Journal of Research in Environmental Health

Volume 4, Issue 3, Fall 2018

Effect of hydraulic retention time and aeration on performance of horizontal subsurface flow constructed wetland in phenol removal

ABSTRACT

Background and Aim: Constructed wetlands and conventional treatment methods have a same duty in wastewater treatment, but they have different methods and mechanisms. The aim of this study was to investigate the removal of phenol from synthetic wastewater using horizontal sub-surface flow constructed wetland and the aeration and hydraulic retention time effect on phenol removal efficiency.

Materials and Methods: This study was an interventional study that was carried out on a laboratory scale in horizontal sub-surface flow constructed wetland. In order to determine the effect of aeration on the efficiency of phenol removal, one reactor was aerated and another one was non-aerated. Pumice was used as a media. The wetlands were planted by Phragmatis australis.

Results: The results showed that phenol degradation in both aerated and non-aerated wetland was influenced by organic loading rate and hydraulic retention time. It was also found that the removal of phenol was completely accomplished in both aerated and non-aerated wetlands. This is while the phenol removal rate is higher in aerated wetland, and in order to achieve the same results, the hydraulic retention time in non-aerated reactor should be about twice as high as the aerated one.

Conclusion: Horizontal sub-surface flow constructeض‌d wetland has a high efficiency in phenol removal and if the conditions of operation especially hydraulic retention time are optimized, can be applied as an effective system for phenol removal from wastewater.

Document Type: Research article

Keywords: constructed wetland, phenol, hydraulic retention time, aeration, natural treatment

Shahram Sadeghi
M.Sc Student Environmental Health, Student Research Committee, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

Saeed Dehestaniathar
* Assistant Professor, Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
E-mail: saeed_dehestani@yahoo.com

Ebrahim Mohammadi
Assistant Professor, Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

Esmail Ghahramani
Lecturer, Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

Maryam Safay
B.Sc, Environmental Health Engineering, 5th Tehran water treatment plant, Tehran, Iran

Received: 2018/11/08
Accepted: 2018/12/04
JREH-1811-1251(R1)

▶ **Citation:** Sadeghi SH, Dehestaniathar S, Mohammadi E, Ghahramani E, Safay M. Effect of hydraulic retention time and aeration on performance of horizontal subsurface flow constructed wetland in phenol removal. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Fall 2018;4 (3) : 194-202 .

تأثیر زمان ماند هیدرولیکی و هوادهی بر عملکرد وتلند مصنوعی با جریان زیرسطحی در حذف فنل

شهرام صادقی
دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

دکتر سعید دهستانی اطهر
* استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط مرکز تحقیقات بهداشت محیط، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران. مولف مسئول
E-mail: saeed_dehestani@yahoo.com

دکتر ابراهیم محمدی
استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

اسماعیل قهرمانی
مربی، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

مریم صفای
کارشناس مهندسی بهداشت محیط، تصفیه‌خانه پنجم آب تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۳

چکیده

زمینه و هدف: وتلندهای مصنوعی و روش‌های متداول با وجود داشتن وظایف یکسان در تصفیه فاضلاب، روش و مکانیزم‌های متفاوتی دارند. مطالعه حاضر با هدف بررسی حذف فنل از فاضلاب سنتتیک با استفاده از وتلند مصنوعی افقی با جریان زیرسطحی و تأثیر هوادهی و زمان ماند هیدرولیکی در میزان کارایی حذف فنل انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه مداخله‌ای در مقیاس آزمایشگاهی در وتلند مصنوعی افقی با جریان زیرسطحی به منظور حذف فنل از فاضلاب سنتتیک مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین اثر هوادهی در کارایی حذف فنل، یک راکتور به صورت هوادهی شده و راکتور دیگر به صورت هوادهی نشده بهره‌برداری شد. از پوکه معدنی به عنوان مدیا استفاده گردید. وتلندها توسط Phragmatis australis گیاهکاری شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد میزان تجزیه فنل در هر دو وتلند هوادهی شده و هوادهی نشده تحت تأثیر نرخ بارگذاری آلی و زمان ماند هیدرولیکی است. همچنین مشخص شد که حذف فنل در وتلند هوادهی شده و هوادهی نشده به‌طور کامل اتفاق می‌افتد. این در حالی است که نرخ حذف فنل در وتلند هوادهی شده نسبت به وتلند هوادهی نشده بالاتر است و به منظور دستیابی به نتایج یکسان، زمان ماند هیدرولیکی در راکتور هوادهی نشده نسبت به راکتور هوادهی شده باید به حدود ۲ برابر افزایش یابد.

نتیجه‌گیری: سیستم وتلند مصنوعی افقی با جریان زیرسطحی، از کارایی بالایی در حذف فنل برخوردار است و در صورت بهینه‌سازی شرایط بهره‌برداری به‌خصوص زمان ماند هیدرولیکی، می‌تواند به عنوان یک سیستم کارآمد در حذف فنل از فاضلاب استفاده گردد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
کلید واژه‌ها: تصفیه طبیعی، زمان ماند هیدرولیکی، فنل، وتلند مصنوعی، هوادهی

استناد: صادقی ش، دهستانی اطهر س، محمدی الف، قهرمانی الف، صفای م. تأثیر زمان ماند هیدرولیکی و هوادهی بر عملکرد وتلند مصنوعی با جریان زیرسطحی در حذف فنل. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۳۹۷؛۴ (۳): ۱۹۴-۲۰۲.

مقدمه

ترکیبات فنلی در فاضلاب صنایع مختلفی از جمله پالایشگاه‌های نفت، صنایع شیمیایی، صنایع فولاد، مواد دارویی، دباغی، کاغذسازی، پلاستیک‌سازی، چرم‌سازی، پتروشیمی، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها وجود دارند (۱, ۲). در فرمول شیمیایی فنل یک گروه هیدروکسیل وجود دارد که به‌طور مستقیم به یک هیدروکربن آروماتیک سمی متصل شده است (۳). فنل توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) [1] به دلیل ویژگی‌هایی نظیر سمیت بالا، سرطان‌زایی، جهش‌زایی، آسیب به سلامت انسان و سایر جانداران در لیست آلاینده‌های اولویت‌دار قرار گرفته و مقدار استاندارد آن در پساب کمتر از ppm ۱ تعیین شده است (۴). همچنین سازمان جهانی بهداشت حد مجاز فنل در آب آشامیدنی را بر مبنای تولید بو و مزه کمتر از ۰/۱ میکروگرم بر لیتر تعیین نموده است (۵, ۶). تخلیه فاضلاب حاوی فنل به علت تجزیه‌پذیری کم و سمیت بالا، یک مشکل جدی برای محیط زیست محسوب می‌شود (۷, ۸).

به منظور جلوگیری از آلودگی منابع آب و تصفیه فاضلاب‌ها، وتلندهای مصنوعی به‌طور گسترده‌ای به عنوان یک فناوری ساده، ارزان و کارآمد استفاده شده‌اند. وتلندهای مصنوعی بر حسب جهت جریان به دو دسته کلی افقی و عمودی دسته‌بندی می‌شوند. وتلندهای مصنوعی افقی نیز بر اساس رژیم جریان هیدرولیکی، به وتلندهای با جریان سطحی (SF) [2] و جریان زیرسطحی (SSF) [3] تقسیم می‌شوند. وتلندهای افقی با جریان زیرسطحی به دلیل هزینه بهره‌برداری و نگهداری کم‌تر، از مقبولیت بیشتری برخوردارند(۹). همچنین زمانی‌که هدف تصفیه، حذف مواد آلی باشد، وتلند زیرسطحی با جریان افقی گزینه بهتری است(۱۰-۱۲). غلظت اکسیژن محلول به عنوان یک عامل مؤثر در فرآیندهای بیولوژیکی تجزیه آلاینده‌ها، بسته به رژیم جریان و در نتیجه بسته به نوع وتلند مصنوعی متفاوت است. علاوه بر آن، بارگذاری هیدرولیکی یکی از عوامل مهم طراحی تأثیرگذار بر روی حذف آلاینده‌ها در سیستم‌های بیولوژیکی، از جمله وتلندهای مصنوعی است (۱۳).

به منظور حذف کارآمد آلاینده‌ها، وتلندهای مصنوعی به نرخ بارگذاری هیدرولیکی پایین و زمان ماند هیدرولیکی طولانی نیاز دارند (۱۴).

حذف آلاینده‌ها در وتلندهای مصنوعی از طریق مکانیزم‌ها و فرآیندهای مختلف اتفاق می‌افتد. این فرآیندها می‌توانند فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی باشند که در نتیجه واکنش‌های پیچیده و گوناگون میان عناصر وتلند (آب، مدیای سوبسترا، گیاه و میکروارگانیزم‌ها) رخ می‌دهند. فعالیت میکروبی درون بیوفیلم بر روی سطح دانه‌های مدیای فیلتر و در امتداد ریشه‌های گیاه ایجاد می‌شود. این بیوفیلم محتوی فلور میکروبی غنی و متراکم است که قادر به تبدیل میکروبی آلاینده‌ها است. از آنجایی‌که فرآیندهای طبیعی نسبتاً کند هستند، معمولاً زمان ماند هیدرولیکی(HRT) [4] کافی برای تصفیه مؤثر ضروری است. مؤثرترین HRT از ۴ تا ۱۵ روز متغیر است (۱۵). بهره‌برداری با HRT کم‌تر، به معنی زمین مورد نیاز کوچک‌تر است که یک عامل حیاتی به منظور استفاده از وتلندهای مصنوعی در مناطقی است که محدودیت زمین وجود دارد. البته گونه‌های گیاهی، یکی دیگر از پارامترهای مؤثر هستند. گیاهانی که سیستم ریشه‌ای گسترده و متراکم ایجاد می‌کنند، بر سایرین ترجیح داده می‌شوند. مواد آلی در وتلندهای مصنوعی هم از طریق هوازی و هم به روش بی‌هوازی تجزیه می‌شوند (۱۳).

مطالعه حاضر با هدف تعیین تأثیر زمان ماند هیدرولیکی و هوادهی بر عملکرد وتلند مصنوعی افقی با جریان زیرسطحی در حذف فنل از فاضلاب سنتتیک انجام شد.

روش کار

این مطالعه مداخله‌ای در مقیاس آزمایشگاهی به‌صورت وتلند مصنوعی با جریان زیرسطحی انجام شد. در این مطالعه از دو

1. United States Environmental Protection Agency
2. Surface Flow
3. Subsurface Flow
4. hydraulic retention time

راکتور با ابعاد ۱۰۰ سانتی‌متر طول، ۱۵ سانتی‌متر عرض و ۳۵ سانتی‌متر عمق از جنس شیشه با ضخامت ۶ میلی‌متر طراحی، ساخته و راه‌اندازی گردید. راکتورها توسط فراگماتیس استرالیس[1] و با استفاده از پوکه معدنی صنعتی ناحیه قروه استان کردستان به عنوان مدیا گیاهکاری شدند. دانه‌بندی درون راکتور نیز با قطرهای متفاوت انجام گرفت؛ به‌طوری‌که پوکه معدنی با اندازه ریز (۴ میلی‌متر) در کف و اندازه درشت (۹ میلی‌متر) در وسط و لایه‌های بالایی راکتورها استفاده گردید. شیب ۱ درصد در کف بستر در نظر گرفته شد.

به منظور تأمین اکسیژن محلول در بستر وتلند، از پمپ هوادهی و سنگ‌های هوای تعبیه شده در کف راکتورها استفاده شد. هوادهی به‌صورت متناوب و در دوره‌های ۸ ساعته انجام شد. اکسیژن محلول توسط اکسیژن متر لوترون مدل DO-۵۵۱۰ مورد سنجش قرار گرفت. سیستم به صورت پیوسته با HRT ۷-۳ روز و غلظت‌های فنل ۲۰۰۰-۲۰ میکروگرم بر لیتر برای مدت ۸ ماه بهره‌برداری شد و تأثیر متغیرها بر کارایی حذف فنل تعیین گردید. لازم به ذکر است به‌دلیل سازگار شدن گیاه و جمعیت میکروبی فعال، غلظت فنل ورودی به راکتورها به‌تدریج افزایش یافت. زمان ماند هیدرولیکی مورد نظر با تنظیم دبی ورودی و با استفاده از پمپ پریستالتیک فراهم گردید. به منظور ایجاد سازگاری گیاهان و میکروارگانیزم‌ها با فنل به‌تدریج بارگذاری آلی افزایش یافت. نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها به‌صورت هفتگی انجام گرفت. برای تهیه فاضلاب سنتتیک موجود در مطالعه از مواد شیمیایی با ترکیب موجود در جدول ۱ استفاده شد.

برای افزودن مواد مغذی مورد نیاز به فاضلاب سنتتیک، نوترینت‌های مورد نیاز به شکل استوک تهیه شد (۱۶). برای ساخت فاضلاب سنتتیک، برای هر ۱ لیتر، ۱ سی سی محلول استوک به فاضلاب سنتیک اضافه شد. برای ساخت فاضلاب سنتتیک از آب مقطر استفاده گردید.

به منظور تعیین غلظت فنل موجود در خروجی از روش رنگ‌سنجی ۴- آمینو آنتی‌پیرین با استفاده از اسپکتروفتومتر UV/Visible مدل PG-T ۸۰ در طول موج ۵۰۰ نانومتر بر اساس روش ۵۵۳۰ D (روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب) استفاده گردید (۱۷).

به منظور اندازه‌گیری میزان حذف فنل، از رابطه شماره ۱ استفاده گردید.

در این رابطه R راندمان، Co غلظت اولیه فنل بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و Ce غلظت فنل خروجی برحسب میلی‌گرم بر لیتر است.

$$R\% = \frac{(Co - Ce) \times 100}{Co} \quad (1)$$

یافته‌ها

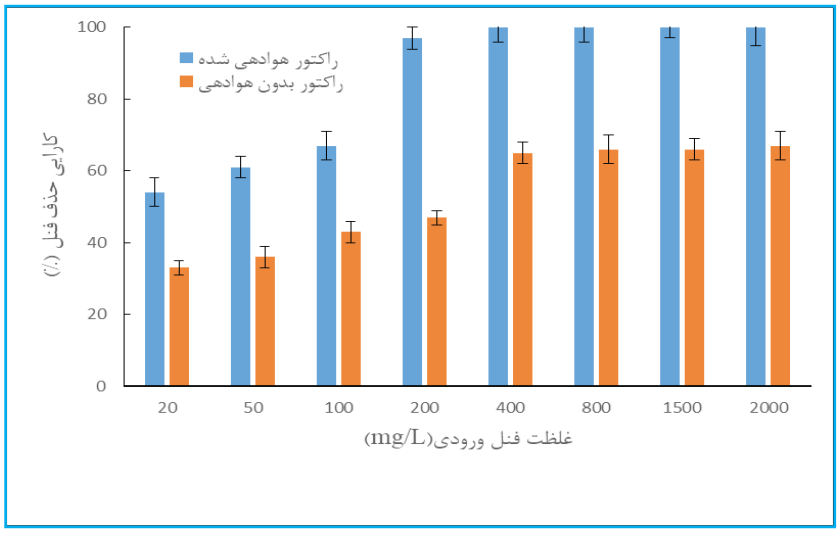
تأثیر غلظت ورودی فنل و راندمان حذف: غلظت فنل ورودی به منظور سازگاری گیاه و فلور میکروبی به تدریج طی دوره ۸ ماه از ۲۰ گرم بر لیتر تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت. غلظت ورودی هر ماه حدود ۲ برابر افزایش یافت. میزان حذف فنل بر حسب غلظت ورودی فنل در راکتور هوادهی شده و بدون هوادهی با HRT معادل ۵ روز، در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در هر دو راکتور هوادهی شده و هوادهی نشده به‌تدریج با افزایش غلظت فنل ورودی، کارایی حذف فنل افزایش می‌یابد. در ۳ ماه ابتدایی، بهره‌برداری به دلیل جرم سلولی کمتر گیاهان و میکروارگانیزم‌ها، کارایی حذف فنل نسبت به

جدول ۱. مواد شیمیایی مورد استفاده جهت تهیه فاضلاب سنتتیک

ترکیب	$NaHCO_3$	K_2HPO_4	NaCl	NH_4Cl	$CaCl_2 \times 2H_2O$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	$ZnSO_4 \times 7H_2O$	Phenol
مقدار (میلی‌گرم بر لیتر)	۲۵۲	۲۴/۸	۴/۷	۷۹/۵	۲/۷	۱/۱	۰/۶۷	۲۰-۰۰۲۰

1. Phragmatis australis

غلظت‌های بیشتر در ماه‌های چهارم به بعد، کمتر است. این در حالی است که با افزایش غلظت از ۲۰۰۰-۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در طی ماه‌های چهارم تا هشتم، درصد حذف فنل افزایش می‌یابد. حداکثر حذف فنل با زمان ماند هیدرولیکی ۵ روز در راکتور هوادهی شده و هوادهی نشده به ترتیب ۱۰۰ و ۶۷ درصد است. نتایج مطالعه یوسفی و همکاران، نشان داد که در ابتدای بهره‌برداری به دلیل



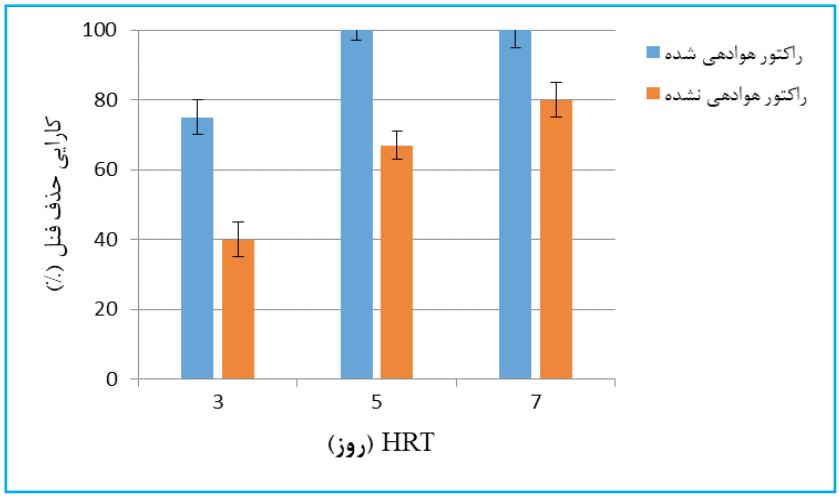
شکل ۱. نمودار راندمان حذف فنل در راکتور هوادهی شده و هوادهی نشده، HRT : ۵ روز

عدم رشد کافی گیاهان و ناکافی بودن اکسیژن، فعالیت میکروبی کم است. به‌تدریج با افزایش رشد گیاه، جرم سلولی افزایش یافته و در نتیجه افزایش اکسیژن محلول، با تشدید تبدیل میکروبی، کارایی وتلند در حذف آلاینده‌ها افزایش می‌یابد (۱۸).

تأثیر زمان ماند و راندمان حذف فنل: از آنجایی‌که فرآیندهای طبیعی نسبتاً کند هستند، معمولاً HRT کافی برای تصفیه مؤثر ضروری است. مطالعات مختلف تأثیر HRT در حذف آلاینده‌ها را نشان داده‌اند، به‌طوری‌که در HRT های طولانی‌تر، راندمان حذف COD، BOD، آمونیاک و فسفات بالاتر است (۱۳). تأثیر HRT در حذف آلاینده‌های مقاوم به تجزیه بیولوژیکی نظیر فنل قابل ملاحظه است. به منظور تعیین اثر زمان ماند بر میزان حذف فنل، کارایی حذف فنل با غلظت ورودی ۲۰۰۰ میلی‌گرم برلیتر در سه زمان ماند ۳، ۵ و ۷ روز بررسی گردید. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، حداقل کارایی در زمان ماند ۳ روز رخ می‌دهد. در این زمان، ماند کارایی در راکتور هوادهی شده و هوادهی نشده به ترتیب ۷۵ و ۴۰ درصد است. با افزایش زمان ماند به ۵ و ۷ روز، کارایی افزایش یافت. در راکتور هوادهی شده به ۱۰۰ درصد و در راکتور هوادهی نشده به ترتیب به ۶۷ و ۸۰ درصد افزایش یافت. طبق یافته‌های ارائه شده در این نمودار، تجزیه بی‌هوازی در راکتور هوادهی نشده با نرخ کمتری انجام می‌شود، به عبارت دیگر در راکتور هوادهی نشده HRTهای طولانی‌تر مورد نیاز است.

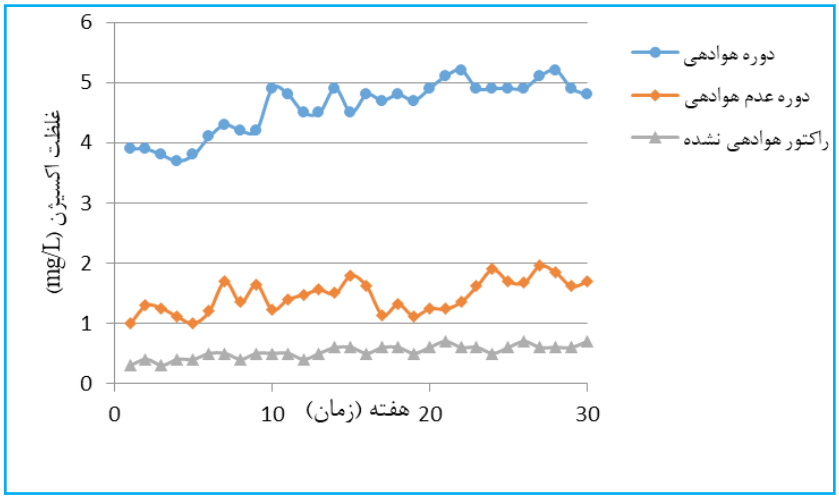
نتایج مطالعه جی و همکاران در رابطه با حذف بیولوژیکی آلاینده‌های آلی نشان داد که با افزایش بارگذاری هیدرولیکی، در فرآیند حذف بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی، راندمان کاهش می‌یابد(۱۹). در مطالعه لی و همکاران که بر روی حذف ترکیبات نیتروژنه و مواد آلی در وتلند مصنوعی با جریان زیرسطحی انجام شد، با افزایش میزان بارگذاری هیدرولیکی در شرایط هوازی یکسان، راندمان حذف هر دو آلاینده کاهش یافت، اما با افزایش مقدار هوادهی همزمان با افزایش بارگذاری هیدرولیکی، تغییر معنی‌داری در راندمان حذف مواد آلی مشاهده نشد (۲۰).

تغییرات غلظت اکسیژن محلول در حین بهره‌برداری: تغییرات غلظت اکسیژن محلول در دوره‌های هوادهی و عدم هوادهی



شکل ۲. نمودار راندمان حذف فنل در HRTهای مختلف، غلظت فنل ورودی: ۲۰۰۰ میلی‌گرم برلیتر

راکتور هوادهی شده و راکتور هوادهی نشده در شکل ۳ ارائه شده است. مقادیر میانگین غلظت اکسیژن محلول در این سه حالت به ترتیب ۴/۶، ۱/۴ و ۰/۵ میلی‌گرم برلیتر بود. تغییرات غلظت اکسیژن محلول به فعالیت میکروارگانیزم‌ها و توده سلولی گیاه بستگی دارد؛ به‌طوری‌که در اثر فعالیت میکروارگانیزم‌ها و تجزیه میکروبی در طی مسیر متابولیکی هوازی، میکروارگانیزم‌های تجزیه کننده فنل، با مصرف فنل به عنوان منبع کربن و مصرف اکسیژن به عنوان گیرنده نهایی الکترون، غلظت اکسیژن محلول از ۴/۶ به ۱/۴ میلی‌گرم برلیتر کاهش دادند.



شکل ۳. نمودار غلظت اکسیژن محلول در وتلند هوادهی شده (در دوره هوادهی و عدم هوادهی) و وتلند هوادهی نشده

همچنین نتایج مطالعه تی و همکاران که به مقایسه کارایی وتلندهای مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی گیاهی و غیر گیاهی پرداختند، نشان داد که وتلند گیاهی از وتلند غیرگیاهی در حذف فنل بهتر عمل می‌کند (۲۱). علت این امر ناشی از این است که در سیستم‌های گیاه پالایی به کمک وتلند با جریان زیرسطحی، گیاه به کاهش آلاینده‌ها کمک می‌کند. سریدوی و همکاران نیز در مطالعه خود گزارش کردند که سیستم وتلندهای زیرسطحی با جریان افقی، راندمان زیادی در حذف آلاینده‌ها دارد (۲۲) که با مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. مطالعه لی و همکاران که اثر سه مرحله هوادهی را در حذف ترکیبات نیتروژنه و مواد آلی در یک

وتلند افقی مورد بررسی قرار دادند، نشان داد که هوادهی می‌تواند سبب افزایش راندمان ترکیبات نیتروژنه و مواد آلی شود. در بین هوادهی در ابتدا، میان و انتهای وتلند، هوادهی در ابتدای وتلند سبب حذف ترکیبات نیتروژنه و مواد آلی بیشتر می‌گردد (۲۰). جی و همکاران نیز در مطالعه‌ای که در خصوص تصفیه فاضلاب صنایع تبدیل زغال‌سنگ به گاز داشتند، از یک راکتور هوازی و بی‌هوازی استفاده نمودند. در این مطالعه وضعیت حذف انواع آلاینده‌ها از جمله فنل در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که راندمان حذف فنل در سیستم هوازی و بی‌هوازی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند (۱۹).

بحث

در این مطالعه حذف فنل از فاضلاب سنتتیک با استفاده از وتلند مصنوعی افقی با جریان زیرسطحی بررسی و تأثیر دو پارامتر مهم و مؤثر یعنی زمان ماند هیدرولیکی و هوادهی بر تصفیه بیولوژیکی مطالعه شد. تاکنون گیاهان مختلفی در سیستم‌های وتلند استفاده شده‌اند، اما نی مرسوم به فراگماتیس استرالیس به دلیل تحمل‌پذیری تنش مواد آلی، بیش از سایرین مورد توجه است. در این مطالعه به منظور سازگار نمودن گیاه با غلظت‌های بالای فنل، به‌تدریج در طی دوره ۶ ماهه، غلظت فنل افزایش داده شد. پارامتر مهم دیگر مدیای سوبسترا است که این نیز همانند گیاه تنوع دارد. در این مطالعه، پوکه معدنی به دلیل داشتن تخلخل بالا استفاده شد.

غلظت اکسیژن در طی ماه‌های اول بهره‌برداری کم است، اما با گذشت زمان به ویژه در فصل بهار افزایش می‌یابد که این امر ناشی از رشد گیاه در این فصل است. هر اندازه فعالیت میکروارگانیزم‌ها بیشتر باشد، غلظت اکسیژن بیشتر کاهش می‌یابد، زیرا میکروارگانیزم‌ها اکسیژن را به عنوان گیرنده نهایی الکترون در طی مسیر تجزیه متابولیک هوازی مصرف می‌نمایند. به‌طور کلی نرخ تجزیه هوازی بیشتر از تجزیه بی‌هوازی است. فنل از دو مسیر متابولیکی هوازی و بی‌هوازی بسته به شرایط محیطی و نوع میکروارگانیزم‌ها متابولیزه می‌شود. آنزیم‌های دخیل در تجزیه بیولوژیک فنل شامل: فنل هیدروکسیلاز، فنل اکسیداز، کاتکل دی‌اکسژناز، لاکاز و پراکسیداز می‌باشند(۲۲). تجزیه فنل در وتلند با نرخ $d.g/m^3$ ۲۰-۵ گزارش شده است(۲۳). نتایج مطالعه حذف فنل از کارخانه کاغذسازی توسط وتلند مصنوعی با جریان زیرسطحی در HRTهای مختلف نشان داد که کارایی حذف با افزایش HRT کاهش می‌یابد. دلیل این امر، کمبود اکسیژن و نوترینت بیان شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش HRT، کارایی حذف فنل افزایش می‌یابد. این امر تأثیر مثبت هوادهی را نشان می‌دهد. علاوه بر این هنگامی که غلظت فنل زیاد است، به‌منظور افزایش نرخ تجزیه، هوادهی سیستم پیشنهاد می‌شود، در غیر این‌صورت به HRT طولانی‌تر نیاز است که خود مستلزم سطح زمین بیشتر است. چندین فرآیند فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی در حذف فنل در وتلندهای مصنوعی دخالت دارند. مهم‌ترین مکانیزم‌های حذف فنل در وتلند شامل: تجزیه زیستی، جذب توسط گیاه، جذب و فرارسازی می‌باشند. علاوه بر این، نرخ فرآیند حذف تحت تأثیر مقدار مواد آلی و نوترینت، در دسترس بودن گیرنده الکترون و اکسیژن است (۲۴-۲۶). از آنجایی‌که در وتلندهای زیرسطحی، آب در زیر سطح بستر است، فرارسازی مستقیم فنل نسبت به وتلندهای سطحی محدودتر است. از سوی دیگر، ضریب تفکیک الکل-آب نقش مهمی در جذب فنل توسط گیاه دارد. مواد آلی که آب‌گریز هستند، دارای ضریب تفکیک ۰/۵ تا ۳ هستند. چنین انتظار می‌رود که فنل با داشتن ضریب تفکیک ۲-۱/۵ توسط گیاه جذب شود (۲۷). علاوه بر این مقاومت گیاه به فنل، عامل کلیدی برای فرآیند جذب توسط گیاه در وتلندهای مصنوعی است. مطالعات مرتبط مقاومت P.australis به فنل را نشان داده‌اند (۲۸). در این مطالعه نیز به دلیل ویژگی‌های ذکر شده و همچنین گستردگی فراوان فراگماتیس در ایران، از این گیاه استفاده شد. سایر گیاهان استفاده شده در وتلندهای مصنوعی برای حذف ترکیبات فنلیک

شامل تیفا و جانکوس افوسیس[1] می‌باشند (۲۱, ۲۹). یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در کارایی وتلند مصنوعی، مدیای استفاده شده است. مدیایی که بتواند گسترش بهتر ریشه را فراهم نماید، بهتر خواهد بود. با توجه به اینکه پوکه معدنی قادر به جذب فنل نبود، در این مطالعه از پوکه معدنی استفاده شد. می‌توان چنین نتیجه گرفت که جذب فنل از طریق مدیای به‌کار رفته، سهمی در حذف فنل ندارد. علاوه بر این سطح ویژه و تخلخل بالای این ماده به فرآیند هوادهی و رشد جرم سلولی کمک می‌نماید. در نهایت پارامترهای طراحی و بهره‌برداری در حذف فنل مؤثرند. Avila و همکاران نشان دادند که شرایط احیاء، کارایی حذف بیس فنل را کاهش می‌دهد (۳۰).

نتیجه گیری

بر اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فنل، حضور میکروارگانیزم‌های مختلف در وتلند مصنوعی که خود نشان دهنده شرایط محیطی متنوع در وتلند است و با توجه به مسیرهای مختلف متابولیکی تجزیه فنل، فناوری وتلندهای مصنوعی می‌تواند برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی حاوی فنل به‌کار روند. فرآیندهای مختلفی در حذف فنل در وتلند نقش دارند که این امر ناشی از پیچیدگی این سیستم‌های مهندسی شده است. اگرچه مکانیزم‌های حذف فنل در وتلندهای مصنوعی کم و بیش شناخته شده‌اند، اما مطالعات بیشتری برای درک دقیق‌تر این موضوع لازم است تا از این طریق طراحی و بهره‌برداری مناسب‌تر منجر به افزایش کارایی حذف فنل در وتلندهای مصنوعی گردد. با توجه به یافته‌های این مطالعه، مشخص شد میزان تجزیه فنل در هر دو وتلند هوادهی شده و هوادهی نشده تحت تأثیر نرخ بارگذاری آلی و زمان ماند هیدرولیکی است. همچنین مشخص شد که حذف فنل در وتلند هوادهی شده و هوادهی نشده به‌طور کامل اتفاق می‌افتد. این در حالی است که نرخ حذف فنل در وتلند هوادهی شده نسبت به وتلند هوادهی نشده بالاتر است و به منظور دستیابی به نتایج یکسان، زمان ماند هیدرولیکی در راکتور هوادهی نشده نسبت به راکتور هوادهی شده باید به حدود ۲ برابر افزایش یابد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای شهرام صادقی تحت عنوان «بررسی تأثیر غلظت اکسیژن محلول در کارایی حذف فنول از فاضلاب سنتتیک در وتلند مصنوعی افقی با جریان زیرسطحی» (کد ۵۷۱۳۰/ ۱۴) می‌باشد که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی کردستان اجرا شد. بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Asmaly HA, Abussaud B, Saleh TA, Gupta VK, MA. A. Ferric oxide nanoparticles decorated carbon nanotubes and carbon nanofibers: from synthesis to enhanced removal of phenol. Journal of Saudi Chemical Society. 2015;19(5):511-20.
2. A. H. Removal of phenol from wastewaters using membrane contactors: Comparative experimental analysis of emulsion pertraction. Desalination. 2013;309:171-80.
3. Asgari G, Ebrahimi ASA, ZG. H. Study on phenol removing by using modified zolite (Clinoptilolite) with FeCl3 from aqueous solutions. health systems research journal. 2010;6:848-57.
4. Yang J, Zhou M, Zhao Y, Zhang C, Y. H. Electrosorption driven by microbial fuel cells to remove phenol without external power supply. Bioresource Technology. 2013; 150:271-7.
5. Naeem K, F. O. Influence of supports on photocatalytic degradation of phenol and 4-chlorophenol in aqueous suspensions of titanium dioxide. Journal of Environmental Sciences. 2013;25(2):399-404.
6. Hammer MJ, HMJ. S. Water and wastewater technology. John Wiley and Sons Inc. 2003;3nd ed(New York, NY).
7. Carmona M, De Lucas A, Valverde JL, Velasco B, JF. R. Combined adsorption and ion exchange equilibrium of

1.Typha latifolia & Juncus effuses

phenol on Amberlite IRA-420. Chemical Engineering Journal 2006. 117(2):155-60.
8. Bayramoglu G, Gursel I, Tunali Y, MY. A. Biosorption of phenol and 2-chlorophenol by Funaliatrogii pellets. Bioresource Technology. 2009;100(10):2685-91.
9. Werker A, Dougherty J, McHenry J, W. VL. Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates. Ecological Engineering. 2002;19(1):1-11.
10. Ham J, Yoon C, Jeon J, H. K. Feasibility of a constructed wetland and wastewater stabilisation pond system as a sewage reclamation system for agricultural reuse in a decentralised rural area

Water Science and Technology. 2007;55(1-2): 503-11.
11. Sayadi M, Kargar R, Doosti M, H. S. Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: A worldwide review. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. 2012;2(4):204-22.
12. Trang NTD, Konnerup D, Schierup H-H, Chiem NH, . BH. Kinetics of pollutant removal from domestic wastewater in a tropical horizontal subsurface flow constructed wetland system: effects of hydraulic loading rate. Ecological Engineering. 2010;36(4):527-35.
13. Kadlec R. H, Wallace S. Treatment wetlands. Boca Raton, Fl.: CRC Press. 2009;2nd ed(Vol. 40): p. 1016.
14. Lin YF, Jing SR, Lee DY, Chang YF, Chen YM, KC. S. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. Environmental Pollution. 2005;134:411-21.
15. Tchobanoglous G. Wastewater engineering treatment disposal reuse. Metcalf and Eddy. 1991 (McGraw-Hill, New York):927.
16. Wu S, Wiessner A, Dong R, Pang C, P. K. Performance of two laboratory-scale horizontal wetlands under varying influent loads treating artificial sewage. Engineering in Life Sciences. 2012;12(2):178-87.
17. WE. F. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA). 2005; Washington, DC, USA.
18. Yousefi Z, Hoseini SM, Mohamadpur R, MA. Z. Performance evaluation of artificial wetland subsurface with horizontal flow in wastewater treatment. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2013;23(99):13-26 (Persian).
19. Ji Q, Tabassum S, Yu G, Chu C, Z. Z. Determination of biological removal of recalcitrant organic contaminants in coal gasification waste water. Environmental Technology. 2015;36(22):2815-24.
20. Li F, Lu L, Zheng X, X. Z. Three-stage horizontal subsurface flow constructed wetlands for organics and nitrogen removal: effect of aeration. . Ecological Engineering. 2014;68:90-6.
21. Tee H, Seng C, Noor AM, PI. L. Performance comparison of constructed wetlands with gravel-and rice husk-based media for phenol and nitrogen removal. Science of the Total Environment. 2009;407(11):3563-71.
22. Sridevi V, Chandanalakshmi MVV, Manasa M, M. S. Metabolic pathways for the biodegradation of phenol. International Journal of Engineering Science & Advanced Technology. 2012;2(3): 695-705.
23. Herouvim E, Akratos CS, Tekerlekopoulou A, DV. V. Treatment of olive mill wastewater in pilot-scale vertical flow constructed wetlands. Ecological engineering. 2011;37:931-9.
24. Poerschmann J, L. S-N. Sorption determination of phenols and polycyclic aromatic hydrocarbons in a multiphase constructed wetland system by solid phase microextraction. Science of the Total Environment. 2014;482:234-40.
25. Rossmann M, de Matos AT, Abreu EC, AC. B. Performance of constructed wetlands in the treatment of aerated coffee processing wastewater: Removal of nutrients and phenolic compounds. Ecological engineering. 2012;49:264-9.
26. Polprasert C, Dan NP, .1996;34(11):. TN. Application of constructed wetlands to treat some toxic wastewaters under tropical conditions. Water Science and Technology. 1996;34(11):165-71.
27. Alkorta I, C. G. Phytoremediation of organic contaminants in soils. Bioresource Technology. 2001;79:273-6.
28. TM H, Tischer S, Tanneberg H, P. K. Influence of Phenol and Phenanthrene on the Growth of Phalaris arundinacea and Phragmites australis. International Journal of Phytoremediation. 2000;2(4).
29. Schultze-Nobre L, Wiessner A, Wang D, Bartsch C, Kappelmeyer U, Paschke H. Removal of dimethylphenols from an artificial wastewater in a laboratory-scale wetland system planted with Juncus effusus. Ecological engineering. 2015;80:151-5.
30. Avila C, Reyes C, Bayona JM, J. G. Emerging organic contaminant removal depending on primary treatment and operational strategy in horizontal subsurface flow constructed wetlands: Influence of redox. Water Research. 2013;47: 315-25.