بررسی امکان پرورش دو گونهٔ ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای در فاضلاب شهری تصفیه‌شده و اثر حضور این دو گونهٔ آبزی بر پارامترهای کیفی فاضلاب (مطالعهٔ موردی: تصفیه‌خانهٔ فاضلاب مهدی‌شهر)

- **نسرین نادری‌راد:** گروه محیط زیست، دانشکدهٔ محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
- **کامران رضایی توابع*:** گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: ٤١١١
- **مهدی برقعی:** دانشکدهٔ مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹٦ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹٦

چکیده

استفادهٔ مجدد از آب‌های نامتعارف مانند انواع فاضلاب با رعایت اصول محیط زیستی از اهمیت زیادی برخوردار است. این تحقیق با هدف امکان‌سنجی پرورش و بررسی عملکرد رشد و بازماندگی دو گونهٔ ماهی کپور نقره‌ای (رژیم غذایی فیلترکنندگی) و ماهی کپور معمولی (رژیم غذایی پوده‌خواری) در غلظت‌های مختلف فاضلاب و هم‌چنین مطالعهٔ اثر حضور این دو گونه بر پارامترهای کیفی فاضلاب شامل BOD، COD، TSS، TDS، نیترات و فسفات در فاز دوم تصفیه خانه فاضلاب شهر مهدی‌شهر (با روش لجن فعال) در استان سمنان انجام گردید. برای این تحقیق، پنج تیمار غلظتی فاضلاب شامل تیمار شاهد (بدون فاضلاب) و تیمارهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد فاضلاب خروجی از تصفیه خانه با سه تکرار در مخازن ۸۰ لیتری در نظر گرفته شد. در هر مخزن ۱۰ قطعه ماهی کپور معمولی و ۱۰ قطعه ماهی کپور نقره‌ای با میانگین وزنی ۵±۳۰ گرم معرفی شد و در یک دورهٔ یک ماهه، عملکرد رشد و بازماندگی ماهی در تیمارهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. هم‌چنبن تغییرات شاخص‌های مختلف فاضلاب در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب با حضور ماهی و بدون حضور ماهی (شاهد) مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین میزان افزایش وزن (WG) (۱۸درصد) و ضریب رشد ویژه (SGR) (۰/۲۳) مربوط به دو تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد فاضلاب بود. هم‌چنین در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب با حضور ماهی نسبت به تیمار شاهد (بدون حضور ماهی) در طول دورهٔ تحقیق، پارامترهای BOD، COD، TSS، نیترات و فسفات در یک روند زمانی به‌طور معنی‌داری ($P\leq0/05$) روند کاهشی نشان دادند، درحالی‌که این روند برای پارامتر TDS دارای روند افزایشی بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که فاضلاب تصفیه شدهٔ شهری بدون اختلاط آب نیز قابلیت استفادهٔ مجدد در آبزی‌پروری گونه‌های مقاوم به شرایط محیطی مانند گونه‌های پرورشی خانوادهٔ کپورماهیان (Cyprinidae) را دارد. هم‌چنین، حضور گونهٔ آبزی با توجه به رژیم غذایی، نقش قابل ملاحظه‌ای در بهبود پارامترهای کیفی فاضلاب دارد.

کلمات کلیدی: ضریب رشد ویژه، فسفات، ، نیترات، *Cyprinus carpio*، *Hypophthalmichthys molitrix*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: krtavabe@ut.ac.ir

مقدمه

در قرن حاضر یکی از چالش‌های عمدهٔ پیش روی بشر، تهیهٔ آب سالم برای بخش زیادی از جمعیت جهان است (Esmaeilisari، ۲۰۰۴) . بهره‌برداری مجدد از آب‌های نامتعارف مانند پساب تصفیه شده فاضلاب شهری با رعایت اصول بهداشتی و با هدف حفظ منابع آب، حائز اهمیت زیادی است. کشور ایران به‌علت خشکی نسبی آب و هوا، کمبود رودخانه‌ها و چشمه‌های پرآب دائمی و پایین بودن سطح آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط، جزو کشورهای خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود. سهم نزولات آسمانی در ایران کم‌تر از یک سوم متوسط نزولات جوی در جهان است (Asharitabar و همکاران، ۲۰۱۰). پراکندگی غیریکنواخت منابع آب در کشور و خشکسالی‌های متناوب، افزایش جمعیت و توسعهٔ حاشیه‌نشینی و به‌دنبال آن تولید فاضلاب‌های خانگی و شهری، افزایش فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی‌وتخلیهٔ فاضلاب‌های‌حاصل از آن‌ها به منابع آب‌های سطحی، منجر به کاهش کیفیت این منابع آبی شده و تأثیر سوئی بر سلامت جوامع و محیط زیست دارد (Ahmadi و همکاران، ۲۰۰۱). یکی از راه‌های اصلی مقابله با مسئلهٔ بحران آب، کاربرد زنجیره‌ای آب، متناسب با تغییر کیفیت آن در کاربری‌های مختلف و بخش‌های متنوع مصرف می‌باشد (Leghari و همکاران، ۲۰۰۵؛ Al-Turki، ۲۰۱۰). به‌همین خاطر امروزه در کشورهای پیشرفته فاضلاب‌های تصفیه شده با رعایت ضوابط محیط زیستی مورد استفادهٔ مجدد با انواع کاربری‌ها قرار می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین و قابل مدیریت‌ترین انواع فاضلاب، فاضلاب شهری و خانگی است که فاضلاب تصفیه‌شدهٔ خروجی از تصفیه خانه‌های شهری یا در منابع آب‌های سطحی رهاسازی می‌شوند یا برای تغذیهٔ آبخوان‌ها و منابع آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند یا در بخش‌های مختلف کاربری مجدد، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Erfanmanesh و Afiuni، ۲۰۰۲؛ Monzavi، ۲۰۰۸).

یکی از راهکارهای اصلی برای توسعهٔ پایدار و مقابله با مسئلهٔ بحران آب در کشورهایی که با مسئلهٔ کمبود آب مواجه هستند، کاربرد زنجیره‌ای آب، متناسب با تغییر کیفیت آن در بخش‌های متنوع مصرف، می‌باشد (Tchobanoglous و Burton، ۲۰۰۴؛ Al-Turki، ۲۰۱۰). در برخی کشورهای غربی و آسیای جنوب‌شرقی از فاضلاب تصفیهٔ شدهٔ تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری برای آبزی‌پروری استفاده می‌شود که اصطلاحاً به آن آبزی‌پروری شهری (Urban Aquaculture) اطلاق می‌گردد. در مورد عوارض بهداشتی استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی برای آبزی‌پروری در مقایسه با استفاده از پساب‌ها در کشاورزی، تحقیقات کم‌تری انجام شده و به‌همان میزان اطلاعات کم‌تری نیز در این مورد در دسترس می‌باشد. مدارک و شواهدی که در مورد ماهی‌ها و گیاهان پرورش یافته در پساب وجود دارد، نشان می‌دهد که انتقال آلودگی از طریق سطوح خارجی گیاهان و بدن ماهی‌ها به افرادی که در معرض و تماس با آن‌ها هستند (Sartaj و همکاران، ۲۰۰۴)، انجام گرفته وباعث آلودگی در مصارف‌انسانی می‌شود. با وجود این نگرانی‌ها، پرورش آبزیان در فاضلاب شهری از دو جنبه یکی بهبود کیفیت فاضلاب خروجی تصفیه‌خانه و اثرات کم‌تر محیط‌زیستی این فاضلاب در منابع آب‌های سطحی و دیگری‌عدم استفاده ازاین‌آبزیان در مصارف انسانی و به‌ویژه کاربرد آن‌ها در صنایع تولید خوراک دام، طیور و آبزیان، اهمیت زیادی دارد. آثار محیط زیستی نامطلوب ناشی از دفع نادرست فاضلاب شهری و صنعتی در حدی است که امروزه اجرای طرح‌های فاضلاب در مناطق شهری و روستایی کشور، امری ضروری و بنیادی تلقی می‌گردد (Yargholi و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده از فاضلاب کاملاً تصفیه شده که در حال حاضر از تصفیه‌خانه‌های شهری به محیط منتقل می‌شود می‌تواند به‌عنوان منبع نسبتاً قابل اعتماد آب مورد توجه قرار گیرد (Patricia و همکاران، ۲۰۱۴)، زیرا هر تصفیه خانه موظف به رعایت ضوابط محیط زیستی و رساندن فاضلاب به شرایط استاندارد برای سلامت افراد جامعه و محیط زیست می‌باشد. آبزیان براساس سیستم تغذیه‌ای هتروتروفی، پس از مصرف مواد آلی موجود در فاضلاب به‌علت مصرف انرژی مواد آلی در جهت متابولیسم خود، بار آلی فاضلاب را کاهش داده و در نهایت باعث کاهش TSS و BOD فاضلاب می‌شوند (Asharitabar و همکاران، ۲۰۱۰).

ورود ناخالصی‌های آلی و معدنی خارجی به ترکیبات طبیعی آب باعث آلودگی و براساس‌ماهیت‌مادهٔ خارجی‌باعث بالارفتن‌شاخص‌های کیفی آن چون BOD، COD، TDS و TSS می‌شود و اگر این آب حداقل یک‌بار مورد استفاده قرار گیرد به‌عنوان فاضلاب شناخته می‌شود که معمولاً فاضلاب‌ها چه تصفیه شده و چه به صورت خام در طبیعت و عموماً به منابع آب‌های سطحی رهاسازی می‌شوند. اگر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی آب و فاضلاب طوری تغییر نماید که برای انسان، کشاورزی و سایر موجودات غیرقابل مصرف و مضر باشد، باعث ایجاد آلودگی محیط زیستی می‌شود (Esmaeilisari، ۲۰۰۴). یکی از روش‌های مؤثر در کاهش TSS و BOD روش زیستی استفاده از گونه‌های آبزی با رژیم غذایی فیلتراسیون پیوسته است. به‌نظر می‌رسد گونه‌هایی از خانواده کپورماهیان به‌خصوص کپورنقره‌ای و کپور معمولی با توجه به سازگاری مناسب بوم‌شناختی و رژیم غذایی فیلتراسیونی کپور نقره‌ای و پوده‌خواری کپور معمولی، گزینه‌های مناسبی برای این تصفیهٔ زیستی در لاگون تصفیه تکمیلی و مراحل انتهایی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جهت بهبود شاخص‌های کیفی فاضلاب از جمله TSS و BOD هستند. این تحقیق با هدف امکان سنجی پرورش و بررسی عملکرد رشد و بازماندگی دو گونهٔ

ماهی کپور نقره‌ای با رژیم غذایی فیلتراسیونی و ماهی کپور معمولی با رژیم غذایی پوده خواری در غلظت‌های مختلف فاضلاب و هم‌چنین مطالعهٔ اثرات حضور این دو گونه در بهبود پارامترهای کیفی فاضلاب شامل BOD، COD، TSS، TDS، نیترات و فسفات در فاز دوم تصفیه خانه فاضلاب شهر مهدی‌شهر در استان سمنان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه ماهی‌های مورد نیاز تحقیق: برای اجرای تحقیق، ۲۰۰ قطعه ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) و ۲۰۰ قطعه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) با میانگین وزنی ۵±۳۰ گرم از مرکز خصوصی تکثیر و پرورش مهندس حقیقت‌منش واقع در شهر درجزین استان سمنان تهیه گردید و به محل پیش‌بینی شده در مرکز تصفیه‌خانهٔ شهر مهدی‌شهر منتقل گردید. ماهیان به‌منظور سازگاری با شرایط محیطی جدید به‌مدت یک هفته در دو مخزن ۴۰۰ لیتری در دمای ۲۴-۲۲ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند و به‌منظور تأمین اکسیژن، هوادهی توسط دمنده و سنگ هوا صورت گرفت.

تهیه فاضلاب مورد نیاز تحقیق: فاضلاب مورد نیاز تحقیق از بخش خروجی فاز دوم تصفیه خانه فاضلاب شهر مهدی‌شهر که تصفیه به‌روش لجن فعال انجام می‌شود، به محل اجرای پایلوت در محل تصفیه‌خانه منتقل شد. فاز اول تصفیه خانه مهدی‌شهر، با روش تصفیهٔ سیستم‌برکه‌تثبیت با ظرفیت ۲۴۶۰ مترمکعب در شبانه روز و فاز دوم تصفیه خانه با روش لجن فعال با ظرفیت تصفیهٔ ۳۵۰۰ مترمکعب در شبانه روز می‌باشد. شکل ۱ نمای هوایی لاگون‌های تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری‌مهدی‌شهرو کاربری‌های اطراف آن را نشان می‌دهد. طبق نتایج آزمایشگاه آب و فاضلاب آبفای استان سمنان، مهم‌ترین شاخص‌های پساب خروجی از تصفیه‌خانه در زمان شروع تحقیق شامل BOD: ۲۳/۴، COD: ۳۶/۵، TDS: ۷۴۱ و TSS: ۴۸/۲ میلی‌گرم در لیتر بود.

شکل ۱: نمای هوایی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مهدی‌شهر و کاربری‌های مناسب مصرف فاضلاب در محدودهٔ تصفیه‌خانه

طراحی آزمایش و چیدمان تیمارهای تحقیق: برای این تحقیق، ۵ تیمار غلظتی فاضلاب شامل تیمار شاهد (بدون فاضلاب) و تیمارهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد فاضلاب خروجی از تصفیه خانه با سه تکرار در مخازن ۸۰ لیتری که در مجموع شامل ۱۵ مخزن، درنظر گرفته شد. در هر مخزن، ۱۰ قطعه ماهی کپور معمولی و ۱۰ قطعه ماهی کپور نقره‌ای با میانگین وزنی ۵±۳۰ گرم (۶۰۰ گرم زی‌تودهٔ ماهی در هر مخزن) معرفی شد. هم‌چنین با سه تکرار، تغییرات شاخص‌های مختلف فاضلاب در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب با حضور ماهی و بدون حضور ماهی (شاهد) نیز در روند زمانی دورهٔ تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. در طول دورهٔ تحقیق، دمای تمامی تیمارها یکسان و با استفاده از بخاری‌های برقی‌در دمای ۱±۲۵درجه‌سانتی‌گراد تنظیم شد. هم‌چنین در طی دور تحقیق هیچ‌گونه تعویض آبی صورت نگرفت و تمامی تیمارها به‌میزان یکسان و با حداقل غذادهی (یک‌بار در روز و به‌میزان یک درصد وزن بدن) با غذای کپور شرکت فرادانه شهرکرد تغذیه شدند.

نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها: پس از تیماربندی، در یک دورهٔ ۳۰روزه، عملکرد ماهیان از حیث شاخص‌های رشد شامل درصد افزایش وزن (WG= Weight Gain)، ضریب رشد ویژه (SGR= Specific Growth Rate) و درصد بازماندگی ماهی در بین تیمارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت (Agharokh، ۲۰۰۸).

$$\%WG= (W2-W1)/W1\times100$$

$$SGR= (Ln\ W2- Ln\ W1)/t \times ۱۰۰$$

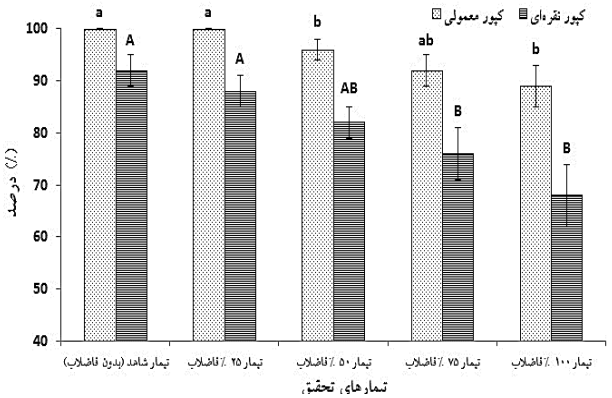
W2 وزن ثانویه، W1 وزن اولیه و t زمان پرورش می‌باشد.

هم‌چنین در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب با حضور ماهی و بدون حضور ماهی (شاهد) با نمونه‌برداری از مخازن هر تیمار در فواصل ۱۰ روزه در زمان شروع تحقیق، روز دهم، روز بیستم و روز سی‌ام، اثرات حضور ماهی در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب بر تغییرات شاخص‌های مختلف فاضلاب شامل BOD، COD، TDS، TSS، نیترات و فسفات موردبررسی‌قرار گرفت.نیترات و فسفات توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل ۲۰۰۰ DR شرکت Hach، پارامترهای TSS و TDS با روش وزن‌سنجی و پارامتر BOD با استفاده از دستگاه BOD-Meter Lovibond و پارامتر COD با استفاده از COD Meter شرکت Hach اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری: قبل از انجام آنالیز واریانس، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) انجام شد. مقایسه میانگین (Mean±SD) تیمارهای مختلف (با سطح معنی‌داری P<۰/۰۵) با آزمون دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام‌شد.نمودارهای‌مربوطه‌نیز با استفاده از Excel۲۰۱۰ رسم گردید.

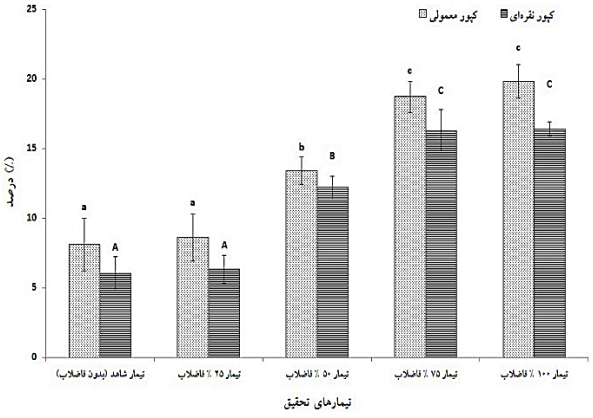
نتایج

درصد بازماندگی ماهیان تیمارهای مختلف دارای تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود و بیش‌ترین بازماندگی ماهی کپورمعمولی (۱۰۰ درصد) و کپور نقره‌ای (۹۱ درصد) مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین بازماندگی ماهی کپورمعمولی (۸۷ درصد) و کپور نقره‌ای (۶۸ درصد) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب بود (شکل ۲).

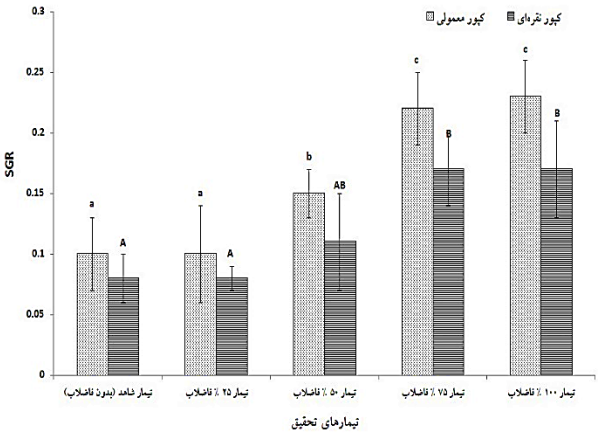


شکل ۲: درصد بازماندگی ماهی کپور معمولی و ماهی کپور نقره‌ای در غلظت‌های مختلف فاضلاب در پایان دورهٔ تحقیق (روز سی‌ام). مقایسه درون گروهی بوده و حروف لاتین متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) می‌باشد.

نتایج عملکرد رشد نشان داد که در پایان دورهٔ تحقیق بیش‌ترین رشد (WG) ماهی کپورمعمولی (۱۹ درصد) و کپور نقره‌ای (۱۶ درصد) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب و کم‌ترین میزان رشد ماهی کپور معمولی (۸ درصد) و کپور نقره‌ای (۶ درصد) مربوط به تیمار شاهد بدون فاضلاب بود (شکل ۳). هم‌چنین بیش‌ترین ضریب رشد ویژه (SGR) برای این دو ماهی نیز برای تیمارهای ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد فاضلاب ثبت گردید، درحالی‌که کم‌ترین ضریب رشد ویژه مربوط به تیمارهای شاهد و ۲۵ درصد فاضلاب بود (شکل ۴).



شکل ۳: درصد رشد (WG) ماهی کپور معمولی و ماهی کپور نقره‌ای در غلظت‌های مختلف فاضلاب در پایان دورهٔ تحقیق (روز سی‌ام). مقایسه درون گروهی بوده و حروف لاتین متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) می‌باشد.



شکل ۴: ضریب رشد ویژه (SGR) ماهی کپورمعمولی و ماهی کپور نقره‌ای در غلظت‌های مختلف فاضلاب در پایان دورهٔ تحقیق (روز سی‌ام). مقایسه درون گروهی بوده و حروف لاتین متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده در بخش تغییرات کیفی فاضلاب با حضور ماهی و بدون حضور ماهی در فواصل زمانی ۱۰ روزه در طول تحقیق جالب و قابل توجه بود و با توجه به رژیم غذایی فیلتراسیونی ماهی کپور نقره‌ای و پوده‌خواری کپورمعمولی، حضور این دو گونه تأثیر معنی‌داری در بهبود پارامترهای کیفی فاضلاب نشان داد. در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب با حضور ماهی نسبت به تیمار شاهد (بدون حضور ماهی) در طول دورهٔ تحقیق، پارامترهای BOD، COD، TSS، نیترات و فسفات در یک روند زمانی به‌طور معنی‌داری (P≤۰/۰۵) روند کاهشی نشان دادند، درحالی‌که این روند برای پارامتر TDS در تمامی تیمارها دارای روند افزایشی بود (جدول ۱). در تیمار شاهد بدون حضور ماهی فقط پارامتر BOD روند کاهشی را در طول تحقیق نشان داد و سایر تیمارها تغییر و تفاوت معنی‌داری در طول تحقیق نشان ندادند (جدول ۲).

جدول ۱: روند تغییرات (انحراف معیار± میانگین) پارامترهای کیفی فاضلاب در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب با حضور ماهی در طول دورهٔ تحقیق

پارامترهای کیفی فاضلاب	زمان شروع تحقیق	روز دهم تحقیق	روز بیستم تحقیق	روز سی‌ام تحقیق
BOD (mg/l)	۲۳±۳ ^{a}	۲۱±۴ ^{a}	۱۵±۲ ^{b}	۹±۱ ^{c}
COD (mg/l)	۴۵±۶ ^{A}	۴۱±۴ ^{AB}	۳۷±۵ ^{B}	۲۱±۵ ^{C}
TDS (mg/l)	۵۸۴±۱۹ ^{x}	۶۷۷±۴۸ ^{y}	۷۷۹±۳۶ ^{z}	۸۴۶±۲۸ ^{w}
TSS (mg/l)	۲۰۷±۲۱ ^{X}	۱۷۱±۱۴ ^{Y}	۹۴±۲۴ ^{Z}	۴۶±۱۵ ^{W}
نیترات (mg/l)	۴۷±۵ ^{l}	۳۹±۴ ^{m}	۳۳±۲ ^{n}	۱۷±۴ ^{p}
فسفات (mg/l)	۱۱±۳ ^{L}	۹±۲ ^{L}	۷±۴ ^{L}	۴±۱ ^{M}

مقایسه درون گروهی بوده و حروف لاتین متفاوت در هر سطر بیانگر تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) می‌باشد.

جدول ۲: روند تغییرات (انحراف معیار± میانگین) پارامترهای کیفی فاضلاب در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب بدون حضور ماهی (شاهد) در طول دورهٔ تحقیق

پارامترهای کیفی فاضلاب	زمان شروع تحقیق	روز دهم تحقیق	روز بیستم تحقیق	روز سی‌ام تحقیق
BOD (mg/l)	۲۳±۳ a	۱۸±۴ ab	۱۷±۳ ab	۱۴±۲ b
COD (mg/l)	۴۵±۶	۴۳±۵	۴۰±۴	۳۸±۷
TDS (mg/l)	۵۸۴±۱۹	۵۹۲±۵۲	۵۵۲±۳	۶۰۳±۶۱
TSS (mg/l)	۲۰۷±۲۱	۲۰۵±۱۱	۱۹۵±۳۲	۲۰۱±۲۳
نیترات (mg/l)	۴۷±۵	۵۱±۸	۴۵±۶	۴۱±۸
فسفات (mg/l)	۱۱±۳	۹±۴	۸±۳	۹±۳

مقایسه درون گروهی بوده و حروف لاتین متفاوت در هر سطر بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) می‌باشد.

بحث

یکی از اهداف این تحقیق امکان‌سنجی بازماندگی و سازگاری گونه کپور نقره‌ای و کپور معمولی در فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مهدی‌شهر می‌باشد. در این تحقیق، نتایج به‌دست آمده نشان‌داد که‌هر دو گونهٔ ماهی امکان سازگاری و زنده‌مانی در غلظت‌های مختلف پساب را دارند اما با افزایش غلظت فاضلاب در تیمارها، بازماندگی هر دو گونه ماهی کاهش می‌یابد و بیش‌ترین بازماندگی ماهیان مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین بازماندگی مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب بود. ماهیان همواره در محیط آبی درگیر تنش‌های گوناگون محیطی هستند و تغییر در کیفیت آب، فاکتورهای محیطی، شرایط فیزیولوژیکی خود ماهی و میزان تراکم ماهی در واحد حجم، هریک‌عاملی برای ایجاد استرس در ماهی هستند (Koeypudsa و Jongjareanjai، ۲۰۱۱). تنش‌های دیگری مانند افزایش یا کاهش شوری، به‌هم خوردن شرایط اسمزی، کاهش اکسیژن، عوامل بیماری‌زا و افزایش آمونیاک نیز عوامل دیگری هستند که در آبزیان موجب ورود استرس و بروز تلفات می‌شوند (Barton، ۲۰۰۲). مطالعات نشان داده است‌که امکان زنده‌مانی گونه‌هایی از ماهیان زینتی به‌روش آکواپونیک در فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه شهر بوشهر وجود دارد و گونه‌هایی نظیر پیرانای شکم قرمز و جونیت توانایی سازگاری، زنده‌مانی و رشد در فاضلاب شهری بوشهر را دارند (Agharokh، ۲۰۰۸). هم‌چنین در تحقیقی بازماندگی و رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در غلظت‌های مختلف از پساب فاضلاب شهری (۱۰، ۳۰ و ۷۰ درصد فاضلاب) به مدت ۲۷ روز انجام شد و نتایج نشان داد که این گونه بازماندگی نسبتاً بالایی در فاضلاب تصفیه شده دارد (Birgit Hoeger و همکاران، ۲۰۰۴). در مطالعات داخلی، امکان‌سنجی بهینه‌سازی کیفیت فاضلاب تصفیه‌خانه شهر قم توسط آبزیان نشان داد که گونه‌های آبزیان شامل ماهی گامبوزیا، سیاه‌ماهی و آرتمیا حداکثر بازماندگی را دارند (Asharitabar و همکاران، ۲۰۱۰). این نتایج نشان می‌دهد که امکان تولید آبزیان اقتصادی با استفاده از فاضلاب وجود دارد و نتایج تحقیق حاضر درخصوص ماهی کپورمعمولی و کپور نقره‌ای به نوعی مؤید نتایج تحقیقات گذشته می‌باشد. فاضلاب‌های خام شهری براساس ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی در سه گروه فاضلاب‌های قوی، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی می‌شوند، به‌طوری‌که فاضلابی با BOD پایین‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و COD پایین‌تر از ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، به عنوان فاضلاب ضعیف شناخته می‌شود (Corbitt، ۱۹۹۹؛ Monzavi، ۲۰۰۸). فاضلاب تصفیه‌خانهٔ شهر مهدی‌شهر در کلاس فاضلاب‌های ضعیف قرار دارد و نتایج حضور ماهی در فاضلاب تصفیهٔ شدهٔ شهری از دو جنبهٔ میزان بازماندگی ماهی در فاضلاب در طول دورهٔ تحقیق و تأثیر ماهی بر شاخص‌های عمومی کیفی فاضلاب حائز اهمیت است. به‌طور عمومی میزان تلفات ماهیان در این تحقیق نسبتاً پایین و براساس شکل ۲ بیش‌ترین میزان تلفات ۳۲ درصد مربوط به ماهی کپور نقره‌ای و ۱۳ درصد مربوط به ماهی کپور معمولی بود. اگر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی آب و فاضلاب طوری تغییر نماید که برای انسان، کشاورزی و سایر موجودات غیرقابل مصرف و مضر باشد، باعث آلودگی محیط‌زیستی و بروز تلفات در آبزیان می‌شود (Esmaeilisari، ۲۰۰۴). هم‌چنین با افزایش غلظت فاضلاب، کارایی رشد و ضریب رشد ویژهٔ هر دو گونهٔ ماهی افزایش یافت، زیرا ماهی کپور نقره‌ای دارای رژیم غذایی فیلتراسیونی و ماهی کپورمعمولی رژیم غذایی پوده خواری بوده و با پالایش آب مواد معلق و فیتوپلانکتون‌ها را مصرف می‌کند (Ahmadi و همکاران، ۲۰۰۱)، که بخشی از این مواد جذب بدن شده و از پیکرهٔ آب خارج می‌شود و بخشی به‌صورت مدفوع دفع می‌شود که با توجه به فرآیند هضمی که در لولهٔ گوارش ماهی صورت گرفته است با انرژی زیستی کم‌تری وارد مخازن شده و تجزیهٔ آن برای میکروارگانیسم‌ها راحت‌تر و با انرژی پایین‌تر و مصرف اکسیژن کم‌تری صورت می‌گیرد.

نتایج به‌دست آمده در بخش تغییرات کیفی فاضلاب با حضور ماهی و بدون حضور ماهی نشان داد که حضور این دو گونهٔ آبزی تأثیر معنی‌داری در بهبود پارامترهای کیفی فاضلاب دارد و در طول دورهٔ تحقیق، پارامترهای BOD، COD، TSS، نیترات و فسفات در یک روند زمانی به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار فاقد گونهٔ آبزی، روند کاهشی نشان دادند. براساس مطالعات، تغییرات پارامتر BOD، علاوه بر وجود میکروارگانیسم‌ها در فاضلاب، گونهٔ آبزی نیز به‌عنوان یک هتروتروف، در مخازن شروع به تغذیهٔ فیلتراسیونی کرده و کاهش سریع مواد آلی به تبع آن باعث کاهش BOD نیز می‌شود (Asharitabar و همکاران،

۲۰۱۰). یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی فاضلاب، TSS است که با توجه به تأثیری که در شفافیت فاضلاب دارد، در تصفیهٔ تکمیلی فاضلاب، حائز اهمیت زیادی است (Monzavi، ۲۰۰۸). 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 به‌صورت معلق وجود دارند (Miller و همکاران، ۲۰۱۱؛ Silva و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج این تحقیقات نشان داد که ماهیان مورد مطالعه توانایی بالایی در مصرف پلانکتون‌ها و کاهش TSS و به‌خصوص TSS آلی که بیش‌تر مربوط به فیتوپلانکتون‌ها است، را دارند و باعث افزایش شفافیت فاضلاب می‌شوند. Fischer (۱۹۹۷) امکان سنجی کاهش TSS در یک سد مخزنی در برزیل با استفاده از ماهی تیلاپیا انجام دادند و Bunting (۲۰۰۷) با استفاده از آبزیان با عادت تغذیه‌ای فیلترکنندگی نظیر کپور هندی، کاهش TSS فاضلاب تصفیه شدهٔ شهر کلکته هند را گزارش کردند که در هر دو مورد، نتایج به‌دست آمده مشابه نتایج تحقیق حاضر بود. یکی از پارامترهای مهم در کیفیت فاضلاب، TDS است که تغییرات آن در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج، برخلاف سایر پارامترها، TDS در تیمار فاضلاب با حضور ماهی دارای روند افزایشی در طول دورهٔ تحقیق بود. بخش معدنی TDS که عمدتاً مربوط به سختی و قلیائیت آب می‌باشد حساسیت کم‌تری نسبت به بخش آلی دارند که بیش‌تر مربوط به درجنت‌ها می‌باشد (Corbitt، ۱۹۹۹؛ Al-Turki، ۲۰۱۰؛ Silva و همکاران، ۲۰۱۴). ماهیان با مصرف مواد پوده‌ای و ناخالصی‌های معلق موجود در آب یا همان TSS، بخشی از آن را جذب کرده و بخشی را نیز به‌صورت مدفوع دفع می‌کند و مدفوع ماهی باعث افزایش TDS در آب می‌شود (Ahmadi، ۲۰۰۱). تحقیقات نشان داده است که ماهی کپور نقره‌ای با توجه به نوع تغذیه، فیزیولوژی و ویژگی فیلترکنندگی خود، کم‌تر باعث افزایش TDS در محیط پرورش می‌شود (Naseri، ۲۰۰۱).

نتایج به‌دست آمده نشان داد که فاضلاب تصفیه‌شدهٔ شهر مهدی شهر بدون اختلاط آب نیز قابلیت استفاده در آبزی‌پروری گونه‌های مقاوم به شرایط محیطی مانند گونه‌های پرورشی خانوادهٔ کپورماهیان (Cyprinidae) را دارد. هم‌چنین، حضور گونهٔ آبزی با توجه به رژیم غذایی آن، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در بهبود پارامترهای کیفی قاضلاب به استثنای پارامتر TDS را دارد. با توجه به بالا بودن بار باکتریایی و به‌خصوص باکتری *اشریشیاکلی* در فاضلاب شهری و خانگی، ماهیان پرورشی در این فاضلاب تا انجام مطالعات کامل سلامت زیستی برای تغذیهٔ انسانی، بیش‌تر برای تولید و مصرف در بخش‌های پودر ماهی و تغذیه در خوراک دام، طیور و آبزیان توصیه می‌شود.

منابع

۱. **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. Vol. 19, pp: 53-47.

۲. **Ahmadi, M.; Karami, M. and Kazemi, R., 2001.** Determination of Biomass and production estimation in Aghosht and Kordan rivers. Iran Natural Resources Journal. Vol. 53, pp: 20-31.

۳. **Al-Turki, A.I., 2010.** Assessment of effluent quality of tertiary wastewater treatment plant at Buraidah city and its reuse in irrigation. J of Applied Scie. Vol. 10, pp: 1723-1731.

۴. **Asharitabar, N.; Zahedimovahed, H.; Mohaghegh, M. and Bakhtiari, H., 2010.** Feasibility of wastewater quality optimization by aquatic animals. Environment Journal. Vol. 48, pp: 60-68.

۵. **Barton, B.A., 2002.** Stress in Fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. Integrative and Comparative Biology. Vol. 42, pp: 517-525.

۶. **Birgit, H.; Michael, R.; Van den, H.; Bettina C. and Hitzfeld, M., 2004.** Effects of treated sewage effluent on immune function in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquatic Toxicology. Vol. 70, pp: 345-355.

۷. **Bunting, S.W., 2004.** Wastewater aquaculture: perpetuating vulnerability or opportunity to enhance poor livelihoods. Aquat Resour Culture Develop. Vol. 1, pp: 51-75.

۸. **Corbitt, R.A., 1999.** Standard handbook of environmental Engineering", 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 328 p.

۹. **Erfanmanesh, M. and Afiuni, M., 2002,** Environmental Pollution of Water, Soil and Air. Arkan press, Isfahan. 324 p.

۱۰. **Esmaeilisari, A., 2004.** Contaminants, Health and Environmental Standards. NaghsheMehr Press, Tehran. 248 p.

۱۱. **Fischer, R., 1997.** Culture of Tilapia in open systems. Environment and Society. Vol. 3, pp: 47-62.

۱۲. **Koeypudsa, W. and Jongjareanjai M., 2011.** Impact of water temperature and sodium chloride (NaCl) on stress indicators of hybrid catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell x *C. macrocephalus*, Gunther). Songklanakarin Journal of Science and Technology. Vol. 33, pp: 369-374.

۱۳. **Leghari, S.M.; Laghari, A.; Jahangir, T.M. and Khuhawar, M.Y., 2005.** Natural treatment system. Journal of Water Environmental Research. Vol. 66, pp: 21-29.

۱۴. **Miller, R.; Major, J. and Trinca, P., 2011.** How a lagoon works. Waste management. Vol. 1, pp: 54-62.

۱۵. **Monzavi, M., 2008,** Wastewater Treatment, University of Tehran Press, Tehran. 390 p.

۱۶. **Naseri, S., 2001.** Methods and health standards and management of wastewater reuse projects", Water and Environment Journal. Vol 34. pp: 26-32.

۱۷. **Patricia, A.C.; Catherine, K.K.; Jonathan, S.S. and Julie, A.M. 2014.** Direct evidence of histopathological impacts of wastewater discharge on resident Antarctic fish (*Trematomus bernacchii*) at Davis Station, East Antarctica, Marine Pollution Bulletin. Vol. 87, pp: 48-56.

۱۸. **Sartaj, M.; Fathollahi Dehkordi, F. and Filizadeh, Y., 2004.** Survey of pollutant Resources, self-purification and elimination of industrial agricultural and municipal pollutants. Iranian Natural Resources J. Vol. 58, pp: 623-634.

۱۹. **Silva, C.; Quadros, S.; Ramalho, P.; Alegre, H. and Rosa, M.J., 2014.** Translating removal efficiencies into operational performance indices of wastewater treatment plants. Water Research. Vol. 57, pp: 202-214.

۲۰. **Tchobanoglous, G. and Burton, F., 2004.** Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw Hill. 524 p.

۲۱. **Yargholi, B., 2010.** Environmental regulations and waste water re-use return. Naghsh Mehr press, Tehran. 535 p.