فصلنامه علوم محیطی،دوره هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸

۲۰۹-۲۲۴

ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از سنجه‌های ماهیان و ماکروبنتوزها

کمال خضری[۱]، اصغر عبدلی[۱*]، بهرام حسن‌زاده کیابی[۲]، حسین ولیخانی[۱] و جابر اعظمی[۳]

[۱] گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲] گروه زیست شناسی و زیست فناوری دریا و آبزیان، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۳] گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۳

خضری، ک.، ا. عبدلی، ب. حسن زاده کیابی، ح. ولیخانی و ج. اعظمی. ۱۳۹۸. ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از سنجه‌های ماهیان و ماکروبنتوزها. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۳): ۲۲۴-۲۰۹.

سابقه و هدف: امروزه برای ارزیابی کیفیت آب و طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیکی رودخانه‌ها، سنجه‌های زیادی برمبنای تغییرهای ساختار اکولوژیک گونه‌ها گسترش پیدا کرده اند. هدف از این مطالعه ارزیابی وضعیت اکولوژیک، بیان نحوه تاثیر کاربری زمین‌ها و سنجش کارایی متداول‌ترین سنجه‌های اکولوژیک برای ماهیان و ماکروبنتوزها در ارزیابی زیستی رودخانه جاجرود می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر، نمونه‌برداری از آب، ماکروبنتوزها و ماهیان در ۱۰ ایستگاه درآبان ماه سال ۱۳۹۴ انجام گردید. پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی شامل دما، کدورت، سرعت و عمق آب، اسیدیته، هدایت الکتریکی، BOD_5، نیترات، آمونیوم، فسفات، اکسیژن محلول و کلی فرم مدفومی در محل یا پس از نمونه‌برداری مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. نمونه‌برداری ماکروبنتوزها با استفاده از سوربر سمپلر با سه تکرار در هر ایستگاه صورت گرفت و ماهیان نیز با استفاده از دستگاه الکتروشوکر نمونه برداری شدند. بمنظور ارزیابی یکپارچگی رودخانه جاجرود از سنجه‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی، ماکروبنتوزها و ماهیان استفاده شد. همچنین برای تحلیل ارتباط ماکروبنتوزها و ماهیان با متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی از آزمون تحلیل تطبیقی متعارف (CCA) استفاده گردید.

نتایج و بحث: درمجموع، ۴۸۱ عدد ماهی شامل ۸ گونه صید و تعداد کل ماکروبنتوزها ۲۴۳۵ عدد از ۱۵ خانواده شمارش شد. بیشترین و کمترین تعداد ماهیان صید شده بترتیب از گونه سگ‌ماهی برگ (*Oxynoemacheilus bergianus*) و سگ‌ماهی تیغه دار غربی (*Paracobitis malapterura*) بود. بیشترین درصد فراوانی کل ماکروبنتوزها متعلق به خانواده Baetidae از راسته Ephemeroptera و کمترین درصد فراوانی به Polycentropodidae از راسته Trichoptera تعلق داشت. نتایج آزمون تحلیل تطبیقی متعارف (CCA)، سنجه EPT/CHIR را برای ماکروبنتوزها بهتر از دیگر سنجه ها برای تعیین سلامت اکولوژیکی آب بیان کرد. از طرف دیگر، سنجه یکپارچگی اکولوژیکی کار (KBI) برای ماهیان بخوبی در اکوسیستم جاجرود، قابل استفاده است.

نتیجه‌گیری: این مطالعه، اولین مطالعه‌ای است که با بکارگیری همزمان سنجه ماهیان و ماکروبنتوزها همراه با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

*Corresponding Author: *Email Address*.a_abdoli@sbu.ac.ir

آب، وضعیت اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه جاجرود را ارزیابی می‌کند. از یافته‌های این مطالعه می‌توان به این نتیجه رسید که فاضلاب‌های شهری- روستایی، زهاب کشاورزی و سد لتیان بیشترین تاثیر منفی را بر ساختار موجودهای زنده این رودخانه داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت اکوسیستم، سنجه اکولوژیکی، ماکروبنتوزها، KBI، رودخانه جاجرود.

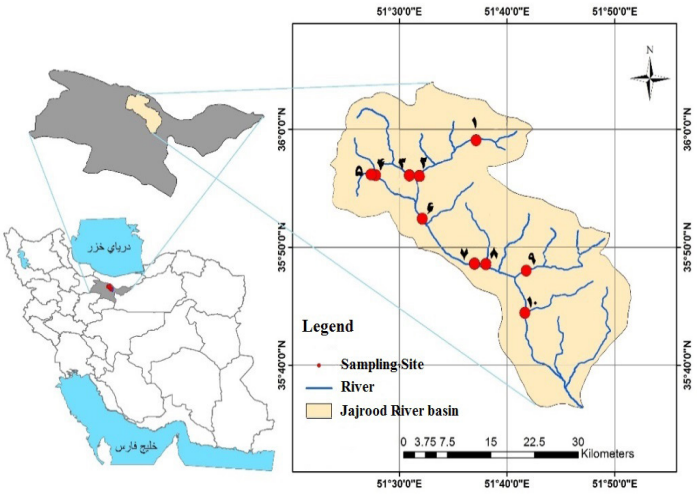
مقدمه

یکپارچگی اکولوژیکی (Ecological Integrity) به مفهوم توانایی یک اکوسیستم برای حفظ ساختاری پایدار و متعادل از ترکیب، تنوع و تراکم گونه‌های ساکن در آن است (Brown and Wil-liams,2016). بنابراین سنجه‌های ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی می‌توانند برآیندی از تغییر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و زیستی را برای مدیریت منابع آبی نشان دهند. بدیهی است رکن اصلی مدیریت منبع‌های آبی بویژه آب‌های جاری، ارزیابی وضعیت موجود آن‌ها می‌باشد و از میان اکوسیستم‌های مختلف در دنیا، رودخانه‌ها بیشتر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی همچون کشاورزی و صنعت قرار دارند، بنابراین مطالعه این اکوسیستم‌ها می‌تواند بیانگر میزان شدت فعالیت‌های انسانی در محیط زیست باشد. در واقع، ارزیابی یکپارچگی زیستی بهترین ابزار برای ارزیابی اثرهای زیاد عامل‌های استرس‌زا در این اکوسیستم‌ها می‌باشد (Karr, 2004). لازمه تعیین آلودگی یک محیط آبی، در دست داشتن اطلاعات فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن محیط است، این اطلاعات مکمل یکدیگر بوده و وجود همه آن‌ها برای تجزیه و تحلیل‌های صحیح، ضروری است. در این میان، بهترین گروه موجودات ساکن در اکوسیستم‌های آبی که برای ارزیابی شرایط آن استفاده می‌شوند، ماهیان و ماکروبنتوزها هستند، بطوری که در دهه اخیر بیش از یکصد سنجه زیستی برای مطالعات اکولوژیکی تعریف و استفاده شده است که بیش از شصت درصد این سنجه‌ها، مختص به ماهیان و ماکروبنتوزها هستند (Ogleni and Topal, 2011). بنابراین هدف از این مطالعه طبقه‌بندی کیفیت آب، ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی و سنجش کارایی متداول‌ترین سنجه‌های زیستی و غیرزیستی در رودخانه حفاظت شده جاجرود، بعنوان یکی ازمهمترین منبع‌های تامین کننده آب شرب تهران، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه حفاظت شده جاجرود با طولی حدود ۱۴۰ کیلومتر در قسمت شمال شرق تهران قرار گرفته است (شکل ۱). سد لتیان که این رودخانه را به دو قسمت بالادست و پایین‌دست تقسیم کرده است، برای تامین آب شرب ۳۰ درصد از ساکنان شهر تهران مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mirzaei and Hasanian, 2013). بنابراین



شکل۱- منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه جاجرود
Fig. 1- The study area and the sampling sites in the Jajrood River

جدول۱- مختصات و ویژگی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه جاجرود
Table 1. The coordinates and features of the sampling sites in the Jajrood River

ایستگاه Site	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع Height	جنس بستر Substrate	کاربری اطراف ایستگاه Land use
آبنیک (۱) Abnik (1)	51°37‹60″	35°59‹40″	2459.3	سنگلاخی Boulder- Pebble- Gravel	مرتع - کشاورزی Pasturage- Orchard
فشم- آبنیک (۲) Fasham-Abnik (2)	51°31‹33″	35°55‹41″	1960.4	سنگلاخی Boulder- Pebble- Gravel	مسکونی- شهری Urban- Residential
فشم- شمشک (۳) Fasham-Shemshak (3)	51°31‹32″	35°56‹02″	1954.8	رسی- شنی Silt- Sand	مسکونی- شهری Urban- Residential
آهار- توچال (۴) Ahar-Tochal (4)	51°32‹62″	35°56‹02″	2080	سنگلاخی- شنی Pebble- Silt	روستایی- کشاورزی Rural- Orchard
آهار- شکراب (۵) Ahar-Shekarab (5)	51°27‹47″	35°52‹27″	2100.8	سنگلاخی- شنی Pebble- Silt	روستایی- کشاورزی Rural- Orchard
حاجی آباد (۶) Hajiabad (6)	51°32‹08″	35°59‹40″	1849	سنگلاخی- شنی Pebble- Silt	مرتع Pasturage
قبل از دریاچه سد (۷) Before the Dam (7)	51°36‹58″	35°48‹38″	1627	سنگلاخی- شنی- رسی Pebble- Silt- Sand	شهری- منطقه تفرجگاهی Urban- Recreational Park
نجارکلا (۸) Najjarkola (8)	51°38‹02″	35°48‹36″	1641	سنگلاخی- شنی Boulder- Pebble- Silt	مسکونی- شهری Urban- Residential
برگ جهان (۹) Barg -e- Jahan (9)	51°41‹48″	35°48‹02″	1648	سنگلاخی- شنی Pebble- Silt	مرتع- پارک جنگلی Pasturage- Artificial Forest
سعید آباد (۱۰) Saeedabad (10)	51°41‹40″	35°44‹28″	1456	شنی- رسی Silt- Sand	مسکونی- شهری Urban- Residential

ارزیابی و پایش مداوم این رودخانه حفاظت شده ضرورت دارد. نمونه‌برداری از آب، ماکروبنتوزها و ماهیان در این مطالعه، در ۱۰ ایستگاه درآبان ماه سال۱۳۹۴ انجام گردید. انتخاب محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری با توجه به کاربری زمین‌ها، در دسترس بودن و نیز دیگر فعالیت‌های انسانی در طول رودخانه جاجرود صورت گرفت. بر این اساس ۹ ایستگاه در بالادست و یک ایستگاه (ایستگاه شماره ۱۰) درپایین‌دست سد لتیان انتخاب شد (جدول ۱).

نمونه‌برداری ماهیان و ماکروبنتوزها

نمونه‌برداری ماهیان با استفاده از دستگاه الکتروشوکر با شدت جریان ۲۰۰ تا ۳۰۰ ولت در طول حدود ۱۰ برابر عرض متوسط رودخانه در هر ایستگاه، انجام شد (Breine, 2005). بیشتر نمونه‌های صید شده، در محل، با استفاده از کلیدهای معتبر (Abdoli, 2000; Abdoli and Naderi, 2009)، شناسایی و بلافاصله بعد از بیومتری بصورت زنده در محل، رهاسازی گردیدند. برخی از نمونه‌های کوچک‌تر ماهی برای شناسایی دقیق‌تر در فرمالین ۴ درصد فیکس و به آزمایشگاه پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی انتقال یافتند. همچنین بمنظور بروزرسانی گونه‌های شناسایی شده از Abdoli (2016) استفاده گردید. ماکروبنتوزها نیز با استفاده از نمونه‌بردار سوربر با اندازه توری ۲۵۰ میکرون و سطح ۳۰×۳۰ سانتی متر، نمونه‌برداری و پس از تثبیت بوسیله فرمالین ۴ درصد، شناسایی در سطح خانواده انجام و شمارش شدند (Tachet *et al*., 2010).

سنجش پارامترهای زیستی و غیرزیستی

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی شامل دما، کدورت، سرعت و عمق آب، اسیدیته، هدایت الکتریکی، BOD_5، نیترات، آمونیوم، فسفات، اکسیژن محلول و کلی فرم مدفومی با استفاده از روش Standard Method 2013 متعلق به کشور آمریکا انجام گردید (Forsberg and Fichtenberg, 2013). این روش استاندارد، مبنای سنجش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در سطح دنیا می‌باشد.

سنجش سنجه‌های زیستی و غیرزیستی

برای تعیین کیفیت آب، از سنجه‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بنیاد ملی کیفیت آب آمریکا[1] و کیفیت آب‌های سطحی ایران[2]، سنجه‌های ماکروبنتوزها شامل EPT/Chironomidae،BMWP/ BBI[7]، HFBI[6]، NJIS[5]، SIGNAL[4]، ASPT[3] و سنجه ماهیان، سنجه KBI[8] استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای R v3.2.2، SPSS v22، PASt و Excel (2013) انجام گرفت. بمنظور مقایسه تعداد ماهیان در ایستگاه‌های مختلف ابتدا مساحت همه ایستگاه‌ها به واحد هکتار نرمال گردید، سپس داده‌های ماهیان و ماکروبنتوزها مطابق فرمول لگاریتمی $\log(x+1)$ تغییر یافت (Smilauer and Leps, 2014). در نهایت برای مقایسه سنجه‌های مختلف در ایستگاه‌ها، ارزش عددی هر کدام از سنجه‌ها براساس فرمول $N=\frac{x\text{-}m}{M\text{-}m}\times 100$ نرمال شدند که در آن N برابر با عدد نرمال شده، x بیانگر عدد به‌دست آمده در ایستگاه، m نشان‌دهنده کوچکترین عدد به‌دست آمده در همه‌ی ایستگاه‌ها و M بزرگترین عدد به‌دست آمده از ایستگاه‌ها از نظر پارامتر منتخب می‌باشد. برای تحلیل ارتباط ماکروبنتوزها و ماهیان با متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی از آزمون تحلیل تطبیقی متعارف[9] در نرم‌افزار R بسته Vegan استفاده گردید (Neff and Jackson, 2011).

نتایج و بحث

در این مطالعه، ۴۸۱ عدد ماهی از ۲ راسته، ۳ خانواده، ۶ جنس و ۸ گونه صید شدند (جدول ۱). بیشترین و کمترین تعداد ماهیان صید شده بترتیب از گونه سگ‌ماهی برگ[10] و سگ‌ماهی تیغه دار غربی[11] بود. در بین گونه‌های جنس *Oxynoemacheilus* در ایران، گونه *O. bergianus* بیشترین پراکنش را دارد و حضور آن در حوضه‌های مختلفی از جمله خزر، ارومیه و نمک گزارش شده است (Abdoli, 2000; Coad, 2019). در بالادست سد لتیان، از مجموع ۹ ایستگاه، ۳ گونه حضور داشتند در حالی که بیشترین تعداد گونه‌های ماهی از ایستگاه پایین دست سد (ایستگاه ۱۰) با ۷ گونه شامل همه‌ی گونه‌های صید شده به جز قزل آلای خال‌قرمز صید شد. قزل‌آلای خال‌قرمز دارای جمعیت بسیار کم و از لحاظ اکولوژیکی بسیار حساس است و با تغییرهای کم در میزان اکسیژن محلول یا دمای آب توانایی زیست ندارد و زیستگاه اصلی این ماهی در بخش‌هایی از رودخانه‌ها که دارای بستر سنگلاخی با دمای متوسط ۱۵ درجه و میزان اکسیژن محلول بیش از ۹ میلی‌گرم بر لیتر است، می‌باشد (Alizadeh Sabet, 2016). در حالی که در ایستگاه ۱۰ (بعد از سد لتیان)، بدلیل وجود سد، تغییرهای شدید در بستر رودخانه، دمای بالا و نبود آرامش کافی، این‌گونه یافت نشد و فقط در ایستگاه‌های ۴ و ۵ که دارای بستری سنگلاخی، فعالیت‌های انسانی اندک، دمای پایین و میزان اکسیژن محلول مناسب بودند، صید شد. این نتیجه بیانگر تاثیرهای شدیدی است که هم‌راستا با گسترش منطقه‌های مسکونی، کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. البته قابل توجه است که توسعه انسانی در این رودخانه موجب ایجاد تفاوت‌های زیستگاهی و تغییرهای ساختار رودخانه گردیده که این عامل در پراکنش گونه‌های رودخانه تاثیر زیادی داشتند. نتایج این مطالعه با مطالعات Lammert and Allan (1999) که در ۶ بازه در طول رودخانه میشیگان، تاثیر تغییرهای کاربری زمین‌ها را روی تغییرات زیستگاهی ماکروبنتوزها و ماهیان سنجیده‌اند، مطابقت دارد. در مطالعه بیان شده، اهمیت زیستگاه‌های کوچک ایجاد شده در پراکنش گونه‌ها بیان‌شده است که این تغییرهای زیستگاهی، نتیجه تغییر کاربری‌ها و تاثیرهای جوامع محلی بر رودخانه است. همچنین Lepori *et al.* (2005)، با بررسی اثرهای برنامه‌های احیا بر افزایش تنوع زیستگاهی و در نتیجه بازگرداندن گونه‌های اصلی رودخانه و جمع آوری اطلاعات زیادی از مشخصه‌های هیدرولیکی و زیستی در سوئد، به این نتیجه رسیدند که اجرای

جدول ۲- گونه‌های ماهیان صید شده از رودخانه جاجرود
Table 2. The fish species caught in the Jajrood River

درصدفراوانی (٪) (%) Frequency	تعداد No.	نام فارسی Persian name	گونه Species	خانواده Family	راسته Order
4.99	24	خیاطه نمکی -	*Alburnoides namaki*	Cyprinidae	Cypriniformes
5.40	26	ماهی سفید رودخانه‌ای Caucasian, European Chub	*Squalius orientalis*		
12.27	59	سیاه ماهی Khramulia	*Capoeta capoeta*		
4.57	22	سیاه ماهی (شوم) -	*Capoeta aculeata*		
33.06	159	سیاه ماهی شمشیری -	*Capoeta buhsei*		
35.13	169	سگ ماهی برگ Berg Loach	*Oxynoemacheilus bergianus*	Nemacheilidae	
0.42	2	سگ ماهی تیغه دار غربی Western Crested Loach	*Paracobitis malapterura*		
4.16	20	قزل‌آلای خال قرمز Caspian Salmon	*Salmo trutta*	Salmonidae	Salmoniformes

برنامه‌های احیاء در مقیاس کوچک نمی‌تواند موجب بازگرداندن شرایط زیستگاهی و زیستی به شرایط شاهد یا اصلی شود.

بنابر نتایج این مطالعه، ماکروبنتوزها به ۵ راسته و ۱۵ خانواده تعلق داشتند (جدول ۲) که بترتیب ایستگاه ۱ با ۱۴ خانواده و ایستگاه ۹ و ایستگاه ۱۰ با ۳ خانواده بیشترین و کمترین خانواده را دارا بودند. شرایط زیستگاهی بکر، دسترسی کمتر انسانی، دمای پایین، دبی آب مناسب و ارتفاع بالاتر موجب فراوانی تعداد خانواده‌ها در اولین ایستگاه شده است. در مطالعه‌ای که بر روی جمعیت ماکروبنتوزها در رودخانه تجن انجام شده، همین عامل‌های بیان شده را دلیلی بر تنوع زیستی بالاتر منطقه‌های بالادست این رودخانه نسبت به دیگر قسمت‌های نمونه‌برداری شده عنوان کرده‌اند (Aazami *et al*., 2015a; Aazami *et al*., 2015b). بیشترین درصد فراوانی کل ماکروبنتوزها متعلق به خانواده Baetidae می‌باشد که دلیل آن می‌تواند پراکنش جهانی وسیع، تعداد گونه‌های فراوان و کوچکترین اعضا در بین راسته Ephemeroptera باشد (Floury *et al*., 2013). همچنین کمترین درصد فراوانی به Polycentropodidae از راسته Trichoptera تعلق داشت.

با توجه به مقایسه نتایج سنجه‌های فیزیکی و شیمیایی، بنظر می‌رسد سنجه IRWQISC، کیفیت آب ایستگاه‌های مختلف را نسبت به سنجه NSFWQI بهتر طبقه‌بندی کرده است (جدول ۴). سنجه کیفیت آب IRWQISC توسط Hashemi *et al*. (2011) با پایش ۱۰ ساله پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب برای آب‌های سطحی کشور با شرایط خاص اقلیمی تعریف شده است و سازمان حفاظت محیط زیست ایران نیز آن را تایید نموده است (Protected Agancy, 2011; Aazami *et al*., 2015a). سنجه‌های فیزیکی و شیمیایی که تنها تغییرهای لحظه‌ای اکوسیستم را نشان می‌دهند، براساس منبع‌های علمی باید در هر منطقه، با توجه به شرایط خاص آن، سنجه محلی تعریف گردد (Ogren, 2014; Ogleni and Topal, 2011).

جدول ۳- ماکروبنتوزهای نمونه‌برداری شده از رودخانه جاجرود
Table 3. The sampled macroinvertebrates from the Jajrood River

درصد فراوانی Frequency (%)	ایستگاه‌ها Sites										خانواده Family	راسته Order
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
2.40	_	_	3.95		6.14	7.98	_	_	_	5.90	Baetidae	Ephemeroptera
32.30	71.06	_	34.54	45.04	42.11	58.50	1.33	6.58	26.83	36.95		
2.42	_	_	4.28	_	_	5.59	_	_	_	14.29	Heptageniidae	
1.23	_	_	4.93	_	_	2.66	_	_	_	4.76		
0.80	_	_	_	_	4.39	0.80	_	_	_	2.86	Hydropsychidae	Trichoptera
0.27	_	_	_	_	_	_	_	_	_	2.67	Polycentropodidae	
0.59	_	_	_	_	_	_	_	_	_	5.90	Perlodidae	Plecoptera
0.34	_	_	_	_	_	_	_	_	_	3.43	Chloroperlidae	
0.38	_	_	_	_	_	_	_	_	_	3.81	Taeniopterygidae	
23.51	23.68	81.67	31.25	22.52	17.54	15.16	29.65	2.63	4.88	6.10	Chironomidae	Diptera
1.89	_	_	1.64	_	6.58	_	0.88	_	9.76	_	Chironomidae ((Red	
1.95	_	8.33	_	10.81	_	_	_	_	_	0.38	Simuliidae	
3.88	_	_	0.66	8.11	7.89	1.33	0.88	2.63	17.07	0.19	Tipulidae	
1.05	_	_	0.66	8.11	_	_	0.44	1.32	_	_	Empididae	
0.32	_	_	_	_	_	_	_	_	_	3.24	Stratiomyidae	
0.78	_	_	_	_	_	_	_	6.83	_	0.95	Psychodidae	
25.10	5.26	10.00	18.09	5.41	15.35	7.98	60.63	80.01	41.46	6.86	Lumbericidae	Oligochaeta
0.79	_	_	_	_	_	_	6.19	_	_	1.71	Tubificidae	

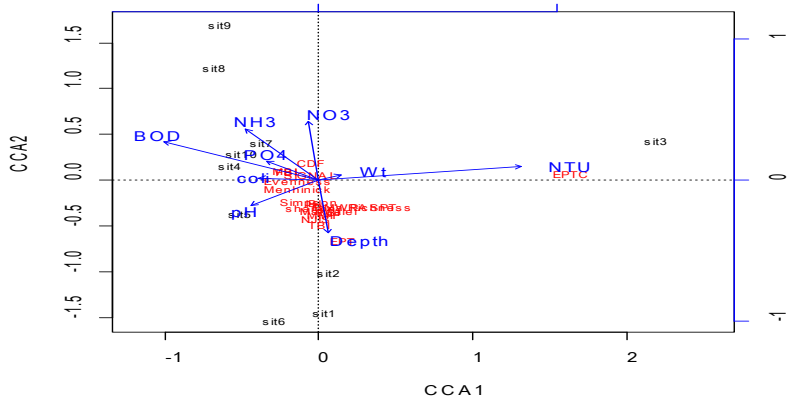
جدول۴- کیفیت ایستگاه‌ها براساس سنجه‌های اکولوژیکی مختلف
Table 4. The quality of the sites based on different ecological indices

ایستگاه Site / سنجه Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NSFWQI	81	77	81	66	74	80	69	77	82	78
	خوب Good	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good	خوب Good
IRWQISC	58.9	62.3	57.3	58.2	54.8	57.8	45.8	43.8	55.7	55.2
	نسبتا خوب Enough Good	نسبتا خوب Enough Good	نسبتا خوب Enough Good	نسبتا خوب Enough Good	متوسط Moderate	نسبتا خوب Enough Good	متوسط Moderate	نسبتا بد Enough Polluted	نسبتا خوب Enough Good	نسبتا خوب Enough Good
BBI	6.67	7.00	6.67	4.00	4.00	6.67	4.00	2.00	2.00	4.00
	آلودگی متوسط Mod-erately Polluted	کمی آلوده Slightly Polluted	آلودگی متوسط Mod-erately Polluted	به شدت آلوده Heavily Polluted	به‌شدت آلوده Heavily Polluted	آلودگی متوسط Mod-erately Polluted	به‌شدت آلوده Heavily Polluted	آلودگی بسیار زیاد Very Heavily Polluted	آلودگی بسیار زیاد Very Heavily Polluted	به شدت آلوده Heavily Polluted
NJIS	14.00	14.00	9.00	7.00	8.00	14.00	7.00	5.00	3.00	8.00
	اختلال متوسط Mod-erately Impaired	اختلال متوسط Mod-erately Impaired	اختلال شدید Severely Impaired	اختلال شدید Severely Impaired	اختلال شدید Severely Impaired	اختلال متوسط Mod-erately Impaired	اختلال شدید Severely Impaired	اختلال شدید Severely Impaired	اختلال شدید Severely Impaired	اختلال شدید Severely Impaired
HFBI	4.79	4.48	4.28	5.97	5.34	4.60	4.69	7.09	6.19	5.06
	خوب Good	خیلی خوب Very Good	خیلی خوب Very Good	نسبتا خوب Fair	خوب Good	خوب Good	خوب Good	نسبتا ضعیف Fairly Poor	نسبتا خوب Fair	خوب Good
BMWP/ ASPT	5.29	4.70	4.58	2.14	2.74	4.26	3.55	1.38	2.15	2.93
	مشکوک به آلودگی Doubtful	احتمال آلودگی متوسط Moderate	احتمال آلودگی متوسط Moderate	آلوده Polluted	آلوده Polluted	احتمال آلودگی متوسط Moderate	آلوده Polluted	آلوده Polluted	آلوده Polluted	آلوده Polluted
SIGNAL	3.41	3.71	4.21	3.96	4.39	3.82	4.29	3.38	4.84	5.55
	آلودگی شدید Severe Pollution	آلودگی شدید Severe Pollution	آلودگی متوسط Moderate Pollution	آلودگی شدید Severe Pollution	آلودگی متوسط Moderate Pollution	آلودگی شدید Severe Pollution	آلودگی متوسط Moderate Pollution	آلودگی شدید Severe Pollution	آلودگی متوسط Moderate Pollution	آلودگی کم Mild Pollution
EPT/CHIR	8.30	9.87	7.38	0.21	0.78	3.18	4.26	0.00	0.00	0.90
KBI	-	-	-	60	60	-	50	50	_	42
	-	-	-	عالی Excellent	عالی Excellent	-	خوب Good	خوب Good	-	نسبتا خوب Fair

با افزایش فاصله از ایستگاه‌های بالادست و سهولت دسترسی انسان به رودخانه، میزان پساب و آلاینده‌ها نیز افزایش می‌یابد و تاثیرهای آن، بصورت معنی‌داری در ایستگاه‌ها و بیشتر سنجه‌ها قابل مشاهده است. براساس جدول ۴، سنجه NS-FWQI طبقه‌بندی کمابیش یکسانی از وضعیت کیفیت رودخانه را نشان می‌دهد، گرچه ممکن است میزان عددی هر ایستگاه اندکی متفاوت باشد. در مورد سنجه BMWP/ASPT، بیشترین میزان آن در ایستگاه ۱ می‌باشد. با حرکت به سمت ایستگاه‌های پایین‌دست، مقدار عددی این سنجه نیز کاهش می‌یابد، بطوری که در ایستگاه ۸ کمترین مقدار را دارد. تغییرهای عددی سنجه BBI در ایستگاه‌های مختلف با توجه به کاربری زمین‌ها و متناسب آن پارامترهای غیرزیستی در بیشتر ایستگاه‌ها تناسب چندانی با واقعیت‌های میدانی ندارد، بنظر می‌رسد که نتایج این سنجه نتوانسته است بخوبی ایستگاه‌ها را از هم تفکیک کند. سنجه EPT/CHIR گرچه روند منظمی را از بالادست به سمت پایین‌دست نشان نمی‌دهد، ولی بنظر می‌رسد کاربردپذیری بهتری برای ارزیابی یکپارچگی اکولوژیک رودخانه جاجرود داشته است. بنابر جدول ۴، ایستگاه‌های ۴ و ۵ از نظر سنجه KBI در طبقه عالی قرار گرفته‌اند که دلیل آن این است که در این ایستگاه‌ها تنها گونه ماهی قزل آلای خال‌قرمز وجود داشت. این ماهی از لحاظ اکولوژیکی گونه‌ای بسیار حساس بوده و مطابق با دیگر منبع‌های معتبر، سنجه آب‌های با کیفیت خوب است. بدیهی است کاربری‌های موجود در این رودخانه شامل منطقه‌های مسکونی، مرکزهای تفرجگاهی، کشاورزی و یا برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه، نه تنها سبب افزایش آلودگی، بیشتر شدن کدورت و ذرات جامد معلق می‌شود، بلکه فرسایش و تخریب بستر طبیعی را نیز در پی دارند. بسیاری از گونه‌های ماهیان حساس همچون قزل‌آلای خال‌قرمز توان زندگی خود را با افزایش ذرات معلق و کاهش اکسیژن محلول در آب از دست می‌دهند (Lee and Westerhoff, 2006). متاسفانه با این شرایط، ترکیب جمعیتی آبزیان از جمله ماهیان تغییر می‌کند. عدد سنجه یکپارچگی اکولوژیک بیان شده در ایستگاه شماره ۴ و ۵ در طبقه اول (عالی) قرار دارد که دلیل اصلی آن، نبود فعالیت‌های انسانی در بالادست، دسترسی اندک انسانی و داشتن شرایط طبیعی است. ایستگاه شماره ۷ از نظر سنجه KBI کاهش کیفیت را نشان می‌دهد که احتمالا دلیل آن ورود پساب روستایی و شهری و پساب کشتارگاه در حدفاصل این ایستگاه با ایستگاه بالادست می‌باشد. خروجی پساب کشاورزی و شهری حاصله بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای موجب تغییرهای زیادی در ساختار، ترکیب و تنوع جوامع آبزیان بویژه ماهیان شده است، بطوری که در ایستگاه ۷، گونه قزل آلای خال قرمز وجود نداشت و به جای آن تعداد زیادی از گونه‌های سگ ماهیان جویباری و سیاه ماهی صید شدند. ایستگاه ۱۰ در پایین‌دست سد، برای تعیین تاثیرهای سد (بعنوان مانع فیزیکی) بر اکوسیستم رودخانه انتخاب شد. قطع ارتباط زیستی و ژنتیکی گونه‌های بالادست و پایین‌دست سد (در صورت وجود نداشتن کانال انتقال)، موجب تغییرهای بستر رودخانه و در پی آن تغییر در زیستگاه ماهیان از جمله تغییرهای منفی ناشی از سد می‌باشد (Caudill *et al*., 2007). سدها سبب تغییرهایی در زیستگاه‌های آبی از جمله مداخله هیدرولوژیکی، درجه حرارت سطح آب، تحت تأثیر قرار دادن جوامع بیولوژیکی و تغییر کیفیت آب می‌شوند (Xiaoyan *et al*., 2010).

نتایج آزمون CCA بیانگر کارایی بالاتر سنجه (EPT/CHIR) نسبت به دیگر سنجه‌های ماکروبنتوزها می‌باشد ضمن اینکه همبستگی بالای سنجه EPT/CHIR با میزان کدورت[۱۲] و BOD_5 را نیز نشان می‌دهد (شکل۲)، در واقع پارامترهای بیان شده بیشترین سهم را در توزیع ماکروبنتوزها در رودخانه جاجرود داشتند. همچنین برای تغییرهای کدورت با ایستگاه سوم هم راستا است و بنابراین با نزدیکی به ایستگاه سوم، کدورت بیشتر و درجه حساسیت سنجه EPT/CHIR بیشتر می‌شود در حالی که برای پارامتر BOD_5، عکس این نتیجه حاصل شده است.

دلیل برتری سنجه EPT/CHIR نسبت به دیگر سنجه‌ها، ساختار همگن اکوسیستم رودخانه جاجرود می‌باشد. در مطالعه ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه تجن، سنجه‌های چندمعیاره نسبت اکولوژیک ماکروبنتوزها (Ecological Quality Ration) و سنجه BMWP/ASPT نسبت به سنجه‌های یک معیاره همچون EPT/CHIR مناسب‌تر گزارش شده است (Aazami *et al*., 2015b Aazami *et al*., 2015a;). دلیل این امر وجود اکوسیستم ناهمگن و پیچیده رودخانه تجن با حضور کاربری‌های مختلف طبیعی، و انسانی می‌باشد؛ در حالی که در

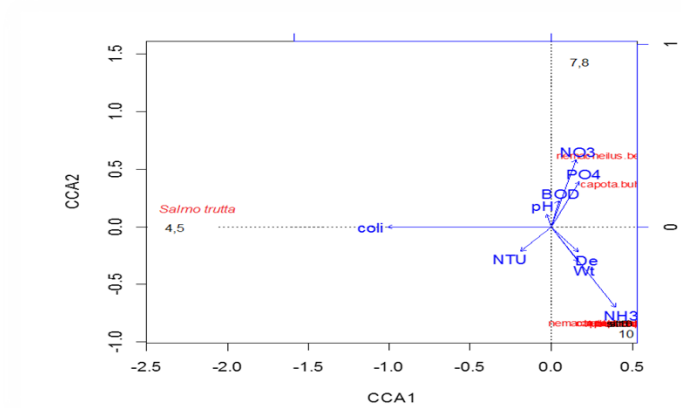


شکل ۲- مقایسه کارایی سنجه‌های مختلف ماکروبنتوزها

Fig. 2- The comparison of the efficiency of macroinvertebrates indices

حوضه رودخانه جاجرود، سیمای کلی اکوسیستم ساده‌تر بوده و تنوع کاربری‌ها وجود ندارد. بنابراین در مطالعه حاضر، تغییرهای اکوسیستمی با سنجه‌های ساده اکولوژیک قابل ارزیابی و مدیریت مناسب‌تر است که با مطالعه Layhee *et al.* (2015) تطابق دارد. مطالعه‌های انجام شده در شش رودخانه بمنظور مقایسه شرایط کیفی زیستگاه‌ها و تغییرهای اکولوژیکی ماکروبنتوزها نشان داد که با افزایش تغییرهای ساختار زیستگاهی، تنوع گونه‌ها بالا و غالبیت گونه‌ها پایین می‌آید، در نتیجه برای ارزیابی تغییرها در اکوسیستم‌های با غالبیت گونه بالا، سنجه ساده و در اکوسیستم‌های با تنوع گونه یا غنای گونه بالا، سنجه‌هایی مناسب‌ترند که چندین معیار اکولوژیکی را در نظر می‌گیرند (Mmerimba *et al.*, 2014). همچنین مطالعه دیگری در فرانسه نشان داد که بدلیل تنوع بالا در شرایط زیستگاهی رودخانه‌ها، استفاده از سنجه جدید و بومی که چندین معیار را مطابق با تغییرهای زیاد زیستگاهی درنظر می‌گیرد، مناسب تر است در حالی که سنجه‌هایی همچون EPT نمی‌تواند پاسخگوی تغییرهای زیاد اکوسیستم‌هایی با چندین کاربری و تنوع زیستگاهی بالا باشد (Mondy *et al.*, 2012).

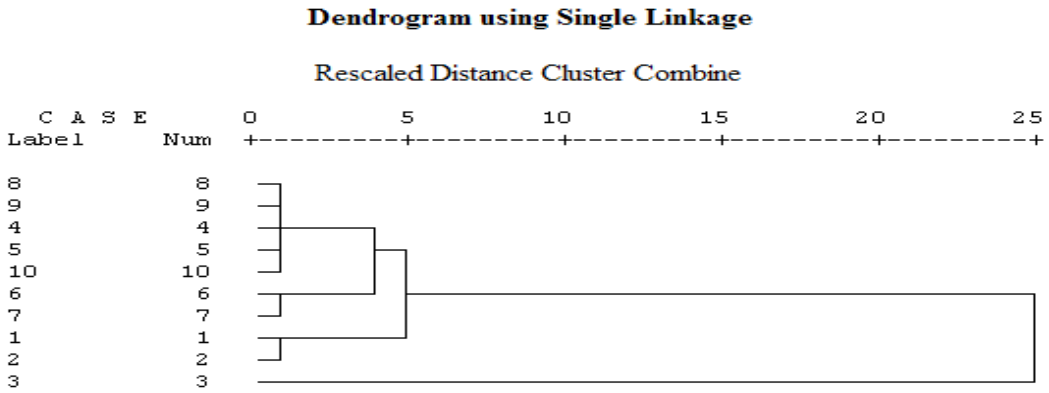
بیشترین سهم را در توزیع گونه‌های ماهی، پارامترهای کلی‌فرم و نیتروژن آمونیاکی داشتند (شکل ۳). ولی بدلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌ها، نبود تنوع لازم برای ایستگاه‌ها، ساختار همگن اکوسیستم، وجود نداشتن تکرارهای سالانه و دسترسی نداشتن به داده‌های فیزیکی و شیمیایی دوره‌ای، برآیند نتیجه نمودار که بیانگر افزایش میزان کلی‌فرم هم‌راستا با افزایش تعداد افراد گونه‌ی قزل‌آلای خال قرمز است، از نظر علمی صحیح نمی‌باشد. درواقع، فقط در ایستگاه ۴ و ۵، مقادیری از مواد آلی و کلی‌فرم به دست آمده است که فقط در همین ایستگاه‌ها حضور قزل‌آلای خال‌قرمز تایید شد، بنابراین این دو هم‌راستا با هم در نمودار قابل مشاهده هستند. با چشم‌پوشی از جهت بردار، براساس اجزاء مولفه CCA_2 که بترتیب اهمیت شامل coli، NO_3 و Po_4 می‌باشد، ایستگاه‌های ۷ و ۸ با ایستگاه ۱۰ اختلاف زیادی دارند. در مجموع آنچه از این نمودار نتیجه‌گیری می‌شود آن است که رفتار و زیستگاه این ماهی بطورکامل با دیگر گونه‌های شناسایی شده متفاوت است و در این ارتباط، دیگر منبع‌های علمی نیز حساس بودن این گونه، زیستگاه خاص آن و حضور تنها همین ماهی بعنوان سنجه سلامت آب را تایید می‌کنند (Alabaster and Lloyd, 2013). موقعیت مکانی ایستگاه‌های ۴ و ۵ در نمودار بیانگر تفاوت‌های کلیدی این ایستگاه‌ها با دیگر ایستگاه‌ها می‌باشد بصورتی که واقعیت میدانی نیز تاییدکننده این واقعیت است. همچنین نکته مهم دیگر در نتیجه‌گیری این نمودار آن است که بیشترین سهم را در توزیع جمعیت ماهی، پارامترهای کلی‌فرم و آمونیاک داشتند که این یافته با نتایج دیگر مطالعات هم‌خوانی ندارد (برای مثال (Vincze *et al.*, 2015)). دلیل آن این است که گرچه انجام هر دوره نمونه‌برداری ماهیان مستلزم هزینه‌های بالا، امکانات زیاد و محدودیت‌های خاص دیگر است ولی بدون تکرارهای دوره‌ای نمی‌توان ارزیابی دقیق و مطلوبی از اکوسیستم داشت (Alabaster and Lloyd, 2013). مطابق دیگر مطالعات، بیشترین سهم پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در توزیع ماهیان در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، مربوط به میزان اکسیژن محلول



شکل ۳- توزیع ماهیان در ایستگاه‌های مختلف با توجه به پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در رودخانه جاجرود

Fig. 3- The distribution of the fishes based on the physiochemical parameters in different sites in the Jajrood River

و دمای آب است (Vincze *et al.*, 2015). اگرچه مواد مغذی از جمله ترکیب‌های مختلف نیتروژن و فسفات بهمراه کلی‌فرم که بیانگر آلودگی‌های آلی هر ایستگاه است، در توزیع کلی ماکروبنتوزها مهمترین نقش را دارند (Richards *et al.*, 2015). طبقه‌بندی ایستگاه‌ها براساس سنجه زیستی منتخب (EPT/CHIR) بیانگر آن است که دو گروه کاملا متفاوت شامل ایستگاه‌هایی با کیفیت آب بسیار پایین (ایستگاه ۳) و کیفیت بهتر (دیگر ایستگاه‌ها) وجود دارد که با واقعیت میدانی نیز کاملا مطابقت دارد (شکل۴). همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد در ایستگاه ۳ آب رودخانه به شدت توسط فاضلاب‌های انسانی آلوده

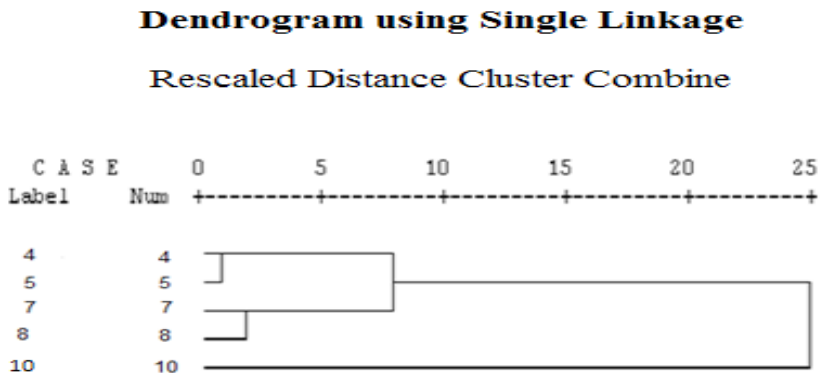


شکل۴- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها براساس سنجه EPT/CHIR

Fig. 4- The classification of the sites based on the EPT/CHIR index

است. Gichana *et al.* (2015) تاثیر آلودگی فاضلاب انسانی را بر ساختار اکولوژیکی ماکروبنتوزها را تایید کرده و بیان کرده‌اند که در این حالت تنوع ماکروبنتوزها از خانواده‌های EPT به سمت Chironomidae سوق می‌یابد.

نتیجه دیگری که از شکل۴ گرفته می‌شود این است که با چشم‌پوشی از وضعیت ایستگاه ۳، ایستگاه‌های ۱ و ۲ از دیگر ایستگاه‌ها متمایز شده‌اند. مشاهده‌های میدانی و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب نیز پاکیزه بودن این دو ایستگاه (بویژه ایستگاه ۱) را نشان می‌دهد. در واقع ایستگاه ۱ در مرتفع‌ترین قسمت منطقه مورد مطالعه قرار داشته و دسترسی انسانی حداقل بوده و بنابراین آب، بسیار تمیز است. همچنین در ایستگاه ۲ دبی آب به نسبت بالا بوده و از طرفی شدت فعالیت‌های انسانی در حد فاصل ۱ و ۲ نسبت به ایستگاه‌های پایین‌تر کمتر دیده می‌شود. مطالعات قبلی ارتباط معنی‌دار آماری بین فشار انسانی با تغییرهای کیفیت اکولوژیکی آب را تایید کرده است (Forman, 2014). در مجموع روش طبقه‌بندی بکار رفته در شکل۴ طبقه‌بندی مناسبی از شرایط واقعی اکوسیستم رودخانه جاجرود براساس سنجه منتخب EPT/CHIR را تایید می‌کند. بنابراین نتایج آزمون همبستگی CCA با نتایج شکل ۴ مطابقت داشته و تایید می‌گردد.



شکل ۵- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها براساس سنجه زیستی ماهی(KBI)

Fig. 5- The classification of the sites based on the KBI index

طبقه‌بندی ایستگاه‌ها براساس سنجه ماهیان KBI نشان داد که ایستگاه ۱۰ (بعد از سد لتیان) دارای تنوع بالاتری از ماهیان بوده که دلیل آن را می‌توان دمای بالاتر آب و شرایط زیستگاهی بهتر نسبت به دیگر ایستگاه‌ها دانست (شکل۵). قابل بیان است که این نتایج، برای رودخانه جاجرود با توجه به شرایط زیستگاهی خود و تحلیل‌های آماری به دست آمده است. همچنین باید عنوان شود که این نمودار بدلیل تغییرهای ساختاری در بستر ایستگاه بعد از سد، فعالیت‌های انسانی و همچنین محدودیت‌های زمانی و مکانی نمونه‌برداری، نمی‌تواند تحلیل درستی از بالا بودن کیفیت اکولوژیکی این ایستگاه نسبت به دیگر ایستگاه‌ها را نشان دهد. Santucci *et al*. (2015) با مطالعه تغییرهای اکولوژیکی سد در رودخانه کلمبیا در کانادا، نگهداشت آب، ته‌نشست رسوب‌ها و ذرات معلق در آب، کاهش کدورت آب، کاهش معنی‌دار دمای آب خروجی سد، کاهش مواد غذایی و همچنین مواد سمی محلول در آب، در نتیجه فرصت ته‌نشست و در نهایت افزایش ظرفیت آب خروجی برای نگهداشت بیشتر اکسیژن محلول را از جمله تغییرهای مثبت سدها عنوان کرده‌اند. از سوی دیگر، قطع ارتباط زیستی و ژنتیکی گونه‌های بالادست و پایین‌دست سد (در صورت نبود کانال انتقال)، تغییرهای بستر رودخانه و در پی آن تغییر در زیستگاه ماهیان جهت اعمال حیاتی خود، از جمله تغییرهای منفی ناشی از سد عنوان شده است (Santucci *et al*., 2015). با توجه به این شکل، ایستگاه‌های ۴ و ۵ از دیگر ایستگاه‌ها متمایز می‌شوند که مشاهده‌های میدانی نیز حضور تنها ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز را در این دو ایستگاه تایید می‌کند. در ایستگاه‌های ۷ و ۸ تنوع یکسانی از ماهیان مشاهده شد. البته این تنوع با دیگر ایستگاه‌ها کاملا متفاوت است که البته این مقایسه باید با بکارگیری بیش از ۸۰ درصد داده‌ها انجام شود.

نتیجه‌گیری

سنجه‌های اکولوژیکی بر مبنای تغییرهای ساختار، ترکیب و تنوع گونه‌های ساکن در هر اکوسیستم می‌تواند بازگو کننده بهتری از شرایط آن اکوسیستم باشد که نتایج این مطالعه نیز این مهم را تایید کرد. نتایج داده‌ها بیانگر تاثیرهای منفی کاربری‌های مختلف مانند منطقه‌های مسکونی، ویلاسازی، کشاورزی، تفرج و اشتغال‌های مربوط به آن در کنار رودخانه، بر ساختار موجودات زنده اکوسیستم رودخانه جاجرود می‌باشد. براساس نتایج پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود با مطالعه و پایش در سال‌های مختلف، کاربردپذیری سنجه‌ها و تکرارپذیری آن‌ها برای ارزیابی کیفیت آب بویژه در منطقه مورد مطالعه که از ذخیره آب آن برای شرب بیش از چهار میلیون انسان استفاده می‌شود، سنجش گردد. بدین وسیله می‌توان با هزینه و زمان کمتری ارزیابی دقیق‌تری از وضعیت سلامت و یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه داشت ضمن آن که از نتایج حاصله می‌توان برای مدیریت آینده این اکوسیستم‌ها استفاده کرد.

سپاسگزاری

از اداره کل محیط زیست استان تهران بویژه آقای مهندس امیرعباس مشهدی احمدی بمنظور مساعدت و همکاری در انجام نمونه‌برداری این مطالعه تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] NSFWQI
[2] IRWQIsc
[3] Biological Monitoring Working Party/Average Score Per Taxon (ASPT)
[4] Stream Invertebrate Grade Number Average Level (SIGNAL)
[5] New Jersey Impairment Score (NJIS)
[6] Hilsenhoff Family Biotic Index (HFBI)
[7] Belgian Biotic Index (BBI)
[8] Karr Biotic Index (KBI)
[9] CCA
[10] *Oxynoemacheilus bergianus*
[11] *Paracobitis malapterura*
[12] NTU

منابع

Aazami, J., Esmaili-Sari, A., Abdoli, A., Sohrabi, H. and Van den Brink, P.J., 2015. Monitoring and assessment of water health quality in the Tajan River, Iran using physicochemical, fish and macroinvertebrates indices. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 13(1), 29.

Aazami, J., Esmaili-Sari, A., Abdoli, A., Sohrabi, H. and 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.

Abdoli, A., 2000. The Inland Water Fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife, Tehran. 378 pp. (In Persian with English abstract).

Abdoli, A., 2016. The field guide of the inland water fishes of Iran. Iran-shenasi, Tehran. (In Persian)

Abdoli, A. and Naderi, M., 2009. Biodiversity of fishes of the southern basin of the Caspian Sea. Abzian Scientific Publication, Tehran. (Persian with English abstract).

Alabaster, J.S. and Lloyd, R.S., 2013. Water quality criteria for freshwater fish. Cambridge University press. UK.

Alizadeh Sabet, H.R., 2016. Effect of temperature on genomic and some biological indices during embryonic and larval development of Caspian trout Salmo trutta caspius Kessler, 1877. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

Breine, J., Simoens, I., Haidvogl, G., Melcher, A., Pont, D. and Schmutz, S., 2005. Manual for the application of the European Fish Index – EFI. A fishbased method to assess the ecological status of European rivers in support of the Water Framework Directive. Version 1.1, January 2005. 81 pp. In: Van Liefferinge, C., Simoens, I., Vogt, C., Cox, T.J., Breine, J., Ercken, D.and Meire, P., 2010. Impact of habitat diversity on the sampling effort required for the assessment of river fish communities and IBI. Hydrobiologia. 644(1), 169-183.

Brown, E.D. and Williams, B.K., 2016. Ecological integrity assessment as a metric of biodiversity: are we measuring what we say we are? Biodiversity and Conservation. 25(6), 1011-1035.

Caudill, C.C., Daigle, W.R., Keefer, M.L., Boggs, C.T., Jepson, M.A., Burke, B.J., Zabel, R.W., Bjornn, T.C. and Peery, C.A., 2007. Slow dam passage in adult Columbia River salmonids associated with unsuccessful migration: delayed negative effects of passage obstacles or condition-dependent mortality? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 64(7), 979-995.

Coad, B., 2019. Fresh water fishes of Iran. Available online at: http://www.briancoad.com.

Floury, M., Usseglio-Polatera, P., Ferreol, M., Delattre, C. and Souchon, Y., 2013. Global climate change in large European rivers: long-term effects on macroinvertebrate communities and potential local confounding factors. Global change biology. 19(4), 1085-1099.

Forman, R.T., 2014. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions (1995). Island press, Washington, DC, U.S.A.

Forsberg, V. and Fichtenberg, C., 2013. The Prevention and Public Health Fund: A Critical Investment in Our Nation's Physical and Fiscal Health. American Public Health Association (APHA) Center for Public Health Policy Is-

sue Brief. Washington, DC, U.S.A.

Gichana, Z., Njiru, M., Raburu, P.O. and Masese, F.O., 2015. Effects of human activities on benthic macroinvertebrate community composition and water quality in the upper catchment of the Mara River Basin, Kenya. Lakes & Reservoirs: Research & Management. 20(2), 128-137.

Hashemi, S., Pourasghar, F., Nasrabadi, T., Ramezani, S. and Khoshrou G., 2011. Guide to Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters. Department of environment, Iran.(In Persian with English abstract).

Karr, J.R., 2004. Beyond Definitions: Maintaining Biological Integrity, Diversity, and Enivironmental Health in National Wildlife Refuges. Natural Resources Journal. 44,1067-1092.

Lammert, M. and Allan, J.D., 1999. Assessing biotic integrity of streams: effects of scale in measuring the influence of land use/cover and habitat structure on fish and macroinvertebrates. Environmental Management. 23, 257-270.

Layhee. M., Sepulveda, A., Ray, A., Mladenka, G. and Van Every, L., 2015. Ecological relevance of current water quality assessment unit designations in impaired rivers. Science of the Total Environment. 536, 198-205.

Lee, W. and Westerhoff P., 2006. Dissolved organic nitrogen removal during water treatment by aluminum sulfate and cationic polymer coagulation. Water Research. 40(20), 3767-3774.

Lepori, F., Palm, D., Brännäs, E. and Malmqvist, B., 2005. Does restoration of structural heterogeneity in streams enhance fish and macroinvertebrate diversity? Ecological Applications. 15, 2060-2071.

Mirzaei, M. and Hasanian, H., 2013. Quality evaluation of Jajrood River (IRAN) by quality indices methods. In Advanced Materials Research. 650, 652-657.

Mmerimba, C.M., Mathooko, J.M., Karanja, H. and Mbaka, J., 2014. Monitoring water and habitat quality in six rivers draining the Mt. Kenya and Aberdare Catchments using Macroinvertebrates and Qualitative Habitat Scoring. Egerton Journal of Science & Technology. 14, 81-104.

Mondy, C.P., Villeneuve, B., Archaimbault, V. and Usseglio-Polatera, P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. Ecological Indicators. 18, 452-467.

Neff, M.R. and Jackson, D.A., 2011. Effects of broad-scale geological changes on patterns in macroinvertebrate assemblages. Journal of the North American Benthological Society. 30(2), 459-473.

Ogleni, N. and Topal, B., 2011. Water quality assessment of the Mudurnu River, Turkey, using biotic indices. Water resources management. 25(10), 2487-2508.

Ogren, S.A., 2014. Using indicators of biotic integrity for assessment of stream condition. Msc. Thesis Michigan Technological University, Michigan, USA.

Protected Agancy, I.E., 2011. Guidline for Water quality Assessment in Iran. Department of Environment, Iran.

Richards, C., Johnson, L.B. and Host, G., 2015. Landscape Influences on Habitat, Water Chemistry, and Macroinvertebrate Assemblages in Midwestern Stream Ecosystems. University of Minnesota Duluth. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, Available online at: http://hdl.handle.net/11299/187231.

Santucci, V.J., Gephard, S.R. and Pescitelli, S.M., 2015. Effects of multiple low-head dams on fish, macroinvertebrates, habitat, and water quality in the Fox River, Illinois. North American Journal of Fisheries Management. 25(3), 975-992.

Šmilauer, P. and Lepš, J., 2014. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5: Cambridge university press. UK.

Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. and Usseglio-Polatera, P., 2010. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie (Freshwater invertebrates: systematic, biology, ecology). CNRS éditions, Paris.

Vincze, K., Scheil, V., Kuch, B., Köhler, H.R. and Triebskorn, R., 2015. Impact of wastewater on fish health: a

Xiaoyan, W., Xuelei, W. and Enhua, L., 2010. Ecosystem Service Function Evaluation of Honghu Lake Wetland, China. In Challenges in Environmental Science and Computer Engineering (CESCE), 2010 International conference 6th-7th March, Wuhan, China, pp. 453-456.

case study at the Neckar River (Southern Germany) using biomarkers in caged brown trout as assessment tools. Environmental Science and Pollution Research. 22(15), 11822-11839.

Environmental Sciences Vol.17/ No.3/ Autumn 2019

209-224

Ecological integrity assessment of the Jajrood River using fish and macroinvertebrates indices

Kamal Khezri,[1] Asghar Abdoli,[1*] Bahram Hasanzadeh Kiabi,[2] Hussein Valikhani[1] and Jaber Aazami[3]

[1]Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Institute of Environmental Sciences Research, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[2] Department of Marine Biology, Faculty of Biological Sciences and Technologies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[3]Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2017.01.02 Accepted: 2019.11.04

Khezri, K., Abdoli, A., Hasanzadeh Kiabi, B., Valikhani, H. and Azami, J., 2019. Ecological integrity assessment of the Jajrood River using fish and macroinvertebrates indices. Environmental Sciences.17(3): 209-224.

Introduction: Nowadays, many indicators have been developed to assess water quality and ecological classification of rivers based on variations in ecological structure. The goals of the study were assessing the ecological status, the effects of human land use, and the performance of the most common ecological indices for fishes and macroinvertebrates as biological evaluation of the Jajrood River.

Material and methods: In the present study, sampling of water, macroinvertebrates, and fishes was done at 10 stations in November 2015. The physical, chemical, and biological parameters including temperature, turbidity, velocity and depth of water, acidity, electrical conductivity, BOD5, nitrate, ammonium, phosphate, dissolved oxygen, and fecal coliform were measured on-site or after the sampling. Macroinvertebrates sampling was performed using a Surber sampler with three replications at each station and fishes were sampled using an electrofishing apparatus. Different physicochemical, macroinvertebrates, and fish indices were used to evaluate the integrity of the Jajrood River. The Canonical Correspondence Analysis (CCA) test was also used to analyze the relationship between macroinvertebrates and fishes with physical, chemical, and biological variables.

Results and discussion: Overall, 481 specimens belonging to eight species of fishes and 2435 macroinvertebrates belonging to 15 families were collected. Among all sampled fishes, *Oxynoemacheilus bergianus* and *Paracobitis malapterura* had the highest and lowest abundance, respectively. The highest total percentage of macroinvertebrates abundance belonged to

*Corresponding Author: *Email Address*.a_abdoli@sbu.ac.ir

the Baetidae family of the order Ephemeroptera and the lowest percentage belonged to the Polycentropodidae of the order Trichoptera. The results of Canonical Correspondence Analysis (CCA) showed that the efficiency of the EPT/CHIR index for macroinvertebrates was better than others. The Karr Biotic Integrity (KBI) that was used for fishes as a water quality index was suitable for the river.

Conclusion: The present study was the first one that used both fishes and macroinvertebrates indices with physicochemical parameters for ecological integrity assessment. From the findings of this study, it can be concluded that the urban-rural and agriculture wastewaters and the Latyan dam had the most negative impact on the ecological structure of the river.

Keywords: Ecosystem management, Ecological index, Macroinvertebrates, KBI, Jajrood River.