



ضد عفونی پساب مزرعه پرورش قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) با هیپوکلریت سدیم و تأثیر آن بر تولید ترکیبات تری‌هالومتان‌ها (THMs)

مریم یاور^۱، کامران رضایی توابع^{۳*}، رضا حاجی سید محمد شیرازی^۲، سارا کبیر^۱، پوریا غلامزاده^۴

۱- دانش‌آموخته گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

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

۳- دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

۴- دانش‌آموخته گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۷

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۱/۰۹

چکیده

فرایند کلرزی یک روش رایج برای ضدعفونی کردن پساب‌ها و فاضلاب در سراسر جهان، به ویژه کشورهای در حال توسعه، محسوب می‌شود. این فرآیند می‌تواند باعث ایجاد ترکیبات جانبی مضر سرطان‌زا مانند گروه هایتری‌هالومتان‌ها (THMs) و ورود آنها به منابع آبهای طبیعی شود. این مطالعه با هدف بررسی اثر سطوح مختلف کلرزی پساب تولیدی در یک مزرعه ماهیان سردآبی و تأثیر آن بر میزان تولید ترکیبات تری‌هالومتان کل، کلروفورم، کلرودی-برومومتان، دی‌کلروبرومومتان و بروموفورم انجام گردید. در این تحقیق، ۴۰۰ لیتر پساب خروجی مزرعه تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به آزمایشگاه منتقل و در واحدهای آزمایشی شامل ۱۵ ظرف ۲۰ لیتری وارد شد. سپس غلظت‌های مختلف کلر (هیپوکلریت سدیم) به عنوان تیمارهای آزمایش، شامل پنج تیمار (شاهد)، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر به ظروف اضافه شد. هر تیمار دارای سه تکرار بود و ظروف روی یک صفحه لرزان برای تهویه قرار داده شدند. طول دوره آزمایش ۲۴ ساعت بود. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت کلرزی، تولید میزان ترکیبات جانبی تری‌هالومتان‌ها به شدت افزایش می‌یابد. به طوری که در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کلرزی میزان تری‌هالومتان کل 82 ± 4 میکروگرم در لیتر و در تیمار شاهد این شاخص 15 ± 2 میکروگرم در لیتر بود. همچنین علیرغم اینکه میانگین ترکیب کلرودی‌برومومتان تولید شده در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌دار نشان ندادند ($p > 0.05$) اما تیمارهای آزمایشی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند. همچنین با افزایش غلظت کلرزی ترکیبات دی-کلروبرومومتان و کلروفورم روند افزایشی داشت و تفاوت بین تیمارها معنی‌دار بود؛ در حالیکه سطوح مختلف کلرزی تأثیری بر افزایش غلظت ترکیب بروموفورم نداشت و تفاوت بین تیمارها معنی‌دار نبود. میزان تولید ترکیبات تری‌هالومتان در فرایند تصفیه فاضلاب آبی پروری بخاطر بالا بودن سطح مواد آلی در این فاضلاب‌ها، به غیر از تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، بالاتر از استانداردهای بهداشتی جهانی است. لذا، بیشترین غلظت مجاز برای تصفیه فاضلاب آبی‌پروری ماهیان سردآبی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر کلر مایع توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کلرزی، تصفیه فاضلاب، فاضلاب آبی پروری، تری‌هالومتان، ماهیان سردآبی.



Chlorinating the Trout Farm Effluent and Production of Trihalomethanes (THMs) Compounds

Maryam Yavar¹, Kamran Rezaei Tavabe^{3*}, Reza Haji Seyed Mohammad Shirazi², Sara Kabir¹, Poorya Gholamzadeh⁴

1- MSc Graduate, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Department of Fisheries, Natural Resources Faculty, University of Tehran. Iran.

4- MSc Graduate, Fisheries Department, Natural Resources Faculty, University of Tehran. Iran.

Received: 27-Mar-2020

Accepted: 15-Apr-2020

Abstract

Chlorination is a common method of water disinfection in the world, especially in developing countries. But this process can cause harmful compounds such as trihalomethanes. In this research, the effects of different levels of chlorination on trout effluent (cold fish), to produce trihalomethane compounds (THMs), were investigated. Four hundred liters of effluent from a rainbow trout farm sampled and transferred to Laboratory and divided into 15 containers with 20-liter capacity as the experimental units. Then different concentrations of chlorine (sodium hypochlorite) were added to the containers, including five treatments (control), 10, 20, 30 and 40 mg / l, in triplicates and kept on the shaker for ventilation during a- 24hr period. The results showed that the amount of trihalomethane has increasing trend while chlorination increase. So that in the 40 mg / l chlorination treatment, the total trihalomethane concentration was significantly higher and reached to $4 \pm 82 \mu\text{g} / \text{l}$ but in the control treatment, it was $15.2 \mu\text{g} / \text{l}$. However, the mean of produced chloride-bromomethane did not show any significant differences among the chlorinate treatments ($p > 0.05$). Also, with increasing the chlorination concentration, the dichlorobromomethane and chloroform showed significantly an increasing trend among treatments. Different levels of chlorination had not any significantly effect on bromoform formation. The production of trihalomethanes due to the high level of organic matter in trout farm effluents was higher compared to the global health standards, except in the 10 mg / l treatment. Therefore, the maximum concentration of chlorine for trout wastewater treatment (cold-water fish), was 10 mg per liter, and proposed as a standard level.

Keywords: Chlorination, Disinfection, Trihalomethane compounds, Rainbow trout.

۱. مقدمه

امروزه مسئله کمبود آب و تخریب محیط زیست به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات جوامع بشری مطرح است. مهمترین دلایل کمبود آب افزایش جمعیت، ارتقاء سطح زندگی، تغییرات آب و هوا و عدم مدیریت صحیح منابع آب است (Mariolagos, 2007). در سال‌های اخیر توسعه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از شتاب و روند رو به رشدی در کشور برخوردار بوده و تقاضا برای احداث مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در نقاط مختلف کشور همچنان رو به افزایش است. از طرفی نیز منابع آب برای تولید ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با محدودیت مواجه شده است و با روند روبه رشد تقاضای پرورش آبزیان، منابع آب موجود نمی‌تواند نیازهای متقاضیان را برآورده نماید. لذا، ضد عفونی و تصفیه پساب و استفاده مجدد از آنها از جمله راه‌حلهایی برای حفظ تولید و توسعه پایدار این صنعت است، و نیاز است که در فرایند ضد عفونی و تصفیه یا پالایش، اطلاعات کافی از تغییرات شیمیایی ایجاد شده در پساب به دست آورد تا بتوان مجدداً از پساب پالایش شده با توجه به نوع کاربری استفاده کرد. با شناسایی مواد و بار مواد آلاینده در فاضلاب می‌توان اقدام به حذف یا کاهش غلظت آنها و استفاده مجدد از آب نمود (Babaei et al., 2016). در صورت عدم استاندارد سازی آب و نیز عدم رعایت اصول زیست محیطی در فعالیتهای پالایش و نیز در حین آبی‌پروری، صدمات جبران‌ناپذیری به موجودات آبی وارد خواهد شد. و در مواردی باعث ایجاد آلودگی‌های مخرب‌تر زیست محیطی منابع آب‌های سطحی و گاهی زیرزمینی (Smith et al., 2010) خواهد شد و نیز یوتروفی منابع آب‌های سطحی را به دنبال خواهد داشت (Rezaei Tavabe et al., 2010; Rezaei Tavabe et al., 2019). امروزه آلودگی منابع آبی توسط تخلیه فاضلاب‌های مزارع پرورش ماهی در جهان به یک نگرانی تبدیل شده است (Boyd, 2003). از طرفی با توجه به مزایای آبی‌پروری و تولید متنوعی از

مواد غذایی و منابع پروتئین و اثر آنها در توسعه جوامع انسانی و ایجاد منافع اقتصادی، جوامع علمی به دنبال راهکارهایی جهت کاهش اثرات منفی آبی‌پروری هستند (Porchas and Martinez-Cordavo, 2012).

بر اساس پیش‌بینی‌های سازمان فائو، آبی‌پروری در آینده در بیشتر کشورهای جهان نقش بسزائی در تأمین غذا، درآمد، اشتغال، ارزآوری و توسعه پایدار روستایی خواهد داشت. یکی از آبی‌زانی که نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی و به ویژه پروتئین، در آب‌های درون سرزمینی دارد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از ماهیان سردابی است. در مناطق معتدله ایران، مزارع زیادی مشغول پرورش این ماهی در حاشیه رودخانه‌های دائمی هستند و بار زیادی از متابولیت‌های تولید این ماهی را ناشی از مصرف غذا به عنوان پساب وارد رودخانه‌ها می‌کنند. بنابراین، توجه به میزان تولید پساب آبی‌پروری و پالایش آب و نیز کاهش بار میکروبی بر اساس استانداردها و شاخص‌های زیست محیطی دارای اهمیت زیادی است (Allahyari et al., 2014). فعالیتهای آبی‌پروری با برخی اثرات مخرب زیست محیطی همراه است که از جمله می‌توان یوتروفی آب‌های طبیعی، آلوده شدن محیط‌های طبیعی به داروها و ضدعفونی‌کننده‌ها و آسیب به جمعیت طبیعی ماهیان و دیگر آبزیان را نام برد (Rosenthal, 1997; Esmaili Sari, 2000; Nezhadheydari et al., 2019). اگر پساب کارگاه‌های پرورش ماهی بدون تصفیه به داخل رودخانه‌ها رها شوند، باعث کاهش شدید کیفیت آب و یوتروفی رودخانه‌ها می‌گردند (Babaei et al., 2016). به ازای تولید یک تن ماهی سردابی، معمولاً به طور متوسط بین ۳۰۰-۱۵۰ کیلوگرم مواد غذایی مصرف نشده و بین ۳۰۰-۲۵۰ کیلوگرم مواد جامد مدفوعی وارد محیط‌های آبی می‌شود (Boyd, 2003). ضدعفونی کردن پساب با مواد اکسیدکننده مهم‌ترین و متداول‌ترین فرآیند کاهش بار میکروبی و نیز فرایند معدنی کردن مواد آلی است، معمولاً حذف میکروارگانیسیم‌ها و انگل‌ها از این طریق انجام می‌پذیرد (Rezaei Tavabe et al., 2018). از بین مواد

(Sun *et al.*, 2009). تری‌هالومتان‌ها به عنوان یک گروه بزرگ از ترکیبات جانبی ضد عفونی آب و تحت تاثیر غلظت اتم‌های هالوژن (کلر و برم)، مقادیر مواد آلی و به ویژه کربن آلی TOC موجود در آب، pH و دما تشکیل می‌شوند و شامل ۱۰ ترکیب مختلف اند. از مهمترین آن‌ها کلروفرم CHCl_3 ، برومودی‌کلرومتان CHCl_2Br ، دی‌بروموکلرومتان CHClBr_2 و بروموفرم CHBr_3 هستند (Samadi *et al.*, 2006; Noshadi *et al.*, 2012). امروزه این ترکیبات به عنوان یکی از مهمترین آلاینده‌های آب که سبب ایجاد سرطان و همچنین آثار زیان‌بار بر سیستم عصبی هستند شناخته می‌شوند (Noshadi *et al.*, 2012). با توجه به اهمیت ضد عفونی و پالایش آب و کاربرد بعدی آب‌های تصفیه شده، نیاز است که اثرات مخرب به کارگیری کلر به عنوان یک ماده ضد عفونی و نیز اکسیدکننده در تولید ترکیبات مضر ثانویه، مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی اثر سطوح مختلف کلرزنی پساب یک مزرعه ماهی سردآبی در تولید ترکیبات تری‌هالومتان کل، کلروفرم، کلروودی‌برومومتان، دی‌کلروبرومومتان و بروموفرم بود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. تهیه پساب آبی‌پروری و طراحی آزمایش

در این مطالعه ۴۰۰ لیتر پساب تصفیه نشده خروجی مزرعه تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از مرکز ماهی سرای کرج واقع در بیلقان شهرستان کرج جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه شیخ بهایی واقع در واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی منتقل گردید. سپس پساب تهیه شده برای تیمار بندی به ۱۵ عدد مخزن ۲۰ لیتری سرپوشیده لرزان انتقال داده شد. در این تحقیق ۵ تیمار با سطوح صفر (بدون کلرزنی) به عنوان تیمار شاهد، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کلر مایع (هیپو کلریت سدیم) در ۳ تکرار طراحی گردید. در هر یک از مخازن به مدت ۲۴ ساعت با هیپوکلریت سدیم بوسیله لرزاننده مخلوط گردید و بعد از ۲۴ ساعت، از هر

ضد عفونی کننده شیمیایی، کلر سال‌هاست که به دلایل صرفه اقتصادی، سهولت در کاربرد و قدرت تاثیر بالا در از بین بردن عوامل آلوده کننده آب، به عنوان بهترین گزینه در بیشتر تصفیه‌خانه‌های جهان از جمله ایران، مورد استفاده قرار می‌گیرد. کلر را می‌توان به صورت گاز کلر Cl_2 و یا به صورت ترکیب هیپوکلریت کلسیم $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ و یا هیپوکلریت سدیم NaOCl در ضد عفونی آب به کار برد (Shariat Panahi, 1999). کلر اثرات شدیدی بر آب‌های پذیرنده و موجودات زنده آبی دارد. باقیمانده کلر با میزان کم 0.02 mg/l و کلرآمین‌های حاصل از فرایند ضد عفونی برای اکثر آبزیان از جمله ماهی‌ها، صدف‌ها و سخت پوستان زیان‌بارند (Rezaei tavabe *et al.*, 2018). و در سال‌های اخیر مصرف این مواد به علت امکان تولید محصولات جانبی به ویژه ترکیبات تری‌هالومتان از طریق واکنش کلر و مواد آلی طبیعی همچون اسیدهای ناشی از فساد گیاهان (اسید هیومیک و اسید فولیک)، مواد آلی مترشحه از جلبک‌ها و سایر موجودات آبی و نیز مواد آلی حاصل از فعالیت‌های انسانی مانند فاضلاب‌های شهری و صنعتی، زه‌آب‌های کشاورزی و شیرابه ناشی از زباله‌ها مورد بازبینی قرار گرفته است. این مواد یعنی ترکیبات تری‌هالومتان به علت وزن مولکولی کم، در مقایسه با بسیاری از املاح و ترکیبات معدنی موجود در آب از طریق روش‌های متداول تصفیه آب آشامیدنی حذف نمی‌شوند، و همین امر و توجه به عواقب بهداشتی آن میزان مصرف کلر را در فرآیند ضد عفونی آب با شک و تردید همراه ساخته است (Fooladvand *et al.*, 2011; Perez Pavon *et al.*, 2008). میزان مصرف کلر تابع کیفیت و ویژگی پساب‌ها تغییر می‌کند و تاثیر گذاری آن به خصوصیات آب و درجه آلودگی آن بستگی دارد. وجود بیش از حد کلر در آب مشکلات زیادی را برای موجودات آبی و محیط زیست در پی خواهد داشت. لذا، کلرزنی فاضلاب با غلظت مناسب از اهمیت بسزایی برخوردار است (Burton *et al.*, 2003; Clark and Clark, 1995). عمده‌ترین مشکل فرآیند کلرزنی تشکیل فرآورده‌های جانبی ضد عفونی از جمله تری‌هالومتان‌هاست

اندازه‌گیری قرار گرفتند (Rodriguez et al., 2007).

۲.۳. تجزیه و تحلیل داده‌ها

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

۳. نتایج

۳.۱. ترکیبات تری‌هالومتان‌های کل

بر اساس داده‌های به دست آمده، با افزایش غلظت کلرژنی، میزان ترکیبات تری‌هالومتان‌ها به شدت افزایش یافت و تفاوت بین تیمارها با یکدیگر و با تیمار شاهد معنی‌دار بود ($p < 0.05$). به طوری که در بیشترین میزان کلرژنی در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان تری‌هالومتان کل 82 ± 4 میکروگرم در لیتر و در تیمار شاهد این شاخص 2 ± 15 میکروگرم در لیتر بود (نمودار ۱).

۳.۲. تری‌هالومتان کلروفرم

نمودار ۲ میزان تری‌هالومتان کلروفرم را در تیمارهای مختلف کلرژنی نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های مربوط به تیمارهای آزمایشی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد دیده شد ($p < 0.05$). در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کلرژنی مقدار کلروفرم تولید شده حدود ۷ برابر تیمار شاهد بود. این مقادیر در تیمار شاهد ۸ میکروگرم در لیتر و در تیمار حاوی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کلر به ۵۷ میکروگرم در لیتر رسید.

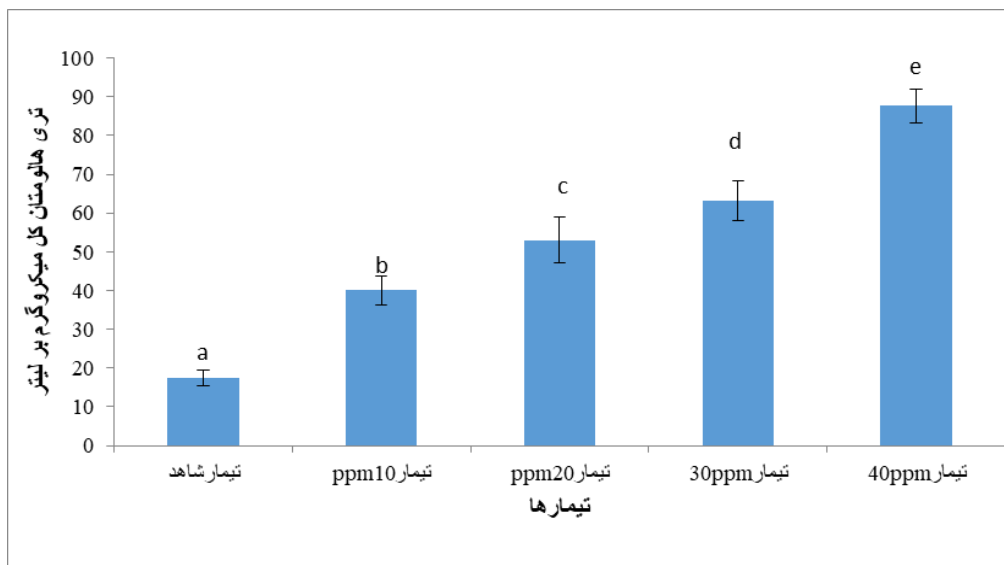
مخزن به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه پساب برداشت شد و ترکیبات جانبی کلر شامل: تری‌هالومتان کل، کلروفرم، بروموفرم، دی‌کلروبرومومتان، کلرودی‌برومومتان اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی آب

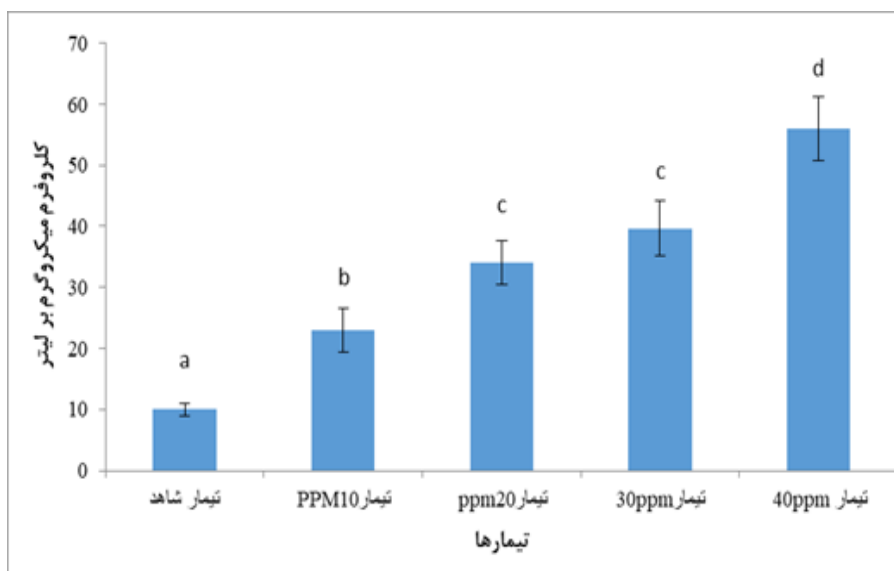
شاخص‌ها کیفی آب بر اساس دستورالعمل‌ها و استانداردهای تعیین کیفیت آب، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (AHPH, 1980). شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی پساب آبی پروری مورد مطالعه در سه مقطع زمانی آغاز آزمایش، ۱۲ ساعت پس از آغاز آزمایش و پایان آزمایش اندازه‌گیری شد. میانگین بدست آمده از اندازه‌گیری فاکتورهای دما، اسیدیته، TDS، نیترات، فسفات، TOC، COD و BOD به ترتیب 24 ± 2 ، $7/8 \pm 0/1$ ، 215 ± 18 ، mg/l 28 ± 2 ، mg/l $3/8 \pm 0/3$ ، mg/l 25 ± 3 و mg/l 71 ± 4 و mg/l 47 ± 4 بودند.

۲.۲. اندازه‌گیری تری‌هالومتان‌ها

برای تعیین مقدار تری‌هالومتان‌ها از دستگاه کروماتوگرافی گازی اسپکترومتر جرمی مدل lus2010QP ساخت کشور ژاپن در شرکت خصوصی پارسیان شیمی استفاده گردید. با توجه به استاندارد تری‌هالومتان‌ها سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای ترسیم منحنی استاندارد از غلظت‌های ساخته شده کلروفرم در محدوده ۰-۳۰۰ میکروگرم در لیتر استفاده گردید و سپس برای استخراج فضای فوقانی (Head space) استفاده شد که حجم معینی از نمونه (۵ میلی‌لیتر) در ظرف شیشه‌ای درپوش‌دار حرارت داده شد و پس از تعادل بین فازهای گاز و مایع حجم معینی از گاز برداشته شد و به دستگاه GC-MS تزریق شد. مواد آلی فرار در نمونه‌ها توسط دستگاه GC جداسازی شده و با شناساگر MS (Mass-Spectrometer) شناسایی و ترکیبات مختلف تری‌هالومتان بر اساس روش اندازه‌گیری استاندارد مورد



نمودار ۱- میانگین (میانگین \pm انحراف معیار) تغییرات غلظت تری هالومتان کل در سطوح مختلف کلرزنی در پساب آبی پروری. حروف لاتین غیر مشابه به معنی وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد در بین تیمارهاست.

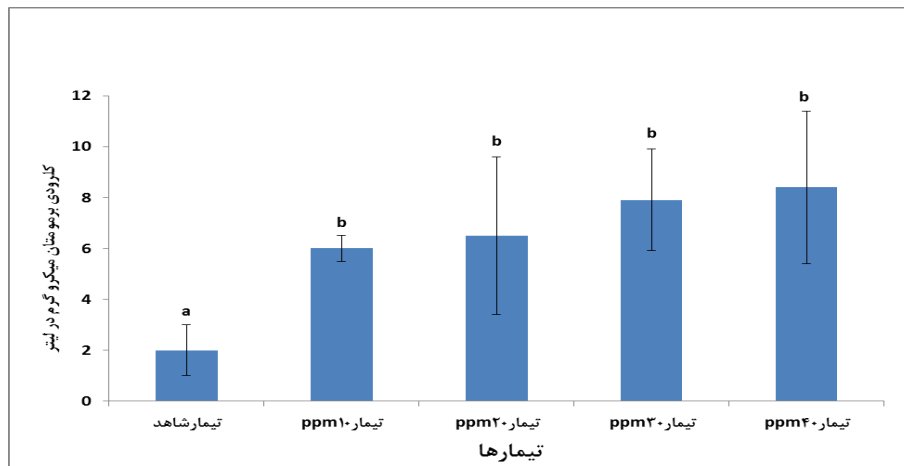


نمودار ۲- میانگین تغییرات (میانگین \pm انحراف معیار) غلظت کلروفورم ($\mu\text{g/l}$) در پساب آبی پروری در سطوح مختلف کلرزنی. حروف لاتین غیر مشابه به معنی وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد در بین تیمارهاست.

نشان دادند. دلیل اصلی معنی دار نشدن تیمارهای آزمایشی با یکدیگر بالا بودن انحراف معیار میانگین‌ها در قرائت ترکیب کلرودی برومومتان توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی بود (نمودار ۳).

۳,۳. ترکیب کلرودی برومومتان

ترکیب کلرودی برومومتان تولید شده در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی داری نداشتند ($p > 0.05$) اما تیمارهای آزمایشی با تیمار شاهد تفاوت معنی دار

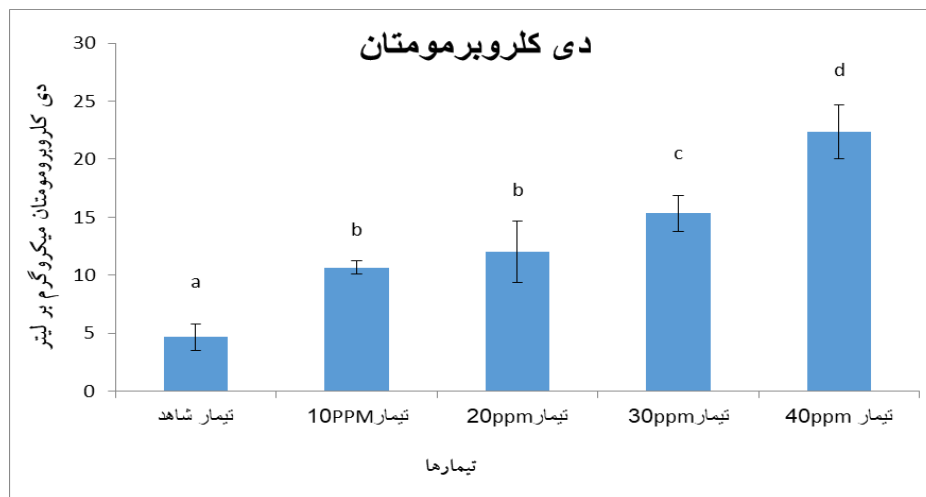


نمودار ۳- میانگین تغییرات (میانگین \pm انحراف معیار) غلظت کلرودی برومومتان ($\mu\text{g/ml}$) در پساب آبی پروری در سطوح مختلف کلرزی. حروف لاتین غیر مشابه به معنی وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد در بین تیمارهاست.

تیمارها نشان داد ($p < 0.05$). به طوری که در بیشترین میزان کلرزی در تیمار ۴۰ میلی گرم در لیتر، میزان ترکیب 22 ± 4 میکروگرم در لیتر و در تیمار شاهد 4 ± 2 میکروگرم در لیتر بود (نمودار ۴).

۳.۴. ترکیب دی کلرو برومومتان

بر اساس نتایج به دست آمده در مورد ترکیب دی کلرو برومومتان، با افزایش غلظت کلرزی مقدار این ترکیب روند افزایشی داشت و تفاوت معنی داری را بین



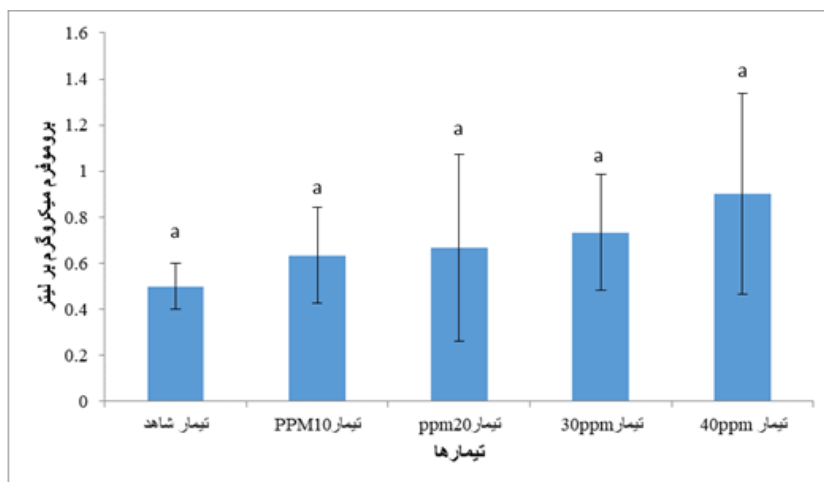
نمودار ۴ - میانگین تغییرات (میانگین \pm انحراف معیار) غلظت دی کلرو برومومتان ($\mu\text{g/ml}$) در پساب آبی پروری در سطوح مختلف کلرزی. حروف لاتین غیر مشابه به معنی وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد در بین تیمارهاست.

به سایر ترکیبات تری هالومتان سطح این ترکیب بسیار پایین و در تیمار ۴۰ میلی گرم در لیتر کلرزی سطح بروموفرم تولید شده $0/8$ میکروگرم در لیتر ثبت شد در حالی که این ترکیب در تیمار شاهد $0/5$ میکروگرم در

۳.۵. ترکیب بروموفرم

مطابق انتظار معمول، با افزایش غلظت کلرزی ترکیب تری هالومتان بروموفرم تغییری نشان نداد و تفاوت میانگین بین تیمارها نیز معنی دار نبود ($p > 0.05$). نسبت

لیتر بود (نمودار ۵).



نمودار ۵ - میانگین تغییرات (میانگین ± انحراف معیار) غلظت بروموفرم ($\mu\text{g/ml}$) در پساب آبی پروری در سطوح مختلف کلرزنی. حروف لاتین غیر مشابه به معنی وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد در بین تیمارهاست.

کلروفورم، بروموفورم، دی‌کلربروموفورم و دی‌بروموکلروفورم می‌باشد. این مواد می‌توانند باعث آلودگی منابع آبی، زمینه‌ساز بسیاری از ناهنجاری‌ها موجودات آبی و همچنین انواع سرطان‌ها در انسان باشند.

نتایج تحقیقات پیشین و همچنین مطالعه حاضر مشخص کرده است که مقدار کل تری‌هالومتان و ترکیبات جانبی آنها رابطه مستقیمی با شرایط و میزان کلرزنی دارد. غلظت مواد آلی، دما، زمان، pH و غلظت کلر از دیگر عوامل موثر در تشکیل تری‌هالومتان‌ها در منابع آب‌اند (Yazdanbakhsh *et al.*, 2015; Garcia-Villanova *et al.*, 2001; Rodrigues and Serodes, 1997). کاربرد کلر به عنوان متداول‌ترین روش گندزدایی آب، احتمال تولید ترکیبات جانبی محصول گندزدایی را افزایش می‌دهد (Samadi *et al.*, 1385). در این پژوهش با افزایش میزان کلر، مقدار ترکیبات جانبی شامل کلروفورم، کلرودی‌برومومتان، دی‌کلربرومومتان و تری‌هالومتان کلر افزایش یافتند. حداقل غلظت کلروفورم، کلرودی‌برومومتان، دی‌کلربرومومتان، بروموفورم و تری‌هالومتان کلر به ترتیب (۱۰، ۲/۳۶، ۴/۶۶، ۱۷/۵۳ میکروگرم بر لیتر) برای تیمار شاهد و حداکثر غلظت این شاخص‌ها به ترتیب (۵۶،

۴. بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مؤثرترین روش‌های مورد استفاده برای معدنی کردن مواد آلی آب و تصفیه فاضلاب‌ها استفاده از مواد شیمیایی با قدرت اکسیداسیونی بالا است. در مورد استفاده از این مواد اکسیدکننده، سطح استفاده از آنها بایستی در حدی باشد که با تأثیرگذاری بر شرایط کیفی آب، در عین حال خود باعث ایجاد آلودگی نشوند و بر موجودات آبی اثرات منفی نداشته باشند (Zhian, 2008). آلودگی منابع آبی از طریق تخلیه پساب مزارع پرورش آبزیان مهم‌ترین نگرانی در صنعت آبی‌پروری به شمار می‌رود (Boyd, 2003; Tavabe *et al.*, 2013; Rafiee *et al.*, 2015; Rezaei Tavabe *et al.*, 2015). کلرزنی یکی از متداول‌ترین روش‌های ضدعفونی در جهان به شمار می‌آید. هدف اصلی کلرزنی و ضدعفونی آب و فاضلاب حفاظت در برابر آلودگی‌های میکروبی و کنترل رشد مجدد میکروارگانیسم‌ها و جلوگیری از یوتروفی منابع آبی است. اما مهم‌ترین مشکل در استفاده از کلر تشکیل فرآورده‌های جانبی گندزدا از جمله تری‌هالومتان‌ها شامل

جمله آنها می‌توان به مدت زمان تماس فاضلاب با کلر اشاره نمود. طبق مطالعه جعفری و همکاران در سال ۱۳۸۷ کمترین و بیشترین مقدار تری‌هالومتان در شبکه توزیع شهر لاهیجان به ترتیب در خروجی تصفیه‌خانه (کمتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر) و انتهای شبکه توزیع (بالاتر از ۲۰۰ میکروگرم در لیتر) گزارش شد که بیانگر ارتباط بین زمان تماس و تشکیل ترکیبات ناشی از کلرزنی است (Samadi et al., 1385). به‌طوری‌که با افزایش مدت زمان تماس، فرصت بیشتری برای ترکیب مواد با کلر و در نتیجه افزایش تولید تری‌هالومتان‌ها و غلظت آنها فراهم می‌شود (Jafari et al., 2008). این نتایج نشان می‌دهند که کلرزنی پساب آبی‌پروری بایستی با دیدگاه از بین بردن میکروارگانیسم‌ها و آفات صورت پذیرد نه با دیدگاه تجزیه شیمیایی مواد آلی، زیرا در نتیجه کاربرد کلر موادی تولید می‌شود که عملکرد نامناسبی دارند. لذا، بلافاصله بعد از کلرزنی بایستی از ترکیباتی مانند تیوسولفات سدیم اقدام به حذف کلر نمود تا از تولید بیش از حد تری‌هالومتان‌ها جلوگیری به عمل آید. یکی دیگر از عوامل موثر در تولید تری‌هالومتان‌ها در اثر استفاده از کلر در آب‌ها، دما است. افزایش دما با تأثیر بر افزایش حرکت مولکولی در آب سرعت واکنش مواد موجود در آب و کلر را زیاد کرده و به همین سبب تولید بیشتر تری‌هالومتان‌ها می‌شود. در مطالعه‌ای تحت عنوان تغییرات فصلی غلظت تری‌هالومتان‌ها در فصول مختلف نشان داده شده است که تولید تری‌هالومتان‌ها در فصل تابستان ۱/۵ برابر میزان آنها در بهار است (Yavar et al., 2019). با تغییرات فصلی و افزایش دمای آب، سرعت واکنش‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، سرعت بالای واکنش‌ها باعث مصرف بیشتر کلر و کاهش کلر باقی‌مانده در شبکه توزیع می‌شود (Toroz and Uyak, 2005; Rodregues and Serodes, 2001).

استفاده از کلر به‌عنوان یک ضد عفونی کننده مؤثر برای از بین بردن باکتری‌های ناقل بیماری و نیز به‌عنوان یک اکسیدکننده قوی از سابقه طولانی در صنعت آب برخوردار است. کلرزنی آب، به دلیل سهولت کاربرد، پایین

۸/۵۳، ۲۲/۳۳، ۸۷/۷۶ میکروگرم بر لیتر) برای تیمار چهارم با سطح کلرزنی ۴۰ ppm میلی گرم در لیتر بودند. در نتیجه مطالعه حاضر تایید می‌کند که با افزایش سطح میزان کلرزنی در فرایند گندزدایی، تولید ترکیبات تری‌هالومتان در فاضلاب آبی‌پروری افزایش می‌یابد، علت این موضوع را می‌توان به مقدار فراوان مواد آلی موجود در پساب نسبت داد (Rezaei Tavabe et al., 2017). در فرایند متانوژنیز یا معدنی شدن مواد آلی متان تشکیل می‌شود و سپس با کلرزنی زمینه برای تشکیل ترکیبات تری‌هالومتان افزایش می‌یابد.

از دیگر عوامل تاثیرگذار بر تشکیل تری‌هالومتان‌ها غلظت مواد آلی در فاضلاب است. فاضلاب آبی‌پروری شامل مقادیر زیادی از مواد دفعی آبی‌زبان، غذای مصرف نشده و دیگر مواد آلی اند و همچنین نوع کربن آلی موجود در آب نیز می‌تواند از جمله عوامل تاثیرگذار بر انواع تری‌هالومتان تشکیل شده باشد (Javid et al., 2014). موادی همچون اسید هیومیک و فلویک نقش عمده‌ای در تعیین میزان و نوع تری‌هالومتان تشکیل شده دارند (Delarubia et al., 2008; Jones et al., 2012). عوامل موثر در تولید تری‌هالومتان‌ها در آب شرب یزد بررسی شده است و افزایش تولید تری‌هالومتان‌ها به‌دلیل فرسودگی شبکه شهری آبرسانی در نتیجه ورود مواد آلی به آب و افزایش تولید تری‌هالومتان‌ها بعد از فرایند کلرزنی نشان داده شده است. این بررسی‌ها تایید کننده تاثیر مواد آلی در تولید تری‌هالومتان‌ها است (Andalib et al., 2011). وجود میزان زیادی از مواد آلی در پساب پرورش آبی‌زبان نسبت به شبکه آبرسانی شهری و همچنین رودخانه‌ها منجر به افزایش بیشتر تری‌هالومتان‌ها و انواع آنها می‌شود. در این پژوهش این موضوع به اثبات رسید و میزان این مواد در مقایسه با بررسی اثرات پساب‌های شهری بیشتر بود. از طرفی وجود نوع مواد آلی و همچنین انواع یون‌ها از جمله یون بروماید موجود در آب می‌تواند در تولید انواع تری‌هالومتان‌ها تاثیر گذار باشد (Javid et al., 2014; Azad et al., 2009). عوامل متعدد دیگری نیز در تولید تری‌هالومتان‌ها در اثر کلرزنی در آب موثر هستند که از

عوامل مانند دما، زمان تماس، pH و غلظت کلر نیز از مهم‌ترین عوامل موثر در تشکیل تری‌هالومتان‌ها در منابع آب به شمار می‌آیند. در غلظت‌های بالاتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر، میزان تولید ترکیبات تری‌هالومتان در فرایند تصفیه پساب آبی پروری، بخاطر بالا بودن سطح مواد آلی افزایش یافت و به بالاتر از استانداردهای بهداشتی جهانی رسید. لذا، غلظت مجاز برای ضد عفونی و تصفیه پساب مزارع ماهیان سردآبی را می‌توان غلظتی تا حد ۱۰ میلی گرم در لیتر تعیین کرد.

بودن نسبی هزینه آن در مقایسه با سایر مواد ضد عفونی‌کننده (جنبه اقتصادی) و تاثیر پذیری زیاد کلر در نابودی میکروارگانیزم‌های موجود در آب، یک روش موفق و رایج در سراسر جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود (Noshadi *et al.*, 2012). به طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش مقدار کلرزی، در پساب آبی پروری، میزان ترکیبات تری‌هالومتان‌ها افزایش می‌یابد. زیرا، همانطور که اشاره شد مقادیر مواد آلی، در این پساب‌ها زیاد است. سایر

References

۵. منابع

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. (1980) Standard methods for experimentation of water and wastewaters, 15th edition. American public Health Association, Washington.
- 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 Guillan province. *Aquaculture Development Journal* 8(2), 73-82.
- Andalib, A.H., Ganjidoust, H, Ayati, B., Khodadadi, A. 2011. Investigation of Amount and Effective Factors on Trihalomethane Production in Potable Water of Yazd. *Journal of Health & Environment* 4(2), 137-148.
- Azad, L.T., Sari, A.E., Tavabe, K.R., 2009. Determiation of rest-oil pollution (polycyclic aromatic hydrocarbons) in surface water of three international wetlands of Iran. *Journal of Environmental Research and Development* 4(2), 310-320.
- Babaei, H., Khodaparast, S., Mirzajani, A., 2016. Determiation of fisheries potential development of Golabar Lake by investigation on same physical and chemical parameter. *Journal of Aquatic Development* 10(3), 27-37.
- Boyd, C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* 226(1-4), 101-112.
- Burton, F.L., Stensel, H.D., Tchobanoglous, G., 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse. Academic press. *McGraw Hill*. 403 p.
- Clark, R.M., Clark, D.A., Drinking water quality Management. 1st Edition. CRC Press. 245 p.

- Delarubia, A., Rodriguez, M., Leon, V.M., Prats, D., 2008. Removal of natural organic matter and THM formation potential by ultra- and Nano filtration of surface water. *Journal of Water Resources* 42(3), 714-722.
- Esmaili Sari, A. 2000. Principles of Water Quality Management in Aquaculture. Naghshe Mehr Press. Tehran. 221 p.
- Fooladvand, M., Pirsahab, M., Poureshgh, Y., Dagahi, A., 2013. Removal of natural organic matter (NOMs) from water using air stripping system. *Journal of Health* 4(1), 77-83.
- Garcia-Villanova, R.J., Garcia, C., Gomez, J.A., Garcia, M.P., Ardanuy, R., 1997. Formation, evolution and modeling of trihalomethanes in the drinking water of a town: At the municipal treatment utilities. *Water Resources* 31(6), 1299-308.
- Jaafari, M., Taghavi, K., Hasani, A., 2008. Survey the THMs value in drinking water in Lahijan and suggestion in order to product control after disinfection. *Journal of Guilan Medical Sciences University* 17(68), 1-6.
- Javid, A.B., Roodbari, A.A., Nazemi, S., 2014. Modeling Trihalomethane (THM) Formation due to River Water Chlorination. *Water and Wastewater* 26(7), 80-72.
- Jones, D.B., Song, H., Karanfil, T., 2012. The effects of selected pre-oxidation strategies on I-THM formation and speciation. *Journal of Water Resources* 46(17), 5491-5498.
- Mariolakos, I. 2007., Water Resources Management in the Framework of Sustainable Development. *Desalination* 213(1-3), 147-151.
- Nezhadheydari, H., Rezaei Tavabe, K., Mirvaghefi, A., Heydari, A., Frinsko, M., 2019. Effects of different concentrations of Fe₃O₄@ZnO and Fe₃O₄@CNT magnetic nanoparticles separately and in combination on aquaculture wastewater treatment. *Environmental Technology & Innovation* 15(1), 100-114.
- Noshadi, M., Taleb Bidokhti, M., Nejati, E., 2012. Survey of the trihalomethanes formation in drinking water distribution networks of Shiraz. *Water Resource Engineering* 5(14), 29-39.
- Perez Pavon, J.L., Herrero Martin, S., Garcia Pinto, C., Moreno Cordero, B., 2008. Determination of trihalomethanes in water samples: a review. *Analytica Chimica Acta* 629(1-2), 6-23.
- Porchas, M.M., Martinez-Cordova, L.R., 2012. World Aquaculture: Environmental Impacts and Troubleshooting Alternatives. *The Scientific World Journal*. 89 p.
- Rafiee, G., Tavabe, K.R., Frinsko, M., Daniels, H., 2015. Effects of various sodium adsorption ratio (SAR) mediums on larval performance of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture Research* 46(3), 725-735.
- Rezaei Tavabe, K., Fallahpour, A., Haji Seyed Mohammad Shirazi, R., Yavar, M., 2018. Investigating the Effects of Different Levels of Ozonation on Physicochemical

- Parameters of Produced Wastewater of the Rainbow Trout Fish Culture. *Journal of Fisheries (Iranian Journal of Natural Resources)* 71(2), 74-89.
- Rezaei Tavabe, K., Malekian, A., Afzali, A., Taya, A., 2017. Biological index and pollution assessment of Damghanroud river in the Semnan province *Desert* 22(1), 69-75.
- Rezaei Tavabe, K., Pouryounes Abkenar, B., Rafiee, G., Frinsko, M., 2019. Effects of chronic lead and cadmium exposure on the oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*) in laboratory conditions. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 221(3), 21-28.
- Rezaei Tavabe, K., Rafiee, G., Frinsko, M., Daniels, H., 2015. Interactions of different sodium and potassium concentrations on *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) offspring quality parameters. *Aquaculture Research* 46(11), 2615-2627.
- Rezaei Tavabe, K., Rafiee, G., Elhaghi, K., Mirvaghefi, A., Javanshir, A., 2018. Investigation of different treated urban wastewater concentrations effects on blood factors, cortisol hormone, liver and gill tissues of Common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Aquatic Ecology* 8(2), 1-13.
- Rezaei Tavabe, K., Zare Chahouki, M.A., Yazdanpanah, A., Vazirzadeh, A., 2010. Limnological and pollution study of Shahdadroud River, Kerman province. *Desert* 14(1), 21-26.
- Rodregues, M.J., Serodes, J.B., 2001. Spatial and temporal evolution of trihalomethanes in three water distribution systems. *Water Resources* 35(6), 1572-86.
- Rodriguez, M.J., Serodes, J.B., Levallois, P., Proulx, F., 2007. Chlorinated disinfection by-products in drinking water according to source, treatment, season, and distribution location. *Journal of Environment Engineering Society* 6(4), 355-365.
- Rosenthal, H. 1997. Environmental issues and the interaction of aquaculture with other competing resource users. *Aquaculture Association Journal* 2(1), 1-13.
- Samadi, M.T., Nasser, S., Mesdaghinia, A., Alizadefard, M.R., 2006. A comparative study on THMS removal efficiencies from drinking water through nanofiltration and air stripping packed-column. *Journal of Water and Wastewater* 57, 14-21.
- Shariat Panahi, M., 1999. Principles and the quality of water and wastewater treatment. University of Tehran Press. Tehran. 312 p.
- Smith, M.D., Roheim, C.A., Crowder, L.B., 2010. Sustainability and global seafood. *Science* 327(5), 784-786.
- Sun, Y.X., Wu, Q.Y., Hu, H.Y., Tian, J., 2009. Effects of operating conditions on THMs and HAAs formation during wastewater chlorination. *Journal of Hazard* 168(2-3), 1290-1295.

- Tavabe, K.R., Rafiee, G., Frinsko, M., Daniels, H., 2013. Effects of different calcium and magnesium concentrations separately and in combination on *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) larviculture. *Aquaculture* 412–413(1), 160-166.
- Toroz, I., Uyak, V., 2005. Seasonal variations of trihalomethanes (THMs) in water distribution networks of Istanbul City. *Desalination* 176(1-3), 127-41.
- Yavar, M., Rezaei Tavabe, K., Taghavi, L., Karami, J., 2019. Investigation of different levels of reducing oxidation potential (ORP) on quality indices of warm-water aquaculture wastewater. *Aquaculture Sciences* 7(1), 59-67.
- Yazdanbakhsh, A., Leili, M., Rezazadeh Azari, M., Masoudinejad, M., Majlesi, M., 2015. Chloroform concentration in drinking water of Tehran. *Journal of Mazandaran University Medical Science* 24(3), 102-13.
- Zhian, H., 2008. Usage of ozonation on water treatment. *Human and Environment Journal* 7(2), 19-33.