



ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از سنجه های ماهیان و ماکروبنتوزها

کمال خضری^۱، اصغر عبدلی^{۱*}، بهرام حسن زاده 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 سنجه های ماهیان و ماکروبنتوزها. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۳): ۲۰۹-۲۲۴.

سابقه و هدف: امروزه برای ارزیابی کیفیت آب و طبقه بندی وضعیت اکولوژیکی رودخانه‌ها، سنجه‌های زیادی بر مبنای تغییر های ساختار اکولوژیک گونه‌ها گسترش پیدا کرده اند. هدف از این مطالعه ارزیابی وضعیت اکولوژیک، بیان نحوه تاثیر کاربری زمین ها و سنجش کارایی متداول ترین سنجه‌های اکولوژیک برای ماهیان و ماکروبنتوزها در ارزیابی زیستی رودخانه جاجرود می باشد.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر، نمونه برداری 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 نمونه برداری مورد اندازه گیری قرار گرفتند. نمونه برداری 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: در مجموع، 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 سگ ماهی برگ (*Oxyngoemacheilus bergianus*) و سگ ماهی 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.

نتیجه گیری: این مطالعه، اولین مطالعه‌ای است که با بکارگیری همزمان سنجه ماهیان و ماکروبنتوزها همراه با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب، وضعیت اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه جاجرود را ارزیابی می کند. از یافته های این مطالعه می توان به این نتیجه رسید که فاضلاب های شهری-روستایی،

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

زهاب کشاورزی و سد لتیان بیشترین تاثیر منفی را بر ساختار موجود های زنده این رودخانه داشته‌اند.

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

مقدمه

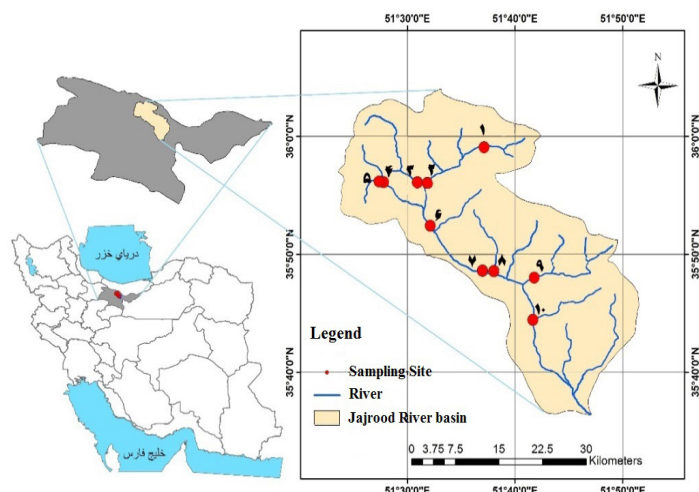
یکپارچگی اکولوژیکی (Ecological Integrity) به مفهوم توانایی یک اکوسیستم برای حفظ ساختاری پایدار و متعادل از ترکیب، تنوع و تراکم گونه‌های ساکن در آن است (Brown and Williams, 2016). بنابراین سنجه های ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی می‌توانند برآیندی از تغییر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و زیستی را برای مدیریت منبع های آبی نشان دهند. بدیهی است رکن اصلی مدیریت منبع های 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 عامل های 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 از مهمترین منبع های 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 پایین دست تقسیم کرده است، برای تامین آب شرب ۳۰ درصد از ساکنان شهر تهران مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mirzaei and Hasanian, 2013). بنابراین ارزیابی و پایش مداوم این رودخانه حفاظت شده ضرورت دارد. نمونه‌برداری از آب، ماکروبن‌توزها و ماهیان در این مطالعه، در ۱۰ ایستگاه درآبان ماه سال ۱۳۹۴ انجام گردید. انتخاب محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری با توجه به کاربری زمین‌ها، در دسترس



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه جاجرود
Fig. 1- The study area and the sampling sites in the Jajrood River

جدول ۱- مختصات و ویژگی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه جاجرود
Table 1. The coordinates and features of the sampling sites in the Jajrood River

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

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 نمونه بردار 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، BOD₅

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) در پایین دست سد لتیان انتخاب شد (جدول ۱).

نمونه‌برداری ماهیان و ماکروبن‌توزها

نمونه‌برداری ماهیان با استفاده از دستگاه الکتروشوک 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.

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 آلاهی خال قرمز صید شد. قزل آلاهی خال قرمز 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 (Ali-zadeh (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، این گونه 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 Lammer et al (1999) در ۶ بازه در طول رودخانه میسینگان، تاثیر تغییرهای کاربری زمین‌ها را روی تغییرات زیستگاهی ماکروبتوزها و ماهیان سنجیده‌اند، مطابقت دارد. در مطالعه بیان شده، اهمیت زیستگاه‌های کوچک ایجاد شده در پراکنش گونه‌ها بیان شده 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 جمع‌آوری اطلاعات زیادی از مشخصه‌های هیدرولیکی و زیستی در سوئد، به این نتیجه رسیدند که اجرای برنامه‌های احیاء در مقیاس کوچک نمی‌تواند موجب بازگرداندن شرایط زیستگاهی و زیستی به شرایط شاهد یا اصلی شود.

نیترا، 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^۱ و کیفیت آب‌های سطحی ایران^۲، سنجه‌های ماکروبتوزها شامل EPT/Chironomidae، BMWP^۳، ASPT^۴، SIGNAL^۴، NJIS^۵، HFBI^۶، BBI^۷، Sنجه KBI^۸ استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای R (v3.2.2) و PAST، SPSS (v22) 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 ماکروبتوزها مطابق فرمول لگاریتمی $\log(x+1)$ تغییر یافت (Šmilauer and Lepš, 2014). در نهایت برای مقایسه سنجه‌های مختلف در ایستگاه‌ها، ارزش عددی هر کدام از سنجه‌ها براساس فرمول $N = \frac{x-m}{M-m} \times 100$ نرمال شدند که در آن N برابر با عدد نرمال شده، x بیانگر عدد به دست آمده در ایستگاه، m نشان‌دهنده کوچکترین عدد به دست آمده در همه‌ی ایستگاه‌ها و M بزرگترین عدد به دست آمده از ایستگاه‌ها از نظر پارامتر منتخب می‌باشد. برای تحلیل ارتباط ماکروبتوزها و ماهیان با متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی از آزمون تحلیل تطبیقی متعارف^۹ 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^{۱۰} و سگ‌ماهی تیغه دار غربی^{۱۱} بود. در بین گونه‌های جنس *Oxynoemachei-lus* در ایران، گونه *O. bergianus* بیشترین پراکنش را دارد و

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

درصد فراوانی (%) (%) Frequency	تعداد No.	نام فارسی Persian name	گونه Species	خانواده Family	راسته Order
4.99	24	خیاطه نمکی -	<i>Alburnoides namaki</i>		
5.40	26	ماهی سفید رودخانه‌ای Caucasian, Euro- pean Chub	<i>Squalius orientalis</i>		
12.27	59	سیاه ماهی Khrumulia	<i>Capoeta capoeta</i>	Cyprinidae	
4.57	22	سیاه ماهی (شوم) -	<i>Capoeta aculeata</i>		Cypriniformes
33.06	159	سیاه ماهی شمشیری -	<i>Capoeta buhsei</i>		
35.13	169	سگ ماهی برگ Berg Loach	<i>Oxynoemacheilus bergianus</i>		
0.42	2	سگ ماهی تیغه دار غربی Western Crested Loach	<i>Paracobitis malapterura</i>	Nemachei- lidae	
4.16	20	قزل‌آلای خال قرمز Caspian Salmon	<i>Salmo trutta</i>	Salmonidae	Salmoni- formes

Trichoptera تعلق داشت.

با توجه به مقایسه نتایج سنجه های فیزیکی و شیمیایی، بنظر می‌رسد سنجه IRWQISC، کیفیت آب ایستگاه‌های مختلف را نسبت به سنجه NSFQI 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 Agency, 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).

با افزایش فاصله از ایستگاه‌های بالادست و سهولت دسترسی انسان به رودخانه، میزان پساب و آلاینده‌ها نیز افزایش می‌یابد

بنابر نتایج این مطالعه، ماکروبتوزها 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 ماکروبتوزها 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 ماکروبتوزها 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

جدول ۳- ماکرو بنتوزهای نمونه برداری 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	Bactidae	
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	Ephemeroptera
1.23	-	-	4.93	-	-	2.66	-	-	-	4.76		
0.80	-	-	-	-	4.39	0.80	-	-	-	2.86	Hydropsychidae	Trichoptera
0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.67		
0.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.90	Perlodidae	
0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.43	Chloroperlidae	Plecoptera
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	
1.89	-	-	1.64	-	6.58	-	0.88	-	9.76	-	Chironomidae ((Red	
1.95	-	8.33	-	10.81	-	-	-	-	-	0.38	Simuliidae	Diptera
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	Lumbricidae	Oligochaeta
0.79	-	-	-	-	-	-	6.19	-	-	1.71	Tubificidae	

جدول ۴- کیفیت ایستگاه‌ها بر اساس سنجه‌های اکولوژیکی مختلف
Table 4. The quality of the sites based on different ecological indices

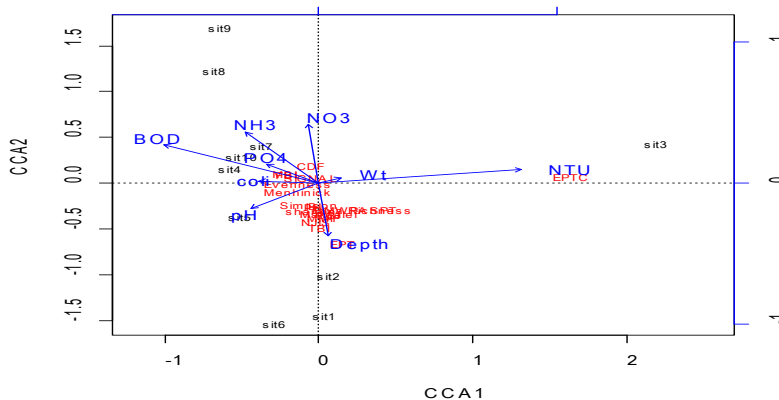
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	ایستگاه Site سنجه Index
78	82	77	69	80	74	66	81	77	81	NSFWQI
خوب Good	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good	خوب Good	
55.2	55.7	43.8	45.8	57.8	54.8	58.2	57.3	62.3	58.9	
نسبتاً خوب Enough Good	نسبتاً خوب Enough Good	نسبتاً بد Enough Polluted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

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 قزل‌آلای خال قرمز وجود نداشت و به جای آن تعداد زیادی از گونه‌های سگ ماهیان جویباری و سیاه ماهی صید شدند. ایستگاه ۱۰ در پایین دست سد، برای تعیین تاثیرهای سد (بعنوان مانع فیزیکی) بر اکوسیستم رودخانه انتخاب شد. قطع ارتباط زیستی و ژنتیکی گونه‌های بالادست و پایین دست 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 ماکروبنوتوزها می‌باشد ضمن اینکه همبستگی بالای سنجه EPT/CHIR با میزان کدورت^{۱۱} و BOD₅ را نیز نشان می‌دهد (شکل ۲)، در واقع پارامترهای بیان شده بیشترین سهم را در توزیع ماکروبنوتوزها 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 BOD₅، 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 ماکروبنوتوزها (Ecological Quality Ration) و سنجه BMWP/ASPT نسبت به سنجه‌های یک معیاره همچون EPT/CHIR مناسبتر گزارش شده است (Aazami *et al.*, 2015b) و دلیل این امر وجود اکوسیستم ناهمگن و پیچیده رودخانه تجن با حضور کاربری‌های مختلف طبیعی، و انسانی می‌باشد؛ در حالی که در حوضه رودخانه جاجرود، سیمای کلی اکوسیستم ساده‌تر بوده و تنوع کاربری‌ها وجود ندارد. بنابراین در مطالعه حاضر، تغییرهای اکوسیستمی با سنجه‌های ساده

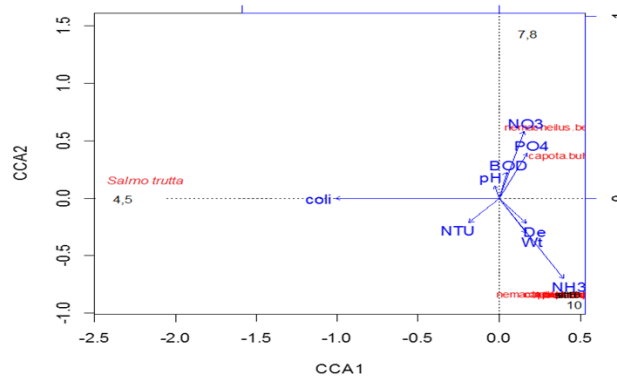
و تاثیرهای آن، بصورت معنی‌داری در ایستگاه‌ها و بیشتر سنجه‌ها قابل مشاهده است. براساس جدول ۴، سنجه NS-FWQI طبقه‌بندی کمابیش یکسانی از وضعیت کیفیت رودخانه را نشان می‌دهد، گرچه ممکن است میزان عددی هر ایستگاه اندکی متفاوت باشد. در مورد سنجه BMWP/ASPT، بیشترین میزان آن در ایستگاه ۱ می‌باشد. با حرکت به سمت ایستگاه‌های پایین دست، 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 پایین دست 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 قزل‌آلای خال قرمز 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 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 خال قرمز توان زندگی خود را با افزایش ذرات معلق و کاهش اکسیژن محلول در آب از دست می‌دهند (Lee and Westerhoff, 2006). متأسفانه 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 احتمالاً دلیل آن ورود پساب روستایی و شهری و پساب کشتارگاه در حدفاصل این ایستگاه



شکل ۲- مقایسه کارایی سنجه های مختلف ماکروبندوزها
Fig.2- The Comparison of the efficiency of macroinvertebrates indices

هستند. با چشم پوشی از جهت بردار، براساس اجزاء مولفه CCA_2 هستند. که بترتیب اهمیت شامل col_i ، NO_3 و PO_4 می باشد، ایستگاههای ۷ و ۸ با ایستگاه ۱۰ اختلاف زیادی دارند. در مجموع آنچه از این نمودار نتیجه گیری می شود آن است که رفتار و زیستگاه این ماهی بطور کامل با دیگر گونه های شناسایی شده متفاوت است و در این ارتباط، دیگر منبع های علمی نیز حساس بودن این گونه، زیستگاه خاص آن و حضور تنها همین ماهی بعنوان سنجه سلامت آب را تایید می کنند (Alabaſter and Lloyd, 2013). موقعیت مکانی ایستگاههای ۴ و ۵ در نمودار بیانگر تفاوت های کلیدی این ایستگاهها با دیگر ایستگاهها می باشد بصورتی که واقعیت میدانی نیز تاییدکننده این واقعیت است. همچنین نکته مهم دیگر در نتیجه گیری این نمودار آن است که بیشترین سهم را در توزیع جمعیت ماهی، پارامترهای کلی فرم و آمونیاک داشتند که این یافته با نتایج دیگر مطالعات هم خوانی ندارد (برای مثال Vincze *et al.*, 2015). دلیل آن این است که گرچه انجام هر دوره نمونه برداری ماهیان مستلزم هزینه های بالا، امکانات زیاد و محدودیت های خاص دیگر است ولی بدون تکرارهای دوره ای نمی توان ارزیابی دقیق و مطلوبی از اکوسیستم داشت (Alabaſter and Lloyd, 2013). مطابق دیگر مطالعات، بیشترین سهم پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در توزیع ماهیان در اکوسیستم های رودخانه ای، مربوط به میزان اکسیژن محلول و دمای آب است (Vincze *et al.*, 2015). اگرچه مواد مغذی از جمله ترکیب های مختلف نیتروژن و فسفات به همراه کلی فرم که بیانگر آلودگی های آلی هر ایستگاه است، در توزیع کلی ماکروبندوزها مهمترین نقش را دارند (Richards *et al.*, 2015).

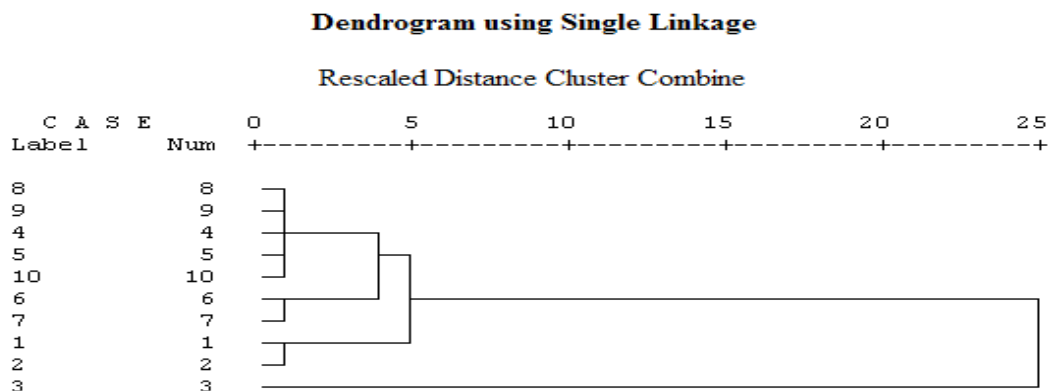
اکولوژیک قابل ارزیابی و مدیریت مناسب تر است که با مطالعه (Layhee *et al.*, 2015) تطابق دارد. مطالعه های انجام شده در شش رودخانه بمنظور مقایسه شرایط کیفی زیستگاه ها و تغییر های اکولوژیکی ماکروبندوزها نشان داد که با افزایش تغییر های ساختار زیستگاهی، تنوع گونه ها بالا و غالبیت گونه ها پایین می آید، در نتیجه برای ارزیابی تغییر ها در اکوسیستم های با غالبیت گونه بالا، سنجه ساده و در اکوسیستم های با تنوع گونه یا غنای گونه بالا، سنجه هایی مناسب ترند که چندین معیار اکولوژیکی را در نظر می گیرند (Mmerimba *et al.*, 2014). همچنین مطالعه دیگری در فرانسه نشان داد که بدلیل تنوع بالا در شرایط زیستگاهی رودخانه ها، استفاده از سنجه جدید و بومی که چندین معیار را مطابق با تغییر های زیاد زیستگاهی در نظر می گیرد، مناسب تر است در حالی که سنجه هایی همچون EPT نمی تواند پاسخگوی تغییر های زیاد اکوسیستم هایی با چندین کاربری و تنوع زیستگاهی بالا باشد (Mondy *et al.*, 2012). بیشترین سهم را در توزیع گونه های ماهی، پارامترهای کلی فرم 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 داده های فیزیکی و شیمیایی دوره ای، برآیند نتیجه نمودار که بیانگر افزایش میزان کلی فرم هم راستا با افزایش تعداد افراد گونه ای قزل آلی خال قرمز است، از نظر علمی صحیح نمی باشد. در واقع، فقط در ایستگاه ۴ و ۵، مقادیری از مواد آلی و کلی فرم به دست آمده است که فقط در همین ایستگاهها حضور قزل آلی خال قرمز تایید شد، بنابراین این دو هم راستا با هم در نمودار قابل مشاهده



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

۳ آب رودخانه به شدت توسط فاضلاب‌های انسانی آلوده 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 Chirono-midac سوق می‌یابد.

طبقه‌بندی ایستگاه‌ها براساس سنجه زیستی منتخب (EPT/CHIR) بیانگر آن است که دو گروه کاملاً متفاوت شامل ایستگاه‌هایی با کیفیت آب بسیار پایین (ایستگاه ۳) و کیفیت بهتر (دیگر ایستگاه‌ها) وجود دارد که با واقعیت میدانی نیز کاملاً مطابقت دارد (شکل ۴). همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد در ایستگاه



شکل ۴- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها براساس سنجه EPT/CHIR
 Fig. 4- The classification of the sites based on the EPT/CHIR index

با تغییرهای کیفیت اکولوژیکی آب را تایید کرده است (For-man, 2014). در مجموع روش طبقه‌بندی بکار رفته در شکل ۴ 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.

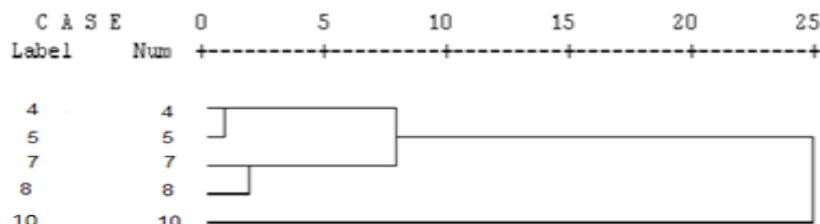
طبقه‌بندی ایستگاه‌ها براساس سنجه ماهیان KBI نشان داد که ایستگاه ۱۰ (بعد از سد لتیان) دارای تنوع بالاتری از ماهیان بوده که دلیل آن را می‌توان دمای بالاتر آب و شرایط زیستگاهی بهتر نسبت به دیگر ایستگاه‌ها دانست (شکل ۵). قابل بیان است که این

نتیجه دیگری که از شکل ۴ 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 (بوژه 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

از جمله تغییر های مثبت سدها عنوان کرده‌اند. از سوی دیگر، قطع ارتباط زیستی و ژنتیکی گونه‌های بالادست و پایین دست سد (در صورت نبود کانال انتقال)، تغییر های بستر رودخانه و در پی آن تغییر در زیستگاه ماهیان جهت اعمال حیاتی خود، از جمله تغییر های 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.

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 تغییر های 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 تغییر های 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

Dendrogram using Single Linkage Rescaled Distance Cluster Combine



شکل ۵- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس سنجه زیستی ماهی (KFI)

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

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

¹NSFWQI

²IRWQIsc

³Biological Monitoring Working Party/Average Score Per Taxon

⁴Stream Invertebrate Grade Number Average Level

نتیجه‌گیری

سنجه‌های اکولوژیکی بر مبنای تغییر های ساختار، ترکیب و تنوع گونه‌های ساکن در هر اکوسیستم می‌تواند بازگوکننده بهتری از شرایط آن اکوسیستم باشد که نتایج این مطالعه نیز این مهم را تایید کرد. نتایج داده‌ها بیانگر تاثیر های 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

⁵ New Jersey Impairment Score⁶ Hilsenhoff Family Biotic Index⁷ Belgian Biotic Index⁸ Karr Biotic Index⁹CCA¹⁰ *Oxyynoemacheilus bergianus*¹¹ *Paracobitis malapterura*¹²NTU

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 physico-chemical, fish and macroinvertebrates indices. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 13(1), 1.

Aazami, J., Sari, A. E., 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. (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*: Elsevier.

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. (Persian with English abstract).

Breine, J., I. Simoens, G. Haidvogel, A. Melcher, D. Pont, S. Schmutz and the FAME CONSORTIUM, 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). Springer.

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 Issue Brief. Washington, DC: APHA; 2012.

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*. (Persian with English abstract).

- Karr, J.R., 2004. Beyond Definitions: Maintaining Biological Integrity, Diversity, and Environmental Health in National Wildlife Refuges. *Nat Resources J.* 44:1067.
- 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* (Vol. 650, pp. 652-657). Trans Tech Publications.
- Mmerimba, C.M., Mathooko, J.M., Karanja, H. and Mbatia, 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.
- 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. *Michigan Tech*. 7(5), 10-19.
- Protected Agency, I-E., 2011. *Guidline for Water quality Assessment in Iran: Department of Environment*.
- Richards, C., Johnson, L.B. and Host, G., 2015. *Landscape Influences on Habitat, Water Chemistry, and Macroinvertebrate Assemblages in Midwestern Stream Ecosystems*.
- 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*.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., and Usseglio-Polatera, P., 2010. *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie (Freshwater invertebrates: systematic, biology, ecology)*, Vol. 15. Paris: CNRS éditions.
- Vincze, K., Scheil, V., Kuch, B., Köhler, H.R. and Triebkorn, R., 2015. Impact of wastewater on fish health: a 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.
- 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 on* (Vol. 2, pp. 453-456). IEEE.





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

Kamal Khezri,¹ Asghar Abdoli,^{1*} Bahram Hasanzadeh Kiabi,² Hussein Valikhani¹ and Jaber Aazami³

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

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

³Department 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 Science*.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, *Oxyaemacheilus 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.

