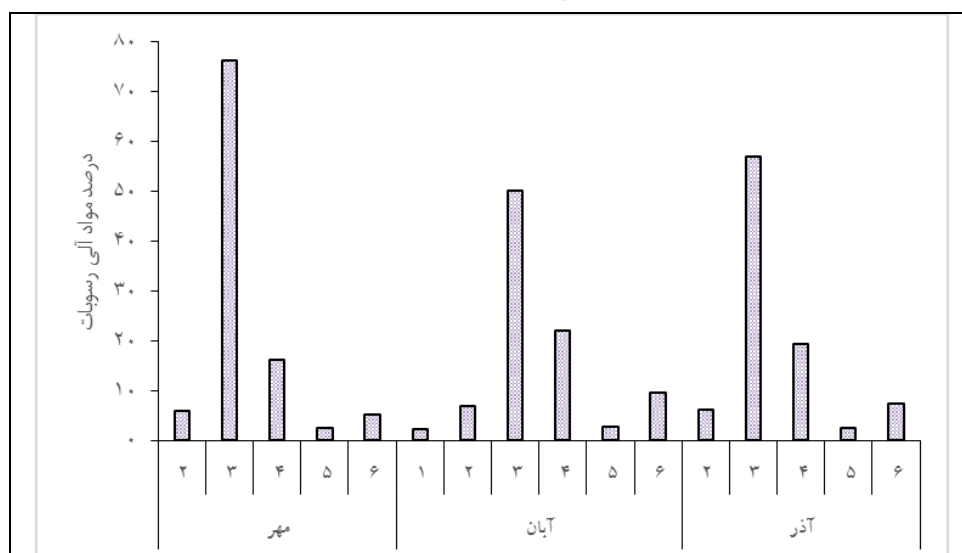
فراوانی را با ۸۰٪ در ایستگاه ۵ داشت. خانواده Simuliidae در ایستگاه‌های ۳ و ۴ مشاهده نشد و بیشترین فراوانی را با ۳۹٪ در ایستگاه ۱ داشت. خانواده‌های Gammaridae، Glossiphoniidae و Sphaeriidae فقط در ایستگاه ۵ حضور داشتند.



شکل ۱۳: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبن‌توز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (آذر-۱۴۰۲)

۳-۲-۳- میزان مواد آلی رسوبات بستر (TOM)

درصد مواد آلی رسوبات بستر در ماه‌های مختلف و ایستگاه‌های مختلف در فصل پائیز متغیر بود. کمترین درصد مواد آلی در ایستگاه ۱ در مهرماه (۲/۳٪) و بیشترین آن در ایستگاه ۳ در هر سه ماه فصل پائیز اندازه‌گیری شد که اختلاف معنی‌دار با سایر ایستگاه‌ها داشت ($p < 0.05$) (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: درصد کل مواد آلی رسوبات بستر (TOM) در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (پائیز -

۱۴۰۲)

۳-۳- فصل زمستان ۱۴۰۲

طی بررسی در فصل زمستان (دی، بهمن و اسفند)، سه شاخه از ماکروبتوزها شامل Arthropoda، Mollusca و Annelida، ۹ راسته و ۱۲ خانواده شامل Lumbriculidae، Chironomidae، Simuliidae، Baetidae، Glossiphoniidae، Erpobdellidae، Heptageniidae، Physidae، Gammaridae، Tabanidae، Hydropsychidae و Sphaeriidae شناسایی شدند. وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف فصل زمستان در جدول ۶ آمده است.

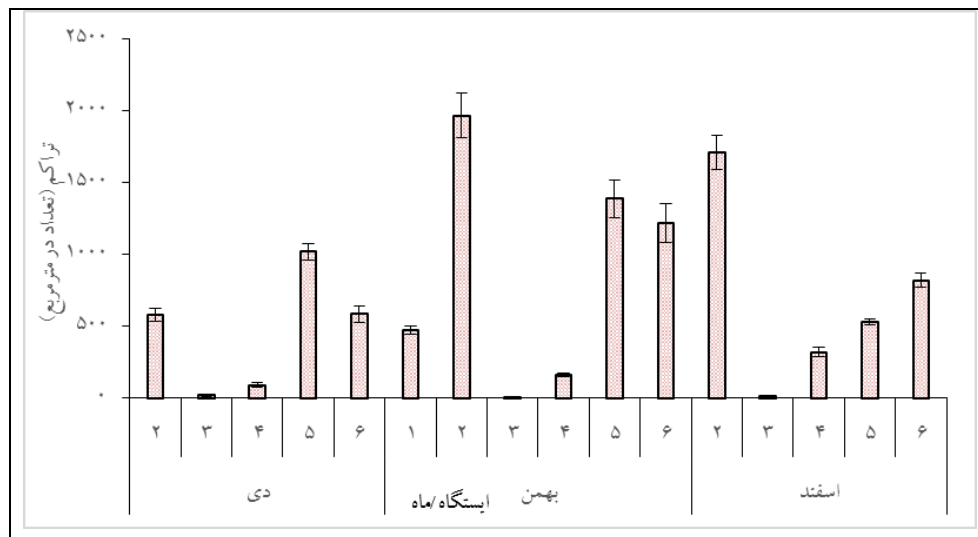
جدول ۶: وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج (زمستان-۱۴۰۲)

راسته	خانواده	دی					بهمن						اسفند				
		۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۲	۳	۴	۵	۶
Diptera	Chironomidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Simuliidae	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+
	Tabanidae	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Trichoptera	Hydropsychidae	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+
Ephemeroptera	Baetidae	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+
	Heptageniidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Lumbriculida	Lumbriculidae	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+
Unionida	Sphaeriidae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amphipoda	Gammaridae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
Arhynchobdellida	Erpobdellidae	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Hygrophila	Physidae	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+		+

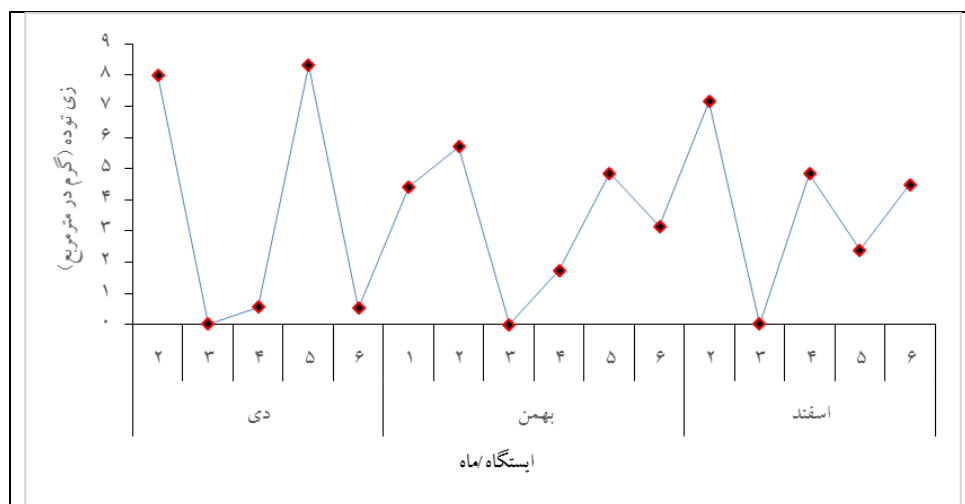
۳-۳-۱- تراکم و زی‌توده جوامع ماکروبتوزی

در شکل ۱۵ تغییرات تراکم خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد ژاوه در ماه‌های مختلف فصل زمستان نشان داده شده است. تراکم ماکروبتوزها در دی ماه ($230.5 \pm 24/089$ عدد در مترمربع)، بهمن ماه ($5217 \pm 56/983$ عدد در مترمربع) و در اسفند ماه ($340.3 \pm 37/422$ عدد در مترمربع) ثبت شد که بررسی آماری اختلاف معنی‌داری را بین میانگین تراکم بهمن ماه با سایر ماه‌های فصل زمستان نشان داد ($p < 0/05$). در شکل ۱۶

تغییرات زی‌توده خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد ژاوه در ماه‌های زمستان نشان داده شده است. بیشترین زی‌توده در ماه بهمن در ایستگاه ۵ ($۸/۳۱۳ \pm ۰/۳۵۳$ گرم در مترمربع) به دلیل فراوانی حضور Gammaridae به خود اختصاص دادند. در مجموع زی‌توده خانواده‌های ماکروبتوز در دی ماه ($۱۷/۰۴۱ \pm ۰/۳۰۹$ گرم در مترمربع)، بهمن ماه ($۱۹/۸۷۰ \pm ۰/۱۷۴$ گرم در مترمربع) و در اسفند ماه ($۱۸/۸۷۰ \pm ۰/۱۸۵$ گرم در مترمربع) بود.



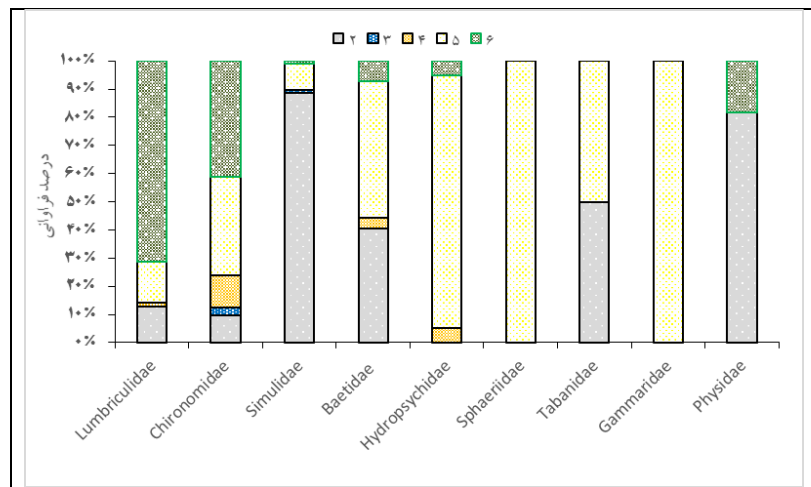
شکل ۱۵: تغییرات تراکم خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (زمستان- ۱۴۰۲)



شکل ۱۶: تغییرات زی‌توده ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (زمستان- ۱۴۰۲)

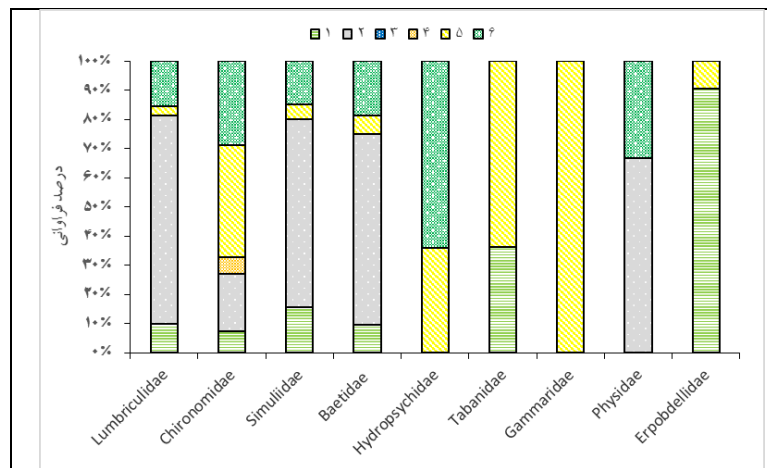
۳-۳-۲- فراوانی نسبی جوامع ماکروبتوزی

در فصل زمستان، Chironomidae و Baetidae به‌ترتیب با فراوانی ۴۱٪ و ۲۳٪ جمعیت غالب ماکروبتوزها را در کل ایستگاه‌ها تشکیل دادند. شکل ۱۷، درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوزها را در دی ماه در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. خانواده Chironomidae بیشترین فراوانی را با ۴۱٪ در ایستگاه ۶ داشت. خانواده Lumbriculidae در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه ۳ حضور داشت و بیشترین فراوانی را با ۷۱٪ در ایستگاه ۶ داشت. خانواده Baetidae بیشترین فراوانی را با ۴۸٪ در ایستگاه ۵ و خانواده Simuliidae بیشترین فراوانی را با ۸۸٪ در ایستگاه ۲ داشتند. خانواده Gammaridae فقط در ایستگاه ۵ حضور داشتند.



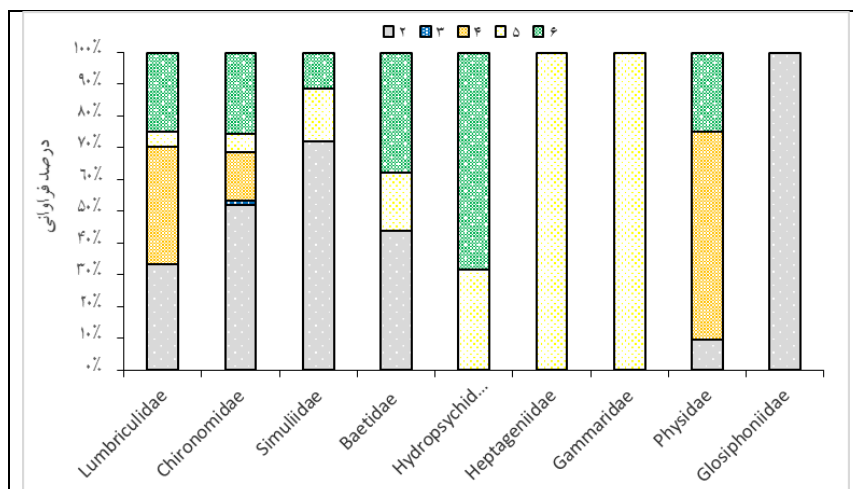
شکل ۱۷: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (دی-۱۴۰۲)

در بهمن ماه، خانواده Chironomidae بیشترین فراوانی را با ۳۸٪ در ایستگاه ۵ و خانواده Lumbriculidae با ۷۱٪ بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۲ داشتند. خانواده Simuliidae بیشترین فراوانی را با ۶۴٪ در ایستگاه ۲ و خانواده Baetidae با ۶۵٪ بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۲ داشتند. خانواده‌های Gammaridae فقط در ایستگاه ۵ حضور داشتند. خانواده Erpobdellidae نیز فقط در ایستگاه‌های ۱ و ۵ بودند (شکل ۱۸).



شکل ۱۸: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (بهمن-۱۴۰۲)

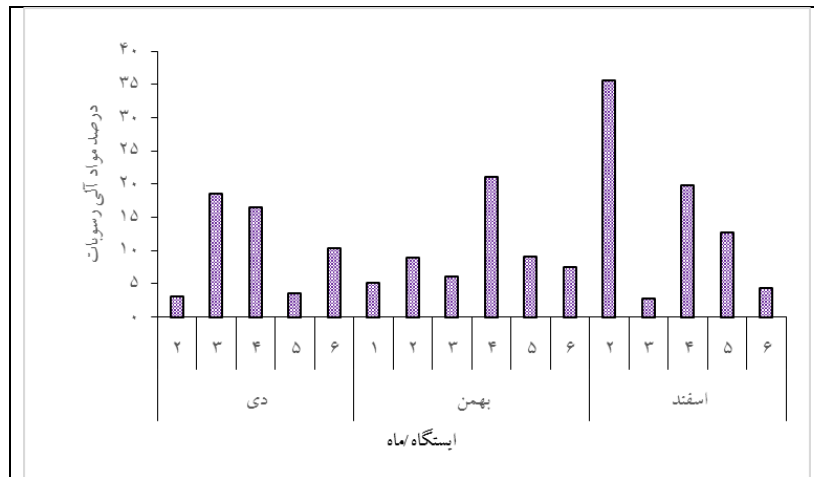
در اسفند ماه، خانواده Chironomidae بیشترین فراوانی را با ۵۲٪ در ایستگاه ۲ و خانواده Lumbriculidae با ۳۷٪ بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۴ داشتند. خانواده‌های Simuliidae و Baetidae بیشترین فراوانی را به ترتیب با ۷۲٪ و ۴۴٪ در ایستگاه ۲ داشتند. خانواده‌های Gammaridae و Heptageniidae فقط در ایستگاه ۵ حضور داشتند (شکل ۱۹).



شکل ۱۹: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (اسفند-۱۴۰۲)

۳-۳-۳- میزان مواد آلی رسوبات بستر (TOM):

درصد مواد آلی رسوبات بستر در ماه‌های مختلف و ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل زمستان نشان داد که بیشترین درصد مواد آلی در ایستگاه ۲ در اسفند ماه (۳۵/۶۱٪) اندازه‌گیری شد که با سایر ایستگاه‌ها در فصل زمستان اختلاف معنی‌دار داشت ($p < 0.05$) (شکل ۲۰).



شکل ۲۰: درصد کل مواد آلی رسوبات بستر (TOM) در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (زمستان-۱۴۰۲)

۳-۴- فصل بهار ۱۴۰۳

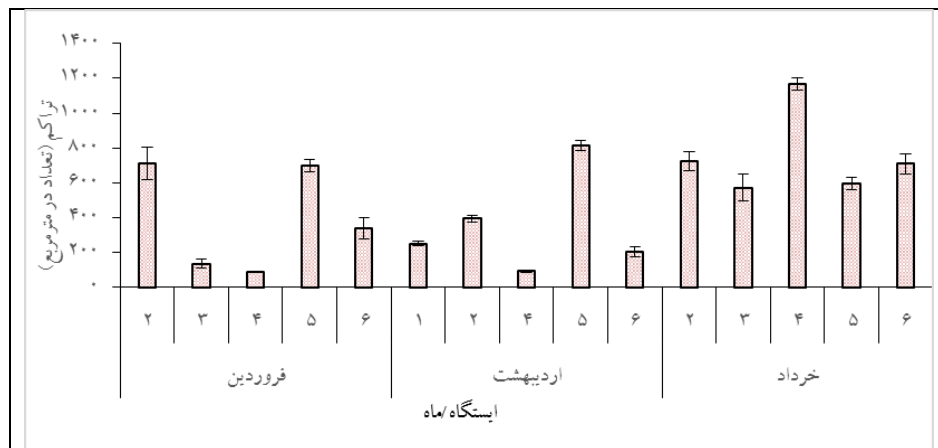
در بررسی فصل بهار (فرورین، اردیبهشت و خرداد)، سه شاخه از ماکروبتوزها شامل Arthropoda، Mollusca و Annelida مشاهده شدند. در مجموع تعداد ۱۴ خانواده شامل Lumbriculidae، Chironomidae، Simuliidae، Valvatidae، Heptageniidae، Physidae، Gammaridae، Tabanidae، Hydropsychidae، Tipulidae، Baetidae، Erpobdellidae، Glossiphoniidae و Sphaeriidae شناسایی شدند. وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷: وضعیت حضور (+) و عدم حضور (-) ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (بهار-۱۴۰۳)

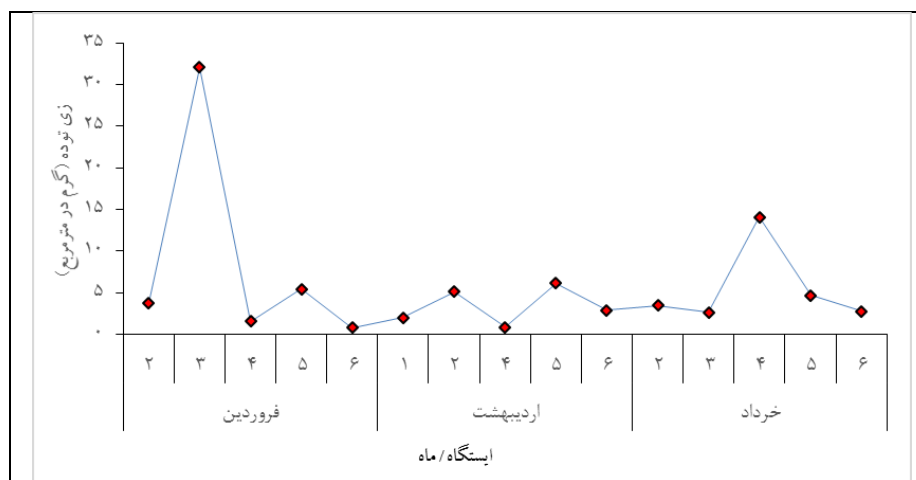
راسته	خانواده	فروردین					اردیبهشت						خرداد				
		۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۲	۳	۴	۵	۶
Diptera	Chironomidae	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
	Simuliidae	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
	Tabanidae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tipulidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
Trichoptera	Hydropsychidae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Ephemeroptera	Baetidae	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+
	Heptageniidae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
Lumbriculida	Lumbriculidae	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Unionida	Sphaeriidae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amphipoda	Gammaridae	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+
Arhynchobdellida	Erpobdellidae	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae		+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Hygrophila	Physidae	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+
Heterostropho	Valvatidae	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

۳-۴-۱- تراکم و زی‌توده جوامع ماکروبتوزی

در شکل ۲۱ تغییرات تراکم خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد ژاوه در ماه‌های مختلف فصل بهار نشان داده شده است. تراکم ماکروبتوزها در ماه فروردین ($1966 \pm 26 / 529$ عدد در مترمربع)، ماه اردیبهشت ($1755 \pm 12 / 584$ عدد در مترمربع) و در ماه خرداد ($3770 \pm 32 / 788$ عدد در مترمربع) بود. در فصل بهار، بیشترین تراکم در ایستگاه ۴ ماه خرداد ($1167 \pm 229 / 951$ عدد در مترمربع) و کمترین تراکم در ایستگاه ۴ ماه فروردین ($86 \pm 3 / 58$ عدد در مترمربع) مشاهده شد که از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌دار داشتند ($p < 0.05$). در شکل ۲۲ تغییرات زی‌توده خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های حوضه آبریز سد ژاوه در ماه‌های فصل بهار نشان داده شده است. بیشترین و کمترین زی‌توده فصل بهار به ترتیب در در ایستگاه ۳ و ۶ ماه فروردین (گرم در مترمربع) مشاهده شد. در مجموع زی‌توده خانواده‌های ماکروبتوز در ماه فروردین ($43 / 504 \pm 0.851$ گرم در مترمربع) بود که با سایر ماه‌های فصل بهار اختلاف معنی‌دار را نشان داد ($p < 0.05$) (شکل ۲۲).



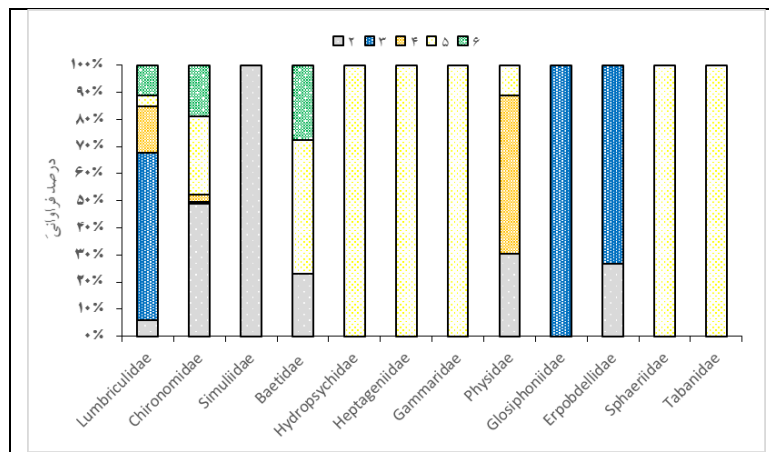
شکل ۲۱: تغییرات تراکم خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (بهار-۱۴۰۳)



شکل ۲۲: تغییرات زی توده ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سنندج (بهار-۱۴۰۳)

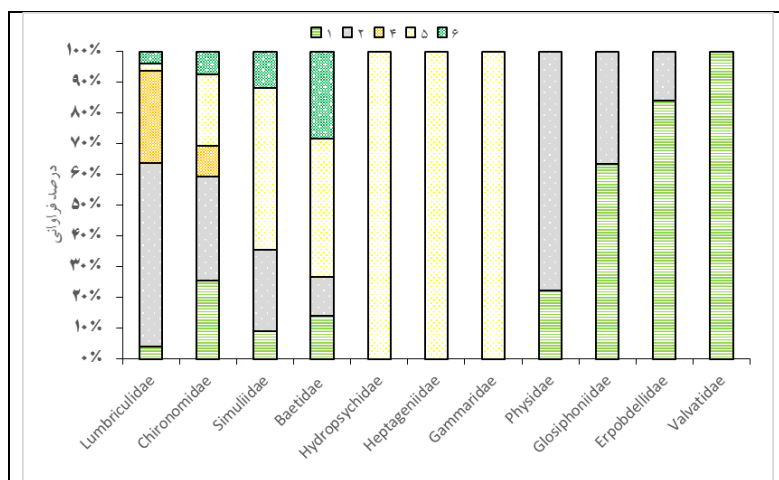
۳-۴-۲- فراوانی نسبی جوامع ماکروبتوزی

در فصل بهار، Chironomidae و Baetidae به ترتیب با فراوانی ۳۵٪ و ۱۸٪ جمعیت غالب ماکروبتوزها را در کل ایستگاه‌ها تشکیل دادند. شکل ۲۳، درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز را در ماه فروردین در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. خانواده‌های Chironomidae و Lumbriculidae در همه ایستگاه‌ها حضور داشتند. خانواده Chironomidae بیشترین فراوانی را با ۴۹٪ در ایستگاه ۲، خانواده Lumbriculidae بیشترین فراوانی را با ۶۲٪ در ایستگاه ۳، خانواده Baetidae بیشترین فراوانی را با ۴۹٪ در ایستگاه ۵ به خود اختصاص دادند. خانواده Simuliidae فقط در ایستگاه ۱ حضور داشت.



شکل ۲۳: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان - سنندج (فروردین - ۱۴۰۳)

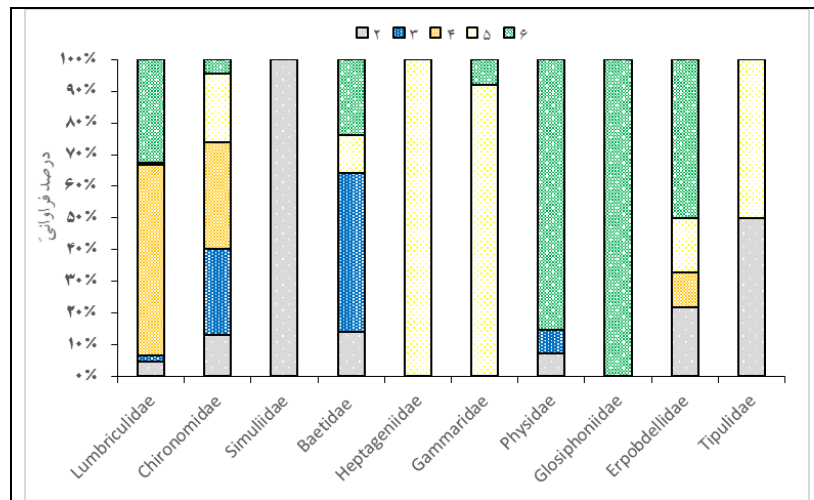
در اردیبهشت ماه، خانواده‌های Chironomidae و Lumbriculidae در ایستگاه ۲ به ترتیب با ۳۴٪ و ۶۲٪ داشتند. خانواده‌های Baetidae و Simuliidae به جز در ایستگاه ۴ در سایر ایستگاه‌ها حضور داشتند و هر دو خانواده بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۵ به ترتیب با ۴۵٪ و ۵۳٪ داشتند (شکل ۲۴).



شکل ۲۴: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان - سنندج (اردیبهشت - ۱۴۰۳)

شکل ۲۵، درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ماه خرداد در کل ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. خانواده‌های Chironomidae و Lumbriculidae بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۴ به ترتیب با ۳۴٪ و ۶۰٪ داشتند. خانواده Simuliidae فقط در ایستگاه ۲ حضور داشت. خانواده Baetidae نیز به جز در ایستگاه ۴، در سایر ایستگاه‌ها حضور

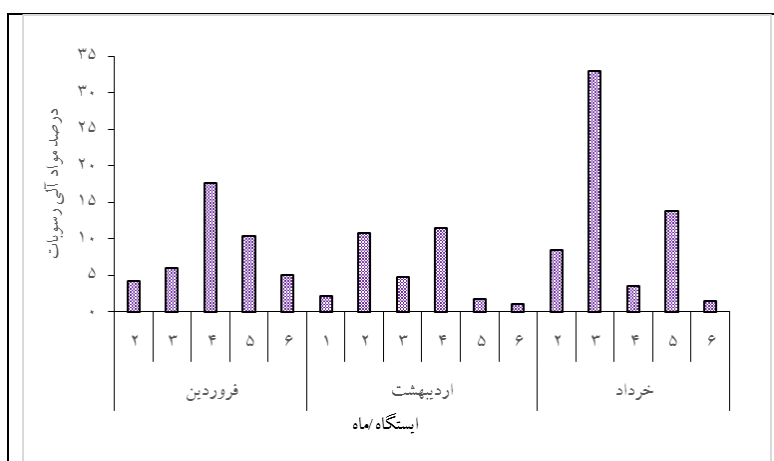
داشت و با فراوانی ۵۰٪ در ایستگاه ۳ بیشترین حضور را داشت. خانواده Gammaridae در ایستگاه‌های ۵ و ۶ حضور داشتند که بیشترین فراوانی را در ایستگاه ۵ داشت.



شکل ۲۵: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتوز در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (خرداد-۱۴۰۳)

۳-۴-۳- میزان مواد آلی رسوبات بستر (TOM)

درصد مواد آلی رسوبات بستر در ماه‌های مختلف و ایستگاه‌های مختلف فصل بهار دارای نوساناتی بود (شکل ۲۶). بررسی آماری حاکی از این بود که بین ایستگاه ۳ در ماه خرداد با سایر ایستگاه‌ها در ماه‌های مختلف فصل بهار اختلاف معنی‌داری داشت ($p < 0.05$).



شکل ۲۶: درصد کل مواد آلی رسوبات بستر (TOM) در ایستگاه‌های رودخانه سیروان-سندج (بهار-۱۴۰۳)

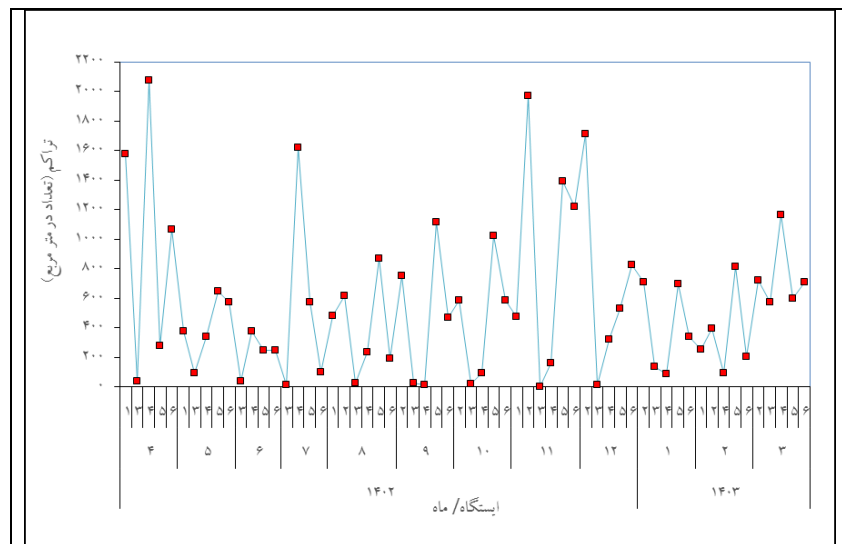
۳-۴-۴- تراکم ماکروبتنوزی در کل ایستگاه‌ها طی دوره نمونه برداری

میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) تراکم و زی‌توده خانواده‌های ماکروبتنوزها طی دوره نمونه‌برداری در جدول ۸ آورده شده است. در مجموع ۱۵ خانواده ماکروبتنوز شناسایی و در هفت گروه طبقه‌بندی شدند: INSECTA (۷ خانواده)، CRUSTACEA (۱ خانواده)، MALACOSTRACA (۱ خانواده)، GASTROPODA (۲ خانواده)، BIVALVIA (۱ خانواده)، OLIGOCHAETA (۲ خانواده) و HIRUDINEA (۲ خانواده). بیشترین میانگین تراکم برای خانواده Chironomidae و بالاترین میانگین زی‌توده در Lumbriculidae مشاهده شد. در مجموع Chironomidae، Baetidae و Lumbriculidae به ترتیب خانواده‌های غالب بودند (رنگ سبز در جدول).

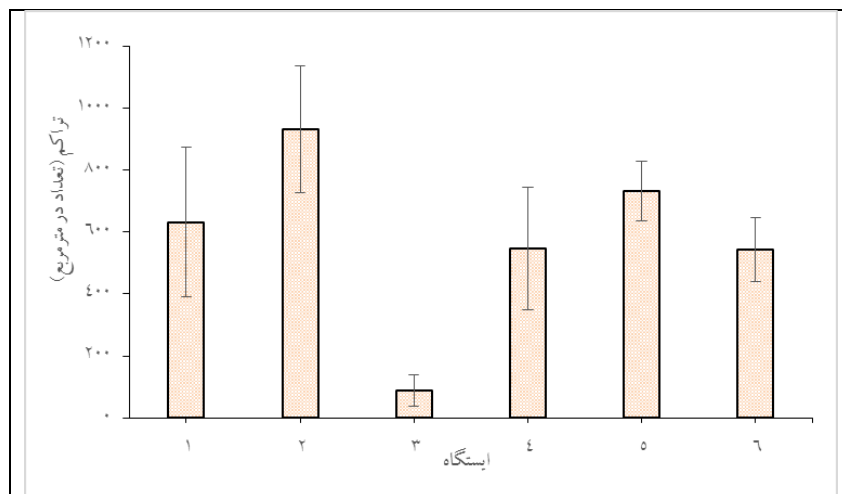
جدول ۸: تراکم و زی‌توده ماکروبتنوزها در ایستگاه‌های مورد مطالعه رودخانه سیروان (مقیاس‌های رنگی: قرمز-زرد-سبز)

خانواده	تراکم (N/m^2)		زی‌توده (g/m^2)	
	میانگین	S.E.	میانگین	S.E.
Lumbriculidae	۱۰/۸۸	۲/۱۳	۱/۱۳۶	۱/۰۳۹
Chironomidae	۲۲/۹۷	۲/۸۴	۱/۰۸۵	۱/۰۱۸
Simuliidae	۶/۳۳	۱/۵۲	۱/۰۱۴	۱/۰۰۳
Baetidae	۱۱/۱۰	۱/۴۹	۱/۰۴۲	۱/۰۰۵
Hvdrnschidae	۱/۰۱	۱/۲۳	۱/۰۱۳	۱/۰۰۵
Gammaridae	۳/۰۱	۱/۶۵	۱/۰۳۵	۱/۰۰۹
Tivulidae	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۰۱	۱/۰۰۰۷
Sphaeriidae	۱/۲۱	۱/۱۰	۱/۱۲۱	۱/۰۶۵
Eroobdellidae	۱/۸۲	۱/۲۲	۱/۰۶۱	۱/۰۱۹
Glosiphoniidae	۱/۲۵	۱/۱۵	۱/۰۰۲	۱/۰۰۱
Valvatidae	۱/۰۵	۱/۰۲	۱/۰۰۵	۱/۰۰۰۲
Physidae	۱/۳۳	۱/۰۷	۱/۰۱۱	۱/۰۰۳
Potamidae	۱/۰۶	۱/۰۲	۱/۰۲۵	۱/۰۱۱
Tabanidae	۱/۰۵	۱/۰۲	۱/۰۰۲	۱/۰۰۱
Heptageniidae	۱/۴۵	۱/۱۶	۱/۰۰۵	۱/۰۰۲

شکل ۲۷ تغییرات میانگین تراکم ماکروبتوزها در کل ایستگاه‌ها و در ماه‌های مختلف طی یک سال را نشان می‌دهد. در مجموع تراکم ماکروبتوزها در کل ایستگاه‌های مورد بررسی ۳۳۴۸۹ عدد در مترمربع بود. میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) سالانه تراکم ماکروبتوزها در ایستگاه ۱ ($632 \pm 240 / 40$)، ایستگاه ۲ ($932 \pm 203 / 46$)، ایستگاه ۳ ($89 \pm 49 / 78$)، ایستگاه ۴ ($548 \pm 197 / 32$)، ایستگاه ۵ ($732 \pm 96 / 04$) و ایستگاه ۶ ($544 \pm 103 / 59$) عدد در مترمربع بود (شکل ۲۸). بررسی‌های آماری اختلاف معنی‌دار را از نظر میانگین تراکم بین ایستگاه ۳ با سایر ایستگاه‌ها نشان داد ($p < 0.05$).



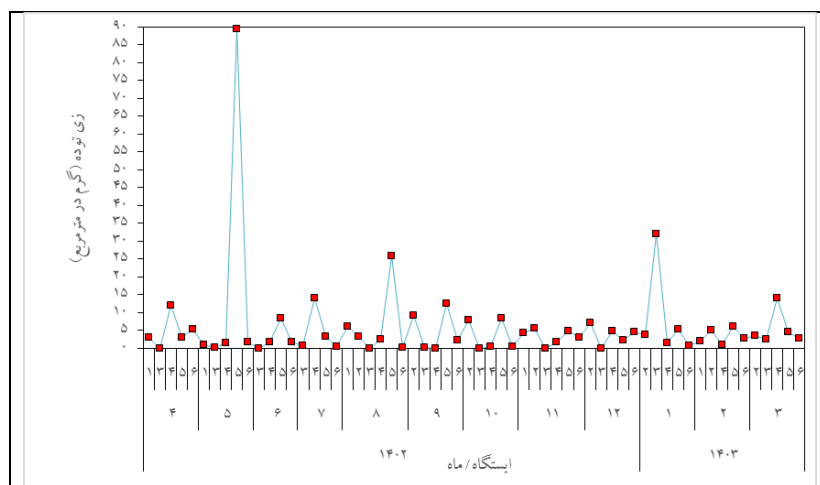
شکل ۲۷: تغییرات تراکم ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان در ماه‌های مختلف (۱۴۰۲-۱۴۰۳)



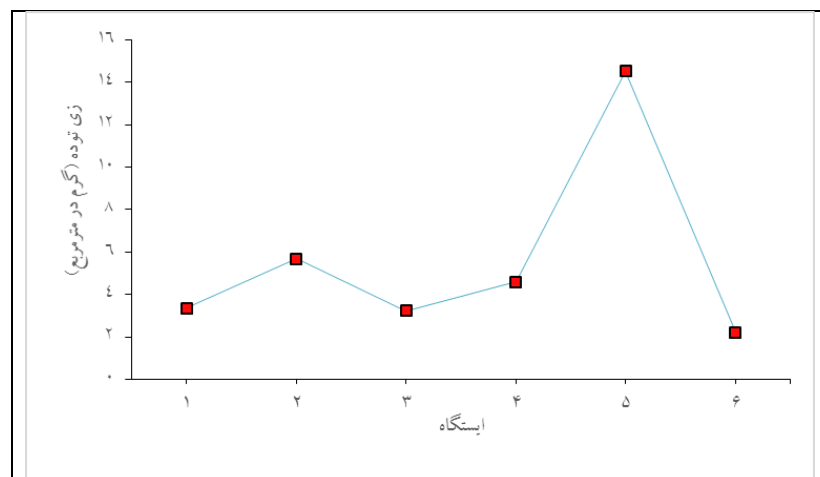
شکل ۲۸: تغییرات تراکم ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

۳-۵- زی‌توده جوامع ماکروبتوزی در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره نمونه برداری

در شکل ۲۹ زی‌توده ماکروبتوزها در کل ایستگاه‌ها و در ماه‌های مختلف طی یک سال نشان داده شده است. زی‌توده ماکروبتوزها در کل ایستگاه‌های مورد بررسی ۳۵۳/۶۳۷ گرم در مترمربع توزین شد. میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) سالانه تغییرات زی‌توده ماکروبتوزها در ایستگاه ۱ (۳/۳۵۲ $\pm$ ۰/۹۰۵)، ایستگاه ۲ (۵/۶۷۷ $\pm$ ۰/۷۸۲)، ایستگاه ۳ (۳/۲۴۱ $\pm$ ۰/۸۸۷)، ایستگاه ۴ (۴/۶۰۳ $\pm$ ۱/۵۶۸)، ایستگاه ۵ (۱۴/۵۰۹ $\pm$ ۷/۰۵۱) و ایستگاه ۶ (۲/۲۰۵ $\pm$ ۰/۴۷۲) گرم در مترمربع توزین شد (شکل ۳۰). میانگین زی‌توده ماکروبتوزها در ایستگاه ۵ با سایر ایستگاه‌ها طی یک سال اختلاف معنی‌دار را نشان داد ($p < ۰/۰۵$).



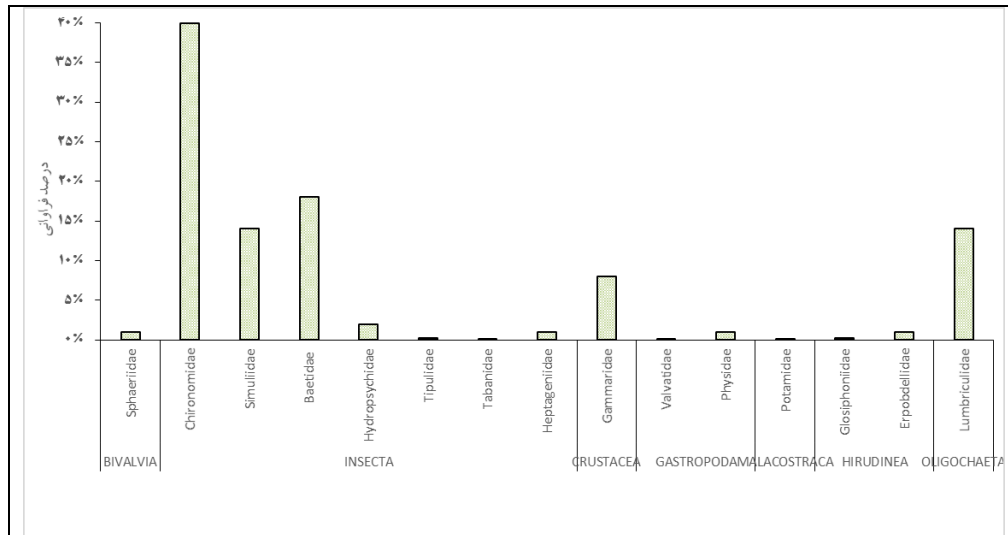
شکل ۲۹: تغییرات زی‌توده ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان در ماه‌های مختلف (۱۴۰۳-۱۴۰۲)



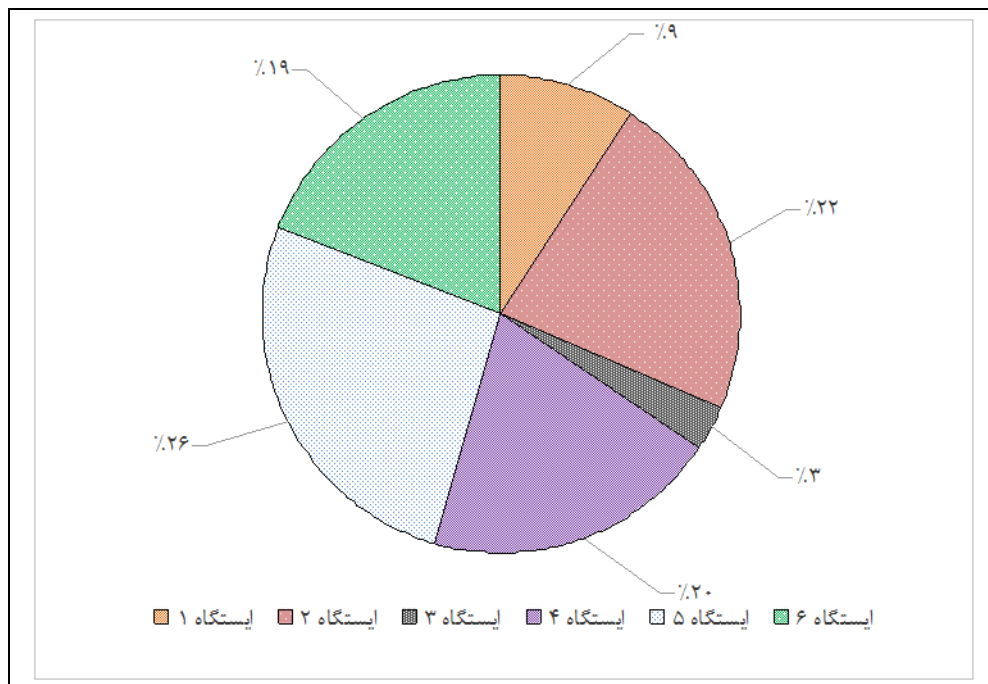
شکل ۳۰: تغییرات زی‌توده ماکروبتوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳).

۳-۶- فراوانی جوامع ماکروبتنوزی در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره نمونه برداری

طی دوره نمونه‌برداری ۷ رده از ماکروبتنوزها شناسایی شدند (شکل ۳۱). درصد فراوانی سالانه ماکروبتنوزها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (۱ تا ۶) نیز در شکل ۳۲ نشان داده شده است. فراوانی خانواده‌های ماکروبتنوز در کل دوره نمونه برداری در منطقه مطالعاتی مورد نظر نشان داد که خانواده Chironomidae با ۴۰٪ بیشترین و خانواده‌های Potamidae، Valvatidae و Tabanidae با ۱/۰٪ کمترین فراوانی را در ایستگاه‌های مختلف و در کل دوره نمونه‌برداری داشتند.



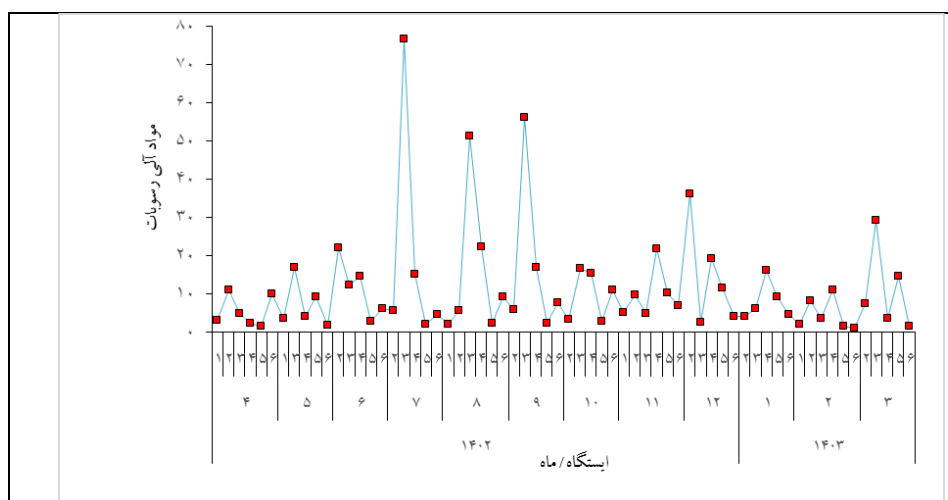
شکل ۳۱: درصد فراوانی خانواده‌های ماکروبتنوزها در رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)



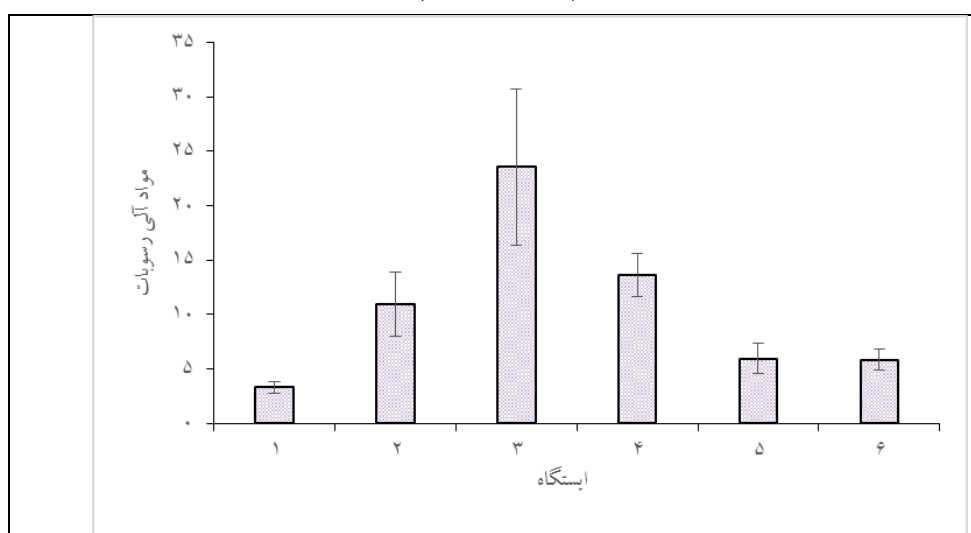
شکل ۳۲: درصد فراوانی ماکروبتنوزها در ایستگاه‌های رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

۳-۷- میزان مواد آلی در ایستگاه‌های مورد بررسی درکل دوره نمونه برداری

شکل ۳۳ و ۳۴ به ترتیب تغییرات میزان مواد آلی رسوبات بستر را ماهانه و در ایستگاه‌های مختلف طی یک سال نشان می‌دهد. میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) سالانه مواد آلی رسوبات بستر در ایستگاه ۱ ($۵۸/۳ \pm ۲۹/۳$)، ایستگاه ۲ ($۹۶/۱۰ \pm ۲/۹۶$)، ایستگاه ۳ ($۵۵/۲۳ \pm ۷/۱۴$)، ایستگاه ۴ ($۹۹/۱۳ \pm ۱/۶۲$)، ایستگاه ۵ ($۳۷/۵ \pm ۱/۹۶$) و ایستگاه ۶ ($۸۳/۵ \pm ۰/۹۸$) درصد اندازه‌گیری شد. بررسی‌های آماری اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه ۳ با سایر ایستگاه‌ها را طی یک سال نشان داد ($p < ۰/۰۵$). بالابودن میزان مواد آلی رسوبات بستر در ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۴ به دلیل نزدیک بودن به تصفیه خانه فاضلاب است.



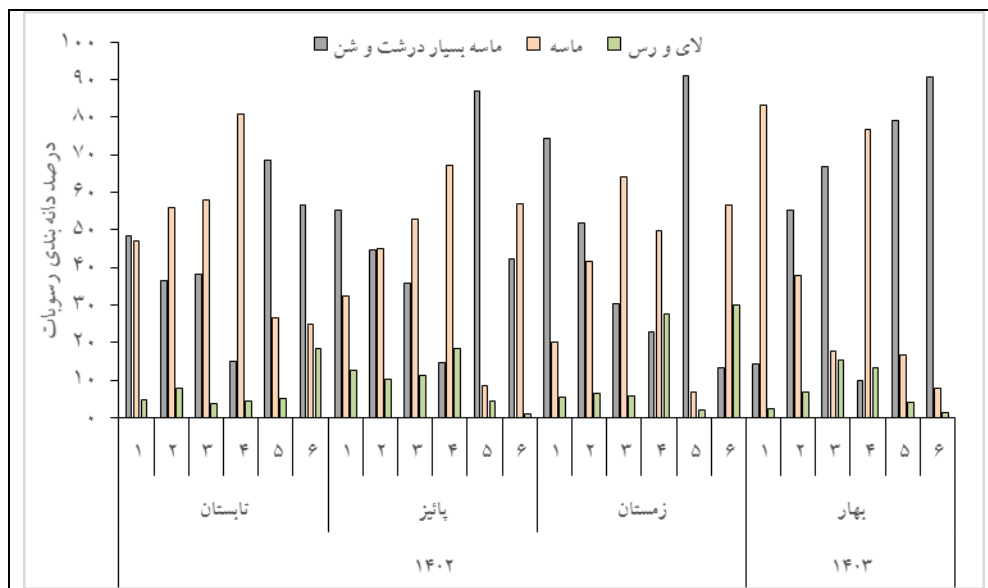
شکل ۳۳: تغییرات میزان مواد آلی رسوبات بستر در ایستگاه‌های رودخانه سیروان در ماه‌های مختلف (۱۴۰۲-۱۴۰۳)



شکل ۳۴: تغییرات میزان مواد آلی رسوبات بستر در ایستگاه‌های مختلف رودخانه سیروان در یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

۳-۸- دانه بندی رسوبات بستر در کل دوره نمونه برداری

شکل ۳۵ تغییرات دانه بندی رسوبات بستر را در ایستگاه‌های نمونه برداری (۱ تا ۶) در طی ۴ فصل را نشان می‌دهد. روند تغییرات دانه بندی رسوبات بستر طی ماه‌ها و فصل‌های مختلف دوره نمونه برداری حاکی از آن است که در ایستگاه ۵ در تمامی فصول سال بیشتر از ۶۰ درصد حجم رسوب (بین ۶۸ تا ۷۹ درصد) را ماسه بسیار درشت و شن تشکیل داد که با سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی دار داشت ($p < 0.05$). میزان ذرات لای و رس در تمامی ایستگاه‌ها در فصل تابستان (بین ۱۴ تا ۱۸ درصد)، پاییز (بین ۱ تا ۱۲ درصد)، زمستان (۲ تا ۳۰ درصد) و در بهار (بین ۱ تا ۱۵ درصد) بود.

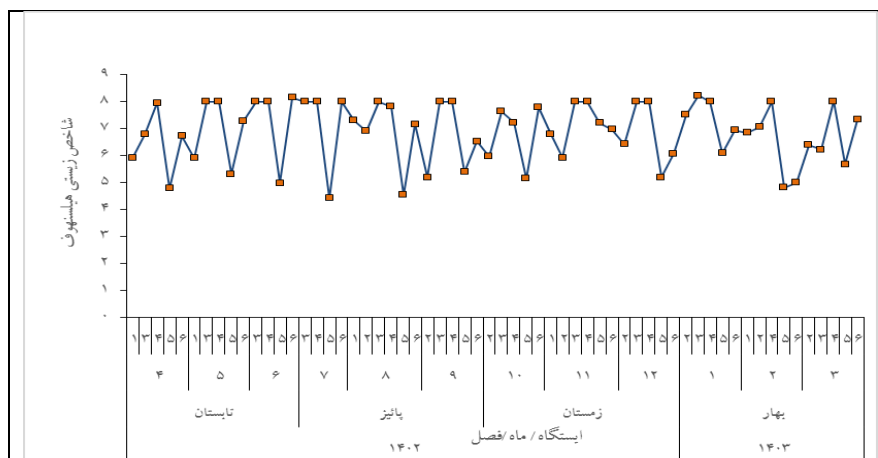


شکل ۳۵: تغییرات دانه بندی رسوبات بستر در ایستگاه‌های رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

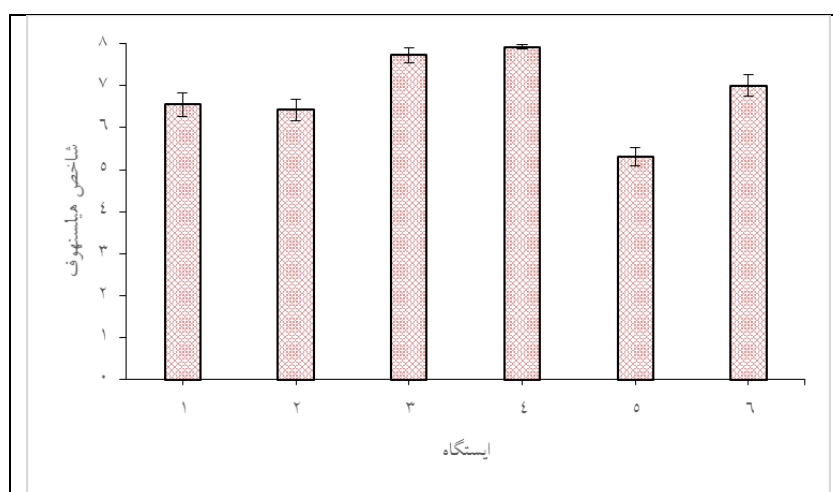
۳-۹- شاخص‌های زیستی

۳-۹-۱- شاخص زیستی هیلسنهوف (HFBI)

تغییرات شاخص زیستی هیلسنهوف در ماه‌های مختلف در ایستگاه‌های مختلف طی یک سال در شکل ۳۶ آورده شده است. میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) سالانه تغییرات شاخص هیلسنهوف در ایستگاه ۱ (۶/۵۵)، ایستگاه ۲ (۶/۴۲)، ایستگاه ۳ (۷/۷۲)، ایستگاه ۴ (۷/۹۲)، ایستگاه ۵ (۵/۳۰) و ایستگاه ۶ (۷/۰۰) محاسبه شد. بررسی آماری اختلاف معنی دار را بین ایستگاه ۵ با سایر ایستگاه‌ها نشان داد ($p < 0.05$). (شکل ۳۷).



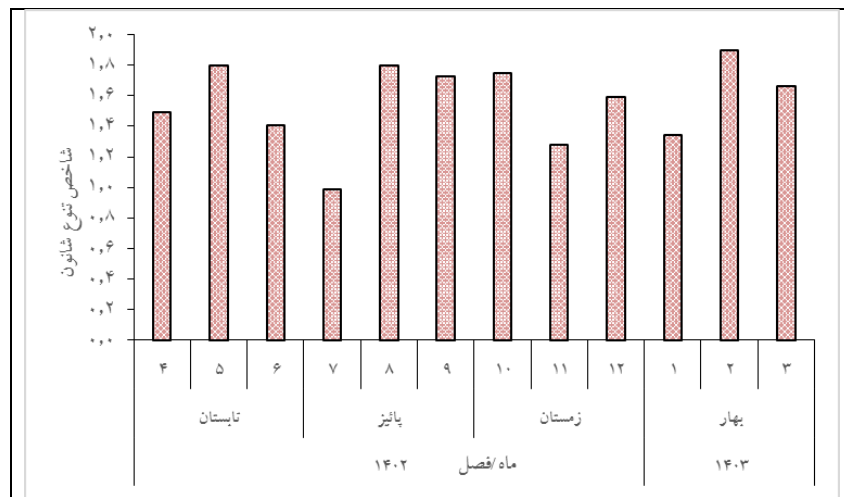
شکل ۳۶: تغییرات شاخص هیلسنهوف در ایستگاه، ماه و فصل‌های نمونه برداری در رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)



شکل ۳۷: تغییرات شاخص هیلسنهوف در ایستگاه‌های رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

۳-۹-۲- شاخص شانون-وینر (H)

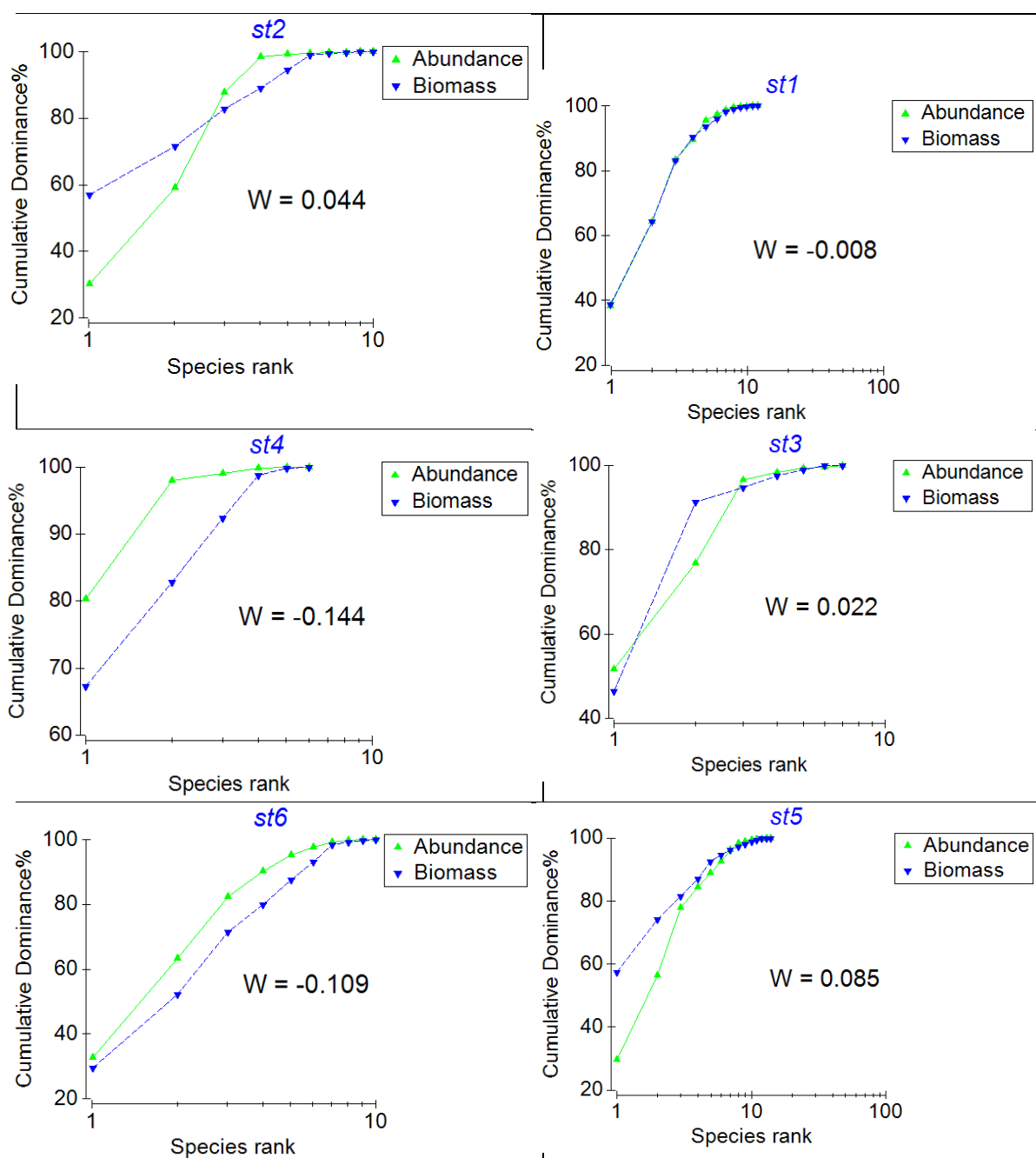
با توجه به شکل ۳۸، مقدار عددی شاخص شانون در ماه‌های مختلف سال در محدوده ۱/۶۶-۰/۹۹ بود. بطوری‌که در بررسی سالانه، کمترین مقدار عددی شاخص شانون (۰/۹۹) در ماه مهر فصل پائیز محاسبه شد ($p < 0/05$) که در طبقه کیفی آلودگی زیاد قرار گرفت و در سایر ماه‌های سال، شاخص شانون بالاتر از ۱ بود که می‌توان گفت میزان تنوع زیستی و میزان آلودگی در حد متوسطی بود.



شکل ۳۸: تغییرات شاخص تنوع شانون در ماه و فصل‌های مختلف در رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

۳-۹-۳- شاخص مقایسه‌ای تراکم/زی‌توده (ABC)

شکل ۳۹ منحنی‌های ABC برای جوامع ماکروبتوز در ایستگاه‌های مختلف طی یک سال را نشان می‌دهد. در این شکل، شیب تغییرات تراکم و غلبه زی‌توده در ایستگاه‌ها به صورت ملایم مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۵، منحنی زی‌توده بالاتر از منحنی تراکم قرار دارد و مقدار شاخص W مثبت است. در حالی که در ایستگاه‌های ۱، ۴ و ۶، منحنی تراکم بالاتر از منحنی زی‌توده قرار گرفته و مقدار شاخص W منفی است. در ایستگاه‌های ۲ و ۳، مقدار W نزدیک به صفر بود و در ایستگاه ۵ برابر با ۰/۰۸۵ به دست آمد. در شاخص ABC مقادیر منفی، صفر و مثبت به ترتیب نشانگر تحت استرس شدید، متوسط و بدون استرس بودن اکوسیستم است.



شکل ۳۹: منحنی‌های ABC برای جوامع ماکروبنتوز در ایستگاه‌های مختلف رودخانه سیروان طی یک سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

۳-۱۰- شاخص‌های محیطی

تغییرات (میانگین $\pm$ انحراف معیار) پارامترهای محیطی اندازه‌گیری شده در فصل‌های مختلف در رودخانه سیروان در جدول ۹ آورده شده است. کمترین و بیشترین دمای آب به ترتیب در پاییز و تابستان اندازه‌گیری شد که برابر با ($8/1 \pm 2/6$ درجه سانتی‌گراد) و ($21/2 \pm 3/3$ درجه سانتی‌گراد) بودند. بیشترین دمای هوا در تابستان ($25/3 \pm 3/3$ درجه سانتی‌گراد) و کمترین آن در پاییز ($3/4 \pm 4/3$ درجه سانتی‌گراد) ثبت شد. کدورت (Turbidity) از ($8/4 \pm 10/5$) در

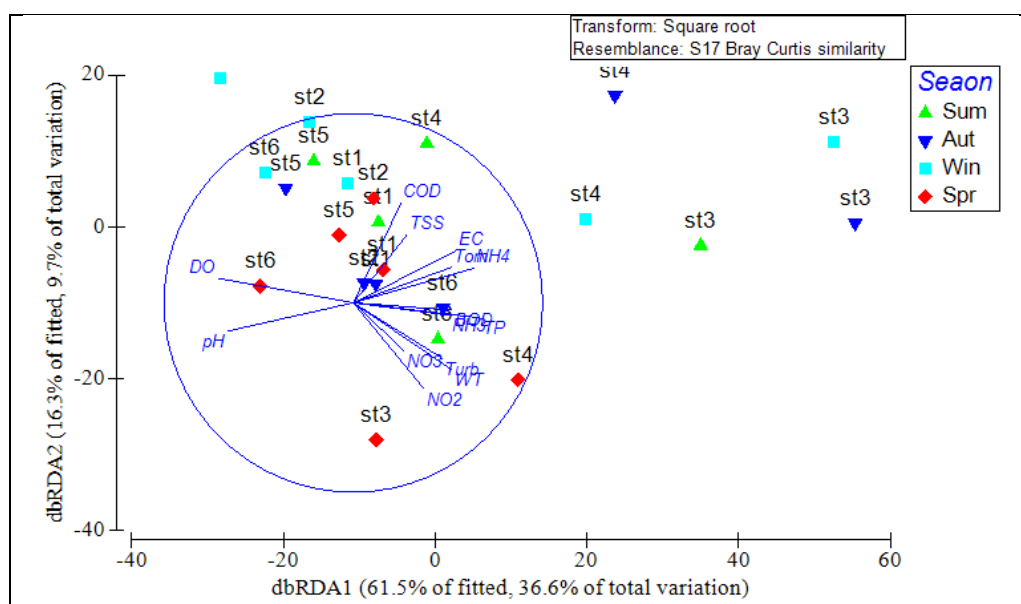
تابستان تا (۲۶/۵±۲۷/۶) در بهار متغیر بود. میانگین مقدار اکسیژن محلول (DO) در زمستان (۵/۸±۲/۳) میلی گرم بر لیتر) و در بهار (۷/۳±۱/۸) میلی گرم بر لیتر) به دست آمد. بیشترین و کمترین مقدار BOD₅ به ترتیب در زمستان (۸/۹±۶/۶) میلی گرم بر لیتر) و پاییز (۶/۴±۴/۹) میلی گرم بر لیتر) مشاهده شد. مقدار COD در بازه‌ای از (۵۰/۴±۵۴) میلی گرم بر لیتر) در زمستان تا (۳۰±۳۵/۸) میلی گرم بر لیتر) در بهار قرار داشت. مقدار pH به طور جزئی از زمستان (۷/۹±۰/۳) تا بهار (۸/۳±۰/۳) افزایش یافت. میانگین مقادیر هدایت الکتریکی (EC) در زمستان (۶۶۵/۴±۸۷/۴) میکروزیمنس بر سانتی متر) بیشترین و در بهار (۵۲۰/۷±۱۰۴/۶) کمترین مقدار را داشت. مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) از بهار (۲۶۰/۴±۵۲/۳) میلی گرم بر لیتر) تا زمستان (۳۳۲/۷±۴۳/۷) میلی گرم بر لیتر) افزایش یافت. بیشترین مقدار کل مواد معلق (TSS) در زمستان، تابستان و پاییز (۰/۱) میلی گرم بر لیتر) ثبت شد. مقادیر فسفات (PO_4^{3-}) و فسفر کل (TP) از بهار تا زمستان افزایش یافتند و به ترتیب در بازه‌ای از (۰/۹±۰/۷) تا (۳/۲±۱/۸) میلی گرم بر لیتر) و از (۱/۲±۰/۸) تا (۲/۸±۲/۳) میلی گرم بر لیتر) قرار داشتند. کمترین و بیشترین مقدار نیتريت (NO_2^-) در زمستان (۰/۴±۰/۴) و بهار (۱/۲±۲/۳) میلی گرم بر لیتر) مشاهده شد، در حالی که کمترین و بیشترین مقدار نترات (NO_3^-) به ترتیب در بهار (۹/۱±۳/۸) و زمستان (۱۳/۹±۷/۸) میلی گرم بر لیتر) ثبت شد. بیشترین مقدار آمونیاک (NH_3) در بهار (۰/۵±۱/۱) میلی گرم بر لیتر) اندازه گیری شد. در نهایت، کمترین مقدار آمونیوم (NH_4^+) در تابستان (۳/۴±۳/۱) میلی گرم بر لیتر) به دست آمد (جدول ۹).

جدول ۹: تغییرات پارامترهای محیطی در فصل‌های مختلف طی دوره نمونه برداری (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

شاخص	تابستان	پاییز	زمستان	بهار
WT (°C)	۲۱/۲±۳/۰	۸/۱±۲/۶	۱۳/۲±۳/۹	۱۵/۸±۳/۵
AT (°C)	۲۵/۳±۳/۳	۳/۴±۴/۳	۱۴/۶±۷/۳	۱۹/۴±۵/۵
Turb (NTU)	۸/۴±۱۰/۵	۱۹/۷±۳۳/۱	۲۱/۶±۳۳/۹	۲۶/۵±۲۷/۶
DO (mg/l)	۶/۹±۲/۰	۷/۲±۱/۹	۵/۸±۲/۳	۷/۳±۱/۸
BOD ₅ (mg/l)	۶/۷±۶/۲	۶/۴±۴/۹	۸/۹±۶/۶	۶/۵±۴/۴
COD (mg/l)	۴۱/۵±۴۹/۹	۳۷/۵±۲۰/۳	۵۰/۴±۵۴	۳۰±۳۵/۸
pH	۸/۰±۰/۳	۸/۱±۰/۳	۷/۹±۰/۳	۸/۳±۰/۳
EC (μs/cm)	۶۵۶/۵±۳/۹	۵۹۲/۱±۷۲/۹	۶۶۵/۴±۸۷/۴	۵۲۰/۷±۱۰۴/۶
TDS (mg/l)	۳۲۸/۳±۹۹/۹	۲۹۶±۳۶/۴	۳۳۲/۷±۴۳/۷	۲۶۰/۴±۵۲/۳
TSS (mg/l)	۰/۱±۰/۱	۰/۱±۰	۰/۱±۰	۰±۰
PO_4^{3-} (mg/l)	۱/۶±۱/۵	۱/۵±۱/۳	۳/۲±۱/۸	۰/۹±۰/۷
TP (mg/l)	۲±۱/۵	۲±۱/۷	۲/۸±۲/۳	۱/۲±۰/۸
NO_2^- (mg/l)	۰/۶±۰/۶	۰/۵±۰/۵	۰/۴±۰/۴	۱/۲±۲
NH_4^+ (mg/l)	۳/۴±۳/۱	۴/۳±۵/۵	۴/۴±۵	۱۴/۱±۳۰/۸
NH_3 (mg/l)	۰/۱±۰/۱	۰/۱±۰	۰/۱±۰/۱	۰/۵±۱/۱
NO_3^- (mg/l)	۹/۹±۷/۲	۱۱/۴±۵/۷	۱۳/۹±۷/۸	۹/۱±۳/۸

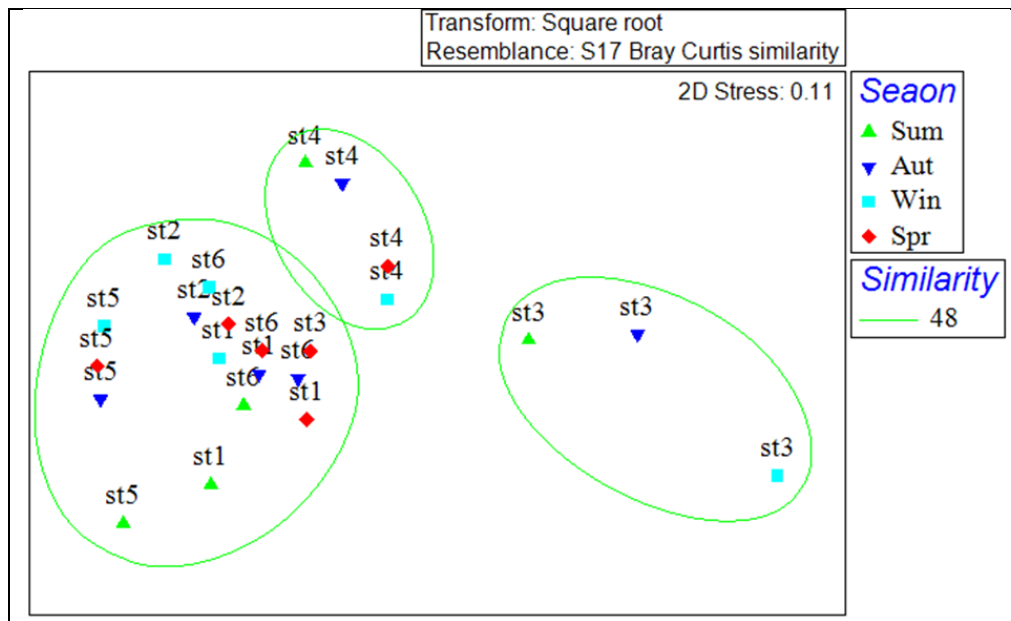
۳-۱۰-۱- روابط بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها با پارامترهای محیطی

شکل ۴۰ تحلیل تطبیقی مبتنی بر فاصله (dbRDA) روابط بین متغیرهای محیطی و ساختار جامعه ماکروبتوزها در ۶ ایستگاه از رودخانه سیروان در ۴ فصل انجام شد. نمودار حاصل، ارتباط فصلی و مکانی جوامع بنتوزی با عوامل محیطی را به خوبی نمایان می‌کند. طول و جهت فلش‌های مربوط به این متغیرها در نمودار، میزان و جهت اثرگذاری آن‌ها را بر ترکیب جمعیتی نشان می‌دهد. بیشترین تاثیر پارامترهای محیطی در فصل پائیز (ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶) و کمترین تاثیر پارامترهای محیطی در فصل زمستان (ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴ و ۶) مشاهده شد.



شکل ۴۰: تحلیل تطبیقی مبتنی بر فاصله (dbRDA) روابط بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها با متغیرهای محیطی در رودخانه سیروان

رتبه بندی nMDS بر اساس شباهت Bray-Curtis و خوشه‌بندی (گروه‌ها با دایره‌های سبز تقسیم شده‌اند) ترکیب مجموعه ماکروبتوزها در ۶ ایستگاه مورد مطالعه در چهار فصل در رودخانه سیروان در شکل ۴۱ آورده شده است. بر اساس آنالیز nMDS، ترکیب جوامع ماکروبتوزها در سطح تشابه ۴۸٪ گروه‌بندی شدند و بر اساس ایستگاه سه گروه مجزا را نشان داد. گروه اول شامل ایستگاه ۳ (در فصل‌های تابستان، زمستان و پائیز) بود. گروه دوم شامل ایستگاه ۴ (در هر ۴ فصل سال) و گروه سوم شامل ایستگاه‌های ۱، ۲، ۵ و ۶ (در هر چهار فصل سال) و ایستگاه ۳ (در فصل بهار) بود.



شکل ۴۱: رتبه‌بندی nMDS بر اساس شباهت Bray-Curtis و خوشه‌بندی ترکیب مجموعه ماکروبتوزها در ۶ ایستگاه و چهار فصل در رودخانه سیروان

۳-۱۰-۲- روابط شاخص‌های زیستی و جوامع ماکروبتوز با پارامترهای محیطی

بر اساس مدل DistLM، شاخص غنای گونه‌ای (S) با پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن بیوشیمیایی (BOD_5)، فسفر کل (TP)، نیتрат (NO_3) و مواد آلی کل (TOM) همبستگی داشت. این عوامل در مجموع ۷۶/۲٪ از تغییرات شاخص غنای گونه‌ای را توضیح دادند. شاخص یکنواختی پیلو (J') نیز با DO ، BOD_5 ، نیتريت (NO_2)، آمونیوم (NH_4^+)، نیترات (NO_3^-) و TOM همبستگی نشان داد و این متغیرها ۷۲/۲ درصد از تغییرات این شاخص را نشان دادند. در حالی که شاخص تنوع شانون-وینر (H') با کدورت (Turb)، DO ، BOD_5 ، TP، نیترات و TOM همبستگی داشت و این متغیرها در مجموع ۸۶/۲ درصد از تغییرات این شاخص را توضیح دادند. در خصوص تاکسون‌های منفرد، پراکنش خانواده Lumbriculidae تحت تأثیر WT، Turb، BOD_5 ، مواد معلق جامد (TSS)، فسفر کل (TP)، آمونیاک (NH_3) و نیترات قرار گرفت که در مجموع ۴۴٪ از تغییرات را نشان داد. پارامترهای NO_3^- ، NH_3 ، TP، TSS، BOD_5 ، Turb، WT ۷۵٪ از تغییرات در پراکنش خانواده Chironomidae را نیز توضیح دادند. علاوه بر این، پراکنش خانواده Baetidae تحت تأثیر DO ، BOD_5 ، pH و TOM قرار داشت که در مجموع ۵۴/۴٪ از تغییرات آن را توضیح دادند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: ارتباط نسبت پارامترهای محیطی با شاخص‌های زیستی و سه گروه از ماکروبت‌توزها در رودخانه سیروان.

	پارامترهای محیطی	AIC	RSS	R ²
R	DO, BOD ₅ , TP, NO ₃ , TOM	۷۸/۲	۵۴۸/۸	۰/۷۶۲
J'	DO, BOD ₅ , NO ₂ , NH ₄ , NO ₃ , TOM	۸۲/۲	۵۴۸/۲	۰/۷۹۲
H'	Turb, DO, BOD ₅ , TP, NO ₃ , TOM	۸۴/۵	۶۱۴/۷	۰/۸۶۲
Lumbriculidae	DO, pH, NO ₂	۱۲۶/۱	۷۳۴۰/۷	۰/۴۴
Chironomidae	WT, Turb, BOD ₅ , TSS, TP, NH ₃ , NO ₃	۱۱۴/۲	۲۷۰۹/۸	۰/۷۵۰
Baetidae	DO, BOD ₅ , pH, TOM	۱۳۴/۴	۱۰۰۷۹/۰	۰/۵۴۴

۴- بحث

رودخانه سیروان به‌عنوان یکی از منابع آبی مهم در غرب ایران، به‌ویژه در محدوده شهرستان سنندج، در معرض فشارهای فزاینده‌ای از جمله ورود فاضلاب‌های شهری و پساب‌های کشاورزی قرار دارد. تخلیه مستقیم فاضلاب تصفیه‌نشده یا نیمه‌تصفیه‌شده به شاخه قشلاق‌رود، سبب تغییر در ساختار جوامع ماکروبتنوزی شده است. لذا پایش و مدیریت منابع آلاینده در این رودخانه، برای حفظ سلامت اکوسیستم و جوامع آبی آن ضروری است.

این موضوع بیانگر حساسیت بالای جوامع بتنوزی به تغییرات محیطی و اهمیت آن‌ها به‌عنوان شاخص‌های زیستی در پایش وضعیت اکولوژیکی رودخانه است. اهمیت جوامع بتنوزی نه‌تنها به‌دلیل نقش مهم در زنجیره غذایی است، بلکه حضور یا عدم حضور برخی از گونه‌ها، نشان‌دهنده کیفیت آب از نظر میزان آلودگی یا عدم آلودگی است (Jalili, 2020). این موجودات بخش مهمی از زندگی خود را در آب به‌سر می‌برند و تحت تأثیر عوامل استرس‌زای محیطی به‌خصوص اثرات تجمعی آلودگی‌ها قرار می‌گیرند (Foomani et al, 2019).

۴-۱- تراکم، زی‌توده و فراوانی جوامع ماکروبتنوزها

نتایج نشان داد که تعداد ۳۳۴۸۹ ماکروبتنوز از ۱۵ خانواده شناسایی و شمارش شد. بیشترین میانگین سالانه تراکم ماکروبتنوزها به‌ترتیب در ایستگاه ۲ (۹۳۲ عدد در مترمربع) با فراوانی ۲۲ درصد و ایستگاه ۵ (۷۳۲ عدد در مترمربع) (شاخه گاوه‌رود) با فراوانی ۲۶ درصد و کمترین میانگین تراکم در ایستگاه ۳ (ایستگاه ۲ در مطالعه گذشته) با فراوانی ۳ درصد دیده شد. بیشترین میانگین زی‌توده نیز در ایستگاه ۵ (۱۴/۵۰۹ گرم در مترمربع) مشاهده شد که به‌دلیل حضور Sphaeriidae و Gammaridae در این ایستگاه می‌باشد. در بررسی ماکروبتنوزهای رودخانه‌های قشلاق و گاوه‌رود (افرائی و شکوری، ۱۴۰۰) طی ۴ فصل، تعداد ۲۱۰۲۰ ماکروبتنوز از ۱۰ خانواده را در حوضه نمونه‌برداری مشاهده نمودند و بیشترین تراکم را در ایستگاه ۳ (۵۵۱ عدد در مترمربع) با فراوانی ۳۴ درصد و کمترین تراکم را در ایستگاه ۲ (۳۸ عدد در مترمربع) (ایستگاه ۳ در مطالعه حاضر) با فراوانی ۷ درصد و بیشترین زی‌توده را در ایستگاه ۵ (۷/۵۳ گرم در مترمربع) و کمترین زی‌توده را در ایستگاه ۲ (۰/۱۱۵ گرم در مترمربع) گزارش شد. با وجود کوهستانی بودن منطقه و دبی نسبتاً بالایی جریان در بسیاری از ایستگاه‌های رودخانه سیروان، بررسی ساختار جامعه ماکروبتنوزی نشان داد که خانواده Chironomidae در اکثر ایستگاه‌ها از فراوانی بالایی برخوردار بود. عوامل متعددی می‌تواند تأثیرگذار باشد که مهم‌ترین آن‌ها ورود مقادیر قابل توجهی از مواد آلی از طریق پساب‌های شهری، به‌ویژه در ایستگاه‌های پایین‌دست تصفیه‌خانه فاضلاب باشد. این ورود پساب موجب افزایش بار آلی و در نتیجه کاهش اکسیژن محلول در برخی مناطق شده که شرایط را برای زیست گونه‌های مقاوم به آلودگی نظیر شیرونومیده‌ها مناسب نموده است. از سوی دیگر، ساختار فیزیکی بستر و هیدرودینامیک رودخانه نیز نقش مهمی دارد. لذا در این شرایط، ویژگی‌های طبیعی رودخانه (نظیر کوهستانی بودن، دبی بالا و اکسیژن محلول زیاد) دیگر عامل غالب تعیین‌کننده کیفیت زیستی در این منطقه نیستند، بلکه

تأثیرگذاری فزاینده عوامل انسانی و ورود آلاینده‌ها موجب تغییر ساختار بوم‌شناختی بستر رودخانه شده است. همچنین افرائی بندپی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش نمودند که در رودخانه پل سه منتهی به سد میجران در استان مازندران گروه‌های حساس به آلودگی شامل Baetidae، Heptagenidae و Hydropsychidae بیشترین فراوانی (۸۸ درصد) را داشتند و بیان نمودند که این امر می‌تواند به زمان و مکان نمونه برداری، وضعیت توپوگرافی منطقه، جنس بستر، عمق نمونه برداری، اندازه ذرات، پوشش گیاهی مرتبط باشد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که آشفته‌گی‌های زیست محیطی می‌تواند دلیل تغییر در ساختار جوامع ماکروبتوزی باشد. هاشمیان (۱۳۹۶) گزارش نمود که در بررسی ماکروبتوزهای موجود در دریاچه پشت سد آزاد سندج یک گروه از کرم‌ها حلقوی خانواده Lumbriculidae را شناسایی کردند که در مطالعه حاضر نیز این خانواده مشاهده شد. نادری و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی ماکروبتوزها در پایاب سد سبلان خانواده Chironomidae را با درصد فراوانی قابل توجه‌ای گزارش کردند که با مطالعه حاضر مطابقت دارد. Hettige و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که افزایش فعالیت‌های کشاورزی در حاشیه اکوسیستم آبی سبب افزایش مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی و زیستی دور از انتظار نیست و به‌طور مستقیم بر جوامع زیستی خصوصاً فراوانی و تنوع ماکروبتوزها اثر می‌گذارد. در واقع می‌تواند محیط را برای گروه‌هایی که توان بالاتری برای سازگاری با شرایط آلودگی متوسط به مواد آلی دارند، فراهم نماید. این شرایط برای برخی از گروه‌های کفزی غیر قابل تحمل بوده و نهایتاً منجر به کاهش تنوع و غالب شدن برخی دیگر می‌گردد (کاظم الغانمی و همکاران، ۱۴۰۳).

۴-۲- میزان مواد آلی رسوبات بستر

در مطالعه حاضر، بیشترین میانگین مواد آلی مربوط به ایستگاه ۳ (۲۳/۵۵ درصد) و سپس ایستگاه ۴ (۱۳/۶۲ درصد) بوده است. این دو ایستگاه همچنین دارای بالاترین مقادیر شاخص هیلسنهوف (۷/۷۲ و ۷/۹۲) و کمترین تنوع زیستی هستند. این همبستگی نشان می‌دهد که تجمع بالای مواد آلی در بستر می‌تواند با کاهش کیفیت اکولوژیکی، افزایش فراوانی گونه‌های مقاوم مانند Chironomidae و کاهش حضور گونه‌های حساس همراه باشد. نتایج مطالعه حاضر با Liang و همکاران (۲۰۲۴) و Dong و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد که در آن‌ها نیز رابطه مستقیم بین درصد بالای مواد آلی، شرایط هیپوکسی و کاهش تنوع بنتوزها گزارش شده است. در بررسی گذشته (افرائی و شکوری، ۱۴۰۰) از این حوضه آبریز نیز میزان مواد آلی رسوبات بستر از ۳/۱۰ تا ۲۳/۶ متغیر بود که با بررسی اخیر تفاوتی نداشت و در هر دو مطالعه بیشترین میزان آن در ایستگاه ۲ (ایستگاه ۳ کنونی) اندازه‌گیری شد. حضور گروه ماکروبتوزی با مقاومت بالا (Chironomidae) در این ایستگاه نتایج فوق را تایید می‌کند. بررسی انجام شده بین موجودات بنتیکی و رسوبات بستر نشان داد که شرایط هیپوکسی در رسوبات سبب مرگ و میر موجودات بنتیکی و نیز کاهش تنوع گونه‌ای خواهد شد (Levin et al., 2009) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در ماه اسفند به علت دستکاری بستر رودخانه و تغییرات موجود در منطقه میزان کل مواد آلی گزارش شده نسبت به گزارشات قبلی دارای تغییرات زیادی است. در ماه فروردین و

اردیبهشت حجم آب رودخانه بسیار زیاد بود اما در ماه خرداد سطح آب کاهش پیدا کرده بود و لجن زیاد به خصوص در ایستگاه ۳ وجود داشت که می‌تواند علت بالا بودن میزان کل مواد آلی نسبت به ماه‌های قبل در این ایستگاه باشد. Belal و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که در بررسی انجام شده در دریاچه تیمشا در مصر نشان داد که موجودات بنتیکی دارای بیشترین فراوانی را نسبت به تالاب غربی داشتند جایی که میزان اکسیژن محلول آن از ۳ میلی گرم در لیتر در تابستان تا ۹/۲۴ میلی گرم در لیتر در بهار متغیر بود، درحالی که در تالاب غربی میزان اکسیژن محلول بین ۱ میلی گرم در لیتر (هیپوکسی) در تابستان به دلیل مواد آلی بالا و ورودی آلاینده‌ها از طریق دفع فاضلاب‌های تصفیه نشده و پساب‌های کشاورزی به ۱۱ میلی گرم در لیتر در بهار نوسان داشت که این دامنه زیاد تغییرات اثر مستقیم روی ترکیب اکسیژنی در لایه‌های رسوبات گذاشته که در نهایت منجر به نابودی موجودات بنتیکی و کاهش فراوانی آن‌ها خواهد شد.

۴-۳- دانه بندی رسوبات بستر

با توجه به نتایج دانه بندی رسوبات، در ایستگاه ۵ و ۶، بخش عمده‌ای از بستر رودخانه را ماسه بسیار درشت و شن (بیش از ۶۰ تا ۹۰ درصد) تشکیل دادند. این رسوبات دارای نفوذپذیری بالا و تخلخل زیاد هستند که موجب افزایش تبادل آب و اکسیژن در لایه‌های زیرسطحی بستر می‌شود و محیط مناسب‌تری برای حضور گونه‌های حساس‌تر و با نیاز اکسیژنی بالا فراهم می‌کند. این موضوع با یافته‌های دیگر این مطالعه نیز هم‌راستا است، چرا که ایستگاه ۵ بهترین شرایط زیستی را بر اساس شاخص‌های زیستی مانند شانون، هیلسنهوف و تنوع نشان داده است. در مقابل، سهم لای و رس در فصل تابستان (۱۴ تا ۱۸ درصد) نسبت به سایر فصول افزایش داشته است که می‌تواند نتیجه‌ی کاهش دبی و سرعت جریان، افزایش ته‌نشینی و تجمع مواد آلی در بستر رودخانه باشد. این نوع بسترها با نفوذپذیری کمتر و ظرفیت بالای جذب آلاینده‌ها، محیطی مناسب برای گونه‌های مقاوم‌تر فراهم می‌کنند اما می‌توانند تنوع زیستی را کاهش دهند. مطابق با مطالعات Liang and Ma (۲۰۲۵)، افزایش ذرات ریزدانه در مناطق پایین دست یا در فصل‌های کم‌بارش معمولاً با افزایش آلودگی آلی، تجمع فلزات سنگین و کاهش غنای گونه‌ای همراه است. در مطالعه‌ی حاضر نیز فصل تابستان که درصد ذرات ریز در ایستگاه‌ها بیشتر بوده، با کاهش تنوع و افزایش حضور خانواده‌های مقاوم مانند Chironomidae مشاهده شده است. ترکیب دانه‌بندی رسوبات بستر رودخانه سیروان یکی از عوامل کلیدی در تعیین وضعیت اکولوژیکی ایستگاه‌ها بوده است. ایستگاه‌هایی با رسوبات درشت‌دانه (به‌ویژه ایستگاه ۵) دارای کیفیت زیستی بالاتر و جوامع متنوع‌تری بودند، در حالی که افزایش ذرات ریز در فصل تابستان با کاهش کیفیت زیستی و حضور گونه‌های مقاوم‌تر همراه بود.

۴-۴- شاخص‌های زیستی

استفاده از شاخص‌های تنوع زیستی بر اساس ساختار جوامع کفزی برای کیفیت آب و آگاهی از سلامت زیستی اکوسیستم از اهمیت بسیاری برخوردار است. امتیازدهی در سطح خانواده معمولاً نشان‌دهنده مقدار متوسطی از دامنه

تحمل گونه‌های تشکیل‌دهنده این خانواده است (Varnosfaderany et al., 2010). در بررسی حاضر، نتایج شاخص هیلسنهوف در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره یک‌ساله از مقدار عددی میانگین $5/30$ تا $7/92$ متغیر بود و ایستگاه ۵ که در شاخه گاوه رود قرار دارد کمترین میزان شاخص هیلسنهوف ($5/30$) را نشان داد و درجه آلودگی در حد نسبتاً قابل توجه و در طبقه کیفیت آب متوسط قرار گرفت. ایستگاه ۵، پایین‌ترین مقدار شاخص هیلسنهوف را نشان داد. این ایستگاه احتمالاً کم‌ترین تأثیر از آلودگی‌های انسانی را دریافت کرده و از نظر زیستی وضعیت بهتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارد. میزان شاخص هیلسنهوف در ایستگاه‌های مختلف، متغیر بود که می‌تواند به دلیل تفاوت در موقعیت مکانی آن‌ها باشد. ایستگاه ۵ در شاخه گاوه رود واقع است و ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۴ که در پایین دست تصفیه‌خانه فاضلاب و در امتداد شاخه قشلاق رود قرار دارند، تحت تأثیر ورود پساب شهری بوده و از شاخص زیستی پایین‌تری برخوردار بودند. نزدیکی این ایستگاه‌ها به منابع آلاینده مانند خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، زهکشی‌های کشاورزی یا مناطق شهری می‌تواند دلیل اصلی افت کیفیت آب و تغییر در ساختار جامعه ماکروبنتوزی باشد. در بررسی شاخص هیلسنهوف رودخانه‌های قشلاق و گاوه رود (افرائی و شکوری، ۱۴۰۰) طی ۴ فصل (سال گذشته)، از مقدار عددی میانگین $5/98$ تا $7/67$ متغیر بود که کمترین میزان آن در ایستگاه ۵ ($5/98$) (ایستگاه ۶ در مطالعه حاضر و در شاخه سیروان) محاسبه شد و در طبقه کیفیت آب نسبتاً ضعیف قرار گرفت و سایر ایستگاه‌ها در طبقه کیفیت آب ضعیف و بسیار ضعیف قرار گرفتند. شکوری و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی نتایج رودخانه قشلاق گزارش کردند که که خانواده‌های Chironomidae و Lumbriculidae در تمام ایستگاه‌ها و فصول مختلف سال حضور داشتند که در واقع بیانگر بار متوسط تا زیاد آلودگی آب است و بیان نمودند که ایستگاه ۲ (بعد از تصفیه خانه) دارای بیشترین بار آلودگی بوده که امکان زیست خانواده‌های مقاوم به آلودگی متوسط شامل Hydropsychidae، Baetidae و Simuliidae را نداده است.

بر اساس شاخص تنوع شانون، هر چه مقدار این شاخص کم‌تر و نزدیک به صفر باشد محیط آلوده‌تر است. طی بررسی حاضر، کم‌ترین مقدار شاخص تنوع شانون در ماه مهر ($0/99$) و بیشترین میزان آن در ماه اردیبهشت ($1/90$) به دست آمد. نوسان فصلی در مقدار شاخص شانون می‌تواند ناشی از تغییرات در دبی، دما، بارندگی و شدت ورود آلاینده‌ها باشد. افزایش مقدار این شاخص در فصل‌های بهار و تابستان ممکن است ناشی از افزایش زی‌توده و حضور همزمان گونه‌های مختلف در نتیجه افزایش دمای آب و فعالیت فیتوپلانکتونی باشد که شرایط را برای توسعه جوامع ماکروبنتوز مهیا می‌کند. در مجموع، روند فصلی این شاخص بیانگر آن است که کیفیت زیستی رودخانه سیروان در بیشتر فصول در وضعیت متوسط قرار دارد، ولی در فصل پاییز با کاهش بارندگی، افزایش غلظت آلاینده‌ها و کاهش دبی، وضعیت به سمت تخریب و کاهش تنوع پیش می‌رود. این موضوع باید در مدیریت منابع آب و کنترل آلودگی در ماه‌های کم بارش مدنظر قرار گیرد. طبقه بندی کیفی آب با استفاده از شاخص شانون در اکثر ماه‌های سال، آلودگی متوسط را نشان داد. در تمامی ماه‌های سال متفاوت بودن گونه‌ها و میزان حضور آن‌ها در نقاط مختلف رودخانه را می‌توان به دلیل خصوصیات زیست‌شناسی گروه‌های مختلف زیستی، ساختار بستر و اندازه ذرات، فراوانی مواد غذایی و مقدار مواد آلی، خصوصیات

شیمیایی و فیزیکی حاکم بر محیط آن‌ها دانست. بسیاری از گونه‌ها می‌توانند در محیط‌هایی که مواد آلی بالا دارند و به‌خوبی هوادهی می‌شوند، زندگی کنند. چنین شرایطی در رودخانه‌های کم عمق ولی دارای توربولانت نیز دیده می‌شود (Hilssenhoff, 1988). در سیستم‌های آلوده تنوع بزرگ بی‌مهرگان کفزی کم ولی دارای فراوانی بالایی هستند.

نتایج حاصل از شاخص مقایسه‌ای تراکم/زی‌توده (ABC) نشان داد که در ایستگاه ۵ که مقدار W برابر با ۰/۰۸۵ بود، با شاخص‌های دیگر مانند بیشترین مقدار زی‌توده، بیشترین درصد فراوانی و بالاترین تنوع گونه‌ای (H') و یکنواختی (J') همخوانی دارد. از سوی دیگر، نزدیکی مقدار W به صفر در ایستگاه‌های ۲ و ۳ می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت انتقالی باشد که در آن فشارهای محیطی متوسط هستند و ترکیب جامعه شامل هر دو گروه گونه‌های مقاوم و حساس است. بنابراین، شاخص ABC به‌عنوان یک ابزار مکمل، به‌خوبی نتایج سایر شاخص‌های زیستی و فیزیکوشیمیایی را در این مطالعه تأیید می‌کند. قلی‌زاده و پاکروان (۱۳۹۵) با مطالعه بر جمعیت جوامع کفزی بر اساس شاخص‌های زیستی رودخانه زرین‌گل استان گلستان، بیان نمودند که وجود فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی موجب آلودگی آب‌های سطحی شد و بیشترین فراوانی از راسته Diptera با ۴۶/۹ درصد را ثبت کردند.

۴-۵- روابط شاخص‌های زیستی و جوامع ماکروبتوز با پارامترهای محیطی

روابط بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها با پارامترهای محیطی نشان داد که برخی متغیرهای فیزیکوشیمیایی مانند اکسیژن محلول (DO)، نترات (NO_3^-)، آمونیوم (NH_4^+)، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD_5)، فسفر کل (TP) و کدورت (Turbidity) بیشترین تأثیر را بر توزیع و ترکیب جوامع ماکروبتوز در ایستگاه‌ها و فصول مختلف داشتند. پراکنش فصلی نمونه‌ها نشان داد که تغییرات ساختاری در جوامع ماکروبتوز در برخی موارد بیش از تفاوت‌های مکانی بوده و این موضوع نشان‌دهنده اهمیت نقش تغییرات زمانی (فصلی) در کیفیت زیستی آب است. ایستگاه‌ها در فصل زمستان، اغلب در نزدیکی بردارهای BOD_5 و نترات مشاهده شدند که می‌تواند بیانگر افزایش آلودگی آلی و بار مواد مغذی در این فصل باشد. از سوی دیگر، ایستگاه‌هایی که در راستای بردار DO و pH قرار داشتند، وضعیت زیستی نسبتاً بهتری را نشان می‌دهند. بطورکلی، این تحلیل نشان داد که کیفیت آب رودخانه سیروان تحت تأثیر همزمان عوامل طبیعی (مانند دما و فصل) و انسانی (مانند ورود فاضلاب و آلاینده‌ها) قرار دارد و متغیرهای شیمیایی نقش مهمی در تعیین ساختار جوامع ماکروبتوز ایفا می‌کنند.

نتایج این مطالعه در خصوص ارتباط میان فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب و ساختار جامعه ماکروبتوزها با یافته‌های مطالعات مشابه در مناطق ساحلی کره جنوبی مطابقت دارد. Liang و همکاران (۲۰۲۴) در بررسی خود در خلیج Asan دریافتند که غنای گونه‌ای و یکنواختی ماکروبتوزها تحت تأثیر متغیرهایی نظیر NH_4^+ ، DO و TOM قرار دارند و کاهش کیفیت بستر همراه با افزایش فلزات سنگین، موجب کاهش تنوع و افزایش گونه‌های مقاوم گردید. گزارش Liang and Ma (۲۰۲۵) نشان داد که فعالیت‌های انسانی نظیر آبریزی‌پروری و ورود پساب باعث کاهش کیفیت زیستی بستر شده و

شاخص‌های زیستی کفزیان با غلظت نیتрат، فسفات، BOD_5 همبستگی معنی‌داری دارند. در مطالعه حاضر شاخص‌های زیستی مانند هیلسنهوف (HFBI)، شانون (H') و یکنواختی (J') تحت تأثیر پارامترهایی مانند نیترات، BOD ، TP و مواد آلی کل (TOM) قرار گرفتند و تغییرات ساختار جمعیت در ایستگاه‌های تحت تأثیر آلودگی، مشابه الگوهای گزارش شده در مطالعات فوق بود (Liang *et al.*, 2024; Liang and Ma, 2025).

۵- نتیجه گیری کلی

مطالعه حاضر با هدف بررسی ساختار جوامع ماکروبتوزی و ارزیابی وضعیت زیستی و کیفیت آب رودخانه سیروان در محدوده استان کردستان انجام شد. نتایج نشان داد که ترکیب و تنوع جوامع ماکروبتوزی به شدت تحت تأثیر عوامل فیزیکوشیمیایی آب، کیفیت رسوبات بستر، و میزان ورود آلاینده‌ها قرار دارد. شاخص‌های زیستی مانند شانون، شاخص هیلسنهوف و شاخص مقایسه‌ای تراکم/زی‌توده (ABC) به‌وضوح الگوهای متفاوتی از شرایط زیستی ایستگاه‌ها را آشکار کردند. ایستگاه ۵ که در شاخه گاوه‌رود با کم‌ترین سهم از منابع آلاینده شهری، در اغلب شاخص‌ها بهترین وضعیت زیستی را نشان داد و با بالاترین تنوع، زی‌توده و پایین‌ترین شاخص آلودگی هیلسنهوف مشخص شد. در مقابل، ایستگاه‌های پایین‌دست تصفیه‌خانه فاضلاب (به‌ویژه ایستگاه ۳) به‌دلیل ورود مستقیم پساب‌های شهری و تجمع بالای مواد آلی، از کم‌ترین کیفیت اکولوژیکی برخوردار بودند. حضور غالب خانواده‌هایی نظیر Chironomidae و Lumbriculidae در این ایستگاه‌ها مؤید این وضعیت است. در پایان با استفاده از ارزیابی کیفی رودخانه سیروان با استفاده از جوامع کفزی در این دوره از نمونه‌برداری، می‌توان بیان کرد که نیاز به پایش مستمر با تعداد ایستگاه‌های بیشتر و فواصل نزدیک‌تر ضروری است.

دانه‌بندی رسوبات نیز در تعیین وضعیت زیستی نقش کلیدی داشت. ایستگاه‌هایی با رسوبات درشت‌دانه‌تر (مانند ایستگاه‌های ۵ و ۶) محیطی مناسب برای گونه‌های حساس‌تر ایجاد کرده بودند، در حالی که افزایش ذرات ریز و مواد آلی در فصل تابستان به افزایش گونه‌های مقاوم و کاهش تنوع منجر شد.

در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت اکولوژیکی رودخانه سیروان، به‌ویژه در شاخه قشلاق‌رود، تحت فشار شدید منابع آلاینده انسانی قرار دارد و حفظ سلامت زیستی این رودخانه مستلزم مدیریت مؤثر ورود فاضلاب، بازنگری در مکان‌یابی خروجی‌های تصفیه‌خانه‌ها و برنامه‌ریزی جامع برای پایش مستمر جوامع ماکروبتوزی به‌عنوان شاخص‌های حساس محیطی است. به‌کارگیری هم‌زمان شاخص‌های زیستی و تحلیل‌های فیزیکوشیمیایی در این پژوهش، رویکردی کارآمد و قابل اعتماد برای ارزیابی سلامت رودخانه‌ها ارائه داده که می‌تواند به‌عنوان الگویی در سایر حوضه‌های آبریز مشابه نیز مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- ابراهیمی، ع.، فتحی، پ.، قدرتی، ف.، نادری، م. و پیرعلی، ا. ر. ۱۳۹۶. ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از شاخص‌های کیفی و زیستی. مجله علمی شیلات ایران. شماره ۲۶ (۵). ص ۱۴۳-۱۳۹.
- افرائی بندپی، م. ع. و شکوری، م. ۱۴۰۰. بررسی تنوع گونه‌ای و فراوانی ماکروبتوز سد ژاوه طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۹. خدمات پژوهشی و مشاوره‌ای مطالعات پایش کیفی سدمخزنی ژاوه. پژوهشکده اکولوژی دریای خزر. ۴۰ ص.
- افرائی بندپی، م. ع.، شکوری، م.، نادری، م.، روحی، ا. ۱۳۹۹. گزارش مقدماتی بررسی سد میجران. پژوهشکده اکولوژی دریای خزر. ۱۰ ص.
- امانی، ک.، خوشنوازی، ر. و حلاج، ر. ۱۳۹۰. بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه قشلاق سنندج. طرح پژوهشی خاتمه یافته، دانشگاه کردستان.
- امینی، ع. و گفتاری، ز. ۱۳۹۶. ارزیابی تأثیرات سد ژاوه بر مناطق روستایی همجوار، شهرستان سنندج. مجله جغرافیا و توصیه ناحیه‌ای، ۱۵ (۱): ۲۳۶-۲۱۳.
- پیرعلی زفره‌ئی، ا. ر. و ابراهیمی درچه، ع. ۱۳۹۵. معرفی چند شاخص زیستی مناسب برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه. نشریه آب و توسعه پایدار. سال سوم. شماره ۲. ۴۲-۳۵.
- روحی دقیق، ج.، عابدینی، ع.، میرزاجانی، ع. و صلواتیان، س. م. ۱۳۹۶. ارزیابی لیمنولوژیکی دریاچه ارسباران به‌منظور توسعه آبرزی پروری. فصلنامه علوم تکثیر و آبرزی پروری. سال چهارم، شماره سیزدهم. ص ۲۲-۱۱.
- شکوری، م.، افرائی بندپی، م. ع.، نادری، م.، کریمیان، ع. ۱۴۰۲. بررسی جوامع بزرگ بی‌مهرگان کفزی رودخانه‌های قشلاق و گاوه‌رود (استان کردستان) بر اساس شاخص زیستی هیلسنهوف (HFBI). نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۲ (۱): ۷۳-۶۱.
- قلی‌زاده، م. و پاکروان، م. ۱۳۹۵. بررسی جوامع بزرگ بی‌مهرگان آبرزی بر اساس شاخص‌های زیستی در رودخانه زرین‌گل، استان اصفهان. علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره بیست و یکم. شماره ۸. ۲۳۲-۲۲۱.
- قلی‌زاده، م. و حاجی‌لی‌دوجی، م. ۱۴۰۰. ارزیابی کیفیت آب رودخانه مبارک‌آباد، استان گلستان مبتنی بر تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های زیستی درشت بی‌مهرگان کفزی. مجله منابع طبیعی ایران. ۷۴ (۴): ۵۴۱-۵۲۵.
- کاظم‌الغانمی، س. م.، چمنی، ع.، عبدالله‌الموسوی، ا. ن.، رضائی‌توابع، ک. (۱۴۰۳). بررسی ارتباط برخی پارامترهای آب و رسوب با شاخص ارزش زیستی بی‌مهرگان کفزی در تالاب بین‌المللی چغاخور. مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده. سال ۱۵. شماره ۱. ص ۵۷-۴۷.
- کیان‌ارثی، ف.، دهقان‌مدیسه، س.، خلفه‌نیل‌سازف، م.، مزرع‌اوی، م. ۱۳۸۷. بررسی اثرات احداث سد (مطالعه موردی اثرات احداث سد کرخه بر روی غلظت مواد مغذی). اولین همایش ملی تالاب‌های ایران. ۱۵-۱۴ اسفند. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ ص.

- میررسولی، ا.، قربانی، ر. و عباسی، ف. ۱۳۹۰. ارزیابی زیستی رودخانه زرین گل (استان گلستان) با استفاده از ساختار جمعیت ماکروبتوزها. نشریه شیلات. مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۶۴. شماره ۴. ص ۳۶۹-۳۵۷.
- نادری جلودار، م.، پورغلام، ر.، فارابی، م.و.، یوسفیان، م.، واردی، ا.، نجف پور، ش.، گنجیان، ع.، رستمیان، م.ت.، واحدی، ف.، علوم، ی.، نصراله تبار، ع.، یونسی پور، ح.، آذری، ع.، نورانی، آ.، دوستدار، م.، خداپرست، ن.، سلمانی، ع.، شیخ الاسلامی، ع. ۱۳۹۵. مطالعه لیمنولوژیک پایاب سد سبلان به منظور احداث کارگاه ماهیان سردآبی. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. ۶۰ ص.
- نادری جلودار، م.، پورنگ، ن.، افرائی بندپی، م.ع.، آذری، ع.، رحمتی، ر.، شکوری، م. ۱۴۰۲. استفاده از شاخص‌های ساپروفی و هیلسنهوف در ارزیابی کیفیت آب پائین دست رودخانه تجن به منظور رهاسازی بچه ماهیان. نشریه پژوهش‌های ماهی شناسی کاربردی. شماره ۳ (۱۱). ص ۳۲-۲۳.
- نادری جلودار، م.، نصراله زاده ساروی، ح.، رجبی، ا.، افرائی بندپی، م.ع.، شکوری، م.، روحی، ا.، مخلوق، آ.، فضلی، ح.، مکرمی، ع.، آذی، ع.، صفری، ر.، موسوی، ف. و متین فر، م. ۱۴۰۱. سنجش کارایی شاخص‌های بیولوژیک ماهیان و بزرگ بی‌مهرگان کف‌زی در ارزیابی کیفیت آب سرشاخه‌های قشلاق و گاوه‌رود. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. ۵۶ ص.
- نیک منش، س.، کبودوندپور، ش. و بهرامی کمانگر، ب. ۱۳۹۳. ارزیابی تنوع زیستی در جوامع ماکروبتوزی رودخانه قشلاق سندج. همایش کنگره ژتیک ایران.
- هاشمیان، ع. ۱۳۹۶. مطالعه لیمنولوژی و ارزیابی ذخائر سد آزاد سندج به منظور انجام فعالیت‌های شیلاتی. قسمت گزارش بررسی تراکم و زی توده ماکروبتوزهای سد آزاد سندج. ۱۸۰ ص.

- Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R. 2008. PERMANOVA for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth, UK: 218 p.
- Belal, A.A.M., Elsayed, M.A and Dar, M.A. 2017. The effect of water quality on the distribution of macro-benthic fauna in Western Lagoon and Timsah Lake, Egypt.I. Egyptian Journal of Aquatic Research. Vol.24 (2):438-448.
- BredenImhand, E. and Samways, M. J. 2009. Impact of a dam on benthic macroinvertebrates in a small river in a biodiversity hotspot: Cape Floristic Region, South Africa. Journal of Insect Conservation, 13(3):297-307.
- Dong, J.-Y., Zhao, L., Sun, X., Hu, C., Wang, Y., Li, W. T., et al. 2021. Response of macrobenthic communities to heavy metal pollution in Laoshan Bay, China: A trait-based method. Mar. Pollut. Bull. 167:112292.
- Du, J., Shi, B., Li, J., and Wang, Y. P. 2019. Muddy coast off Jiangsu, China: physical, ecological, and anthropogenic processes, in: sediment dynamics of Chinese muddy coasts and estuaries. Elsevier 3, 25–49.
- Edmondson, W.T. 1959. Fresh water biology, John Wiley and Sons, Inc. Washington. 1248 p.
- Foomani, A., Gholizadeh, M., Harsij, M., and Salavatian, S.M. 2019. Spatial and temporal variations in benthic macroinvertebrates communities Shanbeh-bazar waterway, Anzali wetland leading to the Caspian Sea. Journal of Aquaculture Ecology. 8: 4.87-95.
- Gezie, A., Goshu, G. and Tiku, S. 2023. Ecological effect of a small dam on the macroinvertebrate assemblage and water quality of Koga River, Northwest Ethiopia. Heliyon 9 : e17285.
- Hahn, J., Opp, C., Evgrafova, A., Groll, M., Zitzer, N. and Laufenberg, G. 2018. Impacts of dam draining on the mobility of heavy metals and arsenic in water and basin bottom sediments of three studied dams in Germany, Sci. Total Environ: 1072–1081.
- Hauer, F. R., and Lamberti, G. A. 2007. Methods in stream ecology. Elsevier In. 854 p.

- Hettige, N.D., Hashim, R.B., Ash'aari, Z.H., Kutty, A.A. and Jamil, N.R. 2021. Multivariate statistical approaches to benthic macroinvertebrates and water quality for farming impact assessment in Selangor River, Malaysia. Preprint.
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of North American Benthological Society*. 7: 1. 65-68.
- Holme, N.A. and McIntyre, A.D., 1984. *Methods for study of marine benthos*, second edition, Oxford Blackwell Scientific Publication, 387P.
- Jalili, S. 2020. Water Quality Assessment Based on HFBI and BMWP Index in Karoon River, Khuzestan Province, (Northwest of Persian Gulf). *Anthropogenic Pollution Journal*. 4 (1): 36-49.
- Kevin, B. L., and Vincent, H. R. 2011. Development and validation of a macroinvertebrate index of biotic integrity [IBI] for assessing urban impacts to Northern California freshwater wetlands. *Environ Monit Assess*. 6: 3653-3674.
- Kim, S., Lee, H. G., Kang, S. M., and Yu, O. K. 2020. The Influence of Manila Clam (*Ruditapes philippinarum*) on Macrobenthos Communities in a Korean Tidal Ecosystem. *Sustainability*. 12: 4205-4217.
- Levin, L. A., Ekau, W., Gooday, A. J., Jorissen, F., Middelburg, J. J., Naqvi, W., Neira, C., Rabalais, N. N., and Zhang, J. 2009. Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos, *Biogeosciences Discuss.*, 6, 3563–3654.
- Liang, J. and Ma, C. W. 2025. Impact of anthropogenic activities on the biodiversity of macrobenthos and benthic ecological quality in the mudflats of Hwangdo Island, South Korea: field surveys and remote sensing assessments. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1533891.
- Liang, J., Ma, C.W., and Kim, K.B. 2024. Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments and their impact on macrobenthos in Asan Bay, South Korea. *Front. Mar. Sci*. 11.
- Mirzajani, A. 2007. Investigation of Limnology of Lake Tahm Dam in Zanjan Province. Agricultural Jihad Organization of Zanjan Province. Zanjan Province Fisheries Management.p.90
- Needham, J.G. 1962. A guide to the study of Fresh-water biology. HOLDEN-DAYINC., SAN FRANCISCO. 107 p.
- Ortize, J. D., and Puig, M. A. 2007. Point source effects on density, biomass and diversity of benthic macroinvertebrate in a meditaranean stream. *River Research and Applications*. 23: 155-170.
- Pennak, R.W. 1953. *Freshwater invertebrates of United States*. The Ronald Press Company, New York.
- Shannon, C. E. and Wiener, W., 1949. "The Mathematical Theory of Communication Urban. University of Illinois Press, Urbana, USA, 132p.
- Varnosfaderany, M. N., Ebrahimi, E., Mirghaffary, N., and Safyanian, A. 2010. Biological assessment of the Zayandeh Rud River, Iran, using benthic macroinvertebrates. *Limnologica*. 40: 226–232.
- Wang, J., Ding, Ch., Heino, j., Jiang, X., Tao, H., Ding, L., Su, W., Huangand, M. and He, D. 2020. What explains the variation in dam impacts on riverine macroinvertebrates? A global quantitative synthesis. *Environ. Res. Lett*. 15: 124028.
- Wang, S., Wang, L., Chang, H., Li, F., Tang, J.PX. and Zhou, A. 2018. Longitudinal variation in energy flow networks along a large subtropical river, China. *Ecol. Model.*, 387: 83-95.
- Warwick, R. M., and Clarke, K. R. 1994. Relearning the ABC: Taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Marine Biology*, 118(4), 739–744.
- Wu, H., Chen, J., Xu, J., Zeng, G., Sang, L., Liu, Q., Yin, Z., Dai, J., Yin, D., Liang, J. and Ye, S. 2019. Effects of dam construction on biodiversity: a review, *J. Clean. Prod*. 221: 480–489.
- Zhang, L., Wu, B., Yin, K., Li, X., Kia, K., and Zhu, L. 2015. Impacts of human activities on the evolution of estuarine wetland in the Yangtze Delta from 2000 to 2010. *Environ. Earth Sci*. 73, 435–447.

Abstract:

The aim of this study was to assess the status of macrobenthic communities in the Sirvan River in order to determine the density and biomass of various macrobenthic groups and evaluate the water quality based on macrobenthic communities. The research was conducted in the branches of the Sirvan River, Kurdistan Province (downstream of the Zhavah reservoir Dam). Sampling was carried out using a Surber sampler from six stations: Station 1 (upstream of Qeshlagh), Station 2 (Qeshlagh branch before the wastewater treatment plant), Station 3 (Qeshlagh branch after the treatment plant), Station 4 (Qeshlaq branch), Station 5 (Gaveh Rood branch), and Station 6 (Sirvan branch–confluence), from Sep 2023 to Aug 2024 (monthly). Samples were fixed with 70% ethanol and were separated, identified, and counted in the laboratory. A total 33,489 of 3 phyla, 7 classes, 11 orders and 15 families were identified, including Chironomidae, Lumbriculidae, Simuliidae, Baetidae, Hydropsychidae, Erpobdellidae, Potamidae, Glossiphoniidae, Physidae, Sphaeriidae, Heptageniidae, Gammaridae, Tabanidae, Tipulidae, and Valvatidae. The highest annual mean density was recorded at Station 2 ($932 \pm 203.46 \text{ N/m}^2$). There was a significant difference with other stations ($p < 0.05$). And the highest mean biomass was observed at Station 5 ($14.509 \pm 7.051 \text{ g/m}^2$). There was a significant difference with other stations ($p < 0.05$). The highest density belonged to the family Chironomidae ($13286 \pm 222 \text{ N/m}^2$) (highest abundance 40%), while the lowest was observed in Potamidae ($29 \pm 3 \text{ N/m}^2$). Chironomidae also represented the highest relative abundance across the entire sampling period (40%). Relative abundance varied among stations, with the lowest and highest at Station 3 (3%) and Station 5 (26%), respectively. The annual analysis of sediment organic matter revealed that Station 1 had the lowest mean organic matter content ($3.29 \pm 0.58\%$), while Station 3 had the highest ($23.55 \pm 7.14\%$). Station 5, showed the best ecological condition based on most biological indices, including the highest diversity and biomass and the lowest pollution based on HFBI score.

Keywords: Diversity, Macrobenthos, Water quality, Hilsenhoff Biotic Index, Sirvan River, Kurdistan Province

Ministry of Agriculture -Jhad
AGRICULTURAL RESEARCH, EDUCATION & EXTENSION ORGANIZATION
Iranian Fisheries Science Research Institute- Caspian Sea Ecology Research Center-
Sari

Project Title: Investigating variety, abundance and biomass of macrobenthic communities of the branches of Sirvan river (Zhavah Dam-Sanandaj) (2023-2024)

Approved Number: 14-76-12-100-02046-020848

Author: Matin Shakoori

Project Leader: -

Project Researcher: Matin Shakoori

Provincial Researchers: -

Collaborator(s): H. Nasrollahzadeh Saravi, M.A. Afraei Bandpei, H. Fazli, B. Rahnama, R. Safari, M. Erfani, M. Karder Rostami, A. Ahmadnejad Chehre, N. Alishah, H. Younesipour Bahnemiri, A. Davoudi, A. Sajjadi, M. Rezaei, M.R. Sheikhasani

Advisor(s):

Location of execution: Mazandaran Province

Date of Beginning: 2024

Period of execution: 1 Year & 11 Months

Publisher: Iranian Fisheries Science Research Institute

Date of publishing: 2025

All Right Reserved. No Part of this Publication May be Reproduced or Transmitted without indicating the Original Reference.

Ministry of Agriculture -Jhad
AGRICULTURAL RESEARCH, EDUCATION & EXTENSION ORGANIZATION
Iranian Fisheries Science Research Institute - Caspian Sea Ecology Research Center

Project Title:

**Investigating variety, abundance and biomass of
macrobenthic communities of the branches of Sirvan river
(Zhavah Dam-Sanandaj) (2023-2024)**

Project Researcher:

Matin Shakoori

Register NO.

68412