

بررسی میزان جذب عناصر کادمیم، روی، مس، نیکل، آهن و سرب موجود در پساب بیمارستانی به روش گیاه پالایی توسط گیاه وتیور

علی دیندارلو^۱، محمد هدایت^۲، اسماء حسینی^۳

۱- مربی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر، ایران
(نویسنده مسئول) ۰۹۱۷۹۲۸۴۴۷۳ adindarlou@gmail.com

۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر، ایران

۳- کارشناس ارشد، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر، ایران

(دریافت ۹۳/۹/۳ پذیرش ۹۳/۹/۱۱)

چکیده

فاضلاب بیمارستانی یکی از انواع فاضلاب‌های شهری است که با توجه به منبع تولید آن ممکن است حاوی عوامل پاتوژن و میکروارگانیسم‌ها، انواع عوامل بیماری‌زای روده‌ای، باکتری‌یابی، ویروسی، عوامل انگلی و مواد سمی موجود در شیرابه پساب‌های بیمارستانی از جمله فلزات سنگین باشند. در این پژوهش میزان جذب عناصر کادمیم، روی، مس، نیکل، آهن و سرب موجود در پساب بیمارستانی به روش گیاه پالایی، با استفاده از گیاه وتیور بررسی شد. به این منظور گیاه وتیور بر اساس طرح کاملاً تصادفی، در قالب ۸ تیمار و ۴ تکرار کشت و با ترکیب‌های مختلفی از آب معمولی و پساب بیمارستانی، به مدت ۷۵ روز آبیاری شد. مطابق نتایج به دست آمده، بیشترین تجمع عناصر سرب، مس، روی، آهن، نیکل به ترتیب به میزان ۹/۲۴۴، ۲/۳۱۳، ۲/۳۱۸۸، ۲۶۲۵/۳ و ۲۷/۶۳۸ در قسمت ریشه گیاه و عنصر کادمیم به میزان ۳/۴۵ میکروگرم در گرم ماده خشک در خاکی که گیاه در آن کاشته شده بود، رخ داد و مقادیر خیلی کمی از عناصر سنگین در قسمت شاخ و برگ گیاه وتیور تجمع یافت. تجمع بیشتر فلزات مس، سرب، نیکل و روی در ریشه نسبت به اندام هوایی نشان‌دهنده مکانیسم تحمل گیاه در غلظت‌های بالای فلزات در خاک است. به طور کلی استفاده از گیاه وتیور به عنوان گزینه مؤثر در کاهش آلودگی پساب‌های بیمارستانی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب، پساب بیمارستانی، گیاه پالایی، فلزات سنگین، وتیور

۱- مقدمه

شده و در خاک دفع می‌شود. این پساب شامل عناصر سنگین از جمله کادمیم، سرب، روی، مس، آهن، نیکل، منیزیم و میکرب‌ها و غیره است. ورود این عوامل به درون خاک، برخی خطرات بهداشتی را به همراه دارد. این عناصر به طور طبیعی در خاک موجود هستند اما اگر مقدار آنها از حد مجاز بیشتر شود، باعث بروز برخی خطرات بهداشتی خواهد شد.

کادمیم ناشی از زائدات صنعتی یا فضولات معدنی که از آلوده کننده‌های اصلی آب هستند، می‌تواند باعث فشار خون بالا، تخریب کلیه، تخریب بافت‌های بیضه و تخریب گلبول‌های قرمز خون شود. همچنین مسمومیت با سرب اختلال جدی در عملکرد کلیه‌ها، دستگاه‌های تناسلی، مغز و سلسله اعصاب مرکزی ایجاد می‌کند و در نهایت باعث مرگ فرد می‌شود [۲]. مسمومیت ناشی از وجود سرب در محیط زیست، برخی از کودکان را به عقب‌ماندگی ذهنی و بروز بیماری آنمی دچار کرده است.

با رشد روزافزون جمعیت و افزایش مصرف آب در جوامع به‌طور همزمان، میزان تولید فاضلاب نیز افزایش می‌یابد که می‌تواند خطر بزرگی برای محیط زیست باشد. در این میان یکی از انواع فاضلاب‌ها که برای محیط زیست خطرات بسیاری دارد و به دلیل کیفیت، در دسته مواد زائد خطرناک تقسیم‌بندی شده است، فاضلاب بیمارستانی است [۱]. از مهم‌ترین و اساسی‌ترین تهدیدات بهداشتی، جاری شدن این پساب‌ها به درون خاک و آب‌های زیرزمینی است که در دراز مدت می‌تواند اثرات جبران‌ناپذیری را برای این منطقه به وجود آورد. بیمارستان مهر برازجان روزانه در حدود ۴۰۰۰ لیتر فاضلاب از فعالیت‌های مختلف بیمارستان تولید می‌کند که به صورت ثقیلی از قسمت‌های مختلف جمع‌آوری و به تصفیه‌خانه‌ای که در محوطه بیمارستان است، منتقل می‌شود و پس از آشغال‌گیری وارد محوطه هواده می‌شود. پس از تصفیه مقدماتی و کلرزنی به درون چاه‌های تعبیه شده در محوطه، منتقل

دو عنصر از عناصر کمیاب مهم در بدن روی و مس است [۲]. تحقیقات نشان داده که روی در فرایند تشکیل لخته با پلاکت‌ها تداخل می‌دهد، در عمل هورمون‌های تیروئیدی مؤثر است و برای تولید شکل فعال ویتامین A در رنگدانه‌های بینایی نیز ضروری است [۲]. مس و روی جزء ترکیبی نزدیک به ۳۰۰ آنزیم می‌باشند [۳]. ون ارپ و ون لون در سال ۱۹۹۱ پس از ۱۴ سال بررسی روی خاک‌های تیمار شده با لجن نتیجه گرفتند که غلظت کادمیم و روی در زهاب در طول زمان کاهش می‌یابد، در حالی که غلظت‌های مس و سرب افزایش یافتند. این امر به دلیل این واقعیت است که سرب و مس با مواد آلی پیوند قوی تشکیل می‌دهند و به خاطر سرعت کم تجزیه مواد آلی به کندی آزاد می‌شوند [۴]. کادمیم و روی با مواد آلی پیوند ضعیف‌تری تشکیل می‌دهند و بنابراین تحت تأثیر تجزیه لجن قرار نمی‌گیرند که این مسئله می‌تواند خطرات ناشی از این عناصر را بیشتر بروز دهد [۴]. نتیجه یک تحقیق در سال ۱۹۹۱ در رابطه با زیادتی مس در بدن، نشان داد که در بیماران دارای گرفتگی شدید عروق کرونر، میزان مس موجود در سرم نسبت به گروه نرمال بر اساس میکرومول بر لیتر افزایش داشته است [۴]. در ارتباط با غلظت مس و روی و سرب پلاسما در بیماران آترواسکلروز تحقیقی صورت گرفته و بیان شد که نسبت روی به مس در این بیماران نسبت به گروه نرمال بسیار بالاتر است [۵]. مصرف بالای نیکل، خطر ابتلا به سرطان ریه، سرطان بینی، سرطان حنجره و سرطان پروستات را افزایش می‌دهد. مشکلات تنفسی، افزایش حساسیت‌های پوستی، افزایش بروز ناهنجاری و سقط جنین در انسان و حیوانات نیز از دیگر عوارض مصرف بالای نیکل است [۶]. از اثرات آهن بر سلامتی انسان می‌توان به ورم ملتحمه، مشکلاتی در مشیمیه و آماس شبکیه، مشکلات معده و ریوی خوش خیم^۱ اشاره نمود [۶]. نتایج بررسی‌های مذکور، عوارض ناشی از وجود عناصر سنگین بیشتر از حد مجاز و خطرات بهداشتی و بروز بیماری‌های خطرناکی در انسان را تأیید می‌کند. از این‌رو راه‌های ورود آن به بدن و همچنین پاکسازی آنها از محیط اطراف باید بررسی شود.

در چند دهه اخیر روش‌هایی به این منظور ارائه شده است که به سه دسته شیمیایی، غشایی و بیولوژیکی تقسیم می‌شوند: روش‌های شیمیایی شامل استفاده از آهنک، سنگ آهنک، نمک‌های باریم، روش ترکیبی آهنک و سولفات آلومینیوم می‌باشند. روش‌های غشایی و یونی شامل استفاده از اسمز معکوس، غشاهای الکترودیالیزی و تبادل یونی هستند [۷]. روش‌های بیولوژیکی

^۱ Siderosis

شامل استفاده از انواع بیوراکتورها، تالاب‌های مصنوعی، روش ترکیبی آهنک و تصفیه خاک و دیواره‌های نفوذپذیر زیرزمینی می‌باشند. مشکلاتی نظیر گران بودن مواد اولیه، گرفتگی و عمر کوتاه غشاها و عدم کاربری در روش‌های شیمیایی، غشایی و یونی منجر به کاربرد روش‌های بیولوژیکی به دلیل سازگاری با محیط زیست، امکان بازیافت برخی مواد در صنعت، عدم تولید لجن فراوان و غیره در چند دهه اخیر شده است [۷]. روش جدیدتری بنام MBR^۲ نیز در جهت تصفیه فاضلاب بیمارستانی به کار گرفته شده که قادر به حذف درصد بالایی از فاکتورهای موجود در فاضلاب‌های بیمارستانی از جمله COD، TSS و BOD و همچنین میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا هستند [۸]. امروزه روش‌هایی برای حذف و به دام انداختن فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به استفاده از گیاهان سبز (شامل گونه‌های علفی و چوبی) که این قابلیت را دارند، اشاره نمود. به این روش که در آن از گیاهان به منظور تمیز کردن یا کنترل گونه‌های آلوده به فلزات، حشره‌کش‌ها، روغن‌ها و غیره استفاده می‌شود، روش گیاه‌پالایی گفته می‌شود [۹]. حذف فلزات سنگین با استفاده از روش گیاه‌پالایی، از جمله فناوری در استخراج، سمیت‌زدایی، تثبیت و یا به دام انداختن آلاینده‌هاست. به‌طور طبیعی گیاهانی وجود دارند که عناصر خاص را در خود متمرکز می‌سازند. این گیاهان در شرایط آلوده می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند [۱۰]. تعداد این گیاهان محدود است؛ که از آن جمله می‌توان به گیاه وتیور^۳ اشاره نمود. استفاده از این گیاه به‌عنوان سیستم وتیور^۴ شناخته می‌شود. در پژوهشی در نیجریه، برای دفع سموم حاصل از پساب بیمارستانی به کمک گیاه وتیور یا نیگریتان^۵ که در آن پساب بیمارستانی با آب معمولی به نسبت‌های ۱:۳، ۱:۱، ۱:۰، ۴:۰ و ۰:۴ مخلوط شدند، نشان داد که نسبت اختلاط ۳:۱ بهترین پیشنهاد برای اوایل دوره رشد گیاه خواهد بود [۱۱].

با بررسی تعدادی از پارامترهای شیمیایی و غلظت فلزات سنگین در آب و خاک و گیاه تالاب گاوخونی در سال ۱۳۸۵ مشخص شد که میانگین غلظت فلزات Cd, Pb, Ni, Mn, Cu, Zn و Cr در آب تالاب به ترتیب برابر ۰/۷۳، ۰/۰۵۴، ۰/۰۷۶، ۰/۰۵۸، ۰/۴۸، ۱/۱۴ و ۰/۰۷۵ میلی‌گرم در لیتر است که این مقادیر از حدود استاندارد مربوط به آب آشامیدنی و آب مناسب برای کشاورزی و استانداردهای خاک و گیاه بیشتر است [۱۱].

^۲ Membrane Bioreactor (MBR)

^۳ Vetiveria Zizanioides (L.) Nash

^۴ Vetiver System

^۵ Vetiveria Nigritana

بررسی اثر ژئولیت طبیعی بر جذب سرب و کادمیم موجود در لجن فاضلاب توسط ذرت مشاهده شد که کاربرد لجن موجب افزایش معنی دار (در سطح ۱ درصد) غلظت سرب و کادمیم در ریشه ذرت می شود. همچنین کاربرد ژئولیت موجب کاهش معنی دار (در سطح ۱ درصد) غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه ذرت و افزایش معنی دار pH خاک می شود [۱۲].

در یک بررسی از خاک اره، پوسته فندق و پوسته بادام در جذب نیکل موجود در خاک استفاده شده و نتایج حاکی از آن بود که به ترتیب پوسته فندق، خاک اره و پوسته بادام بیشترین مقدار نیکل را جذب نموده اند [۱۳]. پاکسازی خاک و آبی که به کادمیم، سرب، روی، نیکل، مس و دیگر عناصر سنگین آلوده است، بسیار دشوار است. طرح های تحقیق و توسعه در سال های گذشته به روشنی ثابت کرده است که سیستم و تیور به دلیل دارا بودن ویژگی های فوق العاده، به عنوان یک روش مهندسی زیستی برای تثبیت دامنه های شیب دار، دفن فاضلاب، گیاه پالایی زمین ها و آب های آلوده و سایر اهداف حفاظتی محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته است.

جذب فلزات سنگین توسط گیاه به صورت تابعی خطی از شدت افزایش فلز در خاک صورت می گیرد. این میزان افزایش تا یک حد بیشینه رسیده و پس از آن ثابت می شود. این اثر می تواند تابع فیزیولوژی گیاه باشد [۱۴]. در شرایط آزمایشگاهی، گیاه تیور توانایی جذب ۹۸ درصد سرب از کل سرب موجود در خاک، ۵۴ درصد مس، ۴۱ درصد روی و ۸۸ درصد کادمیم را دارد و بهترین گزینه برای گیاه پالایی خواهد بود [۱۴]. در شرایط مزرعه ای جذب عناصر توسط گیاه و تیور، مشاهده شد که ریشه این گیاه محل تجمع مقادیر زیادی از عناصر سنگین است [۱۵]. نتایج بررسی میزان جذب تتراسایکلین توسط گیاه و تیور کشت شده در حالت هیدروپونیک نشان داد که تقریباً تمام تتراسایکلین در ۴۰ روز اول توسط گیاه و تیور جذب و تجمع آن در ریشه و برگ های گیاه خواهد بود [۱۶]. تجمع عناصر سنگین در گیاهان در سطح خانواده های مختلف گیاهی متفاوت است. به عنوان مثال *براسیکا سیسه*^۱ و *فاباسه*^۲ به ترتیب خانواده هایی هستند که گونه های آنها بیشترین و کمترین تجمع کادمیم را نشان می دهند [۱۷]. در شناسایی گیاهان بومی اراضی اطراف معدن سرب و روی عمارت سازند اراک به منظور استفاده در گیاه پالایی عناصر سنگین، با جداسازی باکتری های خاک از محیط ریزوسفر و خاک های آلوده به فلزات سنگین، هفت جدایه مقاوم به فلزات سنگین شناسایی و گزارش شد که می توان از زادمایه آنها برای آزمایش های گیاه پالایی استفاده نمود [۱۸]. باهمت و همکاران

در سال ۲۰۱۳ از روش الکتروسینتیک برای اصلاح خاک های آلوده به عناصر سنگین روی، سرب، نیکل و کادمیم استفاده نمودند و نشان دادند که بیشترین جذب در نزدیکی کاتد که فلزات سنگین تجمع یافته بودند، اتفاق افتاد. عدم کنترل pH و روند افزایشی آن از آند به کاتد، بیشترین تأثیر منفی را در این زمینه داشت [۱۹]. برای بررسی و ارزیابی عملکرد گیاهان بامبو و پامپاس گراس در جهت حذف سولفات موجود در پساب خروجی از طریق کشت هیدروپونیک، عملکرد گیاه *پامپاس گراس*^۳ نسبت به بامبو در حذف سولفات بهتر بود [۲۰]. در زمینه گیاه پالایی مدل هایی ارائه شده است. در بیان چگونگی رشد ریشه و گیاه پالایی آن در قالب یک مدل نشان داده شده است که بیشترین میزان حذف آلاینده ها در لایه های نزدیک به ریشه و کمترین میزان پاکسازی توسط توده خاک انجام می گیرد. همچنین در مورد گیاهان یکساله دیده شده است که در لایه های آخر از سطح ریشه، عملاً تأثیر زیادی در پاکسازی ندارند و شبیه به توده خاک عمل می کنند [۲۱]. در این پژوهش امکان جذب و حذف عناصر سنگین کادمیم، روی، مس، نیکل، آهن و سرب موجود در پساب بیمارستانی تصفیه خانه فاضلاب بیمارستان مهر در شهر برازجان به کمک روش گیاه پالایی مورد توجه قرار گرفت.

۲- مواد و روش ها

استان بوشهر در قسمت جنوب غربی تا جنوبی کشور واقع شده است و با توجه به شرایط خاص اقلیمی و آب و هوایی و به علت هم جوارگی با خلیج فارس، دارای شرایط اقلیمی نیمه خشک، گرم و مرطوب است و با توجه به شرایط اقلیمی، معمولاً امکان کشت از اوایل آبان تا اواسط اردیبهشت خواهد بود. گیاه تیور از خانواده گندمیان^۴ با نام علمی *تیوریا زیزانوئیدز* ال^۵ است و دارای سیستم ریشه حجیم با ساختارهای ظریف است که می تواند به سرعت رشد کند و در بعضی از اوقات، عمق ریشه آن در سال اول کشت به ۳ تا ۴ متر می رسد. این سیستم ریشه ای عمیق می تواند باعث مقاومت فوق العاده گیاه به خشکی شده و با جریانات قوی آب و باد به سختی کنده شود. مکان انجام آزمایش در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه خلیج فارس بوشهر واقع در ۱۰ کیلومتری برازجان بود. در سال ۱۳۹۲، گیاه در گلدان هایی (به قطر ۵۰ و ارتفاع ۸۰ سانتی متر) در فضای آزاد و زیر سایبان (به دلیل گرمای زیاد و آفتاب شدید) با سایه ۵۰ درصد کشت داده شد. تیمارها بر اساس

³ Pampas Grass

⁴ Poaceae

⁵ Vetiveria Zizanoeids L.

¹ Brassicaceae

² Fabaceae

برای انجام آزمایش ابتدا انواع کوچکی از گیاه و تیور از مجموعه تحقیقاتی مجموعه پارس جنوبی تهیه شد. بلافاصله پس از خریداری، گیاه در گلدان‌هایی با خاک معمولی دانشکده (با بافت سیلتی لوم) در فضای آزاد و زیر سایبان (به دلیل گرمای زیاد و آفتاب شدید) با سایه ۵۰ درصد کشت داده شد تا گیاه مورد نظر با شرایط محیط سازگاری پیدا کند و از تابش شدید نور مستقیم آفتاب در امان باشد. گیاهان پس از کاشت به مدت ۳۰ روز با آب معمولی تا حد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند تا با شرایط گلدان و خاک جدید سازگاری لازم را پیدا نمایند (جدول‌های ۳ و ۴).
برای انجام آزمایش، گیاه مورد نظر برای اعمال تیمارها، به ۳۲ گلدان بزرگ به قطر ۷۰ و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر منتقل شد (شکل ۱).



شکل ۱- شکل ظاهری گلدان‌های مورد استفاده در کشت گیاه و تیور

طرح کاملاً تصادفی، در قالب ۸ تیمار و در ۴ تکرار در نظر گرفته شد (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- مشخصات تیمارهای اعمال شده در پژوهش

حروف	درصد آب آبیاری
۱	۱۰۰ درصد آب معمولی
۲	۱۰۰ درصد پساب بیمارستانی
۳	۵۰ درصد آب معمولی و ۵۰ درصد پساب بیمارستانی
۴	۳۰ درصد پساب بیمارستانی و ۷۰ درصد آب معمولی
۵	۷۰ درصد پساب بیمارستانی و ۳۰ درصد آب معمولی
۶	پساب بیمارستانی و آب معمولی به صورت یک در میان
۷	۲ نوبت آبیاری با آب پساب بیمارستانی و یک نوبت آبیاری با آب معمولی
۸	۲ نوبت آبیاری با آب معمولی و یک نوبت آبیاری با پساب بیمارستانی

جدول ۲- چیدمان تیمارها در قالب ۴ تکرار

تکرار	تیمار							
الف	۱	۵	۳	۷	۴	۶	۲	۸
ب	۴	۶	۸	۲	۵	۷	۱	۳
ج	۷	۳	۱	۵	۲	۴	۶	۸
د	۵	۸	۷	۲	۶	۳	۱	۴

جدول ۳- تجزیه شیمیایی آب معمولی مورد استفاده در آبیاری گیاه و تیور

ترکیب	TDS	سختی کل	کلرور	سولفات	هیدروژن سولفور	آهن	منگنز	آلومینیوم	روی	مس	نیترات	نیتريت	کلسیم	منیزیم	آمونیاک	سدیم
غلظت (mg/L)	۱۳۰۰	۳۸۰	۲۴۰	۲۱۰	۲/۵	۰/۳	۰/۴۵	۰/۱۵	۲/۹	۱	۵۰	۳/۵	۲۵۰	۵۰	۱/۵	۲۰۰

جدول ۴- خواص فیزیکی خاک به کار رفته

حد پژمردگی دائم (درصد حجمی)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	رطوبت حجمی اشباع (cm ³ /cm ³)	رطوبت حجمی اولیه (cm ³ /cm ³)	چگالی ظاهری (g/cm ³)	چگالی واقعی (g/cm ³)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت	سری خاک
۳/۵	۲۶/۵	۰/۵۱	۰/۰۴	۱/۲	۲/۴	۳۰	۳۵	۳۵	لوم رسی	حاشیه رودخانه دالکی

جدول ۵- عناصر سنگین موجود در تجزیه آزمایشگاهی (میکروگرم بر گرم)

مس	سرب	روی	آهن	کادمیم	نیکل	در خاک
۴/۰۲۵	۱۶	۱۸۶۵/۱۵	۵۱۳۰/۶۷۵	۱/۱۵	۵۷/۶۲۵	
۲/۵	۰	۸۷۰	۲۱۰	۰	۰	در آب معمولی
۸	۸/۰۵	۸۷۲/۰۷۵	۶۸۰/۸۵	۰/۶۷۵	۳۸/۶۲۵	در پساب بیمارستانی

در قسمت زیرین این گلدان‌ها چند سوراخ برای زهکشی احتمالی تعبیه و سپس به ارتفاع ۳ سانتی‌متر با سنگریزه پر شد. گلدان‌ها با خاک تهیه شده از قسمت آبرفتی حاشیه رودخانه دالکی واقع در شهرستان دشتستان با بافت لوم رسی، همراه با ۵ درصد کود حیوانی پوسیده شده، به اندازه کافی (تقریباً بین ۳ تا ۵ سانتی‌متر گلدان‌ها خالی بودند) پر شدند (جدول ۴). بعد از این مدت و قبل از اعمال تیمار، قسمت تاج گیاه برش داده شد و ارتفاع گیاه به ۷۰ سانتی‌متری رسید تا شرایط ارتفاعی گیاه برای همه تیمارها یکسان شود. پس از اعمال تیمارها، آبیاری به‌طور میانگین در هر هفته سه نوبت و تا حد ظرفیت زراعی و به مدت ۷۵ روز با آب معمولی و پساب بیمارستانی آبیاری شدند (جدول ۵). برای تعیین حد زراعی خاک مورد استفاده، گلدان کوچکی که در زیر آن برای زهکشی چند سوراخ ریز وجود داشت، به قطر و عمق ۱۵ سانتی‌متری از خاک مورد استفاده تقریباً پر شد و پس از اشباع شدن، وزن آن طی سه مرحله (قبل از اشباع، بلافاصله پس از اشباع شدن و با گذشت ۳۶ ساعت بعد از اشباع) توسط ترازوی دیجیتالی با دقت تا ۳ رقم اعشار اندازه‌گیری و حد زراعی آن ۲۶/۵ درصد وزنی محاسبه شد. حد پژمردگی در این نوع خاک حدود ۱۳/۵ درصد حد زراعی (۳ درصد وزنی) در نظر گرفته شد.

پس از انجام آزمایش، نمونه‌های گیاهی (ریشه، شاخه و اندام هوایی) و خاک مربوط به هر تکرار در تیمارهای مختلف برداشت شد و پس از وزن کردن و خشک نمودن نمونه تر گیاهی، به‌صورت سایه‌خشک در محیط آزمایشگاه، نمونه‌ها به آزمایشگاه پژوهشکده خلیج فارس وابسته به دانشگاه خلیج فارس بوشهر منتقل شد و مقادیر عناصر کادمیم، نیکل، سرب، مس، روی و آهن در نمونه‌ها به‌روش جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (جدول ۶). برای اندازه‌گیری عناصر در نمونه‌های گیاهی، از روش هضم اسیدی استفاده شد [۲۲]. در این روش نمونه‌های گیاهی شامل ریشه و اندام هوایی پودر شد و به میزان یک گرم از نمونه پودر شده، با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و عمل هضم شیمیایی با ۱۰

میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (محصول شرکت مرک^۱) انجام شد. پس از صرف حداقل ۳ ساعت برای انجام عمل هضم مقدماتی در دمای اتاق، نمونه‌ها برای هضم کامل بر روی دستگاه صفحه داغ در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۵ ساعت قرار گرفتند. بعد از اتمام عمل هضم، ۱۰ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۱۰ درصد به نمونه‌ها اضافه شد و به بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری انتقال یافت و با آب دوبار تقطیر شده به حجم مورد نظر رسانده شد. سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد و به ظروف شیشه‌ای منتقل شد و تا زمان تزریق به دستگاه جذب اتمی در دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس (درون یخچال) قرار گرفت [۲۳]. در پایان میزان جذب به‌وسیله دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل شیمادزو^۲ ۶۲۰۰ و دستگاه تولید هیدرید مدل اف آی جی ۱۰۰^۳ در طول موج ۷/۱۹۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری عناصر در خاک، مشابه روش اندازه‌گیری عناصر گیاهی، مقدار ۵ گرم خاک مورد نظر داخل یک ارلن ریخته شد و ۱۰ سی‌سی محلول عصاره‌گیر دی‌اتیلن‌تری‌آمین پنتاستیک اسید^۴ با غلظت ۰/۰۰۵ مولار به آن اضافه شد. سوسپانسیون حاصل به مدت نیم ساعت به‌هم زده شد و توسط کاغذ صافی واتمن ۱۲، عصاره‌گیری شد. پس از تنظیم دستگاه و کالیبراسیون استانداردها، میزان جذب قرائت و غلظت عناصر تعیین شد.

۳- نتایج و بحث

برای تحلیل مقادیر اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد. خلاصه اطلاعات آماری با آزمون آنوا در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد در جدول‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.

در فرایند انتقال و جذب عناصر توسط گیاه، یون‌ها در هنگام جذب بر روی هم اثر متقابل یا برهم کنش دارند. به‌عبارت دیگر جذب یک یون در جذب یون دیگر دخالت دارد و تداخل ایجاد می‌کند.

¹ Merck
² Shimadzu 6200
³ FIG 100
⁴ DTPA

جدول ۶- خلاصه جدول آنوا مربوط به میزان عناصر جذب شده در خاک، ریشه و اندام هوایی

نیکل		روی		کادمیم		مربوط به
Pr > F	R-Square	Pr > F	R-Square	Pr > F	R-Square	
<۰/۰۰۰۳	۰/۶۵	<۰/۰۰۰۱	۰/۷۸	<۰/۰۰۰۱	۰/۸۳	خاک
۰/۱۸۹۶	۰/۳۲	۰/۴۴۲۵	۰/۲۳	-	-	ریشه
۰/۳۲۷۰	۰/۲۶	۰/۰۰۰۶	۰/۶۲	-	-	اندام هوایی

جدول ۷- جدول توزیع آماری (در $\alpha=0/05$) مربوط به میزان عناصر جذب شده در خاک، ریشه و اندام هوایی

عناصر سرب، مس، روی، آهن، نیکل تیمار								عنصر	
H	G	F	E	D	C	B	A		
۴/۸۱۴۱b	۳/۳۰۹۴cd	۷/۳۴۶۹a	۲/۵۸۲۸e	۲/۸۱۲۵ed	۳/۵۱۲۵c	۲/۶۹۲۲ed	۲/۷۳۵۹ed	مس	
۰/۸۲۵cb	۰/۸۱۲۵cb	۰/۹cb	۰/۶۳۷۵c	۱/۳۲۵a	۱/۰۳۱۳ab	۱/۰۳۷۵ab	۰/۹۳۷۵bc	سرب	
۴۷/۳۱۶abc	ab۵۱/۲۱۹	a۵۲/۳	ed۳۱/۰۳۸	cd۳۵/۰۶۹	abcd۴۲/۰۸۱	bcd۳۸/۸۸۱	e۲۰/۸۰۶	نیکل	خاک
۲۵۰۸/۱a	a۲۴۵۱/۹	a۲۶۲۴/۱	ab۲۲۴۱/۵	ab۲۲۹۴/۸	ab۲۳۷۹/۱	b۱۸۹۹/۴	ab۲۲۳۶/۵	آهن	
۶/۷۶۸۸a	۴/۳۳۱۳bc	۳/۵۸۱۳cde	۴/۱۲۱۹bcd	۳/۲۷۶۶de	۴/۷۴۰۶b	۳/۱۶۳de	۲/۷۹۹۵e	روی	
۰/۰۷۵d	۰/۸۰۵bcd	۱/۳۸۷۵b	۰/۰۹۳۸cd	۰/۷۴۳۸bcd	۳/۴۵ a	۰/۸۳۷۵bc	۰/۹۳۷۵b	کادمیم	
۱/۵۰۶a	۲/۳۱۳a	۰/۹۵۶a	۲a	۱/۱۱۳a	۱/۷۹۴a	۰a	۰a	مس	
۶/۴۸۸ab	۹/۹۵a	۶/۷۸۱ab	۶/۴۸۸ab	۹/۲۴۴ab	۸/۰۱۹ab	۸/۶۳۱ab	۵/۵۶۳b	سرب	
۱۹/۸۶۳ab	ab۱۹/۷۲۲	b۱۷/۴۵۶	b۱۶/۱۵	ab۲۰/۱۱۹	a۲۷/۶۳۸	ab۲۳/۷۳۱	b۱۸/۸۱۹	نیکل	ریشه
۲۵۳۳/۴ab	a۲۶۲۵/۳	ab۲۰۹۱/۷	ab۲۲۸۶/۹	ab۲۴۵۸/۸	b۱۹۳۳/۸	ab۲۵۹۷/۸	ab۲۲۴۰/۹	آهن	
۱/۷۸۱۳ab	۱/۶۶۸۸ab	۱/۷۸۱۳ab	۱/۳۹۳۸b	۱/۵۹۳۸ab	۱/۹۴۳۸ab	۲/۳۱۸۸a	۱/۵۸۷۵ab	روی	
۰/۳۶۳a	۰/۲۹۴a	۱/۳۱۹a	۰/۵۱۳a	۰/۰۳۳a	۰/۰۲۵a	۲/۱۲۵a	۱/۲۸۸a	مس	
۵/۲۶۲۵a	۲/۲bc	۵/۱۸۴۴a	۳/۱۱۸۸b	۰/۹۳۷۵c	۳/۱۱۸۸b	۴/۰۳۷۵ab	۵/۷۸۷۵a	سرب	اندام هوایی
۸/۲a	b۲/۴۱۹	ab۴/۳۲۵	b۳/۱۳۸	ab۳/۹۸۱	b۳/۳۵۷	b۳/۱۸۸	ab۴/۷۵۶	نیکل	
۱۶/۲۵۶ab	b۱۰/۵۷۵	ab۱۴/۵۶۹	ab۱۶/۶۳۱	b۱۰/۸	b۱۱/۳۵	ab۱۸/۲۸۸	a۳۰/۳۵	آهن	
۲۰/۶۲۵bc	۲۰/۳۱۳bc	۲۷/۱۸۸b	۱۷/۰۳۱c	۴۳/۵۹۴a	۲۵/۷۸۱bc	۲۷/۹۶۹b	۲۳/۴۳۸bc	روی	

تجمع آن در خاک سطحی خواهد بود [۲۴]. عناصر مس و روی با آهن در جذب توسط گیاه برهمکنش مثبت و با سرب برهمکنش منفی دارند. از طرفی در محیط با رطوبت کافی در حد رطوبت زراعی، نگهداری عنصر آهن توسط خاک کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش غلظت آهن در تیمار ۱ غلظت عناصر روی و سرب را نسبتاً افزایش داده است. در تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما با این وجود بیشترین و کمترین غلظت عنصر روی به ترتیب در تیمارهای ۸ و ۱ و بیشترین غلظت عنصر مس در تیمارهای ۶ و ۸ مشاهده شد (شکل ۳). همچنین به دلیل بالا بودن درصد رس (بیش از ۱۵ درصد)، عنصر روی بیشتری توسط ذرات رس جذب و در محیط خاک نگهداری شد [۲۴]. نتایج مربوط به جذب عنصر سرب در تیمارهای مختلف نشان داد که غلظت عنصر سرب در خاک مربوط به تیمارهای ۴، ۲ و ۳ بیشترین و در ۵ کمترین بود. بیشترین و کمترین غلظت عنصر نیکل در خاک مربوط به تیمارهای ۶ و ۱ مشاهده شد. جذب نیکل توسط گیاه به صورت کلاته بوده و مانند عناصر دو ظرفیتی، جذب سطحی کانی‌های رسی می‌شود و با کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، آهن و روی رقابت دارد ولی با مس برهمکنش مثبت دارد [۲۶].

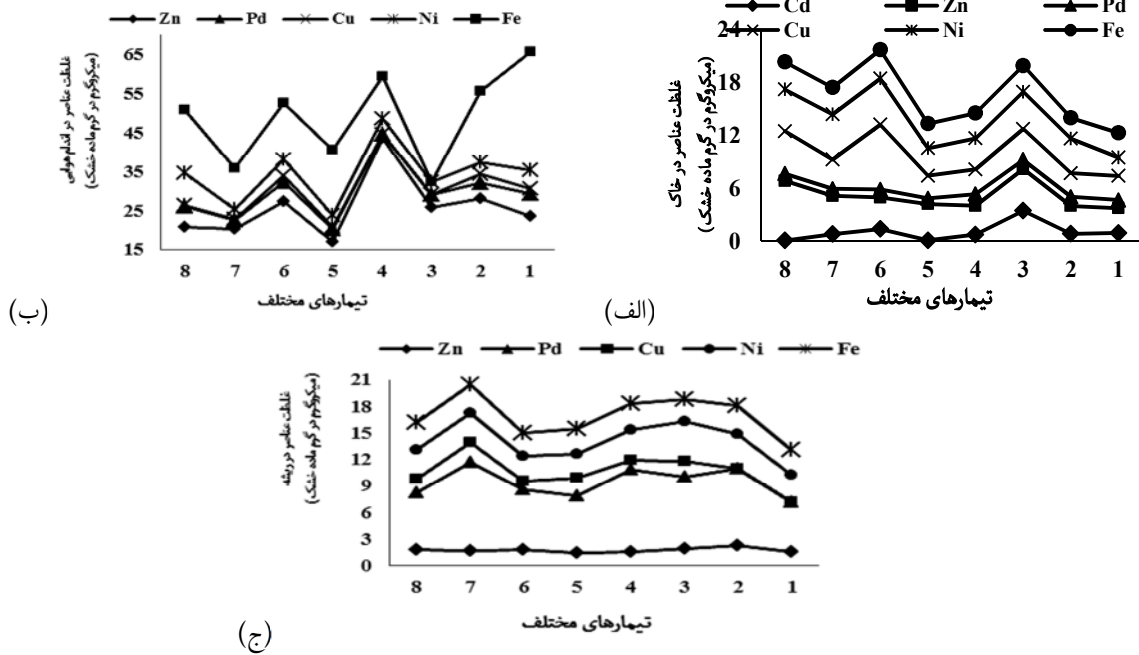
برهم‌کنش یا اثر متقابل ممکن است مثبت^۱ یا منفی^۲ باشد. در برهم‌کنش مثبت جذب یک یون باعث افزایش جذب یون دیگر می‌شود [۲۴]. قابلیت انتقال و جذب عناصر توسط گیاه وابستگی زیادی به pH خاک دارد. عناصر غذایی در pH‌های مختلف، حلالیت‌های متفاوتی داشته و معمولاً با افزایش pH حلالیت عناصر به جز مولبدن کاهش پیدا می‌کند [۲۵].

۳-۱- بررسی آماری مربوط به جذب عناصر در خاک

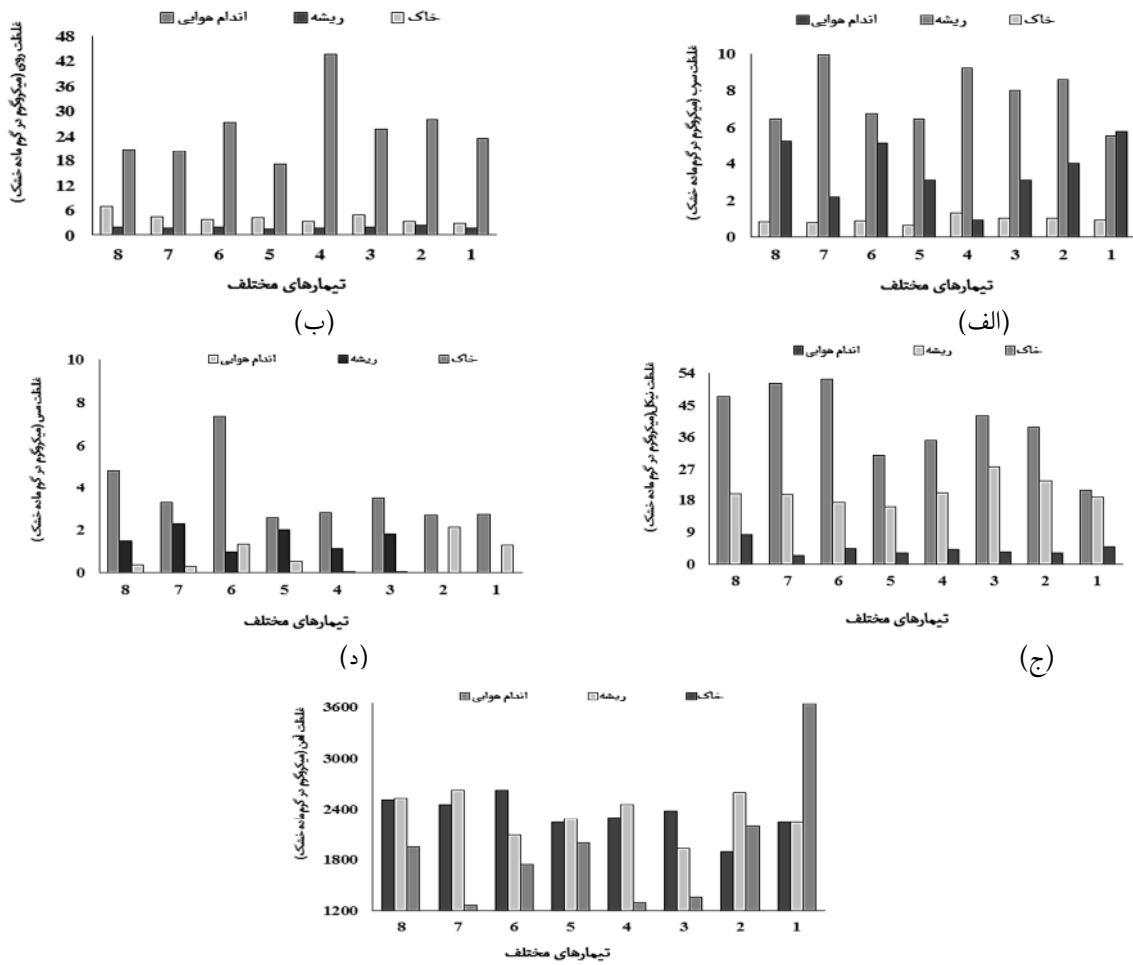
به‌طور کلی بیشترین جذب عناصر در خاک در تیمار ۳ و کمترین میزان جذب در تیمار ۵ رخ داد (شکل ۲). تیمار ۳ بیشترین غلظت عنصر کادمیم را داشت. در بقیه تیمارها اختلاف در میزان جذب عنصر کادمیم معنی‌دار نشد. جذب کادمیم توسط گیاه با عنصر آهن و روی برهم‌کنش منفی دارد. لذا با نگاهی گذرا به نتایج ملاحظه می‌شود که در این تیمار غلظت این دو عنصر نسبت به تیمارهای دیگر در محدوده میانگین است، بنابراین جذب این دو عنصر توسط گیاه مانع جذب کادمیم شده است. هرچند که عنصر کادمیم به راحتی توسط گیاه جذب می‌شود، اما این عنصر در خاک غیرپویا بوده و

¹ Synergism

² Antagonism



شکل ۲- مقایسه روند تغییر غلظت عناصر در (الف) خاک، (ب) اندام هوایی و (ج) ریشه در تیمارهای مختلف



شکل ۳- بررسی غلظت عناصر مختلف در خاک، ریشه و اندام هوایی در (الف) سرب، (ب) روی، (ج) نیکل، (د) مس و (ه) آهن

۲-۳- بررسی آماری مربوط به غلظت عناصر در ریشه گیاه و تیور در هیچ یک از تیمارها هیچ‌گونه جذب عنصر کادمیم در ریشه صورت نگرفت. طبق شکل ۲ غلظت عنصر روی در هیچ‌کدام از تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت اما با این وجود تیمار ۲ بیشترین و تیمار ۵ کمترین غلظت این عنصر را به خود اختصاص دادند. بیشترین میزان غلظت عناصر سرب و مس در تیمارهای ۷ و ۴ ولی کمترین غلظت عنصر سرب در تیمارهای ۸، ۵ و ۱ و عنصر مس در تیمارهای ۸، ۶ و ۱ اتفاق افتاد (شکل ۳).

۳-۳- بررسی آماری مربوط به جذب عناصر در اندام هوایی گیاه و تیور

در هیچ یک از تیمارها جذب یا تجمع عنصر کادمیم در اندام هوایی صورت نگرفت. طبق شکل ۲ تیمارهای ۲، ۴ و ۶ بیشترین غلظت عناصر را نشان دادند که در این میان، تیمار ۴ بیشترین غلظت را به خود اختصاص داد. تیمارهای ۱، ۵ و ۷ کمترین میزان جذب عنصر روی، مس و سرب را داشتند که در بین آنها تیمار ۵ کمترین میزان جذب را دارا بود. به‌طور کلی تفاوت در جذب بین تمامی تیمارها تقریباً یک روند ثابت را نشان داد و اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۷). طبق شکل ۳ بیشترین میزان جذب روی مربوط به تیمار ۴ و کمترین میزان جذب در تیمار ۵ بود. بیشترین میزان جذب عنصر سرب در تیمار ۶ و ۸ و کمترین جذب در تیمار ۴ رخ داد. همچنین تیمار ۶ و ۲ بیشترین میزان جذب عنصر مس را داشتند. هر چه درصد آب معمولی در آب آبیاری بیشتر بود، غلظت عنصر نیکل در برگ نیز بیشتر شد. به‌طوری که تیمار ۸ بیشترین غلظت را داشت.

به‌طور کلی کاربرد یکسان پساب بیمارستانی و آب معمولی میزان نگهداری عنصر کادمیم در خاک را افزایش داده ولی در غلظت عنصر سرب تاثیر چندانی نداشت. با افزایش غلظت روی و آهن در ریشه و اندام هوایی، تجمع کادمیم در خاک بیشتر شد. این نتیجه با نتایج رحیمی و رونقی همخوانی داشت [۲۷]. سرب عنصری غیر پویا بوده و حلالیت آن در محیط اسیدی بیشتر است [۲۸]. بنابراین در تیمار G به دلیل دو نوبت از پساب بیمارستانی در هر سه دوره آبیاری، چنین شرایطی فراهم شد که این دلیل باید بررسی شود. به دلیل حلالیت آهن در محیط مرطوب بیشترین مقدار آهن توسط گیاه جذب شد. هرچند که جذب این عنصر با عناصر مس و روی برهم کنش منفی دارد که این امر نیز در تیمارها مشاهده شد ولی شدت آن زیاد نبود.

با افزایش درصد پساب بیمارستانی در آب آبیاری، درصد

جذب عناصر توسط ریشه افزایش نشان داد که این مطلب با نتایج جرارد در سال ۲۰۱۰ و باديجو در سال ۲۰۱۱ همخوانی داشت [۱ و ۲۹]. استفاده از پساب بیمارستانی به‌عنوان تمام آب آبیاری یا به صورت یک در میان، جذب عناصر توسط اندام گیاهی را افزایش داد. این نتیجه نیز با نتایج داتا و همکاران در سال ۲۰۱۳ همخوانی داشت [۱۶]. غلظت عناصر در ریشه به‌طور معنی‌داری بیشتر از اندام هوایی شد که احتمالاً این نتایج تحرک کم این فلزات را در گیاه نشان می‌دهد که با نتایج اشونسانیا در سال ۲۰۱۲، نتایج میرلس در سال ۲۰۰۴ و آجاروال در سال ۲۰۰۲ نیز همخوانی داشت [۱۷، ۳۰ و ۳۱]. گیاه و تیور توانایی جذب بسیار بالایی در عنصر آهن نسبت به عناصر روی و سرب داشت به‌طوری که تجمع آن در قسمت هوایی نسبت به ریشه بسیار بیشتر شد. این نتیجه با نتایج جرارد در سال ۲۰۱۰ کاملاً همخوانی داشت [۲۹].

به‌طور کلی نتایج نهایی نشان داد که بیشترین تجمع عناصر سرب، مس، روی، آهن و نیکل در قسمت ریشه گیاه و مقادیر خیلی کمی از عناصر سنگین در قسمت شاخ و برگ گیاه و تیور تجمع یافت. تجمع بیشتر فلزات مس، سرب و روی در ریشه نسبت به اندام هوایی نشان‌دهنده مکانیسم تحمل گیاه در غلظت‌های بالای فلزات در خاک است [۳۲].

۴- نتیجه‌گیری

برهم‌کنش منفی بین عناصر سبب تجمع کادمیم در خاک، روی در ریشه و آهن در اندام هوایی می‌شود. به‌طور کلی غلظت عناصر در ریشه به‌طور معنی‌داری بیشتر از اندام هوایی شد. بنابراین با افزایش درصد پساب بیمارستانی در آب آبیاری، درصد جذب عناصر توسط ریشه افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین تجمع عناصر سرب، مس، روی، آهن و نیکل در قسمت ریشه گیاه و مقادیر خیلی کمی در اندام هوایی اتفاق افتاد. اما استفاده از پساب بیمارستانی به‌عنوان تمام آب آبیاری یا به‌صورت یک در میان، جذب عناصر توسط اندام هوایی گیاه را افزایش داد.

۵- قدردانی

از مسئولان محترم بیمارستان مهر برازجان و دیگر عزیزانی که امکانات و شرایط لازم را برای انجام این پژوهش فراهم نمودند و همچنین ریاست محترم و معاونت محترم آموزشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه خلیج فارس بوشهر قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

1. Badejo, A. A., Coker, A. O., and Sridher, M. K. C. (2011). "Tertiary hospital wastewater Treatment using reed bed technology planted with *Vetiveria nigriflora* benth and *Phragmites karka* retz." *Proceedings of the Environmental Management Conference Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria*, pp. 479-503.
2. Robinson, C.H., Weigly, E.S., and Muller, D.H. (1997). *Basic nutrition and diet therapy*, Macmillan Pub. Co., London.
3. Carl, A., Britis, E., and Ashwood, R. (1998). *Textbook of clinical chemistry*, WB Saunders Company Pub., USA.
4. Van Erp, P.J., and Van Lune, P. (1991). "Long-term heavy metal leaching from soils, sewage sludge and soil/sewage sludge mixtures." Hermite, P.L. (Ed.) *Treatment and use of sewage sludge and liquid agriculture wastes*, Elsevier Science Pub. Co., New York.
5. Bustamante, J.B., Mateo, M.C., Fernandez, J., de Quiros, B., and Machado, O. O. (1976). "Zinc, copper and ceruloplasmin in atherosclerosis." *Biomedicine*, 25(7), 244-245.
6. Dorris, K.L., Yu, B., Shukla, S.S., Zhang, Y., and Shukla, A. (2000). "The removal of heavy metal from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of copper." *J. of Hazardous Materials*, 80, 33-42.
7. International Network for Acid Prevention. (2003). "Treatment of sulfate in mineeffluents." <http://www.inap.com.au/public_downloads/Research_Projects/Treatment_of_Sulphate_in_Mine_Effluents_-_Lorax_Report.pdf> Lorax Environmental.
8. Gil, J.A., Tua, L., Rueda, A., Montanano, B., Rodriguez, M., and Prats, D. (2010). "Monitoring and analysis of the energy cost of an MBR." *Desalination*, 250(3), 997-1001.
9. Jadia, C.D., and Fulekar, M. H. (2009). "Phyto-remediation of heavy metals: Recent techniques." *African J. of Biotechnology*, 8 (6), 921-928.
10. Kaldorf, M., Kuhn, A.J., Schroder, W.H., Hildebrandt, U., and Bothe, H. (1999). "Selective element deposits in maize colonized by a heavy metal tolerance conferring arbuscular mycorrhizal fungus." *J.Plant Physiol.*, 154, 718-728.
11. Vahid-dastjerdi, M., Shanbezadeh, S., Zahabsaniee, A., and Rozegar, R. (2009). "Investigation of heavy methals concentration in water, soil, and plants in Gavkhooni marsh in the years of 2002 and 2006." *Health Sys. Res.*, 8, 829-836.
12. Saadat, K., and Barani, M. M. (2013). "Influence of Iranian natural zeolites, clinoptilolite on uptake of lead and cadmium in applied sewage sludge by Maize (*Zea mays*. L.)." *Water and Soil Research*, 20 (4), 123-143. (In Persian)
13. Mohammadi, G. M., and Shamohammadi, Sh. (2013). "Comparison of active carbon, sawdust, almond shell and hazelnut shell absorbent in removal of nickel from aqueous environment." *J. Water and Wastewater*, 24-3(87), 71-79. (In Persian).
14. Chen, Y., Shen, Z., and Li, X. (2004). "The use of Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the hytoremediation of soils contaminated with heavy metals." *Applied Geochemistry*, 19, 1553-1565.
15. Yong, W., and Qian Y.X. (1993). "Correlation of lipids, lipoproteins, lipid peroxide products and metals with coronary heart disease." *Chinese Med. J.*, 106(13), 167-170.
16. Datta, R., Das, P., Smith, S., Punamiya, P., Ramanathan, D.M., Reddy, R., and Sarkar, D. (2013). "Phytoremediation potential of vetiver grass [*Chrysopogon zizanioides* (L.)] for tetracycline." *International Journal of Phytoremediation*, 15, 343-351.
17. Mireles, A., Solis, C., Andras, E.S., Pinac, M., and Flocchini, R.G. (2004). "Heary metal acculation in plant and soil irrigated with wastewater from Mwxice city." *Nuclear Instrumenta and Methods in Physics Research*, 220, 87-190.

18. Motasharezade, B., Savabeghi, F. Gh., and Alikhani, H. (2009). "Identify native plants and resistance bacteria to heavy metals, in the soils around the mine of Zinc and Lead of Shazand Arak for use in phytoremediation." *Water and Soil Research*, 39 (1), 163-174. (In Persian)
19. Bahemmat, M., Farahbakhsh, A., Pourbabaei, A. A., and Savaghebi, Gh. (2013). "Electrosinetic amended of soils contaminated with heavy metals and its impact on microbial ratio of biomass carbon." *Soil and Water Researches*, 43(2), 249-255. (In Persian)
20. Tafazzoli, M., Ganjidoost, H., and Ayati, B. (2013). "Study of Phytoremediation capability in sulfate removal from water." *J. Water and Wastewater*, 25-3 (91), 48-56. (In Persian)
21. Moslehabadi, P.M., Vosoughi, M., and Ghadirian, M. (2010). "A mathematical model independent of environmental parameters for soil pollution removal by phytoremediation." *J. Water and Wastewater*, 22-1 (77), 85-91. (In Persian)
22. Meharg, A.A., and Jardine, L. (2003). "Arsenite transport into paddy rice (*Oryza sativa*) roots." *New Phytologist*, 157, 39-44.
23. Rajendran, K., Sampathkumar, P., Govidasamy, C., Ganesan, M., Kannan, R., and Kannan, L. (1993). "Levels of trace metals (Mn, Fe, Cu and Zn) in some Indian Seaweed." *Mar. Pollut. Bull.*, 26, 283-285.
24. Malakoti, M.G. (1994). *Dry lands soil productivity (problems and solutions)*, Tarbiat Modares University, Pub., Tehran, Iran. (In Persian)
25. Salardini, A.A., and Mojtahedi, M. (1994). *Crop nutrition pointsbasic sights*, 2nd Ed., (Translated), Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian)
26. Brooks, R.R. (1998). *Plants those hyperaccumulate heavy metals*, CAB. Pub., UK.
27. Rahimi, T., and Ronaghi, A. (2012). "Effect of Zn various application on Cd concentration in a gypsum soil." *Science and Technologies in Hydroponic Cultivars*, 3(10), 101-111. (In Persian)
28. Tisdale, S. L., and Nelson, W. L. (1974). *Soil fertility and fertilizers*, 3rd Ed., Macmillan Pub., NewYork, USA.
29. Gerrard, A.M. (2010). "The ability of vetiver grass to act as a primary purifier of wastewater; an answer to low cost sanitation and fresh water pallution." <http://www.vetiver.org/SA_phytoremediation.pdf>(Aug. 2015).
30. Oshunsanya, S., Oluwasemire, K., and Ogunwumi, K. (2012). "The use of vetiver grass slips in removing heavy metal contamination of dumpsite in Ibadan metropolis." *Scholarly Journal of Agricultural Science*, 2(6), 115-118.
31. Agarval, S.K. (2002). *Pollution managment: Water pollution*, APH Pub., New Delhi.
32. Brunetti, G., Karam, F., Rovira, P.S., Nigro, F., and Sensi, N. (2011). "Greenhouse and field studies on Cr, Cu, Pb and Zn phytoextraction by brassica napus from contaminated soils in the Apulia region." *Southern Italy, Geoderma*, 160, 517-523.