DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه زرینه‌رود با استفاده از شاخص‌های زیستی ماهیان: مطالعه موردی تاثیر شهر شاهین‌دژ (استان آذربایجان غربی)

علیرضا رادخواه[۱]، سهیل ایگدری[۱*]، یحیی شمس[۲] و سید ولی حسینی[۱]

[۱] ایران، کرج، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات

[۲] ایران، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، گروه مدیریت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثرات روند اختلالی و آسیب توسعه انسانی روی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه زرینه‌رود با استفاده از شاخص‌های بوم‌شناختی ماهیان از قبیل امتیازدهی یکپارچگی، غنای گونه‌ای، ترکیب و فراوانی آن‌ها به اجرا در آمد. برای این منظور تعداد ۷ ایستگاه در طول مسیر رودخانه در شهرستان شاهین‌دژ انتخاب گردید. روش نمونه‌برداری ماهیان براساس روشی استاندارد با استفاده از الکتروفیشینگ بود. روش‌های معمول تعیین شاخص‌های بوم‌شناختی مانند شاخص سیمپسون، مارگالف، شانون، غالبیت، غنای گونه‌ای و شاخص یکپارچگی اکولوژیکی (IBI) برای هر ایستگاه محاسبه گردید. در طی این تحقیق، در مجموع، تعداد ۴۰۴ عدد ماهی از ۱۱ گونه مختلف صید گردید. این مطالعه نشان داد که تنوع و فراوانی بالای گونه‌ها، الزاماً نشانگر کیفیت بالای آب رودخانه نمی‌باشند. بررسی نتایج حاصل از شاخص یکپارچگی اکولوژیکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که یکپارچگی اکولوژیکی در ایستگاه ۴ در مقایسه با سایرین بیشتر است و پس از آن بترتیب ایستگاه‌های ۲ و ۷ قرار دارند. این یافته‌ها با نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های تنوع زیستی مطابقت داشت. بررسی تنوع گونه‌ای در ایستگاه‌های ۴، ۲ و ۷ نشان داد که این ایستگاه‌ها از نظر شاخص یکپارچگی اکولوژیکی نیز مشابهت دارند. پژوهش حاضر نشان داد که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه ۵ کمترین مقدار شاخص یکپارچگی اکولوژیکی را داشت. با توجه به اینکه ایستگاه ۵ در مجاورت شهرستان شاهین‌دژ قرار داشت، می‌توان اذعان نمود که مقدار شاخص یکپارچگی اکولوژیکی این ایستگاه بیشتر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. براساس یافته‌های این تحقیق، از میان اختلالات اکولوژیکی رودخانه، توسعه شهری به خصوص ورود پساب شهری، جزو جدی‌ترین اختلالاتی بود که به‌طور محسوس بر کیفیت آب و یکپارچگی رودخانه زرینه‌رود تاثیرگذار بود. نتایج این مطالعه نشان داد که روش یکپارچگی رودخانه قادر می‌باشد برآورد مناسبی از تاثیر جامعه انسانی بر سلامت اکوسیستم رودخانه زرینه‌رود ارائه دهد.

واژه های کلیدی: ماهیان، شاخص اکولوژیکی، یکپارچگی، رودخانه زرینه‌رود، شاهین‌دژ

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۹۶۹۵۴۲۰۷، پست الکترونیکی: soheil.eagderi@ut.ac.ir

مقدمه

آبزیان متعددی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای رندگی می‌کنند که می‌توانند از تاثیرات انسانی از جمله اختلال در کیفیت آب تاثیر بپذیرند (۱۱ و ۲۵). از این‌رو آنها می‌توانند بعنوان نشانگرهای زیستی، بیانگر هر گونه تغییر در اکوسیستم آبی محل زیست خود باشند (۱۱، ۱۶ و ۳۲).

منابع آبی از جمله رودخانه‌ها بعلت سوء مدیریت دچار تخریب گشتند و با رشد جمعیت در نتیجه توسعه بی‌رویه بخش‌های کشاورزی، شهرسازی و صنعتی شدن و ساخت و ساز سدها بر وضعیت اکولوژیکی و یکپارچگی آنها

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

اثرات غیرقابل جبرانی وارد خواهد شد، چرا که تمدن‌های بشری در پیرامون رودخانه‌ها توسعه یافتند (۹، ۱۴ و ۳۰).

شاخص یکپارچگی زیستی (Index of Biological Integrity) بیانگر روابط قابل پیش‌بینی بین جمعیت آبزیان از جمله ماهیان و شرایط فیزیکی، شیمیایی، زیستی اکوسیستم آبی می‌باشد (۱۱، ۲۶ و ۲۸). در این رابطه متغیرهایی از جمله ترکیب گونه‌ای، غنای گونه‌ای، جایگاه تغذیه‌ای ماهیان، فراوانی و ویژگی‌های زیستی بعنوان معیار بر اساس میزان اثرگذاری مورد استفاده و امتیازدهی قرار می‌گیرند. یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه‌ها می‌توانند توسط عوامل متعددی از جمله توسعه کشاورزی، شهرنشینی و صنایع مختل گردد (۱۴، ۲۳ و ۲۴). بر خلاف بسیاری از شاخص‌های قبلی مورد استفاده برای ارزیابی وضعیت اکولوژیکی رودخانه‌ها، شاخص یکپارچگی زیستی می‌تواند میزان تخریب اکوسیستم را پایش و الویت-های ضروری مدیریتی را شناسایی و برای اقدامات مناسب بازیابی تعریف کند؛ چرا که یک اکوسیستم را بطور جامع در شرایط طبیعی آن مدنظر قرار می‌دهد (۲۱ و ۳۳).

تاکنون پژوهش‌های مختلفی با هدف بررسی ارزیابی یکپارچگی زیستی و شادابی در اکوسیستم‌های آبزی انجام شده است که از جمله این تحقیقات می‌توان به مطالعات کاستا و شولز (۲۰۱۰)، کاستا و همکاران (۲۰۲۰)، گونینو و همکاران (۲۰۲۰) و سوزوآ و ویانا (۲۰۲۰) اشاره کرد. کاستا و شولز (۲۰۱۰) به بررسی نقش جوامع ماهی بعنوان شاخص یکپارچگی اکولوژیکی در حوضه رودخانه سینوس (Sinos) در برزیل پرداختند (۱۴). کاستا و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی جوامع ماهی در حوضه‌های کوچک آمازون پرداختند و از نمایه ماهی بعنوان ابزاری برای سنجش یکپارچگی و شادابی اکوسیستم رودخانه‌ای بهره جستند (۱۳). در یک مطالعه جامع، گونینو و همکاران (۲۰۲۰) به مرور نقش شاخص‌های یکپارچگی زیستی که مبتنی بر جوامع ماهی بودند، پرداختند. آنها دریافتند که شاخص‌های مبتنی بر ماهیان می‌توانند ارزیابی دقیق و جامعی از وضعیت اکولوژیکی سیستم‌های رودخانه‌ای در جنوب برزیل در اختیار بوم‌شناسان قرار دهند (۲۱). سوزوآ و ویانا (۲۰۲۰) به مطالعه نقش نمایه ماهیان در یکپارچگی زیستی (IBI) و کیفیت اکولوژیکی پیکره‌های آبزی پرداختند. آنها در مجموع، دریافتند که ماهیان نقش گسترده‌ای در تعیین شاخص یکپارچگی زیستی در اکوسیستم‌های آبزی ایفا می‌کنند. از این‌رو، شاخص IBI مبتنی بر جوامع ماهی می‌تواند بعنوان ابزاری ارزشمند و مکمل برای ارزیابی کیفیت اکولوژیکی آب مورد استفاده قرار گیرد (۳۸). این دانشمندان معتقدند در دهه اخیر، به اندازه کافی شاخص های مختلفی جهت ارزیابی وضعیت اکوسیستم ها تدوین شده است و تلاش محققان در دهه آینده باید بر تلفیق این شاخص های پراکنده جهت دستیابی به یک شاخص یکپارچه و جامع باشد که بر مبنای آن تصمیم گیران بتوانند به سادگی نسبت به اخذ تصمیمات مدیریتی و حفاظتی اقدام نمایند (۱۶). از جمله مطالعات شاخصی که با هدف ارزیابی یکپارچگی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای در ایران انجام شده است، می‌توان به مطالعه خضری و همکاران (۱۳۹۸) اشاره کرد که به ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از سنجه‌های ماهیان و ماکروبنتوزها پرداختند (۳). اغلب این تحقیقات نشان داده‌اند که ماهیان بدلیل ویژگی‌های متمایز و بارزی که دارند، می‌توانند اطلاعات مهمی از شرایط و وضعیت کلی اکوسیستم در اختیار بوم‌شناسان قرار دهند (۱۵). اگر چه استفاده از شاخص یکپارچگی زیستی در تحقیقات بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته است، اما تاکنون پژوهش‌های بسیار اندکی پیرامون این شاخص در رابطه با ماهیان در ایران انجام شده است.

زرینه‌رود یکی از طویل‌ترین و پرآب‌ترین رودهای شمال غرب ایران می‌باشد که در جلگه جنوبی دریاچه ارومیه قرار دارد. طول این رودخانه ۳۰۲ کیلومتر می‌باشد و در بخش‌های بالادست از چهار شاخه اصلی تحت عنوان

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

جیغاتوچای، سقزچای، خرخرهچای و ساروقچای تامین می‌شود (۸). این رودخانه در جهت جنوب به شمال به موازات رودخانه سیمینه‌رود جریان دارد، و در طول مسیر خود از شهرستان شاهین‌دژ و میاندوآب می‌گذرد و در نهایت، در جنوب دریاچه ارومیه با تشکیل یک دلتای وسیع به عرض حدود ۱۰ کیلومتر به دریاچهٔ ارومیه می‌ریزد (۶). شایان ذکر است که سدی بر روی رودخانه زرینه‌رود احداث شده است که بمنظور تامین آب برای مصارف کشاورزی و شُرب استفاده می‌گردد. این رودخانه یکی از زیرحوضه‌های اصلی در حوضه دریاچه ارومیه است و وسعت آن بالغ بر ۷۱۶۰ کیلومتر مربع می‌باشد (۸).

با توجه به موارد فوق و از آنجایی‌که تاکنون مطالعات قابل توجهی در زمینه ارزیابی رودخانه‌ها بر اساس شاخص یکپارچگی زیستی (IBI) به‌طور ویژه با تکیه بر جوامع ماهی در حوضه دریاچه ارومیه انجام نشده است، پژوهش حاضر بمنظور مطالعه یکپارچگی زیستی رودخانه زرینه‌رود با اتکا بر جوامع ماهی و همچنین، انتخاب حدود ۳۰ کیلومتر در مسیر شاهین‌دژ با انتخاب ۷ ایستگاه به اجرا درآمد تا علاوه بر بکارگیری این روش، کارایی آن نیز برای تولید اطلاعات ارزشمند برای مدیریت اکوسیستم رودخانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

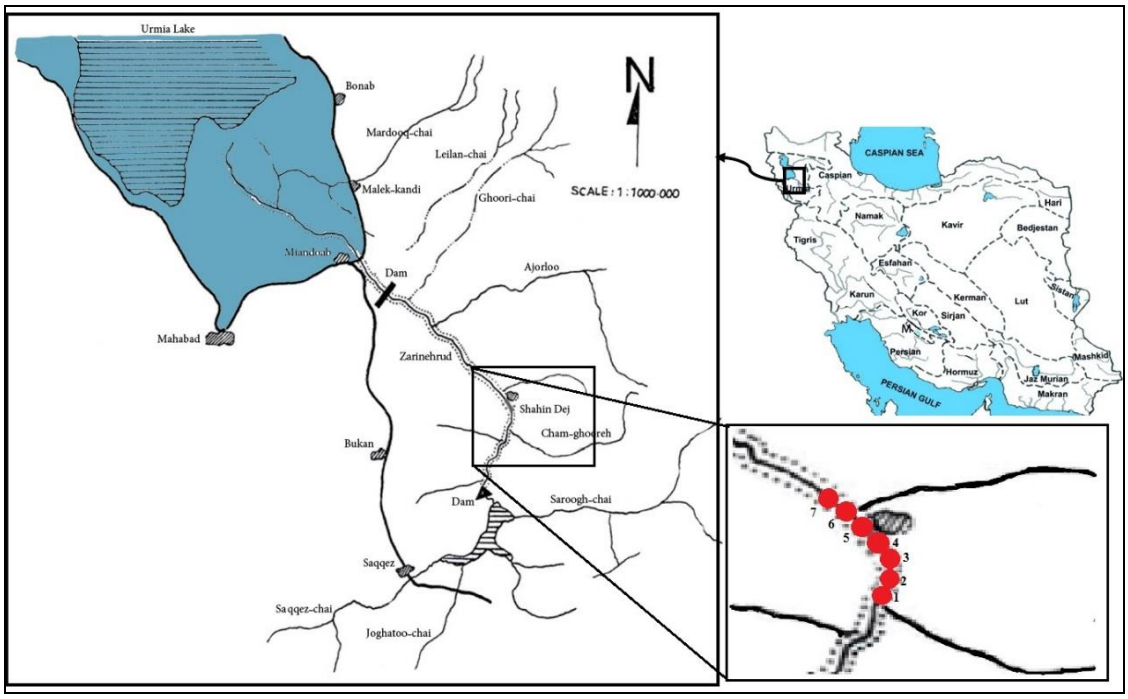
مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری ماهیان: این مطالعه در شهریوماه ۱۳۹۶ با هدف بررسی اثرات توسعه انسانی بر روی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه زرینه‌رود در مجاورت شهر شاهین‌دژ به مرحله اجرا درآمد (شکل ۱). برای نمونه‌برداری از ماهیان، ۷ ایستگاه انتخاب شد که ۴ ایستگاه قبل از شهر، ۱ ایستگاه در مجاورت شهر و ۲ ایستگاه بعد از شهر قرار داشت (جدول ۱). تعیین ایستگاه-ها بر اساس ویژگی‌هایی از قبیل نوع بستر رودخانه، مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و تنوع زیستگاه‌های مختلف در مسیر رودخانه صورت گرفت. در تعیین ایستگاه‌ها، متغیرهای مخدوش‌کننده شامل کشاورزی، شهرسازی و صنایع که موجب اختلال در یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه می‌شدند، مدنظر قرار گرفتند.

جدول ۱- موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در طول رودخانه زرینه‌رود

ایستگاه‌ها	طول و عرض جغرافیایی	عرض رودخانه (متر)	فاصله از شهر (فاصله از پل ورودی)
ایستگاه ۱	36 39 57/58 N 46 32 45/88 E	۱۰۰	۰/۴
ایستگاه ۲	36 39 32/93 N 46 33 5/88 E	۵۴	۳/۵
ایستگاه ۳	36 38 13/36 N 46 33 20/90 E	۵۷	۴/۷
ایستگاه ۴	36 35 33 N 46 33 4/59 E	۱۴	۱۱
ایستگاه ۵	36 35 28/46 N 22 E 46 33	۴۹	۱۱/۵
ایستگاه ۶	36 42 46/7 N 46 9 48/68 E	۵۹	۹
ایستگاه ۷	36 40 42/3 N 46 32 29/3 E	۹۰	۱/۴

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6



شکل ۱– موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه زرینه‌رود

نمونه‌برداری ماهیان با استفاده از دستگاه الکتروشوکر (SAMUS 720P) صورت گرفت و همزمان ویژگی‌های ایستگاه‌ها شامل دمای آب، دبی، نوع بستر و ارتفاع از سطح دریا نیز ثبت گردید. نمونه‌برداری از ایستگاه‌های مورد نظر در طول رودخانه با توجه به استانداردهای بین المللی صورت گرفت. بنابراین زمان نمونه‌برداری و تلاش صیادی برای همه ایستگاه‌ها یکسان بود. در این مطالعه، شناسایی ماهی‌های صید شده و همچنین تعیین گونه‌های بومزاد و غیربومی با استفاده از منابع معتبر ماهی‌شناسی (۱۷) انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: برای محاسبه شاخص‌های اکولوژیکی ماهیان شامل مارگالف، شانون، سیمپسون، غنای گونه‌ای، غالبیت و همگنی از نرم‌افزارهای Version 2.0 BiodiversityPro و PAST Version 3.04 استفاده شد. شاخص‌های موردنظر بهمراه ویژگی‌های ساختار جمعیتی شامل امتیازات کیفیت و کمیت گونه‌ها، درصد حضور گونه‌ای (گونه‌های مقاوم و غیربومی) و بیوماس (با توجه به میزان تلاش صیادی CPUA) بود. بمنظور ترسیم نمودارهای ضروری از نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 و همچنین، بمنظور بررسی میزان تشابه ایستگاه‌ها از آنالیز خوشه‌ای (Cluster analysis) در نرم‌افزار Past Version 3.04 استفاده شد.

داده‌ها طبق جدول ۲ که جدول امتیازدهی برای ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی (IBI) براساس روش بهینه شده اشماتز و همکاران (۲۰۰۰) است، بعنوان پایه امتیازدهی مدل یکپارچگی در این مطالعه تعیین شد. این جدول در مراحل بعدی براساس مطالعات میدانی بهینه‌سازی گردید. از آنجایی‌که شاخص IBI بعنوان مدلی با کاربرد آسان و حساس برای بررسی یکپارچگی اکوسیستم رودخانه می‌باشد، از این‌رو پارامترهای انتخاب شده (جدول ۲) براساس سیستمی با ۵ کلاس (عالی، خوب، قابل قبول، ضعیف و خیلی ضعیف) امتیازدهی شد. در این امتیازدهی کلاس ۱ یا عالی بیانگر بهترین شرایط و بدون آسیب انسانی و حضور تمامی گونه‌های قابل انتظار می‌باشد و

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

کلاس خیلی ضعیف بیانگر حضور تعداد کمی گونه و بیوماس، شامل گونه‌های معرفی شده و مقاوم است. در نهایت، پس از امتیازدهی ایستگاه‌ها، میزان همبستگی آنها در مسیر رودخانه با توجه به میزان حضور عوامل کشاورزی، شهرنشینی و صنایع همجوار توسط آنالیز رگرسیون، نمودار ستونی و بصورت توصیفی مورد تحلیل قرار گرفت.

جدول ۲- امتیازدهی برای ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی (IBI)، اصلاح شده اِشماتز و همکاران (۲۰۰۰)

سطوح یکپارچگی اکولوژیکی					شاخص‌ها
بد	ضعیف	متوسط	خوب	عالی	
اکثر گونه‌ها از بین رفته‌اند.	بسیاری از گونه‌ها موجود نمی‌باشند.	چندین گونه موجود نمی‌باشند.	برخی از گونه موجود نمی‌باشند.	تمامی گونه‌ها موجود یا تقریباً موجود می‌باشند.	گونه‌های بومی
تقریباً تمامی گونه‌ها از بین رفته‌اند.	اکثر گونه‌ها از بین رفته‌اند.	بسیاری از گونه‌ها موجود نمی‌باشند.	چندین گونه موجود نمی‌باشند.	تمامی گونه‌ها موجود یا برخی موجود نمی‌باشند.	گونه‌هایی که خود باعث پایداری و استمرار نسل خود می‌گردند
تغییر کرده	تغییر کرده	تغییر کرده	بدون تغییر	بدون تغییر	پراکنش ماهیان
بیشتر رسته‌ها (class) موجود نیستند.	بیشتر رسته‌ها موجود نیستند.	یک رسته موجود نمی‌باشد.	تمامی رسته‌ها موجود هستند.	تمامی رسته‌ها موجود هستند.	شمار رسته‌ها (غنای گونه‌ای)
دگرگونی کامل	دگرگونی کامل	دگرگونی چشمگیر	دگرگونی کم	بدون دگرگونی	ترکیب رسته‌ها
تغییرات بیش از اندازه	تغییرات سهمگین	تغییرات چشمگیر	تغییرات کم	بدون یا تقریباً بدون تغییرات	زیتوده یا بیوماس
تغییرات بیش از اندازه	تغییرات سهمگین	تغییرات چشمگیر	تغییرات کم	بدون یا تقریباً بدون تغییرات	ساختار جمعیت ماهیان (اندازه ماهی و اهمیت اکولوژیکی)
بر حسب مقدار محاسبه شده	بر حسب مقدار محاسبه شده	بر حسب مقدار محاسبه شده	بر حسب مقدار محاسبه شده	بر حسب مقدار محاسبه شده	شاخص‌های اکولوژیک

نتایج

در مجموع از هفت ایستگاه، ۱۱ گونه ماهی صید گردید (جدول ۳). عمده گونه‌های ماهیان صید شده متعلق به خانواده کپورماهیان بودند. علاوه بر این، یک گونه از جنس سگ ماهیان جویباری (Nemacheilidae) و یک گونه نیز به خانواده گاوماهیان (Gobiidae) تعلق داشت. در مجموع از تعداد ۱۱ گونه، ۴ گونه غیربومی شامل کاراس (*Carassius gibelio* Bloch, 1782)، ماهی مخرج لوله‌ای (*Rhodeus amarus* Bloch, 1782)، آمورچه (*Pseudorasbora parva* Temminck & Schlegel) و تیز-ه‌کولی (*Hemiculter leucisculus* Basilewsky, 1855) بودند. از لحاظ تعداد فراوانی ایستگاه شماره ۳ دارای بیشترین تعداد و فراوانی گونه می‌باشد.

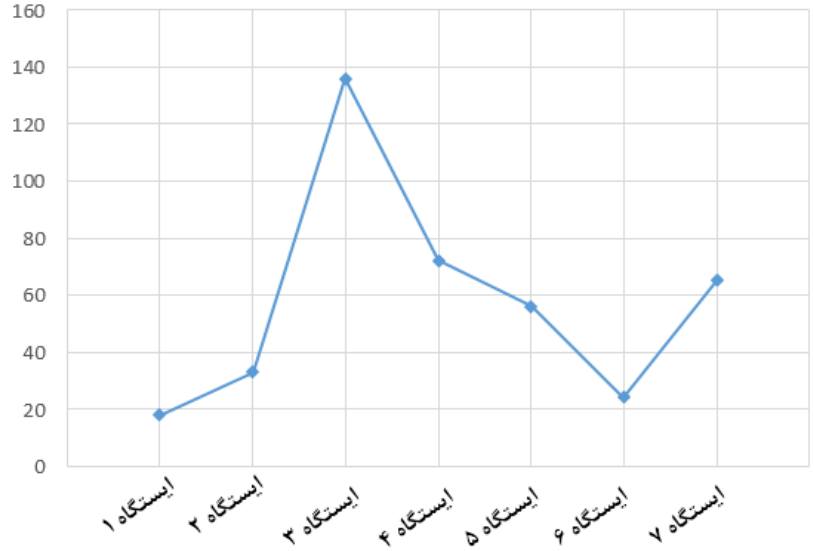
DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

جدول ۳- لیست گونه‌ها و تعداد ماهیان صید شده در هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	گونه	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	ایستگاه ۶	ایستگاه ۷
۱	*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)	–	–	۵	۲	۴	۶	۱
۲	*Squalius turcicus* (De Filippi, 1865)	–	–	–	۳	۲	–	–
۳	*capoeta capoeta* (Güldenstädt, 1773)	–	–	۲۵	–	–	۴	–
۴	*Gobio persus* (Gunther, 1899)	–	۵	۱۴	۱	۲	–	–
۵	*Albrunus atropatena* (Berg, 1925)	۲	۲۴	۱۵	۴۰	۲۳	۳	۲۴
۶	*Rhodeus amarus* (Bloch, 1782)	–	–	–	۱	۹	۳	۳
۷	*Barbus lacerta* (Heckel, 1843)	–	۴	۳۹	۲۴	۱۵	۳	۱۶
۸	*Oxynoemacheilus elsae* (Eagderi *et al*., 2018)	–	–	۳۴	۱	–	۴	۲۱
۹	*Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846)	–	–	۴	–	–	–	–
۱۰	*Hemiculter leucisculus* (Basilewsky, 1855)	۱۶	–	–	–	–	–	–
۱۱	*Rhinogobius lindbergi* (Berg, 1933)	–	–	–	–	۱	۱	–
	مجموع	۱۸	۳۳	۱۳۶	۷۲	۵۶	۲۴	۶۵

در مجموع، تعداد ۴۰۴ ماهی در طول دوره نمونه‌برداری صید گردید. در ایستگاه ۱ تنها دو گونه صید گردید که بیشترین فراوانی مربوط به گونه تیزه‌کولی بود. در ایستگاه دوم ۳ گونه صید شد و بیشترین فراوانی مربوط به گونه شاه‌کولی بود. در ایستگاه سوم نیز ۷ گونه صید گردید که بیشترین فراوانی مربوط به سگ‌ماهی جویباری (*O. elsae*) بود. در ایستگاه چهارم نیز ۷ گونه صید گردید و بیشترین فراوانی مربوط به شاه‌کولی بود. در ایستگاه پنجم ۷ گونه صید گردید که بیشترین فراوانی مربوط به شاه‌کولی بود. در ایستگاه ششم ۷ گونه صید گردید و بیشترین فراوانی مربوط به ماهی کاراس به تعداد ۶ عدد بود. در ایستگاه هفتم ۷ گونه صید گردید و بیشترین فراوانی مربوط به شاه‌کولی بود. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد گونه و نمونه از ایستگاه شماره ۳ به تعداد ۱۳۶ عدد ماهی صید شده است (شکل ۲).

ویژگی‌ها و فاکتورهای محیطی مربوط به ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۴ آورده شده است.



شکل ۲- نمودار وضعیت فراوانی ماهیان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

جدول ۴- ویژگی‌ها و فاکتورهای محیطی ثبت شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه‌ها	دمای آب	نوع بستر	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دبی (متر مکعب در ثانیه)	سرعت آب (متر بر ثانیه)	عمق (cm)
ایستگاه ۱	۱۵	سنگریزه و سنگلاخ	۱۳۴۸	۴۴	۱/۵۴	۱۰۱
ایستگاه ۲	۱۵	ماسه‌ای و سنگریزه	۱۳۴۷	۴۴	۰/۸۴	۵۵
ایستگاه ۳	۱۶	سنگلاخی و شن‌برداری شده	۱۳۵۰	۴۴	۱/۲۶	۴۰
ایستگاه ۴	۱۶	قلوه سنگ	۱۳۴۹	۴۴	۱/۱۲	۵۵
ایستگاه ۵	۱۷	لجنزار و گیاهان آبزی	۱۳۴۸	۴۴	۱/۰۵	۶۳
ایستگاه ۶	۱۹	سنگریزه با حاشیه گیاهان آبزی و لجن	۱۳۴۹	۴۴	۱/۲	۱۰۳
ایستگاه ۷	۱۸	قلوه سنگ	۱۳۴۸	۴۴	۰/۷۶	۵۵

بررسی شاخص‌های اکولوژیک ماهیان شامل مارگالف و شانون، نشان داد که از ایستگاه اول تا ایستگاه ششم افزایش و بعد از آن در ایستگاه هفتم، با کاهش همراه بود. شاخص شانون در ایستگاه شماره ۴ کمتر از ایستگاه شماره ۳ بود و شاخص شانون ایستگاه شماره ۳ بیشتر از ایستگاه پنجم بود. نتایج همچنین نشان داد که شاخص مارگالف به خوبی ارتباط روند تغییرات شاخص تنوع ماهیان را با روند تغییرات رودخانه (تغییر یکپارچگی اکولوژیکی) نشان می‌دهد. بررسی شاخص سیمپسون نیز نشان داد که این روند مشابه شاخص مارگالف از ایستگاه شماره ۱ تا ۶ افزایش داشته و در ایستگاه هفتم رو به کاهش گذاشت. ولی میزان شاخص ایستگاه شماره ۴ نسبت به ایستگاه‌های سوم و پنجم کمتر بوده است. بنابراین با توجه به دستکاری کمتر ایستگاه چهارم توسط عوامل توسعه انسانی، این میزان کم شاخص سیمپسون قابل توجیه می‌باشد (جدول ۵).

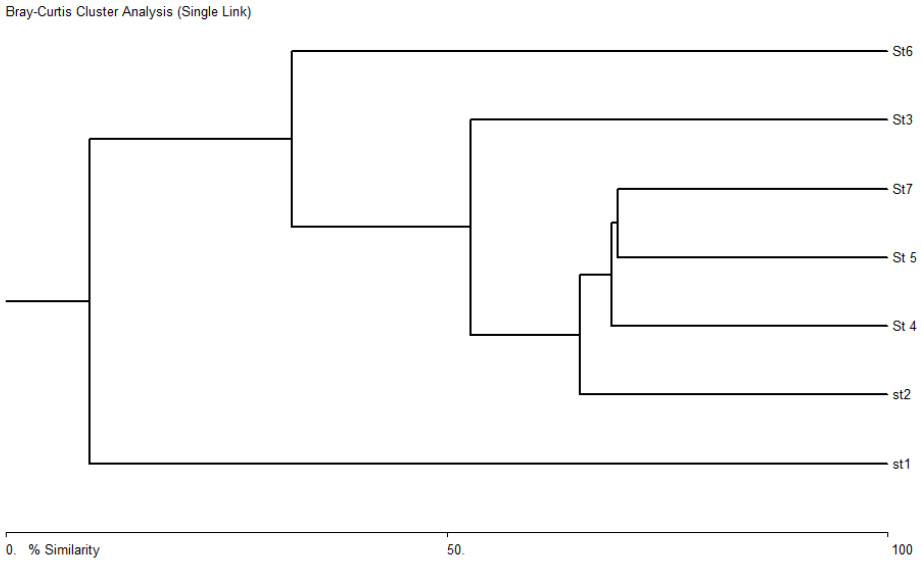
در مورد غالبیت در مناطق دستکاری شده به‌وسیله عوامل توسعه انسانی، این شاخص به‌شدت با کاهش (ایستگاه‌های پنجم تا ششم) همراه بود. این امر احتمالاً بدلیل حضور گونه‌های غیربومی بیشتر می‌باشد و غنای گونه‌ای نیز چنین روندی را نشان می‌دهد. بنابراین نتایج نشان داد که شاخص‌های سیمپسون و غالبیت بعنوان دو شاخص قابل اعتماد برای بررسی ارتباط تنوع ماهیان با تاثیر عوامل توسعه انسانی می‌توانند کاربرد داشته باشند.

جدول ۵- شاخص‌های اکولوژیکی به‌دست آمده برای ماهیان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

شاخص ها	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	ایستگاه ۶	ایستگاه ۷
مارگالف	۰/۳۴۶	۰/۵۷۲	۱/۲۲۱	۱/۴۰۳	۱/۴۹۱	۱/۸۸۸	۰/۹۵۸۲
شانون	۰/۳۴۸۸	۰/۷۷۳۳	۱/۷۱۸	۱/۱۰۳	۱/۵۱۱	۱/۸۵۶	۱/۲۸۴
سیمپسون	۰/۱۹۷۵	۰/۴۳۳۴	۰/۷۹۶۵	۰/۵۷۷۲	۰/۷۲۵۸	۰/۸۳۳۳	۰/۶۹۶۳
غنای گونه‌ای	۲	۳	۷	۷	۷	۷	۵
غالبیت	۰/۸۰۲۵	۰/۵۶۶۶	۰/۲۰۳۵	۰/۴۲۲۸	۰/۲۷۴۲	۰/۱۶۶۷	۰/۳۰۳۷
همگنی	۰/۷۰۸۷	۰/۷۲۲۳	۰/۷۹۶۶	۰/۴۳۰۴	۰/۶۴۷	۰/۹۱۴	۰/۷۲۲۳

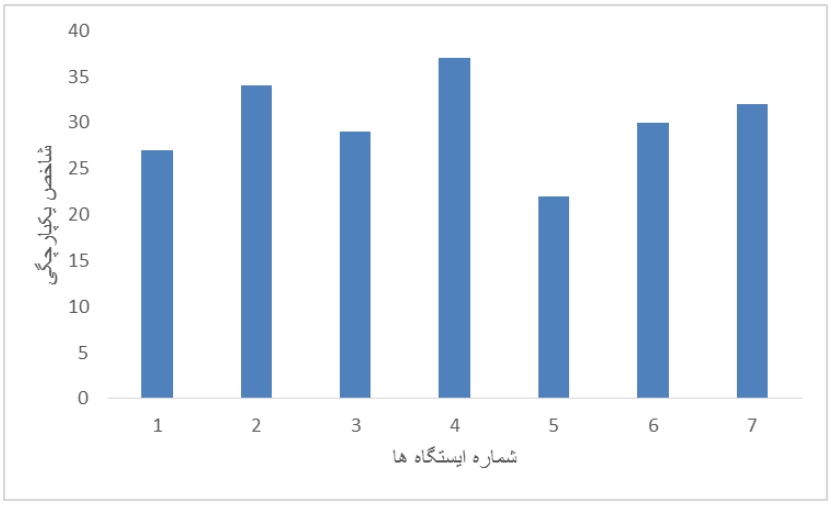
DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

نتایج آنالیز خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تنوع زیستی در شکل ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که ایستگاه شماره ۱ بیشترین تفاوت را با بقیه ایستگاه‌ها دارد که این امر احتمالاً بدلیل شرایط هیدرولوژیکی آن می‌باشد. از لحاظ تشابه، ایستگاه‌های ۲، ۴، ۵ و ۷ در یک شاخه قرار گرفتند و بیانگر تنوع گونه‌ای بالا در این ایستگاه‌ها می‌باشد. البته تنوع گونه‌ای ماهیان در ایستگاه ۵ بدلیل افزایش تعداد گونه‌های غیربومی از جمله ماهی مخرج لوله‌ای و کاراس می‌باشد (جدول ۳).



شکل ۳- نمودار آنالیز خوشه‌ای براساس تنوع زیستی ماهیان

نتایج ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی (IBI) بر اساس شاخص ماهیان در شکل ۴ آورده شده است. بر این اساس، ایستگاه ۴ دارای بیشترین امتیاز و ایستگاه ۵ در مجاورت شهر دارای کمترین امتیاز بوده است. روند تغییرات در این نمودار به خوبی بیانگر میزان تاثیرات فعالیت‌های انسانی می‌باشد. این گروه‌بندی بر اساس شاخص‌های تنوع و تشابه نسبی آن‌ها بین ایستگاه‌ها بوده است.



شکل ۴- نمودار شاخص یکپارچگی اکولوژیکی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در مسیر رودخانه زرینه‌رود

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

بحث و نتیجه گیری

اگر چه در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، پایش ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی یک روند معمول بوده و تغییرات آن نیز به‌واسطه جریان آب سریع می‌باشد، اما این پایش زیستی بر مبنای شاخص‌های زیستی یک روش معمول می‌باشد که اخیراً در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است (۱۸، ۲۲ و ۳۰). اگر چه تاکنون بیشتر مطالعات پایش رودخانه بر اساس موجوداتی مثل حشرات آبزی معمول بوده است، ولی بنظر می‌رسد که ویژگی‌های ماهیان که بر خلاف حشرات از موجودات دائمی رودخانه هستند، می‌تواند بعنوان یک شاخص مهم برای مدیریت رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد (۱۳، ۱۹، ۳۷ و ۳۸).

هر چند، ارزیابی رودخانه‌ها براساس ماهی یک روش معمول، رایج و استاندارد برای مدیریت شرایط رودخانه‌ای و ذخایر آن در آمریکای شمالی و اروپا است (۱۹، ۲۹ و ۳۰). ولی تاکنون تحقیق ویژه‌ای در این مورد در ایران انجام نگرفته و بیشتر مطالعات بر اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب، حشرات آبزی و ماکروبنتوزها بوده است. از این‌رو، این تحقیق بر اساس تکنیک‌های ارزیابی ماهی بنیان رودخانه، به‌واسطه رودخانه‌های فراوان و غنی از ماهی ایران، یک پتانسیل و فرصت مناسب برای توسعه و کاربرد این نوع ارزیابی و مدیریت برای سایر رودخانه‌ها به شمار می‌رود. ماهیان آبهای داخلی ایران، شامل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، حدود ۲۹۷ گونه را درخود جای داده‌اند (۱۷) و در ۱۹ حوضه جداگانه ایران پراکنش دارند و می‌توانند در بررسی تاثیر جوامع انسانی (توسعه کشاورزی، صنعت و شهرنشینی) و مدیریت بهتر اکوسیستم حساس و مولد رودخانه مورد استفاده و ارزیابی قرار گیرند (۱۵).

نتایج نشان داد که رودخانه زرینه‌رود در مسیر طبیعی خود، بر اساس ویژگی‌های هیدروبیولوژیکی ترکیب گونه‌ای متعددی را شامل می‌شود که در این مسیر این ترکیب گونه‌ای شامل گونه‌های بومی و غیربومی است. بر اساس نتایج و مشاهدات انجام شده، فراوانی گونه‌های غیربومی به ویژه کاراس (*C. gibelio*)، ماهی مخرج لوله‌ای (*R. amarus*) و آمورچه (*P. parva*) بیشتر در آبگیرها و سایر نقاط رودخانه که جریان آب آرام بوده و حاوی گیاهان آبزی فراوانی است، می‌باشد. گونه غیربومی تیزه‌کولی، از جمله ماهیانی است که بهمراه سایر ماهیان بومی مثل شاه‌کولی (*A. atropatena*) دیده می‌شود و احتمالاً آشیان اکولوژیکی مشابه گونه‌های بومی در مسیر رودخانه را اشغال می‌کند، از این‌رو، می‌تواند بعنوان تهدیدی برای این گونه با ارزش بومی مطرح گردد (۴، ۵، ۳۱ و ۳۲).

در مطالعه حاضر، ایستگاه ۱ بیشترین تفاوت را از منظر شاخص‌های تنوع زیستی در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها نشان داد که علت این موضوع را می‌توان به شرایط محیطی حاکم بر این ایستگاه نسبت داد. در این تحقیق، ایستگاه ۱ در بخش بالادست رودخانه قرار داشت به‌طوری که بستر این ایستگاه اغلب سنگ‌ریزه و سنگلاخ بود و علاوه بر این، سرعت جریان آب و عمق ستون آب در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها بیشتر بود. این شرایط محیطی در اغلب منابع پیشین (۳۶، ۳۷ و ۳۹) نیز بیان شده است و با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. متمایز شدن ایستگاه ۶ در آنالیز خوشه‌ای را نیز می‌توان به شرایط محیطی این ایستگاه نسبت داد. با توجه به اینکه ایستگاه ۶ در بخش پایین‌دست رودخانه قرار داشت، دارای بستر سنگریزه‌ای با حاشیه گیاهان آبزی و لجن بود که این مشاهدات با یافته‌هایی که در منابع پیشین (۳۹) از شرایط اکولوژیکی حاکم در بخش‌های پایین‌دست رودخانه وجود دارد، مطابقت دارد. نتایج آنالیز خوشه‌ای نشان داد که ایستگاه ۳ از ایستگاه‌های ۲، ۴، ۵ و ۷ جدا شد که علت این موضوع را می‌توان احتمالاً بدلیل کاهش عمق رودخانه نسبت داد. از آنجایی‌که کاهش عمق رودخانه با کاهش ریزیستگاه‌ها در اکوسیستم‌های آبزی همراه است، پس می‌توان بیان کرد که کاهش عمق رودخانه می‌تواند تنوع و فراوانی گونه‌ها را کاهش دهد

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

(۲)، اما این موضوع با فراوانی و غنای گونه‌ای بالای این ایستگاه هم‌خوانی ندارد. بنابراین، جدا از شرایط محیطی ذکر شده (جدول ۴) باید نقش سایر عوامل اکولوژیکی از قبیل رقابت بین گونه‌ها، را در این تغییرات جستجو کرد که لازم است این مسئله، در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد.

بررسی نتایج حاصل از شاخص یکپارچگی اکولوژیکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که یکپارچگی اکولوژیکی در ایستگاه ۴ در مقایسه با سایرین بیشتر است و پس از آن بترتیب ایستگاه‌های ۲ و ۷ قرار داند. این یافته‌ها با نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های تنوع زیستی (جدول ۵) مطابقت دارد. بررسی تنوع گونه‌ای در ایستگاه-های ۴، ۲ و ۷ نشان داد که این ایستگاه‌ها از نظر شاخص یکپارچگی اکولوژیکی نیز مشابهت دارند. پژوهش حاضر نشان داد که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه ۵ کمترین مقدار شاخص یکپارچگی اکولوژیکی را داشت. با توجه به اینکه ایستگاه ۵ در مجاورت شهرستان شاهین‌دژ قرار داشت، می‌توان اذعان نمود که مقدار شاخص یکپارچگی اکولوژیکی این ایستگاه بیشتر تحت تاثیر عوامل انسانی قرار گرفته است. مشابه این نتیجه در تحقیقات دیگر از جمله (۱۱، ۱۲، ۲۷، ۳۵، ۳۶ و ۳۸) نیز ذکر شده است. در پژوهشی که بمنظور بررسی شاخص یکپارچگی زیستی جمعیت ماهیان و کیفیت اکولوژیکی آبهای فلاندریا انجام شده بود، محققان کاهش مقدار شاخص یکپارچگی اکولوژیکی را به فعالیت‌های انسانی در اطراف رودخانه مرتبط دانستند (۱۱). در مطالعه حفاظت و احیای تنوع زیستی ماهیان در حوضه رودخانه یانگ تسه واقع در چین، نویسندگان (۲۷) بیان داشتند که کاهش یکپارچگی اکولوژیکی در منطقه مورد مطالعه بدلیل فعالیت‌های مختلف انسانی صورت گرفته است که از جملهٔ اثرات این فعالیت‌ها می‌توان به افزایش طغیان رودخانه‌ها، اثرات ناشی از احداث پل‌ها، تغییر و انحراف مسیر رودخانه‌ها با هدف مصرف آب، احداث سدها، حمل رسوبات از مناطق جنگل‌زدایی شده، افزایش رواناب بدلیل کاهش پوشش گیاهی و فرسایش شدید خاک اشاره کرد (۷، ۲۷ و ۳۹). مجموع این یافته‌ها حاکی از این است که در اکثر مناطق نقش فعالیت‌های انسانی و اثرات آنها در تغییر وضعیت بوم‌شناختی اکوسیستم‌های آبزی مشهود و برجسته است.

تاثیر عمده عوامل انسانی در مسیر مورد بررسی رودخانه زرینه‌رود بیشتر مربوط به فرآیندهای شن‌برداری است که باعث ایجاد آبگیرها می‌شوند، همچنین ورود پساب و فاضلاب شهر شاهین‌دژ به داخل رودخانه عامل مختل‌کننده دیگر می‌باشد (۷ و ۸). جایگاه شن‌برداری در ایستگاه ۳ دارای تنوع بالایی از ماهیان بومی بهمراه ماهیان غیربومی بود که باعث تغییرات عمده در روند یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه شده بود و علاوه بر تغییر در ترکیب، اندازه، غنا و ساختار گونه‌ای، باعث تغییر در شرایط هیدرولوژیکی این قسمت از رودخانه شده بود. بنابراین این زیستگاه‌های جدید (آبگیرهای عمیق و رشد گیاهان آبزی حاشیه‌ای) محلی مناسب برای استقرار گونه‌های غیربومی را فراهم نموده است (۱ و ۷).

بر اساس نتایج، بیشترین میزان تغییر در منظر رودخانه (River landscape) مربوط به ایستگاه ۵ در بعد از محل ورودی پساب شهر شاهین‌دژ بود که ورود حجم بالای پساب بهمراه مواد معلق به رودخانه باعث ایجاد جزایر متعدد به‌واسطه رسوب مواد معلق و غنی‌شدن آب می‌شود که در نهایت موجب رشد و گسترش شدید گیاهان آبزی فراوان در پیرامون رودخانه شده بود. ورود پساب شهر شاهین‌دژ باعث تغییر عمده در یکپارچگی رودخانه شده بود که این امر علاوه بر رسوبات فراوان و حاشیه برکه‌ای رودخانه، در میزان مواد مغذی ورودی به رودخانه نیز مشهود بود. با توجه به ماهیت تکاملی ماهیان رودخانه، عمده ماهیان زیست‌کننده در این ناحیه شامل ماهیان پهن و یا بسترزی از جمله مخرج لوله‌ای و کاراس بودند که برای زیست در این زیستگاه دارای توانایی بالایی بودند. در ادامه

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

مسیر رودخانه، تاثیر شهر شاهین‌دژ بر یکپارچگی رودخانه در دو ایستگاه بعدی کاملاً مشهود بود که این امر به‌واسطه حضور گونه‌های غیربومی توسعه یافته و شسته شده به این مناطق، قابل ارزیابی می‌باشد. ایستگاه شماره ۶ که در فاصله ۱/۵ کیلومتری بعد از شهر قرار داشت، در بستر حاشیه‌ای دارای مقادیر بالایی از گیاهان آبزی غوطه‌ور بود و از این نظر ماهیان پهن مانند کاراس و مخرج لوله‌ای به تعداد زیاد حضور داشتند ولی این روند در ادامه مسیر رودخانه، بواسطه فرآیند خودپالایی بهبود یافته و در ایستگاه شماره ۷ تقریباً شرایط به حالت عادی بازگشته بود و از لحاظ منظر رودخانه‌ای و حتی ترکیب و غنای گونه‌ای ماهیان، بیشتر شبیه ایستگاه‌های قبل از شهر بود.

آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌های نمونه‌برداری براساس شاخص‌های اکولوژیکی مختلف برای درک شباهت‌ها نتوانست پاسخ مناسبی را پیرامون روند تغییرات مسیر رودخانه و تاثیر جوامع انسانی ارائه دهد که البته چنین مطالعاتی در مورد تنوع حشرات آبزی و یا ماکروبنتوزها در رودخانه‌ها نتایج مثبتی را نشان داده بود. روش مطالعه در این تحقیق، کاملاً منطبق با روند تاثیرات توسعه جامعه انسانی در مسیر رودخانه بود که در عین حال بنظر می‌رسد برخی شاخص‌ها از جمله اندازه ماهی و گونه‌هایی که خود باعث پایداری و استمرار نسل خود می‌گردند، نیاز به اصلاح دارند. بنابراین، امکان کاربرد این روش در رودخانه‌های ایران وجود دارد ولی نیاز است که برای هر اکوسیستم رودخانه‌ای، شاخص‌های اختصاصی بر اساس ویژگی‌های رودخانه‌ها و ماهیان آن تهیه گردد (۲۰، ۲۱)، چرا که در مورد برخی از شاخص‌های مورد مطالعه در این تحقیق ،که بر اساس روش اِشماتز و همکاران (۲۰۰۰) بود، انطباق داده‌ها برای امتیازدهی اندکی مشکل بنظر می‌رسید. اما این مشکل در مطالعات قبلی نیز مطح شده است (۳۰ و ۳۴).

ارزیابی دستکاری انسان در مسیر رودخانه، اندکی سخت است، چرا که اساساً جوامع انسانی در مجاورت رودخانه‌ها توسعه یافته‌اند و رودخانه‌های اندکی یافت می‌شوند که بکر باشند و بتوان بعنوان منطقه رفرنس تعریف کرد. با توجه به این ویژگی رودخانه‌ها و نهرها و اجتماعات ماهیان موجود در آن‌ها، یکپارچگی در زمان حال، با آنچه که یکپارچگی بعد از ارزیابی و مطالعات نشان می‌دهد، متفاوت خواهد بود. با توجه به فقدان داده‌ها از ویژگی‌های تاریخی ماهیان، ارزیابی یکپارچگی اکولوژیک رودخانه مشکل بنظر می‌رسد، ولی روش مورد استفاده در این تحقیق برمبنای نمونه‌برداری از سایت‌ها در مسیر رودخانه، یک تکنیک پذیرفته شده می‌باشد (۲۴، ۳۴ و ۳۵) و همان‌طور که نتایج نیز نشان داد، به راحتی ساختار اجتماعات ماهیان را برای آشکارسازی یکپارچگی رودخانه نشان می‌دهد.

نتایج این پژوهش نشان داد که به جای تعداد ایستگاه‌های متعدد در مسیر رودخانه، تعداد کم ایستگاه با سه تکرار می‌تواند ارزیابی مناسبی از اجتماعات ماهیان زیست‌کننده در رودخانه ارائه دهد. در مطالعاتی که ناگزیر به تکرار نمونه‌برداری و ارزیابی می‌باشیم، اختلال در سیستم رودخانه‌ای، می‌تواند ارزیابی یکپارچگی را با مشکل مواجه سازد و در ضمن تفاوت نوع زیستگاه مثل بالادست و پایین‌دست نیز اثرات و دگرگونی‌های طبیعی بر اجتماعات ماهیان گذاشته و طبیعتاً تفاوت‌های معنی‌دار و محسوسی را بر ترکیب ماهیان خواهند داشت. از این‌رو، ایستگاه‌ها باید در فواصل کم و در قبل و بعد از محل اثر یک عامل موثر (مثل توسعه شهری) انتخاب گردد تا از تفاوت در اجتماع ماهیان به‌واسطه ترکیب آن‌ها اجتناب شود. بعنوان مثال، در بعضی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در این تحقیق، تعداد گونه‌های بومی متعددی دیده شد، ولی در ادامه مسیر نمونه‌برداری اثری از این گونه‌ها یافت نشد. از این‌رو طبیعی بنظر می‌رسد که هر منطقه یک ترکیب و جامعه (assemblage) خاص خود را داشته باشد.

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

در مطالعات متعددی از جمله باسم (۲۰۲۰)، کلیماشیک و گودین (۲۰۲۰) و دوکی و همکاران (۲۰۲۰) به ارتباط ترکیب و تنوع ماهیان با کیفیت آب اشاره شده است، ولی در عین حال تاثیرگذاری روند توسعه انسانی (سدسازی، ورود پساب شهری و ...) در بسیاری از مسیرهای رودخانه‌ای به عینه قابل رویت می‌باشد. چهار نوع عامل اختلال اصلی در مسیر رودخانه ذکر شده‌اند که عبارتند از (۱) توسعه کشاورزی، (۲) توسعه روند شهرسازی، (۳) سدسازی و (۴) صنایع. در منطقه مورد بررسی اساساً بیشترین روند تاثیر، مربوط به توسعه شهرسازی و پساب ورودی به رودخانه بود که شن‌برداری از بستر رودخانه نیز می‌تواند در زمره این توسعه شهری قرار گیرد (۱، ۷ و ۸). اندکی از تاثیرات را نیز می‌توان به توسعه کشاورزی در اطراف مسیر رودخانه مرتبط دانست. با توجه به دبی بالای رودخانه، تاثیر عامل کشاورزی به واسطه برداشت آب توسط پُمپ‌ها و چاه‌های پیرامون رودخانه کمتر بود، ولی این تاثیر نه در ترکیب ماهیان بلکه در بیوماس تاثیر مستقیمی خواهد داشت. با توجه به فقدان هر گونه داده مربوط به زمان‌های قبل، برآورد چنین تاثیری در حال حاضر امکان‌پذیر نخواهد بود. البته مطالعات متعددی در برخی کشورها بر روی تاثیر عامل کشاورزی انجام شده است (۱۳، ۱۹ و ۲۲). البته، لازم به ذکر است که توسعه کشاورزی در مسیر رودخانه، نه تنها باعث ورود مواد شیمیایی مانند کودها و آفت‌کش‌های حاصل از کشاورزی خواهد بود، بلکه ورود مواد آلی از زمین‌های کشاورزی و حیوانات اهلی پیرامون رودخانه‌ها و نهرها نیز می‌توانند از عوامل تاثیرگذار بر این اکوسیستم‌ها باشند (۹ و ۱۰) که خوشبختانه بدلیل بزرگی و حجم بالای آب رودخانه زرینه‌رود، چنین آثاری مشاهده نگردید. مشابه یافته‌های بدست آمده در تحقیقات ارائه شده توسط فرانزل (۲۰۰۳) و سترا و فری‌را (۲۰۱۶) نیز به‌ثبت رسیده است، بطوری که آنها اظهار داشتند که ورود مواد آلی و آلاینده‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی می‌تواند روی شاخص یکپاچگی اکولوژیکی رودخانه‌ها که مبتنی بر جوامع ماهی ارائه شده است، تاثیرات مختلفی داشته باشد که این اثرات در اغلب گزارش‌ها و مطالعاتی که با هدف تعیین یکپارچگی اکولوژیکی در رودخانه‌ها انجام شده است، به ثبت رسیده است.

علی‌رغم حجم بالای پساب شهری شاهین‌دژ، با مشاهده تغییرات و همچنین وجود گیاهان و مواد آلی در مسیر رودخانه، شاهد روند خودپالایی بسیار مناسب در رودخانه زرینه‌رود بودیم. شاخص یکپارچگی نشان داد که در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری از شهر، ترکیب اجتماع ماهیان به حالت طبیعی برمی‌گردد. ولی در فاصله حدود ۱/۵ کیلومتری از شهر، هنوز به ترکیب و حالت طبیعی خود برنگشته و در ترکیب و تنوع گونه‌ای ماهیان (بومی و غیر بومی) اختلال دیده می‌شود. این نتایج در سایر مطالعات از جمله بلپایر و همکاران (۲۰۰۰) و باسِم (۲۰۲۰) نیز مطرح شده است و نقش خودپالایی رودخانه‌ها بر تنوع زیستی ماهیان و شاخص یکپارچگی زیستی به ثبت رسیده است. این محققان بیان کردند که در فاصله‌ای دورتری از محل ورود آلودگی به رودخانه، تنوع زیستی ماهیان و شاخص یکپارچگی اکولوژیکی به حد طبیعی خود بازمی‌گردد که می‌توان علت آن را به اثر خودپالایی رودخانه مرتبط دانست که البته تحت تاثیر دبی و حجم آب رودخانه تغییر می‌کند (۱ و ۸). کاستا و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که ورود پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری علاوه بر اینکه می‌تواند غنای گونه‌ای ماهیان را کاهش دهد، با ورود غلظت‌های بالایی از نیترات و فسفات، یک زیستگاه آشفته و بی‌کیفیت برای جوامع ماهی ایجاد می‌کند که در گذر زمان می‌تواند اثرات جبران‌ناپذیری برای بوم‌سازگان آبی بدنبال داشته باشد.

مطالعه حاضر توانست ارتباطی واضح از روند تاثیر توسعه انسانی بر سلامت و یکپارچگی رودخانه‌ها را آشکار سازد و از این‌رو می‌تواند بعنوان روشی کاربردی و سریع در

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

مدیریت و پایش زیستی رودخانه‌ها با استفاده از شاخص-های زیستی تنوع ماهیان بکار گرفته شود. چرا که سایر روش‌ها که بر پایه فاکتورهای فیزیکوشیمیایی و یا ماکروبنتوزها کاربرد دارند، نیاز به بررسی طولانی مدت و زمان‌بر خواهند داشت و علاوه براین، هزینه بالایی را نیز نسبت به روش مورد استفاده ما دربرخواهند داشت. مشابه این یافته‌ها و نظرات بِکَرات در تحقیقات مختلف از جمله مطالعات جدید مانند پونت و همکاران (۲۰۱۹)، سیلوانو (۲۰۲۰) و سوزوآ و ویانا (۲۰۲۰) ذکر شده است.

منابع

۱- احمدی، ر.، ۱۳۷۷. بررسی لیمنولوژی رودخانه زرینه‌رود، انتشارات موسسه تحقیقات شیلات ایران (چاپ اول).

۲- حسن‌خانی، م.، کیوانی، ی.، جبله، ا.ر.، پولادی، م.، و محبوبی صوفیانی، ن.، ۱۳۹۷. بررسی فراوانی و تنوع زیستی ماهیان حوضه رودخانه سیروان کردستان. پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۳، صفحات ۵۰-۳۵.

۳- خضری، ک.، عبدلی، ا.، حسن‌زاده کیابی، ب.، ولیخانی، ح.، و اعظمی، ج.، ۱۳۹۸. ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه جاجرود با استفاده از سنجه‌های ماهیان و ماکروبنتوزها. فصلنامه علوم محیطی. دوره ۱۷، شماره ۳، صفحات ۲۲۴-۲۰۹.

۴- رادخواه، ع.ر.، و ایگدری، س.، ۱۳۹۴. نخستین گزارش حضور گونه تیزه‌کولی (*Hemiculter leucisculus* Basilewsky 1855) در رودخانه زرینه‌رود (حوضه دریاچه ارومیه) و برخی خصوصیات زیستی آن. بوم‌شناسی هرمزگان، سال چهارم، شماره ۴، صفحات ۱۲۱-۱۱۶.

۵- رادخواه، ع.ر.، ایگدری، س.، و پورباقر، ه.، ۱۳۹۷. مروری بر پراکنش گونه غیربومی آمورچه (*Pseudorasbora parva*) در آب‌های داخلی ایران و بررسی اثرات اکولوژیکی آن. کنفرانس حفاظت از ماهیان بومزاد اکوسیستم‌های آب‌های داخلی ایران، گروه شیلات دانشگاه تهران و انجمن ماهی‌شناسی ایران، ۲۸ آذرماه ۱۳۹۷، کرج.

۶- شهر مجازی.، ۱۳۹۵. رودخانه زرینه‌رود. آدرس وبسایت: https://www.shahrmajazi.com، (تاریخ دسترسی: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲).

۷- فلاح، ع.ا.، ۱۳۸۸. بررسی عوامل تهدید کننده جمعیت ماهیان زرینه‌رود، پایان نامه کارشناسی شیلات، ۱۱۶ صفحه.

۸- منصوری، ب.، احمدزاده، ح.، مساح بوانی، ع.ر.، مرید، س.، دلاور، م.، و لطفی، س.، ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زرینه‌رود با استفاده از مدل SWAT. نشریه آب و خاک، دوره ۲۸، شماره ۶، صفحات ۱۲۰۳-۱۱۹۱.

9-Aarts, B.G.W., and Nienhuis, P.H., 2003. Fish zonations and guilds as the basis for assessment of ecological integrity of large rivers, *Hydrobiologia*, 500, PP: 157-178.

10-Bassem, SM., 2020. Water pollution and aquatic biodiversity. Biodiversity International Journal. 4, PP: 10–16.

11-Belpaire, C., Smolders, R., Auweele, I.V., Ercken, D., Breine, J., Van Thuyne, G., and Ollevier, F., 2000. An Index of Biotic Integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian water bodies. *Hydrobiologia*, 434, PP: 17–33.

12-Cetra, M., and Ferreira, F.C., 2016. Fish-based index of biotic integrity for wadeable streams from Atlantic forest of south São Paulo State, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 28, PP: 22. Doi: 10.1590/S2179-975X1216.

13-Costa, I.D., Petry, A.C., and Mazzoni, R., 2020. Fish assemblages respond to forest cover in small Amazonian basins. *Limnologica*, 81, PP: 125757.

14-Costa, P.F., and Schulz, U.H., 2010. The fish community as an indicator of biotic integrity of the streams in the Sinos River basin, Brazil. Brazilian Journal of Biology, 70, PP: 1195–1205.

15- Cooper, M.J., Lamberti, G.A., Moerke, A.H., Ruetz, C.R., Wilcox, D.A., Brady, V. J., Brown, T.N., Ciborowski, J., Gathman, J.P., Grabas, G.P., Johnson, L.B., and Uzarski, D.G., 2018. An expanded fish-based index of biotic integrity for Great Lakes coastal wetlands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, PP: 580.

16-Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kwabata, Z., Knowler, D.J., Leveque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richaed, A., Soto, D., Stiassny, M.L.J., and Sullivan, C.A., 2006. Fresh water biodiversity: importance, threats,

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81, PP: 163-182.

17-Esmaeili, H.R., Sayyadzadeh, G., Eagderi, S., and Abbasi, K., 2018. Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa*, 3, PP: 1-95.

18-Duque, G., Gamboa-García, D.E., Molina, A., and Cogua, P., 2020. Effect of water quality variation on fish assemblages in an anthropogenically impacted tropical estuary, Colombian Pacific. *Environmental Science and Pollution Research*. 27, PP: 25740–25753.

19-Farina, A., 2000. The cultural landscape as a model for the integration of ecology and economics. *BioScience*, 50, PP: 313-320.

20-Fränzle, O., 2003. Bioindicators and environmental stress assessment. Trace metals and other contaminates in the Environment, 6. In: Bioindicators and Biomonitors: Principles, Concepts, Applications. Edited by B.A. Market, A.M. Breure. H.G. Zechmeister. New York, Elsevier Science, PP: 41-84.

21-Gonino, G., Benedito, E., Cionek, V.d.M., Ferreira, M.T., and Oliveira, J.M., 2020. A fish-based index of biotic integrity for Neotropical rainforest sandy soil streams -Southern Brazil. *Water*, 12, PP: 1215.

22-Hermoso, V., and Clavero, M., 2013. Revisiting ecological integrity 30 years later: non-nativespecies and the misdiagnosis of freshwater ecosystem health. *Fish and Fisheries*. 14, PP: 416–423.

23-Jungwirth, M., Muhar, S., and Schmutz, S., 2000. Fundamentals of fish ecological integrity and their relation to the extended serial discontinuity concept. *Hydrobiologia*, 422/423, PP: 85–97.

24-Kennard, M.J., Harch, B.D., Pusey, B.J., and Arthington, A.H., 2006. Accurately defining the referencec condition for summary biotic metrics: a comparison of four approaches. *Hydrobiologia*. 572, PP: 151–170.

25-Klimaszyk, P., and Gołdyn, R., 2020. Water quality of freshwater ecosystems in a temperate climate. *Water*. 12, PP: 2643. Doi: 10.3390/w12092643.

26-Kwon, Y.S., Li, F., Chung, N., Bae, M.J., Hwang, S.J., Byoen, M.S., Park, S.J., and Park, Y.S., 2012. Response of Fish Communities to Various Environmental Variables across Multiple Spatial Scales. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9, PP: 3629–3653.

27-Li, J., Chen, X., Zhang, X., Huang, Z., Xiao, L., Huang, L., Kano, Y., Sato, T., Shimatani, Y., and Zhang, C., 2020. Fish biodiversity conservation and restoration, Yangtze River basin, China, urgently needs ‘scientific’ and ‘ecological’ action. *Water*, 12, PP: 3043.

28-Mike, J., 2007. A New Fish Index of Biotic Integrity using Quantile Regressions: The Fish QIBI for the Waikato Region. Environment Waikato Technical Report. 2007/23, 18 p.

29-Muller, F., Hoffmann-Kroll, R., and Wiggering, H., 2000. Indicating ecosystem integrity-theoretical concepts and environmental requirements. *Ecological Modelling*, 130, PP: 13-23.

30-Pont, D., Valentini, A., Rocle, M., Maire, A., Delaigue, O., Jean, P., and Dejean, T. 2019. The future of fish-based ecological assessment of European rivers: from traditional EU Water Framework Directive compliant methods to eDNA metabarcoding-based approaches. *Journal of Fish Biology*, 98, PP: 354-366.

31-Radkhah, A.R., Eagderi, S., and Mousavi-Sabet, H., 2016. First record of the exotic species *Hemiculter leucisculus* (Pisces: Cyprinidae) in southern Iran. *Limnetica*, 35, PP: 175-178.

32-Sarukhán, J., and Whyte, A., 2005. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC, PP: 1-80.

33-Schiemer, F., 2000. Fish as indicators for the assessment of the ecological integrity of large rivers. *Hydrobiologia*, 422, PP: 271–278.

34-Schmutz, S., Kaufmann, M., Vogel, B., Jungwirth, M., and Muhar, S., 2000. A multi-level concept for fish-based, river-type-specific assessment of ecological integrity. *Hydrobiologia*, 422, PP: 279-289.

35-Schmutz, S., Cowx, I.G., Haidvogl, G., and Pont, D., 2007. Fish-based methods for assessingEuropean running waters: a synthesis. *Fisheries Management and Ecology*. 14, PP: 369–380.

36-Shang, S., Ren, H., Wang, S., Zhu, Z., Guo, W., Wang, M., Yang, B., Ma, S., Meng, Y., and Yin, X., 2019. Biological integrity of fish in Jinan Region, China. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 252, PP: 042003. Doi:10.1088/1755-1315/252/4/042003.

37-Silvano, R.A.M., 2020. Fish and fisheries in the Brazilian Amazon: people, ecology and conservation in black and clear water rivers. 1st ed. Springer (November 22, 2020), 433 p.

DOR: 20.1001.1.23832614.1401.35.1.2.6

38-Souza, G.B.G., and Vianna, M., 2020. Fish-based indices for assessing ecological quality and biotic integrity in transitional waters: A systematic review. *Ecological Indicators*. 109, PP: 105665. Doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105665.

39-Winemiller, K.O., Agostinho, A.A., and Caramaschi, E.P., 2008. Fish ecology in tropical streams. In: Dudgeon, D (Ed.). Tropical stream ecology. San Diego: Academic Press, PP: 107-146.

Assessment of ecological integrity of the Zarineh River using fish-based indices: A case study on the impact of Shahin-Dezh city (West Azarbaijan Province)

Radkhah A.R.[1], Eagderi S.[1*], Shams Y.[2] and Hossinei S.V.[1]

[1]Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran.

[2]Dept. of planning, management and environmental education, Islamic Azad University Tehran. North Branch, I.R. of Iran

Abstract

This study was conducted to investigate the anthropological impacts on the Integrity Biological Index (IBI) of the Zarineh River using fish ecological indexes including integrity scores, species richness, abundance and etc. For this reason, seven stations about 30 km along the river before, adjust and after the city of Shahin-Dezh were selected. Sampling was carried out based on a standard one run method from equal distances using electrofishing device. In total 404 fish specimen of eleven species were captured. Then, the ecological indexes including simpson, margalof, shannon, richness and IBI scores were calculated for each station using Biodiversity pro software. The results revealed that distribution, abundance and composition of the ichthyofauna of the Zarineh River can be applied to assess of the anthropological impacts on IBI of this river. The observations also showed that higher biodiversity indexes and abundance cannot be related to higher water quality. Examination of the results of the ecological integrity index in the studied stations showed that the IBI value in station 4 is higher compared to the others. In terms of IBI index, after station 4, there were stations 2 and 7, respectively. These findings were consistent with the results obtained from biodiversity indices. The study of species diversity in stations 4, 2 and 7 showed that these stations are similar in terms of ecological integrity index. The present study showed that among the studied stations, station 5 had the lowest value of IBI. Considering that Station 5 was located near Shahin-Dezh city, it can be acknowledged that the IBI value of this station has been more affected by human activities. Based on the results, the input of sewage as result of the development of urbanization was found as main disrupting factor effecting the water quality and IBI based on fish ecological indexes and IBI scores. The results also showed that riverine integrity can be useful approach to rapid estimation of the human impacts on the health of river systems.

Key words: Fish, Ecological Indicators, Integrity, Zarineh River, Shahin-Dezh.