محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دورهٔ ۶۸، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴
صفحات ۹۳-۸۳

ارزیابی کارایی شاخص‌های زیستی یگانه و چندگانهٔ بزرگ بی‌مهرگان کفزی برای تعیین کیفیت آب (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ جاجرود)

زینب شیرچی ساسی[۱]، اصغر عبدلی[۲*]، سید حسین هاشمی[۳]

۱. کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست گرایش آلودگی‌ها، پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۲. دانشیار گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۳. استادیار گروه آلاینده‌های محیط زیست، پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲٤- تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/٤/۷)

چکیده

بزرگ بی‌مهرگان کفزی، شاخص‌های سودمندی برای ارزیابی تأثیرات آشفتگی‌ها بر حوضهٔ آبخیز و رودخانه هستند زیرا آن‌ها بسیاری از فرایندهای اکولوژیکی را در مقیاس حوضهٔ آبخیز یکپارچه می‌کنند. در این پژوهش کاربرد شاخص‌های زیستی ماکروبنتوز یگانه و مولتی‌متریک برای ارزیابی زیستی رودخانهٔ جاجرود بررسی شده است. به این منظور از شش ایستگاه مطالعاتی طی چهار فصل نمونه‌های آب و بزرگ بی‌مهرگان کفزی جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد *Chironomidae* بیشترین فراوانی نسبی را در منطقهٔ مطالعاتی دارد و شاخص‌های زیستی هیلسنهوف و BMWP/ASPT برای ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ جاجرود مناسب‌اند. برای کاربرد شاخص‌های مولتی‌متریک نیاز است با توجه به شرایط جغرافیایی و فیزیکوشیمیایی رودخانه‌های ایران، سازگاری و کالیبراسیون لازم انجام گیرد. نتایج ترکیبی از شاخص‌های زیستی نشان داد ایستگاه‌های واقع در مناطق مسکونی نسبت به ایستگاه‌های بالادست آلودگی بیشتری دارند و کنترل و مدیریت منابع آلاینده برای حفاظت از منطقهٔ مطالعه‌شده لازم است.

کلیدواژگان: ارزیابی زیستی، بزرگ بی‌مهرگان کفزی، شاخص مولتی‌متریک، رودخانهٔ جاجرود.

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۰۹۸۲۱۲۲۴۳۱۹۷۱، فکس: ۰۰۹۸۲۲۴۳۱۹۷۲ Email :asabdoli@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

امروزه احیا و حفاظت اکوسیستم‌های آبی به هدف مشترک دستیابی به توسعهٔ پایدار در سراسر جهان تبدیل شده است. این اهداف اهمیت یکپارچگی بیولوژیکی اکوسیستم‌های آبی برای ارائهٔ کالا و خدمات برای کاربردهای مصرفی و غیرمصرفی آب شیرین توسط انسان را مشخص می‌کند (Norris & Barbour, 2009). شناخت و بررسی کمّی و کیفی منابع آبی از ارکان مهم و اساسی توسعهٔ پایدار است. مطالعهٔ رودخانه‌ها و نهرها بسیار مهم است و نه‌تنها در تشخیص سلامت اکوسیستم رودخانه مؤثر است بلکه می‌تواند نشان‌دهندهٔ فشارهای وارده از محیط اطراف باشد (Sioli, 1975). رودخانه‌های آب شیرین یکی از اکوسیستم‌های مهم آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از نظر تنوع زیستی و تأمین آب آشامیدنی به حساب می‌آیند (Rezaee Tavabe *et al.*, 2008).

یکی از روش‌های بهینه برای تعیین وضعیت محیط آبی، تعیین کیفیت آب با استفاده از فاکتورهای زیستی و شیمیایی است. استفاده از خصوصیات شیمیایی آب برای تعیین وضعیت اکوسیستم‌های آبی به‌منزلهٔ عکس از محیط است و فقط قادر است خصوصیات همان لحظه را نشان دهد درحالی‌که پایش زیستی مانند تهیهٔ فیلم از منطقه، تمام وقایع را با جزئیات ثبت می‌کند. کاربرد شاخص‌های زیستی و استفاده از موجودات زنده برای طبقه‌بندی و تعیین کیفیت آب به بیش از یک قرن می‌رسد (Sharma & Moog, 1998). در این مدت روش‌های متفاوتی برای تعیین کیفیت آب براساس شاخص‌های زیستی توسعه یافته است. تمام این روش‌ها با عنوان «روش‌های پایش زیستی» تهیه می‌شوند و به کار می‌روند. درواقع پایش زیستی استفادهٔ سیستماتیک از موجودات زنده برای تعیین کیفیت محیط زیست است.

روش‌های پایش زیستی امروزه نقش بسیار مهمی در پایش کیفیت رودخانه ایفا می‌کنند. زیرا جانوران کفزی درواقع شواهد پیوسته‌ای از وضعیت سلامت رودخانه‌ها هستند و درمجموع نسبت به محدودهٔ وسیعی از آلاینده‌ها حساس‌اند (Grbovi *et al.*, 1997). یکی از روش‌های بهینه و کارآمد برای ارزیابی زیستی، استفاده از موجودات ماکروبنتوز است (Karr, 1998). ماکروبنتوزها به‌دلیل وجود در بیشتر بوم‌سازگان‌های آبی، جابه‌جایی و تحرک کم، تجمع مواد سمّی در آن‌ها، نمونه‌برداری آسان و دیده‌شدن با چشم غیرمسلح نشانگرهای تغییرات کیفی هستند (Needham, 1962; Hyens, 1970; Barbour *et al.*, 1999; Rosenberg *et al.*,1999; Ahmadi & Nafisi, 2001). گونه‌های ماکروبنتوز آب شیرین به‌طور شایان توجهی نسبت به آلودگی آلی حساسیت نشان می‌دهند. بنابراین، از تغییرات فراوانی نسبی آن‌ها می‌توان برای استنتاج بار آلودگی استفاده کرد. در رودخانه‌های طبیعی و دست‌نخورده تنوع و غنای بالایی از این گونه‌ها یافت می‌شود (Armitage *et al.*, 1983).

واکنش اجتماعات ماکروبنتوز به اختلالات آنتروپوژنیک اغلب با استفاده از متریک‌هایی ارزیابی می‌شود که شرایط بیولوژیک را با استفاده از ساختار و یا عملکرد این اجتماعات اندازه‌گیری می‌کنند (Karr, 1991 ،Barbour *et al.*, 1999). با اینکه قابلیت شاخص‌های زیستی برای ارزیابی کیفیت آب در نقاط مختلف جهان به اثبات رسیده است و بسیاری از کشورهای اتحادیهٔ اروپایی و امریکای شمالی به‌طور گسترده در حال استفاده از این متدولوژی ارزان اما کاربردی هستند (Azrina *et al.*, 2005)، به نظر می‌رسد استفاده از این شاخص‌ها در برنامه‌های پایش منابع آبی کشور ما کمتر مورد توجه قرار گرفته است و تنها به معدودی مطالعه خلاصه می‌شود که در این مطالعات هم تنها تکیه بر شاخص‌های زیستی یگانه بوده است. اگرچه سودمندی و قطعیت شاخص‌های مولتی‌متریک در مقایسه با شاخص‌های یگانه بیشتر است، در حال حاضر هیچ مطالعه‌ای در زمینهٔ کاربرد شاخص‌های مولتی‌متریک برای ارزیابی دقیق‌تر کیفیت منابع آب کشور ما انجام نگرفته است. بنابراین، با توجه به

Archive of SID

www.SID.ir

اهمیت اندیکاتورهای زیستی ازجمله ماکروبنتوزها در ارزیابی کیفیت آب، این مطالعه با اهداف مقایسهٔ شاخص‌های زیستی با شاخص شیمیایی، مطالعهٔ کارایی شاخص‌های زیستی یگانه و مولتی‌متریک در ارزیابی کیفیت رودخانهٔ جاجرود و تعیین کیفیت بیولوژیکی آب براساس جوامع بی‌مهرگان کفزی انجام شد.

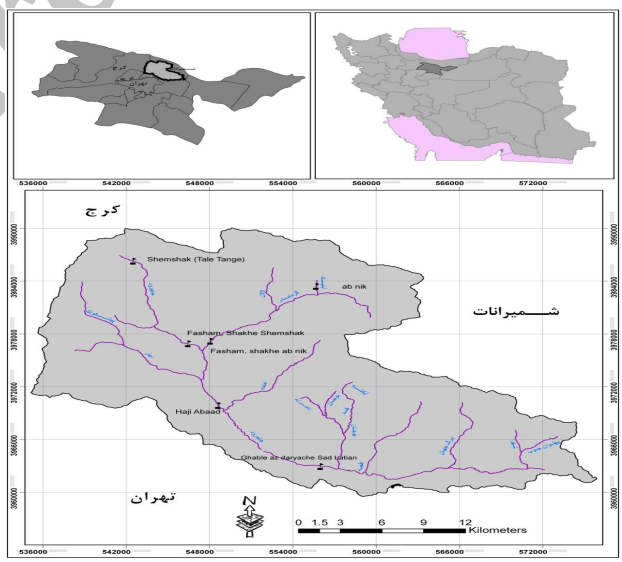
۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقهٔ مطالعه‌شده

حوضهٔ آبریز رودخانهٔ جاجرود در ۳۵ کیلومتری شمال شهر تهران با مختصات جغرافیایی ″۲۴ °۵۱ - ″۵۵ °۵۱ شرقی و ″۴۵ °۳۵ - ″۵۵ ۳۶ شمالی قرار دارد (شکل۱). مساحت آن حدود ۶۹۰ کیلومترمربع با ارتفاع ۷۹۵ تا ۳۵۰۰ متر و میانگین بارش سالانه ۶۳۰ میلی‌متر است. آب و هوای حوضهٔ آبریز رودخانهٔ جاجرود تحت‌تأثیر عوامل جغرافیایی و ناهمواری‌های منطقه است. این عوامل سبب به وجود آمدن اقلیم‌های متفاوت، نوع و حجم بارش و تفاوت دما در منطقه شده است (Rey Ab Consulting Engineers, 2009). انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقهٔ مطالعه‌شده با توجه به بررسی تغییرات وضعیت کیفیت رودخانه و با در نظر گرفتن موقعیت رستوران‌ها، روستاها، مناطق مسکونی و پل‌ها و ورودی شاخه‌های فرعی انجام شد و شش ایستگاه مطالعاتی بر روی دو سرشاخهٔ آب نیک و شمشک انتخاب شد. نام و موقعیت ایستگاه‌ها در جدول۱ و شکل۱ نشان داده شده است.

جدول۱. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی

ردیف	نام محل	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	آب نیک	۲۴۴۹
۲	فشم قبل از تلاقی رودخانهٔ گرمابدر با رودخانهٔ میگون	۱۹۵۸
۳	فشم قبل از تلاقی رودخانهٔ میگون با رودخانهٔ گرمابدر	۱۹۵۲
۴	شمشک، آبشار دوقلو	۲۸۳۵
۵	حاجی‌آباد	۱۸۳۳
۶	قبل از دریاچهٔ سد لتیان	۱۶۲۷



شکل۱. منطقهٔ مطالعه‌شده و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ جاجرود

Archive of SID

www.SID.ir

۲.۲. نمونه‌برداری ماکروبنتوزها و پارامترهای فیزیکوشیمیایی

نمونه‌های ماکروبنتوز در دوره‌های تابستان، پاییز و زمستان ۱۳۹۰ و بهار ۱۳۹۱ از شش ایستگاه جمع‌آوری شد. این نمونه‌برداری در هر سری و هر ایستگاه سه بار تکرار شد. برداشت نمونه‌های ماکروبنتوز با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار سوربر با مساحت ۹۰۰ سانتی‌متر مربع و اندازهٔ مش ۲۵۰ میکرومتر انجام شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در ظروف پلاستیکی با فرمالین ۴درصد تثبیت و به آزمایشگاه منتقل شدند. جداسازی و شناسایی تاکسون‌ها با استفاده از کلیدهای شناسایی Quiley ،Needham & Needham (1976) (1977)،Tachet *et al.*, (1996) و Hartmann (2007) تا سطح خانواده و جنس در زیر استریومیکروسکوپ انجام شد.

همچنین مقادیر فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب ازجمله هدایت الکتریکی، درصد اکسیژن اشباع و دما با استفاده از دستگاه پرتابل EC متر و DO متر در هر سری نمونه‌برداری و هر ایستگاه اندازه‌گیری شد و نمونه‌های آب برای اندازه‌گیری pH، نیترات، فسفات، آمونیاک، کدورت BOD_5 [1] و COD [2] تهیه و مقادیر آن‌ها در آزمایشگاه با استفاده از دستورالعمل‌های کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب تعیین شد (Standard Methods, 1999).

۳.۲. آنالیز داده‌ها

برای برآورد هدف این پژوهش از شاخص‌های زیر استفاده شد:

۱. شاخص زیستی هیلسنهوف HBI [3] (فرمول ۱)

$$HBI = \sum \frac{X_i t_i}{n} \qquad (۱)$$

که x_i تعداد افراد هر تاکسون، t_i مقاومت هر تاکسون نسبت به آلودگی در جدول هیلسنهوف و n تعداد کل موجودات در یک نمونه است. هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد کیفیت آب بهتر است (Hilsonhoff, 1988).

۲. شاخص زیستی BMWP/ASPT [4] (فرمول ۲)

$$\frac{BMWP}{ASPT} = \frac{\sum B.n}{N} \qquad (۲)$$

که B امتیاز BMWP/ASPT در سطح خانواده، n تعداد افراد خانواده و N تعداد کل افراد خانواده در هر نمونه است. مقدار این شاخص با کیفیت آب رابطهٔ معکوس دارد (Friedrich, 1996).

۳. شاخص مولتی‌متریک MMIF [5]

شاخص MMIF برای ارزیابی وضعیت اکولوژیک آب‌های سطحی در کشور بلژیک ایجاد شد. این شاخص یک سیستم مولتی‌متریک براساس ۵ شاخص وزن‌دار هم‌مرتبه است که عبارت‌اند از: غنای تاکسون‌ها، تعداد تاکسون‌های Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera، تعداد تاکسون‌های حساس دیگر، شاخص تنوع شانون- وینر و رتبهٔ مقاومت متوسط (جدول۲).

برای محاسبهٔ MMIF مقادیر هر یک از متریک‌ها محاسبه می‌شود. سپس با توجه به نوع رودخانهٔ محل نمونه‌برداری و معیار نمره‌دهی که براساس نوع رودخانه برای هریک از متریک‌ها ارائه شده است، نمرهٔ هر متریک تعیین می‌شود (Gabriels *et al.*, 2010).

۴. شاخص مولتی‌متریک NJIS [6]

شاخص NJIS برای ارزیابی ایستگاه‌های پایش زیستی نیوجرسی ایجاد شد و براساس شناسایی افراد در سطح خانواده است. NJIS با استفاده از متریک‌های غنای تاکسون‌ها که منعکس‌کنندهٔ سلامت جامعه از طریق اندازه‌گیری تعداد کل تاکسون‌هاست، E+P+T یا تعداد کل اشکال

1. Biological Oxygen Demand- 5 days (BOD_5)
2. Chemical Oxygen Demand (COD)
3. Hilsenhoff Biotic Index
4. Biological Monitoring Working Party/Average Score Per Taxon
5. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders
6. New Jersey Impairment Score

Archive of SID

www.SID.ir

غیرمقاوم سه راستهٔ Ephemeroptera، Plecoptera و Trichoptera است، EPT%، درصد خانوادهٔ غالب یا اندازه‌گیری تعادل اجتماع براساس فراوانی عددی تاکسون غالب نسبت به کل آلودگی و شاخص زیستی اصلاح‌شدهٔ هیلسنهوف در سطح خانواده (FBI) محاسبه می‌شود و درجهٔ کیفی آب را در یکی از طبقات بدون اختلال، نسبتاً مختل‌شده و شدیداً مختل‌شده نشان می‌دهد (جدول۳) (Kurtenbach 1991).

جدول۲. متریک‌های محاسبه‌شده در شاخص مولتی‌متریک MMIF

شماره	علامت اختصاری	نام	فرمول
۱	TAX	غنای تاکسونی	تعداد کل تاکسون‌های موجود
۲	EPT	تعداد تاکسون‌های EPT	تعداد EPT های حاضر
۳	NST	تعداد تاکسون‌های حساس	تعداد تاکسون‌هایی که عدد مقاومت آن‌ها بیشتر از ۵ است، غیر از EPT
۴	SWD	تنوع شانون- وینر	$-\sum_{i=1}^{s} p_i \ln p_i$
۵	MTS	عدد مقاومت متوسط	میانگین اعداد مقاومت همهٔ تاکسون‌های حاضر

جدول۳. معیار رتبه‌دهی به متریک‌ها برای محاسبهٔ شاخص NJIS

متریک زیستی	۶	۳	۰
غنای تاکسونی (کل خانواده‌ها)	> ۱۰	۵ - ۱۰	۰ - ۴
شاخص EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)	> ۵	۳ - ۵	۰ - ۲
درصد غالبیت (%CDF: Percent Contribution of Dominant Family)	<۴۰	۴۰ - ۶۰	> ۶۰
%EPT	> ۳۵	۱۰ - ۳۵	< ۱۰
شاخص زیستی هیلسنهوف درسطح خانوادهٔ اصلاح‌شده (FBI)	۰ — ۴	۴ - ۶	۶ - ۱۰

۵. شاخص پارامترهای متداول کیفیت آب‌های سطحی ایران[1] $IRWQI_{SC}$ (فرمول ۳)

$$IRWQI_{SC} = \left[\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad \gamma = \sum_{i=1}^{n} W_i \qquad (۳)$$

که w_i وزن پارامتر i ام، n تعداد پارامترها و I_i مقدار شاخص برای پارامتر i ام منحنی رتبه‌بندی است. هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد کیفیت آب بهتر است (Hashemi *et al.*, 2011).

ارتباط بین مقادیر شاخص شیمیایی و شاخص‌های زیستی و همچنین ارتباط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و مقدار شاخص‌های زیستی با استفاده از همبستگی ضریب پیرسون به وسیلهٔ نرم‌افزار Minitab 16 بررسی شد.

۳. نتایج

۱.۳. تاکسون‌های شناسایی‌شده در منطقهٔ مطالعه‌شده

طی چهار دوره نمونه‌برداری از منطقهٔ مطالعاتی، بیش

1. Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters, $IRWQI_{SC}$

Archive of SID

www.SID.ir

از ۳۵۰۰ بزرگ بی‌مهرهٔ کفزی در ۴۵ تاکسون شناسایی شد. *Diptera* (۱۶ تاکسون)، *Coleoptera* (۸ تاکسون)، *Ephemeroptera* و *Trichoptera* (هر کدام ۷ تاکسون) بیشترین تنوع را داشتند. خانوادهٔ *Chironomidae* متعلق به راستهٔ *Diptera* با فراوانی ۳۶/۶ فون غالب منطقهٔ مطالعاتی را تشکیل داد. پس از آن خانوادهٔ (*Baetidae*) از راستهٔ زودمیران (*Ephemeroptera*) با درصد فراوانی کل ۲۱/۱، فراوان‌ترین تاکسون بود. همچنین بیشترین تعداد و تنوع تاکسونی در ایستگاه یک (آب نیک) و کمترین آن در ایستگاه شش (قبل از دریاچهٔ سد) مشاهده شد.

۲.۳. نتایج شاخص‌های زیستی و شیمیایی و آنالیز همبستگی آن‌ها

مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در محل نمونه‌برداری و آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و نتایج شاخص‌های زیستی و شیمیایی در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول۴. میانگین مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رودخانهٔ جاجرود طی چهار دورهٔ مطالعاتی

شمارهٔ ایستگاه	%DO	EC (µs/cm)	TSS (mg/l)	Turbidity (NTU)	NO_3^- (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)	NH^{3+} (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)
۱	۸۸/۶۱	۲۴۹/۷۵	۶۴/۸۱	۱۷/۶۷	۴/۹	۰/۵۲	۰/۱۳	۱/۱۷	۱۴/۴۶
۲	۹۱/۸۹	۳۴۳/۲۵	۹۹/۴۳	۳۲/۷۵	۵/۶۵	۰/۱۶	۰/۱۱	۷/۴۵	۴/۱
۳	۹۳/۵۳	۵۱۶/۵	۱۰۵/۱۹	۲۷/۰۷	۵/۴	۰/۱۱	۰/۱	۶/۲	۱۴/۱۲
۴	۹۵/۸	۲۰۲/۱	۱۴/۲۸	۲/۰۱	۴/۸	۰/۱۳	۰/۱۶	۴/۳۵	۱
۵	۹۱/۰۶	۴۲۱/۷۵	۲۵۵/۷۶	۴۷/۲۷	۵/۷	۰/۱	۰/۱۷۵	۶/۴	۱۳/۶۲
۶	۹۹/۵۵	۳۶۰	۱۰۵/۱۹	۲۰/۳۱	۶/۰۵	۰/۱۵	۰/۲۲	۷/۰۷	۳/۳

جدول۵. میانگین مقادیر شاخص‌های زیستی و شیمیایی در رودخانهٔ جاجرود طی چهار دورهٔ مطالعاتی

ایستگاه	HBI	BMWP/ASPT	MMIF	NJIS	$IRWQI_{SC}$
۱	۴/۲۹	۶/۱	۰/۵۳	۲۰	۶۲/۵۸
۲	۷/۷۲	۳/۱۶	۰/۳۴	۱۰	۵۳/۰۸
۳	۷/۴۷	۳/۲	۰/۲۹	۹	۶۱/۱۵
۴	۵/۴۵	۴/۴۱	۰/۴۱	۱۶	۶۸/۱۴
۵	۷/۳۸	۳/۱۹	۰/۲۹	۱۱	۵۳/۲۵
۶	۷/۵۷	۳/۱۹	۰/۲۳	۸	۵۳/۲

نتایج آنالیز آماری، همبستگی معناداری بین شاخص شیمیایی و شاخص‌های زیستی نشان داد. در این بین شاخص زیستی هیلسنهوف با ضریب همبستگی ۰/۷- (P- Value < ۰/۰۱) و شاخص زیستی BMWP/ASPT با ضریب ۰/۵۵ (P- Value < ۰/۰۱) بیشترین همبستگی را با شاخص شیمیایی ارائه کردند. همچنین همبستگی بین شاخص‌های مولتی‌متریک NJIS و MMIF در سطح ۹۵درصد معنادار مشاهده شد. شاخص‌های زیستی با یکدیگر نیز رابطهٔ معنادار ارائه کردند (جدول۶).

۳.۳. نتایج ارزیابی کیفیت با استفاده از شاخص‌های زیستی و شیمیایی

نتایج ترکیبی از شاخص‌های استفاده‌شده در این مطالعه کیفیت ایستگاه‌های آب نیک و شمشک را در وضعیت خوب ارزیابی کرد درحالی‌که بقیهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

ایستگاه‌ها از وضعیت مطلوبی برخوردار نیستند. همچنین شاخص‌های زیستی نسبت به شاخص شیمیایی وضعیت کیفیت ایستگاه‌های مجاور مناطق مسکونی (ایستگاه‌های دو، سه، پنج و شش) را ضعیف‌تر ارزیابی کردند (جدول۷).

جدول ۶. همبستگی شاخص‌های زیستی و شیمیایی

شاخص‌ها	$IRWQI_{SC}$	BI	BMWP/ASPT	NJIS	MMIF
$IRWQI_{SC}$	۱	-۰/۷**	۰/۵۵**	۰/۵۱ *	۰/۵۲ *
BI		۱	-۰/۹۴**	-۰/۸۷**	-۰/۷۱**
BMWP/ASPT			۱	۰/۸۵**	۰/۷۳**
NJIS				۱	۰/۸۵**
MMIF					۱

جدول۷. نتایج ارزیابی کیفیت با استفاده از شاخص‌های زیستی و شیمیایی

ایستگاه	HBI	BMWP/ASPT	MMIF	NJIS	$IRWQI_{SC}$
۱	خیلی‌خوب	تمیز	متوسط	تغییرات متوسط در محیط	نسبتاً خوب
۲	بد	آلودگی شدید	ضعیف	تغییرات متوسط در محیط	نسبتاً خوب
۳	نسبتاً بد	آلودگی شدید	ضعیف	تغییرات متوسط در محیط	متوسط
۴	خوب	آلودگی متوسط	متوسط	تغییرات متوسط در محیط	نسبتاً خوب
۵	نسبتاً بد	آلودگی شدید	ضعیف	تغییرات متوسط در محیط	متوسط
۶	بد	آلودگی شدید	ضعیف	تغییرات شدید در محیط	متوسط

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه غالب تاکسون‌های بزرگ بی‌مهرگان جمع‌آوری‌شده متعلق به گروه حشرات آبزی بودند که Kamali و Esmaeeli Sari (2009) در رودخانهٔ لاسم و Naderi و همکاران (2011) در رودخانهٔ هراز نیز چنین نتیجه‌ای را به دست آوردند. بسیاری از پژوهشگران در مطالعات خود به این نتیجه که لارو حشرات آبزی فراوان‌ترین جمعیت را در موجودات کفزی دارند، اشاره داشته‌اند (Hynes, 1970; Bass, 1995; Pipan, 2000). کوهستانی‌بودن منطقهٔ مطالعه‌شده سبب شده است لارو حشرات آبزی موجودات فون غالب کفزیان رودخانه را تشکیل دهند که با نتایج بیان‌شده توسط دیگران مطابقت دارد.

مطالعهٔ حاضر نشان داد بیشترین سهم بزرگ بی‌مهرگان متعلق به لاروهای شیرونومیده بود که۳۶/۶درصد از فراوانی کل تاکسون‌ها را شامل بود. پس از آن خانوادهٔ (*Baetidae*) از راستهٔ زودمیران با درصد فراوانی کل ۲۱/۱، فراوان‌ترین تاکسون بود. شیرونومیده‌ها به‌منزلهٔ موجودات مقاوم به آلودگی شناخته شده‌اند که به‌طور معمول در بسیاری از زیستگاه‌های آب شیرین یافت می‌شوند (Armitage *et al.*, 1995; Svensson *et al.*, 1999). حضور تعداد زیادی از شیرونومیده‌های مقاوم به آلودگی اغلب نشان‌دهندهٔ کیفیت ضعیف آب (عموماً ناشی از اکسیژن محلول کم و مواد مغذی بالا) است (Langdon *et al.*, 2006). عدد مقاومت این خانواده در جدول هیلسنهوف شش و برای جنس (*Chironomus sp.*) ده است. بیشترین فراوانی نسبی

Archive of SID

www.SID.ir

(*Chironomidae*) در ایستگاه شش (قبل از دریاچهٔ سد لتیان) و ایستگاه دو (فشم رودخانهٔ گرمابدر قبل از تلاقی با رودخانهٔ میگون) مشاهده شد.

زودمیران (*Ephemeroptera*) به‌منزلهٔ موجودات حساس نسبت به استرس‌های محیطی درخور توجه هستند. با این وجود خانواده (*Baetidae*) در شرایط محیط زیستی ضعیف‌تر غالبیت می‌یابند. Hall و همکاران (2004) بیان کردند خانواده (*Baetidae*) نسبت به غنای مواد مغذی مقاوم‌اند. عدد مقاومت این خانواده نسبت به آلودگی در جدول هیلسنهوف چهار و برای جنس (*Baetis sp.*) شش است. بیشترین درصد فراوانی (*Beatidae*) در ایستگاه پنجم (حاجی‌آباد) مشاهده شد.

براساس نتایج حاصل از این پژوهش همهٔ شاخص‌های زیستی مطالعه‌شده رابطهٔ معناداری با شاخص شیمیایی کیفیت آب‌های سطحی ایران نشان دادند و به‌طور خاص شاخص زیستی هیلسنهوف و BMWP/ASPT بیشترین همبستگی را با شاخص شیمیایی ارائه کردند. طبقه‌بندی کیفیت آب منطقهٔ مطالعه‌شده براساس شاخص زیستی هیلسنهوف در بیشتر ایستگاه‌ها با ارزیابی به روش شاخص BMWP/ASPT مطابقت داشت و این دو شاخص در بیشتر ایستگاه‌ها طبقهٔ کیفی متناسب با طبقه‌بندی کیفی براساس شاخص شیمیایی استفاده‌شده در این مطالعه نشان دادند. شاخص زیستی هیلسنهوف ایستگاه‌های مطالعاتی را در دو کلاس متوسط و ضعیف طبقه‌بندی کرد که کلاس خیلی‌خوب تنها در ایستگاه آب نیک مشاهده شد. این ایستگاه در بالادست مناطق مسکونی واقع است و آلاینده‌های کمتری به آن وارد می‌شود. کلاس کیفی ضعیف در ایستگاه‌های دو و شش مشاهده شد. به نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل آلودگی آب در این منطقهٔ مطالعاتی، ورود فاضلاب‌های خانگی و رستوران‌های حاشیهٔ رودخانه به آن، تخلیهٔ زباله در حریم رودخانه و حضور گردشگران باشد.

شاخص زیستی BMWP/ASPT ایستگاه‌های مطالعاتی را در فصول مختلف در سه کلاس کیفی تمیز، احتمال آلودگی متوسط و احتمال آلودگی شدید طبقه‌بندی کرد. کلاس کیفی تمیز تنها در ایستگاه آب نیک و ایستگاه‌های دو، سه، پنج و شش در کلاس کیفی احتمال آلودگی شدید قرار گرفتند.

بنابراین، براساس همبستگی شاخص‌های زیستی با شاخص شیمیایی کیفیت آب‌های سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$)، شاخص زیستی هیلسنهوف و BMW/ASPT شاخص‌های مناسب‌تری برای ارزیابی کیفیت منطقهٔ مطالعه‌شده هستند. این نتیجه با مطالعات مشابه Pyung-Rim و همکاران (1998)، (2006) Korycinska و Krolak، (2009) Esmaeeli Sari و Kamali، Naderi و همکاران (2011) و در زمینهٔ کاربرد شاخص‌های زیستی برای ارزیابی کیفیت رودخانه تشابه دارد.

براساس مطالعات Barbour و همکاران (1999)، Vlek و همکاران (2004)، Maloney و Feminella (2006) و Luke و Johnson (2009)، شاخص‌های مولتی‌متریک نسبت به شاخص‌های یگانه نتایج دقیق‌تری ارائه می‌کنند زیرا شاخص‌های یگانه تحت‌تأثیر تغییرپذیری‌های طبیعی فصلی و سالانه قرار می‌گیرند. اما شاخص‌های مولتی‌متریک از آنجا که ترکیبی از متریک‌هایی هستند که هر یک توصیف‌کنندهٔ یکی از اجزای کیفیت اکوسیستم‌اند و با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی منطقه توسعه می‌یابند، ارزیابی دقیق‌تر و مناسب‌تری از یکپارچگی اکوسیستمی رودخانه را فراهم می‌کنند.

MMIF یک شاخص مولتی‌متریک تشکیل‌شده از پنج متریک تعداد تاکسون‌ها، تعداد تاکسون‌های EPT، تعداد کل تاکسون‌های حساس (به‌جز EPT)، شاخص تنوع شانون- وینر و عدد مقاومت میانگین است (Gabriels *et al.*, 2010). این شاخص در رهنمود چارچوب آب[1] کشورهای اتحادیهٔ اروپایی، کالیبراسیون درونی شده و مورد استفاده است. باید گفت که MMIF برای ارزیابی رودخانه‌های کشور بلژیک ایجاد شد که یک

1. Water Framework Directive (WFD)

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص نوع- ویژه براساس ویژگی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی رودخانه‌های بلژیک است. به‌رغم اینکه این شاخص برای نوع رودخانه‌های ایران ایجاد نشده است و تنها براساس شباهت جغرافیایی و آب و هوایی رودخانهٔ مطالعه‌شده با رودخانه‌های اروپایی انتخاب شد، بین نتایج ارزیابی این شاخص با شاخص‌های زیستی دیگر مطابقت وجود داشت. MMIF کیفیت آب منطقه را در دو کلاس متوسط و ضعیف طبقه‌بندی کرد که کلاس متوسط در ایستگاه آب نیک و شمشک مشاهده شد. بقیهٔ ایستگاه‌ها در کلاس ضعیف قرار داشتند. می‌توان اشاره کرد مهم‌ترین ضعف به‌کارگیری این شاخص، وجود تفاوت‌های فیزیکوشیمیایی بین رودخانهٔ جاجرود و رودخانه‌های کشور بلژیک باشد که استفاده از این شاخص بدون سازگارکردن و کالیبره‌کردن آن براساس ویژگی‌های رودخانه‌های ایران را محدود می‌کند.

NJIS هم یک شاخص مولتی‌متریک در سطح خانواده است که از متریک‌های غنای کل تاکسون‌ها (تعداد کل خانواده‌ها)، شاخص EPT، درصد خانوادهٔ غالب، درصد EPT و شاخص زیستی هیلسنهوف در سطح خانواده تشکیل شده است (Kurtebnach, 1991). این شاخص تا قبل از سال ۲۰۰۷ در نیوجرسی کاربرد داشت. سپس برای ارزیابی صحیح‌تر وضعیت بیولوژیکی، NJIS براساس مناطق جغرافیایی نیوجرسی (سه ناحیهٔ جغرافیایی مختلف) به سه شاخص مولتی‌متریک در سطح جنس توسعه یافت. اما به‌دلیل تفاوت شرایط جغرافیایی این سه ناحیه با منطقهٔ مطالعه‌شده امکان استفاده از شاخص‌های جدید وجود نداشت. می‌توان گفت ضعف استفاده از این شاخص، سطح شناسایی تاکسونومیک مورد نیاز برای متریک‌های آن در سطح خانواده است که دقت نتایج را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. با این وجود این شاخص با شاخص‌های زیستی دیگر همبستگی معنادار ارائه کرد.

بررسی تنوع و فراوانی بزرگ بی‌مهرگان در فصول مختلف نشان داد در فصل زمستان تنوع تاکسونی مشاهده‌شده نسبت به بقیهٔ فصول در ایستگاه‌های مطالعه‌شده به استثنای ایستگاه آب نیک بسیارکم بود و در همهٔ ایستگاه‌ها خانوادهٔ شیرونومیده غالب بود. Gabriels و همکاران (2010) در مطالعهٔ خود توصیه کردند بهتر است نمونه‌برداری طی فصل بهار، تابستان و پاییز انجام گیرد و در فصل زمستان به‌دلیل اینکه رژیم هیدرولوژیکی و دمای جریان‌های آبی در حد کرانه‌ای خود قرار می‌گیرند، از برداشت نمونه‌های زیستی اجتناب کرد. احتمالاً تنوع کم بی‌مهرگان مشاهده‌شده در فصل زمستان در مطالعهٔ حاضر نیز به همین علت بود و می‌توان گفت فصل زمستان برای برداشت نمونه‌های بزرگ بی‌مهرگان در این منطقهٔ مطالعاتی مناسب نیست. ایستگاه سه هم در فشم واقع شده است که پذیرندهٔ فاضلاب‌های خانگی است که عمده‌ترین منبع آلودگی در منطقه محسوب می‌شود.

۱.۴. نتیجه‌گیری

بسیاری از کشورها به‌طور موفقیت‌آمیزی در حال استفاده از پروتکل‌های ارزیابی سریع هستند و لازم است این پروتکل‌ها به‌دلیل اهمیتشان در ارزیابی کیفی، در ایران نیز توسعه یابند. کاربرد شاخص‌های زیستی مختلف به همراه شاخص فیزیکی- شیمیایی $IRWQI_{SC}$ در این مطالعه نشان داد شاخص زیستی هیلسنهوف و BMWP/ASPT شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی کیفیت رودخانهٔ جاجرود است. ارزیابی زیستی کیفیت منطقهٔ مطالعه‌شده نشان داد به استثنای ایستگاه آب نیک و شمشک، بقیهٔ ایستگاه‌ها به‌خصوص در اواخر بهار از وضعیت مطلوبی برخوردار نیستند و نیاز به مدیریت و کنترل منابع آلایندهٔ آن‌ها دارند. به‌رغم اینکه شاخص‌های مولتی‌متریک نسبت به شاخص‌های یگانه ارزیابی دقیق‌تری از وضعیت اکولوژیکی ارائه می‌کنند، از آنجا که براساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و نواحی جغرافیایی هر منطقه تعریف می‌شوند برای ارزیابی کیفیت رودخانه‌های ایران نیاز به کالیبره‌شدن دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

REFERENCES

1. Ahmadi, M. R. and Nafisi, M., 2001. Identification of running water invertebrates indicator. Kheybar Press. First volume, 240p. (in Persian).
2. Armitage, P., Cranston, P.S. and Pinder, L.C.V., 1995. The *Chironomidae*: the Biology and ecology of non-biting midge. Chapman & Hall, New York.
3. Armitage, P.D., Moss, D., Wright, J.F. and Furse, M.T., 1983. The performance of a new biological water quality score based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. Water Resource. 17, 333-347.
4. Azrina, M. Z., Yap, C. K., Rahim Ismail, A., Tan, S. G., 2005. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia, Ecotoxicology and Environmental Safety 64(2006) 337-347.
5. Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. and Stribling, J.B., 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and river: Pryphyton, Benthic Macroinvertebrates and fish, 2nd edition, EPA, 841 – B-99-002 USEPA, Washington D.C. 408p.
6. Bass, D., 1995. Species composition of aquatic macroinvertebrates and environmental conditions in cucumber creek, Proc. Okla. Sci. 75:39. 46.
7. Friedrich, G., Chapman, D., and Beim, A., 1996. The Use of Biological Material in Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, 2nd ed. Deborah Chapman (ed). E & FN Spon, New York.
8. Gabriels, W., Lock, K., De Pauw, N., and Goethals, P.L.M., 2010. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium). Limnologica 40 (2010) 199-207.
9. Grbovi, S., Walley, J., Kompare, B., 1997. Using machine learning techniques in the construction of models. Part II: Rule induction. Ecology Modeling. 1997. 95:95-111.
10. Hall, L.W., Author, Reprint Author Hall Lenwood, W.J., 2006. Characterization of benthic communities and physical habitat in the Stanislaus, Tuolumne, and Merced Rivers, California. Environmental Monitoring and Assessment. 115, 223-264.
11. Hartmann, A., 2007. Field key for selected benthic invertebrates from the HKN region. Draft version February 2007.
12. Hashemi, S. H., Pourasghar, F., Nasrabadi, T., Ramezani, S., Khoshrou, Gh., 2011. Guide to Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters, (in Persian).
13. Hilsenhoff, W.L., 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J. N. Am. Benthol. Soc. 7(1):65-68.
14. Hynes, H.B., 1970. The ecology of Running Water, University of Toronto Press, Canada. 555p.
15. Kamali, M. and Esmaeeli Sari, A., 2009. Biological assessment of Lasem River (Amol city, Mazandaran province) by using benthic macroinvertebrate population structure. Journal of Environmental Sciences, Lahijan unit, Vol.3, No. 1, 2009, (in Persian).
16. Karr, J.R. 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. Ecol. Appl. 1, 66-84.
17. Karr, J.R., 1998. River as senitle: Using the biology of rivers to guide landscape management, final report for USEPA, 28p.
18. Korycińska, M. and Królak, E., 2006. The Use of Various Biotic Indices for Evaluation of Water Quality in the Lowland Rivers of Poland (Exemplified by the Liwiec River). Polish J. of Environ. Stud. Vol 15, No. 3(2006), 419-428.
19. Kurtenbach, J., 1991. A method for rapid bioassessment of streams in New Jersey using benthic macroinvertebrates. Bull. N. Am. Benth. Soc. 8(1):129.
20. Langdon, P. G., Ruiz, Z., Brodersen, K. P., Foster, I. D. L., 2006. Assessing lake eutrophication using chironomids: understanding the nature of community response in different lake types. Freshwater biology. 51: 562-577.

Archive of SID

www.SID.ir

21. Lücke, J.D. and Johnson, R.K., 2009. Detection of ecological change in stream macroinvertebrate assemblages using single metric, multimetric or multivariate approach. Ecological Indicators 9(2009) 659-669.

22. Maloney, K. O. and Feminella, J. W., 2006. Evaluation of single- and multi- metric benthic macroinvertebrate indicators of catchment disturbance over time at the Fort Benning Military Installation, Georgia, USA. Ecological Indicators 6 (2006) 469-484.

23. Naderi Jelodar, M., Abdoli, A., Mirzakhani, M. K., and Sharifi Jlodar, R., 2011. Response of benthic macroinvertebrates to (Oncorhynchus mykiss) aquaculture effluent. Journal of Fishery, Natural Resources, Vol. 64, No.2, 2011, pp. 163-176.

24. Needham, J., and Needham, P.R. 1976. A guide to the study of fresh-water biology. Fifth edition, revised and enlarged. Holden-Day, INC., Sanfrancisco.

25. Needham, J.G. and Needham, P.R., 1962. A guide to the study of Fersh-water Biology. 5th ed. Holden-Day, Inc. X, 108p.

26. Norris, R. H. and Barbour, M.T., 2009. Bioassessment of aquatic Ecosystems. In: Encyclopedia od Inland Waters. Likens G. E. (ed), pp. 21-28, Elsevier, Oxford.

27. Pipan, T., 2000. Biological Assessment of Stream Water Quality the example of the Reka River (Slovenia), ACTA CARSOLOGICA, 29, 1(15): 201-222.

28. Pyung-Rim, C., Aw, S.J., Kim, J.J., and Choi, S.K., (1998). Biotic Index as Assessment Tools of Water Quality in the Han River System, Korea. Korean J. Ecol., 21(6): 759-770.

29. Quiyley, M., 1977. Invertebrates of streams and rivers. Edward Arnold (1977).

30. Rey Ab Consulting Engineers, 2009. Report of Upgrade Study of Pollution Resources in the Basin of Jajrood River. Second Volume: Consolidated- Revised, (in Persian).

31. Rezaee Tavabe, K., Azad, L.T. and Fazlolahi, A., 2008. Biological Evaluation of Darjazin River at Semnan Providence of Iran. ICCBT 2008-D-(11)pp115-120.

32. Rosenberg, D.M., 1999. Protocols for Measuring Biodiversity: Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters, Department of Fisheries and Ocean, Freshwater Institute, Winnipeg, Manitoba, 42p.

33. Sharma, S., and Moog, O., 1998. The Use of Biotic Index and Score Methods in Biological Water Quality Assessment of the Nepalese River. In: Chalise, S.R., Herrmann, A., Khanal, N. R., et al., eds., Ecohydrology of High Mountain Area. ICIMOD, Kathmandu, Nepal. 641-657.

34. Sioli, H., 1975. Tropical Rivers as Expressions of their Terrestrial and Aquatic Research, Springer varleg New York, pp: 275-278.

35. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1999. Copyright 1999 by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

36. Svensoon, J.M., Bergman, E. and Andersoon, G., 1999. Impact of cyprinid reduction on the benthic macroinvertebrate community and implications for increased nitrogen retention. Hydrobiologia, 404: 99-112.

37. Tachet, H., Bournaud, M., and Richoux, P., 1996. Introduction à l' étude des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique). Centre Régional de Documentation Pedagogique, de I'Académic de Lyon, France.

38. Vlek, H. E., Verdonschot, P. F. M. and Nijboer, R. C., 2004. Towards a multimetric index for the assessment of Dutch streams using benthic macroinvertebrates. Hydrobiologia 516, 173-189 (special issue: Integrated Assessment of Running Waters in Eurpoe (Guest Editors: D. Hering, P. F. M. Verdonschot, O. Moog, L. Sandin)).

Archive of SID

www.SID.ir