Journal of Water and Wastewater, Vol. 33, No. 2, pp: 62-74

Investigating the Possibility of Using the Effluent of Qasr-e-shirin Wastewater Treatment Plant in Aquaculture

F. Shahrezaei[1], P. Pakravan[2], M. Pouria[3]

1. Department of Chemistry, ACECR, Kermanshah, Iran
2. Department of Chemistry, Zanjan Branch,
Islamic Azad University, Zanjan, Iran
(Corresponding Author) pakravanparvaneh20@gmail.com
3. MSc. of Fisheries, Kermanshah Province
Fisheries Organization, Kermanshah, Iran

(Received Aug. 3, 2021 Accepted Feb. 8, 2022)

To cite this article:
Shahrezaei, F., Pakravan, P., Pouria, M. 2022. "Investigating the possibility of using the effluent of Qasr-e-shirin wastewater treatment plant in aquaculture" Journal of Water and Wastewater, 33(2), 62-74. Doi: 10.22093/wwj.2021.298125.3168. (In Persian)

Abstract

The use of unconventional water sources, such as the reuse of treated wastewater in accordance with environmental principles, is of great importance. The aim of this study was to investigate the effect of artificial wetland treatment of Qasr-e-shirin in Kermanshah province on water quality, growth performance and biochemical composition of fish body for optimal use in the aquaculture industry. In this study, water quality parameters including turbidity, DO, COD, MPN total coliform, nitrate, phosphate, and experiments in sections of bioassay, monitoring of aquatic tissue due to the presence of pathogens were satisfactory.The results show that the COD, turbidity and MPN values of the total effluent from the treatment plant are 33 mg/L, 13.4 NTU and 230,000, respectively. Effluent analysis took place after passing through the UV pool and complete dewatering of the pool with treated and disinfected effluent; COD, turbidity and MPN values of total coliform were 25 mg/L, 13 NTU and 8000, respectively. The microbial load of the effluent is dramatically reduced by passing through the UV pool. The bioassays performed confirmed the proper growth of aquatic animals during the growth process and had a high and appropriate index; also, according to microbiological tests, no traces of human-borne microbes were observed in fish tissue. According to the national standards and the results of the analysis of the output of the treatment and disinfection unit, it is observed that in the current conditions and treatment system, it is not possible to use this treated wastewater for fish farming in the region and more treatment is needed.

Keywords: Effluent Reuse, Artificial Wetlands, Aquaculture, Water Analysis, Bioassay.

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۲، صفحه: ۷۴-۶۲

بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهر قصر شیرین در پرورش آبزیان

فاطمه شاهرضایی[۱]، پروانه پاکروان[۲]، مجتبی پوریا[۳]

۱- گروه شیمی، جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۲- گروه شیمی، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران
(نویسنده مسئول) pakravanparvaneh20@gmail.com
۳- کارشناس ارشد شیلات، اداره کل شیلات استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

(دریافت ۱۴۰۰/۵/۱۲ پذیرش ۱۴۰۰/۱۱/۱۹)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
شاهرضایی، ف.، پاکروان، پ.، پوریا، م.، ۱۴۰۱، "بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهر قصر شیرین در پرورش آبزیان"
مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۲)، ۷۴-۶۲. **Doi : 10.22093/wwj.2021.298125.3168**

چکیده

به‌کارگیری منابع نامتعارف آب مانند استفاده مجدد از انواع فاضلاب تصفیه شده با رعایت اصول محیط‌زیستی، اهمیت زیادی دارد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر پساب تصفیه شده با روش وتلند مصنوعی شهر قصر شیرین در استان کرمانشاه بر کیفیت آب، عملکرد رشد و ترکیبات بیوشیمیایی بدن ماهی به‌منظور استفاده بهینه در صنعت آبزی‌پروری بود. در این پژوهش پارامترهای کیفی آب شامل کدورت، DO، COD، MPN کل کلیفرم، نیترات، فسفات و آزمایش‌ها در بخش زیست‌سنجی، پایش بافت به لحاظ وجود عوامل بیماری‌زا بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار COD، کدورت و MPN کل کلیفرم پساب خروجی از تصفیه‌خانه به‌ترتیب ۳۳ میلی‌گرم در لیتر، NTU ۱۳/۴ و ۲۳۰۰۰۰ است. آنالیز پساب بعد از عبور از حوضچه UV و آب‌گیری کامل استخر با پساب تصفیه شده و گندزدایی شده، مقدار COD، کدورت و MPN کل کلیفرم به‌ترتیب ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، NTU ۱۳ و ۸۰۰۰ است. بار میکربی پساب با عبور از حوضچه UV به‌طور چشمگیری کاهش پیدا کرده است. آزمایش‌های زیست‌سنجی انجام شده نشان‌دهنده رشد مناسب آبزیان در طی روند رشد بوده و شاخص بالا و مناسبی داشته است. همچنین با توجه به آزمایش‌های میکربی انجام شده اثری از میکرب‌های قابل‌انتقال به انسان در بافت ماهیان مشاهده نشد. با توجه به استانداردهای ملی و نتایج آنالیز خروجی واحد تصفیه و گندزدایی مشاهده شد در شرایط و سیستم تصفیه فعلی امکان استفاده از این فاضلاب تصفیه شده برای پرورش ماهی در منطقه وجود ندارد و نیاز به تصفیه بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: استفاده مجدد از پساب، وتلندهای مصنوعی، پرورش آبزیان، آنالیز آب، زیست‌سنجی

۱- مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های بشر مسئله کمبود آب و افزایش مواد آلاینده در محیط‌زیست به خصوص آبها است. از سویی افزایش جمعیت سبب افزایش تقاضا برای مصرف آبزیان خوراکی در دنیا باعث شده تا استفاده بهینه از آب مورد توجه قرار

dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.298125.3168

گیرد (Dauda et al., 2019).

در کشورهای آسیایی میلیون‌ها نفر از مردم وابسته به مصرف مجدد از فاضلاب و استفاده از غذا از طریق پرورش آبزیان یا کشاورزی هستند (Gopakumar et al., 2000).

اولین مصرف فاضلاب در پرورش ماهی در آسیا مخصوص کشورهای هند، مالزی و بعضی کشورهای جنوب شرقی آسیا بوده است. در هند از فاضلاب‌هایی با محتوای اکسیژن مورد نیاز واکنش‌های بیوشیمیایی[1]، ۵۰ تا ۲۰۰mg/L برای باروری استخرهای ماهی استفاده می‌کنند (Khalid et al., 2018).

پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد استفاده از پساب‌های تصفیه شده در پرورش آبزیان تاکنون انجام شده است (Liberti and Notarnicola, 1999, Omotade et al., 2019, Khalil and Hussein, 1997).

در ایران نیز در بعضی شهرها فاضلاب تولیدی به‌صورت حقابه در اختیار کشاورزان قرار می‌گیرد. در مواردی نیز این فاضلاب‌ها بعد از تخلیه در آبهای سطحی به‌صورت غیرمستقیم به مصرف کشاورزی می‌رسد (Choopan and Emami, 2020). در خصوص استفاده از پساب‌های تصفیه شده در پرورش آبزیان مواردی گزارش شده است (Rezaei Tavabe et al., 2018, Naderi Rad et al., 2018).

بنابراین فاضلاب تولید شده در منابع شهری و صنعتی، آب شیرینی است که با تصفیه و پالایش کافی می‌تواند به‌راحتی در بخش کشاورزی و آبزی‌پروری استفاده شود. فاضلاب‌ها برای استفاده و برگشت به محیط یا استفاده مجدد نیاز به تصفیه دارند. روش‌های مختلفی برای تصفیه فاضلاب وجود دارد که با توجه به مصارف آب و نوع آلودگی از این روش‌ها استفاده می‌شود. روش‌های کامل تصفیه پساب‌ها شامل تصفیه مکانیکی، تصفیه شیمیایی، تصفیه به روش اسمز معکوس[2]، تصفیه بیوشیمیایی، فیلتراسیون قطعاً می‌تواند فاضلاب تصفیه شده‌ای عاری از عوامل بیماری‌زا برای آبیاری محصولات غذایی، تزریق به آبهای زیرزمینی و انتقال به استخرهای پرورش ماهی برای پرورش آبزیان تولید کند. اکسیژن محلول[3]، BOD، اکسیژن موردنیاز واکنش‌های شیمیایی[4] و میزان کلیفرم‌ها و نیترات‌ها و فلزات سنگین از شاخص‌های مهم تشخیص آلودگی هستند. با توجه به محدودیت منابع آب در استان کرمانشاه به‌خصوص در شهر قصر شیرین، استفاده بهینه از منابع آب و پساب‌های تصفیه شده در موارد متعدد ضروری به نظر می‌رسد. در حال حاضر تصفیه‌خانه شهر قصر شیرین با استفاده از روش وتلند[5] فعال است. یکی از سیستم‌های تصفیه طبیعی که به‌دلیل توانایی و مکانیسم چندگانه تصفیه (فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی) مورد توجه قرار گرفته، سیستم وتلند است (Chouinard et al., 2014, Jorgensen et al., 2014).

سیستم تصفیه فاضلاب به کمک گیاهان یا وتلند مصنوعی (شکل ۱) است که از سال ۱۹۷۰ میلادی تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه توانایی این سیستم‌ها برای تصفیه انواع فاضلاب‌ها به‌خصوص فاضلاب شهری انجام شده است (Vymazal, 2010, Brix et al., 2007, Stefanakis, 2020).

وتلندها به دو گروه طبیعی و مصنوعی طبقه‌بندی می‌شوند. به نظر می‌رسد وتلندهای مصنوعی یکی از مناسب‌ترین تکنولوژی‌های کاربردی برای کشورهای در حال توسعه است، زیرا این سیستم‌ها، مشخصاتی مثل شباهت به فرایندهای طبیعی، ساخت ساده، بهره‌برداری و نگهداری راحت، پایداری فرایند، تولید کم لجن و هزینه کم دارند که مطلوب است (Hammer, 2020, Wu et al., 2015).

فان و همکاران تأثیر انواع تالاب در حذف آلاینده‌ها را بررسی کردند که نتایج نشان داد کارایی حذف BOD_5، ۸۹/۹ درصد است و درصد حذف آمونیاک ۹۳/۵ است. فسفر نیز به میزان کلی ۷۶ درصد توسط گونه‌های مختلف نی حذف شد (Fan et al., 2009).

خروجی این سیستم مناسب برای آبیاری فضای سبز و استفاده در کشاورزی است (Jorgensen et al., 2014, Nan et al., 2020, Gerba and Pepper, 2009).

به همین دلیل دفع فاضلاب به سیستم‌های وتلند مصنوعی به‌خصوص در اجتماعات کوچک و متوسط، در مناطق با تراکم کم‌جمعیت و در کشورهای در حال توسعه که وابستگی به تکنولوژی بالا ندارند را به‌عنوان گزینه‌ای مناسب، نسبت به تکنولوژی‌های

[1] Biochemical Oxygen Demand (BOD)
[2] Reverse Osmosis (RO)
[3] Dissolved Oxygen (DO)
[4] Chemical Oxygen Demand (COD)
[5] Wetland

Fig. 1. Image of natural wetlands
شکل ۱- شمایی از وتلندهای طبیعی

متداول تصفیه فاضلاب می‌توان برگزید.

مهمترین مسئله در کاربرد پساب‌ها در مصارف آبیاری محصولات غذایی و یا پرورش آبزیان اطمینان نسبت به کارایی فرایند گندزدایی پساب در کاهش میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا است. بر اساس دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی[1] پساب استفاده شده برای استخرهای پرورش ماهی باید عاری از تخم انگل نماتودها بوده و تعداد کلیفرم مدفوعی درآنها بیش از ۱۰۰۰ عدد در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر نباشد (Mara et al., 1989).

در این طرح با رعایت استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و ضوابط محیط‌زیستی استفاده مجدد از آبهای برگشتی و پساب‌ها و همچنین استاندارد ملی ایران به شماره ISIRI 8726، با عنوان کیفیت آب- تعیین آب استخر پرورش ماهی برای گونه‌های رایج گرمابی کپور معمولی به‌عنوان یک گونه با ارزش اقتصادی و مقاوم به شرایط محیط‌زیستی برای جلوگیری از هدررفت این پساب‌های تصفیه شده، از آن در استخرهای پرورش ماهی استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

طبق دستورالعمل معاونت تکثیر و پرورش آبزیان گرمابی، تراکم ماهی در هر هکتار برابر ۳/۵ تا ۴ هزار قطعه است که با توجه به ابعاد استخر طراحی شده در این طرح، ۴۰۰ تا ۵۰۰ قطعه ماهی گرمابی با ترکیب ۶۰ درصد کپور، ۲۵ درصد آمور و ۱۵ درصد سرگنده (بیگ هد[2]) با توجه به عدم فرایند هوادهی در استخر منظور شد (Matinfar et al., 2016, Seyed Mortezaei et al., 2016).

۲-۱- روش آزمون

در این طرح پس از انجام پژوهش‌ها و بازدیدهای میدانی از مکان تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان قصر شیرین و مشاوره انجام شده با کارشناسان شرکت آب و فاضلاب این شهرستان مکان‌یابی مناسب برای احداث استخر خاکی انجام شد، سپس ۱۰۰۰ متر مربع استخر خاکی به ابعاد ۵۰×۲۰ و به عمق ۸۰ سانتی‌متر در محل خروجی تصفیه‌خانه بر اساس بررسی‌های مهندسان مشاور و با رعایت ضوابط محیط‌زیستی احداث شد. اصول اساسی آماده‌سازی استخر قبل از ماهی‌دار کردن (Matinfar et al., 2016)، عبارت‌اند از: تخلیه و خشک کردن استخر، شخم و دیسک زدن بستر، آهک‌پاشی، دادن کود پایه، آب‌گیری از منابع مطمئن، نصب و کنترل صافی‌ها. آهک مرده $Ca(OH)_2$ به‌منظور ضدعفونی لجن استخر و اصلاح ویژگی‌های نامطلوب آن در زمان آماده‌سازی، تنظیم و کنترل pH آب و افزایش قلیاییت آب در طول دوره پرورش استفاده می‌شود و معمولاً با توجه به شرایط استخر به میزان ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌کارگیری می‌شود (Boyd, 1982). شکل ۲ نمایی از استخر خاکی احداث شده در محل تصفیه‌خانه را نمایش می‌دهد.

Fig. 2. Construction of an earthen pool at the treatment plant
شکل ۲- احداث یک باب استخر خاکی در محل تصفیه‌خانه

[1] World Health Organization (WHO)

[2] Big Head

dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.298125.3168

Fig. 3. Pumps, pipes and fittings to completely direct the treatment plant effluent to the pool

شکل ۳- پمپ‌ها، لوله و اتصالات برای هدایت کامل پساب تصفیه‌خانه به استخر

Fig. 4. Pool dewatered by wastewater treated by Wetland method

شکل ۴- استخر آب‌گیری شده توسط پساب تصفیه‌شده با روش وتلند

در مرحله بعد استخر توسط یک دستگاه پمپ لجن‌کش مستغرق فاضلابی با استفاده از پساب تصفیه‌خانه آب‌گیری شد. شکل‌های ۳ و ۴ مراحل آماده‌سازی و آب‌گیری استخر را نمایش می‌دهد.

برای بررسی کیفیت پساب استفاده شده در پرورش آبزیان در بازه‌های زمانی ۵ روزه از خروجی تصفیه‌خانه نمونه‌برداری شد و آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و میکربی روی آن انجام شد. آنالیزهای فیزیکی- شیمیایی و میکربی پساب قبل از ورود به استخرهای پرورش ماهی مطابق ضوابط محیط‌زیستی برای استفاده از پساب و آبهای برگشتی در پرورش ماهی در بازه زمانی انجام پژوهش پایش شد (Ntengwe and Edema, 2008) و به‌صورت معمولی گزارش شد که شامل موارد زیر است: آنالیز پارامترهای فیزیکی و شیمیایی که بر اساس استاندارد آب و فاضلاب آمریکا انجام شد (Beutler et al., 2014).

pH در محل، به‌روش الکترومتری توسط دستگاه مولتی‌متر شرکت WTW کشور آلمان مدل molti 340i اندازه گرفته شد. دمای آب به‌وسیله دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری DO به روش وینکلر انجام شد (ASTM D888) و COD با استفاده از هضم با محلول دی‌کرومات انجام شد (ASTM D1252) و به روش فتومتری سنجش شد. اندازه‌گیری فسفات، نیترات و نیتریت به‌روش اسپکتروفتومتری با افزودن معرف‌های رنگ‌زای مناسب (Jenway UV.Vis-610,5 England) محاسبه شد (ASTM D3867).

اندازه‌گیری کدورت نیز با دستگاه نفلومتری مدل HACH-Box389, Loveland colo.U.S.A انجام شد (ASTM D6855) (Hughes, 1978).

آزمایش‌های تشخیصی کل کلیفرم، کلیفرم گرماپای و شمارش کل باکتری‌ها روی هر نمونه مطابق روش‌های استاندارد آب و فاضلاب (Association et al., 1912) انجام شد و نتایج به صورت روزانه یادداشت و جمع‌بندی شد. برای شمارش کل باکتری‌ها از روش پلیت کانت و محیط کشت آگار استفاده و

Fig. 5. Installation of UV lamps before the effluent enters the fish pond

شکل ۵- نصب لامپ‌های UV قبل از ورود پساب به حوضچه پرورش ماهی

نتیجه آزمایش به‌صورت واحد تشکیل کلنی گزارش شد. برای آزمایش تعداد کل کلیفرم، کلیفرم مدفوعی از روش تخمیر چند لوله‌ای استفاده و نتایج آن به‌صورت بیشترین تعداد احتمالی گزارش شد و سپس لوله‌ها از نظر تولید گاز بررسی و لوله‌های مثبت یادداشت و نتیجه به MPN گزارش شد.

۲-۲-گندزدایی با UV

به‌کارگیری مؤثر لامپ‌های UV برای کاربردهای مختلف شامل ضدعفونی آب آشامیدنی، آب فرایندی و فاضلاب، نیاز به آگاهی از عوامل تعیین‌کننده دوز UV دارد. دوز UV برابر است با حاصل ضرب مقدار متوسط شدت تابش پرتو UV در طول موج ۲۵۴ نانومتر در داخل محفظه دستگاه UV (برحسب J/m^2) در مدت زمان عبور آب از داخل دستگاه (برحسب ثانیه) است. دوز متداول پرتو افشانی UV برای ضدعفونی آب شرب بر اساس کیفیت آب و هدف ضدعفونی موردنظر بین ۴۰۰ و ۱۲۰۰ ژول بر مترمربع قرار دارد (Wright et al., 2007).

بر اساس اصول و محاسبات گفته شده، ۴ عدد لامپ UV وارداتی شرکت عمران سازان مهاب از برند Wychomar کانادا در فاصله مناسب از محل عبور پساب در حوضچه‌ای به‌نام حوضچه UV قرار داده شد. شکل ۵ حوضچه UV طراحی شده را نشان می‌دهد (Tchobanoglous et al., 2003).

در این سیستم‌ها آب وارد محفظه اصلی دستگاه از جنس استنلس استیل می‌شود و ما بین این محفظه و یک جداره داخلی از جنس کوارتز جریان می‌یابد. لامپ UV درون محفظه کوارتز قرار دارد و در تماس با آب نیست به ایده‌آل‌ترین حالت برای عملکرد لامپ است. عمر لامپ ۷۵۰۰ ساعت است و در این زمان با تولید دوز بالای اشعه به‌طور کامل میکروارگانیسم‌ها را از بین می‌برد. این سیستم برای استخرهای بزرگ با حجم بیش از ۱۰۰۰ مترمکعب که باید حجم زیادی از آب در حال گردش و ضدعفونی شدن باشد بسیار مناسب است. آب از فضای بین لبه داخلی از جنس استنلس استیل و لبه خارجی لوله از جنس کوارتز می‌گذرد. لامپ ماورای‌بنفش در لبه خارجی قرار گرفته است. لامپ UV در تماس با آب نیست، لامپ تا ۴۰ درجه سلسیوس گرم می‌شود که مناسب‌ترین درجه حرارت برای عملکرد لامپ است. تمامی استریلیزه‌کننده‌های UV قدرت کافی برای ایجاد ۳۰۰۰۰ میکروواوت بر ثانیه برای هر سلسیوس مربع در ۷۵۰۰ ساعت در طول موج ۲۰۰ تا ۴۰۰nm دارند که پس از این مدت لامپ‌ها باید تعویض شوند. تمامی مدل‌های دستگاه‌ها در یک پوشش مناسب قرار گرفته‌اند که تمامی اجزای الکتریکی و مکانیکی داخل آن قرار می‌گیرند.

با اطمینان از فرایند گندزدایی پساب و پس از آب‌گیری کامل استخر تعداد ۷۰۰ قطعه بچه ماهی در دو وزن ۱۰۰ و ۱۰ گرمی و همچنین میگو به وزن ۲۰ گرم خریداری شده و به استخر انتقال یافتند. وزن مناسب بچه ماهی برای شروع دوره پرورش بیشتر از ۱۰ گرم است و ماهیان بیش از وزن ۲۰ تا ۵۰ گرم، بهترین نتیجه را خواهند داشت. در مزارع پرورش ماهیان گرمابی در کشور، معمولاً

dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.298125.3168

تعداد ماهی در هکتار با توجه به شرایط متغیر است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده توسط ایمان‌پور و همکاران، می‌توان کپور معمولی را تا تراکم ۴۵۰ ماهی در هر هکتار به‌طور موفقیت‌آمیزی پرورش داد (Imanpoor et al., 2009).

با توجه به اقلیم آب و هوایی شهرستان قصر شیرین بچه ماهی‌ها از نوع گرمابی با ترکیب درصد مناسب انتخاب شدند. برای در امان ماندن از پرندگان سطح بالایی استخر به‌طور کامل محصور شد تا در پایان مدت زمان لازم برای رشد، آزمایش‌های نهایی از لحاظ کیفیت گوشت آبزیان و آزمایش‌های زیست‌سنجی[1] انجام شود. آزمایش‌ها مربوط به آبزیان در دو بخش بلافاصله پس از صید آبزیان از استخر و آزمایش‌هایی که با صرف یک بازه زمانی ۱۰ روزه حضور آبزیان در آب سالم و بهداشتی انجام شد.

۲-۳- انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی و کیفیت گوشت آبزیان

برای آگاهی از روند رشد آبزیان هر ۲ ماه یک‌بار ماهی‌ها به دقت با ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند که در نهایت با ۳ بار زیست‌سنجی در طول دوره آزمایش انجام شد. برای تعیین کیفیت گوشت آبزیان از لحاظ شیمیایی و میکروبی ابتدا باید با روش مناسب بافت آبزیان هضم شیمیایی شود که به‌صورت زیر است.

۲-۳-۱- آماده‌سازی محلول نمونه با استفاده از روش هضم مرطوب[2]

به‌منظور تعیین کیفیت گوشت آبزیان مطابق با دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی آزمایش‌های میکربی، مشاهده بیولوژیکی و همچنین بررسی گوشت آبزیان، ابتدا باید هضم گوشت آبزیان انجام شود. برای هضم نمونه‌ها از روش هضم مرطوب استفاده شد (Eboh et al., 2006).

۳- نتایج و بحث

با توجه به یافته‌های بررسی شده، وتلند مصنوعی با جریان زیر سطحی در حذف مواد آلی و جامدات، کارایی بالایی داشته و قادر به دستیابی به استانداردهای محیط‌زیستی ایران برای مصارف کشاورزی و آبیاری است (Ehrampoush et al., 2013).

کارایی انواع گیاهان نی در وتلند مصنوعی زیر سطحی برای حذف پاتوژن‌های شاخص از فاضلاب شهر یزد نشان می‌دهد که کارایی به‌دست آمده از وتلندها با استفاده از وتلند مصنوعی زیر سطحی با گونه نی علی‌آباد می‌تواند در حذف کل کلیفرم‌ها و اشرشیاکلی بسیار مؤثر باشد و در نتیجه می‌توان از وتلندها برای تصفیه ثانویه فاضلاب و همچنین برای گندزدایی استفاده کرد (Hossein Shahi et al., 2012).

آهک در استخرهای پرورش آبزیان، موارد مصرف بسیاری دارد. افزایش pH خاک اسیدی بستر، افزایش قابلیت دسترسی به فسفر، گندزدایی، شکوفایی فیتوپلانکتونی، افزایش قابلیت دسترسی به مواد مغذی و همچنین افزایش فعالیت میکربی در خاک بستر با افزایش مطلوب pH و بسیاری شرایط مناسب دیگر از مزایای آهک‌زنی در ابتدا و طی دوره پرورش است. در نتیجه آهک به‌عنوان بهترین ماده آهکی ضدعفونی‌کننده باعث افزایش قلیاییت آب و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی به دی‌اکسید کربن برای افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش بهره‌وری فیتوپلانکتون‌ها از دی‌اکسید کربن شده و مقدار کربن را برای فتوسنتز افزایش می‌دهد. در نهایت با افزایش تولیدات پلانکتونی منجر به افزایش تولیدات آبزی‌پروری می‌شود (Boyd, 1995).

پساب‌های پسماند تصفیه شده اولیه و ثانویه با موفقیت برای رشد ماهی تیلاپیا در کشور مصر استفاده شد. سرعت رشد پرورش در فاضلاب تصفیه شده به‌طور قابل‌توجهی بیش از ماهی پرورش یافته در زیستگاه طبیعی بود. تجزیه‌وتحلیل شیمیایی و باکتریایی نشان داد که شواهدی از هر گونه خطر بهداشت عمومی مرتبط با استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در آبزی‌پروری وجود ندارد (Khalil and Hussein, 1997).

در پژوهش‌های داخلی، امکان‌سنجی بهینه‌سازی کیفیت فاضلاب تصفیه‌خانه شهر قم توسط آبزیان نشان داد که گونه‌های آبزیان شامل ماهی گامبوزیا، سیاه ماهی و آرتمیا حداکثر بازماندگی را دارند (Asharitabar et al., 2010). این نتایج نشان می‌دهد که امکان تولید آبزیان اقتصادی با استفاده از فاضلاب تصفیه شده وجود دارد.

[1] Biometry
[2] Wet Digestion

۳-۱- نتایج حاصل از آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و میکربی

میانگین فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب در طول دوره پرورش ماهی‌ها اندازه‌گیری شد. جدول ۱ میانگین نتایج حاصل از آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و میکربی انجام شده را نشان می‌دهد. آب استفاده شده در پرورش ماهی به‌ویژه ماهیان گرم آبی باید از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی قابل‌قبول باشد، چون تمام فعالیت‌های زیستی ماهی مانند تنفس، تغذیه، رشد و تولیدمثل تحت تأثیر محیط آبی است. مقدار ثبت شده در جدول ۱ آمده است، همان گونه که نتایج نشان می‌دهد پساب خروجی از تصفیه‌خانه از لحاظ پارامترهای شیمیایی مناسب بوده و در دامنه استاندارد پرورش ماهیان گرمابی قرار می‌گیرد ولی بار میکربی نسبتاً زیادی دارد. طبق دستورالعمل اجرایی و ضوابط فنی بهداشتی مزارع پرورش ماهیان گرمابی، دامنه مناسب اکسیژن بین ۲ تا ۹ میلی‌گرم در لیتر و میزان pH مناسب آب ۶ تا ۸ گزارش شده است. محدوده مناسب دمای آب برای پرورش کپور ماهیان ۱۵ تا ۲۹ درجه سلسیوس است، اما بهترین رشد در دمای ۲۸ تا ۲۹ درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد (Imanpoor et al., 2009).

برای کاهش بار میکربی توصیه نمی‌شود که از حوضچه کلرزنی در پرورش ماهیان استفاده کرد. استفاده از کلر، نه تنها خطرهایی برای سلامت جانداران بلکه عوارضی برای اکوسیستم‌ها دارد (Diao et al., 2004).

جدول ۱- نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی و میکربی پساب خروجی از تصفیه‌خانه

Table 1. Results of physicochemical and microbial analysis of effluent from the treatment plant

Row	Parameter	Pool	Unit
1	Temperature	18.4	^{0}C
2	Turbidity	13.4	NTU
3	Nitrite	0.06	Ppm
4	Nitrate	3	Ppm
5	COD	33	Ppm
6	DO	8	Ppm
7	pH	7.3	-
8	Phosphate	3.1	Ppm
9	TKN	21.3	Ppm
10	Total coliform (MPN)	230000	Number
11	Thermotolerant coliform	45000	Number

حوضچه‌ای تحت عنوان حوضچه UV در محل ورودی استخر پرورش آبزیان تعبیه شد و پساب با زمان ماند مناسب و بهینه شده قبل از ورود به استخر برای کاهش بار میکربی وارد حوضچه UV شد. شکل ۵ لامپ‌های UV طراحی و نصب شده در محل حوضچه UV را نشان می‌دهد. جدول ۲ نتایج به‌دست آمده از آنالیز پساب پس از عبور از حوضچه UV را نشان می‌دهد.

هوروات و همکاران و طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۸۷۲۶ بر مبنای کیفیت آب تعیین آب استخر پرورش ماهی برای گونه‌های رایج گرمابی و سردابی روش متداول ویژگی‌ها، مهمترین فاکتورهای مؤثر آب در تکثیر و پرورش ماهیان گرمابی را به شرح جدول ۳ تعیین کردند (Horváth et al., 1984).

نتایج نشان داد که بار میکربی پساب با عبور از حوضچه UV به‌طرز چشمگیری کاهش پیدا کرده است. پس از آب‌گیری کامل استخر با پساب تصفیه شده و گندزدایی شده در بازه‌های زمانی ۵ روزه ۳ مرتبه از آب استخر نمونه‌برداری شده و میانگین داده‌ها در جدول ۳ ثبت شد و مقایسه نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی استخر طراحی شده و گندزدایی شده با استانداردهای کیفیت آب برای پرورش ماهیان گرمابی (جدول ۳)، نشان داد که شرایط لازم برای آبزی‌پروری را دارد. نتایج مقدار MPN کل کلیفرم پساب تصفیه شده از ۱۰۰۰۰ بعد از ضدعفونی با UV به ۸۰۰۰ بعد از آب‌گیری در استخر، نشان داد که استخرها و حوضچه‌های خاکی که برای پرورش ماهیان گرمابی استفاده شده تا حد زیادی به‌عنوان یک

جدول ۲- نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی پساب خروجی از حوضچه UV

Table 2. Results of physicochemical analysis of effluent from the UV pool

Row	Parameter	Pool	Unit
1	Temperature	19	^{0}C
2	Turbidity	13	NTU
3	Nitrite	0.06	ppm
4	Nitrate	3	ppm
5	COD	7.8	ppm
6	DO	8	ppm
7	pH	7	-
8	Phosphate	3	ppm
9	TKN	21	ppm
10	Total coliform (MPN)	10000	Number
11	Thermotolerant coliform (MPN)	15000	Number

dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.298125.3168

جدول ۳- نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی استخر طراحی شده و گندزدایی شده

Table 3. Results of physicochemical analysis of designed and disinfected pool

Row	Parameter	Pool	Unit	Permissible values according to the standard ISIRI 8726
1	Temperature	18	C	16-29
2	Turbidity	13	NTU	5
3	Nitrite	0.06	ppm	0.1>
4	Nitrate	3	ppm	2-5
5	COD	25	ppm	50
6	DO	7.5	ppm	2-9
7	pH	7	-	86
8	Phosphate	3	ppm	0.01-3
9	TKN (org-N + NH4-N)	21	ppm	0-3 for NH_4^+
10	Total coliform (MPN)/ 100ml	8000	Number	-
11	Thermotolerant (MPN) / 100ml	12000	Number	1000

Water quality – determination of pond water fish culture for common cold and warm water fishes – specification- ISIRI 8726

فیلتر طبیعی ذرات و بار میکربی آب عمل کرده و می‌تواند تا حد زیادی به این امر کمک کند. مقدار اکسیژن محلول در آبی که ماهی در آن پرورش می‌یابد طبق استاندارد، نباید کمتر از ppm ۲ باشد که با توجه به نتایج به‌دست آمده برای اکسیژن محلول در آب استخر طراحی شده برای پرورش آبزیان مقدار اکسیژن محلول ppm ۷/۵ بود که مناسب برای پرورش آبزیان بود. مقدار به‌دست آمده کدورت، بیشتر از حد مجاز بوده و با استاندارد آبزیان و استانداردهای جهانی و ایران سازگاری ندارد (جدول ۳).

به نظر می‌رسد افزایش میزان کدورت آب در پاییز و زمستان به‌علت بارندگی زیاد باشد که موجب تلاطم شدید آب استخر و به‌هم خوردن رسوبات بستر شده است. دما و pH در محدوده استاندارد آبزیان است. گفته می‌شود pH یک فاکتور بسیار مهم در ارزیابی کیفیت آب است. مقدار COD، ۲۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر بود که طبق استاندارد ملی ایران (۵۰ mg/L) بود. نتایج نشان داد که میانگین تعداد کل باکتری کلیفرم، کلیفرم گرماپای (مدفوعی) در آب استخر ۸۰۰۰ و MPN/100cc ۱۲۰۰۰ بود که از مقدار استاندارد کلیفرم مدفوعی MPN/100cc ۱۰۰۰ طبق ضوابط محیط‌زیستی استفاده مجدد از آبهای برگشتی و پسابها، بیشتر بود که نیاز به بررسی و استفاده از روش‌های ضدعفونی و پژوهش‌های بیشتر برای کاهش بار میکربی آب استخر، داشت.

با توجه به استاندارد ملی ارائه شده در جدول و نتایج آنالیز خروجی واحد تصفیه و گندزدایی مشاهده می‌شود در پارامترهای میکربی، ازت و کدورت استانداردهای لازم برای استفاده از فاضلاب تصفیه شده در پرورش ماهی وجود ندارد. در شرایط و سیستم تصفیه فعلی امکان استفاده از این فاضلاب تصفیه شده برای پرورش ماهی در منطقه وجود ندارد و برای این نوع استفاده نیاز به تصفیه بیشتر است.

اصول گندزدایی با پرتو فرابنفش در پژوهش‌های متعددی منتشر شده است که در اسید نوکلئیک میکرب‌ها تغییرات فتوشیمیایی ایجاد می‌کند. این تغییرات مانع تکثیر سلولی و تولیدمثل آنها می‌شود. مقدار تخریب ایجاد شده توسط پرتو فرابنفش و در نتیجه میزان تأثیر فرایند ضدعفونی با شدت نور و مدت زمان مجاورت با تابش متناسب است. در پژوهش آندریداکیس و همکاران، دوز UV لازم برای گندزدایی پساب خروجی ثانویه، برای رسیدن کلیفرم‌ها به کمتر از 2000FC/100ml حدود ۳۰ تا ۶۰ mws/cm^2 بود (Andreadakis et al., 1999, Bregnballe, 2010).

۳-۲- انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی

نتایج آزمایش‌های زیست‌سنجی آبزیان طی مدت زمان رشد در

جدول ۴ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود آزمایش‌های زیست‌سنجی انجام شده نشان‌دهنده رشد مناسب آبزیان در طی روند رشد بوده و شاخص مناسبی دارد. پژوهش‌ها نشان داده است که درصد زنده ماندن گونه‌هایی از ماهیان زینتی به روش آکواپونیک در فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه شهر بوشهر وجود دارد و گونه‌هایی مانند پیرانای شکم قرمز و جونیت توانایی سازگاری، زنده مانی و رشد در فاضلاب شهری بوشهر را دارند (Agharokh, 2008). همچنین در پژوهشی بازماندگی و رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در غلظت‌های مختلف از پساب فاضلاب شهری به‌مدت ۲۷ روز انجام شد و نتایج نشان داد که این گونه بازماندگی نسبتاً بالایی در فاضلاب تصفیه شده دارد (Hoeger et al., 2004).

۳-۴- آنالیز میکربی بافت آبزیان

به‌منظور تکمیل گستره آنالیزی روی بافت آبزیان تعداد ۵ نمونه ماهی به‌صورت تصادفی انتخاب شد و آزمایش‌های میکربی روی آنها انجام شد که نتایج آزمایشات میکربی در جدول ۵ ارائه شده است. آزمایش‌های میکروبی پس از انتقال به آب پاک نیز نشان‌دهنده این بود که نمونه از لحاظ کشت میکربی و آزمایش‌های انگلی منفی است.

جدول ۴- نتایج آزمایش‌های زیست‌سنجی آبزیان طی مدت زمان رشد

Table 4. Results of aquatic biometries during growth

Row	Month	Average initial weight (gr)	Average final weight (gr)	Weight gain rate (gr)
1	Mehr (Oct.)	61.42	300	238.58
2	Azar (Dec.)	300	750	450
3	Esfand (Mar.)	750	2000	1250

جدول ۵- نتیجه آنالیز میکربی بافت ماهی

Table 5. Results of microbial analysis of fish tissue

Sample	Microbial culture	Parasitic tests
1	Negative	Negative
2	Negative	Negative
3	Negative	Negative
4	Negative	Negative
5	Negative	Negative

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس پژوهش انجام شده، امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهر قصر شیرین در استان کرمانشاه با روش وتلند مصنوعی به‌منظور پرورش آبزیان بررسی و قابل‌انجام است. در این پژوهش بار میکربی آب، اهمیت ویژه‌ای داشت. با توجه به اینکه در این کار از خروجی سیستم‌های تصفیه وتلند استفاده شد و قرار دادن ۴ رشته لامپ UV در محل آب‌گیری حوضچه مورد آزمایش بار میکربی آب را تا حد زیادی کاهش داد. ماهیان پرورشی در استخر آزمایشی از خانواده کپور ماهیان بوده که رژیم غذایی فیلترکننده‌ای دارند.

برای کاهش بار مواد معلق موجود در آب استخر و افزایش شفافیت آب، در ۵ مرحله در طی پرورش، از آهک مرده استفاده شد که همین عامل می‌تواند در کاهش بار میکربی آب استخر به دلیل افزایش سریع و زیاد pH نقش داشته باشد. آزمایش‌های زیست‌سنجی انجام شده، نشان‌دهنده رشد مناسب آبزیان در طی روند رشد بوده است. نتایج همچنین نشان داد که شرایط نرمال برای پرورش کپورماهیان وجود دارد، اما می‌تواند بهبود یابد. در پارامترهای میکربی، ازت و کدورت استانداردهای لازم برای استفاده از فاضلاب تصفیه شده در پرورش ماهی وجود ندارد در شرایط و سیستم تصفیه فعلی امکان استفاده از این فاضلاب تصفیه شده برای پرورش ماهی در منطقه وجود ندارد و نیاز به تصفیه بیشتر است. استفاده از دستگاه ازن علاوه بر UV، در ابتدای آب‌گیری استخرهای تغذیه شده با فاضلاب تصفیه شده برای کاهش بیشتر بار میکربی پیشنهاد می‌شود.

۵- قدردانی

نویسندگان، مراتب سپاسگزاری خود را از شرکت آب و فاضلاب استان کرمانشاه و همکارانشان در شهرستان قصر شیرین به‌عنوان کارفرما اعلام می‌دارند. این پژوهش استخراجی از طرح پژوهشی "بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهر قصر شیرین در پرورش آبزیان" موضوع قرارداد شماره ۱۲۹/۹۳/۹۰۸۹ شرکت آب و فاضلاب استان کرمانشاه بود. همچنین نویسندگان مراتب تشکر خود را از معاونت پژوهشی سازمان جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه برای همکاری در اجرای پژوهش اعلام می‌دارد.

References

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*, 19(1), 53-47. (In Persian)

Andreadakis, A., Mamais, D., Christoulas, D. & Kabylafka, S. 1999. Ultraviolet disinfection of secondary and tertiary effluent in the mediterranean region. *Water Science and Technology*, 40, 253-260.

Asharitabar, N., Zahedimovahed, H., Mohaghegh, M. & Bakhtiari, H. 2010. Feasibility of wastewater quality optimization by aquatic animals. *Environment Journal*, 48, 60-68.

Association, A. P. H., Association, A. W. W., Federation, W. P. C. & Federation, W. E. 1912. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association.

Beutler, M., Wiltshire, K., Meyer, B., Moldaenke, C., Luring, C., Meyerhofer, M., et al. 2014. APHA (2005), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Washington DC: American Public Health Association.

Boyd, C. E. 1982. *Water Quality Management for Pond fish Culture*, Elsevier Scientific Publishing Co., Amesterdam, Netherlands.

Boyd, C. E. 1995. *PondBottom Soil Analyses. Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture*. Boston, MA., USA.

Bregnballe, J. 2010. *A Guide to Recirculation Aquaculture: an Introduction to the New Environmentally Friendly and Highly Productive Closed Fish Farming Systems*. FAO Pub. Copenhagen, Denmark.

Brix, H., Schierup, H. H. & Arias, C. 2007. Twenty years experience with constructed wetland systems in Denmark–what did we learn? *Water Science and Technology*, 56, 63-68.

Choopan, Y. & Emami, S. 2020. Investigation the possibility of using torbat-heydarieh urban wastewater for irrigation of agricultural products. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 5, 39-45. (In Persian)

Chouinard, A., Balch, G. C., Wootton, B. C., Jørgensen, S. E. & Anderson, B. C. 2014. SubWet 2.0. modeling the performance of treatment wetlands. *Developments in Environmental Modelling*, 26, 519-537.

Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. S. & Akinwole, A. O. 2019. Waste production in aquaculture: sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4, 81-88.

Diao, H., Li, X., Gu, J., Shi, H. & Xie, Z. 2004. Electron microscopic investigation of the bactericidal action of electrochemical disinfection in comparison with chlorination, ozonation and Fenton reaction. *Process Biochemistry*, 39, 1421-1426.

Eboh, L., Mepba, H. D. & Ekpo, M. B. 2006. Heavy metal contaminants and processing effects on the composition, storage stability and fatty acid profiles of five common commercially available fish species in Oron local government, Nigeria. *Food Chemistry*, 97, 490-497.

Ehrampoush, M., Hossein Shahi, D., Ebrahimi, A., Ghaneian, M., Lotfi, M., Ghelmani, S., et al. 2013. Evaluation of the efficiency of sub-surface constructed wetland methods in wastewater treatment in Yazd city in 2011. *Tolooebehdasht*, 12, 33-43. (In Persian)

Fan, C., Chang, F. C., Ko, C. H., Sheu, Y. S., Teng, C. J. & Chang, T. C. 2009. Urban pollutant removal by a constructed riparian wetland before typhoon damage and after reconstruction. *Ecological Engineering*, 35, 424-435.

Hammer, D. A. 2020. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, in Faulkner, S. P. & Richardson, C. J. 2020. *Physical and Chemical Characteristics of Freshwater Wetland Soils*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.

Gerba, C. P. & Pepper, I. L. 2009. *Wastewater Treatment and Biosolids Reuse*, in Maier, R. M., Pepper, I. L. & Gerba, C. P. 2009. *Environmental Microbiology.* Elsevier Pub., California, USA.

Gopakumar, K., Ayyappan, S. & Jena, J. 2000. Present status of integrated fish farming in India and wastewater treatment through aquaculture proceedings of the national workshop on wastewater treatment and integrated aquaculture, edited, kumar MS SARDI. *Aquatic Sciences*, 9**,** 22-37.

Hoeger, B., Van Den Heuvel, M. R., Hitzfeld, B. C. & Dietrich, D. R. 2004. Effects of treated sewage effluent on immune function in rainbow trout (oncorhynchus mykiss). *Aquatic Toxicology*, 70**,** 345-355.

Horváth, L., Tamás, G. & Tolg, I. 1984. *Special Methods in Pond Fish Husbandry*. Halver Corp Pub., Budapest, Hungary.

Hossein Shahi, D., Ebrahimi, A., Eslami, H. & Aiattollahi, S. 2012. Efficiency of straw plants in sub surface flow constructed wetland for indicator pathogens removal in Yazd municipal wastewater. *Navid No*, 16(58). (In Persian)

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

Imanpoor, M., Ahmadi, A. R. & Kordjazi, M. 2009. Effects of stocking density on survival and growth indices of common carp (cyprinus carpio). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 18(3)**,** 1-10. (In Persian)

Jorgensen, S. E., Chang, N. B. & Xu, F. L. 2014. *Ecological Modelling and Engineering of Lakes and Wetlands*, Elsevier Pub., London, UK.

Khalid, S., Shahid, M., Natasha, Bibi, I., Sarwar, T., Shah, A. H. & Niazi, N. K. 2018. A review of environmental contamination and health risk assessment of wastewater use for crop irrigation with a focus on low and high-income countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15**,** 895.

Khalil, M. & Hussein, H. 1997. Use of wastewater for aquaculture: an experimental field study at a sewage-treatment plant, Egypt. *Aquaculture Research*, 28(11)**,** 859-865.

Liberti, L. & Notarnicola, M. 1999. Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. *Water Science and Technology*, 40**,** 235-245.

Mara, D. D., Cairncross, S. & Organization, W. H. 1989. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Measures for Public Health Protection*, World Health Organization, London, UK.

Matinfar, A., Salehi, H., Sharifrohani, M., Hafeziyeh, M., Abdulhai, H., Mehrabi, M., et al. 2016. *Evaluation Criteria for Responsible Aquaculture and Develop Procedures to Optimize Management of Aquaculture Farms.* National Fisheries Science Research Institute Pub., Tehran, Iran. (In Persian)

Naderi Rad, N., Rezaei Tavabe, K. & Borghei, S. M. 2018. Investigation of possibility of treated urban wastewater in aquaculture of the common carp and the silver carp species and their effects on the quality parameters of wastewater (case study: Mahdishahr wastewater treatment plant). *Journal of Animal Environment*, 10**,** 183-188. (In Persian)

Nan, X., Lavrnić, S. & Toscano, A. 2020. Potential of constructed wetland treatment systems for agricultural wastewater reuse under the EU framework. *Journal of Environmental Management*, 275**,** 111219.

Ntengwe, F. W. & Edema, M. O. 2008. Physico-chemical and microbiological characteristics of water for fish production using small ponds. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33**,** 701-707.

Omotade, I. F., Alatise, M. O. & Olanrewaju, O. O. 2019. Recycling of aquaculture wastewater using charcoal based constructed wetlands. *International Journal of Phytoremediation*, 21**,** 399-404.

Rezaei Tavabe, A., Rafiee, G., Moteshafi, F. & Taya, A. 2018. 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). *Journal of Aquaculture Sciences*, 6(10)**,** 1-12. (In Persian)

Seyed Mortezaei, S., Housmand, H., Ahangarzadeh, M., Jorfi, E., Dehghan, S., Kianersi, F., et al. 2016. Monitoring of fresh water fish farms in north of khouzestan province for mortality emphasis on silver carp. *Iranian Fisheries Science Research Institute*, 1-111. (In Persian)

Stefanakis, A. I. 2020. Constructed wetlands for sustainable wastewater treatment in hot and arid climates: opportunities, challenges and case studies in the Middle East. *Water*, 12**,** 1665.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L. & Stensel, H. D. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, Boston, US: McGraw-Hill Higher Education, USA.

Vymazal, J. 2010. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2**,** 530-549.

Wright, H., Gaithuma, D. & Mackey, E. D. 2007. *Optimization of UV Disinfection*, AWWA Research Foundation, Pub., New York, USA.

Wu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., et al. 2015. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. *Bioresource Technology*, 175**,** 594-601.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.