

ارزیابی شاخص‌های آلودگی چند سیستم تصفیه فاضلاب با تأکید بر غلظت فلزات سنگین

نجمه یزدان‌پناه

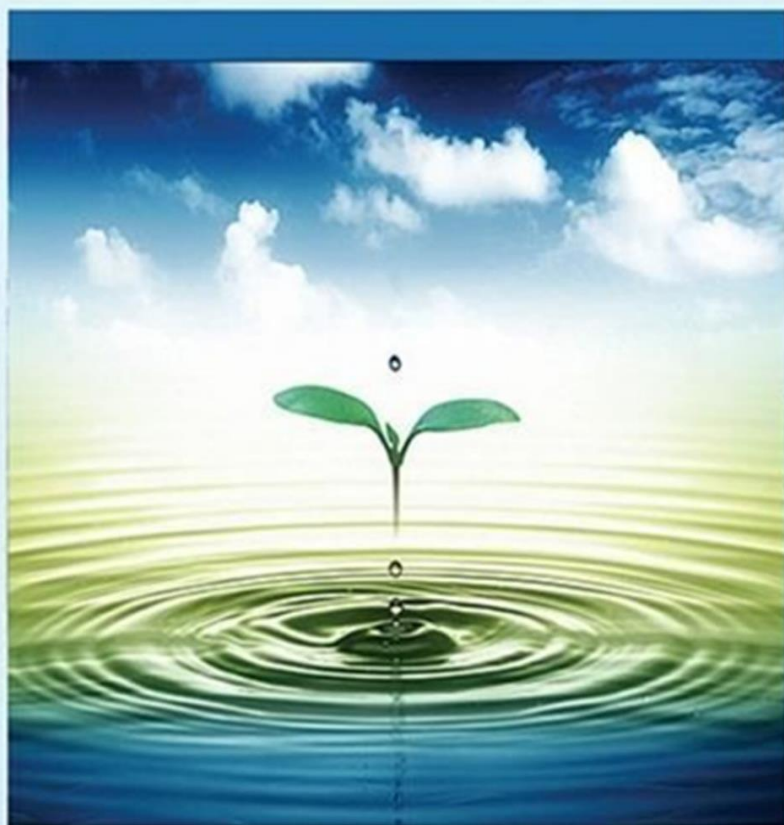
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۵۶۶-۵۵۵

Vol. 7(4), Winter 2021, 555-566

DOI: 10.22034/JEWE.2021.250097.1432

**Evaluation of Pollution Indices in Some
Wastewater Treatment Plants with Emphasis
on the Concentration of Heavy Metals**

Yazdanpanah, N.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

یزدان‌پناه، ن. (۱۴۰۰). ارزیابی شاخص‌های آلودگی چند سیستم تصفیه فاضلاب با تأکید بر غلظت فلزات سنگین. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۵۶۶-۵۵۵.

Citing this paper: Yazdanpanah, N. (2021) Evaluation of pollution indices in some wastewater treatment plants with emphasis on the concentration of heavy metals. Environ. Water Eng., 7(4), 555-566. DOI: 10.22034/JEWE.2021.250097.1432

مقاله پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های آلودگی چند سیستم تصفیه فاضلاب با تأکید بر غلظت فلزات سنگین

نجمه یزدان‌پناه^{۱*}

^۱دانشیار گروه مهندسی آب، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

*نویسنده مسئول: nyazdanpanah@iauk.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۷/۰۶]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۳/۲۱]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۳/۲۶]

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی کیفیت پساب فاضلاب و تعیین غلظت عناصر سنگین انجام شد. به این منظور، قبل و بعد از چهار سیستم تصفیه فاضلاب در روستاهای اطراف زرنده به اسامی ده‌میلان، حتکن، سرباغ و سکوکان، هر یک در ۱۰ مرحله و در فواصل زمانی یک‌هفته‌ای و در مجموع تعداد ۸۰ نمونه برداشت شد. مقادیر BOD، COD، TOC، EC، TSS، TDS، DO، TKN، TP، pH، درجه حرارت، کدورت و قلیائیت و همچنین غلظت عناصر سنگین کادمیوم، روی، سرب، نیکل و مولیبدن به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و نسبت به حدود مجاز سازمان محیط‌زیست مقایسه شد. نتایج نشان داد که در تمام سیستم‌های تصفیه، غلظت کادمیوم و سرب در خروجی نسبت به ورودی سیستم به ترتیب بین ۱۷/۵ تا ۳۷/۴ و ۰/۵ تا ۰/۶۰٪ کاهش و غلظت نیکل بین ۸/۷ تا ۵۹/۷٪ افزایش یافت. مقدار BOD و COD در خروجی اغلب سیستم‌های تصفیه مورد مطالعه به ترتیب تا حداکثر ۲۸۳/۹ و ۲۷۱/۳٪ بیش‌تر از حد مجاز بود. همچنین همه سیستم‌ها غیر از ده‌میلان مواد معلق را نسبت به حد مجاز کاهش داد. مقدار TP و DO در خروجی سیستم‌ها نسبت به حد مجاز افزایش و مقدار pH و کدورت کاهش یافت. در خروجی تمام سیستم‌های تصفیه، غلظت کادمیوم، روی، سرب و نیکل کم‌تر از حد مجاز (به ترتیب تا حداکثر ۵۸، ۸۲/۴، ۹۷/۷ و ۸۵/۲٪) ولی غلظت مولیبدن بیش‌تر از حد مجاز بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی؛ پساب؛ حد آستانه؛ کیفیت آب؛ عناصر سنگین

۱- مقدمه

یکی از مشکلات مهم و اساسی در مناطق خشک و نیمه خشک، تأمین آب با کیفیت مناسب است. این در حالی است که افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی از یک طرف و افزایش آلاینده‌ها و فلزات سنگین از طرف دیگر، بقای بشر را با چالش جدی روبرو کرده است. حقیقت غم‌انگیز آلودگی آب‌های شیرین مشکلی است که دوسوم جمعیت جهان در سال ۲۰۲۵ با آن مواجه خواهند شد (Ahuja 2009). این در حالی است که توسعه شهرنشینی و افزایش سریع جمعیت باعث نابودی و زوال منابع آب، هوا و خاک شده است. آلودگی فاضلاب از مباحث مهم محیط‌زیستی و در ارتباط مستقیم با سلامت بشر است (Saxena and De Souza 2006).

طی سال‌های اخیر، فعالیت‌های بشر اثرات گسترده‌ای بر محیط‌زیست گذاشته است. آلاینده‌های پایدار و مضر ناشی از فعالیت‌های انسان به صورت وسیع و در مقیاس جهانی پراکنده شده‌اند. عناصر سنگین و ترکیبات ارگانوکلرین از خطرناک‌ترین این آلاینده‌ها هستند. در مواردی آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های بشر به قدری پایدار هستند که اثرات آن‌ها قرن‌ها باقی می‌ماند (Manahan 2005) در واقع، فلزات و ذرات بالقوه سمی که در اثر فعالیت‌های بشر آزاد می‌شوند، می‌توانند شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط را بر هم زده و اثرات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست بر جای می‌گذارد. معمولاً این مواد از طریق فعالیت‌های بشر وارد محیط شده و از طریق جریان‌های رودخانه‌ای و دودکش‌های صنعتی منتشر می‌شوند (Neal et al. 2010). طی سال‌های اخیر، برخی کشورها گام‌های مؤثری در جلوگیری از انتشار بی‌رویه این آلاینده‌ها برداشته‌اند (Amirkavei and Hami 2010).

با توجه به کمبود منابع آب از یک طرف و پیامدهای ناشی از آلودگی فاضلاب از طرف دیگر، بهره‌برداری مطلوب و کارا از آن در راستای توسعه پایدار، به عنوان یکی از مهم‌ترین موضوع‌ها در مجامع بین‌المللی مطرح بوده است (Ziaei 2007). تصفیه و استفاده مجدد از پساب برای تأمین بخشی از نیازهای آبی به خصوص برای مصارف کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار است (Shokuhian and Piyade 2010). از جمله راهکارهایی که در سال‌های اخیر معمول شده، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای اهداف آبیاری در

کشاورزی است (Lado and Ben-Hur 2009). از آنجا که کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در سطح جهان است از این رو، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای رفع مشکل کم‌آبی مفید خواهد بود. این در حالی است که موارد متعددی از کاربرد فاضلاب در کشورهای دنیا نظیر نپال (Rutkowski et al. 2007)، هند (Srinivasan and Reddy 2009)، پاکستان (Hussain et al. 2002) و مکزیک (Pedrero et al. 2010) گزارش شده است.

استفاده از سیستم‌های تصفیه فاضلاب به منظور حذف عوامل آلاینده قبل از ورود به اراضی کشاورزی کاربرد وسیعی در مناطق مختلف دارد (Hussain et al. 2002). برای تصفیه فاضلاب، از سیستم‌های مخصوصی استفاده می‌شود که ارزیابی کارایی این سیستم‌ها با استفاده از شاخص‌های متعددی قابل بررسی است. شاخص‌هایی که در اغلب منابع برای ارزیابی کارایی سیستم‌های تصفیه مورد استفاده قرار می‌گیرد، شامل میزان اکسیژن مورد نیاز تجزیه شیمیایی (COD)، اکسیژن مورد نیاز تجزیه بیوشیمیایی (BOD)، کربن آلی کل (TOC)، ذرات معلق جامد (TSS) و محلول (TDS)، اکسیژن محلول (DO)، نیترژن کل (TKN)، فسفر کل (TP)، pH، درجه حرارت (T)، کدورت (Turb) و قلیائیت (Alk) می‌باشد (Roeleveld and Van Loosdrecht 2002; Pedrero et al. 2010). در صورتی که میزان هر یک از این عوامل آلاینده بیشتر از حد مجاز باشد، خطرات محیط‌زیستی در کشاورزی حتمی است.

از منظر دیگر، آلودگی و انتقال آلاینده‌ها از طریق فاضلاب به یکی از مهم‌ترین مسائل محیط‌زیستی تبدیل شده است که می‌تواند اثرات جبران‌ناپذیری بر حیات موجودات زنده و حتی بقای بشر بر جای گذارد. این در حالی است که کشور ایران در زمره کشورهای کم‌آب جهان محسوب می‌شود (Nowrouzi and Pourkhabaz 2010) و لذا پرداختن به امکان استفاده از پساب تصفیه‌شده در کشاورزی از یک طرف و بررسی آلودگی آب و آلاینده‌های از طرف دیگر امری ضروری است. علاوه بر این، مطالعه عوامل آلاینده در مناطق روستایی به ویژه فاضلاب و فلزات سنگین و همچنین کارایی سیستم‌های تصفیه در این مناطق کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی و ارزیابی کارایی چند سیستم تصفیه فاضلاب روستایی اطراف شهرستان زرنند



نیکل و مولیبدن بود که غلظت هر یک به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. با توجه به غلظت اندازه‌گیری شده اولیه و برای افزایش دقت، اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین در حد ppb انجام شد. در نهایت، مقدار هر پارامتر در خروجی سیستم تصفیه نسبت به مقدار هر پارامتر در ورودی محاسبه شد. همچنین مقدار پارامترهای مختلف، نسبت به مقادیر مجاز بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست (EPO 2001) مورد مقایسه قرار گرفت. بر این مبنای وضعیت هر سیستم تصفیه فاضلاب ارزیابی شد. علاوه بر این، به‌منظور تعیین کارایی هر سیستم تصفیه، از شاخص درصد نسبی تغییر استفاده گردید (Yazdanpanah et al. 2012; Arnel et al. 2017; Ju et al. 2019).

$$RC = \left[\frac{(x_0 - x_i)}{x_i} \right] \times 100 \quad (1)$$

که، RC درصد تغییر هر پارامتر، x_0 مقدار هر پارامتر در خروجی و x_i مقدار آن پارامتر در ورودی و یا حد مجاز پارامتر موردنظر است. مقادیر مثبت و منفی این شاخص، به‌ترتیب مبین افزایش و کاهش نسبی مقدار پارامتر در خروجی نسبت به ورودی و یا نسبت به حد مجاز می‌باشد.

۳-۲- تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری، در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Minitab، آزمون نرمالیتی روی داده‌های ورودی و خروجی هر ایستگاه انجام شد. سپس مشخصات آماری هر ایستگاه بر مبنای داده‌های نرمال‌شده، قبل و بعد از تصفیه تعیین گردید. در گام بعد، به‌منظور مقایسه میانگین بین پارامترهای اندازه‌گیری‌شده ورودی و خروجی هر تصفیه‌خانه، با استفاده از نرم‌افزار SAS مقایسه میانگین در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. همچنین رسم گراف‌ها در محیط Excel صورت گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

نتایج مقایسه میانگین بین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده قبل و بعد از تصفیه در چهار ایستگاه مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است. در ایستگاه ده‌میلان در بین پارامترهای مورد مطالعه، کاهش میزان BOD، COD، TOC، pH، کدورت، کادمیوم و سرب خروجی نسبت به ورودی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین غلظت نیکل در خروجی سیستم تصفیه به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ورودی آن بود. به علت کاهش معنی‌دار COD پس از

در کاهش آلودگی ناشی از فاضلاب و عناصر سنگین برای استفاده مجدد از پساب در کشاورزی می‌پردازد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

با توجه به وجود سیستم در حال اجرای تصفیه فاضلاب در روستاهای اطراف زرنند، محل اجرای تحقیق، چهار روستای اطراف شهرستان زرنند به اسامی ده‌میلان، حتکن، سرباغ و سکوکان انتخاب شد. جمعیت فعال روستاهای یادشده به‌ترتیب ۵۴، ۲۳۸، ۳۴ و ۶۳ نفر می‌باشد. در این روستاها، سیستم تصفیه در سال‌های اخیر تأسیس شده و هر یک در محل خروجی به رودخانه فصلی وارد می‌شود. در بین چهار سیستم تصفیه مورد مطالعه، تنها سیستم حتکن دارای سیستم هوادهی بوده که این کار از طریق نصب سیستم در داخل حوضچه‌های مخصوص انجام می‌شود. در همه سیستم‌ها، تصفیه فاضلاب از طریق سیستم فیلتراسیون و ترسیب با استفاده از مخازن زیرزمینی انجام می‌شود.

۲-۲- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای فاضلاب

نمونه‌برداری از سیستم‌های تصفیه فاضلاب در ۱۰ مرحله، هر یک به فاصله زمانی یک هفته از یکدیگر انجام شد. در هر مرحله، قبل و بعد از سیستم تصفیه فاضلاب نمونه‌برداری انجام شد به‌طوری‌که در مجموع تعداد ۸۰ نمونه فاضلاب برداشته شد. شاخص‌هایی که در این پروژه اندازه‌گیری شد، شامل DO، TDS، TSS، EC، TOC، COD، BOD، pH، TP، TKN طبق روش آزمایش‌های آب و فاضلاب (Baird et al., 2017) مقدار هر پارامتر اندازه‌گیری شد. به این منظور، نمونه‌ای به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر داخل ظروف مخصوص جمع‌آوری و سپس برای تعیین پارامترهای یادشده در یخچال نگهداری شد. همچنین نسبت بین شاخص‌ها نظیر BOD/COD، TSS/COD، TKN/COD و TP/COD نیز محاسبه گردید. علاوه بر این، به‌منظور بالا بردن دقت، با استفاده از دستگاه اکسیژن‌سنج دیجیتال، درجه حرارت و اکسیژن محلول فاضلاب در محل و در زمان نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد.

به دلیل اهمیت فلزات سنگین به‌عنوان عوامل شیمیایی آلاینده فاضلاب در این تحقیق، در ۸۰ نمونه برداشتی غلظت آن‌ها اندازه‌گیری شد. این عناصر شامل کادمیوم، روی، سرب،

آن‌ها افزایش معنی‌داری نشان داد. مصرف پساب می‌تواند منبع تولید نیترات (Michalski and Kurzyca, 2006) و فسفر خاک (Hasanoghli, 2003) در اراضی کشاورزی باشد. به توجه به اینکه خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مقدار مواد آلی و در نتیجه نیتروژن کل و فسفر آلی اندکی دارند، در نتیجه، در صورت مصرف اصولی پساب فاضلاب با توجه به نیاز کودی در چنین خاک‌هایی می‌توان در جهت بهبود حاصلخیزی آن‌ها گام برداشت. البته در صورت بالابودن غلظت فسفر در نتیجه مصرف بی‌رویه کوره‌های شیمیایی، استفاده از پساب توصیه نمی‌شود. همچنین نسبت TKN/COD و TP/COD در خروجی فاضلاب نسبت به ورودی آن، به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. جالب اینکه در سیستم تصفیه سکوکان، تغییر در غلظت عناصر سنگین بعد از تصفیه برای هیچ‌یک از پنج عنصر سنگین معنی‌دار نبود.

درصد نسبی تغییر در خروجی نسبت به ورودی برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است. از بین پارامترهای مورد مطالعه در ایستگاه ده‌میلان، فسفر کل، قلیائیت و نیکل در خروجی بیش‌تر از ورودی بود که از این بین، نیکل با ۵۹/۷٪، بیش‌ترین افزایش را نسبت به ورودی نشان داد. در مقابل، سایر پارامترها کاهش نسبی بعد از تصفیه نشان داد. از این بین، کدورت با ۸۶/۴٪ و بعد از آن COD، TOC، BOD به ترتیب با ۶۳/۴، ۶۱/۲ و ۵۳/۱۸ بیش‌ترین کاهش در خروجی نسبت به ورودی را نشان دادند. همچنین از بین فلزات سنگین، غلظت سرب و کادمیوم به ترتیب با ۴۹/۸ و ۳۷/۴٪، کاهش بیش‌تری نسبت به ورودی داشتند. در مجموع، بیش‌ترین کارایی سیستم تصفیه فاضلاب ده‌میلان در کاهش آلودگی مربوط به کدورت، BOD، TOC، COD بود. به‌علاوه، درصد نسبی تغییر برای BOD/COD منفی و برای TSS/COD، TKN/COD و TP/COD مثبت بود.

تصفیه، مقدار شاخص‌های TKN/COD و TP/COD در خروجی نسبت به ورودی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ورودی بود. مقدار سایر پارامترهای مورد مطالعه در ورودی و خروجی سیستم تصفیه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد.

در بین شاخص‌های مورد مطالعه در ایستگاه حتکن، اغلب پارامترها در خروجی نسبت به ورودی کاهش معنی‌داری در سطح ۵٪ داشت. به‌طور کلی، کاهش مقدار COD، BOD، TOC، TSS، TKN، pH، EC، درجه حرارت، کدورت، قلیائیت، روی و سرب در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین مشابه با سیستم تصفیه ده‌میلان، غلظت نیکل در خروجی سیستم تصفیه به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ورودی آن بود. به نظر می‌رسد یکی از دلایل احتمالی این موضوع، ورود نیکل از طریق سیستم تصفیه به زهاب طی فرآیند تصفیه باشد. همچنین به علت کاهش بیش‌تر COD نسبت به BOD طی تصفیه، مقدار شاخص BOD/COD در خروجی نسبت به ورودی کاهش معنی‌داری نشان می‌دهد. به‌علاوه مقدار TKN/COD و TP/COD در خروجی نسبت به ورودی به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از ورودی بود. مقدار سایر پارامترهای مورد مطالعه در ورودی و خروجی سیستم تصفیه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد.

نتایج مقایسه میانگین پارامترهای مورد مطالعه در ایستگاه سرباغ نشان داد که کاهش مقدار BOD، TOC، TSS، pH، کدورت، روی و سرب در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود.

همچنین به‌رغم افزایش نسبی غلظت نیکل در خروجی سیستم تصفیه، این افزایش معنی‌دار نبود. به علت کاهش قابل توجه مواد معلق در اثر ترسیب، شاخص TSS/COD در خروجی نسبت به ورودی کاهش معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ نشان داد.

نتایج مقایسه میانگین در ایستگاه سکوکان حاکی از آن بود که مقدار COD، TSS، pH و کدورت در خروجی نسبت به ورودی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ کاهش یافت. این در حالی بود که میزان نیتروژن کل، فسفر کل و قلیائیت نه‌تنها بعد از تصفیه کاهش نداشت بلکه مقدار

جدول ۱- مقادیر متوسط پارامترهای اندازه‌گیری‌شده فاضلاب قبل و بعد از تصفیه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1 Mean values of measured parameters of wastewater prior and after purification in the studied stations

Parameter	Unit	Sekukan		Sarbagh		Hotkan		Dehmilan	
		Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input
BOD	ppm	115.2a	180.4a	106.9b	239.6a	26.0b	221.2a	92.47b	252.3a
COD	ppm	167.1b	531.3a	217.4a	415.4a	81.7b	439.3a	222.8b	482.7a
TOC	ppm	46.6a	61.9a	38.8b	77.0a	21.8b	89.5a	37.2b	96.1a
TSS	ppm	28.8b	176.6a	15.2b	183.7a	24.5a	178.8a	55.3a	85.1a
TDS	ppm	771a	833a	1076a	1182a	1049a	1097a	921a	1022a
DO	ppm	5.02a	6.50a	6.80a	5.90a	5.64a	6.93a	4.87a	5.52a
TKN	ppm	64.0a	39.1b	77.9a	79.9a	31.0b	64.9a	109.9a	128.0a
TP	ppm	8.45a	5.99b	7.86a	7.47a	6.98a	7.38a	12.65a	11.82a
pH	-	7.55b	8.12a	8.00b	8.18a	7.68b	8.13a	8.04b	8.24a
EC	µs/cm	1636a	1366a	1915a	1887a	1498b	1735a	2114a	2459a
Temp	°C	27.9a	27.2a	27.3a	27.8a	25.2b	27.7a	27.0a	27.6a
Turb	NTU	37.3b	84.8a	35.8b	116.0a	22.5b	130.8a	22.0b	162.2a
Alk	ppm	736.7a	496.9b	769.9a	617.8a	213.0b	568.3a	902.1a	821.9a
Cd	ppb	42.0a	60.5a	53.3a	64.6a	43.1a	59.0a	47.4b	75.6a
Zn	ppb	383.5a	362.6a	351.1b	439.1a	374.7b	435.3a	412.8a	417.2a
Pb	ppb	46.9a	47.1a	24.3b	48.2a	22.6b	56.6a	23.3b	46.4a
Ni	ppb	296.7a	272.9a	421.5a	333.6a	387.9a	255.5b	375.0a	234.8b
Mo	ppb	405.4a	334.9a	354.1a	346.5a	361.0a	374.4a	391.6a	415.0a
BOD/COD	-	0.438a	0.356a	0.592a	0.574a	0.368b	0.560a	0.467a	0.541a
TSS/COD	-	0.258a	0.547a	0.107b	0.573a	0.481a	0.472a	0.249a	0.206a
TKN/COD	-	0.396a	0.112b	0.455a	0.266a	0.518a	0.169b	0.573a	0.269b
TP/COD	-	0.050a	0.017b	0.051a	0.029a	0.137a	0.021b	0.062a	0.025b

حروف مشابه در هر ردیف مربوط به هر ایستگاه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بین مقداران پارامتر در ورودی و خروجی سیستم تصفیه است.

جدول ۲- درصد تغییر خروجی نسبت به ورودی پارامترهای فاضلاب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 2. Percentage change of output to input values of parameters in the studied stations

Parameter	Unit	Sekukan	Sarbagh	Hotkan	Dehmilan
BOD	ppm	-36.2	-55.4	-88.2	-63.4
COD	ppm	-68.5	-47.7	-81.4	-53.8
TOC	ppm	-24.7	-49.6	-75.7	-61.2
TSS	ppm	-83.7	-91.7	-86.3	-35.1
TDS	ppm	-7.5	-8.9	-4.4	-9.8
DO	ppm	-22.8	15.3	-18.6	-11.8
TKN	ppm	63.6	-2.6	-52.2	-14.1
TP	ppm	41.1	5.2	-5.5	7.0
pH	-	-7.0	-2.2	-5.6	-2.4
EC	μs/cm	19.8	1.5	-13.7	-14.0
Temp	°C	2.4	-1.8	-8.8	-1.9
Turb	NTU	-56.0	-69.1	-82.8	-86.4
Alk	ppm	48.3	24.6	-62.5	9.8
Cd	ppb	-30.6	-17.5	-26.9	-37.4
Zn	ppb	5.8	-20.0	-13.9	-1.1
Pb	ppb	-0.5	-49.7	-60.0	-49.8
Ni	ppb	8.7	26.3	51.8	59.7
Mo	ppb	21.1	2.2	-3.6	-5.6
BOD/COD	-	23.2	3.1	-34.3	-13.6
TSS/COD	-	-52.9	-81.3	1.8	20.8
TKN/COD	-	254.3	70.8	206.9	112.5
TP/COD	-	196.3	74.0	543.0	148.1

مقادیر مثبت و منفی، به ترتیب نشان دهنده افزایش و کاهش نسبی مقدار پارامتر در خروجی نسبت به ورودی است.

درصد نسبی تغییر در خروجی نسبت به ورودی سیستم تصفیه حتکن حاکی از آن بود که تنها غلظت نیکل در خروجی بیشتر از ورودی بود (به میزان ۵۱/۸٪) و سایر پارامترها کاهش نسبی بعد از تصفیه را نشان دادند. همچنین BOD، TSS، کدورت، COD و TOC به ترتیب با ۸۸/۲، ۸۶/۳، ۸۲/۸، ۸۱/۴ و ۷۵/۷٪ بیشترین کاهش در خروجی نسبت به ورودی را داشتند. به علاوه، در بین فلزات سنگین سرب با ۶۰٪ بیشترین کاهش را نسبت به ورودی نشان داد. در مجموع، کارایی سیستم تصفیه فاضلاب ده میلان در کاهش پارامترهای آلودگی نسبت به ورودی مگر در مورد عنصر نیکل قابل توجه بود. از طرفی، درصد نسبی تغییر BOD/COD منفی بود و این درصد برای TSS/COD، TKN/COD و TP/COD مثبت بود که از این بین، مقدار TP/COD در خروجی نسبت به ورودی با ۵۴۳٪ بیشترین افزایش را نشان داد.

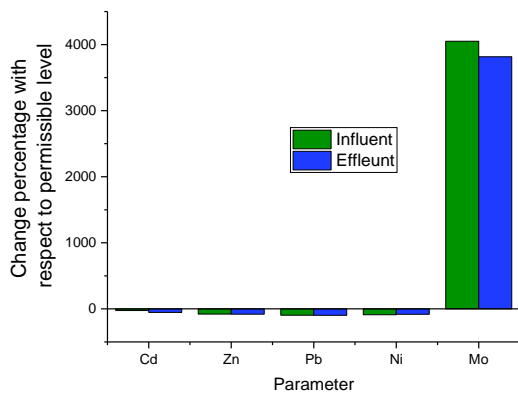
درصد نسبی تغییر در خروجی نسبت به ورودی برای سیستم تصفیه سرباغ نشان داد که مقدار DO، فسفر کل، EC، قلیائیت کل، نیکل و مولیبدن در خروجی بیشتر از ورودی بود. از بین پارامترهای یادشده، ازت کل، قلیائیت و فسفر کل به ترتیب با ۶۳/۶، ۴۸/۳ و ۴۱/۱٪ بیشترین افزایش را نسبت به ورودی نشان داد. در مقابل، TSS با ۸۸/۷٪ و بعد از آن COD و کدورت به ترتیب با ۶۸/۵ و ۵۶٪ بیشترین کاهش در خروجی نسبت به ورودی را نشان دادند. از بین فلزات سنگین، کادمیوم و سرب به ترتیب با ۳۰/۶ و ۰/۵٪ نسبت به

درصد نسبی تغییر در خروجی نسبت به ورودی سیستم تصفیه حتکن حاکی از آن بود که تنها غلظت نیکل در خروجی بیشتر از ورودی بود (به میزان ۵۱/۸٪) و سایر پارامترها کاهش نسبی بعد از تصفیه را نشان دادند. همچنین BOD، TSS، کدورت، COD و TOC به ترتیب با ۸۸/۲، ۸۶/۳، ۸۲/۸، ۸۱/۴ و ۷۵/۷٪ بیشترین کاهش در خروجی نسبت به ورودی را داشتند. به علاوه، در بین فلزات سنگین سرب با ۶۰٪ بیشترین کاهش را نسبت به ورودی نشان داد. در مجموع، کارایی سیستم تصفیه فاضلاب ده میلان در کاهش پارامترهای آلودگی نسبت به ورودی مگر در مورد عنصر نیکل قابل توجه بود. از طرفی، درصد نسبی تغییر BOD/COD منفی بود و این درصد برای TSS/COD، TKN/COD و TP/COD مثبت بود که از این بین، مقدار TP/COD در خروجی نسبت به ورودی با ۵۴۳٪ بیشترین افزایش را نشان داد.

درصد نسبی تغییر در خروجی نسبت به ورودی برای سیستم تصفیه سرباغ نشان داد که مقدار DO، فسفر کل، EC، قلیائیت کل، نیکل و مولیبدن در خروجی بیشتر از ورودی بود (جدول ۲). از این بین، نیکل با ۲۶/۳٪ و قلیائیت کل با

باین وجود، اجرای سیستم تصفیه نتوانسته آلودگی را در بیشتر موارد به حد مجاز و یا کمتر از آن برساند (شکل ۱). مقدار pH در ورودی و خروجی و همچنین کدورت در خروجی کمتر از حد مجاز ولی مقدار سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده بیشتر از حد مجاز بود. این موضوع دلالت بر عدم کارایی مناسب سیستم تصفیه فاضلاب ده‌میلان دارد.

همچنین طبق شکل (۲) مشاهده می‌شود که در بین عناصر سنگین مورد مطالعه، تنها غلظت مولیبدن بیشتر از حد مجاز است. هرچند غلظت سایر عناصر سنگین کمتر از حد مجاز بود ولی مقدار آن‌ها در ورودی نیز از ابتدا کم بوده است. به عبارتی، غلظت کم این عناصر در خروجی نه به دلیل کارایی سیستم تصفیه، بلکه به علت مقدار اولیه کم آن‌هاست. یکی از دلایل احتمالی بالا بودن میزان غلظت مولیبدن در فاضلاب منطقه مورد مطالعه، وجود معادن زغال‌سنگ و استخراج آن توسط ساکنین محلی می‌باشد.



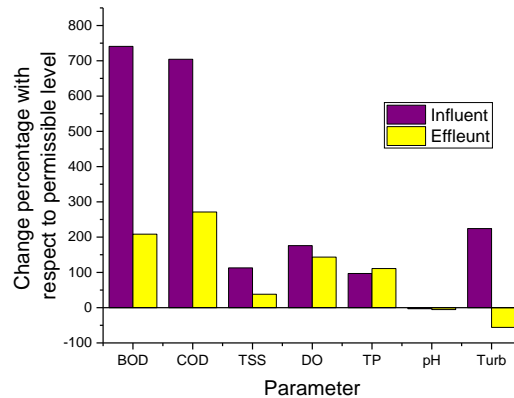
شکل ۲- درصد تغییر نسبت به حد مجاز عناصر سنگین در فاضلاب سیستم تصفیه ده‌میلان

Fig. 2. Percentage change respect to the permissible limits of heavy metals in Dehmilan refinery system

نتایج بررسی پارامترهای مورد مطالعه در ایستگاه حتکن حاکی از آن بود که مقدار BOD، TSS، pH و کدورت در خروجی کمتر و مقدار سایر پارامترهای مورد مطالعه، بیشتر از حد مجاز بود (شکل ۳). این موضوع دلالت بر کارایی بهتر سیستم تصفیه حتکن نسبت به ده‌میلان دارد. لازم به ذکر است بر مبنای مصارف کشاورزی با حد مجاز COD برابر با ۲۰۰ ppm، مقدار این پارامتر در خروجی در حد مجاز قرار می‌گیرد (EPO, 2001). همچنین مطابق شکل (۴) مشاهده می‌شود که در سیستم تصفیه حتکن مشابه ایستگاه ده‌میلان از بین عناصر سنگین، تنها غلظت مولیبدن بیشتر و غلظت سایر عناصر کمتر از حد مجاز است. البته غلظت به نسبت کم

ورودی کاهش داشتند. به‌طور کلی، بیش‌ترین کارایی سیستم تصفیه فاضلاب سکوکان در کاهش آلودگی مربوط به TSS، COD و کدورت بود. همچنین، درصد نسبی تغییر برای TSS/COD با ۵۲/۹٪ منفی بود در حالی که این درصد برای BOD/COD، TKN/COD و TP/COD مثبت بود.

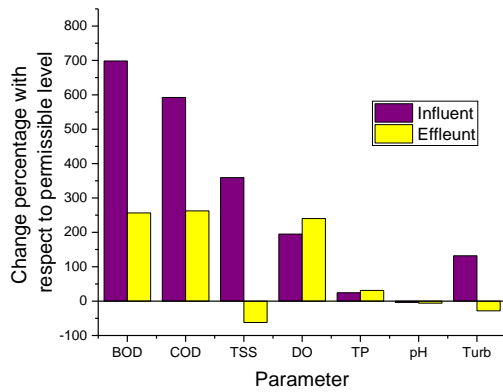
نتایج نشان داد که در تمام سیستم‌های تصفیه، غلظت کادمیوم و سرب در خروجی نسبت به ورودی سیستم به‌ترتیب بین ۱۷/۵ تا ۳۷/۴ درصد و ۰/۵ تا ۶۰٪ کاهش و غلظت نیکل بین ۸/۷ تا ۵۹/۷٪ افزایش یافت. این در حالی بود که غلظت روی و مولیبدن در خروجی برخی ایستگاه‌ها نسبت به ورودی آن‌ها کاهش و در برخی ایستگاه‌ها افزایش نشان داد. با توجه به افزایش غلظت نیکل بعد از فرآیند تصفیه در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، مصرف غیراصولی از پساب می‌تواند آلودگی این عنصر را در خاک به دنبال داشته باشد. آلودگی به فلزات سنگین در خاک‌هایی که با پساب فاضلاب آبیاری می‌شود، قبلاً در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است (Srinivasan and Reddy, 2009). این موضوع از آنجا اهمیت پیدا می‌کند که در مواردی، آلاینده‌های ناشی از فلزات سنگین به‌قدری پایدار و ماندگارند که اثرات آن‌ها قرن‌ها باقی می‌ماند (Manahan, 2005).



شکل ۱- درصد تغییر نسبت به حد مجاز برخی پارامترهای فاضلاب سیستم تصفیه ده‌میلان

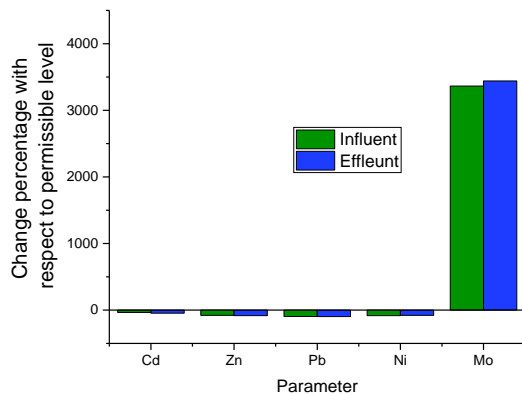
Fig. 1 Percentage change respect to the permissible limits of some wastewater parameters in Dehmilan refinery system

به‌منظور مقایسه مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده در ورودی و خروجی هر سیستم تصفیه نسبت به مقادیر مجاز، مقدار درصد تغییر هر پارامتر نسبت به استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست (EPO, 2001) محاسبه شد. نتایج نشان داد که در سیستم تصفیه ده‌میلان، میزان آلودگی در اغلب موارد در خروجی کمتر از ورودی بود (شکل ۱).



شکل ۵- درصد تغییر نسبت به حد مجاز برخی پارامترهای فاضلاب سیستم تصفیه سرباغ

Fig. 5 Percentage change respect to the permissible limits of some wastewater parameters in Sarbagh refinery system

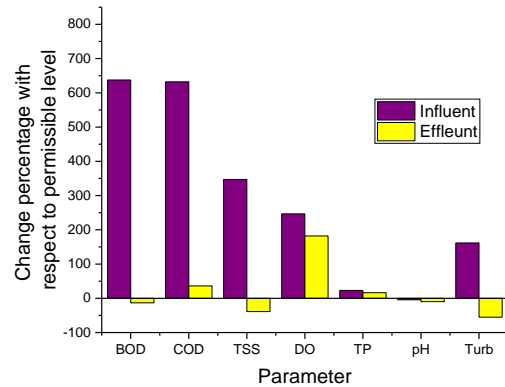


شکل ۶- درصد تغییر نسبت به حد مجاز عناصر سنگین در فاضلاب سیستم تصفیه سرباغ

Fig. 6. Percentage change respect to the permissible limits of heavy metals in Sarbagh refinery system

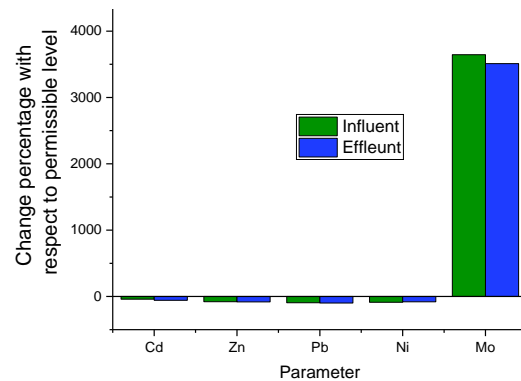
مطابق شکل (۷) از بین پارامترهای مورد مطالعه در ایستگاه سکوکان، مقدار pH در ورودی و خروجی و همچنین TSS و کدورت در خروجی کمتر از حد مجاز بود. همچنین، میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده در بیشتر موارد در خروجی کمتر از ورودی بود. از طرفی مشابه با سایر سیستم‌های تصفیه، در بین عناصر سنگین، فقط غلظت مولیبدن بیشتر از حد مجاز بود (شکل ۸). نتایج بررسی غلظت عناصر سنگین نشان داد که در خروجی تمام سیستم‌های تصفیه، غلظت کادمیوم، روی، سرب و نیکل کمتر از حد مجاز (به ترتیب تا حداکثر ۵۸، ۸۲/۴، ۹۷/۷ و ۸۵/۲٪) بود، این در حالی بود که غلظت مولیبدن در خروجی تمام ایستگاه‌ها بیشتر از حد مجاز تعیین شد. از آنجاکه مناطق روستایی، برای کنترل بیماری طیور مقدار زیادی از داروها به آن‌ها خوراند می‌شود، ممکن

این عناصر در خروجی به علت مقدار ورودی کم آن‌ها به سیستم تصفیه است. بنابراین، به نظر می‌رسد که سیستم تصفیه حتکن به‌رغم کارایی مطلوب‌تر نسبت به سیستم تصفیه ده‌میلان، همچنان برخی منابع آلودگی را در خروجی دارد.



شکل ۳- درصد تغییر نسبت به حد مجاز برخی پارامترهای فاضلاب سیستم تصفیه حتکن

Fig. 3. Percentage change respect to the permissible limits of some wastewater parameters in Hotkan refinery system



شکل ۴- درصد تغییر نسبت به حد مجاز عناصر سنگین در فاضلاب سیستم تصفیه حتکن

Fig. 4. Percentage change respect to the permissible limits of heavy metals in Hotkan refinery system

مقایسه پارامترهای اندازه‌گیری شده نسبت به مقادیر مجاز در سیستم تصفیه سرباغ نشان داد که به‌رغم کاهش میزان اغلب پارامترها در خروجی نسبت به ورودی، مقدار pH در ورودی و خروجی و همچنین TSS و کدورت در خروجی کمتر و مقدار سایر پارامترهای، بیش‌تر از حد مجاز بود (شکل ۵). همچنین در بین عناصر سنگین، تنها غلظت مولیبدن هم در ورودی و هم در خروجی سیستم تصفیه بیش‌از حد مجاز بود (شکل ۶).

استفاده از پساب لازم است احتیاط صورت گیرد. غلظت بالای فسفر غالباً دسترسی به مواد مغذی را محدود می‌سازد و سبب رشد بی‌رویه جلبک‌ها در محیط آبی (Chen et al. 2006؛ Ahuja 2009) و حتی مسمومیت برخی آبزیان می‌گردد (Wang et al. 2007). از طرفی، در اثر انباشتگی آب‌خوراکه و در نتیجه تشدید تجزیه مواد آلی، اکسیژن محلول آب کاهش می‌یابد (Ligraid and Karstad 2001).

نتایج مقایسه درصد تغییر پارامترهای مورد مطالعه در خروجی ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به حد مجاز نشان داد که مقدار BOD و COD در خروجی اغلب سیستم‌های تصفیه مورد مطالعه به ترتیب تا حداکثر ۲۸۳/۹ و ۲۷۱/۳٪ نسبت به حد مجاز افزایش پیدا کرد. همچنین همه سیستم‌ها غیر از ایستگاه ده‌میلان مواد معلق را نسبت به حد مجاز کاهش داد. از طرفی، مقدار فسفر کل در خروجی همه سیستم‌ها نسبت به حد مجاز بین ۱۶/۳ تا ۱۱۰/۸٪ افزایش و مقدار pH و کدورت (به ترتیب بین ۵/۴ تا ۱۱/۲ و ۲۵/۴ تا ۵۶٪) کاهش یافت. به علاوه، در خروجی همه سیستم‌ها، مقدار اکسیژن محلول بیشتر از حد مجاز بود.

۴- نتیجه‌گیری

۱- در همه سیستم‌های تصفیه، غلظت کادمیوم و سرب کاهش و غلظت نیکل افزایش نشان داد. باین وجود غلظت نیکل در خروجی کمتر از حد مجاز بود.

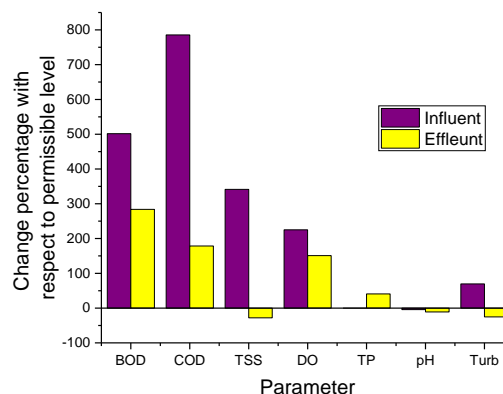
۲- همه عناصر مورد مطالعه غیر از مولیبدن در ورودی و خروجی کمتر از حد مجاز است. علاوه بر این، مقدار TKN/COD و TP/COD در خروجی همه ایستگاه‌ها نسبت به ورودی آن‌ها افزایش داشت.

۳- تنها در موارد معدودی سیستم‌های تصفیه قادر به کاهش مقدار آلودگی به کمتر از حد مجاز بوده است.

۴- مقدار فسفر کل در همه سیستم‌ها نسبت به حد مجاز افزایش و pH کاهش یافت. کدورت در خروجی همه سیستم‌های تصفیه نسبت به حد مجاز کاهش داشت. در مقابل، در همه سیستم‌ها، مقدار اکسیژن محلول بیشتر از حد مجاز بود.

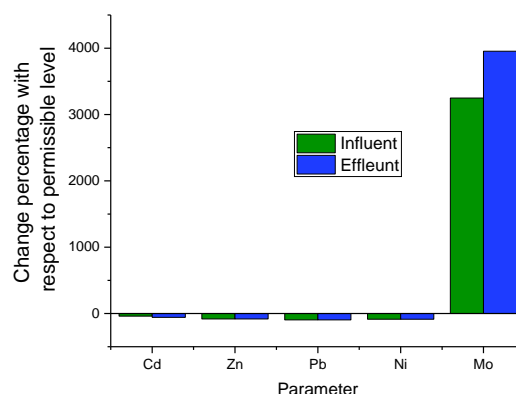
۵- در همه سیستم‌ها غلظت کادمیوم، روی، سرب و نیکل کمتر از حد مجاز و تنها غلظت مولیبدن بیش‌تر از حد مجاز است. بالا بودن غلظت کادمیوم در فاضلاب منطقه

است ضایعات حاصل سرشار از آنتی‌بیوتیک‌ها و بعضی از فلزات سنگین نظیر مولیبدن باشد و منابع آب‌و خاک را آلوده سازد. از این رو امکان انتقال عوامل بیماری‌زا به خاک از این طریق نیز وجود دارد (Ligraid and Karstad 2001).



شکل ۷- درصد تغییر نسبت به حد مجاز برخی پارامترهای فاضلاب سیستم تصفیه سکوکان

Fig. 7 Percentage change respect to the permissible limits of some wastewater parameters in Sekukan refinery system



شکل ۸- درصد تغییر نسبت به حد مجاز عناصر سنگین در فاضلاب سیستم تصفیه سکوکان

Fig. 8. Percentage change respect to the permissible limits of heavy metals in Sekukan refinery system

بالا بودن غلظت فسفر نسبت به حد مجاز در تمام سیستم‌های تصفیه، از نکات قابل تأمل در این پژوهش می‌باشد. یکی از مهم‌ترین اثرات آلاینده‌گی فسفر انباشتگی آب‌خوراکه^۱ می‌باشد (Wang et al. 2007; Chitrakar et al. 2005) که به یک نگرانی جهانی در ارتباط با محیط‌زیست و کشاورزی تبدیل شده است (Aviles et al. 2006; Neal et al. 2010). با توجه به نتایج حاصل در خصوص غلظت فسفر، در

¹Eutrophication

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده‌شده (یا تولیدشده) در این پژوهش، در متن مقاله ارائه شده است.

مورد مطالعه از یک طرف و آلودگی‌های محیط‌زیستی حاصل از آن بسیار جدی است.

سیاسگزاری

از شرکت آب و فاضلاب روستایی کرمان به دلیل حمایت مالی در انجام این تحقیق قدردانی می‌شود.

References

- Ahuja, S. (2009). Handbook of Water Purity and Quality. Calabash, NC, USA. 412 p.
- Amirkavei, M., Hami, S. and Abdollahi, A.R. (2010). Removal of heavy metals, chromium, lead and arsenic using magnetic nanoparticles from industrial effluents. The Fourth Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineers. Tehran University, Tehran. Iran. [in Persian].
- Arnell, M., Rahmberg, M., Oliveira, F. and Jeppsson, U. (2017). Multi-objective performance assessment of wastewater treatment plants combining plant-wide process models and life cycle assessment. *J. Water Clim. Chang.*, 8(4), 715-729. Doi: 10.2166/wcc.2017.179.
- Aviles, A. Rodero, J., Amores, V., de Vicente, A., Isabel Rodriguez, M. and Xavier Niell, F. (2006). Factors controlling phosphorus speciation in a Mediterranean basin (River Guadalfeo, Spain). *J. Hydrol.*, 331. 396-408.
- Baird, R. B., Eaton, A. D. and Rice, E. W. (2017) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23 Edition. American Water Works Association.
- Chen, G.C., He, Z. L., Stoella, P. J., Yang, X. E., Yu, S. and Calvert, D. (2006). Use of dolomite phosphate rock (DPR) fertilizers to reduce phosphorus leaching from sandy soil. *Environ. Pollut.*, 139, 176-182.
- Chitrakar R. Tezuka S. Sonoda A. Sakane K. Ooi K. and Hirotsu T. (2005). Adsorption of phosphate from seawater on calcined Mg-Mn-layered double hydroxides. *Journal of Colloid and Interface Science.* 290: 45-51
- EPO. (2001). Executive Regulations Paragraph (c) of Article 104 and Article 134 of the Third Development Plan Law. Green Circle Publications.
- Hasanoghli, A. (2003). Use of domestic wastewater and wastewater treatment plants in irrigation of agricultural products. Final research report of the research project. Agricultural Engineer Technical Research Institute, No. 806/83 [in Persian].
- Hussain, I., Raschid, L., Hanjra, M. A., Marikar, F. and Van der Hoek, W. (2002). Wastewater use in agriculture: review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Working Paper 37. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Ju, F., Beck, K., Yin, X., Maccagnan, A., McArdeell, C.S., Singer, H.P., Johnson, D.R., Zhang, T. and Bürgmann, H. (2019). Wastewater treatment plant resistomes are shaped by bacterial composition, genetic exchange, and upregulated expression in the effluent microbiomes. *ISME J.*, 13, 346-360. Doi: 10.1038/s41396-018-0277-8.
- Lado, M. and Ben-Hur, M. (2009). Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review. *Soil Til. Res.*, 106, 152-163.
- Ligraïd, B. O. C. and Karstad, C. O. (2001). Agricultural Fertilizers and the Environment. CABI pub. New York.
- Manahan, E. S. (2005). Environmental Chemistry. 8th Ed., New York.
- Michalski, R. and Kurzyca, I. (2006). Determination of nitrogen species (nitrate, nitrite and ammonia ions) in environmental samples by ion chromatography. *J. Environ. Stud.*, 13(1), 5-18.
- Neal, C., Jarvie, H. P., Williams, R., Love, A., Neal, M., Wickham, H., Harman, S. and Armstrong, L. (2010). Declines in phosphorus concentration in the upper River Thames (UK): links to sewage effluent cleanup and extended end-member mixing analysis. *Sci. Total Environ.*, 408, 1315-1330



- Nowrouzi, M. and Pourkhabaz, A. (2010). Karun river water quality study. The fourth conference and specialized exhibition of environmental engineering [In Persian].
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Jose Alarcon, J., Koukoulakis, P. and Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture- review of some practices in Spain and Greece. *Agri. Water Manag.*, 97(9), 1233-1241.
- Roeleveld, P. J. and Van Loosdrecht, M. C. (2002). Experience with guidelines for wastewater characterization in the Netherlands. *Water Sci. Technol.*, 45(6), 77-87.
- Rutkowski, T., Raschid-Sally, L. and Buechler, S. (2007). Wastewater irrigation in the developing world- Two case studies from the Kathmandu Valley in Nepal. *Agri. Water Manage.*, 88, 83-91.
- Saxena, S. and De Souza, S. F. (2006). Heavy metal pollution abatement using rock phosphate mineral. *Environ. Int.*, 32, 199-202.
- Shokuhian, M. and Piyade, F. (2010). Recycling of industrial effluents and its role in reducing the water crisis. The Fourth Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineers. Tehran University, Tehran. Iran. 10-30. [in Persian].
- Srinivasan, J. and Reddy, V. R. (2009). Impact of irrigation water quality on human health, A case study in India. *Ecol. Econom.*, 68, 2800-2807.
- Wang, S. L., Cheng, Y. C., Tzou, Y. M., Liaw, R. B., Chang, T. W. and Chen, J. H. (2007). Phosphate removal from water using lithium intercalated gibbsite. *J. Hazard. Mater.*, 147, 205-212.
- Yazdanpanah, N., Pazira, E., Neshat, A. and Mahmoodabadi, M. (2012). Effect of different amendments on some physical and chemical properties of a saline-sodic soil. *Arid Biom. Sci. Res. J.*, 2(1), 83-97 [In Persian].
- Ziaei, H. (2007). Principles of Watershed Engineering. Imam Reza University Publications [In Persian].

Research Paper

Evaluation of Pollution Indices in Some Wastewater Treatment Plants with Emphasis on the Concentration of Heavy Metals

Najme Yazdanpanah^{1*}

¹Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

*Corresponding author: nyazdanpanah@iauk.ac.ir

Received: September 27, 2020

Revised: June 11, 2021

Accepted: June 16, 2021

Abstract

The aim of this study was to investigate the quality of wastewater and to determine the concentration of heavy elements. For this purpose, wastewater samples were collected before and after four wastewater treatment systems in the villages around Zarand named Dehmilan, Hatkan, Sarbagh and Sekukan, each in 10 stages and at one-week intervals; a total of 80 samples were prepared. Different parameters including BOD, COD, TOC, EC, TSS, TDS, DO, TKN, TP, pH, Temperature, turbidity, and alkalinity and also the concentrations of Cd, Zn, Pb, Ni and Mo were measured using the standard methods and were compared with the permissible concentration of Iran Department of Environment. The results showed that after treatment in all the studied systems, the concentrations of Cd and Pb were reduced from 17.5 and 37.4 to 0.5 and 60.0%, respectively, whereas the concentration of Ni increased 8.7-59.7%. The amount of BOD and COD in the effluent of most of the studied treatment systems were up to 283.9 and 271.3% higher than the permissible levels, respectively. Furthermore, in all the treatment plants except Dehmilan, TSS decreased to less than the permissible level. Moreover, in comparison with the standard levels, the amount of TP and DO increased while pH and turbidity decreased. In the effluent of all treatment plants, the concentrations of Cd, Zn, Pb and Ni were less than the permissible limits (up to a maximum of 58.0, 82.4, 97.7 and 85.2%, respectively), whereas the concentration of Mo was higher than the permissible level.

Keywords: Effluent; Heavy Metals; Pollution; Threshold Level; Water Quality