

بررسی اثرات حضور دو گونه کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) در فاضلاب شهری بر شاخص‌های کیفی فاضلاب (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سمنان)

کامران رضایی توابع^{1*}، غلامرضا رفیعی¹، فاطمه متشفی¹، علی تایا²

¹گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
²مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان- ایستگاه پژوهشی سمنان، دانشگاه تهران، سمنان، ایران.
*نویسنده مسئول: krtavabe@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۶

تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۱

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر حضور گونه‌های کپور نقره‌ای و کپور معمولی در فاضلاب مرحله تصفیه تکمیلی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و اثرات آنها بر شاخص‌های کیفی فاضلاب مانند BOD، COD، TSS، TDS و MPN بار باکتریایی کلیفرم انجام گرفت. برای این تحقیق، یک تیمار شاهد بدون حضور ماهی و سایر تیمارها شامل زیتوده مساوی از دو گونه ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای با دو تیمار وزنی 30 ± 5 و 60 ± 5 گرم (در هر تیمار ۳۰۰ گرم زیتوده از دو وزن مختلف هر کدام از ماهیان) با سه تکرار بودند و هر تیمار شامل سه مخزن ۸۰ لیتری بود که فاضلاب بخش لاگون تصفیه تکمیلی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سمنان به آنها وارد شد. دوره تحقیق ۳۰ روز در نظر گرفته شد و در فواصل زمانی ۱۰ روزه از شروع دوره تحقیق، نمونه‌برداری از فاضلاب و آنالیز نمونه‌ها انجام گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین ضریب رشد ($3/8$ درصد) و همچنین بیشترین میزان تلفات (20 درصد) در طول دوره تحقیق مربوط به تیمار کپور نقره‌ای 30 ± 5 بود. در تمامی تیمارها به جز تیمار شاهد، در طول دوره تحقیق، فاکتورهای BOD، COD، TSS در بین مراحل نمونه‌برداری به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) روند کاهشی نشان دادند. در حالی‌که این روند برای فاکتور TDS در تمامی تیمارها دارای روند افزایشی بود و در تیمار شاهد این فاکتور در طول دوره تحقیق ثابت و فاقد تفاوت معنی‌دار بود. با وجود این، شاخص MPN بار باکتریایی کلیفرم در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در پایان دوره تحقیق، بهترین عمل‌کرد در بهبود شاخص‌های کیفی فاضلاب مربوط به تیمار ماهی کپور نقره‌ای 60 ± 5 گرم بود. کارایی کاهش TSS در این تیمار $50-55$ درصد در طول دوره تحقیق بود به طوری که علاوه بر کاهش TSS با جذب بیشتر مواد معلق در بدن و تولید مدفوع کمتر، TDS کمتری نیز در این تیمار ثبت گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده عمل‌کرد تغذیه‌ای ماهی کپور نقره‌ای تیمار وزنی 60 ± 5 نه تنها بر کاهش TSS بلکه با جذب بیشتر مواد آلی در بدن و مدفوع کمتر، TDS کمتری را نیز در مخازن وارد می‌کند و کارایی تصفیه مناسب‌تری نسبت به سایر تیمارها دارد.

واژگان کلیدی: فاضلاب، کارایی تصفیه، مواد جامد محلول، مواد جامد معلق.

مقدمه

همین خاطر امروزه در کشورهای پیشرفته فاضلاب-های تصفیه شده با رعایت ضوابط زیست‌محیطی مورد استفاده مجدد برای کاربری‌های مختلف قرار می‌گیرند. یکی از مهمترین و قابل مدیریت‌ترین انواع فاضلاب، فاضلاب شهری و خانگی است که فاضلاب تصفیه شده خروجی از تصفیه‌خانه‌های شهری یا در منابع آبهای سطحی رهاسازی می‌شوند یا برای تغذیه آب‌خوان‌ها و منابع آبهای زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند یا در بخش‌های مختلف کاربری مجدد مورد

عدم توانایی در دسترسی و حفاظت از منابع آبی سالم و مطمئن می‌باشد. به‌نظر می‌رسد در آینده‌ای نزدیک و با افزایش جمعیت و همچنین شتاب گرفتن چرخ‌های صنعت کشور، رقابت سختی بین بخش‌های مصرف‌کننده آب شامل شرب، صنعت، محیط‌زیست، آبی‌ری‌پرووری و کشاورزی به وجود آید. یکی از راه‌های اصلی برای مقابله با مسئله بحران آب، کاربرد زنجیره‌ای آب، متناسب با تغییر کیفیت آن در بخش‌های متنوع مصرف می‌باشد (Mukherjee, 1998; Leghari et al., 2005; Al-Turki, 2010).

استفاده قرار می‌گیرند (Erfanmanesh and Afiuni, 2002; Monzavi, 2008). بخش‌های مختلف شیلات و آبی‌پروری ارتباط تنگاتنگ با منابع آبی مختلف داشته و این بخش یکی از حلقه‌هایی است که در کاربرد زنجیره‌ای آب و فاضلاب می‌تواند نقش موثری داشته باشد. یکی از روش‌های تصفیه فاضلاب، استفاده از انواع گونه‌های آبیان با تغذیه فیلتراسیونی و پوده‌خواری است که با کاهش مواد آلی فاضلاب و تبدیل آن به مواد معدنی باعث افزایش کارایی تصفیه فاضلاب می‌شود (Asharitabar et al., 2010). نتایج تحقیقات دهه‌های اخیر راه را برای کاربرد وسیع فاضلاب‌ها و آب‌های نامتعارف به صورت پایدار در کشاورزی و سایر بخش‌های مصرف کننده فراهم کرده است (Tam and Wong, 1989; Fischer, 1997; Tsui et al., 2015; Sood et al., 2014). استفاده از فاضلاب انسانی در کشاورزی با هدف آبیاری محصولات و حاصل‌خیز کردن خاک‌ها از قدیم در کشورهای آسیایی رواج داشته است. در عصر معاصر و در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، در کشورهای مانند آلمان، انگلیس و آمریکا مهمترین روش دفع فاضلاب، تخلیه آن به زمین‌های کشاورزی بوده است. در کشورهای خاورمیانه که اکثر آن‌ها در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار دارند و با معضل کم آبی آشنا هستند، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی هر روز اهمیت بیشتری می‌یابد، زیرا در اغلب این کشورها، بخش کشاورزی مهمترین مصرف کننده آب است.

یکی از راه‌های اصلی برای مقابله با مسئله بحران آب، کاربرد زنجیره‌ای آب، متناسب با تغییر کیفیت آن در بخش‌های متنوع مصرف می‌باشد (Tchobanoglous and Burton, 2004; Al-Turki, 2010)، به همین خاطر در کشورهای پیشرفته فاضلاب‌های تصفیه شده با رعایت ضوابط زیست محیطی مورد استفاده مجدد برای کاربری‌های مناسب، قرار می‌گیرند. مواد جامد معلق (TSS = Total Suspended Solids) یک پارامتر فیزیکی کیفیت آب است که با توجه به تأثیری که در شفافیت آب دارد در تصفیه نهایی یا تکمیلی فاضلاب حائز اهمیت زیادی است (Koely, 1997; Silva et al., 2014). مواد جامد معلق در آب به عبارتی مواد معلق هستند که با توجه به اندازه‌ای که دارند قابل فیلتراسیون فیزیکی در روند تصفیه فاضلاب نیستند. این مواد شامل تمام مواد معدنی و آلی هستند که در آب به صورت معلق در ستون آب هستند و عمدتاً شامل فیتوپلانکتون‌ها، زئوپلانکتون‌ها، باکتری‌ها، سیلت (لای) و سایر مواد معدنی غیر محلول در آب هستند (Dinges, 1982). امروزه غلظت این مواد جامد در آب به عنوان یک پارامتر کیفی فاضلاب تصفیه شده برای کاربری‌های مختلف آب محسوب می‌شود.

آبیان بر اساس سیستم تغذیه‌ای هتروتروفی، پس از مصرف مواد آلی موجود در فاضلاب به علت مصرف انرژی مواد آلی در سیستم متابولیسم خود، بار آلی را در فاضلاب کاهش داده و در نهایت باعث کاهش TSS و BOD فاضلاب می‌شوند (Asharitabar, 2010). یکی از روش‌های مؤثر در کاهش TSS و BOD روش بیولوژیک استفاده از گونه‌های آبی با رژیم غذایی فیلتراسیون پیوسته است. به نظر می‌رسد گونه‌هایی از خانواده کپورماهیان به خصوص کپور نقره‌ای و کپور معمولی با توجه به سازگاری مناسب اکولوژیک و رژیم غذایی فیلتراسیونی کپور نقره‌ای و پوده‌خواری کپور معمولی، گزینه‌های مناسبی برای این تصفیه بیولوژیک در لاگون تصفیه تکمیلی و مراحل انتهایی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جهت کاهش بیولوژیک TSS و BOD فاضلاب و بهبود کیفیت آن باشند. هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر حضور دو رده وزنی ماهی کپور نقره‌ای و کپور معمولی در فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه فاضلاب شهری سمنان و اثرات این دو گونه بر شاخص‌های کیفی فاضلاب مانند BOD، TSS، COD، TDS و MPN (Most Probable

(Number) بار باکتریایی کلیفرم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ماهیان موردنیاز آزمایش: تعداد ۲۴۰ قطعه ماهی کپور معمولی در دو وزن تقریبی 30 ± 5 و 60 ± 5 گرم، از مرکز خصوصی تکثیر و پرورش چپکرد واقع در بابلسر تهیه و به کارگاه تکثیر و پرورش آبزیان گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل گردید. تمامی ماهیان پس از انتقال به کارگاه و تا شروع تحقیق، در مخزنی با حجم ۱۰۰۰ لیتر آب نگهداری شدند. در طول زمان نگهداری ماهیان (۱۰ روز)، هوادهی مخازن به وسیله هوادهای معمولی انجام گردید و دمای آب مخازن نیز با استفاده از هیترهای ترموستات دار در دمای ۲۴ درجه سانتی-گراد تنظیم شدند. در طول تحقیق، تغذیه ماهیان به طور مساوی در تیمارها از غذای مصنوعی پنج میلی-متری مخصوص ماهیان گرمابی ساخت شرکت فرادانه شهرکرد انجام گردید.

انتقال فاضلاب موردنیاز تحقیق: فاضلاب موردنیاز این تحقیق به میزان ۱۰۰۰ لیتر از لاگون (حوضچه تصفیه تکمیلی) تصفیه‌خانه فاضلاب شهری سمنان با استفاده از تانکر مخصوص حمل فاضلاب به کارگاه تکثیر و پرورش آبزیان گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل گردید. تصفیه‌خانه فاضلاب شهری سمنان در هفت کیلومتری جنوب شهر سمنان و در نزدیکی روستای خیرآباد قرار دارد. این تصفیه‌خانه از نوع برکه‌های تثبیت (WSP = Waste Stabilization Ponds) است و دارای چهار لاگون بی‌هوازی، اختلاط اول، اختلاط دوم و ته‌نشینی می‌باشد.

بلافاصله پس از انتقال فاضلاب به کارگاه تکثیر و پرورش آبزیان، نمونه‌برداری و سنجش فاکتورهای مختلف کیفی فاضلاب شامل TSS، BOD، COD در آزمایشگاه کیفیت آب شرکت پارسیان مستقر در پارک علم و فناوری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گردید. همچنین

جهت سازگاری ماهیان قبل از شروع تحقیق، با اضافه نمودن تدریجی فاضلاب در چهار مرحله به مخازن نگهداری ماهیان سازگاری ماهیان جهت جلوگیری از شوک ناگهانی انتقال از محیط آب به محیط فاضلاب به مدت یک روز انجام گردید.

تیمارهای تحقیق: در این تحقیق، یک تیمار شاهد بدون حضور ماهی و فقط دارای فاضلاب و برای سایر تیمارها، دو گونه ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای با دو رده وزنی 30 ± 5 و 60 ± 5 گرم با سه تکرار در نظر گرفته شد. هر تیمار شامل سه مخزن ۸۰ لیتری بود که در هر مخزن ۷۰ لیتر فاضلاب بخش لاگون تصفیه تکمیلی تصفیه‌خانه فاضلاب سمنان وارد شد و سپس در هر مخزن ۳۰۰ گرم زیتوده از دو وزن مختلف هر کدام از ماهیان در نظر گرفته شد و پس از توزین ماهیان سازگار شده در مخازن وارد مخازن آزمایشی شدند. پس از معرفی ماهیان به مخازن و شروع تحقیق، تأثیر وزن‌های مختلف ماهیان بر شاخص‌های کیفی فاضلاب در یک دوره ۳۰ روزه مورد بررسی قرار گرفت.

نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها: بلافاصله بعد از انتقال فاضلاب به مخازن و قبل از معرفی ماهیان به تیمارهای فاضلاب، یک نمونه شاهد در زمان صفر در یک بطری پلاستیکی ۱/۵ لیتری نمونه‌برداری شد و به آزمایشگاه کیفیت فاضلاب پارسیان مستقر در پارک علم و فناوری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل گردید و فاکتورهای کیفی فاضلاب اندازه‌گیری و آنالیز شدند. سپس با معرفی ماهیان به مخازن، هر ۱۰ روز یکبار نمونه‌برداری از هر تکرار به اندازه یک لیتر در سه دوره تا روز ۳۰ و پایان دوره تحقیق انجام گرفت. فاکتورهای کیفی فاضلاب شامل TSS، BOD، COD، MPN و MPN بار باکتریایی کلیفرم در مراحل مختلف تحقیق، بر اساس دستورالعمل استاندارد آنالیز کیفی برای فاضلاب (Standard methods, 2010) انجام گرفت. همچنین شاخص‌های درصد افزایش وزن بدن (WG = Weight Gain) ماهیان و تلفات ماهیان در طول

جدول ۱- میانگین رشد ماهیان و تلفات در تیمارهای مختلف در طول دوره تحقیق.

تیمار	میانگین وزن اولیه W_1	میانگین وزن ثانویه W_2	WG%	درصد تلفات ماهیان در پایان دوره تحقیق
تیمار وزنی کپور نقره‌ای 30 ± 5	$31/3 \pm 0/5$	$32/5 \pm 0/2$	$3/8 \pm 0/2$	۲۰
تیمار وزنی کپور نقره‌ای 60 ± 5	$57/7 \pm 1/1$	$59/2 \pm 1/1$	$2/6 \pm 0/1$	۱۰
تیمار وزنی کپور معمولی 30 ± 5	$31/5 \pm 0/5$	$32/5 \pm 0/2$	$3/2 \pm 0/1$	۱۵
تیمار وزنی کپور معمولی 60 ± 5	$57/4 \pm 2$	$58/5 \pm 1/5$	$1/9 \pm 0/1$	۱۰

جدول ۲- میانگین تغییرات BOD (میانگین \pm انحراف معیار) در تیمارهای مختلف در طول دوره تحقیق (مقایسه درون گروهی بوده و حروف متفاوت در هر سطر بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0/05$) می‌باشد).

تیمارها	زمان شروع آزمایش	روز دهم آزمایش	روز بیستم آزمایش	روز سیام آزمایش
تیمار شاهد	62 ± 2^a	39 ± 5^b	37 ± 4^b	35 ± 3^b
تیمار وزنی کپور نقره‌ای 30 ± 5	62 ± 2^a	49 ± 6^b	36 ± 5^c	31 ± 3^d
تیمار وزنی کپور نقره‌ای 60 ± 5	62 ± 2^a	51 ± 4^b	33 ± 5^c	17 ± 2^d
تیمار وزنی کپور معمولی 30 ± 5	62 ± 2^a	47 ± 5^b	32 ± 3^c	22 ± 2^d
تیمار وزنی کپور معمولی 60 ± 5	62 ± 2^a	41 ± 6^b	26 ± 2^c	19 ± 3^d

BOD در حدفواصل زمانی روز بیستم و سیام تحقیق در تیمار کپور نقره‌ای 60 ± 5 گرم ثبت گردید (جدول ۲). میزان BOD در پایان دوره تحقیق، تیمار شاهد با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار نشان داد و در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌دار فقط در بین تیمارهای کپور نقره‌ای 60 ± 5 گرم و کپور معمولی 30 ± 5 گرم نشان داده شد (شکل ۱).

مشابه فاکتور BOD، بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳، فاکتور COD نیز در طول دوره تحقیق در تمامی تیمارها بطور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) روند کاهش داشته است و بیشترین شدت کاهش COD در حدفواصل زمانی روز بیستم و سیام تحقیق در تیمار کپور نقره‌ای 30 ± 5 گرم ثبت گردید. در پایان دوره تحقیق، میزان COD تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای مختلف نشان داد و بیشترین میزان COD مربوط به تیمار کپور معمولی 30 ± 5 گرم و کمترین میزان COD و بهترین عملکرد کاهش COD مربوط به هر دو تیمار وزنی کپور نقره‌ای بود (شکل ۲).

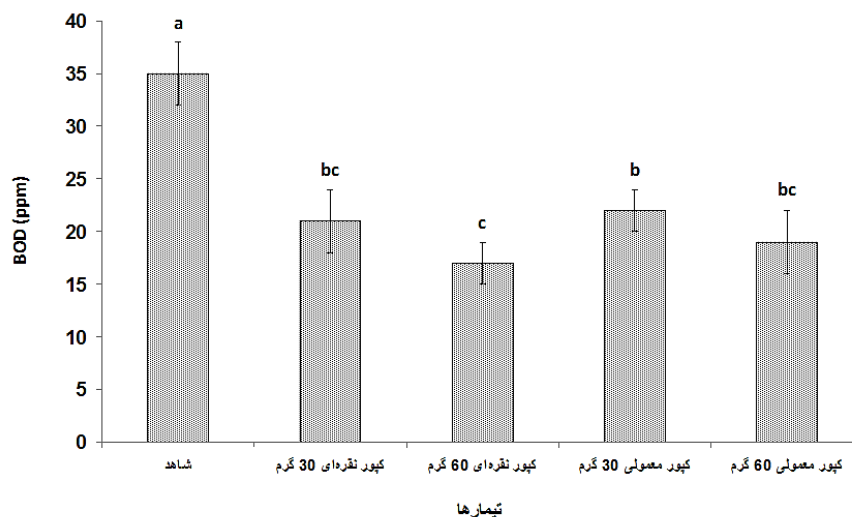
فاکتور TSS در تمامی تیمارها به جز در تیمار شاهد در طول دوره تحقیق روند کاهشی نشان داد و تغییرات میانگین آن در بین مراحل نمونه‌برداری به-طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) تا پایان دوره تحقیق روند

دوره تحقیق اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفت. **آنالیزهای آماری:** قبل از انجام آنالیز واریانس، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. برای آنالیز داده‌ها از آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف (با سطح معنی‌داری $P \leq 0/05$) با آزمون دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد.

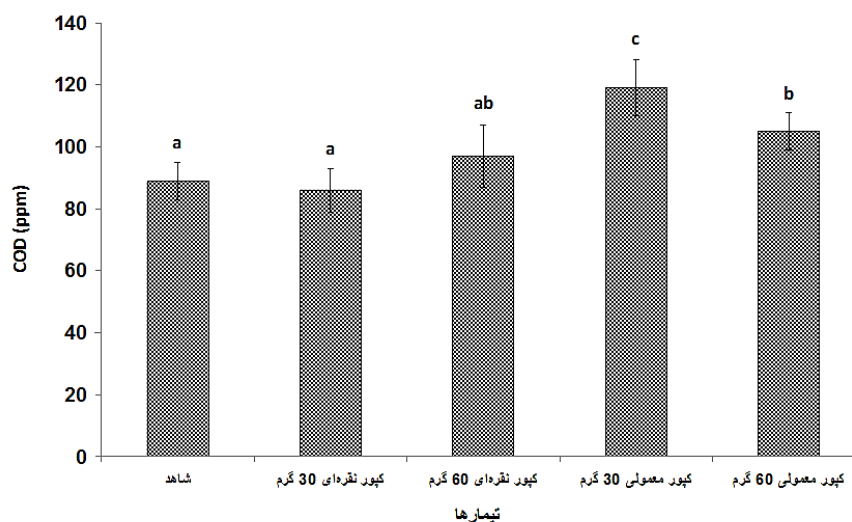
نتایج

نتایج ضریب رشد و تلفات ماهیان در طول دوره تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس داده‌ها، بیشترین ضریب رشد ($3/8$ درصد) و کمترین ضریب رشد ($1/9$ درصد) به ترتیب مربوط به تیمارهای ماهی کپور نقره‌ای 30 ± 5 و کپور معمولی 60 ± 5 گرم بود. همچنین بیشترین میزان تلفات (20 درصد) مربوط به تیمار کپور نقره‌ای 30 ± 5 بود (جدول ۱).

در تمامی تیمارها به جز تیمار شاهد، در طول دوره تحقیق، فاکتور BOD روند کاهشی داشته و تغییرات میانگین آن در بین مراحل نمونه‌برداری به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) تا پایان دوره تحقیق روند کاهشی را نشان می‌دهد. بیشترین شدت کاهش



شکل ۱ - مقایسه BOD (میانگین \pm انحراف معیار) در تیمارهای مختلف وزنی در ماهیان در پایان دوره مطالعاتی پایلوت طرح (روز سی‌ام) (حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد).



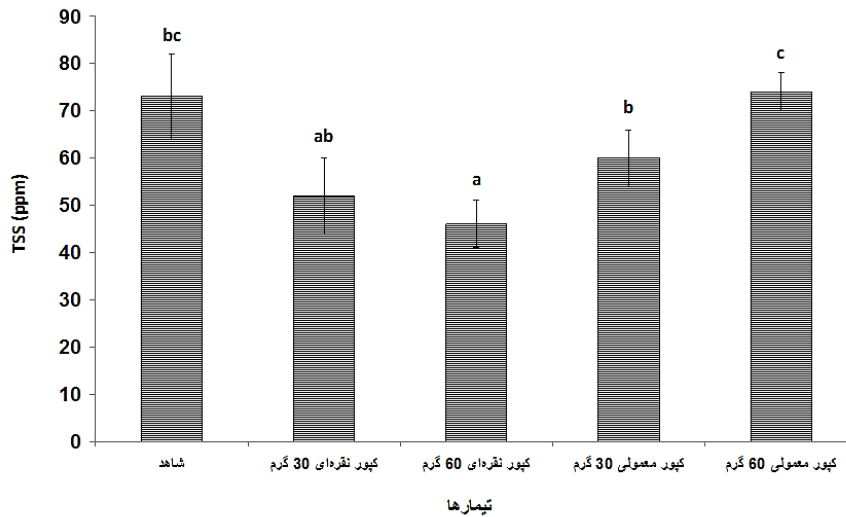
شکل ۲ - مقایسه COD (میانگین \pm انحراف معیار) در تیمارهای مختلف وزنی در ماهیان در پایان دوره مطالعاتی پایلوت طرح (روز سی‌ام) (حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد).

جدول ۳- میانگین تغییرات COD (میانگین \pm انحراف معیار) در تیمارهای مختلف در طول دوره تحقیق (مقایسه درون گروهی بوده و حروف متفاوت در هر سطر بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد).

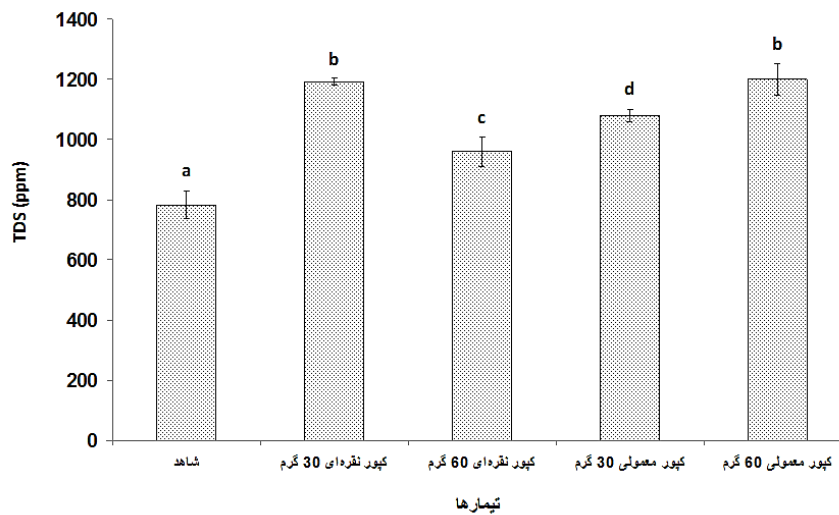
تیمارها	زمان شروع آزمایش	روز دهم آزمایش	روز بیستم آزمایش	روز سی‌ام آزمایش
تیمار شاهد	149±8 ^a	129±5 ^b	107±4 ^c	89±6 ^d
تیمار وزنی کپور نقره‌ای 30±5	149±8 ^a	132±9 ^b	112±11 ^c	83±7 ^d
تیمار وزنی کپور نقره‌ای 60±5	149±8 ^a	122±7 ^b	104±4 ^c	86±5 ^d
تیمار وزنی کپور معمولی 30±5	149±8 ^a	138±3 ^b	122±5 ^c	106±7 ^d
تیمار وزنی کپور معمولی 60±5	149±8 ^a	125±8 ^b	105±7 ^c	89±6 ^d

TSS در پایان دوره تحقیق، تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای مختلف نشان داد و بیشترین میزان TSS مربوط به تیمار کپور معمولی 60±5 گرم و تیمار

کاهشی را داشت. بیشترین شدت کاهش TSS در حدفاصل زمانی روز بیستم و سی‌ام تحقیق مربوط به دو تیمار وزنی کپور نقره‌ای بود (جدول ۴).



شکل ۳ - مقایسه TSS (میانگین \pm انحراف معیار) در تیمارهای مختلف وزنی در ماهیان در پایان دوره مطالعاتی پایلوت طرح (روز سی‌ام) (حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد).



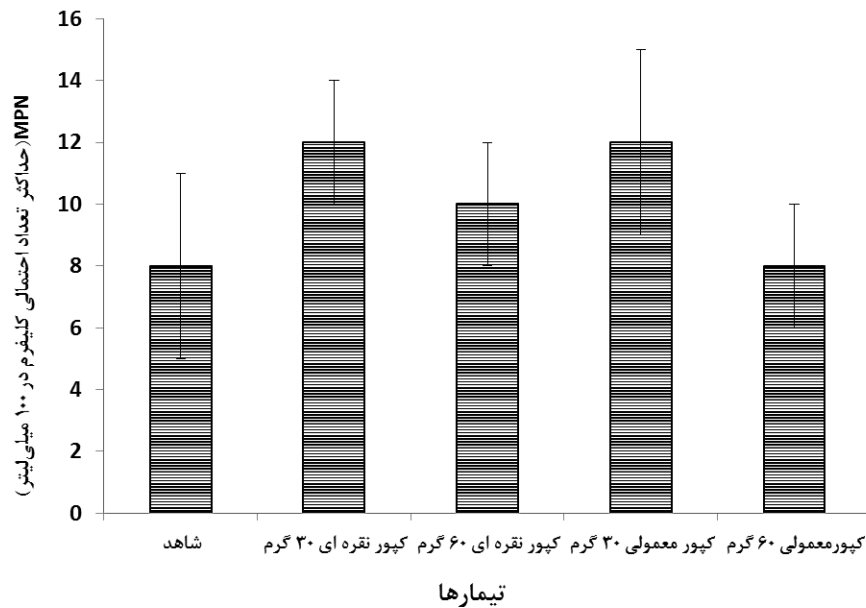
شکل ۴ - مقایسه TDS (میانگین \pm انحراف معیار) در تیمارهای مختلف وزنی در ماهیان در پایان دوره مطالعاتی پایلوت طرح (روز سی‌ام) (حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد).

جدول ۴ - میانگین تغییرات TSS (میانگین \pm انحراف معیار) در تیمارهای مختلف در طول دوره تحقیق (مقایسه درون گروهی بوده و حروف متفاوت در هر سطر بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد).

تیمارها	زمان شروع آزمایش	روز دهم آزمایش	روز بیستم آزمایش	روز سی‌ام آزمایش
تیمار شاهد	۸۲±۶ ^a	۷۷±۵ ^b	۷۵±۵ ^b	۷۳±۹ ^b
تیمار وزنی کیپور نقره‌ای ۳۰±۵	۸۲±۶ ^a	۱۰۴±۴ ^b	۷۱±۳ ^c	۵۲±۸ ^d
تیمار وزنی کیپور نقره‌ای ۶۰±۵	۸۲±۶ ^a	۹۸±۵ ^b	۶۵±۸ ^c	۴۶±۵ ^d
تیمار وزنی کیپور معمولی ۳۰±۵	۸۲±۶ ^a	۱۱۲±۷ ^b	۷۵±۳ ^c	۶۰±۶ ^d
تیمار وزنی کیپور معمولی ۶۰±۵	۸۲±۶ ^a	۱۳۴±۹ ^b	۸۵±۶ ^c	۷۴±۴ ^d

سایر فاکتورها، در تمامی تیمارها در طول دوره تحقیق روند افزایشی نشان داد در حالی‌که در طول دوره تحقیق در تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نبود. کمترین میزان TDS در پایان دوره تحقیق مربوط به

شاهد و همچنین کمترین میزان TSS و بهترین عملکرد کاهش TSS مربوط به هر دو تیمار وزنی کیپور نقره‌ای بود (شکل ۳). بر اساس اطلاعات جدول ۵ فاکتور TDS برعکس



شکل ۵ - مقایسه تغییرات MPN بار باکتری‌های کلiform (میانگین ± انحراف معیار) در تیمارهای مختلف وزنی در ماهیان در پایان دوره مطالعاتی پایلوت طرح (روز سی‌ام) (حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد).

جدول ۵- میانگین تغییرات TDS (میانگین ± انحراف معیار) در تیمارهای مختلف در طول دوره تحقیق (مقایسه درون گروهی بوده و حروف متفاوت در هر سطر بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد).

تیمارها	زمان شروع آزمایش	روز دهم آزمایش	روز بیستم آزمایش	روز سی‌ام آزمایش
تیمار شاهد	81.0 ± 3.2 ^a	82.7 ± 4.1 ^a	81.9 ± 2.7 ^a	78.2 ± 4.6 ^a
تیمار وزنی کپور نقره‌ای ۳۰ ± ۵	81.0 ± 3.2 ^a	96.0 ± 4.1 ^b	115.0 ± 2.3 ^c	119.2 ± 1.3 ^d
تیمار وزنی کپور نقره‌ای ۶۰ ± ۵	81.0 ± 3.2 ^a	88.0 ± 2.1 ^b	71.1 ± 4.3 ^c	96.0 ± 4.9 ^d
تیمار وزنی کپور معمولی ۳۰ ± ۵	81.0 ± 3.2 ^a	86.1 ± 3.7 ^{ab}	89.2 ± 4.4 ^b	108.0 ± 2.1 ^c
تیمار وزنی کپور معمولی ۶۰ ± ۵	81.0 ± 3.2 ^a	85.4 ± 2.2 ^b	94.8 ± 3.9 ^c	120.7 ± 5.1 ^d

قرار گیرد به‌عنوان فاضلاب شناخته می‌شود که معمولاً فاضلاب‌ها چه تصفیه شده و چه به‌صورت خام در طبیعت و عموماً به منابع آب‌های سطحی رهاسازی می‌شوند. اگر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی آب و فاضلاب طوری تغییر نماید که برای انسان، کشاورزی و سایر موجودات غیر قابل مصرف و مضر باشد، باعث ایجاد آلودگی زیست محیطی می‌شود (Esmailisari, 2004). در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری کیفیت فاضلاب خام تحت تأثیر فاکتورهایی مانند میزان آب مصرفی، شرایط آب و هوایی حاکم بر منطقه، نوسانات تولید فاضلاب (نوسانات ساعتی، روزانه و فصلی)، میزان نشت، شرایط اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی جامعه، ضریب بهره‌برداری از شبکه جمع‌آوری، مجزا و یا مختلط

تیمار شاهد بود و تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای آزمایشی نشان داد که بیشترین میزان TDS مربوط به دو تیمار کپور نقره‌ای ۳۰ ± ۵ و کپور معمولی ۶۰ ± ۵ گرم و کمترین میزان و بهترین عملکرد کاهش TDS مربوط به تیمار وزنی کپور نقره‌ای ۶۰ ± ۵ بود (شکل ۴). همچنین نتایج بررسی شاخص MPN بار باکتریایی کلiform تفاوت معنی‌داری را در بین تیمارها نشان نداد (شکل ۵).

بحث

افزودن هر ماده خارجی به ترکیبات طبیعی آب باعث آلودگی و براساس ماهیت ماده خارجی باعث بالا رفتن فاکتورهای کیفی BOD, COD, TDS و TSS می‌شود و اگر این آب حداقل یک بار مورد استفاده

گونه کپور معمولی و کپور نقره‌ای فاکتور BOD و COD کاهش می‌یابد و این روند کاهش تا پایان دوره تحقیقاتی ادامه می‌یابد. کاهش BOD با این روند را در طول دوره نمی‌توان فقط به حضور ماهی نسبت داد زیرا میکروارگانیسم‌ها در داخل فاضلاب فعال بوده و با تجزیه مواد بیولوژیک باعث کاهش BOD می‌شوند. جهت مقایسه عملکرد تیمارهای مختلف، میزان BOD در پایان دوره مطالعاتی طرح مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که تیمار کپور نقره‌ای 60 ± 5 بهترین عملکرد را کاهش میزان BOD نسبت به سایر تیمارها دارد. در تمامی تیمارها، برای بررسی روند تغییرات فاکتور BOD، علاوه بر وجود میکروارگانیسم‌ها در فاضلاب، آبی به عنوان یک هتروتروف، وارد سیستم شده و شروع به تغذیه کرده و کاهش سریع مواد آلی را سبب شده است (Asharitabar et al., 2010). کاهش BOD از ابتدا تا انتهای دوره آزمایش شیب نسبتاً یکنواختی را داشته که احتمال می‌رود به علت تعادل فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تولید فضولات ماهی است. ماهی کپور نقره‌ای دارای رژیم غذایی فیلتراسیونی پلانکتون‌خواری است و با پالایش آب مواد معلق و فیتوپلانکتون‌ها را مصرف می‌کند (Ahmadi et al., 2001)، که بخشی از این مواد جذب بدن شده و از پیکره آب خارج می‌شود و بخشی به صورت مدفوع دفع می‌شود که با توجه به فرایند هضمی که در لوله گوارش ماهی صورت گرفته است با انرژی زیستی کمتری وارد مخازن شده و تجزیه آن برای میکروارگانیسم‌ها راحت‌تر و با انرژی پایین‌تر و مصرف اکسیژن کمتری صورت می‌گیرد. همچنین بخش زیادی از آلودگی فاضلاب ناشی از مواد شیمیایی خارجی است که وارد فاضلاب شده است و به صورت معلق یا محلول هستند و برای اکسیداسیون آن‌ها نیاز به اکسیژن محلول است. بدیهی است هرچه مقدار این مواد شیمیایی در فاضلاب بیشتر باشد، بار آلودگی و به تبع آن COD نیز بیشتر خواهد بود (Naseri, 2001; Bina, 2005; Monzavi, 2008). بنابراین

بودن سامانه جمع‌آوری بوده و کیفیت فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها بر حسب مبانی و فرایند تصفیه متغیر خواهد بود (Monzavi, 2008). فاضلاب‌های خام شهری بر اساس ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی در سه گروه فاضلاب‌های قوی، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی می‌شوند، به طوری که فاضلابی با BOD پایین‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و COD پایین‌تر از ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، به عنوان فاضلاب ضعیف شناخته می‌شود (Adrian and Sanders, 1998; Corbit, 1999). فاضلاب تصفیه‌خانه شهر سمنان در کلاس فاضلاب‌های ضعیف قرار دارد و نتایج حضور ماهی در فاضلاب تصفیه شده شهری از دو جنبه میزان بازماندگی ماهی در فاضلاب در طول دوره تحقیق و تأثیر ماهی بر شاخص‌های عمومی کیفی فاضلاب حائز اهمیت است. با توجه به این که به طور عمومی میزان تلفات ماهیان در این تحقیق نسبتاً پایین و بر اساس جدول ۱ بیشترین میزان تلفات (۲۰٪) مربوط به ماهی کپور نقره‌ای با تیمار وزنی 30 ± 5 بود. از آنجایی که تلفات ماهیان بعد از روز پانزدهم دوره تحقیق اتفاق افتاد و دوره سازگاری ماهی به کیفیت فاضلاب در این مدت سپری شده است، تلفات ماهیان نه به خاطر کیفیت فاضلاب بلکه عمدتاً به خاطر تغذیه در مخازن با توجه به تراکم و تعداد ماهیان بود. مطالعات نشان داده است که امکان پرورش چندین گونه گیاهی و زنده-مانی ماهیان زینتی به روش آکوآپونیک در فاضلاب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری برای استفاده بیشتر و بهتر از فاضلاب شهری و بازچرخ آن وجود دارد و ماهی زینتی پیرانای شکم قرمز (*Serrasalmus mattereri*) توانایی سازگاری، زنده‌مانی و رشد در فاضلاب شهری تصفیه‌خانه بوشهر را دارند (Agharokh, 2008). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که سازگاری برای گونه‌های کپور معمولی و کپور نقره‌ای در فاضلاب تصفیه‌خانه شهری سمنان امکان پذیر و بازماندگی آن‌ها بالا است. بر اساس نتایج پس از ورود هر دو تیمار وزنی دو

فاکتور TSS افزایش می‌یابد که این امر مربوط به مدفوع ماهیان است که خارج از تیمارها تغذیه کرده اند و بعد از ورود به تیمارها مدفوع ماهی باعث افزایش TSS شده است اما بعد از روز دهم در تمامی تیمارها میزان TSS با روند کاهش در تمامی تیمارها کاهش یافته و در پایان دوره تحقیق به کمترین میزان خود می‌رسد. در مقایسه عمل‌کرد ماهیان در پایان دوره پایلوت، بر اساس نتایج بهترین کارایی کاهش TSS مربوط به بیوماس کپور نقره‌ای 60 ± 5 گرم می‌باشد و کارایی کاهش TSS در این تیمار ۵۵- درصد در طول دوره تحقیق می‌باشد. در مطالعات مشابه امکان‌سنجی کاهش TSS در یک سد مخزنی در برزیل با استفاده از ماهی تیلپیا انجام شد (Fischer, 1997) و همچنین استفاده از آبزیان با تغذیه فیلتراسیونی نظیر کپور هندی، باعث کاهش TSS آب تصفیه شده شهر کلکته هند گردید (Bunting, 2004) که در هر دو مورد نتایج مشابه نتایج تحقیق حاضر بود.

یکی دیگر از پیراسنجه‌های مهم در کیفیت فاضلاب، TDS است که تغییرات آن در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. این پیراسنجه کل مواد جامد محلول در آب است که می‌تواند شاخص مناسبی برای تعیین کیفیت کلی آب و فاضلاب باشد (Naseri, 2001; Monzavi, 2008). مطالعات نشان داده است که روش‌های معمول و متعارف تصفیه فاضلاب برای حذف املاح موجود در آب مناسب و کافی نمی‌باشد و روش‌های نوین شامل روش غشایی، تبادل یونی و الکترودیالیز برای حذف TDS کارایی بالایی دارد (Fardi et al., 2012). در این تحقیق بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که با ورود هر دو گونه ماهی، در زمان صفر تا ۱۰ روز، میزان فاکتور TDS افزایش داشته و تأثیر مطلوبی از کپور نقره‌ای و معمولی نداشته است، که بازگو کننده سرعت معدنی شدن مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها است. فاکتور TDS نتیجه قطبیت مواد در پیوندهای شیمیایی مختلف مواد ناخالصی و قدرت حلالیت آب است از است که

اندازه‌گیری مقدار مواد شیمیایی خارجی فاضلاب، کلید اصلی در تعیین مقدار آلودگی و آلاینده‌گی فاضلاب است. در تمامی تیمارها بر اساس انتظار فاکتور COD روند کاهش را نشان داد اما چیزی که حائز اهمیت است در پایان دوره پایلوت تحقیقاتی به جز بین تیمار کپور معمولی ۳۰ گرم و کپور نقره‌ای ۳۰ گرم تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. نتایج بیانگر این موضوع است که ماهیان در کاهش میزان COD فاضلاب خیلی مؤثر نیستند. زیرا آبزیان مورد مطالعه، به‌علت ویژگی فیزیولوژیکی، نوع تغذیه و عمل‌کرد آبششی خود پس از قرارگیری در فاضلاب، شروع به تغذیه کرده و کاهش سریع مواد آلی را سبب می‌شوند که داده‌های بدست آمده در آزمایشگاه و تجزیه و تحلیل داده‌ها، این امر را تأیید می‌کند. کاهش COD در ابتدای دوره پایلوت نشان‌گر استفاده سریع آبزی از مواد باقیمانده از تجزیه بیولوژیک فاضلاب می‌باشد (Asharitabar et al., 2010). همان‌طور که از بررسی نتایج مشخص است گونه ماهی تأثیر زیادی بر راندمان کاهش COD نداشته و کاهش COD عمدتاً مربوط به زمان ماند و انجام فرایند اکسیداسیونی طبیعی در فاضلاب می‌باشد.

یکی از مشکلات عمده تصفیه فاضلاب فاکتور TS است که شامل TSS و TDS می‌باشد (Shariatpanahi, 1995). جزء پیراسنجه‌های فیزیکی کیفیت آب است که با توجه به تأثیری که در شفافیت آب دارد در تصفیه تکمیلی فاضلاب، حائز اهمیت زیادی است (Monzavi, 2008). مواد جامد معلق در آب با توجه به اندازه‌ای که دارند قابل فیلتراسیون نیستند؛ این مواد شامل تمام مواد معدنی و آلی است که در ستون آب به صورت معلق وجود دارند (Miller et al., 2011; Silva et al., 2014). نتایج نشان داد که هر دو گونه ماهی مورد مطالعه توانایی کاهش TSS و به‌خصوص TSS آلی که عمدتاً مربوط به فیتوپلانکتون‌ها است شده و باعث افزایش شفافیت فاضلاب می‌شوند. نتایج نشان داد که پس از ورود ماهیان به مخازن به فاضلاب تا روز دهم میزان

- Al-Turki A.I. 2010. Assessment of effluent quality of tertiary wastewater treatment plant at Buraidah city and its reuse in irrigation. *Journal of Applied Science* 10, 1723-1731.
- Asharitabar N., Zahedimovahed H., Mohaghegh M., Bakhtiari H., 2010. Feasibility of wastewater quality optimization by aquatic animals. *Environment Journal* 48, 60-68.
- Bina B. 2005. Study of efficiency of a wastewater treatment hydroponics system in nutrients removal. *Water and Wastewater Journal* 4, 39-46.
- Bunting S.W., 2004. Wastewater aquaculture: perpetuating vulnerability or opportunity to enhance poor livelihoods. *Aquat Resour Culture Develop* 1, 51-75.
- Corbitt R.A. 1999. Standard handbook of environmental Engineering, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York.
- Dinges R. 1982. Natural systems for water pollution control. Van Nostrand Reinhold, Environment Engineering Series New York.
- Erfanmanesh M., Afiuni M. 2002. Environmental Pollution of Water, Soil and Air. Arkan press, Isfahan. 324 p.
- Esmailisari A. 2004. Contaminants, Health and Environmental Standards. Naghshe Mehr Press, Tehran. 248 p.
- Fardi G., Rezvani E., Ghadimkhani E., Ghiasi B. 2012. Investigation of membrane method in removal of total dissolved solids from Birjand city drinking water. In: M. Alikhani (Ed.). Proceeding of 6th national civil conference, Semnan, Iran. pp. 96-101.
- Fischer R. 1997. Culture of Tilapia in open systems. *Environment and Society, University of Essex, Colchester* 3, 47-62.
- Kiely G. 1997. Environmental Engineering. McGraw-Hill, Singapore. 453 p.
- Laghari S.M., Laghari A., Jahangir T.M., Khuhawar M.Y. 2005. Natural treatment system. *Journal of Water Environmental Research* 66, 21-29.
- Miller R., Major J., Trinca P. 2011. How a lagoon works. *Waste Management* 1, 54-62.
- Monzavi M. 2008. Wastewater Treatment. University of Tehran Press, Tehran. 390 p.
- Mukherjee M. 1998. Costs and logistics for earthworks (personal communication) Office of the Deputy Director of Fisheries Government of West Bengal, Kolkata.
- مشابه TSS بخشی از آن معدنی و بخشی از آن آلی است. بخش معدنی TDS که عمدتاً مربوط به سختی و قلیائیت آب می‌باشد حساسیت کمتری نسبت به بخش آلی دارند که عمدتاً مربوط به دترجنت‌ها می‌باشد (Corbitt, 1999; Al-Turki, 2010; Silva, 2014). ماهیان با مصرف مواد پوده‌ای و ناخالصی‌های معلق موجود در آب یا همان TSS، آن‌ها را در فرایند هضم گوارشی بخشی را جذب بدن کرده و بخشی را نیز به صورت مدفوع دفع می‌کند که مدفوع ماهی باعث افزایش TDS در آب می‌شود (Ahmadi et al., 2001). مقایسه میزان TDS در پایان دوره تحقیق نشان داد که ماهی کپور نقره‌ای 60 ± 5 گرم با توجه به نوع تغذیه، فیزیولوژی و رژیم فیلتراسیونی که دارند کمتر باعث افزایش TDS در مخازن می‌شود. اصولاً رشد در ماهیان به نوع جیره غذایی، دفعات غذایی، میزان غذای کسب شده و توانایی در جذب مواد مغذی در مراحل مختلف زندگی بستگی دارد و علاوه بر آن فاکتورهای محیطی بر ارتباط رشد و میزان غذای کسب شده مؤثر است (Fischer, 1997). بر اساس نتایج عمل کرد تغذیه‌ای ماهی کپور نقره‌ای تیمار وزنی 60 ± 5 گرم نه تنها بر کاهش TSS بلکه با جذب بیشتر مواد در بدن و مدفوع کمتر، TDS کمتری را نیز در مخازن وارد می‌کند و کارایی تصفیه مناسب‌تری نسبت به سایر تیمارها دارد.

منابع

- Adrian D.D., Sanders T.G. 1998. Oxygen sag equation for second-order BOD decay, *Water Research* 32, 840-848.
- Agharokh A. 2008. Study of flowers and ornamental fishes integrated culture possibility by aquaponics method in Bushehr wastewater treatment plant sewage at pilot-scale. *Water and Wastewater Journal* 1, 53-47.
- Ahmadi M., Karami M., Kazemi R. 2001. Determination of Biomass and production estimation in Aghosht and Kordan rivers. *Iran Natural Resources Journal* 53, 20-31.

- India, March 1998.
- Naseri S. 2001. Methods and health standards and management of wastewater reuse projects. *Water and Environment Journal* 34, 26-32.
- Shariatpanahi M. 1995. Environmental Health Basics, University of Tehran Press, Tehran. 321 p.
- Silva C., Quadros S., Ramalho P., Alegre H., Rosa M.J. 2014. Translating removal efficiencies into operational performance indices of wastewater treatment plants. *Water Research* 57, 202-214.
- Sood A., Renuka N., Prasanna R., Ahluwalia A.S. 2015. Cyanobacteria as Potential Options for Wastewater Treatment. *Water Research* 21, 92-111 .
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastes. 20th Edition, APHA, AWWA, WEF. 1999. 1,000 p.
- Tam N.F., Wong Y.S. 1989. Wastewater nutrient removal by *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus* sp. *Environment Pollution* 58, 19-34.
- Tchobanoglous G., Burton F. 2004. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse, McGraw Hill. 524 p .
- Tsui M.M.P., Leung H.W., Lam P.K.S., Murphy M.B. 2014. Seasonal occurrence, removal efficiencies and preliminary risk assessment of multiple classes of organic UV filters in wastewater treatment plants. *Water Research* 53, 58-67.

Investigation on effects of common carp (*Cyprinus carpio*) and the silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) presence on qualitative incises of the wastewater (Case study: Semnan wastewater treatment plant)

Kamran Rezaei Tavabe^{*1}, Gholamreza Rafiee¹, Fatemeh Moteshafi¹, Ali Taya²

¹Fisheries Department, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.

²International Desert Research Center - Semnan Station, University of Tehran, Semnan, Iran.

*Corresponding author: krtavabe@ut.ac.ir

Received: 2018/5/22

Accepted: 2018/8/28

Abstract

This study aimed to investigate weight gain and survival of silver carp and common carp species in urban wastewater at supplementary treatment stage and their effects on wastewater qualitative parameters, including as BOD, COD, TSS and TDS. This study was performed with a control treatment without the presence of fish and other treatments contained two species of common carp and silver carp as triplicate with 30±5 and 60±5 gr. The research period was 30 days and at intervals of 10 days from the start of the study, sampling and analysis of wastewater samples was carried out. According to the results, the highest weight gain (8.3%) and the highest mortality rates (20 %) during the research period attributed to the treatment of silver carp was 30±50. All treatments (control as an exception) caused significant reduction in BOD, COD and TSS parameters during sampling process ($P<0.05$) showed a decreasing trend. The MPN factor didn't show any significant differences among the treatments. At the end of the research period, the best performance in improving wastewater quality parameters related to the treatment of silver carp 60±5 gr. In this treatment, TSS reduction efficiency was 55-50% during the research period in addition to TSS reduction with absorption of suspended materials in body and production of less waste, the least TDS parameter was recorded in this treatment.

Keywords: Wastewater, Treatment efficiency, Total dissolved substances, Total suspended substances.