علـوم محـیطی سال چهارم، شماره دوم ، زمستـان ۱۳۸۵
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.4, No.2 , Winter 2007
۲۱-۳۶

بررسی آلودگی ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی قزل آلای رنگین‌کمان بر روی پارامترهای کیفی آب رودخانه هراز

مهدی نادری جلودار[*۱]، عباس اسماعیلی ساری[۱]، محمدرضا احمدی[۲]، سیدجعفر سیف آبادی[۱]، اصغر عبدلی[۳]

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس
۲- گروه بهداشت و بیماری‌های آبزیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران
۳- گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی اثرات کارگاه‌های پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان بر کیفیت آب رودخانه هراز و روند خودپالایی آن، چهار کارگاه تکثیر و پرورش ماهی و ده ایستگاه نمونه برداری انتخاب شدند. اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مواد مغذی آب شامل T^{oC}، DO، BOD_5، pH، سختی کل، TDS، TSS، کدورت، EC، PO_4، NH_4، NO_3 و NO_2 در هر دو ماه یک‌بار و در یک دوره یکساله صورت گرفت. نتایج حاصل از آنالیزها نشان داد که دامنه مقدار متوسط پارامترها در ایستگاه‌های مختلف در مدت بررسی برای دما، ۱۱/۷-۸/۹ درجه سانتی گراد، DO ۱۱/۳-۸/۷ میلی گرم در لیتر، BOD5 ۵/۹-۲/۹۵ میلی گرم در لیتر، pH ۷/۹-۷/۴، سختی کل ۲۴۵-۱۶۰ میلی گرم در لیتر، TDS ۲۴۷-۲۰۹ میلی گرم در لیتر، TSS ۱۵۶-۶۲ میلی گرم در لیتر، کدورت NTU ۷۶-۲۱/۲ ، EC ۴۹۱-۳۸۹ میکروموس بر سانتی‌متر، PO_4 ۰/۱۱۵- ۰/۰۱۴ میلی گرم در لیتر، NH_4 ۰/۷۸۳-۰/۰۱۴ میلی گرم در لیتر، NO_3 ۱/۴۹-۰/۷۴ میلی گرم در لیتر و NO_2 ۰/۰۲۱-۰/۰۰۳ میلی گرم در لیتر متغیر بود. در این مطالعه مقادیر پارامترهای فوق در ایستگاه‌های مختلف دارای نوساناتی بوده و برخی از آن‌ها شامل DO، TSS، NH_4 و کدورت در ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی داری داشتند که نتیجه تاثیر مزارع پرورش ماهی و خودپالایی رودخانه می باشد. این فاکتورها در فصول مختلف سال نیز در تغییر بوده که علت اصلی آن تغییر شرایط محیطی و شدت فعالیت کارگاه‌ها می باشد.

کلید واژه‌ها: رودخانه هراز، آمونیوم، نیترات، نیتریت، فسفات، BOD، TSS، TDS.

The Effects of Trout Farm Effluents on the Water Quality Parameters of Haraz River

Mehdi Naderi Jelodar[1*], Abbas Esmaeili Sari[1], Mohammad Reza Ahmadi[2], Syed Jafar Seifabadi[1], Asghar Abdoli[3]

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University
2- Department of Aquatic Animals and Health and Diseases, Faculty of Vererinary, Tehran University
3- Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University

Abstract

The effects of trout farm effluents on the water quality parameters and self-purification in the Haraz river were investigated. In this study, four trout farms and ten stations were selected. Physiochemical characteristics and nutrients of water, including water temperature, dissolved oxygen (DO), biological oxygen demand (BOD5), total hardness, pH, total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), turbidity, electrical conductivity (EC), phosphate, ammonium, nitrate and nitrite were monitored, one every two months annually. The results showed that the average of these parameters were within a range between 8.9-11.7 ^oC for temperature, 8.7-11.3 mg/lit for DO, 2.95-5.9 mg/lit for BOD5, 7.4-7.9 for pH, 160-245 mg/lit for total hardness, 209-247 mg/lit for TDS, 62-156 mg/lit for TSS, 21.2-76 NTU for turbidity, 389-491 µm/cm for EC, 0.014-0.115 mg/lit for PO4, 0.014-0.783 mg/lit for NH4, 0.74-1.49 mg/lit for NO3 and 0.003-0.021 mg/lit for NO2, respectively. All the parameters showed fluctuations at different stations, and some of them such as DO, TSS, NH4 and turbidity had been shown to differ significantly between stations. These results were due to the effects of trout farms and of the self-purification of river. Meanwhile, all the parameters showed changes in different seasons that were due to fluctuations of environmental conditions and activity rates of the farms.

Keywords: Haraz river, ammonium, nitrate, nitrite, phosphate, BOD, TDS, TSS.

* Corresponding author. *E-mail Address:* Naderi_j@yahoo.com

مقدمه

رودخانه هراز یکی از رودخانه های پر آب حوضه جنوبی دریای خزر است که حجم آبدهی سالانه آن ۹۴۰ میلیون متر مکعب است. پر آب‌ترین و کم آب‌ترین فصول سال به ترتیب بهار با متوسط آبدهی ۴۶۴ میلیون متر مکعب و زمستان با ۱۳۲ میلیون متر مکعب می باشد (روشن طبری، ۱۳۷۵). احداث کارگاه‌های پرورش ماهیان سرد آبی در کنار رودخانه هراز بصورت امری رایج در آمده و هر ساله با روند فزونی احداث مزارع جدید روبرو می باشد. در حال حاضر در مسیر این رودخانه حدود ۳۲ مزرعه فعالیت دارند که در سال ۱۳۸۳ بالغ بر ۲۶۲۵ تن گوشت ماهی تولید نموده اند (کتابچه عملکرد شیلات ایران، ۱۳۸۳). از آن‌جایی که به‌ازای تولید هر تن ماهی حدود نیم تن ماده جامد قابل رسوب تولید خواهد شد (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۳؛ Costa-Pierce, 2002). بنابراین با یک محاسبه ساده این مزارع در سال ۱۳۸۳ حدود ۱۳۰۰ تن ماده جامد قابل رسوب تولید و بدون تصفیه وارد اکوسیستم رودخانه نموده که بیم آن می‌رود در نهایت موجب به‌هم خوردن تعادل این بوم سازگان آبی شود. پساب کارگاه‌های پرورش ماهی قزل آلا به‌طور عمده شامل سه دسته مواد آلاینده بوده که دسته اول مواد جامد معلق که شامل بقایای غذا و مدفوع ماهی است دسته دوم، مواد محلولی که توسط ماهی به محیط آزاد می‌شود و بیشتر این مواد شامل کربن آلی و ترکیبات ازته محلول (آمونیوم و اوره) می‌باشد. دو دسته مواد عنوان شده سبب اختلالات شیمیایی آب ناشی از فرآیندهای تجزیه مواد شده که مهمترین آنها افزایش BOD، COD، ازت آمونیاکی، نیترات، نوسانات شدید اکسیژن محلول و تغییرات pH ناشی از به‌هم خوردن موازنه شیمیایی در آب می‌باشد. دسته سوم مواد شیمیایی باقیمانده از درمان‌های دارویی انجام شده مانند سولفات مس و فرمالین، قارچ کشهایی مثل مالاشیت گرین و انواع مختلف آنتی بیوتیکها (سولفانامیدها) حتی در مقادیر نسبتا کم خود از عوامل تشدید کننده اختلالات شیمیایی در آب می‌باشند (Selong and Helfrich, 1998).

از آن‌جایی که دستیابی به هر مقدار معین از تولید ماهی قزل آلا در محیطهای آبی مستلزم مصرف مواد غذایی در مراکز پرورش ماهی بوده و پساب این کارگاه‌ها سبب افت شدید کیفیت آب می‌گردد و در شرایطی که کارگاه‌های ایجاد شده در فواصل بسیار کوتاه آب‌های خروجی را بدون هر گونه سیستم تصفیه بیولوژیکی به رودخانه رها می سازند (Adams 2002; Voelker and Renn 2000; اسماعیلی ساری، ۱۳۷۹)، بدین ترتیب با توجه به اهمیت رودخانه هراز چه از نظر زیست محیطی و چه از نظر نقش و تاثیراتی که در اقتصاد محلی و ملی دارد می‌توان با اندازه‌گیری برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب در نواحی مختلف رودخانه و مقایسه آن‌ها در مکان‌های مختلف آثار پساب کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی قزل آلای رنگین‌کمان بر رودخانه هراز مشخص شده و کیفیت آب آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی ضمن بهره‌گیری از برخی مقالات خارجی از جمله (Loch *et al.*, 1999) با استفاده از نقشه رودخانه هراز و با توجه به اطلاعاتی که در زمینه موقعیت کارگاه‌ها وجود داشت، چهار مزرعه تکثیر و پرورش ماهی انتخاب شدند. قبل از ورودی آب هر مزرعه یک ایستگاه (شاهد) و بعد از آن دو ایستگاه که ایستگاه اول در فاصله ۱۰۰-۵۰ متری (جایی که آب خروجی این مزرعه با آب رودخانه مخلوط می شود) و ایستگاه بعدی در فاصله حدود ۲-۱/۵ کیلومتری آنها برای مطالعه روند خودپالایی رودخانه (محلی که بخشی از اثرات منفی پساب کارگاه کاهش یافته) تعیین شدند. در مجموع با انتخاب ده ایستگاه کل مزارع پوشش داده شدند (شکل ۱، جدول ۲).

نمونه برداری خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب هر دو ماه یکبار در یک دوره یک‌ساله صورت گرفته و در فصول گرم سال با افزایش دمای آب و شدت فعالیت کارگاه‌ها، تعداد دفعات نمونه برداری بیشتر گردید (Loch *et al.*, 1999). در هر بار نمونه برداری برای آنالیز آنیون‌ها و کاتیون‌ها (PO_4، NH_4، NO_3، NO_2 ، Co3، HCo3، Ca) با روش فتومتری از دستگاه فتومتر مدل Palintest 7000 استفاده شد. نمونه های آب قبل از شروع آنالیز بوسیله کاغذ صافی جهت رفع مواد جامد معلق صاف گردید و سپس نمونه بوسیله قرص‌های معین مطابق دستورالعمل آماده سازی و با تنظیم شماره برنامه و طول موج معین که بقرار زیر می باشد توسط فتومتر ۷۰۰۰ آنالیز گردید.

جدول ۱- طول موج و شماره برنامه برخی از پارامترهای آب در رودخانه هراز

شاخص / پارامتر	طول موج	شماره برنامه
فسفات PO_4	۶۴۰	۲۸
نیترات NO_3	۵۷۰	۶۳
نیتریت NO_2	۵۲۰	۲۴
آمونیوم NH_4	۶۴۰	۴
کربنات Co3	۵۲۰ و ۵۷۰	۳۸ و ۳۷
بیکربنات HCo3	۵۲۰ و ۵۷۰	۳۸ و ۳۷
کلسیم Ca	۵۷۰	۱۲

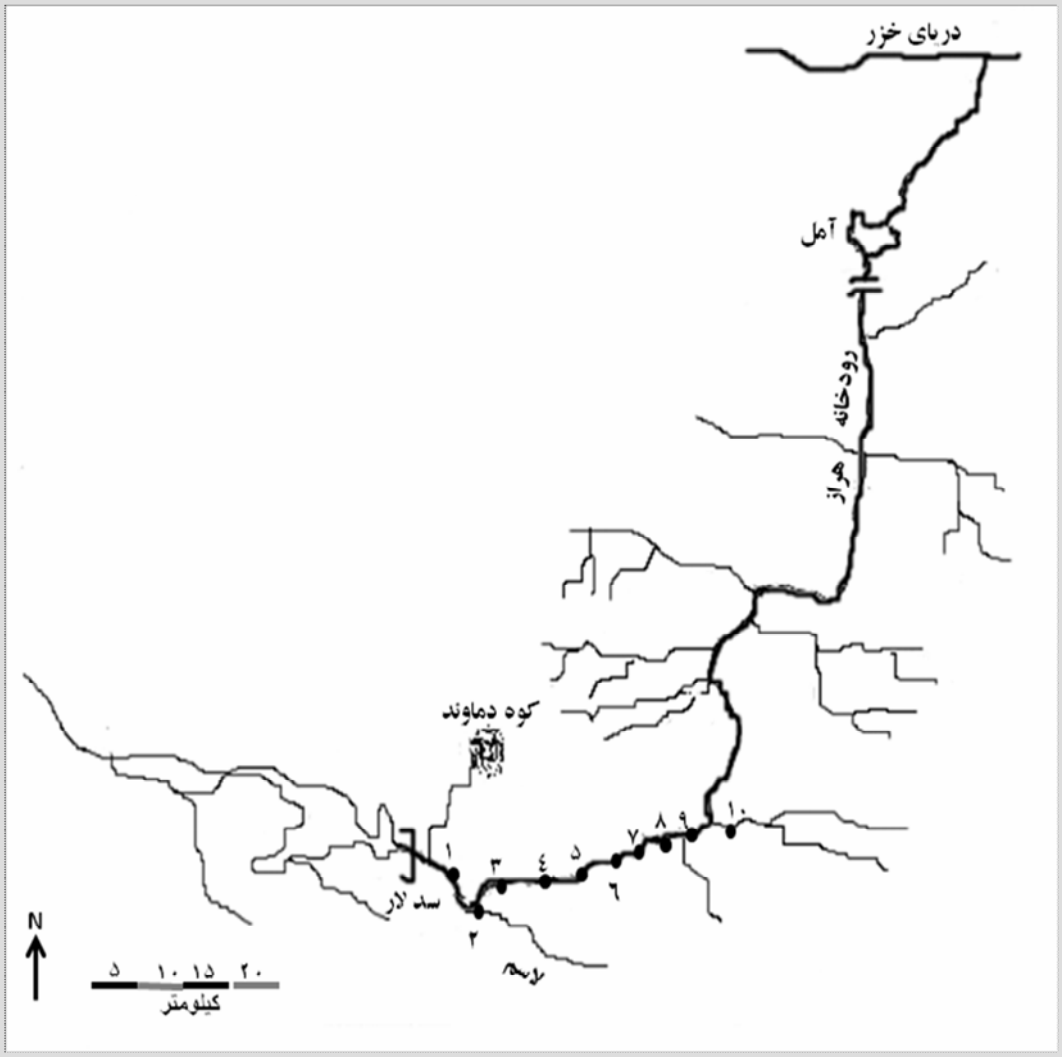
برای تعیین BOD ابتدا pH نمونه در صورتی که pH بالا باشد با استفاده از محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار و در صورتیکه pH پایین باشد با استفاده از محلول سود یک مولار به گونه ای تنظیم می شود که pH محلول بین ۷/۵-۶/۵ قرار گیرد. سپس با استفاده از ظرف حجمی مخصوص، ۴۲۸ سی سی از نمونه را داخل بطری BOD که قبلا به‌صورت کامل شستشو شده ریخته می شود. سپس ۱۰ قطه محلول ضد نیتریفیکاسیون و یک مگنت تمیز به محلول فوق اضافه نموده و داخل درپوش بالای بطری دو قطره محلول هیدرواکسید پتاسیم ریخته و سنسور بطری BOD را روی آن بسته و بطری داخل انکوباتور در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم می شود. سپس بطری روی صفحه مغناطیسی مخصوص قرار گرفته و میزان BOD محلول روی سنسور BOD ثبت شده و بعد از ۵ روز میزان آن قرائت می شود.

برای تعیین فاکتورهای فیزیکی (pH، EC، دما و DO) از دستگاه پرتابل مولتی لاین در محل نمونه برداری استفاده گردید. کدورت نمونه ها با استفاده از دستگاه کدورت سنج TB-100 تعیین گردید. بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از محلول‌های کالیبراسیون (0, 100, 1000, 10, 002 NTU) دستگاه را کالیبره و سپس سل شیشه ای نشان دار شده را کاملا با نمونه پر کرده و درب آن بسته می شود. بایست دقت شود که جداره بیرونی شیشه ها کاملا تمیز و خشک بوده سپس سل را داخل محفظه دستگاه گذاشته و مقدار کدورت اندازه‌گیری می‌گردد.

TDS با روش Conductivity TDS-Meter و TSS بوسیله پمپ خلاء و فیلتر استات سلولزی ۰/۴۵ میکرومتر و ترازوی با حساسیت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند (Hugles, 1978; Tarzawell, 1965).

میزان تولید سالانه ماهی و مقدار غذای مصرفی نیز در هر مزرعه با استفاده از اطلاعات بدست آمده از پرورش دهندگان محاسبه گردید (جدول ۳).

با استفاده از اطلاعات ثبت شده از اداره کل شیلات استان مازندران دبی آب رودخانه و دبی آب ورودی به هر مزرعه محاسبه گردید.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌ها و کارگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه

تغییرات فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب در بین ایستگاه‌ها و در فصول مختلف سال بوسیله نرم افزار آماری Systat و با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه ANOVA بررسی شد. از آزمون چند دامنه دانکن برای سطح معنی‌دار بودن پارامترهای اندازه‌گیری شده ایستگاه‌ها و تشخیص گروه‌های همگن استفاده گردید. کلیه اطلاعات ابتدا نرمال شده و سپس مورد آزمون قرار گرفتند (Loch *et al.*, 1999).

جدول ۲: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

موقعیت ایستگاهها / شماره ایستگاهها	ارتفاع از سطح دریا (متر)	فاصله از کارگاه بالادست (متر)	فاصله از ایستگاه اول (کیلومتر)
۱	۲۶۹۰	–	–
۲	۲۶۴۵	–	۴
۳	۲۳۶۰	۱۰۰	۹/۵
۴	۲۱۷۰	۲۱۰۰	۱۱/۵
۵	۲۱۱۰	۱۵۰	۱۳
۶	۲۰۷۰	۱۱۵۰	۱۴
۷	۱۹۹۰	۱۰۰	۱۵/۵
۸	۱۷۸۰	۳۶۰۰	۱۹
۹	۱۷۷۰	۸۰	۱۹/۳
۱۰	۱۶۹۰	۳۲۸۰	۲۲/۵

توضیح: در بالادست ایستگاه دوم دو کارگاه پرورش ماهی بر روی شاخه فرعی لاسم، یکی در فاصله ۲۰ کیلومتری و دیگری در فاصله ۷ کیلومتری فعالیت دارند. در ضمن یک کارگاه معدن شن و ماسه نیز در فاصله ۷۰۰ متری بالادست این ایستگاه قرار دارد.

نتایج

نتایج حاصل از آنالیز پارامترهای مورد مطالعه آب رودخانه در ایستگاه‌ها در مدت بررسی در جدول ۴ و نوسانات مقادیر پارامترهای فوق در فصول مختلف سال در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است.

درجه حرارت آب

حداقل و حداکثر مقدار متوسط درجه حرارت آب در منطقه مورد مطالعه در مدت بررسی به‌ترتیب در ایستگاه ۱ (۸/۹ درجه سانتیگراد) و ایستگاه ۱۰ (۱۱/۷ درجه سانتیگراد) بود (جدول ۴). اگر چه دامنه تغییرات دمایی منطقه مورد مطالعه در فصول مختلف سال ۱۶/۲-۲ درجه بوده ولی نوسانات دمایی ایستگاه‌های مختلف در هر فصل کم بود. بطوری‌که حداقل مقدار متوسط نوسانات دمایی ۱/۵ درجه (در فصل زمستان) و حداکثر آن ۴ درجه (در فصل تابستان) بدست آمد.

اکسیژن محلول (DO)

یکی از مهمترین پارامترهای هیدروشیمی آب اکسیژن محلول بوده که در بحرانی‌ترین شرایط در فصل تابستان در پی افزایش درجه حرارت و بالا بودن میزان BOD_5 به مقدار ۷/۶ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت (شکل ۲). در مدت بررسی میانگین اکسیژن محلول در ایستگاه‌های مختلف بین ۸/۷ (ایستگاه ۷) و ۱۰/۲ (در ایستگاه ۱) متغیر بود (جدول ۴). مقدار آن در ایستگاه ۷ با ایستگاه‌های ۱ و ۴ اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P\leq ۰/۰۵$). این پارامتر بین قبل هر کارگاه با بلافاصله بعد از هر کارگاه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. در ضمن نوسانات درصد اکسیژن اشباع بین ۷۲-۶۲ بوده که حداقل آن در ایستگاه ۷ که تحت تأثیر بیشترین آلودگی ناشی از فعالیت کارگاه قرار داشته و حداکثر آن در ایستگاه های ۸ و ۱۰ بود. در هر صورت این فاکتور در ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی داری را نشان نداده ولی دارای نوساناتی بین قبل هر مزرعه و بعد از آن بوده است.

جدول ۳- خصوصیات مزارع پروش ماهی قزل آلای رنگین کمان در منطقه مورد مطالعه

نام کارگاهها / خصوصیات	۱	۲	۳	۴
محل کارگاه	امامزاده علی	بند کنار	گزنک	شاهان دشت
نوع کارگاه	تکثیر و پرورش	تکثیر و پرورش	تکثیر و پرورش	تکثیر و پرورش
ظرفیت اسمی کارگاه (تن)	۶۰	۴۰	۲۸۰	۵۰
ظرفیت واقعی کارگاه (تن)	۲۶۵	۱۰۰	۶۴۷	۱۴۰
منبع تامین آب	چشمه و رودخانه	چاه و رودخانه	چاه و رودخانه	چشمه و رودخانه
دبی آب ورودی (لیتر بر ثانیه)	۱۸۰	۱۲۰	۸۴۰	۱۵۰
زمان رهاسازی بچه ماهی	پایان اردیبهشت	پایان اردیبهشت	پایان اردیبهشت	پایان اردیبهشت
میانگین دوره پرورش (ماه)	۵-۶	۵-۶	۵-۶	۵-۶
نوع غذا	دستی	کنسانتره	دستی و کنسانتره	دستی
تعداد دفعات غذادهی در روز	۲-۳	۲-۳	۲-۳	۲-۳
مقدار غذای مصرفی در روز (کیلوگرم)	در تابستان ۳ درصد بیوماس و در زمستان ۰/۵-۰ درصد بیوماس	در تابستان ۳ درصد بیوماس و در زمستان ۰/۵-۰ درصد بیوماس	در تابستان ۴ درصد بیوماس و در زمستان ۰/۵ درصد بیوماس	در تابستان ۴ درصد بیوماس و در زمستان ۰/۵ درصد بیوماس

جدول ۴: نتایج آنالیز دستگاهی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب ایستگاه‌ها در مدت بررسی (۸۵-۱۳۸۴)

ایستگاه‌ها / پارامترها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	کل
دمای آب (^oC)	۸/۹±۳/۵	۱۰±۴/۱	۱۰±۳/۷	۱۰/۱±۳/۶	۱۰/۳±۳/۸	۱۰/۶±۳/۹	۱۰/۹±۴/۱	۱۱/۳±۴/۲	۱۱/۳±۴/۲	۱۱/۷±۴/۳	۱۰/۵±۳/۸
DO (mg/Lit)	۱۰/۲±۱/۱	۹/۶±۰/۵	۹/۵±۰/۸	۱۰±۰/۸	۹/۲±۰/۷	۹/۴±۰/۵	۸/۷±۰/۷	۹/۷±۰/۴	۹/۳±۰/۷	۹/۶±۰/۶	۹/۵±۰/۸
DO (sat%)	۶۴	۶۲	۶۳	۶۸	۶۴	۶۶	۶۲	۷۲	۶۹	۷۲	۶۶/۲
BOD5 (mg/Lit)	۳/۴۳±۲/۵۷	۳/۲۵±۲/۵۸	۳/۸۵±۲/۸۳	۲/۹۵±۱/۷۸	۳/۶۸±۱/۶۴	۳/۶۲±۱/۷۴	۵/۹±۲/۸	۳/۶۹±۲/۱۱	۴/۲±۱/۹۴	۳/۷۲±۱/۶۳	۳/۸۳±۲/۱۹
pH	۷/۸±۰/۱	۷/۷±۰/۲	۷/۴±۰/۳	۷/۶±۰/۲	۷/۸±۰/۱	۷/۸±۰/۲	۷/۶±۰/۲	۷/۸±۰/۳	۷/۸±۰/۳	۷/۹±۰/۳	۷/۷±۰/۲
سختی کل (mg/Lit)	۲۴۵±۶۸	۱۸۵±۵۲	۲۰۶±۱۹	۱۶۸±۴۰	۱۶۰±۳۹	۱۷۲±۳۴	۱۷۹±۶۱	۱۸۳±۵۷	۱۶۵±۶۶	۱۶۷±۶۷	۱۸۳±۵۵
TDS (mg/Lit)	۲۰۶±۷۰	۲۱۶±۶۳	۲۱۹±۵۶	۲۰۹±۴۶	۲۳۱±۳۰	۲۰۱±۴۷	۲۴۷±۴۴	۲۲۴±۴۴	۲۳۹±۴۱	۲۳۶±۳۹	۲۲۳±۴۸
TSS (mg/Lit)	۶۴±۳۷	۶۲±۳۲	۱۱۱±۶۵	۱۰۱±۶۳	۱۱۸±۶۹	۱۰۳±۵۸	۱۵۶±۸۹	۱۲۱±۶۷	۱۹۹±۱۰۶	۱۲۳±۷۱	۱۱۶±۷۵
کدورت (NTU)	۲۸±۱۳/۷	۴۵/۴±۴۲/۴	۴۷/۶±۲۴/۱	۲۱/۲±۱۷/۲	۳۹/۱±۲۳/۲	۳۰/۵±۲۲	۷۶±۳۶/۵	۳۷/۸±۲۰/۴	۵۹/۶±۲۹/۳	۴۹/۱±۲۴/۲	۴۳/۴±۲۸/۹
EC (میکروموس بر سانتیمتر)	۴۹۱±۵۱	۴۲۴±۱۱۶	۳۸۹±۶۴	۴۱۷±۸۹	۴۲۴±۹۴	۴۲۷±۵۶	۴۶۷±۸۴	۴۶۴±۹۲	۴۶۴±۷۵	۴۶۷±۷۳	۴۴۴±۸۲
PO4 (mg/Lit)	۰/۰۱۹±۰/۰۱	۰/۰۱۴±۰/۰۱	۰/۰۴۱±۰/۰۴	۰/۰۳۷±۰/۰۴	۰/۰۵۸±۰/۰۴	۰/۰۴۹±۰/۰۴	۰/۱۱۵±۰/۱۲	۰/۰۷۹±۰/۰۸	۰/۰۸۷±۰/۰۹	۰/۰۸۲±۰/۰۸	۰/۰۵۸±۰/۰۷
NH4 (mg/Lit)	۰/۰۱۴±۰/۰۱	۰/۰۱۶	۰/۴۲۴±۰/۵۳	۰/۰۵۲±۰/۰۳	۰/۲۴۹±۰/۴۱	۰/۰۷۹±۰/۰۳	۰/۷۸۳±۰/۹	۰/۲۰۳±۰/۰۴	۰/۴۱۷±۰/۵	۰/۰۸۳±۰/۰۵	۰/۲۳۲±۰/۴
NO3 (mg/Lit)	۱/۴۹±۰/۴۶	۱/۳۵±۰/۵۲	۱/۳±۰/۵۴	۱/۳۴±۰/۵۵	۰/۷۴±۰/۴۵	۱/۲۵±۰/۶۴	۰/۷۴±۰/۴۴	۱/۴±۰/۸۹	۰/۹۸±۰/۶۸	۱/۲۸±۰/۹۸	۱/۱۹±۰/۶۵
NO2 (mg/Lit)	۰/۰۱۹±۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴±۰/۰۱	۰/۰۰۷±۰/۰۱	۰/۰۰۸±۰/۰۱	۰/۰۱۱±۰/۰۱	۰/۰۱۶±۰/۰۱	۰/۰۱۹±۰/۰۱	۰/۰۱۶±۰/۰۱	۰/۰۲۱±۰/۰۱	۰/۰۱۲±۰/۰۱

اکسیژن مورد نیاز زیستی یا خواست اکسیژن بیوشیمیایی (BOD_5)

یکی دیگر از عوامل تعیین کننده کیفیت آب در رودخانه‌ها BOD_5 است که مقدار اکسیژنی است که توسط میکروارگانیسم‌ها در اکسیداسیون هوازی مواد آلی نیاز می باشد. بدین ترتیب هر چقدر میزان مواد آلی رودخانه بیشتر باشد، اکسیژن بیشتری برای تجزیه هوازی نیاز است. در مطالعه حاضر، مقدار متوسط BOD_5 در ایستگاه‌های تعیین شده بین ۲/۹۵ و ۵/۹ میلی گرم در لیتر به‌ترتیب در ایستگاه‌های ۴ و ۷ متغیر بود (جدول ۴). این فاکتور در فصول مختلف سال و در ایستگاه‌های مختلف نوساناتی داشته که حداقل مقدار متوسط آن ۱/۲ میلیگرم در لیتر در فصل زمستان (ایستگاه های ۱، ۲ و ۴) و حداکثر آن ۶/۷۹ در فصل تابستان (ایستگاه ۷) به دست آمد (شکل ۲). مقدار آن بین ایستگاه‌های مطالعه شده در مدت بررسی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($P\geq ۰/۰۵$)، ولی مقدار BOD_5 در فصل تابستان با سایر فصول سال و فصل بهار با زمستان اختلاف معنی‌داری نشان داد ($P\leq ۰/۰۵$).

فسفر (PO_4)

در این بررسی مقدار متوسط فسفر بدست آمده در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۰/۰۱۴ و ۰/۱۱۵ میلی گرم در لیتر بترتیب در ایستگاههای ۲ و ۷ متغیر بود. این فاکتور نیز در فصول مختلف سال و در ایستگاه‌های مختلف در نوسان بوده به‌طوری‌که در فصول گرمتر با شدت گرفتن فعالیت مزارع پرورش ماهی از مقدار بیشتری برخوردار بود همچنین در مناطقی بلافاصله بعد از هر مزرعه مقدار بیشتری داشت. حداقل و حداکثر مقدار متوسط اندازه‌گیری شده به‌ترتیب در ایستگاه ۲ در فصل زمستان (۰/۰۰۸ میلی گرم در لیتر) و در ایستگاه ۷ در فصل تابستان (۰/۲۱۵ میلی گرم در لیتر) بدست آمد (نمودار ۲). مقدار PO_4 بین ایستگاه‌ها در مدت بررسی و در هر یک از فصول سال اختلاف معنی داری را نشان نداد ($P\geq ۰/۰۵$). ولی مقدار آن در بین فصول مختلف سال اختلاف معنی داری داشته به‌طوری‌که در فصل تابستان با سایر فصول سال از اختلاف معنی‌داری برخوردار بود ($P\leq ۰/۰۵$).

ازت (آمونیوم-نیترات-نیتریت)

در بررسی انجام شده مقدار متوسط آمونیوم اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۰۱۴ و ۰/۷۸۳ میلی‌گرم در لیتر بترتیب در ایستگاه‌های ۱ و ۷ برآورد گردید (جدول ۴). این پارامتر در ایستگاه‌های مختلف و در فصول مختلف سال نوساناتی داشته و معمولا در فصول گرمتر سال با شدت گرفتن دوره پرورش ماهی و در ایستگاه‌های بلافاصله بعد از هر کارگاه از ایستگاه-هایی که در نزدیکترین فاصله ممکن قبل از کارگاه‌ها قرار داشتند از مقادیر بیشتری برخوردار بودند. بطوری‌که حداقل و حداکثر مقدار متوسط آن به‌ترتیب ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر (ایستگاه ۱، در فصول زمستان و بهار) و ۲/۰۷ میلی‌گرم در لیتر (ایستگاه ۷، در فصل تابستان) بدست آمد. همچنین در تمام فصول ایستگاه ۷ (بلافاصله بعد از مجتمع پرورش ماهی با حداکثر میزان تولید ماهی) از سایر ایستگاه‌ها بیشتر بوده است (شکل ۳). مقدار آمونیوم ایستگاه ۷ با ایستگاه‌های ۱، ۲، ۴ و ۶ در مدت بررسی اختلاف معنی‌داری داشت ($P\leq ۰/۰۵$)، همچنین مقدار آن در فصل تابستان با سایر فصول سال دارای اختلاف معنی‌دار بود ($P\leq ۰/۰۵$).

در بررسی صورت گرفته مقدار متوسط نیتریت اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۰۰۳ و ۰/۰۲۱ میلی‌گرم در لیتر بترتیب در ایستگاه‌های ۲ و ۱۰ متغیر بود. مقدار متوسط نیترات نیز در ایستگاه‌های تعیین شده بین ۰/۷۴ و ۱/۴۹ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب در ایستگاه‌های ۷ و ۱ قرار داشتند و ایستگاه ۸ با مقدار ۱/۴ میلی‌گرم در لیتر به ایستگاه ۷ نزدیک بود. این دو پارامتر

همچنین در ایستگاه‌های مختلف دارای نوساناتی بوده و معمولا در ایستگاه‌هایی با فاصله بیشتر از هر مزرعه (در فاصله ۱/۵ تا ۲ کیلومتری بعد از هر مزرعه) از مقادیر بیشتری نسبت به ایستگاه‌های بلافاصله بعد از هر مزرعه (در فاصله ۱۰۰-۵۰ متی بعد از هر مزرعه) برخوردار بودند (جدول ۴). پارامترهای فوق ضمن این‌که در ایستگاه‌های مختلف در نوسان بوده، نوسانات فصلی نیز داشته بطوری‌که حداقل مقدار متوسط نیتریت ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه ۳ (فصول زمستان و بهار) و حداکثر آن ۰/۰۲۹ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه ۱۰ (فصل تابستان) ثبت گردید. ولی مقدار آن در بین فصول مختلف سال معنی‌دار نبود ($P\geq 0/05$)، همچنین حداقل مقدار متوسط نیترات ۰/۳۳ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه ۱۰ (فصل زمستان) و حداکثر آن ۲/۰۸ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه‌های ۱ و ۸ (فصل پاییز) اندازه‌گیری شد و مقدار آن در فصل تابستان با سایر فصول سال اختلاف معنی‌داری نشان داد ($P\leq 0/05$). در مجموع می‌توان نتیجه گرفت مقادیر نیتریت و نیترات در فصول تابستان و پاییز (با افزایش فعالیت مزارع پرورش ماهی) نسبت به فصول زمستان و بهار بیشتر می باشند (شکل ۳). در مجموع به استثنای آمونیوم، سایر مواد مغذی (PO_4، NO_2، NO_3) بین ایستگاه‌های مختلف در مدت بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P\geq 0/05$).

pH

pH آب از دیگر عوامل بسیار مهم کیفی آب بوده که تاثیرات مستقیم (بواسطه غلظت یون اسیدی یا بازی) و غیر مستقیم (از طریق انحلال مواد سمی در آب و یا تبدیل کیفی مواد مانند تبدیل آمونیوم به آمونیاک) بر محیط آبی و موجودات آبزی دارد. مقدار متوسط pH رودخانه هراز در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۷/۴ و ۷/۹ متغییر بود (جدول ۴).

سختی کل (CaCo3)

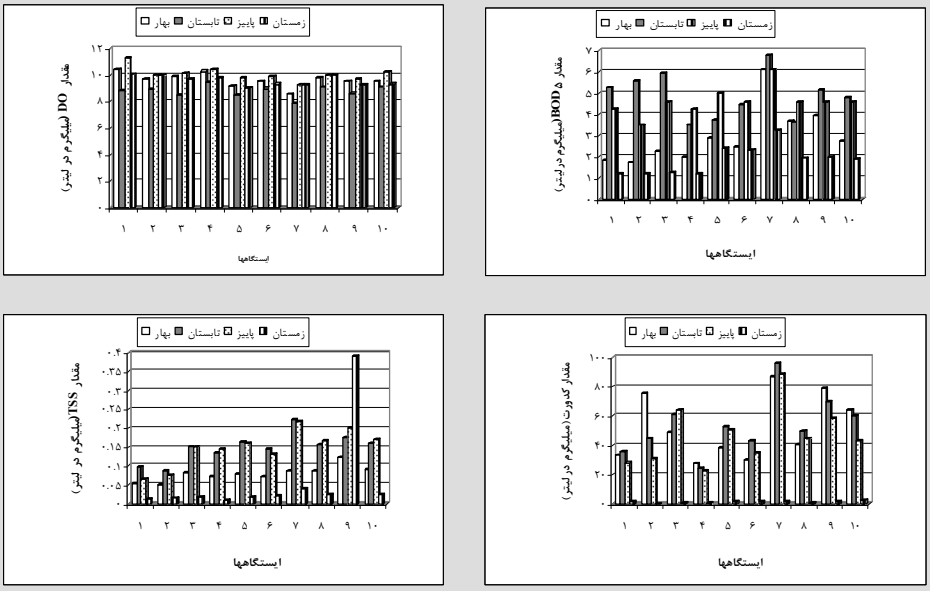
سختی کل نیز از دیگر عوامل کیفی آب بوده، این پارامتر بعنوان یک عامل کاهنده قوی در مقابل مواد آلاینده و سمی محسوب می گردد و برای آبزیان شرایط مناسب‌تری را ایجاد می‌کند. در بررسی انجام شده میزان متوسط آن در ایستگاه‌های مختلف بین ۱۶۰ و ۲۴۵ میلی‌گرم در لیتر اندازه گیری شد. این پارامتر در کل ایستگاه‌ها بطور متوسط ۱۸۳ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۴).

کل مواد جامد معلق (TSS)

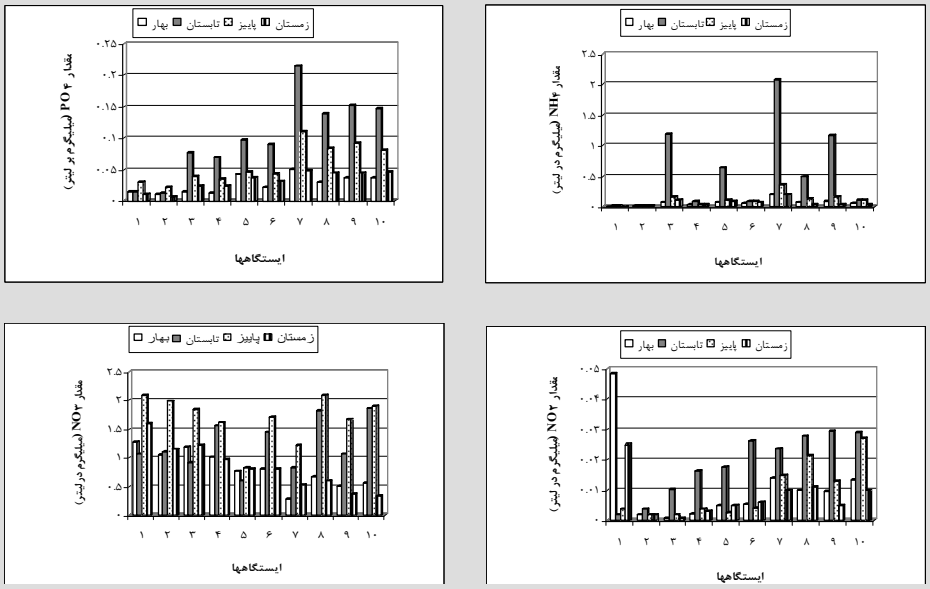
TSS منطقه مورد مطالعه در مدت بررسی نشان داد که کمترین مقدار متوسط آن در ایستگاه‌های ۱ و ۲ (به‌ترتیب ۶۴ و ۶۲ میلی‌گرم در لیتر) و بیشترین مقدار آن در ایستگاه ۷ (۱۵۶ میلی‌گرم در لیتر) قرار داشت. بنابراین میتوان نتیجه گرفت فعالیت مزارع پرورش ماهی در مقدار آن موثر بوده و دارای نوساناتی بین ایستگاه‌های مختلف می باشد. در تمام فصول مقدار متوسط TSS اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های بلافاصله بعد از هر کارگاه نسبت به ایستگاه‌هایی که در نزدیکترین فاصله ممکن قبل از هر مزرعه بیشتر ثبت گردید. بدین ترتیب که ایستگاه ۳ دارای مقدار بیشتری از ایستگاه‌های ۱ و ۲، ایستگاه ۵ بیشتر از ایستگاه ۴، ایستگاه ۷ بیشتر از ایستگاه ۶، و ایستگاه ۹ بیشتر از ایستگاه ۸ داشته ولی فقط ایستگاه ۹ با ایستگاه‌های ۱ و ۲ اختلاف معنی‌داری نشان داد - ($P\leq 0/05$) (جدول ۴). ضمن اینکه مقدار آن تابع فصول مختلف سال نیز بود و در فصول گرمتر سال مقدار آن بیشتر می باشد (شکل ۲).

کل مواد جامد محلول (TDS)

TDS روی شفافیت آب تاثیر گذار بوده و در مدت بررسی در ایستگاه‌های مختلف بطور متوسط بین ۲۰۹ و ۲۴۷ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. نوسانات این فاکتور در ایستگاه‌های مختلف و در فصول مختلف سال نیز همانند پارامتر TSS می باشد (جدول ۴).



شکل ۲- نتایج آنالیز دستگاهی پارامترهای DO، BOD_5، TSS و کدورت در فصول مختلف سال



شکل ۳- نتایج آنالیز دستگاهی پارامترهای PO_4، NH_4، NO_3 و NO_2 در فصول مختلف سال

کدورت آب (Turbidity)

مقدار متوسط کدورت آب ایستگاه‌های مختلف در مدت بررسی همچون TDS و TSS نوسان داشته که حداقل آن NTU ۲۱/۲ (ایستگاه ۴) و حداکثر آن NTU ۷۶ (ایستگاه ۷) می‌باشد. میزان فعالیت مزارع پرورش ماهی بر روی این پارامتر تاثیر داشته در نتیجه در ایستگاه های بلافاصله بعد از هر مزرعه دارای مقدار بیشتری نسبت به قبل آن می باشد. به‌همین ترتیب در فصول مختلف سال نیز در نوسان بوده و در فصول گرمتر سال مقدار آن افزایش می یابد (شکل ۲).

به استثنای TDS، پارامترهای TSS و کدورت در بین ایستگاه‌ها در مدت بررسی اختلاف معنی‌داری داشتند ($P\leq ۰/۰۵$)، به‌طوری‌که ایستگاه ۹ با ایستگاه‌های ۱ و ۲ در مقدار TSS و ایستگاه ۷ با ایستگاه ۴ در مقدار کدورت اختلاف معنی‌داری داشتند ($P\leq ۰/۰۵$).

قابلیت هدایت الکتریکی (EC)

دامنه مقدار متوسط EC در ایستگاه‌های مختلف در مدت بررسی بین µs/cm ۴۶۷-۳۸۹ بوده که مقدار متوسط در کل ایستگاه‌ها ۴۴۴ میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید (جدول ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین پارامترهای مورد بررسی DO بوده که در منطقه مورد مطالعه میانگین آن در ایستگاه‌های مختلف بین ۱۰/۲-۸/۷ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود (جدول۴). مقدار DO در ایستگاه ۷ با ایستگاههای ۱ و ۴ اختلاف معنی‌داری داشته که در بحرانی‌ترین شرایط در فصل تابستان در پی افزایش درجه حرارت و بالا بودن میزان BOD_5 به مقدار ۷/۶ میلی‌گرم در لیتر رسید. از آنجایی‌که شرایط هیدرولوژیکی و هواشناسی ایستگاه‌های ۱ و ۴ همانند دبی آب، ارتفاع از سطح دریا و دما تقریبا مشابه هم بوده در نتیجه معنی‌دار بودن مقدار DO بین دو ایستگاه فوق احتمالا حاصل تاثیر فعالیت مزارع پرورش ماهی در فواصل بین ایستگاه‌ها بود. یکی دیگر از عوامل تعیین‌کننده کیفیت آب در رودخانه ها BOD_5 بوده که در مدت بررسی مقدار متوسط BOD_5 در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۵/۹-۲/۹۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود (جدول ۴). این دو پارامتر در ایستگاه‌های مورد بررسی دارای نوساناتی بوده به‌طوری‌که در ایستگاه‌های پایین دست هر مزرعه (در فاصله ۱۰۰-۵۰ متری هر مزرعه) نسبت به بالادست آن (در نزدیکترین فاصله ممکن قبل از هر مزرعه) با مقدار DO کمتری مواجه بوده و در آن مناطق BOD_5 نسبت به مناطق بالادست از مقدار بیشتری برخوردار بود، ولی مقدار BOD_5 در بین ایستگاه‌ها در مدت بررسی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد، چرا که BOD_5 در حقیقت اندازه‌گیری مقدار اکسیژنی است که توسط میکروارگانیسم‌ها در اکسیداسیون هوازی نیاز است، لذا هر چقدر مواد آلی رودخانه ها بیشتر باشد، اکسیژن بیشتری برای تجزیه هوازی آن‌ها نیاز بوده که خود کاهش اکسیژن محلول در دسترس برای سایر موجودات را به‌همراه دارد. مطالعات علمی فراوانی در خصوص میزان و ترکیب پساب کارگاه‌های پرورش ماهی و اثرات زیست محیطی آنها بر اکوسیستم‌های آبی در جهان انجام شده است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۳؛ کاظم زاده خواجویی و همکاران، ۱۳۸۱؛ Bergheim and Brinker, 2003). در مزارع پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان تقریبا به ازای هر ۱۰۰ تن غذای مصرفی، ۱۰ تن پساب آلی تولید شده که آبها ۳۰۰-۱۵۰ کیلوگرم وزن خشک غذای خورده نشده، ۳۰۰-۲۵۰ کیلوگرم وزن خشک مدفوع برای تولید هر تن قزل آلا را دریافت می‌کنند. به‌طور متوسط میزان مواد دفعی به ازای هر تن تولید ماهی در حدود ۵۱۰ کیلوگرم مواد جامد، ۱۰۸ کیلوگرم ازت و ۱۹ کیلوگرم فسفر خواهد بود (Costa-Pierce, 2002). Selong and Helfrich (1998) با انتخاب ۵ مزرعه

پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان اثرات پساب مزارع را بر روی پارمترهای کیفی آب مورد بررسی قرار داده که یکی از نتایج مهم آن‌ها کاهش قابل توجه سطوح اکسیژن محلول در پایین دست مزارع بود. در بررسی حاضر نیز پساب کارگاه‌های پرورش ماهی قزل آلا بر روی پارامترهای DO و BOD_5 بی تاثیر نبوده و سطح پایین اکسیژن محلول در ایستگاه ۷ (۸/۷ میلی گرم در لیتر) بعلت پساب زیاد کارگاه و بالا بودن میزان BOD_5 (۵/۹ میلی گرم در لیتر) می‌باشد (جدول ۴). از آنجایی که هیچ یک از ایستگاه‌های قبل و بعد هر کارگاه تفاوت معنی‌داری را در مقادیر DO و BOD_5 نشان ندادند، بنابراین هر مزرعه به‌تنهایی تاثیر قابل توجهی بر روی آنها در رودخانه نداشتند، ولی مجموعه فعالیت‌های مزارع نزدیک به‌هم در حد فاصل ایستگاه‌های ۴ و ۷ سبب شده تا ایستگاه ۷ (بلافاصله بعد از مجتمع ۷۰۰ تنی) بحرانی‌ترین شرایط را داشته و اختلاف معنی‌داری را در مقدار DO بین دو ایستگاه مشاهده شد. همچنین مقدار DO ایستگاه ۸ که در فاصله ۳/۵ کیلومتری ایستگاه ۷ قرار داشته اختلاف معنی‌داری با ایستگاه ۴ نداشته که این روند نشان‌دهنده سرعت عمل بالای خودپالایی رودخانه به علت شیب زیاد و عوامل آشفتگی‌زا (بدین ترتیب که بستر رودخانه حالت سنگلاخی داشته و سرعت زیاد آب سبب شده تا رودخانه تلاطم‌های شدیدی را در این مناطق داشته باشد) می‌باشد. مطالعه Loch *et al.*,(1999) نیز تاثیر پساب بر پارامترهای DO، BOD_5 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 مطالعه حاضر نیز این موضوع تایید گردید و مقادیر DO و BOD_5 در فصل تابستان با سایر فصول سال دارای اختلاف معنی‌داری بود ($P<0.05$). در مجموع با توجه به اینکه حداقل سطح اکسیژنی برای یک رودخانه تا بتواند تنوع زیستی و سلامت اکولوژیکی خود را حفظ کند ۶ میلی گرم در لیتر می‌باشد (EPA 1996)، رودخانه هراز در منطقه مورد مطالعه از نظر این شاخصه کیفیت آبی در شرایط مطلوبی قرار داشت. همچنین طبقه بندی آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) بر اساس مقدار BOD_5 برای رودخانه ها معمولا محدوده ای بین ۲-۰ میلی گرم در لیتر را برای آب‌های بسیار پاکیزه و ۵-۳ میلی گرم در لیتر را برای آب‌های نسبتا آلوده و بیش از ۵ میلی گرم در لیتر را برای آب‌های بسیار آلوده در نظر گرفت (EPA 1996). بر این اساس تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی این تحقیق در مدت بررسی در طبقه آب‌های نسبتا آلوده از نظر آلودگی قرار گرفته در حالی‌که ایستگاه ۷ در طبقه با آلودگی شدید قرار داشت. البته این ارزیابی در فصول مختلف سال وضعیت متفاوتی را پیدا کرده بدین ترتیب که در فصل تابستان ایستگاه‌هایی که بلافاصله بعد از هر مزرعه قرار داشتند بمانند ایستگاه ۷ در طبقه آب‌های با آلودگی شدید قرار گرفتند.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر کلیه نوترینت‌ها در بین ایستگاه‌ها دارای نوساناتی بودند. بعنوان مثال در ایستگاه ۷ (پایین دست مزرعه) مقادیر متوسط PO_4 و NH_4 بترتیب ۰/۱۱۵ و ۰/۷۸۳ میلی گرم در لیتر و کمتر از ایستگاه ۶ (بالا دست کارگاه) بوده که از حداکثر مقدار برخوردار بودند. همچنین در ایستگاه ۸ با فاصله گرفتن از مزرعه مقادیر NO_3 و NO_2 بترتیب ۱/۴ و ۰/۰۱۹ میلی گرم در لیتر که از ایستگاه ۷ بیشتر (به علت عمل نیتریفیکاسیون) و از حداکثر مقدار برخوردار بودند (جدول ۴). به استثنای NH_4، سایر مواد مغذی شامل PO_4، NO_3 و NO_2 بین ایستگاه‌های مختلف در مدت بررسی اختلاف معنی-داری نداشتند. ایستگاه ۷ که بیشترین آلودگی آلی را دریافت می‌کند از لحاظ مقدار NH_4 تفاوت معنی‌داری با ایستگاه‌های ۱، ۲، ۴ و ۶ نشان داد. بنابراین NH_4 این ایستگاه (ایستگاه ۷) هم با ایستگاه ۱ (شاهد اصلی) و هم با ایستگاه ۶ (قبل از مزرعه) دارای اختلاف معنی داری بود. در فصل تابستان نیز این اختلاف در بین ایستگاه‌های

مختلف شدت بیشتری پیدا کرده به‌طوری‌که مقدار NH_4 ایستگاه ۷ با ایستگاه‌های قبل و بعد از خود دارای اختلاف معنی‌داری بود. علاوه بر این میزان NO_2 بین ایستگاه‌ها در فصول تابستان و پاییز (دوره های با بیشترین فعالیت مزارع) اختلاف معنی‌داری را نشان داد. مطالعه Selong and Helfrich (1998) نیز بیانگر این مطلب بوده که مقادیر NH_4 و NO_2 در پایین دست مزرعه بطور قابل توجهی افزایش یافته، همچنین مشخص گردید که میزان دما، NO_3، pH و PO_4 بالا دست و پایین دست هر مزرعه اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. کاظم زاده خواجویی و همکاران، (۱۳۸۱) آلودگی سه مزرعه تکثیر و پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان را در رودخانه هراز در طی ماه‌های اسفند، خرداد و تیر مورد مطالعه قرار داده که در این مطالعه نیز همبستگی معنی‌داری بین تراکم آبزی پروری و میزان NH_4 مشاهده گردید. همچنین مطالعات اداره کل شیلات استان مازندران (۱۳۸۴)، قانع ساسان سرایی (۱۳۸۳) و Boaventura *et al.*,(1997) تولید مقادیر قابل توجهی از نوترینت‌ها را از کارگاه‌های پرورش ماهی مورد تایید قرار دادند. در مطالعه حاضر مشخص گردید نوترینت‌ها دارای نوسانات فصلی 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.

میزان فسفر برای آب‌های طبیعی سطحی حداکثر ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر بیان گردید (EPA 1996). بر این اساس با توجه به مقادیر فسفر بدست آمده در ایستگاه‌های مطالعاتی، تنها ایستگاه ۷ با مقدار متوسط فسفر ۰/۱۱۵ میلی‌گرم در لیتر از وضعیت مطلوبی برخوردار نیست. در مطالعه حاضر مقدار متوسط آمونیوم اندازه گیری شده در ایستگاه‌ها در محدوده نرمال بوده که برای آب‌های طبیعی در حد کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر است (EPA, 1996; McNeely and Neimanis, 1979)، ولی در فصل تابستان ایستگاه‌های ۳، ۷ و ۹ (ایستگاه‌های بلافاصله بعد از هر مزرعه) به‌ترتیب با مقادیر ۱/۱۹، ۲/۰۷ و ۱/۱۷ میلی‌گرم در لیتر وضعیت مطلوبی را نداشتند. نیتریت از نظر استاندارد زیست محیطی نبایستی از ۰/۵۱ میلی‌گرم در لیتر بیشتر بوده و در آب‌های طبیعی سطحی مقدار نیتریت ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر می باشد (McNeely and Neimanis, 1979). در بررسی انجام شده مقدار متوسط نیتریت در ایستگاه‌های مختلف در دامنه ۰/۰۲۱-۰/۰۰۳ میلی‌گرم در لیتر متغییر بود. لذا نیتریت در منطقه مورد مطالعه از نظر استاندارد زیست محیطی در محدوده نرمال بوده ولی نسبت به آب‌های طبیعی سطحی از مقدار بیشتری برخوردار بود. نیترات در آب‌های طبیعی سطحی کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر گزارش شد (McNeely and Neimanis 1979). این فاکتور در ایستگاه‌های ۵، ۷ و ۹ در مدت بررسی در حد استاندارد زیست محیطی بوده ولی درسایر ایستگاه‌ها وضعیت مطلوبی را نداشت. همانطوری که قبلا اشاره گردید، مزارع پرورش ماهی NH_4 قابل توجهی را تولید می کند و در عمل نیتریفیکاسیون به نیتریت و نیترات تبدیل می شود. با فاصله گرفتن از مزارع پرورش ماهی و مطلوب شدن شرایط اکسیژنی سرعت عمل نیتریفیکاسیون شدت بیشتری پیدا کرده بنابراین در بررسی حاضر افزایش میزان نیترات در ایستگاه‌های ۴، ۶، ۸ و ۱۰ منطقی به‌نظر می‌رسد.

پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان در شرایط معمولی در سیستم متراکم در کشورهای نروژ و آلمان با دبی آب ۳۰۰-۱۰۰ لیتر در دقیقه بازای هر تن تولید ماهی، پساب ایجاد شده دارای ۲۰۰-۱۵۰ کیلوگرم مواد جامد معلق (SS)، ۷ کیلوگرم فسفر و ۴۰ کیلوگرم نیتروژن بود (Bergheim and Brinker, 2003). در بررسی حاضر این موضوع نیز قابل تایید می باشد و پارامترهای TSS و کدورت در بین ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان داد. ایستگاه ۹ با ایستگاه‌های ۱ و ۲ در مقدار TSS و ایستگاه ۷ با ایستگاه ۴ در پارامتر

کدورت اختلاف معنی‌داری داشتند. این دو پارامتر در بین فصول مختلف سال نیز دارای اختلاف معنی‌داری بود، بطوری‌که در فصول گرمتر سال با شدت گرفتن کارگاه‌ها مقادیر آنها افزایش قابل توجهی داشت. اثری که TSS می‌تواند داشته باشد بخصوص در آب‌هایی که مقدار بالایی از این فاکتور را دارند موجب افزایش کدورت شده در نتیجه شفافیت کاهش یافته و پیامدهای اکولوژیکی و تبعات بیولوژیکی خاصی به‌همراه خواهد داشت.

قابلیت هدایت الکتریکی در درجه اول به خصوصیات زمین شناسی منطقه ای بستگی دارد که در آن آب جاری است. EC در رودخانه‌های ایالات متحده بین ۱۵۰-۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر گزارش گردید (EPA, 1996). مطالعات انجام شده در آب‌های داخلی آمریکا نشان داد که آب هایی 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 بی مهرگان می باشد (Kelly *et al.*, 1998). EC بسیار بالاتر از این محدوده و تغییرات معنی‌دار آن در مکان‌های مورد بررسی می‌تواند نشانه ورود یک منبع آلودگی دیگر بخصوص آلاینده های صنعتی به رودخانه باشد. در بررسی حاضر این فاکتور بین ایستگاه‌های مختلف در مدت بررسی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. مقدار متوسط آن در منطقه مورد مطالعه ۴۴۵ میکروموس بر سانتی‌متر بود (جدول ۳). لذا EC منطقه مورد مطالعه در رودخانه هراز در محدوده نرمال بوده و دارای قابلیت‌های شیلاتی و زیست محیطی است و منبع آلاینده های صنعتی در آن وجود ندارد.

با توجه به آنچه که بیان شد می‌توان چنین استنباط کرد که خروجی پساب کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهی قزل آلای رنگین کمان در رودخانه هراز بر روی پارامترهای کیفی آب تاثیر داشته و نتایج آثار آن‌ها بر روی برخی از پارامترهای اساسی نظیر اکسیژن، TSS، NH_4 و کدورت واضح بود. ناگفته نماند فعالیت هر مزرعه به‌تنهایی بر روی پارامترهای کیفی آب تاثیر منطقی نداشته ولی مجموعه فعالیتهای مزارع پرورش ماهی در منطقه مورد مطالعه در یک پروسه ای سبب شده تا تفاوتهای کیفی آب وجود داشته باشد. مطالعه روند خودپالایی رودخانه نیز نشان‌دهنده توانایی بالای آن در خودپالایی بوده ولی همچنان پساب مزارع پرورش ماهی به عنوان معضل اصلی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه مخصوصا در فصول گرم سال مطرح می‌باشد. از آن‌جایی‌که بار آلی غذای دستی بیشتر از غذای کنسانتره بوده لذا بهتر است در تغذیه ماهی کلیه مزارع از غذای کنسانتره با کیفیت مطلوب استفاده کرده و با توجه به این‌که پساب کلیه کارگاه‌ها و همچنین فاضلاب‌های رستوران‌ها، روستاها و واحدهای صنعتی حاشیه رودخانه بطور مستقیم وارد اکوسیستم رودخانه می‌گردند، لذا بهتر است کلیه این واحدها از سیستم‌های مجهز به تصفیه پساب و فاضلاب استفاده نمایند. در حال حاضر به‌نظر می‌رسد فواصل تعیین شده بین مزارع در رودخانه هراز مبنای علمی نداشته، لذا لازمست تا با مطالعات تکمیلی با ایجاد مجتمع های 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 بر اساس میزان خودپالایی رودخانه که مبنای علمی داشته باشد می‌توان ضمن بهره‌برداری مستمر شیلاتی نگران چشم اندازهای طبیعی اکوسیستم رودخانه هراز نیز نبود.

منابع

اداره کل شیلات استان مازندران (۱۳۸۴). *گزارش نهایی پتانسیل تولید قزل آلا در رودخانه هراز*. ساری: ادارهٔ کل شیلات استان مازندران.

اسماعیلی ساری، ع. (۱۳۸۳). *هیدروشیمی: بنیان آبزی پروری*. تهران: انتشارات اصلانی.

اسماعیلی ساری، ع.(۱۳۷۹). *مبانی مدیریت کیفی آب در آبزی پروری*. تهران: موسسه تحقیقات شیلات ایران.

روشن طبری، م.(۱۳۷۵). هیدرولوژی و هیدروبیولوژی رودخانه هراز. *مجله علمی شیلات ایران*. ۴۴-۲۸.

قانع ساسان سرایی، ا.(۱۳۸۳). *شناسایی ساختار جمعیت ماکروبنتوزهای رودخانه چافرود در استان گیلان با توجه به برخی عوامل کیفی آب (در محدوده روستای اورمان ملال)*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

کاظم زاده خواجویی، ا.، ع. اسماعیلی ساری و س.م. قاسم پوری (۱۳۸۱). بررسی آلودگی ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی قزل آلا در رودخانه هراز. *مجله علوم دریایی ایران*.

کتابچه عملکرد شیلات ایران (۱۳۸۳). *شیلات ایران*. اداره کل شیلات مازندران.

Adams, S. M. (2002). *Biological indicators of aquatic ecosystem stress*. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland. 644p.

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

Boaventura, R., A. M. J. PedroCoimbra, and E. Lencastre (1997). Trout farm effluents: Characterization and impact on the receiving streams; *Environmental Pollution*. 95:379-387.

Costa Pierce, B.A. (2002). *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution. Dept. of Fisheries. Animal and Veterinary Science*. University of Rholde Island. 501 p.

EPA. (1996). *Quality criteria for waters*, Washington D.C.

Hughes, B. D. (1978). The influence of factors other than pullotion on the value of Shannon's diversity index for benthic macro-invertebrates in streams. *Water. Res.* 12: 359-364.

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

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

McNeely, R. N. and V. P. Neimanis (1979). *Water quality sourcebook, A guide to water quality parameter, water quality branch*. OTAWA, Canada.

Selong, J.H. and L. A. Helfrich (1998). Impact of trout culture effluent on water quality and biotic communities in Virginia Headwater Streams. *The Progressive Fish-Culturist*. 60: 247-262.

Tarzwell, C. M. (1965). *Biological problems in water pollution*: Third Seminar. 1962. U.S. Pub. Health Serv. Div. Water Supply and Pollut. Control, Cincinnati.

Voelker, D. C., and D. E. Renn (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.