



**Journal of Environmental Studies**  
**Vol. 48, No. 3, Autumn 2022**

**Journal Homepage:** [www.Jes.ut.ac.ir](http://www.Jes.ut.ac.ir)  
**Print ISSN: 1025-8620    Online ISSN 2345-6922**

**Evaluation of the Effects of Rainbow Trout Fish Farms on Quality of Qaleh Roudkhan Forest River in Guilan Province Using Biological Indicators**

**Document Type**  
Research Paper

**Received**  
July 03, 2022

**Accepted**  
September 11, 2022

Ali Jahani<sup>1\*</sup>, Mahsa Imandar<sup>2</sup>, Amir Satari Rad<sup>2</sup>, Javid Imanpour Namin<sup>3</sup>

1 Department of Assessment and Environment Risks, Research Center of Environment and Sustainable Development, Tehran, Iran.

2 College of Environment, Department of Environment, Karaj, Iran.

3 Department of Aquaculture, University of Guilan, Rasht, Iran.

DOI: 10.22059/JES.2022.344014.1008325

**Abstract**

In recent years, the construction of fish farms along the Qaleh Roudkhan river has increased significantly. The aim of this study was to investigate the effects of effluent from these farms on benthic communities and their population structure in river water. A total of 6 study stations were selected, of which 2 stations are from Fusheh (Shahed) branch and 4 stations are from Qaleh Roudkhan branch. Among the stations, Station 2 of Qaleh Roudkhan is located at the exit of the effluent of the fish farm. The results of analysis of variance using SPSS for all biological indicators indicate that there is a significant difference between the stations. Also, according to Duncan's test at 5% level in Shannon-Wiener index between stations 1 and 2 of Fosheh and stations 1 and 2 of Qaleh Roudkhan, in Margalf index between stations 1 and 2 of Qaleh Roudkhan with other stations, in Simpson dominance index between all stations except station 1 Fusheh and 4 Qaleh Roudkhan, in Helsinghof and EPT index between all stations and in BMWP / ASPT index between 2 Qaleh Roudkhan stations and other stations, there are significant differences. Based on the results, the fish pond workshop has caused changes in the groups of benthic invertebrates during the study period, which indicates a sharp decline in water quality at the effluent outlet.

**Keywords:** Impact Assessment, Benthic Invertebrates, Fish Farms, Biological Indices

\* Corresponding Author:

Email: [AJahani@ut.ac.ir](mailto:AJahani@ut.ac.ir)

## Extended abstract

### Introduction

Due to the increase in population and the growing need of people for food, especially protein and the desire to consume fish and other aquatic products, as well as the limitation of natural fish stocks, the aquaculture industry is developing due to increasing demand and reducing fishery resources. Today, in addition to natural changes, flowing waters have been affected by human activities such as the development of fish ponds and have undergone profound changes. (Edited) Restore original. Effluent from aquaculture systems may cause changes in the ecosystems receiving the effluent. Because it usually reduces the species richness and diversity of biological communities and increases the abundance and dominance of pollution-resistant organisms and changes the structure of the biological community and one of the most effective methods to study the effect of fish farm effluent on receiving waters is assessing the changes in its biological communities. In other words, biological assessment and monitoring of rivers and flowing water is one of the scientific and cost-effective ways that can assess water health at all times .

The use of biological indicators in assessing the quality of aquatic ecosystems has been seen in several studies. For example, in a study, Ebrahimi et al. (2017) evaluated the water quality of the Tajan River using qualitative and biological indicators. In this study, they sampled at 4 stations along the river and on a monthly basis with 3 repetitions per station and used ASPT, BMWP, NSFQI and Helsinghoff indices. Based on the results of this study, the water quality of Tajan River was in the middle to very poor-quality category.

### Materials and methods

The city of Fooman is located 27 km southwest of Gilan province, Iran. The river "Shakhzar" originates from the height of 3000 meters of "Mutakhani" and its two sub-tributaries are "Gasht Roudkhan" and "Qaleh Roudkhan ". The branch of Qaleh Roudkhan, which is the study area, is located in the geographical range of 49 degrees and 14 minutes and 19 seconds east longitude and 37 degrees and 3 minutes and 51 seconds north latitude. A total of 6 study stations, two of which were selected from Fusheh branch (Gasht Roudkhan) as control stations and 4 stations from Qaleh Roudkhan branch, among which, station No. 2 of Qaleh Roudkhan at the effluent outlet of fish farm and other stations were located along the river and were sampled 4 times during 9 months.

In this study, the benthic fauna of the river was identified and using them, different areas of the study route were classified and evaluated in terms of pollution severity. Samples of large benthic invertebrates taken from the river were isolated and identified. A laboratory loop and a valid identification key were used to identify them. The collected data were analyzed during 4 sampling times from 6 different stations. In this study, indices such as taxonomy richness (Margalf indices), EPT coefficient index, BMWP / ASPT index, taxonomic diversity indices (Simpson and Shannon-Wiener) and Hilsenhof bio index were used. Then, using ANOVA and Duncan test (comparison of two stations) in each index, statistical analysis of the data was performed.

### Result

In general, during 9 months of study and sampling 4 times of benthic fauna of Qaleh Roudkhan river, in the study area, 20 groups were identified, most of which were aquatic insect larvae. The lowest frequency of benthic belonged to the family Nemouridae of the order Plecoptera with a frequency of 1, and the maximum frequency of benthic belonged to the family Baetidae of the order Ephemeroptera with a frequency of 1004. After calculating the frequency of benthos in different stations, it was found that in station 2 of Qaleh Roudkhan, the highest frequency belongs to Chironomidae family of Diptera order with 299 and in other stations the highest frequency belongs to Baetidae family of Ephemeroptera order.

The results of the study of biological indicators are as follows :

Analysis of variance was performed for data obtained in 6 sampling stations using SPSS software. The results for different biological indicators that were measured at the stations and in different time periods showed that there is a significant difference between the stations and the sampled periods. Therefore, in

order to ensure the correct assessment of the trend of changes in biological indicators in the stations, Duncan test was performed at the level of 5%.

### **Shannon-Wiener Index**

The results of Shannon index show moderate pollution in all stations. According to Duncan's test, there is a significant difference between stations 1 and 2 of Fosheh and stations 1 and 2 of Qaleh Roudkhan, which indicates a decrease in species diversity in stations 1 and 2 of Qaleh Roudkhan.

### **Margalf species richness index**

According to Duncan test, there is a significant difference between all stations except stations 1 and 2 of Qaleh Roudkhan. In stations 1 and 2 of Fusheh (before the fish pond), the species diversity is very high, which indicates that the water is healthy. However, due to the discharge of pool effluents in Station 2 of Qaleh Roudkhan, species diversity and water quality have decreased.

### **Simpson Dominance Index**

The results of Simpson dominance and diversity index showed that Fosheh station 2 has the highest species diversity and Qaleh Roudkhan station 2 has the least diversity. According to Duncan test, there is a significant difference between all stations except Fosheh 2 station and Qaleh Roudkhan station 4. In stations 1 and 2 of Fosheh before the fish pond, the species diversity of macrobenthos is high, but in stations 1, 2 and 3 of Qaleh Roudkhan, especially station 2 (the place where the pond effluent exits), the species diversity has decreased.

### **Hilsenhof Index**

Based on the results in terms of quality, Fusheh 1, Fusheh 2 stations were on the excellent category, Qaleh Roudkhan 1, Qaleh Roudkhan 3 and Qaleh Roudkhan 4 were on the very good category and Qaleh Roudkhan 2 were on the good category. According to Duncan test, there is a significant difference between all stations. In stations 1 and 2 of Fosheh before the fish pond, the resistance of the macrobenthos family to low pollution is low, but in stations 1 and 2 of Qaleh Roudkhan after the fish pond, their resistance, especially in station 2 (where the effluents leave the pools) Has gone up.

### **EPT coefficient index**

According to Duncan's test, there is a significant difference between all sampling stations. The number of species of Chironomidae families in stations 1 and 2 of Fusheh before the fish pond, especially station 1, was minimal, but in stations 1 and 2, Qaleh Roudkhan (after the fish pond), especially station 2 (effluent exit point), the number these species have reached their highest values.

### **Index (BMWP / ASPT)**

According to Duncan's test, there are significant differences between Station 2 of Qaleh Roudkhan and Station 4 of Qaleh Roudkhan and Station 2 of Fosheh. According to the BMWP / ASP index, the resistance of macrobenthos families to pollution in station 2 of Fusheh is very low and high sensitivity, but in stations 1 and 2 of Qaleh Roudkhan, the resistance of families to pollution has increased. In station 1 of Fusheh and station 4 of Qaleh Roudkhan, the resistance of macrobenthos families is higher than station 2 of Fosheh and lower than stations 1, 2 and 3 of Qaleh Roudkhan.

### **Discussion and Conclusion**

The results of this study show that aquatic insects have formed the predominant population of benthic organisms in the tributary of Qaleh Roudkhan. Also, Shamali and Abdolmaleki (1996) in Kergan River achieved similar results.

In the studies conducted, various groups of benthic invertebrates, especially the larvae of aquatic insects, were identified, which could be a reason for the good quality and ecological health of Qaleh Roudkhan River. The order Diptera has the maximum frequency in station 2 and the minimum frequency in station 1 of Fosheh and station 4 of Qaleh Roudkhan. Therefore, the relative increase of resistant groups and changes in the composition of the benthic population, especially in station 2 of Qaleh Roudkhan, can

indicate the effect of fish farms on the river system. This trend is almost the same in Station 1 of Qaleh Roudkhan, considering that Station 1 of Qaleh Roudkhan is downstream of Station 2 and no self-purification effects have been observed in it, Changes in the composition of the benthic population of Station 1 could be due to the effects of effluent from fish farms in Station 2. The abundance of benthos in different stations in Qaleh Roudkhan river showed that the organisms are sensitive to pollution and need clean water in the upstream stations of the fish farm more than Qaleh Roudkhan station 2 (effluent exit point) and downstream stations. One of its prominent orders is Ephemeroptera, But other resistant orders like Diptera do not change much and even increase their density .

Species richness between stations was determined by the Margalf index. The statistical results of Margalov index show that the pollution is still present in station 1, which is lower than station 2, and there is no significant difference with station 1, and Also, due to the increase in species richness in downstream stations and a significant difference with stations 1 and 2, it seems that the river is self-cleaning and decontamination.

In this study, EPT coefficient has been used to examine the balance of the biological community. A higher index means a reduction in the number of species of the family Chironomidae and the existence of better conditions for the ecosystems Plecoptera, Tricoptera, Ephemeroptera. Therefore, Station 1 Fosheh, which has the highest value of this index, has more suitable conditions and less pollution, and Station 2, Qaleh Roudkhan, which has the lowest value of this index, has unsuitable conditions and more pollution.

According to the Hilsenhoff index at Station 2, the population of the family resistant to pollution has increased compared to other stations, which indicates high pollution in this area. However, with the flow of water to the downstream stations, the population of sensitive species is upwards, which indicates the self-purification of water in farther distances and downstream areas. This index is also most consistent with the EPT index.

Also, according to the statistical results of BMWP / ASPT index obtained from this index, there is no significant difference between Station 1 Fosheh and 4 Qaleh Roudkhan, which can be due to the self-purification of the river in station 4 and thus reduce the susceptibility of benthic to pollution. However, Station 2 with the most significant difference indicates the existence of high pollution and as a result the high population of families resistant to infection and the decrease in the population of sensitive species, which is due to pollution from the effluent of fish farms in this station

### Conclusion

Based on the type of benthic invertebrate communities and their ecological conditions in each river, specific indicators or indicators should be defined in each river and national studies in all surface waters of the country using the population structure of benthic macrobenthos are necessary. Due to the importance of the population structure of benthic invertebrates in determining water quality and their different susceptibility to pollution, the identification of this aquatic community is of particular importance. In general, it can be stated that human activities such as the construction of fish farms in this tributary of Qaleh Roudkhan river have caused changes in groups of benthic invertebrates during the study period.

## ارزیابی اثرات مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر کیفیت آب رودخانه جنگلی قلعه رودخان استان گیلان با استفاده از شاخص‌های زیستی

علی جهانی<sup>۱\*</sup>، مهسا ایماندار<sup>۲</sup>، امیر ستاری راد<sup>۲</sup> جاوید ایمانپور نمین<sup>۳</sup>

۱ گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، تهران، ایران

۲ دانشکده محیط زیست سازمان حفاظت محیط زیست، کرج، ایران

۳ گروه شیلات، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۳

### چکیده

در سال‌های اخیر احداث مزارع پرورش ماهی در حاشیه رودخانه قلعه رودخان افزایش چشمگیری یافته است. هدف از این مطالعه بررسی اثرات پساب این مزارع بر اجتماعات کفزیان و ساختار جمعیتی آن‌ها در آب رودخانه می‌باشد. در مجموع ۶ ایستگاه مطالعاتی که ۲ ایستگاه از انشعاب فوشه و به‌عنوان ایستگاه‌های شاهد و ۴ ایستگاه از انشعاب قلعه رودخان انتخاب شد که در میان ایستگاه‌ها ایستگاه ۲ قلعه رودخان در محل خروج پساب مزارع پرورش ماهی قرار دارد. نتایج تجزیه واریانس با استفاده از SPSS برای همه شاخص‌های زیستی حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها می‌باشد. همچنین بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد در مقایسه دوبه‌دو در شاخص شانون-وینر بین ایستگاه‌های ۱ و ۲ فوشه و ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان، در شاخص مارگالف بین ایستگاه‌های ۱ و ۲ قلعه رودخان با دیگر ایستگاه‌ها، در شاخص غالبیت سیمپسون بین همه ایستگاه به‌جز ایستگاه ۱ فوشه و ۴ قلعه رودخان، در شاخص هلیسنهوف و EPT بین همه ایستگاه‌ها و در شاخص BMWP/ASPT بین ایستگاه ۲ قلعه رودخان با دیگر ایستگاه‌ها تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد. بر اساس نتایج، مزارع استخر پرورش ماهی، باعث ایجاد تغییراتی در گروه‌های بی‌مهرگان کفزی در مدت‌زمان بررسی شده است که نشان‌دهنده کاهش شدید کیفیت آب در محل خروج پساب می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** ارزیابی اثرات، بی‌مهرگان کفزی، مزارع پرورش ماهی، شاخص‌های زیستی

### سراغاز

مواد غذایی به‌خصوص مواد پروتئینی و اشتیاق به مصرف ماهی و دیگر آبزیان و همچنین محدودیت ذخایر طبیعی ماهی، صنعت آبی پروری به علت افزایش تقاضا و همچنین کاهش منابع شیلاتی رو به توسعه و گسترش است (Bemanikharanagh et al., 2018). امروزه علاوه بر تغییرات طبیعی، آب‌های جاری تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی چون توسعه استخرهای پرورش ماهی قرار گرفته و دچار دگرگونی‌های عمیقی شده‌اند (Bekche pour, 2012).

ارزیابی اثرات محیط‌زیستی لازمی حفاظت از منابع طبیعی و حمایت از محیط‌زیست است و می‌تواند به شناسایی و تجزیه و تحلیل منظم آثار بالقوه‌ی اهداف پروژه‌ها، طرح‌ها یا فعالیت‌های قانون‌گذاری در زمینه‌های مختلف، کمک نماید و در مطالعات بسیاری نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Shirani et al., 2017, 2018; Abdollahi et al., 2017). با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون مردم به

آلی به مواد معدنی است. اجتماعات کفزیان وضعیت عمومی محیط‌های آبی را در یک دوره طولانی از زمان منعکس و معرفی نموده و لذا از جمله شاخص‌های مناسب جهت ارزیابی اکوسیستم‌های آبی می باشد. (Ebrahimi et al., 2009) به عبارت دیگر، ارزیابی و پایش بیولوژیکی رودخانه‌ها و آب‌های جاری یکی از راه‌های عملی و به صرفه است (Lenat, 1993) که می تواند سلامت آبی در همه زمان‌ها را ارزیابی و بررسی نماید (Romachandra et al., 2005). استفاده از شاخص‌های زیستی در ارزیابی کیفیت اکوسیستم‌های آبی در مطالعات متعددی دیده می شود. در مطالعه ای، Ebrahimi و همکارانش (۲۰۱۸)، با استفاده از شاخص‌های کیفی و زیستی، به ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن پرداختند. در این تحقیق، آن‌ها در ۴ ایستگاه در امتداد مسیر رودخانه و به صورت ماهانه با تناوب ۳ تکرار در هر ایستگاه نمونه‌برداری کردند و از شاخص‌های NSFQI، BMWP، ASPT و هلسینهوف استفاده نمودند. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، کیفیت آب رودخانه تجن در طبقه کیفی متوسط تا خیلی بد قرار گرفت. همچنین در مطالعه ای دیگر، Shokrisarvai و همکارانش (۲۰۱۵) به ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از شاخص‌های زیستی پرداختند. در این تحقیق به نمونه‌برداری ماهانه از بزرگ بی مهرگان کفزی در ۶ ایستگاه در طول این رودخانه پرداختند که در نتیجه این تحقیق موجودات کفزی شناخته شده به ۳۱ خانواده و ۱۲ راسته و ۵ رده تعلق داشت. در این تحقیق از شاخص‌های زیستی هلسینهوف، تنوع شانن - وینر و شاخص‌های محیطی استفاده گردید.

با توجه به اهمیت حفظ بومسازگان رودخانه‌های استان گیلان از جمله رودخانه قلعه رودخان، می‌توان با اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی آب رودخانه و مقایسه آن در ایستگاه‌های مختلف نمونه برداری، تاثیر پساب مزارع تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان را بر کیفیت آب رودخانه قلعه رودخان مشخص نموده و اطلاعات پایه را جهت مدیریت پایدار توسعه استخرهای پرورش ماهی و

پساب خروجی از سیستم‌های آبی‌پروری ممکن است باعث تغییراتی در اکوسیستم‌های دریافت‌کننده پساب شود (Pillay, 2003). چون این پساب‌ها معمولاً کاهش غنای گونه‌ای و تنوع جوامع زیستی و افزایش فراوانی و غالبیت موجودات مقاوم به آلودگی و تغییر ساختار جامعه زیستی را به دنبال دارد، یکی از مؤثرترین روش‌های مناسب برای بررسی اثر پساب مزارع پرورش ماهی بر آب‌های دریافت‌کننده پساب، ارزیابی تغییرات جوامع زیستی آن است (Stephens and Farris, 2004). برای مثال Loch و همکاران (۱۹۹۶) اثر کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلا بر روی غنای گونه‌ای بی‌مهرگان بزرگ کفزی رودخانه‌های کارولینای شمالی را بررسی کردند. همچنین مطالعات بسیاری در زمینه ارزیابی اثرات استخرهای پرورش ماهی بر رسوبات رودخانه ای (Dang et al., 2008) و غلظت مواد شیمیایی آب (Nafari et al., 2011; Tayebi and Sobhanardakani, 2008; Nhan et al., 2013) صورت گرفته است.

اکولوژیست‌ها به منظور تعیین کیفیت محیطی رودخانه‌ها، موجودات آبی را به عنوان شاخصی برای تعیین کیفیت معرفی می‌کنند و عکس العمل آن‌ها، نسبت به شرایط محیطی را مورد بررسی قرار می دهند (Kenny et al., 2009). در واقع مطالعات زیستی در کنار مطالعات دیگر، می تواند قضاوتی منطقی و معقول از یک اکوسیستم ارائه دهد (Nafisi and Ahmadi, 2001). درشت بی مهرگان کفزی، جزء مهمی از ساختار هر اکوسیستم رودخانه ای را تشکیل می دهند (Ahmadi et al., 2011). ماکروبتوزهای اکوسیستم‌های آبی که جانورانی بی‌مهره با تحرک اندک‌اند و با چشم غیرمسلح دیده می‌شوند (Rosenberg et al, 1999) و حداقل بخشی از زندگی خود را در بستر منابع آبی سپری می‌کنند شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی اکوسیستم‌های آبی آلوده هستند (Loch, et al., 1996). ماکروبتوزها در محیط‌های آبی دارای چندین نقش مهم می‌باشند که از مهم‌ترین وظایف آنها تغذیه آبزیان، جابه جایی و چرخش مواد غذایی در اکوسیستم آبی و تبدیل مواد

### انتخاب ایستگاه و نمونه برداری

در مجموع ۶ ایستگاه مطالعاتی که ۲ ایستگاه از انشعاب فوشه (گشت رودخان) به عنوان ایستگاه‌های شاهد و ۴ ایستگاه از انشعاب قلعه رودخان انتخاب شد که در میان آن‌ها، ایستگاه ۲ در محل خروج پساب مزارع پرورش ماهی، ایستگاه ۱ با فاصله ۲/۵ کیلومتر، ایستگاه ۳ با فاصله ۷/۵ کیلومتر و ایستگاه ۴ با فاصله ۱۷/۵ کیلومتر از ایستگاه ۲ در طول رودخانه، به منظور ارزیابی شاخص‌های زیستی و کیفیت آب پس از خروج پساب مزارع پرورش ماهی در رودخانه قلعه رودخان قرار دارند و به فاصله زمانی هر ۳۰ روز یکبار طی ۹ ماه از مهر ۹۳ لغایت خرداد ۹۴ نمونه برداری انجام گردید.

### سنجش فاکتورها

در این بررسی فون کفزیان رودخانه مورد شناسایی قرار گرفت و با استفاده از آن‌ها نواحی مختلف مسیر مورد بررسی، از نظر شدت آلودگی طبقه بندی و ارزیابی شدند. نمونه‌های بی مهرگان بزرگ کف زی گرفته شده از رودخانه، جداسازی و شناسایی صورت گرفت. برای شناسایی آن‌ها از لوپ آزمایشگاهی و کلید شناسایی معتبر استفاده گردید. موجودات شناسایی شده در داخل ظروف کوچک شیشه‌ای محتوی الکل اتیلیک ۷۵ درصد نگهداری شدند. اطلاعات به دست آمده در فرم‌هایی که قبلاً بدین منظور تهیه شده اند ثبت گردیدند. برای نمونه برداری و شناسایی بزرگ بی مهرگان کفزی از نمونه بردار Surber به ابعاد  $30.5 \times 30.5$  با چشمه تور ۳۶۰ میکرون، ظروف کوچک پلاستیکی، تشت پلاستیکی، برس، الک آزمایشگاهی با قطر چشمه ۵۰۰ میکرون، پتری دیش، سینی تشریح، ظروف کوچک شیشه‌ای، دماسنج و لوپ آزمایشگاهی شد (Pescador et al, 2004; Elliott et al., 1988).

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

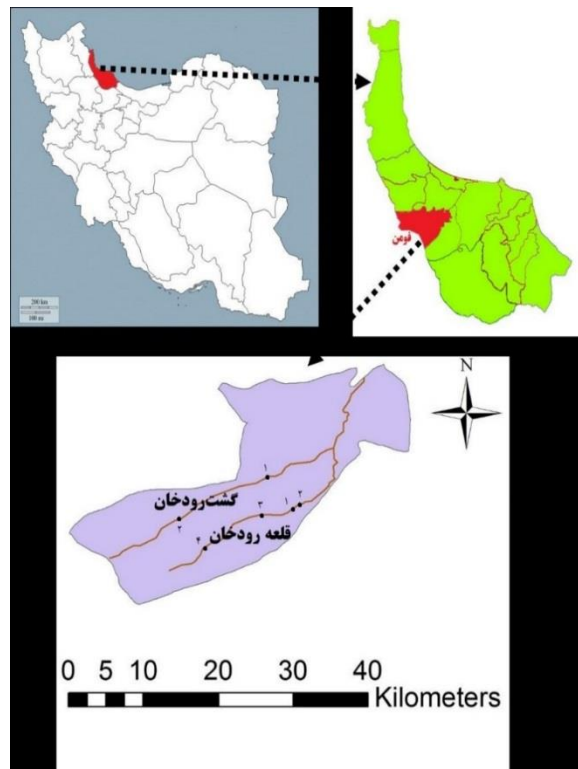
داده‌های جمع آوری شده در طی ۴ بار نمونه برداری از ۶ ایستگاه مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه

ارزیابی دامنه گسترش اثرات مورد استفاده قرار داد.

### روش تحقیق

#### منطقه مورد مطالعه

شهر فومن در ۲۷ کیلومتری جنوب غربی رشت واقع شده است. رودهای دائمی و پرآب، جوی‌ها و مسیل‌های متعدد در این بخش از گیلان جریان دارد، که همگی تحت عنوان حوضه‌ی تالاب انزلی (فومن- صومعه‌سرا) از یال شمالی البرز سرچشمه می‌گیرند و به تالاب انزلی می‌ریزند. رود "شاخزر" از ارتفاع ۳۰۰۰ متری "مته‌خانی" سرچشمه می‌گیرد و دو شاخه‌ی فرعی آن، "گشت رودخان" و "قلعه‌رودخان" در ارتفاع ۱۰۰ متری به یکدیگر متصل می‌شوند. شاخه‌ی قلعه‌رودخان که منطقه‌ی مورد مطالعه است در محدوده‌ی جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۴ دقیقه و ۱۹ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۰۳ دقیقه و ۵۱ ثانیه عرض شمالی واقع شده است و به دو شاخه فرعی "نظرآلات" و "حیدرآلات" تقسیم می‌شود (Sadeghi Nezhad, 2009).



نقشه ۱. موقعیت رود قلعه رودخان و ایستگاه‌های نمونه برداری

N تعداد کل افراد تشکیل دهنده تمام گونه ( Simpson, )  
(1990).

### شاخص ضریب EPT

برای بررسی تعادل جامعه زیستی از ضریب EPT استفاده  
گردید که به صورت زیر محاسبه می شود ( Shirchi et al., )  
(2015):

$$EPT/Chironomidae$$

این ضریب بر اساس فراوانی نسبی Tricoptera,  
Ephemeroptera, Plecoptera به Chironomidae می باشد.  
تعداد بالای Chironomidae نشان دهنده از دست دادن  
شرایط مناسب زیستگاه است.

### شاخص زیستی هیلسنهوف (Hilsenhoff Family) (HFBI) (Biological Index)

از این شاخص به منظور شناسایی بزرگ بی مهرگان آبی  
در حد خانواده و تعیین بردباری آنها نسبت به آلودگی  
استفاده گردید. امتیاز صفر بیانگر عدم مقاومت خانواده به  
آلودگی و در نتیجه پاکیزگی آب است و امتیاز ۱۰ مقاومت  
بالای خانواده را به آلودگی نشان می دهد. این شاخص از  
روش زیر محاسبه می شود. (Hilsenhoff, 1988).

$$HFBI = \frac{\sum[Xi ti]}{n}$$

$Xi$  = تعداد نمونه‌ها در خانواده  $i$  ام در ایستگاه.  $ti$

ارزش تحمل هر خانواده (امتیاز HFBI در سطح خانواده).

$n$  = تعداد کل نمونه‌ها در تمام خانواده در هر ایستگاه

### شاخص زیستی BMWP/ASPT

با استفاده از این شاخص مقاومت خانواده‌ها به آلودگی  
مورد بررسی قرار گرفتند. این شاخص متداول ترین سیستم  
در بریتانیاست و هر خانواده ای که کمترین مقاومت را در  
برابر آلودگی دارد، بیشترین امتیاز را به خود اختصاص  
می دهد. این شاخص از فرمول محاسبه می گردد. (Barbour  
et al., 1999)

$$\frac{BMWP}{ASPT} = \frac{\sum B n}{N}$$

$n$  = تعداد افراد خانواده مورد نظر در ایستگاه.  $B$  = امتیاز

از شاخص‌هایی نظیر گروه‌های تغذیه‌ای، غنای تاکسونی  
(شاخص‌های مارگالف)، شاخص ضریب EPT، شاخص  
BMWP/ASPT، شاخص‌های تنوع تاکسونی (سیمپسون و  
شانون) استفاده گردید.

### شاخص شانون-وینر

از این شاخص برای نشان دادن تنوع ماکروبتوزها در  
منطقه مطالعاتی استفاده گردید. تنوع بیشتر اکوسیستم نشان  
دهنده سلامت آب می باشد. برای محاسبه غنای گونه ای و  
یکنواختی توزیع جمعیت‌های موجود به کار می رود. و از  
فرمول زیر محاسبه می شود. ( Weaver and Shannon, )  
(1949) شاخص تنوع گونه ای شانون وینر،  $pi$  نسبت تعداد  
افراد یک گونه به کل افراد می باشد

$$H = -\sum Pi \times \ln Pi$$

### شاخص غنای گونه ای مارگالف

از این شاخص به منظور نشان دادن تنوع در جمعیت‌های  
زیستی و همچنین فقیر و غنی بودن اکوسیستم به لحاظ تعداد  
گونه استفاده گردید. هرچه عدد این شاخص بیشتر باشد،  
حاکمی از این است که بدنه آب سالم تر است. (Mesdaghi,  
2005) و از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$R = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

در این فرمول  $R$  شاخص غنای گونه ای مارگالف،  $S$   
تعداد گونه‌های مشاهده شده و  $N$  تعداد کل افراد مشاهده  
شده از تمام گونه هاست.

### شاخص غالبیت سیمپسون

از این شاخص به منظور نشان دادن تنوع در جمعیت‌های  
زیستی استفاده می شود. میزان آن بین ۰-۱ متغیر می باشد.  
مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده تنوع پایین گونه‌های  
ماکروبتوز می باشد و از فرمول زیر محاسبه می شود  
(Washington, 1984).

$$\lambda = \sum_{i=1}^s Pi^2$$

$Pi$  نسبت فراوانی هریک از گونه ها.  $ni$  تعداد افراد گونه.



تعداد ۴ بار از فون کف‌زیان رودخانه قلعه رودخان، در منطقه مورد بررسی، ۲۰ گروه شناسایی شدند که بخش عمده آن را لارو حشرات آبی تشکیل می‌دادند. حداقل فراوانی کف‌زیان مربوط به خانواده Nemouridae از راسته Plecoptera با فراوانی ۱ عدد، و حداکثر فراوانی کف‌زیان مربوط به خانواده Baetidae از راسته Ephemeroptera با فراوانی ۱۰۰۴ عدد بوده است.

BMWP/ASPT در سطح خانواده.  $N =$  تعداد کل نمونه‌ها در تمام خانواده در هر ایستگاه تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب بعد از نرمال‌سازی داده‌ها انجام گرفت. برای بررسی انجام آنالیزهای آماری از نرم افزارهای SPSS و Excel استفاده شد.

## نتایج

به طور کلی در مدت ۹ ماه بررسی و نمونه‌برداری به

جدول ۱: لیست درشت‌بی‌مهرگان کفزی شناسایی شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

شماره	راسته	خانواده	تعداد در یک ۰,۱ متر مربع
۱	Ephemeroptera	Heptageniidae	۲۰۰
۲	Ephemeroptera	Baetidae	۱۰۰۴
۳	Ephemeroptera	Ephemereleidae	۶۶۴
۴	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	۶۵
۵	Plecoptera	Chloroperlidae	۱۰۶
۶	Plecoptera	Nemouridae	۱
۷	Trichoptera	Hydropsychidae	۱۷۸
۸	Trichoptera	Glossosomatidae	۷۸
۹	Trichoptera	Psychomyidae	۲
۱۰	Trichoptera	Philopotamidae	۷
۱۱	Trichoptera	Rhyacophilidae	۱۰
۱۲	Diptera	Simuliidae	۱۹۶
۱۳	Diptera	Blephariceridae	۴۸
۱۴	Diptera	Athericidae	۵۱
۱۵	Diptera	chironomidae	۳۹۵
۱۶	Diptera	Tipulidae	۴۴
۱۷	Diptera	Ceratopogonidae	۲
۱۸	Coloptera	Halipidae	۸
۱۹	Amphipoda	Gamariidae	۲۸
۲۰	Oligochaeta	Haplotaxida	۵۴

فراوانی مربوط به خانواده Baetidae از راسته، Ephemeroptera می‌باشد.

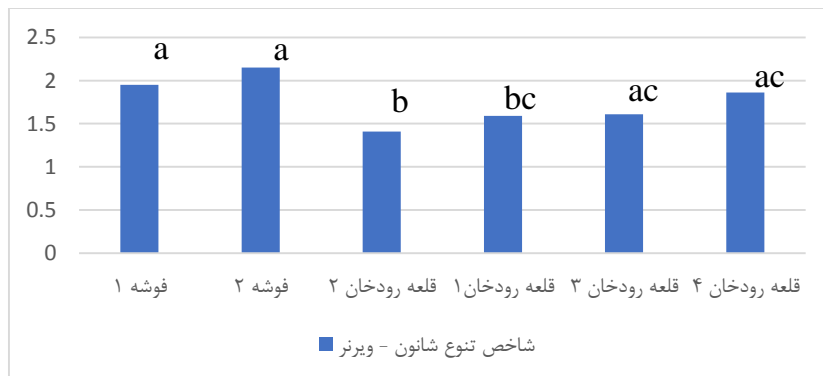
نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های زیستی برای داده‌های بدست آمده در ۶ ایستگاه نمونه‌برداری در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به صورت جداگانه برای دوره‌های نمونه‌برداری به عنوان تکرار و ایستگاه‌های

در طول نمونه‌برداری‌ها جمعاً ۲۰ گروه از ماکروبتوزها شناسایی و جداسازی شدند، میزان فراوانی بتوزها در ایستگاه‌های مختلف مورد محاسبه قرار گرفت (جدول ۲) و مشخص شد در ایستگاه ۲ قلعه رودخان، بیشترین میزان فراوانی مربوط به خانواده Chironomidae از راسته، Diptera با تعداد ۲۹۹ می‌باشد و در سایر ایستگاه‌ها بیشترین میزان

### شاخص شانون - وینر

نتایج حاصل از سنجش تنوع تاکسونومی با استفاده از شاخص شانون نشان داد که کم‌ترین و بیشترین میزان تنوع به ترتیب مربوط به ایستگاه ۲ قلعه رودخان (۱,۴۱) و ایستگاه ۲ فوشه (۲,۱۵) است. طبق نتایج به دست آمده بر اساس شاخص شانون همه ایستگاه‌ها دارای آلودگی متوسط می‌باشند. با توجه به آزمون دانکن در مقایسه دو به دو، بین ایستگاه‌های ۱ و ۲ فوشه و ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان اختلاف معنی دار وجود دارد که حاکی از وجود تنوع گونه ای بالا در ایستگاه‌های ۱ و ۲ فوشه می‌باشد. همچنین بین ایستگاه ۴ و ایستگاه ۲ قلعه رودخان نیز اختلاف معنی دار وجود دارد که می‌تواند به علت خروج پساب استخرها در ایستگاه ۲ باشد (نمودار ۱).

نمونه‌برداری به عنوان تیمار، با استفاده از نرم افزار SPSS تجزیه واریانس صورت گرفت. نتایج تجزیه واریانس برای شاخص‌های زیستی مختلف که در ایستگاه‌ها و در دوره‌های زمانی مختلف اندازه‌گیری شده بودند، نشان داد، اختلاف معنی داری بین ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری شده وجود دارد ( $p > 0.05$ ). بنابراین به منظور اطمینان از ارزیابی صحیح روند تغییرات شاخص‌های زیستی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها، آزمون دانکن در سطح ۵٪ اجرا گردید که بنا بر نتایج آزمون، برای شاخص‌های زیستی به دست آمده در ماه‌های مختلف تفاوت معنادار ( $p\text{-value} \leq 0.05$ ) گزارش گردید. در ادامه، با استفاده از آزمون تعقیبی دانکن به مقایسه ی دوه دوی موجود از نظر شاخص‌های زیستی به دست آمده پرداخته می‌شود.

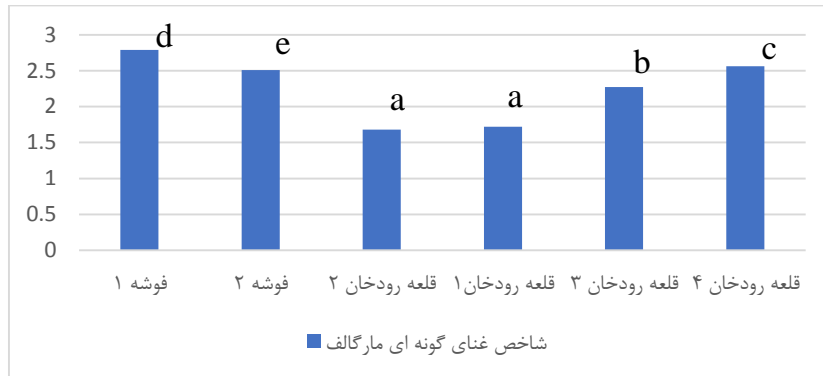


نمودار ۱. سنجش شاخص شانون-وینر

۱ و ۲ فوشه (قبل از استخر پرورش ماهی) تنوع گونه ای بسیار بالاست که نشان از سالم بودن آب دارد. اما تنوع گونه‌ای در ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان (پس از استخر پرورش ماهی) به علت خروج پساب بسیار پایین آمده است. تنوع گونه ای در ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۳ و ۴ قلعه رودخانه نیز که پایین تر از ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان می‌باشد نیز افزایش داشته است.

### شاخص غنای گونه ای مارگالف

نتایج حاصل غنای گونه ای بر اساس شاخص مارگالف نشان داد که حداقل و حداکثر شاخص مارگالف به ترتیب در ایستگاه ۲ قلعه رودخان (۱,۶۸) و ایستگاه ۱ فوشه (۲,۷۹) می‌باشد. همچنین با توجه به آزمون دانکن در مقایسه دو به دو، بین همه ایستگاه‌ها باهم به جز ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان تفاوت معنی دار وجود دارد (نمودار ۲). در ایستگاه

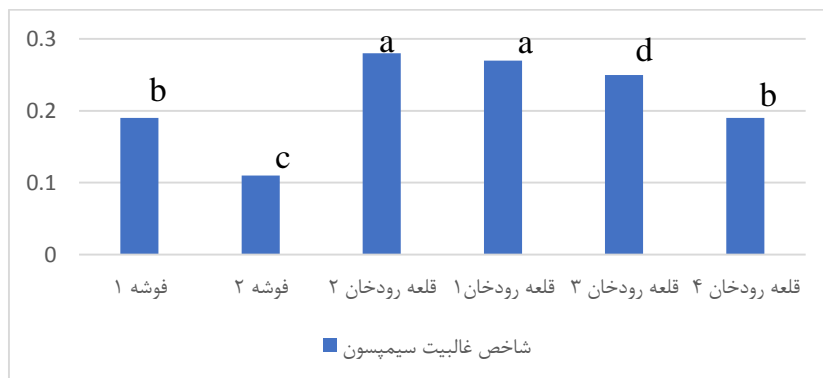


نمودار ۲. سنجش شاخص غنای گونه ای مارگالف

ایستگاه ۱ فوشه و ایستگاه ۴ قلعه رودخان و همچنین بین دو ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان تفاوت معنی دار وجود ندارد (نمودار ۳). در ایستگاه ۲ فوشه در قبال از استخر پرورش ماهی تنوع گونه ای ماکروبتوزها بالا می‌باشد اما در ایستگاه‌های ۱ و ۲ و ۳ قلعه رودخان به خصوص ایستگاه ۲ (محل خروج پساب استخرها) تنوع گونه ای به شدت کاهش پیدا کرده است.

### شاخص غالبیت سیمپسون

نتایج حاصل از شاخص غالبیت و تنوع سیمپسون نشان داد که کمترین میزان شاخص سیمپسون در ایستگاه ۲ فوشه (۰/۱۱) و بیشترین مقدار آن در ایستگاه ۲ قلعه رودخان (۰/۲۸) می‌باشد. بر اساس این شاخص ایستگاه ۲ فوشه دارای بیشترین و ایستگاه ۲ قلعه رودخان دارای کمترین تنوع است. با توجه به آزمون دانکن در مقایسه دو به دو، بین

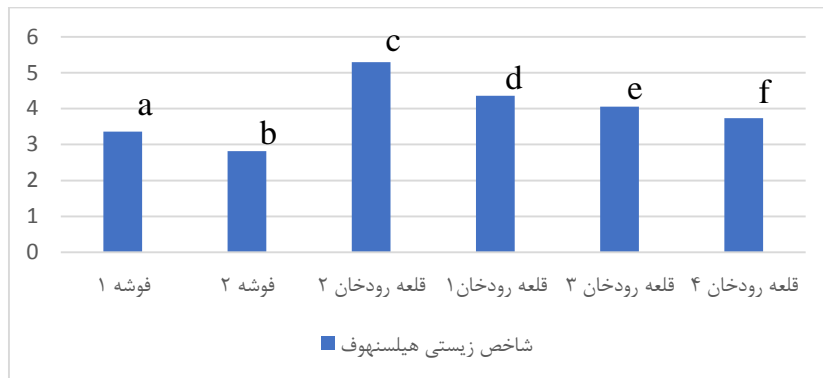


نمودار ۳. سنجش شاخص غالبیت سیمپسون

ایستگاه قلعه رودخان ۲ در طبقه خوب قرار گرفتند. با توجه به آزمون دانکن در مقایسه دو به دو، بین همه ایستگاه‌ها تفاوت معنی دار وجود دارد (نمودار ۴). مقاومت خانواده ماکروبتوزها در ایستگاه‌های ۱ و ۲ قلعه رودخان (بعد از استخر پرورش ماهی به خصوص در ایستگاه ۲ بالا رفته است. در ایستگاه ۳ و ۴ قلعه رودخان مقاومت خانواده‌ها نسبت به ایستگاه ۱ و ۲ پایین آمده است.

### شاخص زیستی هیلسنهوف

نتایج حاصل از بررسی کیفیت آب از نظر آلودگی با استفاده از شاخص هیلسنهوف نشان داد که دامنه تغییراتی این شاخص در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۵,۲۹ - ۲,۸۲ می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از نظر کیفی، ایستگاه‌های فوشه ۱، فوشه ۲ در طبقه عالی، ایستگاه‌های قلعه رودخان ۱، قلعه رودخان ۳ و قلعه رودخان ۴ در طبقه خیلی خوب و

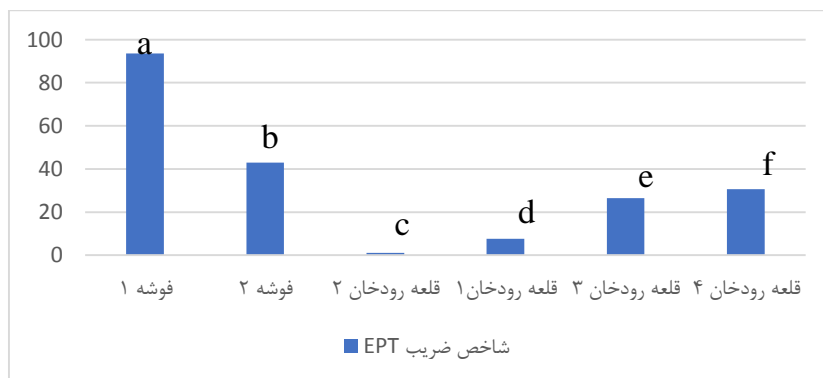


نمودار ۴. سنجش شاخص زیستی هیلسنهوف

ایستگاه‌های نمونه‌برداری تفاوت معنی داری وجود دارد (نمودار ۵). تعداد گونه‌های خانواده‌های Chironomidae در ایستگاه ۱ و ۲ فوشه (قبل از استخر پرورش ماهی) به خصوص ایستگاه ۱ در حداقل بوده اما در ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان (پس از استخر پرورش ماهی) به خصوص ایستگاه ۲ (محل خروج پساب استخرها) تعداد این گونه‌ها به بالاترین مقدار خود رسیده است. در ایستگاه ۳ و ۴ قلعه رودخان این تعداد بسیار کمتر شده است.

### شاخص ضریب EPT

نتایج حاصل از بررسی تعادل جامعه زیستی با استفاده از ضریب EPT نشان می‌دهد که کم‌ترین میزان این شاخص در ایستگاه ۲ قلعه رودخان (۱/۱۴) و بیشترین میزان آن در ایستگاه ۱ فوشه (۹۳/۵) ثبت گردید. بر اساس این شاخص ایستگاه ۱ فوشه دارای شرایط مناسب و ایستگاه ۲ قلعه رودخان، دارای شرایط نامناسب و آلودگی می‌باشد. با توجه به آزمون دانکن در مقایسه دو به دو، بین همه

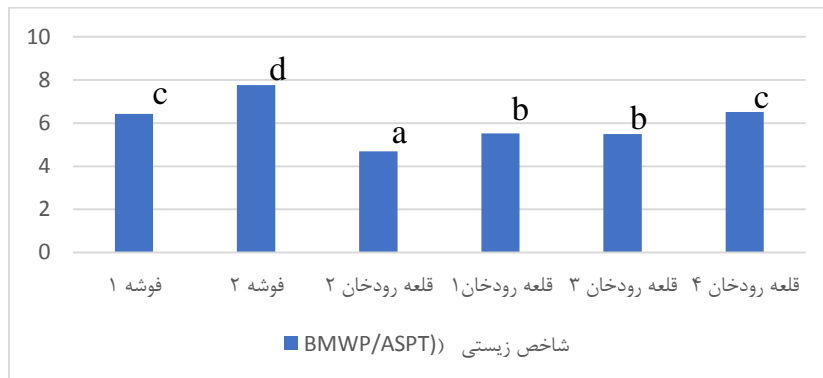


نمودار ۵. سنجش شاخص ضریب EPT

مقاومت خانواده ماکروبتوزها نسبت به آلودگی در ایستگاه ۲ فوشه قبل از استخر پرورش ماهی بسیار پایین و حساسیت بالا می‌باشد اما در ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان که بعد از استخر پرورش ماهی می‌باشند مقاومت خانواده‌ها نسبت به آلودگی بالاتر رفته است. در ایستگاه ۱ فوشه (قبل از استخرها) و ایستگاه ۴ قلعه رودخان (بعد از استخرها) مقاومت خانواده‌های ماکروبتوزها نسبت به ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ قلعه رودخانه پایین آمده است.

### شاخص زیستی (BMWP/ASPT)

نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت آب ایستگاه‌ها از نظر آلودگی با استفاده از شاخص زیستی (BMWP/ASPT) نشان داد که دامنه تغییرات این شاخص در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۷,۷۶ - ۴,۶۹ قرار داشت. با توجه به آزمون دانکن در مقایسه دو به دو، بین ایستگاه ۲ قلعه رودخان با ایستگاه ۴ قلعه رودخان و ایستگاه ۲ فوشه تفاوت‌های معنی دار وجود دارد (نمودار ۶). با توجه به شاخص زیستی BMWP/ASPT



نمودار ۶. سنجش شاخص زیستی (BMWP/ASPT)

است. راسته فوق در ایستگاه ۲ حداکثر و در ایستگاه ۱ فوشه و ایستگاه ۴ قلعه رودخان حداقل میانگین فراوانی را داراست. نتایج این تحقیق با نتایج Ndaruga و همکاران (۲۰۰۴) و Karaca و Pulatsu (۲۰۰۳) از نظر افزایش خانواده Chironomidae در آب‌های مجاور مزارع پرورش ماهی مطابقت دارد. مواد حاصل از فعالیت‌های متابولیک، پس مانده‌های غذایی ماهیان، به صورت مواد آلی معلق در آب، از عمده ترین اجزای پساب حاصل از مزارع پرورش ماهی هستند که وارد جویبارها می شوند (Gowen and Weston, 1991). بنابراین افزایش نسبی گروه‌های مقاوم و تغییر در ترکیب جمعیت کفزیان، به خصوص در ایستگاه ۲ قلعه رودخان، می تواند نشانگر اثر مزارع پرورش ماهی بر سیستم رودخانه باشد. این روند در ایستگاه ۱ قلعه رودخان نیز تقریباً مشابه است، با توجه به اینکه ایستگاه ۱ قلعه رودخان پایین دست ایستگاه ۲ بوده و اثرات خود پالایی در آن مشاهده نشده تغییرات ایجاد شده در ترکیب جمعیت کفزیان ایستگاه ۱ می تواند متأثر از پساب‌های خروجی استخر پرورش ماهی در ایستگاه ۲ باشد.

نتیجه آن که در اکوسیستم‌های آبی میزان آلودگی آلی گاهی به قدری است که تنها می تواند در یک محدوده مکانی مشخصی ایجاد تغییر نماید و این تغییرات هر چند اندک توسط جوامع بی مهره ساکن بستر با کمک ساختارهای جمعیتی آن‌ها به خوبی نمایان شده است، پدیده ای که در ایستگاه‌های مطالعاتی رودخانه قلعه رودخان به وضوح

## بحث و نتیجه گیری

امروزه، آب‌های جاری، تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی همچون توسعه استخرهای پرورش ماهی، دچار دگرگونی‌های عمیقی شده اند. به طوری که پساب خروجی این سیستم‌ها منجر به آلودگی آب‌ها می شوند و معمولاً کاهش غنای گونه‌ای و تنوع جوامع زیستی و به طور کلی تغییر ساختار جامعه زیستی را به دنبال دارد. از همین رو، در این تحقیق نیز بر اساس مطالعه Stephens and Farris (۲۰۰۴) به ارزیابی تغییرات جوامع زیستی آب رودخانه قلعه رودخان به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در بررسی اثر پساب مزارع پرورش ماهی بر کیفیت آب پرداخته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که حشرات آبزی جمعیت غالب جانداران کفزی انشعاب قلعه رودخان را تشکیل داده اند. که با تحقیقات AbdulMaliki و Shamali (۱۹۹۶) بر روی رودخانه کرگان رود مطابقت دارد.

در بررسی‌های انجام شده گروه‌های متنوعی از بی مهرگان کفزی به خصوص لارو حشرات آبزی شناسایی شدند که می تواند دلیلی بر کیفیت مناسب و سلامت اکولوژیک رودخانه قلعه رودخان باشد. همچنین طبق نتایج Pipan (۲۰۰۰) بر روی کفزیان رودخانه رکا (Reka) در اسلووانی حشرات آبزی به عنوان موجودات غالب رودخانه معرفی شدند. غالبیت راسته Diptera که عمدتاً از دو خانواده Chironomidae و Simulidae تشکیل شده، در برخی از ایستگاه‌ها، تغییرات حاصل از عوامل محیطی بر رودخانه

ناپلئون (Napoleon) در بخش شمال غربی دریاچه ویکتوریا در اوگاندا مطابقت دارد. این شاخص به تنهایی ارزیابی دقیقی از کیفیت آب ارائه نمی‌دهد، زیرا ممکن است تنوع در یک مکان آلوده برابر یا حتی بیشتر از مکان غیر آلوده باشد، ولی در اثر آلودگی زیاد، موجودات تغییر نمایند. بنابراین در این مطالعه شاخص غالبیت سیمپسون نیز محاسبه شد. از شاخص سیمپسون برای بیان غالبیت در ایستگاه‌های مطالعاتی استفاده گردید. غالبیت به نوعی بیانگر تنوع نیز می‌باشد. کمترین میزان شاخص سیمپسون در ایستگاه ۲ فوشه (۱,۱۱) و بیشترین مقدار آن در ایستگاه ۲ قلعه رودخان (۱,۲۸) بود و ایستگاه ۲ فوشه دارای بیشترین تنوع و ایستگاه ۲ قلعه رودخان دارای کمترین تنوع است. بر اساس نتایج آماری آزمون دانکن، ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان دارای اختلاف معنادار با دیگر ایستگاه‌ها می‌باشد و تنوع گونه‌ای نسبت به ایستگاه‌های فوشه به شدت کاهش داشته است و اما در ایستگاه‌های پایین دستی به علت خودپالایی رودخانه تنوع گونه‌ای رو به بالا بوده که نشان از رفع شدن نسبی آلودگی در ایستگاه ۴ می‌باشد که با ایستگاه شاهد (فوشه ۱) اختلاف معنادار ندارد و با نتایج Saeb و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثرات پساب مزارع پرورش ماهی بر کیفیت آب رودخانه هراز با استفاده از شاخص‌های زیستی مطابقت دارد.

غناي گونه‌ای در بین ایستگاه‌ها توسط شاخص مارگالف تعیین شد. نتایج حاصل نشان داد که حداقل و حداکثر شاخص مارگالف به ترتیب در ایستگاه ۲ قلعه رودخان (۱,۶۸) و ایستگاه ۱ فوشه (۲,۷۹) بوده است. نتایج آماری شاخص مارگالف نشان می‌دهد که آلودگی در ایستگاه ۱ که پایین‌تر از ایستگاه ۲ قرار دارد همچنان برقرار است و اختلاف معناداری با ایستگاه ۲ ندارد و همچنین با توجه به افزایش غناي گونه‌ای در ایستگاه‌های پایین دستی و اختلاف معنادار با ایستگاه ۱ و ۲ به نظر می‌رسد رودخانه در حال خودپالایی و رفع آلودگی می‌باشد. Jafarzadeh و همکارانش (۲۰۱۹) در بررسی کیفیت آب رودخانه بالخو اردبیل نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

مشاهده می‌شود. بدیهی است که اگر عوامل مخرب محیط رودخانه بیشتر باشد، جوامع جانداران فوق بازتاب‌های شدیدتری از خود بروز داده و در نتیجه تفاوت‌های منطقه‌ای بارزتر می‌شود.

فراوانی بتوزها در ایستگاه‌های مختلف در رود قلعه رودخان نشان داد که موجودات حساس به آلودگی و نیازمند به آب‌های تمیز در ایستگاه‌های بالادست مزارع پرورش ماهی بیشتر از ایستگاه ۲ قلعه رودخان (محل خروج پساب) و ایستگاه‌های پایین دست هستند که می‌توان به راسته بارز آن یعنی Ephemeroptera اشاره نمود، ولی سایر راسته‌های مقاوم همانند Diptera تغییر چندانی نمی‌کنند و حتی بر تراکم آنها افزوده می‌گردد. بنابراین این تحقیق به بررسی ساختار جمعیت بی‌مهرگان کفزی به عنوان ابزاری موثر و با صرفه اقتصادی برای ارزیابی کیفیت رودخانه به خصوص زمانی که تحت تاثیر عوامل آشفته‌گی زای محیطی قرار دارند، تاکید می‌نماید.

مقدار شاخص شانون در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۲,۱۵ - ۱,۴۱ متغیر است. طبق نتایج به دست آمده بر اساس مقیاس ولج (Welch, 1992) جهت ارزیابی آلودگی محیطی، شاخص شانون در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه ۱ تا ۳ قرار گرفته است و بنابراین همه ایستگاه‌ها دارای آلودگی متوسط می‌باشند در عین حال با توجه به اختلاف معنی‌دار میان ایستگاه ۱ و ۲ فوشه (قبل از استخر پرورش ماهی) و ۱ و ۲ قلعه رودخان (بعد از استخر پرورش ماهی) می‌توان به این نتیجه رسید که آلودگی در ایستگاه‌های ۱ و ۲ قلعه رودخان بالاتر از ایستگاه‌های فوشه می‌باشد. بر اساس نتایج آمار با توجه به اختلاف معنی‌دار ایستگاه ۴ با ایستگاه ۱ و ۲ قلعه رودخان، ایستگاه ۴ تواسه است خودپالایی نسبی داشته و آلودگی نسبت به ایستگاه‌های بالادستی کاهش پیدا کرده است و بیشترین انطباق را با نتایج آماری شاخص غالبیت سیمپسون و شاخص زیستی (BMWP/ASPT) دارد. نتایج این تحقیق با مطالعه Nabirye و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثرات مزارع پرورش ماهی بر کیفیت آب خلیج

آماري شاخص هلیسنهوف نشان از اختلاف معناداری مقاومت ماکروبتوزها نسبت آلودگی در همه ایستگاه‌ها دارد. در عین حال در ایستگاه ۲، جمعیت خانواده‌های مقاوم به آلودگی نسبت به دیگر ایستگاه‌ها افزایش پیدا کرده است که نشان از آلودگی بالا در این ناحیه می‌باشد اما با جریان آب به سمت ایستگاه‌های پایین دستی، جمعیت گونه‌های حساس رو به بالا بوده که حاکی از خودپالایی آب در فواصل دورتر و مناطق پایین دست است. همچنین این شاخص بیشترین انطباق را با شاخص ضریب EPT دارد.

دامنه تغییرات شاخص BMWP/ASPT در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۷,۷۶ - ۴,۶۹ قرار داشت. طبق نتایج حاصل ایستگاه‌های فوشه ۱، فوشه ۲، قلعه رودخان ۴ در طبقه آب‌های تمیز و ایستگاه‌های قلعه رودخان ۱ و قلعه رودخان ۳ در طبقه آب‌های با کیفیت مشکوک به آلودگی و ایستگاه ۲ قلعه رودخان در طبقه آب‌های با احتمال آلودگی متوسط قرار گرفتند. همچنین بر اساس نتایج آماری حاصل از این شاخص، بین ایستگاه ۱ فوشه و ۴ قلعه رودخان اختلاف معناداری وجود ندارد که می‌تواند به دلیل خودپالایی رودخانه در ایستگاه ۴ و در نتیجه کاهش حساسیت کفزیان به آلودگی باشد اما ایستگاه ۲ با بیشترین اختلاف معناداری نشان از وجود آلودگی بالا و در نتیجه جمعیت بالای خانواده‌های مقاوم به آلودگی و کاهش جمعیت گونه‌های حساس دارد که به علت آلودگی حاصل از خروج پساب استخر پرورش ماهی در این ایستگاه می‌باشد.

طبق تحقیق Saunders و همکاران در سال ۲۰۰۷، افزایش آلودگی باعث کاهش تنوع و فراوانی گونه‌های درشت بی‌مهرگه کفزی می‌شود، در حالی که در این مناطق آلوده، گونه‌های فرصت طلب که شاخصی برای آلودگی هستند غالب می‌شوند (Tabatabaie et al., 2010).

بر اساس نوع جوامع بی‌مهرگان کفزی و شرایط اکولوژیکی آن‌ها در هر رودخانه، باید شاخص یا شاخص‌های خاصی را در هر رودخانه تعریف نموده و انجام مطالعات ملی در کلیه آب‌های سطحی کشور با استفاده از ساختار جمعیتی

در این مطالعه برای بررسی تعادل جامعه زیستی نیز از ضریب EPT استفاده شده است. کم‌ترین میزان این شاخص در ایستگاه ۲ قلعه رودخان (۱,۱۴) و بیشترین میزان آن در ایستگاه ۱ فوشه (۹۳,۵) ثبت گردید. هرچه شاخص بالاتر باشد به معنای کاهش تعداد گونه‌های خانواده‌های Chironomidae و وجود شرایط بهتر برای زیست رسته‌های Plecoptera, Tricoptera, Ephemeroptera می‌باشد. بنابراین ایستگاه ۱ فوشه که بالاترین میزان این شاخص را دارد دارای شرایط مناسب تر و آلودگی کمتر و ایستگاه ۲ قلعه رودخان که کمترین مقدار این شاخص را دارد، دارای شرایط نامناسب و آلودگی بیشتر می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج آماری، به تدریج در ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۴ قلعه رودخان شرایط نسبت به ایستگاه ۲ بهتر می‌باشد که به معنای کاهش آلودگی و گونه‌ها Chironomidae می‌باشد و این شاخص بیشترین انطباق را با شاخص هلیسنهوف دارد. در خصوص شاخص EPT نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه Mirasouli و همکاران (۲۰۱۲) در ارزیابی زیستی رودخانه زرین گل (استان گلستان) با استفاده از ساختار جمعیت ماکروبتوزها مطابقت دارد اما از نظر شاخص هلیسنهوف و شاخص شانون نتایج سازگار نمی‌باشند.

یکی از شاخص‌هایی که برای بیان کیفیت آب از لحاظ آلودگی در این بررسی مورد استفاده قرار گرفت، شاخص هلیسنهوف بود. دامنه تغییراتی این شاخص در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۵,۲۹ - ۲,۸۲ بود. بر اساس نتایج حاصل از نظر کیفی ایستگاه‌های فوشه ۱، فوشه ۲ در طبقه عالی، ایستگاه‌های قلعه رودخان ۱، قلعه رودخان ۳ و قلعه رودخان ۴ در طبقه خیلی خوب و ایستگاه قلعه رودخان ۲ در طبقه خوب قرار گرفتند. Azimi و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعاتشان روی رودخانه زامرود در خصوص آلودگی حاصل از کارخانجات شن و ماسه و Ghane و همکاران (۲۰۰۶) در ارزیابی زیستی رودخانه چافرود (استان گیلان) نیز به نتایج مشابهی دست پیدا کردند در حالیکه با نتایج Mirasouli و همکاران (۲۰۱۲) تطابق ندارد. همچنین نتایج

در نتیجه گیری کلی می توان ابراز نمود که فعالیت‌های انسانی از قبیل احداث استخر پرورش ماهی در این انشعاب از رودخانه قلعه رودخان باعث تغییراتی در گروه‌های بی‌مهرگان کفزی در مدت زمان بررسی شده است.

ماکروبتوزهای کفزی ضروری است. لازم به ذکر است با توجه به اهمیت ساختار جمعیتی بی‌مهرگان کفزی در تعیین کیفیت آب و حساسیت متفاوت آن‌ها به آلودگی‌ها، شناسایی این دسته از اجتماعات آبی از اهمیت خاصی برخوردار است.

#### منابع

- Abdollahi, A., Jahani, A., Rayegan, B., Mohammadi Fazel, A. (2017). Evaluation of Land Use Changes using Remote Sensing and GIS in Nazlou Chai sub basin. *Environmental research*. 8(15):39-50
- Ahmadi, R., Mohebbi, F., Haghigi, P., Esmailly, L. and Salmanzadeh, R., (2011). Macro-invertebrates in the Wetlands of the Zarrineh estuary at the south of Urmia Lake (Iran). *Int. J. Environ. Res.*, 5(4):1047- 1052. (in Persian)
- Azimi, A., & Amirnezhad, R., & Nasrollahzadeh, H., & Soleymanirudi, A. (2015). Quality Classification Of Zaremrud River (Sari-Mazandaran) Using Hilsenhoff Family Biotic Index. *Journal of Wetland Ecobiology*, 7(23), 39-48. (in Persian)
- Barbour. M.T., Gerrtsen. B.D., Synder. B.D., Stribling. J.B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in stream and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrate and fish*. Second Edition.
- Bekche pour, N. (2012). *Status and importance of rivers in aquatic life*. Iranian Fisheries Information Center. <http://www.fisheries.ir>.
- Bemanikharanagh, A., Alizadeh, M., Khanjani, M. H. (2018). Environment Impact Assessment (EIA) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish farming in some areas of Yazd Province. *Journal of Aquatic Ecology*. 7 (4) :68-81
- Ebrahimi, E., Fathi, P., Ghodrati, F., Naderi, M., Pirali A. (2018). Assessment of Tajan River water quality with the use of biological and quality indicators. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 26 (5) :139-151. (in Persian)
- Ebrahimi, E., Mahboubi Sufiani, N., Kiwani, Y. (2009). Seasonal variation of macrobenthic organisms in relation to the substrate type in Zayandeh Rud river (from Isfahan to Varzaneh). *Journal of Iranian Natural Resources*, No. 6103. (in Persian)
- Elliott, J. M., U. H. Humpesch, and Macan T. T. (1988). Larvea of the British Ephemeroptera: a key with ecological notes. *Freshwater Biological Association Scientific Publication*. 49:152.
- Ghane, S.S, A., Ahmadi, M., Esmaili, A., and Mirzajani, A. (2006). Biological evaluation of Chafrood River (Gilan Province) using microbenthic population structure. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 10(1), P: 247-252. (in Persian)
- Gowen, R. J., D. P. Weston, A. Emirk. (1991). Aquaculture and the Benthic Environment. *First international symposium on nutritional strategies and aquaculture waste*, University of Guelf, Ontario, Canada. pp 187-205.
- Hilsenhoff, W.L. (1988). Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American*. 7 (1).65-68.
- Jafarzadeh, N., & Fataee, E., & Vatandoust, S., & Maddah, S. (2019). Bio-Assessment of Balekhloo River Based on Quantity Index (Shannon, Margalef, Pielou). *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(2 (81)), P: 285-296. (in Persian)



- Jahani, A., Saffariha, M. (2020). The prediction model of tourism impact assessment in vegetation canopy cover of Qhamishloo National Park and Wildlife Refuge. *Journal of Natural Environment* 73(2): 257-270.
- Jahani, A., Saffariha, M. (2021). Human Activities Impact Prediction in Vegetation Diversity of Lar National Park in Iran Using Artificial Neural Network Model. *Journal of Integrated Environmental Assessment and Management*. 17(1): 42-52.
- Karaca I, Pulatsu S.(2003). The Effect of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) Cage Culture on Benthic Macrofauna in Kesikkopru Dam Lake. *Turk. J Vet Anim Sci*. 27, P:1141-1146 .
- Kenny, M. A., Sutton-Grier, A. E., Smith, R. F. and Gresens, S. E. (2009). Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: The e intersection of science and policy. *Journal of Terrestrial Arthropod* .2: 99-128.
- Lenat, D. (1993). A biotic index for southeastern United Sataes, Derivation and list of tolerance values with criteria for assessing water quality ratings. *Journal of the North American Benthological Society*. 12: 179-290.
- Loch, D.D., West, J.L., and Perlmutter, D.G. (1996). The effect of trout farm effluent on the taxa richness of benthic macroinvertebrates. *Aquaculture*. 147(1-2):37-55
- Mesdaghi M. (2005). *Plant ecology*. Mashhad Jahade Daneshgahi press. Iran. (in Persian)
- Mirrasouli, E., & Ghorbani, R., & Abbasi, F. (2012). The Biological Assessment of The Zaringol Stream Using the Structure of Benthic Macroinvertebrates (Golestan Province). *Journal of Fisheries (Iranian Journal of Natural Resources)*, 64(4), P: 357-369. (In Persian)
- Nabirye, H., Mwebaza-Ndawula, L., Bugenyi, F. W. B., & Jones, F. (2016). The evaluation of cage fish farming effects on water quality using selected benthic macro-invertebrate community parameters in the Napoleon gulf, northern Lake Victoria. *International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.4(1), P:42-50.
- Nafari Yazdi, M., Hosseinzadeh Sahafi, H., Negarestan, H. (2011). *Investigation of effluent quality of rainbow trout farms (Oncorhynchus mykiss) in Haraz region*. Fifth National Conference on Environmental Engineering. Iran. Tehran University. (in Persian)
- Nafisi, M., & Ahmadi, M.R. (2001). Identification of bioindicator of invertebrates in running water. Publisher: Khabir. P:234. (in Persian)
- Ndaruga AM, Ndiritu GG, Gichuki NM, Wamicha WN. (2004). Impact of water quality on the macroinvertebrate assemblages along a tropical stream in Kenya'. *Afr. J Ecol*. 42(3). P:208.
- Nhan, Dang K., Verdegem, Marc C.J., Binh, Nguyen T., Duong, Le T., Milstein, Ana and Verreth, Johan A.J. (2008). Economic and nutrient discharge tradeoffs of excreta-fed aquaculture in the Mekong Delta, Vietnam. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 124: 259-269.
- Pescador, M. L., Rasmussen, A. K. and Harris, S. C. (2004). Identification manual for the caddisfly (Trichoptera) larvae of Florida. Department of Environmental Protection. Florida
- Pillay, Hitendra. (2002). An Investigation of Cognitive Processes Engaged in by Recreational Computer Game Players. *Journal of Research on Technology in Education*. 34. 336-350.
- Pipan, T. (2000). Biological assessment of stream water quality-the example of the Reka river (Slovenia). *Karst research Institute, Acta Carsologica*.29 (1), 201-222.
- Romachandra, T.V., Ahalya, N., and Murthy, C. R.. (2005). *Aquatic ecosystems conservation, restoration and management*. capital publishing Company. p:61
- Rosenberg, D.M., Davies, I.J. Cobb, D.G., Wiens, A.P. (1999). *Protocols for measuring Biodiversity: Benthic macroinvertebrates in Freshwaters*. Department of fisheries and Oceans, Freshwater Institute. Winnipeg. Manitoba.p:42

- Sadeghi Nezhad, Azar. (2009). The Qala-Rodkhan, a pearl as wide as the mountains and the river. *Tourism magazine*.12 (27). (in Persian)
- Saeb, K., & Taghavi, L., & kazemian, H. (2016). Monitoring and assessment of water health quality in the Haraz River, Iran using macroinvertebrates indices. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 3(1), P:45-53. (in Persian)
- Saunders WC, Fausch KD. (2007). Improved Grazing Management Increases Terrestrial Invertebrate Inputs that Feed Trout in Wyoming Rangeland Streams. *Trans Amer Fish Soc*. 136(5):1216–1230.
- Shamali, M. and AbdulMaliki, Sh. (1996). Biological and non-biological surveys of Kergan river, *research center. Gilan Fisheries, Bandar Anzali*. 60. (in Persian)
- Shannon, C.E., and Weaver, W. (1949). *The mathematical Theory of communication*. Bell System Technical Journal. 27. 379-423.
- Shirani Sarmazeh, N., Jahani, A., Goshtasb, H., Etemad, V. (2017). Ecological Impacts Assessment of Recreation on Quality of Soil and Vegetation in Protected Areas (Case Study:Qhamishloo National park and Wildlife Refuge). *Journal of Natural Environment*. 70(4): 881-891. (in Persian)
- Shirani Sarmazeh, N., Jahani, A., Goshtasb, H., Etemad, V. (2018). Environmental impact assessment of ecotourism in protected areas. *Environment and Development Journal*.9(17):25-36. (in Persian)
- Shirchi Sasi, Z., Abdoli, A., Hashemi, H. (2015). Evaluation of single- and multi-metric benthic macroinvertebrate indices for water quality monitoring, case study Jajrood River. *Journal of Natural Environment*. 68(1):83-93. (in Persian)
- Shokrisarvai, M., Ahmadi, M.R., Rahmani, H., and Kamrani, E. (2015). Water quality Assessment Based on Hilsenhoff Biological, Diversity Shannon- Wiener Indices and Environmental Parameters in Tajan River. *Journal of Fisheries Science and Technology*. 3 (4) :43-55. (in Persian)
- Simpson D., and Daft M.J. (1990). Interactions between water-stress and different mycorrhizal inoculation plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. *Plant and Soil*, 121:179-186.
- Stephens, W.W. and Farris, J.L. (2004). Instream community assessment of aquaculture effluents. *Aquaculture*. Vol. 112, pp: 149-162.
- Tabatabaie, T., & Amiri, F., & Pazira, A., & Mombaini, S. (2010). Study The Structure and Diversity of The Macrobenthic Communities in Helleh River. *Journal of Marine Biology*, 2(1), P: 37-46. (In Persian)
- Tayebi, L., & Sobhanardakani, S. (2013). Assessment of Qualitative Parameters of Gamasiab River and Effective Factors on These Parameters. *Journal of Environmental Science and Technology*. 14(2 (53)), 37-49. (in Persian)
- Washington, H. G. (1984). Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*. 18(6): 653 694.
- Welch, E. B. (1992). Ecological Effects of Waste water: Applied Limnology and Pollutant Effects. second edition. USA: CRC press.436p.