

کارایی انواع گیاهان نی در وتلند مصنوعی زیر سطحی جهت حذف پاتوزن‌های شاخص از فاضلاب شهر یزد

داود حسین شاهی^۱، اصغر ابراهیمی^۲، هادی اسلامی^۳، شیرین آیت‌اللهی^۴، نعیمه دشتی^۵

چکیده

مقدمه: وتلندها یکی از روش‌های تصفیه طبیعی فاضلاب‌های شهری و صنعتی محسوب می‌شوند که علاوه بر کاهش هزینه‌های تصفیه، دارای راندمان بالایی در حذف آلاینده‌ها می‌باشند. هدف از مطالعه حاضر، بررسی کارایی حذف پاتوزن‌های شاخص در وتلند زیر سطحی از فاضلاب شهر یزد بود.

روش‌ها: این بررسی نوعی مطالعه کاربردی و تجربی بود که در آن تعداد ۱۰۰ عدد نمونه از چهار وتلند زیر سطحی که با سه گیاه نی بافق، یزد بافت و علی آباد پوشیده شده و یک وتلند شاهد، در دو فصل زمستان و بهار برداشت شد و در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل گردید. سرانجام آزمایش‌های کلی فرم کل، اشرفیاساکلی و استرپتوکوک مدفوعی مطابق روش استاندارد روی نمونه‌های خروجی از وتلندها صورت گرفت.

نتایج: میانگین راندمان حذف کلی چهار وتلند برای کلی فرم کل، اشرفیاساکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب ۸۰/۴۳، ۷۴/۱۱ و ۶۹/۰۸ درصد بود. همچنین وتلند گونه علی آباد برای کلی فرم کل و اشرفیاساکلی به ترتیب با میزان حذف ۹۸/۲۲ و ۹۹/۲۷ بیشترین راندمان را داشت.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به این که در شهر یزد روش تصفیه مورد کاربرد برکه‌های تثبیت می‌باشد که یکی از مشکلات اصلی آن پایین بودن راندمان حذف میکروبی است، بنابراین با به کار بردن وتلند زیر سطحی با گونه نی علی آباد بعد از برکه‌های تثبیت می‌توان این مشکل را برطرف کرد.

واژگان کلیدی: تصفیه فاضلاب، گیاهان نی، پاتوزن‌های شاخص، وتلند مصنوعی.

مقدمه

آلودگی آب‌های سطحی و زیر زمینی می‌گردد، بلکه می‌تواند مشکلات زیادی را برای جوامع بشری ایجاد کند. امروزه از روش‌های زیادی برای تصفیه فاضلاب‌های شهری استفاده می‌گردد که به طور کلی به دو دسته روش‌های تصفیه طبیعی و مکانیکی دسته‌بندی می‌شوند (۱).

امروزه با افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش تولید فاضلاب، نیاز به تصفیه بهینه فاضلاب‌ها روز به روز بیشتر احساس می‌شود. فقدان یک سیستم مناسب جهت تصفیه فاضلاب و رهاسازی این فاضلاب‌ها در محیط نه تنها موجب آلودگی محیط و در نهایت

^۱ کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران.

^۲ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران.

^۳ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کاشان، کاشان، ایران.

^۴ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران.

^۵ کارشناسی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران.

فیلتراسیون فیزیکی جامدات معلق توسط توده بیولوژیکی و تراکم پوشش گیاهی مناسب و سرعت کم جریان حاصل می‌گردد (۱۰).

سایر مکانیسم‌ها شامل ترسیب شیمیایی و جذب نوترینت‌ها مثل فسفات به وسیله خاک، شکار شدن و مرگ طبیعی پاتوژن‌ها مانند اشرشیاکلی و کریپتوسپوریدیوم توسط افزایش تنوع و دانسیته شکارچیان طبیعی (مانند پروتوزوئرها) و افزایش تابش اشعه ماورای بنفش خورشید می‌باشد (۱۱).

از جمله مزایای روش وتلند نسبت به سایر روش‌های تصفیه فاضلاب می‌توان به عملکرد ساده، استفاده از نزارهای بومی و طبیعی استان، انتخاب محل سایت تصفیه‌خانه دور از مناطق مسکونی، هزینه پایین ساخت تصفیه‌خانه، عدم تجمع حشرات (به علت جریان زیر سطحی)، عدم تولید بوی نامطبوع، ایجاد فضای سبز و محل مناسب جهت جذب حیات وحش (پرندگان - خزندگان بومی) که موجب برقراری یک اکوسیستم پایدار می‌گردد، اشاره کرد. سیستم‌های تصفیه طبیعی در عین تکنولوژی پایین دارای راندمان بالایی هستند (۱۲، ۱۳).

سیستم وتلند می‌تواند مقادیر بالایی از اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (Biochemical oxygen demand یا BOD)، جامدات معلق (Suspended solids یا SS) و نیتروژن و همچنین فلزات، عناصر کمیاب و پاتوژن‌ها را حذف کند. وتلندها دارای فعالیت بیولوژیکی بالایی هستند؛ چرا که گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری در ترکیب خاک وجود دارند که می‌توانند موجب تصفیه فاضلاب و بهبود کیفیت پساب گردند (۱۴).

مطالعات در مورد راندمان حذف میکروبی وتلندها بسیار کم می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط

وتلندها یکی از روش‌های تصفیه طبیعی فاضلاب‌های شهری و صنعتی محسوب می‌شوند که با در نظر گرفتن هزینه‌های کم اولیه برای احداث و بهره‌برداری و نیز نگهداری و راهبری بسیار ساده آن به عنوان روشی اقتصادی و مقرون به صرفه مطرح بوده و در رفع آلودگی‌های زیست محیطی اثر مطلوبی داشته است (۲).

از وتلندها می‌توان جهت تصفیه فاضلاب خانگی و رواناب‌های کشاورزی، فاضلاب صنایع، تصفیه شیرابه محل دفن زباله، تصفیه سیلاب و رواناب شهری، زلال‌سازی و تصفیه پیشرفته پساب، احیای دریاچه‌های اتوتروفیک، تصفیه آب‌های آلوده به مواد مغذی نظیر نیترات و فسفات و انجام دی‌نیتریفیکاسیون پساب‌ها پس از عمل نیتریفیکاسیون استفاده کرد (۳-۸).

به طور کلی وتلندهای مصنوعی به دو دسته، وتلندهای جریان سطحی با سطح آزاد آب (FWS یا Free Water Surface) و وتلندهای زیر سطحی (SSF یا Sub Surface Flow) تقسیم می‌شوند. جریان فاضلاب در وتلندهای زیر سطحی می‌تواند به صورت جریان عمودی رو به بالا و جریان افقی ساخته شود. وتلند از شن، ماسه و خاک با دانه‌بندی مناسب پر می‌گردد. این بستر سطح مناسبی را برای رشد میکروب‌ها ایجاد می‌کند (۹).

در وتلندها مکانیسم‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و همچنین تصفیه به وسیله گیاهان (به طور عمده ماکروفیت‌ها)، جلبک‌ها، میکروارگانیزم‌ها، آب، خاک و خورشید (فرایندهای مستقیم مانند تجزیه نوری) انجام می‌پذیرد. مهم‌ترین مکانیسم حذف آلاینده‌ها در وتلندهای با جریان زیر سطحی، توسط

به کار نرفته است. سپس فاضلاب خام بعد از عبور از تصفیه مقدماتی و سپتیک تانک با دبی $25m^3/d$ وارد هر کدام از وتلندها شد. به مدت یک ماه فاضلاب وارد وتلندها گردید و بعد از گذشت یک ماه اقدام به نمونه برداری از ورودی و خروجی چهار وتلند با تناوب زمانی یک روز شد.

نمونه برداری از نیمه‌های بهمن ماه شروع شده و تا نیمه‌های اردیبهشت ماه ادامه پیدا کرد. در طول مدت مطالعه، تعداد ۱۰۰ نمونه برداشت شد. این حجم نمونه از طریق فرمول با خطای قابل قبول $0/193$ ، انحراف معیار $0/98$ و دقت 95 درصد محاسبه شد.

نمونه‌ها در ظروفی از جنس پلی اتیلن استریل جهت انجام آزمایش در مجاورت یخ مطابق با روش استاندارد به آزمایشگاه حمل شدند و پس از فیلتراسیون غشایی با فیلتر $0/45$ میکرون با روش خاص ارایه شده در کتاب روش‌های استاندارد مربوط به آزمایش‌های آب و فاضلاب اندازه‌گیری شدند (۱۷). در این مطالعه راندمان حذف پاتوژن‌های شاخص شامل کلی‌فرم کل، کلی‌فرم مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی و همچنین راندمان حذف (Total suspended solids یا TSS) مورد بررسی قرار گرفت. تعداد باکتری‌ها در 100 میلی‌لیتر با روش (Most probable number یا MPN) محاسبه گردید. همچنین پارامترهایی نظیر pH و اکسیژن محلول اندازه‌گیری شدند.

داده‌های به دست آمده در پرسش‌نامه‌های مربوط جمع‌آوری شده و توسط روش‌های آماری Kruskal-Wallis و Paired samples t-test در نرم‌افزار آماری SPSS^{۱۶} مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

Kadlec و همکاران روی وتلندهای مصنوعی در کلمبیا انجام شد، نشان داد که وتلندهای مورد بررسی 98 درصد از کلی‌فرم‌های مدفوعی و 95 درصد از اشرشیاکلی را حذف کرده‌اند و در حذف عوامل شیمیایی نیز مؤثر بوده‌اند (۱۵). همچنین مطالعه‌ای که توسط یوسفی و همکاران روی نقش گیاه تیره زنبق در دفع باکتری‌ها از فاضلاب در سیستم وتلند مصنوعی زیر سطحی انجام گرفت، نشان داد که این وتلند با زمان ماند 5 تا 6 روزه می‌تواند استاندارد پساب‌های خروجی به آب‌های پذیرنده را از نظر کلی‌فرم تأمین نماید (۱۶).

شهر یزد از لحاظ موقعیت جغرافیایی برای رشد گونه‌های گیاهی وتلند مناسب می‌باشد. بنابراین مطالعه حاضر در جهت تعیین کارایی انواع گیاهان نی در وتلند مصنوعی زیر سطحی جهت حذف پاتوژن‌های شاخص از فاضلاب شهر یزد و همچنین انتخاب بهترین نی با بیشترین کارایی جهت انجام تصفیه فاضلاب انجام شد تا در صورت امکان نی‌های با کارایی بهتر شناسایی و جایگزین شوند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه نوعی مطالعه تجربی و کاربردی بود. در ابتدا چهار وتلند با ابعاد کلی $960m^2$ (ابعاد هر وتلند 20×12 متر) که بسترشان از گرانول با ابعاد مختلف $0/2$ تا 1 سانتی‌متر پر شده، ساخته شد. سپس در داخل هر کدام از وتلندها سه گونه گیاهی بدین صورت که در وتلند 1 نی بافق، وتلند 2 نی یزد بافت و وتلند 3 نی علی آباد کاشته شد. یک وتلند نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. وتلند شاهد وتلندی است که مشابه سایر وتلندها است با این تفاوت که هیچ گیاهی در آن

نتایج

(جدول ۱). سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول ۱ آورده شده است.

داده‌های به دست آمده نشان داد که در وتلند ۳ با گونه نی علی آباد، میزان حذف کل کلی فرم‌ها، اشرشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب ۹۸/۲۲، ۹۹/۲۷ و ۸۰/۶۱ درصد بوده است که بیشترین راندمان برای حذف کل کلی فرم‌ها و اشرشیاکلی بوده است. میزان حذف کل کلی فرم‌ها، اشرشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی در سایر وتلندها در جدول ۲ آمده است.

داده‌های به دست آمده نشان داد که میانگین حذف TSS در وتلندهای ۱، ۲، ۳ و شاهد به ترتیب ۶۹، ۷۲، ۴۴ و ۶۶ درصد می‌باشد (نمودار ۱).

Paired samples t-test نشان داد که اختلاف آماری بین ورودی و خروجی در کلیه وتلندها معنی‌دار بوده است ($P \leq 0/05$).

داده‌های به دست آمده از این مطالعه نشان داد که میزان کلی فرم کل در ورودی به وتلندها $10^{14} \times 4/41$ (تعداد کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه) بوده که در وتلند ۱ با گونه نی بافق به $10^{14} \times 1/14$ ، در وتلند ۲ با گونه نی یزد بافت به $10^{14} \times 1/13$ ، در وتلند ۳ با گونه نی علی آباد به $10^{12} \times 7/84$ و در وتلند شاهد به $10^{14} \times 1/1$ (تعداد کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه) کاهش یافته است.

میزان اشرشیاکلی در ورودی به وتلندها $10^{14} \times 1/13$ (تعداد کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه) بوده که در وتلند ۱ به $10^{14} \times 1/1$ کاهش یافته، در وتلند ۲ به $10^{12} \times 5/03$ ، در وتلند ۳ به $10^{11} \times 2/44$ و در وتلند شاهد به $10^{12} \times 1/31$ (تعداد کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه) کاهش یافت.

جدول ۱. میانگین پارامترهای ورودی و خروجی از چهار وتلند مورد مطالعه

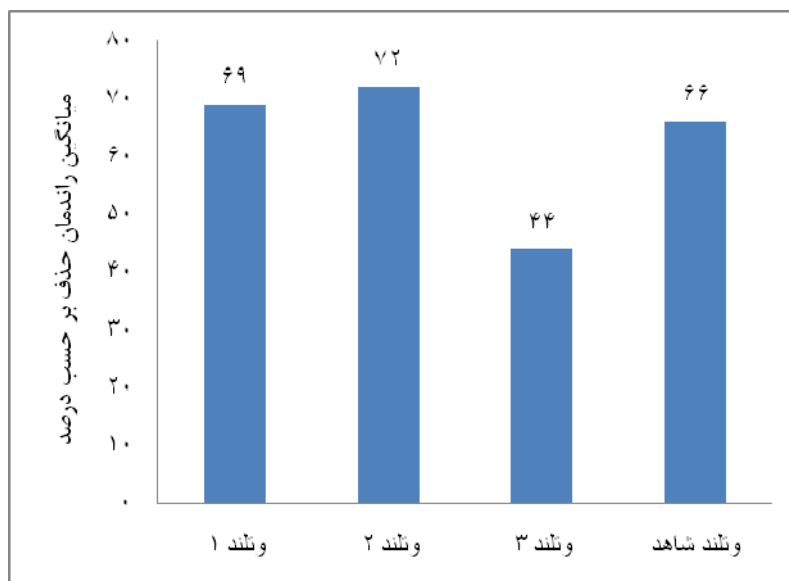
پارامترها	فاضلاب ورودی	شاهد	وتلند ۱ (نی بافق)	وتلند ۲ (نی یزد بافت)	وتلند ۳ (نی علی آباد)
کل کلی فرم‌ها (تعداد در ۱۰۰ میلی گرم)	$4/41 \times 10^{14}$	$1/1 \times 10^{14}$	$1/14 \times 10^{14}$	$1/13 \times 10^{14}$	$7/84 \times 10^{12}$
اشرشیاکلی (تعداد در ۱۰۰ میلی گرم)	$1/13 \times 10^{14}$	$1/31 \times 10^{12}$	$1/1 \times 10^{14}$	$5/03 \times 10^{12}$	$2/44 \times 10^{11}$
استرپتوکوک مدفوعی (تعداد در ۱۰۰ میلی گرم)	$5/88 \times 10^{14}$	$9/69 \times 10^{12}$	$5/88 \times 10^{14}$	$1/55 \times 10^{13}$	$1/16 \times 10^{14}$
* (میلی گرم بر لیتر) TSS	۱۰۳	۳۵	۳۲	۲۹	۴۴
(میلی گرم بر لیتر) **DO	۰	۱/۷۵	۱/۴۷	۱/۶	۱/۵۹
pH	۷/۷	۸/۰۵	۷/۸۸	۷/۹۷	۷/۹

*TSS: Total suspended solids

**DO: Dissolved oxygen

جدول ۲. راندمان حذف ارگانسیم‌های پاتوژن در وتلندها بر حسب درصد

شاخص‌ها (درصد)	وتلند ۱	وتلند ۲	وتلند ۳	وتلند شاهد	میانگین راندمان حذف کلی
کل کلی فرم	۷۴/۱۵	۷۴/۳۷	۹۸/۲۲	۷۵	۸۰/۴۳
اشرشیاکلی	۲/۳۹	۹۵/۵۲	۹۹/۲۷	۹۸/۸	۷۴/۱۱
استرپتوکوک مدفوعی	۰	۹۷/۳۶	۸۰/۶۱	۹۸/۳۵	۶۹/۰۸



نمودار ۱. میانگین راندمان حذف TSS بر حسب درصد

در مطالعه‌ای که توسط Warren و Decamp به منظور تعیین مقادیر و سرعت حذف اشرفیاکلی در وتلند زیر سطحی با جریان افقی با گیاه آبی *Australiss Phragmite* اشرفیاکلی ۴۱ تا ۷۲ درصد در مقیاس واقعی و ۹۶/۶ تا ۹۸/۹ درصد در مقیاس پایلوت بود و با کاهش زمان ماند، راندمان سیستم پایلوت نیز کاهش پیدا کرد. در این مطالعه، بررسی سرعت واکنش نشان داد که بیشترین حذف اشرفیاکلی در یک سوم ابتدایی بوده و ارتباط مستقیمی بین تراکم گیاه و حذف اشرفیاکلی وجود دارد (۱۸). همچنین مطالعه‌ای که توسط Evanson و Ambrose روی وتلند طبیعی ساحلی انجام گرفت، نشان داد که مقدار حذف کلی فرم‌های مدفوعی ۸۲/۷ تا ۹۹/۹ درصد بوده است. همچنین مقدار حذف TSS بین ۲۵ تا ۸۹/۱ درصد بود (۱۹).

راندمان حذف به دست آمده برای پاتوزن‌های شاخص در این مطالعه بالاتر از راندمان حذف در مطالعات مشابه می‌باشد که این مسأله می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. یکی از مهم‌ترین این دلایل

نتایج آزمون‌ها همچنین نشان داد که بین اشرفیاکلی و کل کلی فرم ارتباط معنی‌دار و مستقیمی وجود دارد ($P = 0/01$)، یعنی با افزایش اشرفیاکلی، کل کلی فرم‌ها نیز افزایش می‌یابد و بر عکس. همچنین بین کل کلی فرم‌ها و اکسیژن محلول ارتباط معنی‌دار و معکوسی وجود دارد ($P = 0/01$). بین استرپتوکوک مدفوعی، pH، TSS و اکسیژن محلول ارتباط معنی‌داری وجود داشت ($P = 0/01$). ارتباط بین استرپتوکوک مدفوعی با TSS مستقیم بوده و با pH و اکسیژن محلول معکوس بود.

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین حذف کلی برای کل کلی فرم‌ها، اشرفیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب ۸۰/۴۳، ۷۴/۱۱ و ۶۹/۰۸ بوده است و بیشترین مقدار حذف اشرفیاکلی و کلی فرم‌ها مربوط به وتلند ۳ به میزان ۹۹/۲۷ و ۹۸/۲۲ بود و بیشترین حذف استرپتوکوک‌های مدفوعی هم مربوط به وتلند شاهد بود.

مکانیسم‌هایی است که روی کاهش میکروارگانیسم‌ها در وتلندها مؤثر می‌باشد (۲۳-۲۵).

فیلتراسیون و چسبیدن میکروب‌ها به سطح ریشه از دیگر روش‌های کاهش ارگانیسم‌ها می‌باشد ولی ممکن است چسبیدن میکروبها به ریشه گیاهان، منجر به کاهش مکانیسم ته نشینی میکروبها و ویروس‌ها در وتلند مصنوعی گردد (۲۶). مقایسه وتلندها با برکه‌های تثبیت نشان می‌دهد که در برکه‌های تثبیت باکتری‌ها و به خصوص ویروس‌ها به سختی حذف می‌شوند و این در صورتی است که حذف ویروس و باکتری‌ها در وتلند بسیار زیاد است و با حذف جامدات معلق رابطه دارد. بنابراین استفاده از وتلند پس از برکه تثبیت می‌تواند به افزایش حذف باکتری‌ها و ویروس‌ها کمک کند. در بررسی حاضر میزان TSS، ۷۲-۴۴ درصد حذف شد که با توجه به این که یکی از مشکلات برکه‌های تثبیت بالا بودن مواد معلق در خروجی است، بنابراین استفاده از وتلندها با انواع گونه‌های نی بعد از برکه‌های تثبیت یک راهکار مناسب می‌باشد.

یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر این بود که عملکرد وتلندها در pHهای مختلف و همچنین پارامترهای شیمیایی آنها مورد بررسی قرار نگرفت، بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات دیگر این موارد مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به این که در شهر یزد روش تصفیه مورد کاربرد برکه‌های تثبیت می‌باشد که مشکل اصلی آنها پایین بودن راندمان حذف میکروبی و بالا بودن جامدات معلق در خروجی است، با به کار بردن

می‌تواند مربوط به نوع گیاه نی به کار رفته در این مطالعه باشد. البته از سایر عوامل مؤثر در راندمان حذف پاتوژن‌های شاخص می‌توان به فاکتورهای بیولوژیکی از قبیل جانداران شکارچی مانند نماتودها و پروتوزوئرها و فعالیت باکتری‌ها و تولید باکتریوفاز 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 (۲۱، ۲۰).

همچنین افزایش سریع مقادیر DO حاکی از کاهش بار آلی می‌باشد (۲۲). مقادیر اکسیژن محلول نیز به شدت بر راندمان وتلندها تأثیرگذار است و با افزایش مقادیر اکسیژن محلول، از مقدار ارگانیسم‌ها کاسته شده و ارتباط آماری مستقیمی بین افزایش DO با ارگانیسم‌های شاخص وجود دارد. در مطالعه حاضر هم با کاهش کل کلی‌فرم‌ها و استرپتوکوک مدفوعی، اکسیژن محلول افزایش یافته است. البته این رابطه برای اشریشیاکلی معنی‌دار نبود. این مسأله می‌تواند به این دلیل باشد که با کاهش مقادیر پاتوژن‌های شاخص که بی‌هوازی هستند و در نتیجه کاهش آلودگی، به تدریج ارگانیسم‌های هوازی غالب شده و در نتیجه اکسیژن محلول نیز افزایش می‌یابد.

در این مطالعه تأثیر جامدات معلق بر مقادیر پاتوژن‌های شاخص نشان داد که با کاهش جامدات معلق، پاتوژن‌های شاخص نیز کاهش می‌یابند که این کاهش برای اشریشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی از لحاظ آماری معنی‌دار بوده است. این مسأله می‌تواند به علت چسبیدن پاتوژن‌های شاخص به جامدات معلق در هنگام ته‌نشین شدن آنها باشد. ته‌نشینی یکی از

توجه به نتایج به دست آمده، وتلند مصنوعی زیر سطحی با گونه نی علی آباد می‌تواند راندمان مناسبی برای حذف اشرشیاکلی و کلی‌فرم‌ها داشته باشد.

وتلندها به گونه مناسب می‌توان تا حدودی از این مشکل جلوگیری کرد و می‌توان از وتلندها به عنوان تصفیه ثانویه بعد از خروجی از برکه‌ها استفاده کرد. با

References

- Vega E, Lesikar, Pillai SD. Transport and survival of bacterial and viral tracers through submerged-flow constructed wetland and sand-filter system. *Bioresour Technol* 2003; 89(1): 49-56.
- Reed SH, Parten S, Matzen G, Pohrent R. Water reuse for sludge management and wetland habitat. *Water Sci & Technol* 1996; 33(10-11): 213-9.
- Moore MT, Rodgers JH, Jr., Cooper CM, Smith S Jr. Constructed wetlands for mitigation of atrazine-associated agricultural runoff. *Environ Pollut* 2000; 110(3): 393-9.
- Moshiri GA. Constructed wetlands for water quality improvement. Gulf Breeze, FL: CRC Press; 1993. 359-67.
- Mulamoottil G, McBean EA, Rovers F. Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates. 1st ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2012.
- Vymazal J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Sci Total Environ* 2007; 380(1-3): 48-65.
- Vymazal J. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water* 2010; 2(3): 530-549.
- Kivaisi AK. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecol Eng* 2001; 16(4): 545-60.
- Thurston JA, Gerba CP, Foster KE, Karpiscak MM. Fate of indicator microorganisms, Giardia and Cryptosporidium in subsurface flow constructed wetlands. *Water Res* 2001; 35(6): 1547-51.
- Hurst CJ. Modeling the environmental fate of microorganisms. Washington, DC: American Society for Microbiology; 1991. 77-88.
- Carty A, Scholz M, Heal K, Gouriveau F, Mustafa A. The universal design, operation and maintenance guidelines for farm constructed wetlands (FCW) in temperate climates. *Bioresour Technol* 2008; 99(15): 6780-92.
- Reed SHC, Crites RW, Middlebrooks EJ. Natural systems for waste management and treatment. 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill; 1995.
- Hammer DA. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural. Cherry Hill, NJ: Lewis Publishers; 1990.
- Kadlec RH, Knight RL. Treatment Wetlands: Theory and Implementation. Cherry Hill, NJ: Lewis Publishers; 1996.
- Kadlec RH, Cuvellier C, Stober T. Performance of the Columbia, Missouri, treatment wetland. *Ecol Eng* 2010; 36(5): 672-84.
- Yousefi Z, Mohseni A, Ghiaseddin M, Naseri S, Shokri M, Vaezi F, Mesdaghinia AR. Role of Iran Pseudacorus plant in removal of bacteria in subsurface constructed Wetland. *J Mazandaran Uni Med Sci* 2001; 11(31): 7-15
- American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC: American Public Health Association; 2005.
- Decamp O, Warren A. Investigation of Escherichia coli removal in various designs of subsurface flow wetlands used for wastewater treatment. *Ecol Eng* 2000; 14(3): 293-9.
- Evanson M, Ambrose RF. Sources and growth dynamics of fecal indicator bacteria in a coastal wetland system and potential impacts to adjacent waters. *Water Res* 2006; 40(3): 475-86.
- Ulrich H, Klaus D, Irmgard F, Annette H, Juan LP, Regine S. Microbiological investigations for sanitary assessment of wastewater treated in constructed wetlands. *Water Res* 2005; 39(20): 4849-58.
- Spieles DJ, Mitsch WJ. 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* 2000; 14(1-2): 77-91.
- Mahlum T, Stalnacke P. Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: Effects of temperature, seasons, loading rates and input concentrations. *Water Sci & Technol* 1999; 40(3): 273-81.
- Tanner CHC, Clayton JS, Upsdell MP. Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands—I. Removal of oxygen demand, suspended solids and faecal coliforms. *Water Res* 1995; 29(1): 17-26.
- Karathanasis AD, Potter CL, Coyne MS. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and

- suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecol Eng* 2003; 20(2): 157-69.
25. Vacca G, Wand H, Nikolausz M, Kusch P, Kastner M. Effect of plants and filter materials on bacteria removal in pilot-scale constructed wetlands. *Water Res* 2005; 39(7): 1361-73.
26. Karim MR, Manshadi FD, Karpiscak MM, Gerba CP. The persistence and removal of enteric pathogens in constructed wetlands. *Water Res* 2004; 38(7): 1831-7.

Efficiency of Straw Plants in Removal of Indicator Pathogens from Sub Surface Flow Constructed Wetlands of Municipal Wastewater in Yazd, Iran

Davod Hossein Shahi¹, Asghar Ebrahimi², Hadi Esalmi³, Shirin Ayatollahi⁴, Naime Dashty⁵

Abstract

Background: Use of wetlands is one of the methods of natural municipal and industrial wastewater treatment. In addition to reducing the cost of treatment, this method has high efficiency in removing pollutants. The purpose of this study was to evaluate the efficiency of straw plants in Sub Surface Flow Constructed Wetland for removing Indicator Pathogens from Municipal Wastewater in Yazd, Iran.

Methods: This is an applied-experimental study in which 100 samples were taken from four sub surface wetlands, which were covered by three straw plants including Bafgh, Yazdbaft and Ali Abad, and a control wetland. The samples were taken during the two seasons of winter and spring and were then transferred to the laboratory by ice. The experiments of total coliform, E. coli and fecal streptococcus were performed, according to the standard methods, on input and output samples of wetlands.

Results: The results of the current study showed that the average total removal of the four wetlands for total coliform, E. coli and fecal streptococcus were 80.43%, 74.11%, and 69.08%, respectively. Moreover, the removal efficiency in the Aliabad wetland for total coliform and E. coli were 98.22% and 99.27%, respectively; this was the highest removal rate among the wetlands.

Conclusion: One of the main problems of the wastewater treatment method used in Yazd, which is stabilization ponds, is the low microbial removal. Thus, this problem can be solved by using sub surface wetlands with the Aliabad Straw species after the stabilization ponds.

Keywords: Wastewater treatment, Straw plants, Indicator pathogens, Constructed wetlands.

¹ MSc, Department of Environmental Health, School of Public Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

² PhD Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

³ MSc, Department of Environmental Health, School of Public Health, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran.

⁴ MSc, Department of Environmental Pollution Engineering, School of Science, Islamic Azad University of Hamedan, Hamedan, Iran.

⁵ Department of Environmental Health, School of Public Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

Corresponding Author: Hadi Eslami MSc, Email: hadieslami1986@yahoo.com

Address: Department of Health, Kashan University of Medical Science, Kashan, Iran.

Tel: +98-917-7094695

Fax: +98-361-5550111