

## بررسی تأثیر سطوح مختلف آزن زنی، بر شاخص‌های فیزیکوشیمیایی فاضلاب آبی‌پروری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان

کامران رضایی توابع<sup>۱\*</sup>، افسانه فلاح پور<sup>۲</sup>، رضا حاجی سید محمد شیرازی<sup>۳</sup>، مریم یاور<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹

### چکیده

نقش آزن در تصفیه آب و فاضلاب مراکز پرورش ماهی به‌عنوان یک عامل اکسید کننده و نیز یک ترکیب ضد عفونی کننده حائز اهمیت زیادی است. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر آزن زنی با سطوح مختلف به فاضلاب آبی‌پروری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بر شاخص‌های فیزیکوشیمیایی فاضلاب اعم از pH، پتانسیل اکسیداسیون و احیا (ORP)، اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، کل ذرات جامد محلول (TDS) و فسفات انجام گرفت. برای انجام این تحقیق، حدود ۱۲۰ لیتر فاضلاب تصفیه نشده آبی‌پروری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در ۴ تیمار با سطوح صفر (به‌عنوان تیمار شاهد) و تیمارهای ۱، ۳ و ۵ میلی‌گرم در لیتر آزن به‌عنوان تیمارهای تحقیق با ۳ تکرار در هر تیمار انجام گردید. آزن دهی توسط دستگاه آزن ژنراتور با خروجی ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در مدت زمان ۴۸ ساعت صورت گرفت و بلافاصله بعد از قطع آزن دهی نمونه برداری و آنالیز فاضلاب انجام گردید. بر اساس نتایج با افزایش سطح آزن زنی در گروه‌های آزمایش مختلف، شاخص‌های BOD، COD، محتوای کربن طبیعی (TOC) و هدایت الکتریکی (EC) به شکل معنی‌داری کاهش یافت. اما در مورد شاخص ORP، با افزایش سطح آزن زنی، میزان این شاخص به شکل معنی‌داری افزایش یافت. همچنین افزایش سطح آزن زنی، تأثیر معنی‌داری بر شاخص فسفات نشان نداد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش سطح آزن زنی، شاخص‌های فیزیکوشیمیایی فاضلاب آبی‌پروری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بهبود یافته و با کیفیت مناسب‌تری وارد محیط زیست رودخانه‌ای خواهد شد. از این رو توصیه می‌شود که در خروجی مراکز پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان آزن زنی تا سطح ۵ میلی‌گرم بر لیتر جهت بهبود شرایط کیفی فاضلاب انجام گیرد.

واژگان کلیدی: آبی‌پروری، آزن زنی، فاضلاب، ماهی قزل‌آلای رنگین کمان، ضد عفونی.

## ۱. مقدمه

کاهش سطح آب‌های زیرزمینی با توجه به کاهش بارندگی و افزایش روز افزون جمعیت و استفاده بیش از حد از این منابع، بشر را مجبور به استفاده از منابع دیگر آب نموده است. امروزه بسیاری از اجتماعات در سراسر جهان با محدودیت‌های تأمین نیازهای آبی مواجه هستند. از این رو بازچرخش و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده به‌عنوان یک گزینه مناسب در مدیریت صحیح منابع آبی مطرح شده است. در برنامه ریزی استفاده مجدد و بازچرخش فاضلاب، دستیابی به استانداردهای کیفی آب جهت به‌کارگیری دوباره در هر یک از بخش‌های کشاورزی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، صنعت، پرورش آبزیان و غیره ضروری است. در سال‌های اخیر توسعه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان از شتاب و روند رو به رشدی در کشور برخوردار بوده است و تقاضا برای احداث مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در نقاط مختلف کشور همچنان رو به افزایش است. از طرفی نیز منابع آب برای تولید ماهی قزل‌آلای رنگین کمان محدود بوده و با توجه به روند رو به رشد تقاضای پرورش، منابع آب موجود کفایت نمی‌کند. استفاده مجدد از فاضلاب از جمله راه حل‌هایی برای حفظ تولید و توسعه پایدار می‌باشد که با شناسایی مواد و بار مواد آلاینده در فاضلاب می‌توان اقدام به حذف یا کاهش غلظت آن و سپس استفاده مجدد نمود (Babaei et al., 2016).

امروزه در مباحث مختلف زیست‌محیطی و آبی‌پروری، آزن به‌عنوان یک ماده اکسیدکننده قوی کاربرد زیادی داشته و برای ضدعفونی، کاهش بار آلی فاضلاب، تصفیه آب و کنترل باکتریایی استفاده می‌شود (Buchan et al., 2005; Summerfelt et al., 2009). آزن به‌علت داشتن نیمه عمر پایین و پایین بودن عوارض زیست‌محیطی، به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین مواد ضدعفونی کننده کاربردهای مفید و متعددی در آبی‌پروری دارد (Monzavi, 2008) و از آنجایی که بسیاری از آلاینده‌های موجود در آب مورد استفاده برای آبی‌پروری، به‌راحتی اکسید می‌شوند، آزن می‌تواند در برنامه‌های کنترل کیفیت آب اعم از حذف مواد جامد، کاهش نیتريت و تجزیه مواد آلی و کنترل بار باکتریایی استفاده شود (Chen et al.,

1993). فرایند آزن‌دهی همچنین اثرات قابل توجهی بر کل مواد جامد معلق، رنگ، BOD و سایر ترکیبات معدنی آب و فاضلاب دارد (Davidson et al., 2011). آزن در آب محلول بوده تجزیه می‌شود و بقایای سمی و بوی نامطبوع به جا نمی‌گذارد و تمام این خصوصیات در حالی است که آزن یک ضدعفونی کننده قوی نیز محسوب می‌شود و همچنین آزن بر خلاف کلر آلاینده ثانویه سرطان‌زا ایجاد نمی‌نماید. واکنش‌های آزن بسیار سریع هستند و زمان تماس کمتری نیاز دارد در نتیجه حجم زیادی از آب را می‌تواند به‌راحتی تصفیه کند. در فرایند تصفیه آب، آزن ۲۵ بار از اسید هیپوکلریک، ۲۵۰۰ بار از هیپوکلریت و ۵۰۰۰ بار از کلرآمین‌ها موثرتر می‌باشد (Wang et al., 2007).

بر اساس پیش بینی‌های سازمان فائو آبی‌پروری در آینده نقش بیشتری در تأمین غذا، درآمد، اشتغال، ارزآوری و توسعه پایدار روستایی در بیشتر کشورهای افریقا خواهد کرد. یکی از راه‌های انتخابی برای تأمین نیازهای غذایی و به‌ویژه پروتئینی، پرورش ماهی از جمله ماهیان سردابی نظیر قزل‌آلا با روش‌های مختلف است. ماهیان سردابی قادر به تحمل درجه حرارت بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت طولانی نیستند. بنابراین توجه به فاضلاب آبی‌پروری و فاکتورهای آن و چگونگی کاهش و حذف مواد خطرناک حائز اهمیت زیادی است (Allahyari et al., 2014). از آنجایی که آبی‌پروری مستلزم استفاده از مواد ضدعفونی کننده، مصرف مواد خوراکی، و دفع فضولات می‌باشد، فاضلاب این مراکز سبب افت کیفیت آب می‌گردد. بنابراین، لازم است کیفیت آب رودخانه‌هایی که از آب آن‌ها برای پرورش ماهی استفاده می‌شود، مورد پایش دائم قرار گیرد. فاضلاب کارگاه‌های پرورش ماهی که بدون تصفیه وارد رودخانه‌ها می‌شوند، باعث افت شدید کیفیت آب و یوتروفی رودخانه‌ها می‌گردد (Babaei et al., 2016). به ازای تولید یک تن ماهی سردآبی، معمولاً به طور متوسط ۳۰۰-۱۵۰ کیلوگرم مواد غذایی مصرف نشده و ۳۰۰-۲۵۰ کیلوگرم مدفوع وارد محیط آبی می‌شود (Philips et al., 1985). فعالیت‌های آبی‌پروری با برخی اثرات زیست‌محیطی همراه است که برخی از آن‌ها شامل یوتروفی آب، آلودگی محیط به داروها و ضدعفونی کننده‌ها و آسیب به جمعیت ماهیان و دیگر آبزیان می‌باشد (Rosenthal, 1997; )

(Esmaili Sari, 2000).

## ۱.۲. اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی فاضلاب

شاخص‌های فیزیکوشیمیایی فاضلاب آبی‌پروری قبل از آزن‌دهی اندازه‌گیری شدند و سپس بعد از ۲۴ ساعت آزن‌دهی نیز این پارامترها اندازه‌گیری شدند. در این مطالعه سنجش پارامترهای فیزیکوشیمیایی از قبیل؛ pH، EC (هدایت الکتریکی)، TSS (مواد معلق)، COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی)، BOD (اکسیژن مورد نیاز زیستی)، TOC (کل کربن آلی)، -ORP (پتانسیل کاهش اکسیداسیون)، PO<sub>4</sub> (فسفات) و MPN باکتریایی طبق دستور العمل‌های استاندارد انجام گردید. برای اندازه‌گیری pH، EC و TDS از دستگاه کندانداکومتتر Metrohm مدل ۷۴۴ استفاده شد. اندازه‌گیری BOD توسط دستگاه BOD HI98193 دیجیتال شرکت Hana کشور رومانی مدل انجام شد. فاکتور COD با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری مدل DR-5000 ساخت شرکت HACH آمریکا و کیت (Cat:21258-5) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فسفات از دستگاه اسپکتروفتومتری مدل DR-5000 ساخت شرکت HACH آمریکا و کیت فسفات (Cat:21060-69) تولید شرکت HACH استفاده شد. اندازه‌گیری ORP نیز توسط دستگاه ORP متر HACH مدل HQ40 ساخت کشور آمریکا و اندازه‌گیری فاکتور TOC با دستگاه TOC متر مدل SGE ANATOC کشور ژاپن انجام شد. مواد جامد معلق TSS، با استفاده از کاغذ صافی و برای اندازه‌گیری MPN باکتریایی از انکوباتور و روش رنگ آمیزی گرم استفاده شد.

## ۱.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

قبل از انجام آنالیز واریانس، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها در بین تیمارها از آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد. سطح معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) با استفاده از آزمون دانکن و با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام گردید.

## ۳. نتایج

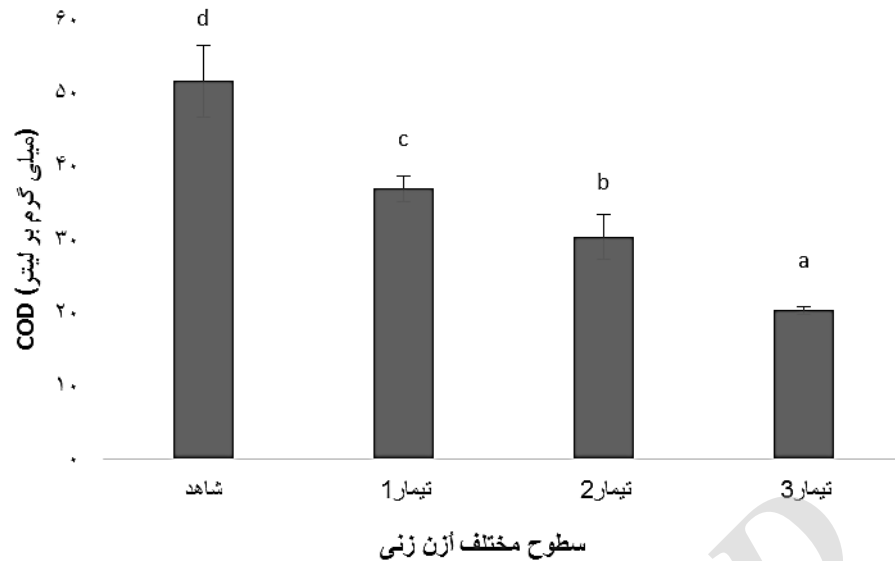
نتایج حاصل از فاکتورهای فیزیکوشیمیایی

از جمله مهم‌ترین ترکیبات آلاینده فاضلاب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان که اثرات مخرب بر بوم‌سازگان رودخانه دارد، می‌توان به مواد مغذی (به ویژه ازت و فسفر)، مواد جامد معلق، عوامل بیماری‌زا و متابولیت‌های شیمیایی اشاره نمود (Philips et al., 1985). بنابراین، اگر کارگاه‌های تأسیس شده در فواصل بسیار کوتاه پساب خروجی را بدون هر گونه سیستم تصفیه به رودخانه رها سازند، این امر می‌تواند موجب افت شدید کیفیت آب و دیس‌تروفی اکوسیستم رودخانه‌ای گردد (Costa Pierce, 2002). یکی از روش‌های تصفیه فاضلاب آبی‌پروری، استفاده از آزن است. آزن به دلیل قدرت اکسیداسیون و خاصیت ضدعفونی کننده بالا در تکنولوژی آب و فاضلاب به عنوان یک اکسیدکننده قوی برای حذف ترکیبات آلی طبیعی مورد توجه خاص قرار گرفته است. این تحقیق با هدف بررسی اثرات سطوح مختلف آزن‌زنی بر شاخص‌های فیزیکوشیمیایی فاضلاب آبی‌پروری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان انجام می‌گیرد.

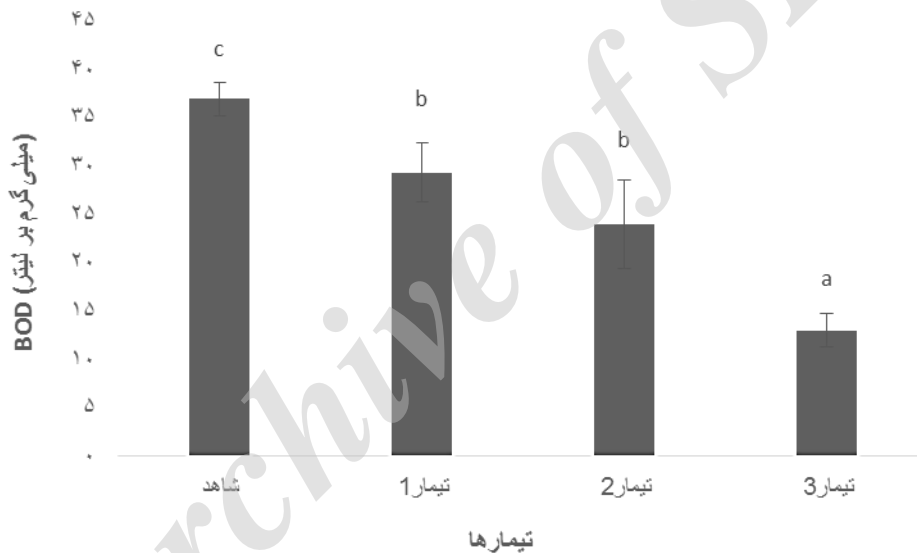
## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. تهیه فاضلاب آبی‌پروری

برای انجام تحقیق، ۱۲۰ لیتر فاضلاب تصفیه نشده مرکز پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان از پایین‌ترین بخش خروجی فاضلاب در ۴ ظرف ۵۰ لیتری از مرکز ماهی‌سرای کرج واقع در بیلقان کرج تهیه شد و به آزمایشگاه شیخ بهایی واقع در واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی منتقل گردید و سپس فاضلاب خام آبی‌پروری به ۱۲ عدد مخزن ۱۰ لیتری انتقال یافت. در این مطالعه ۴ تیمار با سطوح صفر (بدون آزن‌دهی) به‌عنوان تیمار شاهد، ۱ میلی‌گرم در لیتر آزن به‌عنوان تیمار اول، ۳ میلی‌گرم در لیتر آزن به‌عنوان تیمار دوم و ۵ میلی‌گرم در لیتر آزن به‌عنوان تیمار سوم و هر کدام در ۳ تکرار انجام گرفت. آزن‌دهی توسط دستگاه آزن ژنراتور (S2211 شرکت Simogen) با خروجی ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در مدت زمان ۲۴ ساعت صورت گرفت و بلافاصله بعد از قطع آزن‌دهی نمونه‌برداری و آنالیز فیزیکوشیمیایی کیفی فاضلاب انجام شد.



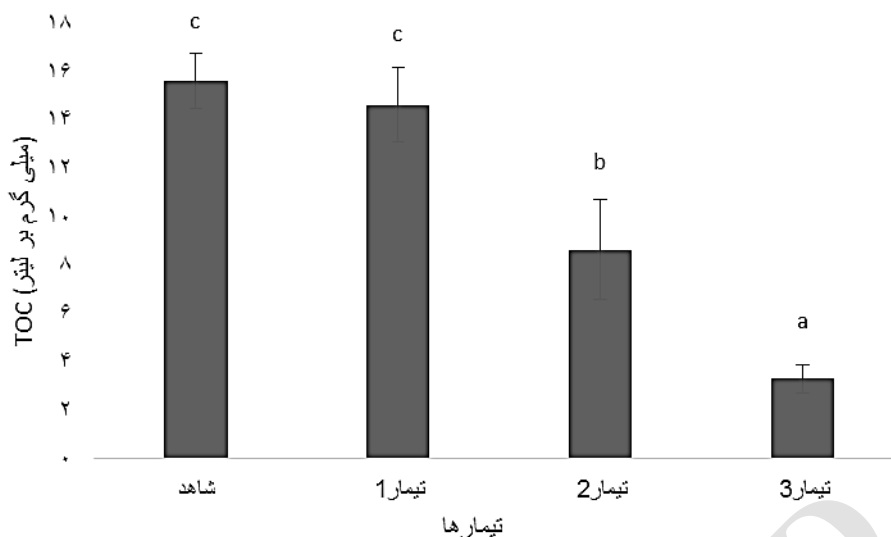
شکل ۱ - تغییرات میانگین (میانگین+SD) میزان COD فاضلاب آبی‌پروری در سطوح مختلف آزن‌زنی (حروف لاتین غیر مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد).



شکل ۲ - تغییرات میانگین (میانگین+SD) میزان BOD فاضلاب آبی‌پروری در سطوح مختلف آزن‌زنی (حروف لاتین غیر مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد).

مقادیر آن برای تیمار ۳ (۵ میلی‌گرم در لیتر آزن) بود. با توجه به نتایج شکل ۴ مشاهده شد که در تیمارهای تحقیق با افزایش سطح آزن، میزان فاکتور ORP نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت. اگرچه بین تیمار شاهد و تیمار اول اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین، با توجه به شکل ۵ مشاهده شد که در تیمارهای آزمایش با افزایش سطح آزن‌زنی، میزان pH نیز افزایش یافته است. بین تیمار شاهد و تیمار ۱ و تیمار ۲ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نتایج حاصل از آنالیز پارامترهای فسفات، MPN

فاضلاب آبی‌پروری شامل COD، BOD و TOC در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تیمار شاهد از نظر سطوح این ۳ فاکتور با تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. در مجموع در تیمارهای تحقیق با افزایش سطح آزن‌زنی، مقادیر فاکتورهای فوق به طور معنی‌داری کاهش یافت. اگرچه در نمودار ۲ بین تیمار اول و دوم و در نمودار ۳ بین تیمار شاهد و تیمار اول اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ( $P > 0.05$ ). بیشترین مقادیر این فاکتورها برای تیمار شاهد (صفر میلی‌گرم در لیتر آزن) و کمترین



شکل ۳ - تغییرات میانگین (میانگین+SD) میزان TOC فاضلاب آبی‌پروری در سطوح مختلف آزن‌زنی (حروف لاتین غیر مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد).



شکل ۴ - تغییرات میانگین (میانگین+SD) میزان ORP فاضلاب آبی‌پروری در سطوح مختلف آزن‌زنی (حروف لاتین غیر مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد).

در لیتر آزن) و کمترین مقادیر برای تیمار ۳ (۵ میلی‌گرم در لیتر آزن) می‌باشد.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

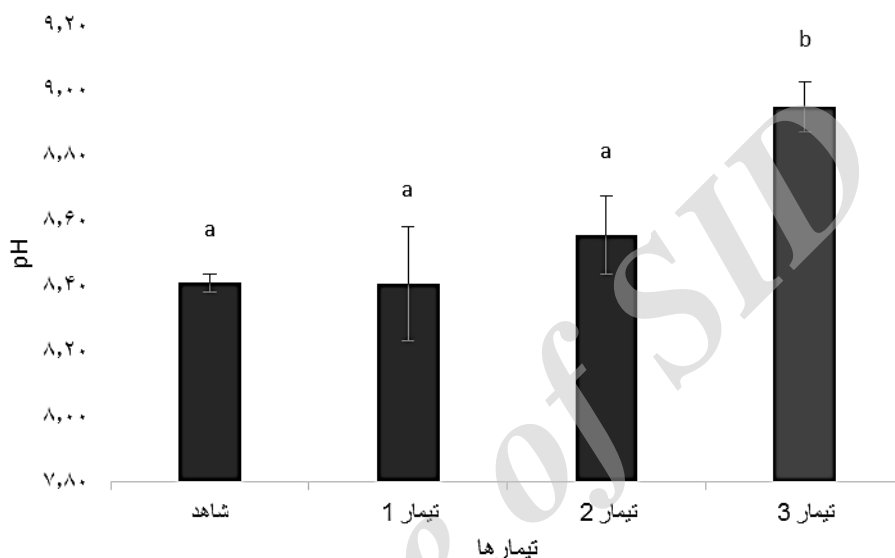
آلودگی منابع آبی از طریق فاضلاب تخلیه شده مزارع پرورش ماهی مهم‌ترین نگرانی در صنعت آبی‌پروری به‌شمار می‌رود (Boyd, 2003). مطالعات زیادی در خصوص تأثیر احداث استخرهای پرورش ماهی بر رودخانه‌ها و اثرات زیست محیطی آنها بر اکوسیستم‌های آبی در جهان انجام شده است

باکتریایی، مواد جامد محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) و مواد جامد معلق (TSS) در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطح آزن‌زنی، مقادیر فسفات و مواد جامد معلق اختلاف معنی‌داری در بین تیمارهای تحقیق ندارند. اما در مورد پارامترهای MPN باکتریایی، TDS و EC تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری با تیمار دیگر دارد. همچنین تیمار ۲ و تیمار ۳ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین مقادیر این فاکتورها برای تیمار شاهد (صفر میلی‌گرم

جدول ۱- میانگین میزان فسفات (PO<sub>4</sub>, MPN، باکتریایی، کل جامدات (TDS)، درجه شوری (EC)، کل جامدات معلق (TSS) فاضلاب آبی‌پروری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در سطوح مختلف آزن‌زنی.

پارامترها	تیمار شاهد	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳
(mg/l) PO <sub>4</sub>	۱/۸±۰/۴ <sup>a</sup>	۱/۷±۰/۳۲ <sup>a</sup>	۱/۷±۰/۴ <sup>a</sup>	۱/۳±۰/۱۵ <sup>a</sup>
MPN باکتریایی	۲۴±۲/۶ <sup>c</sup>	۱۵/۶±۴/۱ <sup>b</sup>	۸/۳±۰/۵۷ <sup>a</sup>	۴/۶±۲/۰۸ <sup>a</sup>
(mg/l)TDS	۲۶۲±۱۹/۲ <sup>c</sup>	۱۹۴/۶±۲۰/۵ <sup>b</sup>	۱۵۳/۶±۹/۷ <sup>a</sup>	۱۳۷/۶±۱۹/۸ <sup>a</sup>
(μs/s) EC	۵۴۵/۶±۴۰/۰۷ <sup>c</sup>	۴۰۵±۴۲/۵ <sup>b</sup>	۳۱۹/۳±۲۰/۴ <sup>a</sup>	۲۸۶±۴۰/۸ <sup>a</sup>
(mg/l)TSS	۱۳۳/۳±۵۷/۷ <sup>a</sup>	۱۶۶/۶±۵۷/۷ <sup>a</sup>	۲۰۰±۱۰۰ <sup>a</sup>	۱۶۶/۶±۵۷/۷ <sup>a</sup>

مقایسه درون‌گروهی بوده و حروف لاتین غیر مشابه در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد.



شکل ۵- تغییرات میانگین (میانگین+SD) میزان pH فاضلاب آبی‌پروری در سطوح مختلف آزن‌زنی (حروف لاتین غیر مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد).

اختلاف معنی‌داری کاهش می‌یابند. بیشترین مقدار BOD، COD و MPN باکتریایی در تیمار شاهد (صفر میلی گرم در لیتر آزن) و کمترین مقادیر برای تیمار ۳ (۵ میلی گرم در لیتر آزن) می‌باشد که نشان دهنده تجزیه مواد آلی و شیمیایی است. آزن موجب تجزیه اکسیداتیو بسیاری ترکیبات آلی و معدنی می‌گردد (Wang et al., 2007). در تحقیقات مشابهی نیز نتایج مشابه تحقیق حاضر به دست آمده است. آزن-زنی فاضلاب بیمارستانی در pH=۱۱ بالاترین راندمان حذف BOD و COD و باکتری اشرشیاکلائی را داشته و به دلیل اکسیداسیون هیدروکسیلی باعث تجزیه مواد آلی خطرناک و نابودی عوامل باکتریایی می‌شود (Alighadri and Hazrati, 2012). غلظت‌های آزن از ۴ میلی‌گرم بر لیتر و زمان ماند ۱۰ دقیقه، باکتری‌های کلی‌فرم را در حد استاندارد برای کشاورزی و آبیاری کاهش می‌دهد و همچنین برای کاهش COD

(Bergheim and Brinker, 2003). فعالیت‌های آبی‌پروری با برخی تأثیرات زیست محیطی همراه است که برخی از آنها شامل غنی شدن آب از مواد مغذی (به ازای تولید هر تن ماهی حدود نیم تن ماده جامد قابل رسوب تولید می‌شود)، آلوده شدن محیط به داروها و ضدعفونی‌کننده‌ها، آسیب به جمعیت ماهیان و دیگر جانوران آبی می‌باشد (Esmaili, 2000; Rosenthal, 1997). آزن به‌عنوان ضدعفونی‌کننده در بسیاری از کشورهای اروپایی، آمریکا و ژاپن استفاده می‌گردد. در مورد استفاده از مواد اکسیدکننده، سطح استفاده از آن‌ها بایستی در حدی باشد که با تأثیرگذاری بر شرایط کیفی آب خود ایجاد آلودگی نکرده و بر موجودات آبی اثرات استرسی و منفی نداشته باشند (Zhian, 2008). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش سطح آزن‌زنی مقادیر پارامترهای COD و BOD و MPN باکتریایی با

مطالعات انجام شده در این زمینه، ORP را به‌عنوان یک شاخص کاربردی برای ارزیابی میزان آزون‌دهی در مخازن نگهداری آبزیان معرفی کرده است (Buchan *et al.*, 2006). برخی از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی در اجرای یک پروژه آبی‌پروری، محدودیت ایجاد می‌کند و مقدار این فاکتورها قبل از ورود به استخرهای پرورشی به قدری بالاست که مشکلات جدی در رشد و یا بازماندگی آبزیان ایجاد می‌کند. از جمله این فاکتورها سختی، قلیائیت و pH می‌باشد (Tango and Gagnon, 2003). فاضلاب‌های تازه معمولاً حالتی خنثی و یا متمایل به قلیایی دارند و تنها در اثر تجزیه مواد آلی، گازهای سمی تولید می‌کنند. pH مناسب برای رشد موجودات زنده حدود ۶/۵ تا ۷/۵ است (Khosh Akhlagh *et al.*, 2015). یکی از فاکتورهای مهم در فرایندهای اکسیداسیون مواد آلی می‌باشد (Hafezi *et al.*, 2016).

پارامتر TOC مقدار کل کربن آلی بوده و شاخص بسیار مناسبی برای تخمین بار مواد آلی می‌باشد. فرایند آزن زنی کاتالیزوری با کربن فعال در مقایسه با فرایند آزن زنی به تنهایی در زمان کمتری کل کربن آلی و پتانسیل تشکیل تری هالومتان‌ها را با راندمان قابل توجهی حذف می‌کند (Asgari *et al.*, 2010). افزایش غلظت آزن تا مقدار مشخصی باعث کاهش کل محتوای کربن آلی ترکیبات نفتی می‌شود و این امر می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که با افزایش غلظت آزن و اکسیداسیون بیشتر و در نتیجه آن، ترکیبات جدید ایجاد شده سمیت کمتری داشته و محتوای کل کربن آنها با افزایش غلظت آزن تغییر زیادی پیدا نمی‌کند (Valdis *et al.*, 2003). از مطالعات گذشته و تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سطح آزن زنی می‌تواند باعث کاهش کل کربن آلی فاضلاب آبی‌پروری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان شود. همچنین بررسی‌های انجام شده در آب‌های داخلی ایالت متحده نشان داده است که آب‌هایی با قابلیت هدایت الکتریکی ۵۰۰-۱۰۰ میکروموس در سانتی متر دارای ارزش شیلاتی می‌باشند و خارج از این محدوده برای گروه‌های خاصی از ماهیان و بی-مهرگان نامناسب می‌باشد (Kenney *et al.*, 2009). روش اکسیداسیون با آزن یکی از روش‌های مؤثر در تصفیه آب و فاضلاب بوده و آزن به‌علت داشتن نیمه

فاضلاب نیاز به غلظت‌های آزن بیش از ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (Dehghanzadeh *et al.*, 2011).

در تحقیق حاضر با افزایش سطح آزن زنی، TDS روند کاهشی داشته است. از اثرات نامطلوب ترکیبات محلول در آب بر آبزیان و محیط زیست آنها شامل کاهش میزان اکسیژن در دسترس برای آبی، تخریب تجهیزات و ادوات در سیستم‌های مدار بسته و برخی بیماری‌های محیطی در آبزیان می‌باشد (Chen *et al.*, 1993). در سیستم‌های آبی‌پروری روش جریان دائم (Flow-through)، فاضلاب به همراه غلظت‌های بالای مواد غذایی و مواد جامد وارد محیط زیست می‌شوند. برخی از فاضلاب‌ها به دلیل بالا بودن مقادیر آلاینده‌ها در صورتی که به طرز صحیحی تصفیه نشوند، می‌توانند موجب ایجاد تأثیرات مخرب جدی در محیط زیست گردند (Miller and Semmens, 2002; Schulz *et al.*, 2003). در تحقیق حاضر افزایش سطح آزن زنی تأثیری روی میزان فسفات نداشته است. بیش از ۶۷ درصد میکروآلاینده‌ها در فاضلاب خام با سطح آزن متوسط ۵/۷ میلی‌گرم حذف می‌شوند، به این دلیل که آزن با مواد آلی فسفات‌دار فاضلاب به سرعت واکنش می‌دهد و باعث اکسیداسیون آنها می‌شود (Margot *et al.*, 2013). طی مطالعات جداگانه روی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان و کیفیت آب در سیستم آبی‌پروری مدار بسته، آزن به‌طور قابل توجهی مواد جامد معلق، رنگ و BOD را کاهش می‌دهد (Davidson *et al.*, 2011).

پارامتر پتانسیل اکسیداسیون احیایی (ORP) آب بیانگر سهم مواد اکسید کننده نسبت به مواد احیا کننده در آب است. در حقیقت سطح ORP نشان دهنده وجود اکسیژن و سایر مواد اکسید کننده در آب است. سطح این شاخص در آب‌های طبیعی تا حدود زیادی تحت تأثیر عواملی مانند دما، pH، شوری، غلظت اکسیژن محلول و اکسید کننده‌های حلال در آب مثل آزن قرار دارد (Tango and Gagnon, 2003; Liu *et al.*, 2009; Summerfelt *et al.*, 2009). در تحقیق حاضر با افزایش سطح آزن زنی، مقادیر ORP نیز با اختلاف معنی‌داری افزایش می‌یابد. بر این اساس زمانی که مواد اکسید کننده در محیط بیشتر باشد، این پارامتر مثبت و وقتی که مواد احیا کننده در محیط بیشتر باشد منفی است. بیشتر

TOC، MPN باکتریایی، TDS و EC فاضلاب آبی پروری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان می‌شود، ولی افزایش سطح آزن زنی بر پارامتر فسفات و TSS در فاضلاب آبی پروری تأثیر چندانی نداشته است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش آزن‌زنی در خروجی سیستم‌های مراکز پرورشی می‌تواند تا حدی از اثرات نامطلوب وارد شده به محیط زیست جلوگیری کند و باعث بهبود کیفیت فاضلاب ورودی به منابع آبی شود.

عمر پایین و پایین بودن عوارض زیست محیطی، به عنوان یکی از مناسب‌ترین مواد ضدعفونی کننده کاربردهای مفید و متعددی در آبی‌پروری دارد. از آنجایی که بسیاری از آلاینده‌های موجود در آب مورد استفاده برای آبی‌پروری، به‌راحتی اکسید می‌شوند، آزن می‌تواند در برنامه‌های کنترل کیفیت آب اعم از حذف مواد جامد، کاهش نیتريت و تجزیه مواد آلی و کنترل بار باکتریایی استفاده شود. بر اساس نتایج این مطالعه می‌توان بیان کرد که افزایش سطح آزن‌زنی باعث کاهش پارامترهایی از جمله BOD، COD،

## References

- Alighadri, M., Hazrati, M., 2012. Effect of pH changes on ozonation efficiency to reduce the burden of hospital wastewater pollution. *Guilan University of Medical Journal* 11, 44-51.
- Allahyari, M.S., Khara, H., Rezaee, N., 2014. Analysis of the levels of application of modern aquaculture technologies among breeders of the Salmon fish in the Guilan province. *Aquaculture Development Journal* 8, 23-26.
- Asgari, G.H., Mortazavi, B., Hashemian, J., Moosavi, G.H., 2010. Investigation of the effect of activated catalysts ozonation process on humic acid removal from aqueous solutions. *Journal of Hamadan University of Medical Sciences & Health Services* 7, 25-43.
- Babaei, H., Khodaparast, S., Mirzajani, A., 2016. Determination of fisheries potential development of Golabar Lake by investigation on same physical and chemical parameter. *Journal of Aquatic Development* 10, 27-37.
- Bergheim, A., Brinker, A., 2003. Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. *Aquacultural Engineering* 7, 61-77.
- Boyd, C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at farm-level. *Aquaculture* 226, 101-112.
- Buchan, K.A.H., Martin-Robichaud, D.J., Benfey, T.J., 2005. Measurement of dissolved ozone in sea water: A comparison of methods. *Aquaculture Engineering* 33, 225-231.
- Buchan, K.A.H., Martin-Robichaud, D.J., Benfey, T.J., MacKinnon, A.M., Boston, L., 2006. The efficacy of ozonated seawater for surface disinfection of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) eggs against *piscine nodavirus*. *Aquaculture Engineering* 35, 102-107.
- Chen, S., Timmons, M.B., Aneshansley, D.J., Bisogni, J.J., 1993. Suspended solids characteristics from recirculating aquaculture systems and design implications. *Aquaculture* 112, 143-155.
- Costa Pierce, B.A., 2002. Ecological Aquaculture: The evolution of the blue revolution. Academic press, University of Rhode Island. 501 p.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C., Summerfelt, S., 2011. The effects of ozone and water exchange rates on water quality and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance in replicated water recirculating systems. *Aquaculture Engineering* 44, 80-96.
- Dehghanzadeh, R., Hashemi, A., Gharhremani, B., 2011. Application of ozone in reducing the health effects of irrigation with urban wastewater. *Tabriz University of Medical Sciences Journal* 6, 17-25.
- Esmaili Sari, A., 2000. Principles of Water Quality Management in Aquaculture. Naghshe Mehr Press, Tehran, 221 p.
- Hafezi, F., Karami, M., Kamreie, B., Jafari, E., Ghaderpoor, M., Bazdar, M., Razipoor, A., 2016. Effect of photochemical oxidation process of ultraviolet ray with peroxide disodium in removal of Alizarin Reds from aqueous solutions. *Journal of Health Research in Society* 2, 12-22.
- Kenney, M.A., Sutton-Grier, A.E., Smith, R.F., Gresens, S.E., 2009. Benthic macro-invertebrates as indicator of water quality: The intersection of science and policy. *Journal of Terrestrial Arthropod* 2, 99-128.
- Khosh Akhlagh, M., Kamrani, A., Ebrahimi Darcheh, A., Soorinejad, I., 2015. The effect of aquaculture wastewater on large mangrove. *Aquatic Ecology Journal* 5, 103-112.



- Liu, X.Q., Wang, J., Zhang, D., Li, Y.T., 2009. Grey relational analysis on the relation between marine environmental factors and oxidation-reduction potential. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 27, 583-586.
- Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., Felipe de Alencastro, L., Abegglen, Ch., Thonney, D., Chèvre, N., Schärer, M., 2013. Treatment of micro-pollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon. *Science of the Total Environment* 461, 480-498.
- Miller, D., Semmens, K., 2002. Waste Management in Aquaculture. University Press, West Virginia University Extension Service Publication, USA. 235 p.
- Monzavi, M., 2008. Wastewater Treatment, University of Tehran Press, Tehran. 390 p.
- Philips, M.G., Beveridge, C.M., Ross, L.G., 1985. The environmental impact of Salmonid cage culture on inland fisheries: present status and future trends. *Journal of Fish Biology* 27 123-137.
- Rosenthal, H., 1997. Environmental issues and the interaction of aquaculture with other competing resource users. *Aquaculture Association Journal* 2, 1-13.
- Schulz, C., Gelbrecht, J., Rennert, B., 2003. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. *Aquaculture* 21, 207-217.
- Summerfelt, S.T., Sharrer, M.J., Tsukuda, S.M., Gearheart, M., 2009. Process requirements for achieving full-flow disinfection of recirculating water using ozonation and UV irradiation. *Aquaculture Engineering* 40, 17-27.
- Tango, M.S., Gagnon, G.A., 2003. Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. *Aquaculture Engineering* 29, 125-137.
- Valdis, K., Ebeling, J., Weaton, F., 2003. Ozone does and equilibrium TOC in recirculating system. Academic press, Raleigh, USA. 342 p.
- Wang, X., Wang, L., Li, Y., Duan, W., 2007. Ozonation pretreatment for ultrafiltration of secondary effluent. *Journal of Membrane Science* 287, 187-191.
- Zhian, H., 2008. Usage of ozonation on water treatment. *Human and Environment Journal* 7, 19-33.