

## ارزیابی تأثیر پذیری فون درشت بی مهرگان بستری بوم سازگان رودخانه‌ای از پساب کارگاه تکثیر و پرورش ماهی با کاربرد شاخص‌های تنوع آلفا و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

لیما طیبی<sup>۱\*</sup>

[L.tayebi@malayeru.ac.ir](mailto:L.tayebi@malayeru.ac.ir)

هادی پورباقر<sup>۲</sup>

حمید فرحمند<sup>۳</sup>

غلامرضا رفیعی<sup>۴</sup>

علیرضا میرواقفی<sup>۵</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹

### چکیده

**زمینه و هدف:** آثار نامطلوب احتمالی توسعه صنعت آبزی پروری، لزوم توجه به معیارهای زیست محیطی را آشکار می‌سازد. بنابراین این پژوهش با هدف محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی آلفا برای فون ماکروبنیتیک در پاسخ به پساب کارگاه پرورش ماهی قزل‌آلا مستقر در رودخانه گاماسیاب در سال ۱۳۹۲ انجام یافت.

**روش بررسی:** نمونه‌برداری از ۴ ایستگاه در ورودی، خروجی، ۵۰۰ و هزار متری کارگاه در سه تکرار از کناره‌ها و بخش میانی رودخانه توسط سوربر انجام یافت. پس از شناسایی و شمارش نمونه‌ها، شاخص‌های تنوع زیستی مارگالف، سیمپسون، شانون-واینر، آلفا، کسول، برگر-پارکر، هیل و هم‌چنین شاخص EPT/Chir محاسبه شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که در تمام فصول نمونه‌برداری، شاخص EPT/Chir در ایستگاه خروجی کاهش یافت. هم‌چنین مقادیر شاخص‌های تنوع آلفا بیان‌گر کاهش شاخص‌های آلفا و هیل در بیش‌تر موارد و افزایش شاخص مارگالف در ایستگاه خروجی می‌باشد. پردازش PCA ارتباط شاخص‌های تنوع را با واحدهای نمونه‌برداری در فصول و ایستگاه‌های مختلف و هم‌چنین شاخص EPT/Chir مشخص

۱- \* (مسوول مکاتبات): استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

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

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

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

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

کرد. بر این اساس همه واحدهای نمونه برداری در کنار یک شاخص قرار نگرفته و با برخی ارتباط بیشتری دارند. بنابراین نوع اندیکس بر روی مطالعه مؤثر می باشد.

**بحث و نتیجه گیری:** بطور کلی آنالیز داده های تنوع زیستی نشان داد که این شاخص ها در فصول مختلف سال و ایستگاه های متفاوت نمونه برداری با تغییر شرایط آب رودخانه با هم دیگر اختلافات معنی دار دارند و نتیجه واحدی از سلامت بوم سازگان را نشان نمی دهند.  
**واژه های کلیدی:** پساب، کارگاه پرورش ماهی، بزرگ بی مهرگان بستری، رودخانه گاماسیاب، شاخص های تنوع زیستی.

## **Investigating the effects of trout farms effluent on riverine macrobenthic fauna based on alpha diversity indices and principal component analysis**

**Lima Tayebi** <sup>1\*</sup>

[L.tayebi@malayeru.ac.ir](mailto:L.tayebi@malayeru.ac.ir)

**Hadi PourBagher** <sup>2</sup>

**Hamid Farahmand** <sup>3</sup>

**Gholamreza Rafiee** <sup>4</sup>

**Alireza Mirvaghefi** <sup>5</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** Increase of fish production and necessity of developing this industry by environmental measures show the importance of studying the aquaculture effects. In this study, the alpha biodiversity indices for macrobenthic community in response to trout farm effluent located at Gamsiab River were calculated in 2013.

**Method:** Samples were collected from four stations at the inflow, outflow, and 500 meter and 1000 meter away from the farm and in three replicates from the middle and sides of the river by surber sampler. After identifying and counting the samples, the different biodiversity indices including Shannon H', Berger-Parker, Alpha, Casewell, Simpson, Hill-Ho, Margalef and Ept/chir were calculated.

**Findings:** Results showed that EPT/Chir index decreased in the outflow station in all seasons. Changes in alpha biodiversity indices showed that some indices, such as Alpha and Hill indices, in most cases decreased in the outflow station, while some others, such as Margalef richness index, increased. PCA analysis showed the relationship between biodiversity indices and both sampling units in different stations and seasons and EPT/Chir index. Accordingly, all sampling units were not related to one index and had stronger relationship with some of the indices. Therefore, it was concluded that index type affects the study.

**Conclusion:** Generally, analysis of the biodiversity indices showed that in different seasons and stations and in changing river conditions these indices had meaningful differences with one another, and did not lead to a single result for health situation of ecosystem.

**Keywords:** Effluent, Rainbow Trout farm, Macroinvertebrates, Gamsiab River, Diversity indices.

---

1- Assistant Professor, Department of Fisheries, College of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.\* (*Corresponding Author*)

2- Associate Professor, Department of Fisheries, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3- Professor, Department of Fisheries, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4- Professor, Department of Fisheries, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

5- Professor, Department of Fisheries, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

## مقدمه

تنوع گونه‌ای مشخصه‌ای از اجتماع زنده بوم‌سازگان است که تحت تأثیر اتفاقات گذشته و پدیده‌های جغرافیایی قرار می‌گیرد. این تنوع پیامد نهایی توالی محیط زیست به شمار می‌رود. تغییرات تنوع، بازتاب تغییر در فرآیندهای زیستی (تولید، روند انتقال مواد و انرژی، رژیم آشفستگی)، فشارهای غیر زیستی و اثرات متقابل زیستی است (۱). تنوع آلفا تنوع درون زیستگاهی است که در واقع همان تنوع گونه‌های یافت شده در یک اجتماع، زیست‌گاه یا بوم‌سازگان خاص را شامل می‌شود (۲).

هم اکنون مسایل و مشکلات زیادی در رودخانه‌ها به عنوان تهدیدات زیست محیطی این بوم‌سازگان‌های حساس و آسیب‌پذیر محسوب می‌شوند (۱). رشد جمعیت و افزایش ورود انواع فاضلاب‌ها از پیامدهای توسعه بوده و موجب افزایش آلودگی آب می‌شود. توسعه صنایع و فعالیت‌های دیگر در حاشیه رودخانه‌ها مشکلات بوم‌شناختی و زیست‌محیطی متعددی را برای رودها به عنوان منبع پذیرنده پساب صنایع و فاضلاب‌ها به وجود آورده است (۳). افزایش بروز انواع آلودگی‌ها و اثرات زیان‌بار آن‌ها بر محیط‌های آبی و آب‌زیان در اثر توسعه فناوری و رشد جمعیت اهمیت بررسی در راستای حفاظت و مدیریت منابع آب‌های شیرین داخلی را بیش از پیش آشکار می‌سازد. آبی‌پرووری از جمله فعالیت‌های تولیدی است که امروزه با افزایش تقاضای جهانی مورد توجه قرار گرفته است و توسعه کنترل نشده آن مانند هر فعالیت تولیدی بر محیط زیست رودخانه‌ها اثر خواهد گذاشت. گسترش آبی‌پرووری و لزوم توسعه آن با معیارهای زیست محیطی نیاز به مطالعه آثار نامطلوب احتمالی آبی‌پرووری را آشکار می‌سازد. بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی منابع آبی دریافت‌کننده پساب از ارکان توسعه پایدار و اعمال مدیریت صحیح در زمینه شیلات و توسعه پایدار است (۴).

قزل‌آلای رنگین‌کمان یکی از گونه‌های مهم پرووری است که از سال ۱۹۶۰ از اروپا وارد ایران شد و مورد تکثیر و پرورش قرار گرفت. پساب جامد حاصل از فرآیند پرورش، شامل پساب غذایی و مدفوع ماهیان بوده که به ازای تولید هر تن ماهی حدود نیم تن تولید می‌شود (۵). پساب کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلا به‌طور عمده شامل سه دسته مواد آلاینده است که دسته اول مواد جامد معلق شامل بقایای غذا و مدفوع ماهی

است. دسته دوم شامل مواد محلولی است که توسط ماهی در محیط آزاد می‌شود و بیش‌تر این مواد شامل کربن آلی و ترکیبات ازته محلول (آمونیم و اوره) می‌باشد. این دو دسته مواد سبب اختلالات شیمیایی آب ناشی از فرآیندهای تجزیه مواد شده که مهم‌ترین آن‌ها افزایش  $BOD_5$ ،  $COD$ ، ازت آمونیاکی، نیترات، نوسانات شدید اکسیژن محلول و تغییرات pH ناشی از به‌هم‌خوردن موازنه شیمیایی در آب می‌باشد. دسته سوم مواد شیمیایی باقی‌مانده از درمان‌های دارویی انجام شده مانند سولفات مس و فرمالین و قارچ‌کش‌هایی مثل مالاشیت‌گرین و انواع مختلف آنتی‌بیوتیک‌ها (سولفانامیدها) است که حتی در مقادیر نسبتاً کم، از عوامل تشدیدکننده اختلالات شیمیایی در آب می‌باشد (۶).

از آن‌جاکه دستیابی به هر مقدار از تولید ماهی قزل‌آلا در محیط‌های آبی مستلزم مصرف مواد غذایی در مراکز پرورش ماهی بوده، پساب این کارگاه‌ها سبب افت کیفیت آب می‌شود، به‌خصوص در شرایطی که کارگاه‌های ایجاد شده در فواصل کوتاه آب‌های خروجی را بدون هرگونه سیستم تصفیه به رودخانه‌ها می‌سازند (۷، ۸). این شرایط می‌تواند تنش‌هایی را بر اجتماعات ماکروبیوتوزها وارد نماید. مطالعات فراوانی در خصوص پاسخ بوم‌شناختی بوم‌سازگان‌های طبیعی بر آلودگی ناشی از پساب مزارع پرورش ماهی انجام شده (۵، ۸-۱۰) که برای ارزیابی تهدیدات وارد شده بر فون و فلور رودخانه از سنجش زیستی موجودات در محل زندگی‌شان استفاده می‌شود (۸). در بین اجتماعات آبی‌زی، نهرها و رودخانه‌ها بی‌مهرگان بستری بسیار مورد توجه‌اند (۹، ۱۰).

کیفیت و کمیت ورودی مواد آلی ناشی از فعالیت مزارع پرورش ماهی به رودخانه بر ساختار جوامع بی‌مهرگان بستری تأثیرگذار است و بدین ترتیب سبب اختلالاتی در عملکرد بوم‌سازگان‌ها می‌شود، زیرا در مناطقی که مواد آلی زیادی بارگذاری می‌شوند نسبت (Ephemeroptera, EPT) (Plecoptera, Tricoptera) کاهش می‌یابد. بنابراین روند نوسانات جمعیتی بزرگ بی‌مهرگان بستری ناشی از به‌هم‌خوردن تعادل بوم‌شناختی ایجاد شده در شرایط زیستی مناسب می‌باشد. مثلاً مواد معلق موجب افزایش کدورت شده در نتیجه شفافیت کاهش یافته و پیامدهای بوم‌شناختی و تبعات زیستی

مطالعات زیادی در رابطه با بررسی آثار پساب مزارع پرورش سالمون و قزل‌آلا بر جوامع ماکروبتوزها صورت گرفته است (۶،۱۰).

Mahboobi و همکاران (۲۰۱۲) اثر مزارع پرورش قزل‌آلا را بر کیفیت آب و ماکروبتوزهای رودخانه زاینده‌رود، بررسی کرده و نتیجه گرفتند که تأثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه ناچیز می‌باشد. هم‌چنین پساب بر جوامع بی‌مه‌رگان بستری رودخانه به‌ویژه در مواقع کاهش دبی آب رودخانه تأثیر نامطلوب داشته و باعث کاهش پیرایه‌های حساس به آلودگی و افزایش فراوانی پیرایه‌های مقاوم به آلودگی می‌شود (۴).

Naderi Jolodar و همکاران (۲۰۱۱) پاسخ بزرگ‌بی‌مه‌رگان بستری رودخانه هراز را نسبت به پساب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بررسی کردند و نشان دادند که شاخص‌های غنای EPT، درصد EPT/Chir و EPT در ایستگاه‌های بلافاصله پایین‌دست مزارع نسبت به ایستگاه‌های بالادست از مقادیر کمتری برخوردار بوده و با فاصله گرفتن از مزارع افزایش پیدا می‌کنند. هم‌چنین شاخص‌های زیستی با تکیه بر گروه‌های شاخص بی‌مه‌رگان بستری تفاوت‌های کیفی آب و زیستگاه‌ها را به خوبی نشان می‌دهند (۵).

Varnosfaderany و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی زیستی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از ماکروبتوزها پرداختند. در این تحقیق شاخص‌های کیفی و شاخص‌های غنا و تنوع درشت بی‌مه‌رگان بستری در مسیر رودخانه زاینده‌رود محاسبه و نمونه برداری به‌صورت ماهانه از آب و بستر رودخانه انجام یافت. نتایج نشان داد که همبستگی بیشتر شاخص‌ها با شاخص‌های زیستی در مقایسه با شاخص‌های غنا و تنوع درشت بی‌مه‌رگان بستری بیان‌گر حساسیت بیشتر شاخص‌های زیستی در انعکاس تغییرات کیفی آب رودخانه است (۳).

گاماسیاب رودی واقع در غرب ایران است که در شهرستان نهاوند و استان همدان قرار گرفته و یکی از طویل‌ترین رودخانه‌های ایران به‌شمار می‌رود. این رودخانه از چشمه‌های آهکی واقع در ۲۱ کیلومتری غرب استان، از دامنه‌های شمالی ارتفاعات گرین در شرق شهرستان دلفان به نام سراب گاماسیاب سرچشمه می‌گیرد و دبی متوسط آن ۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی موجود در مسیر این

خاصی به همراه خواهد داشت. بنابراین با استفاده از ترکیب شاخص‌های زیستی می‌توان به وضعیت کیفی بوم‌سازگان رودخانه پی برد (۱۱).

تعداد متنوعی از ماکروبتوزها و بسیاری از حشرات در داخل یا اطراف بوم‌سازگان‌های آبی می‌توانند به‌عنوان ابزارهای ایده‌آل پایش زیستی منعکس‌کننده صفات فیزیکی یا شیمیایی اوضاع بوم‌شناختی بوده و با مشخص نمودن وضعیت فعلی، ردیابی و نیز پیش‌بینی تغییرات مهم در راستای انعکاس راهبردهای بوم‌شناختی و تحلیل مقیاس‌های بوم‌سازگان‌های آبی مورد استفاده قرار گیرند (۱۲). هم‌چنین این ارگانسیم‌ها با اشغال موقعیت‌های مهم در زنجیره غذایی می‌توانند قابلیت ترسیم روابط تأثیرگذار در بوم‌سازگان‌ها را داشته باشند (۱۳).

شاخص‌های تنوع، میزان فراوانی یک گونه را در یک محیط انتخابی به‌صورت یک ارزش واحد نشان می‌دهند، بنابراین از این شاخص‌ها می‌توان برای ارزیابی سه جنبه از ساختار جامعه شامل تعداد گونه‌ها، تعداد کل ارگانسیم‌های موجود از هر گونه یا فراوانی و یکنواختی در گسترش گونه‌های مختلف به‌صورت یکسانی استفاده کرد. ارزش این روش‌ها بر این فرض استوار است که با افزایش آلودگی در یک سیستم تعداد گونه‌های حساس کاهش یافته و سبب نقصان پارامتر دیگر می‌گردد، در نتیجه کاهش تنوع در جامعه نمایان می‌شود ولی ممکن است در برخی مواقع روند معکوس ظاهر شود. مثلاً در برخی موارد با افزایش تدریجی آلاینده‌های زیستی نظیر ایستگاه‌های خروجی که با پساب مزارع آلوده می‌شوند بر تراکم و تنوع جانوران و ماکروبتوزها افزوده می‌گردد و باعث افزایش این شاخص‌ها در ایستگاه‌های خروجی و عدم همبستگی با شاخص‌های دیگر می‌شود که نماینده گروه‌های حساس جامعه می‌باشند (۳،۱).

مطالعات زیادی نیز در مورد اثر مزارع پرورش ماهی بر اجتماعات ماهیان و جوامع ماکروبتوز انجام شده است. آثار مواد زاید مزارع پرورش ماهی ممکن است شبیه دیگر حالت‌های غنی‌سازی مواد آلی، شامل کاهش غنای گونه‌ای و کاهش تنوع تاکسونی، افزایش فراوانی و غالبیت ارگانسیم‌های مقاوم به کاهش اکسیژن و فرآیند رسوب‌گذاری باشد (۱۰).

اثر پساب آبی‌پروری بر آب‌های دریافت‌کننده، هم‌چنین در بردارنده پیامدهایی برای ساختار جوامع بزرگ بی‌مه‌رگان بستری است که اخیراً بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

رودخانه، پس از دریافت آب و استفاده از آن پساب خود را به رودخانه وارد می‌نمایند. از آن جاکه این رودخانه از رودخانه‌های دایمی و مهم استان بوده و هم‌چنین استقرار کارگاه‌های پرورش ماهی در مسیر این رودخانه رو به افزایش است، قاعدتاً بر ساختار بوم‌شناختی این رودخانه مؤثر خواهد بود. بنابراین این مطالعه با هدف پایش زیستی رودخانه گاماسیاب و با تأکید بر درشت بی‌مهرگان بستری و بر اساس محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی آلفا و شاخص‌های جمعیتی انجام یافت.

### مواد و روش‌ها

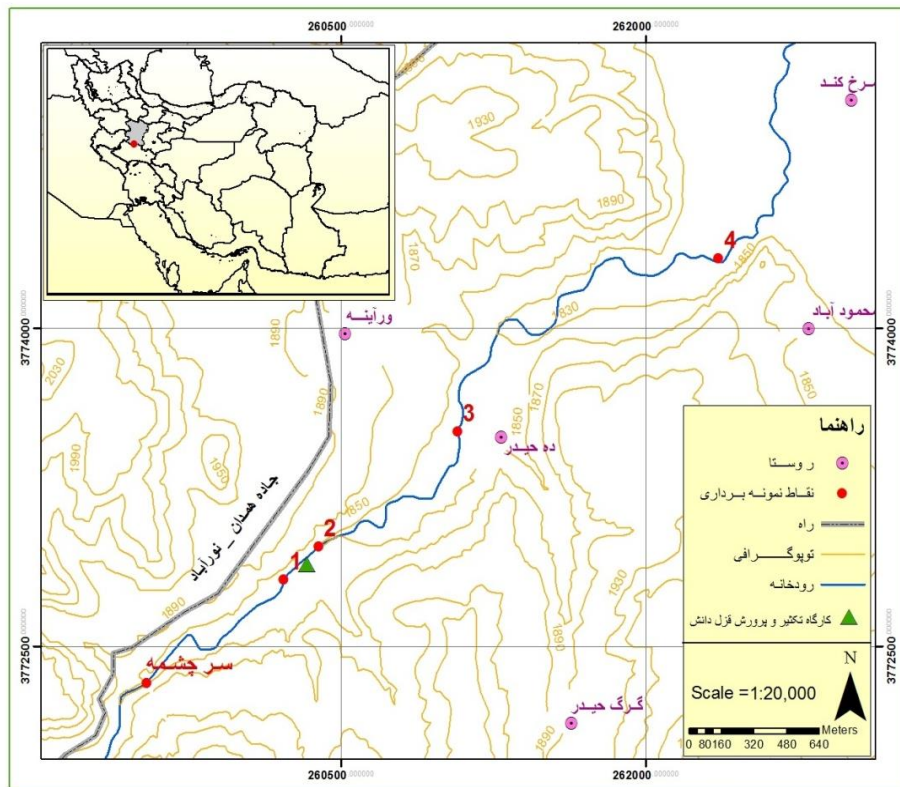
در طول رودخانه گاماسیاب تعداد زیادی مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا وجود دارد که عمده‌ترین آن‌ها در بالادست رودخانه، مزرعه پرورش قزل‌دان است که در مختصات جغرافیایی  $34^{\circ}$  و  $4^{\circ}$  و  $105^{\circ}$  عرض شمالی و  $48^{\circ}$  و  $28^{\circ}$  و  $154^{\circ}$  عرض شرقی و ارتفاع  $1756$  متر از سطح دریا قرار گرفته و معیار نمونه-برداری این مطالعه محسوب می‌شود. این کارگاه آب مورد نیاز خود را از رودخانه دریافت و مجدداً پساب خود را به آب وارد می‌سازد و تجهیزات آبی‌پروری آن از کانال‌های سیمانی تشکیل شده است. ظرفیت تولید آن در سال  $100$  تن قزل‌آلا رنگین‌کمان و جریان آب ورودی یک مترمکعب بر ثانیه است و خروجی پساب به‌طور مستقیم یا پس از طی مسافتی وارد رودخانه می‌شود.

نمونه‌برداری در مزرعه مستقر در حاشیه رودخانه گاماسیاب انجام گرفته که در بالاترین قسمت رودخانه قرار دارد و فاصله زیادی با سرچشمه رودخانه ندارد (شکل ۱). بدین منظور چهار ایستگاه در مسیر رودخانه تعیین گردید. نمونه‌برداری‌ها در اواسط فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال  $1392$  طی یک سال انجام گرفت. ایستگاه‌های نمونه‌برداری شامل ایستگاه شماره ۱، محل ورودی آب به مزرعه ایستگاه شماره ۲، محل خروجی پساب از مزرعه، ایستگاه شماره ۳،  $500$  متر پس از خروجی کارگاه و ایستگاه شماره ۴، حدود  $1000$  متر پس از خروجی کارگاه در نظر گرفته شدند. برای جلوگیری از ایجاد اختلال در جوامع بستری پایین‌دست، نمونه‌برداری از سمت پایین دست رودخانه به سمت بالا انجام شد. بستر رودخانه در طول مسیر نمونه‌برداری سنگی و قلوه سنگی بود. نمونه‌برداری از بنتوزها توسط نمونه‌بردار سوربر با ابعاد  $33$  در  $33$  سانتی‌متر

و چشمه تور  $200$  میکرون انجام گرفت. در هر ایستگاه در سه تکرار از طرفین و وسط رودخانه نمونه برداشته شد به‌طوری که قاب عمودی سوربر در کف بستر و توری متصل به آن عمود بر جریان آب رودخانه قرار گرفت و با جریان آب باز نگه داشته شد. نمونه‌بردار پشت سوربر و خلاف جهت جریان آب تمام سنگ‌های موجود در بستر جریان آب را توسط فرچه نرمی تمیز نموده تا تمام موجودات بنتیک احتمالی به انتهای سوربر هدایت گردد. سپس تمام سطوح و انتهای تور در چارچوب سوربر شسته شده و نمونه‌های جمع‌آوری شده به ظروف نمونه‌برداری منتقل و در الکل اتیلیک  $70$  درصد تثبیت گردید و جهت شناسایی به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ابتدا کلیه محتویات ظروف در الک با چشمه  $50$  میکرون خالی و پس از شستشوی کامل با آب سنگریزه‌ها و برگ‌ها جدا شده و نمونه‌های بنتوز در پتری دیش به منظور شناسایی منتقل شد. شناسایی نمونه‌ها توسط لوپ و میکروسکوپ جهت بررسی ضمایم بدنی صورت گرفت و سپس با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر تا پایین‌ترین رده ممکن در ابتدا جنس و تا حد امکان گونه شناسایی و شمارش شدند ( $18-14$ ).

برای محاسبه شاخص‌های زیستی پس از شناسایی و شمارش ماکروبنتوزها برای محاسبه شاخص EPT/Chir، مجموع فراوانی افراد متعلق به سه راسته افمروپترا، پلکوپترا و تریکوپترا، به مجموع فراوانی افراد متعلق به خانواده شیرونومیده در هر واحد نمونه‌برداری به‌دست آمد ( $10, 19, 20$ ). شاخص‌های مختلف تنوع زیستی مورد نظر، نظیر شاخص‌های سیمپسون، مارگالف، شانون-واینر، آلفا، کاسول، برگر-پارکر و هیل نیز توسط نرم افزار بیودایورسیتی محاسبه شد.

به‌منظور پردازش آماری داده‌ها از نسخه  $20$  نرم افزار SPSS استفاده شد. محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی آلفا توسط نرم افزار BioDiversity انجام یافت. بررسی ارتباط بین شاخص‌های تنوع و داده‌های ماکروبنتوزها از طریق پردازش PCA توسط نرم افزار R و Brodgar انجام یافت. به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها و فصول نمونه‌برداری از تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.



شکل ۱- نقشه موقعیت استقرار ایستگاه های نمونه برداری در طول مسیر رودخانه گاماسیاب ( ایستگاه ۱: ورودی کارگاه، ایستگاه ۲: خروجی کارگاه، ایستگاه ۳: ۵۰۰ متر پس از خروجی، ایستگاه ۴: ۱۰۰۰ متر پس از خروجی)

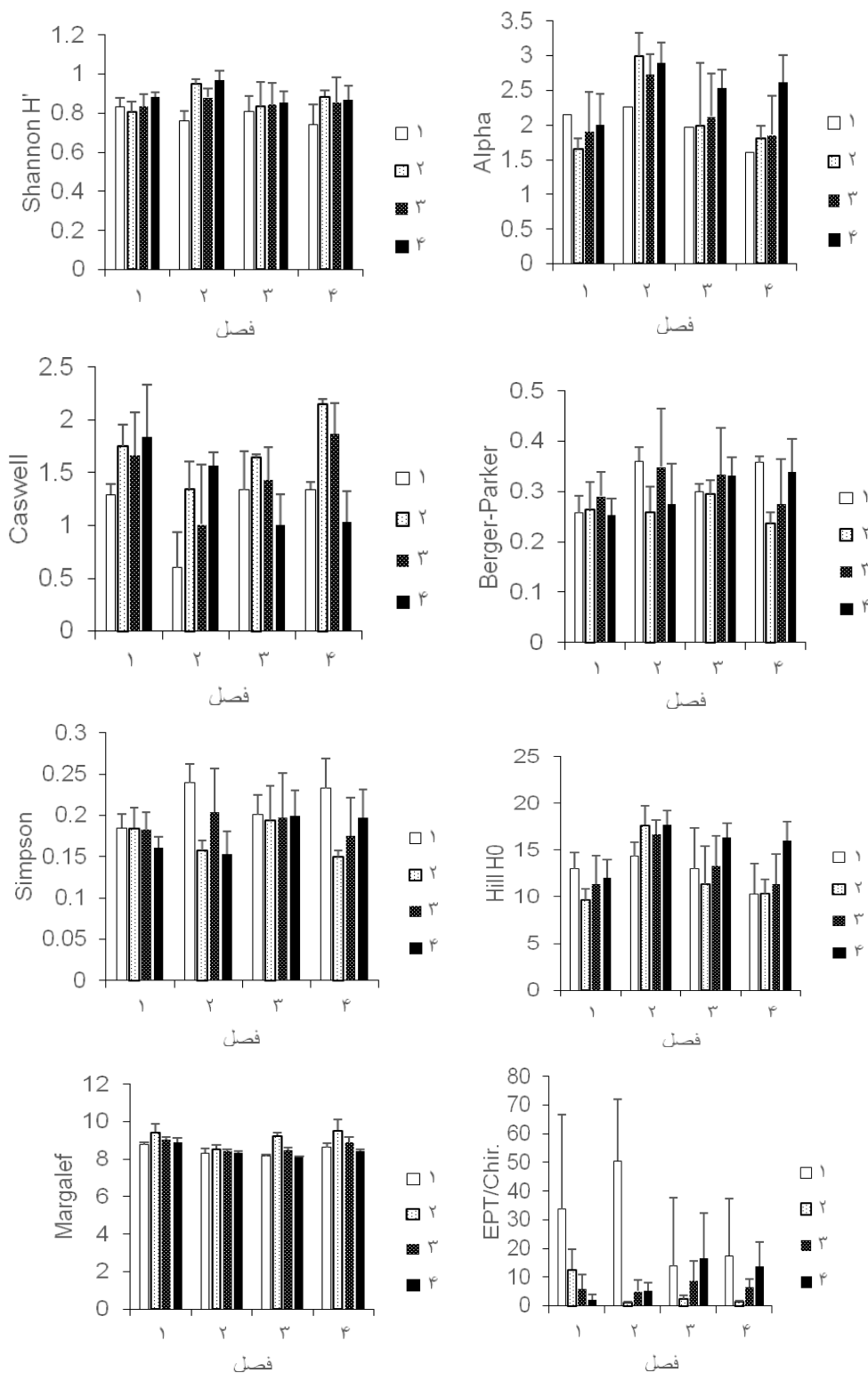
Figure 1- Location of study area's station along Gamasiab river (station1: inflow, station2: outflow, station3: 500 meter away from the outflow, station4: 1000meter away from the outflow)

## نتایج

کاهش در ایستگاه خروجی را نشان می دهد ولی مقادیر این شاخص ها در خروجی فصل تابستان افزایش می یابد. شاخص کسول در خروجی کلیه فصول افزایش دارد. مقادیر شاخص های برگر- پارکر و سیمپسون در خروجی فصول تابستان و زمستان کاهش نشان می دهد و شاخص هیل نیز در خروجی فصل بهار کاهش دارد. مقادیر شاخص مارگالف در خروجی کلیه فصول افزایش نشان می دهد و به تدریج در ایستگاه های بعدی زیاد می شود (شکل ۲).

روند تغییرات شاخص EPT/Chir نشان داد که مقدار این شاخص در ایستگاه خروجی نسبت به ورودی کاهش یافته است. این نشان دهنده کاهش کیفیت آب در ایستگاه خروجی و افزایش گروه های مقاوم در این ایستگاه می باشد که منجر به کاهش مقدار این شاخص شده است و مقدار آن در ایستگاه های پس از خروجی در غالب فصول به جز بهار افزایش نشان داد (شکل ۲).

بررسی تغییرات مقادیر شاخص های مختلف تنوع آلفا نشان می دهد که شاخص تنوع شانون- واینر در نمونه های خروجی فصل بهار کاهش یافته ولی در خروجی فصول دیگر مقداری افزایش نشان می دهد. مقادیر شاخص آلفا و هیل در اغلب موارد



\* اعداد مندرج در محور افقی بیانگر فصول سال و اعداد مندرج در محور عمودی نیز بیانگر ایستگاه های نمونه برداری است و شماره های کنار شکل به ترتیب نشان دهنده ایستگاه ۱: ورودی، ایستگاه ۲: خروجی، ایستگاه ۳: ۵۰۰ متر پس از کارگاه و ایستگاه ۴: ۱۰۰۰ متر پس از کارگاه می باشند.

شکل ۲- مقادیر تغییرات شاخص های زیستی در ایستگاه ها و فصول مختلف نمونه برداری (میانگین  $\pm$  انحراف معیار)

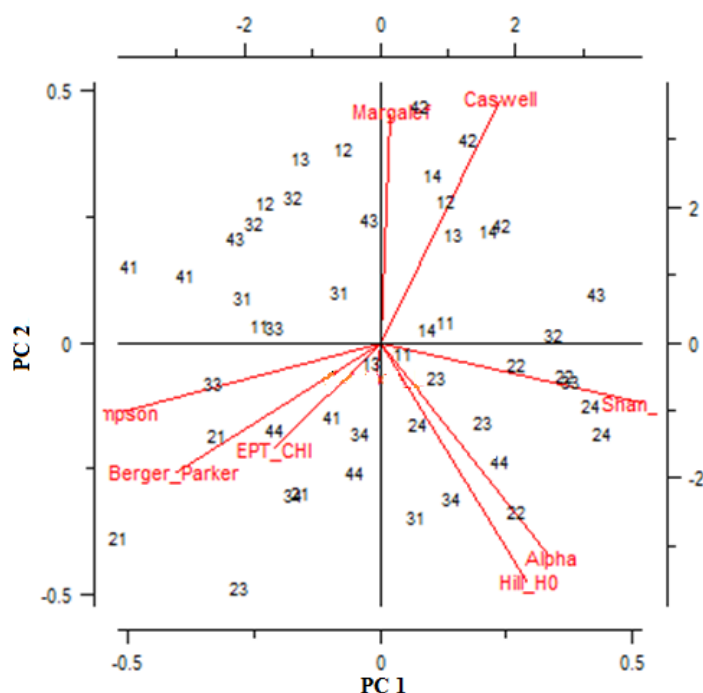
Figure2- changes in value of biodiversity indices in different seasons and sameplming stations (mean $\pm$ SD)



شاخص غنای گونه‌ای مارگالف و کسول همبستگی منفی و با برخی شاخص‌ها نظیر شانون- واینر، آلفا و هیل ارتباطی ندارد. همچنین ارتباط شاخص‌ها با واحدهای نمونه‌برداری مختلف یکسان نیست و هر واحد نمونه‌برداری به یک شاخص نزدیک‌تر بوده و با آن ارتباط مستقیم دارد و با برخی ارتباطی نداشته و همه واحدها دقیقاً در کنار یک اندیکس قرار نمی‌گیرند. مثلاً داده‌های فصول زمستان و بهار بیشتر با شاخص‌های مارگالف و کسول همبستگی مثبت دارند، حال آن‌که داده‌های فصول تابستان بیشتر با شاخص‌های هیل، آلفا و شانون- واینر رابطه دارند. پراکندگی مکانی داده‌ها با شاخص‌ها نیز نشان می‌دهد که ایستگاه‌های ورودی و یک کیلومتر پس از خروجی (ایستگاه‌های ۱ و ۴) بیشتر با شاخص‌های سیمپسون، برگر- پارکر، هیل، آلفا و شانون- واینر در ارتباطند، در صورتی که ایستگاه‌های خروجی و ۵۰۰ متر پس از خروجی (ایستگاه‌های ۲ و ۳) بیشتر با شاخص‌های مارگالف و کسول همبستگی مثبت دارند.

پردازش PCA کلی شاخص‌ها نشان داد که به‌طور کلی شاخص‌ها در فصول مختلف و ایستگاه‌های مختلف در اغلب موارد با یک‌دیگر اختلاف معنی‌داری دارند. بدین ترتیب که در بررسی فصول مشخص شد شاخص‌های فصل بهار با تابستان و پاییز، فصل تابستان با بهار، پاییز و زمستان، فصل پاییز با تابستان، بهار و زمستان و فصل زمستان با تابستان و پاییز اختلاف معنی‌داری نشان دادند ( $F=18.101$ ,  $P=0.001$ ). همچنین بررسی ایستگاه‌ها نشان داد که شاخص‌های ایستگاه خروجی با کلیه ایستگاه‌های دیگر اختلاف معنی‌دار دارد ( $F=10.553$ ,  $P=0.001$ ) ولی ایستگاه ورودی تنها با خروجی اختلاف معنی‌دار داشته و ایستگاه‌های ۵۰۰ متری و ۱۰۰۰ متری از خروجی با هم‌دیگر و هم‌چنین با ایستگاه خروجی اختلاف‌شان معنی‌دار است.

پردازش PCA در شکل (۳) ارتباط شاخص‌های تنوع با شاخص EPT/Chir را نشان می‌دهد. طبق شکل زیر این شاخص با شاخص تنوع سیمپسون و برگر- پارکر همبستگی مثبت، با



\*ارقام اول و دوم مندرج در شکل به ترتیب بیان‌گر فصل و مکان نمونه برداری می‌باشد  
(۱: بهار، ۲: تابستان، ۳: پاییز، ۴: زمستان؛ ۱: ایستگاه ۱، ۲: ایستگاه ۲، ۳: ایستگاه ۳، ۴: ایستگاه ۴)

شکل ۳- رابطه بین شاخص‌های تنوع و ماکروبن‌توزها در فصول و ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری

Figure 3- Relation between biodiversity indices and macrobenthos in different seasons and sampling stations

## جدول ۱- تغییرات مقدار ویژه و درصد تجمعی واریانس ایجاد شده توسط PCA

Table1- Changes in specific value and the cumulative percentage of variance by PCA

PC	مقدار ویژه	مقدار ویژه به درصد	درصد تجمعی مقدار ویژه
۱	۳/۴۲۹	۳۸/۰۹۵	۳۸/۰۹۵
۲	۳/۰۷۱	۳۴/۱۲۱	۷۲/۲۱۶
۳	۱/۲۳۹	۱۳/۷۶۶	۸۵/۹۸۲
۴	۰/۶۰۶	۶/۷۳۰	۹۲/۷۱۲
۵	۰/۴۶۸	۵/۲۰۲	۹۷/۹۱۴
۶	۰/۱۶۵	۱/۸۳۱	۹۹/۷۴۵
۷	۰/۰۱۷	۰/۱۸۸	۹۹/۹۳۳
۸	۰/۰۰۵	۰/۰۵۰	۹۹/۹۸۳
۹	۰/۰۰۲	۰/۰۱۷	۱۰۰/۰۰۰

در بررسی شاخص تنوع جمعیتی سیمپسون، از آن جا که بسیاری از محققین آن را بیش تر شاخص غالبیت می دانند تا شاخص تنوع (۲۴)، افزایش قابل ملاحظه و معنی دار آن در ایستگاه ورودی فصل تابستان و زمستان نسبت به خروجی، نشان دهنده غالبیت گروهی از ماکروبتوزها در این ایستگاه هاست که در فصل تابستان اپیوروسها و در فصل زمستان گاماروسها در این ایستگاهها به نحو چشمگیری غالب بودند. نتایج مطالعات محققین دیگر در سایر رودخانهها نیز تأییدی بر این نتایج است (۴). نتایج بررسی شاخص تنوع جمعیتی مارگالف و کسول نشان داد که مقادیر این شاخص در ایستگاه خروجی کلیه فصول افزایش داشته است که دلیل این افزایش احتمالاً به خاطر افزایش گروههای مقاوم می باشد (۲۵) زیرا ممکن است تنوع در یک مکان آلوده برابر و یا حتی بیش تر از مکان غیر آلوده باشد ولی در اثر آلودگی زیاد ترکیب موجودات تغییر یابد (۲۶).

بررسی شاخصهای آلفا، هیل، برگر- پارکر و شانون- واینر نشان داد که در اغلب موارد مقادیر این شاخصها در خروجی نسبت به ورودی و همچنین ایستگاههای پس از خروجی، به دلیل ورود پساب کارگاه کاهش یافته و افزایش این شاخصها در برخی فصول در ایستگاه خروجی را می توان به افزایش گروههای مقاوم نسبت داد (۲۱، ۲۲، ۲۵).

نتیجه واریانس ایجاد شده توسط آنالیز PCA نشان می دهد که با تبدیل اعداد تنوع زیستی به دو ستون PC در ردیف دوم که محور X و Y شکل (۲) قرار گرفت، تا ۷۲٪ به نتیجه درست خواهیم رسید و دو PC اول بیش از ۷۰٪ واریانس را توضیح می دهند (جدول ۱).

## بحث و نتیجه گیری

بررسی مقادیر شاخص EPT/Chir نشان می دهد که کاهش قابل توجه این شاخص در ایستگاههای خروجی کلیه فصول نشانه تأثیر قابل توجه پساب بر کاهش فراوانی ماکروبتوزهای حساس و افزایش گروههای مقاوم به آلودگی نظیر شیرونومیده است. در همین ارتباط محققین دیگر نیز به کاهش فراوانی و غنای تاکسونی گروههای حساس EPT و افزایش تاکسونهای غیر حساس مانند خانواده شیرونومیده در ایستگاه ورود پساب به رودخانه اشاره داشتند (۲۳، ۲۲، ۲۰، ۴). به تدریج مقدار این شاخص در ایستگاههای پس از خروجی افزایش می یابد که نشان دهنده بهبود شرایط آب با فاصله گرفتن از ایستگاه خروجی است و تنها در فصل بهار این روند کاهش در ایستگاههای دیگر ادامه یافته که احتمالاً به دلیل افزایش تلاطم آب در طول رودخانه در این فصل و شستشو و کاهش ماکروبتوزها از سطح سنگها به دلیل سرعت جریان بالای آب در هنگام نمونه برداری می باشد (شکل ۲).

شاخص‌ها در ایستگاه‌های خروجی و عدم همبستگی با شاخص‌های دیگر شود که نماینده گروه‌های حساس جامعه می‌باشند. مطالعات محققین دیگر نیز این نتایج را تأیید می‌نماید (۳،۲۹-۲۷).

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که جوامع بی‌مهرگان بستری رودخانه تحت تأثیر پساب مزرعه قرار دارند که افزایش پیرایه‌های مقاوم به آلودگی و کاهش پیرایه‌های حساس در خروجی پساب این نکته را تأیید می‌نماید. به‌طور کلی داده‌ها بیانگر این است که پساب کارگاه تأثیر مشخصی بر جوامع ماکروبتوزی داشته و اثرات معنی‌داری بر تنوع و غنای گونه‌ای فون بستری رودخانه می‌گذارد ولی جوامع زیستی رودخانه در ایستگاه یک کیلومتری پس از خروجی نسبت به خروجی تا حدودی احیاء می‌شود که به دلیل ظرفیت رقیق‌سازی آب رودخانه می‌باشد. همان‌طور که در این مطالعه مشخص گردید از آن‌جا که همه واحدهای نمونه‌برداری که در فصول و ایستگاه‌های مختلف برداشته شده‌اند کنار هم و کنار یک شاخص مشخص قرار نمی‌گیرند، در نتیجه این شاخص‌ها در مواردی اعتبار بالایی نداشته و دارای خطا می‌باشند. بنابراین بهتر است تعداد تکرارها و نمونه‌برداری‌ها را تا حد امکان افزایش داد تا درصد خطا به حداقل برسد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود فواصل طولانی‌تر از خروجی کارگاه نیز برای مشاهده توان خودپالایی و احیاء کامل بستر رودخانه مورد بررسی قرار گیرد و اثرات کارگاه‌های پایین‌دست و ایستگاه‌های دیگر نیز مطالعه گردد. شایسته است در توسعه آبی‌پرویی و افزایش کارگاه‌ها در طول مسیر رودخانه حفظ محیط زیست رودخانه نیز مدنظر قرار گیرد تا با مدیریت صحیح میزان آسیب وارده بر بوم‌سازگان رودخانه کاهش یابد.

#### منابع

- 1- Whittaker, R.H., 1972. "Evolution and measurement of species diversity". *Taxon*, 21, 213-251.
- 2- Brown, J.H., Ernest, S.M., Parody, J.M., Haskell, J.P., 2001. "Regulation of diversity: maintenance of species richness in changing environments". *Oecologia*, 126(3), 321-332.
- 3- Varnosfaderany, M.N., Ebrahimi, E., Mirghaffary, N., Safyanian, A. 2010. "Biological assessment of the

از آن‌جا که آنالیز کلی شاخص‌ها بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار بین فصول مختلف است، می‌توان اذعان داشت که تنوع و غنای گونه‌ای بزرگ بی‌مهرگان بستری در فصول مختلف سال متفاوت می‌باشد که قطعاً تحت تأثیر دما، دبی آب، دوره‌های تولیدمثلی و شرایط متفاوت رودخانه در فصول مختلف می‌باشد. هم‌چنین در بررسی اثر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار شاخص‌های مختلف تنوع زیستی آلفا در ایستگاه خروجی که تحت تأثیر پساب کارگاه قرار دارد با ایستگاه‌های دیگر نشان می‌دهد که پساب کارگاه تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلا قطعاً بر تنوع زیستی و غنای گونه‌ای ماکروبتوزها اثر مستقیم دارد و موجب تغییرات در فون ایستگاه‌ها می‌شود که مطالعات دیگر محققین نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کند (۴،۵).

پردازش PCA ارتباط بین پراکنش واحدهای نمونه‌برداری با شاخص‌های تنوع را مشخص نمود. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است نمونه‌هایی که در زمان و مکان‌های یکسان گرفته شده حتی در تکرارهای مختلف جواب یکسان نداده و کنار هم نمی‌افتند. مثلاً عدد ۱۱ که نشان‌دهنده نمونه‌برداری فصل بهار از ایستگاه ورودی است، در دو مورد با شاخص شانون-واینر ارتباط نزدیک داشته و در یک مورد با شاخص سیمپسون در رابطه است که نشان می‌دهد برخی واحدهای نمونه‌برداری به برخی شاخص‌ها نزدیک‌تر و با برخی ارتباطی ندارند و همه جواب یکسان نمی‌دهند. بنابراین همه شاخص‌های تنوع یکسان عمل نکرده و نوع اندیکس بر روی مطالعه تأثیر خواهد گذاشت و قطعاً شاخص‌ها میزان خطای بالایی خواهند داشت.

در بررسی ارتباط و همبستگی شاخص‌های تنوع زیستی آلفا با شاخص EPT/Chir از طریق آنالیز PCA مشخص شد که این شاخص که نماینده گروه‌های حساس است همیشه همبستگی مثبت و رابطه مستقیمی با اندیکس‌های تنوع ندارد و احتمالاً آن‌ها که همبستگی مثبت با این شاخص دارند مانند شاخص سیمپسون و برگر- پارکر بهتر وضعیت سلامت یک بوم‌سازگان را نشان می‌دهند. علت عدم همبستگی شاخص‌های تنوع زیستی را می‌توان بدین صورت توجیه نمود که در برخی موارد با افزایش تدریجی آلاینده‌های زیستی نظیر ایستگاه‌های خروجی که با پساب مزارع آلوده می‌شوند، بر تراکم و تنوع جانوران و ماکروبتوزها افزوده می‌گردد و باعث افزایش این

- 11- Wallace, J.B., and Merritt, R.W. 1980. "Filter-feeding ecology of aquatic insects". *Annual Review of Entomology*, 25(1): 103-132.
- 12- Townswnd, C., Doledec, S., and Scarsbrook, M. 2003. "Species traits in relation to temporal and spatial heterogeneity in streams: a test of habitat templet theory". *Freshwater Biology*, 37(2): 367-387.
- 13- Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J., and Jiang, G. 2008. "Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem". *Analytica Chimica Acta*, 606(2): 135-150.
- 14- Pennak, R. W. 1953. "Fresh-water invertebrates of the United States". Ronald Press company. 769 p.
- 15- Clifford, H.F. 1991. "Aquatic invertebrates of Alberta: An illustrated guide". University of Alberta. CostaPierce, B.A. 2002. *Ecological Aquaculture: The evolution of the blue revolution*. Dept. of Fisheries, Animal and Veterinary Science. University of Rhode Island, 501 p.
- 16- Usinger R.L.(Ed.). 1956. "Aquatic insects of California: with keys to North American genera and California species". Univ of California Press.
- 17- Thorp, J.H., Covich, A.P. (Eds.). 2009. "Ecology and classification of North American freshwater invertebrates". Academic Press.
- 18- Quigley, M. 1977. "Invertebrates of streams and rivers". Nene collage, Northampton, Edward Arnold, London.
- 19- Pipan, T. 2000. "Biological Assesment of Stream Water Quality-the example of the Reka river (Slovenia)". *Acta carsologica*, 29, 1.
- 20- Fries, L.T. and Bowels, D.E. 2002. "Water quality and macro invertebrates community structure Zayandeh Rud River, Iran, using benthic macroinvertebrates". *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 40(3), 226-232.
- 4- Mahboobi Soofiani N., Hatami R., Hemami M.R. and Ebrahimi E. 2012. "Effects of trout farm effluent on water quality and the macrobenthic invertebrate community of the Zayandeh-Roud River, Iran". *North American Journal of Aquaculture*, 74(2): 132-141.
- 5- Naderi Jolodar, M., Abdoli, A., Mirzakhani, M.k., Sharifi Jolodar, A. 2011. "Benthic Macroinvertebrates Response in the Haraz River to the Trout Farms Effluent". *Iranian Journal of Natral Resources*, 64(2): 163-175.
- 6- Selong, J.H., & Helfrich, L.A. 1998. "Impacts of trout culture effluent on water quality and biotic communities in Virginia headwater streams". *The Progressive Fish-Culturist*, 60(4), 247-262.
- 7- Voelker, D.C., & Renn, D.E. 1994. "Benthic invertebrates and quality of streambed sediments in the White River and selected tributaries in and near Indianapolis".
- 8- Adams, S.M. 2002. "Biological indicators of aquatic ecosystem stress". American Fisheries Society. Bethesda, Maryland. 644 p.
- 9- CostaPierce, B.A. 2002. "Ecological Aquaculture: The evolution of the blue revolution". Dept. of Fisheries, Animal and Veterinary Science. University of Rhode Island, 501 p.
- 10- Loch, D.D., West, J.L., Perlmutter, D.G., 1996. "The effect of trout farm effluent on the taxa richness of benthic macroinvertebrates". *Aquaculture*, 147: 37-55.

- indicated by concentrations of periphytic chlorophyll a and aquatic-invertebrate communities". U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4199, 12 p.
- 26- Lydy, M.J., Crawford, C.G., & Frey, J.W. 2000. "A comparison of selected diversity, similarity, and biotic indices for detecting changes in benthic-invertebrate community structure and stream quality". Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 39(4), 469-479.
- 27- Shokri, M., Rossaro, B., Rahmani, H. 2014. "Response of macroinvertebrate communities to anthropogenic pressures in Tajan River (Iran)". *Biologia*, 69(10), 1395-1409.
- 28- Czeniewska-Kuza, I. 2005. "Comparing modified Biological monitoring working partly score system and several biological indices based on macroinvertebrates for water quality assessment". *Limnologica* 35, pp:169-176.
- 29- Mandaville, S.M. 2002. "Benthic macroinvertebrates in freshwaters: Taxa tolerance values, metrics, and protocols" Vol. 128, p. 315. Halifax, Canada: Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax.
- associated with a sport fish hatchery outfall", *North American Journal of Aquaculture*, 64: 257-266.
- 21- Podemski, C.L. and Blanchfield, P.J. 2006. "A Scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems". *Fisheries and Oceans Canada*, 5: 1-6.
- 22- Yokoyama, H., Nishimura, A., & Inoue, M. 2007. "Macrobenthos as biological indicators to assess the influence of aquaculture on Japanese coastal environments". In *Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities* (pp. 407-423). Springer Netherlands.
- 23- Gebler, J.B. (1998). "Water-quality of selected effluent-dependent stream reaches in southern Arizona as indicated by concentrations of periphytic chlorophyll a and aquatic-invertebrate communities". U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4199, 12 p.
- 24- Washington, H.G. 1984. "Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems". *Water research*, 18(6), 653-694.
- 25- Gebler, J.B. 1998. "Water-quality of selected effluent-dependent stream reaches in southern Arizona as