Heavy Metals Removal by Constructed Wetlands

Monshuri, M., Ph. D. Student of Environmental Engineeing and Instructor, Islamic Azad University,Tehran

Vosoughi, M., Assist. Prof, Sharif University of Technology, Tehran

Imandel, K., Prof, Islamic Azad University,Tehran

Borghei, M., Assist. Prof, Sharif University of Technology, Tehran

Bodkoubi, A., Assist. Prof, Tarbiat Modarres University, Tehran

Abstract

Pilots are used in order to study the efficiency of constructed wetlands in removing heavy metals. Treatment units operated by suburface flow system. In one of them, Fragmites Austrialis was planted and the other one was used without plant and with gravel media as a blank.

Experiments were done in two stages with industrial wastewater. At the first stage, the wastewater the was fed into the pilots which (contained copper with concentrations of 2,5,10 and 15 mg/lit and 3 days detention time. Copper removal percentage by consructed wetland and the unplanted pilot was calculated. At the second stage, effluents containing chromium with concentration of 2, 10, 20, 40 and 1n00 mg/lit were fed into the treatment units and chromium removal by constructed wetland and the unplanted pilot was studied after 1, 3, 5 and 7 days of detention.

The resulsts showed that by increasing the concentration of copper from 2 tho 15 mg/lit, copper removal efficeincy decreased from 100 to 98 percent in constructed wetlands adn from 99.4 to 93.53 percent in unplanted pilot. Also, chrominum removal at 1, 3 and 5 days of detention time showed increasing efficiency in sampling point # 1, sampling point # 2, unplanted pilot and constructed wetland which was 99.99 percent efficient at all three detention times. By increasing the detention time at those three conditions, the chromium removal efficeincy was increased.

حذف فلزات سنگین توسط نیزارهای مصنوعی

محمد منشوری* منوچهر وثوقی** کرامت‌ا... ایماندل***

سید مهدی برقعی**** احمد بادکوبی*****

چکیده

به منظور مطالعه کارایی سیستم نیزارهای مصنوعی در حذف فلزات سنگین، از واحدهای نیمه صنعتی (پایلوت) استفاده گردید. واحدهای تصفیه از نوع جریان زیر سطحی افقی (SSF) می‌باشند. در یکی از آنها گیاه نی فراگمایتیس‌استرالیس رشد داده و از دومی به عنوان شاهد و به صورت بستر شنی بدون نی استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها با فاضلاب صنعتی و در دو مرحله انجام گرفت به طوری که در مرحله اول فاضلاب ورودی به واحد تصفیه حاوی فلز مس با غلظت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر و زمان ماند ۲ روز می‌باشد. حذف مس توسط نیزار مصنوعی و شاهد مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله دوم فلز کروم (۶ ظرفیتی) با غلظت‌های ۲، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در زمان‌های ماند ۱، ۳، ۵ و ۷ روز به سیستم وارد شد و حذف کروم توسط نیزار مصنوعی و شاهد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر آن است که با افزایش غلظت مس از ۲ به ۱۵ میلی‌گرم در لیتر بازده حذف در نیزار مصنوعی از ۱۰۰ به ۹۸ درصد و در شاهد از ۹۹/۴ به ۹۳/۵۳ درصد کاهش می‌یابد. همچنین حذف کروم در زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز به ترتیب افزایش بازده را در نقطه نمونه‌برداری ۱، نقطه نمونه‌برداری ۲، شاهد و نیزار مصنوعی نشان می‌دهد به طوری که در نیزار مصنوعی ۹۹/۹۹ درصد حذف در هر سه زمان ماند دیده شده و با زیاد شدن زمان ماند در سه حالت فوق، بازده حذف کروم نیز افزایش یافت. محاسبات آماری نشان می‌دهد که تفاوت عمده‌ای در خروجی نیزار مصنوعی و شاهد در حالتی که غلظت ورودی فلز مس کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و یا فلز کروم کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، وجود ندارد ولی در نقاط مختلف نیزار مصنوعی بازده حذف دارای تفاوت معنی‌دار است.

* دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی

** مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی، دانشگاه صنعتی شریف *** واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

**** مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی، دانشگاه صنعتی شریف ***** دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

از آنجاکه وجود آلاینده‌های بیشمار از قبیل فلزات سنگین، تهدیدی برای سلامتی بشر به شمار می‌آید [۲]، امروزه یکی از مهم‌ترین مسایل زیست محیطی، تصفیه فاضلاب‌های صنعتی است. از جمله این آلاینده‌ها که در فاضلاب صنایع آبکاری، چرم‌سازی، دباغی، ریخته‌گری، عکاسی، الکترونیک، کاغذسازی، معدن، پلاستیک، تولید کود و مواد شیمیایی وجود دارند، می‌توان به فلزات سنگین نظیر سرب، مس، کروم، کادمیم، نیکل، آهن، روی، منگنز و جیوه اشاره نمود.

این فلزات به صورت محلول در آب و خاک وارد شده و باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک می‌شوند. همچنین سبب برهم زدن اکوسیستم‌هایی که به آن وارد می‌شوند می‌گردند [۵]. انسان و جانوران با مصرف سبزیجات، گیاهان و مواد غذایی آبیاری شده با چنین آب‌هایی و یا برخاسته از چنین خاک‌های آلوده‌ای و نیز مصرف جانوران و آبزیانی که در چنین آب‌هایی زندگی می‌کنند، مبتلا به انواع بیماری‌های شناخته شده و یا ناشناخته می‌گردند. بنابراین باید هر چه سریعتر نسبت به حذف چنین موادی از منابع آبی اقدام نموده تا در جهت رسیدن به توسعه پایدار بتوان گامی مثبت برداشت بدون این که زیانی به محیط زیست وارد نمود [۷، ۹ و ۱۲].

در راستای رسیدن به چنین هدفی، روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی وجود دارند. این روش‌ها برای حذف فلزات سنگین با هزینه‌های بالای سرمایه گذاری اولیه، بهره‌برداری و نگهداری، هزینه‌های بالای انرژی برای اسمزمعکوس و الکترودیالیز و تولید مقدار زیاد لجن با میزان ته‌نشینی کم در فرایند ترسیب همراه است. بنابراین استفاده از روش‌های تصفیهٔ طبیعی فاضلاب‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت [۱۰ و ۱۴].

یکی از روش‌های طبیعی در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی استفاده از تالاب‌ها یا نیزارهای مصنوعی [1] است، که با در نظر گرفتن هزینه‌های اولیه کم برای احداث و بهره‌برداری و نیز نگهداری و راهبری بسیار ساده آن به عنوان روشی اقتصادی و مقرون به صرفه در طرح‌های مهندسی مطرح بوده که در رفع آلودگی‌های زیست محیطی اثر مطلوبی را نیز داشته است [۱، ۱۱ و ۱۳]. ساز وکار مکانیزم حذف آلاینده‌ها در تالاب‌های مصنوعی مجموعه‌ای از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی است [۸].

این سیستم‌ها اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در آلمان غربی ارائه گردید. سپس تحقیقات بسیاری بر روی سیستم‌های تالابی در کشورهای مختلف انجام گرفت و هنوز ادامه دارد. نتایج حاصله از این تحقیقات نشان می‌دهد که این سیستم‌ها برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی بسیار مناسب هستند. کشورهایی نظیر دانمارک، آمریکا، استرالیا و انگلستان به تعداد فراوانی از این سیستم‌ها جهت تصفیه فاضلاب‌ها استفاده کرده‌اند [۴].

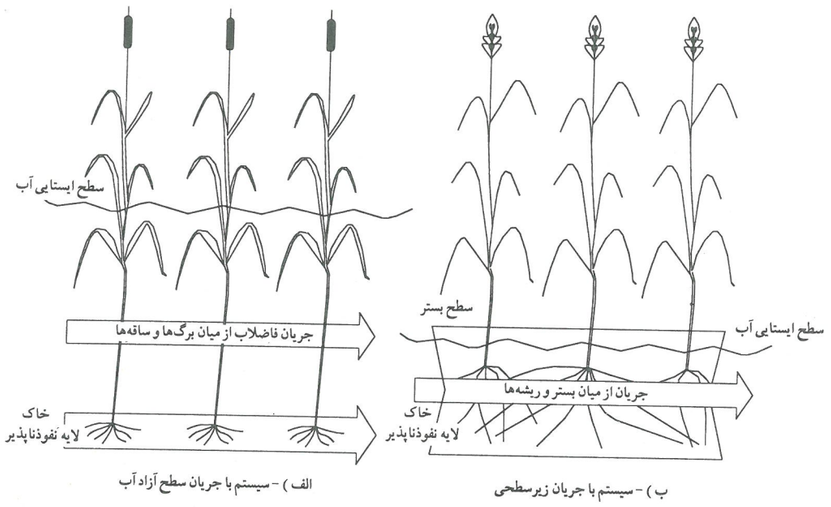
تالاب‌های مصنوعی یک شبیه‌سازی از تالاب‌های طبیعی هستند که به دلیل وجود گیاهان، بستر خاکی یا غیر خاکی و محیط مناسب برای رشد گسترده وسیعی از جانداران و ریز جانداران [2] در کاهش آلودگی‌های آب‌ها بسیار مؤثر عمل می‌کنند [۳].

تالاب‌ها اغلب برای تصفیه فاضلاب‌ها در نظر گرفته شده و به دو نوع کلی سیستم‌های با جریان سطحی آزاد آب (FWS) [3] و سیستم‌های با جریان زیر سطحی (SSF) [4] ساخته می‌شوند (شکل ۱). طبقه‌بندی فوق مربوط به تالاب‌های مصنوعی با جریان افقی (HF) [5] می‌باشد. همچنین تالاب‌های مصنوعی با جریان عمودی (VF) [6] نیز به منظور تصفیه فاضلاب‌ها ساخته می‌شوند [۴ و ۶].

مواد و روش‌ها

جهت مطالعه عملکرد سیستم نیزارهای مصنوعی در حذف فلزات سنگین اقدام به ساخت پایلوت با جریان زیرسطحی افقی گردید. به همین دلیل دو مخزن از جنس آهن گالوانیزه با پوشش داخلی اپوکسی به ابعاد ۱۷۰ سانتی‌متر طول، ۵۰ سانتی‌متر عرض و ۳۶ سانتی‌متر ارتفاع احداث شد. در

1- Constructed Wetlands
2- Organisms and Microorganisms
3- Free Water Surface Systems
4- Subsurface Flow Systems
5- Horizontal Flow Constructed Wetlands
6- Vertical Flow Constructed Wetlands



الف) - سیستم با جریان سطح آزاد آب

ب) - سیستم با جریان زیرسطحی

نمودار ۱ - تالابهای مصنوعی : (الف) سیستم با جریان سطحی آزاد آب (FWS) و (ب) سیستم با جریان زیر سطحی (SSF)

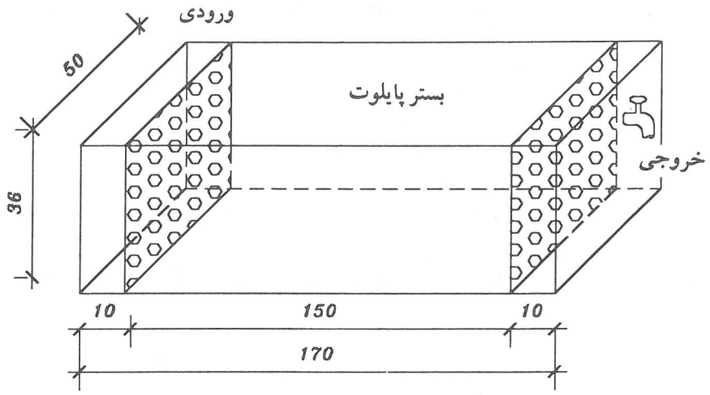
قسمت ورودی و خروجی تانک‌ها دو ناحیه ته‌نشینی ورودی و خروجی در نظر گرفته شد به طوری که این نواحی توسط دو صفحه مشبک با سوراخ‌های به قطر ۶/۲۵ میلی‌متر از بستر شنی جدا شده‌اند.

در یکی از پایلوت‌ها گیاه نی فراگمایتیس استرالیس[1] در بستر شنی کاشته شد و پایلوت دیگر بدون گیاه و فقط دارای شن به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. بسترها توسط شن شسته شده پر گردیدند، به طوری که ابتدا در کف تانک تا عمق ۳۰ سانتی‌متر از شن‌های با اندازه ۳ تا ۵ میلی‌متر و تخلخل تقریبی ۰/۳۵ استفاده گردید و پس از کاشت گیاهان در یکی از مخزن‌ها (نیزار مصنوعی) روی شن‌های قبلی با شن درشت بادامی به اندازه ۵ تا ۲۰ میلی‌متر به ارتفاع ۶ سانتی‌متر پوشانیده شد. پس از رسیدن به حالت پایدار و رشد مناسب گیاهان در پایلوت، فاضلاب صنعتی در دو مرحله به سیستم وارد گردید. به طوری که ابتدا فاضلاب حاوی مس و سپس در مرحله بعد فاضلاب حاوی کروم به هر دو مخزن نیزار مصنوعی و شاهد وارد شد. فاضلاب به طور ثقلی از طریق مخازن تغذیه به هر دو پایلوت وارد می‌گردید. تبخیر و تعرق در گیاهان در محاسبه زمان ماند واقعی نیز منظور گردید و زمان ماند در مرحله اول ۳ روز در نظر گرفته شد.

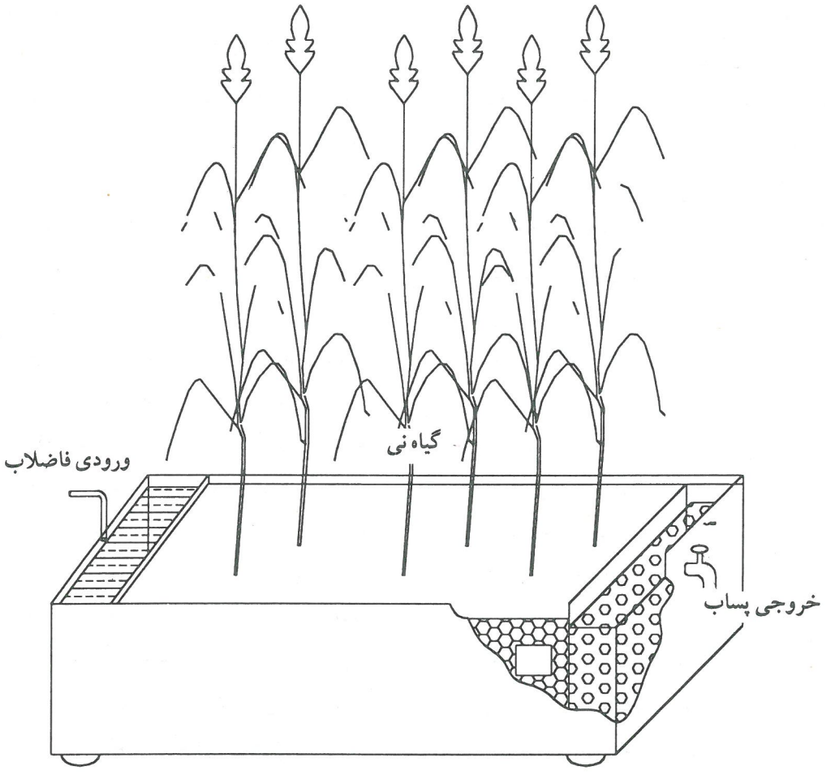
مرحله اول - ارزیابی عملکرد سیستم نیزار مصنوعی و شاهد در حذف فلز سنگین مس در غلظت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر با COD = ۵۰mg/lit ، TKN = ۱۱mg/lit و PO4- P = ۱/۲۵mg/lit انجام گردید. تعداد نمونه‌ها در هفته ۱ تا ۳ نمونه از فاضلاب ورودی و خروجی نیزار مصنوعی و شاهد بوده است.

مرحله دوم - ارزیابی عملکرد سیستم نیزار مصنوعی و شاهد در حذف فلز کروم در غلظت‌های ۲، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در زمان‌های ماند ۱، ۳، ۵ و ۷ روز با COD = ۲۰۰mg/lit انجام شد. در این مرحله، نمونه‌برداری از سه نقطه خروجی و ورودی سیستم انجام پذیرفته به طوری که دو نقطه یکی در فاصله یک سوم طول بستر به نام نقطه ۱ و دیگری به فاصله دو سوم طول بستر به نام نقطه ۲ در نیزار مصنوعی و شاهد مورد تحلیل قرار گرفت. اندازه گیری کلیه ویژگی‌ها نظیر COD، TKN و PO4 بر طبق روش‌های استاندارد [۱۵] و مس و کروم با استفاده از جذب اتمی مدل PYE UNICAM - SP 191 Atomic Absorption Spectrophotometer انجام گرفته است.

1- Phragmites Australis



الف) ابعاد و مشخصات فیزیکی پایلوت



ب) پایلوت سیستم نیزار مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی (SSF)

نمودار ۲- شمایی از پایلوت طراحی شده : الف) ابعاد و مشخصات فیزیکی پایلوت ب) پایلوت سیستم نیزار مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی (SSF)

جدول ۱ - نتایج حاصل از عملکرد سیستم نیزار مصنوعی و شاهد در حذف مس در زمان ماند ۳ روز

غلظت ورودی مس (mg/lit)	غلظت خروجی مس (mg/lit)		بازده حذف مس (درصد)	
	نیزار مصنوعی	شاهد	نیزار مصنوعی	شاهد
۲	۰	۰/۰۱۲ ± ۰/۰۱۱	۱۰۰	۹۹/۴
۵	۰/۰۱۷ ± ۰/۰۰۶	۰/۰۱/۶ ± ۰/۰۸۱	۹۹/۶۶	۹۷/۸۸
۱۰	۰/۰۶ ± ۰/۰۴	۰/۰۳۴ ± ۰/۰۱۴	۹۹/۴	۹۶/۶
۱۵	۰/۳۰ ± ۰/۱۵	۰/۹۷ ± ۰/۳۵	۹۸	۹۳/۵۳

نتایج

نتایج حاصل از عملکرد پایلوت نیزار مصنوعی و شاهد (پایلوت بدون گیاه نی) در جداول ۱ و ۲ و نمودارهای ۳ تا ۷ نشان داده شده‌اند.

همان گونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد با افزایش غلظت فلز مس از ۲ به ۱۵ میلی‌گرم در لیتر بازده حذف در نیزار مصنوعی از ۱۰۰ درصد به ۹۸ درصد و در شاهد از ۹۹/۴ درصد به ۹۳/۵۳ درصد کاهش می‌یابد و انتظار می‌رود با گذشت زمان به دلیل تجمع فلز مس در ریشه‌ها و ریزوم‌های گیاه نی و نیز با افزایش بار ورودی مس به سیستم، از ظرفیت پذیرش و حذف آن توسط گیاه کاسته شود.

نمودار ۳ تغییرات غلظت مس خروجی از نیزار مصنوعی و شاهد را در زمان ماند ۳ روز و با چهار غلظت متفاوت ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌گردد، روند تغییرات غلظت مس خروجی از نیزار مصنوعی و در هر چهار حالت ، نشان می‌دهد که درصد اصلی از مقدار مس ورودی حذف شده است. به طوری که با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر درصد حذف برابر ۱۰۰ درصد بوده و در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر و زمان ماندهای مختلف، متوسط درصد حذف به حدود ۹۷ درصد نیز می‌رسد که این نشان دهنده توانایی بسیار خوب سیستم نیزار مصنوعی در حذف مس است.

با توجه به نتایج جدول ۲ چنین استنباط می‌شود که بازده حذف کروم با غلظت ورودی ۲ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تابع زمان ماند نبوده و در زمان‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ روز یکسان و بالاتر از ۹۹/۹ درصد است. ولی با افزایش غلظت کروم (بین ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، زمان ماند به طور محسوسی روی بازده مؤثر بوده و نسبتاً کاهش می‌یابد، به طوری که در بعضی از غلظت‌ها به حدود ۹۸ درصد نیز می‌رسد.

نمودار ۴ تغییرات غلظت کروم خروجی را در نیزار مصنوعی و شاهد در زمان‌های ماند مختلف و غلظت‌های متفاوت کروم ورودی نشان می‌دهد. در نمودار (۴-الف) در زمان ماند ۱ روز و قبل از روز سوم نمونه‌برداری غلظت کروم خروجی در نیزار مصنوعی بالاتر از شاهد است. به این ترتیب می‌توان توجیه کرد که کروم در مرحله اول از طریق جذب فیزیکی حذف می‌گردد و با توجه به وجود ریشه‌ها ممکن است میزان تخلخل در سیستم نیزار مصنوعی با شاهد متفاوت باشد (در بعضی از مواقع تخلخل بیشتر است). به این ترتیب جذب فیزیکی در سیستم شاهد بالاتر می‌رود. در صورتی که بعد از روز سوم نمونه‌برداری به دلیل اثر جذب کروم توسط ریشه‌ها و یا توسط ریز جاندارها درصد حذف در سیستم نیزار مصنوعی بیشتر از شاهد می‌باشد.

در زمان ماند ۳ روز (نمودار ۴- ب) روند حذف کاملاً طبیعی است و همیشه در سیستم نیزار مصنوعی درصد حذف بالاتر از شاهد است. در نمودار (۴- ج) ملاحظه می‌شود که بیشترین مقدار حذف کروم در طول بستر در نقطه نمونه‌برداری ۲ (فاصله دو سوم اولیه طول بستر) انجام گرفته است که با مقدار خروجی نهایی از نیزار مصنوعی تفاوت چندانی ندارد. لذا به نظر می‌رسد که بخشی از طول بستر به منظور حذف این مقدار کروم ورودی تا حدودی ضروری نیست.

در نمودار ۵ نیز چنین ملاحظه می‌گردد که در زمان‌های

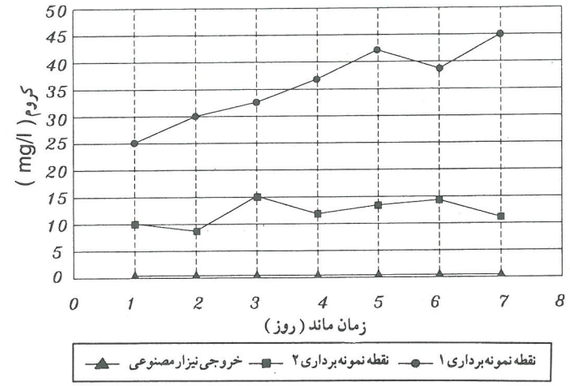
جدول ۲ - نتایج حاصل از عملکرد سیستم نیزار مصنوعی و شاهد در حذف کروم با غلظت‌ها و زمان‌های ماند متفاوت

زمان ماند (روز)			۱	۳	۵	۷
غلظت Cr ورودی ۲mg/lit	بار جرمی ورودی ($gr/m^2.d$)		۰/۲۶	۰/۱۵۳	۰/۰۹۴	۰/۰۵۲
	بار جرمی خروجی ($gr/m^2.d$)		-	-	-	-
	بازده حذف (%)		>۹۹/۹۹	۹۹/۹۹	<۹۹/۹۹	>۹۹/۹۹
غلظت Cr ورودی ۱mg/lit	بار جرمی ورودی ($gr/m^2.d$)		۰/۹۵	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۱۵
	بار جرمی خروجی ($gr/m^2.d$)		-	-	-	-
	بازده حذف (%)		>۹۹/۹۹	>۹۹/۹۹	۹۹/۹۹	>۹۹/۹۹
غلظت Cr ورودی ۲mg/lit	بار جرمی ورودی ($gr/m^2.d$)		۲/۱	۰/۹۸۲	۰/۵۴	-
	بار جرمی خروجی ($gr/m^2.d$)	ن	۰/۰۳ ± ۰/۰۵	-	-	-
		ش	۰/۱۴۵ ± ۰/۰۲	-	-	-
	بازده حذف (%)	ن	>۹۸/۵۳	۹۹/۹۹	<۹۹/۹۹	-
		ش	>۹۸/۵۲	۹۹/۹۹	<۹۹/۹۹	-
غلظت Cr ورودی ۴mg/lit	بار جرمی ورودی ($gr/m^2.d$)		۵/۱	۳/۴۲	۱/۵	-
	بار جرمی خروجی ($gr/m^2.d$)	ن	۰/۰۱۹ ± ۰/۰۳	-	-	-
		ش	۰/۰۲۳ ± ۰/۰۰۴	-	-	-
	بازده حذف (%)	ن	>۹۹/۶۳	۹۹/۹۹	<۹۹/۹۹	-
		ش	>۹۸/۵۴	۹۹/۹۹	<۹۹/۹۹	-
غلظت Cr ورودی ۱۰۰mg/lit	بار جرمی ورودی ($gr/m^2.d$)		۱/	۳/۵	۲/۷	-
	بار جرمی خروجی ($gr/m^2.d$)	ن	۰/۰۱۲ ± ۰/۰۰۵	۰/۰۸ ± ۰/۰۰۳	۰/۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۵	-
		ش	۰/۰۲۷ ± ۰/۰۰۶۵	۰/۰۱۹ ± ۰/۰۰۴۵	۰/۰۳ ± ۰/۰۰۰۶	-
	بازده حذف (%)	ن	>۹۹/۸۸	۹۹/۷۶	<۹۹/۹۸	-
		ش	>۹۸/۷۳	>۹۹/۴۷	۹۹/۸۷	-

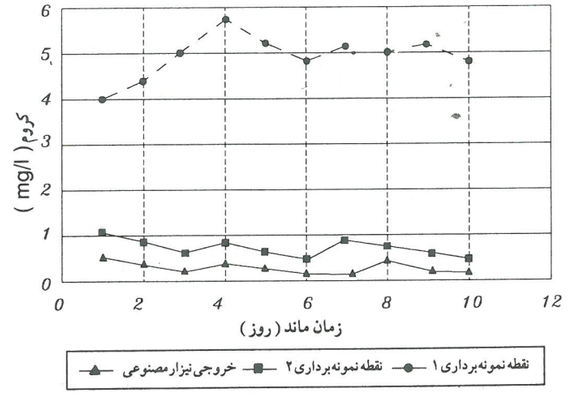
ن = نیزار مصنوعی ش = شاهد

شکل ۳- تغییرات غلظت مس خروجی از نیزار مصنوعی و شاهد در زمان ماند ۳ روز
الف) غلظت مس ورودی ۲mg/L
ب) غلظت مس ورودی ۵mg/L
ج) غلظت مس ورودی ۱۰mg/L
د) غلظت مس ورودی ۱۵mg/L

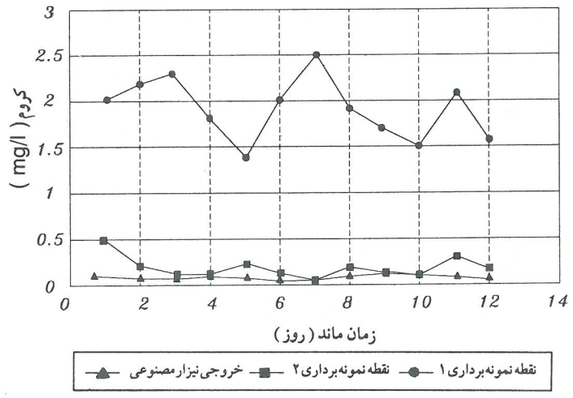
شکل ۴- تغییرات غلظت کروم خروجی
الف) از نیزار مصنوعی و شاهد در زمان ماند ۱ روز با غلظت کروم ورودی ۲۰mg/L
ب) از نقاط نمونه‌برداری ۱ و ۲ در زمان ماند ۳ روز با غلظت کروم ورودی ۴۰mg/L
ج) از نیزار مصنوعی و نقاط نمونه‌برداری ۱ و ۲ در زمان ماند ۱ روز با غلظت کروم ورودی ۴۰mg/L



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵- تغییرات غلظت کروم خروجی از نیزار مصنوعی و نقاط نمونه‌برداری ۱ و ۲ با غلظت کروم ورودی ۱۰۰mg/L

الف) در زمان ماند ۱ روز ب) در زمان ماند ۳ روز در زمان ماند ۵ روز

ماند مختلف بخش اعظم کروم ورودی به سیستم نیزار مصنوعی در نقطه نمونه‌برداری ۲ حذف می‌گردد.

با توجه به نمودار ۶ حذف فلز مس در زمان‌های ماند ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ روز به ترتیب کاهش بازده را در زمان‌های ماند بیشتر نشان می‌دهد و کاهش بازده در نیزار مصنوعی تغییرات کمتری را نسبت به شاهد دارد.

همچنین با ملاحظه نمودار ۷ افزایش بازده حذف کروم در زمان ماند ۵ روز برای خروجی نیزار مصنوعی و خروجی شاهد بیشتر از بقیه است و برای نقطه نمونه‌برداری ۲ بازده حذف کروم در زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز به ترتیب افزایش یافته است. در ضمن برای نقطه نمونه‌برداری ۱ بازده حذف کروم در زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز به ترتیب، افزایش بازده را نشان می‌دهد.

این مقایسه نشان می‌دهد که تغییرات بازده حذف کروم در زمان ماند ۱ روز بیشترین و در زمان ماند ۵ روز کمترین مقدار می‌باشد.

جداول ۳ و ۴ تجمع فلزات سنگین مس و کروم را به طور مجزا در گیاهان نی (ریشه‌ها، ریزوم‌ها، ساقه و برگ‌ها) و بستر شنی نیزار مصنوعی و شاهد بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در نقاط مختلف بستر نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه گیری

به منظور بررسی بازده تصفیه فاضلاب‌های صنعتی توسط سیستم نیزارهای مصنوعی مقایسه‌ای بین این سیستم و سیستم شاهد (بستر شنی بدون گیاه) انجام گرفت. آزمایش‌ها در چندین حالت برای مطالعه حذف فلزات سنگین مس و کروم ۶ ظرفیتی با غلظت‌ها و زمان‌های ماند مختلف انجام شد.

بر اساس نتایج حاصله، بازده حذف مس در نیزار مصنوعی بیشتر از شاهد است به طوری که با غلظت مس ورودی ۲ میلی‌گرم در لیتر بازده حذف مس توسط نیزار تقریباً ۱۰۰درصد بوده و تمام مس وارده یا توسط گیاه نی و اندام‌های زیرزمینی آن جذب شده و یا در بستر شنی ذخیره گردیده است و بنابراین در خروجی نیزار مصنوعی، مس مشاهده نگردیده است.

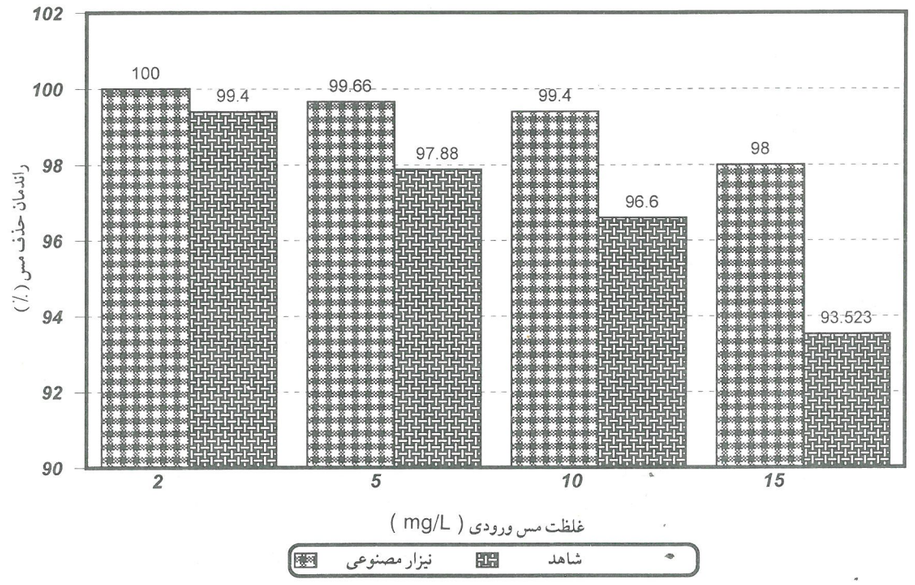
درصد حذف مس توسط شاهد ۹۹/۴ درصد بوده است. با افزایش مقدار مس ورودی، اختلاف درصد حذف بین

جدول ۳- تجمع فلز سنگین مس در گیاهان نی و بستر شنی نیزار مصنوعی و شاهد بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در نقاط مختلف بستر

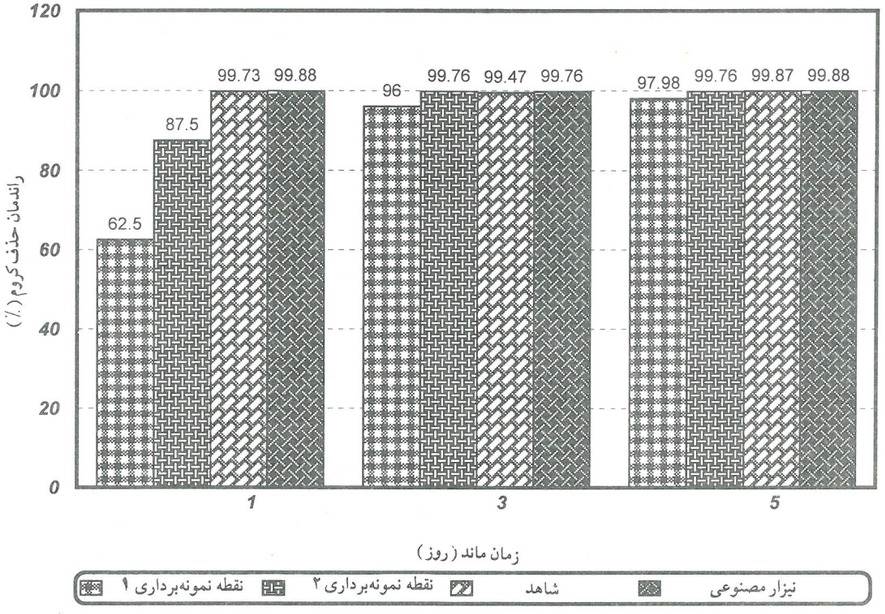
محل نمونه‌برداری	بستر شنی نیزار مصنوعی	بستر شنی شاهد	ریشه‌ها و ریزوم‌ها	ساقه‌ها و برگها
بالادست	۳۸/۸	۴۶/۱	۳۰۱۱/۴	۳۳۴/۴
وسط	۲۱/۳۶	۲۸/۸	۱۸۴۰/۳	۲۵۰/۹۵
پایین‌دست	۳/۸۸	۱۱/۵	۶۸۵/۹۳	۱۵۰/۷۵

جدول ۴- تجمع فلز سنگین کروم در گیاهان نی و بستر شنی نیزار مصنوعی و شاهد بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در نقاط مختلف بستر

محل نمونه‌برداری	بستر شنی نیزار مصنوعی	بستر شنی شاهد	ریشه‌ها و ریزوم‌ها	ساقه‌ها	برگها
بالادست	۱۵۶/۸	۳۹۲/۲	۲۳۱	۱۵	۱۸
وسط	۳۲/۶	۹۹/۶	۸۳	۸/۴	۷/۸
پایین‌دست	۲۶/۲	۳۵/۲	۶۳/۴	۸/۸۵	۵/۵۵



شکل ۶- بازده متوسط حذف مس در غلظت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ mg/L در نیزار مصنوعی و شاهد



شکل ۷- مقایسه درصد متوسط حذف کروم در نیزار مصنوعی ، شاهد و نقاط نمونه‌برداری ۱ و ۲ در زمان‌های ماند مختلف با غلظت کروم ورودی ۱۰۰mg/L

سیستم نیزار مصنوعی و شاهد بیشتر بوده است به طوری که با غلظت مس ورودی ۱۵ میلی‌گرم در لیتر، بازده حذف توسط نیزار مصنوعی ۹۸ درصد و توسط شاهد، ۹۳/۵۳ درصد نشان داده شده است که علت این امر به دلیل وجود گیاه نی و اندام‌های جذب کننده مس نظیر ریشه‌ها و ریزوم‌ها است که این مسئله با تجزیه شیمیایی این اندام‌ها معلوم گردید (جدول ۳).

همچنین این مطالعات نشان می‌دهد که در زمان ماند ۱ روز بازده حذف کروم توسط نقطه نمونه‌برداری ۱، ۶۲/۵ درصد است که نسبت به زمان‌های ماند ۳ و ۵ روز که به ترتیب ۹۶ و ۹۷/۹۸درصد را نشان می‌دهد، بازده کمتری می‌باشد. ضمناً در نقطه نمونه‌برداری ۲ در زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز به ترتیب ۸۷/۵ ، ۹۹/۷۶ و ۹۹/۷۶ درصد بازده حذف کروم ملاحظه می‌شود و بالاخره در خروجی نیزار مصنوعی و شاهد در هر سه زمان ماند، بازده حذف کروم بیشتر از ۹۹/۷۳ درصد است که این مطالب بیانگر آن است که زمان‌های ماند طولانی‌تر عملکرد بهتری را از سیستم نیزارهای مصنوعی در حذف فلزکروم نسبت به شاهد نشان می‌دهد. با توجه به جداول ۳ و ۴ ملاحظه می‌شود که قسمت زیادی از فلزات مس وکروم حذف شده از فاضلاب صنعتی در بستر شنی ذخیره می‌گردد که به دلیل فرایندهای بیوشیمیایی، ترسیب و جذب سطحی است. در زمان‌های ماند طولانی‌تر عملکرد سیستم نیزار مصنوعی در حذف کروم بهتر است زیراگیاه نی تطابق بیشتری با محیط حاصل نموده و به حالت پایداری بیشتری رسیده است و ضمناً ریشه‌ها و ریزوم‌ها در تمامی نقاط بستر پخش شده‌اند. بستر شنی بدون گیاه نیز در حذف کروم بسیار مؤثر عمل می‌کند که این امر به دلیل فرایندهای بیوشیمیایی، ترسیب و جذب سطحی است.

همچنین جهت به دست آوردن بهترین سطوح فاکتور فرعی و اصلی با به دست آوردن LSD و همچنین مقایسه میانگین‌های فاکتور فرعی و اصلی با غلظت‌های متفاوت مس در دو سیستم نیزار مصنوعی و شاهد در سطح ۵ درصد و ۱درصد، چنین نتیجه گیری میشود که چنانچه غلظت مس ورودی به نیزار مصنوعی بین ۲ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، از نظر آماری تفاوت عمده‌ای در خروجی نیزار مصنوعی و شاهد وجود ندارد و این تفاوت ظاهری است ولی چنانچه این غلظت افزایش پیدا کند (در این آزمایش‌ها تا غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر) تفاوت معنی‌دار خواهد بود. لذا بر طبق نتایج آماری کمترین تفاوت در غلظت خروجی نیزار مصنوعی و شاهد در حالتی است که غلظت ورودی مس ۲ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین تفاوت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر است. همچنین محاسبات آماری نشان می‌دهد که بازده حذف کروم در سیستم نیزار مصنوعی در حالتی که نمونه‌برداری از نقاط ۲ (فاصله دو سوم اولیه طول بستر) و خروجی از نیزار مصنوعی انجام شده است تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و این تفاوت ظاهری احتمالاً به دلیل دقت در اندازه گیری است. ولی تفاوت بازده بین این دو نقطه و نقطه ۱ (فاصله یک سوم اولیه طول بستر) کاملاً معنی دار است. بدین ترتیب که کمترین غلظت کروم در خروجی و بیشترین مقدار آن در نقطه ۱ است. بنابراین چنین نتیجه گیری می‌شود که از نظر آماری سیستم تصفیه نیزار مصنوعی قابلیت حذف کروم را تا غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارا می‌باشد.

منابع و مراجع

۱- ابریشم‌چی، ا. (۱۳۷۳)، "سیستم‌های آبی تصفیه فاضلاب"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۱۲.

۲- وثوقی، م. و عبادیان، ب. (۱۳۷۷)، "استفاده از تالاب‌های مصنوعی در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی"، مجله آب و محیط زیست، شماره ۲۷.

3- Bavor, H.J. and Mitchell, D.S. (1994). " *Wetland Systems in Water Pollution Control* ", Pergamon Press, New York.

4- Brown, D.S. (1994). " *Constructed Wetland in the U.S.A* ", Water Quality International, IAWQ, No. 4.

5- Eger, P. (1994). " *Wetland Treatment for Trace Metal Removal from Mine Drainage : the Importance of Aerobic and Anaerobic* ", Water Sci. and Tech., Vol. 29, No. 4.

6- Farahbakhsh, N. and Morrison, M. (1997). " *Surface Macrophyte Systems in Wastewater Treatment* ", Goteberg Univ., Sweden.

7- Hammer, D.A. and Batian, R.K. (1989). " *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment - Municipal, Industrial and Agricultural* ", Lewis Pub.

8- Kadlec, R.H. and Knight, R.L. (1996). " *Treatment Wetlands* ", Boca Roton, Fl., CRC Press Inc., Lewis Pub.

9- Metcalf and Eddy Inc. (1991). " *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal & Reuse* ", 3rd. ed., McGraw - Hill, New York.

10- Polprasert, C., Dan, N.P. and Kumaran, T. (1996). " *Application of Constructed Wetlands to Treat Some Toxic Wastewater Under Tropical Conditions* ", Wat. Sci. and Tech., Vol. 34, No. 11.

11- Reed, S., Patren, S., Matzen, G. and Pohren, R. (1996). " *Water Reuse for Sludge Management and Wetland Habitat* ", Wat. Sci. and Tech., Vol. 33, No. 10-11.

12- Rowe, D.R. and Isam, M.A. (1995). " *Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse* ", CRC Press Inc., New York.

13- Sauter, G. and Leonard, K. (1995). " *Natural, Home Remedy : Constructed Wetlands Enhance Residential Treatment* ", Wat. Envir. and Tech.

14- Tam, N.F. and Wong, Y.S. (1994). " *Nutrient and Heavy Metal Retention in Mangrove Sediment Receiving Wastewater* ", Wat. Sci. and Tech., Vol. 29, No. 4.

15- A.P.H.A. (1992). " *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ", 18th. ed., Washington, D.C.