

مطالعه کیفیت آب رودخانه‌های بالیقلی چای و قره‌سو دره‌رود با استفاده از شاخص‌های زیستی بی‌مهرگان کفزی و شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQISC)

غلامرضا رفیعی^{۱*}؛ فاتح معزی^۱؛ هادی پورباقر^۲؛ کامران رضایی توابع^۳؛ محمد علی نعمت الهی^۱

۱-استاد، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲-دانشجوی دکتری، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳-دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت ۰۹/۲۲/۰۰-تاریخ پذیرش ۰۰/۱۱/۲۸)

چکیده:

رودخانه‌های بالیقلی چای و قره‌سو دره‌رود، دو رودخانه اصلی استان اردبیل هستند که در سال‌های اخیر با توجه به شرایط اقلیمی و برداشت‌های بی‌رویه آب، متحمل تغییرات نامطلوبی شده‌اند. در مطالعه حاضر، ارزیابی وضعیت کیفی آب این رودخانه‌ها بر مبنای بررسی شاخص‌های مرتبط با حضور و فراوانی بی‌مهرگان کفزی و همچنین شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQISC) صورت گرفته است. در این راستا، فراوانی بی‌مهرگان کفزی و شاخص‌های تنوع شانون-وینر (H')، شاخص یکنواختی سیمپسون (λ) و شاخص FBI و همچنین سطوح شاخص IRWQISC در تعداد ۱۸ ایستگاه در بهار ۱۳۹۷ بررسی گردید. تعداد ۱۲ خانواده از بی‌مهرگان کفزی شناسایی شد؛ به طوری که بیشترین و کمترین حضور مربوط به خانواده‌های Baetidae و Chironomidae و Asellidae بود. سطوح شاخص تنوع شانون-وینر (H') در بیشتر نقاط نمونه‌برداری بین مقادیر ۰/۴ و ۰/۶ به دست آمد. مقادیر شاخص سیمپسون (λ) در بیشتر ایستگاه‌ها بین ۰/۳ و ۰/۶ متغیر بود. مقادیر به دست آمده شاخص FBI نمایانگر وضعیت کیفی متوسط تا بسیار خوب در نقاط نمونه‌برداری بود، در صورتی که مقادیر محاسبه شده شاخص IRWQISC بیانگر وضعیت‌های کیفی بد و نسبتاً بد برای ایستگاه‌های مورد بررسی بود. در مجموع، نتایج حاصل بیانگر وضعیت کیفی متوسط برای رودخانه‌های مورد مطالعه بود که اهمیت تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مناسب جهت بهبود سلامت این اکوسیستم‌های رودخانه‌ای را دوچندان می‌سازد.

کلید واژگان: کیفیت آب، ارزیابی زیستی، بی‌مهرگان کفزی، شاخص کیفیت منابع آبی ایران

۱. مقدمه

توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران است که جهت سنجش کیفیت آب‌های سطحی ارائه شده است (Environment Protection Agency, 2013). این شاخص در مطالعات معدودی جهت ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده قرار گرفته است (Moghadam Yekta et al., 2020; Ghadiri et al., 2021). در این مطالعات به قابلیت تفکیک بالاتر و توصیف جزئی‌تر وضعیت کیفیت آب توسط این شاخص اشاره شده است (Ghadiri et al., 2021). هدف از مطالعه حاضر ارزیابی وضعیت کیفی آب رودخانه‌های بالیقلی‌چای و قره‌سو دره‌رود با بکارگیری شاخص‌های مرتبط با فراوانی و تنوع زیستی بی‌مهرگان کفزی و شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI_{Sc}) بود. بنابراین، سطوح شاخص‌های تنوع زیستی شانون-وینر (H')، شاخص یکنواختی سیمپسون (λ) و شاخص FBI در کل مسیر این رودخانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. محدوده مطالعاتی

تعداد ۱۸ ایستگاه در امتداد مسیر جریان رودخانه‌های بالیقلی‌چای و قره‌سو دره‌رود جهت سنجش وضعیت کیفی و نمونه‌برداری از آب و کفزیان تعیین گردید (شکل ۱). برداشت نمونه‌های آب و کفزیان در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ از ایستگاه‌های موردنظر صورت گرفت.

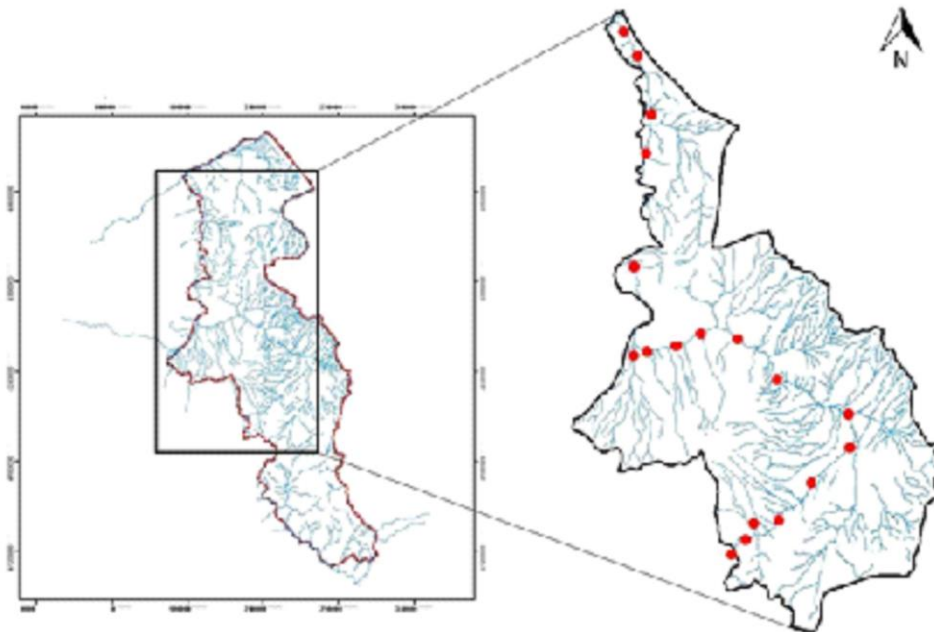
۲-۲. نمونه‌برداری از آب

به‌منظور برداشت و نگهداری نمونه‌های آب از ظروف PETE دودی رنگ استفاده شد. جهت تثبیت و نگهداری نمونه‌های برداشت شده از روش‌های ارائه شده (Noellet (2007) استفاده گردید. ظروف حاوی

رودخانه‌های بالیقلی‌چای و قره‌سو دره‌رود از رودخانه‌های مهم استان اردبیل به‌شمار می‌آیند. رودخانه بالیقلی‌چای را می‌توان سرشاخه اصلی رودخانه قره‌سو دره‌رود تلقی نمود. این دو رودخانه در امتداد مسیر پیوسته جریان آن‌ها محدوده وسیعی از استان اردبیل را به‌خود اختصاص داده‌اند. احداث سدهای متعدد و برداشت آب برای مصارف کشاورزی تا حد زیادی جریان آب این رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. همچنین اختلال در عملکرد طبیعی سیستم بیولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی این رودخانه‌ها، به دلیل کاهش بارش‌های جوی در سال‌های اخیر و بحران آب وضعیت نامتعادل آن‌ها را بیش از پیش نامطلوب ساخته است. در چنین شرایطی، شناخت مناسب از کیفیت آب در مقاطع مختلف این رودخانه‌ها، در مدیریت این سیستم‌های آبی اثربخش خواهد بود.

بی‌مهرگان کفزی یکی از مهمترین گروه‌های ساکن در محیط‌های آبی هستند که تمام یا بخشی از چرخه زندگی خود را در این آب‌ها سپری می‌کنند. این موجودات عموماً به‌عنوان شاخص‌های زیستی قابل استناد در مطالعات آلودگی آب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند به‌طوری که از فراوانی، تنوع، غنا و پراکنش آن‌ها در سنجش سطح سلامت اکوسیستم‌های استفاده می‌شود (Simboura and Zenetos, 2002). از مهمترین خصوصیات که باعث شده تا موجودات کفزی به‌عنوان شاخص‌های زیستی سلامت آب‌ها مطرح شوند، واکنش آن‌ها در تغییر فراوانی و تنوع گونه‌ای است (Weisberg et al., 1997).

شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI_{Sc}) یکی از شاخص‌های کیفی منابع آب‌های سطحی ارائه شده



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حوضه آبریز رودخانه‌های بالیقلی چای و قره‌سو دره‌رود در استان اردبیل. ایستگاه‌های نمونه‌برداری: ۱: ایلانجیق؛ ۲: برجلو؛ ۳: نیر؛ ۴: هیدرومتری یامچی؛ ۵: الماس؛ ۶: آق‌بلاغ آقاجان؛ ۷: دولت‌آباد؛ ۸: ارباب-کندی؛ ۹: کنگرلو؛ ۱۰: قره‌قیه؛ ۱۱: آقدرق؛ ۱۲: دوست‌بیگللو؛ ۱۳: کوچنق؛ ۱۴: مشیران؛ ۱۵: آبش احمد؛ ۱۶: آقامحمدبیگللو؛ ۱۷: گل‌تپه؛ ۱۸: اصلان‌دوز

دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، آزمایشگاه خاکشناسی گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی دانشکده فوق، و آزمایشگاه خاکشناسی گروه علوم و مهندسی علوم خاک دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران انجام شد. روش‌های اندازه‌گیری مورد استفاده مبتنی بر روش‌های ارائه شده (APHA (2005) بود.

۲-۳. مونه‌برداری از بی‌مهرگان کفزی

به‌منظور برداشت نمونه‌های موجودات کفزی از نمونه‌بردار سوربر استفاده شد. جمع‌آوری نمونه‌های کفزیان در هر ایستگاه در سه سطح (در سه تکرار) ۳۰×۳۰ سانتی‌متر مربع از بستر رودخانه با انتخاب تصادفی صورت گرفت. نمونه‌های برداشت شده در هر سطح در ظروف پلاستیکی جداگانه حاوی فرمالین ۱۰٪ تثبیت شدند و پس از ۱۲ ساعت از محلول الکل ۴۰٪ جهت نگهداری آن‌ها تا زمان شناسایی و شمارش استفاده گردید. بررسی‌های آزمایشگاهی

نمونه‌ها تا زمان انجام آنالیزهای مربوط به آن‌ها در تاریکی و دمای زیر ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

برای اندازه‌گیری متغیرهای pH و هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) از دستگاه کندانکتومتر Metrohm مدل ۷۴۴ استفاده شد. پارامترهای اکسیژن محلول (درصد اشباع) و نیاز اکسیژن بیوشیمیایی BOD₅ (میلی‌گرم در لیتر) با استفاده از دستگاه BOD متر دیجیتال شرکت Hana مدل HI98193 ساخت کشور رومانی اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری مقادیر نیترات (میلی‌گرم در لیتر)، فسفات (میلی‌گرم در لیتر)، آمونیاک کل (میلی‌گرم در لیتر)، نیاز اکسیژن شیمیایی COD (میلی‌گرم در لیتر)، سختی کل (میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم)، کدورت (NTU) و محتوای کلی فرم مدفوعی (MPN/100 ml) در مجموعه آزمایشگاه‌های هیدروشیمی و مدیریت کیفیت آب گروه شیلات

جدول ۱- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص FBI (Hauer and Lamberti, 2011)

معدل شاخص FBI	وضعیت کیفیت آب
۰/۰ - ۳/۷۵	عالی
۳/۷۶ - ۴/۲۵	بسیار خوب
۴/۲۶ - ۵/۰۰	خوب
۵/۰۱ - ۵/۷۵	متوسط
۵/۷۶ - ۶/۵۰	نسبتاً ضعیف
۶/۵۱ - ۷/۲۵	ضعیف
۷/۲۶ - ۱۰/۰۰	بسیار ضعیف

(Tolerance score) مربوط به هر خانواده به دست آمد (Hauer and Lamberti, 2011) و سپس با استفاده از رابطه زیر مقدار عددی شاخص FBI محاسبه شد:

$$FBI = \frac{\sum_{i=1}^S n_i \times t_i}{\sum_{i=1}^S n_i}$$

که در این رابطه n_i و t_i به ترتیب تعداد افراد هر خانواده i و امتیاز تحمل مربوط به آن خانواده i بود و S نیز تعداد کل خانواده‌های شناسایی شده در نمونه‌ها بود. پس از برآورد مقادیر شاخص FBI، وضعیت کیفیت آب مربوط به هر ایستگاه بر اساس جدول ۱ (Hauer and Lamberti, 2011) برداشت گردید.

۲-۵. شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQIsc)

- مراحل محاسبه شاخص $IRWQIsc$ عبارتند از:
- (۱) انتخاب پارامترها بر اساس جدول ۲؛
 - (۲) تبدیل غلظت اکسیژن محلول (بر حسب میلی‌گرم در لیتر) به درصد اشباع (در صورت نیاز)؛
 - (۳) تعیین وزن هر پارامتر با استفاده از جدول
 - (۴) به دست آوردن مقدار شاخص برای هر پارامتر با استفاده از منحنی‌های رتبه‌بندی؛
 - (۵) محاسبه شاخص با استفاده از رابطه زیر:

شامل جداسازی، شناسایی و شمارش آنها بر اساس کلیدهای شناسایی Ahmadi و همکاران (۲۰۰۱) و Clifford (1991) با استفاده از لوپ در آزمایشگاه شیلات گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران صورت گرفت. در نهایت تعداد شمارش شده کفزیان در سطح خانواده به تعداد در سطح متر مربع تعمیم داده شد.

۲-۴. شاخص‌های زیستی

شاخص تنوع شانون-وینر (H') بر اساس خانواده‌های شناسایی شده و فراوانی‌های مربوط به آنها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Hauer and Lamberti, 2011):

$$H' = - \sum P_i \log P_i$$

که در آن P_i عبارت است از تعداد کل افراد مربوط به خانواده i .

شاخص یکنواختی سیمپسون (λ) بر اساس خانواده‌های شناسایی شده و فراوانی‌های مربوط به آنها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Hauer and Lamberti, 2011):

$$\lambda = \sum P_i^2$$

که در آن P_i عبارت است از تعداد کل افراد مربوط به خانواده i .

به منظور محاسبه شاخص FBI در ابتدا امتیاز تحمل

نمونه‌های کفزیان در ایستگاه هیدرومتری یامچی (۲۹۴۱) محاسبه گردید و کمترین تعداد نیز در ایستگاه کنگرلو (۱۳۴) به دست آمد.

سطوح تنوع‌زیستی بی‌مهرگان کفزی شناسایی شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس شاخص شانون-وینر (H') در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین تنوع در ایستگاه برجلو و کمترین مقدار آن در ایستگاه دولت‌آباد به دست آمد. به استثنای ایستگاه‌های دوست‌بیگلو و آقبلاغ‌آقاجان که مقادیر شاخص محاسبه شده برای آن‌ها کمتر از ۰/۴ به دست آمد، سطوح تنوع در دیگر ایستگاه‌ها مقادیری بین ۰/۴ تا ۰/۶ را شامل شد.

شکل ۴ نشان‌دهنده سطوح محاسبه شده شاخص یکنواختی سیمپسون (λ) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری است. بیشترین میزان یکنواختی (معادل ۱) برای ایستگاه دولت‌آباد به دست آمد و کمترین میزان متعلق به ایستگاه دوست‌بیگلو و پس از آن برجلو بود. برای بیشتر ایستگاه‌ها مقادیر λ بین ۰/۳ تا ۰/۶ محاسبه شد. مقادیر امتیاز تحمل (Ttolerance score) مربوط به خانواده‌های شناسایی شده نمونه‌های کفزیان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس پروتکل مربوط به محاسبه شاخص FBI (Hauer and Lamberti, 2011)، در جدول ۴ ارائه شده است. وضعیت کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف، بازه وضعیت کیفیت آب "عالی" در ایستگاه آقدرق تا وضعیت "نسبتاً ضعیف" در ایستگاه دولت‌آباد را نشان داد (جدول ۵). بر اساس مقادیر FBI، وضعیت کیفیت آب در ایستگاه‌های نیر، هیدرومتری یامچی، کنگرلو، کوچنق، گل‌تپه و اصلان‌دوز بسیار خوب بود. در دیگر ایستگاه‌ها نیز وضعیت خوب یا متوسط به دست آمد.

$$IRWQI_{SC} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \right]^{\frac{1}{\gamma}}$$

که در آن:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n w_i$$

W_i : وزن پارامتر i ام؛ n : تعداد پارامترها؛ I_i : مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی می‌باشد. (۶)، در نهایت برای تعیین معادل توصیفی شاخص از مقدار محاسبه‌شده، از راهنمای جدول ۳ استفاده شد که بر اساس الگوی رنگی مشخص شده تعریف شده است.

۳. نتایج

تعداد ۱۲ خانواده از بی‌مهرگان کفزی در نمونه‌های برداشت شده، شناسایی شدند (شکل ۲) که عبارت بودند از: خانواده Asellidae از راسته Isopoda؛ خانواده Gammaridae از راسته Amphipoda؛ خانواده Hydropsichidae از راسته Trichoptera؛ خانواده‌های Ephemereleidae، Baetidae و Heptageniidae از راسته Ephemeroptera؛ خانواده‌های Chironomidae، Simuliidae، Tipulidae، Ceratopogonidae و Tabanidae از راسته Diptera؛ و خانواده Tubificidae از راسته Oligochaeta. در این میان خانواده Asellidae تنها در ایستگاه برجلو مشاهده شد. در مقابل، خانواده‌های Baetidae و Chironomidae در تعداد ۱۷ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه، مشاهده شدند. ایستگاه‌های برجلو و نیر با تعداد ۸ خانواده، بیشترین تعداد خانواده را به خود اختصاص دادند و در مقابل در ایستگاه دولت‌آباد تنها نمونه‌های متعلق به خانواده Chironomidae وجود داشت. بیشترین فراوانی کل

جدول ۲- پارامترهای شاخص IRWQI_{SC} و وزن‌های متناظر آن‌ها

ردیف	پارامتر	وزن	توضیحات
۱	کلیفرم مدفوعی	۰/۱۴۰	بر حسب MPN/100 ml
۲	BOD ₅	۰/۱۱۷	بر حسب میلی‌گرم در لیتر
۳	نیترات	۰/۱۰۸	بر حسب میلی‌گرم در لیتر
۴	اکسیژن محلول	۰/۰۹۷	بر حسب درصد اشباع
۵	هدایت الکتریکی	۰/۰۹۶	بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر
۶	COD	۰/۰۹۳	بر حسب میلی‌گرم در لیتر
۷	آمونیاک کل	۰/۰۹۰	مجموع آمونیاک و آمونیوم (میلی‌گرم در لیتر)
۸	فسفات	۰/۰۸۷	بر حسب میلی‌گرم در لیتر
۹	کدورت	۰/۰۶۲	بر حسب NTU
۱۰	سختی کل	۰/۰۵۹	بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم
۱۱	pH	۰/۰۵۱	واحد استاندارد

جدول ۳- طبقات کیفی و مقادیر عددی طبقه‌بندی شاخص کیفی IRWQI_{SC}

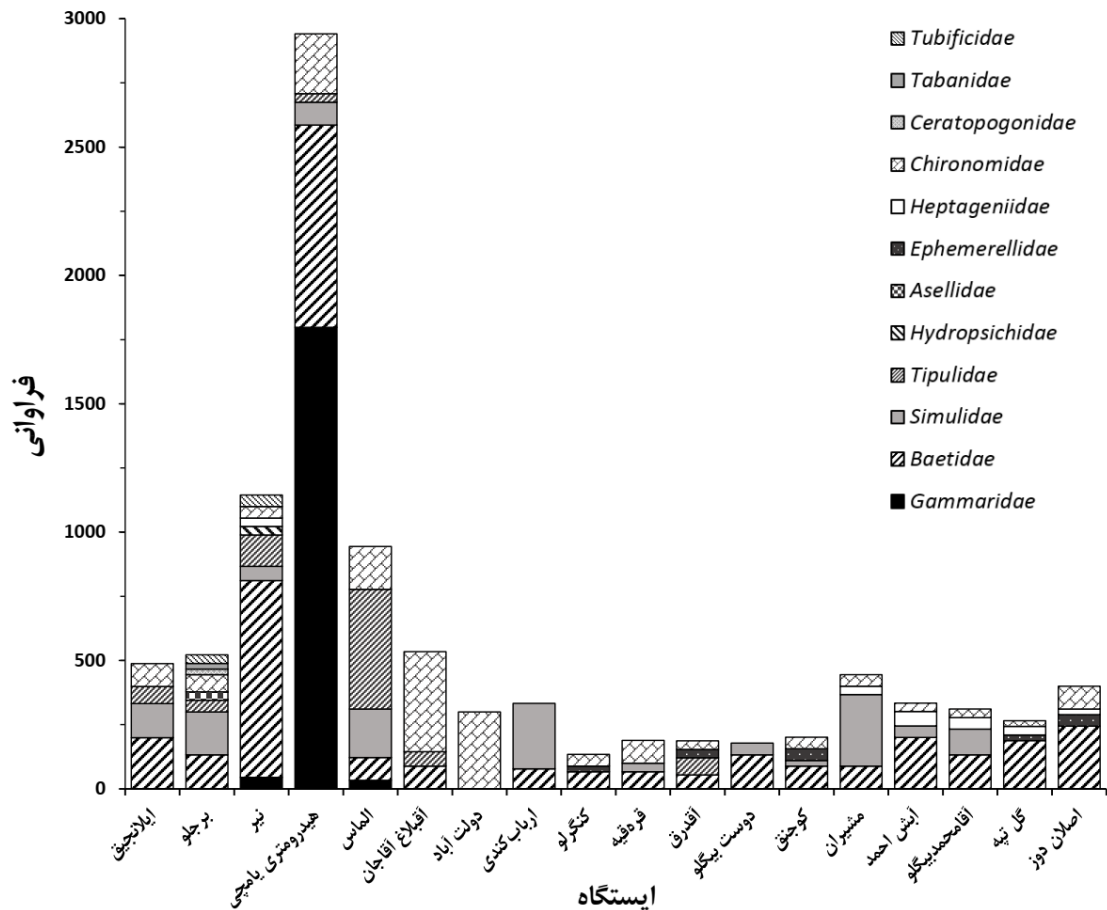
مقدار شاخص	معادل توصیفی
کمتر از ۱۵	خیلی بد
۱۵ - ۲۹/۹	بد
۳۰ - ۴۴/۹	نسبتاً بد
۴۵ - ۵۵	متوسط
۵۵/۱ - ۷۰	نسبتاً خوب
۷۰/۱ - ۸۵	خوب
بیشتر از ۸۵	خیلی خوب

دره‌رود بود. در میان خانواده‌های شناسایی شده، بیشترین فراوانی در نقاط مورد بررسی مربوط به فراوانی خانواده Gammaridae در ایستگاه هیدرومتری یامچی بود، هر چند که این خانواده با فراوانی بسیار کمتر در دو ایستگاه نیر و الماس نیز شناسایی شدند. گاماریدها از گونه‌های کلیدی اکوسیستم‌های آبی هستند که حساسیت بسیار زیادی در برابر انواع مختلف آلاینده‌ها دارند (von der Ohe and Liess, 2004; Dauvin and Ruellet, 2007) و حضور آن‌ها در محیط‌های آبی بیانگر سطح بالایی از کیفیت محیط آبی از نظر آلودگی است. جدای از حضور گاماریدها در سه ایستگاه نیر، هیدرومتری یامچی و الماس، وجود بی‌مهرگان متعلق به خانواده‌های راسته

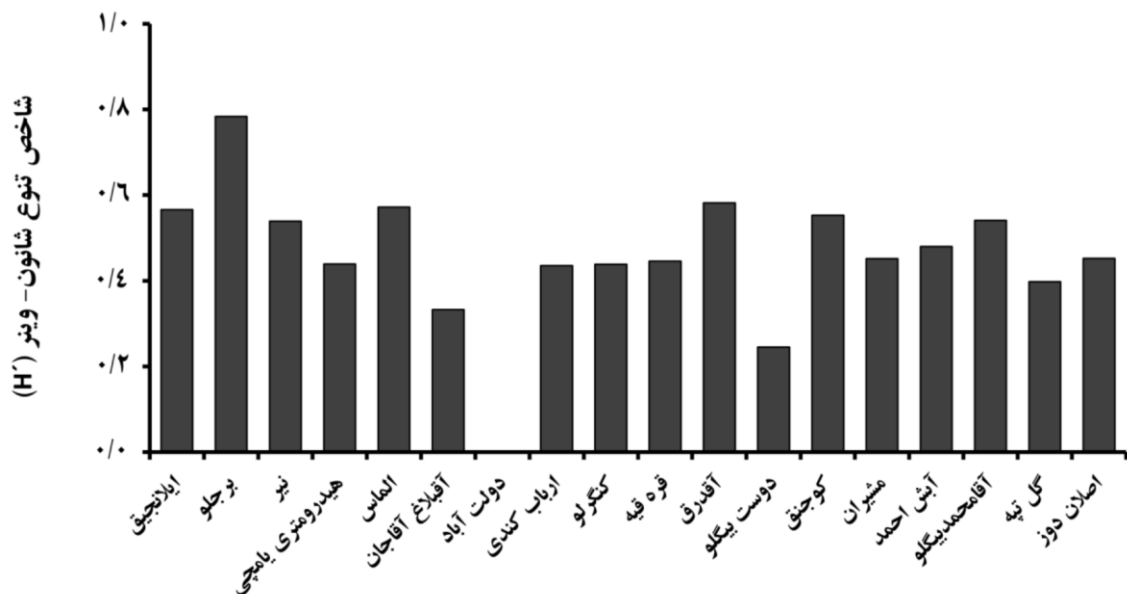
نتایج محاسبات شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI_{SC}) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۶ ارائه شده است. در بیشتر ایستگاه‌ها، وضعیت کیفی آب نامناسب بوده است به طوری که در بهترین وضعیت، در برخی از ایستگاه‌ها از جمله ایستگاه ایلانجیق و ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی، دوست‌بیگلو و کوچنق وضعیت کیفی "نسبتاً بد" به دست آمده و در دیگر ایستگاه‌ها وضعیت "بد" از نظر کیفیت آب بر اساس این شاخص نمایان گردید.

۴. بحث و نتیجه گیری

بررسی نمونه‌های برداشت شده از ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان‌دهنده تغییرات مکانی قابل توجهی در حضور و فراوانی بی‌مهرگان کفزی شناسایی شده در امتداد مسیر رودخانه‌های بالیقلی‌چای و قره‌سو



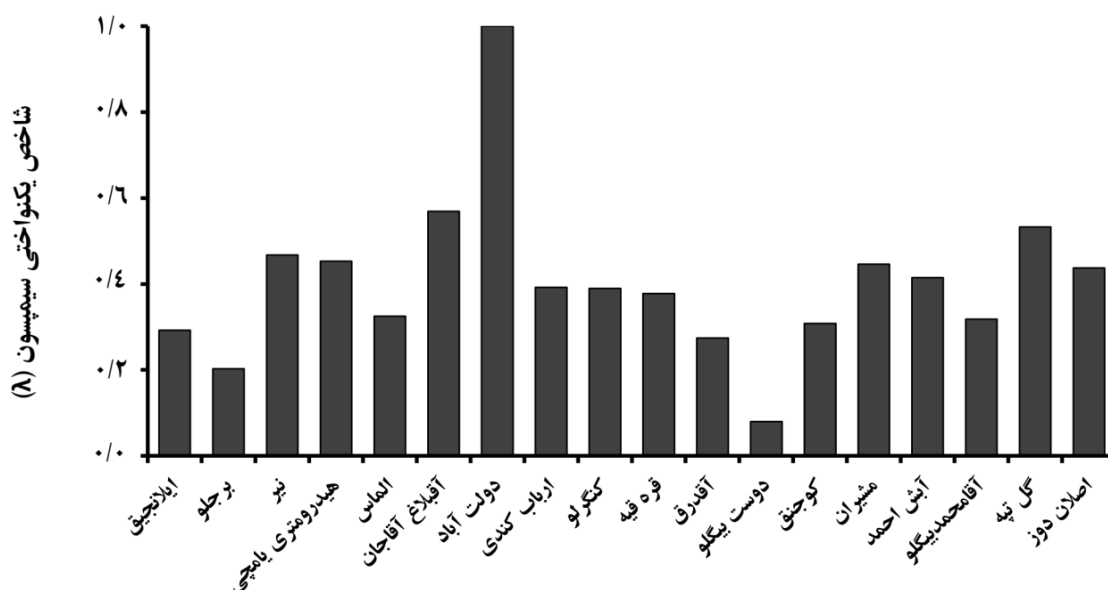
شکل ۲- فراوانی بی‌مهرگان کفزی در ایستگاه‌های مطالعاتی



شکل ۳- سطوح محاسبه‌شده شاخص تنوع شانون-وینر (H') برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه‌ها بوده است، هر چند به استثنای ایستگاه دولت‌آباد، فراوانی‌های قابل توجهی در دیگر ایستگاه‌های واقع در مسیر رودخانه قره‌سو دره‌رود نیز

Ephemeroptera (به‌ویژه خانواده Baetidae) در فاصله ایستگاه‌ها ایلانجیق تا ایستگاه هیدرومتری یامچی، نشان‌دهنده سطح کیفی مناسب آب در این



شکل ۴- سطوح محاسبه شده شاخص یکنواختی سیمپسون (A) برای ایستگاه‌های نمونه برداری

جدول ۴- مقادیر امتیاز تحمل (Tolerance score) برای خانواده‌های بی‌مهرگان شناسایی شده

امتیاز تحمل	خانواده	راسته
۸	Asellidae	Isopoda
۴	Gammaridae	Amphipoda
۴	Hydropsichidae	Trichoptera
۱	Ephemerellidae	Ephemeroptera
۴	Baetidae	
۴	Heptageniidae	
۶	Chironomidae	Diptera
۶	Simulidae	
۳	Tipulidae	
۶	Ceratopogonidae	
۶	Tabanidae	
۵	Tubificidae	Oligochaeta

خاص خانواده‌های Chironomidae و Simulidae با مقاومت بالا نسبت به وقوع آلاینده‌ها در محیط‌های آبی شناخته شده‌اند (Clifford, 1991; Julio et al., 2007) که قدرت تحمل شرایط کمبود اکسیژن و شوری بالا را نیز دارا می‌باشند. افزایش فراوانی خانواده Chironomidae همراه با کاهش سطوح فراوانی گاماریدها و خانواده Ephemerellidae در فاصله ایستگاه‌های الماس تا دولت‌آباد حکایت از آن دارد که در این مقطع از رودخانه بالیقلی چای سطوح

مشاهده شد. راسته Ephemeroptera جزء حشرات آبی معمول در بیشتر مناطق دنیا محسوب می‌شود که لاروهای آن‌ها معمولاً در آب‌های غیرآلوده راکد و جاری دیده می‌شوند (Clifford, 1991). افزایش سطوح آلودگی مواد آلی و کاهش بار اکسیژنی آب موجب کاهش فراوانی و حذف گونه‌های متعلق به این راسته از آب‌های جاری می‌گردد (Hynes, 1970). در مقابل، خانواده‌هایی از راسته Diptera نیز در بیشتر ایستگاه‌های نمونه‌برداری شناسایی شدند که به طور

مطالعه کیفیت آب رودخانه‌های بالیقلی چای و قره‌سو دره‌رود با استفاده از شاخص‌های زیستی...

جدول ۵- مقادیر محاسبه‌شده شاخص FBI و وضعیت کیفیت آب معادل آن‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ردیف	ایستگاه	مقدار شاخص FBI	وضعیت کیفیت آب
۱	ایلانجیق	۴/۷۷	خوب
۲	برجلو	۵/۲۹	متوسط
۳	نیر	۴/۱۱	بسیار خوب
۴	هیدرومتری یامچی	۴/۲۱	بسیار خوب
۵	الماس	۴/۲۶	خوب
۶	آقبلاغ آقاجان	۵/۳۵	متوسط
۷	دولت آباد	۶	نسبتاً ضعیف
۸	ارباب‌کندی	۵/۳۳	متوسط
۹	کنگرلو	۴/۱۷	بسیار خوب
۱۰	قره‌قیه	۵/۲۹	متوسط
۱۱	آقدرق	۳/۴۳	عالی
۱۲	دوست‌بیگلو	۴/۵۰	خوب
۱۳	کوجنق	۳/۹۹	بسیار خوب
۱۴	مشیران	۵/۴۵	متوسط
۱۵	آبش احمد	۴/۴۶	خوب
۱۶	آقامحمدبیگلو	۴/۸۵	خوب
۱۷	گل‌تپه	۳/۹۱	بسیار خوب
۱۸	اصلان‌دوز	۴/۱۱	بسیار خوب

بالایی از آلاینده‌گی وجود داشته است به طوری که در ایستگاه دولت‌آباد تنها شیرونومیدها وجود داشته‌اند. بررسی شاخص‌های تنوع‌زیستی بر اساس موجودات بی‌مهره کفزی موجود در رسوبات، یکی از راه‌های اصلی ارزیابی کیفیت بیولوژیکی اکوسیستم‌های آبی مبتنی بر ساختار جوامع آن‌هاست که شاخص تنوع شانون-وینر از مهم‌ترین این شاخص‌ها می‌باشد (Borja et al., 2000; Simboura and Zentos, 2002). مقادیر تنوع و یکنواختی به‌دست آمده برای موجودات کفزی در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد که اکثر ایستگاه‌ها از سطوح مشابهی از تنوع یکنواختی برخوردارند. مجموع مقادیر شاخص تنوع شانون-وینر محاسبه شده برای کل ایستگاه‌ها کمتر از ۱ بود. در این میان، ایستگاه برجلو با توجه به تعداد خانواده‌های شناسایی شده و همچنین فراوانی‌های بالای مربوط به آن‌ها بیشترین تنوع را به خود

اختصاص داد. از طرف دیگر، کمترین تنوع نیز با توجه به وجود تنها یک خانواده در ایستگاه دولت‌آباد، برای این ایستگاه به‌دست آمد. در مقابل بیشترین یکنواختی متعلق به ایستگاه دولت‌آباد و کمترین سطوح آن مربوط به ایستگاه‌های برجلو و دوست‌بیگلو بود. تفاوت در وجود خانواده‌ها و همچنین فراوانی‌های آن‌ها در ایستگاه‌های مختلف ممکن است ناشی از عوامل مختلفی از جمله خصوصیات زیست‌شناختی گروه‌های مختلف مانند قدرت تحمل، ساختار بستر (بستر نرم تا سنگلاخی) و فراوانی مواد غذایی، مقدار مواد آلی، وجود باکتری‌ها در آب و رسوبات، و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب باشد (Johnson, 1987). همچنین، سطوح فراوانی کمتر این موجودات در امتداد رودخانه قره‌سو دره رود می‌تواند تا حدودی ناشی از شسشتوی این موجودات توسط جریان آب دارای کدورت بالای این رودخانه بوده باشد. سطوح

جدول ۶- وضعیت کیفیت آب بر اساس شاخص IRWQIsc

ردیف	ایستگاه	مقدار شاخص	معادل توصیفی
۱	ایلانجیق	۳۸/۱	نسبتاً بد
۲	برجلو	۲۱/۴	بد
۳	نیر	۲۴/۶	بد
۴	هیدرومتری یامچی	۳۴/۶	نسبتاً بد
۵	الماس	۲۷/۲	بد
۶	آقبلاغ آقاجان	۲۶/۰	بد
۷	دولت آباد	۲۱/۴	بد
۸	ارباب کندی	۲۳/۷	بد
۹	کنگرلو	۱۹/۹	بد
۱۰	قره قیه	۲۱/۵	بد
۱۱	آقدرق	۲۴/۸	بد
۱۲	دوست بیگلو	۳۰/۳	نسبتاً بد
۱۳	کوجنق	۳۰/۳	نسبتاً بد
۱۴	مشیران	۲۵/۶	بد
۱۵	آبش احمد	۲۲/۲	بد
۱۶	آقامحمد بیگلو	۲۲/۴	بد
۱۷	گل تپه	۲۲/۹	بد
۱۸	اصلان دوز	۱۷/۷	بد

بالای تنوع و همچنین در مقابل آن مقادیر پایین یکنواختی نشان دهنده سلامت بیشتر اکوسیستم‌های آبی بر مبنای شاخص‌های اکولوژیک است. بر اساس مطالعات انجام شده هرچه مقدار تنوع بیشتر باشد، محیط سالم‌تر و یا به عبارتی روند کاهشی شاخص‌های تنوع با افزایش سطح آلودگی در آب‌های جاری در مطالعات پیشین تایید شده است (Engle et al., 1994; Metcalfe-Smith, 1996; Weisberg et al., 1997; Azrina et al., 2006). بر مبنای طبقه‌بندی ویلم-موریس (Welch, 1992) مقادیر استاندارد شاخص شانون در ارتباط با آلودگی رودخانه‌ها به صورت زیر است: $H < 1$: منطقه با آلودگی بالا؛ $1 < H < 3$: منطقه با آلودگی متوسط؛ و $H > 3$: منطقه فاقد آلودگی. بر این اساس تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی دارای سطوح قابل توجهی از آلودگی بوده‌اند که به صورت نسبی در ایستگاه‌های با

تنوع کمتر، بیشتر بوده است.

مقادیر شاخص FBI محاسبه شده در این مطالعه نشان داد که بیشتر ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نظر وضعیت کیفیت آب شرایط متوسط به بالایی دارند. نامطلوب‌ترین وضعیت متعلق به ایستگاه دولت‌آباد بوده که طبقه کیفی آب "نسبتاً ضعیف" را به خود اختصاص داد. در مقابل اکثر ایستگاه‌ها در کلاس کیفی "بسیار خوب" قرار داشتند. این وضعیت نشان می‌دهد که در مجموع بیشتر نقاط مورد بررسی رودخانه‌ها به استثنای برخی ایستگاه‌ها، سلامت اکولوژیکی مناسبی را بر اساس مقادیر این شاخص دارا بوده‌اند. البته این بدان معنی نیست که رودخانه در شرایط مطلوبی قرار دارد، بلکه نشان‌دهنده این است که امکان گذر از این وضعیت به شرایط نامطلوب وجود دارد. این نتایج کلی در حالی است که وضعیت ارزیابی شده رودخانه بر اساس شاخص‌های

پارامترهای مورد استفاده جهت محاسبه مقدار نهایی آن بوده و این مورد تا حدودی مقادیر شاخص و قابلیت استناد به آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مجموع، با استناد به نتایج این مطالعه، می‌توان بیان کرد که بر اساس مجموعه شاخص‌های مورد بررسی، رودخانه‌های بالیقلی چای و قره‌سو دره‌رود در استان اردبیل، به‌عنوان جریان‌های اصلی آبی در این استان، از وضعیت سلامت مطلوبی برخوردار نبوده‌اند. مجموع شاخص‌های مورد استفاده نشان‌دهنده همخوانی بیشتر بین برآوردهای حاصل از شاخص‌های تنوع و یکنواختی، و شاخص کیفی منابع آب ایران بوده است. بر اساس یافته‌ها، استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌های زیستی مربوط به موجودات کفزی رودخانه‌ای، در کنار بکارگیری شاخص‌های مبتنی بر پارامترهای کیفی آب می‌تواند منتج به ارزیابی جامع‌تری از وضعیت کیفی آب در محیط‌های رودخانه‌ای گردد.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل از طرح پژوهشی "ارزیابی توان خودپالایی و تعیین ظرفیت پذیرش آلودگی رودخانه‌های مهم استان اردبیل" موضوع قرارداد تحقیقاتی شماره ۹۶/۴۰۵۸/۹۰۰ با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای اردبیل می‌باشد.

References

- Ahmadi, M., Nafisi, M., 2001. Identification of running water macrofauna. Khabir publication. Tehran. 240P. (In Persian)
- APHA. 2005. Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, DC.
- Azrina, M.Z., Yap, C.K., Ismail, A.R., Ismail, A., Tan, S.G., 2006. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic

تنوع نامناسب بوده و اکثر ایستگاه‌ها در طبقه با آلودگی بالا تشخیص داده شده‌اند. ناهمخوانی مشاهده شده در این ارتباط می‌تواند برگرفته از کارکرد شاخص‌ها با توجه به فراوانی‌های مشاهده شده از موجودات باشد. نشان داده شده است که عملکرد شاخص FBI در مواردی که فراوانی‌های موجودات از حدود خاصی بالاتر باشد، مناسب‌تر بوده و این شاخص می‌تواند برآورد منطقی‌تری از وضعیت آلودگی آب را به دست دهد (Hafezieh, 2001).

یافته‌های به‌دست آمده مربوط به شاخص IRWQI_{sc} که بر مبنای پارامترهای کیفیت آب تعریف شده است، نشان داد که شرایط کیفی آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مورد بررسی مناسب نبوده است. بهترین وضعیت کیفی آب بر اساس این شاخص وضعیت "نسبتاً بد" در برخی از ایستگاه‌ها شامل ایلانجیق، هیدرومتری یامچی، دوست‌بیگلو و کوچنق بوده و دیگر ایستگاه‌ها شرایط کیفی "بد" را به خود اختصاص دادند. نتایج کلی این شاخص تا حدود زیادی همسو با برآورد به‌دست آمده از شاخص‌های تنوع و یکنواختی در ارتباط با سلامت اکولوژیکی رودخانه‌های مورد بررسی و سطوح آلودگی آن‌ها است. البته لازم به ذکر است که محاسبه این شاخص و مقادیر به‌دست آمده از آن تا حد زیادی تابع تعداد

macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 64, 337-347.

Borja, A., Franco, J., Perez, V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 40,1100-1114.

Clifford, H.F. 1991. Aquatic invertebrates of

- Alberta. Alberta. The University of Alberts Press. 551p.
- Davin, J.C., Ruellet, T., 2007. Polychaete/amphipod ratio revisited. Marine Pollution Bulletin 55, 215-224.
- Engle, V.D., Summers, J.K., Gaston, G.R., 1994. A benthic index of environmental condition of Gulf of Mexico Estuaries. Estuaries 17, 372-384.
- Environment Protection Agency. 2013. Iran's water resources quality index calculation manual. 42 p. (In Persian)
- Ghadiri, A., Hashemi, S.H., Nasrabadi, T., 2021. Investigating the efficiency of Iran's water resources quality index in comparison with three indices for assessment of heavy metal pollution in surface water (case study: north and east of Tehran's runoff). Modarres Civil Engineering Journal. 21(2). (In Persian)
- Hafezieh, M. 2001. Aquatic insects as water pollution index. Iranian Scientific Fisheries Journal 1, 19-36. (In Persian)
- Hauer, F.R., Lamberti, G.A., 2011. Methods in stream ecology. Second edition. Academic Press. 895 p.
- Hynes, H.B.N., 1970. The ecology of running water. University of Toronto Press. Canada. 555 p.
- Johnson, R.K., 1987. Seasonal variation in diet of *chironomus plumosus* (L) and *C. anthracinus* (Zett) (Diptera: Chironomidae) in mesotrophic lake Erken. Freshwater Biological 17, 525-533.
- Julio, A., Camargo, C., Gonzalo, C. 2007. Physicochemical and biological changes downstream from a trout farm outlet: comparing 1986 and 2006 sampling surveys. Limnetica 26(2), 405-414.
- Metcalf-Smith, J.L., 1996. Biological water quality assessment of rivers: use of macroinvertebrate communities. In: Petts, G., Calow, P. (ed.). river restoration. Oxford, Blackwell Science, pp:17-43.
- Moghasam Yekta, N., Jozi, S.A., 2020. Study of quality and pollution of Urmia Gadarchay catchment, using water quality index and WRASTIC vulnerability model. Journal of Environmental Science and Technology 22(2), 81-91. (In Persian)
- Noellet, L.M.L., 2007. Handbook of water analysis. CRC Press. Taylor and Francis Group. 769 p.
- Simboura, N., Zenetos, A., 2002. Benthic indicators to use in ecological quality classification of mediteranean soft bottom marine ecosystem, including a new biotic index. Mediterranean Marine Science 3, 77-111.
- Von der Ohe, P.C., Liess, M., 2004. Relative sensitivity distribution of aquatic invertebrates to organic and metal compounds. Environmental Toxicology and Chemistry 23, 150-156.
- Weisberg, S.B., Ranasinghe, B.J.A., Daure, D.M., Schafener, L.C., Diaz, R.J., Frithsen, J.B., 1997. An estuarine Benthic index of biotic integrity (B-IBI) Chasapeake bay. Estuaries 20, 149-158.
- Welch, E.B., 1992. Ecological effects and waste water. 2nd ed. Chapman and Hall. 425 p.