Archive of SID

بررسی میزان جذب فلزات سنگین شیرابه زباله توسط گیاه و تیور در یک خاک آلوده

فرود گراوند، آپتین راهنورد[1] و قربانعلی محمد پور

گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران؛ gravand92@gmail.com

گروه محیط زیست،دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران؛ rahnavard_aptin@yahoo.com

گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران؛ G.mohammadpor@gmail.com

دریافت: 99/9/25 و پذیرش: 1400/4/20

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی پتانسیل جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل از شیرابه زباله شهری توسط گیاه وتیور در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. این تحقیق **بر اساس طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با چهار تیمار، شامل شیرابه زباله با غلظت های صفر، 30، 60 و 100 درصد انجام شد. گیاهان در شرایط دمایی بهینه برای وتیور (27-23 درجه سانتی‌گراد) و بر اساس نیاز آبی به مدت 5 ماه و 4 نوبت آبیاری در هفته که هر نوبت شامل دو لیتر شیرابه بود آبیاری شدند. نتایج نشان داد که در جذب فلزات سنگین توسط گیاه تفاوت معنی‌داری در سطح 1 درصد وجود داشت. همچنین با افزایش سطوح تیمار شیرابه تا سطح 60% در طول ریشه و اندام هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح 1 درصد وجود داشت. سپس در تیمار با شیرابه 100% طول ریشه و اندام هوایی کاهش معنی‌داری داشت. با افزایش سطوح تیمار شیرابه جذب فلزات سنگین توسط گیاه افزایش یافت. بالاترین میزان جذب، مربوط به ریشه با مجموع میانگین 200/21 میلی گرم بر کیلو گرم در کل چهار تیمار بود، که بیشترین مقدار جذب مربوط به منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، نیکل و کادمیوم با میانگین‌های 70/70، 52/73، 44/56 و 32/22 میلی‌گرم بر کیلوگرم در چهار تیمار بود. در بخش اندام هوایی میزان جذب در مجموع با میانگین 147/93 میلی‌گرم بر کیلوگرم در کل چهار تیمار بود، که بیشترین مقدار جذب مربوط به منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، نیکل و کادمیوم با میانگین های 53/18، 38/35، 35/13 و 21/27 میلی‌گرم بر کیلوگرم در چهار تیمار بود. در بین سطوح تیمارهای بکار رفته نیز بیشترین میزان جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه و اندام هوایی مربوط به تیمار با سطح 100 درصد بود. همچنین برای همه عناصر در هر چهار تیمار فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF) بیشتر از یک و فاکتور انتقال (TF) کمتر از یک بود. نتایج نشان داد گیاه با درمعرض قرارگرفتن غلظت‌های بیشتر شیرابه بطور معنی‌داری قادر به جذب مقادیر بالاتری از فلزات سنگین بود. با توجه به بیشتر بودن جذب فلزات سنگین شیرابه زباله در ریشه نسبت به اندام هوایی، گیاه وتیور بعنوان یک گیاه تثبیت کننده حرکت فلزات سنگین درخاک های آلوده عمل می‌کند.**

واژه‌های کلیدی: گیاه‌پالایی،گیاه تثبیت کننده فلزات سنگین، فاکتور غلظت بیولوژیکی، فاکتور انتقال، خاک آلودگی

[1] نویسنده مسئول، آدرس: گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

توسعه سریع رشد جمعیت و شهرنشینی تحت تأثیر مهاجرت بدون برنامه از شهر به حومه شهر، بر میزان تأثیر و میزان مصرف و در نتیجه ایجاد زباله، افزایش و گسترش آلودگی و سلامت انسان و محیط زیست تأثیر گذاشته است. امروزه فعالیت‌های انسانی مانند مراکز دفن زباله توازن اکوسیستم را برهم زده است (وانگ و همکاران 2016). هنگامی که آب باران با زباله در محل-های دفن زباله مخلوط می‌شود، باعث ایجاد شیرابه در اثر مخلوط شدن با رطوبت موجود در زباله‌ها می‌شود. به‌طور کلی شیرابه زباله، آلاینده‌های زیادی به‌ویژه از نظر فلزات سنگین دارد. این شیرابه، هم در محل دفن و هم زمانی که جریان دارد، می‌تواند آبهای سطحی و زیرزمینی را آلوده کند (ریماس و همکاران، 2017). فلزات سنگین شیرابه، مهمترین تأثیر را بر سلامت انسان و محیط زیست دارند، فلزات سنگین تجزیه نمی‌شوند و در محیط زیست باقی می‌مانند و فراهمی زیستی این مواد شیمیایی با ترکیب خاک متفاوت است (واورکووا و همکاران، 2018). عناصر سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل حتی در مقادیر کم بسیار سمی هستند. تمام فلزات سنگین در غلظت‌های بالا باعث سمیت شدید شده و تمایل به تجمع و بزرگنمایی دارند (آنینگ و آکوتو، 2018). تصفیه شیرابه کار دشواری است زیرا شیرابه حاوی فلزات سنگین، مواد هومیک، ترکیبات برگشت ناپذیر و نمک‌های آلی و معدنی کلر دار است (آنینگ و آکوتو ، 2018). روش‌های مرسوم تصفیه شیرابه، سه گروه هستند. اولین روش انتقال شیرابه: بازیافت و تصفیه ترکیبی با فاضلاب خانگی است، دومین روش تجزیه بیولوژیکی: فرآیندهای هوازی و بی‌هوازی و سومین روش، روش‌های شیمیایی و فیزیکی: اکسیداسیون شیمیایی، جذب، رسوب شیمیایی، انعقاد/ لخته سازی، رسوب/شناورسازی و .. است (کافیل و همکاران، 2019).

این روش‌ها با وجود کارآیی بالا، پرهزینه، و مخرب محیط زیست و خاک هستند. بنابراین، توسعه فن‌آوری‌های جدید که کم هزینه و سازگار با محیط زیست باشد ضروری است- در مواجهه با این مشکل، گیاه‌پالایی به عنوان تکنولوژی سبز پاکسازی آلاینده‌ها است که قادر به حذف، و تخریب طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های فلزات سنگین شیرابه و خاک با حداقل هزینه مورد نیاز بوده و غیر مخرب برای اکوسیستم طبیعی است (ان جی و همکاران، 2016). در روش گیاه‌پالایی از گیاهان برای از بین بردن آلودگی استفاده می‌شود. ایده آل‌ترین گیاه برای گیاه‌پالایی، گیاهی با زیست توده زیاد، سرعت رشد بالا و توانایی بالاتر برای تجمع فلزات است (کافیل و همکاران، 2019).

وتیور به عنوان یکی از گیاهان بسیار امیدوار کننده، با سرعت رشد سریع و امکان انطباق با بسیاری از شرایط محیطی و تنش‌ها، می‌تواند طیف گسترده‌ای از آلودگی شدید فلزات سنگین را در خاک تحمل کند. علف وتیور متعلق به خانواده *Poaceae* است و بومی جنوب و جنوب شرقی آسیا است. وتیور، یک گیاه چند ساله، شناخته شده برای کنترل فرسایش خاک است، که طیف گسترده‌ای از pH و سطح فلزات سمی و سنگین را تحمل می‌کند (افندی و همکاران، 2020). وتیور یک گیاه خاکی آب‌دوست است که ویژگی‌های آنتی بیولوژیکی مانند توانایی جذب عناصر غذایی محلول مانند N و P، کاهش BOD، COD، TSS، نشت روغن، تجمع فلزات سنگین، فاضلاب تولیدی Batic (فاضلاب رنگ‌بری)، فاضلاب تولیدی توفو Tofu (یک نوع فاضلاب لبنیاتی) و تحمل زیاد به علف کش‌ها و سموم دفع آفات دارد (تامبونان و همکاران، 2018). گرچه برخی از مطالعات گیاه‌پالایی از جمله مطالعات، سینگ (2015) با استفاده از علف وتیور، مطالعات گیاه‌پالایی–قائمی و همکاران در بررسی نیکل و سرب (1395)؛ مطالعات نادری و همکاران در بررسی نقش گیاه‌پالایی وتیور در پاسخ های به غلظت‌های مختلف شیرابه در بررسی کبالت مطالعات منصوریان و همکاران (1396) در بررسی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سیانید، صورت گرفته است.

اما این مطالعات صرفاً بر ارزیابی گیاه روی تجمع یک فلز متمرکز شده‌اند. با این وجود، نگرانی فزاینده‌ای در مورد آلودگی فلزات ترکیبی مانند (Cd-Pb-Mn-Ni) در شیرابه زباله وجود دارد که نیاز به بررسی و تحقیقات دارد. در این تحقیق، علف وتیور از نظر کاربرد بالقوه آن در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، منگنز، نیکل) موجود در شیرابه مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این مطالعه تعیین میزان جذب فلزات سنگین شیرابه (کادمیوم، سرب، منگنز، نیکل) زباله توسط گیاه مورد مطالعه است. همچنین به منظور درک بهتر انباشت و انتقال فلزات سنگین در اندام‌های گیاه، شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص غلظت بیولوژیکی، فاکتور تجمع بیولوژیکی و فاکتور انتقال محاسبه شد.

مواد و روش ها

تهیه نهال و شیرابه زباله جهت کاشت گیاه

این تحقیق از اسفند سال 1398 و بهار سال 1399 در گلخانه اجرا شد، و با استفاده از شیرابه زباله

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه‌برداری شده از محل لندفیل سراوان بر اساس نیاز آبی گیاهان در طول دوره رشد آبیاری شدند. نهال‌های انتخاب شده برای اجری طرح از شرایط فیزیولوژیکی یکسانی برخوردار بودند (نهال‌های هم اندازه گیاه وتیور به ارتفاع متوسط 20-25 سانتی متر از مجتمع گلخانه‌ای فروش گیاه وتیور خریداری گردید و به گلخانه تعیین شده منتقل شدند). همچنین محل نمونه‌برداری شیرابه زباله جهت انجام پروژه واقع در لندفیل سراوان رشت در استان گیلان به مختصات جغرافیایی 39 S 37°05'19.20"N 49°37'50.73"E بود. تهیه شیرابه دقیقا زمانی صورت گرفت که 3 روز قبل از تهیه آن هیچ‌گونه بارندگی صورت نگرفته بود. همچنین در مسیر رودخانه شیرابه هیچگونه پساب یا آبراهه‌ای وارد آن نمی‌شد. با توجه به میزان آبیاری گیاه و نیاز آبی آن 10 گالن 25 لیتری شیرابه تهیه گردید. سپس جهت تثبیت آن به ازای هر لیتر شیرابه میزان 5 میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ 65 درصد اضافه گردید. این عمل باعث نگهداشتن مواد و عناصر داخل شیرابه به مدت شش ماه می‌گردد (یان و همکاران، 2014). پس از تثبیت، شیرابه به محل گلخانه انتقال و سپس تیمارهای صفر، 30، 60 و 100 درصد شیرابه جهت اجرای طرح و آبیاری نهال‌های وتیور تهیه گردید، و به مدت حدود 5 ماه از این شیرابه‌ها استفاده گردید.**داشت**

گیاهان وتیور در شرایط دمایی بهینه برای وتیور (27-23 درجه سانتی‌گراد) و بر اساس نیاز آبی یکسان به مدت 5 ماه و 4 نوبت آبیاری در هفته که هر نوبت شامل دو لیتر شیرابه بود آبیاری و نگهداری شدند. گیاه وتیور در 10 کیلوگرم از خاک آلوده مرکز دفن زباله کشت شد. در طول این مدت گیاهان از وجود علف‌های هرز پاکسازی شدند. مطالعه حاضر اثر سطوح تیمار شیرابه روی گیاه وتیور در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

تعیین میزان فلزات سنگین شیرابه و خاک

جهت تعیین میزان فلزات سنگین شیرابه زباله مورد استفاده برای آبیاری گیاه وتیور، از مرکز دفن زباله سراوان رشت تعداد 3 نمونه برداشت شد. نتایج تجزیه میزان فلزات سنگین شیرابه (با استفاده از دستگاه جذب اتمی[1] Perkin-Elmer PinAAcle 900TT) و حد آستانه این فلزات در شیرابه زباله در جدول 1 نشان داده شده است **(راموس-آرکوس و همکاران، 2019)**. نمونه‌های خاک نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مورد تجزیه قرار گرفتند و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول 2 تعیین شد.

برداشت نمونه‌ها و آماده سازی نمونه‌ها، هضم اسیدی، آنالیز فلزات سنگین

پس از پایان دوره رشد و برداشت نمونه‌های گیاهی ریشه و اندام هوایی و شستشوی آنها با آب دو بار تقطیر و خشک کردن ابتدایی در برابر نور خورشید، نمونه‌ها کد گذاری شده، و به آزمایشگاه منتقل شدند. مطابق دستورالعمل آزمایشگاهی متد نمونه‌ها پس از خشک کردن و خرد کردن آنها، و همچنین تعیین وزن خشک اندام‌های گیاه (ریشه و اندام هوایی) (جدول 3)، با استفاده از اسید نیتریک غلیظ (65٪) برای فرآیند هضم اسیدی آماده شدند. پس از هضم، میزان غلظت فلزات در اندام‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin-Elmer PinAAcle 900TT تعیین شد (ASTM D5198 - 17, 2017; ASTM E1835-14, 2014; ASTM D3335 - 2014; ASTM D3831 – 12, 2017 85a).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار Spss19، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آنالیز آماری واریانس و آزمون دانکن درسطح احتمال 5 درصد صورت گرفت، و رسم نمودارها با استفاده ا نرم افزار Excel انجام شد.

در این مطالعه توانایی جابجایی و تجمع فلزات با استفاده از فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF^2)، ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC^3)، فاکتور انتقال (TF^4) به شرح زیر ارزیابی شده است:

BCF = غلظت فلزات سنگین در ریشه یا اندام هوایی / غلظت فلزات سنگین در خاک

BAC = غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی / غلظت فلزات سنگین در خاک

TF = غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی / غلظت فلزات سنگین در ریشه (ان جی و همکاران، 2016)

[1] Atomic absorption

[2] Bioconcentration Factor

[3] Bio Accumulation Factor

[4] Translocation Factor

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1- غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر لیتر) شیرابه محل مورد مطالعه و مقادیر حد آستانه

فلز	غلظت (mg/L)	حد آستانه (µg/L)
سرب	1/1	4/4
کادمیوم	0/45	0/1
منگنز	2/56	11/52
نیکل	2/9	31
pH	9/3	
EC	40/392 µ mho/cm	

جدول2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انتخاب شده

پارامتر (واحد)	میانگین
بافت خاک	شنی – لومی
شن (%)	65/58
سیلت (%)	19/48
رس (%)	14/94
pH	7/4-6/5
ECe ($dS.m^{-1}$)	1/8
محتوای آب (%)	2/03 ± 74/5
ظرفیت زراعی (%)	6/3 ± 43/93
سطح اشباع (%)	12/97
جرم مخصوص ظاهری(g/cm^3)	1/62 ± 0/78
تخلخل (%)	37/67 ± 4/39
محتوای فلز (mg/kg)	
سرب ($mg\ kg^{-1}$)	18/5 ± 4/5
کادمیوم ($mg\ kg^{-1}$)	7/3 ± 2/1
منگنز ($mg\ kg^{-1}$)	39/4 ± 3/8
نیکل ($mg\ kg^{-1}$)	19/2 ± 4/8
فسفر قابل استفاده ($mg\ kg^{-1}$)	5/2 ± 2/01
پتاسیم قابل استفاده ($mg\ kg^{-1}$)	33/3 ± 3/4
نیتروژن کل (%)	15/4 ± 3/9

جدول3- وزن خشک گیاه وتیور

	وزن خشک گیاه وتیور g/pot	
سطوح تیمار شیرابه	انحراف معیار ± ریشه	انحراف معیار ± اندام هوایی
شاهد	31/2 ± 2/03	18/6 ± 1/73
شیرابه % 30	34/5 ± 1/45	19/5 ± 2/6
شیرابه % 60	38/01±1/62	25/01 ± 2/2
شیرابه % 100	30/01 ± 2/68	17/1 ± 2/34

www.SID.ir

Archive of SID

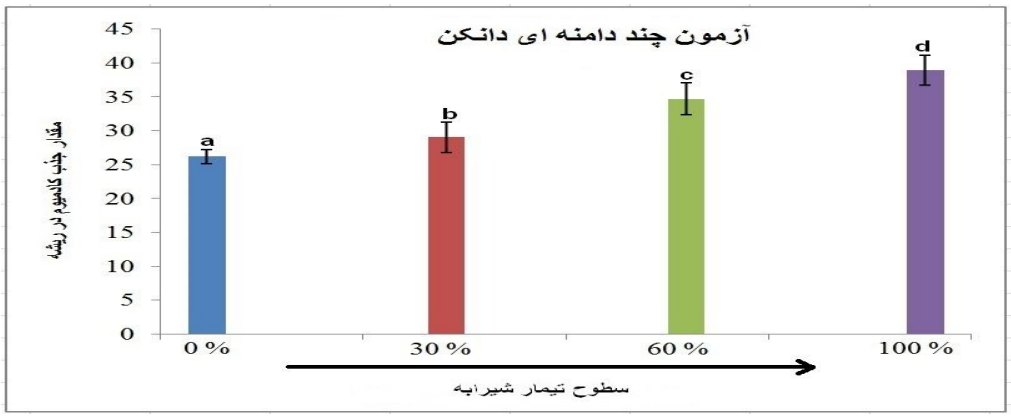
نتایج

میانگین جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز، نیکل) در ریشه و اندام هوایی گیاه وتیور در تیمارهای مختلف شیرابه زباله

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل‌های 1-8، میانگین جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در تیمارهای مختلف شیرابه زباله (با غلظت‌های مختلف شیرابه 0، 30، 60 و 100 درصد در ریشه و اندام هوایی)، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد وجود داشت. همچنین با افزایش سطوح تیمار شیرابه زباله، میزان جذب فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی افزایش یافت. نتایج نشان داد بالاترین میزان جذب، مربوط به ریشه با مجموع میانگین 200/21 میلی گرم بر کیلو گرم در کل چهار تیمار بود. بیشترین مقدار جذب در ریشه مربوط به منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، نیکل و کادمیوم با میانگین‌های 70/70، 52/73، 44/56 و 32/22 میلی‌گرم بر کیلوگرم در چهار تیمار بود. در بخش اندام هوایی میزان جذب در مجموع با میانگین 147/93 میلی‌گرم بر کیلوگرم در کل چهار تیمار بود. بیشترین مقدار جذب در ریشه مربوط به منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، نیکل و کادمیوم با میانگین‌های 53/18، 38/35، 35/13 و 21/27 میلی‌گرم بر کیلوگرم در چهار تیمار بود. در بین سطوح تیمارهای بکار رفته نیز بیشترین میزان جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه و اندام هوایی مربوط به تیمار با سطح 100 درصد بود. نتایج نشان می‌دهد اندام‌های گیاه (ریشه و اندام هوایی) با در معرض قرارگرفتن غلظت‌های بیشتر شیرابه (افزایش سطوح تیمار) بطور معنی‌داری قادر به جذب مقادیر بالاتری از فلزات سنگین می‌باشند.

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل‌های 1-4 در بررسی آزمون چند دامنه‌ای دانکن در مورد تأثیر تغییر غلظت‌های مختلف شیرابه در خاک (سطوح تیمار شیرابه)، مشخص شد که با افزایش غلظت‌های مختلف شیرابه، میزان تجمع و جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در ریشه دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد است.

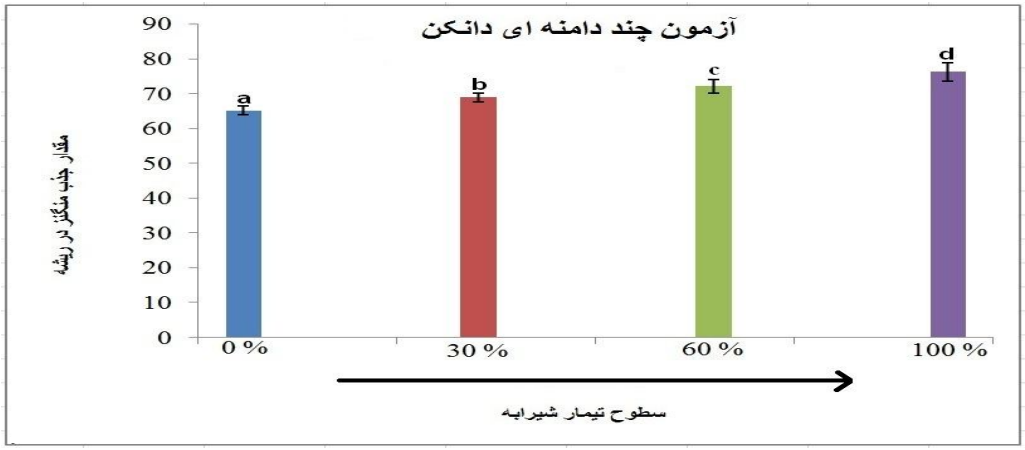
شکل 1- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب سرب، در ریشه گیاه وتیور



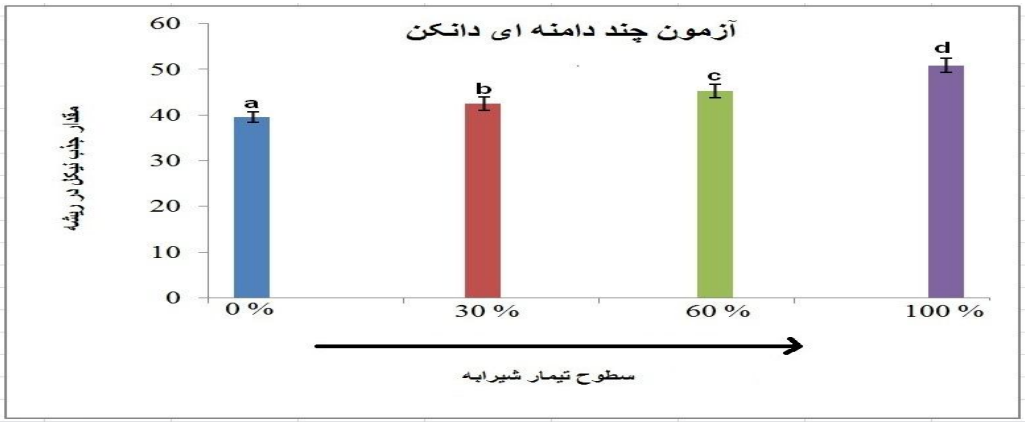
شکل 2- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب کادمیوم، در ریشه گیاه وتیور

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 3- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب منگنز، در ریشه گیاه وتیور

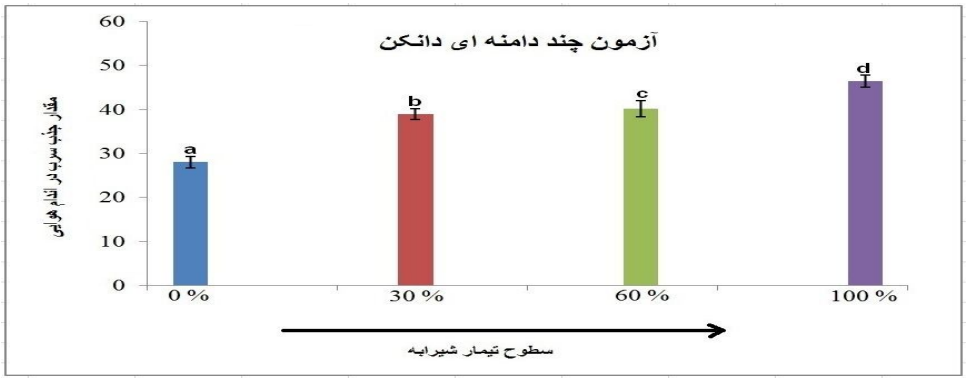


شکل 4- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب نیکل، در ریشه گیاه وتیور

* حروف مختلف حاکی از تفاوت معنی‌داری در تست چند بعدی دانکن در سطح احتمال 5٪ بین سطوح مختلف تیمار در جذب فلزات سنگین است.

* هر عدد در نمودار میانگین سه تکرار می باشد.

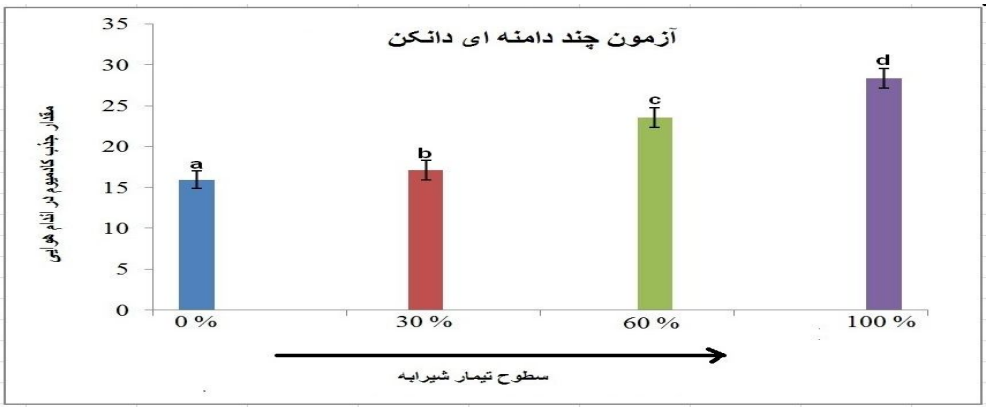
با توجه به شکل‌های 8-5 در بررسی آزمون چند دامنه ای دانکن در رابطه با تأثیر تغییر غلظت‌های مختلف شیرابه در خاک (سطوح تیمار شیرابه)، مشخص شد که با افزایش غلظت‌های مختلف شیرابه، میزان تجمع و جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در اندام هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد.



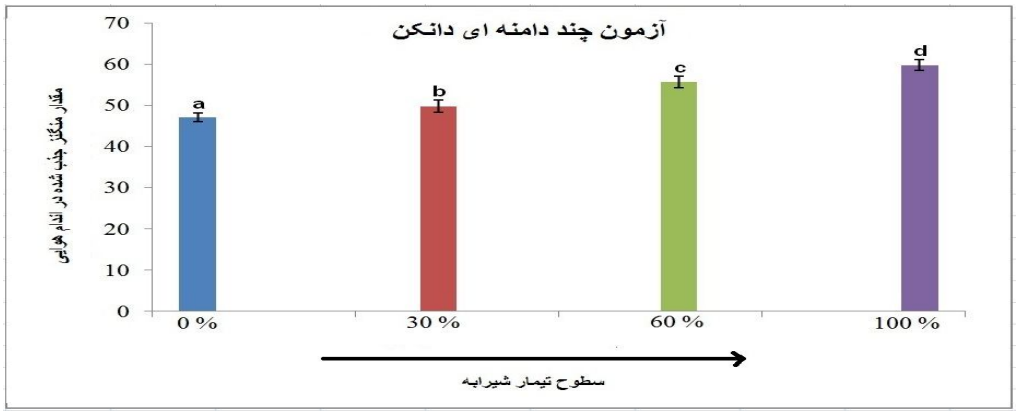
شکل 5- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب سرب، در اندام هوایی گیاه وتیور

www.SID.ir

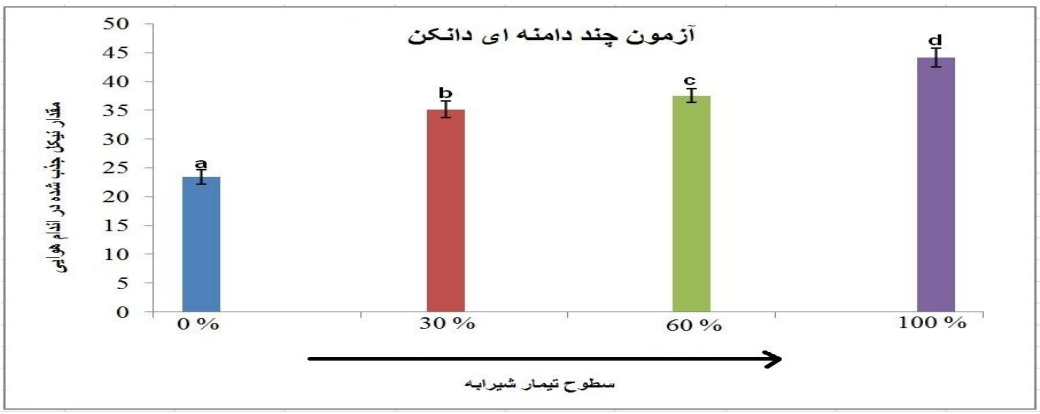
Archive of SID



شکل 6- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب کادمیوم، در اندام هوایی گیاه وتیور



شکل 7- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب منگنز، در اندام هوایی گیاه وتیور



شکل 8- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب نیکل، در اندام هوایی گیاه وتیور

*** حروف مختلف حاکی از تفاوت معنی‌داری در تست چند بعدی دانکن در سطح احتمال 5٪ بین سطوح مختلف تیمار در جذب فلزات سنگین است.**

*** هر عدد در نمودار میانگین سه تکرار می باشد.**

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تیمارهای شیرابه زباله بر جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه گیاه وتیور

منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات			
		میزان فلزات سنگین (سرب؛ کادمیوم؛ منگنز و نیکل) در ریشه گیاه			
		سرب ریشه	کادمیوم ریشه	منگنز ریشه	نیکل ریشه
اثرات تیمار شیرابه	3	134/000**	89/763**	69/876**	54/110**
خطا	8	0/251	0/335	0/236	0/171
ضریب تغییرات (%)	-	8/70	6/44	16/23	3/47

**معنی‌داری در سطح احتمال 99٪ * معنی‌داری در سطح احتمال 95٪، ns: تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

تجزیه واریانس اثرات تیمارهای شیرابه زباله بر جذب فلزات سنگین

بر اساس جدول 4، تجزیه و تحلیل جدول واریانس با متغیرهای وابسته سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل و متغیر مستقل سطوح تیمارهای شیرابه (با غلظت های مختلف شیرابه 0، 30، 60 و 100 درصد) در ریشه نشان داده شده است. این جدول تأثیر سطوح تیمارهای شیرابه بر میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در ریشه گیاه وتیور را نشان می‌دهد، که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد. به عبارت دیگر با افزایش غلظت شیرابه در خاک گیاه، غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه‌های گیاه افزایش یافته است، و ریشه قادر به تجمع مقادیر بیشتری از فلزات سنگین است. این تأثیر سطوح شیرابه بر جذب فلزات سنگین توسط ریشه‌های گیاه، نیز در آزمون چند دامنه ای دانکن[1] تأیید شد.

با توجه به نتایج جدول 5، تجزیه و تحلیل جدول واریانس، با متغیرهای وابسته به سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل و متغیر مستقل سطوح تیمارهای شیرابه (با غلظت‌های مختلف شیرابه 0، 30، 60 و 100 درصد) در اندام هوایی، نشان داده شده است. این جدول تأثیر سطوح تیمارهای شیرابه بر میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در اندام‌های هوایی گیاه وتیور را نشان می‌دهد، که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد. به عبارت دیگر، با افزایش غلظت شیرابه در خاک گیاه، غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در اندام هوایی گیاه افزایش یافته است، و اندام هوایی توانسته مقادیر بیشتری از فلزات سنگین را جذب کند. این تأثیر سطوح شیرابه بر جذب فلزات سنگین توسط اندام هوایی گیاه نیز در آزمون چند دامنه‌ای دانکن تأیید شد.

توانایی در انتقال و تجمع فلزات سنگین

جدول 6 پتانسیل گیاه‌پالایی وتیور، از طریق فاکتورهای انتقال و غلظت بیولوژیکی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مشخص گردید که فاکتور انتقال و غلظت بیولوژیکی در گیاه و تیور تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد. با افزایش سطوح تیمار شیرابه، فاکتور انتقال و فاکتور غلظت بیولوژیکی افزایش یافته است. بیشترین فاکتور انتقال و غلظت بیولوژیکی مربوط به تیمار شیرابه با غلظت 100 درصد می‌باشد. نتایج نشان داد که فاکتور انتقال کمتر از یک (TF<1) و فاکتور غلظت بیولوژیکی بیشتر از یک (BCF>1) می‌باشد.

[1] Duncan's Multiple Range Test

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 5- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تیمارهای شیرابه زباله بر جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در اندام هوایی گیاه وتیور

منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات			
		میزان فلزات سنگین (سرب؛ کادمیوم؛ منگنز و نیکل) در ریشه گیاه			
		سرب اندام هوایی	کادمیوم اندام هوایی	منگنز اندام هوایی	نیکل اندام هوایی
اثرات تیمار شیرابه	3	182/149**	101/741**	97/400**	222/903**
خطا	8	0/102	0/016	0/016	0/076
ضریب تغییرات (%)	-	5/44	4/04	10/33	4/51

**معنی‌داری در سطح احتمال 99٪، *معنی‌داری در سطح احتمال 95٪، ns: تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

جدول 6- میانگین جذب و تأثیر تیمارهای مختلف فلزات سنگین بر فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF)، ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC) و فاکتور انتقال (TF)

تیمارها	کل جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه و اندام هوایی (میلی گرم بر کیلو گرم خاک خشک)	BCF root فاکتور غلظت بیو لوژیکی در ریشه	BAC غلظت تجمع بیولوژیکی	TF فاکتور انتقال
شیرابه 0% (شاهد)	290/82[b]	1/30	0/58	0/65
شیرابه 30%	220/85[d]	1/14	0/65	0/74
شیرابه 60%	266/65[c]	1/16	0/66	0/75
شیرابه 100%	404/37[a]	1/22	0/77	0/80

بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط گیاه وتیور

بر اساس نتایج جدول 7 با توجه به اینکه معیار در طبعیت، جهت برآورد پتانسیل گیاه در حذف فلزات سنگین شیرابه زباله، شیرابه حاصل از مرکز دفن زباله می‌باشد. در این تحقیق نیز از گیاه آبیاری شده با شیرابه خالص (تیمار 100 درصد) جهت تعیین پتانسیل گیاه پالایی وتیور از طریق فاکتورهای انتقال و غلظت بیولوژیکی، برای فلزات سنگین مورد مطالعه بصورت جداگانه استفاده شد. با توجه به میزان غلظت فلزات سنگین در ریشه و اندام‌هوایی در تیمارهای با شیرابه خالص (تیمار 100 درصد) و آنالیز آن مشخص گردید فاکتور انتقال و غلظت بیولوژیکی برای تمام فلزات سنگین مورد مطالعه در گیاه و تیور تفاوت معنی‌داری در سطح 1 درصد وجود دارد. همچنین فاکتور انتقال کمتر از یک (TF<1) و فاکتور غلظت بیولوژیکی بیشتر از یک (BCF>1) می‌باشد. بیشترین فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF) مربوط به فلز منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، کادمیوم و نیکل بود. همچنین بیشترین فاکتور انتقال (TF) مربوط به فلز نیکل و سپس به ترتیب برای فلزات، منگنز، سرب و کادمیوم بود.

www.SID.ir

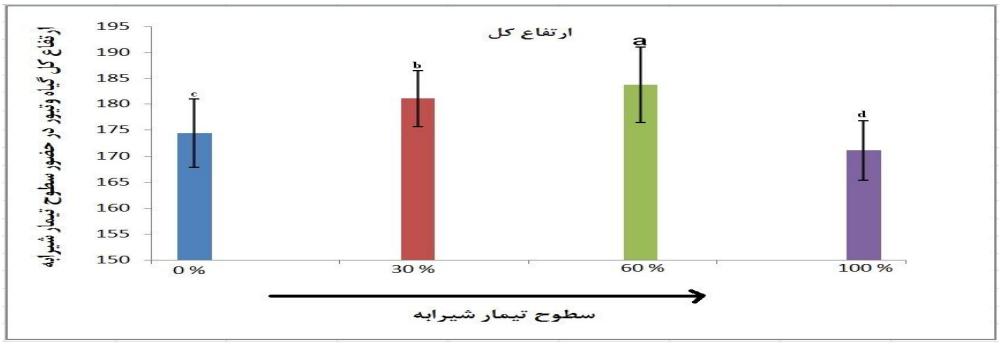
Archive of SID

جدول 7- فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF) و فاکتور انتقال (TF) برای فلزات سنگین مورد مطالعه

فلزات سنگین	TF فاکتور انتقال	BCF فاکتور غلظت بیولوژیکی در ریشه
سرب	0/8[c]	1/4[b]
کادمیوم	0/73[d]	1/2[c]
منگنز	0/82[b]	1/5[a]
نیکل	0/87[a]	1/2[c]

تغییرات مورفولوژیکی، گیاه وتیور در برابر سطوح تیمار شیرابه

اثر فلزات سنگین بر روی صفات رویشی (طول ریشه، اندام هوایی و ارتفاع کل) نهال‌های وتیور بر اساس نتایج موجود در شکل‌های 11-9، نشان داده شد که سطوح مختلف تیمارهای شیرابه تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات رویشی (طول ریشه و اندام‌هوایی و همچنین ارتفاع کل) نهال‌های مورد بررسی دارد. با افزایش غلظت شیرابه از صفر تا 60 درصد طول ریشه و اندام‌هوایی افزایش می‌یابد. زمانی که گیاه وتیور با تیمار شیرابه 100 درصد یا همان شیرابه خالص مواجه می‌شود بطور معنی-داری طول ریشه و اندام هوایی و همچنین ارتفاع کل نسبت به تیمارهای صفر، 30 و 60 درصد کاهش می‌یابد. بیشترین افزایش طول ریشه و اندام‌هوایی و همچنین ارتفاع کل برای تیمار شیرابه 60 درصد می‌باشد. کمترین طول ریشه و اندام هوایی و همچنین ارتفاع کل به تیمار شیرابه 100 درصد نسبت داده شده است.

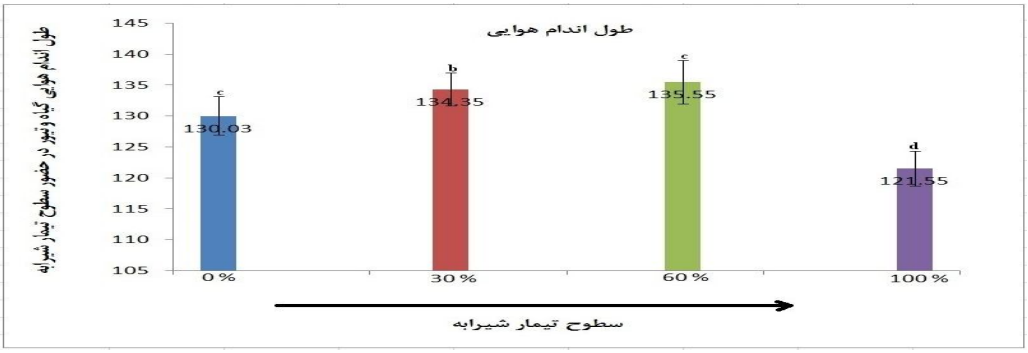


شکل 9- تغییرات گیاه وتیور (ارتفاع کل) در برابر سطوح تیمار شیرابه

شکل 10- تغییرات مورفولوژیکی ریشه گیاه وتیور در برابر سطوح تیمار شیرابه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 11- تغییرات مورفولوژیکی اندام هوایی گیاه وتیور در برابر سطوح تیمار شیرابه

بحث

عملکرد فیزیولوژیکی اندام‌های ریشه و اندام هویی بر مقدار جذب فلزات سنگین در در خاک‌های آلوده تحت تأثیر شیرابه

سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل موجود در شیرابه زباله استفاده شده در تحقیق فراتر از حد WHO بود (سازمان بهداشت جهانی، 2011). نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر نشان داد که ریشه گیاهان (شکل‌های 4-1) غلظت بیشتری از فلزات سنگین را نسبت به اندام‌هوایی (شکل‌های 8-5) گیاه جذب می‌کنند (شکل‌های 8- 1). با توجه به شکل‌های (8-1) که میانگین جذب در سطوح مختلف تیمارها را نشان می‌دهد، مشخص شد که بیشترین میزان جذب، در بین تیمارها مربوط به فلز منگنز است که در ریشه و اندام‌هوایی مقدار 123/88 میلی‌گرم بر کیلوگرم را انباشت نموده است. از این مقدار، 70/70 میلی گرم بر کیلوگرم در ریشه (شکل3) و 53/18 میلی‌گرم بر کیلوگرم در اندام‌هوایی انباشته شد (شکل7). بعد از فلز منگنز بیشترین جذب به ترتیب مربوط به Pb > Ni > Cd بود. البته این میزان جذب فلزات به دلیل مقدار و ماهیت آنها در شیرابه و خاک است، و در تمام تیمارها، جذب ریشه به طور معنی‌داری بیشتر از اندام‌هوایی بود. زیرا ریشه اولین ارگان در تماس با عناصر سمی است، و به طور معمول تجمع فلزات سنگین در ریشه‌های گیاه بیشتر از اندام‌های هوایی است و در این مطالعه با افزایش غلظت شیرابه، (تیمارهای شیرابه) جذب فلزات افزایش می‌یابد. اما به دلیل مقدار فلزات باقیمانده در خاک، درصد جذب فلز کاهش یافته و سطوح اول تیمارها بیشترین درصد جذب را دارد.

دلیل افزایش سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در ریشه گیاه وتیور تجمع آن در واکوئل‌های سلولی است. تجمع عناصر موجود در واکوئل سلولی مانع از انتقال آنها به قسمت‌های هوایی می‌شود. بنابراین، مقدار این فلزات مشترک در ریشه بیشتر از اندام هوایی است. با این حال، جذب فلزات سنگین در واکوئل و به خصوص در دیواره سلولی اثرات سمی کمتری بر روی گیاه ایجاد می‌کند (مبین و خان، 2007).

مکانیزم جذب فلزات از ریشه به این صورت می‌باشد که گیاهانی که به شدت جذب کننده فلزات هستند، در اطراف منطقه ریزوسفر خود پروتون‌هایی آزاد می‌کنند که با اسیدی کردن خاک، تحرک یون‌های فلزی را افزایش داده و آن را در دسترس ریشه قرار می‌دهند (ژائو و همکاران، 2009). آپوپلاست، نخستین جایگاه جذب فلزات در ریشه است. بخشی از فلزات جذب شده به آپوپلاست به ترکیبات دیواره سلولی متصل می‌شود. در دیواره سلولی، پکتین‌هایی مانند پلیگالاکتورونیک اسید و گروه‌های کربوکسیل با بار منفی آن به عنوان مبادله کننده-های کاتیونی عمل می‌کنند. بخش دیگر فلزات جذب شده، به قسمت هایدورتر آپوپلاست و قسمتی از آن‌ها نیز از طریق غشای پلاسمایی به سیتوپلاسم انتقال می‌یابند (پراساد و هاگمایر، 1999). در بین آمینواسیدها، پرولین حساسیت بیش‌تری به تنش‌های محیطی نشان می‌دهد. افزایش پرولین باعث سازش بیشتر سلول با شرایط تنش و حفاظت از آنزیم‌های سیتوزول و ساختارهای سلولی می-شود. پرولین نقش‌های متعددی سلول، پایدارکردن پروتئین، محافظت در برابر سرما و تنظیم پتانسیل ردوکس را دارد. پرولین عمدتاً در سیتوپلاسم انباشته می‌شود تا پتانسیل اسمزی واکوئل مانند تنظیم pH متعادل شود. بررسی‌های زیادی روی مسیرهای بیوسنتز و کاتابولیسم پرولین صورت گرفته است، به نظر می‌رسد وتیور جهت تخفیف سمیت ناشی از فلزات سنگین از مکانیسم گونه-

www.SID.ir

Archive of SID

های طردکننده فلز (Metal excluders) بهره مند است، چرا که از تجمع فزاینده یون‌های فلزی به بخش‌های هوایی جلوگیری کرده و آنها را بیشتر در ریشه انباشت کرده است. به منظور این کار گیاه وتیور برای دفاع در برابر تنش حاصل از فلز سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل میزان پرولین بیشتری آزاد می‌کند.

به نظر می‌رسد که سرب و سایر عناصر (کادمیوم، منگنز و نیکل) انتقال آب به اندام هوایی را کاهش می‌دهند به این ترتیب بخشی (اصولا کمتر از جذب ریشه) به اندام هوایی منتقل می‌شود و بیشتر تجمع آنها در ریشه اتفاق افتاده است.

در حقیقت، تثبیت و تجمع فلزات سنگین در ریشه و انتقال کمتر به اندام هوایی در مقایسه با ریشه‌ها، که ممکن است به دلیل سکوستره شدن آلاینده‌های فلزی در واکوئل ریشه و سلول‌ها باشد، یک استراتژی است که برخی از گیاهان برای مقابله با سمیت فلزات سنگین اتخاذ می‌کنند (کمال پور و همکاران، 2014). اما در این تحقیق، مطابق با داده‌های شکل‌های 8-1 و جدول 6، گرچه گیاه وتیور در جذب فلزات سنگین در ریشه در مقایسه با اندام هوایی موفق‌تر بوده است، اما همچنین در جذب و انتقال فلزات سنگین به اندام هوایی تا حدودی موفق بوده است. این امر باعث ایجاد اختلال در رشد گیاهان وتیور نشده است، (شکل‌های 11-9) و آمار تقریباً 100٪ بقا گیاهان وتیور حاکی از این ادعاست بنابراین، با توجه به این ویژگی‌ها، گیاه وتیور می‌تواند در پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین شیرابه مؤثر باشد.

بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی وتیور در پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بر اساس شاخص‌های فاکتور غلظت بیولوژیکی یا BCF و فاکتور انتقال یا TF

TF و BCF شاخص‌های مهمی برای تعیین پتانسیل گیاه-پالایی هستند. پتانسیل گیاه‌پالایی و ارزیابی پالایش خاک-های آلوده از آلاینده‌ها با توجه به فاکتور انتقال (TF)، فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF)، ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC) تعیین می‌شود (ان جی و همکاران، 2016). اگر مقدار TF کمتر از یک و مقدار BCF بیش از یک باشد گیاه برای فرآیند (گیاه تثبیتی)[1] در پالایش آلودگی‌ها از خاک و شیرابه مناسب است، و اگر TF بیشتر از یک باشد، گیاه به عنوان (گیاه استخراجی)[2] برای پالایش آلودگی‌ها مناسب است. همچنین، گیاهان با مقادیر TF و BCF بیشتر از یک، برای فرآیند (گیاه استخراجی و گیاه تثبیتی) در فرآیند گیاه‌پالایی مناسب هستند، و می‌توانند بیش انباشته گر باشند. مقدار BCF چهار معیار دارد که مقدار کمتر از 0.01 به این معنا ست که هیچ انباشتی وجود ندارد. مقدار بین 0/01- 0/1 به معنای تجمع کم فلزات سنگین، مقدار بین 0/1- 1/0 به عنوان انباشت متوسط و مقدار بیش از 1/0 به عنوان تجمع زیاد فلزات سنگین در نظر گرفته شده است (ان جی و همکاران، 2016). در این مطالعه مشخص شد که با افزایش غلظت شیرابه در خاک، BCF، و در نهایت TF افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهند. یعنی وقتی گیاه در معرض فلزات سنگین بیشتری در اثر افزایش غلظت شیرابه قرار می‌گیرد، گیاه وتیور نسبت به آن واکنش نشان می‌دهد، و با تجمع بیشتر فلزات در ریشه و انتقال نسبی آنها به اندام هوایی واکنش نشان می‌دهد، و در مقابل فلزات سنگین با این رفتار مقاومت می‌کند (جدول 7-6).

در این مطالعه بیشترین مقدار BCF در تیمار شاهد مشاهده شد و سپس به ترتیب در تیمارهای 100، 60 و 30 درصد مشاهده شد. تفاوت در مقادیر BCF برای فلزات سنگین مورد مطالعه از طریق گیاه وتیور به تحرک، اشکال و ماهیت این فلزات که در آنها وجود دارند، نسبت داده شده است (جدول 6). بیشترین مقدار TF برای تیمار 100٪ با مقدار 0/80 و سپس به ترتیب مربوط به تیمارهای شیرابه 60، 30 و شاهد با مقادیر 0/75، 0/74، و 0/65 بود (جدول 6). یعنی بطور معنی‌داری فاکتور انتقال تیمارهای مورد مطالعه، از تیمار شاهد بالاتر بود. که نشان دهنده تاثیر شیرابه و توانایی گیاه وتیور در مواجهه با اثرات سمی فلزات سنگین شیرابه و مقابله برای زنده مانی در برابر این اثرات است. در وتیور، مقادیر BCF> 1 و TF> 1 گزارش شد. همچنین در بررسی پتانسیل گیاه پالایی وتیور از طریق فاکتور های TF و BCF برای فلزات سنگین مورد مطالعه مشخص شد که BCF> 1 و TF> 1 بود و بیشترین مقدار BCF مربوط به فلز نیکل و سپس به ترتیب برای فلزات منگنز، سرب و کادمیوم بود و بیشترین مقدار TF مربوط به فلز نیکل و سپس به ترتیب برای فلزات منگنز، سرب و کادمیوم بود (جدول7-6).

توانایی کمتر انتقال گیاهان، از ریشه به اندام هوایی، ممکن است به این دلیل باشد که این گیاهان دارای واکوئل‌های چند جانبه در بافت‌های ریشه هستند. اثر متقابل فلزات مختلف نه تنها بر میزان جابجایی تأثیر می‌گذارد، بلکه بازده جذب و توزیع آن را نیز تغییر می دهد. عدم تحرک قابل توجه فلز به دلیل اتصال فلزات به سلول‌های ریشه رخ می‌دهد که می‌تواند نوعی مکانیسم تحمل گیاه محسوب شود (پنگ و همکاران، 2015).

[1] Phytoestablization
[2] Phytoextraction

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به یافته‌های جدول 7-6 گیاه وتیور، به دلیل دارا بودن BCF> 1 و TF <1، می توان گفت که برای پالایش آلودگی فلزات سنگین شیرابه زباله، به عنوان یک گیاه تثبیتی در فرایند گیاه‌پالایی مناسب است.

بررسی طول اندام‌های گیاه وتیور، در غلظت‌های مختلف شیرابه

با توجه به مدت طولانی که گیاهان وتیور تحت تیمار بودند با توجه به (شکل‌های 11-9) مشخص گردید که بعد از 5 ماه آبیاری، مقدار فلزات سنگین مورد مطالعه در تیمارهای شیرابه در ابتدا (تا تیمار شیرابه 60 درصد) موجب افزایش طول ریشه گیاهان وتیور، و سپس با افزایش غلظت در تیمار شیرابه 100 درصد باعث کاهش طول ریشه گیاهان آبیاری شده با شیرابه شده است. بیشترین طول ریشه در گیاهان وتیور آبیاری شده با شیرابه 60 درصد مشاهده شد که برابر با 48/23 سانتی‌متر بود. طول ریشه‌های گیاهانی که با شیرابه 100 درصد آبیاری شده بودند کمترین طول را داشتند، و برابر 40/14 سانتی-متر بود. کاهش طول ریشه بر اثر، تجمع فلزات سنگین، افزایش روند اختلال در بیوسنتز گیاه، تخریب مریستم‌های نوک ریشه و یا اختلال در تقسیم سلولی و میتوز غیر طبیعی می‌باشد. غلظت‌های سمی نیکل و کادمیوم و منگنز از طریق تغییر در ساختار غشای سلول‌های ریشه و کاهش سطوح جذب کننده آب و املاح، تأثیر منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی نظیر تعرق، تنفس، فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه داشته است (آردوینی و همکاران، 1994). به طور کلی ایجاد تغییر در مورفولوژی ریشه در اثر افزایش غلظت شیرابه در اثر وجود فلزات سنگین و تغییر ساختار ریشه باعث کاهش جذب مواد غذایی شده و کاهش رشد را به دنبال دارد (آردوینی و همکاران، 1994).

کاهش انشعابات فرعی ریشه گیاه جعفری در اثر افزایش غلظت نیکل، تغییر رنگ ریشه و کاهش قطر و طول ریشه از جمله اثرات فلز نیکل بر گیاه *Petroselinum crispum* است که در سایر گیاهان هم تایید شده است (خطیب و همکاران، 2009). نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان مطابقت دارد. کاهش رشد ممکن است به دلیل کاهش میزان فتوسنتز باشد، آسیب به فتوسنتز اساساً در اثر کاهش کلروفیل و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها رخ می‌دهد (چائویی و فرجانی، 2005). کاهش رشد ریشه و بخش هوایی تحت تنش سرب می‌تواند به دلیل تجمع زیاد سرب در ریشه، لیگنینی شدن دیواره تحت تأثیر فلز سنگین، تأثیر مستقیم فلز سنگین بر هسته سلولی، و برهم کنش فلزات سنگین با گروه های سولفیدریل غشا سلول‌ها و غیرفعال کردن آنها باشد. دیگر اثرات منفی سرب بر رشد گیاهان می‌توان به اثر آن در کاهش زیتوده بخش‌های ریشه‌ای، هوایی و کاهش عملکرد اشاره کرد. سمیت سرب به این دلیل است که بسیاری از جنبه‌های رفتار متابولیسمی کلسیم را تقلید می‌کند و از فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند. غلظت بالای نیکل و منگنز به عنوان عاملی تنش‌زا برای گیاهان به شمار می‌رود، که می‌تواند به عنوان یک عامل محدودکننده رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. نیکل با کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، آهن و روی رقابت می‌کند، لذا میزان زیاد نیکل در محیط ریشه خاک‌های آلوده، ممکن است به کمبود آهن و روی در گیاه منجر شود. از دیگر دلایل سمیت نیکل و منگنز در گیاهان تأثیر آن بر هوموستازی آهن در ریشه و اندام‌های هوایی با مکانیسم‌های متفاوت است. نیکل زیادی آن در هوموستازی آهن دخالت دارد. گیاه وتیور جهت کاهش سمیت فلزات (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) مورد مطالعه در شیرابه زباله، در بین آنتی اکسیدان‌های غیرآنزیمی از وجود پرولین بهره می‌برد. وتیور با آزاد کردن مقدار زیاد پرولین این کمبود رشد و کوتاه شدن اندام‌ها را به حداقل رسانده است. پرولین آنتی اکسیدانی است که پاک کنندهٔ رادیکال‌های آزاد است و با اتصال به فلزات سنگین و تشکیل کمپلکس فلزات سنگین پرولین مانع سمیت این عنصر می-شود(چائویی و فرجانی، 2005).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اندام‌های گیاه وتیور در مواجهه با فلزات سنگین شیرابه زباله و خاک، ریشه آن (شکل‌های 4-1) غلظت بیشتری از فلزات سنگین را نسبت به اندام‌هوایی (شکل‌های 8-5) جذب می‌کند (شکل‌های 8-1). سرب و سایر عناصر (کادمیوم، منگنز و نیکل) انتقال آب به اندام هوایی را کاهش می‌دهند به این ترتیب بخشی کمتری از فلزات سنگین به اندام هوایی منتقل می‌شود و بیشتر تجمع آنها در ریشه صورت گرفت. در این تحقیق، اگرچه گیاه وتیور در جذب فلزات سنگین در ریشه در مقایسه با اندام هوایی موفق‌تر بود. اما همچنین گیاه وتیور در جذب و انتقال فلزات سنگین به اندام هوایی تا حدودی نیز موفق بوده است، و این امر باعث ایجاد اختلال در رشد نگردید و شیرابه زباله تا حدودی (شیرابه 60 درصد) بعنوان محرک رشد بوده و در تیمارهای بالاتر نیز مانع رشد گیاهان نگردید (شکل‌های 11-9). با توجه به یافته‌ها،گیاه وتیور به دلیل دارا

www.SID.ir

Archive of SID

بودن BCF> 1 و TF <1، می‌توان گفت که برای پالایش آلودگی فلزات سنگین شیرابه زباله، به عنوان یک گیاه تثبیتی (Phytostablization) در تصفیه آلودگی‌های خاک عمل می‌کند (جدول 7-6). با توجه به رشد بهینه، زنده-مانی قابل قبول، انتقال قابل قبول فلزات سنگین از خاک به ریشه و از ریشه به اندام هوایی، وتیور قادر به تصفیه خاک‌های آلوده به شیرابه زباله حاوی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل است.

فهرست منابع:

1. نادری، م ر.، ع. دانش شهرکی و ر. نادری. *1391*. مروری بر گیاه پالایی خاک های آلوده به فلزات سنگین. فصلنامه انسان و محیط زیست، 4 (23): 49-35.
2. منصوریان، ع ر.، آ. وزیری، م. زمانی، و ف. حیدریان نایینی. 1396. بررسی گیاه‌پالایی خاک های آلوده به سیانید با استفاده از گیاه وتیوریا زیزانیاوایدس (Vetiveria zizanioides). مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، 10 (3): 411-420.
3. قائمی، ع آ.، ف. .مجدالدین. 1395. بررسی گیاه‌پالایی وتیور و اکالیپتوس در جذب برخی فلزات سنگین از فاضلاب در خاک آلوده به شیرابه زباله. مجله مهندسی منابع آب، 9 (28): 106-95.
4. Anning, A. K., R. Akoto. 2018. Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with Typha latifolia and Chrysopogon zizanioides. – Ecotoxicology and Environmental Safety. 148: 97-104.doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.10.014.
5. Arduini, I., D. L. Godbold., and A. Onnis. 1994. Cadmium and copper change root growth and morphology of Pinus pinea and Pinus pinaster seedlings. *Physiologia plantarum*. *92*(4): 675-680.
6. Chaoui, A., and E. El Ferjani. 2005. Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (Pisum sativum L.) seedlings.*Comptes rendus biologies*. *328*(1): 23-31
7. Effendi, H., B. A.Widyatmoko Utomo., N. T. M. Pratiwi. 2020. Ammonia and orthophosphate removal of tilapia cultivation wastewater with Vetiveria zizanioides. 32(1): 207-212. doi.org/10.1016/j.jksus.2018.04.018.
8. Kafil, M., Boroomand Nasab, S., Moazed, H., and Bhatnagar, A. (2019). Phytoremediation potential of vetiver grass irrigated with wastewater for treatment of metal contaminated soil. Volume 21, 2019 - Issue 2 Pages 92-100. doi.org/10.1080/15226514.2018.1474443.
9. Kamalpour, S., H. Ali Alikhani., B. Motasharzadeh., and M. Zarei. 2014. Investigating the effect of some biological factors on lead vegetation and phosphorus uptake By eucalyptus (camaldulensis Eucalyptus), Iranian Forest Magazine, Iranian Forestry Association. 4: 457-470.
10. Khatib, H., W. Huang., D. Mikheil., V. Schutzkus., and R. L. Monson.2009. Effects of signal transducer and activator of transcription (STAT) genes STAT1 and STAT3 genotypic combinations on fertilization and embryonic survival rates in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. *92*(12): 6186-6191
11. Mobin, M., N. A. Khan. 2007. Photosynthetic activity pigment composition and antioxidative response of two mustard cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. J.plant Physiol. 164: 601-610. doi: 1016/j.jplph.2006.03.003.
12. Ng, C.C., M. M. Rahman., A. N. Boyce., M. R. Abas. 2016. Effects of Different Soil Amendments on Mixed Heavy Metals Contamination in Vetiver Grass 97: 695–701. doi:10.1007/s00128-016-1921-5
13. Peng, D., M. Shafi., Y. Wang., S. Li., W. Yan., J. Chen., Z. Ye., D. Liu. 2015. Effect of Zn stresses on physiology, growth, Zn accumulation, and chlorophyll of Phyllostachys

www.SID.ir

Archive of SID

pubescens. Environ Sci Pollut Res Int. 22(19): 14983–14992. doi: 10.1007/s11356-015-4692-3.
14. Prasad, M. N. V., & J. Hagemeyer. 1999. Metallothioneins and Metal Binding Complexes in Plants.Heavy metal stress in plants. From molecules to Ecosystems.
15. Ramos-Arcos, S.A., S. Lopez-Martinez., S. Lagunas Rivera., E. G. Gonzalez-Mondragon., M. C. De la Cruz leyva., J. R. Velazquez-Martinez. 2019. Phytoremediation of landfill leachate using vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) and cattail (*Typha latifolia*). APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH. 17(2): 2619-2630.
16. Siya R., D. F. Ardejani., M. Farahbakhsh., P. Norouzi, M.Yavarzadeh, and S. Maghsoudy. 2020. Potential of Vetiver Grass for the Phytoremediation of a Real Multi-Contaminated Soil, Assisted by Electrokinetic. Che mosphere. 246: 125802.
17. Standard Practice for Nitric Acid Digestion of Solid Waste. 2017. Book of Standards Volume: 11.04 (ASTM D5198 -17).
18. Standard Test Method for Analysis of Nickel Alloys by Flame Atomic Absorption Spectrometry**.** (ASTM E1835-14, 2014).
19. Standard Test Method for Low Concentrations of Lead, Cadmium, and Cobalt in Paint by Atomic Absorption Spectroscopy. (ASTM D3335 - 85a, 2014).
20. Standard Test Method for Manganese in Gasoline By Atomic Absorption Spectroscopy. (ASTM D3831 – 12, 2017).
21. Tambunan, J.A.M., H. Effendi., M. Krisanti. 2018. Phytomerediating batik wastewater using Vetiver Chryspogon zizanioides (L). Polish J. Environ. Stud. 27 (3): 1281–1288. doi.org/10.1007/s13201-018-0640-y.
22. Truong, P. and L. T. Danh. 2015. The Vetiver system for improving water quality: prevention and treatment of contaminated water and land, 2nd edn. The Vetiver Network International.
23. Vaverková, M.D., D. Adamcová., M. Radziemska., S. Voběrková., Z. Mazur., J. Zloch. 2018. Assessment and evaluation of heavy metals removal from landfill leachate by Pleurotus ostreatus. – Waste and Biomass Valorization 9(3): 503-511. doi: 10.1007/s12649-017-0015-x.
24. Wong, M.H., Y. S. G. Chan., C. Zhang., C. Wang-Wai. 2016. Comparison of pioneer and native woodland species growing on top of an engineered landfill, Hong Kong: restoration programme. Land Degrad Dev. 27(3): 500–510. doi:10.1002/ldr.2380.
25. World Health Organization. 2011. Guidelines for Drinking Water Quality, 4th Edition, Geneva, Switzerland. ISBN 978 92 4 1548151.
26. Yan Y, J Gao., J. Wu., B. Li. 2014. Effects of inorganic and organic acids on heavy metals leaching in contaminated sediment. In: Interdisciplinary response to mine water challenges, China University of Mining and Technology Press, Xuzhou.(Eds. Sui, W., Sun, Y. and Wang, C.): 406-410.
27. Zhao, X., K. Cheng., & D. Liu. 2009. Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis.*Applied microbiology and biotechnology. 82*(5): 815.

www.SID.ir

Archive of SID

Investigation of the Uptake of Heavy Metals in Waste Leachate by Vetiver from a Contaminated Soil

F. Gravand, A. Rahnavard[1], and G. Mohammad Pour
Department of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran; E-mail: Gravand92@gmail.com
Department of Environment, Department of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran; E-mail: rahnavard_aptin@yahoo.com
Department of Environment, Islamic Azad University, Research Sciences Branch, Tehran, Iran; E-mail: G.mohammadpor@gmail.com
Received: December, 2020 and Accepted: July, 2021

Abstract

The aim of this study was to evaluate the potential of uptake of lead, cadmium, manganese and nickel from municipal waste leachate by Vetiver under greenhouse conditions. This research was based on a completely randomized design in three replications with four treatments, including waste leachate with concentrations of 0, 30%, 60%, and 100%. The plants were irrigated at optimum temperature conditions for vetiver (23-23 °C) and based on water requirement for 5 months and 4 watering per week, each time using one liter of leachate. The results showed that there was a significant difference at the level of 1% in the uptake of heavy metals by the plant. Also, with the increase of leachate treatment levels to 60%, there was a significant difference at the level of 1% in root and shoot length. Then, in the treatment with 100% leachate, root and shoot length were significantly reduced. With increasing levels of leachate treatment, the uptake of heavy metals by the plant increased. The highest uptake was by the root with a total average of 200.21 mg /kg in all four treatments. The highest amount of adsorption was related to manganese, lead, nickel and cadmium with averages of 70.70, 52.73, 44.56, and 32.22 mg/kg, respectively. In the shoot, the average of the total uptake of the four elements was 147.93 mg/kg, with the highest averages belonging to manganese, lead, nickel, and cadmium as 53.18, 38.35, 35.13, and 21.27 mg/kg, respectively. The maximum uptake of the four heavy metals in the roots and shoots was related to the treatment with 100%. Also, for all elements in all treatments, the biological concentration factor (BCF) was >1 and the transfer factor (TF) was <1. The results showed that the plant was able to absorb significantly higher amounts of heavy metals at higher concentrations of leachate. Since roots showed greater uptake of the heavy metals in waste leachate than shoots, vetiver plant can act as a phytostablizer and reduce heavy metals mobilization in polluted soil.

Keyword: Biological concentration, Transfer factor, Phytoremediation, Phytostablizer, Soil pollution

[1] Corresponding author: Department of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.

www.SID.ir