

پایش وضعیت موجود بوم‌سازگان رودخانه زاینده رود با استفاده از شاخص‌های زیستی و کیفیت آب

فخریه محسنی^۱، محمد نعمتی ورنوسفادرائی^{۲*}، علیرضا سفیانیان^۳ و سیما فاخران^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱)

چکیده

رودخانه زاینده‌رود منبع حیاتی آب در مرکز ایران است. لذا این رودخانه به دلیل دستکاری‌های انسانی به یکی از آسیب‌پذیرترین اکوسیستم‌ها تبدیل شده است. در این مطالعه بخشی از رودخانه زاینده رود که دارای جریان دائمی است (سد تنظیمی تا پل کله) با هدف ارزیابی کیفیت آب و سلامت بوم‌سازگان رودخانه بررسی شد. از آب و درشت بی‌مهرگان کفزی در ۱۱ ایستگاه در تابستان ۱۴۰۱ نمونه‌برداری شد. سپس شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQIsc)، شاخص‌های غنا و تنوع و شاخص‌های زیستی (BMWP، ASPT) محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد؛ شاخص IRWQIsc در اکثر ایستگاه‌ها وضعیت متوسط دارد و تنها در ۳ ایستگاه کیفیت آب در وضعیت نسبتاً خوب قرار گرفته است. در حالی که شاخص BMWP، وضعیت بد و شاخص ASPT، آلودگی شدید و متوسط، شاخص تنوع شانون وضعیت آلودگی شدید و متوسط را نشان داد. شاخص IRWQIsc نتوانسته است قطع جریان آب در پایین دست سد انحرافی چم‌آسمان و اثرات آن بر کاهش کیفیت آب و سلامت بوم‌سازگان رودخانه را به طور دقیق منعکس کند. در حالی که با کاهش شدید شاخص غنا و شاخص‌های زیستی در ایستگاه پل کله، عدم تعادل بوم‌سازگان رودخانه مشخص شد.

واژه‌های کلیدی: پایش زیستی، درشت بی‌مهرگان کفزی، شاخص زیستی، کیفیت آب، سلامت بوم‌سازگان.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. استادیار، گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. استاد، گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۴. دانشیار، گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nemati@iut.ac.ir

مقدمه

اخیرا بوم‌سازگان‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک با حدود ۴۰ درصد از جمعیت انسانی دچار تخریب‌های گسترده‌ای شده‌اند (۱۴). این تخریب‌ها منجر به توسعه استراتژی‌هایی همچون سدسازی برای مدیریت این بوم‌سازگان‌ها شده که در نهایت مشکلاتی را برای بوم‌سازگان‌های آبی ایجاد کرده است (۳۴). سدها جریان طبیعی رودخانه را تغییر داده، انتقال رسوبات را مختل کرده و مواد مغذی مورد نیاز اکوسیستم را کاهش می‌دهند (۲۸). در این زمینه، حفظ کیفیت آب برای پایداری بوم‌سازگان‌های رودخانه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تغییرات در کیفیت آب می‌تواند به سرعت بر سلامت رودخانه تأثیر گذاشته و منجر به کاهش تنوع زیستی و از بین رفتن خدمات بوم‌سازگان رودخانه‌ها شود (۲۴). در این راستا ارزیابی روندهای کیفیت آب به یکی از وظایف اصلی در مدیریت رودخانه تبدیل شده است. نظارت مستمر بر کیفیت آب‌های سطحی برای حفاظت از بوم‌سازگان‌ها، سلامت انسان، مدیریت پایدار منابع آب و کنترل آلودگی از اهمیت زیادی برخوردار است (۶). شاخص‌های کیفیت آب برای شناخت وضعیت موجود رودخانه‌ها و ارائه راهکارهایی جهت کاهش آلودگی یا بهبود وضعیت آن‌ها ضروری هستند (۱۸). این شاخص‌ها که بر اساس ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی تعیین می‌شوند، به عنوان ابزارهای رایج برای ارزیابی سلامت بوم‌سازگان آبی و شناسایی تغییرات کیفیت آب در طول زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند (۵).

در این میان شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (Iranian Water Quality Index for Surface Water, IRWQI_{sc}) با انجام اصلاحاتی بر اساس استانداردها و معیارهای ملی، به گونه‌ای توسعه یافته است که با شرایط اقلیمی، منابع آبی، و نیازهای مدیریتی کشور سازگار باشد و به عنوان یک ابزار ملی برای مدیریت کیفیت منابع آب مورد استفاده قرار گیرد (۴). اصولاً شاخص‌های کیفیت آب که بر اساس پارامترهای فیزیکی و شیمیایی محاسبه می‌شود، قادر نیست تصویر کاملی از کیفیت

واقعی آب ارائه دهد (۳۹). بنابراین، برای ارزیابی دقیق‌تر کیفیت بوم‌سازگان‌های آبی، استفاده از شاخص‌های زیستی مبتنی بر درشت‌بی‌مهرگان کفزی ضروری است (۴۲). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که ترکیب شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌تواند نتایج جامع‌تری را در ارزیابی وضعیت کیفیت منابع آب ارائه دهد (۵). در مطالعات مختلف، کیفیت آب را بر اساس شاخص‌های شیمیایی (۴۳) و زیستی (۲۵ و ۳۶) و یا هر دو شاخص (۵) بررسی کرده‌اند. استفاده از شاخص‌های بوم‌شناختی برای پایش و مدیریت بوم‌سازگان‌ها ضروری است، زیرا این شاخص‌ها به درک تأثیر فعالیت‌های انسانی و شناسایی تغییرات زیست‌محیطی کمک می‌کنند. برخلاف شاخص‌های کیفیت، شاخص‌های بوم‌شناختی وضعیت پایداری بوم‌سازگان را ارزیابی کرده و اطلاعات جامع‌تری درباره سلامت رودخانه از گذشته تا کنون ارائه می‌دهند. این رویکرد به مدیران محیط‌زیست در تدوین برنامه‌های پایدار و حفظ خدمات بوم‌سازگان کمک شایانی می‌کند (۲۰ و ۲۲). در کشور ایران، سیستم منسجم و برنامه‌ریزی‌شده‌ای برای پایش دائمی کیفیت آب رودخانه‌ها بر اساس پارامترهای زیستی توسط سازمان‌های مسئول وجود ندارد. بیشتر مطالعات و برنامه‌های نظارتی به ارزیابی کیفیت آب از طریق شاخص‌های شیمیایی و فیزیکی متمرکز شده‌اند و کمتر به پایش مستمر وضعیت بوم‌سازگان‌های آبی بر اساس شاخص‌های زیستی پرداخته شده است. پایش زیستی بر پایه درشت‌بی‌مهرگان کفزی تنها محدود به مطالعات پژوهشی در غالب پایان‌نامه و رساله‌های دانشگاهی (مثل ۱۲ و ۳۱) یا طرح‌های پژوهشی (مثل ۱۰ و ۱۱) است که به صورت مقطعی انجام شده است. با این حال، برخی از تحقیقات محلی و مطالعات از شاخص‌های زیستی مانند شاخص کارگروه پایش زیستی انگلستان (Biological Monitoring Working Party, BMWP) و میانگین امتیاز به ازای هر تاکسون (Average Score per Taxon, ASPT) برای ارزیابی کیفیت رودخانه‌ها استفاده کرده‌اند، اما این کار به صورت سیستماتیک و در مقیاس وسیع در کشور انجام نشده است. در این زمینه تحقیقات متعددی در رودخانه‌های کشور از جمله

رودخانه کارون (۱، ۱۵، ۱۶ و ۲۹)، گرگان‌رود (۱۹)، و رودخانه زاینده‌رود (۲، ۲۷، ۳۱ و ۴۴) انجام شده است. از آن جایی که زاینده‌رود یکی از منابع اصلی آب در استان اصفهان است، مدیریت منابع آبی و تامین نیاز آبی بوم‌سازگان‌های رودخانه‌ای، از جمله تالاب بین‌المللی گاوخونی که در پایین‌دست این رودخانه واقع شده، نیازمند توجه ویژه است (۲۱). رودخانه زاینده‌رود به دلیل قرار گرفتن در مناطق خشک و نیمه‌خشک با چالش‌های جدی روبرو است. توسعه کشاورزی و صنعتی در حوضه این رودخانه، احداث سدهای مخزنی و انحرافی در مسیر آن و همچنین افزایش جمعیت و گسترش ویلاسازی تأثیرات قابل توجهی بر کیفیت آب این رودخانه گذاشته است. علاوه بر این، بسته شدن دریچه‌های سد چم آسمان باعث شده است که بخش قابل توجهی از رودخانه زاینده‌رود (حدود ۷۰ درصد آن) از سال ۱۳۹۲ دچار خشکی شود. با توجه به قابلیت‌های پایش زیستی در شناخت بهتر شرایط بوم‌سازگان، هدف این مطالعه ارزیابی وضعیت موجود کیفیت آب و سلامت بوم‌سازگان رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شاخص IRWQI_{sc} و شاخص‌های زیستی بر مبنای جوامع درشت‌بی‌مهرگان کفزی در محدوده سد تنظیمی تا پل کله است. مقایسه وضعیت موجود نسبت به گزارشات قبلی می‌تواند در جهت مدیریت بهینه بوم‌سازگان رودخانه مورد استفاده قرار گیرد.

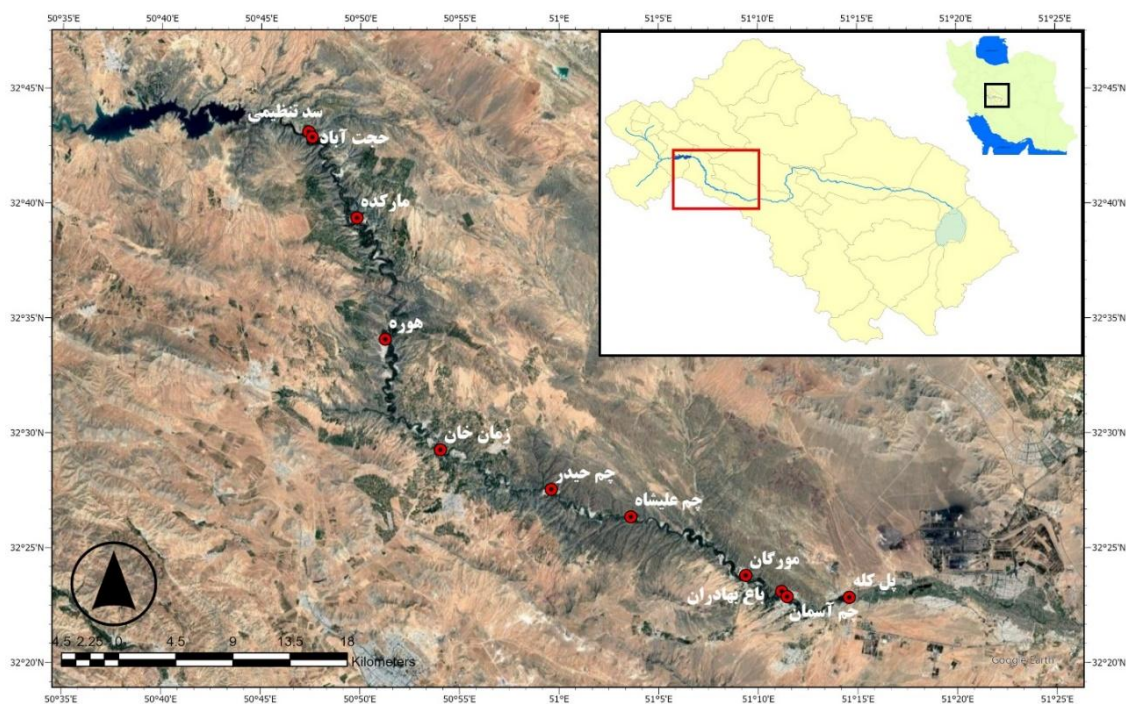
منطقه مورد مطالعه

رودخانه زاینده‌رود با طول ۴۵۰ کیلومتر با حجم دبی ۹۰۰ میلیون متر مکعب در سال به عنوان مهترین رودخانه دائمی فلات مرکزی، در جهت کلی غرب به شرق جریان دارد. این رودخانه از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و به تالاب بین‌المللی گاوخونی ختم می‌گردد. حوضه زاینده‌رود دارای میانگین بارش ۱۳۰ میلی‌متر است (۳۳). در دهه‌های اخیر، با احداث سدها و بند‌های انحرافی متعدد در حوضه زاینده‌رود، تأمین آب مورد نیاز برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت به‌طور مؤثری مدیریت شده است. با بسته شدن سد چم آسمان از سال ۱۳۹۲ تا کنون

تقریباً هر ساله ۷۰ درصد از رودخانه (به جز موارد محدودی در رهاسازی آب برای کشاورزان پایین دست)، خشکی را تجربه می‌کند. سد تنظیمی زاینده‌رود تا باغ بهادران به‌عنوان ناحیه‌ای با منابع آب پایدار، و چم آسمان و پل کله به‌دلیل منابع آب ناشی از نشت و نفوذ از سد چم آسمان، برای نمونه‌برداری همزمان از آب و زیست‌مندان بستر به‌منظور ارزیابی کیفیت آب و وضعیت سلامت رودخانه مناسب بود. بر اساس منابع آب ورودی و خروجی رودخانه، تغییرات کاربری اراضی و موقعیت منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در مسیر رودخانه به ویژه موقعیت مکانی روستاها و شهرهای حاشیه رودخانه، ۱۱ ایستگاه با میانگین فاصله ۱۰ کیلومتر برای ارزیابی شاخص‌های کیفی و زیستی رودخانه انتخاب شد. لازم به ذکر است که به‌دلیل محدودیت‌های دسترسی و تغییرات ورودی به رودخانه، فاصله بین ایستگاه‌ها متغیر بوده و در برخی موارد کاهش یا افزایش یافته است. ایستگاه‌های نمونه‌برداری شامل سد تنظیمی، حجت‌آباد، مارکده، هوره، پل زمان‌خان، چم علی‌شاه، چم حیدر، چم آسمان (واقع در پایین دست سد انحرافی چم آسمان) و پل کله است (شکل ۱).

نمونه برداری

نمونه‌برداری از آب و درشت‌بی‌مهرگان کفزی رودخانه در خرداد ماه ۱۴۰۱ در ۱۱ ایستگاه انجام شد. نمونه برداری در بهار با توجه به حضور حداکثری تاکسون‌های مختلف درشت‌بی‌مهرگان کفزی انجام شد. دبی رودخانه در زمان نمونه برداری بر اساس دبی سد تنظیمی ۲۳ متر مکعب در ثانیه بود. در هر ایستگاه دو نمونه آب یکی در ظرف شیشه‌ای استریل برای اندازه‌گیری کلی فرم مدفوعی و دیگری در ظرف پلی اتیلنی برای اندازه‌گیری سایر متغیرهای کیفیت آب برداشته شد. دما با دماسنج جیوه‌ای با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد و هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول و pH با دستگاه‌های الکتروود قابل حمل اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری اکسیژن خواهی زیستی (BOD₅) پس از ۵ روز و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) به ترتیب با استفاده از



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه زاینده رود

تجزیه و تحلیل داده‌ها

شاخص کیفیت آب IRWQI_{SC} در کنار شاخص‌های غنا و تنوع و شاخص‌های زیستی BMWP، ASPT برای ۱۱ ایستگاه مورد مطالعه محاسبه شد. شاخص IRWQI_{SC} بر اساس مقادیر ۱۱ متغیر کیفیت آب شامل اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، نترات، فسفات، تغییرات دما، کدورت، مواد جامد محلول و کلیفرم مدفوعی و وزن هر پارامتر محاسبه شد (۴). برای تعیین متغیرهای اصلی کاهش میزان شاخص IRWQI_{SC} در هر ایستگاه مقادیر هر زیرشاخص (Q Value) که مربوط به هر یک از ۱۱ متغیر مورد استفاده در شاخص است بررسی شد و سه متغیر دارای کمترین مقدار زیرشاخص که به ترتیب Q_{Min2} ، Q_{Min1} و Q_{Min3} نام دارند، تعیین شد. عملگر حداقل (operator) یک تابع تجمیعی است که از تأثیر مقادیر بزرگ‌تر جلوگیری می‌کند و می‌توان گفت کیفیت آب توسط پایین‌ترین پارامتر محدود شده و نقش تعیین کننده‌ای دارد (۳۷). Q Value معیاری برای ارزیابی کیفیت یک متغیر در بازه‌ای از صفر تا صد است که براساس نمودارهای استاندارد هر متغیر کیفیت آب، نظیر

روش انکوباسیون و روش هضم و شمارش کلیفرم‌های مدفوعی نیز با روش ۹ لوله‌ای (ضریب رقت ۱:۱۰۰) انجام شد. آزمایش‌ها در آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان و آزمایش کلیفرم مدفوعی در آزمایشگاه بینا آزمون سپاهان انجام شد. نمونه برداری کیفی از درشت بی‌مهرگان کفزی با استفاده از تور دی شکل (D-Net) با کاوش در طول ۱۰۰ متر از حاشیه رودخانه و نمونه برداری کمی با استفاده از سوربر (اندازه سطح ۲۵ در ۲۵ سانتیمتر) در امتداد یک ترانسکت عمود بر جهت جریان با سه تکرار در هر ایستگاه برداشت شد. در هر ایستگاه سعی شد نمونه از مزو زیستگاه‌های مختلف شامل تندآب (Riffle)، روان آب (Run) و کند آب (Pool) برداشت شود تا اثر تغییرات زیستگاهی بین ایستگاه‌های مختلف حذف گردد. شناسایی درشت بی‌مهرگان کفزی تا پایین‌ترین سطح ممکن در حد جنس و گونه انجام شد. سپس شناسایی و شمارش نمونه‌های درشت بی‌مهرگان کفزی طبق استاندارد و کلیدهای شناسایی (۷، ۱۳، ۳۰) در آزمایشگاه انجام گردید.

جدول ۱. طبقه بندی کیفیت آب براساس شاخص IRWQIsc، BMWP، ASPT

IRWQIsc (۹)		BMWP (۸)		ASPT (۳)		Shannon (۳۴)	
طبقه کیفی	امتیاز کلی شاخص	طبقه کیفی	امتیاز کلی شاخص	طبقه کیفی	امتیاز کلی شاخص	طبقه کیفی	امتیاز کلی شاخص
بسیار بد	کمتر از ۱۵	خیلی بد	۰-۱۰	آلودگی شدید احتمالی	۴ >	آلودگی زیاد	کمتر از ۱
بد	۱۵ - ۲۹/۹	بد	۱۱-۴۰	آلودگی متوسط احتمالی	۴-۵	آلودگی متوسط	۱-۳
نسبتاً بد	۳۰ - ۴۴/۹	متوسط	۴۱-۷۰	کیفیت مشکوک	۵-۶	تمیز	بیشتر از ۳
متوسط	۴۵-۵۵	خوب	۷۱-۱۰۰	آب تمیز	۶ <		
نسبتاً خوب	۷۰ - ۵۵/۱	خیلی خوب	۱۰۰ <	-	-	-	-
خوب	۷۰/۱ - ۸۵	-	-	-	-	-	-
بسیار خوب	بیشتر از ۸۵	-	-	-	-	-	-

در حالی که BMWP با افزایش تلاش نمونه‌برداری افزایش می‌یابد. ASPT نتایج باثبات‌تری ارائه می‌دهد و اطلاعات بیشتری را با تلاش کمتر ممکن می‌سازد. بنابراین، ASPT یک شاخص کارآمدتر و دقیق‌تر برای پایش کیفیت آب محسوب می‌شود (۳). برای تحلیل ارتباطات میان شاخص‌های کیفیت آب و شاخص‌های زیستی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. در تحلیل همبستگی، مقادیر ضریب همبستگی می‌تواند در بازه منفی ۱ الی مثبت ۱ باشد به طوری که هرچه ضریب همبستگی به صفر نزدیکتر شود نشان دهنده عدم ارتباط بین دو متغیر است. در حالی که هرچه ضریب همبستگی به مثبت و منفی ۱ نزدیک شود به ترتیب نشان دهنده رابطه مستقیم و معکوس بین دو متغیر است (۴۰). لازم بذکر است محاسبه شاخص‌ها و همبستگی میان شاخص‌ها به ترتیب با استفاده از نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ و ۴.۲.۱ R انجام شد.

نتایج و بحث

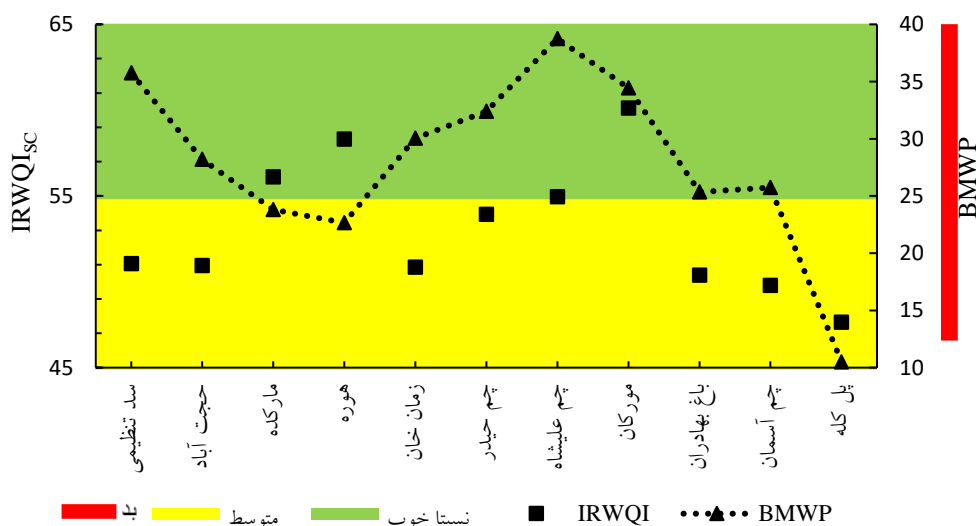
جدول ۲ مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین پارامترهای مختلف کیفیت آب را در ۱۱ ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد. وضعیت کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود بر اساس شاخص IRWQIsc در شکل ۲ نشان می‌دهد که اکثر ایستگاه‌ها کیفیت

درصد اشباعیت اکسیژن، نیترات، فسفات، و... تعریف می‌شود. این مقدار یکی از اجزای کلیدی در محاسبه شاخص IRWQIsc است و کیفیت هر متغیر به صورت عددی بر اساس آن بیان می‌شود.

شاخص‌های غنا و تنوع، از جمله مهم‌ترین ابزارهای ارزیابی وضعیت اکوسیستم‌های آبی هستند. شاخص غنا به تعداد گونه‌های موجود در یک اکوسیستم اشاره دارد و نشان‌دهنده غنای زیستی آن منطقه است. در حالی که شاخص تنوع شانون به توزیع یکنواخت گونه‌ها در نمونه نیز وابسته است. شاخص تنوع شانون بر اساس فراوانی نسبی تاکسون‌ها محاسبه شد (۳۵). شاخص BMWP با اختصاص امتیاز به هر تاکسون درشت‌بی‌مهرگان کفزی و جمع امتیاز تاکسون‌های مختلف و برای ارزیابی کیفیت زیستی آب محاسبه می‌شود (۸). شاخص ASPT با تقسیم مجموع امتیازهای BMWP بر تعداد تاکسون‌ها شناسایی شده محاسبه می‌شود (۳). شاخص BMWP و ASPT و تنوع شانون برای درشت‌بی‌مهرگان کفزی پس از شناسایی و شمارش برای هر ایستگاه محاسبه شد. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص‌های مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. ASPT نسبت به BMWP برای ارزیابی کیفیت آب ارجحیت دارد. دلیل این برتری آن است که ASPT کمتر به تعداد نمونه‌ها وابسته است و تغییرات فصلی یا تلاش نمونه‌برداری تأثیر کمتری بر آن دارد.

جدول ۲. خلاصه آماری متغیرهای کیفیت آب اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه زاینده رود

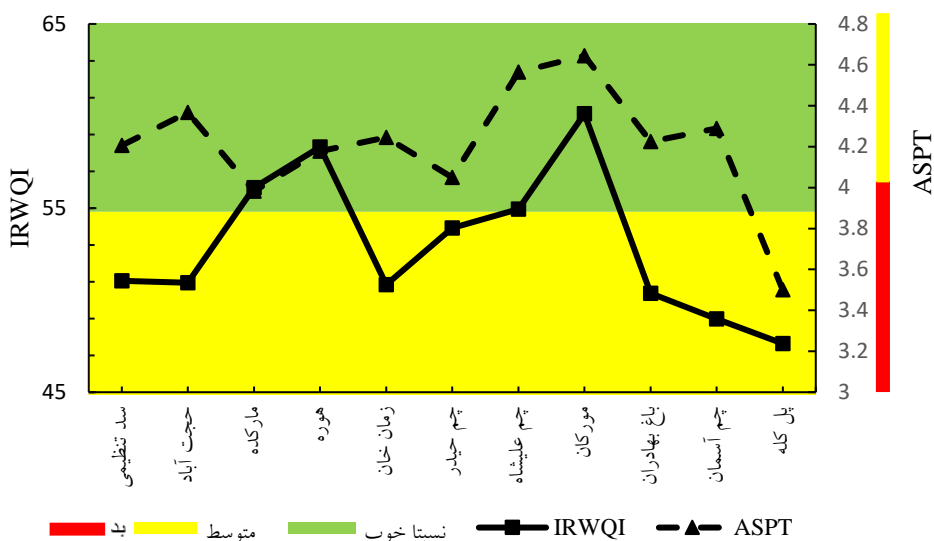
متغیر کیفیت آب	میانگین	حداکثر	حداقل
کلیرم مدفوعی (MPN/100ml)	۹۶/۵۴	۴۶۰/۰۰	۷/۰۰
BOD ₅ (میلی گرم بر لیتر)	۹/۳۲	۱۱/۰۶	۳/۹۳
نیترات (میلی گرم بر لیتر)	۷/۷۹	۸/۰۲	۷/۴۶
هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۳۷۲/۷۲	۷۴۳/۰۰	۳۰۷/۰۰
COD (میلی گرم بر لیتر)	۱۵/۶۶	۲۴/۹۹	۱۱/۰۰
فسفات (میلی گرم بر لیتر)	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۹
کدورت آب (NTU)	۵/۳۳	۱۰/۶۷	۱/۳۳
سختی آب (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم)	۲۵۶/۵۹	۲۹۰/۲۶	۱۹۰/۱۷
pH	۸/۶۴	۹/۸۰	۸/۳۳
آمونیم (میلی گرم بر لیتر)	۱/۳۴	۱/۸۳	۰/۴۹
درصد اکسیژن (درصد اشباع)	۱۱۲/۴۸	۱۶۵/۰۰	۹۴/۰۰



شکل ۲. مقایسه شاخص‌های IRWQIsc و BMWP برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود (برای طبقه بندی IRWQIsc و BMWP از مقادیر جدول ۱ استفاده شده است).

موجب کاهش کیفیت آب شده است. با این حال، شاخص IRWQIsc نتوانسته قطع جریان آب و اثرات آن بر کیفیت را به طور دقیق منعکس کند، که این امر می‌تواند به دلیل محدودیت‌های شاخص‌ها در شبیه‌سازی تغییرات پیچیده محیطی و زیستی ناشی از تغییرات رژیم جریان در پایین دست سدها باشد (۳۲).

متوسط دارند و تنها ۳ ایستگاه مارکده، هوره و مورکان به ترتیب با مقادیر ۵۶/۱۰، ۵۸/۳۱، ۶۰/۱۲ در وضعیت "نسبتاً خوب" قرار دارند. به‌ویژه در ایستگاه‌های چم آسمان و پل کله که کیفیت آب به شدت کاهش می‌یابد، اما طبقه کیفیت شاخص تغییر نمی‌کند. قطع جریان آب در پایین‌دست سد چم آسمان و وجود تنها آب ناشی از نشت و نفوذ در دو ایستگاه چم آسمان و پل کله،



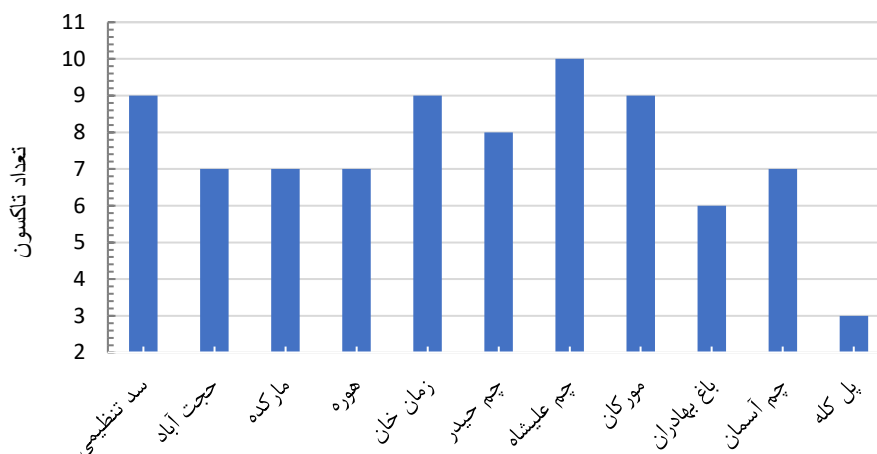
شکل ۳. مقایسه شاخص‌های ASPT و IRWQI_{sc} برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود (برای طبقه بندی شاخص ASPT و IRWQI_{sc} از مقادیر جدول ۱ استفاده شده است).

جدول ۳. متغیرهای دارای بیشترین تاثیر در کاهش شاخص IRWQI_{sc} در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه زاینده‌رود

Q _{Min3}	Q _{Min2}	Q _{Min1}	فاصله از سد زاینده‌رود (km)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه نمونه‌برداری
BOD ₅ : ۳۴/۰۱	BOD ₅ : ۳۴/۰۱	NO ₃ : ۹/۶۸	۴	۳۲/۷۱۹۶۵	۵۰/۷۸۹۸۴	سد تنظیمی
BOD ₅ : ۳۴/۰۱	NH ₄ : ۳۳/۶۸	NO ₃ : ۹/۳۸	۵	۳۲/۷۱۵۷۷	۵۰/۷۹۲۷۹	حجت آباد
pH: ۴۷/۱۱	BOD ₅ : ۳۳/۳۱	NO ₃ : ۹/۵۱	۱۸	۳۲/۶۵۷۳۶	۵۰/۸۳۰۳۹	مارکده
pH: ۴۵/۶۰	NH ₄ : ۳۵/۳۱	NO ₃ : ۱۰/۳۳	۳۷	۳۲/۵۶۹۳۴	۵۰/۸۵۴۲۸	هوره
FC: ۴۷/۴۰	BOD ₅ : ۳۳/۳۱	NO ₃ : ۱۰/۷۷	۵۶	۳۲/۴۸۹۲۱	۵۰/۹۰۰۵۸	پل زمان خان
BOD ₅ : ۳۶/۹	NH ₄ : ۲۷/۹۲	NO ₃ : ۹/۶۶	۷۴	۳۲/۴۶۰۵۵	۵۰/۹۹۳۴۹	چم حیدر
NH ₄ : ۳۵/۲۰	BOD ₅ : ۳۱/۳۱	NO ₃ : ۱۰/۷۱	۸۵	۳۲/۴۴۰۶۶	۵۱/۰۶۰۱۶	چم علیشاه
COD: ۵۱/۶۸	NH ₄ : ۵۰/۵۰	NO ₃ : ۱۰/۶۵	۱۰۲	۳۲/۴۴۰۶۶	۵۱/۱۵۶۲۶	مورگان
BOD ₅ : ۳۱/۳۰	NH ₄ : ۱۴/۳۶	NO ₃ : ۱۱/۱۵	۱۰۸	۳۲/۳۸۶۴۸	۵۱/۱۸۶۳۹	باغ بهادران
pH: ۳۲/۵۰	NH ₄ : ۲۵/۸۱	NO ₃ : ۱۰/۶۸	۱۲۲	۳۲/۳۸۲۷۸	۵۱/۱۹۱۲۹	چم آسمان
BOD ₅ : ۳۰/۷۰	NH ₄ : ۲۵/۳۴	NO ₃ : ۹/۵۶	۱۲۷	۳۲/۳۸۲۰۱	۵۱/۲۴۲۸۶	پل کله

نیاز بیوشیمیایی (BOD₅) قرار دارد. بر اساس مطالعات قبلی (۱۰) و (۱۱) و بررسی‌های انجام‌شده در محدوده مورد مطالعه، به‌جز آلودگی‌های مقطعی در پایین‌دست سد تنظیمی، که شامل روستاهای کوچک و ویلاهای تفریحی است، منابع آلودگی

بررسی جزئی‌تر مقادیر زیرشاخص (Q_{Min}) مربوط به متغیرهای کیفیت آب در جدول ۳ نشان می‌دهد که نیترات بیشترین اثر را در کاهش شاخص IRWQI_{sc} در ۱۱ ایستگاه مورد مطالعه دارد و در رتبه‌های بعدی اکثراً آمونیوم و اکسیژن مورد

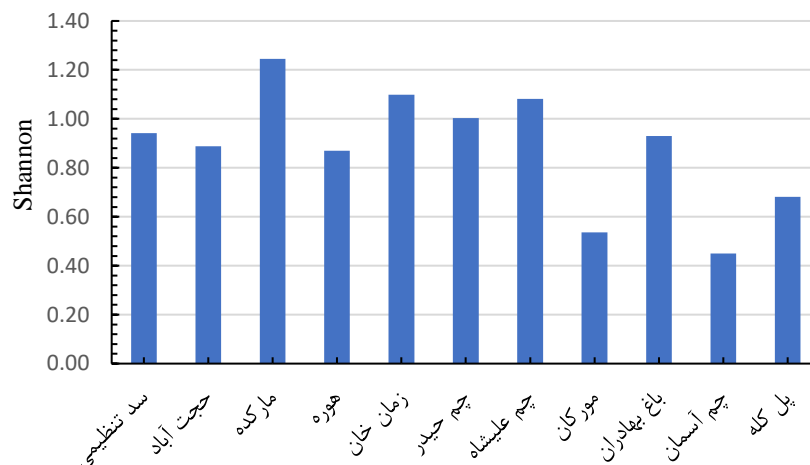


شکل ۴. تغییرات شاخص غنا (تعداد تاکسون) در ایستگاه‌های نمونه برداری در رودخانه زاینده رود

و موجب افزایش فراوانی این گونه‌ها می‌شود (۲۳). ابراهیمی و همکاران (۱۳) نیز در مطالعه‌ای که بر رودخانه زاینده رود داشتند این موارد را گزارش کرده‌اند. این تغییرات به‌ویژه ممکن است موجب کاهش تنوع زیستی و ایجاد شرایط مناسب برای گسترش گونه‌های غیربومی و مقاوم گردد، که در نتیجه می‌تواند باعث اختلال در عملکرد بوم سازگان‌های طبیعی شود. همانطور که گونه مقاوم به آلودگی و غیر بومی *C. praeusta* که در مطالعات گذشته (۱۰ و ۱۱) در رودخانه زاینده رود در محدوده شرق اصفهان تا تالاب بین‌المللی گاوخونی گزارش شده، اما در مطالعه حاضر در ایستگاه پل زمان خان مشاهده شده است. این پدیده‌ها می‌تواند نشانه‌ای از کاهش سلامت و پایداری بوم‌سازگان باشد (۱۷). تعداد جنس/گونه در ایستگاه‌ها به طور کلی از بالادست به پایین دست کاهش یافته است البته در برخی ایستگاه‌ها مثل پل زمان خان، چم حیدر، چم علیشاه و مورکان افزایش نسبی تاکسون مشاهده شد (شکل ۴)، در ایستگاه پل کله کاهش چشمگیری در تعداد تاکسون مشاهده شد. لازم به ذکر است که ایستگاه چم آسمان که در پایین دست سد انحرافی چم آسمان قرار دارد و آب کم جاری در آن به دلیل نشست و نفوذ آب از سد انحرافی چم آسمان است.

شاخص تنوع شانون (شکل ۵) در ایستگاه‌های مارکده، پل زمان خان و چم علیشاه در سطح تنوع متوسط ارزیابی شد، در

خاصی همچون پساب صنعتی یا شهری با حجم زیاد وارد رودخانه نمی‌شود. با این حال، کنترل جریان در پایین دست سد تنظیمی باعث تشدید اثرات منابع آلودگی کوچک و افزایش غلظت پارامترهای آلاینده می‌شود. این امر نه تنها موجب تغییر در ترکیب کیفیت آب، بلکه ممکن است توان خودپالایی رودخانه را تحت تأثیر قرار دهد (۳۸). افزایش نیترات در ایستگاه‌ها احتمالاً به دلیل توسعه کشاورزی ناپایدار و تغییر کاربری زمین در دهه‌های اخیر به ویژه مصرف زیاد کودهای کشاورزی از ته است. در این مطالعه، درشت‌بی‌مهرگان کفزی در ۱۸ خانواده و ۲۴ جنس/گونه شناسایی شدند که از میان آنها خانواده‌های *Chironomidae* و *Gammaridae* بیشترین فراوانی را در نقاط نمونه برداری داشتند. برخی خانواده‌ها مانند *Tipulidae* و *Leptophlebiidae* نسبت به مطالعات قبلی (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۴۲) در ایستگاه‌های نمونه برداری حضور نداشتند، در حالی که گونه *Callicorixa praeusta* به عنوان گونه‌ای مهاجم در ایستگاه پل زمان خان مشاهده شد. این گونه‌ها توانایی زیادی در تحمل شرایط مختلف بوم‌شناختی دارند و به همین دلیل در مناطق با تغییرات شدید محیطی، تنش‌های بوم‌سازگان مانند جریان کنترل شده و تنظیمی، بیشترین حضور را دارند. در برخی مطالعات بیان شده که احداث سد به دلیل جلوگیری از انتقال رسوبات به پایین دست و تغییرات شدید دبی در زمان کم سبب تغییرات زیستگاهی شده



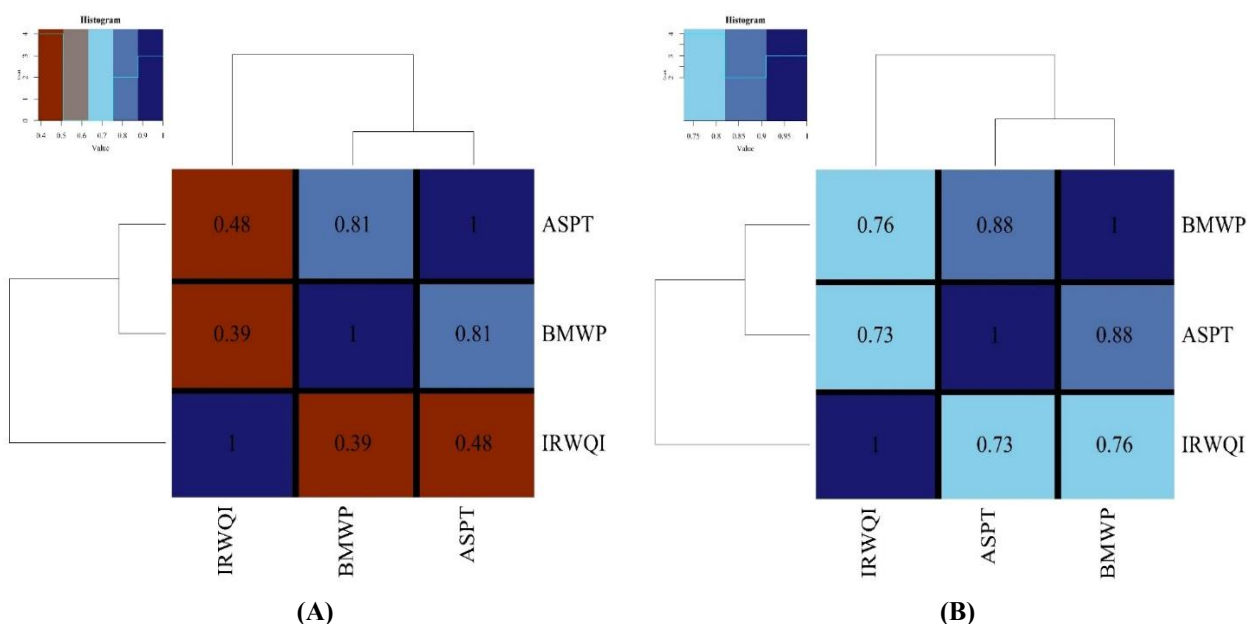
شکل ۵. تغییرات شاخص تنوع شانون (Shannon Diversity Index) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه زاینده‌رود

ایستگاه‌ها طبق مطالعات مشابه، نیکتا و همکاران (۲۷) نیز گزارش کرده‌اند که ایستگاه‌های باغ بهادران و پل زمان خان در وضعیت کیفی بد قرار دارند، که این ممکن است ناشی از تغییرات کاربری اراضی و آلودگی‌های ناشی از توسعه شهری و صنعتی باشد. در همین راستا، نصیری و همکاران (۲۶) اشاره کرده‌اند که در ایستگاه پل زمان خان، آلودگی‌های ناشی از توسعه ویلاسازی و ساخت‌وسازهای مسکونی موجب افت کیفیت آب شده است. همچنین، پیرعلی و ابراهیمی (۳۱) آلودگی در باغ بهادران را به اثرات استرس‌های محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی نسبت داده‌اند. ایستگاه‌های چم آسمان و پل کله که پایین دست سد انحرافی چم آسمان قرار دارند، با کاهش امتیاز شاخص BMWP تأثیرات قطع جریان را به‌وضوح نشان می‌دهند. به‌ویژه در ایستگاه پل کله، شاخص BMWP به شدت کاهش یافته و به طبقه «بسیار بد» نزدیک شده است. در حالی که در مطالعه نصیری و همکاران (۲۶)، وضعیت ایستگاه چم آسمان نسبتاً پایدار گزارش شده است، که این می‌تواند به دلیل نمونه‌برداری در بالادست سد چم آسمان باشد. در حالی که در مطالعه حاضر دبی رودخانه در پایین دست سد چم آسمان تقریباً به ۲۰ الی ۳۰ لیتر در ثانیه تقلیل یافته بود که آن هم ناشی از نشت و نفوذ سد چم آسمان است.

براساس شکل ۳ شاخص ASPT در ایستگاه‌های مارکده و پل کله به ترتیب با مقادیر ۳/۹۸ و ۳/۵ نشان‌دهنده آلودگی شدید

حالی که در سایر ایستگاه‌ها شاخص تنوع شانون زیر ۱ بود، از تنوع کمی برخوردار بوده و نشان‌دهنده آلودگی شدید هستند. در برخی ایستگاه‌ها کاهش شاخص به‌طور معنی‌داری کمتر از ۱ است، که نشان‌دهنده کاهش تنوع زیستی و افزایش فراوانی گونه‌های مقاوم در پایین‌دست سد است (۲ و ۲۸). این کاهش تنوع به‌ویژه در ایستگاه چم آسمان مشهود است در حالیکه نصیری و همکاران (۲۶) در سال ۲۰۲۳ ایستگاه چم آسمان را به عنوان ایستگاهی پایدار از نظر شاخص‌های زیستی درشت بی-مهرگان کفزی معرفی کرده‌اند. علت این اختلاف محل نمونه‌برداری است که در مطالعه ایشان در بالادست سد انحرافی چم آسمان نمونه برداری انجام شده است. موقعیت این ایستگاه تقریباً بالادست ایستگاه باغ بهادران مطالعه حاضر است.

طبق شکل ۲ و جدول ۱، تغییرات شاخص BMWP نمایانگر وضعیت "بد" در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری است، اگرچه تفاوت‌هایی در مقادیر شاخص بین ایستگاه‌ها مشاهده شد. در ایستگاه‌های حجت‌آباد، مارکده و هوره، پس از سد تنظیمی، روند کاهشی در مقدار شاخص دیده شد که سپس با فاصله گرفتن از سد، افزایش پیدا کرده است. این تغییرات ممکن است به دلیل تأثیر جریان‌های تنظیم‌شده از سد بر وضعیت زیستی رودخانه باشد، به‌طوری‌که با دور شدن از سد، اثرات آن به تدریج کاهش می‌یابد که در مطالعات قبلی (۱۲) نیز گزارش شده است. در سایر



شکل ۶. همبستگی بین شاخص‌های $BMWP$ ، $ASPT$ و $IRWQI_{sc}$ برای ارزیابی کیفیت و شرایط زیستی رودخانه زاینده‌رود (A): همبستگی شاخص‌ها با استفاده از ۱۱ ایستگاه، B: همبستگی شاخص‌ها با استفاده از ایستگاه ۵ الی (۱۱)

نشت و نفوذ سد انحرافی چم آسمان باشد. در واقع حداقل شرایط برای حضور زیست‌مندان مقاوم بستر که به قطع جریان حساس هستند فراهم است. ولی در ایستگاه پل کله اثر نشت و نفوذ سد به حداقل رسیده و در اکثر مواقع سال سطح بستر رودخانه خشک می‌شود که شاخص غنا و شاخص‌های زیستی ($ASPT$ و $BMWP$) این اثر را نشان می‌دهد. شایان ذکر است کیفیت آب خروجی از سد چم آسمان که برای تصفیه‌خانه بابا شیخ علی به منظور تأمین آب شرب شهر اصفهان برداشت می‌شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و نیازمند نظارت مستمر و اقدامات حفاظتی دقیق است.

تحلیل همبستگی (شکل ۶) میان شاخص‌های $ASPT$ ، $BMWP$ و $IRWQI_{sc}$ نشان‌دهنده همبستگی مثبت و معنی‌دار قابل‌توجه بین $ASPT$ و $BMWP$ است که با مطالعات قبلی هم‌خوانی دارد و تأثیر مشابهی از وضعیت سلامت رودخانه و تنوع زیستی را منعکس می‌کند. با این حال، عدم وجود همبستگی معنی‌دار بین $IRWQI_{sc}$ و شاخص‌های زیستی نشان می‌دهد الزاماً کیفیت آب رودخانه عامل تعیین‌کننده سلامت بوم‌سازگان نیست. چرا که تغییرات کیفیت آب می‌تواند در زمان کوتاه اتفاق

است، در حالی که سایر ایستگاه‌ها مقادیری نزدیک به مرز طبقه دارند و در وضعیت آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. این شاخص قادر است تأثیر سد تنظیمی بر کیفیت آب در ایستگاه‌های پایین‌دست را به‌طور مؤثر نشان دهد و طبق شکل ۶ همبستگی معنی‌داری با شاخص $BMWP$ دارد. این الگو با نتایج پژوهش‌های پیشین در خصوص تأثیر سدهای تنظیمی بر تغییرات زیستی و کیفیت آب در رودخانه‌ها تطابق دارد. به‌طور کلی، شاخص‌های $ASPT$ و $BMWP$ به‌خوبی تأثیر سد را بر وضعیت کیفیت آب در پایین‌دست نشان می‌دهند، که این نتایج نیز توسط مطالعات پیشین مانند ابراهیمی و همکاران (۱۲) و ورنوسفادرائی و همکاران (۴۱) تأیید شده است. البته ایستگاه چم آسمان که تنها آب ناشی از نشت و نفوذ از سد انحرافی چم آسمان را دریافت می‌کند، تفاوت قابل‌توجهی در شاخص‌های $ASPT$ و $BMWP$ نسبت به دیگر ایستگاه‌ها به ویژه ایستگاه‌ها باغ بهادران که در فاصله یک کیلومتری در بالادست سد انحرافی چم آسمان قرار گرفته نشان نمی‌دهد. به نظر می‌رسد فاصله نزدیک ایستگاه انتخاب شده چم آسمان تا محل سد انحرافی (۷۰۰ متر) باعث شده در اکثر ایام سال‌های اخیر دارای حداقل جریان آب ناشی از

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعه، وضعیت موجود کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود در بازه سد تنظیمی زاینده‌رود تا پل کله بر اساس شاخص IRWQI_{sc} در وضعیت متوسط و نسبتاً خوب، شاخص BMWP وضعیت بد، ASPT وضعیت آلودگی متوسط و شدید و شاخص تنوع شانون وضعیت آلودگی زیاد را نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت رودخانه در وضعیت نامطلوبی قرار دارد. علاوه بر این، شاخص‌های کیفیت آب نتوانسته تصویری دقیق از شرایط واقعی رودخانه بویژه در پایین دست بند انحرافی چم آسمان ارائه دهد؛ اما شاخص‌های زیستی به‌عنوان مکملی برای شاخص‌های کیفیت آب، اطلاعات بهتری در مورد وضعیت بوم‌سازگان و کیفیت آب ارائه کرده‌اند. احتمالاً تغییرات ناشی از تنظیم جریان آب در نواحی پایین‌دست سد تنظیمی، تأثیراتی بر فرآیندهای خودپالایی رودخانه داشته که موجب کاهش توان رودخانه در حذف آلاینده‌ها شده است. همچنین، به‌دلیل ایجاد شرایط نامساعد برای گونه‌های حساس، حضور گونه‌های مقاوم به آلودگی و خشکی افزایش یافته است. برای مدیریت صحیح این تغییرات، نظارت بر جریان‌های زیستی و استفاده از شاخص‌های پایش زیستی می‌تواند راهکاری مؤثر برای ارزیابی کیفیت آب و حفظ سلامت بوم‌سازگان‌های آبی باشد. با توجه به محدودیت‌های هزینه‌ای و زمانی در مطالعه حاضر، پایش زیستی کیفیت آب تنها در یک مرحله انجام شد ولی پیشنهاد می‌شود که شاخص‌های زیستی و کیفی در پایش‌های مدون دستگاه‌های نظارتی، به‌ویژه در رودخانه‌های دائمی کشور همچون رودخانه زاینده رود که تحت تأثیر سازه‌های مدیریت منابع آب هستند، باید مورد استفاده قرار گیرند.

افتد و اثر یک آلودگی موقت می‌تواند با جریان آب به پایین دست شسته شود و حتی با تعداد نمونه زیاد قابل ردیابی نباشد. اما شاخص‌های زیستی اثرات تغییرات قبلی کیفیت آب و مهمتر از آن تغییرات کیفیت زیستگاه را نشان می‌دهند. این تفاوت‌ها بر ضرورت استفاده از چندین شاخص در ارزیابی کیفیت آب را تأکید می‌کند تا بتوان به درک جامع‌تری از وضعیت سلامت بوم‌سازگان‌های آبی دست یافت.

در ادامه چهار ایستگاه سد تنظیمی، حجت آباد، مارکده، هوره که بیشتر تحت تأثیر سد تنظیمی قرار دارند در محاسبات همبستگی کنار گذاشته شدند و سپس همبستگی مجدد محاسبه گردید که همبستگی معنی‌دار بین IRWQI_{sc} و شاخص‌های زیستی BMWP و ASPT به ترتیب (۰/۷۶ و ۰/۷۳) به دست آمد. عدم انطباق ایستگاه‌های پایین‌دست سد تنظیمی ممکن است به‌علت تغییرات پارامترهای زیستگاهی و اثر جریان تنظیمی در این مناطق باشد. تنظیم جریان سد به‌طور معمول فرآیندهای طبیعی تصفیه و پالایش آب را مختل کرده و توان رودخانه در حذف آلاینده‌ها را کاهش می‌دهد (۳۲). این امر باعث تجمع آلاینده‌ها در رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آب به‌ویژه در پایین‌دست سدها می‌شود. علاوه بر این، افزایش غلظت نترات در آب‌های پایین‌دست، عمدتاً به‌دلیل توسعه کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی، می‌تواند تأثیر منفی بر بوم‌سازگان‌های آبی داشته باشد و باعث تغییرات منفی در تنوع زیستی شود (۲۷). در نتیجه، اثرات جریان تنظیمی در پایین‌دست سدها می‌تواند به اختلال در فرآیندهای طبیعی تصفیه آب منجر شود و توان رودخانه در حذف آلاینده‌ها را کاهش دهد.

فهرست منابع

1. Aghajanloo, K., E. Hajizadeh and S. Ariaeezadeh. 2022. Evaluation of Karun river water quality based on IRWQI and WAWQI indicators in Molasani and Ahvaz stations. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 53(2): 367-380. (In Persian).
2. Alivand Darani, Z., and A. Chamani. 2020. Water quality assessment of Zayandeh-rood River based on diversity and abundance of macrobenthos in 2017. *Experimental Animal Biology* 8(4): 97-107. (In Persian).
3. Armitage, P. D., D. Moss, J. F. Wright and M. T. Furse. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research* 17(3): 333-347.

4. Aslhashemi, A., and H. Taghipour. 2010. Water quality index. *The Application of Chemistry in Environment* 1(4): 1-5. (In Persian).
5. Aththanayake, A. M. N. S., N. D. L. Nikawela, B. K. A. Bellanthudawa and S. Wijetunga. 2024. Integrated assessment of Kirala Kele wetland health: Bridging the gap between water quality parameters and biotic components. *Water Supply* 24(3): 738-759.
6. Brack, W., V. Dulio, M. Ågerstrand, I. Allan, R. Altenburger, M. Brinkmann, D. Bunke, R. M. Burgess, I. Cousins, B. I. Escher and F. J. Hernández. 2017. Towards the review of the european union water framework directive: recommendations for more efficient assessment and management of chemical contamination in European surface water resources. *Science of the Total Environment* 576: 720-737.
7. Buck, M., N. E. A. Woodley, D. M. Borkent, T. Wood, J. R. Pape, V. Vockeroth, V. Michelsen and S. A. Marshall. 2009. Key to Diptera families-adults. *Manual of Central American Diptera* 1: 95-156.
8. Chessman, B. C. 2003. New sensitivity grades for Australian river macroinvertebrates. *Marine and Freshwater Research* 54: 95-103.
9. Department of Environment. 2012. Quality index of the country's water resources and their classification. Water and soil office. Human Environment Deputy of Environmental Protection Organization.
10. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology. 2017. Environmental flow requirement of Zayandehrud River and Gavkhooni International Wetland for sustainable ecological functions. Isfahan provincial directory of environmental protection. Project No. 93/6816.
11. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology. 2019. Biodiversity monitoring studies of macrobenthos and macrophytes of Gavkhooni Basin in order to be used in the comprehensive management plan of the watershed of Gavkhooni International Wetland. Isfahan provincial directory of environmental protection. Project No. 96/6817.
12. Ebrahimi Dastgerdi, H., E. Ebrahimi and Fakheran, S. 2017. Impacts of Zayandehroud dam on the macro-benthic invertebrate and water quality of Zayandehroud river using BMWP and ASPT biological indices. *Iranian Journal of Applied Ecology* 6(2): 55-67. (In Persian).
13. Erseus, C., M. J. Wetzel and L. Gustavsson. 2008. ICZN rules—a farewell to Tubificidae (Annelida, Clitellata). *Zootaxa* 1744(1): 66-68.
14. Fan, X., H. Yu, D. S. Tiando, Y. Rong, W. Luo, C. Eme, S. Ou, J. Li and Z. Liang. 2021. Impacts of human activities on ecosystem service value in arid and semi-arid ecological regions of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(21): 11121.
15. Fathi, P., E. E. Dorche, O. B. Kashkooli, J. Stribling and A. Bruder. 2022. Development of the Karun macroinvertebrate tolerance index (KMTI) for semi-arid mountainous streams in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 194(6): 421.
16. Fathi, P., E. E. Dorche, M. Zare Shahraki, J. Stribling, O. Beyraghdar Kashkooli, A. Esmaeili Ofogh and A. Bruder. 2022. Revised Iranian water quality index (RIWQI): a tool for the assessment and management of water quality in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 194(7): 504.
17. Feio, M. J., R. M. Hughes, M. Callisto, S. J. Nichols, O. N. Odume, B. R. Quintella, M. Kuemmerlen, F. C. Aguiar, S. F. Almeida, P. Alonso-EguíaLis and F. O. Arimoro. 2021. The biological assessment and rehabilitation of the world's rivers: An overview. *Water* 13(3): 371.
18. Fernández, N., A. Ramírez and F. Solano. 2004. Physico-chemical water quality indices—a comparative review. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas* 2(1): 19-30.
19. Gholizadeh, M., and O. Heydari. 2020. Evaluation of Gorganrood river water quality based on surface water quality indicators in the Gonbad Kavous. *Iranian Journal of Health and Environment* 13(1): 33-48. (In Persian).
20. Hering, D., R. K. Johnson, S. Kramm, S. Schmutz, K. Szoszkiewicz and P. F. Verdonschot. 2006. Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates, and fish: A comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biology* 51(9): 1757-1785.
21. Kavand, H., S. Ziaee and M. Mardani Najafabadi. 2023. The impact of water conservation policies on the reallocation of agricultural water-land resources. *Frontiers in Water* 5: 1138869.
22. Li, M., S. Li, H. Liu and J. Zhang. 2023. Balancing water ecosystem services: Assessing water yield and purification in Shanxi. *Water* 15(18): 3261.
23. Ligon, F. K., W. E. Dietrich and W. J. Trush. 1995. Downstream ecological effects of dams. *Bio Science* 45(3): 183-192.
24. Luo, Y., D. L. Ficklin, X. Liu and M. Zhang. 2013. Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality with a watershed modeling approach. *Science of the Total Environment* 450: 72-82.

25. Magallon Ortega, G., C. Escalera Gallardo, E. López-López, J. E. Sedeño-Díaz, M. Lopez Hernandez, M. Arroyo-Damián and R. Moncayo-Estrada. 2021. Water quality analysis in a subtropical river with an adapted biomonitoring working party (BMWP) index. *Diversity* 13(11): 606.
26. Nasiri, M., A. Ghoghghi and H. T. Podeh. 2023. Investigation of Zayandeh River water quality based on macrobenthos as biological indicators. *International Journal of Aquatic Biology* 11(3) 213-221.
27. Niknam, E., A. Chamani and M. Nourouzi. 2020. The water quality of Zayandeh-rood river with macrobenthos biodiversity indexes in fall 2017 to spring 2018. *Applied Biology* 32(4): 164-175. (In Persian).
28. Nilsson, C., C. A. Reidy, M. Dynesius and C. Revenga. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308(5720): 405-408.
29. Ofogh, A. R. E., E. E. Dorche Birk and S. A Bruder. 2023. Effect of seasonal variability on the development and application of a novel Multimetric Index based on benthic macroinvertebrate communities—A case study from streams in the Karun river basin (Iran). *Ecological Indicators* 146:109843.
30. Pescador, M. L., A. K. Rasmussen and S. C. Harris. 2004. Identification manual for the caddisfly (Trichoptera) larvae of Florida. *Division of Water Resource Management*, Florida Department of Environmental Protection.
31. Pirali Zefrehei, A., and E. Ebrahimi. 2017. Introduction of several biological indices for the assessment of river water quality. *Journal of Water and Sustainable Development* 3(2): 35-42. (In Persian).
32. Poff, N. L., and J. K. Zimmerman. 2010. Ecological responses to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* 55(1): 194-205.
33. Rezaei, F., H. R. Safavi and A. Ahmadi. 2013. Groundwater vulnerability assessment using fuzzy logic: A case study in the Zayandehrood aquifers, Iran. *Environmental Management* 51: 267-277.
34. Scholes, R. J. 2020. The future of semi-arid regions: A weak fabric unravels. *Climate* 8(3): 43.
35. Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27(3): 379-423.
36. Singh, N., B. K. Choudhary, S. Singh and R. Kumar. 2022. Monitoring and assessment of anthropogenic impacts on water quality by estimating the BMWP and ASPT indices for a headwater stream in Doon Valley, India. *Sustainable Water Resources Management* 8(4): 108.
37. Smith, D. G. 1990. A better water quality indexing system for rivers and streams. *Water Research* 24(10): 1237-1244.
38. Soltani, S., F. Mokhtari, R. Zare and S. Raeesi. 2020. Investigation of changes in water quality parameters in Zayandehrood Dam basin. *Journal of Natural Environment* 72(4): 445-458. (In Persian).
39. Sutadian, A. D., N. Muttill, A. G. Yilmaz and B. J. C. Perera. 2016. Development of river water quality indices—a review. *Environmental Monitoring and Assessment* 188: 1-29.
40. Uuilleul, P., J. D. Stockwell, D. Frigon and P. Legendre. 2000. The Mantel test versus Pearson's correlation analysis: Assessment of the differences for biological and environmental studies. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 5: 131-150.
41. Varnosfaderany, M. N., E. Ebrahimi, N. Mirghaffary and A. Soffianian. 2010. Biological assessment of the Zayandeh Rud River, Iran, using benthic macroinvertebrates. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters* 40(3): 226-232.
42. Varnosfaderany, M. N., N. Mirghaffary, E. Ebrahimi and A. Soffianian. 2009. Water quality assessment in an arid region using a water quality index. *Water Science and Technology* 60(9): 2319-2327.
43. Wan Abdul Ghani, W. M. H., A. Abas Kutty, M. A. Mahazar, S. A. Al-Shami and S. Ab Hamid. 2018. Performance of biotic indices in comparison to chemical-based Water Quality Index (WQI) in evaluating the water quality of urban rivers. *Environmental Monitoring and Assessment* 190: 1-14.
44. Zamani-Ahmadmahmoodi, R., S. Aminian, S. Bayati and A. Chamani. 2023. Evaluation of water quality changes in Zayandehrood River using IRWQISC quality index. *Journal of Environmental Health Engineering* 10(4): 398-411. (In Persian).

Monitoring Zayandehroud River Ecosystem Health using Biological and Water Quality Indices

Fakhrieh Mohseni¹, Mohammad Nemati Varnosfaderany^{2*}, AliReza Soffianian³ and Sima Fakheran⁴

(Received: December 03-2024; Accepted: January 20-2025)

Abstract

Zayandehroud is the water source for life in Central Iran, but it has turned into one of the most vulnerable ecosystem due to human disturbances. In this study, water quality and ecosystem health of Zayandehroud was evaluated in a segment of the river with permanent flow, from the Zayandehrud Regulating Dam to Pol-Kalleh. Water and benthic macroinvertebrate samples were collected from 11 stations during the summer of 2022. The Iranian Water Quality Index for Surface Water (IRWQI_{SC}), along with richness and diversity indices, as well as biological indices (BMWP and ASPT), were calculated. The findings revealed that the IRWQI_{SC} index categorizes water quality as moderate in most stations, with relatively good quality observed in only three stations. In contrast, the BMWP index denoted poor conditions, the ASPT index reflected severe to moderate pollution levels, and the Shannon diversity index also indicates severe to moderate pollution. The IRWQI_{SC} index was unable to accurately capture the effects of water flow interruption downstream of the Cham-Aseman diversion dam and its impact on the deterioration of water quality and overall river ecosystem health. However, the substantial decline in the richness index and biological indices at the Pol-Kalleh station highlights a significant ecological imbalance in the river ecosystem.

Keywords: Monitoring, Benthic Macroinvertebrates, Biological Index, Water Quality, Ecosystem Health.

-
1. PhD Student, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 2. Assistant Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
 3. Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
 4. Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
- *: Corresponding Author, Email: nemati@iut.ac.ir