بررسی میزان حذف کلیفرم کل و جامدات معلق کل از پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری غرب اهواز با استفاده از سیستم تصفیه زمین-گیاه

افشین تکدستان[1]، مریم ترابی‌فر[2]، نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد[3]، علیرضا جعفرنژادی[4]، کامبیز احمدی انگالی[5]

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات فناوری‌های محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات فناوری‌های محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
(نویسنده مسئول) ۳۳۷۳۸۳۱۲ (۰۶۱) n_jafarzadeh@yahoo.com
۴- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، معاون برنامه‌ریزی و پشتیبانی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۵- استادیار گروه آمار حیاتی و عضو مرکز تحقیقات فناوری‌های نوین زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

(دریافت ۹۲/۸/۱۵ پذیرش ۹۳/۶/۲۹)

چکیده

تصفیه متداول فاضلاب شهری باعث حذف ۹۵ تا ۹۹ درصد برخی از میکروارگانیسم‌ها می‌شود ولی این سطح تصفیه برای استفاده پساب عمدتاً به‌دلیل وجود میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا کافی نیست. در این راستا، انتخاب راهکاری مناسب از لحاظ فنی و اقتصادی برای تصفیه فاضلاب قابل توجه است. یکی از روش‌های بومی و ارزان‌قیمت تصفیه، استفاده از سیستم زمین و گیاه است. هدف از این مطالعه تعیین کارایی خاک منطقه اهواز و گیاه وتیور در کاهش نهایی بار میکربی از فاضلاب تصفیه شده شهری بود. در این مطالعه پایلوتی سه عدد لایسیمتر در محل تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز نصب شد. در یک لایسیمتر خاک منطقه، در دیگری خاک منطقه همراه با گیاه وتیور و در لایسیمتر سوم چیدمان مصنوعی خاک (خاک منطقه، ماسه سیلیس (۰/۵ تا ۱ میلی‌متر) و شن (۱۵ تا ۳۰ میلی‌متر) استفاده شد. پساب از خروجی حوضچه ته‌نشینی ثانویه توسط پمپ با سه نرخ فیلتراسیون ۰/۲، ۰/٦ و ۱ میلی‌لیتر در دقیقه به ازای ۰/۱ مترمربع سطح بستر با سه تکرار در هر سرعت به سیستم انتقال یافت و نمونه‌برداری از ورودی و خروجی صورت گرفت. میانگین بازدهی حذف جامدات معلق کل و کلیفرم کل خروجی از سه لایسیمتر خاک منطقه با رویش گیاه وتیور، خاک منطقه بدون رویش گیاه و چیدمان مصنوعی برای نرخ فیلتراسیون ۰/۲ به‌ترتیب٦۷/۷۵ و۹۹/۷، ۵۸/۳۳ و ۹۹/٦، ۵٦/۲۵ و۹۹/۵ درصد و نرخ فیلتراسیون ۰/٦ به‌ترتیب ۵۳/۳۳ و ۹۸/۹۳، ٤۸/۸ و ۹۸/۷۷، ٤۷/٦۸ و ۹۸/٦٤ درصد و نرخ فیلتراسیون ۱ به ترتیب۵۰ و ۹۳/۹٦، ٤٦/٤۲ و ۹۱/۳٤، ٤٤/۰٤ و ۸۸/۸۱ درصد به‌دست آمد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که بهترین میزان درصد حذف را لایسیمتر خاک منطقه با رویش گیاه وتیور با نرخ فیلتراسیون ۰/۲ دارا بوده است. بر اساس نتایج حاصل، سیستم زمین-گیاه می‌تواند پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را با شرایط استاندارد تخلیه پساب به محیط منطبق سازد و لذا در صورت وجود زمین کافی و در دسترس، این سیستم گزینه‌ای اقتصادی با کاربری آسان برای تصفیه تکمیلی فاضلاب‌ها است.

واژه‌های کلیدی: تصفیه زمینی، گیاه وتیور، کلیفرم کل، جامدات معلق محلول

۱- مقدمه

تصفیه فاضلاب شهری و استفاد مجدد از پساب تصفیه شده به‌عنوان یک منبع ارزشمند آب برای مصارف مختلف از جمله آبیاری زمین‌های کشاورزی و فضای سبز، پرورش آبزیان و تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به شمار می‌رود. یکی از مهم‌ترین اهداف تصفیه فاضلاب برای مقابله با بحران کم آبی است.

در هر یک از دسته‌بندی‌های بالا، سطوح مختلف تصفیه، حداقل کیفیت پساب مصرفی، پایش پساب‌های مورد استفاده و فواصل مجاز تخلیه این پساب‌ها به منابع آب پیشنهاد شده است [۱]. اگر به کیفیت میکربی پساب و جنبه‌های بهداشتی آن توجه نشود، استفاده مجدد از آن خطر جدی برای بهداشت و سلامتی انسان و محیط زیست به‌همراه خواهد داشت [۲]. اگرچه تصفیه متداول فاضلاب شهری باعث حذف ۹۵ تا ۹۹ درصد برخی از میکروارگانیسم‌ها

می‌شود، ولی این سطح تصفیه برای استفاده پساب عمدتاً به‌دلیل وجود میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا کافی نیست. هدف اصلی از گندزدایی پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، کاهش غلظت پاتوژن‌های منتقل شده از راه آب به کمتر از مقدار عفونت‌زا است [۳].

گندزدایی با روش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام می‌شود. در بیشتر نقاط دنیا، کلر به‌عنوان گزینه برتر برای گندزدایی پساب‌های خروجی استفاده می‌شود اما نگرانی‌هایی در خصوص ایمنی و سلامت کارگران و عموم، پتانسیل سمیت پساب کلرزنی شده برای گیاهان و آبزیان، تشکیل محصولات جانبی گندزدایی و نیاز به کلر زیاد با توجه به مواد آلی زیاد پساب و در فصل‌های سرد وجود دارد که باعث شده استفاده از کلر در گندزدایی پساب سؤال برانگیز باشد [۴].

خاک به‌عنوان اصلی‌ترین منبع دریافت کننده آلودگی‌های موجود در جهان عمل می‌کند [۵]. تصفیه زمینی فاضلاب، فرایندی طراحی شده و با مدیریت برای تصفیه و دفع نهایی فاضلاب است که در آن فاضلاب به‌صورت کنترل شده روی زمین و یا سیستم زمین-گیاه پخش می‌شود. هدف از تصفیه زمینی فاضلاب، تجزیه بیولوژیکی مواد آلی و یا غیر متحرک کردن مواد غیرآلی موجود در فاضلاب است [۶].

در طی تصفیه زمین-گیاه فاضلاب، آلاینده‌های مختلف فاضلاب به‌وسیله فرایندهای فیزیکی (ته‌نشینی، فیلتراسیون)، شیمیایی (جذب سطحی، ترسیب ، تبادل یون) و بیولوژیکی (جذب توسط گیاهان، تغییر و تبدیل میکربی، تجزیه بیولوژیکی) حذف می‌شوند. سیستم‌های تصفیه زمینی فاضلاب قادر به حذف پاتوژن‌های میکربی و انگل‌ها، BOD، مواد معلق، مواد مغذی (نیتروژن و فسفر)، فلزات سنگین و مواد آلی مقاوم و سمی است [۷].

هدف از این تحقیق مقایسه بین تصفیه زمینی با خاک منطقه بدون رویش گیاه و خاک منطقه با رویش گیاه و همین‌طور فیلتراسیون با چیدمان مصنوعی خاک در سرعت‌های مختلف فیلتراسیون در کاهش جامدات معلق و کل کلیفرم از پساب خروجی حوضچه ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز بود.

۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت تجربی در محل تصفیه‌خانه غرب اهواز انجام شد. تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز در زمینی به مساحت ۱۰ هکتار در جنوب غربی اهواز در شرایط حاضر توسط دو لوله به قطر ۱۶۰۰ میلی‌متر وارد ایستگاه پمپاژ مجاور تصفیه‌خانه شده و از آنجا به‌صورت تحت فشار وارد تصفیه‌خانه می‌شود.

طراحی تصفیه‌خانه از نوع سیستم لجن متعارف، برای جمعیت ۲۲۰۰۰۰ نفر و دبی ۷۰۰ لیتر در سال ۱۳۴۸ توسط شرکت ایرلندکو طراحی و توسط شرکت پاساوانت اجرا شده است. به‌علت تکمیل نشدن خطوط انتقال فاضلاب و عدم رسیدن فاضلاب کافی، در حال حاضر تصفیه فاضلاب جمعیت ۱۴۰۰۰۰ نفر با دبی تقریبی ۳۹۰ لیتر در ثانیه (۱۴۴۰متر در ساعت) را پوشش می‌دهد. [۸].

در این تحقیق سه عدد لایسیمتر با جنس بدنه پلی‌اتیلن و سطح مقطع دایره‌ای شکل به قطر ۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر ساخته و مورد استفاده قرار گرفت و کف هر کدام با یک توری مشبک فلزی دایره‌ای شکل به قطر ۳۶ سانتی‌متر محصور شد. در انتهای لایسیمترها یک قیف حلبی دایره‌ای شکل به قطر ۳۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر برای جمع‌آوری نمونه خروجی و انتقال آن به ظرف نمونه‌برداری تعبیه شد. لایسیمترها بر روی چهارپایه‌هایی به ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۳۶ سانتی متر نصب شد [۹].

در این تحقیق از پساب حوضچه ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز (تصفیه بیولوژیکی لجن فعال) استفاده شد.

خاک مورد استفاده در این تحقیق از نوع خاک منطقه بود که از عمق ۳۵ تا ۷۰ سانتی‌متری محل اجرای آزمایش برداشت شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. برای چیدمان مصنوعی خاک در لایسیمتر از دانه‌بندی ریز به درشت (بالا به پایین) به‌صورت خاک منطقه، ماسه سیلیس (۱-۰/۵میلی‌متر) و شن(۳۰-۱۵ میلی‌متر) استفاده شد.

در این تحقیق از گیاه وتیور استفاده شد. وتیور گیاه مناطق حاره‌ای است که قابلیت سازگاری با شرایط مختلف محیطی را دارد. این گیاه به‌صورت طبیعی در محدوده وسیعی از کشور تایلند از مناطق پست تا مناطق کوهستانی می‌روید. ریشه‌های گیاه وتیور بسیار با ارزش هستند. این گیاه دارای ریشه‌های فیبری است که از بخش‌های زیرزمینی ساقه منشعب شده‌اند و ذرات خاک را در یک الگوی افقی به‌صورت همبسته نگه می‌دارند [۱۰].

از خصوصیات فیزیکی گیاه وتیور تحمل تغییرات شدید آب و هوایی مانند خشکسالی طولانی، سیل، غوطه‌ور شدن و تغییرات دمایی شدید از ۱۴- تا به ۵۵ + درجه سلسیوس است. این گیاه، قابلیت دوباره رشد بسیار سریع بعد از تحت تأثیر قرار گرفتن خشکسالی، شوری و شرایط نامطلوب بلافاصله پس از بهبود شرایط آب و هوایی و یا بهبود شرایط خاک را دارا است. گیاه وتیور تحمل طیف وسیعی از pH خاک از ۳/۳ تا ۱۲/۵ بدون اصلاح خاک را دارد. این گیاه در جذب مواد مغذی محلول مانند نیتروژن،

جدول ۱- مشخصات خاک منطقه

درصد ذرات خاک [۱]			درصد	درصداشباع	وزن مخصوص [۲]	واکنش گل اشباع [۳]	EC [۴]
رس	سیلت	ماسه	رطوبت	SP	ظاهری خاک	pH	dS/cm
۳۴	۴۰	۲۶	۱۱	۴۶	۱/۲۶	۷/۴	۴/۱۳

۱- بافت خاک : بر اساس مثلث بافت و روش طبقه‌بندی خاک‌ها برای کشاورزی بافت خاک مورد استفاده لومی رسی(Clay Loam) تعیین می‌شود.
۲- وزن مخصوص : برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب بیان شده است.
۳- pH خاک برابر ۷/۴ است که در محدوده نرمال (۸/۴-۶/۲) قرار دارد.
۴- هدایت الکتریکی عصاره اشباع در حدود ۴/۰ دسی زیمنس بر متر است، بنابراین خاک فاقد شوری است.

فسفر و فلزات سنگین در آب آلوده بسیار مؤثر است. همچنین به اسیدیته، قلیائیت، شوری، سدیم و منیزیم بسیار مقاوم است. گیاه وتیور با آلومینیوم، منگنز و فلزات سنگین از قبیل آرسنیک، کادمیم، کروم، نیکل، سرب، جیوه، سلنیم و روی در خاک سازگاری زیادی دارد [۱۱].

شرایط عملیاتی: پس از نصب لایسیمترها در محل مورد نظر، پرنمودن آنها با خاک طی چند مرحله صورت پذیرفت. ابتدا خاک منطقه به‌مقدار مورد نیاز تهیه شد و در مرحله بعد با استفاده از الک با قطر روزنه‌های یک سانتی‌متر، ذرات درشت خاک از آن جدا شد. در پر کردن لایسیمترها، عملیات تراکمی خاصی انجام نگرفت. خاک به‌صورت لایه‌ای به ارتفاع تقریبی ۵۰ سانتی‌متر در دو لایسیمتر ریخته شد و لایسیمتر سوم با چیدمان مصنوعی خاک ۲۰ سانتی متر خاک منطقه، ۱۵ سانتی‌متر ماسه سیلیس و ۱۵ سانتی‌متر شن پر شد. سپس در یکی از لایسیمترهای حاوی خاک منطقه، بوته گیاه وتیور کشت شد و سرانجام برای ساختمان‌بندی خاک (خشک و تر شدن) به‌مدت ۴ تا ۵ هفته لایسیمترها با آب معمولی مورد آبیاری قرار گرفتند.

عملیات آبیاری در این تحقیق از نوع جریان کند به‌صورت سطحی یا پاششی انجام گرفت. در این سیستم از سه سطح بارگذاری ۰/۲، ۰/۶، ۱/۰ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد و تناوب آبیاری به‌صورت ۱ روز آبیاری و ۶ روز استراحت در نظر گرفته شد. برای شروع آبیاری، پساب حوضچه ته‌نشینی ثانویه به کمک پمپ تزریقی تسمه‌ای، مدل CL4000T تیپ ۱ به مخزن فایبرگلاس به حجم ۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده شد. سپس توسط سه شیر خروجی از جنس ضد اسید با استفاده از شیلنگ رابط به لایسیمترها منتقل شد.

نمونه‌برداری به‌صورت دو مرتبه در هفته و با استراحت شش روز (برای جلوگیری از بروز شرایط بی‌هوازی) در طول مدت چهار ماه صورت گرفت. نمونه‌ها از خروجی حوضچه ته‌نشینی ثانویه به‌عنوان نمونه ورودی به لایسیمترها و خروجی سه لایسیمتر به‌عنوان نمونه‌های خروجی تهیه شد و در مجاورت یخ به آزمایشگاه دانشکده بهداشت علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز انتقال داده شد و آزمایش‌های TSS و کلیفرم کل[1] بر اساس روش‌های استاندارد صورت گرفت [۱۲].

این تحقیق در قالب طرح آماری فاکتوریل با سه تیمار و سه بارگذاری هیدرولیکی و برای هر بارگذاری سه تکرار به‌صورت آزمایش کاملاً تصادفی و تجزیه تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب و اکسل صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

یافته‌ها و نتایج حاصل از این تحقیق در قالب جدول‌ها و نمودارهایی نشان داده شده است. در جدول ۲ نتایج حاصل از میانگین آنالیز پساب ورودی و خروجی از لایسیمترهای مختلف (۳ بار تکرار در هر بارگذاری) نشان داده شده است. میانگین بازدهی حذف آلاینده‌ها توسط پایلوت برای پساب ورودی مختلف و نرخ‌های آبیاری مختلف در شکل‌های ۱و ۲ آمده است.

لایسیمتر ۱ : لایسیمتر پرشده با خاک منطقه همراه با رویش گیاه وتیور

لایسیمتر ۲: لایسیمتر پرشده با خاک منطقه بدون رویش گیاه وتیور

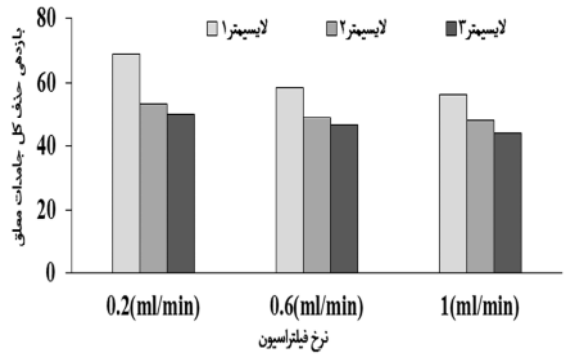
لایسیمتر ۳: لایسیمتر پرشده با چیدمان مصنوعی خاک

همان‌طور که در جدول ۱ و شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، بهترین بازدهی حذف TSS و کل کلیفرم مربوط به نرخ فیلتراسیون ۰/۲ میلی‌لیتر در دقیقه است و با افزایش سرعت فیلتراسیون بازدهی حذف کاهش می‌یابد. بازدهی حذف TSS و کل کلیفرم برای لایسیمتر با رویش گیاه وتیور به ترتیب ۶۸/۷۵ و ۹۹/۷ درصد و برای لایسیمتر بدون رویش گیاه به‌ترتیب ۵۸/۳۳ و ۹۹/۶ درصد و برای لایسیمتر با چیدمان مصنوعی خاک ۵۶/۲۵ و ۹۹/۵ درصد به‌دست آمد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بیشترین بازدهی حذف TSS و کل کلیفرم مربوط به لایسیمتر خاک منطقه با رویش گیاه وتیور است که یک دلیل افزایش بازدهی حذف TSS در لایسیمتر خاک منطقه با رویش گیاه، حضور وتیور است.

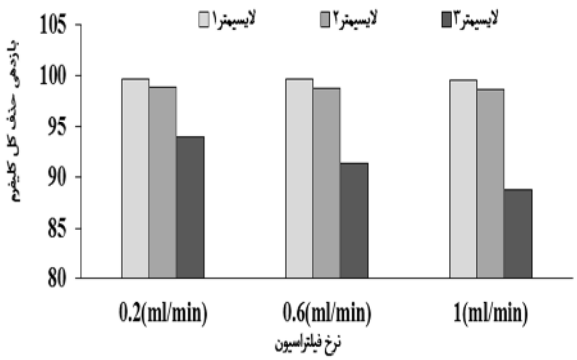
[1] Total Coliform

جدول ۲- میانگین pH ، TSS و کلیفرم کل ورودی و خروجی از لایسیمترها حاصل از سه بار تکرار در بارگذاری‌های مختلف

پارامتر	سرعت کند (۰/۲ml/min)				سرعت متوسط (۰/۶ ml/min)				سرعت تند (۱/۰ ml/min)			
	ورودی	لایسیمتر ۱	لایسیمتر ۲	لایسیمتر ۳	ورودی	لایسیمتر ۱	لایسیمتر ۲	لایسیمتر ۳	ورودی	لایسیمتر ۱	لایسیمتر ۲	لایسیمتر ۳
pH	۶/۷	۷/۲	۷/۳	۷/۳	۶/۸	۷/۵	۷/۴	۷/۴	۷/۲	۷/۷	۷/۶	۷/۸
TSS	۴۸/۳	۱۵	۲۰	۲۱	۴۵	۲۱	۲۳	۲۳/۵	۴۱/۷	۲۱	۲۲/۵	۲۳/۵
TC	۶۸×۱۰^{۴}	$۱/۱\times۱۰^{۳}$	$۱/۲\times۱۰^{۳}$	$۱/۴\times۱۰^{۳}$	۴۶×۱۰^{۴}	$۴/۶\times۱۰^{۳}$	$۵/۳\times۱۰^{۳}$	$۵/۹\times۱۰^{۳}$	۷۷×۱۰^{۴}	$۱/۹\times۱۰^{۴}$	$۲/۷\times۱۰^{۴}$	$۳/۶\times۱۰^{۴}$



شکل ۱- بازدهی حذف TSS در لایسیمترها در زمان ماند مختلف



شکل ۲- بازدهی حذف کل کلیفرم در لایسیمترها در زمان ماند مختلف

از خصوصیات گیاه وتیور ریشه‌های فیبری هستند که از بخش‌های زیرزمینی ساقه منشعب شده‌اند و ذرات خاک را در یک الگوی افقی به‌صورت همبسته نگه می‌دارند. ریشه‌های متراکم وتیور درهم تنیده می‌شوند و به‌صورت یک دیوار یا پرده زیرزمینی در می‌آیند به‌طوری که گیاه را قادر به حفظ آب و رطوبت می‌سازند. در مطالعه ون و همکاران که بر روی یک سیستم جریان بالا با بارگذاری بالا صورت گرفته است، بازدهی حذف کل کلیفرم ۸۹ درصد و TSS ۷۸ درصد گزارش شده است [۱۳]. تائبی و همکاران عملکرد یک سیستم جریان رو زمینی برای تصفیه پیشرفته پساب تصفیه‌خانه فاضلاب را بررسی و بازدهی حذف TSS را ۶۶/۲ گزارش کرده‌اند [۱۴]. در مطالعه دیگری توسط یوسفی و همکاران در ارزیابی وتلند مصنوعی زیرسطحی با جریان افقی در تصفیه فاضلاب، درصد حذف TSS برای حوضچه دارای نی ۸۷/۸۷ درصد به‌دست آمده است [۱۵]. رویانیان و همکاران در زمینه امکان سنجی تصفیه زمینی پساب اولیه تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز، بهترین بازدهی حذف TSS و کل کلیفرم در سرعت کند (۰/۲میلی‌لیتر در دقیقه) را مربوط به لایسیمتر خاک منطقه با رویش گیاه ذرت دانسته‌اند [۹]. در تحقیق نجفی آلودگی میکربی ناشی از آبیاری چمن با فاضلاب تصفیه شده شهری مورد بررسی گرفته است. نتایج حاصل از فیلتراسیون آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب درصد حذف برای کل کلیفرم ۵۷ درصد به‌دست آمده است [۱۶].

خزایی و همکاران میزان حذف کلیفرم‌ها از پساب لاگون هوادهی با استفاده از صافی درشت دانه با جریان افقی (HRF) با سه نرخ فیلتراسیون ۰/۵، ۱، ۱/۵ متر بر ساعت را بررسی کرده و در هر سه نرخ فیلتراسیون، راندمان حذف کل کلیفرم بیش از ۹۰ درصد گزارش شده است [۱۷]. همچنین حسین شاهی و همکاران روی وتلندهای مصنوعی مطالعه کرده و راندمان حذف برای کل کلیفرم را ۸۰/۳۴ درصد گزارش کرده‌اند [۱۸].

راندمان حذف به‌دست آمده برای پاتوژن شاخص در این مطالعه بالاتر از راندمان حذف در مطالعات مشابه بود که این مسئله می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. یکی از مهم‌ترین دلایل مربوط به گیاه وتیور به‌کار رفته در این مطالعه است. البته از سایر عوامل مؤثر در راندمان حذف پاتوژن‌های شاخص می‌توان به فاکتورهای بیولوژیکی از قبیل جانداران شکارچی مانند نماتودها و پروتوزوآها و فعالیت باکتری‌ها و تولید باکتریوفاژ و فاکتورهای شیمیایی از قبیل واکنش‌های اکسیداسیون، جذب و سمیت باکتریایی و جذب گیاهی اشاره کرد. همچنین بار هیدرولیکی تأثیر زیادی بر روی حذف ارگانیسم‌ها دارد؛ به طوری که با افزایش بار ورودی، راندمان سیستم کاهش می‌یابد [۱۹و۲۰].

در این مطالعه تأثیر جامدات معلق بر مقادیر پاتوژن‌های شاخص نشان داد که با کاهش جامدات معلق، پاتوژن‌های شاخص نیز کاهش می‌یابند. این مسئله می‌تواند به‌علت چسبیدن پاتوژن‌های شاخص به جامدات معلق در هنگام ته‌نشین شدن آن‌ها باشد. فیلتراسیون و چسبیدن میکرب‌ها به سطح ریشه از دیگر

جدول ۳- نتایج آزمون فاکتوریل داده‌های بازدهی حذف TSS

گروه بندی	نرخ فیلتراسیون			نوع چیدمان			زمان نمونه برداری		
	تعداد	نرخ فیلتراسیون	میانگین	تعداد	نوع چیدمان*	میانگین	تعداد	زمان (ساعت)	میانگین
A	۱۸	۰/۲	۶۰/۶۷	۱۸	D	۵۶/۷۴	۲۷	۲۴	۴۹/۶۳
B	۱۸	۰/۶	۴۹/۷۹	۱۸	E	۵۰/۴۴	۲۷	۴۸	۵۴/۴۰
C	۱۸	۱/۰	۴۵/۵۸	۱۸	F	۴۸/۸۷	----	----	----

*نوع چیدمان :D= خاک منطقه با رویش گیاه وتیور E= خاک منطقه بدون رویش گیاه F= خاک با چیدمان مصنوعی

جدول ۴- نتایج آزمون فاکتوریل داده‌های بازدهی حذف کل کلیفرم

گروه بندی	نرخ فیلتراسیون			نوع چیدمان			زمان نمونه برداری		
	تعداد	نرخ فیلتراسیون	میانگین	تعداد	نوع چیدمان*	میانگین	تعداد	زمان (ساعت)	میانگین
A	۱۸	۰/۲	۹۹/۶۴	۱۸	D	۹۷/۵۷	۲۷	۲۴	۹۶/۰۱
B	۱۸	۰/۶	۹۸/۳۳	۱۸	E	۹۵/۹۵	۲۷	۴۸	۹۶/۷۵
C	۱۸	۱/۰	۹۱/۱۸	۱۸	F	۹۵/۶۳	----	----	----

*نوع چیدمان :D= خاک منطقه با رویش گیاه وتیور E= خاک منطقه بدون رویش گیاه F= خاک با چیدمان مصنوعی

روش‌های کاهش ارگانیسم‌ها است.

تجزیه و تحلیل آماری مقدار بازدهی‌های حذف به‌دست آمده TSS و کل کلیفرم در مدت زمان انجام تحقیق، با عنایت به طرح آماری انتخاب شده با استفاده از برنامه رایانه‌ای مینی‌تب انجام شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، اثر نرخ فیلتراسیون به همراه نوع چیدمان بر روی مقادیر TSS و کل کلیفرم محاسبه شده از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار بود. در مورد زمان نمونه‌برداری برای کل کلیفرم تفاوت معنی‌دار وجود داشت اما در مورد TSS تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بر طبق نتایج آزمون فاکتوریل که در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است می‌توان چنین بیان کرد:

الف- اثر نرخ فیلتراسیون: میانگین بازدهی حذف TSS و کل کلیفرم اندازه‌گیری شده در زهاب خروجی در نرخ فیلتراسون ۰/۲ میلی‌لیتر در دقیقه بالاتر از بقیه نرخ‌های فیلتراسیون قرار گرفته و تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد. این امر بیانگر افزایش حذف جامدات به‌وسیله سیستم است.

ب- اثر نوع چیدمان: میانگین بازدهی حذف اندازه‌گیری شده در زهاب خروجی در مورد TSS و کل کلیفرم لایسیمتر خاک منطقه با رویش گیاه وتیور بالاتر از بقیه چیدمان‌ها قرار گرفته و تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد.

ج- اثر زمان نمونه‌برداری: میانگین بازدهی حذف TSS و کل کلیفرم اندازه‌گیری شده در زهاب خروجی در زمان نمونه‌برداری ۴۸ ساعته بالاتر از ۲۴ ساعته است و در مورد TSS تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد ولی در مورد کل کلیفرم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

استانداردهای مختلفی به‌منظور استفاده از پساب در زمینه‌های مختلف توسط سازمان‌های بین‌المللی از قبیل WHO و EPA و FAO ارائه شده است. در ایران نیز استاندارد استفاده از پساب در کشاورزی و آبیاری توسط سازمان حفاظت محیط زیست ارائه شده است. تصمیم‌گیری در مورد قابلیت استفاده از پساب در گزینه‌های مختلف بر اساس نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر روی پساب و مقایسه با استانداردها امکان‌پذیر می‌شود.

استاندارد سازمان محیط زیست ایران در مورد استفاده از فاضلاب در کشاورزی و آبیاری برای کل کلیفرم MPN/100ml ۱۰۰۰ است [۲۱]. از مقایسه نتایج حاضر با استاندارد محیط زیست ایران نتایج حاصل از لایسیمتر با چیدمان خاک منطقه و گیاه وتیور در بارگذاری هیدرولیکی ۰/۲ میلی‌لیتر در دقیقه توانسته تا حدودی به استانداردها نزدیک باشد.

۴- نتیجه‌گیری

فاضلاب اخیراً به‌عنوان یک منبع جدید آب که کمترین نوسانات را دارد، مورد توجه متخصصان محیط زیست قرار گرفته است. پساب حاصل از تصفیه بیولوژیکی در بیشتر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب موجود در ایران بدون هیچ محدودیت و کنترل قابل توجهی در

مصارف مختلف و غالباً برای آبیاری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راستا پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز نیز به رودخانه کارون وارد شده و هیچ‌گونه استفاده خاصی از آن به‌عمل نمی‌آید. از طرفی قوانین سختگیرانه‌ای از سوی سازمان‌های بهداشتی و حفاظت محیط‌زیست در رابطه با استفاده مجدد از فاضلاب وجود دارد که به‌منظور رسیدن به این دستورالعمل‌ها انجام مراحل دیگر تصفیه پساب ضروری است.

نتایج این تحقیق حاکی از کارایی قابل قبول این روش تکمیلی در کاهش بار میکربی دارد به‌طوری که از این حیث، استفاده از این روش قادر به تأمین پسابی برای استفاده مجدد در مصارف مختلف نظیر آبیاری زمین‌های کشاورزی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، پرورش آبزیان و غیره است. این نتیجه در ایران که با مشکل کم آبی در بسیاری از نقاط روبرو است، حائز اهمیت بسیار است. بنابراین سیستم زمین-گیاه در مقایسه با دیگر روش‌های تکمیلی در مکان‌هایی که زمین به اندازه کافی در دسترس باشد، به‌دلیل کارایی بالا، هزینه کم و عدم نیاز به نیروی متخصص از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۵- قدردانی

به‌این وسیله از همکاری معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز که مسئولیت تصویب و تأمین هزینه و امکانات لازم برای انجام این پژوهش را بر عهده داشتند و پرسنل محترم آزمایشگاه دانشکده بهداشت این دانشگاه که در این طرح همکاری‌های لازم را داشتند و همین‌طور شرکت آب و فاضلاب اهواز و پرسنل محترم تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز که نویسندگان را در اجرای این تحقیق یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

1. Amin, M.M., Hashemi, H., Ebrahimi, A., Bina B., Movahhedian Attar H., Jaberi A., Saffari, H., and Mousavian, Z. (2010). "Using combined processes of filtration and ultraviolet irradiation for effluent disinfection of Isfahan north wastewater treatment plant in pilot scale." *J. of Water and Wastewater*, 22-2 (78), 71-77. (In Persian)
2. Sharafi, K., Drayat, J., Khodadadi, T., Asadi, F., and Poureshg, Y. (2011). "The efficiency comparison of constructed wetland and conventional activated sludge on removal of cysts and parasitic eggs-case study: Ghasr -e-Shirin and Kermanshah wastewater treatment plants." *Health Journal of Ardabil*, 2(3), 7-13. (In Persian).
3. Koivunen, J., Siitonen, A., and Heinonen-Tanski, H. (2003). "Elimination of enteric bacteria in biological-chemical wastewater treatment and tertiary filtration units." *Water Res.*, 37(3), 690-698.
4. Lazarova, V.P, Savoye, M.L., Janex, E.R., Blatchley, M., and Pommepuy, M. (1999). "Advanced wastewater disinfection technologies: State of the art and perspectives." *Wat. Sci. Technol.*, 40(4-5), 203-213.
5. Mbuligwe, S.E., Kaseva, M.E., and Kassenga, G.R. (2011). "Applicability of engineered wetland systems for wastewater treatment in Tanzania – A review." *The Open environmental Engineering Journal*, 4, 18-31.
6. Tchobanoglous, G., Burton, F.L. (2005). *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*, 3rd Ed., Metcalf and Eddy, Pub., McGraw-Hill. Inc., New York.
7. Ou, Z., Chang, S., Gao, Z., Sun T., and et al. (2005). "Paddy rice slow-rate land treatment systems hydraulic balances and results of 4 years operation." *Water Research*, 26,1487-1494.
8. Ahvaz Water and Wastewater Company. (2005). *Operation and maintenance guideline for Ahvaz west wastewater treatment plant*, Rayab Consulting Engineers Department of Ministry Energy. 6. (In Persian).
9. Rouyanian Firouz, Z., Takdastan, A., Jaafarzadeh Haghighifard, N., and Sayyad, G.A. (2011). "Feasibility of land treatment that removal of nitrogen and phosphor of chonaibeh waste water treatment plant (Ahvaz). *Asian J. Research Chem.*, 4(4), 597-601.

10. Poorkazem, E. (2006). “Utilization of vetiver grass at water and soil conservation projects in Thailand.” *J. of Jahad*, 275, 322-342. (In Persian).
11. Truong, P., Van, T.T., and Pinners, E. (2006). *Vetiver system application: Technical reference manual*, Geotechnical Engineer of Thailand.
12. APHA. (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19th Ed., American Public Health Association, Washington, DC.
13. Wen, C.G., Chen, T.H., Hsu, F.H., Lu, C.H., Lin, J.B., Chang, C.H., Chang, S.P., and Lee, C.S. (2007). “A high loading overland flow system: Impacts on soil characteristics, grass constituents, yields and nutrient removal.” *Chemosphere,* 67, 1588-1600.
14. Taebi, A., and Droste, R.L. (2008). “Performance of an overland flow system for advanced treatment of wastewater plant effluent.” *J. of Environmental Management*, 88, 688-696.
15. Yousefi, Z., Hoseini, S.M., Mohamadpur Tahamtan, R.A., and Zazouli, M.A. (2013). “Performance evaluation of artificial wetland subsurface with horizontal flow in wastewater treatment.” *J. Mazandaran Univ. Med. Sci*., 23(99), 12-25.(In Persian)
16. Najafi, P. (2008). “A study on Microbial contamination of municipal wastewater irrigation of grass.” *Environmental Study*, 33(44), 27-32. (In Persian)
17. Khazaei, M., Nabizadeh, R., Rahimi, T., and Roshany, M. (2010). “A study on coliform removal from aerated lagoon effluent by horizontal roughingfilter (HRF).” *12th Conference of Environmental Health*, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, 169-180. (In Persian)
18. Shahi, D.H., Ebrahimi, A., Eslami, H., Ayatollahi, S., and Dashty, N. (2012). “Efficiency of straw plants in removal of indicator pathogens from sub surface flow constructed wetlands of municipal wastewater in Yazd, Iran.” *Health and Development*, 2, 147-155. (In Persian)
19. Ulrich, H., Klaus, D., Irmgard, F., Annette, H., JuanL, P., and Regine, S. (2005). “Microbiological investigations for sanitary assessment of wastewater treated in constructed wetlands.” *Water Res*, 39(20), 4849-4858.
20. Spieles, D.J., and Mitsch, W.J. (2007). “The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: A comparison of low- and high-nutrient riverine systems.” *Ecol. Eng*., 14(1-2), 77-91.
21. Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision. (2010). *Environmental criteria of treated waste water and return flow reuse in Iran*, Tehran. (In Persian)