

ارزیابی سلامت کیفیت آب رودخانه مادرسو (استان گلستان) با استفاده از شاخص زیستی چند معیاره

محمد قلی‌زاده^{۱*}، فرزانه پورحمیدی^۲

۱. استادیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی زیست دریا، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

Gh.model09@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۰۳

چکیده

سلامت رودخانه‌ها را می‌توان بر اساس تغییرات اندازه‌گیری شده در ساختار بوم‌شناختی بی‌مهرگان آبی ارزیابی کرد. هدف از این مطالعه ارزیابی سلامت رودخانه مادرسو با استفاده از درشت بی‌مهرگان کفزی از ۴ ایستگاه در سال ۱۳۹۷ است. تعداد ۷۷۵ نمونه درشت بی‌مهرگان کفزی از رودخانه مادرسو، استان گلستان شناسایی شدند. بیشترین فراوانی متعلق به خانواده Chironomidae (۲۵۵ عدد، ۳۲/۹ درصد) و بعد از آن Caenidae (۱۷۸ عدد، ۲۲/۹۷ درصد) و Baetidae (۱۱۸ عدد، ۱۵/۲۳ درصد) بود. فصل پاییز (۴۸ درصد) بیشترین و فصل زمستان (۲۱ درصد) کمترین فراوانی در این رودخانه مشاهده شد. نتایج شاخص‌های مورد بررسی در مقایسه با ایستگاه شاهد (بالادست، بدون فعالیت انسانی) نشان داد که ایستگاه‌های پایین دست (از جمله کشاورزی و منطقه شهری) در طبقه با کیفیت بد است که نیازمند بازسازی و برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش فوری آثار مخرب است. نتایج نشان داد که به‌کارگیری شاخص‌های زیستی می‌تواند برآورد دقیق‌تری از سلامت اکوسیستم‌های آبی نسبت به مطالعات پرهزینه و وقت‌گیر گذشته نشان دهد. نتیجه می‌گیریم که شاخص‌های سیگنال و EQR برای ارزیابی سلامت رودخانه توسط درشت بی‌مهرگان کفزی مناسب هستند.

کلیدواژه

استان گلستان، درشت بی‌مهرگان کفزی، رودخانه مادرسو، شاخص زیستی، کیفیت زیستی آب

سرآغاز

این اکوسیستم‌ها رفتارهای متفاوتی را در شرایط مختلف از خود نشان دهد (Mikaeeli et al., 2006). آب‌های جاری اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر تحت تأثیر افزایش فشار از فاکتورهای وابسته به دخالت‌های انسانی مثل تغییرات زیستگاه یا تغییرات در آب شناسی و دگرگونی مجرای نهر هستند (Vaughan et al., 2009). دگرگونی در ساختار زیستگاه می‌تواند با متغیرهای مقیاس حوضه‌آبخیز مانند تغییر کاربری تحت تأثیر قرار گیرند (Kang et al., 2020). تعدادی از متغیرهای محیطی مانند آب‌شناسی و

رودخانه‌ها، حوضه‌های آبریز رودخانه و محیط‌های حاشیه رودخانه‌ها دارای بالاترین تنوع زیستی در جهان هستند و همچنین بیشترین تمرکز جمعیت انسانی در حاشیه و نزدیک به رودخانه‌ها قرار دارد. نهرها و رودخانه‌ها اکوسیستم‌هایی هستند که به‌منظور درک ماهیت و گستردگی روابط آن در مجموعه سیمای محیط می‌بایست طبیعت آن‌ها را شناخت. این شناخت مستلزم آشنایی و آگاهی از عناصر تشکیل دهنده آن‌هاست که سبب شده تا

برای نظارت جوامع بزرگ بی‌مهرگان کفزی به‌عنوان شاخص زیستی از سلامت رودخانه روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، شاخص زیستی سیگنال برای بررسی سلامت آب در استرالیا تعیین شد (Chessman, 1995)، شاخص مذکور، کیفیت آب را از مقاوم به آلودگی ۱ تا ۱۰ حساسیت به آلودگی ارزیابی می‌کند (Chessman, 2003). بر اساس گونه‌های موجود در هر ایستگاه، درجه حساسیت بزرگ بی‌مهرگان کفزی برای محاسبه رتبه کیفیت آب نهرها یا دیگر بدنه آبی استفاده می‌شود. قلی‌زاده و پاکروان (۱۳۹۷) مطالعه‌ای بر سلامت رودخانه زرین‌گل در استان گلستان با استفاده از شاخص زیستی SIGNAL در ۴ ایستگاه انجام دادند. نتایج نشان داد که ایستگاه‌هایی پایین‌دست که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بودند در محدوده یک چهارم b با آلودگی نسبی قرار داشتند. Aazami و همکاران (۲۰۱۵) تحقیقی در ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی رودخانه تجن با استفاده از شاخص چند معیاره درشت بی‌مهرگان کفزی از ۱۷ ایستگاه داشتند. نتایج نشان داد که کاهش شاخص چند معیاره (MMI) از بالادست (کیفیت مناسب آب) تا پایین‌دست (کیفیت بد) آن‌هم به دلیل فعالیت‌های انسانی از جمله استخراج شن و ماسه، کشاورزی و آبی‌پروری نشان داد. Parvandi و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای بر ارزیابی زیستی رودخانه جاجرود با استفاده از ساختار جمعیت درشت بی‌مهرگان کفزی داشتند. نتایج نشان داد که عوامل دمایی، آب، آمونیاک و هدایت الکتریکی بالاترین سهم را در توزیع درشت بی‌مهرگان کفزی دارند و همین‌طور بر اساس همبستگی شاخص‌های زیستی با شاخص فیزیکی و شیمیایی IRWQI، شاخص‌های مارگالف، TBI و IBI^۴ شاخص‌های مناسب‌تری برای ارزیابی کیفیت آب است. همچنین استفاده از شاخص EQR^۵ که یک شاخص چند معیاره است، ۱۸ عامل بوم‌شناختی از درشت بی‌مهرگان کفزی، به ارزیابی بوم‌شناختی رودخانه می‌پردازد. شاخص EQR جدیدترین شاخص چند معیاره برای ارزیابی

خصوصیات کانال بیشتر با ویژگی‌های سیمای محیط و کاربری اراضی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Adams, 2002)، همه این‌ها تغییراتی هستند که سبب تخریب بسیار وسیع اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، مانند کاهش کیفیت و دسترسی به آب، سیلاب‌های شدید، تغییرات در پراکنش و ساختار موجودات زنده آبی می‌شوند (قلی‌زاده و معتمدی، ۱۳۹۹). از چنین مواردی می‌توان به سیل مخرب مرداد ۱۳۸۰ و سیل‌های فصلی رخ داده در محدوده پارک ملی گلستان اشاره داشت.

ارزیابی زیستی^۱ ابزاری مهم برای سنجش شرایط کیفی از یک محیط آبی است. با شناخت اجزاء کیفیت زیستی^۲ می‌توان درک درستی از گروه‌هایی از موجودات که به‌طور یکپارچه تحت تأثیر استرس‌های مختلف مانند مواد مغذی غنی، اسیدیته، کاهش میزان اکسیژن محلول و تنزل زیستگاه داشت. این اجزاء کیفیت زیست‌شناختی در رودخانه‌ها و نهرها، فیتوپلانکتون‌ها، جلبک‌ها و بزرگ بی‌مهرگان کفزی و ماهیان هستند. در این بین بزرگ بی‌مهرگان آبی کفزی اهمیت بیشتری دارند (Gholizadeh and Heydarzadeh, 2020). زیرا جمع‌آوری آن‌ها نسبت به سایر موجودات ساده‌تر است؛ با چشم غیر مسلح دیده می‌شوند؛ دارای چرخه زندگی نسبتاً طولانی بوده؛ تنوع زیادی دارند و گونه‌های مختلف آن‌ها در گستره‌های متفاوت آلودگی (از حالت تمیز تا آلودگی شدید) یافت می‌شوند (and Dibble, 2012) Schultz). بنابراین مطالعه و بررسی ساختار جوامع کفزی در بوم‌سازگان‌های آبی جایگاه خاصی در بررسی‌های بوم‌شناسی موجودات آبی به خود اختصاص داده است. اهمیت بزرگ بی‌مهرگان آبی نه تنها به منظور حضور آن‌ها در زنجیره غذایی است بلکه حضور یا عدم برخی از گونه‌های بزرگ بی‌مهرگان آبی نشان‌دهنده کیفیت آب از نظر میزان آلودگی یا عدم آلودگی است. بزرگ بی‌مهرگان آبی دارای تفاوت‌هایی از لحاظ مقاومت در برابر شدت آلودگی و کاهش اکسیژن با یکدیگر است و درباره بعضی از گونه‌ها این تفاوت بیشتر است (Foomani et al., 2020).

خراسان شمالی، سمنان و گلستان را شامل می‌شود. اهمیت این رودخانه به دلیل وجود سیلاب‌های اخیر (۱۳۸۰) با دبی سیلابی ۳۰۱۷ متر مکعب و (۱۳۸۴) با خسارات زیاد که به تغییرات در پوشش گیاهی حاشیه‌ای و ساختار فیزیکی رودخانه می‌انجامد (رحیمی و رحیمی داشلی برون، ۱۳۹۵).

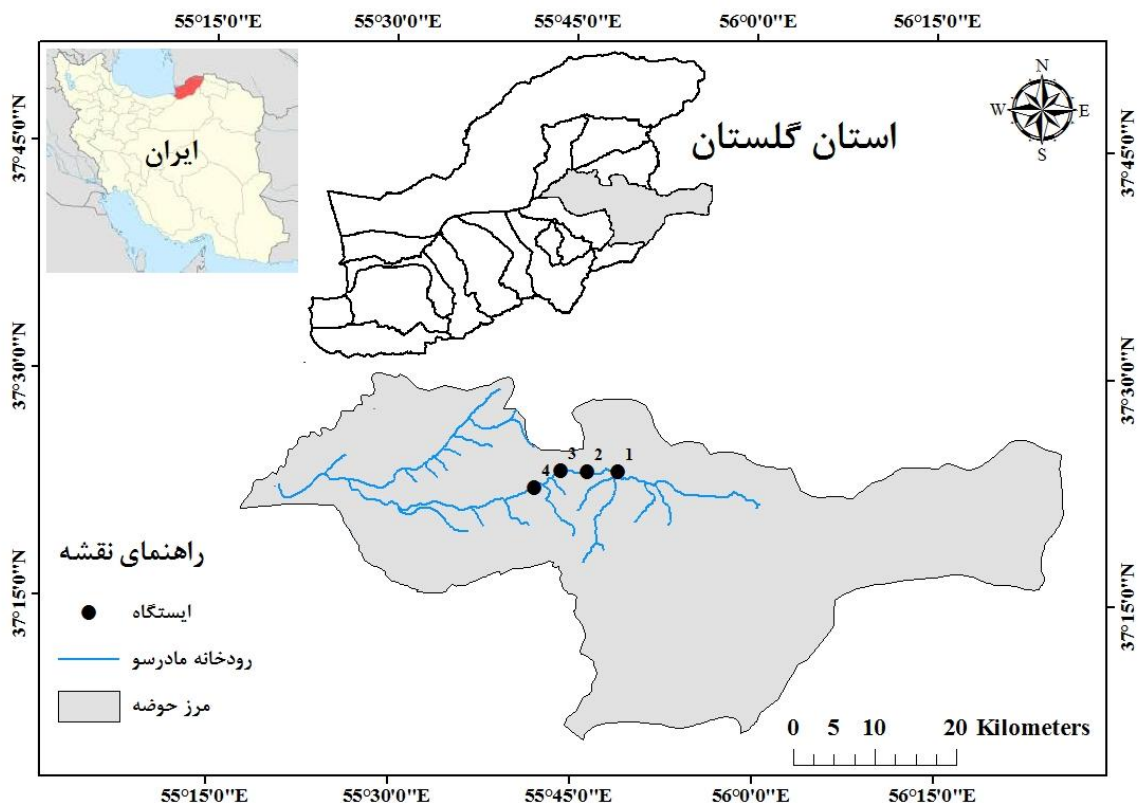
طول این رودخانه ۱۲۰ کیلومتر بوده و بیشترین قسمت این حوضه در منطقه کوهستانی و پوشیده از درختان جنگلی در استان گلستان است. این رودخانه دارای رژیم جریان فصلی بوده و آبدهی آن در یک دوره ۱۶ ساله به طور متوسط ۱۷/۷ میلیون متر مکعب است. محدوده مطالعاتی، قسمتی از این رودخانه به طول حدود ۶۲ کیلومتر با شیب متوسط کمتر از ۱ درصد است که از تنگراه شروع شده و تا محل اتصال به رودخانه گرگان رود ادامه می‌یابد.

بوم‌شناختی آب است که در رودخانه ویتنام برای نخستین بار در سال ۲۰۱۵ استفاده شده است (Nguyen et al., 2014).

این مطالعه با هدف شناسایی درشت بی‌مهرگان کفزی و همچنین به منظور ارزیابی شاخص‌های چند معیاره مورد مطالعه از رودخانه مادرسو، در محدوده جنگل گلستان با استفاده از درشت بی‌مهرگان کفزی و بررسی وضعیت کیفی آب توسط شاخص EQR انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

حوضه رودخانه مادرسو (دوغ) یکی از زیر حوضه‌های اصلی رودخانه گرگانرود و حوضه مهم و مؤثر در آب‌دهی سد گلستان است که با وسعت ۴۴۸۵ کیلومترمربع در جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. این منطقه بین $37^{\circ}30'30''$ طول شرقی و $37^{\circ}00'42''$ تا $37^{\circ}28'38''$ عرض شمالی قرار گرفته است و بخش‌هایی از سه استان



شکل ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه مادرسو، استان گلستان

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری و برخی از پارامترهای محیطی در رودخانه مادرسو

ایستگاه	طول جغرافیای N	عرض جغرافیای E	جنس بستر	عرض (متر)
۱ (شاهد)	"۵۵°۴۰'۳۷"	"۰۶°۵۲'۵۵"	قلوه سنگ-ماسه‌ای	۱/۶
۲ (منطقه جنگلی)	"۰۵°۲۳'۳۷"	"۲۶°۵۲'۵۵"		۱/۹
۳ (محدوده کشاورزی)	"۴۹°۲۱'۳۷"	"۲۴°۳۹'۵۵"	شن و ماسه	۲/۳
۴ (محدوده روستا)	"۲۹°۲۱'۳۷"	"۵۲°۲۹'۵۵"	شن و ماسه	۳/۱

و شناسایی تاکسون‌ها با استفاده از کلیدهای شناسایی موجود بی‌مهرگان کفزی (Needham, 1976; Thorp,) (Covich, 2009) تا سطح راسته و خانواده در زیر لوپ و استریومیکروسکوپ شناسایی شد.

شاخص زیستی سیگنال توسط Chessman در سال ۱۹۹۵ برای ارزیابی سلامت آب در استرالیا تعیین شد (Chessman, 2003). شاخص مذکور، کیفیت آب را از ۱ (مقاوم به آلودگی) تا ۱۰ (حساسیت به آلودگی) ارزیابی می‌کند و به هر خانواده بر اساس حساسیت آن به آلودگی، امتیازی بین صفر تا ده می‌دهد. هرچه امتیاز خانواده بیشتر باشد، حساسیت خانواده به آلودگی بیشتر است.

$$SIGNAL = \frac{\text{فاکتور وزنی} \times \text{درجه حساسیت}}{\text{مجموع کل فاکتور وزنی}}$$

در نهایت نموداری با دو متغیر عدد شاخص در ستون عمودی و تعداد خانواده در ستون افقی رسم می‌شود که از تقسیم سطح این نمودار به چهار قسمت میزان و منشاء تغییرات محیط‌زیستی مشخص می‌شود (شکل ۲).

در روش ارزیابی با استفاده از بزرگ بی‌مهرگان آبی، پارامترهای فراوانی و غنای تاکسونومی با شاخص گونه‌های حساس به مقاوم ترکیب می‌شوند. شاخص چند معیاره^۶ وضعیت یک اکوسیستم را با چندین شاخص پایه^۷ تشریح می‌کند. هر کدام از این متغیرها ترکیب مختلفی از کیفیت اکوسیستم ارائه می‌دهند و در یک شاخص ارزش‌گذاری می‌شوند. شاخص‌های مرکب نخستین بار برای جوامع ماهیان استفاده شد (Karr, 1999) و بعد برای گروه‌های شاخص دیگر مانند بزرگ بی‌مهرگان آبی استفاده شد (Böhmer et al., 2004).

این رودخانه به دلیل طول زیاد، طی مسیر در پایین دست دستخوش فعالیت‌های انسانی، از جمله اجرای طرح‌های احداث جاده، احداث مزارع کشاورزی و باغ‌ها در حاشیه رودخانه شده است. این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در ۳ فصل بهار، پاییز و زمستان (عدم نمونه‌برداری در فصل تابستان به دلیل کاهش دبی و در برخی نقاط از رودخانه فاقد آب) در بخش بالادست رودخانه منطقه جنگل گلستان تا انتهای تنگه راه در ۴ ایستگاه (ایستگاه اول (ایستگاه شاهد) در منطقه کوهستانی و بدون فعالیت انسانی، ایستگاه دوم در منطقه جنگل گلستان، ایستگاه سوم محدوده کشاورزی و ایستگاه چهارم در محدوده روستای تنگه‌را) انجام شد. ایستگاه‌ها بر اساس فاکتورهایی شامل عدم همپوشانی با یکدیگر، کیفیت حاشیه رودخانه، نوع کاربری اراضی و پوشش گیاهی حاشیه‌ای متفاوت و در دسترس بودن به نحوی انتخاب شدند که همه تنوع زیستگاهی در دسترس را شامل شوند (Gholizadeh et al., 2017). در شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت جغرافیایی رودخانه مادرسو و مکان‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است.

نمونه‌برداری با استفاده از سوربر سمپلر (۳۰×۳۰ سانتی متر) انجام گرفت. در هر ایستگاه نمونه‌برداری از بی‌مهرگان کفزی از سه نقطه رودخانه از کناره‌ها و وسط رودخانه (به‌عنوان تکرار) انتخاب شد (Barbour et al., 1999). تمامی موجودات با کمک الک آزمایشگاهی با اندازه چشمه ۵۰۰ میکرون جمع‌آوری و سپس با فرمالین ۴ درصد تثبیت شد و به آزمایشگاه انتقال داده شد. جداسازی

عدد شاخص	۱۰	آلودگی معدنی با فلزات سنگین شرایط اکولوژیک تغییر یافته (زیستگاه فقیر یا نمونه‌گیری ناکافی) c	عدم وجود آلودگی خاص شرایط اکولوژیک سالم (زیستگاه مناسب) a
	۴	آلودگی شهری، کشاورزی یا صنعتی شرایط اکولوژیک تغییر یافته (زیستگاه فقیر) d	شوری بالا، کدورت یا سطوح غذایی بالا- شرایط اکولوژیک خاص (زیستگاه متوسط تا مناسب) b

تعداد خانواده

شکل ۲. تعیین منشاء تغییرات اکولوژیک با کمک شاخص سیگنال

بر اساس (Gabriels et al., 2006)، هر شاخص پایه بر اساس کیفیت مربوط به آن شاخص در چهار طبقه کیفی بین صفر، ۱، ۲، ۳ و ۴ قرار می‌گیرند. بنابراین نمره صفر برای هر شاخص نمایانگر وضعیت بد و نمره ۴ نشان دهنده وضعیت خوب زیستی یا اکولوژیک است. در نهایت نمرات این ۵ شاخص پایه با همدیگر جمع شده و متعاقباً تقسیم بر ۲۰ می‌شوند تا نهایتاً ارزش شاخص نهایی به دست می‌آید که مقداری بین صفر تا ۱ دارد و به ترتیب نشان دهنده وضعیت کیفی بد تا خیلی خوب بوم‌شناختی است (جدول ۳).

یک مزیت عمده شاخص‌های مرکب این است که آن‌ها انعطاف‌پذیر بوده و به راحتی با اضافه و کم کردن شاخص‌های پایه سازگار هستند. استفاده از شاخص‌های مرکب در کشورهای اروپایی نیز در حال گسترش است. شاخص‌های پایه مورد استفاده در شاخص MMIF عبارت‌اند از: غنای گونه‌ای (TAX)، تعداد EPT، تعداد گونه‌های حساس به آلودگی غیر از EPT (NST)، شاخص شانون وینر (SWD) و میانگین نمره مقاومت به آلودگی (MTS) (جدول ۲).

جدول ۱. شاخص‌های پایه مورد محاسبه در شاخص مرکب MMI

مخفف	نام	روش محاسبه
TAX	غنای گونه‌ای	تعداد کل گونه‌های موجود
EPT	تعداد خانواده‌های EPT	تعداد خانواده‌های <i>Ephemeroptera</i> , <i>Plecoptera</i> , <i>Trichoptera</i>
NST	تعداد گونه‌های حساس غیر از EPT	تعداد گونه‌های موجود با درجه تحمل بالای ۵ (غیر از تاکزون‌های EPT)
SWD	تنوع شانن-وینر	فرمول شانن ۱۹۴۹
MTS	میانگین درجه تحمل کل خانواده‌ها	میانگین درجه تحمل تمام تاکزاهای موجود

جدول ۳. رابطه بین شاخص مرکب و کیفیت اکولوژیکی

ارزیابی کیفی	درجه شاخص MMI
عالی	۰/۹-۱
خوب	۰/۷-۰/۸۹
متوسط	۰/۵-۰/۶۹
ضعیف	۰/۳-۰/۴۹
بد	۰/۰-۰/۲۹

آماري SPSS و با استفاده از آناليز واريانس يك‌طرفه (One Way ANOVA) بعد از نرمال‌سازي داده‌ها انجام شد. براي مقايسه ميانگين‌ها از آزمون دانكن (Duncan) در سطح ۵ درصد استفاده و محاسبه داده‌ها و نمودارها با بسته‌هاي نرم‌افزاري Excel انجام شد.

يافته‌ها

تعداد ۷۷۵ نمونه درشت بي‌مهرگان كفزي از رودخانه مادرسو در محدوده جنگل گلستان نمونه‌برداري، شناسايي و شمارش شد. فراواني و تنوع درشت بي‌مهرگان كفزي رودخانه مادرسو در جدول ۵ آمده است. بيشترين فراواني در بين موجودات بي‌مهره شناسايي شده، Chironomidae (۲۵۵ عدد، ۳۲/۹ درصد) و بعد از Caenidae (۱۷۸ عدد، ۲۲/۹۷ درصد) و Baetidae (۱۱۸ عدد، ۱۵/۲۳ درصد) از راسته Ephemeroptera بودند. بيشترين تنوع گروه‌هاي شناسايي شده به ترتيب مربوط به Diptera (۳۷/۵ درصد) و Ephemeroptera (۱۸/۷۵ درصد) بود. لارو حشرات آبي بيشترين فراواني جمعيت درشت بي‌مهرگان كفزي را به خود اختصاص دادند. درشت بي‌مهرگان كفزي در همه فصول سال وجود داشتند و تنها Decapoda (ايستگاه ۱) و Physidae (ايستگاه ۲) در فصل پاييز مشاهده شدند.

شاخص نسبت كفي اكلوژيكي (EQR)، از جديدترين شاخص‌هاي چند معياره در سال ۲۰۱۴ است كه بر اساس ۱۸ پارامتر اكلوژيكي ماكروبتنوزها به ارزيابي يکپارچگي اكلوژيكي رودخانه مي‌پردازد (Nguyen et al., 2014). اين پارامترها در چهار گروه تركيب، فراواني، تنوع و دامنه تحمل به تغييرات طبقه‌بندي مي‌شوند. در گام بعد، مقادير عددي هر يك از پارامترهاي مذکور با فرمول $Xm = \frac{x-m}{M-m}$ كه در آن Xm مقدار عددي نرمال شده، x مقدار عددي ايستگاه مورد نظر، m كمترين مقدار عددي در همه ايستگاه‌هاي مورد مطالعه، M بيشترين مقدار عددي موجود در ايستگاه‌هاي مورد مطالعه است و به صورت دامنه عددي ۰ تا ۱ منظم مي‌شوند. در نهايت ميانگين عددي به دست‌آمده از صفر تا يك متغير است كه هر عدد نشان‌دهنده طبقه كفي اكلوژيكي ايستگاه است (جدول ۴).

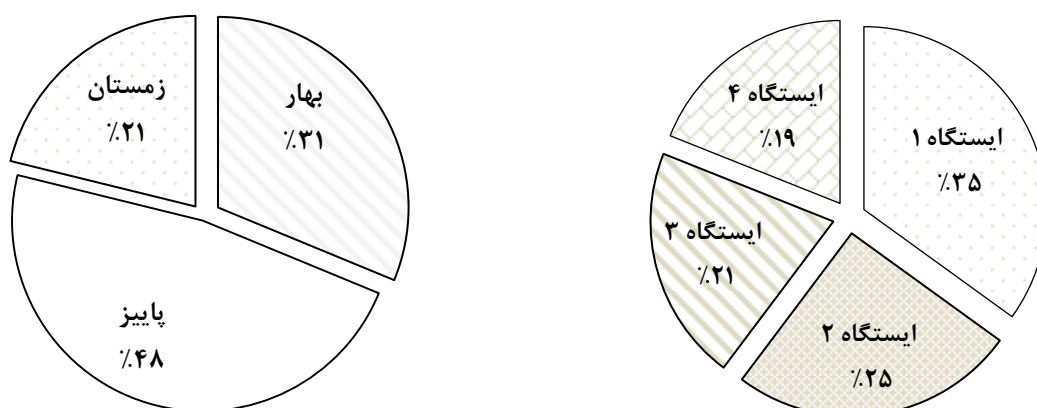
براي بررسي درشت بي‌مهرگان كفزي از آزمون مقياس بندي چندبعدي غيرمتریک^۱ (n.MDS) با استفاده از شاخص شباهت نسبي Bary-curtis، با تبديل ريشه دوم داده‌ها براي همه نمونه‌ها در ماتريس گونه‌هاي اصلي درشت بي‌مهرگان در ايستگاه‌ها با استفاده از نرم‌افزار PRIMER Ver.6 انجام گرفت (Clarke and Ainsworth, 2001). تجزيه و تحليل داده‌هاي به دست آمده با نرم‌افزار

جدول ۴. طبقات اكلوژيكي شاخص EQR

ردیف	دامنه امتياز	طبقه	توصيف
۱	۰/۸۱-۱/۰۰	خيلي خوب	ايستگاه، وضعيت طبيعي دارد و مي‌تواند به عنوان ايستگاه شاهد براي سايرين باشد.
۲	۰/۶۱-۰/۸۰	خوب	اخيراً فعاليت طبيعي يا انساني موجب تغييرات برگشت‌پذيري در ايستگاه شدند.
۳	۰/۴۱-۰/۶۰	متوسط	برخي روابط اكلوژيكي جوامع زنده به خاطر تشديد فعاليت‌هاي غالباً انساني به هم خوردند.
۴	۰/۲۱-۰/۴۰	بد	نيازمند بازسازي، برنامه‌ريزي به منظور کاهش فوري آثار است.
۵	< ۰/۲۱	خيلي بد	بازسازي و احيا اكلوژيكي در اين دسته نياز به زمان طولاني و حذف فعاليت‌هاي انساني دارد.

جدول ۵. فراوانی درشت بی‌مهرگان کفزی با استفاده از شاخص سیگنال در رودخانه مادرسو در طول دوره نمونه‌برداری

راسته	خانواده	فراوانی				امتیاز Signal	امتیاز 2 Signal
		S1	S2	S3	S4		
Amphipoda	Gammaridae	۵۳	۰	۰	۰	۲	۳
Diptera	Chironomidae	۰	۵۰	۸۶	۱۰۹	۴	۳
	Tabanidae	۰	۱	۰	۰	۵	۳
	Tipulidae	۰	۰	۱	۰	۵	۵
	Simulidae	۰	۰	۱۱	۳۶	۵	۵
	Empididae	۰	۰	۱	۰	-	۵
	Ceratopogonidae	۰	۰	۷	۳	۶	۴
Oligochaeta	Elmidae	۰	۰	۴	۰	۷	۷
	Naididae	۰	۰	۲	۲۷	-	۳
Ephemeroptera	Baetidae	۷۸	۳۴	۶	۰	۵	۵
	Caenidae	۷۹	۷۷	۱۶	۶	۷	۴
	Heptageniidae	۰	۰	۲	۰	-	۴
Tricoptera	Hydropsychidae	۹	۲	۰	۰	۵	۶
	Hydroptilidae	۳۹	۱۱	۰	۰	۶	۴
Hemiptera	Gerridae	۰	۰	۰	۲	-	۴
Gastropoda	Physidae	۰	۲	۰	۰	۲	۱
Decapoda		۵	۰	۰	۰	۴	۴



شکل ۳. درصد درشت بی‌مهرگان کفزی در ایستگاه و فصول نمونه‌برداری از رودخانه مادرسو

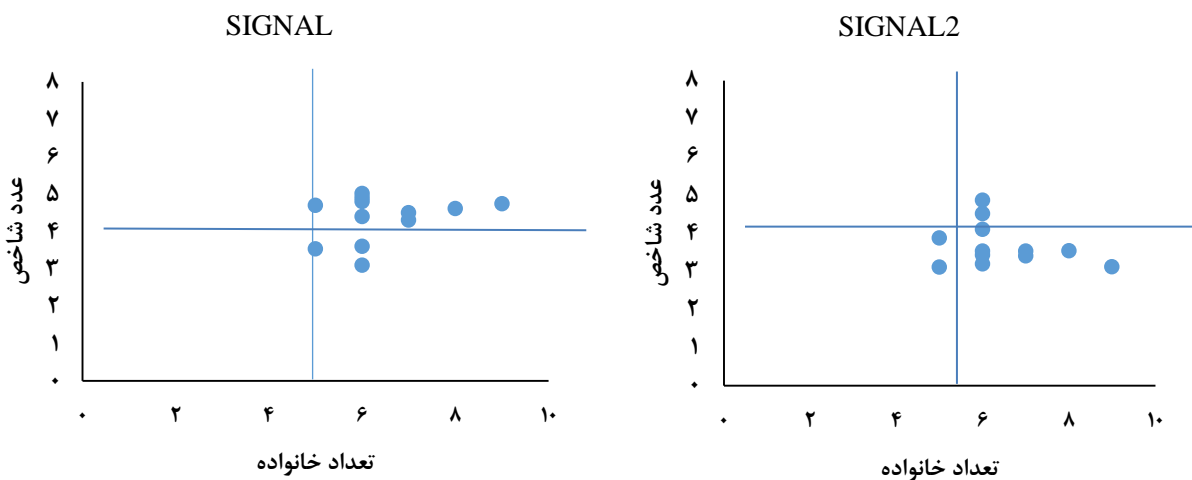
ایستگاه از رودخانه مادرسو در بین فصول مطالعاتی نشان داد که در فصل پاییز (۴۸ درصد) بیشترین فراوانی و در فصل زمستان (۲۱ درصد) کمترین فراوانی در این رودخانه

بیشترین فراوانی در ایستگاه ۱ (۳۵ درصد) و ۲ (۲۵ درصد) و کمترین فراوانی در ایستگاه ۴ (۱۹ درصد) به ثبت رسید. مطالعه فراوانی درشت بی‌مهرگان کفزی در ۴

یک چهارم a قرار می‌گیرد. اما مقدار شاخص در دیگر ایستگاه‌ها کمتر از ۴ بوده و با توجه به تعداد گونه این ایستگاه در یک چهارم b قرار می‌گیرد. کمترین مقدار شاخص سیگنال ۲ (۳/۱۱) در ایستگاه ۳ در فصل زمستان مشاهده شد.

نتایج شاخص مرکب MMIF نشان می‌دهد که وضعیت بوم‌شناختی و میزان آلودگی رودخانه مادرسو در فصل بهار در شرایط بهتری قرار دارد. به طور کلی، ۳ طبقه کیفی (خوب، متوسط و بد) از این شاخص در رودخانه مادرسو در سال ۱۳۹۷ مشاهده شد. ایستگاه‌های ۱ و ۲ در طبقه خوب در فصل بهار، ایستگاه‌های ۱ و ۲ فصل پاییز و ایستگاه ۱ فصل زمستان در طبقه متوسط بودند و دیگر ایستگاه‌ها در طبقه بد قرار گرفتند (جدول ۶).

وجود دارد (شکل ۳). در تمام فصول سال ایستگاه‌های ۱ و ۲ نسبت به ایستگاه‌های ۳ و ۴ تنوع بهتری داشتند و فراوانی در آن‌ها رو به افزایش بود. نتایج حاصل از بررسی فراوانی درشت بی‌مهرگان کفزی نشان داد که بین ایستگاه‌ها و فصول مختلف تفاوت معناداری وجود داشت ($p < 0.05$). نتایج محاسبه شده شاخص سیگنال از رودخانه مادرسو در شکل ۴ آورده شده است. این رودخانه دارای بیشترین تعداد ایستگاه با کیفیت آب آلودگی کم است. نتایج شاخص سیگنال نشان می‌دهد بیشتر ایستگاه‌ها در طبقه a قرار دارند و تنها ایستگاه‌های ۴ در تمام فصول در طبقه b است. بیشترین مقدار این شاخص در ایستگاه ۱ (۵/۱) در فصل بهار و کمترین آن در ایستگاه ۴ (۳/۱) در فصل زمستان مشاهده شد. شاخص سیگنال ۲ نیز نشان داد که تنها ایستگاه اول در فصول مطالعاتی بالاتر از ۴ بوده و در



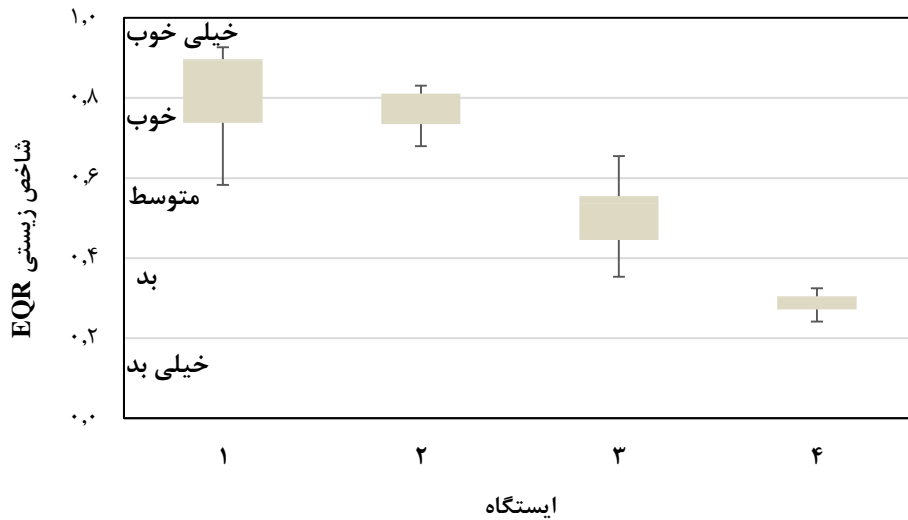
شکل ۴. نتایج شاخص سیگنال از ۴ ایستگاه در فصول نمونه‌برداری از رودخانه مادرسو

جدول ۶. نتایج شاخص MMIF در ایستگاه و فصول نمونه‌برداری از رودخانه مادرسو

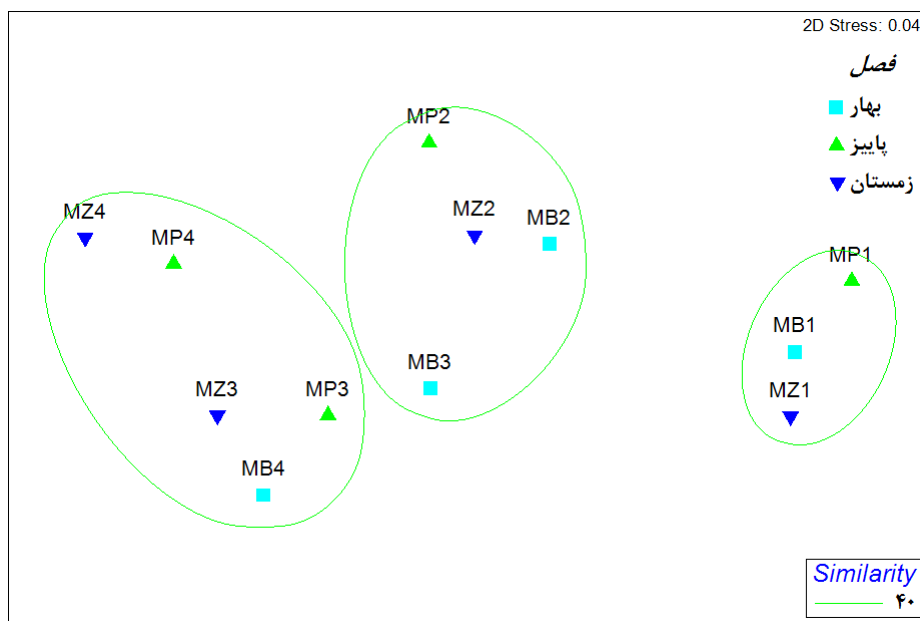
ایستگاه / فصل	بهار	پاییز	زمستان
۱	۰/۶۴ (خوب)	۰/۴۸ (متوسط)	۰/۴۲ (متوسط)
۲	۰/۶۱ (خوب)	۰/۴۱ (متوسط)	۰/۳۳ (بد)
۳	۰/۳۴ (بد)	۰/۳۵ (بد)	۰/۲۸ (بد)
۴	۰/۲۶ (بد)	۰/۲۸ (بد)	۰/۲۳ (بد)

گروه نخست که با فاصله زیاد نسبت به سایر گروه‌ها قرار گرفته است، شامل ایستگاه ۱ در بخش بالادست رودخانه است. در گروه دوم ایستگاه‌هایی که در محدوده جنگلی و از نظر فراوانی تقریباً نزدیک به هم بودند و حوالی یک نقطه کنار هم قرار گرفتند. در گروه سوم نیز ایستگاه ۴ که از محدوده جنگلی مجزا و در محدوده منطقه مسکونی تنگه قرار دارند، که در فاصله کمی از هم واقع شده‌اند (شکل ۶).

شکل ۵ ایستگاه‌ها را در طبقه‌های مختلف بر اساس شاخص زیستی EQR نشان می‌دهد. ایستگاه ۱ در طبقه کیفی خوب و ایستگاه ۴ در طبقه کیفی بد قرار داشتند. بیشترین مقدار این شاخص ۰/۹ در ایستگاه ۱ و کمترین مقدار آن ۰/۲۴ در ایستگاه ۴ است. در مقیاس‌گذاری چند بعدی (MDS) گروه‌های بی‌مهرگان کفزی به‌طور واضح به ۳ گروه تقسیم شدند.



شکل ۵. نمودار باکس ویسکر برای طبقه‌بندی ایستگاه‌ها در طی فصول نمونه‌برداری بر اساس شاخص زیستی EQR



شکل ۶. مقیاس‌گذاری چند بعدی (MDS) در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فصول مختلف از منطقه مطالعاتی از رودخانه مادرسو (۱۳۹۷). B=بهار، Z=زمستان، P=پاییز. اعداد نشان‌دهنده ایستگاه‌ها در هر مکان است

بحث و نتیجه‌گیری

تعداد ۷۷۵ نمونه درشت بی‌مهرگان کفزی از رودخانه مادرسو در محدوده جنگل گلستان نمونه‌برداری، شناسایی و شمارش شد. بیشترین تنوع گروه‌های شناسایی شده به ترتیب مربوط به Diptera (۳۷/۵ درصد) و Ephemeroptera (۱۸/۷۵ درصد) بود. نتایج نشان داد که در رودخانه مادرسو حشرات آبی بیشترین موجودات فون کفزی را تشکیل دادند. محققان متعددی در مطالعات خود به غالب بودن حشرات آبی در ترکیب کفزیان اکوسیستم نهرها و رودخانه‌ها اشاره کرده‌اند (Pipan, 2000; Pillay, 2007). تغییرات فصلی نمونه‌برداری در ترکیب جوامع درشت بی‌مهرگان کفزی مهم است (Bêche et al., 2006). در نتیجه، دوره نمونه‌گیری ممکن است بر ارزیابی یک سایت نمونه‌برداری تأثیر بگذارد. با این حال، همه معیارها لزوماً بین فصول متفاوت نیستند. Sporka و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که مقادیر متریک EPT تفاوت معناداری بین فصول ندارد زیرا در هر ماه تنها یک انتخاب نماینده منطقی از سه راسته EPT همیشه وجود داشت. با وجود این، در هنگام توسعه سیستم نظارتی یا ارزیابی، از بررسی فصلی نباید غافل شد. غالباً با محدود کردن چارچوب زمانی نمونه‌برداری، این موضوع بررسی می‌شود (Linke et al., 1999). اگرچه این استراتژی ممکن است به از دست رفتن اطلاعات مربوط به جامعه کلی در یک سایت منجر شود، می‌توان فرض کرد که برای اهداف ارزیابی کیفیت آب کافی است. از طرف دیگر، به منظور ایجاد شبکه نظارت در مقیاس بزرگ، توصیه می‌شود بازه زمانی را انتخاب کنید که به اندازه کافی بزرگ باشد تا به موقع از تمام سایت‌های نمونه‌برداری بازدید کنید.

بنابراین، مطالعه حاضر در ۳ فصل از سال، رودخانه مادرسو را ارزیابی کرد. همچنین عدم نمونه‌برداری در فصل تابستان نیز به دلیل کاهش دبی رودخانه که باعث شده در بعضی مناطق رودخانه بدون آب باشد. نتایج نشان داد که در فصل پاییز (۴۸ درصد) بیشترین فراوانی و در

فصل زمستان (۲۱ درصد) کمترین فراوانی در این رودخانه وجود دارد. در مطالعه حاضر، بیش‌ترین فراوانی و تنوع جوامع درشت بی‌مهرگان کفزی در بین فصول مورد مطالعه، در فصل بهار مشاهده شد که به علت فراهم شدن شرایط محیطی مناسب مانند تغذیه و تولیدمثل، تولید فیتوپلانکتونی افزایش و در نتیجه مواد غذایی بیشتری در اختیار بزرگ بی‌مهرگان کفزی قرار می‌گیرد. درشت بی‌مهرگان کفزی شاخص‌های خوبی برای تعیین کیفیت آب هستند. جمعیت درشت بی‌مهرگان کفزی تحت تأثیر شرایط محیطی زیست از جمله ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب قرار دارند. نوع رسوبات و ساختار بستر رودخانه‌ها نیز نقش مهمی در انتشار، فراوانی و تراکم بزرگ بی‌مهرگان آبی ایفا می‌کند (Camargo et al., 2011). نتایج تحقیق حاضر به طور کلی نشان‌دهنده کاهش غنای گونه‌های Trichoptera و Ephemeroptera در ایستگاه ۳ و ۴ تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نسبت به ایستگاه یک است که نشان‌دهنده تأثیر آن بر گونه‌های حساس به آلودگی در جوامع کفزی رودخانه، افزایش مواد آلی و احتمالاً کاهش اکسیژن بستر است (Basu et al., 2018) و همچنین فراوانی گونه‌های مقاوم در ایستگاه‌های پایین دست به آلودگی به‌ویژه راسته Diptera که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب در این ایستگاه است. همچنین خانواده‌های شیرونومیده و سیمولیده بیش‌ترین فراوانی را به خود اختصاص دادند که از درشت بی‌مهرگان کفزی مقاوم به آلودگی هستند، افزایش نسبی بی‌مهرگان کفزی مقاوم نشانگر اثر فشارهای محیطی بر بوم سازگان رودخانه و در نتیجه تغییر در ترکیب جمعیت کفزیان به‌منظور مصرف و جبران آشفتگی است. در تأیید این نتیجه‌گیری مطالعات زیادی افزایش فراوانی و غالباً گروه‌های مقاوم به آلودگی را در نتیجه فعالیت‌های انسانی مختلف گزارش کرده‌اند (Rosa et al., 2014). در تحقیق Sharifnia (2015) در رودخانه تجن، دو خانواده Chironomidae و Simuliidae بین افراد راسته دو بالان غالب بودند.

پیشنهادها

امروزه استفاده از موجودات آبی به عنوان نشانگرهای زیستی برای ارزیابی کیفیت آب بوم‌شناختی استفاده می‌شود. بنابراین، ما شاخص‌های چند معیاره از جمله MMI برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه مادرسو استفاده کردیم. متأسفانه، بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه، برخی از ایستگاه‌ها در وضعیت کیفی بدی قرار دارند. به ویژه، ایستگاه‌های پایین دست تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و تغییرات کاربری اراضی قرار دارند (قلبی‌زاده و علی‌نژاد، ۱۳۹۷). این نتایج برای مدیران محلی رودخانه مورد مطالعه و همچنین سایر رودخانه‌های شمال ایران که تحت استرس همان کاربری‌های اراضی قرار دارند مهم است. ابزارهای پایش و ارزیابی برای مدیریت منابع آب معمولاً در صورتی که مبتنی بر درک روشنی از مکانیسم‌هایی باشد که به حضور یا عدم حضور گروه‌های گونه در محیط منجر می‌شود، مؤثرتر هستند. نتایج نشان داد که شاخص‌های سیگنال و EQR برای ارزیابی سلامت رودخانه توسط درشت‌بی‌مهرگان کفزی مناسب هستند.

یادداشت‌ها

1. biological assessment
2. biological quality element
3. Trent Biotic Index
4. Index of Biotic Integrity
5. Ecological Quality Ratio (EQR)
6. Multimetric Macroinvertebrate Index (MMI)
7. metric
8. Non-metric Multidimensional Scaling (n.MDS)

بیشتر بودن میانگین درجه SIGNAL از ایستگاه‌های ۲ و ۳ در مقایسه با کمتر بودن امتیاز این شاخص در ایستگاه ۴ و ۳ نشان می‌دهد که تعداد بیشتری از موجودات حساس به آلودگی مانند Baetidae و Heptageniidae در محیط‌های طبیعی زیست می‌کنند. همچنین نتایج نشان داد که ایستگاه ۴ که در معرض منطقه مسکونی تنگه‌را قرار دارد مقدار شاخص سیگنال کاهش نداشته که علت آن میزان اکسیژن محلول کم و وجود مواد مغذی بالا برای کفزیان است. این شاخص پیشنهاد می‌کند که گونه‌های حساس مانند Trichoptera و Ephemeroptera می‌توانند در مکان‌های در معرض آلودگی آلی نسبی با شرایط محیطی مناسب نیز زیست کنند.

شاخص‌های MMIF و EQR ایستگاه ۱ را ایستگاهی با وضعیت طبیعی و دارای آبی با کیفیت خوب بیان می‌کند. ایستگاه ۲ را نیز با کیفیت خوب بیان شد با توصیف اینکه اخیراً فعالیت طبیعی یا انسانی در منطقه مورد مطالعه موجب تغییرات برگشت پذیری در ایستگاه شدند. ایستگاه ۳ با کیفیت متوسط و اینکه فعالیت‌های غالباً انسانی در منطقه نمونه‌برداری برخی روابط بوم‌شناختی جوامع زنده را به هم زده‌اند. ایستگاه ۴ نیز در طبقه با کیفیت بد بوده که نیازمند بازسازی، برنامه‌ریزی به منظور کاهش فوری آثار است. این بدان معنی است که شاخص EQR به دلیل استفاده از عوامل مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی توانسته ایستگاه‌ها را به دو بخش دست‌نخورده (شاهد) و آسیب دیده (ایستگاه‌های ۳ و ۴) تقسیم‌بندی کرد، که با توجه به شرایط محیطی این شاخص کارایی لازم را داشته و توانسته ایستگاه‌ها را بر اساس کیفیت آب تقسیم کند که با نتایج مطالعه اعظمی و همکاران نیز همخوانی دارد.

منابع

رحیمی، د. و رحیمی داشلی برون، ی. (۱۳۹۵). بررسی اثر تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر سیلاب در شمال ایران (حوضه مادرسو). *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۶۱ (۱): ۱۰۲-۸۹.

قلبی‌زاده، م. و پاکروان، م. ه. (۱۳۹۷). نظارت بر سلامت رودخانه زرین گل با استفاده از شاخص زیستی SIGNAL. *محیط‌زیست* *جانوری*. ۱۰ (۲): ۲۷۷-۲۸۲.

- قلی زاده، م. و علی نژاد، م. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات مکانی برخی از پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب رودخانه زرین گل در استان گلستان. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶(۱): ۱۱۱-۱۲۶.
- قلی زاده، م. و معتمدی، ر. (۱۳۹۷). اثرات تخریب زیستگاه بر اساس سیلاب‌های فصلی و مدیریت آن در حوضه رودخانه: مطالعه موردی رودخانه زرین گل. بهره‌برداری و پرورش آبزیان. ۹(۲): ۳۳-۴۴.
- Adams, S. M. (2002). Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland. 644p.
- Aazami, J., Esmaili Sari, A., Abdoli, A., Sohrabi, H., & Van den Brink, P.J. (2015). Assessment of Ecological Quality of the Tajan River in Iran Using a Multimetric Macroinvertebrate Index and Species Traits. *Environmental Management*. 56 (1): 260-269.
- Barbour, M.T., Plafkin, J.L., Bardley, B.P., Graves, C.G., & Wisseman, R.W. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable river: phytoplankton, benthic invertebrates and fish, 2nd edition EPA, Washington D.C., 408 p.
- Basu, A., Sarkar, I., Datta, S., & Roy, S. (2018). Community structure of benthic macroinvertebrate fauna of river Ichamati, India. *Journal of Threatened Taxa*, 10(8):12044-12055.
- Bêche, L. A., McElravy, E.P., & Resh, V. H. (2006). Long-term seasonal variation in the biological traits of benthic-macroinvertebrates in two Mediterranean-climate streams in California. U.S.A. *Fresh water Biology*, 51: 56-75.
- Böhmer, J., Rawer-Jost, C., Zenker, A., Meier, C., Feld, C.K., Biss, R., & Hering, D. (2004). Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: development of a multimetric invertebrate based assessment system. *Limnologia*, 34: 416-432.
- Camargo, J.A., Gonzalo, C., & Alonso, A. (2011). Assessing trout farm pollution by biological metrics and indices based on aquatic macrophytes and benthic macro invertebrates: a case study. *Ecology Indicators*, 11: 911-917.
- Chessman, B. (2003). SIGNAL 2. iv: a scoring system for macroinvertebrates (water bugs) in Australian rivers: user manual. Department of the Environment and Heritage, Canberra.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd edition. Plymouth: PRIMER-E.
- Foomani, A., Gholizadeh, M., Harsij, M., & Salavatian, M. (2020). River health assessment using macroinvertebrates and water quality parameters: A case of the Shanbeh-Bazar River, Anzali Wetland, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(5): 2274-2294.
- Gabriels, W., Goethals, P. L. M., & De Pauw, N. (2006). Development of a multimetric assessment system based on macroinvertebrates for rivers in Flanders (Belgium) according to the European Water Framework Directive. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 29: 2279-2282.
- Gholizadeh, M., Toomaj, A., & Hossindost, S. (2017). Modeling habitat requirements of riverine stone loach, *Paracobitis hircanica* (Teleostei: Nemacheilidae) in the Zarin-Gol River, Caspian Sea basin, Iran. *Iranian Journal of Ichthyology*, 4(4): 340-351.
- Gholizadeh, M., & heydarzadeh, M. (2020). Functional feeding groups of macroinvertebrates and their relationship with environmental parameters, case study: in Zarin-Gol River. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(5): 2532-2543.
- Kang, Y., Gao, J., Shao, H., & Zhang, Y. (2020). Quantitative Analysis of Hydrological Responses to Climate Variability and Land-Use Change in the Hilly-Gully Region of the Loess Plateau, China. *Water*, 12(82): 1-18.
- Karr, J.R. (1999). Defining and measuring river health. *Freshwater Biology*, 41: 221-234.
- Linke, S., Bailey, R.C., & Schwindt, J. (1999). Temporal variability of stream bioassessments using benthic macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 42:575-584
- Mikaeeli, A. R., Abdoli, A., & Amini Nasab, S. M. (2006). Physical structure of Madar Sou River in Golestan National Park. *Gorgan Journal of Agriculture and Natural Resources*. 12(3): 100-110.
- Needham, J. G. (1976). A guide to the study of freshwater biology. Holden San Francisco. 107.
- Nguyen, H. H., Everaert, G., Gabriels, W., Hoang, T. H., & Goethals, P. L. M. (2014). A multimetric macroinvertebrate index for assessing the water quality of the Cau river basin in Vietnam. *Limnologia*, 45:16-23.
- Parvandi, S., Abdoli, A., & Hashemi, H. (2016). Biological assessment Jajrood River using the Macroinvertebrates community structure. *Journal of Aquatic Ecology*, 6: 20-32.

- Pillay, T. V. R. (2007). *Aquaculture and the environment*. Former Programmed. Fishing News Books, Blackwell Publishing, Ltd. 189 P.
- Pipan, T. (2000). Biological assessment of Stream Water Quality. The Example of the Reka River (Slovenia). *Acta Carsologica*, 29/1(15): 201-222.
- Rosa, B. J. F. V., Rodrigues, L. F. T., de Oliveira, G. S., & da Gama Alves, R. (2014). Chironomidae and Oligochaeta for water quality evaluation in an urban river in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11):7771-7779.
- Schultz, R., & Dibble, E. (2012). Effects of invasive macrophytes on freshwater fish and macroinvertebrate communities: the role of invasive plant traits. *Hydrobiologia*. 684(1): 1-14.
- Sharifnia, M. (2015). Macroinvertebrates of the Iranian running waters: a review. *Acta Limnol Bras*, 27:356–369.
- Sporka, F., Vlek, H.E., Bulaňkova, E., & Krno, I. (2006). Influence of seasonal variation on bioassessment of streams using macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, 566:543–555.
- Vaughan, I. P., Diamond, M., Gurnell, A. M., Hall, K. A., Jenkins, A., Milner, N. J., Naylor, L. A., Sear, D. A., Woodward, G., & Ormerod, S. J. (2009). Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 19: 113–125.
- Thorp, J. H., & Covich, A. P. (2009). *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. Academic Press, 1056.