Archive of SID

حذف سرب فاضلاب صنعتی با استفاده از تالاب مصنوعی با جریان افقی زیرسطحی

سعید طاهری قناد[1*]
هادی معاضد[2]
سعید برومند نسب[3]
نعمت اله جعفر زاده حقیقی فرد[4]

۱. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران
۲ و ۳ استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
۴. استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

***مسئول مکاتبات:**
staheri2007@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۵۰۴۰۱۵۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۳۰
این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

چکیده

در این تحقیق اثر سه جنس مختلف بستر و زمان‌های ماند هیدرولیکی ۱، ۳، ۵ و ۱۰ روز بر راندمان حذف سرب در تالاب مصنوعی افقی زیرسطحی تحت کشت نی معمولی موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان‌ماند هیدرولیکی، راندمان حذف افزایش می‌یابد به‌طوری‌که بین راندمان حذف در بستر شنی و در زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود داشت ولی بین زمان‌ماند ۵ و ۱۰ روزه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ($P< ۰/۰۵$) مشاهده نشد و برای دو جنس بستر گراول ریز و متوسط بین زمان‌های ماند ۱ و ۳ روز اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ($P< ۰/۰۵$) مشاهده شد درصورتی‌که بین زمان‌های ماند ۳، ۵ و ۱۰ روزه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ($P< ۰/۰۵$) مشاهده نگردید؛ بنابراین بهترین زمان‌ماند هیدرولیکی برای بستر شن، گراول و گراول متوسط به ترتیب ۵، ۳ و ۳ روز با حداکثر راندمان ۸۸/۵۱، ۸۱/۵۳ و ۸۰/۳۵ به دست آمد. نتایج تحلیل جنس بستر نیز نشان داد که جنس بستر در زمان‌های ماند ۳ و ۵ روزه اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد ($P< ۰/۰۵$) بر راندمان حذف سرب داشت به‌طوری‌که بستر شن از راندمان بالاتری نسبت به دو بستر دیگر برخوردار بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بستر شن اثربخشی بیشتری در رابطه با تشدید فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مؤثر در حذف سرب فاضلاب مصنوعی داشته است.

واژگان کلیدی: فاضلاب مصنوعی، تالاب مصنوعی افقی زیرسطحی، راندمان حذف سرب، جنس بستر.

مقدمه

تصفیه فاضلاب و حذف فلزات سنگین از منابع آب، یک فاکتور اساسی برای حفاظت محیط‌زیست و سلامتی انسان محسوب می‌شود (Usefi *et al.*, 2012). لذا شناخت و تشخیص روش‌های ارزان‌قیمت و با کارایی بالا برای کاهش یا حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی اهمیت بسیار زیادی دارد (Usefi *et al.*, 2012; Vymazal, 2010). تالاب‌های مصنوعی با استفاده از گیاهان آبزی می‌تواند عملیات تصفیه فاضلاب را به طرز مؤثرتر و با هزینه‌های کمتری در مقایسه با دیگر سامانه‌ها انجام دهد. در این روش پس از عبور فاضلاب از یک بستر مصنوعی ساخته‌شده با مواد مناسب، آلاینده‌های موجود در فاضلاب تا حد زیادی حذف می‌گردند. در این سامانه‌ها فرآیندهای طبیعی میکروبی، بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی جهت تصفیه فاضلاب صورت می‌گیرد که معمولاً با چهار نوع جریان به صورت‌های زیرسطحی، سطحی، عمودی و هیبرید اجرا می‌شوند (Vymazal, 2010; Vymazal, 2007). راندمان تصفیه در این سیستم‌ها بستگی به جنس بستر، نوع و طراحی تالاب، زمان‌ماند هیدرولیکی، میزان بار هیدرولیکی، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، نوع گیاه و شرایط اقلیمی دارد و برای بهترین راندمان به میزان بار هیدرولیکی کم و زمان‌ماند طولانی نیاز دارند (Kumar *et al.*, 2010). یکی از جنبه‌های مهم و پیچیده، اثر متقابل ریشه و ریزوم ها بر روی ماتریکس خاک است؛ خاک عامل اصلی رشد گیاه و فیلم میکروبی است و اثر قطعی بر روی فرآیندهای هیدرولیکی و بیولوژیکی دارد. ترکیبات شیمیایی و پارامترهای فیزیکی از قبیل توزیع اندازه ذرات خاک، فضای خلل و فرج و اندازه مؤثر ذرات، درجه دانه‌بندی و ضریب هدایت هیدرولیکی، فاکتورهای

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017
www.SID.ir

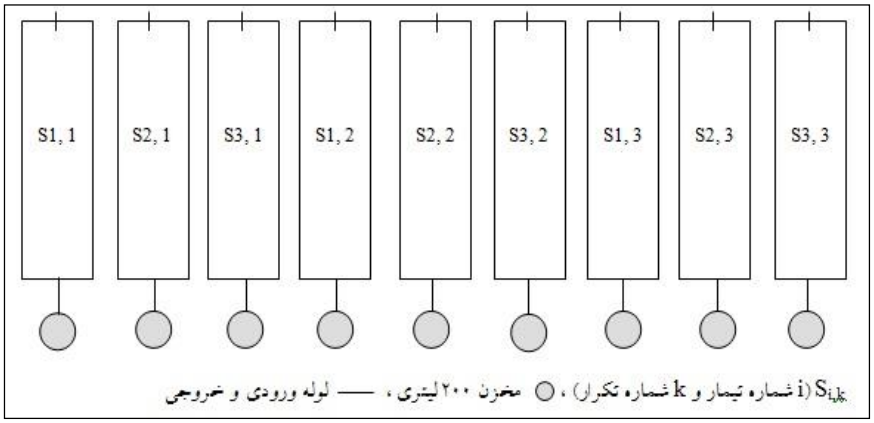
Archive of SID

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017

مؤثر بر راندمان حذف آلاینده‌های فاضلاب هستند، از طرفی رشد ریشه بر روی خصوصیات هیدرولیکی خاک اثرگذار است (Stottmeister *et al*., 2003; Wissing, 1995). Cortes Esquivel و همکاران (۲۰۱۲) راندمان حذف مس و روی فاضلاب پرورش خوک را تحت زمان‌های ماند هیدرولیکی ۲۴، ۴۸ و ۷۲، ۹۶ ساعت با دو گونه گیاهی الوچیرز و تیفا و در دو جنس مختلف بستر در تالاب‌های مصنوعی افقی موردبررسی قراردادند و نتیجه‌گیری کردند که زمان‌ماند هیدرولیکی و جنس بستر اثر معنی‌دار بر روی راندمان حذف مس و سرب داشت و مکانیسم‌های مؤثر را ته‌نشینی شیمیایی و فیزیکی، تبادل یونی و جذب سطحی خاک و جذب بیولوژیکی بر روی بیوفیلم ریشه، واکنش با ترکیبات آلی و معدنی و ... گزارش کردند (Cortes Esquivel *et al*., 2012). با توجه به اهمیت و ضرورت تحقیق، هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی اثر جنس بستر و تغییر زمان‌ماند هیدرولیکی بر راندمان حذف سرب در شرایط تالاب مصنوعی افقی زیرسطحی تعریف شد.

مواد و روش‌ها

سامانه نیزار مورداستفاده در این تحقیق شامل ۹ مکعب مستطیل فلزی که از جنس آهن گالوانیزه به طول ۱ متر عرض ۰/۳ متر و عمق ۰/۳۵ متر ساخته شدند. این طرح شامل سه جنس مختلف بستر در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد. جنس‌های بستر انتخابی شامل شن، گراول ریز و گراول متوسط که به‌طور یکنواخت در سامانه‌ها ریخته شد. در بخش ورودی و خروجی سامانه‌ها نیز از قلوه‌سنگ‌هایی به قطرهای ۱۰۰-۵۰ میلی‌متر استفاده شد تا فاضلاب به‌محض ورود به داخل بستر نفوذ کرده و از جاری شدن آن روی بستر جلوگیری به عمل آید. علاوه بر آن‌یک توری فلزی ریز و گراول در جلوی حفره خروجی جریان قرار داده شد تا از خروج بستر از سامانه نیزار به درون نمونه‌های خروجی فاضلاب به‌واسطه جریان زهکشی جلوگیری گردد. پس از آماده‌سازی سامانه، بسترهای مذکور به عمق ۳۰ سانتی‌متر در سامانه‌ها ریخته شد و پس‌ازآن نشاهای نی فراگمیتس در تاریخ تیرماه ۱۳۹۲ از کنار کانال‌ها و زهکش‌های موجود در منطقه جمع‌آوری شد و بلافاصله در بسترها به فاصله حداقل ۱۰ سانتی‌متر و عمق ۲۰ سانتی‌متر و به تعداد ۲۰ گیاه در هر تالاب کشت شدند. حفظ فاصله کافی بین ریشه‌ها هنگام کاشت نی باعث افزایش جوانه‌ها، پاجوش‌ها و مصون ماندن ریشه‌ها از خشک شدن گردید. کلیه مراحل انجام تحقیق در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول انجام شد. شکل ۱ پلان طرح آزمایشی تالاب‌های مصنوعی زیرسطحی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: پلان طرح آزمایشی نیزار مصنوعی.

در سامانه‌های مذکور، بار هیدرولیکی و زمان‌ماند به‌صورت متغیر شامل چهار زمان‌ماند متغیر ۱، ۳، ۵ و ۱۰ روز انتخاب گردید. میزان دبی موردنیاز و بار سطحی فاضلاب مصنوعی نیز بر اساس غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سرب مطابق جدول ۲ محاسبه و اجرا گردید، با غلظت ۱۰

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017

میلی‌گرم در لیتر سرب نیز می‌توان به یک فاضلاب شبیه‌سازی‌شده و بالاتر از حد استاندارد سازمان محیط‌زیست ایران جهت تصفیه فاضلاب (مصارف آبیاری) دست‌یافت. به‌منظور تأمین دبی موردنیاز نیز از یک منبع ۲۰۰ لیتری کالیبره شده مجهز به شیر خروجی استفاده گردید. دبی موردنیاز برای هرکدام از سامانه‌ها پس از اندازه‌گیری خصوصیت فیزیکی و شیمیایی بستر با توجه به حجم تالاب و میزان تبخیر و تعرق روزانه محاسبه گردید. نتایج تعیین خصوصیت فیزیکی و شیمیایی بستر نیز در جدول ۱ آمده است. منبع سرب نیز از نیترات سرب شرکت مرک باقابلیت انحلال بالا تهیه گردید.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ماسه استفاده‌شده در بستر تالاب.

خصوصیت فیزیکی	واحد	شن	گراول ریز	گراول متوسط	خصوصیت شیمیایی	واحد	مقدار
قطر (میلی‌متر)	میلی‌متر	۰/۰۱-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	Ec_e	دسی زیمنس متر	۰/۰۳
هدایت هیدرولیکی	سانتی‌متر بر دقیقه	۱/۷۹۵	۱۸/۶	۲۵	P^H	---	۷/۲
تخلخل	درصد	۴۷	۳۶	۳۰	سرب	میلی‌گرم کیلوگرم	۰/۰۰۲
وزن مخصوص ظاهری	گرم بر سانتی‌متر مکعب	۱/۵۱	۱/۴	۱/۳۵	سولفور	میلی‌گرم کیلوگرم	۵/۳
ضریب یکنواختی	---	۳/۷	۲/۱۹	۱/۹۳	نیترات	میلی‌گرم کیلوگرم	۰/۵۶

جدول ۲: حجم، دبی و بار سطحی فاضلاب ورودی به سامانه‌ها.

زمان‌ماند (روز)	حجم (لیتر)	دبی (لیتر بر روز)	بار هیدرولیکی (میلی‌متر بر روز)	بار سطحی سرب (میلی‌گرم بر روز بر مترمربع)
۱	۵۹	۵۹	۱۹۸	۱۹۵۵
۳	۶۹	۲۳	۷۷	۷۵۶
۵	۷۹	۱۶	۵۳	۵۲۶
۱۰	۱۰۴	۱۰	۳۵	۳۳۱

جهت اعمال تیمارها مدت‌زمان حدود ۴۵ روز پس از کاشت سپری گردید لذا شروع اعمال فاضلاب شبیه‌سازی‌شده در تیمارها تا مورخ شهریور ۱۳۹۲ به تعویق افتاد. به‌منظور تنظیم زمان‌ماند مختلف در سامانه‌ها، دبی‌ها و بار سطحی مختلفی تکرار می‌شد. پس از اتمام هرکدام از زمان‌های ماند و خروج فاضلاب مصرفی، مدت‌زمان ۵ روز با آب معمولی وارد سامانه‌ها می‌شد تا علاوه بر شستشوی بستر، شرایط لازم برای مراحل بعدی آزمایش‌ها فراهم گردید. تکمیل چهار زمان‌ماند انتخابی حدوداً به مدت یک ماه انجام شد و کل آزمایشات در دو تکرار زمانی و ظرف مدت‌زمان دو ماه تا مورخ آبان ۱۳۹۲ انجام گردید. در پایان هر مرحله، نمونه گیاه نیز از بستر خارج و پس از هوا خشک‌کردن با روش هضم تر عصاره گیری و سپس غلظت سرب موجود در بافت ریشه گیاه نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد به این منظور به یک گرم پودر ریشه، ۱۰ میلی‌گرم اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) افزوده شد. نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در حمام بن ماری قرار گرفت سپس ۳ میلی‌لیتر پر اکسید هیدروژن ۲۰ درصد به آن افزوده شد. پس‌ازآنکه نمونه‌ها سرد شدند صاف‌شده و با آب مقطر به حجم ۳۰ میلی‌لیتر رساندیم. کلیه نمونه‌های مربوط به بافت ریشه گیاه و فاضلاب ورودی و خروجی با کمک دستگاه جذب اتمی مدل Perklim Elmer A Analyst 700 اندازه‌گیری شدند که نتایج آن به‌طور خلاصه در جدول ۴ آمده است. با توجه به‌اندازه گیری‌های انجام‌شده، راندمان حذف سرب در فاضلاب خروجی بر اساس اختلاف غلظت فاضلاب ورودی و خروجی نسبت به غلظت فاضلاب ورودی محاسبه شد. علاوه بر آن نسبت غلظت فاضلاب خروجی به ورودی (C/C_0) و سهم زمانی حذف سرب در زمان‌های مختلف ماند محاسبه گردید که در جدول ۴ آمده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017

مطابق اندازه‌گیری‌های به‌عمل‌آمده، غلظت سرب در نمونه خروجی در کلیه موارد کمتر از حد مجاز استاندارد FAO و EPA بود؛ بنابراین عملکرد سیستم در محدوده شرایط آزمایش در حد مطلوب بود (کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر) و زه آب تصفیه‌شده می‌تواند برای مصارف آبیاری استفاده گردد. مقایسه جفتی غلظت فاضلاب خروجی در سه جنس مختلف بستر و در زمان‌های ماند مختلف نیز نشان داد که به ترتیب بستر شن، گراول ریز و سپس گراول متوسط از عملکرد بهتری در کاهش غلظت فاضلاب خروجی برخوردار بودند؛ بنابراین می‌توان بسترهای مختلف را ازنظر بهبود راندمان حذف سرب به ترتیب اولویت به‌صورت شن، گراول ریز و گراول متوسط رتبه‌بندی نمود. ضمناً، راندمان حذف سرب در فاضلاب خروجی (RE) بر اساس اختلاف غلظت فاضلاب ورودی و خروجی نسبت به غلظت فاضلاب ورودی محاسبه شد. علاوه بر آن نسبت غلظت فاضلاب خروجی به ورودی نیز با عنوان c/c0 و سهم زمانی حذف سرب (RTR) در زمان‌های ماند هیدرولیکی (HRT) مختلف محاسبه گردید که در جدول ۴ آمده‌اند بر اساس سهم زمانی می‌توان سهم هرکدام از زمان‌های ماند را در حذف فاضلاب محاسبه و میزان اثربخشی زمان‌های ماند مختلف را موردبررسی و مقایسه قرارداد. بر اساس اندازه‌گیری‌های به‌عمل‌آمده ابتدا ارتباط راندمان حذف سرب فاضلاب نسبت به زمان‌ماند ترسیم گردید معادله حاکم با استفاده از نرم‌افزار curvexpert به‌صورت معادله نمایی ($RE = a.(b - e^{-c.t})$) استخراج شد که در بین معادلات نمایی برازش شده از بالاترین ضریب همبستگی (r=۰/۹۸) برخوردار بود. نتایج برازش راندمان حذف سرب نسبت به زمان‌ماند هیدرولیکی در جدول ۳ آمده است. بر اساس این شکل‌ها، در بستر شنی راندمان حذف تا روز ۵ ام در حال افزایش و پس‌ازآن با شیب یکنواخت ادامه پیدا می‌کند درصورتی‌که در بسترهای گراول ریز و متوسط تا روز سوم در حال افزایش و پس‌ازآن روند تغییرات ثابت می‌شود؛ در ادامه تحلیل‌های آماری بیشتری در این رابطه موردبررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۳: ضرایب معادله نمایی حذف به همراه ضرایب رگرسیونی.

نوع بستر	$RE = a(b - e^{-c.t})$			ضرایب رگرسیونی	
	A	b	C	R	خطای استاندارد
شن	۰/۰۸۵	۱۰/۳۹	۰/۷۱۸	۰/۹۷۵	۰/۰۰۴
گراول ریز	۰/۲۱	۳/۸۵	۱/۴۶۴	۰/۹۸۲	۰/۰۰۴۵
گراول متوسط	۰/۱۵۴	۵/۱۶	۱/۳۲	۰/۹۶۵	۰/۰۰۵۵

جدول ٤: نتایج اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در فاضلاب ورودی و خروجی.

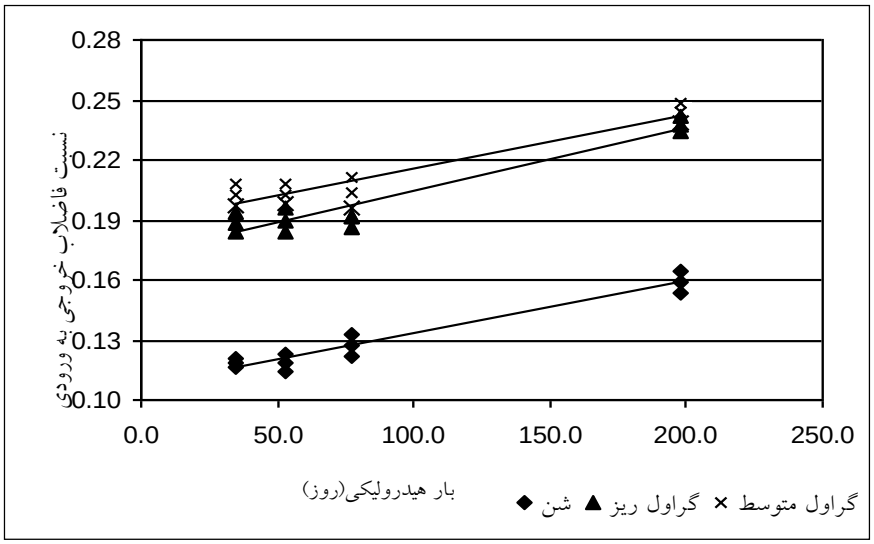
بستر شن					
HRT(day)	C_0	C	C/C0	RE	RTR
۱	۰/۱۱±۹/۸۸	۰/۰۳±۱/۵۷	۰/۰۰۵±۰/۱۵۹	۰/۴۷±۸۴/۱	۹۵/۴
۳	۰/۰۸±۹/۸۱	۰/۰۴±۱/۲۵	۰/۰۰۶±۰/۱۲۸	۰/۴۵±۸۷/۲	۹۸/۹
۵	۰/۱۲±۹/۹۵	۰/۰۳±۱/۱۸	۰/۰۰۵±۰/۱۱۹	۰/۴۱±۸۸/۱	۱۰۰
۱۰	۰/۰۶±۹/۵۲	۰/۰۲±۱/۱۳	۰/۰۰۲±۰/۱۱۸	۰/۲۸±۸۸/۲	۱۰۰
بستر با گراول ریز					
HRT(day)	C_0	C	C/C0	RE	RTR
۱	۰/۰۹±۹/۸۸	۰/۰۲±۲/۳۵	۰/۰۰۳±۰/۲۳۷	۰/۴±۷۶/۳	۹۴
۳	۰/۱۳±۹/۸۱	۰/۰۳±۱/۸۸	۰/۰۰۵±۰/۱۹۱	۰/۶۳±۸۰/۹	۹۹/۷
۵	۰/۱۲±۹/۹۵	۰/۰۴±۱/۸۹	۰/۰۰۶±۰/۱۹	۰/۶۲±۸۱	۹۹/۹
۱۰	۰/۰۴±۹/۵۲	۰/۰۴±۱/۸	۰/۰۰۵±۰/۱۸۹	۰/۵±۸۱/۱	۱۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

بستر با گراول متوسط					
RTR	RE	C/C0	C	C_0	HRT(day)
۹۴/۹	۰/۴۴۷±۷۵/۶	۰/۰۰۴±۰/۲۴۴	۰/۰۳±۲/۴۱	۰/۰۶±۹/۸۸	۱
۹۹/۹	۰/۷۵±۷۹/۶	۰/۰۰۷±۰/۲۰۴	۰/۰۶±۲	۰/۰۷±۹/۸۱	۳
۱۰۰	۰/۵۵±۷۹/۷	۰/۰۰۵±۰/۲۰۳	۰/۰۵±۲/۰۲	۰/۰۲±۹/۹۵	۵
۱۰۰	۰/۶±۷۹/۹	۰/۰۰۵±۰/۲۰۳	۰/۰۴±۱/۹۳	۰/۰۵±۹/۵۲	۱۰

Crites Tchobanoglous (۱۹۹۸) مدلی را برای حذف برخی آلاینده‌ها در تالاب‌های با جریان سطحی و زیرسطحی پیشنهاد دادند که در آن q میزان بار هیدرولیکی برحسب میلی‌متر بر روز و C0/Ci نیز نسبت غلظت فاضلاب خروجی به ورودی بود که این رابطه به‌صورت یک مدل خطی تعریف گردید. بر همین اساس و با الگوپذیری از این رابطه ارتباط بین بار هیدرولیکی و نسبت غلظت سرب فاضلاب خروجی به ورودی نیز ترسیم گردید که در شکل ۲ نشان داده‌شده است و پس‌ازآن با استفاده از رگرسیون خطی، میزان همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته موردبررسی قرار گرفت که نشان‌دهنده بالا بودن همبستگی آن‌ها بود که نتایج آن در جدول ۵ آمده است بر اساس این رابطه با کاهش بار هیدرولیکی جریان از ۱۹/۸ تا ۳/۵ سانتیمتر بر روز، نسبت غلظت فاضلاب خروجی به ورودی به‌طور معنی‌داری و به‌صورت یک رابطه خطی کاهش پیدا کرد؛ بنابراین با افزایش زمان‌ماند و کاهش بار هیدرولیکی، فرصت زمان بیشتری جهت فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی جهت حذف سرب در سیستم تالاب فراهم‌شده است. Weerakon و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی نتایج مشابهی را به دست آوردند که بر اساس آن پتانسیل حذف آلودگی‌های فاضلاب ساختگی، تحت بارهای هیدرولیکی مختلف در تالاب مصنوعی افقی زیرسطحی با کشت تیفا را موردبررسی قراردادند و نتیجه‌گیری گرفتند که با کاهش بار هیدرولیکی، راندمان حذف آلاینده‌ها افزایش یافت.



شکل ۲: ارتباط خطی بین بار هیدرولیکی و نسبت غلظت فاضلاب خروجی به ورودی.

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017

جدول ۵: نتیجه رگرسیون خطی بین بار هیدرولیکی و نسبت غلظت فاضلاب خروجی به ورودی.

نوع بستر	R^2	N	رابطه
شنی	۰/۹۹۱	۱۲	$\frac{c_0}{c_i} = 0.1073 + 0.0003q$
گراول ریز	۰/۹۶۳۸	۱۲	$\frac{c_0}{c_i} = 0.1729 + 0.0003q$
گراول متوسط	۰/۹۵۴	۱۲	$\frac{c_0}{c_i} = 0.1891 + 0.0003q$

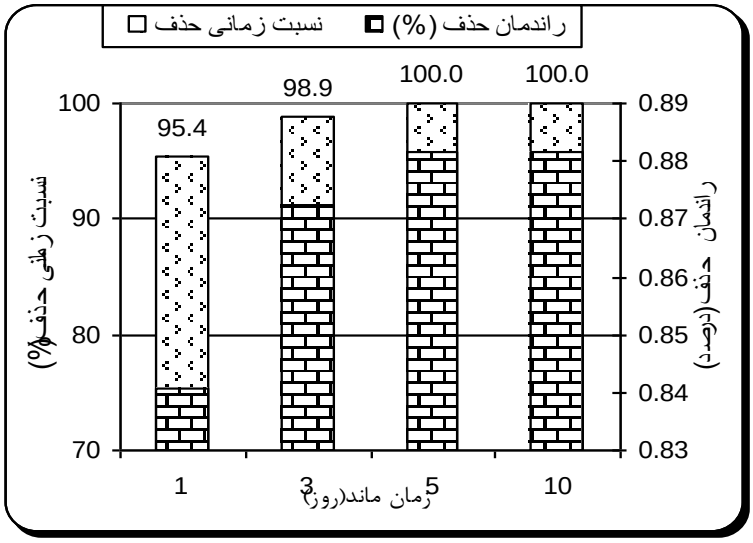
بحث و نتیجه‌گیری

روند تغییرات راندمان حذف نسبت به زمان نشان می‌دهد که با افزایش زمان‌ماند هیدرولیکی، راندمان حذف در حال افزایش است به نظر می‌رسد با افزایش زمان‌ماند، بار هیدرولیکی جریان ورودی و بار سطحی سرب کاهش یافت. لذا فرصت کافی جهت فرآیندهای فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی در بستر سامانه‌ها و گیاه فراهم می‌شود تا عملیات حذف سرب انجام گردد؛ البته می‌بایست بهترین زمان‌ماند با در نظر گرفتن جمیع مصالح انتخاب گردد به همین منظور می‌توان از تحلیل‌های آماری نیز جهت بررسی اثر زمان‌ماند در تغییرات راندمان حذف نیز استفاده نمود و معنی‌دار بودن اثر زمان‌ماند را موردبررسی قرارداد. بررسی نمودارهای ۳ و ۴ و ۵ مؤید این موضوع است که باگذشت زمان‌ماند، راندمان حذف در هر سه بستر در حال افزایش است، ولی سرعت افزایش آن در حال کاهش است. لذا نتیجه گرفته شد زمان‌های اولیه اثر بیشتری در فرآیندهای حاکم بر حذف سرب داشت به همین منظور سهم زمانی اثر زمان‌ماند نیز محاسبه گردید که آن بر اساس نسبت راندمان حذف لحظه‌ای (در زمان‌های ماند مختلف) به راندمان زمان‌ماند ۱۰ روزه محاسبه گردید که می‌توان میزان وزن و یا اثر هرکدام از زمان‌های ماند در حذف سرب را کمی نمود که در شکل‌های مربوطه نشان داده‌شده است. با استفاده از این نمودارها می‌توان سهم هرکدام از زمان‌های ماند را در بهبود راندمان حذف موردبررسی قرارداد بر اساس این نمودارها (۳، ۴ و ۵) بیشترین اثر سهم زمانی در زمان‌ماند یک‌روزه اتفاق افتاده است که معادل ۹۵/۴، ۹۴/۹ و ۹۴ درصد راندمان حذف حداکثر (راندمان حذف ۱۰ روزه) به ترتیب در بستر شن، گراول ریز و گراول متوسط بوده است؛ بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که سینتیک فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی مؤثر در راندمان حذف سرب در زمان‌ماند یک‌روزه در بیشترین شدت قرار داشت و افزایش زمان‌ماند منجر به کاهش شدت فرآیندهای مؤثر می‌گردد. بر اساس نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود که بر زمان‌های ماند کمتر از یک‌روزه نیز توجه نمود و روند تغییرات راندمان حذف سرب را در این بازه زمانی موردبررسی قرارداد. بررسی سایر زمان‌های ماند انتخابی این تحقیق نیز نشان‌دهنده این موضوع است که با انتخاب راندمان حذف سه‌روزه می‌توان تا حد قابل قبولی به راندمان حذف پتانسیل نزدیک شد. علاوه بر آن جهت معنی‌دار بودن اثر تغییرات زمان‌ماند، با استفاده از آزمون دانکن، مقایسه میانگین مشاهدات نیز موردبررسی قرار گرفت که خلاصه نتیجه آن بر اساس نرم‌افزار SPSS در جدول ۶ آمده است. مطابق با آن بین راندمان حذف در تالاب با بستر شنی و در زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود داشت؛ ولی بین زمان‌های ماند ۵ روزه و ۱۰ روزه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد؛ بنابراین در بهترین شرایط، زمان‌ماند ۵ روز برای بستر شن و باراندمان حذف ۸۸/۱ درصد به دست آمد. علاوه بر آن بین راندمان حذف سرب در دو بستر گراول ریز و متوسط در زمان‌های ماند ۱ و ۳ روز اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده شد، ولی بین زمان‌های ماند ۳، ۵ و ۱۰ روز اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده نشد؛ بنابراین در بهترین شرایط، زمان‌ماند ۳ روز برای دو بستر گراول ریز و متوسط و به ترتیب باراندمان حذف معادل ۸۰/۹ و ۷۹/۶ درصد به دست آمد.

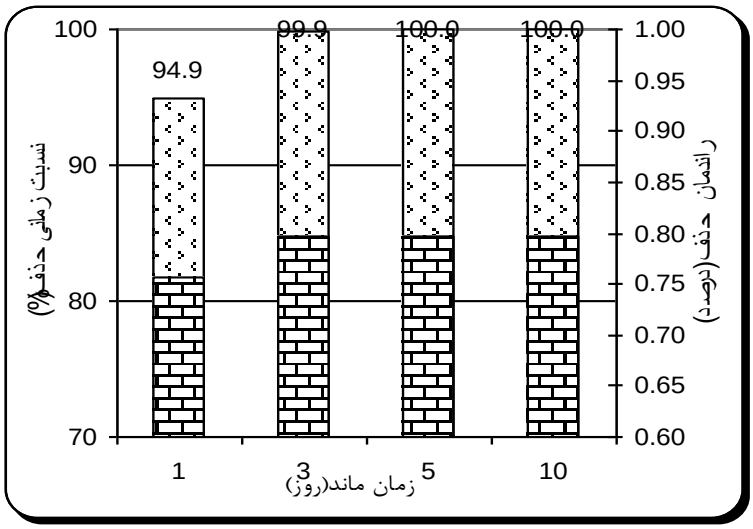
www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017



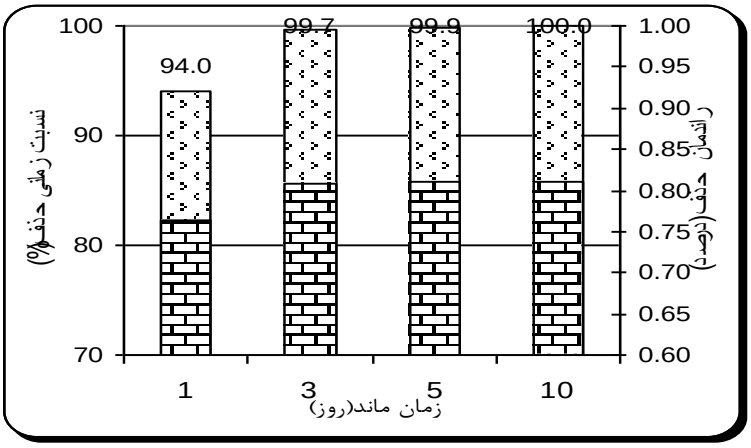
شکل ۳: راندمان حذف در بستر شن.



شکل ٤: راندمان حذف در بستر گراول ریز.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵: راندمان حذف در بستر گراول متوسط.

جدول ٦: اثر تغییرات زمان‌ماند بر میانگین راندمان حذف سرب.

زمان‌ماند (روز)	بستر شن		بستر گراول ریز		بستر گراول متوسط	
	میانگین (٪)	*(دانکن ۰/۰۵ >P)	میانگین (٪)	*(دانکن ۰/۰۵ >P)	میانگین (٪)	*(دانکن ۰/۰۵ >P)
۱	۸۴/۱	A	۷۶/۳	A	۷۵/۶	A
۳	۸۷/۲	B	۸۰/۹	B	۷۹/۶	B
۵	۸۸/۱	C	۸۱	B	۷۹/۷	B
۱۰	۸۸/۲	C	۸۱/۱	B	۷۹/۹	B

*حروف مختلف نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد.

تحقیقات مشابهی توسط افراد مختلف در تالاب‌های مصنوعی زیرسطحی و بر روی راندمان حذف سرب انجام‌شده است که نتایج مشابهی نیز به دست آمد به‌طوری‌که عمدتاً راندمان حذف سرب را در محدوده ۹۵–۷۶ درصد نتیجه‌گیری نمودند. ضمناً مکانیسم‌های عمده حذف سرب را در تشکیل سولفیدهای غیر محلول، فیلتراسیون جامدات و کلوئیدها و پیوند به آهن و اکسید منگنز را مهم‌ترین دلیل حذف سرب فاضلاب‌ها در سیستم تالاب‌های مصنوعی و طبیعی معرفی کردند.

(Kumar *et al*., 2011; Nuller *et al*., 1994; Sinicrope *et al*., 1992). در تحقیقی که بر روی راندمان حذف سرب در تالاب مصنوعی زیرسطحی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد، نتایج مشابه حاصل شد در این تحقیق که با کشت گیاه تیفا و فراگمیتس انجام شد، فاضلاب مصنوعی در غلظت‌های ۲۰–۱ میلی‌گرم در لیتر وارد شد راندمان حذف در محدوده ۹۶–۷۵ درصد متغیر گزارش گردید (Mungur *et al*., 1997). Usefi و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی که بر روی سرب و کادمیوم انجام دادند دریافتند که با افزایش زمان‌ماند از ۲ به ۶ روز، درصد حذف فلزات سنگین نیز افزایش پیدا کرد و در بیشترین مقدار درصد حذف ۷۵ درصد گزارش شد.

در این تحقیق نیز اندازه‌گیری‌های به‌عمل‌آمده نشان داد که دامنه تغییرات متوسط راندمان حذف در بستر شن در محدوده ۸۳/۶۳ تا ۸۸/۴۸، در بستر گراول نرم در محدوده ۷۵/۹ تا ۸۱/۶۳ و در بستر گراول متوسط در محدوده ۷۵/۱۵ تا ۸۰/۵ می‌باشد، با توجه به اینکه در بخش قبل نیز گفته شد بهترین زمان‌ماند در بستر شن، گراول ریز و متوسط به ترتیب ۵، ۳ و ۳ روز نتیجه‌گیری شد لذا در این بخش با استفاده از نرم‌افزار SPSS، اثر جنس بستر در راندمان حذف سرب فاضلاب خروجی در زمان‌های ماند مذکور مورد تحلیل آماری قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۷ نشان داده‌شده است که بر اساس آن اختلاف تیمارها در بستر گراول ریز و متوسط و در زمان‌های ماند یک‌روزه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود، درحالی‌که

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017

www.SID.ir

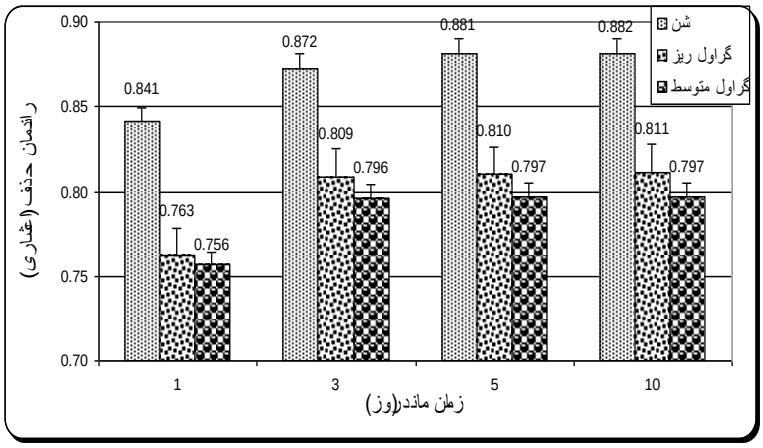
Archive of SID

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017

بستر شن نسبت به دو بستر دیگر از اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد برخوردار بود که بر اساس آن بیشترین راندمان حذف در بستر شن به میزان ۸۴/۵۷ درصد و در دو بستر گراول ریز و متوسط به ترتیب ۷۶/۷ و ۷۶ درصد محاسبه گردید. نتایج تحلیل آماری در زمان‌های ماند ۳ روز و ۵ روز نشان می‌دهد که بین هر سه بستر، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود داشت؛ بنابراین جنس بستر، اثر معنی‌دار بر راندمان حذف سرب داشت. نحوه تغییرات راندمان حذف برای این سه بستر نسبت به زمان‌ماند در نمودار مقایسه‌ای در شکل ۶ آمده است. مطابق با آن حداکثر راندمان ۸۸/۵۱، ۸۱/۵۳ و ۸۰/۳۵ برای بسترهای شن، گراول ریز و گراول متوسط به ترتیب در زمان‌های ماند بهینه ۵، ۳ و ۳ روز به دست آمد. تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد بستر شن از مقدار راندمان بالاتری نسبت به دو بستر دیگر برخوردار بود بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بستر شن اثربخشی بیشتری در رابطه با تشدید فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مؤثر در حذف سرب داشته است. به نظر می‌رسد با کاهش قطر ذرات بستر و افزایش تخلخل خاک، منجر به افزایش سطح مؤثر بستر می‌شود و به دنبال آن افزایش سطح مؤثر بستر منجر به افزایش سطح تماس بستر با فاضلاب و فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها خواهد شد.

جدول ۷: اثر جنس بستر در متوسط راندمان حذف فاضلاب خروجی.

تیمار: جنس بستر	زمان‌ماند ۱ روزه		زمان‌ماند ۳ روزه		زمان‌ماند ۵ روزه	
	RE	(دانکن ۰/۰۵ >P)	RE	(دانکن ۰/۰۵ >P)	RE	(دانکن ۰/۰۵ >P)
بستر شن	۸۴/۱	A	۸۷/۲	A	۸۸/۱	A
بستر گراول ریز	۷۶/۳	B	۸۰/۹	B	۸۱	B
بستر گراول متوسط	۷۵/۶	B	۷۹/۶	B	۷۹/۷	B
نتیجه بررسی اثر (۰/۰۵ >P):					اختلاف در سطح ۵٪ معنی‌دار	



شکل ٦: نمودار مقایسه‌ای راندمان حذف سرب در بسترهای مختلف.

Akratos and Tsihrintzis (۲۰۰۷) اثر جنس بستر و زمان‌ماند هیدرولیکی را بر کارایی تالاب مصنوعی زیرسطحی در مقیاس پایلوت موردبررسی قراردادند و نتایج نشان داد که جنس بستر با گراول ریز از راندمان حذف بالاتری نسبت به گراول متوسط و در شرایط کشت تیفا برخوردار است که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. Arroyo و همکاران (۲۰۱۳) اثر جنس بستر و نوع گیاه را بر روی جامعه باکتری‌های مؤثر در حذف روی و آرسنیک را در تالاب‌های مصنوعی موردبررسی قرارداد و نتیجه‌گیری نمودند که گیاه نی نسبت به گونه‌های دیگر اثر بیشتری بر روی فراوانی و تنوع باکتری‌های مؤثر در حذف آلاینده‌ها دارد؛ بنابراین نقش گیاه نی را در مکانیسم‌های بیولوژیکی بسیار قابل‌توجه بیان کردند.

www.SID.ir

Archive of SID

Kröpfelová و همکاران (۲۰۰۹) و Cortes Esqiuvel و همکاران (۲۰۱۲) نیز در تحقیقات مشابه نتیجه گرفتند که تالاب با بستر شن نسبت به بسترهای گراول ریز و متوسط از راندمان حذف بالاتری برای مس و روی برخوردار است.

Downloaded from jweb.iauahvaz.ac.ir at 17:48 +0330 on Saturday November 25th 2017

منابع

Akratos, C. and Tsihrintzis, V., 2007. Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. Ecological Engineering, 29(2):173–191.

Arroyo, P., Ansola, G. and Saenze de Miera, L., 2013. Effects of substrate, vegetation and flow on arsenic and zinc removal efficiency and microbial diversity in constructed wetlands. Ecological Engineering, 51: 95–103.

Cortes-Esquivel, J., Giacoman-Vallejos, G., D., Barcelo, I., Mendez-Novelo, R. and Ponce, C. M., 2012. Heavy metals removal from Swine wastewater using constructed wetland with horizontal subsurface flow. Journal of Environmental Protection, 3: 871-877.

Crites, R. and Tchobanoglous, G., 1998. Small and decentralized wastewater management systems. Boston, MA: WCB McGraw-Hill.

Kröpfelová, L., Vymazal, J., Svehla, J. and Stíchová, J., 2009. Removal of trace elements in three horizontal sub-surface flow constructed wetlands in the Czech Republic. Environment Pollution, 157(4): 1186-94.

Kumar Choudhary, A., Kumar, S. and Sharma, C., **2011**. Constructed wetlands: an approach for wastewater treatment. Elixir Pollution, 37, 3666-3672.

Mungur, A. S., Shutes Revitt, D. M. and House. M. A., 1997. An assessment of metal removal by a laboratory scale wetland. Water Science and Technology, 35(50): 125–133.

Noller, B. N., Woods, P. H. and Ross B. J., 1994. Case studies of wetland filtration of mine waste water in constructed and naturally occurring systems in northern Australia. Water Science and Technology, 29: 257-66.

Sinicrope, T. L., Langis, R., Gersberg, R. M., Busanardo, M. J., Zedler, J. B., 1992. Metal removal by wetland mesocosms subjected to different hydroperiods. Ecological Engineering Journal, 1(4): 309-22.

Stottmeister, U., Wießner, A., Kuschk, P., Kappelmeyer, U., Ka¨stner, M., Bederski, O., Mu¨ller, R. A. and Moormann, H., 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances, 22: 93– 117.

Usefi, Z., Mashayekhi, A. and Mohammadpour, A., 2012. Performance Evaluation a hybrid constructed wetland in removal of lead and cadmium from Mazandaran University of Medical Sciences medical sciences campus complex wastewater. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, No. 97: 258-269.

Vymazal, J., 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *J.Water. 2*:530-549.

Vymazal, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. Journal Science of the total Environment, 380: 48-65.

Weerakoon, G., Jinadasa, K., Herath, G., Mowjood, M. and Van Bruggen, J., 2013. Impact of the hydraulic loading rate on pollutants removal in tropical horizontal subsurface flow constructed wetlands. Ecological Engineering, 61 Part A: 154–160.

Wissing, F., Wasserreinigung mit Pflanzen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, Yavitt, J. B. and Knapp, A. K., 1995. Methane emission to the atmosphere through emergent cattail (Typha latifolia) plants.Tellus, 47B: 521– 34.

www.SID.ir