علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره ۵ ، تابستان۱۳۹۶

ارزیابی تأثیرپذیری فون درشت بی‌مهرگان بسترزی بوم‌سازگان رودخانه‌ای از پساب کارگاه تکثیر و پرورش ماهی با کاربرد شاخص‌های تنوع آلفا و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

لیما طیبی [۱*]

l.tayebi@malayeru.ac.ir

هادی پورباقر [۲]

حمید فرحمند [۳]

غلامرضا رفیعی [۴]

علیرضا میرواقفی [۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش:۱۳۹۴/۰۱/۳۰

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 ماکروبنتیک 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 شاخص-های تنوع آلفا بیان‌گرکاهش 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 نمونه‌برداری در کنار یک شاخص قرار نگرفته و با برخی ارتباط بیشتری دارند. بنابراین نوع انـدیکس بـر روی مطالعه مؤثر می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: بطورکلی آنالیز داده‌های تنوع زیستی نشان داد که این شاخص‌ها در فصول مختلـف سـال و ایسـتگاه‌هـای متفـاوت نمونه‌برداری با تغییر شرایط آب رودخانه با هم‌دیگر اختلافات معنی‌دار دارند و نتیجه واحدی از سلامت بوم‌سازگان را نشان نمی‌دهند.

واژه‌های کلیدی: پساب، کارگاه پرورش ماهی، بزرگ بی‌مهرگان بسترزی، رودخانه گاماسیاب، شاخص‌های تنوع زیستی.

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.5, Summer 2017

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

Lima Tayebi [1]*
l.tayebi@malayeru.ac.ir
Hadi PourBagher [2]
Hamid Farahmand [3]
Gholamreza Rafiee [4]
Alireza Mirvaghefi [5]

Abstract

Background and Objective: Incerease of fish production and necessity of developing this industry by environmental measures show the importance of studing the aquaculture effects. In this stydy, the alpha biodiversity indices for macrobenthic community in response to trout farm effluent located at Gamsiab River were calculated in 2013.
Method: Sampls 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 indeces including Shanon 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 biodivesity indeces showed that some indices, such as Alpaha 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 sampeling units in different stations and seasons and EPT/Chir index. Accordingly, all sampeling units were not related to one index and had stronger relationship wih 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, Gamasiab 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 تحت‌تأثیر 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 آشفتگی)، 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 بوم سازگان‌های حساس و آسیب-پذیر 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 فاضلاب ها به وجود آورده است (۳). افزایش بروز انواع آلودگی-ها و اثرات زیان‌بار آن‌ها بر محیط‌های آبی و آب زیان در اثر توسعه فناوری و رشد جمعیت اهمیت بررسی در راستای حفاظت و مدیریت منابع آب‌های شیرین داخلی را بیش از پیش آشکار می‌سازد. آب‌زی‌پروری 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 آب‌زی‌پروری و لزوم توسعه آن با معیارهای زیست محیطی نیاز به مطالعه آثار نامطلوب احتمالی آب‌زی‌پروری 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 پرورشی 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 می شود (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 (آمونیوم 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 آنتی بیوتیک‌ها (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 رودخانه رها می‌سازند (۷،۸). این شرایط می‌تواند تنش‌هایی را بر اجتماعات ماکروبنتوزها وارد نماید. مطالعات فراوانی در-خصوص پاسخ بوم‌شناختی بوم‌سازگان‌های طبیعی بر آلودگی ناشی از پساب مزارع پرورش ماهی انجام شده (۵،۱۰-۸) که برای ارزیابی تهدیدات وارد شده بر فون و فلور رودخانه از سنجش زیستی موجودات در محل زندگی‌شان استفاده می شود (۸). در بین اجتماعات آب‌زی، نهرها و رودخانه‌ها بی‌مهرگان بسترزی بسیار مورد توجه‌اند (۹،۱۰).

کیفیت و کمیت ورودی مواد آلی ناشی از فعالیت مزارع پرورش ماهی به رودخانه بر ساختار جوامع بی‌مهرگان بسترزی تأثیرگذار است و بدین ترتیب سبب اختلالاتی در عملکرد بوم-سازگان‌ها می‌شود، زیرا در مناطقی که مواد آلی زیادی بارگذاری می شوند نسبت (Ephmeroptera, Plecoptera, Tricoptera) EPT کاهش می‌یابد. بنابراین روند نوسانات جمعیتی بزرگ بی‌مهرگان بسترزی ناشی از به‌هم خوردن 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

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

تعداد متنوعی از ماکروبنتوزها 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 بوم-شناختی و تحلیل مقیاس‌های بوم‌سازگان‌های آبی مورد استفاده قرار گیرند (۱۲). هم‌چنین این ارگانیسم‌ها با اشغال موقعیت-های 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 ارگانیسم‌های 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 ماکروبنتوزها افزوده می‌گردد و باعث افزایش این شاخص‌ها در ایستگاه‌های خروجی و عدم همبستگی با شاخص‌های دیگر می-شود که نماینده گروه‌های حساس جامعه می‌باشند (۳،۱).

مطالعات زیادی نیز در مورد اثر مزارع پرورش ماهی بر اجتماعات ماهیان و جوامع ماکروبنتوز 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 ارگانیسم‌های مقاوم به کاهش اکسیژن و فرآیند رسوب‌گذاری باشد (۱۰).

اثر پساب آبزی‌پروری بر آب‌های دریافت‌کننده، هم‌چنین در-بردارنده پیامدهایی برای ساختار جوامع بزرگ بی‌مهرگان بستررزی است که اخیراً بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات زیادی در رابطه با بررسی آثار پساب مزارع پرورش سالمون و قزل‌آلا بر جوامع ماکروبنتوزها صورت گرفته است (۶،۱۰).

Mahboobiو همکاران (۲۰۱۲) اثر مزارع پرورش قزل‌آلا را بر کیفیت آب و ماکروبنتوزهای رودخانه زاینده‌رود، بررسی کرده و نتیجه گرفتند که تأثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه ناچیز می‌باشد. هم‌چنین پساب بر جوامع بی‌مهرگان بستررزی رودخانه به‌ویژه در مواقع کاهش دبی آب رودخانه تاثیر 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 بستررزی رودخانه هراز را نسبت به پساب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بررسی کردند و نشان دادند که شاخص های غنایEPT، درصدEPT و EPT/Chir در ایستگاه‌های بلافاصله پایین‌دست مزارع نسبت به ایستگاه های بالادست از مقادیر کمتری برخوردار بوده و با فاصله گرفتن از مزارع افزایش پیدا می‌کنند. هم‌چنین شاخص‌های زیستی با تکیه بر گروه‌های شاخص بی‌مهرگان بستررزی تفاوت‌های کیفی آب و زیستگاه‌ها را به خوبی نشان می دهند (۵).

Varnosfaderany و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی زیستی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از ماکروبنتوزها پرداختند. در این تحقیق شاخص‌های کیفی و شاخص‌های غنا و تنوع درشت بی-مهرگان بستررزی 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 بستررزی 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 به شمار 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 می-باشد. کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی موجود در مسیر این

رودخانه، پس از دریافت آب و استفاده از آن پساب خود را به رودخانه وارد می‌نمایند. از آن‌جاکه 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 بسترزی و بر اساس محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی آلفا و شاخص‌های جمعیتی انجام یافت.

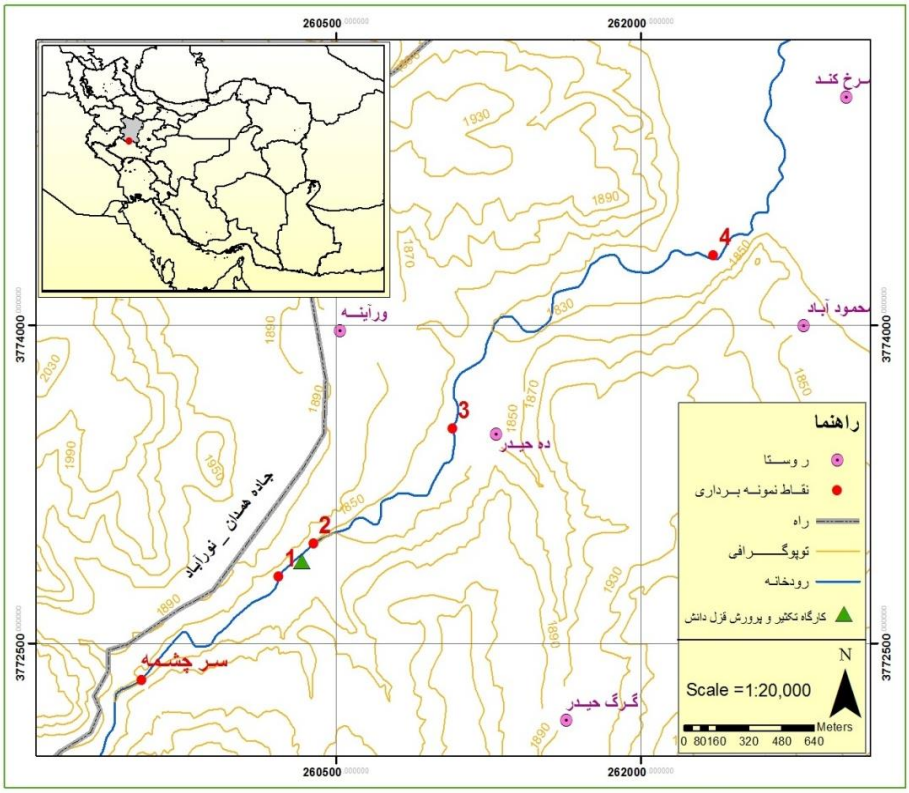
مواد و روش ها

در طول رودخانه گاماسیاب تعداد زیادی مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا وجود دارد که عمده‌ترین آن‌ها در بالادست رودخانه، مزرعه پرورش قزل دانش است که در مختصات جغرافیایی °۳۴ و '۴ و "۱۰۵ عرض شمالی و °۴۸ و '۲۸ و "۱۵۴ عرض شرقی و ارتفاع ۱۷۵۶ 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 آب‌زی‌پروری آن از کانال‌های سیمانی تشکیل شده است. ظرفیت تولید آن در سال ۱۰۰ تن قزل‌آلای 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 سال۱۳۹۲ 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، ۵۰۰ متر پس از خروجی کارگاه و ایستگاه شماره ۴، حدود ۱۰۰۰ متر پس از خروجی کارگاه در نظر گرفته شدند. برای جلوگیری از ایجاد اختلال در جوامع بسترزی 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 ۳۳ در ۳۳ سانتی‌متر و چشمه تور ۲۰۰ 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 جمع آوری شده به ظروف نمونه‌برداری منتقل و در الکل اتیلیک ۷۰ درصد تثبیت گردید و جهت شناسایی به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ابتدا کلیه محتویات ظروف در الک با چشمه ۵۰ میکرون خالی و پس از شستشوی کامل با آب سنگریزه‌ها و برگ‌ها جدا شده و نمونه-های 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 پایین ترین رده ممکن در ابتدا جنس و تا حد امکان گونه شناسایی و شمارش شدند (۱۸-۱۴).

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 (۱۰،۱۹،۲۰). 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 ۲۰ 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.



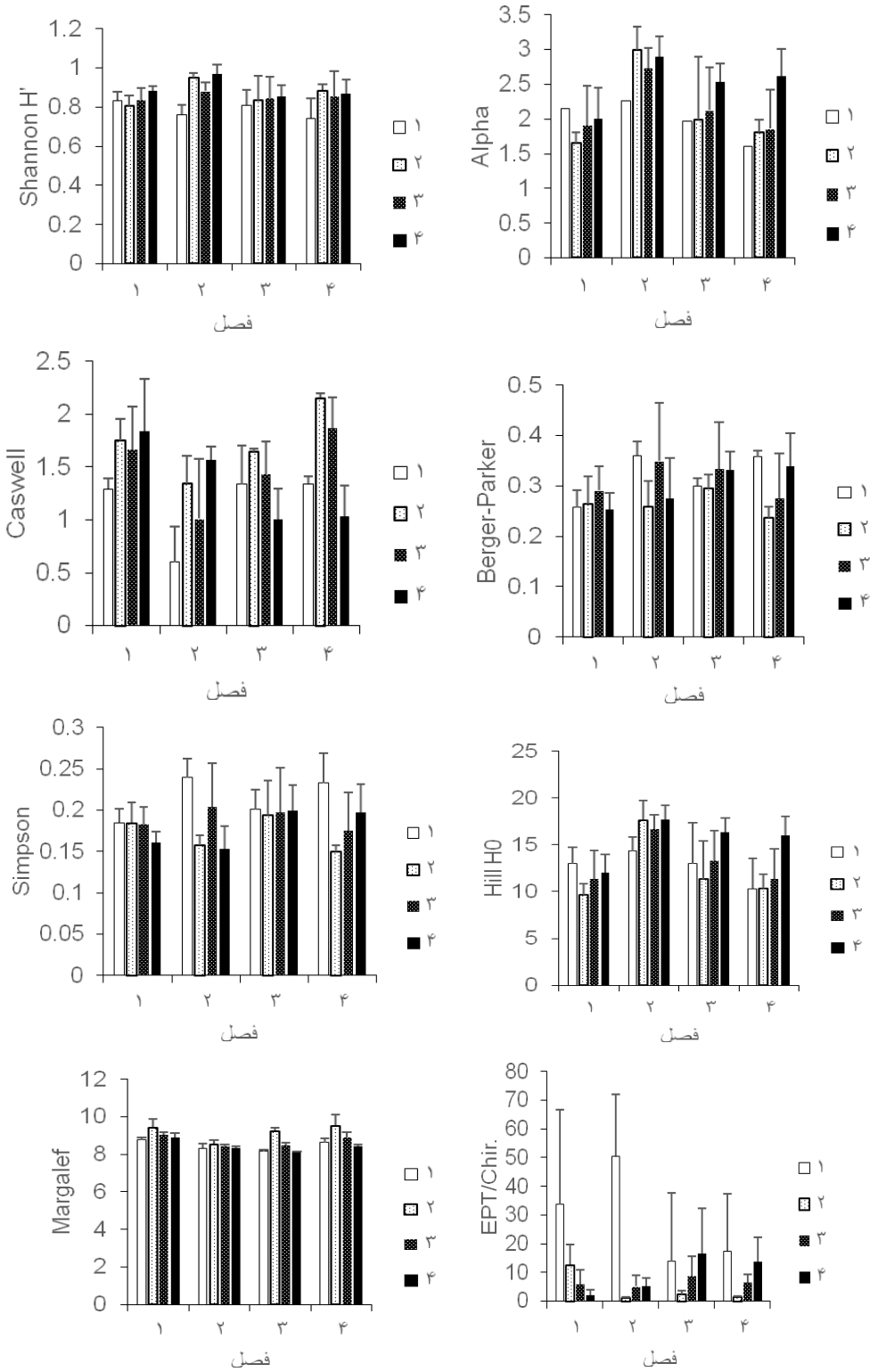
شکل ۱-نقشه موقعیت استقرار ایستگاه های نمونه برداری در طول مسیر رودخانه گاماسیاب (ایستگاه۱: ورودی کارگاه، ایستگاه ۲: خروجی کارگاه، ایستگاه ۳: ۵۰۰ متر پس از خروجی، ایستگاه ۴: ۱۰۰۰ متر پس از خروجی)

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

روند تغییرات شاخص EPT/Chir نشان داد که مقدار این شاخص در ایستگاه خروجی نسبت به ورودی کاهش یافته است. این نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب در ایستگاه خروجی و افزایش گروه‌های مقاوم در این ایستگاه می‌باشد که منجربه کاهش مقدار این شاخص شده است و مقدار آن در ایستگاه‌های پس ازخروجی در غالب فصول به جز بهار افزایش نشان داد (شکل۲).

بررسی تغییرات مقادیر شاخص های مختلف تنوع آلفا نشان می‌دهد که شاخص تنوع شانون- واینر در نمونه‌های خروجی فصل بهار کاهش یافته ولی در خروجی فصول دیگر مقداری افزایش نشان می‌دهد. مقادیر شاخص آلفا و هیل در اغلب موارد کاهش در ایستگاه خروجی را نشان می‌دهد ولی مقادیر این شاخص‌ها در خروجی فصل تابستان افزایش می‌یابد. شاخص کسول در خروجی کلیه فصول افزایش دارد. مقادیر شاخص‌های برگر- پارکر و سیمپسون در خروجی فصول تابستان و زمستان کاهش نشان می‌دهد و شاخص هیل نیز در خروجی فصل بهار کاهش دارد. مقادیر شاخص مارگالف در خروجی کلیه فصول افزایش نشان می‌دهد و به‌تدریج در ایستگاه‌های بعدی زیاد می-شود (شکل ۲).



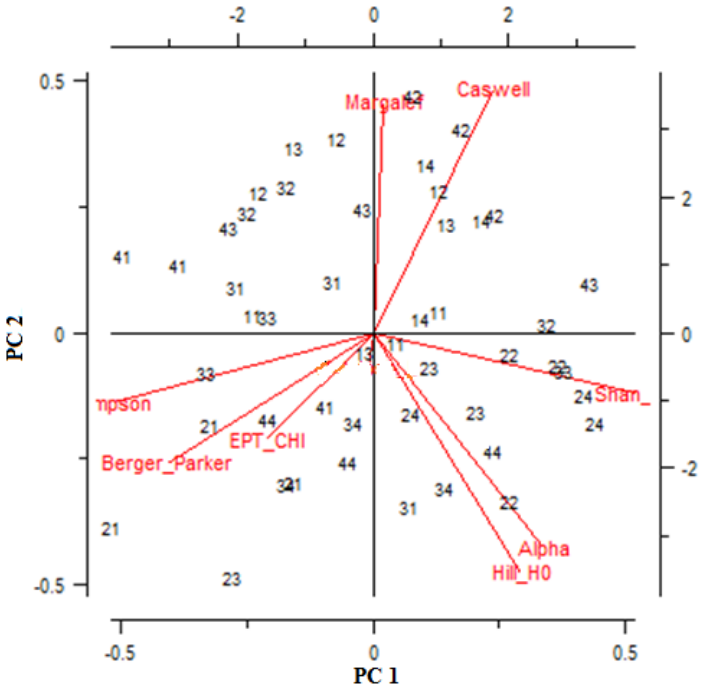
* اعداد مندرج در محور افقی بیانگر فصول سال و اعداد مندرج در محور عمودی نیز بیانگر ایستگاه های نمونه برداری است و شماره های کنار شکل به ترتیب نشان دهنده ایستگاه ۱: ورودی، ایستگاه ۲: خروجی، ایستگاه ۳: ۵۰۰ متر پس از کارگاه و ایستگاه ۴: ۱۰۰۰ متر پس از کارگاه می‌باشند.

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

Figure2- changes in value of biodivercity indices in different seasons and samepling stations (mean±SD)

پردازش PCA کلی شاخص‌ها نشان داد که به‌طورکلی 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 درشکل (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 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، درصورتی‌که ایستگاه‌های خروجی و ۵۰۰ متر پس از خروجی (ایستگاه های ۲ و ۳) بیشتر با شاخص‌های مارگالف و کسول همبستگی مثبت دارند.



*ارقام اول و دوم مندرج در شکل به‌ترتیب 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 biodivercity indices and macrobenthoses 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 cumulatiye 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

نتیجه واریانس ایجاد شده توسط آنالیز PCA نشان می‌دهد 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 می‌دهند (جدول ۱).

بحث و نتیجه گیری

بررسی مقادیر شاخص EPT/Chir نشان می‌دهد که کاهش قابل توجه این شاخص در ایستگاه‌های خروجی کلیه فصول نشانه تأثیر قابل توجه پساب بر کاهش فراوانی ماکروبنتوزهای حساس و افزایش گروه‌های مقاوم به آلودگی نظیر شیرونومیده است. در همین ارتباط محققین دیگر نیز به کاهش فراوانی و غنای تاکسونی گروه‌های حساسEPT و افزایش تاکسون‌های غیرحساس مانند خانواده شیرونومیده در ایستگاه ورود پساب به رودخانه اشاره داشتند (۴،۲۰،۲۲،۲۳). به‌تدریج مقدار این شاخص در ایستگاه‌های پس از خروجی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده بهبود شرایط آب با فاصله گرفتن از ایستگاه خروجی است و تنها در فصل بهار این روند کاهش در ایستگاه-های دیگر ادامه یافته که احتمالاً به دلیل افزایش تلاطم آب در طول رودخانه در این فصل و شستشو و کاهش ماکروبنتوزها از سطح سنگ‌ها به دلیل سرعت جریان بالای آب در هنگام نمونه برداری می‌باشد (شکل۲).

در بررسی شاخص تنوع جمعیتی سیمپسون، از آن‌جا که بسیاری از محققین آن را بیش‌تر شاخص غالبیت می‌دانند تا شاخص تنوع (۲۴)، افزایش قابل ملاحظه و معنی‌دار آن در ایستگاه ورودی فصل تابستان و زمستان نسبت به خروجی، نشان دهنده غالبیت گروهی از ماکروبنتوزها در این ایستگاه هاست که در فصل تابستان اپئوروس‌ها 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 به‌خاطر افزایش گروه‌های مقاوم می‌باشد (۲۵) زیرا ممکن است تنوع در یک مکان آلوده برابر و یا حتی بیش‌تر 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 می‌توان به افزایش گروه‌های مقاوم نسبت داد (۲۱،۲۲،۲۵).

از آن‌جا که آنالیز کلی شاخص‌ها بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار بین فصول مختلف است، می توان اذعان داشت که تنوع و غنای گونه‌ای بزرگ بی‌مهرگان بسترزی 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 گونه ای ماکروبنتوزها 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. همان‌طورکه 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 نمی افتند. مثلا 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 نزدیک تر 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 شاخص های 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 آلاینده های زیستی نظیر ایستگاه‌های خروجی که با پساب مزارع آلوده می‌شوند، بر تراکم و تنوع جانوران و ماکروبنتوزها افزوده می‌گردد و باعث افزایش این شاخص‌ها در ایستگاه‌های خروجی و عدم همبستگی با شاخص-های دیگر شود که نماینده گروه‌های حساس جامعه می‌باشند مطالعات محققین دیگر نیز این نتایج را تأیید می نماید (۳،۲۹-۲۷).

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که جوامع بی‌مهرگان بسترزی رودخانه تحت تاثیر پساب مزرعه قرار دارند که افزایش پیرایه‌های مقاوم به آلودگی و کاهش پیرایه های حساس در خروجی پساب این نکته را تأیید می نماید. به‌طورکلی داده‌ها بیانگر این است که پساب کارگاه تأثیر مشخصی بر جوامع ماکروبنتوزی داشته و اثرات معنی‌داری بر تنوع و غنای گونه‌ای فون بسترزیان رودخانه می‌گذارد ولی جوامع زیستی رودخانه در ایستگاه یک کیلومتری پس از خروجی نسبت به خروجی تا حدودی احیاء می‌شود که به دلیل ظرفیت رقیق سازی آب رودخانه می‌باشد. همان‌طورکه در این مطالعه مشخص گردید از آن‌جا که همه واحدهای نمونه‌برداری که در فصول و ایستگاه-های مختلف برداشته شده‌اند کنار هم و کنار یک شاخص مشخص قرار نمی‌گیرند، درنتیجه 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 آب‌زی‌پروی 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

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.

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 ofthe Reka river (Slovenia)". Acta carsologica, 29, 1.

20- Fries, L.T. and Bowels, D.E. 2002. "Water quality and macro invertebrates community structure

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 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- Czeniawska-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.