تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۶، شهریور ماه ۱۳۹۹ (ص ۱۴۷۸-۱۴۶۹) DOI:10.22059/ijswr.2020.296454.668480

Biological Evaluation of Epilithic Algal Distribution; An Applicable Approach for River Water Quality Assessment (Case Studies of Karw and Bozhan Rivers)

AHMAD FARHAD TALEBI[1*], HANIE ALIPOUR[1]
1. Department of Microbial Biotechnology, Faculty of Biotechnology, Semnan University, Semnan, Iran.
(Received: Jan. 26, 2020- Revised: March. 5, 2020- Accepted: March. 9, 2020)

ABSTRACT

At the same time with development of agricultural and industrial activities and reduction of quantity and quality of water resources, assessment of surface water resources quality has been paid more attention. Due to limitations of conventional methods for surface water quality assessment, development of alternative methods has been considered for monitoring water quality. For example, biomonitoring using alga is a proper indicator for surface water quality assessment. In this study, the relationship between epilithic alga population and concentration of common nutrient residuals including nitrate, nitrite, phosphate, sulfate and water-soluble iron in Bozhan and Kharw Rivers in Neishabour was determined in two consecutive years; 2017 and 2018. $IRWQI_{SC}$ quality index for Bozhan and Kharw River was calculated as 50.03, 66.65% and 47.66, 55.69% during 2017-2018 respectively, which ranged between moderate to relatively good. Significant differences were observed in the concentrations of phosphate and iron in Bozhan River. The source of iron could be due to effluent from Bozhan village gardens. This gardens use Sequesteren iron fertilizer with no management. Due to the direct role of these nutrients in stimulating growth of alga communities, distribution rate of epilithic alga in Bozhan River was shown to be more than the ones in Kharw River. Therefore, investigation of changes in alga communities as a proper bioindicator could be useful for assessment and prediction of residuals such as phosphate and iron ions in water resources. These findings could be used in better recommendations for gardening and more accurate management of drainage water entering the riverside by studying the distribution of algal communities.

Keywords: Algal Communities, Bioindicator, Drainage, Fertilizer, Water Quality.

* Corresponging Author's Email: aftalebi@semnan.ac.ir

ارزیابی زیستی پراکنش جلبک‌های سنگ‌زی؛ رویکردی کاربردی در پایش کیفیت آب رودخانه‌ها (مطالعات موردی در رودخانه‌های بوژان و خرو)

احمدفرهاد طالبی*[۱]، حانیه علی‌پور[۱]

۱. گروه زیست فناوری میکروبی، دانشکده زیست فناوری، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۶- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹)

چکیده

همزمان با توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و کاهش کمی و کیفی منابع آب، ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی اهمیت روز افزونی یافته است. با توجه به محدودیت‌های روش‌های متداول، به‌منظور ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی می‌توان از روش‌های جایگزین استفاده نمود. به عنوان مثال، پایش زیستی به کمک جوامع جلبکی، شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت منابع آب سطحی هستند. لذا در مطالعه حاضر رابطه بین جمعیت جلبک‌های سنگ‌زی و غلظت باقی‌مانده‌های مواد مغذی نظیر نیترات، نیتریت، فسفات، سولفات و آهن در رودخانه‌های بوژان و خرو از توابع شهرستان نیشابور در خلال سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ تعیین شد. شاخص کیفیت IRWQIsc برای رودخانه بوژان و خرو در سال‌های مورد مطالعه به ترتیب، ۵۰/۰۳، ۶۶/۶۵ و ۴۷/۶۶، ۵۵/۶۹ محاسبه شد که در محدوده متوسط تا نسبتاً خوب قرار گرفت. اختلاف معناداری در غلظت آلاینده‌هایی نظیر آهن و فسفات در رودخانه بوژان به ثبت رسید. منشأ احتمالی ترکیبات آهن می تواند پساب باغات روستای بوژان باشد. این باغات با کود سکوسترن آهن به‌صورت غیرعلمی کوددهی شده‌اند. با توجه به نقش این عوامل در تحریک رشد جوامع جلبکی، میزان پراکنش جلبک‌های سنگ‌زی در رودخانه بوژان به مراتب بیشتر از رودخانه خرو مشاهده شد. بنابراین بررسی تغییرات جوامع جلبکی به‌عنوان یک شاخص نشانگر زیستی مناسب می‌تواند برای ارزیابی و پیش‌بینی حضور باقی‌مانده‌هایی از جمله فسفات و آهن در منابع آبی مفید باشد. نتایج این تحقیق امکان مدیریت دقیق‌تر توصیه‌های کودی باغات و همچنین پساب ورودی به رودخانه را به کمک مطالعه پراکنش جوامع جلبکی فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: جوامع جلبکی، پساب ، شاخص نشانگر زیستی، کود، کیفیت آب.

مقدمه

در روش‌های مرسوم کشاورزی، بخش قابل توجهی از آب آبیاری به‌همراه منابع غذایی محلول به مصرف واقعی گیاه نمی‌رسد و به‌صورت زهاب از مزارع خارج می‌شود. مصرف غیرعلمی و کنترل نشده کودها و سموم کشاورزی به‌همراه فعالیت‌های فشرده کشاورزی، می‌تواند سبب آلودگی پساب مزارع کشاورزی و تشدید آلودگی منابع آبی می‌شود (Jebeli, 2002). تجمع مواد مغذی در پساب کشاورزی و ورود آن‌ها به منابع آب سطحی و زیرزمینی مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را به همراه دارند. نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن از جمله عناصر عمده در کودهای شیمیایی می‌باشند که در پساب‌های مزارع و باغات یافت می‌شوند. این عناصر به‌عنوان مواد غذایی توسط ریزسازواره‌ها و موجودات فتوسنتز کننده جذب می‌شوند. غلظت‌های بالای این ترکیبات در منابع آبی سبب رشد بیش از حد جلبک‌ها و گیاهان آبزی می‌شود. افزایش تراکم زیست توده‌های گیاهی منجر به تشدید فعالیت‌های گندخواری ریزسازواره‌ها شده و این پدیده در نهایت منجر به کاهش اکسیژن محلول آب می‌شود. لذا ورود بیش از حد این عناصر غذایی به اکوسیستم آبی، ساختار جمعیتی جانداران در پایین دست رودخانه را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد.

رودها به دلیل ورود فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی از آلوده‌ترین منابع آبی محسوب می‌شوند. به‌عنوان مثال آب رودخانه کشف رود در گذشته برای آبیاری مزارع مورد استفاده قرار می‌گرفت اما امروزه کشت هرگونه صیفی‌جات در حریم این رودخانه به سبب ورود انواع فاضلاب به این رودخانه و انباشت آلودگی، ممنوع اعلام شده است (Mohammadi *et al.*, 2010). البته به این نکته باید اشاره کرد که سرانه مصرف کود در ایران بسیار کمتر از شاخص جهانی است. برای مثال در سطح برابر تحت عملیات کشاورزی در ایران و پاکستان (حدود ۲۰۰ هزار کیلومتر مربع)، کود مصرف شده در ایران تنها ۴۰ درصد میزان کود مصرفی کشور پاکستان است (FAO, 2002).

* نویسنده مسئول: aftalebi@semnan.ac.ir

هم‌زمان با توسعه صنایع و فعالیت‌های کشاورزی، اهمیت حفظ کیفیت آب‌های شیرین سطحی و شناسایی و زدایش منابع آلوده کننده آن‌ها نیز افزایش یافته است. اگرچه حفظ کیفیت منابع آبی نیازمند توجه و ارزیابی مستمر با صرف وقت و هزینه-های زیاد می‌باشد. همچنین در اغلب موارد، کیفیت آب می‌بایست قبل از مصرف، ارزیابی و یا پیش‌بینی شود. ارزیابی مستمر کیفیت آب نسبتاً گران و وقت‌گیر می‌باشد، لذا توسعه روش‌های ارزیابی جایگزین، یکی از پیش‌نیازهای همیشگی مدیریت منابع آبی است. در این مورد، استفاده از نشانگرهای زیستی[1] می‌تواند مفید باشد. اصطلاح نشانگر زیستی به گونه‌های خاص یا جوامعی از جانداران بازمی‌گردد که با حضور آن‌ها اطلاعات مربوط به خواص فیزیکی و شیمیایی اکوسیستم (خصوصیات کیفیت آب) در یک محل خاص و در یک بازه زمانی معین ارزیابی می‌شود (Bellinger and Sigee, 2010). جلبک‌ها به‌علت نیازمندی تغذیه‌ای ساده، تولید مثل سریع و چرخه زندگی کوتاه، نشانگرهای زیستی مناسبی جهت ارزیابی کیفیت منابع آب می‌باشند (Gökçe, 2016). بنابراین جلبک‌ها می‌توانند به تغییر شرایط شیمی آب از جمله افزایش غلظت مواد غذایی محلول به سرعت پاسخ دهند و امکان ارزیابی سریع کیفیت آب را فراهم می‌آورند (Chankaew *et al.*, 2015). از سوی دیگر جلبک‌ها امکان این را دارند که به‌عنوان یک ابزار مفید برای ارزیابی تغییرات درازمدت در اکوسیستم آبی مانند موارد مربوط به یوتریفیکاسیون[2]، تغییر در استفاده از زمین حوضه آبریز، تغییرات اقلیمی و پیش بینی درازمدت کیفیت آب به کار برده شوند (Asadian *et al.*, 2018, Bellinger and Sigee, 2010). استفاده از جوامع جلبکی در مقایسه با تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی یک روش ارزان و سریع است (Tapia, 2008). رهاسازی و انباشت مواد مغذی نه تنها بر فراوانی و بزرگی جوامع جلبکی، بلکه بر ترکیب گونه‌ها نیز اثر گذار است. لذا در مطالعات به کمک نشانگر زیستی، تعداد جلبک‌ها و ترکیب گونه آنها مورد توجه قرار می‌گیرد (Barinova *et al.*, 2015).

در زمینه بررسی کیفیت آب با استفاده از نشانگرهای زیستی تحقیقات زیادی در سایر نقاط جهان انجام شده است. نشانگرهای زیستی اغلب در ارزیابی کیفیت آب استفاده می‌شوند (Barinova, 2017؛ Jiyenbekov *et al.*, 2018). با این حال، برخی اوقات این روش در ارزیابی تاثیرات فلزات سنگین، ژنوتوکسین‌های آبی، سمیت و همچنین در تعیین شرایط هیدرولوژیکی و غیره نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bellinger and Sigee, 2010). برای این منظور، نشانگرهای زیستی از گونه‌های مختلف گیاهان عالی آبی (Sullivan, 2018)، فیتوپلانکتون‌ها (Belous *et al.*, 2013)، زئوپلانکتون (Pashkova, 2012) و کفزیان (Oleynik et al., 2011) تا کنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

بررسی منابع بیانگر آن است که کیفیت منابع آب شدیداً تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در حوضه و حاشیه منابع آبی است. در کشور ما نیز دستورزی‌های بشر بدون در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی و زیست‌محیطی، سلامت منابع آب را دچار مشکل کرده است. بنابراین می‌بایست مطالعات دقیقی در مورد کیفیت منابع آب و عوامل آلوده‌کننده آن انجام شود تا بتوان ضمن مدیریت فعالیت‌های آلاینده، از افزایش شدت آلودگی منابع آب کشور جلوگیری کرد. در این مطالعه تلاش شده است کیفیت آب رودخانه های بوژان و خرو در استان خراسان رضوی با استفاده از ارزیابی زیستی در طی سال‌های آماری ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. این بررسی با اهداف توسعه استفاده از نشانگرهای زیستی به منظور پایش مقرون به صرفه کیفیت منابع آب کشور، ارزیابی زیستی کیفیت آب و شرایط اکولوژیک رودخانه‌های خرو و بوژان در شمال شهرستان نیشابور، کمک به بهره‌برداری بهینه منابع آب کشور و حفاظت از محیط زیست انجام شده است.

مواد و روش

موقعیت منطقه مورد مطالعه

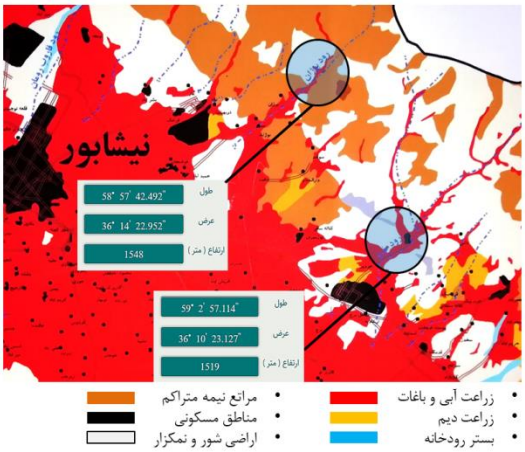
مناطق مورد مطالعه دو رودخانه دائمی خرو و بوژان در شهرستان نیشابور واقع در استان خراسان رضوی می‌باشند (شکل ۱). رودخانه بزرگ خرو از دامنه جنوبی رشته کوه‌های بینالود و قله اصلی ۳۲۱۱ متری آن واقع در ۳۵ کیلومتری شمال‌شرقی نیشابور سرچشمه می‌گیرد که شاخه‌ای از رودخانه شور (کال‌شور) محسوب می‌گردد. طول این رودخانه ۳۲ کیلومتر بوده و حوضه آبریز این رودخانه در بخش مرکزی شهرستان نیشابور قرار دارد. به‌علت وجود ارتفاعات بلند بینالود که به‌صورت کانون آبگیر دائمی است، این رودخانه دارای آب دائم می‌باشد. آب این رودخانه شیرین و گوارا بوده و به‌مصرف روستاهای واقع در مسیر می‌رسد. مازاد آب رودخانه و جریان‌های سیلابی آن در فصول بارندگی وارد کال‌شور می‌شود. آب‌دهی رودخانه خرو در چشمه علی در طول ۲۰ سال آمارگیری به‌طور متوسط ۱۵/۷ میلیون متر مکعب در سال اندازه‌گیری شده است.

دیگر رودخانه مورد مطالعه، رودخانه بوژان در بخش مرکزی شهرستان نیشابور و شاخه‌ای از کال شور است. این رودخانه از دامنه جنوبی کوه گودرز (ارتفاع ۳۲۰۹ متر) واقع در ۲۲

1. Bioindicator

2. Eutrophication

کیلومتری شمال شرقی نیشابور از ارتفاعات بینالود سرچشمه می‌گیرد؛ در جهت جنوب غربی جریان یافته و در حوالی روستای بوژان از بستر کوهستانی خارج شده و وارد اراضی نیشابور می‌گردد. طول این رودخانه ۳۷ کیلومتر است. این رود دارای ویژگی های دائمی بوده و آب آن در مسیر به مصرف می‌رسد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی جایگاه‌های نمونه‌برداری از دو رودخانه خرو و بوژان و فاصله آن‌ها از شهرستان نیشابور

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در شهریور ماه سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. از جمله دلایل انتخاب اواخر تابستان به‌عنوان زمان نمونه‌گیری موارد ذیل را می‌توان نام برد: ۱) با پایان دوره باردهی درختان مثمر نیاز غذایی آن‌ها کاهش می‌یابد و به‌همین علت عناصر غذایی خاک با آبیاری پایان فصل از باغ خارج می شوند؛ ۲) با کاهش دبی رودخانه‌ها در اواخر تابستان، ورود هر میزان از عناصر آلاینده به شدت تعادل بیوشیمیایی موجود در زیست‌بوم آبی را بر هم می‌زند لذا می‌توان با دقت بیش‌تری تغییرات ایجاد شده در محیط رودخانه را بررسی نمود؛ ۳) دما و شدت نور در این فصل به‌منظور رشد جوامع جلبکی ایده‌آل می‌باشد.

نمونه‌برداری به روش دستی و از عمق ۵ سانتی‌متری آب انجام شد. نمونه آب به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر در داخل ظرف درب بسته در شرایط سرد و تاریک سریعاً به آزمایشگاه منتقل شد و در کمتر از ۲۴ ساعت مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور شناسایی گونه‌های جلبکی حاضر در منطقه، نمونه‌های زیست‌توده جلبک نیز از کرانه‌های رودخانه و از مناطقی که کمتر مورد دست‌ورزی و به‌هم ریختگی واقع شده بودند انتخاب شد. در این مطالعه توجه بر نمونه‌های سنگ‌زی[1] و درشت-جلبک بود. نمونه‌های تال با آب رودخانه مورد شستشو قرار گرفته و به‌منظور بررسی‌های تکمیلی به آزمایشگاه منتقل شدند. برای شناسایی نمونه‌های مورد بررسی از کلیدهای و دستورالعمل‌های معتبر استفاده شد (Bellinger and Sigee, 2010; Huynh and Serediak, 2006).

غلظت باقی‌مانده‌های مواد مغذی نظیر نیترات، نیتریت و فسفات به‌عنوان رایج‌ترین عناصر سنجش کیفیت آب، در مطالعه حاضر مورد سنجش قرار گرفت و بر اساس واحد میلی‌گرم در لیتر در جدول (۱) گزارش شد. سایر پارامترها از جمله غلظت یون آهن به روش طیف‌سنجی پس از افزودن معرف اختصاصی و با قرائت شدت جذب نور مورد کمیت سنجی قرار گرفت. منحنی-های کالیبراسیون مربوط به هر ترکیب در غلظت‌های بین ۱۰ تا ۱۰۰۰۰ قسمت در میلیون رسم شد و غلظت‌های نوری خوانده شده به غلظت مترادف ترکیب نسبت داده شد (Rice *et al.*, 2017).

محاسبه شاخص $IRWQI_{SC}$[2]

شاخص $IRWQI_{SC}$ یک شاخص تلفیقی و بهینه شده برای شرایط کشورمان است که به عنوان ابزاری ساده و مناسب برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب با توجه به شرایط طبیعی و مسایل و مشکلات منابع آب ایران طراحی شده است (Samadi, 2016). جهت محاسبه این شاخص، ۵ پارامتر کیفی اندازه‌گیری شده در فوق شامل غلظت‌های نیترات، نیتریت، فسفات، سولفات و آهن مورد استفاده قرار گرفت. سپس مقادیر مورد نیاز برای محاسبه شاخص بر اساس روابط ذیل برآورد شد. در این روش برای ارزیابی کیفیت آب سطحی به سه عامل مقدار کیفی پارامتر (جدول ۱)، شاخص رتبه‌بندی و وزن‌دهی پارامترهای مدل مورد نیاز است. از ویژگی مثبت این روش عدم محدودیت در استفاده از تمامی پارامترهای آن می‌باشد (Sadeghi *et al.*, 2015):

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

که در آن

$$Y = \sum_{i=1}^{n} W_i$$

و W_i وزن پارامتر iام، n تعداد پارامترها، I_i مقدار شاخص برای پارامتر iام از منحنی رتبه بندی می‌باشد.

وضعیت کیفی آب در ایستگاه‌ها و سال‌های مختلف نمونه-برداری براساس طبقه بندی کلی شاخص $IRWQI_{SC}$ در شکل (۲) گزارش شد. برای تعیین معادل توصیفی شاخص محاسبه شده، از

---

۱. Epilithic macroalgae

۲. IRan Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters

راهنمای مقیاس نسبی که گویای کیفیت آب از بسیار بد تا عالی است (۱۵> خیلی بد، ۲۹/۹-۱۵ بد، ۴۴/۹-۳۰ نسبتاً بد، ۵۵-۴۵ متوسط، ۷۰-۵۵/۱ نسبتاً خوب، ۸۵-۷۰/۱ خوب و بیشتر از ۸۵ بسیار خوب) استفاده شد. همچنین برای مشخص نمودن چگونگی ارتباط خصوصیات شیمیایی آب و شاخص کیفیت از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۲).

نتایج و بحث

سنجش عوامل آلاینده

غلظت آلاینده‌های رایج در دو رودخانه بوژان و خرو شهرستان نیشابور مورد سنجش قرار گرفت. غلظت نیترات، نیتریت، فسفات، سولفات و آهن محلول در آب به منظور بررسی اختلافات سطح کیفیت آب در دو رودخانه در دو سال متوالی ۹۶ و ۹۷ در جدول (۱) گزارش شده است.

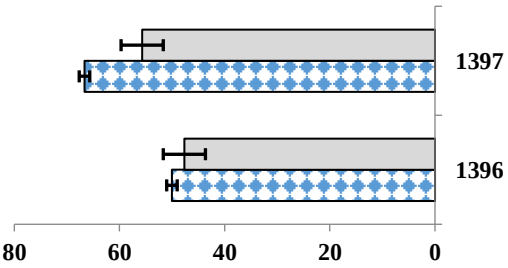
مطابق جدول (۱) بین دو ایستگاه مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از لحاظ کمیت انواع آلاینده‌ها وجود دارد. بیش‌ترین اختلاف در غلظت ترکیبات فسفات، سولفات و آهن مشاهده می‌شود. اگرچه باقی‌مانده فسفات برای هر دو رودخانه در سطح قابل قبول و با غلظت بسیار کم دسته‌بندی می‌شود (استاندارد ۱۰۵۳ موسسه استاندارد ایران)، اما اختلاف بیش از ۱۰ برابری غلظت فسفات در رودخانه بوژان، این رودخانه را نسبت به رودخانه خرو آلوده‌تر معرفی می‌کند. در رابطه با آهن، رودخانه بوژان نسبت به رودخانه خرو بیش از ۵ برابر آهن محلول و حدود ۲ برابر سولفات بیشتر را به مناطق پایین دست خود منتقل می‌نماید.

جدول ۱- غلظت عوامل آلاینده آب رودخانه بوژان و خرو شهرستان نیشابور

محل	سال	ترکیبات (میلی‌گرم در لیتر)				
		نیترات	نیتریت	فسفات	سولفات	آهن
رودخانه بوژان	۱۳۹۶	۰/۶ ± ۶/۸	۰/۰۶ ± ۰/۱	۰/۰۳ ± ۰/۲۵	۳/۳ ± ۱۵۰	۰/۰۱ ± ۰/۰۷
	۱۳۹۷	۰/۲ ± ۲/۸	۰/۰۳ ± ۰/۰۷	۰/۰۹ ± ۰/۳۸	۵/۳ ± ۱۳۰	۰/۰۱ ± ۰/۰۵
رودخانه خرو	۱۳۹۶	۱/۱ ± ۷/۶	۰/۰۲ ± ۰/۱	۰/۰۱ ± ۰/۰۳	۳/۲ ± ۷۱	۰/۰۱ ± ۰/۰۱
	۱۳۹۷	۰/۸۱ ± ۵/۲۲	۰/۰۱ ± ۰/۰۸	۰/۰۱ ± ۰/۰۴	۳/۴ ± ۸۵	۰/۰۱ ± ۰/۰۱

شاخص آلایندگی

در مطالعه شیمیایی آب غلظت ترکیباتی نظیر تجمع نیترات، نیتریت، سولفات، فسفات و آهن مورد بررسی و سنجش قرار گرفت (جدول ۱). نتایج این بررسی نشان می‌دهد شاخص کیفیت آب با همبستگی معنی‌داری تحت تأثیر غلظت آلاینده‌های نیتروژنه قرار گرفته و در طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ نوسان کمی را از خود نشان داده است (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار تغییرات شاخص کیفیت $IRWQI_{SC}$ در رودخانه بوژان (شطرنجی) و رودخانه خرو (رنگ طوسی)

مطابق شکل (۲) نتایج حاصل از مقایسه میانگین شاخص کیفیت آب رودخانه‌های بوژان و خرو شهرستان نیشابور در بازه زمانی سال‌های ۹۶ و ۹۷ تنوعات مختلفی را بین ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود شاخص کیفیت رودخانه بوژان در سال اول مطالعه نسبت به سال دوم کمتر بوده است، ضمن اینکه هر ۲ سال از نظر مدل توصیفی آلایندگی در سطح متوسط و نسبتاً خوب قرار داشتند. این شاخص برای رودخانه خرو در سال ۹۶، ۴۷ بوده است که از نظر آلایندگی در سطح متوسط بوده است و در سال ۹۷ به عدد ۵۵ افزایش یافته بود که در سطح نسبتاً خوب از نظر آلایندگی می‌باشد. طبق مشاهدات سطح کیفی آب هر دو رودخانه در سال ۹۷ نسبت به سال ۹۶ بهبود پیدا کرده بودند و در دسته‌بندی نسبتا خوب قرار گرفته‌اند. علت این وضعیت وجود عوامل مختلف از جمله حضور آلاینده‌های مختلف با میزان متفاوت، پراکنش جمعیت جلبکی و تاثیر آن ها بر یکدیگر می‌باشد.

Sadeghi et al. (2015) نیز به منظور تعیین وضعیت کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان از شاخص کیفی NSF WQI و $IRWQI_{SC}$ استفاده نمودند. نتایج این مطالعه برای تمام ایستگاه‌های مورد سنجش شاخص کیفیتی بین ۵۴ و ۶۱ بود که از نظر سطح کیفیت آب همانند یافته‌های مطالعه حاضر در دو طبقه متوسط و نسبتاً خوب گزارش شدند. در یک مطالعه دیگر، شاخص $IRWQI_{SC}$ برای رودخانه‌های کن و کرج ۱۴ و ۵۷ محاسبه و گزارش شد که بر اساس استاندارد ارزیابی به ترتیب در محدوده بسیار بد و نسبتاً خوب قرار گرفت. نویسندگان در این

مطالعه اظهار داشتند که شاخص $IRWQI_{SC}$ نسبت به دو شاخص WQI و NSF WQI، دارای تعداد طبقات بیشتر در استاندارد ارزیابی و محدوده کمتر در بین طبقات می‌باشد و بیانگر شرایط طبیعی و مسائل منابع آب در ایران می‌تواند باشد که می‌تواند ارزیابی دقیق‌تری نسبت به دو شاخص دیگر داشته باشد (Alizadeh *et al*., 2017).

همبستگی شاخص کیفیت و آلاینده‌ها

به دلیل نرمال بودن داده‌ها و به‌منظور بررسی همبستگی بین عوامل مختلف آلاینده و شاخص $IRWQI_{SC}$ از ضرایب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج حاصل در جدول (۲) گزارش شده است. بررسی همبستگی شاخص کیفیت آب و پارامترهای کیفی آب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار شاخص $IRWQI_{SC}$ با پارامترهای نیترات و نیتریت بود. همبستگی منفی این دو آلاینده با شاخص کیفی نشان‌دهنده کاهش مقدار عددی $IRWQI_{SC}$ همزمان با افزایش میزان نیترات و نیتریت در آب است. در واقع حضور این دو آلاینده با وزن اختصاصی بالا در محاسبه شاخص $IRWQI_{SC}$، با کاهش کیفیت آب ارتباط مستقیم دارند. همبستگی‌های مثبت بین سایر عوامل آلاینده و شاخص کیفیت صرفاً یک همبستگی عددی بوده و چه از نظر آماری و چه ارتباطات بیوشیمیایی معنی‌دار و صحیح نمی‌باشد.

جدول ۲- ضریب همبستگی بین پارامترهای کیفی آب و شاخص $IRWQI_{SC}$

نیترات	۱					
نیتریت	۰/۹۷*	۱				
فسفات	-۰/۶۶	-۰/۴۵	۱			
سولفات	-/۳۲	-۰/۰۹	۰/۸۵	۱		
آهن	-/۲۱	۰/۰۳	۰/۸۳	۰/۹۸*	۱	
$IRWQI_{SC}$	-/۹۹*	-/۹۵*	۰/۷۰	۰/۳۲	۰/۲۲	۱

* معنی‌دار در سطح ٪۱

همبستگی آلاینده‌های نیتروژنی نیز کاملاً معنی‌دار و البته منطقی است. حضور این دو فرم اکسید شده نیتروژن محلول در آب، با همبستگی بالای ٪۹۷ و به‌صورت مثبت موجب تشدید آلایندگی منابع آبی و خاکی به ترکیبات نیتروژن‌دار خواهند شد. از آنجایی که کاتیون‌های فلزی در محیط اسیدی فعالیت بیشتری از خود نشان می‌دهند، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت آهن و باقی‌مانده سولفات آب مشاهده می‌شود.

آلاینده‌های نیتروژنی چه از منابع آلی و چه از منابع کودی طی واکنش‌های زنجیره‌ای دنتیریفیکاسیون دائماً در حال احیا شدن به ترکیبات فرار گازی هستند و در این سیکل انواع نیتراته و نیتریته قابل تبدیل به یکدیگر بوده و لذا غلظت‌های آن‌ها وابسته به یکدیگر خواهند بود. این‌دو پارامتر نه‌تنها باعث تغییر در سوخت و ساز گونه‌های حیاتی خواهند شد، بلکه در غلظت‌های زیاد موجب ایجاد بیماری‌های متابولیسمی در انسان نیز می‌شوند.

در یک مطالعه مشابه، تاثیرگذارترین پارامترها در کاهش شاخص کیفیت $IRWQI_{SC}$ در رودخانه زرین گل از بین ۹ پارامتر اندازه‌گیری شده پارامتر کل جامدات، کدورت، نیترات، فسفر، درجه حرارت و کلی‌فرم مدفوعی بوده است. دلیل قرارگیری کیفیت آب در این رودخانه در طبقه متوسط، مقدار بالای مواد مغذی به خصوص نیترات و وجود کلی‌فرم گرماپای بود که ناشی از زه‌آب‌های کشاورزی و فعالیت‌های تفریحی و پرورش ماهی و دامداری در بالادست ایستگاه پایش می‌باشد (Sadeghi *et al*., 2015). همچنین در بررسی کیفیت آب رودخانه پسیخان مشخص شد که میزان فسفات و نیترات برروی شاخص $IRWQI_{SC}$ تأثیر زیادی داشته به طوری‌که یکی از علل کاهش این شاخص در این رودخانه در طول تابستان بود (Shokoohi and Modaberi, 2019). پارامترهای نیترات و کلی‌فرم مدفوعی جزو تاثیرگذارترین پارامترها بر شاخص $IRWQI_{SC}$، نیز دلیل کاهش کیفیت آب در دو رودخانه کن و کرج گزارش شد (Alizade, 2017). Mirzaei *et al*. (2017) از ۵ پارامتر تأثیرگذار در شاخص‌های کیفیت آب رودخانه‌ها استفاده کردند. با مقایسه‌ای که بین میانگین پارامترهای مورد بحث در هر رودخانه انجام شد غلظت نیترات و اکسیژن در مقایسه با سایر پارامترها، دارای بیش‌ترین میزان تأثیر بر کیفیت آب گزارش شدند. در همه این مطالعات آلاینده‌های نیتروژنی در زمره مهمترین عوامل کاهش کیفیت منابع آب‌های سطحی معرفی شده‌اند. نتایج مشابهی در مطالعه حاضر به‌دست آمده که در جدول (۲) ارائه شده است.

پراکنش جمعیت جلبکی به عنوان نشانگر زیستی

نوع گونه، ترکیب گونه‌ها و غالبیت آن‌ها، تنوع و اندازه جمعیت از جمله عوامل موثر در مطالعه نشانگرهای زیستی می‌باشند که در مطالعات قبلی نیز به آن ها اشاره شده است. به منظور تعیین اثر آلاینده‌ها بر ترکیب و پراکنش جمعیت جلبکی هر دو رودخانه، پراکندگی جمعیت‌های جلبکی در دو رودخانه بوژان و خرو با یکدیگر مقایسه شدند. شکل (۳) به وضوح شدت آلودگی رودخانه و پراکنش جلبکی در بخش‌های پایین دست رودخانه بوژان را به تصویر کشیده است. با مقایسه نواحی بالادست این رودخانه و هم چنین در مقایسه با رودخانه خرو، حضور و تراکم بالای جلبک‌های سنگ‌زی کاملاً قابل مشاهده می‌باشد. در مطالعه حاضر، زمان انجام نمونه‌گیری‌ها در فصل تابستان تعیین شد تا بتوان اثرات احتمالی فعالیت‌های آلاینده را بر کیفیت آب و جمعیت‌های

جلبکی تخمین زد. همچنین به‌علت دما و شدت تابش مناسب در فصل تابستان، عوامل محدودکننده شدت رشد سلول‌های جلبک برطرف شده بودند و می‌توان الگوی پراکنش آنها را وابسته به کیفیت آب رودخانه دانست. Arifin *et al*. (2018) طی یک بررسی از جوامع جلبک‌های سنگ‌زی بعنوان نشانگر زیستی استفاده کردند و ارتباط این جوامع با ترکیب شیمیایی آب را نشان دادند.

شکل ۲- شدت حضور جوامع جلبکی در نواحی آلوده رودخانه بوژان شهرستان نیشابور (چپ) در مقایسه با نواحی بالادست و سالم رودخانه خرو (راست)

پایش عوامل فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب‌های سطحی کشور موضوع پژوهش‌های متعددی در کشور بوده است. در اغلب این مطالعات از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[۱] به منظور انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های محدود اثرگذار استفاده شده است. مدل‌های ریاضی و آماری مختلفی به‌کار گرفته می‌شوند که حجم اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری کیفی آب را به اعدادی ساده و بدون بعد تبدیل کنند که در یک مقیاس درجه بندی، تفسیر کیفی از قبل تعریف شده‌ایی دارند (Asad, *et al*., 2004). این دسته از مطالعات نیازمند سنجش پارامترهای متعدد کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف نمونه-برداری هستند (Fazel and Ghorbani, 2013). همچنین این نمونه-برداری‌ها باید در فواصل زمانی هم تکرار شده باشند تا بتوان ضمن پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب، پارامترهای مؤثر بر کیفیت را رتبه بندی نیز نمود (Fallah, *et al*., 2018; Faryadi *et al*., 2012). به دلیل دشواری‌های عملیاتی در ارزیابی شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی، اکولوژیست‌ها از موجودات آبزی برای تعیین کیفیت محیطی رودخانه‌ها استفاده می‌کنند و عکس‌العمل‌های آن‌ها را نسبت به شرایط محیطی در نظر می‌گیرند. ارزیابی‌های زیستی در واقع تنها راه عملی و اقتصادی برای تعیین سلامتی آب در طول زمان می‌باشد (Ramachandra *et al*., 2005) که به‌عنوان مثال این روش توسط محققین کشورمان برای پایش رودخانه‌های تجن (Saravi, 2015) و دهبار (Malvandi, *et al*., 2018) به‌کار گرفته شده است.

ارتباط نشانگر زیستی و سطح کیفی آب

بحث تاثیر فراوانی و توزیع مواد غذایی در آب‌های شیرین و اکوسیستم‌های آبی بر ساختار و پراکنش جوامع جلبکی از دهه-های قبل مطرح شده و شناخته شده بود. ورود ترکیبات فسفردار و نیتروژن‌دار و همچنین برخی یون‌های فلزی مانند آهن سبب رشد بیش از حد جوامع جلبکی می‌شوند. این عناصر جز اساسی در رشد سلول‌های جلبکی و هم‌چنین از عناصر پر مصرف در زیست‌توده آن‌ها به حساب می‌آیند. مقدار آهن و دسترسی به آن در محیط، یکی از پارامترهای محدودکننده رشد فیتوپلانکتون‌ها و جوامع جلبکی محسوب می‌شود. آهن می‌تواند در ارتباط با اسیدیته آب، شدت گسترش جوامع جلبکی در محیط‌های آبی را تنظیم نماید. محیط‌های اسیدی ناشی از حضور ترکیبات سولفاته، فسفاته و نیتراته علاوه بر نقش مستقیم در تحریک رشد، سبب انحلال بیشتر آهن در آب و در نهایت رشد بیشتر سلول‌های جلبکی می‌شوند. نکته قابل توجه در این بحث عدم پاسخ برخی جمعیت‌های جلبکی به غلظت ترکیبات نیتروژن‌دار در آب می-باشد؛ چرا که بسیاری از گونه‌های جلبکی خصوصاً انواع سیانوباکترهای هتروسیست‌دار قابلیت تثبیت نیتروژن را دارا می-باشند.

رشد بیش از حد جوامع جلبکی در محیط آبی سبب ایجاد بوی نامطبوع و طعم نامطلوب آب می‌شود. در یک بازه زمانی بلند مدت، سنجش کیفیت آب توسط جوامع جلبکی به‌عنوان نشانگر زیستی امکان‌پذیر می‌باشد. در مطالعه حاضر با علم بر ارتباط بین فراوانی و توزیع مواد غذایی و ساختار و پراکنش جوامع جلبکی و همچنین چالش آلودگی آب‌های سطحی توسط پساب‌های کشاورزی، شدت آلاینده‌ها توسط ابزار نشانگرهای زیستی تعیین شد. بررسی بی‌نظمی، تراکم و پراکنش گونه‌های جلبکی در دو رودخانه بوژان و خرو در طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ صورت گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که تراکم بالا و رشد بیش از

۱. Multiple criteria decision making

حد فلور جلبکی در رودخانه بوژان در ارتباط مستقیم با حضور ترکیبات سولفات، فسفات و خصوصاً بقایای آهن می‌باشد.

کارایی روش استفاده از نشانگر زیستی در مطالعات زیست محیطی در مطالعات داخلی دیگری نیز به اثبات رسیده است. به عنوان مثال، Kamali and Rahimi (2014) جوامع فیتوپلانکتونی استخرهای پرورش ماهیان گرم آبی شرق استان گلستان را به منظور تعیین شاخص آلودگی ساپروبی این منابع آبی با موفقیت مورد مطالعه قرار دادند. زارع و همکاران از جلبک سبز *Spirogyra sp.* به عنوان نشانگر زیستی سنجش مقدار و اثرات فلزات سنگین در محیط آبی استفاده کرند. این گونه جلبکی از توانایی جذب و انباشت مقدار زیادی از این آلودگی برخوردار می‌باشد (Zare *et al.*, 2012). در گزارش منتشرشده توسط Tapia (2008) مشاهده گونه‌های خاص از رده دیاتوم‌ها نشانی از آلودگی رودخانه به آلاینده‌های آلی اعلام شد. همچنین در این گزارش بی‌نظمی‌های ظاهری و مورفولوژیک این جمعیت‌های جلبکی به عنوان علامتی برای حضور فلزات سنگین در آب گزارش شد. در مطالعه دیگری در کشور عربستان، گونه‌های جلبک سبز رشته‌ای *Enteromorpha intestinalis* و *Cladophora glomerata* به ترتیب به‌عنوان شاخصی برای سنجش آلودگی آب رودخانه به فلزات سنگینی نظیر آرسنیک و روی، کادمیوم و سرب معرفی شدند (Al-Homaidan *et al.*, 2011). بنابراین تعیین آلایندگی پساب‌های کشاورزی به کمک نشانگرهای زیستی از مزایایی منحصربفردی برخوردار است؛ با بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب دو رودخانه بوژان و خرو، اختلافات معناداری در خصوص حضور ترکیباتی همچون سولفات، فسفات و آهن به ثبت رسید. با بررسی‌های بیشتر اختلاف معنادار حضور آهن در دو ایستگاه مورد بررسی، در ارتباط با استفاده غیر اصولی از کود کشاورزی سکوسترن آهن در منطقه ی بوژان نسبت داده شد.

در روستای بوژان فعالیت‌های باغداری بر پرورش درختان آلو، هلو، آلبالو و گیلاس می‌باشد که نیاز به کود فراوان به‌خصوص کودهای غنی از آهن دارند. این نوع کود توسط باغداران طی چند مرحله و پس از جمع‌آوری محصول به‌صورت هم‌زمان با آبیاری سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رهایش عنصر آهن در رودخانه بوژان به علت استفاده بیش از حد و غیرعلمی کود کشاورزی سکوسترن آهن در باغ‌های روستای بوژان می‌باشد که گسترش جوامع جلبک های سنگ‌زی را به عنوان نشانگر زیستی به‌دنبال دارد. برخلاف روستای بوژان، باغ‌های روستای خرو بیش‌تر به پرورش درختان دانه‌دار همچون انواع سیب و گلابی اختصاص دارد. عواملی همچون احداث باغ‌ها در شیب، بافت سبک خاک، متراکم بودن حوضه آبخیز و هم‌چنین تراکم بالای جمعیت در روستای بوژان به نفوذ بیشتر پساب باغ‌ها به مسیر رودخانه و حوضه آبخیز آن کمک می‌کند. به مطالعه و شناسایی سایر عوامل اثرگذار می‌بایست در پژوهش‌های آتی پرداخته شود.

نتیجه‌گیری

آلودگی محیط آبی، تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و سلامتی انسان و حیوانات به دنبال دارد. مشکل سمی بودن مواد آلاینده با استفاده از روش‌های ارزیابی بیولوژیکی در محیط آبی قابل کنترل است. ماهیت متنوع و پیچیده اکوسیستم آبی، ارزیابی آلودگی آن را تنها با استفاده از تجزیه و تحلیل شیمیایی دشوار می‌کند. از این رو، توصیه می‌شود که ارزیابی بیولوژیکی با استفاده از نشانگرهای زیستی مناسب به دلیل حساسیت بالای موجودات زنده در برابر آلودگی انجام شود و بدین ترتیب یک تصویر واقعی از شرایط موجود در محیط آبی به‌دست آید. روش‌های ارزیابی زیستی در ترکیب با تجزیه و تحلیل شیمیایی معمولی، نتایج مناسبی را ارائه می‌دهند که می‌تواند برای تفسیر تغییرات محیطی و تحمل زیست‌محیطی در برابر آلودگی یک اکوسیستم خاص استفاده شود. امروزه رشد جمعیت و افزایش تقاضای غذا سبب مصرف سموم و کودهای کشاورزی و به‌دنبال آن آلودگی زه‌آب‌های کشاورزی می‌شود. علی‌رغم سرانه کمتر مصرف کود در ایران در مقایسه با آمار جهانی، نحوه نامناسب استفاده از انواع محدود کودهای موجود در بازار، افزایش قیمت نهاده‌ها و عدم آگاهی کشاورزان می‌تواند با مصرف غیرعلمی نهاده‌های کشاورزی، موجب آلودگی منابع آب و خاک گردد. زه‌آب‌های کشاورزی به‌همراه باقی‌مانده عناصر غذایی در نهایت به آب‌های سطحی ورود پیدا می‌کنند و سبب آلودگی منابع آبی می‌شوند. به‌منظور حل این مسئله چندین راه توصیه می‌شود که یکی از آن‌ها استفاده از کودهای آلی و زیستی به‌عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی می‌باشد. کودهای آلی حاوی باکتری‌ها و قارچ‌های سودمندی می‌باشند که سبب آزادسازی عناصر مفید از خاک می‌شوند و در نهایت به مصرف گیاه می‌رسند. همچنین مدیریت استفاده از کود و سموم شیمیایی می‌بایست با هدف کاهش خسارات احتمالی و پس آزمایش خاک انجام پذیرد. راهکار دیگر آگاهی کشاورزان از معایب استفاده بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌باشد. همچنین می‌توان با راهکارهای عملی از بار آلودگی زه‌آب‌های مزارع و باغ‌ها قبل از ورود به منابع آبی کاست. به‌علاوه روش آبیاری در تولید زه‌آب کشاورزی تاثیر به‌سزایی دارد. می‌توان با انتخاب روش آبیاری درست حجم زه‌آب تولیدی را کاهش داد. توصیه می‌شود از روش آبیاری سطحی به علت تولید زه‌آب بالا اجتناب شود و بیشتر از آبیاری تحت فشار استفاده شود.

REFERENCES

Al-Homaidan, A.A., Al-Ghanayem, A.A. and Alkhalifa A.H. (2011). Green Algae as Bioindicators of Heavy Metal Pollution in Wadi Hanifah Stream, Riyadh, Saudi Arabia. International Journal of Water Resources and Arid Environments, 1 (1): 10–15.

Alizadeh, M., Mirzaei, R. and Kia, H. (2017). Determining the Spatial Trend of Water Quality Indices across Kan and Karaj River Basins. Journal of Environmental Health Enginering, 4 (3): 243–56. (In Farsi)

Arifin, S.M., Nurdin, J. and Chairul, S.M.A. (2018). Epilithic Algae as a Biological Indicator in Sungai Suir Inside PT. Tidar Kerinci Agung Oil Palm Plantation. International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology, 5(4):1. 1-7

Asad, e.f.g.r., afshar, a. and shikhestani, n. (2004). Review of water quality indices and application of NSFWQI technique to water quality Karoon River. Sharif: Civil Enineering, 20: 77-87.

Asadian, M., Fakheri, B.A, Mahdinezhad, N., Gharanjik S., Beardal J., and Talebi A.F. (2018). Algal Communities: An Answer to Global Climate Change. CLEAN–Soil, Air, Water, 46 (10): 1800032.

Barinova, S.S, Klochenko, P.D. and Belous, Y.P. (2015). Algae as Indicators of the Ecological State of Water Bodies: Methods and Prospects. Hydrobiological Journal, 51 (6).

Barinova, S. (2017). Essential and Practical Bioindication Methods and Systems for the Water Quality Assessment. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 2 (3): 1–11.

Bellinger, E.G., Sigee, D.C. (2010). Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators. Wiley-Blackwell, 284 p.

Belous, Y.P., Barinova, S.S. and Klochenko, P.D. (2013). Phytoplankton of the Upper Section of the South Bug River as Indicator of Its Ecological Status. Hydrobiological Journal, 49 (1).

Chankaew, W., Sakset, A., Chankaew, S. and Kumano, S. (2015). Possibility of freshwater red algae as bioindicator for water quality of streams in Nakhon Si Thammarat Province, Thailand. *Int. J. Agric. Technol*, *11*, pp.1349-1358.

Fallah, M., Pirali Zefrehei, A.R. and Hedayati, S.A.A., (2018). Evaluation of water quality of the Anzali international wetland using TOPSIS method. *Iranian Journal of Health and Environment*, *11*(2), pp.225-236. (In Farsi)

Food and Agriculture Organization. (2000). *FAOSTAT*. Retrieved March 5, 2020, from http://www.fao.org/faostat/en/#data/RA

Faryadi, S., Shahedi, K. and Nabatpoor, M., (2012). Investigation of water quality parameters in Tadjan River using Multivariate Statistical Techniques. Journal of Watershed Management Research, 3(6): 75-92. (In Farsi)

Fazel, A. and Ghorbani, R., (2013). Evaluation of water quality using TOPSIS method in the Zaringol Stream (Golestan Province, Iran). *International Journal of Aquatic Biology*, *1*(5), 202-208.

Gökçe, D. (2016). Algae as an Indicator of Water Quality. Algae-Organisms for Imminent Biotechnology. InTech, Rijeka, 81–101.

Huynh, M. and Serediak, N. (2006). *Algae identification field guide agriculture and agric food Canada*. Ottaw-Ontario: Agriculture and Agri-Food Canada.

Jebeli, J. (2002). Strategies to Reduce the Effects of Agricultural Wastewater. In Environmental Effects of Agricultural Wastewater on Surface Water and Groundwater Conference, 11–24. (In Farsi)

Jiyenbekov, A., Barinova, S., Bigaliev, A., Nurashov, S.E. and Fahima, T. (2018). Bioindication using diversity and ecology of algae of the Alakol Lake, Kazakhstan. Applied Ecology and Environmental Research, 16 (6): 7799–7831.

Kamali, M. and Rahimi, A. (2014). Phytoplankton Communities and Saprobiotic Pollutant Index of Warm-Water Fish Farms in Eastern Golestan Province (Case Study: Gonbadkavus City). Aquatic Ecology, 4 (3): 62–72. (In Farsi)

Mirzaei, R., Abbasi, N., and Sakizadeh, M. (2017). Water Quality Assessment of Rivers in Bushehr Province by Using Water Quality Index during 2011-2013 Years. ISMJ 20 (5): 470–80. (In Farsi)

Malvandi, H., Moghanizade, R. and Abdoli, A. (2018). Assessment of water quality in the Dehbar River using biological indicators. Journal of animal environment, 1: 381-390 (In Farsi)

Mohammadi, Z. Babaee, Y., Adibian, H. and Saghi, G. (2010). Appropriate Solutions for Pollution Control and Remediation of Wastewater in Kashafrood River of Mashhad with the Approach of Reusing Them. In Sustainable Development Patterns in Water Management, 859–67. (In Farsi)

Oleynik, G.N., Yurishinets, V.I. and Starosila, Y.V. (2011). Bacterioplankton and Bacteriobenthos as Biological Indicators of the Aquatic Ecosystem's State (a Review)." Hydrobiological Journal, 47 (2).

Pashkova, O.V. (2012). Zooplankton as Indicator of Organic and Toxic Contamination and Ecological State of Hydroecosystems (a Review). Gidrobiol. Zhurn, 48 (6): 75–89.

Ramachandra, T.V., Ahalya, N. and Murthy, R. (2005). Aquatic ecosystems: conservation, restoration and management. *Aquatic ecosystems-Conservation, restoration and management*. 26-50.

Rice, E.W., Baird, R.B. and Eaton, A.D. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23th Ed.). Washington, DC: American Public Health Association (APHA).

Sadeghi, M., Bay, A., Bay N., Soflaie, N., Mehdinejad, M.H. and Mallah, M. (2015). The Survey of Zarin-Gol River Water Quality in Golestan Province

IRWQISC Models to Water Quality Parameters. Iran-Water Resources Research, 14 (5): 109–24. (In Farsi)

Sullivan, K.L. (2018). Small Pond Water Chemistry and Algal Ecology: A Study of Two Eutrophic Bodies. Ph. D. dissertation, Wheaton College (MA).

Tapia, P.M. (2008). Diatoms as Bioindicators of Pollution in the Mantaro River, Central Andes, Peru. International Journal of Environment and Health, 2 (1): 82–91.

Hamidian, A.H., Pourbagher, H., Ashrafi, S. and Vaziri L. (2012). Green Algae: Bioindicator of Heavy Metal Pollution in the Shoor River, Robatkarim, Iran. Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, 65 (2): 193–204. (In Farsi)

Using NSF-WQI and IRWQISC. Journal of Health in the Field, 3 (3). (In Farsi)

Samadi, J. (2016). Survey of Spatial-Temporal Impact of Quantitative and Qualitative of Land Use Wastewaters on Choghakhor Wetland Pollution Using IRWQI Index and Statistical Methods. Iran-Water Resources Research, 11 (3): 159-173. (In Farsi)

Saravi M. (2015). Water quality Assessment Based on Hilsenhoff Biological, Diversity Shannon- Wiener Indices and Environmental Parameters in Tajan River. JFST, 3 (4): 43-55. (In Farsi)

Shokoohi, A. and Modaberi, H. (2019). Evaluating and Comparing the Sensitivity of NSFWQI and