

# کار آیی انواع گیاهان نی در وتلند مصنوعی زیر سطحی جهت حذف پاتوژن های شاخص از فاضلاب شهر یزد

داود حسین شاهی - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

اصغر ابراهیمی - عضو هیات علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

هادی اسلامی\* - فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کاشان

شیرین آیت اللهی - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آلودگی های محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

## ***Efficiency of straw plants in Sub Surface Flow Constructed Wetland for Indicator Pathogens Removal in Yazd Municipal Wastewater***

**Introduction:** Using of natural methods such as constructed wetland, is one of the methods for municipal wastewater treatment that In addition to reducing the cost of treatment, it have high efficiency in removing pollutants. The purpose of this study is the efficiency of Indicator pathogens removal in sub surface flow constructed wetland in Yazd municipal wastewater.

**Methods:** This is a practical study that 100 samples were taken from four wetland that were covered by three straw plants Includes Bafgh, Yazdbaft and Ali Abad and a control wetland in two seasons of winter and spring. Then in container microbial and chemical in the vicinity of ice was transferred to the laboratory. Finally the experiments of total coliform, E.coli, Fecal streptococcus and other parameters such as TSS, pH and DO according to the standard methods was performed on samples was performed on samples of input and output of wetland.

**Results:** Results shown that the average total removal of four wetland for total coliform, E.coli, Fecal streptococcus for total coliform, E.coli, Fecal streptococcus were 80.43, 74.11, 69.08%; respectively. Also the highest Removal efficiency in Aliabad species wetland for total coliform and E.coli were 98.22 and 99.27%.

**Conclusion:** The obtained efficiency from wetlands shown that using the sub surface constructed wetland with Aliabad Straw species can be very effective in removing total coliform and E.coli. Therefore we can be used from wetland for secondary wastewater treatment, especially disinfection.

**Key Words:** Constructed Wetlands, Wastewater, disinfection, straw plants

\*نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه علوم پزشکی کاشان، دانشکده بهداشت

Email: hadieslami1986@yahoo.com

Cell phone: ۰۹۱۷۷۰۹۴۶۹۵- Fax: ۰۳۶۱۵۵۵۰۱۱۱

## چکیده

**مقدمه:** استفاده از روشهای طبیعی مانند وتلند مصنوعی، یکی از روش های تصفیه فاضلاب شهری است که علاوه بر کاهش هزینه تصفیه دارای راندمان بالایی نیز در حذف آلاینده ها می باشد. هدف از این مطالعه کارایی حذف پاتوزن های شاخص در وتلند مصنوعی زیر سطحی فاضلاب شهر یزد بود.

**روشها:** این بررسی نوعی مطالعه ی کاربردی است که در آن تعداد ۱۰۰ عدد نمونه از چهار وتلند زیرسطحی 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. سپس در ظروف مخصوص میکروبی و شیمیایی در درمجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل گردید. سرانجام آزمایشهای کلیفرم کل، اشريشیاکلی، استرپتوکوک مدفوعی و پارامترهای دیگری نظیر pH، TSS و DO مطابق روش استاندارد روی نمونه های ورودی و خروجی از وتلندها انجام گرفت.

**نتایج:** نتایج نشان داد که میانگین راندمان حذف کلی چهار وتلند برای کلیفرم کل، اشريشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب ۸۰/۴۳، ۷۴/۱۱ و ۶۹/۰۸ درصد می باشد. همچنین وتلند گونه علی آباد برای کلیفرم کل و اشريشیاکلی به ترتیب با میزان حذف ۹۸/۲۲ و ۹۹/۲۷ بیشترین راندمان را داشته است.

**بحث و نتیجه گیری:** راندمان بدست آمده از وتلندها نشان داد که استفاده از وتلند مصنوعی زیر سطحی با گونه نی علی آباد میتواند در حذف کل کلیفرمها و اشريشیاکلی بسیار موثر باشد و در نتیجه میتوان از وتلندها جهت تصفیه ثانویه فاضلاب و همچنین جهت گندزدایی استفاده کرد.

**کلمات کلیدی:** وتلند مصنوعی، گیاه نی، فاضلاب شهری، گندزدایی

## مقدمه

سیستم های تصفیه برخوردار است - هزینه پایین ساخت توصیه خانه- عدم تجمع حشرات(جریان زیر سطحی است)- عدم تولید بوی نا مطبوع -ایجاد فضای سبز زیبا و محل مناسب جهت جذب حیات وحش (پرندهگان- خزندگان بومی) که موجب برقراری یک اکوسیستم پایدار میگردد. سیستمهای تصفیه طبیعی درعین تکنولوژی پایین دارای راندمان بالایی هستند(۳، ۴). در کشورهای توسعه یافته برای تصفیه فاضلاب خانگی و رواناب های کشاورزی، فاضلاب صنایع، تصفیه شیرابه محل دفن زباله، تصفیه سیلاب و رواناب شهری، و برای زلال سازی و تصفیه پیشرفته پساب، برای احیاء دریاچه های اتوتروفیک، تصفیه آبهای آلوده به مواد مغذی نظیر نیترات و فسفات، انجام دنیتریفیکاسیون پسابها پس از عمل دنیتریفیکاسیون از وتلند های مصنوعی استفاده می شود. راندمان دنیتریفیکاسیون وتلندها وابسته به نسبت C/N است. حداکثر راندمان در نسبت C/N برابر ۵:۱ به دست می آید(۵-۱۰). سیستم وتلند می تواند مقادیر بالایی از اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیایی (BOD5)، جامدات معلق (SS) و نیترژن و همچنین فلزات، عناصر کمیاب و

افزایش جمعیت موجب نیاز روز افزون به تصفیه فاضلاب شده است. فقدان فاضلاب رو، نفوذ پاتوزن ها از طریق سیستم های معیوب تصفیه و سپتیک تانک و دیگر منابع، موجب آلودگی آبهای زیر زمینی می گردد. استفاده از روش های ارزان قیمت و کارآمد تصفیه مانند وتلند مصنوعی زیر سطحی موجب کاهش آلودگی آبها می گردد(۱). وتلند مصنوعی یکی از روش های طبیعی تصفیه فاضلاب های شهری و صنعتی است، که با در نظر گرفتن هزینه های اولیه کم برای احداث و بهره برداری و نیز نگهداری و راهبری بسیار ساده آن به عنوان روشی اقتصادی و مقرون به صرفه در طرح های مهندسی مطرح بوده که در رفع آلودگی های زیست محیطی اثر مطلوبی داشته است(۲). از مزایای این روش(وتلند) نسبت به سایر روشها می توان به این موارد اشاره کرد: عملکرد ساده استفاده از نیزارهای بومی و طبیعی استان - انتخاب محل سایت تصفیه خانه دور از مناطق مسکونی که از آزادی عمل بیشتری نسبت به دیگر

پاتوژن ها را حذف کند. وتلند ها دارای فعالیت بیولوژیکی بالایی هستند. زیرا گونه های مختلف گیاهی، جانوران وارگانسیم ها در ترکیب خاک وجود دارد. که این شرایط، موجب تصفیه فاضلاب و بهبود کیفیت پساب می گردد(۱۱). به طور کلی نزارهای مصنوعی به دو دسته، وتلند های جریان سطحی با سطح آزاد آب (FWS) و وتلند های زیر سطحی (SSF) تقسیم می شوند. جریان فاضلاب در وتلند های زیر سطحی(SSF) می تواند به صورت جریان عمودی روبه بالا و جریان افقی ساخته شود، وتلند از شن، ماسه و خاک با دانه بندی مناسب پر می گردد. این بستر سطح مناسبی را برای رشد میکروارگانیسم ها (۱۲) در وتلند مکانیسم های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی همچون تصفیه بوسیله گیاه (عموماً ماکروفیت ها)، جلبک ها، میکروارگانسیم ها، آب، خاک و خورشید ( فرایند های مستقیم مانند تجزیه نوری) در امر تصفیه شرکت دارند. مهمترین مکانیسم های حذف آلاینده ها شامل: فیلتراسیون فیزیکی جامدات معلق توسط توده بیولوژیکی و گیاهان به عنوان موانع هیدرولیکی که بوسیله تراکم پوشش گیاهی مناسب و سرعت کم جریان حاصل می گردد(۱۳)، تجمع و تجزیه مواد آلی که در سیکل مواد مغذی اهمیت دارد، بوسیله کاهش سرعت، دسترسی به محل های جذب با تراکم بالا ایجاد می شود. فرایند هایی که توسط میکروارگانسیم ها انجام می گیرد مانند نیتریفیکاسیون (در شرایط هوازی) و دنتریفیکاسیون ( در شرایط بی هوازی) در چرخه نیتروژن دخالت دارند. ترسیب شیمیایی و جذب نوترینت ها مثل فسفات بوسیله خاک بر آن تاثیر می گذارد. شکار شدن و مرگ طبیعی پاتوژن ها مانند اشرشیاکلی و کریپتوسپوریدیوم که توسط افزایش تنوع و دانسیته شکارچیان طبیعی (مانند پروتوزوئرها) و افزایش تابش اشعه ماوراء بنفش خورشید بهبود می یابد، تغییرات شدید در راندمان وتلند ها می تواند ناشی از تغییرات آب و هوا، شدت و ضعف تابش نور خورشید نوع گیاه، عمق آب و ... باشد(۱۴).

فرایند تصفیه فاضلاب در ورودی به وتلندهای زیر سطحی شهر یزد بدین صورت است که فاضلاب خام بعد از عبور از تصفیه مقدماتی و سپتیک تانک وارد ۴ وتلند زیر سطحی نوع (SSF) با ۳ گونه‌ی (بافق، علی آباد، یزد بافت) و وتلند شاهد می شود. شهر یزد نیز با توجه با این که از لحاظ موقعیت جغرافیایی مناسب برای رشد گونه های گیاهی وتلند ها محسوب می شود و با توجه به نیاز برای

تصفیه فاضلاب این مطالعه در جهت تعیین کارایی انواع گیاهان نی در وتلند مصنوعی زیر سطحی جهت حذف پاتوژن های شاخص از فاضلاب شهر یزد و همچنین انتخاب بهترین نی با بیشترین کارایی جهت انجام تصفیه فاضلاب انجام شد تا در صورت امکان نی های با کارایی بهتر شناسایی شوند و جایگزین شوند.

## روشها

این مطالعه نوعی مطالعه کاربردی است که در ابتدا چهار وتلند با ابعاد کلی ۹۶۰m<sup>2</sup> ( ابعاد هر وتلند ۲۰×۱۲ ) که بستر این وتلندها از گرانول با ابعاد مختلف ۰/۲ تا ۱ سانتی متر پر شده، ساخته شد. سپس در داخل هر کدام از وتلندها سه گونه گیاهی بدین صورت که در وتلند شماره ۱ نی بافق، وتلند شماره ۲ نی یزد بافت و وتلند شماره ۳ نی علی آباد کاشته شد و یک وتلند نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس فاضلاب خروجی از سپتیک تانک با دبی ۲۵m<sup>3</sup> وارد هر کدام از وتلند ها شد. سپس اقدام به نمونه برداری از ورودی و خروجی چهار وتلند با زمان ماند یک روز شد. در طول مدت مطالعه تعداد ۱۰۰ عدد نمونه برداشت شده و در ظروفی از جنس پلی اتیلن استریل جهت انجام آزمایش در مجاورت یخ مطابق با روش استاندارد به آزمایشگاه حمل شده و مورد آزمایش قرار گرفت. پارامترهای pH, EC, DO و دما بوسیله دستگاه پرتابل در محل اندازه گیری شد. سپس نمونه ها به آزمایشگاه انتقال یافته و پس از فیلتراسیون غشایی با فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر روش خاص ارائه شده در کتاب روشهای استاندارد مربوط به آزمایشهای آب و فاضلاب اندازه گیری شدند. در این مطالعه راندمان حذف پاتوژن های شاخص شامل کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی و همچنین راندمان حذف TSS مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پارامترهای کنترلی نظیر دما pH، هدایت الکتریکی و اکسیژن محلول نیز اندازه گیری شد. سپس داده های بدست آمده در پرسشنامه های مربوطه جمع آوری شده و توسط آنالیز آماری Paired Samples Test, Kruskal Wallis Test مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

## یافته ها

داده های بدست آمده از این مطالعه نشان داد که میزان کلیفرم کل در ورودی به وتلند ها  $4/41 \times 10^{14}$  (تعداد کلیفرم در  $100$  میلی لیتر نمونه) بوده که در وتلند شماره ۱ با گونه نی باقی به  $1/14 \times 10^{14}$  کاهش یافته، در وتلند شماره ۲ با گونه نی یزد بافت به  $1/13 \times 10^{14}$ ، در وتلند شماره ۳ با گونه نی علی آباد به  $7/84 \times 10^{12}$  و در وتلند شاهد به  $1/1 \times 10^{14}$  (تعداد کلیفرم در  $100$  میلی لیتر نمونه) کاهش یافته است. میزان اشرشیا کلی در ورودی به وتلند ها  $1/127 \times 10^{14}$  (تعداد کلیفرم در  $100$  میلی لیتر نمونه) بوده که در وتلند شماره ۱ به  $1/1 \times 10^{14}$  کاهش یافته، در وتلند شماره ۲ به  $5/03 \times 10^{12}$ ، در وتلند شماره ۳ به  $1/16 \times 10^{14}$  و در وتلند شاهد به

$1/31 \times 10^{12}$  (تعداد کلیفرم در  $100$  میلی لیتر نمونه) کاهش یافته است. میزان استرپتوکوک مدفوعی در ورودی به وتلند ها  $5/88 \times 10^{14}$  (تعداد کلیفرم در  $100$  میلی لیتر نمونه) بوده که در وتلند شماره ۱ نیز همان مقدار بوده، در وتلند شماره ۲ به  $1/16 \times 10^{14}$  و در وتلند شاهد به  $9/69 \times 10^{12}$  (تعداد کلیفرم در  $100$  میلی لیتر نمونه) کاهش یافته است. میزان TSS در ورودی به وتلند ها  $103 \text{ mg/l}$  بوده که در وتلند شماره ۱ به  $32 \text{ mg/l}$  کاهش یافته، در وتلند شماره ۲ به  $29 \text{ mg/l}$ ، در وتلند شماره ۳ به  $44 \text{ mg/l}$  و در وتلند شاهد به  $35 \text{ mg/l}$  کاهش یافته است (جدول شماره ۱).

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

پساب خروجی				فاضلاب ورودی	پارامترها
وتلند ۳ (نی علی آباد)	وتلند ۲ (نی یزد بافت)	وتلند ۱ (نی بافق)	شاهد		
$7/84 \times 10^{12}$	$1/13 \times 10^{14}$	$1/14 \times 10^{14}$	$1/1 \times 10^{14}$	$4/41 \times 10^{14}$	*کل کلیفرمها
$2/44 \times 10^{11}$	$5/03 \times 10^{12}$	$1/1 \times 10^{14}$	$1/31 \times 10^{12}$	$1/127 \times 10^{14}$	*اشرشیاکلی
$1/16 \times 10^{14}$	$1/55 \times 10^{13}$	$5/88 \times 10^{14}$	$9/69 \times 10^{12}$	$5/88 \times 10^{14}$	*استرپتوکوک مدفوعی
۴۴	۲۹	۳۲	۳۵	۱۰۳	**TSS
$1/59$	$1/6$	$1/47$	$1/75$	۰	DO**
$7/9$	$7/97$	$7/88$	$8/05$	$7/7$	PH

\*تعداد در  $100$  میلی لیتر \*\* میلی گرم در لیتر \*\*\* میکرو زیمنس بر سانتیمتر

داده های بدست آمده نشان داد که در وتلند شماره ۱ با گونه نی بافق میزان حذف کل کلیفرم ها، اشرشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب  $75/15$ ،  $2/39$  و  $0$  درصد بوده است. در وتلند شماره ۲ با گونه نی یزد بافت میزان حذف کل کلیفرم ها، اشرشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب  $74/37$ ،  $95/52$  و  $97/36$  درصد بوده است. در وتلند شماره ۳ با گونه نی علی آباد میزان حذف کل کلیفرم ها،

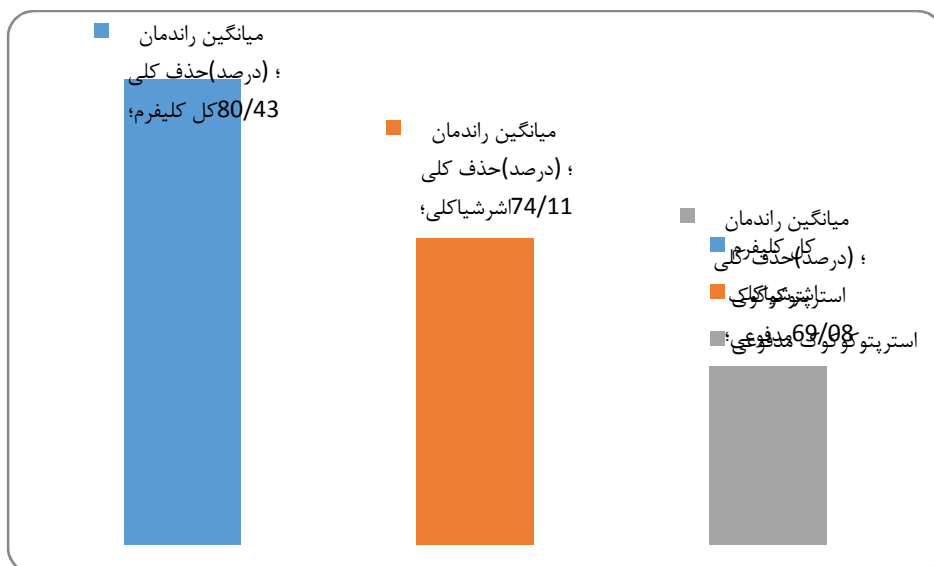
اشرشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب  $98/22$ ،  $99/27$  و  $80/61$  درصد بوده است. در وتلند شاهد نیز میزان حذف کل کلیفرم ها، اشرشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب  $75$ ،  $98/8$  و  $98/35$  درصد بوده است. همچنین داده ها نشان داد بیشترین راندامان برای حذف کل کلیفرمها و اشرشیا کلی مربوط به وتلند شماره ۳ با گونه نی علی آباد می باشد (جدول شماره ۲)

جدول شماره ۲: راندامان حذف ارگانسیم های پاتوژن در وتلند ها بر حسب درصد

شاخص ها	وتلند ۱	وتلند ۲	وتلند ۳	وتلندشاهد	میانگین راندمان حذف کلی
کل کلیفرم	۷۴/۱۵	۷۴/۳۷	۹۸/۲۲	۷۵	۸۰/۴۳
اشریشیاکلی	۲/۳۹	۹۵/۵۲	۹۹/۲۷	۹۸/۸	۷۴/۱۱
استرپتوکوک مدفوعی	۰	۹۷/۳۶۴	۸۰/۶۱	۹۸/۳۵۲	۶۹/۰۸

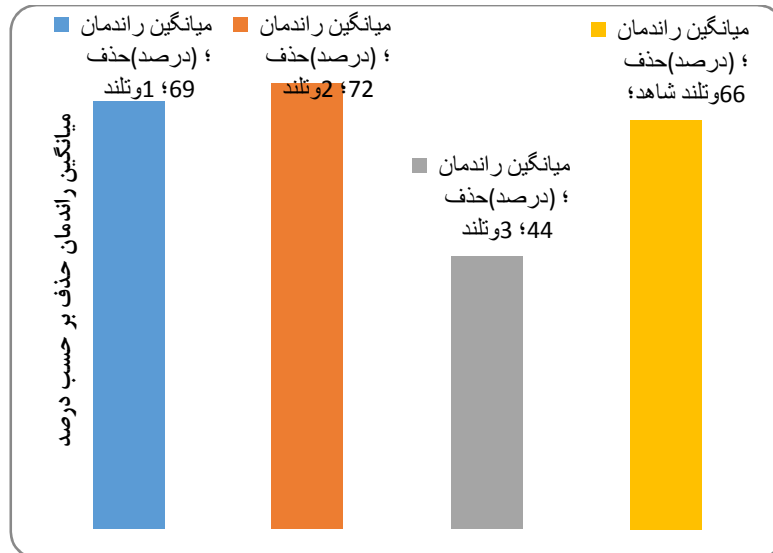
داده ها همچنین نشان داد میانگین حذف کلی هرچهار وتلند برای کل کلیفرمها، اشریشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب ۸۰/۳۳، ۷۴/۱۱ و ۶۹/۰۸ می باشد (نمودار شماره ۱).

نمودار شماره ۱: میانگین راندمان حذف کلی پاتوژن های شاخص بر حسب درصد



داده ها بدست آمده نشان داد که میانگین حذف TSS در وتلند های شماره ۱، ۳، ۲، ۱ و شاهد به ترتیب ۶۹، ۷۲، ۴۴ و ۶۶ درصد می باشد (نمودار شماره ۲).

نمودار شماره ۲: میانگین راندمان حذف TSS بر حسب درصد



مربوط به وتلند ۳ به میزان ۹۹/۷۸ و ۹۸/۲۲ بوده است و بیشترین حذف استرپتوکوک های مدفوعی مربوط به وتلند شاهد بوده است. در مطالعه ای که توسط Decamp در سال ۲۰۰۰ به منظور تعیین مقادیر حذف اشریشیاکلی و بررسی کنتیک حذف از روش وتلند زیر سطحی با جریان افقی استفاده شد. به این منظور از گیاه آبزی australissPhragmite متوسط حذف E.coli ۴۱-۷۲٪ در مقیاس واقعی و ۹۸/۹-۹۶/۶٪ در مقیاس پایلوت بود. کاهش زمان ماند از راندمان سیستم پایلوت کاست. مطالعه کنتیت نشان داد که بیشتر حذف اشریشیاکلی در یک سوم ابتدایی است و ارتباط مستقیمی بین تراکم گیاه وحذف اشریشیاکلی وجود داشت (۱۵). در مطالعه ای که توسط Eranson و همکاران (۲۰۰۶) انجام گرفت نشان میدهد که مقدار حذف کلی فرم های مدفوعی ۹۹/۹٪-۸۲/۷٪ بوده است. همچنین مقدار حذف TSS بین ۸۹/۱٪-۲۵٪ بود (۱۶). در مطالعه ای که توسط Kadlec و همکاران در سال ۲۰۰۸ روی وتلند های مصنوعی در کلمبیا انجام شد نشان می دهد که وتلند های مورد بررسی ۹۸ درصد از کلیفرمهای مدفوعی و ۹۵ درصد E.coli را حذف کرده اند و در حذف عوامل شیمیایی نیز موثر بوده

آنالیز آماری Paired Samples Test این آزمون بیانگر مقدار تفاوت آماری بین ورودی و خروجی هر یک از وتلندها می باشد. مقدار اختلاف با درجه معناداری بیان میگردد. نتایج آزمون نشان داد که بین اشریشیاکلی و TSS ارتباط معنی داری وجود دارد (P=0.01). همچنین بین اشریشیاکلی و pH نیز ارتباط معنی داری وجود دارد (P=0.05). داده ها همچنین نشان دادند که بین کل کلیفرم ها و اکسیژن محلول ارتباط معنی داری وجود دارد (P=0.01). همچنین بین استرپتوکوک مدفوعی و TSS, pH و اکسیژن محلول ارتباط معنی داری وجود دارد (P=0.01). نتایج آنالیز آماری Kruskal Wallis Test نیز نشان داد که میزان حذف کل کلیفرم هاو استرپتوکوک مدفوعی از لحاظ آماری معنی دار بوده و درجه معناداری آنها به ترتیب P=0.019 و P=0.05 بوده است.

### بحث و نتیجه گیری

نتایج نشان داد که میانگین حذف کلی برای کل کلیفرمها، اشریشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب ۸۰/۳۳، ۷۴/۱۱ و ۶۹/۰۸ بوده است که بیشترین مقدار حذف اشریشیاکلی و کلیفرم ها

اند(۱۷). راندمان حذف بدست آمده برای پاتوژن های شاخص در این مطالعه بالاتر از راندمان حذف در مطالعات مشابه می باشد که این میتواند دلایل مختلفی داشته باشد. از عوامل موثر در راندمان حذف پاتوژن های شاخص در وتلند ها میتوان به فاکتورهای بیولوژیکی از قبیل جانداران شکارچی مانند نماتود ها و پروتوزوئرها و فعالیت باکتریها و تولید باکتريو فاژ و فاکتورهای شیمیایی از قبیل واکنش های اکسیداسیون، جذب و سمیت باکتریایی و جذب گیاهی اشاره کرد. فاکتورهایی مانند بارش باران و نفوذ آب به شبکه موجب کاهش غلظت و افت شدید راندمان وتلند ها می گردد. بار هیدرولیکی تاثیر زیادی بر روی حذف ارگانسیم ها دارد به طوریکه با افزایش بار ورودی راندمان سیستم کاهش می یابد(۱۸). دمای فاضلاب نیز تاثیر زیادی در عملکرد وتلند ها دارد تغییرات دما علاوه بر تاثیر روی متابولیسم گیاهان و تغییرات بر جمعیت ارگانسیم ها، بر مقادیر اکسیژن محلول، pH و هدایت الکتریکی نیز تاثیر دارد. همچنین کاهش دما می تواند اثر مستقیمی بر رشد E. coli داشته باشد(۱۸). حذف مواد معلق آلی در همه سیستم های وتلند بسیار سریع اتفاق می افتد. افزایش سریع مقادیر DO حاکی از کاهش بار آلی می باشد(۱۹). عملکرد بد سیستم (گرفتگی بستر، یخ زدن بستر و نوع طراحی ودانه بندی) تاثیر زیادی بر عملکرد خواهد گذاشت و بایستی از ایجاد جریان های با زمان ماند کوتاه جلوگیری کرد افزایش زمان ماند هیدرولیکی نیز به راندمان می افزاید(۲۰). در این مطالعه تاثیر جامدات معلق(TSS) بر مقادیر پاتوژن های شاخص نشان داد که با کاهش جامدات معلق، پاتوژن های شاخص نیز کاهش می یابند که این کاهش برای اشرشیا کلی و استرپتوکوک مدفوعی از لحاظ آماری معنی دار بوده است(P=0.01). این مسئله میتواند به علت چسبیدن پاتوژن های شاخص به جامدات معلق در هنگامته نشین شدن آنها باشد. ته نشینی یکی از مکانیسم هایی است کهروی کاهش میکروارگانسیم ها در وتلندها موثر می باشد(۲۱-۲۳).

فیلتراسیون و چسبیدن میکروبهها به سطح ریشه از دیگر روش های کاهش ارگانسیم می باشد ولی ممکن است در اثر چسبیدن میکروبهها به ریشه گیاهان، منجر به کاهش مکانیسم ته نشینی میکروبهها و ویروس ها در وتلند مصنوعی گردد(۲۴). مقادیر اکسیژن محلول نیز شدیداً بر راندمان وتلند ها تاثیر گذار است و با افزایش مقادیر اکسیژن محلول از مقدار ارگانسیم ها کاسته شده و ارتباط آماری مستقیمی بین افزایش DO با ارگانسیم های شاخص وجود دارد. به طوریکه با کاهش کل کلیفرم ها و استرپتوکوک مدفوعی، اکسیژن محلول افزایش یافته است(P=0.01). البته این رابطه برای اشرشیاکلی معنی دار نبوده است. این مسئله میتواند به این دلیل باشد که با کاهش مقادیر پاتوژن های شاخص که بی هوازی هستند و در نتیجه کاهش آلودگی، به تدریج ارگانسیم های هوازی غالب شده و در نتیجه اکسیژن محلول نیز افزایش می یابد. مقایسه وتلند ها با برکه های تثبیت نشان می دهد که در برکه های تثبیت باکتریها و مخصوصاً ویروس ها به سختی حذف می شوند و این در صورتیست 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 می تواند به افزایش حذف باکتریها و ویروس ها کمک کند. در این بررسی میزان TSS نیز ۴۴-۷۲ درصد حذف شده است که باتوجه به این که یکی از مشکلات برکه های تثبیت بالا بودن مواد معلق در خروجی است بنابراین استفاده از وتلند ها با انواع گونه های نی بعد از برکه های تثبیت یک راهکار مناسب می باشد.

در نتیجه با توجه به این که در شهر یزد برای تصفیه فاضلاب از برکه های تثبیت استفاده می شود لذا می توان از وتلندها به عنوان تصفیه ثانویه و همچنین به عنوان یک مرحله گندزدایی بعد از خروجی از برکه ها استفاده کرد و با توجه به نتایج بدست آمده، استفاده از وتلند مصنوعی زیر سطحی با گونه نی علی آباد میتواند یک راندمان مناسبی برای حذف اشرشیاکلی و کلیفرم ها به ما بدهد.

## References:

1. Vega E, Lesikar B, Pillai SD. Transport and survival of bacterial and viral tracers through submerged-flow constructed wetland and sand-filter system. *Bioresource technology*. 2003; 89(1):49-56.
2. Reed S, Parten S, Matzen G, Pohren R. water reuse for sludge management and wetland habitat. *Water Science & Technology*. 1996; 33(10-11): 213-219.
3. Reed SC, Crites RW, Middlebrooks EJ. *Natural Systems for Waste Management and Treatment - Second Edition*, McGraw Hill Co, New York, NY. 1995.
4. Hammer, DA. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment - Municipal, Industrial & Agricultural*. Lewis Publ., Chelsea, MI. 1989.
5. Moore MT, Rodgers JH, Cooper CM, Smith S. Constructed wetlands for mitigation of atrazine-associated agricultural runoff. *Environmental pollution*. 2000; 110(3): 393-399.
6. Higgins MJ, Rock CA, Bouchard R, Wengrezynek B. Controlling agricultural runoff by use of constructed wetlands. *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton, FL, USA, 1993; 359-367
7. Mulamoottil G, McBean EA, Rovers F. *Constructed wetlands for the treatment of landfill leachates*. CRC. 1999.
8. Vymazal J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. 2007; 380(1-3):48-65.
9. Davies TH, Cottingham PD. Phosphorus removal from wastewater in a constructed wetland. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. 1993:315-320.
10. Kivaisi AK. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*. 2001;16(4):545-560.
11. Kadlec RH, Knight RL. *Treatment wetlands: theory and implementation*. Lewis Pub. 1996.
12. Thurston JA, Gerba CP, Foster KE, Karpisack MM. Fate of indicator microorganisms, Giardia and Cryptosporidium in subsurface flow constructed wetlands. *Water Research*. 2001; 35(6):1547-1551.
13. Gerba CP, Yates MV, Yates SR. Quantitation of factors controlling viral and bacterial transport in the subsurface. *Modeling the environmental fate of microorganisms*. 1991; 77-87.
14. Carty A. The universal design, operation and maintenance guidelines for farm constructed wetlands (FCW) in temperate climates. *Bioresource Technology*. 2008; 99(15):6780-6792.
15. Decamp O, Warren A. Investigation of Escherichia coli removal in various designs of subsurface flow wetlands used for wastewater treatment. *Ecological Engineering*. 2000 14(3):293-299.
16. Evanson M, Ambrose RF. Sources and growth dynamics of fecal indicator bacteria in a coastal wetland system and potential impacts to adjacent waters. *Water Research*. 2006; 40(3): 475-486.
17. Kadlec RH, Cuvellier C, Stober T. Performance of the Columbia, Missouri, treatment wetland. *Ecological Engineering* 2010; 36: 672-684.
18. Ulrich H, Klaus D, Irmgard F, Annette H, Juan LP, Regine S. Microbiological investigations for sanitary assessment of wastewater treated in constructed wetlands. *Water Research*. 2005; 39(20):4849-4858.



19. Maehlum, T. Staelnacke P. Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: effects of temperature, seasons, loading rates and input concentrations. *Water Science & Technology*. 1999; 40(3): 273-281.
  20. Speiles 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. *Ecological Engineering*. 1999; 14(1-2): 77-91.
  21. Tanner CC, 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 Research*. 1995; 29(1): 17-26.
  22. Karathanasis AD, Potter CL, Coyne MS. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecological engineering*. 2003; 20(2): 157-169.
  23. [Vacca G](#), [Wand H](#), [Nikolausz M](#), [Kusch P](#), [Kästner M](#). Effect of plants and filter materials on bacteriaremoval in pilot-scale constructed wetlands. *Water Research*. 2005; 39(7):1361-1373.
- [Karim MR](#), [Manshadi FD](#), [Karpiscak MM](#), [Gerba CP](#). The persistence and removal of enteric pathogens in constructed wetlands. *Water research*. 2004; 38(7): 1831-1837