علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره ده، دی ماه ۹۸

استفاده از شاخص‌های زیستی ماکروبنتوزها در تعیین سلامت اکولوژیکی آب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بختگان)

حبیب مرادپور[۱]

جابر اعظمی*[۲]

j.aazami@znu.ac.ir

عباسعلی زمانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۰۵ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۴**

چکیده

زمینه و هدف: از آن‌جایی‌که گونه‌های ماکروبنتوزها به طور قابل توجهی نسبت به آلودگی‌های محیط‌زیست حساسیت نشان می‌دهند؛ می‌توان از تغییرات ساختار اکولوژیک آن‌ها برای استنتاج بار آلودگی وارد شده به اکوسیستم استفاده کرد. لذا مطالعه حاضر با هدف شناسایی ماکروبنتوزها ساکن و هم‌چنین به منظور ارزیابی کارایی شاخص‌های تک معیاره و چند معیاره برای تعیین سلامت اکولوژیکی آب حوضه آبخیز بختگان در شهرستان اقلید انجام شد.

روش بررسی: از نمونه‌بردار سوربر جهت نمونه‌برداری از ۸ ایستگاه در طول مسیر رودخانه استفاده شد. ویژگی‌های شیمیایی شامل BOD، COD، نیترات، نیتریت، فسفات، آمونیاک و کلی‌فرم مدفوعی در آزمایشگاه و ویژگی‌های فیزیکی دما، pH، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، سختی کل و کدورت در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: تعداد ۸۱۶۱ ماکروبنتوزها در ۱۴ راسته و ۲۴ خانواده شناسایی شدند که بیش‌ترین فراوانی متعلق به راسته Amphipoda، خانواده Gammaridae با فراوانی ۶۶ درصد بود. ضریب همبستگی اسپیرمن (r = ۰/۸۱)، نشان داد که بین شاخص زیستی BMWP/ASPT و ویژگی‌های زیستی وابستگی بیش‌تری وجود دارد.

۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۲استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان *(مسئول مکاتبات)

۳دانشیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

بحث و نتیجه‌گیری: گرچه نتیجه‌ی تحلیل‌های آماری بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار آماری بین شاخص‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های شاهد و غیر شاهد بود (Sig > ۰/۰۵)، اما تایید می‌کرد که کیفیت زیستی آب در تمام ایستگاه‌ها در سطح متوسط به پایین می‌باشد. نتیجه‌گیری نهایی، ضمن تعیین بهترین شاخص، آن بود که وضعیت اکوسیستم مطالعه شده، مطلوب نیست.
واژه‌های کلیدی: اقلید، شاخص زیستی، کیفیت آب، بزرگ بی‌مهرگان آبزی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.10, December, 2019

The Use of Macroinvertebrate Biotic Indices for Water Ecological Quality (case study: Bakhtegan Basin)

Habib Moradpour[1]
Jaber Aazami[2*]
j.aazami@znu.ac.ir
Abbasali Zamani[3]

Accepted: 2017.06.14 Received: 2017.04.25

Abstract

Background and Objective: macroinvertebrates communities are very sensitive to environmental pollution. Therefore, we can use to derive the pollution load entering to the ecosystem via their ecological structures. This study aimed to identify macroinvertebrates as well as indicator to evaluate the ecological health of water in the Eghlid.

Methods: Thirteen physicochemical parameters have been measured including BOD, COD, NO_3, NO_2, PO_4, NH_4, Fecal Coliforms, Temperature, pH, EC, DO, Total Hardness and Turbidity in Eghlid Rivers (Sefid and Gavgodar parts), Fars province- Iran.

Findings: Based on the results, 8161 macroinvertebrates were identified from 14 orders and 24 families with 66 % frequency of Gammaridea belong to Amphipoda order as the most collected family.

Discussion and Conclusion: With regard to Spearman correlation (r=0.81), the BMWP/ASPT index had the most dependency with the abiotic parameters. Although, the results didn't show any significant differences between references and impaired stations (sig > 0.05), but the category of water ecological quality was in moderate to low in all studied stations. This study concluded the ecological status of water in the studied area is not desirable.

Keywords: Eghlid, Biotic Index, Water Quality, Macroinvertebrate.

1- MSc, Department of Environment Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan
2- Assistant Professor, Department of Environment Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran. (Corresponding Author)
3- Associate Professor, Department of Environment Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

مقدمه

رودخانه‌ها در بین اکوسیستم‌های آبی، تنها منابع آبی هستند که مسیرهای طولانی را از میان اکوسیستم‌های مختلف کوچک و بزرگ (هم‌چون کوه‌ها، جنگل‌ها، شهر و روستاها، مناطق کشاورزی، پرورش‌ماهی و ...) طی می‌کنند و به عنوان اصلی‌ترین منبع تامین نیاز شرب، کشاورزی و صنعت هر منطقه قلمداد می‌شوند (۱). بنابراین تعیین میزان آلودگی آن‌ها شاخصی از آلودگی محیط‌زیست است. در تعیین آلودگی یک محیط آبی، در دست داشتن اطلاعات فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن محیط لازم است. در واقع این اطلاعات مکمل یکدیگر هستند و وجود همه آن‌ها برای تجزیه و تحلیل‌های درست، ضروری است (۲). البته مطالعات زیستی نقش پر رنگ‌تری دارند چراکه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در همان محدوده زمانی وجود آلودگی، نشان‌دهنده تغییرات کمی و کیفی آب می‌باشد، درحالی که موجودات زندهٔ آبزی در جریان آلودگی دست‌خوش تغییراتی می‌شوند که با مطالعه روی این جانوران می‌توان به وجود آلودگی دریک بازه زمانی طولانی پی برد (۳). از آن‌جایی‌که گونه‌های ماکروبنتوزهای آب شیرین به طور قابل توجهی نسبت به آلودگی‌های محیط‌زیست حساسیت نشان می‌دهند؛ می‌توان از تغییرات ساختار زیستی آن‌ها (فراوانی، تنوع، غالبیت و یکنواختی) برای استنتاج بار آلودگی وارد شده به اکوسیستم استفاده کرد. در رودخانه‌های طبیعی و دست‌نخورده، تنوع و غنای بالایی ازاین گونه‌ها یافت می‌شود (۴). مطالعات متعددی در شهرستان اقلید صورت گرفته که با استفاده از شاخص‌های فیزیکوشیمیایی به مطالعه کیفی آب سرچشمه‌ها و چاه‌های شرب پرداخته‌اند که در مورد سرچشمه‌ها گزارش کردند در صورت عدم رعایت قوانین محیط‌زیستی خطر آلودگی و چاه‌های نزدیک به روستای آسپاس دارای آلودگی نیترات می‌باشد (۵, ۶). اما مطالعه حاضر با هدف شناسایی ماکروبنتوزهای ساکن و هم‌چنین به منظور ارزیابی کارایی شاخص‌های تک معیاره و چند معیاره برای تعیین سلامت زیستی آب حوضه آبخیز بختگان در شهرستان اقلید با استفاده از ساختار جامعه‌ی ماکروبنتوزها برای نخستین بار انجام شد. وضعیت کیفی آب توسط شاخص منتخب کیفی آب ایران ارزیابی گردید.

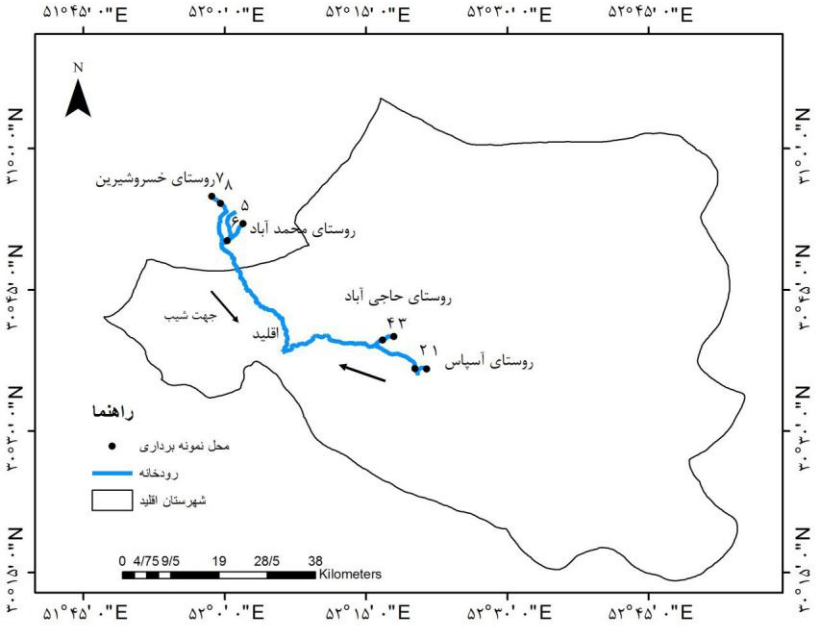
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: اقلید یکی از شهرهای شمالی استان فارس است که از شمال به شهرستان آباده، از جنوب به شهرستان‌های مرودشت و سپیدان، از شرق به شهرستان خرم‌بید و از غرب به استان‌های اصفهان و کهکیلویه و بویراحمد محدود می‌شود. از مهم‌ترین رودخانه‌های منتهی به سد ملاصدرا رودخانه‌ی سفید و گاوگدار می‌باشد که یکی از سرچشمه‌های مهم رود کر در حوضه آبی بختگان است. این شهرستان، حوضه‌ی آبخیز دریاچه بختگان می‌باشد. رودخانه سفید از چشمه‌های خسروشیرین و محمدآباد سرچشمه می‌گیرد و به سد ملاصدرا منتهی می‌شود. رودخانه گاوگدار از چشمه‌های بالنگان و آسپاس سرچشمه می‌گیرد و پس از به هم پیوستن، به سد ملاصدرا وارد شده و با گذشتن از تنگ براق با شاخه دِژکُرد یکی شده و به نام رودخانه کر وارد دشت کامفیروز و سد درودزن شهرستان مرودشت و در پایان به دریاچه بختگان ختم می‌شود. با توجه به سرشاخه‌ها و شاخه‌های فرعی رودخانه، امکان دسترسی و موقعیت کاربری‌های مختلف اراضی از جمله منطقه‌های مسکونی، تفریحی و مزرعه‌های پرورش‌ماهی در هشت ایستگاه در اوایل پاییز ۱۳۹۵ نمونه‌برداری انجام شد. در (جدول۱) و (شکل ۱) نام و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است. ایستگاه شاهد، ایستگاهی است که کمترین آسیب را از فعالیت‌های انسانی دارد. همچنین اگر چنین ایستگاهی در منطقه مورد مطالعه وجود نداشت، از منطقه مجاور با شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی مشابه استفاده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حوضه‌ی آبخیز بختگان

Table 1- Specifications of sampling stations located in Bakhtegan

کد ایستگاه	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	سرچشمه آسپاس	شاهد	۱۹□ ۴۰□ ۵۲°	۳۳□ ۶۴□ ۳۰°
۲	خروجی آسپاس	غیرشاهد	۱۹□ ۳۹□ ۵۲°	۲۷□ ۶۴□ ۳۰°
۳	سرچشمه حاجی آباد	شاهد	۰۴□ ۲۹□ ۵۲°	۸۵□ ۶۶□ ۳۰°
۴	خروجی حاجی آباد	غیرشاهد	۷۵□ ۲۸□ ۵۲°	۶۰□ ۶۶□ ۳۰°
۵	سرچشمه محمد آباد	شاهد	۶۳□ ۰۲□ ۵۲°	۷۶□ ۸۳□ ۳۰°
۶	خروجی محمد آباد	غیرشاهد	۶۱□ ۰۱□ ۵۲°	۸۴□ ۸۳□ ۳۰°
۷	سرچشمه خسروشیرین	شاهد	۵۳□ ۰۰□ ۵۲°	۷۲□ ۸۹□ ۳۰°
۸	خروجی خسروشیرین	غیرشاهد	۵۲□ ۰۰□ ۵۲°	۳۹□ ۸۹□ ۳۰°



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Figure 1- Location of sampling sites

سنجش پراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب

پراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی از جمله هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، دما و pH در محل با استفاده از دستگاه آنالیز صحرایی چندکاره (Hach HQ 40d) اندازه‌گیری شد. در ادامه، نمونه‌های آب برای اندازه‌گیری BOD، COD، نیترات، نیتریت، فسفات، آمونیاک، کلی‌فرم مدفوعی، سختی کل و کدورت با استفاده از دستورالعمل‌های کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب تهیه و مقادیر آن‌ها در آزمایشگاه معتمد اداره آب منطقه‌ی فارس تعیین شد (۷). شاخص فیزیکی و شیمیایی $IRWQI_{SC}$[1] متداول‌ترین شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران بر مبنای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی است که از آن در این مطالعه استفاده گردید.

سنجش ویژگی‌های زیستی

نمونه‌برداری از ماکروبنتوزها به کمک دستگاه نمونه‌بردار سوربر با مساحت ۹۰۰ سانتی‌متر مربع (۳۰ * ۳۰) و اندازه مش ۲۵۰ میکرون با سه بار تکرار در هر ایستگاه انجام شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در ظرف‌های پلاستیکی با فرمالین ۴ درصد تثبیت و به آزمایشگاه منتقل و شناسایی شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

جهت محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی و تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزارهای تخصصی زیستی Past (۸)، SPSS و Excel استفاده گردید و آزمون شاپیرو-ویلک جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها به کار برده شد و به دلیل عدم پیروی داده‌ها از توزیع نرمال و عدم نتیجه در تلاش برای نرمال‌سازی، از آزمون‌های مختص داده‌های ناپارامتری شامل همبستگی اسپیرمن و من‌ویتنی‌یو استفاده شد. پیش از مقایسه نتایج شاخص‌ها، مقدار عددی آن‌ها با استفاده از فرمول تخصصی استانداردسازی زیستی (۹) به عدد یک استاندارد شدند (معادله ۱).

معادله ۱

$$N = \frac{x-m}{M-m}$$

در این معادله، N عدد نرمال شده، x عدد بدست آمده، m کوچک‌ترین عدد و M بزرگ‌ترین مقدار عددی شاخص در ایستگاه‌ها است.

نتایج

در مجموع تعداد ۸۱۶۱ ماکروبنتوزها در ۱۴ راسته و ۲۴ خانواده شناسایی شدند، که بیش‌ترین فراوانی متعلق به راسته Amphipoda، خانواده Gammaridae با بیش از ۶۶ درصد فراوانی نسبت به کل ماکروبنتوزها بود.

جدول ۲ میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در محدوده‌ی مورد مطالعه بازه‌ی تغییرات آمونیوم نسبت به سایر آلاینده‌های معدنی (نیترات، نیتریت و فسفات) در ایستگاه‌های دیگر بیش‌تر است (۰/۲۷-۰/۰۱) و هم‌چنین بازه‌ی تغییرات عددی فسفات نسبت به پراسنجه‌های دیگر در ایستگاه‌های مذکور متفاوت بود (۰/۰۴-۰/۳۱).

بیش‌ترین همبستگی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مربوط به همبستگی مثبت و بسیار قوی BOD و COD (R^2=۰/۹۰ و r=۰/۹۵) در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد بود در حالی که در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد میزان کلی‌فرم و فسفات (R^2=۰/۵۵ و r=-۰/۷۵) همبستگی منفی و به نسبت قوی داشتند. بین سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده رابطه همبستگی آماری معنی‌دار وجود ندارد

1- Iranian Water Quality Index-Surface Water Resources

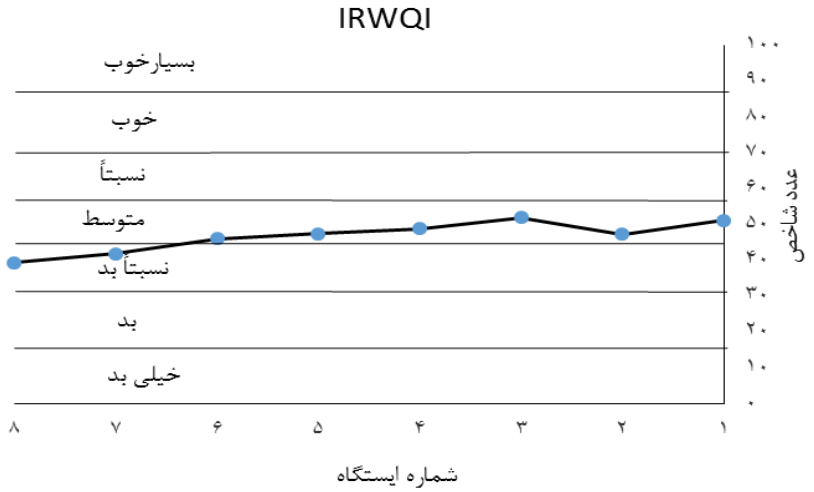
جدول۲- میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

Table 2- Mean and standard deviation of physical and chemical properties

	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	ایستگاه ۶	ایستگاه ۷	ایستگاه ۸
TH (mg/L)	۱۲/۵۰±/۵۰ ۲۳۷	۶/۲۹±/۱۷ ۱۹۴	۸/۷۸±/۶۷ ۱۹۱	۱۷/۰۲±۱۷/۰۲ ۱۶۹	۱۷/۰۲±۱۷/۰۲ ۱۸۰	۲/۸۹±/۶۷ ۲۰۱	۲/۵۰±/۵۰ ۲۱۲	۱۱/۴۶± ۱۸۵
NO^{3-} (mg/L)	۸/۶۹±۰/۰۷	۹/۱۲±۰/۶۱	۸/۷۹±۰/۰۸	۸/۷۳±۰/۰۲	۹/۱۱±۰/۰۵	۰/۰۹±۰/۰۴ ۱۱	۸/۸۴±۰/۲۹	۰/۰۱±۰/۳۴ ۱۰
NO^{2-} (mg/L)	۰/۰۱±۰/۰۰	۰/۰۳±۰/۰۰	۰/۰۱±۰/۰۰	۰/۰۱±۰/۰۰	۰/۰۱±۰/۰	۰/۰۲±۰/۰۰	ND	۰/۰۱±۰/۰۰
$PO4^{3-}$ (mg/L)	۰/۰۴±۰/۰۲	۰/۳۱±۰/۰۶	۰/۰۸±۰/۰۱	۰/۱۷±۰/۰۱	۰/۰۹±۰/۰۲	۰/۱۰±۰/۰۳	۰/۱۰±۰/۰۳	۰/۱۴±۰/۰۵
$NH4^{+}$ (mg/L)	۰/۱۳±۰/۰۱	۰/۱۴±۰/۰۲	۰/۱۲±۰/۰۱	۰/۱۷±۰/۰۱	۰/۲۷±۰/۰۳	۰/۰۱±۰/۰۱	۰/۰۳±۰/۰۱	۰/۳۰±۰/۰۷
BOD	۱۲/۸۳±۰/۳۸	۰/۰۲±۰/۸۰ ۱۴	۹/۷±۰/۳۳ ۱۰	۱۴/۷۷±۰/۸۸	۱۴/۵۳±۰/۶۸	۱۶/۴۶±۰/۶۴	۲۴±۱/۳۲	۸/۳±۱/۳۹ ۲۳
COD	۲۳±۰/۵۰	۲۵/۱۷±۱/۷۶	۲۲/۱۷±۰/۷۶	۲۶/۱۷±۱/۲۶	۲۷/۳۳±۲/۸۴	۷/۱۷±۰/۵۸ ۳۱	۴۶/۵۰±۳/۶۱	۴۷±۴/۳۶
Turbidity	۰/۳۳±۰/۰۳	۰/۳۶±۰/۰۸	۰/۴۰±۰/۰۵	۰/۳۵±۰/۰۳	۰/۲۸±۰/۰۶	۰/۱۷±۰/۰۳	۰/۳۳±۰/۰۳	۰/۴۲±۰/۱۳
pH	۷/۵۹±۰/۰۵	۷/۷۱±۰/۰۴	۷/۴۱±۰/۰۸	۷/۸۰±۰/۰۵	۷/۳۲±۰/۱۱	۷/۹۴±۰/۰۳	۷/۶۱±۰/۰۱	۷/۷۹±۰/۰۱
DO (mg/L)	۶/۲۹±۰/۰۵	۳/۷۵±۰/۰۵	۷/۰۶±۰/۰۹	۶/۶۳±۰/۰۱	۴/۹۷±۰/۰۴	۵/۳۴±۰/۰۹	۵/۹۳±۰/۰۲	۶/۳۱±۰/۰۸
EC	۳۳۶±۲/۰۰	۳۴۱±۰/۰۰	۳۱۱/۵۸±۰/۳۳	۳۰۵±۰/۰۰	۲۹۲/۵۸±۰/۳۳	۳۱۰/۵۸±۰/۳۳	۳۷۱/۵۸±۰/۳۳	۳۵۹±۰/۰۰
T (˚C)	۱۴/۹۰±۰/۲۶	۱۴/۱۷±۰/۰۶	۱۴/۴۳±۰/۰۶	۱۴/۵۰±۰/۰۰	۱۳/۴۷±۰/۰۶	۹/۹۰±۰/۱۰	۱۵/۶۳±۰/۱۵	۱۴/۲۳±۰/۰۶
Total Coliform	۴/۰۰±۰/۰۰	ND	۴/۰۰±۰/۰۰	ND	ND	۳/۰۰±۰/۰۰	ND	ND

ND: غیر قابل سنجش برای دستگاه

شکل ۲، روند تغییرات عددی شاخص $IRWQI_{SC}$ را نشان می‌دهد که آخرین ایستگاه (خروجی پرورش‌ماهی) کم‌ترین امتیاز را دارد و تمامی ایستگاه‌ها دارای بازه‌ی آلودگی مشابه هستند.



شکل ۲-نتایج شاخص $IRWQI_{SC}$

Figure 2- Results of IRWQISC index

در جدول ۳ نتایج شاخص‌های زیستی آورده شده است. آخرین ایستگاه (۸) کم‌ترین مقدار عددی شاخص‌های زیستی را دارد. تغییرات عددی شاخص EPT به دلیل در نظر گرفتن تنها تعداد افراد خانواده‌های سه راسته مذکور بسیار بیش‌تر از سایر شاخص‌ها است. در حالی که سایر شاخص‌های زیستی مورد بحث به ماکروبنتوزها امتیازی داده و و در واقع از رابطه‌های نسبی، مقایسه می‌شود.

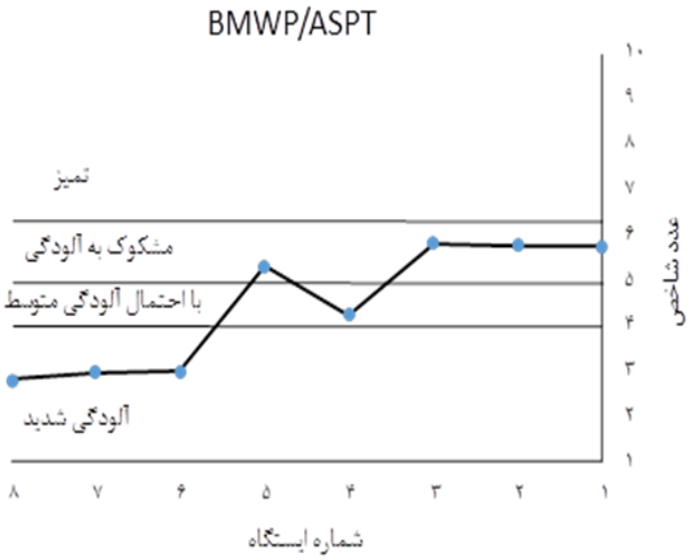
جدول۳- نتایج شاخص‌های زیستی(استاندارد شده با استفاده از معادله ۱) و شاخص فیزیکی و شیمیایی

Table 3- Results of biological indicators (standardized using the equation 1) Physical and chemical index

ایستگاه	TBI	BMWP/ASPT	HFBI	EPT	NJIS	Simpson	Shannon	$IRWQI_{SC}$
۱	۰/۰۰	۰/۹۸	۰/۸۰	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۵۱/۲۰
۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۷/۲۰
۳	۰/۴۴	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۰۹	۰/۶۷	۰/۳۵	۰/۲۹	۵۱/۹۰
۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۸۵	۰/۶۹	۴۸/۹۰
۵	۰/۵۰	۰/۹۸	۰/۶۷	۱/۰۰	۰/۶۷	۰/۰۶	۰/۰۴	۴۷/۵۰
۶	۰/۵۰	۰/۴۷	۰/۹۱	۰/۲۷	۰/۶۷	۰/۸۷	۰/۷۷	۴۶/۰۰
۷	۰/۸۸	۰/۰۵	۰/۴۹	۰/۲۷	۱/۰۰	۰/۹۴	۰/۸۴	۴۱/۸۰
۸	۱/۰۰	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۵۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۳۹/۴۰

رابطه‌ی همبستگی قوی مثبتی بین شاخص NJIS و شاخص تنوع Shannon در سطح ۹۹ درصد وجود دارد (R^2=۰/۷۰ و r=۰/۸۴). هم‌چنین نتایج ارتباط منفی شاخص تنوع Shannon و BMWP/ASPT را در سطح ۹۵ درصد نشان می‌دهد (R^2=۰/۶۹ و r=-۰/۸۳). نکته‌ی مهم همبستگی‌های مشاهده شده، عدد همبستگی BMWP/ASPT به $IRWQI_{SC}$ با مقدار مثبت (R^2=۰/۶۵ و R=۰/۸۱) است که از نظر آماری بیان‌گر کارایی بالاتر شاخص مذکور نسبت به سایر شاخص‌های زیستی در منطقه مورد مطالعه است. گرچه پس از شاخص مذکور نتایج شاخص Shannon با شاخص فیزیکی و شیمیایی از نظر آماری ارتباط همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد دارد (R^2=۰/۶۰ و r=-۰/۷۸).

در ادامه جهت مقایسه مقدار نرمال شده کمی شاخص‌های منتخب (BMWP/ASPT و $IRWQI_{SC}$) وضعیت ایستگاه‌های شاهد و غیر شاهد در منطقه مورد مطالعه از آزمون من‌ویتنی‌یو استفاده و نتایج آزمون نشان داد که از نظر شاخص زیستی منتخب (BMWP/ASPT)، اختلاف معنی‌دار آماری بین ایستگاه‌های شاهد و غیر شاهد وجود ندارد (P. Value=۰/۵۶) هم‌چنین نتایج شاخص $IRWQI_{SC}$ نیز این نتیجه را تأیید می‌کند. در واقع اختلاف معنی‌دار آماری بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده از نظر کیفیت آب وجود ندارد (P. =۰/۲۴ Value). شکل ۳ نشان دهنده وضعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه با شاخص BMWP/ASPT است که سه ایستگاه (۶، ۷ و ۸) آخر در وضعیت آلودگی شدید، ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۵ در وضعیت مشکوک به آلودگی و ایستگاه ۵ در وضعیت آلودگی متوسط قرار گرفته‌اند.



شکل ۳- طبقه بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص BMWP/ASPT

Figure 3- Classification of stations studied using the index BMWP / ASPT

بحث

ماکروبنتوزها به دلیل تنوع گونه‌ای بالا، می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای تغییرات اکوسیستم‌های آبی باشند و خانواده‌های مختلف آن‌ها با توجه به شرایط محیط‌زیستی متنوع، در اکوسیستم‌های مختلف زیست می‌کنند (۱۰). حوضه‌ی آبخیز بختگان (اقلید) نیز دارای شرایط متنوعی از محیط زیست بوده، به طوری که دارای بیشینه و کمینه درجه حرارت ۳۲ و ۲۲- سانتی‌گراد است. از طرف دیگر متوسط بارندگی سالیانه در این شهرستان بین ۳۳۱-۳۱۱ میلی‌متر است (۱۱). که بهترین شرایط برای رشد و حضور گونه‌های مختلف از راسته Amphipoda می‌باشد (۱۲). نتایج نشان داد که بیش‌ترین درصد فراوانی جمعیت این ماکروبنتوزها مربوط به راسته Amphipoda با اختلاف بسیار زیاد (۶۶/۴۱ درصد فراوانی) نسبت به دومین راسته از لحاظ فراوانی (Diptera؛ ۸ درصد فراوانی) است (جدول ۲). ایستگاه اول در سرچشمه رودخانه آسپاس در مرکز روستای آسپاس قرار دارد و سلامت کیفی آب رودخانه تحت تأثیر چاه‌های دفع فاضلاب بود؛ نه تنها در روستای مذکور بلکه در بسیاری از شهرهای ایران سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب انسانی وجود ندارد. مقدار بالای کلی‌فرم مدفوعی تاییدی در مدیریت نامناسب فاضلاب انسانی است (۱۳). مقدار اکسیژن خواهی زیستی برای ایستگاه مذکور از حد استاندارد آب‌های سرچشمه رودخانه (نزدیک به یک) فراتر می‌باشد (۱۴) که باید در این زمینه نیز مراقبت‌های لازم برای استفاده‌های آشامیدنی شود. مقدار بالای سختی موجود در ایستگاه مذکور مربوط به ویژگی‌های زمین شناختی منطقه است که بالاترین مقدار سختی را در میان ایستگاه‌ها با میانگین عددی ۲۳۷ دارد البته مقدار آلاینده‌های معدنی (نیترات، نیتریت، آمونیوم و فسفات) در ایستگاه مذکور به دلیل عدم تماس مستقیم کود و سموم و سایر منابع آلاینده انسانی در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها به‌نسبت کم‌تر است. ایستگاه دوم که در حدود ۲۰۰ متری خروجی روستای آسپاس قرار داشت مقدار کلی‌فرم مدفوعی نزدیک به صفر و غیر قابل تشخیص برای دستگاه بود و این خود گواه بر منشاء آلودگی آلی ناشی از فاضلاب انسانی است؛ به طوری که با فاصله گرفتن از روستا (منشاء) این مقدار به صفر نزدیک می‌شود. نتایج مطالعه ترابیان و همکاران نیز تأیید می‌کند که با دور شدن از مرکز کانونی فاضلاب انسانی مقدار کلی‌فرم کاهش می‌یابد (۱۵). مقدار عددی کم‌تر سختی در این ایستگاه نسبت به ایستگاه پیش‌تر بیان‌گر منشأ زمین شناختی سختی در ایستگاه اول است. ایستگاه سوم در سرچشمه رودخانه حاجی‌آباد واقع شده و علی رغم فاصله به‌نسبت زیاد از روستا (بیش از ۵۰۰ متر) به دلیل قرارگیری در مسیر شیب فاضلاب‌های آن روستا مقدار کلی‌فرم مدفوعی قابل ملاحظه است (میانگین عددی ۴). در منطقه مورد مطالعه از سموم فسفره استفاده می‌شود و احتمال می‌رود این امر باعث همبستگی منفی بین فسفات و کلی‌فرم شده است. این مهم علاوه بر این‌که می‌تواند یک هشدار برای بومیان منطقه در لزوم جلوگیری از ورود فاضلاب به سرچشمه باشد؛ می‌تواند بیان‌گر فاصله گرفتن سلامت کیفی آب با توجه به مقدارهای BOD و COD نیز باشد. ایستگاه چهار در خروجی روستای حاجی‌آباد و پس از استخر پرورش‌ماهی قرار دارد؛ گرچه مقدار فسفات، BOD و COD افزایش داشته اما DO، TH و کلی‌فرم کاهش دارند که این تغییرات بیان‌گر کاهش کیفیت آب است. در مورد تأثیر پساب استخرهای پرورش‌ماهی بر اکوسیستم‌های آب جاری مطالعات پیشین نتایج این مطالعه را به خوبی تأیید می‌کنند (۱۶). ایستگاه پنجم در سرچشمه رودخانه محمدآباد و در ارتفاع بالاتر از روستا قرار دارد بنابراین شاخص آلودگی فاضلاب انسانی (کلی‌فرم مدفوعی) صفر می‌باشد در حالی که به دلیل وجود چراگاه مقدار آلودگی نیترات آمونیومی ناشی از فاضلاب دامی بسیار بالا است و از طرف دیگر به دلیل تقاضای بالای اکسیژن خواهی شیمیایی میزان اکسیژن محلول بسیار پایین اندازه‌گیری شده است. فاضلاب‌های دامی دارای مقدارهای

بالای آلودگی نیتروژنی هستند که نتایج پژوهش‌های انجام شده این موضوع را تأیید می‌کند (۱۷). هم‌چنین مقایسه نتیجه مقدار عددی آمونیومی در ایستگاه پنجم با ایستگاه ششم که در محل خروجی روستای محمدآباد، این ادعا را اثبات می‌کند. افزایش مقدار کلی‌فرم مدفوعی از ایستگاه پیش نسبت به خروجی این ایستگاه، تأیید مجدد منشاء آلودگی فاضلاب انسانی در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. به نظر می‌رسد نقش مزرعه‌های پراکنده روستا و انواع شوینده‌ها در فاضلاب انسانی در افزایش نسبی آلودگی‌های نیتروژنی و فسفری نقش مهمی دارد و این موضوع نیز پیش‌تر شده است (۱۸, ۱۹). ایستگاه هفت، سرچشمه رودخانه خسروشیرین است که در روستای خسروشیرین قرار دارد. احتمالا سختی بالای این آب ناشی از ویژگی‌های زمین شناختی منطقه است. علی رغم مقدار پایین کدورت و سایر آلاینده‌های معدنی مقدار عددی COD بسیار بالا است و ناشناخته بودن تعداد عددی سایر پراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر اکسیژن خواهی شیمیایی دلیل این نتایج است که باید علت در مطالعات بعدی بررسی شود. ایستگاه هشتم پس از استخر پرورش‌ماهی در فاصله ۲۰ متری آن قرار دارد و دارای مقدار زیادی آلودگی‌های نیتروژنی به‌ویژه نیترات و آمونیوم می‌باشد و به همین دلیل بیش‌ترین تقاضای اکسیژن خواهی شیمیایی را نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه را دارد. عدم رعایت اصول ایمنی و محیط زیستی در صنعت آبزی‌پروری، موقعیت قرارگیری نامناسب، استفاده از روش‌های سنتی پرورش‌ماهی و تکثیر بیش از اندازه از استخر مذکور سبب آلودگی محیط‌زیست آن‌جا (ایستگاه هشتم) می‌شود (۲۰, ۲۱). مقدارهای نسبی pH در تمامی ایستگاه‌ها تغییر چندانی ندارد و این می‌تواند بیان‌گر عدم آلودگی‌های صنعتی در منطقه مورد مطالعه باشد همان‌طور که یارمحمدی و همکاران در سال ۱۳۹۰ مهم‌ترین عامل تغییر در اسیدیته اکوسیستم‌های آب شیرین را وجود صنایع مختلف خصوصا صنایع فلزی برشمردند (۲۲).

نتایج شاخص فیزیکی و شیمیایی (شکل۲) به خوبی گویای تغییر عددی از ایستگاه‌های شاهد به غیر شاهد به صورت ۲ به ۲ است و همان‌طور که نادری‌جلودار و همکاران بیان کردند تأثیر پساب استخرهای پرورش‌ماهی بر شاخص کیفیت آب (ایستگاه هشتم) محسوس است (۱۶). استفاده از ویژگی‌های شیمیایی آب برای تعیین وضعیت اکوسیستم‌های آبی به منزله عکس از محیط است و فقط قادر است ویژگی همان لحظه را نشان دهد در حالی که پایش زیستی مانند تهیه فیلم از محیط، تمام وقایع را با جزییات ثبت می‌کند (۲۳). طبقه‌بندی کیفی منطقه مورد مطالعه (شکل ۳) با استفاده از شاخص زیستی منتخب در این پژوهش نشان داد به‌طورتقریبی همه ایستگاه‌ها در وضعیت مطلوبی از نظر زیستی و کیفی آب قرار ندارند، هرچند بین ایستگاه‌های شاهد و غیر شاهد، نتایج اختلاف نداشت اما فشار ناشی از پرورش‌ماهی، دامداری، فاضلاب انسانی و روستایی در منطقه به‌ویژه ایستگاه‌های آخر وجود دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

شناسایی تعداد قابل توجه خانواده‌های متنوع ماکروبنتوزها در حوضه‌ی آبخیز بختگان (اقلید) بیانگر ارزش این اکوسیستم می‌باشد. گرچه این پژوهش نخستین مطالعه‌ای است که شناسنامه‌ی مقدماتی از خانواده‌های مختلف ماکروبنتوزها این منطقه را نشان می‌دهد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (BOD، COD و DO) حاکی از فشار انسانی شدید بر اکوسیستم مورد مطالعه است؛ بنابراین ضرروی است که در مطالعات بعدی تأثیرات کاربری اراضی به‌ویژه توسعه صنعتی و شهری به همراه اثرات خشک‌سالی بر تنوع زیستی ماکروبنتوزها بررسی شود که شاخص کیفی آب نیز تأیید کننده این ادعا می‌باشد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از شاخص‌های چند معیاره به همراه تکرار آزمایشات برای دو یا چند سال انجام شود. مقایسه تنوع زیستی و تغییرات ساختار زیستی ماکروبنتوزها در منطقه مورد مطالعه با سایر اکوسیستم‌های

همسان در استان فارس یا استان‌های هم‌جوار در یک بازه زمانی یکسان به عنوان پیشنهاد بعدی مطرح است. با توجه به تطابق آماری بسیار بالای شاخص زیستی منتخب (BMWP/ASPT) به شاخص فیزیکی و شیمیایی در سطح ۹۹ درصد، استفاده و اصلاح درجه حساسیت خانواده‌های شناسایی شده همسان با شرایط اقلیمی منطقه در تکرارهای سالانه نیاز است. همچنین به منظور جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و ارزیابی دقیق‌تر در بازه زمانی طولانی مدت، از ماکروبنتوزها و خصوصیات اکومورفولوژیکی آن‌ها استفاده گردد.

منابع

1. Galat DL, Zweimüller I. Conserving large-river fishes: is the highway analogy an appropriate paradigm? Journal of the North American Benthological Society. 2001;20(2):266-79.
2. Jun Y-C, Won D-H, Lee S-H, Kong D-S, Hwang S-J. A multimetric benthic macroinvertebrate index for the assessment of stream biotic integrity in Korea. International journal of environmental research and public health. 2012;9(10):3599-628.
3. Liu W, Coveney R, Chen J. Environmental quality assessment on a river system polluted by mining activities. Applied Geochemistry. 2003;18(5):749-64.
4. Marzin A, Archaimbault V, Belliard J, Chauvin C, Delmas F, Pont D. Ecological assessment of running waters: do macrophytes, macroinvertebrates, diatoms and fish show similar responses to human pressures? Ecological indicators. 2012;23:56-65.
5. Mirsoleimani M-A, Keihanpanah M, Mircholi F, Davoodian A, Pajouhesh M, Masoudi M. Evaluation of Microbial Pollution of Drinking Water inNorth-West Eghlid. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences. 2014;22(3):516-22.
6. Samani N, Kamrani S. Privacy assess the quality and quantity of drinking water wells compared to nitrate Case Study: Aspas plain Eghlid city, Fars province. Journal of Advanced Applied Geology. 2016;6(20):29-40.
7. APHA. Water Environment Federation (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, Dc; 1994.
8. Hammer Q, Harper D, Ryan P, inventorsPAST-Palaeontological statistics2001.
9. Mostafavi H, Schinegger R, Melcher A, Moder K, Mielach C, Schmutz S. A new fish-based multi-metric assessment index for cyprinid streams in the Iranian Caspian Sea Basin. Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters. 2015;51:37-52.
10. Aazami J. Macrobenthos biological indices to assess the ecological health of aquatic ecosystems. Animal Environment 2017;Printing.
11. Sefidpari P, Keyhani A, Pishgar-Komoleh SH, Khanali M, Akram A. Assessment of wind energy production with the help of statistical analysis of wind characteristics - A case study in the city Eghlid Fars province. Iran

Biosystems Engineering. 2016;47(3):469-83.
12. Lincoln RJ. British marine amphipoda: Gammaridea: British Museum (Natural History); 1979.
13. Shahsavaripour N, Esmaeili-Sari A. Haraz and determine microbial contamination of river water permit applications according to international standards. Journal of Environmental Science and Technology. 2011;13(4):81-94.
14. WHO. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle Edition, Fourth. 2011;38:104-8.
15. Torabian A, Hasani A-H, Izadpanah A-H. Check the status of the Branch River and recreational purposes Jajrood. Journal of Environmental Science and Technology. 2011;13(2):55-66.
16. Naderi-Jeloudar M, Abas E-S, Ahmadi M-R, Seyfabadi S, Abdoli A. The effects of Trout farm effluents on the water quality parameters of Haraz river. 2007.
17. Tamminga G, Wijnands J. Animal waste problems in the Netherlands. 1991.
18. Rand GM. Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment: CRC Press; 1995.
19. Sahasrabuddhe K, Mahabaleshwarkar M, Joshi J, Kanade R, Goturkar S, Oswal P, et al., editors. Changing status of urban water bodies and associated health concerns in Pune, India. Proceedings of the Third International Conference on Environment and Health, Chennai, India; 2003.
20. GHasemi S, Mafi-GHolami R. Effects of effluent on fish farms Nour Ali area changes GARGAR river dissolved oxygen and fish farms provide a solution for waste management. Journal of Wetland Ecobiology. 2014;8(28):75-84.
21. Naderi-Jelodar M, Abdoli A. Call benthic macro-invertebrates to effluent Haraz River rainbow trout fish farms. Iranian Scientific Fisheries Journal. 2011;64:163-75.
22. Yarmohammadi S, SHariat M, Monavari M, Farshchi P. Management and practical reduction of pollutants in the river Qomroud. Journal of Human and Environment. 2011;9(1):11-20.
23. Aazami J, Esmaili-Sari A, Abdoli A, Sohrabi H, Van Den Brink P. Length-weight relationships of 14 fish species from Tajan River, Southern Caspian Sea basin, Iran. Iranian Journal of Ichthyology. 2015;2(4):299-301.