

بررسی پتانسیل گیاه پالایی و عملکرد گیاه آفتابگردان زینتی تحت تأثیر لجن فاضلاب

الهام محمدیان، سید ابراهیم هاشمی گرمدره و مریم وراوی پور

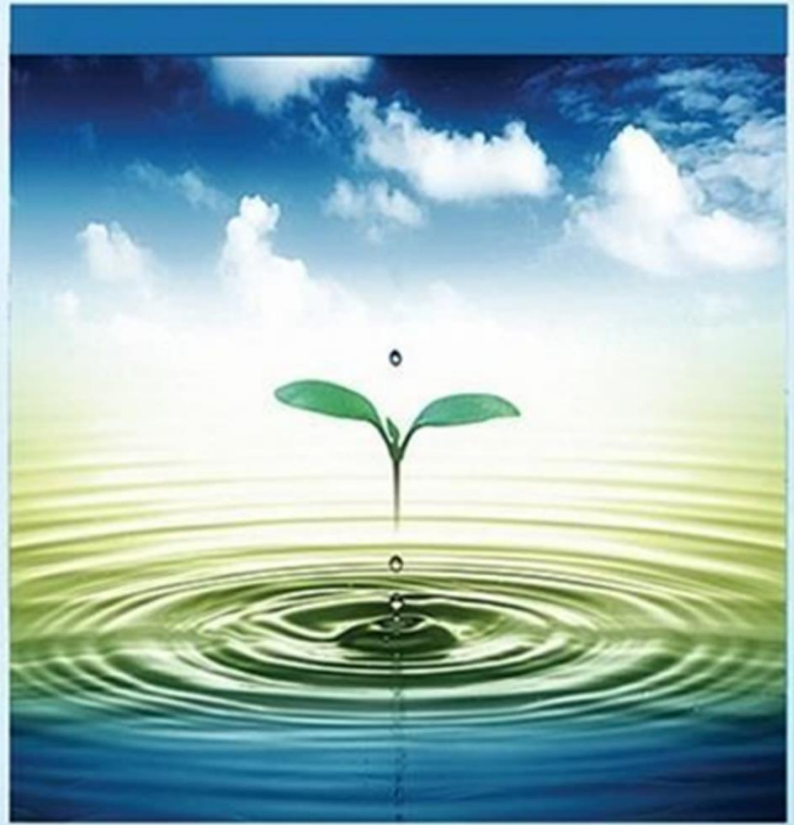
دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۲۱۹-۲۰۷

Vol. 7(2), Summer 2021, 207-219

DOI: 10.22034/jewe.2021.255358.1458

Evaluation of Phytoremediation Potential and Yield of Helianthus Annuus under Sewage Sludge application

Mohammadian, E., Hashemi Garmdareh, S. E. and Varavipour, M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

محمدیان، ا.، هاشمی گرمدره، ا. و وراوی پور، م. (۱۴۰۰). بررسی پتانسیل گیاه پالایی و عملکرد گیاه آفتابگردان زینتی تحت تأثیر لجن فاضلاب. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۲، صفحات: ۲۱۹-۲۰۷.

Citing this paper: Mohammadian, E., Hashemi Garmdareh, S. E. and Varavipour, M. (2021) Evaluation of Phytoremediation potential and yield of Helianthus annuus under aewage aludge application. Environ. Water Eng., 7(2), 207-219. DOI: 10.22034/jewe.2021.255358.1458

مقاله پژوهشی

بررسی پتانسیل گیاه پالایی و عملکرد گیاه آفتابگردان زینتی تحت تأثیر لجن فاضلاب

الهام محمدیان^۱، سیدابراهیم هاشمی گرم‌دره^{۲*} و مریم وراوی پور^۳^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران^۲ استادیار، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: sehashemi@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۰/۳۰]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۹/۲۹]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۸/۱۱]

چکیده

بسیاری از گیاهان زینتی توانایی استخراج فلزات سمی از خاک را داشته و قادرند مقادیر بالایی از فلزات را در اندام‌های خود ذخیره کنند و از آنجایی که وارد زنجیره غذایی انسان نمی‌شوند، فاقد مشکلات سلامتی برای انسان می‌باشند. این پژوهش با هدف تعیین عملکرد گیاه آفتابگردان زینتی و بررسی توانایی گیاه پالایی فلزات سنگین موجود در خاک توسط آن انجام شد. این پژوهش با سه سطح لجن مربوط به تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران، شامل ۰، ۱۰ و ۲۰٪ وزنی خاک، در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی روی گیاه آفتابگردان زینتی انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار غلظت فلزات سنگین و عملکرد تر و خشک بخش‌های مختلف گل در گیاه شد. استفاده از لجن فاضلاب به میزان ۲۰٪ وزنی خاک، از نظر شاخص رشد مانند وزن تر (ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۱۲/۰۳ g و ۴۸/۵۶ g)، وزن خشک (ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۱/۹۷ g و ۸/۶۹ g)، قطر ساقه (۰/۷۸ cm)، ارتفاع ساقه (۱۹/۴ cm) و قطر گل (۷/۴۴ cm) و نیز غلظت فلزات سنگین سرب (ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۹/۰۹ و ۴/۳۵ mg/kg)، نیکل (ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۳/۶۵ و ۲/۰۴ mg/kg) و کادمیوم (ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۰/۵۹۸ و ۰/۳۶۴ mg/kg)، مناسب‌تر بود. با توجه به فاکتور تجمع زیستی ریشه بالای یک و فاکتور انتقال کم‌تر از یک، گیاه آفتابگردان زینتی یک گیاه مناسب برای جذب و انتقال فلزات سنگین بوده که با سازوکاری تثبیت گیاهی، از ورود فلزات سنگین به بخش‌های هوایی جلوگیری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان زینتی؛ فاکتور انتقال؛ فاکتور تجمع زیستی؛ فلزات سنگین؛ گیاه پالایی

۱- مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت دنیا از سویی و افزایش تدریجی میزان آلودگی‌های محیط‌زیست و به‌دنبال آن نابودی بخش مهمی از خاک‌های کشاورزی، چالش‌های اساسی و جدی دنیا در دهه آینده بر سر موضوع مهم امنیت غذایی از جنبه‌های کمی و کیفی آن خواهد بود (Amoei et al. 2012). منبع اصلی فلزات سنگین خاک، مصرف پساب‌های شهری و صنعتی، کودهای شیمیایی، لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و معادن استخراج فلزات است (Hashemimajd 2010). کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب به‌علت غنی‌بودن از عناصر غذایی موردنیاز گیاه و مواد آلی در بیش‌تر موارد باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد مقادیر مناسب لجن فاضلاب در خاک موجب بهبود شرایط فیزیکی خاک و تأمین مقادیر قابل‌توجهی از مواد غذایی گیاه می‌شود و کمیت و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد. درحالی‌که مصرف بیش از حد آن زیان‌آور است و باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌گردد (Fresques et al. 1990). با این وجود، فاضلاب حاوی مقادیر قابل‌توجهی از فلزات سنگین می‌باشد که می‌تواند تهدید جدی محیط‌زیستی برای کیفیت شیمیایی خاک و محصولات کشاورزی و همچنین بهداشتی باشد (Balkhair et al. 2016). آلودگی خاک به فلزات سنگین موجب ورود آن‌ها به زنجیره غذایی از طریق جذب به‌وسیله گیاه می‌گردد. مهم‌ترین تأثیر فلزات سنگین در بدن انسان، عدم متابولیسم شدن آن‌ها می‌باشد و به‌همین دلیل پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده و در بافت‌های بدن انباشته می‌شوند که همین امر موجب بروز بیماری‌های متعددی در بدن مانند اختلالات عصبی، انواع سرطان‌ها، ناباروری، کاهش حافظه، پوکی استخوان و مواردی از این قبیل می‌گردد (Sadat Taghvirad et al. 2014). یک آزمایش مزرعه‌ای طولانی‌مدت با تناوب کشت ذرت- گندم برای تعیین تجمع فلزات سنگین با مقادیر مختلف لجن فاضلاب نشان داد با افزایش ۱ ton/ha.yr لجن کاربردی محتوای جیوه، روی، مس، سرب و کادمیوم در خاک افزایش یافت (Yang et al. 2018). Hatamian et al. (2020) به بررسی تجمع سرب و کادمیوم در خاک و محصولات زراعی گندم (با کاربرد فاضلاب

تصفیه‌شده) و جو (ترکیبی از فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه) پرداختند و مشاهده کردند که غلظت سرب و کادمیوم در تیمار فاضلاب تصفیه نشده بیش‌تر از فاضلاب تصفیه‌شده است. تجمع فلزات سنگین شامل مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز در اندام‌های مختلف ذرت، جو، بامیه و جعفری تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده نشان داد که تجمع فلزات مختلف در ریشه بیش از اندام‌های دیگر بود (Farmani Fard et al. 2016).

چندین روش مهم مانند شستشوی خاک و روش‌های شیمیایی برای حذف فلزات سنگین از خاک آلوده وجود دارد، که از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشند و نیز اثرات نامطلوبی بر فعالیت‌های بیولوژیکی بر جای می‌گذارند. یکی از روش‌های حذف آلاینده‌های سمی ناشی از لجن فاضلاب، روش گیاه‌پالایی^۱ است که اثرات محیط‌زیستی کم‌تری دارد. گیاه-پالایی نوعی فناوری بر پایه استفاده از گیاهان به‌منظور حذف آلاینده‌ها از خاک با هزینه کم است که با محیط‌زیست سازگاری دارد و جزء روش‌های اصلاح در محل محسوب می‌گردد و باعث احیای مکان، حفاظت از فعالیت بیولوژیکی، ساختار فیزیکی و خصوصیات شیمیایی خاک می‌شود (Clemente et al. 2006). بسیاری از گیاهان زینتی توانایی استخراج فلزات سمی از خاک را داشته و قادرند مقادیر بالایی از فلزات را در اندام‌های خود ذخیره کنند و درعین‌حال بدون ایجاد علائم سمیت به بقای خود ادامه دهند. از طرف دیگر این گیاهان وارد زنجیره غذایی انسان نمی‌شوند و بنابراین فاقد مشکلات سلامتی برای انسان می‌باشند (Liu et al. 2008).

در یک پژوهش لجن فاضلاب و لجن بیوجار برای محصول گوجه‌فرنگی به‌کار برده شده و مشاهده شد که بیش‌ترین وزن خشک گیاه، تعداد میوه و عملکرد مربوط به تیمار لجن فاضلاب بود (Hossain et al. 2015). بررسی اثر آبیاری با آب آلوده بر تجمع مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز در دو آزمایش مجزا روی گندم و جعفری مشخص نمود که در گندم و جعفری که با آب آلوده آبیاری شدند، تجمع فلزات سنگین بیش از شاهد و تجمع آن در ریشه بیش‌تر بود (Mirzaei Takhtagahi et al. 2016). Singh and Agrawal (2010) اثر لجن فاضلاب بر برنج را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند لجن فاضلاب موجب

¹ - Phytoremediation



افزایش غلظت کادمیوم در ریشه، ساقه، برگ و دانه برنج گردید. مطالعه اثرات فلزات سنگین در آلودگی محیط‌های شهری با کمک شبیه‌سازی خاک و آلوده کردن آن به کمک فلزات سنگین انجام و نقش گیاه شبدر در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده نشان داد. مقادیر فاکتور تجمع زیستی ریشه در گیاه شبدر برای فلزات سنگین روی، سرب، مس و کادمیوم برابر با ۴/۲۴۲، ۱/۵۴۴، ۱/۰۷۱ و ۰/۶۰۴ بود (Ali et al. 2012). نتایج گیاه‌پالایی گیاه زینتی گل آهار با نام علمی *Zinnia elegans* در خاک‌های آلوده به مس نشان داد که در سطوح کم فلز سنگین مس در مناطق آلوده، این گیاه می‌تواند گیاه‌پالایی فلز مس را انجام دهد (Afroosheh and Karami 2015). نتایج پژوهشی در مورد پتانسیل گیاه‌پالایی چای ترش در پاک‌سازی آلودگی کروم در شرایط گلخانه‌ای نشان داد که بیش‌ترین ذخیره کروم در ریشه چای ترش می‌باشد که این امر بیان می‌کند که انتقال این عنصر از ریشه به اندام هوایی محدود است (Fatimenik 2017).

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷، در گلخانه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران اجرا شد. این پژوهش به صورت گلدانی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه سطح کاربرد ۰، ۱۰ و ۲۰٪ وزنی خاک لجن فاضلاب با سه تکرار انجام شد. خاک مورد استفاده از عمق ۰-۳۰ cm مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی برداشته و به محل انجام پژوهش انتقال داده شد. لجن فاضلاب مورد استفاده مربوط به تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران از نوع هضم شده به روش بی‌هوازی بود. جدول (۱) برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و لجن فاضلاب مورد استفاده را نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) در لجن مورد آزمایش با استانداردهای آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA 1993)، نشان می‌دهد که غلظت این عناصر در این لجن فاضلاب در محدوده مجاز بوده و از پتانسیل آلودگی کمی برخوردار می‌باشد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و لجن فاضلاب مورد استفاده

Table 1 Some physical and chemical properties of soil and sewage sludge used

Property	Unit	Soil	Sewage sludge	Standard allowable limit (USEPA 1993)
Soil Texture	-	Sandy Loam	-	-
pH	-	7.7	6.45	-
EC	dS/m	0.80	16.2	-
CEC	cmol+/kg	20.1	-	-
OM	%	0.45	40.47	-
N total	%	0.172	3.69	-
K	mg/kg	99.86	328	-
Pb	mg/kg	4.6	61.35	300
Ni	mg/kg	2.3	65.7	420
Cd	mg/kg	0.409	1.1	39

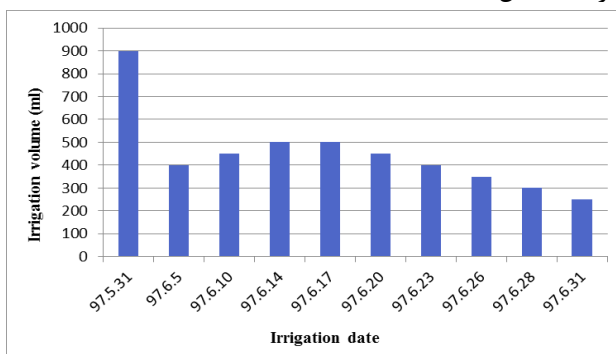
شش بذر کاشته شد. پس از گذشت ۱۵ day از کاشت بذر، نشاء بوته‌ها تنک شدند و در هر گلدان سه بوته که از بقیه بوته‌ها مقاوم‌تر بود نگه‌داشته شد تا فضای کافی برای رشد گیاه

تعداد گلدان‌ها با توجه به تعداد تیمار و تکرارها برابر ۹ عدد گلدان بود. در اواخر تیرماه بذرهای گیاه آفتابگردان زینتی در گلدان‌های استکانی کاشته شد. بدین صورت که در گلدان‌ها

مته‌های نمونه‌گیری، روش پروفیل خاک و روش استفاده از نمونه‌های دست‌نخورده که در این پژوهش از روش مونولیت استفاده شده است. به این صورت که خاک هر گلدان همراه با ریشه‌های موجود در آن، از گلدان خارج شده و در درون الک و داخل ظرف آبی قرار داده شد و الک به آرامی تا زمان جدا شدن کامل ذرات خاک تکان داده شد. پارامترهای قطر و ارتفاع ساقه و قطر گل برای همه تیمارها اندازه‌گیری شد. پس از برداشت نمونه‌های گیاهی ابتدا با آب معمولی و بعد با آب مقطر شسته شدند. ریشه و اندام‌های هوایی هر گیاه جداگانه وزن و به مدت ۴۸ hr در دمای °C ۷۵ در آون قرار داده شدند. برای تعیین عملکرد تر و خشک گیاه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری ردید. نمونه‌های خشک‌شده گیاه توسط آسیاب برقی پودر شده و در ظرف‌های پلاستیکی که قبلاً با اسید رقیق شسته شده بودند قرار گرفتند تا در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گیرند.

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در گیاه، عصاره‌گیری از گیاه به روش خاکسترگیری خشک و عصاره‌گیری از خاک نیز با DTPA انجام شد. غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم در عصاره‌های خاک، ریشه و اندام هوایی گیاه توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer 1100B اندازه‌گیری شد. فاکتور انتقال^۱ (TF) یا میزان انتقال فلزات سنگین از ریشه به اندام‌های هوایی از نسبت غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت فلز در ریشه محاسبه گردید و فاکتور تجمع زیستی ریشه^۲ (BCF) یا میزان انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاه از نسبت غلظت فلز در ریشه به غلظت کل فلز در خاک به دست آمد. در پایان آزمایش، پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. بعد از این که معنی‌دار بودن پارامترها مشخص شد، میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن^۳ در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

وجود داشته باشد و یک هفته بعد هر یک از گیاهچه‌ها به یک گلدان بزرگ‌تر انتقال داده شد. در این مطالعه از گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۰ cm و قطر ۲۰ cm با ظرفیت تقریبی ۳ kg خاک استفاده شد. به منظور آماده کردن تیمارها، نمونه‌های خاک خشک‌شده در هوا، از الک ۶ mm و لجن فاضلاب پس از کوبیده شدن از الک ۱ mm عبور داده شد و سپس در سطح صفر، ۱۰ و ۲۰٪ وزنی خاک با آن مخلوط شد. قبل از پر کردن گلدان‌ها با تیمارهای خاک، در کف هر گلدان مقداری شن درشت به عنوان زهکش ریخته شد و گلدان‌ها با تیمارهای تهیه‌شده، پر گردیدند. در مدت رشد گیاهان در گلخانه، وجین علف‌های هرز با دست انجام شد و جز لجن اضافه‌شده از کود دیگری استفاده نشد. آبیاری گلدان‌ها با آب شهر و تقریباً هر چهار الی پنج day یکبار تا حد ظرفیت زراعی خاک که به صورت وزنی با وزن کردن گلدان‌ها صورت می‌گرفت، انجام گردید (شکل ۱).



شکل ۱- مقادیر و تاریخ آبیاری

Fig. 1 volume and date of irrigation

برداشت گل آفتابگردان زینتی، ۶۰ day بعد از کاشت و پس از به گل نشستن گیاه انجام شد. برای عملیات برداشت، ابتدا اندام هوایی از محل طوقه جدا شد. مشاهده و اندازه‌گیری سیستم ریشه در گیاه کاری بسیار وقت‌گیر و مشکل است. بخصوص اینکه هرگونه اقدام برای چنین مطالعاتی مستلزم به هم زدن وضعیت طبیعی ریشه‌ها بوده و باعث می‌شود که نتایج حاصله از مطالعات با واقعیت تطابق نداشته باشد. هر چند روش‌های متعددی برای مطالعه ریشه‌ها پیشنهاد شده است اما هیچ روشی را نمی‌توان طوری کامل یافت که بتواند پاسخگوی تمام سؤالات مربوطه باشد. پنج روش عمده برای نمونه‌برداری وجود دارد که عبارتند از: روش حفاری خاک، روش مونولیت، استفاده از

¹Translocation Factor

²Bioconcentration Factor

³Duncan Test

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- میزان فلزات سنگین خاک

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس و جدول (۳) مقایسه میانگین-های اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر میزان فلزات سنگین خاک را

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در خاک

Table 2 Analysis of variance of the effects of wastewater sludge application on the concentration of heavy metals in the soil

Sources of changes	Degrees of freedom	average of squares (SM)		
		Pb mg/kg	Ni mg/kg	Cd mg/kg
Repeat	2	0.05 ^{ns}	0.0067 ^{ns}	0.00019 ^{ns}
Treatment	2	3.58**	0.484**	0.0086**
Error	4	0.022	0.0147	0.00013
Coefficient of variation		8.43	15.54	9.99

ns فاقد اختلاف معنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

از دیگر عناصر پایین‌تر می‌باشد و این عنصر به علت بالا بودن میزان مواد آلی و کانی‌های رسی، بیش‌تر در سطح خاک، تثبیت می‌شود (Singh and Agrawal 2010). Yang et al. (2018)، یک آزمایش مزرعه‌ای طولانی‌مدت با تناوب کشت ذرت- گندم برای بررسی تجمع فلزات سنگین در یک خاک آهکی با مقادیر مختلف اصلاح لجن فاضلاب انجام دادند. با افزایش ۱ ton لجن کاربردی در هکتار در سال در خاک، محتوای جیوه، روی، مس، سرب و کادمیوم در افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

۳-۱-۲- نیکل

جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که با افزایش سطح لجن فاضلاب، میزان نیکل قابل جذب در خاک به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ افزایش یافت. با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها در جدول (۳)، با افزایش لجن فاضلاب در همه تیمارهای دریافت‌کننده لجن، میزان نیکل خاک، افزایش معنی‌داری (در سطح ۵٪) داشته و کم‌ترین میزان نیکل خاک در تیمار شاهد با مقدار 0.38 mg kg^{-1} و بیش‌ترین آن در تیمار S20 با مقدار 1.76 mg kg^{-1} بود. میزان نیکل خاک از حد مجاز استاندارد اعلام‌شده (SEPA 1995)، کم‌تر بود. Yang et al. (2018)، یک آزمایش مزرعه‌ای طولانی‌مدت با تناوب کشت ذرت- گندم برای بررسی تجمع فلزات سنگین در یک خاک آهکی با مقادیر مختلف اصلاح لجن فاضلاب انجام دادند. با افزایش ۱ ton لجن کاربردی در هکتار در سال در

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در خاک

Table 3 Results of comparing the mean effects of wastewater sludge application on heavy metal concentrations in soil

Treatment	Pb mg/kg	Ni mg/kg	Cd mg/kg
S0	0.66 ^c	0.38 ^c	0.055 ^b
S10	1.76 ^b	0.78 ^b	0.14 ^a
S20	2.84 ^a	1.18 ^a	0.16 ^a
Permissible range in the soil (SEPA, 1995) ¹	350	60	0.6

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

۳-۱-۱- سرب

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر میزان سرب خاک را در پایان کشت و پس از برداشت گل‌ها نشان می‌دهد. مطابق این جدول استفاده از لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار میزان سرب خاک در سطح یک درصد شد. کم‌ترین میزان سرب خاک در تیمار شاهد و بیش‌ترین آن مربوط به تیمار S20 بود، به‌طوری‌که سرب خاک از 0.16 mg/kg در تیمار شاهد، به 1.18 mg/kg و 2.84 mg/kg در تیمار S10 و S20 افزایش پیدا کرد. میزان سرب در خاک نیز از حد مجاز استاندارد (SEPA 1995)، کم‌تر بود. سرب بیش‌ترین میزان را در بین فلزات مورد بررسی دارا می‌باشد. تحرک سرب در خاک

¹State Environmental Protection Administration China

شده در خاک نیز از حد مجاز استاندارد (SEPA 1995)، کم‌تر بود. (Wang Ru and Su (2004) دریافتند که غلظت کادمیوم قابل‌دسترس در خاک‌هایی که لجن فاضلاب دریافت کرده‌اند به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

۳-۲-۲- متغیرهای رشد و عملکرد گیاه

جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس و جدول (۵) مقایسه میانگین-های اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر وزن تر و خشک (ریشه و اندام هوایی)، قطر و ارتفاع ساقه و قطر گل را پس از برداشت گل‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر رشد و عملکرد گیاه

Table 4 Analysis of variance of the effects of wastewater sludge application on plant growth and yield average of squares (SM)

Sources of changes	Degrees of freedom	Root wet weight (g)	Root dry weight (g)	Wet weight of aerial parts (g)	Dry weight of aerial parts (g)	Stem diameter (cm)	Stem Height (cm)	Flower diameter (cm)
Repeat	2	2.78 ^{ns}	0.001 ^{ns}	35.26 ^{ns}	1.32 ^{ns}	0.0055 ^{ns}	0.52 ^{ns}	0.122 ^{ns}
Treatment	2	22.08 ^{**}	1.478 ^{**}	218.90 [*]	17.10 [*]	0.063 ^{**}	7.24 ^{**}	0.69 ^{**}
Error	4	0.954	0.038	16.14	1.63	0.001	0.096	0.026
Coefficient of variation		10.18	14.77	9.78	19.58	4.87	1.72	2.31

ns فاقد اختلاف معنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر رشد و عملکرد گیاه

Table 5 Results of comparing the mean effects of wastewater sludge application on plant growth and yield

Treatment	Root wet weight (g)	Root dry weight (g)	Wet weight of aerial parts (g)	Dry weight of aerial parts (g)	Stem diameter (cm)	Stem Height (cm)	Flower diameter (cm)
S0	6.67 ^b	0.57 ^c	31.77 ^b	3.96 ^b	0.50 ^b	16.33 ^c	6.5 ^b
S10	10.08 ^a	1.42 ^b	42.87 ^a	6.89 ^a	0.71 ^a	18.3 ^b	7.15 ^a
S20	12.03 ^a	1.97 ^a	48.56 ^a	8.69 ^a	0.78 ^a	19.4 ^a	7.44 ^a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

۰/۵۷ بود؛ بنابراین، افزودن لجن فاضلاب به خاک، افزایش کربن آلی و به دنبال آن، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک را موجب شده است که اثر مستقیمی بر رشد و توسعه ریشه داشته است. (Morera et al. (2002، گیاه آفتابگردان را در خاک‌های تیمار شده با لجن رشد دادند و مشاهده کردند که افزودن لجن فاضلاب، میانگین وزن خشک آفتابگردان را به‌طور معنی‌داری نسبت به خاک شاهد افزایش داد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

۳-۲-۳- وزن تر و خشک اندام هوایی

کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح ۵٪ شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها به

خاک، محتوای جیوه، روی، مس، سرب و کادمیوم در افزایش یافت.

۳-۱-۳- کادمیوم

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار کادمیوم قابل‌جذب خاک در سطح یک درصد شد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در جدول (۳)، نشان می‌دهد که مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش کادمیوم خاک از ۰/۵۵ mg/kg در تیمار شاهد به ۰/۱۶ mg/kg در تیمار S20 شده است ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای S10 و S20 مشاهده نشد. میزان کادمیوم اندازه‌گیری

۳-۲-۳- وزن تر و خشک ریشه

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که با افزایش سطح لجن فاضلاب، وزن تر و خشک ریشه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ افزایش یافت. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن (جدول ۵) نیز نشان می‌دهد که وزن تر ریشه با افزایش لجن فاضلاب در همه تیمارهای دریافت‌کننده لجن، افزایش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای S10 و S20 مشاهده نشد. وزن خشک ریشه نیز با افزایش لجن فاضلاب در هر دو تیمار نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری (در سطح ۵٪) داشته است. بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه مربوط به تیمار S20 با مقدار ۱/۹۷ g و کمترین مقدار آن هم در تیمار شاهد با g

پژوهش (Abbasi et al. (2013) که در پژوهشی گلخانه‌ای گیاه برنج را در یک خاک آهکی رشد دادند و گزارش کردند با مصرف لجن فاضلاب ارتفاع ساقه افزایش یافت، مطابقت دارد.

۳-۲-۴- قطر گل

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۴) نشان می‌دهد که استفاده از لجن فاضلاب، باعث افزایش معنی‌دار قطر گل در سطح ۱٪ شد. مقایسه میانگین‌ها در جدول (۵) نیز نشان می‌دهد که قطر گل، با افزایش لجن فاضلاب در هر دو تیمار نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری (در سطح ۵٪) داشته است، اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای S10 و S20 مشاهده نگردید. بیش‌ترین و کمترین قطر گل مربوط به تیمار S20 معادل ۷/۴۴ cm و تیمار شاهد به میزان ۶/۵ cm می‌باشد. این افزایش به دلیل بالا بودن عناصر غذایی پرمصرف مانند نیتروژن، پتاسیم و فسفر موجود در لجن فاضلاب است.

۳-۳- میزان فلزات سنگین گیاه

جدول (۶) نتایج تجزیه واریانس و جدول (۷) مقایسه میانگین-های اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر میزان فلزات سنگین گیاه (ریشه و اندام هوایی) را در پایان کشت و پس از برداشت گل‌ها را نشان می‌دهد.

روش دانکن در جدول (۵)، نشان می‌دهد که مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش وزن تر اندام هوایی از ۳۱/۷۷ g در تیمار شاهد به ۴۸/۵۶ g در تیمار S20 و افزایش وزن خشک اندام هوایی از ۳/۹۶ g در تیمار شاهد به ۸/۶۹ g در تیمار S20 شده است، اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای S10 و S20 مشاهده نگردید. این افزایش عملکرد به دلیل بالا بودن عناصر غذایی پرمصرف مانند نیتروژن، پتاسیم و فسفر و عناصر غذایی کم‌مصرف آهن، منگنز و روی موجود در لجن فاضلاب است. (Urbanik et al. (2017، گزارش کردند که مصرف لجن فاضلاب در گیاه بید باعث افزایش زیست‌توده بید شد که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

۳-۲-۳- ارتفاع و قطر ساقه

کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش ارتفاع و قطر ساقه در سطح احتمال ۱٪ شد (جدول ۴). کم‌ترین ارتفاع و قطر ساقه در تیمار شاهد و بیش‌ترین آن مربوط به تیمار S20 بود، به‌طوری‌که ارتفاع ساقه از ۱۶/۳۳ cm در تیمار شاهد به ۱۹/۴۰ cm در تیمار S20 و قطر ساقه از ۰/۵۰ cm در تیمار شاهد به ۰/۷۸ cm در تیمار S20 رسید. ولی تفاوت معنی‌داری در قطر ساقه بین تیمارهای S10 و S20 مشاهده نگردید (جدول ۵). افزایش ارتفاع و قطر ساقه به دلیل افزایش عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف قابل‌جذب گیاه می‌باشد. این نتایج با

جدول ۶- تجزیه واریانس اثرات لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین گیاه

Table 6 Analysis of variance of the effects of sewage sludge on plant heavy metal concentrations

Sources of changes	Degrees of freedom	average of squares (SM)					
		Pb (mg/kg)		Ni (mg/kg)		Cd (mg/kg)	
		Aerial parts	Root	Aerial parts	Root	Aerial parts	Root
Repeat	2	0.115 ^{ns}	0.286 ^{ns}	0.064 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.0005 ^{ns}
Treatment	2	10.06 ^{**}	40.14 ^{**}	2.01 ^{**}	5.36 ^{**}	0.064 ^{**}	0.158 ^{**}
Error	4	0.024	0.151	0.0048	0.043	0.0009	0.001
Coefficient of variation		6.27	6.91	5.78	8.72	12.75	7.60

ns فاقد اختلاف معنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

بیش‌ترین آن در تیمار S20 بود. تجمع فلز سرب برای همه تیمارها در ریشه بیش از اندام هوایی بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان فلز سرب در ریشه و اندام هوایی تیمار S20 به‌ترتیب معادل ۹/۰۹ و ۴/۳۵ mg/kg بود. میزان سرب اندازه‌گیری شده در گیاه (اندام هوایی و ریشه)، در محدوده مجاز استاندارد (SEPA 2005) قرار گرفته بود. Nisi et al. 2014، گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط گیاه آفتابگردان را بررسی کردند که نتایج

۳-۳-۱- سرب

جدول تجزیه واریانس (جدول ۶)، نشان می‌دهد که با افزایش سطح لجن فاضلاب، میزان سرب اندام هوایی و ریشه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ افزایش یافت. با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها در جدول (۷)، با کاربرد لجن فاضلاب، میزان سرب (اندام هوایی و ریشه)، افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشته و کم‌ترین میزان سرب، در تیمار شاهد و

نشان داد گیاه آفتابگردان برای حذف فلزات سنگین به کار رفته داشته است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. بیشترین جذب را در مورد سرب و کادمیم از طریق ریشه گیاه

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین گیاه

Table 7 Results of comparing the mean effects of wastewater sludge application on plant heavy metal concentrations

Treatment	Pb (mg/kg)		Ni (mg/kg)		Cd (mg/kg)	
	Aerial parts	Root	Aerial parts	Root	Aerial parts	Root
S0	0.69 ^c	1.80 ^c	0.41 ^c	0.99 ^c	0.073 ^c	0.161 ^c
S10	2.44 ^b	5.98 ^b	1.15 ^b	2.51 ^b	0.253 ^b	0.493 ^b
S20	4.35 ^a	9.09 ^a	2.04 ^a	3.65 ^a	0.364 ^a	0.598 ^a
Permissible range in the plant (SEPA, 2005)	9.0		10		0.2	

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

هوایی بود. با مقایسه میزان کادمیم در ریشه و اندام هوایی بعد از اعمال تیمارها با حد مجاز استاندارد (SEPA 2005)، مشاهده می‌گردد که میزان کادمیم به حد سمیت گیاه رسیده است. Nisi et al. (2014) گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط گیاه آفتابگردان را بررسی کردند که نتایج نشان داد گیاه آفتابگردان بیشترین جذب را در مورد سرب و کادمیم از طریق ریشه گیاه داشته است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

۳-۴- فاکتور انتقال و تجمع زیستی فلزات سنگین

گیاهان از لحاظ جذب و انتقال فلزات سنگین به سه دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول گیاهانی هستند که فلزات سنگین را در بافت‌های خود ذخیره می‌سازند و آثار ناشی از سمیت فلز در این گیاهان زرد شدن، چروکیدگی و پیری زودرس برگ‌ها است که به آن‌ها گیاهان شاخص^۱ گفته و دارای TF و BCF مساوی یک است (Olowoyo et al. 2010). دسته دوم گیاهانی هستند که با استفاده از سازوکار تثبیت گیاهی، به طور مؤثری از ورود فلز به بخش‌های هوایی خود، جلوگیری می‌کنند و به گیاهان اجتناب‌کننده^۲ معروف هستند و در آن‌ها، TF کوچک‌تر از یک و BCF بزرگ‌تر از یک است (Mcfaralane et al. 2007). دسته سوم گیاهانی هستند که با استفاده از مکانیسم گیاه جذبی توانایی جذب و تجمع فلز در آلودگی‌های کم تا زیاد را دارند و به آن‌ها گیاهان انباشت‌گر^۳ گفته و TF و BCF بزرگ‌تر از یک دارند (Memon et al. 2001).

۳-۳-۲- نیکل

جدول (۶) نتایج تجزیه واریانس اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر میزان نیکل گیاه را در پایان کشت و پس از برداشت گل‌ها نشان می‌دهد. طبق این جدول استفاده از لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار میزان نیکل اندام هوایی و ریشه در سطح ۱٪ شد. کمترین میزان نیکل (اندام هوایی و ریشه) در تیمار شاهد و بیشترین آن مربوط به تیمار S20 بود، به طوری که نیکل اندام هوایی از ۰/۴۱ در تیمار شاهد به ۲/۰۴ mg/kg در تیمار S20 و نیکل ریشه از ۰/۹۹ در تیمار شاهد به ۳/۶۵ mg/kg در تیمار S20 رسید. تجمع فلز نیکل برای همه تیمارها در ریشه گیاه بیشتر از اندام هوایی بود (جدول ۷). میزان نیکل در اندام هوایی و ریشه، از حد مجاز استاندارد اعلام شده (SEPA 2005)، کم‌تر بود. (Guoqing et al. 2019). آزمایشی دو ساله برای تعیین تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر توزیع عناصر سنگین در صنوبر انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که لجن فاضلاب بر تجمع نیکل و سرب در قسمت‌های هوایی صنوبر تأثیر گذاشت که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

۳-۳-۳- کادمیم

جدول تجزیه واریانس (جدول ۶) دلالت بر این دارد که کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار کادمیم اندام هوایی و ریشه در سطح ۱٪ شد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در جدول (۷)، نشان می‌دهد که مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش کادمیم اندام هوایی از ۰/۰۷۳ در تیمار شاهد به ۰/۳۶۴ mg/kg در تیمار S20 و افزایش کادمیم ریشه از ۰/۱۶۱ در تیمار شاهد به ۰/۵۹۸ mg/kg در تیمار S20 شده است و تجمع فلز کادمیم نیز برای همه تیمارها در ریشه گیاه بیش‌تر از اندام

¹Metal indicator

²Metal excluders

³Metal accumulator



این فلزات در ناحیه ریشه می‌باشند. روند افزایش فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی بین فلزات مورد بررسی به صورت مقابل بود: کادمیوم < نیکل < سرب. پایین بودن میزان فاکتور انتقال در فلز سرب به تحرک کم‌تر سرب در گیاه و تجمع بیش‌تر آن در ریشه برمی‌گردد.

Ndeda et al. (2014) با بررسی فاکتور تجمع زیستی و فاکتور انتقال فلزات سنگین گزارش کردند کادمیوم بالاترین فاکتور تجمع زیستی را در بین فلزات سنگین دارد و در سایر فلزات به ترتیب مس < سرب < نیکل است. هم‌چنین سرب کم‌ترین مقدار فاکتور انتقال را در بین سایر فلزات سنگین داشت. نتیجه این بررسی با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

بنابراین با توجه به فاکتور تجمع زیستی بالای یک و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک می‌توان گفت که گیاه آفتابگردان زینتی از نظر جذب و انتقال فلزات سنگین، یک گیاه اجتناب‌کننده در مقابل فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم محسوب می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش، به منظور بررسی اثر لجن فاضلاب بر عملکرد گیاه آفتابگردان زینتی، غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه و نیز بررسی توانایی گیاه‌پالایی فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) موجود در خاک توسط این گیاه، صورت گرفته است. مهم‌ترین نتایج این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار غلظت فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) قابل جذب خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد. روند افزایشی میزان فلزات سنگین در خاک به صورت سرب < نیکل < کادمیوم می‌باشد. کاربرد لجن در مقادیر بالا و در طولانی مدت، می‌تواند منجر به تجمع تدریجی فلزات سنگین در خاک شده و مشکلات زیست‌محیطی به دنبال داشته باشد.

۲- با توجه به اینکه که مصرف لجن فاضلاب به میزان ۲۰٪ وزنی خاک در صفات اندازه‌گیری شده (شامل وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، قطر و ارتفاع ساقه، قطر و تعداد گل) بهترین نتیجه حاصل شد، مصرف لجن به مقدار ۲۰٪ وزنی خاک در شرایط گلخانه‌ای برای تولید عملکرد بیش‌تر گیاه آفتابگردان

فاکتور انتقال و تجمع زیستی ریشه برای فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب برای گیاه آفتابگردان زینتی در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸- فاکتور انتقال و تجمع زیستی ریشه برای فلزات سنگین در تیمارهای مختلف

Table 8 Translocation factor and bioConcentration factor for heavy metals in different treatments

Treatment	Pb		Ni		Cd	
	TF	BCF	TF	BCF	TF	BCF
S0	0.39	2.72	0.42	2.91	0.45	2.99
S10	0.41	3.41	0.47	3.21	0.51	3.66
S20	0.48	3.21	0.57	3.10	0.61	3.83

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش لجن فاضلاب، میزان فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی در تمامی فلزات، نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است و تیمار S20 برای هر سه فلز، دارای TF بزرگ‌تری نسبت به تیمار S10 می‌باشد. میزان فاکتور تجمع زیستی ریشه فلزات، با اضافه شدن لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافته ولی میزان افزایش بین تیمارهای S10 و S20 روند منظمی نداشته، به طوری که تیمار S10 در مورد فلزات سرب و نیکل، BCF بیشتری نسبت به تیمار S20 داشته و در مورد فلز کادمیوم، فاکتور تجمع زیستی تیمار S20 بیشتر می‌باشد.

با توجه به جدول (۸)، فاکتور تجمع زیستی از خاک به ریشه در سه فلز سنگین مورد بررسی، بزرگ‌تر از یک می‌باشد که بیانگر این است که میزان فلزات سنگین در ریشه گیاه بیش‌تر از خاک بوده و نشان‌دهنده جذب این فلزات از خاک می‌باشند. روند افزایش فاکتور تجمع زیستی از خاک به ریشه فلزات مذکور به صورت مقابل بود: کادمیوم < سرب < نیکل. بالا بودن این فاکتور در فلز کادمیوم به این دلیل می‌باشد که کادمیوم جزو عناصری است که به بخش محلول مواد آلی (فولویک اسید) می‌پیوندد و به راحتی در خاک حرکت می‌کند و توسط گیاه جذب می‌شود.

فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی در فلزات سنگین مورد بررسی، کوچک‌تر از یک می‌باشد که نشان‌دهنده این است که میزان فلزات سنگین در ریشه بیش‌تر از اندام هوایی و توقف

فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی بین فلزات مورد مطالعه به صورت مقابل بود: کادمیوم < نیکل < سرب.

۵- با توجه به فاکتور تجمع زیستی بالای یک و فاکتور انتقال کوچکتر از یک برای هر سه فلز مورد بررسی، می‌توان نتیجه گرفت که گیاه آفتابگردان زینتی، یک گیاه اجتناب‌کننده در مقابل جذب و انتقال فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم محسوب می‌شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

زینتی در خاک‌های مشابه و استفاده در فضای سبز پیشنهاد می‌شود.

۳- با محاسبه فاکتور تجمع زیستی از خاک به ریشه فلزات سنگین، دیده شد که میزان فلزات سنگین در ریشه بیش‌تر از خاک بوده و نشان‌دهنده جذب این فلزات از خاک می‌باشند. روند افزایش فاکتور تجمع زیستی از خاک به ریشه فلزات به صورت مقابل بود: کادمیوم < سرب < نیکل.

۴- تعیین فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی در فلزات سنگین نشان داد که این فلزات بیش‌تر در ریشه تجمع یافته‌اند و بخش کمی از آن‌ها به اندام هوایی انتقال یافتند. روند افزایش

References

- Abbasi, M., Najafi, N., Asgharzadeh, N. and Avestan S. (2013). Effect of soil water conditions, sewage sludge, poultry manure and chemical fertilizers on growth characteristics and water use efficiency of rice plant in a calcareous soil. *J. Water Soil Know.*, 23(1), 189-208 [In Persian].
- Afroosheh, M., and Karami Zare, F. (2016). Phytoremediation of *Zinnia elegans* ornamental plants under heavy metal stress conditions. Second National Conference on Sustainable Management of Soil Resources and Environment (Soil Quality, Health and Safety), Kerman, Department of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman. [In Persian].
- Ali, H., Naseer, M., Sajad, M. A. (2012). Phytoremediation of heavy metals by *Trifolium alexandrinum*. *Int. J. Environ. Sci.*, 2(3), 1459-1469.
- Amoei, A., Mahvi, A., Nedafi, K., Fahimi, H., Mesdaghi nia, A. R., and Naseri, S. (2012). Investigation of optimal operating conditions in phytoremediation of lead and cadmium contaminated soils by native plants of Iran. *Sci. J. Kurdistan Univ. Med. Sci.*, 17 (4), 102-93 [In Persian].
- Balkhair, K. S. and Ashraf, M. A. (2016). Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. *Saudi J Biol. Sci.*, 23(1), 32-44.
- Clemente, R., Concepción, A., and Pilar Bernal, M. (2006). A remediation strategy based on active phytoremediation followed by natural attenuation in a soil contaminated by pyrite waste. *Environ. Pollut.*, 143(3), 397-406.
- Farmani Fard, M., Qamarnia, H., Pirsahab, M. and Fattahi, N. (2016). Study of heavy metal accumulation in different crops under the influence of irrigation with treated Kermanshah municipal wastewater. *J. Water Irrig. Manag.*, 6(2), 365-347 [In Persian].
- Fatimenik, F. (2017). Investigation of Chromium Phytoremediation Potential by *Hibiscus sabdariffa L.* in Greenhouse Conditions, First National Conference on the Role of Medicinal Plants in Resistance Economics, Payame Noor University, Fereidounshahr.
- Fresques, P. R., Francis, R. E., and Dannis, G. L. (1990). Sewage sludge effect on soil and plant quality in a degraded semi-arid grassland. *J. Environ. Qual.* 19: 324-329.
- Guoqing, X., Xiuqin, C., Liping, B., Hongtao, Q. and Haibo, L. (2019). Absorption, accumulation and distribution of metals and nutrient elements in poplars planted in land amended with composted sewage sludge: A field trial. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 182, 109360.



- Hashemimajd, K. (2010). Production of compost and vermicompost from organic waste. Ayizh Publication, 192 p.
- Hatamian, L., Rafati, M. and Farsad, F. (2020). The effect of wastewater irrigation on the accumulation of lead and cadmium in soil and wheat and barley grains. *J. Water Irrig. Manag.*, 9(2), 332-321 [In Persian].
- Hossain, M. K., Strezov, V. and Nelson, P. F. (2015). Comparative assessment of the effect of wastewater sludge biochar on growth, yield and metal bioaccumulation of cherry tomato. *Pedosphere*, 25(5), 680-685.
- Liu, J. N., Zhou, Q. X., Sun, T. and Wang, M. L. (2008). Growth response of three ornamental plants to Cd and Cd-Pb stress and their metal accumulation characteristics. *J. Hazard. Mat.*, 151, 261-267.
- Memon, A., Aktoprakligil, D., Ozdemir, A. and Vertii, A. (2001). Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants. *Turk. J. Botany*, 25, 111-121.
- Mirzaei Takhtagahi, H., Qamarnia, H., Pirsahab, M. and Fattahi, N. (2016). The effect of irrigation with polluted water on the accumulation of heavy metals in wheat and parsley. *J. Water Irrig. Manag.*, 6(2), 330-315 [In Persian].
- Morera, M. T., Echeveria, J. and Garrido, J. (2002). Bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge. *Can. J. Soil Sci.*, 82, 433-438.
- Mcfaralane, G. R., Koller, C. E. and Blomberg, S. P. (2007). Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: A synthesis of field-based studies. *Chemosphere*. 69, 1454-1464.
- Ndeda, L. A. and Manohar, S. (2014). Bio Concentration Factor and Translocation Ability of Heavy Metals within Different Habitats of Hydrophytes in Nairobi Dam, Kenya. *J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol.*, 8(5), 42-45.
- Nisi, A., Vosoughi, M., Mohammadi, B., Mohammadi, M., Naem Abadi, A. and Hashemzadeh, B. (2014). Phytoremediation of heavy metals by sunflower. *A Rev. Study*, 2(2), 55-65.
- Olowoyo, J. O., Heerden, E., Fischer, J. L. and Baker, C. (2010). Trace metals in soil and leaves of *Jacaranda mimosifolia* in Tshwane area, South Africa. *Atm. Environ.*, 44, 1826-1830.
- Prasad. M. N. V. (2007). Sunflower (*Helianthus annuus* L.): A potential crop for environmental industry. *Helia*, 30(46), 167-174. DOI: 10.2298/HEL0746167P
- Sadat Taghavirad, S., Davar, H., and Mohammadi, M. J. (2014). The a study on concentration of BETX vapors during winter in the department of ports and shipping located in one of the southern cities of Iran. *Int. J. Cur. Life Sci.*, 4(9), 5416-5420.
- SEPA. (1995). Environmental quality standards for soils. State Environmental Protection Administration, China. GB 15618.
- SEPA. (2005). The limits of pollutants in food. China: State Environmental Protection Administration. GB 2762- 2005.
- Singh, R. P. and Agrawal, M. (2010). Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 73, 632-641.
- Sipos, P., Nemeth, T. and Mohai, I. (2005). Distribution and possible immobilization of lead in a forest soil (Luvisol) profile. *Environ. Geochem. Health*, 27, 1-10.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1993). Clean water act. Section 503, Vol. 58, No. 32, USEPA, Washington ,DC.
- Urbaniak, M., Wyrwicka, A., Tołoczko, W., Serwecińska, L. and Zieliński, M. (2017). The effect of sewage sludge application on soil properties and willow (*Salix* sp.) cultivation. *Sci. Tot. Environ.*, 586, 66-75.
- Wang Ru, S. J., and Su, D. (2004). Characteristics of Cd uptake and accumulation in two Cd accumulator oilseed rape species. *J. Environ. Sci.*, 16, 594-598.



Yang, G. H., Zhu, G. Y., Li, H. L., Han, X. M. and Li, J. M. (2018). Accumulation and bioavailability of heavy metals in a soil-

wheat/maize system with long-term sewage sludge amendments. *J. Integrat. Agri.*, 17(8), 1861-1870.

Research Paper

Evaluation of Phytoremediation Potential and Yield of *Helianthus annuus* under Sewage Sludge Application**Elham Mohammadian¹, Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh^{2*} and Maryam Varavipour³**

PhD Scholar, Water Engineering Department, Collage of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

²Assist. Professor, Water Engineering Department, Collage of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran³Assoc. Professor, Water Engineering Department, Collage of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran*Corresponding author: sehashemi@ut.ac.ir**Received:** November 01, 2020**Revised:** December 19, 2020**Accepted:** January 19, 2020**Abstract**

Many ornamental plants have the ability to extract toxic metals from the soil and are able to store large amounts of metals in their organs with no health problems for humans as they do not enter the human food chain. This study aimed to investigate the effect of sewage sludge application on the performance of *Helianthus annuus* and to investigate its phytoremediation ability for heavy metals (Pb, Ni and Cd) in soil. This study was carried out with three levels of sewage sludge related to southern Tehran wastewater treatment plant, including 0, 10 and 20 percent by weight of soil in three replications in a completely randomized block design on *Helianthus annuus*. The results showed that the application of sewage sludge caused a significant increase in the concentration of heavy metals and wet and dry yield of different parts of the flower in the plant. Application of sewage sludge at 20 percent by weight of soil was more suitable for growth index and accumulation of heavy metals in plant in terms of growth index such as wet weight (root 12.03 g and shoot 48.56 g), dry weight (root 1.97 g and shoot 8.69 g), stem diameter (0.78 cm), stem height (19.4 cm) and flower diameter (7.44 cm) as well as concentration of heavy metals Pb (root and shoot 9.09 and 4.35 mg/kg respectively), Ni (root and shoot 3.65 and 2.04 mg/kg respectively) and Cd (root and shoot 0.598 and 0.364 mg/kg respectively). Due to root bioaccumulation factor above 1 and transfer factor less than 1, *Helianthus annuus* is a plant suitable for the uptake and transfer of heavy metals, which prevents the entry of heavy metals into the shoot parts by a plant stabilization mechanism.

Keywords: Bioaccumulation Factor; Heavy Metals; *Helianthus annuus*; Phytoremediation; Translocation Factor.