Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2020.293146.668417 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۶، شهریور ماه ۱۳۹۹ (ص ۱۶۰۴-۱۵۹۳)

Investigation of Phytoremediation Ability of Rangeland Species in Soils Contaminated with Copper and Manganese

TAHMINEH SAHIHI OSKOUIE[1], MOHAMMAD JAFARI[*2], SEYED AKBAR JAVADI[1], MOHAMMAD TAHMOURES[3]

1. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environmental Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
2. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran.

(Received: Dec. 12, 2019- Revised: March. 24, 2020- Accepted: Apr. 14, 2020)

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the amount of soil contamination in Qaleh Mohammad-Ali-Khan (Ray city) rangelands and also to identify the phytoremediation ability of native species in soil contaminated with copper (Cu) and manganese (Mn) based on a completely randomized design in the dominant and opposite wind direction. Soil samples, shoot and root samples of rangeland plants were collected from 10 sites around the mine (5 sites in the dominant wind direction and 5 sites in the opposite wind direction). Soil and plant samples were extracted by oxidation method and the copper and manganese concentrations were analyzed by ICP. Concentrations of heavy metals of Cu and Mn in the direction and opposite direction of the dominant wind have different concentrations, so that the plots located near the mine have a higher concentration of heavy metals. Cu concentration in the shoots of plants (2.01) in both direction was greater than that of the roots (1.19) that means the TF value was greater than one (TF>1). Therefore, they can be an appropriate choice for the phytoremediation of Cu-contaminated soils. Thus, these native plants have an implication of carrying out phytoremediation in the rangeland soils.

Keyword: Soil Contamination, Heavy Metals, Phytoremediation, Rangeland Species.

*Corresponding authors Email: jafary@alumni.ut.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

بررسی توانایی گیاه‌پالایی گونه‌های مرتعی به خاک های آلوده به مس و منگنز

تهمینه صحیحی اسکویی[۱]، محمد جعفری*[۲]، سید اکبر جوادی[۱]، محمد طهمورث[۳]

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده مهندسی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲. گروه مهندسی احیا مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۱- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱/۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱/۲۶)

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی میزان آلودگی خاک‌های اطراف مراتع قلعه محمدعلی‌خان شهرستان ری (در فاصله ۷۸ کیلومتری جاده تهران-قم) و همچنین شناسایی گونه‌های بومی مناسب برای گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مس و منگنز، در قالب طرح کاملاً تصادفی، در دو جهت موافق و مخالف باد غالب اجرا گردید. از خاک، اندام هوایی و زیرزمینی گیاهان مرتعی از ۱۰ سایت اطراف معدن مس جاده قم – جنوب تهران (۵ سایت در جهت باد غالب و ۵ سایت در خلاف جهت باد غالب) نمونه‌هایی جمع‌آوری شد. نمونه‌های گیاهان در هر سایت از ۳ نقطه مرکزی، گوشه بالا و پایین و در داخل پلات یک‌مترمربعی و نمونه‌های خاک از داخل همین پلات‌ها از عمق ریشه‌دوانی برداشته شدند و غلظت فلزات سنگین (مس و منگنز) توسط دستگاه ICP-OES قرائت گردید. بر طبق نتایج، غلظت فلزات مس و منگنز در مناطق ۱۰ گانه در جهت باد غالب و خلاف جهت باد غالب دارای غلظت‌های متفاوتی بودند. غلظت مس در شاخساره گیاهان (۲/۰۱) در هر دو جهت باد بیش‌تر از اندام‌های زیرزمینی (۱/۱۹) بود. به عبارتی، فاکتور انتقال در ارتباط با فلز مس بزرگتر از یک بود. این امر نشان می‌دهد که به احتمال زیاد بتوان این گیاهان را به عنوان بیش‌اندوز مس در نظر گرفت. بنابراین، این گیاهان بومی دارای توانایی گیاه‌پالایی در خاک‌های مراتع منطقه بودند.

واژه‌های کلیدی: گیاه پالایی، فلزات سنگین، گیاهان مرتعی، آلودگی خاک.

مقدمه

در سرتاسر دنیا استخراج و فرآوری مواد معدنی نقش مهمی در مشکلات زیست محیطی از قبیل کاهش جنگل‌ها، فرسایش خاک و آلودگی هوا و آب ایفا می‌کند. مسائل مربوط به معادن را نمی‌توان از موضوع حفاظت از محیط زیست جدا دانست (Dalvand and Hamidian 2014). یکی از خطرناک‌ترین نوع آلودگی‌ها، آلودگی خاک با فلزات سنگین است که بر سلامتی انسان تاثیرات منفی بر جا می‌گذارد .فلزات سنگین توسط منابع مختلف تولید شده و ممکن است به غلظت‌های سمی فراتر از گستره معمول برسند (Alloway, 1990) زمانی که این غلظت از بیشینه غلظت مجاز در خاک فراتر رود، نه تنها برای بشر مهلک است بلکه باعث کاهش کیفیت و حاصلخیزی خاک، کاهش توان زیستی، عدم توازن در تعاملات شیمیایی و نفوذ در آب‌های زیر زمینی شده و موجب تخریب کلی زیست بوم می‌گردد (Gaida *et al*., 2013; Gupta *et al*., 2013). مشکل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده‌های غیرآلی بر خلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشند. این واقعیت، فلزات سنگین را به یکی از خطرناک‌ترین گروه آلاینده‌های زیست‌محیطی تبدیل کرده‌است (Alloway, 2012; Vodyanitskii, 2016). نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد تأثیر فلزات سنگین بر گیاهان، به نوع و غلظت این فلزات، گونه گیاهی و شرایط محیطی رشد گیاه بستگی دارد (Serbaji *et al*., 2012; Zheljazkov *et al*., 2008). فلزات سنگین ممکن است منجر به تغییراتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی در سطح سلولی و مولکولی شوند که در نتیجه غیرفعال کردن آنزیم و یا مسدود کردن گروه‌های عملکردی مولکول‌های مهم مسئول سوخت و ساز باشد (Moosavi and Seghatoleslami, 2013 ; Yuan *et al*., 2012; Sekabira *et al*., 2011).

آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مشکلات

* نویسنده مسئول: jafary@alumni.ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

زیست‌محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه براثر زیان آور بر فون و فلور خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آبشویی، موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در نهایت، به خطر افتادن سلامتی افراد جامعه و دیگر موجودات زنده می‌شود. وجود مقادیر زیاد فلزات سنگین در خاک، فعالیت‌های زیستی و حاصلخیزی خاک را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش عملکرد، افت کیفیت محصولات و افزایش غلظت آنها در تولیدات کشاورزی می‌شود که برای سلامتی انسان یا دام خطرناک است (Yari Moghadam *et al*., 2013). فلزات سنگین فلزاتی هستند که دارای چگالی بالاتر از ۵ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد. این تعریف از نقطه نظر بیولوژیکی بسیار سودمند است زیرا تعداد زیادی از عناصر موجود در طبیعت را شامل می گردد ولی تنها تعداد اندکی از این عناصر در شرایط فیزیولوژیکی، بصورت محلول یافت می‌شوند و بنابراین ممکن است برای سلول‌های زنده قابل دسترسی باشند (HUAT, 2017). اصلی‌ترین ترکیب آلودگی‌های معدنی، فلزات سنگین از جمله مس، روی، آهن و کادمیم می‌باشد. آلودگی‌های معدنی درمقایسه با آلودگی‌های آلی مشکلات زیادتری ایجاد می‌کنند چرا که میکروارگانیسم‌ها می‌توانند مواد آلی را تجزیه و از بین ببرند و این درحالی است که مواد معدنی را نمی‌توانند چون فلزات نیاز به برداشت وجذب فیزیکی و یا غیر-متحرک‌سازی دارند. اگرچه بسیاری از فلزات برای گیاهان لازم و ضروری می‌باشند اما غلظت‌های بالای این فلزات برای گیاهان سمی می‌باشند زیرا باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شوند و از اثرات زیان‌بار این تنش در گیاهان تولید رادیکالهای آزاد می‌شوند (Adriano, 2001). غلظت‌های بالای فلزات ضروری مانند مس و روی به گیاه آسیب می رساند. فلز مس با ممانعت از جذب سایر عناصر مانند کلسیم، آهن و پتاسیم که جزء عناصر ضروری گیاه هستند، از رشد گیاه می‌کاهد (Ghosh and Singh, 2005). فلزات سنگین ممکن است به دنبال فعالیت‌های بشر مانند صنایع ذوب و پالایش فلزات و آهن آلات قراضه، صنایع پلاستیک و لاستیک، محصولات مصرفی مختلف و یا سوختن زباله‌های حاوی این عناصر به محیط وارد شوند. بعد از رهاسازی فلزات به جو، عناصر فواصل زیادی را حرکت کرده و بسته به تراکم آن‌ها بر روی خاک، پوشش گیاهی و آب ته‌نشین می‌شوند. این فلزات بعد از ته‌نشین شدن تخریب نشده و برای سالیان دراز در محیط پایدار می‌مانند (Adelekan and Alawode, 2011).

با توجه به اینکه مواد معدنی برای بقای بشر ضروری هستند، ولی تهدید اثرات منفی ناشی از سرعت بی‌سابقه‌ای که در استخراج پدید آمده رفته‌رفته از فواید آنها می‌کاهد. در سرتا سر دنیا استخراج و فراوری مواد معدنی نقش مهمی در مشکلات زیست‌محیطی از قبیل کاهش سطح جنگل‌ها و فرسایش خاک و آلودگی هوا در مراتع ایفا می‌کنند (Fazeli and Osanloo, 2014). بهره‌گیری از گیاهان برای استخراج فلزات سنگین از خاک، روشی نو و امیدبخش برای بهسازی خاک‌های آلوده می‌باشد و اصطلاحاً گیاه پالایی نامیده می‌شود. پاکسازی محیط به صورت درجا، با کمترین دست خوردگی خاک قابل انجام است و اثرات جانبی خاصی ندارد. در این روش از گیاهان بیش‌انباشتگر که قادر به تحمل غلظت‌های بسیار بالای عناصر فلزی می‌باشند، استفاده می‌شود (Salem *et al*., 2015). آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا[1] نیز مناسبترین و اقتصادی‌ترین روش برای پاکسازی خاک‌های آلوده را روش تصفیه در محل آلودگی (in situ) معرفی کرده است (Farzamisepehr *et al*., 2013). گیاه‌پالایی روشی نوظهور است که از گیاهان مختلف برای تخریب، استخراج، جذب یا غیر متحرک کردن آلاینده‌ها از خاک و آب استفاده می‌کنند. این فن‌آوری به عنوان روشی نوآورانه و کم هزینه در بسیاری از سایت‌های آلوده توجه بسیاری را به خود جلب کرده است (Laboratory, 2000). توانایی بیش‌اندوزی فلزات در گیاهان، پدیده نسبتاً نادری است که در بعضی از گیاهان اتفاق می‌افتد .این پدیده تا به حال در ۴۰۰ گونه از گیاهان آوندی شناسایی شده است (Moameri *et al*., 2017).گیاهان بیش‌اندوز (ابر جذب) گیاهانی هستند که بتوانند فلزات را ۱۰۰ برابر بیشتر از گیاهان غیر بیش‌اندوز در اندام‌های هوایی خود ذخیره کنند. به عبارتی دیگر بیش‌اندوزها گیاهانی هستند که بیش از ۱۰ میلی‌گرم برکیلوگرم جیوه؛ ۱۰۰میلی‌گرم برکیلوگرم کادمیوم؛۱۰۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم کبالت، کروم، مس و سرب؛ ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم نیکل و روی را در اندام‌های خود ذخیره کنند Saba *et al*., 2015).اگر گیاهی بتواند بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم از فلزات مس، کبالت، کروم، نیکل و سرب یا بیشتر از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم از فلزات منگنز و روی را در اندام‌های هوایی خود تجمع دهد، بیش‌اندوز (ابر جذب) نامیده می‌شود (Gupta *et al*., 2013).

گیاهان بیش تجمع‌دهنده (hyperaccumulator) زیر گروهی از گیاهان تجمع‌دهنده هستند که می‌توانند در خاک‌های آلوده به فلزات، بدون بروز علایم سمیّت، چرخه زندگی خود را تکمیل نمایند (Baker and Brooks, 1989).مطالعات بسیاری روی میزان تجمع فلزات سنگین در پوشش گیاهی موجود در مناطق صنعتی و معدنی

1. EPA

www.SID.ir

Archive of SID

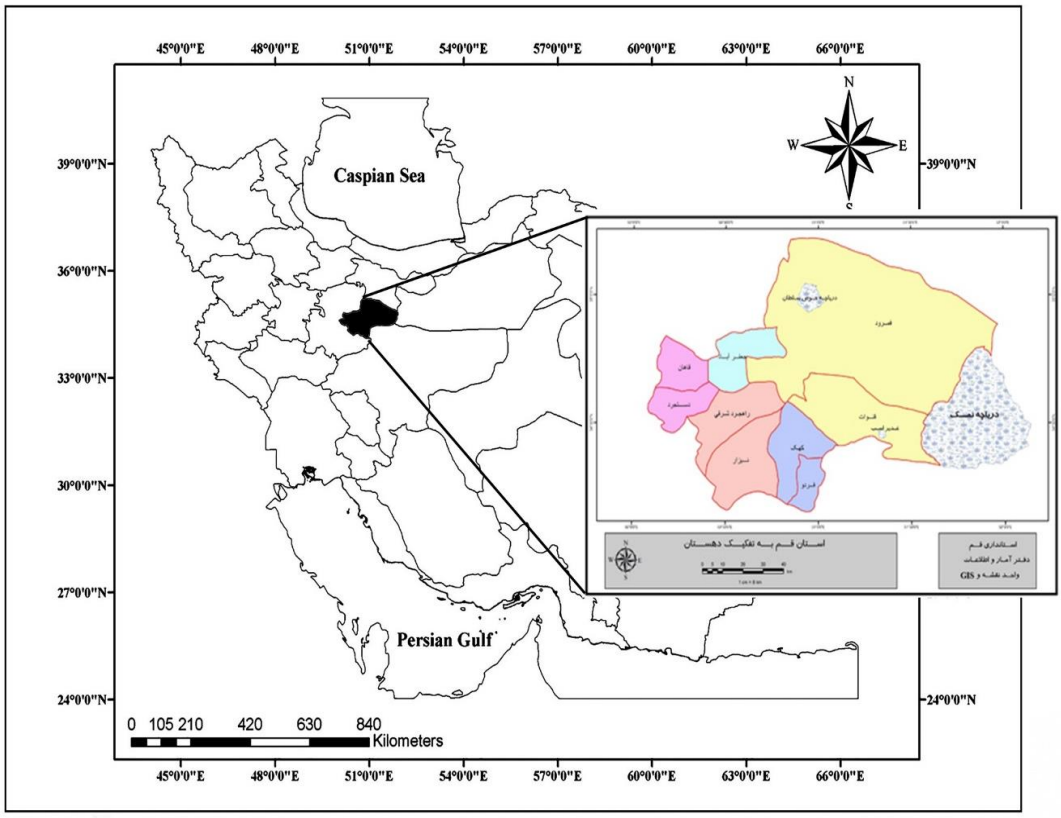
انجام شده است (Buszewski *et al.*, 2000; Papafilippaki *et al.*, 2008 ; Nouri *et al.*, 2011) برای مثال، Yanqun *et al.*, (2004) برای شناسایی گونه‌های گیاهی تجمع‌دهنده، میزان برخی فلزات سنگین را در پوشش گیاهی منطقه معدنی Lanping در چین مطالعه کردند. یکی از اهدافی که امروزه در تحقیقات گیاه‌پالایی دنبال می‌شود، استفاده از گیاهان بومی هر منطقه برای پالایش خاک، آب و هوای همان منطقه است (Motesharezadeh and Savabeghi, 2015).

ارزیابی تأثیر فلزات سنگین بر گیاهان مرتعی از جمله *Glycyrrhiza glabra L.* اهمیت بسیار زیادی به دلیل تغذیه انسان و دام، ارزش دارویی و علوفه‌ای آن و همچنین توزیع گسترده آن دارد. *G. glabra L.* یکی از گیاهان دارویی چند ساله بومی ایران است (Maleki and Akhani, 2018) و یکی از مهمترین گیاهان صنعتی و دارویی است که در آن از ترکیبات فعال مختلف به روشهای مختلفی استفاده شده است (Maleki and Akhani, 2018) و به دلیل وجود این مواد در ریشه و ریزوم آن مورد توجه محصولات دارویی، غذایی و حتی دخانیات قرار گرفته است (Irani *et al.*, 2010). تحقیق حاضر با هدف بررسی مقدار فلزات سنگین در خاک اطراف معدن، شناسایی گونه‌های گیاهی بومی مقاوم به فلزات سنگین در اطراف معدن مس جاده قم – جنوب تهران و همچنین ارزیابی توانمندی گیاه‌پالایی این گیاهان مرتعی در جذب عناصر مس و منگنز در دو جهت موافق و مخالف باد غالب و در نهایت تغییرات غلظت فلزات سنگین با فاصله گرفتن از معدن انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مراتع قلعه محمدعلی‌خان در فاصله ۷۸کیلومتری تهران-قم، بین طول‌های ۲۰" ۵۱۰ و ۲۰" ۵۵۰ و عرض‌های جغرافیایی ۲۰" ۳۵۰ و "۱۰ ۳۵۰ قرار دارد. میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۹/۵ و ۴۳ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی ۱۴۹میلیمتر، رطوبت نسبی منطقه ۴۵ درصد و ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۱۰۰ متر می‌باشد. منطقه دارای تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های تقریبا سرد می‌باشد و جزو مناطق قشلاقی محسوب می‌شود. نوع بادها موسمی و در پاییز و جهت آن از غرب به شرق بوده و به طور کلی منطقه جزء مناطق استپی ناحیه ایرانی تورانی است. منطقه از نظر زمین‌شناسی جزء دوران سوم زمین‌شناسی بوده و با توجه به به آزماش خاک انجام شده، قسمت وسیعی از منطقه دارای بافت شنی و متوسط دانه و بخش کمی دارای بافت رسی می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی

برای ارزیابی توانمندی گیاه‌پالایی گیاهان مرتعی اطراف معدن در جهت موافق باد غالب و مخالف باد انتخاب شده است (Golchin and Shafiei, 2006). برای نمونه‌برداری از پوشش گیاهی و خاک با در نظر گرفتن فاصله منطقه مورد بررسی از معدن مس، نمونه-برداری از پوشش گیاهی به صورت شعاعی انجام شد. بدین صورت که در هر جهت یک ترانسکت یک کیلومتری در نظر گرفته شد و در امتداد هر ترانسکت ۵ سایت برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. اولین سایت در مجاورت معدن انتخاب شد مساحت هر سایت ۱۰۰($10m^2$*۱۰) مترمربع بود. سایر سایت‌ها به فاصله ۱۰۰متری از سایت اول مشخص شدند. درون هر سایت بر روی یکی از قطرها نمونه‌برداری گیاهان از ۳ نقطه مرکز، گوشه بالا و پایین انجام شد. پلات‌های یک مترمربعی بر اساس نوع پوشش گیاهی (دو برابر پوشش بزرگترین گونه موجود در منطقه) در سه نقطه مرکز، گوشه بالا و گوشه پایین بر روی قطر هر سایت مستقر شدند. سپس درون هر پلات اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه جمع‌آوری شد و درون پاکت‌های جداگانه قرار گرفتند. برای زدودن گرد و غبار از سطح گیاه، ابتدا نمونه‌های گیاهی با آب مقطر شستشو داده شد. سپس، برای حذف فلزات سنگین از سطح ریشه گیاهان علفی از محلول ۲۰ میلی‌مول در لیتر Na2-EDTA استفاده شد (Yang *et al*., 1996).پس از جداسازی ریشه و بخش هوایی در گیاهان علفی، همه نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای تعیین وزن خشک قرار داده شد.

نمونه‌برداری از خاک

درون هر یک از پلات‌هایی که پوشش گیاهی آن جمع‌آوری شد یک پروفیل خاک حفر و نمونه‌های خاک از محل رشد هر گونه گیاهی با بیشینه عمق ۲۰ سانتی‌متر (عمق فعال ریشه) یک نمونه خاک برداشته شد. در هر سایت سه پروفیل، در هر جهت نمونه-برداری ۳۰ پروفیل (۳۰ نمونه خاک) و در مجموع ۶۰ پروفیل حفر شده (۶۰ نمونه خاک) جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفتند و به آزمایشگاه خاکشناسی منابع طبیعی دانشگاه تهران انتقال داده شدند. پس از انتقال نمونه‌های خاکی و غربال آنها با الک ۲ میلی‌متری و خشک نمودن آنها در معرض هوا به مدت یک هفته، خاک‌های مربوط به هر گونه گیاهی مطابق با روش (Asadi Ghalehni and Poozesh, 2018) با یکدیگر مخلوط و سپس برای سنجش فلزات سنگین استاندارد شدند.

اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گیاهان

نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده پس از خشک شدن در هوای آزاد و انتقال به آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی تهران منتقل شده و برای انجام کارهای آزمایشگاهی از الک۲ میلیمتری عبور داده شد. برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک شامل قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، درصد ماده آلی (OM) به روش والکلی و بلک، فسفر قابل استخراج (P) با بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار به روش اولسن، نیتروژن کل (N) به روش هضم کجلدال و آهک (T.N.V) مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های گیاهی به دو بخش هوایی و زیرزمینی تفکیک شدند. ابتدا نمونه-های گیاهی (به منظور از بین بردن هر نوع آلودگی خارجی همچون گرد و خاک چسبیده به نمونه‌ها که ممکن است سبب بروز خطا در برآورد غلظت فلزات سنگین در گیاهان شود) با آب مقطر با دقت شستشو داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار گرفت. پس از خشک شدن برای به دست آوردن مقدار کل فلزات مس و منگنز دو گرم نمونه‌های خشک شده آسیاب و از الک دو میلیمتری عبور داده شد و غلظت فلزات مورد نظر با استفاده از دستگاه ICP-OES (مدل SPECTRO ACOS ساخت کشور آلمان) در آزمایشگاه خاکشناسی منابع طبیعی دانشگاه تهران اندازه‌گیری شد.

تعیین شاخص‌ها TF و BCF برای ارزیابی توانمندی گیاهان مورد مطالعه برای گیاه‌پالایی خاک‌های منطقه

اگر مقدار شاخص BCF_{ROOT} و TF بزرگتر از یک باشند، گیاه مورد نظر برای گیاه استخراجی مواد آلوده مناسب است. این امر نشان می‌دهد که گیاهان قادر است آلودگی را از خاک جذب کرده و از طریق ریشه به اندام‌های هوایی خود منتقل کند و این امر سبب می‌شود که غلظت فلز در شاخصاره گیاه بیشتر از ریشه باشد. همچنین گیاه قادر بوده فلزات را از خاک جذب کرده و در شاخصاره خود ذخیره کند (Yanqun *et al*., 2004). ولی اگر $BCF_{ROOT}>1$ و TF<1 باشند، گیاه مورد نظر برای گیاه تثبیتی مواد آلوده (فلزات سنگین) مناسب است. در مواردی نیز ممکن است هم مقدار شاخص TF و BCF_{ROOT} و BCF_{shoot} بزرگتر از یک باشد که در این موارد گیاه، هم عمل استخراجی و هم عمل تثبیتی را انجام می‌دهد (Yoon *et al*. 2006).

$$TF\ (\text{Translocation Factor}) = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در اندام هوایی (mg/kg)}}{\text{غلظت فلز سنگین در اندام زیرزمینی (mg/kg)}}$$

$$BCF\ (\text{Bioaccumulation Factor}) = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در اندام زیرزمینی (mg/kg)}}{\text{غلظت فلز سنگین در اندام هوایی (mg/kg)}}$$

www.SID.ir

Archive of SID

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، به منظور بررسی وجود تفاوت بین گونه‌های گیاهی و اندام‌های گیاهی (بخش‌های هوایی و زیرزمینی) در خصوص غلظت فلزات سنگین (مس و منگنز) و همچنین برای مقایسه غلظت کل فلزات سنگین در خاک مکان‌های نمونه‌برداری مورد تجزیه طرح فاکتوریل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC و برای رسم گراف و نمودارها از نرم‌افزار excel استفاده شد.

نتایج

تشریح خصوصیات پوشش گیاهی

با توجه به وضعیت آب و هوایی و اکولوژی منطقه و همچنین استفاده بی‌رویه، مرتع در وضعیت خوبی نبوده و منطقه دارای دو تیپ گیاهی می‌باشد که به ترتیب گراس‌ها و فرب‌ها و بوته‌ای‌ها به شرح زیر می‌باشند جدول (۱).

جدول ۱- فلورستیک منطقه مورد مطالعه

نام علمی گونه	نام فارسی گونه	نام علمی گونه	نام فارسی گونه
Bromus tectorum	علف بام	*Bromus tectorum*	علف بام
Poa trivialis	چمن معمولی	*Tamarix gallica*	گز انگبین
Stipa barbata	استپی ریش دار	*Astragalus propinquus*	گون
Aristida plumosa	سه سیخکی	*Prosopis farcta*	کهورک
Alhagi camelorum	خارشتر ایرانی	*Peganum harmala*	اسپند
Cousinia	هزار خار	*Achillea millefolium*	بومادران معمولی
Echinops ritro	شکر تغال	*Alhagi camelorum*	خارشتر ایرانی
Artemisia herba-alba	برنجاسف هرباآلبا	*Heliotropiu europaeum*	آفتابپرست اروپایی
Peganum harmala	اسپند معمولی	*Artemisia absinthium*	درمنه
Salsola rigida	علف شور	*Lactuca orientalis*	گاو چاق کن

تشریح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جهت و خلاف جهت باد

بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سایت‌هایی که در جـهت و خلاف باد قرار گرفته‌اند درجـــدول (۲) و (۳) ارائه شده است. در جهت باد موافق اسیدیته خاک بین ۷/۲ و تا ۷/۵ متغیر است و در جهت مخالف باد از ۷/۴ تا ۷/۷ متغیر بوده و متوسط مقدار اسیدیته خاک در جهت باد و خلاف جهت باد به ترتیب ۷/۴ و ۷/۵ بوده است. قابلیت هدایت الکتریکی خاک در سایت‌هایی که در جهت باد قرار دارند بین ۰/۱۳ تا ۰/۲۵ و در جهت مخالف باد بین ۰/۳ تا ۰/۳۱ متغیر بوده و میانگین در جهت باد و در خلاف جهت باد به ترتیب ۰/۲ و ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. میانگین ماده آلی خاک منطقه در جهت باد غالب ۰/۴ و در جهت خلاف باد غالب ۰/۴ درصد، بافت غالب خاک منطقه شنی لومی بوده و در جهت باد میانگین رس و سیلت و شن به ترتیب ۱۲/۴، ۱۳/۷، ۶۰/۶ و در خلاف جهت باد میانگین رس و سیلت و شن به ترتیب ۱۲، ۱۴/۱، ۶۰/۴ درصد بوده است.

جدول ۲- بخشی از خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک در جهت باد

ویژگی خاک نمونه	pH	EC (dSm^{-1})	% Total (N)	p.p.m P(ava)	% OM	% T.N.V
پلات ۱ افق A	۷/۵	۰/۲۱	۰/۰۴	۲/۱	۰/۴	۱۴/۱۳
پلات ۱ افق B	۷/۵	۰/۲۲	۰/۰۳	۱/۹۶	۰/۴۷	۱۴/۴
پلات ۲ افق A	۷/۴	۰/۲۵	۰/۰۳	۱/۴۶	۰/۴۱	۱۳/۸۳
پلات ۲ افق B	۷/۴	۰/۲۳	۰/۰۳	۱/۷۶	۰/۳۸	۱۳/۴۳
پلات ۳ افق A	۷/۵	۰/۱۹	۰/۰۳	۲/۳	۰/۳۳	۱۵/۲۳
پلات ۳ افق B	۷/۴	۰/۲۱	۰/۰۲	۱/۹۳	۰/۳۵	۱۳/۵۳
پلات ۴ افق A	۷/۳	۰/۱۷	۰/۰۳	۱/۹۶	۰/۴۷	۱۵/۹۶
پلات ۴ افق B	۷/۲	۰/۱۷	۰/۰۳	۲/۱۶	۰/۵۴	۱۶/۷۶
پلات ۵ افق A	۷/۴	۰/۳۱	۰/۰۲	۱/۹۶	۰/۴۴	۱۳/۳۶
پلات ۵ افق B	۷/۴	۰/۳۱	۰/۰۲	۱/۷۳	۰/۴	۱۳/۰۶

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- بخشی از خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک در خلاف جهت باد

ویژگی خاک نمونه	pH	EC (dSm^{-1})	% Total(N)	p.p.m	% OM	% T.N.V
پلات ۱ افق A	۷/۴	۰/۱۹	۰/۰۲	۱/۶۶	۰/۳۸	۸/۶۶
پلات ۱ افق B	۷/۴	۰/۲	۰/۰۲	۱/۵۳	۰/۳۸	۸/۹۶
پلات ۲ افق A	۷/۴	۰/۲۲	۰/۰۲	۱/۸۸	۰/۵۵	۹/۴
پلات ۲ افق B	۷/۴	۰/۲۳	۰/۰۲	۱/۶۹	۰/۵۵	۹/۳۳
پلات ۳ افق A	۷/۶	۰/۱۹	۰/۰۳	۱/۷۵	۰/۴۳	۷/۵۶
پلات ۳ افق B	۷/۵	۰/۲	۰/۰۲	۱/۶	۰/۴۱	۷/۲۶
پلات ۴ افق A	۷/۴	۰/۱۷	۰/۰۲	۱/۴۴	۰/۳۹	۶/۰۶
پلات ۴ افق B	۷/۴	۰/۱۷	۰/۰۲	۱/۱۶	۰/۳	۶
پلات ۵ افق A	۷/۷	۰/۳۱	۰/۰۲	۱/۲۶	۰/۳۴	۵/۵
پلات ۵ افق B	۷/۷	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۸۹	۰/۳۳	۵/۳۳

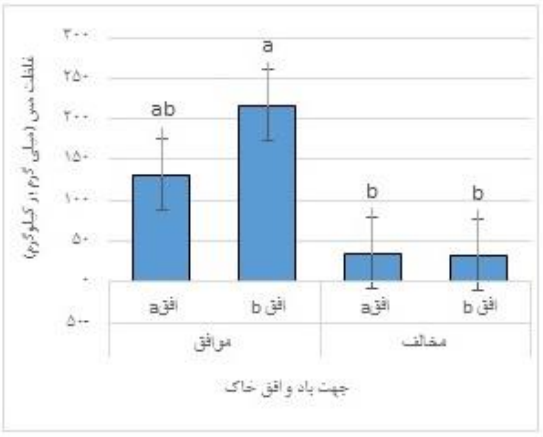
تاثیر جهت باد بر روی مقدار مس و منگنز خاک و گیاهان

نتایج تجزیه واریانس تاثیر متقابل جهت باد و فواصل نمونه‌برداری (مکان نمونه‌برداری) بر غلظت مس و منگنز خاک در جدول (۴) ارائه داده شده است. نتایج نشان می‌دهد بین اثر متقابل باد و افق خاک اختلاف معناداری وجود ندارد (شکل۲). در بررسی تجزیه واریانس غلظت منگنز و افق خاک در سطح ۵ درصد اختلاف معناداری وجود دارد و همچنین در بررسی اثر متقابل باد و افق خاک بر غلظت فلز منگنز اختلاف معناداری وجود ندارد (شکل۳).

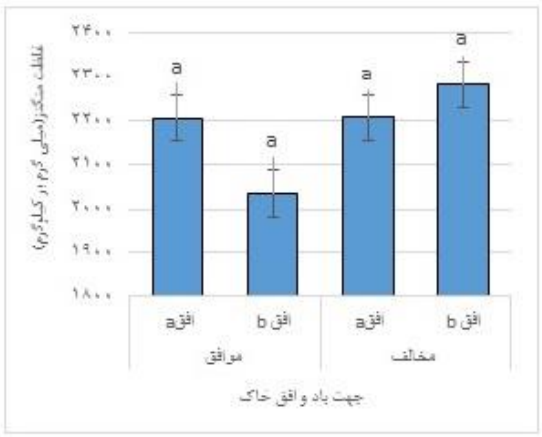
جدول ۴- نتیجه تجزیه واریانس اثر جهت بر غلظت فلزات سنگین در افق‌های خاک

متغیر	منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
غلظت مس	باد	۱	۲۹۵۰۰۸/۸۶۴	^{ns}۱۶/۶۰
(میلی‌گرم بر	افق خاک	۱	۲۵۶۵۹/۷۴۴	^{ns}۱/۴۵
کیلوگرم)	باد * افق خاک	۱	۲۸۷۴۱/۵۷۱	^{ns}۱/۶۱
	خطا	۵۶	۱۷۷۶۴/۱۸۱	
غلظت منگنز	باد	۱	۲۳۱۰۱۲/۱۵۰	^{ns}۱/۰۲۳۶
(میلی‌گرم بر	افق خاک	۱	۳۴۲۲۴/۸۱۷	*۰/۰۵۱۶
کیلوگرم)	باد * افق خاک	۱	۲۲۱۹۲۰/۰۱۷	^{ns}۰/۹۸۳۳
	خطا	۵۶	۲۲۵۶۹۶/۵۰۰	

** : معنی داری در سطح ۱ در صد * : معنی داری در سطح ۵ درصد ns: عدم وجود اختلاف معنی دار



شکل ۲- مقایسه غلظت مس در جهت های مختلف باد و افق های مختلف خاک



شکل ۳- مقایسه غلظت منگنز در جهت های مختلف باد و افق های مختلف خاک

www.SID.ir

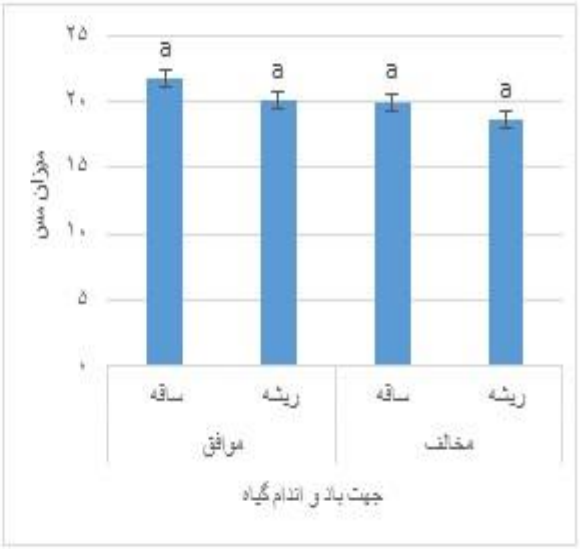
Archive of SID

نتایج تجزیه واریانس تاثیر متقابل جهت باد بر غلظت فلزات مس و منگنز در جدول (۵) ارائه داده شده است. نمودار مقایسه میانگین مس نشان می‌دهد که اختلاف معناداری وجود ندارد. همچنین نمودار بررسی اثرات متقابل جهت باد و اندام‌های گیاهی (اندام هوایی و زیرزمینی) بر میزان غلظت مس اختلاف معناداری وجود ندارد. در بررسی نمودار اثرات متقابل اندام‌های گیاهی و جهت‌های مختلف باد اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد دیده می‌شود (شکل ۴). در نمودار مقایسه میانگین منگنز در جهت‌های مختلف باد اختلاف معناداری وجود ندارد، در حالی که میانگین غلظت فلز منگنز در جهت مخالف باد بیشتر از جهت موافق است. در نمودار بررسی مقایسه میانگین غلظت منگنز در اندام‌های مختلف گیاه اختلاف معناداری وجود ندارد. در نمودار بررسی اثرات متقابل جهت باد و اندام‌های گیاه بر میزان غلظت منگنز اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد بطوریکه در جهت مخالف میانگین غلظت فلز منگنز بیشتر می‌باشد (شکل ۵).

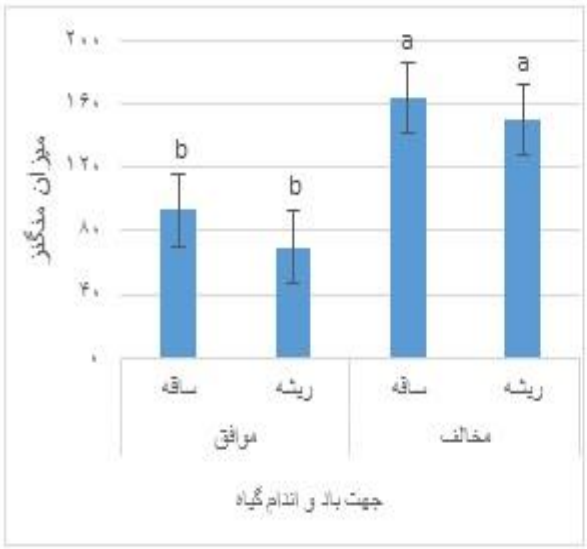
جدول ۵- نتیجه تجزیه واریانس اثر جهت و افق های خاک بر توانایی گیاه‌پالایی

متغیر	منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
غلظت مس (میلیگرم بر کیلوگرم)	باد (Wind)	۱	۳۸/۴۰۰	۰/۶۷۰۴ ns
	اندام گیاهی (Plant)	۱	۳۵/۲۶۷	۰/۶۱۵۷ ns
	باد * اندام گیاهی (W*P)	۱	۰/۲۶۷	۰/۰۰۴۷*
	خطا (CV)	۵۶	۵۷/۲۶۷	
غلظت منگنز (میلیگرم بر کیلوگرم)	باد (Wind)	۱	۸۵۴۲۸/۲۶۷	۱۹/۶۳۵ ns
	اندام گیاهی (Plant)	۱	۵۱۸۹/۴۰۰	۱/۱۵۸۰ ns
	باد * اندام گیاهی (W*P)	۱	۳۱۷/۴۰۰	۰/۰۷۰۸*
	خطا (CV)	۵۶	۴۴۸۱/۲۵۵	

** : معنی‌داری در سطح ۱ در صد * : معنی‌داری در سطح ۵ درصد ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار



شکل ۴- مقایسه میانگین غلظت مس در جهت‌های مختلف باد و اندام‌های مختلف گیاه



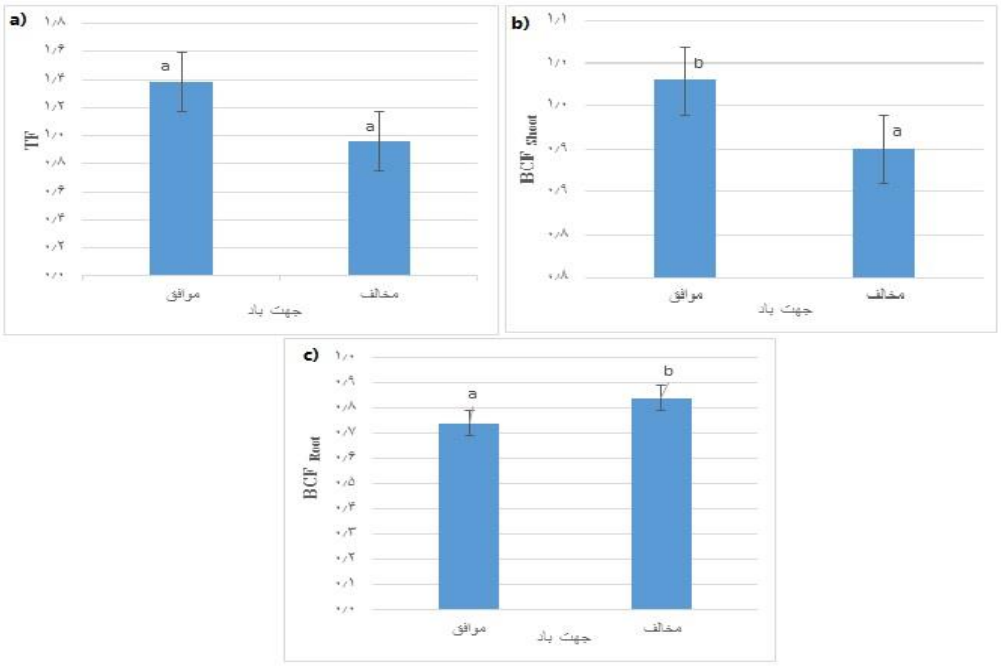
شکل ۵- مقایسه میانگین غلظت منگنز در جهت‌های مختلف باد و اندام‌های مختلف گیاه

نتایج مقایسه غلظت مس و منگنز در گیاهان موجود در مرتع مورد مطالعه

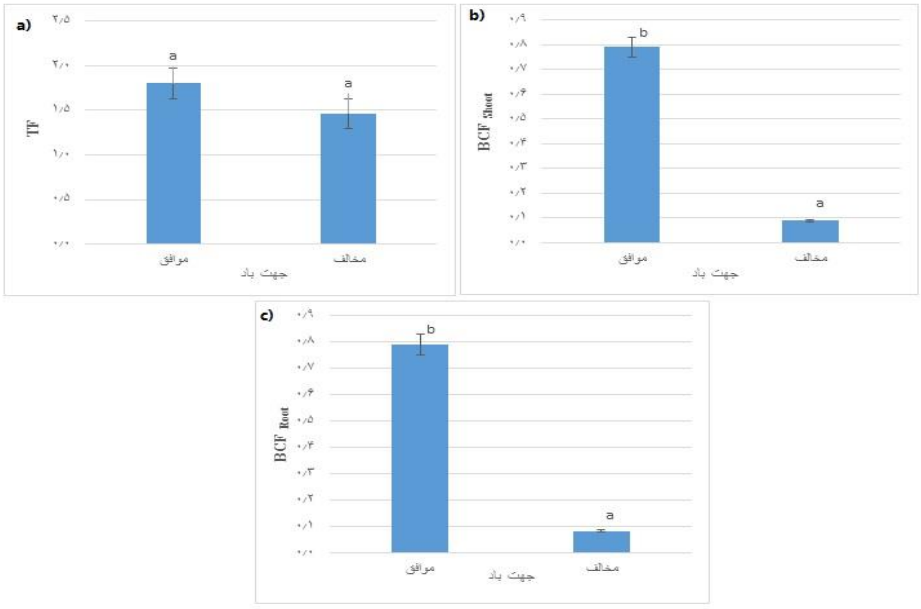
نتایج مقایسه میانگین غلظت مس و منگنز در شاخص‌های ارزیابی گیاه‌پالایی در جدول (۶) ارائه داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان TF در فلز مس و منگنز اختلاف معناداری در جهت‌های مختلف باد ندارد ولی در بررسی میزان BCF_{shoot} در جهت‌های مختلف باد در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معناداری است. در بررسی BCF_{root} در جهت‌های مختلف باد در سطح ۱درصد دارای اختلاف معناداری است (شکل ۶ a، b و c) و (شکل ۷ a، b و c).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- نمودار مقایسه شاخص TF (a)، BCF_{shoot} (b) و BCF_{root} (c) مس



شکل ۷- نمودار مقایسه شاخص TF (a)، BCF_{shoot} (b) و BCF_{root} (c) منگنز

جدول ۶- مقایسه میانگین غلظت مس و منگنز در ارزیابی توانایی شاخص‌های گیاه‌پالایی

	Mn			Cu		
	BCF_{root}	BCF_{shoot}	TF	BCF_{root}	BCF_{shoot}	TF
در جهت باد موافق	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۵۶	۱/۱۹	۲/۰۱	۱/۴۲
	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۴۲	۱/۰۵	۱/۵۸	۱/۸۵
	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۹۳	۱/۱۲	۱/۰۹	۱/۵۹
	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۹۰	۱/۲۴	۰/۸۰	۱/۶۳
	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۷۴	۰/۱۰	۰/۷۷	۱/۴۳
خلاف جهت باد	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۶۶	۰/۴۱	۱/۵۰	۱/۷۰
	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۵۷	۰/۵۶	۱/۲۱	۱/۵۱
	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۶۱	۰/۴۷	۱/۱۵	۱/۵۹
	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۶۱	۰/۴۲	۱/۳۵	۱/۶۰
	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۶۸	۰/۳۹	۰/۶۶	۱/۷۴

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

تجمع بالای فلزات سنگین در محیط می‌تواند آثار منفی زیادی بر سلامتی بوم‌نظام‌ها داشته باشد (Jiang *et al*., 2013). به همین علت، آلودگی فلزات سنگین در سراسر جهان همواره به عنوان مشکلی جدی مطرح بوده است. یکی از روش‌های نوین گیاه پالایی، استخراج گیاهی (phytoextraction) است که در آن از گیاهان تجمع‌دهنده فلز برای پاکسازی محیط‌های حاوی مقادیر بالای فلزات سنگین استفاده می‌شود (McGrath and Zhao, 2003). این گیاهان می‌توانند مقادیر مهمی از فلزات را در بخش هوایی و قابل برداشت خود مجتمع کنند.

این بررسی نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در دو جهت باد متفاوت است به طوری که میزان غلظت فلزات سنگین در جهت باد غالب بیشتر از خلاف جهت باد غالب است و این نشان‌دهنده جابه‌جایی بیشتر فلزات سنگین توسط باد غالب است. همچنین میزان غلظت فلزات سنگین در پلات‌هایی که در نزدیکی معدن قرار گرفتند نسبت به پلات‌هایی که دورتر از معدن قرار گرفته‌اند، بیشتر است. همچنین Saba *et al*. (2015) پس از بررسی غلظت و فراهمی فلزات سنگین در خاک پوشش گیاهی رشد یافته در مناطق آلوده مجتمع روی زنجان در ایران به نتیجه رسیدند که غلظت فلزات سنگین Cd، Pb و Zn در نمونه‌های گیاهی بالاتر از استاندارد است. همچنین با افزایش فاصله از باطله‌ها غلظت فلزات به صورت تدریجی کاهش می‌یابد. غلظت کل فلزات مس و منگنز در منطقه به ترتیب ۶۲۵۰/۸ و ۱۳۰۹۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از مقایسه مقدار فلزات با میزان حداکثر مجاز آن‌ها، مشخص شد مقدار فلزات از حداکثر مجاز بیشتر بوده است. در خاک مراتع، حداکثر غلظت مجاز مس و منگنز به ترتیب ۲۵۰ و ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Alloway, 1990). این امر نشان‌دهنده آلودگی خاک‌های مرتع به فلزات مس و منگنز بود. در این ارتباط Golchin and Shafiei (2006) در مطالعه‌ای که در استان زنجان انجام دادند، گزارش کرده‌اندکه غلظت سرب و کادمیم در نمونه‌های گیاهی و خاک و به ویژه نمونه‌های نزدیک و مجاور به کارخانه ملی سرب و روی زنجان، بالا و نگران‌کننده است. همچنین ایشان بیان کردند که غلظت روی نیز در نمونه ها از حد طبیعی بیشتر بود، ولی با توجه به این که یک فلز سمی و خطرناک برای سلامتی انسان نیست و فقط در غلظت‌های بالا باعث ایجاد مسمومیت می‌گردد، بنابراین تاثیر سوء آن بیشتر بر کاهش عملکرد محصول و عدم تعادل تغذیه‌ای گیاهان است تا سلامت جامعه. با فاصله گرفتن از کارخانه سرب و روی، تا شعاع سه کیلومتری غلظت فلزات سنگین سرب و روی به تدریج کاهش می‌یابد.

اگرچه تاکنون بیش از ۴۰۰ گونه گیاهی بیش تجمع‌دهنده فلز سنگین شناسایی شده است، اما استفاده از روش استخراج گیاهی هنوز به طور عملی در سطح وسیع انجام نشده است (Harada *et al*., 2007). بنابراین، بررسی و ارزیابی دقیق پوشش گیاهی موجود در مناطقی که به علت فعالیت‌های انسانی در برگیرنده غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین هستند، از اهمیّت بالایی برخوردار است و می‌تواند به شناسایی گونه‌های گیاهی مناسب برای پاکسازی خاک از فلزات سنگین منجر شود. طبق تعریف، یک گیاه بیش تجمع‌دهنده فلز سنگین با چهار شاخص مشخص می‌شود (Jiang *et al*., 2013): الف) توانایی تجمع فلز در بخش هوایی، یعنی حد آستانه میزان فلز در بخش هوایی باید بالاتر از گیاهان معمولی باشد، ب) داشتن شاخص تغلیظ زیستی (BCF) بزرگتر از یک، ج) داشتن عامل انتقال (TF) بزرگتر از یک و د) توانایی تحمل در برابر غلظت‌های بالای فلز.

غلظت کل فلزات مس و منگنز در گیاهان به ترتیب ۱۲۰۶و ۷۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نتایج حاصل از بررسی غلظت فلزات مس و منگنز در گیاه بومی منطقه نشان داد که غلظت در اندام‌های گیاهان مورد بررسی بیشتر از محدوده طبیعی است. Alloway (1990) محدوده طبیعی غلظت مس و منگنز را در گیاهان به ترتیب ۵۰-۲۰ و۲۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ذکر کرده است. نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات مس و منگنز در گیاهان منطقه مورد مطالعه نشان داد غلظت مس در شاخساره گیاهانی که در جهت باد غالب و خلاف جهت باد غالب قرار گرفته‌اند بیش‌تر از اندام‌های زیرزمینی است بنابراین مقدارTF بزرگتر از یک (۱/۴، ۱/۲ ، ۱/۵ و ۱/۸) بود. این امر نشان می‌دهد که به احتمال زیاد بتوان این گیاه را به عنوان بیش‌اندوز مس در نظر گرفت. در این ارتباط Motesharezadeh and Savabeghi (2015) بیان کردند که عامل انتقال TF، نمایه‌ای که میزان انتقال عناصر را از ریشه به اندام‌های هوایی مشخص می‌کند، در گیاهان بیش‌اندوز بیشتر از یک است. و همچنین Yoon *et al*. (2006) گزارش کردند گیاهانی که مقدار شاخص TF در آن‌ها بیش‌تر از یک است برای گیاه استخراجی فلزات سنگین مناسب هستند. مقدار شاخص BCF_{shoot} در این گیاه در بررسی فلز مس در سایت‌هایی که در جهت و خلاف باد غالب قرار دارند بیش‌تر از یک بود. و همچنین در بررسی شاخص BCF_{root} در فلز مس در سایت‌هایی که در جهت باد غالب قرار دارند بزرگتر از یک می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که به احتمال زیاد این گیاهان برای گیاه استخراجی فلز مس مناسب است. در این ارتباط Yari

www.SID.ir

Archive of SID

Moghadam *et al*. (2013) بیان کردند که گیاهانی که در آن‌ها مقدار شاخص TF و یا BCF_{shoot} بزرگتر از یک است برای گیاه استخراجی مناسب هستند. ولی گیاهانی که مقدار شاخص TF کوچکتر از یک و BCF_{root} بزرگتر از یک دارند، آن گیاه پتانسیل گیاه تثبیتی دارد. بطور کلی، گیاه‌پالایی نوعی فناوری است که از گیاهان برای جلوگیری از مهاجرت و جابجایی فلزات در خاک استفاده می‌کنند (Aman *et al*., 2018). هدف از این فناوری کاهش آلودگی و شستشوی آلاینده‌های خاک با محدود کردن یا به حداقل رساندن جابجایی و دسترسی به‌فراهمی زیستی عناصر موجود در خاک است. این فناوری از گیاهانی استفاده می‌کند که بیشترین جذب و تجمع فلز آلاینده را در ریشه‌های خود داشته باشند (Tavili *et al*., 2019). در بررسی شاخص‌های BCF_{shoot} و BCF_{root} در فلز آهن در پلات‌هایی که در جهت باد غالب قرار گرفتند، این شاخص‌ها بزرگتر از یک می‌باشند. در ارزیابی توانمندی گیاهان این منطقه و معرفی آن برای پالایش آلودگی فلز منگنز در شاخص‌های TF، BCF_{shoot} و BCF_{root} نیز بررسی شدند ولی به عنوان گزینه مناسبی برای گیاه استخراجی فلز منگنز نمی‌توان آنها را معرفی کرد. در این ارتباط Sekabira *et al*. (2011) گیاهان را بر اساس شاخص BCF (همه اندام گیاه) به چهار گروه تقسیم کردند که شامل BCF <۰/۰۱ غیربیش‌اندوز، BCF بین ۰/۱ -۰/۰۱ کم بیش‌اندوز، BCF بین ۱-۰/۱ متوسط بیش‌اندوز و BCF بین ۱۰-۱ فوق بیش اندوز (ابرجاذب) می‌باشند. استفاده از گیاهان بومی مرتعی برای استفاده در گیاه‌پالایی مناطق آلوده به فلزات سنگین دارای اهمیت بسیار زیادی است . چرا که این گیاهان تحت شرایط تنش‌های مختلف محیطی و فلزات سنگین دارای قدرت بقا رشد و تولید مثل بالایی هستند. بر اساس نتایج به دست‌آمده گیاهان در اراضی مرتعی قلعه محمدعلی‌خان توانایی حذف بخشی از فلزات سنگین را از خاک-های آلوده دارند و گونه گیاهی در منطقه دارای توانایی بالایی در جذب، انتقال و تجمع فلز مس را در خود دارد. در بررسی شاخص‌های ارزیابی توانمندی گیاه برای گیاه پالایی، شاخص TF در فلز مس بزرگتر از یک شده است. پس می‌توان برای استخراج فلز مس در خاک‌هایی که میزان مس در آن‌ها از حد نرمال خارج شده است استفاده نمود. از آنجا که برای پالایش فلزات سنگین، حذف کامل آنها از خاک لازم نمی‌باشد، پالایش گیاهی روش مناسبی برای آلودگی‌زدایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است. البته در شرایطی که شدت آلودگی فراتر از تحمل گیاه است نمی‌توان از این روش استفاده کرد. توصیه می‌شود در مراتعی که غلظت فلزات سنگین از جمله مس و منگنز در گیاهان از محدوده بحرانی آن‌ها بیشتر می‌باشد، تا جای امکان از چرای دام جلوگیری شود و از این مراتع در راستای سایر ارزش‌های زیست محیطی از جمله کاهش آلودگی خاک و گیاه‌پالایی استفاده شود. چرا که فلزات سنگین پایدار بوده و به دلیل بزرگ نمایی (تجمع زیستی) که در طبیعت اتفاق می‌افتد، اگر وارد زنجیره غذایی دام انسان شوند، برای سلامتی انسان خطرساز خواهند بود.

REFERENCES

Abdel-Salam, A. A., Salem, H. M., Abdel-Salam, M. A., & Seleiman, M. F. (2015). Phytochemical removal of heavy metal-contaminated soils *Heavy metal contamination of soils* (pp. 299-309): Springer.

Adelekan, B. A., & Alawode, A. O. (2011). Contributions of municipal refuse dumps to heavy metals concentrations in soil profile and groundwater in Ibadan Nigeria. *Journal of Applied Biosciences, 40*, 2727-2737.

Adriano, D. C. (2001). Chapter 10 Lead. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals Springer-Verlag.

Alloway, B. J. (1990). Soil processes and the behaviour of metals. *Heavy metals in soils.*, 7-28.

Alloway, B. J. (2012). Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (Vol. 22): Springer Science & Business Media.

Aman, M. S., Jafari, M., Karimour Reihan, M., and Motesharezade, B., (2018). Assessing some shrub species for phytoremediation of soils contaminated with lead and zinc. Environmental earth sciences. 77, 82.

Asadi Ghalehni, H., Poozesh, V., (2018). Effect of Sulfur Application on Growth, Photosynthetic Pigments, Antioxidant Activity and Arsenic Accumulation in Coriander (Coriandrum sativum) under Arsenic Stress. Journal of Chemical Health Risks. 8, 265-276.

Baker, A. J. M., & Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery., 1*(2), 81-126.

Buszewski, B., Jastrzębska, A., Kowalkowski, T., & Górna-Binkul, A. (2000). Monitoring of selected heavy metals uptake by plants and soils in the area of Toruń, Poland. *Pol. J. Environ. Stud, 9*(6), 511-515.

Dalvand, M., & Hamidian, A. (2014). Investigating the Effects of Cu, Pb, Zn and Mn Concentrations in Artemisia spp. Above Ground Biomass in the Rangelands of Darreh Zereshk Copper Mine-Taft. *Rangeland, 8*(3), 219-229.

Farzamisepehr, M., Norozi, H. A. F., Farajzadeh, MA. (2013). phytoremediation Potential of *Polypogon Monsepeliensis L.* in Remediation of Petroleum Polluted Soil.

Fazeli, M, & Osanloo, M. (2014). Mine Facility

www.SID.ir

Archive of SID

Location Selection in Open-Pit Mines Based on a New Multistep-Procedure *Mine Planning and Equipment Selection* (pp. 1347-1360): Springer.

Gaida, M. M., Landoulsi, N. R., Rejeb, M. N., & Smiti, S. (2013). Growth and photosynthesis responses of Rosmarinus officinalis L. to heavy metals at Bougrine mine. *African Journal of Biotechnology, 12*(2).

Ghosh, M., & Singh, SP. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian J Energy Environ, 6*(4), 18.

Golchin, A. and Shafiei, S (2006). Investigating the Impact of Zanjan Lead and Zinc Factories on Heavy Metal Pollution of Crops and Orchards, Soil Conference, Environment and Sustainable Development, Karaj, Tehran University of Agriculture and Natural Resources. (In Farsi)

Gupta, D. K., Vandenhove, H., & Inouhe, M. (2013). Role of phytochelatins in heavy metal stress and detoxification mechanisms in plants *Heavy metal stress in plants* (pp. 73-94): Springer.

Harada, H., Kurauchi, M., Hayashi, R., & Eki, T. (2007). Shortened lifespan of nematode Caenorhabditis elegans after prolonged exposure to heavy metals and detergents. *Ecotoxicology and environmental safety, 66*(3), 378-383.

Huat, B. G. T. (2017). Effect of Manganese and Cadmum on Biological Attributes of Wild Water Spinach (Ipomoea aquatica Forssk.).

Irani, M., *et al*., (2010). Leaves antimicrobial activity of Glycyrrhiza glabra L. Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR. 9, 425.

Jiang, J., Wang, J., Liu, S., Lin, C., He, M., & Liu, X. (2013). Background, baseline, normalization, and contamination of heavy metals in the Liao River Watershed sediments of China. *Journal of Asian Earth Sciences*, *73*, 87-94.

Karkanis, A., Martins, N., Petropoulos, S. A., and Ferreira, I.C.F.R., (2018). Phytochemical composition, health effects, and crop management of liquorice (Glycyrrhiza glabra L.): A medicinal plant. Food reviews international. 34, 182-203.

National Risk Management Research Laboratory (US). (2000). *Introduction to phytoremediation*. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.

McGrath, S. P., & Zhao, F. J. (2003). Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current opinion in biotechnology*, *14*(3), 277-282.

Maleki, T., Akhani, H. (2018). Ethnobotanical and ethnomedicinal studies in Baluchi tribes: A case study in Mt. Taftan, southeastern Iran. Journal of ethnopharmacology. 217, 163-177.

Moameri, M., Jafari, M., Tavili, A., Motasharezadeh, B., & Zare Chahouki, MA. (2017). Rangeland plants potential for phytoremediation of contaminated soils with lead, zinc, cadmium and nickel (case study: Rangelands around National Lead & Zinc Factory, Zanjan, Iran). *Journal of Rangeland Science, 7*(2), 160-171.

Moosavi, S. Gh, & Seghatoleslami, M. J. (2013). Phytoremediation: a review. *Advance in Agriculture and Biology, 1*(1), 5-11.

Motesharezadeh, B. & Gh.R. Savabeghi., 2015. Phytoremediation or Green Purification. University of Tehran Press. 223 p (In Farsi).

Nouri, J., Lorestani, B., Yousefi, N., Khorasani, N., Hasani, A. H., Seif, F., & Cheraghi, M. (2011). Phytoremediation potential of native plants grown in the vicinity of Ahangaran lead–zinc mine (Hamedan, Iran). *Environmental Earth Sciences*, *62*(3), 639-644.

Papafilippaki, A. K., Kotti, M. E., & Stavroulakis, G. G. (2008). Seasonal variations in dissolved heavy metals in the Keritis River, Chania, Greece. *Global nest. The international journal*, *10*(3), 320-325.

Saba, G., Parizanganeh, AH., Zamani, A., & Saba, J. (2015). Phytoremediation of Heavy Metals Contaminated Environments: Screening for Native Accumulator Plants in Zanjan-Iran. *International Journal of Environmental Research, 9*(1), 309-316.

Sekabira, K., Oryem–Origa, H., Mutumba, GB., & Basamba, TA. (2011). Heavy metal phytoremediation by Commelina benghalensis (L) and Cynodon dactylon (L) growing in urban stream sediments.

Serbaji, MM., Azri, C., & Medhioub, K. (2012). Anthropogenic contributions to heavy metal distributions in the surface and sub-surface sediments of the northern coast of Sfax, Tunisia. *International Journal of Environmental Research, 6*(3), 613-626.

Tavili, A., Jahantab, E., Jafari, M., Motesharezade, B., Zarghan, N., Saffari Amman, M. (2019). Assessment of TPH and nickel contents associated with tolerant native plants in petroleum-polluted area of Gachsaran, Iran. Arabian Journal of Geosciences. 12, 325.

Vodyanitskii, Yu N. (2016). Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *annals of agrarian science, 14*(3), 257-263.

Yanqun, Z., Yuan, L., Schvartz, C., Langlade, L., & Fan, L. (2004). Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead–zinc mine area, China. *Environment International*, *30*(4), 567-576.

Yari Moghadam N., Cheraghi, M., Hasani, AH., & Javid, AH. (2013). Evaluation of heavy metals (Cu, Zn, Pb and Cd) in Hamadan Abshine River. Journal of Health and Development; 2(4): 296-304. (In Farsi).

Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the total environment*, *368*(2-3), 456-464.

Zheljazkov, V. D., Jeliazkova, E. A., Kovacheva, N., & Dzhurmanski, A. (2008). Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter. *Environmental and experimental botany*, *64*(3), 207-216.

www.SID.ir