بررسی تاثیر کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) بر برخی پارامترهای کیفی آب رودخانه خالکائی، ماسال، استان گیلان

- **ساناز رحیمی**: گروه محیط زیست، واحدلاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
- **فاطمه شریعتی***: گروه محیط زیست، واحدلاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
- **حسین خارا**: گروه شیلات، واحدلاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۷

چکیده

رودخانه خالکائی از رودهای شمال کشور بوده که از شهر ماسال عبور نموده و وارد تالاب انزلی می‌گردد. در این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر کیفیت آب رودخانه خالکائی و روند خودپالایی آن، هشت ایستگاه نمونه‌برداری قبل و بعد از چهار کارگاه تکثیر و پرورش ماهی در مسیر رودخانه انتخاب شدند. اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مواد مغذی آب شامل دما، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD5)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، فسفات (PO4)، نیترات (NO3) و نیتریت (NO2) هر ماه یک‌بار در یک دوره پنج‌ماهه در سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. نتایج میانگین برای ایستگاه‌های ورودی به مزارع، DO ۰/۶۲±۱۰/۰۹ میلی‌گرم در لیتر، BOD5 ۲/۱۶±۶/۶۲ میلی‌گرم در لیتر، PO4 ۰/۰۰۵±۰/۰۴۸ میلی‌گرم در لیتر و NO2 ۰/۰۰۴±۰/۰۳۵ میلی‌گرم درلیتر به‌دست آمد. هم‌چنین برای ایستگاه‌های خروجی، DO ۰/۷۳±۹/۲۰ میلی‌گرم در لیتر، BOD5 ۳/۹۷±۱۲/۸۱ میلی‌گرم در لیتر، PO4 ۰/۰۰۷± ۰/۰۷۵ میلی‌گرم در لیتر و NO2 ۰/۰۰۹±۰/۰۸۸ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. در این مطالعه مقادیر پارامترهای فوق در ایستگاه‌های مختلف دارای نوساناتی بوده و برخی از آن‌ها شامل BOD5، COD، فسفات، نیترات و نیتریت در ایستگاه‌های خروجی مزارع پرورش ماهی نسبت به ورودی اختلاف معنی‌داری داشتند ($p<0/05$). مقادیر پارامترهای BOD5، COD، TDS، EC، فسفات و نیتریت بین ماه‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری بودند ($p<0/05$) که نتیجه تاثیر مزارع پرورش ماهی و خودپالایی رودخانه می‌باشد. این فاکتورها در ماه‌های مختلف نیز در تغییر بوده که علت اصلی آن تغییر شرایط محیطی و شدت فعالیت کارگاه‌ها بود.

کلمات کلیدی: قزل‌آلای رنگین‌کمان، پارامترهای کیفی آب، پساب، رودخانه خالکائی، استان گیلان

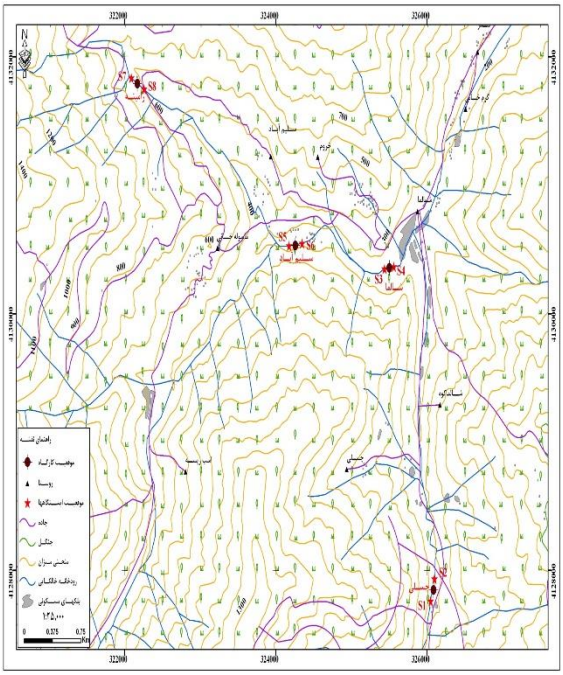
* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Shariat_20@yahoo.com

مقدمه

رودخانه خالکائی، واقع در شهرستان ماسال یکی از سرشاخه‌های تالاب انزلی است که به‌دلیل ورود به این تالاب بین‌المللی حائز اهمیت می‌باشد. ارتفاع سرچشمه این رودخانه ۱۵۰۰ متر و شیب متوسط آن ۱۱/۵ درصد است. سرچشمه آن در ۱۹ کیلومتری جنوب‌غربی ماسال قراردارد. این رودخانه پس از الحاق با رودخانه سلیم‌آباد و رسیدن به ناحیه‌جلگه‌ای ماسال، با اضافه شدن چند ریزابه کوچک دیگر، رودخانه خالکایی را تشکیل می‌دهد و پس از متصل شدن به رودخانه مرغک به تالاب انزلی می‌ریزد(اکبرزاده‌و همکاران، ۱۳۹۰).احداث کارگاه‌های پرورش ماهیان سرد آبی در کنار رودخانه خالکائی به‌صورت امری رایج شده است و هر ساله با روند فزونی احداث مزارع جدید روبرو می‌باشد. در حال حاضر در مسیر این رودخانه ۱۸ مزرعه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان فعالیت دارند.با گذشت زمان و گسترش جوامع و به تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی، تغییر خصوصیات کیفی آن افزایش پیدا کرده است (Carney، ۲۰۰۹). در سراسر جهان، آلودگی آب‌های سطحی به‌وسیله آلاینده‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به‌عنوان یک معضل همه‌گیر وجود دارد و می‌تواند بر بسیاری از فعالیت‌های انسان تاثیر زیان‌باری بر جای بگذارد (Noori و همکاران، ۲۰۰۹). انتقال آلاینده‌های حاصل از پساب‌های شهری و صنعتی و نیز رواناب کشاورزی سهم بزرگی در کاهش کیفیت آب دارد (Shrestha و Kazama، ۲۰۰۷). بنابراین پایش کیفیت آب رودخانه‌ها به‌دلیل تاثیرات مستقیم بر سلامت عمومی و پایداری اکوسیستم‌های آبی و سایر اکوسیتم‌های وابسته به آن، دارای اهمیت چشمگیری است (میرزایی و همکاران،۱۳۹۲). بررسی کیفیت آب یک رودخانه می‌تواند اولین و یا شاید مهم‌ترین گام در اعمال یک مدیریت صحیح کیفی به منظور رفع مشکل آلودگی آن باشد. چرا که دیدگاه فرد را نسبت به روند و چگونگی تغییرات آلودگی در هر زمان و مکان و شرایط خاص روشن می‌نماید (عباسپور، ۱۳۷۷). اطلاع از وضعیت کیفی آب‌های سطحی این امکان را فراهم می‌سازد تا ضمن استفاده از آن در موارد مختلف، شیوه‌هایی اتخاذ شود تا کم‌ترین آسیب به این منبع وارد شود. از آن‌جایی‌که دستیابی به هر مقدار معین از تولید ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در محیط‌های آبی، مستلزم مصرف مواد غذایی در مراکز پرورش ماهی بوده و در شرایطی که کارگاه‌های ایجاد شده در فواصل بسیار کوتاه، آب‌های خروجی را بدون هرگونه سیستم تصفیه بیولوژیکی به رودخانه رها می‌سازند، پساب این کارگاه‌ها سبب افت شدید کیفیت آب می‌گردد. بنابراین لازم است آثار پساب کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی روی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد مطالعه قرار گیرد (Adams، ۲۰۰۲؛ Voelker و Renn، ۲۰۰۰؛ اسماعیلی ساری، ۱۳۹۶). پساب کارگاه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌طور عمده شامل مواد جامد معلق و قابل ته‌نشینی، مواد محلولی که توسط ماهی در محیط آزاد می‌شود و مواد شیمیایی باقی‌مانده از درمان‌هایی دارویی می‌باشد (Selong و Helfrich، ۱۹۹۸). مطالعاتی در مورد اثر پساب کارگاه‌های پرورش ماهی بر روی کیفیت آب رودخانه‌های کشور انجام شده (کاظم زاده‌خواجویی و همکاران، ۱۳۸۱؛ نادری‌جلودار و همکاران.، ۱۳۸۵؛ حسینی وهمکاران، ۱۳۹۲؛کائیدی‌وهمکاران، ۱۳۹۶؛باقری‌و همکاران، ۱۳۹۶). فدوی‌حسینی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب قبل و بعد از مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا در رودخانه دو هزار تنکابن پرداختند و نتیجه گرفتند که فعالیت مزارع موجود در این رودخانه هنوز شرایط مناسبی را برای پرورش دهندگان ماهی قزل‌آلا می‌تواند فراهم نماید و تاثیرات سویی را بر اکوسیستم رودخانه نگذاشته است. سبحان‌اردکانی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی تاثیر پساب آبزی‌پروری بر پارامترهای کیفی آب رودخانه کبکان پرداختند. مقایسه میانگین غلظت پارامترهای EC، TDS، pH، DO و دمای آب در محل و پارامترهای نیترات، نیتریت، فسفات، آمونیوم، COD و BOD با حد استاندارد تعیین شده برای منابع آب سطحی و مصارف کشاورزی در نمونه‌های ایستگاه پایین‌دست، بیانگر آن بود که این رودخانه در حال حاضر توان خودپالایی آلاینده‌ها را دارد ولی با افزایش تعداد کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی و هم‌چنین عدم نظارت بر منابع آلاینده ورودی، در آینده‌ای نزدیک با معضلات جدی به‌ویژه بروز پدیده تغذیه‌گرایی مواجه خواهد شد. سرخوش و همکاران (۱۳۹۶) اثرات کارگاه پرورش ماهی سردآبی قزل کاج را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب رودخانه هراز بررسی نودند و نتیجه گرفتند که ایستگاهی که بلافاصله بعداز مزرعه قرار دارد، آلودگی بیش‌تری نسبت به ایستگاه‌های قبلی دارد و با افزایش فاصله از مزرعه، رودخانه دارای روند خودپالایی شده و درجه آلودگی آب کاهش می‌یابد و در نهایت در طبقه با کیفیت بالاتر قرار می‌گیرد. در خارج از کشور هم می‌توان به مطالعه Khalik و همکاران (۲۰۱۳) بر روی کیفیت آب از طریق ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در رودخانه برتام مالزی و Mobin و همکاران (۲۰۱۴) در رودخانه توراک بنگلادش اشاره کرد. در این تحقیق با توجه به اهمیت رودخانه خالکائی چه از نظر زیست محیطی و چه از نظر نقش و تاثیراتی که در اقتصاد محلی دارد، با اندازه‌گیری برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب در نواحی مختلف رودخانه و مقایسه آن‌ها در مکان‌های مختلف کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، آثار پساب کارگاه‌های تکثیر و پرورش این گونه بر رودخانه خالکائی مشخص شده و کیفیت آب آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این بررسی با استفاده از نقشه رودخانه خالکائی و با توجه به اطلاعاتی که در زمینه موقعیت کارگاه‌ها وجود داشت، چهار مزرعه تکثیر پرورش ماهی انتخاب شد. قبل از ورودی آب هر مزرعه، یک ایستگاه و بعد از خروجی آب هر مزرعه، یک ایستگاه تعیین شد و در مجموع با انتخاب ۸ ایستگاه، کل مزارع پوشش داده شد (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی مزارع پرورش ماهی در رودخانه خالکائی

نمونه‌برداری خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب طی پنج ماه اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور در روز یازدهم هر ماه (با توجه به دوره پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در این زمان)، در سال ۱۳۹۵ از آب ورودی و خروجی هر کارگاه در رودخانه انجام شد. جهت سنجش عوامل فیزیکی و شیمیایی، آب به‌وسیله ظروف پلی‌اتیلنی برداشته شده و نمونه‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه اداره کل محیط زیست استان منتقل گردید. آنالیز پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب از روش کار استاندارد متد بر اساس استاندارد آب و فاضلاب آمریکا انجام گرفت (APHA، ۲۰۰۵). پارامترهای هدایت الکتریکی (EC=Electrical conductivity) و pH در محل به‌روش الکترومتری توسط دستگاه مولتی‌متر شرکت WTW کشور آلمان مدل molti 340i اندازه گرفته شد. دمای آب به‌وسیله دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری اکسیژن محلول (DO=Dissolved Oxygen) به‌روش وینکلر صورت گرفت. اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD5=Biological oxygen demand) به‌روش هوادهی و گذاشتن در انکوباسیون و روش وینکلر و میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (Chemical Oxygen Demand=COD) با استفاده از هضم‌با محلول دی‌کرومات صورت گرفت‌و به‌روش فتومتری سنجش شد. اندازه‌گیری فسفات، نیترات و نیتریت به‌روش اسپکتروفتومتری با افزودن معرف‌های رنگ‌زای مناسب (Jenway UV.Vis-610,5 England) محاسبه گردید (APHA، ۲۰۰۵). کل مواد جامد محلول (Total dissolved solids=TDS) با دستگاه TDS-meter اندازه‌گیری شد (Hugles, 1978). تجزیه و تحلیل داده‌های با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۲۱ انجام شد. به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌دار داده‌های فیزیکوشیمیایی در بین ایستگاه‌های مطالعاتی و ماه‌های مختلف از آزمون واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن استفاده شد. هم‌چنین محاسبه داده‌ها و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام پذیرفت (Zar، ۱۹۹۹).

جدول ۱: مشخصات مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مورد بررسی در این مطالعه در رودخانه خالکائی

نام مزرعه (بهره‌بردار)	چسلی (رحیمی) A	شالما (فتحی) B	سلیم آباد (الهیاری) C	رامینه (یعقوبی) D
ظرفیت اسمی (تن)	۶۵	۳۰	۶۵	۲۰
ظرفیت کاری (تن)	۲۰۰	۴۰	۸۰	۳۰
منبع تامین آب	چشمه و رودخانه	چشمه و رودخانه	رودخانه	رودخانه
نوع غذا	کنسانتره	کنسانتره	کنسانتره	کنسانتره
تعداد دفعات غذادهی در روز	بچه‌ماهی ۱۰، پرواری ۳-۲	۳-۲	۳-۲	۳-۲
مقدار غذای مصرفی روزانه (کیلوگرم)	بچه‌ماهی ۱۵، پرواری ۳۵۰	۹۰۰-۴۰۰	۸۰۰	
مساحت کل (متر مربع)	۵۰۰۰	۲۷۰۰	۵۰۰۰	۱۵۰۰
مساحت مفید (متر مربع)	۲۵۰۰	۱۰۰۰	۲۵۰۰	۱۰۰۰

نتایج

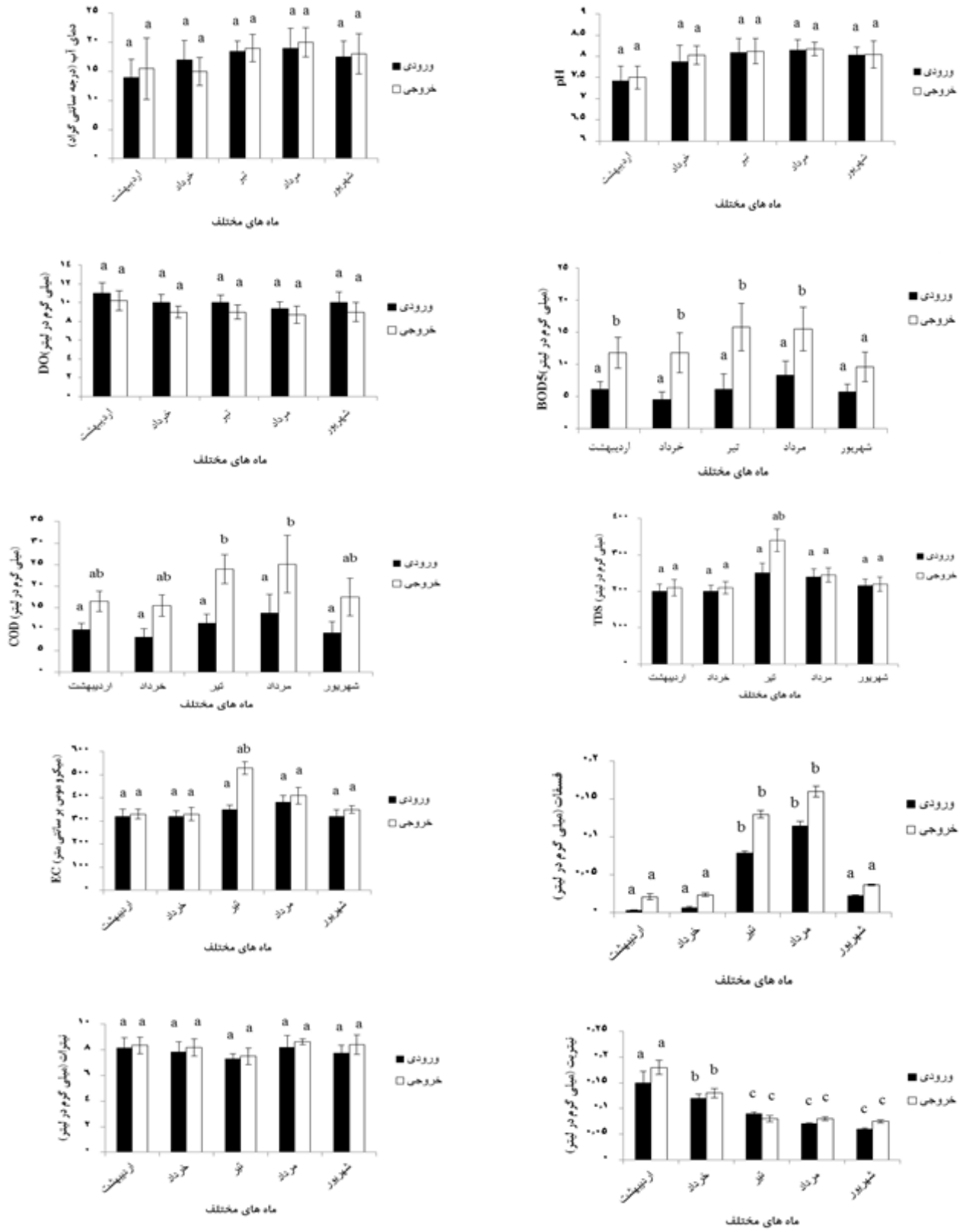
نتایج حاصل از مقادیر پارامترهای مورد مطالعه آب رودخانه خالکائی در کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در جدول ۲ آمده است. حداقل و حداکثر میانگین دمای آب در ایستگاه‌های ۱ و ۸ به‌ترتیب ۲/۷۸±۱۶/۹۰ و ۲/۰۵±۱۸/۳۶ درجه سانتی‌گراد بود. حداقل و حداکثر میانگین pH در ایستگاه‌های ۱ و ۸ به‌ترتیب ۷/۰±۷۵/۴۰ و ۰/۳۰±۸/۰۵ بود. DO یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدروشیمی آب است که در بحرانی‌ترین شرایط در فصل تابستان در پی افزایش درجه حرارت و بالا بودن میزان BOD5، مقدار آن کاهش یافت که حداقل و حداکثر میانگین آن در ایستگاه‌های ۲ و ۱ به‌ترتیب ۸/۱±۶۸/۰۵ و ۰/۵۵±۱۰/۳۲ میلی‌گرم در لیتر بود. حداقل و حداکثر میانگین BOD5 در ایستگاه‌های ۳ و ۴ (ورودی و خروجی کارگاه B) بود که اختلاف بین ایستگاه‌ها معنی‌داری بود ($p<0/05$). حداقل و حداکثر میانگین COD در ایستگاه‌های ۳ و ۸ به‌ترتیب ۱/۴۰±۱۰/۰۴ و ۹/۳۰±۲۳/۰۴ میلی‌گرم در لیتر بود که دارای اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها بود ($p<0/05$). حداقل و حداکثر میانگین TDS در ایستگاه‌های ۵ و ۲ به‌ترتیب ۹/۵۸±۲۱۱/۸۰ و ۲۰/۵۰±۳۲۱/۲۰ میلی‌گرم در لیتر بود که اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه ۲ با سایر ایستگاه‌ها وجود داشت ($p<0/05$). حداقل و حداکثر میانگین EC در ایستگاه‌های ۵ و ۲ به‌ترتیب ۱۵/۱۶±۳۳۶/۲۰ و ۳۱/۰۲±۵۱۰/۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بود که اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه ۲ با سایر ایستگاه‌ها وجود داشت ($p<0/05$). حداکثر و حداقل میانگین فسفات در ایستگاه‌های ۵ و ۸ به‌ترتیب ۰/۰۰۴±۰/۰۳ و ۰/۰۰۹±۰/۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود. که دارای اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها بود ($p<0/05$). حداقل و حداکثر میانگین نیترات به‌ترتیب در ایستگاه‌های ۵ و ۴ (ورودی کارگاه C و خروجی کارگاه B) بود که دارای اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها بود ($p<0/05$). حداقل و حداکثر میانگین نیتریت در ایستگاه‌های ۱ و ۲ (ورودی و خروجی کارگاه A) بود که دارای اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها بود ($p<0/05$) (جدول ۲).

جدول ۲: میانگین±انحراف معیار پارامترهای دمای آب، pH، DO، BOD5، COD، TDS، EC، PO4، NO3 و NO2 در ایستگاه‌های مختلف

پارامترها	A		B		C		D		کل
	۱ (ورودی)	۲ (خروجی)	۳ (ورودی)	۴ (خروجی)	۵ (ورودی)	۶ (خروجی)	۷ (ورودی)	۸ (خروجی)	
دمای آب (درجه سانتی گراد)	۲/۷۸±۱۶/۹۰^{a}	۴/۸۴±۱۶/۱۶^{a}	۲/۳۶±۱۷/۶۰^{a}	۱/۸۲±۱۸/۳۲^{a}	۱/۴۴±۱۷/۲۸^{a}	۱/۶۳±۱۷/۴۴^{a}	۱/۴۵±۱۷/۶۲^{a}	۲/۰۵±۱۸/۳۶^{a}	۲/۳۰±۱۷/۴۶^{a}
pH	۰/۴۰±۷/۷۵^{a}	۰/۴۲±۷/۸۰^{a}	۰/۲۱±۷/۹۷^{a}	۰/۲۰±۸/۰۰^{a}	۰/۱۴±۸/۰۴^{a}	۰/۳۳±۸/۰۰^{a}	۰/۳۰±۸/۰۲^{a}	۰/۳۰±۸/۰۵a	۰/۲۹±۷/۹۶^{a}
DO (میلی گرم در لیتر)	۰/۵۵±۱۰/۳۲^{a}	۱/۰۵±۸/۶۸^{a}	۰/۸۰±۱۰/۰۲^{a}	۰/۵۶±۹/۵۷^{a}	۱/۴۶±۱۰/۰۱^{a}	۰/۳۱±۹/۷۸^{a}	۰/۶۵±۱۰/۰۲^{a}	۰/۹۸±۸/۷۸^{a}	۰/۶۷±۹/۶۵^{a}
BOD_5 (میلی گرم در لیتر)	۱/۴۰±۷/۶۲^{a}	۱/۴۴±۱۲/۲۰^{b}	۱/۷۶±۳/۶۷^{c}	۳/۴۷±۱۶/۱۵^{d}	۱/۱۸±۶/۶۷^{a}	۱/۳۷±۷/۴۱^{a}	۴/۲۸±۸/۵۲^{a}	۹/۶۰±۱۵/۴۹^{d}	۳/۰۶±۹/۴۹^{b}
COD (میلی گرم در لیتر)	۱/۶۰±۱۳/۰۴^{a}	۲/۶۰±۲۲/۷۸^{b}	۱/۴۰±۱۰/۰۴^{a}	۳/۴۵±۲۱/۲۹^{b}	۰/۹۰±۱۵/۵۷^{c}	۰/۷۲±۲۲/۲۵^{b}	۶/۱۰±۱۳/۸۲^{a}	۹/۳۰±۲۲/۰۴^{b}	۳/۳۹±۱۷/۷۳^{bc}
TDS (میلی گرم در لیتر)	۱۸/۶۰±۲۲۵/۴۰^{a}	۲۰/۵۰±۳۲۱/۲۰^{b}	۱۵/۱۸±۲۱۴/۶۰^{a}	۱۵/۷۶±۲۲۰/۴۰^{a}	۹/۵۸±۲۱۱/۸۰^{a}	۱۱/۳۰±۲۱۸/۸۰^{a}	۱۹/۴۰±۲۱۲/۴۰^{a}	۲۰/۱۴±۲۱۷/۲۰^{a}	۱۶/۳۱±۲۳۰/۲۳^{a}
EC (میکروموس بر سانتی‌متر)	۲۹/۴۵±۳۵۸/۰۰^{a}	۳۱/۰۳±۵۱۰/۰۰^{b}	۲۴/۳۱±۳۴۰/۶۰^{a}	۲۴/۹۰±۳۴۹/۸۰^{a}	۱۵/۱۶±۳۳۶/۲۰^{a}	۱۸/۳۴±۳۴۷/۲۰^{a}	۳۱/۰۷±۳۳۷/۰۰^{a}	۳۲/۱۱±۳۴۴/۸۰^{a}	۲۵/۸۰±۳۶۵/۴۵^{a}
PO_4 (میلی گرم در لیتر)	۰/۰۴±۰/۰۵^{a}	۰/۰۸±۰/۰۸^{b}	۰/۰۵±۰/۰۶^{a}	۰/۰۸±۰/۰۸^{b}	۰/۰۴±۰/۰۳^{c}	۰/۰۴±۰/۰۴^{c}	۰/۰۷±۰/۰۵^{a}	۰/۰۹±۰/۱۰^{b}	۰/۰۶±۰/۰۶^{a}
NO_3 (میلی گرم در لیتر)	۰/۶۱±۶/۸۹^{a}	۰/۶۰±۷/۳۲^{a}	۰/۳۷±۹/۷۱^{b}	۰/۸۶±۱۰/۳۱^{b}	۰/۴۵±۵/۰۹^{c}	۰/۵۲±۵/۳۷^{c}	۰/۶۴±۹/۸۵^{b}	۰/۷۱±۹/۸۸^{b}	۰/۶۰±۸/۰۵^{a}
NO_2 (میلی گرم در لیتر)	۰/۰۰±۰/۰۰^{a}	۰/۰۲۱±۰/۱۶^{b}	۰/۰۰۹±۰/۱۰^{c}	۰/۰۰۸±۰/۱۰^{c}	۰/۰۰۴±۰/۰۲^{d}	۰/۰۰۵±۰/۰۴^{c}	۰/۰۰۱±۰/۰۲^{d}	۰/۰۰۴±۰/۰۵^{e}	۰/۰۰۷±۰/۰۶^{e}

حروف متفاوت انگلیسی در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌های مختلف می‌باشد ($p<0/05$).

نتایج حاصل از مقادیر پارامترهای مورد مطالعه آب رودخانه خالکائی در ماه‌های مختلف در شکل ۲ آمده است. حداقل و حداکثر هر دو پارامتر دمای آب و pH به‌ترتیب در ماه‌های اردیبهشت و مرداد بود. مقادیر پارامترهای دمای آب، pH، DO و نیترات در ماه‌های مختلف نمونه‌گیری دارای تفاوت معنی‌داری نبودند. ولی مقادیر پارامترهای BOD5، COD، TDS، EC، فسفات و نیتریت بین ماه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری داشتند ($p<0/05$). میانگین TDS فقط در تیرماه در خروجی ایستگاه‌ها با بقیه دارای تفاوت معنی‌دار بود ($p<0/05$) (شکل ۲).



شکل ۲: میانگین±انحراف معیار پارامترهای دمای آب، pH، DO، BOD_5، COD، TDS، EC، PO_4، NO_3 و NO_2 در ماه‌های مختلف

بحث

مطالعاتی در خصوص میزان و ترکیب پساب کارگاه‌های پرورش ماهی و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها بر اکوسیستم‌های آبی در جهان انجام شده است (اسماعیلی‌ساری، ۱۳۸۳؛ کاظم‌زاده‌خواجویی و همکاران، ۱۳۸۱؛ Bergheim و Brinker، ۲۰۰۳). تغییرات دمای آب در ایستگاه‌های مطالعاتی از دمای هوا و ارتفاع ایستگاه پیروی می‌کند. هم‌چنین در ایستگاه‌هایی که تحت تاثیر پساب استخرهای پرورش ماهی قرار دارند، دمای آب به‌دلیل حضور ماهی در استخرها و واکنش‌های گرمازا در اثر تجزیه مواد آلی رو به افزایش است، ولی این تفاوت دمایی چندان محسوس نمی‌باشد. حسینعلی‌ثانی (۱۳۷۶) نیز به این نتیجه دست یافت. یکی دیگر از عوامل تعیین‌کننده کیفیت آب در رودخانه‌ها، BOD5 می‌باشد. طبقه‌بندی آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) براساس مقدار BOD5 برای رودخانه‌ها، معمولاً محدوده‌ای بین ۲-۰ میلی‌گرم در لیتر را برای آب‌های بسیار پاکیزه و ۵-۳ میلی‌گرم در لیتر برای آب‌های نسبتاً آلوده و بیش از ۵ میلی‌گرم در لیتر را برای آب‌های بسیار آلوده درنظر گرفته است (EPA، ۱۹۹۶). این پارامتر در ایستگاه‌های مورد بررسی دارای نوساناتی (بین ۱۶/۱۵-۳/۶۷ میلی‌گرم در لیتر) بود. بر این اساس همه ایستگاه‌های مطالعاتی در این تحقیق به‌غیر از ایستگاه ۳ در طبقه آب‌های بسیار آلوده از نظر آلودگی قرار گرفته و ایستگاه ۳ در طبقه آب‌های نسبتاً آلوده قرار داشت (جدول ۲). به‌طوری‌که در ایستگاه‌های پایین‌دست هر مزرعه نسبت به بالادست آن مقدار BOD5 از مقدار بیش‌تری برخوردار بود، چرا که BOD5 در حقیقت مقدار اکسیژنی است که توسط میکروارگانیسم‌ها در اکسیداسیون هوازی نیاز است، با توجه به داده‌ها، میزان BOD5 آب رودخانه خالکائی چندین برابر میزان مطلوب آن بود که نشان‌دهنده میزان مواد آلی بالای آب می‌باشد که توسط باکتری‌های هوازی در حال تجزیه است. لذا هر چقدر مواد آلی رودخانه‌ها بیش‌تر باشد، اکسیژن بیش‌تری برای تجزیه هوازی آن‌ها نیاز بوده که خود کاهش DO در دسترس برای سایر موجودات را به همراه دارد. Selong و Helfric (۱۹۹۸) با انتخاب ۵ مزرعه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اثرات پساب مزارع را بر روی پارامترهای کیفی آب مورد بررسی قرار داده که یکی از نتایج مهم آن‌ها، کاهش قابل توجه مقادیر DO در پایین‌دست مزارع بود. در بررسی حاضر نیز پساب کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر روی DO بی‌تاثیر نبوده، از آن‌جایی‌که هیچ‌یک از ایستگاه‌های قبل و بعد از هر کارگاه تفاوت معنی‌داری را در مقادیر DO نشان ندادند، بنابراین هر مزرعه به تنهایی تاثیر قابل توجهی بر روی آن‌ها در رودخانه نداشته است. این روند نشان‌دهنده سرعت عمل بالای خودپالایی رودخانه خالکائی به‌علت شیب زیاد و عوامل آشفتگی‌زا (بدین‌ترتیب که بستر رودخانه حالت سنگلاخی داشته و سرعت زیاد آب سبب شده تا رودخانه تلاطم‌های شدیدی را در این مناطق داشته باشد) می‌باشد. Loch و همکاران (۱۹۹۹) تاثیر پساب بر پارامترهای BOD5 و DO و روند خودپالایی رودخانه را بیان کرده و نوسانات فصلی DO را نیز مورد بررسی قرار داد، به‌طوری‌که در فصول گرم‌تر سال میزان DO کم‌تر از فصول سردتر بود. در مجموع با توجه به این‌که حداقل سطح اکسیژنی برای یک رودخانه تا بتواند تنوع زیستی و سلامت اکولوژیکی خود را حفظ کند، ۶ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد(EPA، ۱۹۹۶)،رودخانه خالکائی از نظر این شاخصه در شرایط مطلوبی قرار داشت. مقدار COD در آب‌های غیرآلوده در حد کم‌تر از ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و در فاضلاب‌ها و آب‌های آلوده تا بیش‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است. نتایج حاصل از مقدار COD نشان‌دهنده تغییرات معنی‌دار این پیراسنجه در ایستگاه‌های مطالعاتی می‌باشد، به‌طوری‌که با میزان ۲۳/۰۴ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه ۸ به بالاترین میزان خود می‌رسد که تحت تاثیر پساب مزرعه پرورش ماهی و مزارع بالادست می‌باشد که می‌توان از تاثیر پساب مزارع پرورش ماهی بر COD آب رودخانه خالکائی اطمینان حاصل کرد. Trojanaowski (۱۹۹۰) نشان داد افزایش درجه حرارت در فصل تابستان به پدیده معدنی شدن سرعت بخشیده و نیاز به COD افزایش می‌یابد. EC در درجه اول به خصوصیات زمین‌شناسی منطقه‌ای که در آن آب جاری است، بستگی دارد. EC در رودخانه‌های ایالات متحده ۱۵۰-۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر گزارش گردیده است (EPA، ۱۹۹۶). Kelly و همکاران (۱۹۹۸) در مطالعات انجام شده در آب‌های داخلی آمریکا نشان دادند که آب‌هایی با قابلیت هدایت الکتریکی ۵۰۰-۱۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر دارای ارزش مختلط شیلاتی است و خارج از این محدوده بیانگر مناسب نبودن آن‌ها برای گروه‌های خاصی از ماهیان و بی‌مهرگان می‌باشد. لذا EC منطقه مورد مطالعه در رودخانه خالکائی در محدوده مناسب بوده و این ناحیه دارای قابلیت‌های شیلاتی و زیست‌محیطی است و منبع آلاینده‌های صنعتی در آن وجود ندارد. میزان فسفات در آب‌های طبیعی سطحی براساس منابع موجود و استانداردهای محیط زیست، حداکثر ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر بیان شده است (EPA، ۱۹۹۶). با توجه به مقادیر به‌دست آمده در ایستگاه‌های مطالعاتی، اختلاف معنی‌داری بین ماه‌های مختلف وجود داشته، به این صورت که در تابستان در ماه‌های تیر و مرداد با شدت گرفتن فعالیت مزارع پرورش ماهی، میزان فسفات افزایش یافته و ایستگاه‌های بعد از مزارع پرورش ماهی از وضعیت خوبی برخوردار نبودند. نیترات در آب‌های سطحی براساس استانداردهای محیط زیست کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است (EPA، ۱۹۹۶). در

بررسی حاضر میزان نیترات اختلاف معنی‌داری را در ایستگاه‌های پرورش ماهی نشان داده و در تمام ایستگاه‌ها مقادیر نیترات در وضعیت نامطلوبی قرارداشته است. در مطالعه حاضر مشخص گردید نوترینت‌ها دارای نوساناتی نیز بوده، به‌طوری‌که در فصل تابستان با شدت گرفتن میزان فعالیت مزارع و افزایش تولید نوترینت‌ها، کاهش دبی آب رودخانه و افزایش دما، آثار پساب مزارع بر اکوسیستم رودخانه و کیفیت آب آن شدت بیش‌تری پیدا کرد. هم‌چنین مطالعات اداره کل شیلات استان مازندران (۱۳۸۴)، قانع‌ساسان‌سرایی (۱۳۸۳) و Boaventura و همکاران (۱۹۹۷) تولید مقادیر قابل توجهی از نوترینت‌ها را از کارگاه‌های پرورش ماهی مورد تایید قرار دادند. نیتریت از نظر استاندارد زیست‌محیطی نباید از ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر بیش‌تر باشد (McNeely و همکاران، ۱۹۷۹). در بررسی انجام شده در تمام ایستگاه‌ها مقادیر نیتریت به‌جز ایستگاه ۲ (۱۶/۰۲۱±۰/۰) در وضعیت مطلوبی قرار داشته است. در بررسی حاضر میزان نیتریت اختلاف معنی‌داری را در ایستگاه‌های قبل و بعد از مزارع پرورش ماهی نشان داد. با توجه به آن‌چه که بیان شد می‌توان چنین استنباط کرد که خروجی پساب کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در رودخانه خالکائی بر روی پارامترهای کیفی آب تاثیر داشته و نتایج آثار آن‌ها بر روی برخی از پارامترهای اساسی نظیر BOD5، COD، فسفات، نیتریت، نیترات واضح بود. ناگفته نماند فعالیت هر مزرعه به تنهایی بر روی پارامترهای کیفی آب تاثیر منطقی نداشته ولی مجموعه فعالیت‌های مزارع پرورش ماهی در منطقه مورد مطالعه در یک فرآیند سبب شده تا تفاوت‌های کیفیت آب وجود داشته باشد. پساب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌عنوان معضل اصلی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه مخصوصاً در فصول گرم سال مطرح می‌باشد. در حال حاضر به‌نظر می‌رسد فواصل تعیین شده بین مزارع در رودخانه خالکائی مبنای علمی نداشته، لذا لازم است تا با مطالعات تکمیلی با ایجاد مجتمع‌های تولید پرورش ماهی، از پراکنده کاری جلوگیری کرده تا به رودخانه فرصت بیش‌تری برای خودپالایی داده شود. در نهایت با مدیریت صحیح مزارع و تعیین حد فاصل بین کارگاه‌های پرورش ماهی براساس میزان خودپالایی رودخانه که مبنای علمی داشته باشد، می‌توان ضمن بهره‌برداری مستمر شیلاتی، نگران چشم‌اندازهای طبیعی اکوسیستم رودخانه خالکائی نبود. هم‌چنین با توجه به سیاست دولت مبنی بر افزایش تولید ماهیان پرورشی، اگر روند احداث به همین صورت ادامه پیدا کند منجر به پدیده یوتریفیکاسیون در این رودخانه و از بین رفتن این بوم سازگان می‌شود. پس لازم است که قبل از احداث کارگاه‌های پرورش ماهیان سردآبی به ظرفیت کارگاه، دبی آب رودخانه، نوع تغذیه و میزان آن دقت کافی مبذول داشت.

منابع

۱. **اسماعیلی‌ساری، ع.، ۱۳۸۳.** هیدروشیمی، بنیان آبزی‌پروری، انتشارات اصلانی. ۲۴۹ صفحه.

۲. **اسماعیلی‌ساری، ع.، ۱۳۹۶.** مبانی مدیریت کیفی آب در آبزی پروری. موسسه تحقیقات شیلات ایران. ۲۶۰ صفحه.

۳. **اکبرزاده، ا.؛ خارا، ح.؛ نظامی، ش.؛ ستاری، م.؛ موسوی، ع.؛ جوادی، ا.؛ آذرخش، م.؛ شامخی، ا. و طالشیان، ح.، ۱۳۹۰.** مقایسه ویژگی‌های ریخت‌شناسی و برخی خصوصیات زیست‌شناسی قزل‌آلای خال قرمز رودخانه‌های چسلی و خرما در استان گیلان. مجله علوم و فنون دریایی. دوره ۱۰، شماره ۴، صفحات ۳۴ تا ۴۶.

۴. **حسینعلی‌ثانی، ط.، ۱۳۷۶.** اثر پساب کارگاه پرورش ماهی بر کیفیت آب رودخانه دو هزار. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران. ۱۱۵ صفحه.

۵. **باقری، م.؛ فرزان، م.؛ طالبی، م.ع.؛ کرمی، م. و منصوری، پ.، ۱۳۹۶.** مقایسه پارامترهای کیفی آب رودخانه‌های صمصامی و دینارن با استانداردهای کیفی آب برای پرورش ماهی. مجله علمی شیلات ایران. سال ۲۶، شماره ۴، صفحات ۲۵ تا ۳۶.

۶. **حسینی، س.ح.؛ سجادی، م.م.؛ کامرانی، ا.؛ سوری‌نژاد، ا. و رنجبر، ح.، ۱۳۹۲.** تاثیر پساب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب رودخانه ریجاب (استان کرمانشاه). مجله بوم شناسی آبزیان. دوره ۲، شماره ۴، صفحات ۲۹ تا ۳۹.

۷. **سبحان‌اردکانی، س.؛ محرابی، ز. و احتشامی، م.، ۱۳۹۳.** ارزیابی تاثیر پساب کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی بر کیفیت فیزیکوشیمیایی آب رودخانه کبکیان در سال ۹۰. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۲۴، شماره ۱۱۳، صفحات ۱۴۰ تا ۱۴۹.

۸. **سرخوش، س.؛ پاتیمار، ر. و جعفریان، ح.، ۱۳۹۶.** اثر کارگاه پرورش ماهی سردآبی کاج بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب رودخانه هراز. نشریه فن‌آوری‌های نوین در توسعه آبزی‌پروری. سال ۱۱، شماره ۱، صفحات ۵۱ تا ۶۰.

۹. **عباسپور، م.، ۱۳۷۷.** مهندسی محیط زیست. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. ۵۳۰ صفحه.

۱۰. **کائیدی، ط.؛ جعفریان، ح.؛ پاتیمار، ر.؛ هرسیج، م. و فرهنگی، م.، ۱۳۹۶.** مطالعه تغییرات معیارهای کیفی آب کارگاه پرورش ماهی رنگین‌کمان *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی. دوره ۵، شماره ۴، صفحات ۱۲۹ تا ۱۳۸.

۱۱. **فدوی‌حسینی، ه.؛ قمی، م.ر.؛ جمالزاده، ح.ر.؛ فغانی‌لنگرودی، ح.؛ جدیده‌خانی، د. و حسن‌دوست، م.، ۱۳۸۹.** مقایسه فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب قبل و بعد از مزارع پرورش ماهی

قزل‌آلا در رودخانه دو هزار تنکابن. مجله علمی شیلات ایران. سال ۴، شماره ۲، صفحات ۷۷ تا ۸۳.

۱۲. **قانع‌ساسان‌سرایی، ا.، ۱۳۸۳.** شناسایی ساختار جمعیت ماکروبنتوزهای رودخانه چافرود در استان گیلان با توجه به برخی عوامل کیفی آب (در محدوده روستای اورمان ملال). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۹۸ صفحه.

۱۳. **کاظم‌زاده‌خواجویی، ا.؛ اسماعیل‌ساری، ع. و قاسم‌پوری، م.، ۱۳۸۱.** بررسی آلودگی ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلا در رودخانه هراز. مجله علوم و فنون دریایی ایران. دوره ۱، شماره ۳، صفحات ۲۷ تا ۳۴.

۱۴. **میرزایی، م.؛ ریاحی‌بختیاری، ع.؛ سلمان‌ماهینی، ع. و غلامعلی‌فرد، م.، ۱۳۹۲.** آنالیز کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌های استان مازندران با استفاده از روش‌های چندمتغیره آماری. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۲۳، شماره ۱۰۸، صفحات ۴۱ تا ۵۲.

۱۵. **نادری‌جلودار، م.؛ اسماعیلی‌ساری، ع.؛ احمدی، م.؛ سیف آبادی، ج. و عبدلی، ا.، ۱۳۸۵.** بررسی آلودگی ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر روی پارامترهای کیفی آب رودخانه هراز. علوم محیطی. سال ۴، شماره ۲، صفحات ۲۱ تا ۳۶.

۱۶. **APHA. 2005.** Standard Methods for Examining of Water and Waste Water. 17th edition, Method 507, Washington D.C. 531 p.

۱۷. **Adams, S.M., 2002.** Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society. 656 p.

۱۸. **Bergheim, A. and Brinker, A., 2003.** Effluent treatment for flow through systems and European Environmental Regulations. Aquacultural Engineering. Vol. 27, pp: 61-77.

۱۹. **Boaventura, R.; Pedro, A.M.; Coimbra, J. and Lencastre, E., 1997.** Trout farm effluents Characterization and impact on the receiving: streams; Environmental Pollution. Vol. 95, No. 3, pp: 379-387.

۲۰. **Carney, E., 2009.** Relative influence of lake age and watershed land use on tropic state and water quality of artificial lakes in Kansas, Lake Reserve Manage. pp: 199-207.

۲۱. **EPA. 1996.** Quality criteria for waters, Office of Water Regulations and Standards Washington DC 20460. 395 p.

۲۲. **Hughes, B.D., 1978.** The influence of factors other than pollution on the value of Shannon's diversity index for benthic macroinvertebrates in streams. Water Research. Vol. 12, pp: 359-364.

۲۳. **Kelly, T.R.; Herida, J. and Mothes, J., 1998.** Sampling of the Mackinaw River in central Illinois for physicochemical and bacterial indicators of pollution. Transaction of Illinois State Academy of Science. Vol. 91, pp: 145-154.

۲۴. **Khalik, W.M.A.; Abdullah, M.P.; Amerudin, N.A. and Padli, N., 2013.** Physicochemical analysis on water quality status of Bertam river in Cameron Highlands. Journal of Materials and Environmental Science. Vol. 4, No. 4, pp: 488-495.

۲۵. **Loch, D.D.; West, J.L. and Perlmutter, D.G., 1999.** The effect of trout farm effluent on taxa richness of benthic macroinvertebrates. Aquaculture. Vol. 147, pp: 37-55.

۲۶. **McNeely, R.N.; Neimanis, V.P. and Dwyer, L., 1979.** Water quality sourcebook, A guide to water quality parameter, Ottawa: Inland Waters Directorate, Water Quality Branch. 89 p.

۲۷. **Mobin, M.N.; Islam, M.S.; Mia, M.Y. and Bakali, B., 2014.** Analysis of Physicochemical Properties of the Turag river Water, Tongi, Gazipur in Bangladesh. Journal of Environmental Science and Natural Resources. Vol. 7, No. 1, pp: 27-33.

۲۸. **Noori, R.; Abdoli, M.A.; Ghasrodashti, A. and Ghazizade, M.J., 2009.** Prediction of municipal solid waste generation with combination of support vector machine and principal component analysis: A case study of Mashhad. Environmental Progress and Sustainable Energy. Vol. 28, No. 2, pp: 249-256.

۲۹. **Selong, J.H. and Helfrich, L.A., 1998.** Impact of trout culture effluent on water quality and biotic communities in Virginia Headwater streams. The progressive fish-culturist. Vol. 60, pp: 247-262.

۳۰. **Shrestha, S. and Kazama, F., 2007.** Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environmental Modelling and Software. Vol. 22, No. 4, pp: 464-475.

۳۱. **Trojanowski, J., 1990.** The effect of trout culture on water quality of Lupawa River. Polskie Archiwum Hydrobiologii PAHYA. Vol. 37, No. 3, pp: 383- 395.

۳۲. **Voelker, D.C. and Renn, D.E., 2000.** Benthic invertebrates and quality of streambed sediments in the White River and selected tributaries in and near Indianapolis, Indiana. USGS Science for a Changing World. 55 p.

۳۳. **Zar, J.H., 1999.** Biostatistical Analysis. 4th edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 929 p.