

Ecological Restoration of Polluted Soils in Arid Region (Case Study: Bauxite Crusher of Jajarm Alumina)

Kh. Khermandar¹, M. Hosseinalizadeh^{2*}, A. Mahdavi³, A. Mohammadian Behbahani⁴, H. Yeganeh⁵

1. Ph.D. Student, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Associate Professor, Dept. of Forest Sciences, Ilam University, Ilam, Iran.
4. Assistant Professor, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
5. Associate Professor, Dept. of Rangeland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

* Corresponding Author: mhalizadeh@gau.ac.ir

Received date: 12/11/2022

Accepted date: 13/01/2023

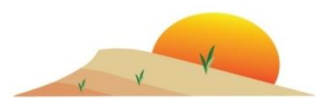
 [10.22034/JDMAL.2023.1972534.1401](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.1972534.1401)

Abstract

Soil contamination by heavy metals is a significant environmental problem worldwide. Human activities, including mining, are a source of pollution to natural resources. In this study, the phytoremediation potential of rangeland species including, *Artemisia sieberi* Besser, *Zygophyllum atriplicoides* Fisch. and *C.A. Mey* for the absorption of heavy metals of Ni, Co, As, Cr and V was investigated around the bauxite crusher of the Jajarm alumina mine in the direction of the prevailing wind. Soil sampling was performed at the distances of 450-700, 800-1200, 1400-2000 and 2500-5000 meters from the center of the bauxite crusher, and the control site. For this purpose, the seeds were planted in pots with a 3:1:1 ratio of sand, fertilizer and soil. Two-months later, they were transferred to pots with soils sampled from target distances. After completing of a vegetative period, the phytoremediation potential of the species was performed a factorial experiment in a completely randomized block design with three replications in greenhouse conditions. Results indicated that As, Ni, Cr, and Co absorption in above/underground of *A. sieberi* tissues were higher than *Z. atriplicoides*. But V absorption in above/underground of *Z. atriplicoides* tissues were higher than that for *A. sieberi* and between the vanadium accumulation in the aerial and underground organs of the target species and distances a significant difference was observed at the level of 1%. The amount of heavy metals transfer factor for *A. sieberi* and *Z. atriplicoides* was more and less than one in turn. Therefore, in terms of the transfer factor, *A. sieberi* has a potential for phyto-extraction and *Z. atriplicoides* has a potential for phyto-stabilization. The results also showed that *A. sieberi* and *Z. atriplicoides* were recognized as hyper-accumulating of nickel and cobalt metals. These species can therefore be recommended for the ecological restoration of soils polluted by heavy metals, especially nickel and cobalt in similar regions.

Keywords: Phyto-extraction; Phytoremediation; Rangeland species; Hyper-accumulating





مدیریت زیستی خاک‌های آلوده به برخی عناصر سمی در مناطق خشک (بررسی موردی: سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینا جاجرم)

خدیدجه خرمن‌دار^۱، محسن حسینعلی‌زاده^{۲*}، علی مهدوی^۳، علی محمدیان بهبهانی^۴، حسن یگانه^۵

۱. دانشجوی دکتری گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲. دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳. دانشیار گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۴. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۵. دانشیار گروه علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

* نویسنده مسئول: mhalizadeh@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳

doi: [10.22034/JDMAL.2023.1972534.1401](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.1972534.1401)

چکیده

آلودگی خاک با عنصرهای فلزی و شبه فلزی سمی به عنوان مشکل محیط‌زیستی در جهان به شمار می‌آید. فعالیت‌های معدنی منجر به آلودگی منابع طبیعی می‌شود. در پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های مرتعی درمنه دشتی *Artemisia sieberi* Besser و قیچ *Zygophyllum atriplicoides* Fisch. & C.A.Mey در جذب عنصرهای Ni, Co, As, Cr, V موجود در اطراف سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینا پرداخته شد. نمونه‌برداری خاک در فاصله‌های ۴۵۰م-۷۰۰، ۸۰۰-۱۲۰۰، ۲۰۰۰-۱۴۰۰ و ۵۰۰۰-۲۵۰۰ از سنگ‌شکن و منطقه شاهد انجام شد. به این منظور بذرها در گلدان‌هایی به نسبت ۳:۱:۱ ماسه بادی، کود پوسیده و خاک زراعی کاشت و پس از گذشت دو ماه به گلدان‌هایی با خاک‌های نمونه‌برداری شده از فاصله‌های هدف منتقل شدند. پس از اتمام یک دوره رویشی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های مذکور با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی، در سه تکرار در شرایط گلخانه بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان تجمع عنصرهای Ni, Co, Cr, As در اندام هوایی و زیرزمینی گونه *A.sieberi* بالاتر از *Z.atriplicoides* است، اما مقدار تجمع V در اندام هوایی و زیرزمینی گونه *Z.atriplicoides* بیشتر از *A.sieberi* بود. مقدار تجمع عنصرهای Ni, Co, Cr, As در گونه *A.sieberi* به ترتیب $7.071 < 2928/96 < 366/1 < 151/07$ و میزان تجمع V در گونه *Z.atriplicoides* برابر $510/55 \text{ mg/kg}$ و بین مقدار تجمع V در اندام هوایی و زیرزمینی گونه‌های مذکور و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ مشاهده شد. فاکتور انتقال عناصر در گونه *A.sieberi* بیشتر از یک و در گونه *Z.atriplicoides* کمتر از یک، است. بنابراین، از نظر فاکتور انتقال گونه *A.sieberi* قابلیت بیشتری برای استخراج گیاهی و گونه *Z.atriplicoides* توان بهتری برای تثبیت گیاهی دارد. همچنین گونه‌های *A.sieberi* و *Z.atriplicoides* به عنوان گونه‌های بیش‌اندوز عنصرهای Ni, Co شناخته شدند. بنابراین، این گونه‌ها برای پاک‌سازی اراضی آلوده به عنصرهای مورد بررسی به خصوص Ni, Co در مناطق مشابه می‌توانند، استفاده شوند.

واژگان کلیدی: استخراج گیاهی؛ گیاه‌پالایی؛ گونه‌های مرتعی؛ بیش‌اندوز



■ مقدمه

سنگ معدن بوکسیت دارای ۷۰٪-۵۰٪ Al است که شکل طبیعی آن، آلومینا^۱ می‌باشد و معمولاً در عمق یک یا دو متر در زیر سطح خاک یافت می‌شود که با روش استخراج نواری یا معدن باز و از طریق حذف لایه پوشاننده خاک استخراج می‌شود. این مسئله منجر به اختلال در خاکدانه‌ها، از بین رفتن مواد آلی، پوشش گیاهی و موجودات زنده، اختلال در چرخه مواد مغذی و ساختار خاک، افزایش خطر شستشوی عناصر کمیاب خاک و عناصر غذایی می‌شود (۱۹). به عبارتی این مواد معدنی برای بقای بشر ضروری است (۶) و از طرفی دیگر آثار منفی ناشی از استخراج مواد معدنی از فواید آنها کاهش داده و به عنوان تهدیدی جدی برای محیط زیست محسوب می‌شوند. لذا این استخراج و فرآوری نقش زیادی بر فرایندهای فرسایش خاک، آلودگی هوا، کاهش سطح جنگل‌ها و دیگر زیست بوم‌های طبیعی را در پی خواهد داشت (۶).

طبق بررسی‌های انجام شده یکی از علل اساسی صدمه به محیط زیست آلودگی‌های صنعتی هستند که نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در این خصوص نشان داد که اراضی نزدیک به فعالیت‌های صنعتی، نقش بسیاری در آلودگی خاک و آب و هوا ایفا می‌کنند (۱۲). از طرفی دیگر فعالیت‌های انسانی در قرن اخیر منجر به تجمع آلاینده‌ها در خاک شده است و مسئله آلودگی خاک به عنوان یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های تأثیرگذار در سرتاسر جهان به شمار می‌آید. به عبارتی در بین آلاینده‌های شیمیایی، فلزها و شبه فلزهای سنگین از نگرانی‌های عمده‌ای در زمینه محیط‌زیست است. علت این مسئله ماندگاری طولانی مدت این عنصرها در خاک است که این امر در نهایت منجر به اثرات منفی بر روی موجودات زنده می‌شود و به عنوان منبع اصلی آلودگی محیط زیست پیامدهای نامطلوبی را به دنبال دارد (۲۶). به طوری که عنصرهایی از قبیل Cr, Pb, Cd و As به عنوان عناصر مضر در زیست بوم هستند که فعالیت‌های انسانی از جمله استخراج مواد معدنی، فرآوری، تصفیه، پالایش و حذف ضایعات، نقش کلیدی در افزایش

دسترس‌پذیری این عناصر در محیط دارند (۱). از طرفی عنصرهای کمیاب مانند V, Cu, Co, Zn, Mo, Fe, Mn و Ni به طور طبیعی در محیط یافت شده و به میزان کم برای موجودات زنده مفید می‌باشند. اما مکان‌های آلوده عمدتاً غنی از عنصرهای Cd, Pb, Hg, Cr و As هستند که این عنصرها دارای چگالی و وزن اتمی بالایی هستند و اغلب برای موجودات زنده مفید نبوده و به عنوان تهدید جدی برای زیست بوم‌ها به شمار می‌آیند (۱۷).

عنصرهای سنگین به طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما فعالیت‌های انسانی از جمله معادن، صنایع و کشاورزی منجر به افزایش این عنصرها در محیط می‌گردد که در بین آنها فعالیت‌های معدنی یکی از تأثیرگذارترین فعالیت‌های انسانی است که منجر به تخریب زیستگاه، آلودگی آب و خاک، تخریب منابع زمین و تغییر چشم‌انداز می‌شود (۳۲). مسئله اصلی در خصوص عناصر سمی، عدم تجزیه‌پذیری آنها برخلاف آلاینده‌های آلی می‌باشد که این امر عنصرها را به عنوان یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌ها در محیط تبدیل کرده است (۳۱). در واقع عنصرهای سنگین عموماً در اندام‌های مختلف گیاهان بدون ظهور آثار سمیت تجمع می‌یابند و پایداری بالای آنها در محیط منجر به تهدیدی جدی برای سلامتی موجودات زنده و محیط می‌باشد (۲۷). از طرفی برخی از این عناصر به عنوان ریز مغذی ضروری برای گیاهان محسوب می‌شوند، ولی چنانچه غلظت آنها از حد آستانه بیشتر شود موجب سمی شدن و تأثیر در تغذیه و عملکرد گیاه و جابه‌جایی مواد مغذی ضروری می‌شوند (۲۵). برای اصلاح اراضی آلوده به عنصرهای سنگین، فن‌آوری‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله انجماد، تثبیت، شستشوی خاک و جداسازی قابل انجام هستند که متأسفانه این روش‌ها زمانبر، گران قیمت و غیر قابل اجرا برای عموم می‌باشند (۲۳). لذا در سال‌های اخیر به دنبال راهکاری برای جایگزینی روش‌های مذکور بودند که گیاه‌پالایی^۲ به عنوان روشی دوستدار محیط زیست، مقرون به صرفه، داشتن بازده مالی طی طولانی مدت و تبدیل اراضی بایر به مشجر پیشنهاد شده است که البته کارایی این روش به پتانسیل گیاهان جهت زنده‌مانی در شرایط

² Phytoremediation¹ Al₂O₃

H.S. Irwin & Barneby, *Ziziphus spina-christi* (L.) Desf, *Cordia sebestena* L., *Tecoma stans* (L.) Kunth, *Bougainvillea spectabilis* Willd., *Conocarpus lancifolius* Engl., *Ixora coccinea* L. پرداختند. نتایج آنها نشان داد که ریشه *C. lancifolius* به عنوان انباشت‌کننده قوی Co، Zn و Ni در ریشه‌هاست. همچنین Zn، Cr، Ni و Ba به عنوان مؤثرترین عنصرها در انتقال به برگ‌های گونه‌های مورد بررسی بودند (۲). همچنین در تحقیقی دیگر پژوهشگران به بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه تاج خروس *Amaranthus spinosus* L. پرداختند و نتایج آنها حاکی از آن بود که این گونه پتانسیل بالایی جهت انتقال عنصرهای As، Ni و Cu از ریشه به اندام هوایی دارد. لذا این گونه به عنوان بیش‌اندوز و مقاوم به عنصرهای مذکور شناسایی و فاکتور انتقال در آن نیز بزرگتر از یک برآورد شد (۲۸). در پژوهشی به بررسی مقدار جذب عنصرهای Cd، Pb و Ni در کنگر *Gundelia tournefortii* L. در فاصله‌های ۵۰۰-۱۰۰۰ m و ۵۰۰-۱۰۰۰ m از کارخانه سیمانی در یاسوج دریافتند که این گونه پتانسیل استخراج عنصرهای مذکور را داشته و مقدار فاکتور انتقال در آنها بزرگتر از یک ارزیابی شد (۱۰). در بررسی، به منظور پالایش خاک‌های آلوده به عنصرهای Cd، Cr، Zn، Pb و Ni با گونه آفتابگردان *Helianthus annuus* به این نتیجه رسیدند که این گونه پتانسیل تثبیت گیاهی را دارد (۹). محققان در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه ترشک نیالی *Rumex nepalensis* Spreng و هفت‌بندها *Polygonum viviparum* L. به عنصرهای As و U در معدنی در چین دریافتند که تجمع مقادیر زیادی از U در *R. nepalensis* شکل گرفته و فاکتور تجمع زیستی و انتقال نیز در آنها به ترتیب ۳/۶۰ mg/kg و ۳/۶۱ مشاهده شد. همچنین *P. viviparum* قابلیت تجمع As و U را با فاکتور انتقال ریشه ۳/۶۹ mg/kg و تجمع زیستی بزرگتر از یک دارا بود (۱۹). همچنین در بررسی دیگر، محققان به بررسی گیاه‌پالایی عنصر Cd توسط گیاهان بومی رشد یافته در خاک معادن پرداختند. نتایج آنها نشان داد که میانگین تجمع Cd در خاک بیشتر از ریشه و ساقه است و تاتاری

نامساعد محیطی بستگی دارد (۱۹). در واقع گیاه‌پالایی یک رویکرد نوآورانه جهت حل مشکلات زیست محیطی است که از دو واژه گیاه^۱ و اصلاح^۲ تشکیل شده است. در فن‌آوری گیاه‌پالایی اساساً از گیاهان و موجودات ریز خاک‌زی جهت کاهش آلودگی از جمله غلظت اثر سمی عنصرهای سنگین در محیط با کمک فن‌آوری‌هایی از جمله، استخراج گیاهی^۳، تثبیت گیاهی^۴، تبخیرسازی گیاهی^۵، تخریب گیاهی^۶ و فیلتراسیون^۷ جهت پاکسازی اراضی آلوده استفاده می‌شود (۲۵). گونه‌های بیش‌اندوز در گیاه‌پالایی مورد توجه پژوهشگران بسیاری هستند و طبق نظر آنها گونه‌هایی که توانایی تجمع حداقل ۱۰ gr/kg عناصر Mn و Zn، ۱ gr/kg عناصر Cu، Se، Ti، Ni، Pb، Cr، Co و As و ۰/۱ gr/kg عنصر Cd در اندام هوایی خود را داشته باشند به عنوان گونه بیش‌اندوز این عنصرها شناخته خواهند شد (۲۳). در این بین گونه‌های زیادی برای گیاه‌پالایی معادن مورد بررسی قرار گرفتند که این گونه‌ها توانایی تجمع مقادیر زیاد از عناصر از جمله As، Cd، Pb، Hg، Co، Ni، Cr و غیره در نقاط آلوده را دارند. به‌طوری که، محققان در بررسی مقدار Cr و Pb در گونه حرا *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh رشد یافته در اطراف منطقه استخراج بوکسیت در اندونزی دریافتند که میزان Pb در این گونه بیش از Cr بود اما اختلاف معنی‌داری بین میزان تجمع عنصرها مشاهده نشد. فاکتور انتقال در عنصرهای Pb و Cr نیز به ترتیب کوچکتر و بزرگتر از یک ارزیابی شدند که نشان‌دهنده توانایی استخراج و تثبیت گیاهی *A. marina* به ترتیب برای عنصرهای Cr و Pb است (۴). در پژوهشی دیگر در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه آتریپلکس *Atriplex nummularia* Lindl در اطراف معدنی در جنوب شرقی مراکش از سه نقطه در شعاع ۸۰ m- صفر از قسمت مرکزی سنگ معدن و فاصله شاهد نتایج نشان داد که میزان Pb در فاصله شاهد و نقطه اول به ترتیب ۱۶ mg/kg و ۲۷۰ ارزیابی شد (۱۸). همچنین در بررسی میزان تجمع Zn، Cd، Ni، Pb، Cr، Co و Ba در گونه‌های *Azadirachta indica* A.juss., *Senna sulfurea* (DC.ex Colled.)

⁵ Phytovolatilization

⁶ Phytodegradation

⁷ Phytofiltration

¹ Phyto

² Remedium

³ Phytoextraction

⁴ Phytostabilization

تهیه شد. نمونه برداری خاک در منطقه مورد مطالعه با توجه به بازدید از منطقه و جهت باد غالب از شمال غرب به جنوب شرق، محدوده به طول حدوداً ۵ km از سنگ شکن بوکسیت به صورت روش تصادفی در بهمن ۱۳۹۸ صورت گرفت. فاصله‌های هدف جهت پژوهش حاضر بر روی گوگل ارث مشخص، نقاط تعیین و در GPS ثبت شدند. برای نمونه برداری خاک محدوده در فاصله‌های ۷۰۰m-۴۵۰، ۱۲۰۰-۸۰۰، ۲۰۰۰-۱۴۰۰ و ۵۰۰۰-۲۵۰۰ از سنگ شکن بوکسیت که به ترتیب شامل فاصله‌های اول، دوم، سوم و چهارم هستند و محدوده شاهد به سمت جاده سنخواست تعیین شدند. علت این امر، نیاز به دو خاک آلوده و شاهد در منطقه که در یک رخساره ژئومورفولوژی قرار داشتند، بود (شکل ۱).

فاصله‌های انتخابی از لحاظ شیب، بارندگی، ارتفاع و جهت تقریباً مشابه بودند و تعداد نمونه‌های خاک برداشت شده در هر فاصله به تعداد مساوی انجام شد. بدین صورت که ابتدا محل نمونه برداری خاک تمیز و دقت شد تا اثر بقایای پوسیده گیاهان، خار و خاشاک و فعالیت انسانی از محل نمونه برداری پاکسازی شود و به منظور حفر چاله از تیشه و بیل استفاده شد و حفره‌ای به ابعاد ۲۰x۲۰cm حفر و در هر فاصله برای افزایش دقت نمونه برداری، تعداد سه تکرار در هر فاصله و در هر تکرار پنج نقطه از محدوده، نمونه برداری از خاک محدوده به عمق ۱۵cm- صفر با توجه به مرور منابع و اهداف گیاه‌پالایی جهت استقرار گیاهان برداشت شد. در مجموع از پنج فاصله (چهار فاصله در محدوده سنگ شکن و یک فاصله شاهد)، ۱۵ محل نمونه برداری شد که شامل ۱۲ نمونه خاک در فاصله‌های تعیین شده و همچنین تعداد سه نمونه خاک در منطقه شاهد بود. پس از نمونه برداری با استفاده از نمونه بردار به وزن تقریبی هر نمونه ۳۰kg از هر نقطه محل، حدود ۱۰۰kg از هر فاصله، نمونه‌های خاک کدگذاری و پس از مخلوط کردن خاک پنج نقطه در هر تکرار، یک نمونه مرکب خاک جهت کشت گونه‌های مرتعی *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال یافت (شکل ۲).

سرخمیده *Carduus nutans* L. و گوش‌بره درختچه‌ای *Phlomis fruticosa* L. به عنوان گیاهان تجمع کننده، جهت اهداف گیاه‌پالایی در خاک‌های معدنی که آلوده به Cd هستند، قابل استفاده و مفید می‌باشند (۲۴). بنابراین شناسایی گونه‌هایی که توانایی سازگاری و تحمل شرایط آلودگی خاک را داشته و در افزایش پتانسیل گیاه‌پالایی مؤثر هستند، ضروری است. لذا پژوهش روی گیاهان مختلف و سنجش میزان تجمع عنصرهای آنها در مناطق معدنی به شناسایی گونه‌های بیش‌اندوز کمک شایانی خواهد کرد. هدف از پژوهش حاضر بررسی مقدار تجمع عنصرهای V، Cr، Co، Ni و As ناشی از فعالیت سنگ شکن بوکسیت در جهت باد غالب و تأثیر آن بر روی *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* و همچنین ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی دو گونه مذکور در اراضی آلوده به غبار صنعتی است.

■ مواد و روش

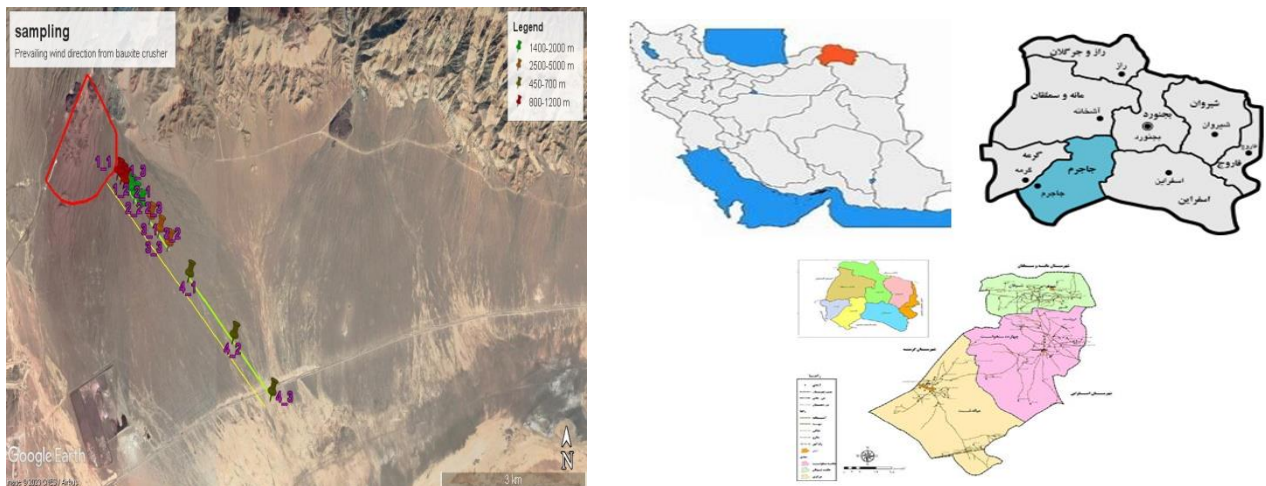
منطقه مورد بررسی

محدوده مطالعاتی شهرستان جاجرم، در قسمت جنوبی استان خراسان شمالی در محدوده نواحی بیابانی با مختصات جغرافیایی "۴۵°۱۲'۳۷" شمالی و "۴۰°۹۴'۵۶" شرقی قرار دارد. کارخانه آلومینای جاجرم نیز در فاصله ۷km از این شهر است که در فاصله ۴ km این کارخانه معادن بوکسیت واقع شده است. این محدوده در ارتفاع ۱۱۰۰m تا ۱۲۰۰m از سطح دریا با اقلیم نمای دوما رتن از نوع خشک بیابانی و متوسط ریزش‌های جوی سالانه ۱۰۰mm تا ۱۵۰mm می‌باشد (۱۳). طبق گزارش سازمان هواشناسی حداقل و حداکثر دمای ثبت شده ۱۳/۲- و ۴۱/۴°C است.

روش کار

نمونه برداری خاک

خاک محدوده مطالعاتی جهت کشت دو گونه مورد مطالعه شامل درمنه دشتی *Artemisia sieberi* Besser و قیچ *Zygophyllum atriplicoides* Fisch. & C.A. Mey به منظور بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی آنها از منطقه جاجرم



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده و فاصله‌های نمونه‌برداری خاک از سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب در گوگل ارث



شکل ۲. نمونه‌برداری از خاک منطقه مطالعاتی، (الف) ابعاد و عمق نمونه‌ای از خاک (بهمن ۱۳۹۸)، (ب) نمایی از تعداد نمونه خاک‌های برداشت‌شده در هر تکرار (بهمن ۱۳۹۸)

از نظر شادابی، ارتفاع و تاج پوشش مشابه بودند، برای انتقال به خاک‌های هدف از فاصله‌های مختلف سنگ‌شکن انتخاب شدند. آبیاری گلدان‌ها طبق نیاز انجام و علف‌های هرز نیز هرس و گلدان‌ها بر اساس تیمارهای مختلف برچسب‌گذاری شدند (شکل ۴). *A. sieberi* به عنوان اصلی‌ترین و فراوان‌ترین گونه گیاهی مراتع کشور شناخته شده، با میدان وسیع اکولوژیک، در عرصه‌های وسیعی از دشت‌های بیابانی کشور به صورت درمنه‌زارهای خالص و یا گونه غالب در ترکیب تیپ‌های مرتعی دیده می‌شود. این گونه عنصر اصلی در جامعه‌های گیاهی در استپ‌های خشک و نیمه‌خشک ایران است که در شرایط حاد اقلیمی با بارندگی بیش از 100 mm ، مستقر و زادآوری می‌کند. در خاک‌های نسبتاً عمیق با بافت لومی، شنی لومی، لوم‌های سنگریزه‌دار و لوم

کشت گونه‌های هدف

با توجه به فاصله‌های تعریف شده و منطقه شاهد، دو تیمار جهت کشت بذرهای دو گونه در الف) گلدان‌های حاوی خاک منطقه شاهد و ب) گلدان‌های حاوی خاک منطقه مورد مطالعه، در فاصله‌های مختلف از سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب منطقه در نهالستان تعریف شدند. بدین صورت که بذرهای گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* از شرکت‌های تولید بذر تهیه و پس از ضدعفونی و اعمال پیش تیمارهای مورد نیاز در گلدان‌هایی با نسبت ۳:۱:۱ ماسه بادی، کود پوسیده و خاک زراعی در بهمن ۱۳۹۹ کشت صورت گرفت و آبیاری سینی‌های کشت به صورت روزانه انجام و به مدت دو ماه رسیدگی به آنها ادامه یافت (شکل ۳). سپس از بین گلدان‌های کشت شده دو گونه، آنهایی که

داشتن ریشه‌های قوی برای حفاظت خاک کاربرد دارد و در خاک‌های شور، قلیا و شور و قلیا که دارای آهک و گچ فراوان است، رشد دارد. همچنین در مناطقی که هدایت الکتریکی عصاره خاک و نسبت سدیم قابل جذب پائین است، ارتفاع و تراکم آن‌ها نسبت به مناطقی که فاکتورهای مذکور افزایش یافته، بیشتر می‌گردد. به نحویکه در مناطقی با شوری و قلیائیت کم، ارتفاع به ۱۵۰-۲۰۰ cm و در نقاط با شوری و قلیائیت بالاتر ارتفاع به ۲۰ cm کاهش می‌یابد (۸). پس از یک دوره رویشی پتانسیل گیاه‌پالایی *Z. atriplicoides* و *A. sieberi* در خاک‌های تحت تأثیر گرد و غبار سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینای جاجرم در فاصله‌های هدف ارزیابی شد. لازم به ذکر است پژوهش حاضر با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و در شرایط گلخانه‌ای و در سه تکرار اجرا شد.

رسی رشد می‌کند. در خاک‌هایی با املاح کمتر از ۰.۵٪ و هدایت الکتریکی کمتر از ۲ ds/m به خوبی رویش دارد. در خاک‌های نسبتاً عمیق با بافت شنی و سنگریزه همراه با مواد گچی یا آهکی با شوری کم و در شیب‌های کم تا متوسط مستقر می‌شود. در خاک‌های کم عمق و سنگریزه‌دار در دامنه‌ها و دره‌های کوهستانی که دارای شیب‌های تند هستند، نیز گسترش می‌یابد (۸).

Z. atriplicoides به عنوان درختچه مناسب در مناطق خشک و نیمه‌بیابانی است که از خاک‌های باتلاقی شور گرفته تا کوهستان‌ها می‌روید. شکل ظاهری تنه و ساقه‌ها به مانند تاک است. *Z. atriplicoides* معمولاً در خطوط همباران ۱۰۰-۱۵۰ mm به صورت طبیعی، رویشگاه‌های مشجر ایجاد می‌کند. در مقابل شدت حرارت و خشکی بسیار مقاوم است. این گونه در مناطق خشک به دلیل



شکل ۳. بذره‌های کشت‌شده، (الف) گونه *Z. atriplicoides* (بهمن ۱۳۹۹)، (ب) گونه *A. sieberi* (بهمن ۱۳۹۹)



شکل ۴. انتقال به خاک‌های هدف، (الف) گونه *Z. atriplicoides* (فروردین ۱۴۰۰)، (ب) گونه *A. sieberi* (فروردین ۱۴۰۰)

تعیین مقدار غلظت عناصر

برای تعیین غلظت عناصر مورد بررسی در گیاهان، نهال‌ها از گلدان‌ها خارج، با آب مقطر شستشو و ۴۸ ساعت در آن 75°C قرار داده شدند. بعد از خشک شدن نمونه‌های گیاهی، آنها با آسیاب نانو به تفکیک اندام هوایی و زیرزمینی پودر و در داخل پاکت قرار داده شد و کدگذاری شدند. سپس 0.1g از هر نمونه از اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌ها به صورت جداگانه، با اسیدهای $(8\text{ ml}) \text{HNO}_3$ ، $(2\text{ ml}) \text{H}_2\text{SO}_4$ و $(1\text{ ml}) \text{HClO}_4$ هضم شدند (۲۱). جهت تعیین میزان عنصرها در خاک‌ها نیز، یک گرم از هر نمونه خاک با اسیدهای $(1\text{ ml}) \text{HNO}_3$ و $(3\text{ ml}) \text{H}_2\text{SO}_4$ هضم شدند (۳۰). در پایان غلظت عنصرهای مورد بررسی با دستگاه جذب اتمی Atomic Absorbption Spectrometer مدل CTA2000 قرائت و فاکتور مهم در گیاه‌پالایی، فاکتور انتقال (نسبت غلظت عنصر در اندام‌های هوایی به زیرزمینی) و فاکتور تجمع زیستی (نسبت غلظت عنصر در اندام زیرزمینی به خاک) (۱۴) که مشخص‌کننده توانایی گیاهان مذکور برای تجمع عناصر در اندام‌های مختلف آنها است، محاسبه شدند. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر صورت یک آزمایش فاکتوریل (اجزای فاکتوریل شامل فاصله‌ها و

گونه‌ها است) و در بر اساس طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی تجزیه واریانس شدند و در صورت معنی‌داری آنها از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح ۰.۵٪ استفاده شد (۱۱). جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها نیز از آزمون لیون استفاده شد (۲۰).

■ نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس میزان تجمع عنصرهای مورد بررسی در گونه‌های کشت شده و اندام زیرزمینی آنها در خاک محدوده مطالعاتی از فاصله‌های نمونه‌برداری شده به صورت یک آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که، میزان عنصرهای مورد بررسی در بین گونه‌ها و فاصله‌های هدف، تنها در میزان تجمع V اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد. اما اثر مشترک بین گونه‌ها و فاصله‌های هدف فاقد اختلاف معنی‌داری است (جدول‌های ۱ و ۲). در بررسی میزان تجمع عنصرهای مورد بررسی در بین اندام‌های هوایی گونه‌ها، فاصله‌ها و اثر مشترک بین اندام‌های هوایی گونه‌ها و فاصله‌های هدف مشخص شد که در میزان تجمع V اختلاف معنی‌داری در سطح ۰.۵٪ مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۱. تجزیه واریانس در کل اندام‌های گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*

منبع تغییرات	عناصر	Df (درجه آزادی)	Sum Square (مجموع مربعات)	Mean Square (میانگین مربعات)	F	Sig (معنی‌داری)
A (گونه‌ها)	Ni	۱	۶۰۲۷۳/۹۴	۶۰۲۷۳/۹۴	۱/۰۳	۰/۳۲
	Co	۱	۱۴۰۶/۸۵	۱۴۰۶/۸۵	۰/۳۱	۰/۵۸
	As	۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۳۱	۰/۵۸
B (تیمار (فاصله‌های هدف))	Cr	۱	۲۱/۹۳	۲۱/۹۳	۰/۳۱	۰/۵۸
	V	۱	۱۹۵/۰۷	۱۹۵/۰۷	۱۷/۱۷	۰/۰۰
	Ni	۴	۹۵۰۳۴/۳۶	۲۳۷۵۸/۵۹	۰/۴۱	۰/۸۰
	Co	۴	۷۰۹۵/۴۶	۱۷۷۳/۸۶	۰/۳۹	۰/۸۱
A _x B (گونه‌ها، تیمارها)	As	۴	۴/۴۲	۱/۱۰	۰/۳۹	۰/۸۱
	Cr	۴	۱۱۰/۸۶	۲۷/۷۱	۰/۳۹	۰/۸۱
	V	۴	۳۹۷/۶۲	۹۹/۴۱	۸/۷۵	۰/۰۰
	Ni	۴	۳۲۵۶۶/۵۱	۸۱۴۱/۶۳	۰/۱۴	۰/۹۶
	Co	۴	۲۸۸۱/۱۷	۷۲۰/۲۹	۰/۱۶	۰/۹۶
	As	۴	۱/۷۹	۰/۴۵	۰/۱۶	۰/۹۶
	Cr	۴	۴۴/۹۵	۱۱/۲۴	۰/۱۶	۰/۹۶
	V	۴	۸۷/۶۱	۲۱/۹۰	۱/۹۳	۰/۱۵

ادامه جدول ۱. تجزیه واریانس در کل اندام‌های گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*

Sig (معنی‌داری)	F	Mean Square (میانگین مربعات)	Sum Sqrare (مجموع مربعات)	Df (درجه آزادی)	عنصر	منبع تغییرات
-	-	۵۸۲۱۸/۷۴	۱۰۴۷۹۳۷/۲۴	۱۸	Ni	Error (خطا)
-	-	۴۵۳۶/۱۳	۸۱۶۵۰/۳۶	۱۸	Co	
-	-	۲/۸۴	۵۱/۰۵	۱۸	As	
-	-	۷۰/۸۸	۱۲۷۵/۸۷	۱۸	Cr	
-	-	۱۱/۳۶	۲۰۴/۴۹	۱۸	V	
-	-	-	۶۷۱۶۹۸۲/۶۲	۳۰	Ni	Total (مجموع)
-	-	-	۱۱۶۱۳۸۱/۶۵	۳۰	Co	
-	-	-	۳۰۰۰/۷۱	۳۰	As	
-	-	-	۱۸۱۴۶/۲۰	۳۰	Cr	
-	-	-	۲۹۵۱۳/۶۹	۳۰	V	

جدول ۲. تجزیه واریانس در اندام زیرزمینی گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*

Sig (معنی‌داری)	F	Mean Square (میانگین مربعات)	Sum Sqrare (مجموع مربعات)	Df (درجه آزادی)	عنصر	منبع تغییرات
۰/۶۱	۰/۲۷	۳۷۱۶/۳۱	۳۷۱۶/۳۱	۱	Ni	A (گونه‌ها)
۰/۹۲	۰/۰۱	۱۷/۸۶	۱۷/۸۶	۱	Co	
۰/۹۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۱	As	B تیمار (فاصله‌های هدف)
۰/۹۲	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۲۷	۱	Cr	
۰/۰۰	۱۶/۴۵	۶۸/۵۲	۶۸/۵۲	۱	V	
۰/۷۳	۰/۵۱	۶۹۴۵/۷۰	۲۷۷۸۲/۷۹	۴	Ni	
۰/۹۵	۰/۱۷	۲۶۶/۰۷	۱۰۶۴/۲۶	۴	Co	
۰/۹۵	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۶۶	۴	As	AxB (گونه‌ها×تیمارها)
۰/۹۵	۰/۱۷	۴/۱۶	۱۶/۶۳	۴	Cr	
۰/۰۰	۷/۹۹	۳۳/۲۷	۱۳۳/۰۹	۴	V	
۰/۶۲	۰/۶۷	۹۱۷۰/۰۴	۳۶۶۸۰/۱۷	۴	Ni	
۰/۷۷	۰/۴۶	۷۲۳/۷۳	۲۸۹۴/۹۲	۴	Co	
۰/۷۷	۰/۴۵	۰/۴۵	۱/۸۰	۴	As	Error (خطا)
۰/۷۷	۰/۴۵	۱۱/۳۰	۴۵/۲۰	۴	Cr	
۰/۴۷	۰/۹۲	۳/۸۳	۱۵/۳۲	۴	V	
-	-	۱۳۶۶۸/۷۹	۲۴۶۰۳۸/۳۰	۱۸	Ni	
-	-	۱۵۸۸/۸۲	۲۸۵۹۸/۸۰	۱۸	Co	
-	-	۰/۹۹	۱۷/۸۶	۱۸	As	Total (مجموع)
-	-	۲۴/۸۲	۴۴۶/۷۳	۱۸	Cr	
-	-	۴/۱۷	۷۴/۹۸	۱۸	V	
-	-	-	۱۶۷۸۵۱۶/۹۰	۳۰	Ni	
-	-	-	۳۰۴۸۹۴/۳۳	۳۰	Co	
-	-	-	۷۶۳/۱۴	۳۰	As	Error (خطا)
-	-	-	۴۷۶۳/۵۲	۳۰	Cr	
-	-	-	۷۳۰۵/۸۴	۳۰	V	

جدول ۳. تجزیه واریانس در اندام‌های هوایی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

Sig (معنی‌داری)	F	Mean Square (میانگین مربعات)	Sum Square (مجموع مربعات)	Df (درجه آزادی)	عنصر	منبع تغییرات
۰/۲۳	۱/۵۶	۳۴۰۵۷/۲۲	۳۴۰۵۷/۲۲	۱	Ni	A (گونه‌ها)
۰/۴۱	۰/۷۰	۱۱۰۷/۶۵	۱۱۰۷/۶۵	۱	Co	
۰/۴۱	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۶۹	۱	As	
۰/۴۱	۰/۷۰	۱۷/۳۰	۱۷/۳۰	۱	Cr	
۰/۰۳	۵/۵۵	۳۲/۳۶	۳۲/۳۶	۱	V	
۰/۷۴	۰/۴۹	۱۰۷۰۷/۶۷	۴۲۸۳۰/۷۰	۴	Ni	B تیمار (فاصله‌های هدف)
۰/۵۵	۰/۷۹	۱۲۳۹/۷۱	۴۹۵۸/۸۴	۴	Co	
۰/۵۵	۰/۷۹	۰/۷۷	۳/۱۰	۴	As	
۰/۵۵	۰/۷۹	۱۹/۳۸	۷۷/۵۱	۴	Cr	
۰/۰۲	۳/۶۳	۲۱/۱۸	۸۴/۷۱	۴	V	
۰/۹۹	۰/۰۸	۱۸۱۵/۹۴	۷۲۶۳/۷۵	۴	Ni	AxB (گونه‌ها×تیمارها)
۰/۹۴	۰/۱۹	۲۹۶/۷۹	۱۱۸۷/۱۵	۴	Co	
۰/۹۴	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۷۴	۴	As	
۰/۹۴	۰/۱۹	۴/۶۴	۱۸/۵۴	۴	Cr	
۰/۰۴	۳/۰۲	۱۷/۶۳	۷۰/۵۱	۴	V	
-	-	۲۱۷۸۴/۹۷	۳۹۲۱۲۹/۴۶	۱۸	Ni	Error (خطا)
-	-	۱۵۷۲/۳۳	۲۸۳۰/۱۹۹	۱۸	Co	
-	-	۰/۹۸	۱۷/۷۰	۱۸	As	
-	-	۲۴/۵۹	۴۴۲/۵۶	۱۸	Cr	
-	-	۵/۸۳	۱۰۴/۹۵	۱۸	V	
-	-	-	۱۸۸۴۱۷۵/۷۵	۳۰	Ni	Total (مجموع)
-	-	-	۳۰۰۱۶۶/۴۳	۳۰	Co	
-	-	-	۷۵۲/۴۵	۳۰	As	
-	-	-	۴۶۹۰/۵۵	۳۰	Cr	
-	-	-	۷۵۹۹/۶۴	۳۰	V	

شده است. میانگین تجمع Ni در فاصله‌های شاهد، اول، دوم و چهارم، عناصر Cr، As و Co در فاصله‌های شاهد، اول و چهارم و V در فاصله‌های اول، دوم و سوم در اندام‌های هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی بودند. اما در مجموع میانگین میزان جذب عنصرهای مورد بررسی نشان داد که در فاصله‌های هدف، *A. sieberi* توانایی بیشتری در تجمع این عنصرها در اندام هوایی دارد و از نظر آماری در میزان تجمع V در گونه‌ها، اندام‌های هوایی و زیرزمینی و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود دارد و در دیگر عنصرها فاقد اختلاف معنی‌داری بود.

میزان جذب عناصر هدف در اندام‌های گونه‌ها

A. sieberi

نتایج جذب عنصرهای مورد بررسی در *A. sieberi* و اندام هوایی این گونه نشان داد که بیشترین مقدار تجمع عناصر در نمونه خاک کشت شده، در نزدیکترین فاصله به سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب منطقه، در فاصله ۷۰۰-۴۵۰ m و در ریشه‌های این گونه نیز در فاصله‌های نزدیک به سنگ‌شکن مشاهده شد. نتایج مقدار جذب عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و اندام‌های مختلف گونه *A. sieberi* در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۴). لازم به ذکر است، نتایج به تفکیک فاصله‌های هدف نشان داده

جدول ۴. مقدار و محدوده تجمع عناصرها در اندام‌های مختلف گونه *A. sieberi* (mg/kg)

اندام <i>A. sieberi</i>	ترتیب تجمع عناصرهای مورد بررسی	مقادیر کل تجمع عناصرها	میانگین تجمع عناصرها	میانگین محدوده تجمع عناصرها در فاصله‌های هدف
کل (هوایی و ریشه)	As < Cr < V < Co < Ni	< ۲۹۲۸/۹۶ < ۷۰۷۱/۷ < ۳۶۶/۱ < ۴۲۵/۰۵ ۱۵۱/۰۷	< ۱۹۵/۲۶ < ۴۷۱/۴۵ ۱۰/۰۷ < ۲۴/۴۱ < ۲۸/۳۴	۲۳۰/۱۰ تا ۱۶۷/۸۴، ۵۹۰/۹۲ تا ۳۵۱/۸۷ ۹/۳۹ تا ۲۸/۷۶ و ۲۰/۹۸، ۳۳/۷۵ تا ۲۲/۵۸ تا ۱۰/۹۴
هوایی	As < Cr < V < Co < Ni	< ۱۴۸۹/۰۶ < ۳۷۰۹/۳ < ۱۸۶/۱۳ < ۲۱۸/۳۸ ۷۶/۱۵	< ۹۹/۳۷ < ۲۴۴/۲۹ ۵/۰۸ < ۱۲/۴۱ < ۱۴/۵۶	۱۲۸/۲۲ تا ۷۷/۵۹، ۳۲۶/۶۷ تا ۱۷۸/۶۸ تا ۱۰/۸۱ و ۱۷/۴۸ تا ۹/۶۹، ۱۶/۰۳ و ۴/۵۳ تا ۵/۸۰
ریشه	As < Cr < V < Co < Ni	< ۱۴۳۹/۹۰ < ۳۳۶۲/۴۰ < ۱۷۹/۹۷ < ۲۰۶/۶۷ ۷۴/۹۲	< ۹۵/۹۹ < ۲۲۴/۱۶ ۴/۹۹ < ۱۱/۹۹ < ۱۳/۷۸	۱۴۰/۹۵ تا ۳۰۴/۰۰، ۸۵/۸۷ تا ۱۱۶/۳۳ ۱۱/۷۷ تا ۱۶/۲۷، ۱۰/۷۳ تا ۴/۷۴ و ۱۴/۵۴ تا ۵/۵۰

Z. atriplicoides

نتایج جذب عناصرهای مورد بررسی در اندام هوایی گونه *Z. atriplicoides* نشان داد که بیشترین مقدار تجمع عناصرهای مورد بررسی در فاصله نزدیک به سنگ‌شکن بوکسیت در ۷۰۰-۴۵۰ m، مشاهده شد. نتایج جذب عناصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و اندام‌های مختلف *Z. atriplicoides* در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۵). نتایج به تفکیک فاصله‌های هدف نشان داد که میانگین تجمع Cr، As، Co و Ni در فاصله اول و V در فاصله‌های شاهد، اول و چهارم در اندام‌های هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی بودند و در مجموع میانگین جذب عناصرهای Ni و V در *Z. atriplicoides* نشان از توانایی این گونه در تجمع عناصرهای مورد بررسی در اندام‌های هوایی دارد. از

نظر آماری در تجمع عنصر V در گونه‌ها، اندام هوایی و زیرزمینی و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود دارد و در سایر عناصرهای مورد بررسی این اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عناصرهای مورد بررسی

ترتیب پتانسیل گیاه‌پالایی دو گونه *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عناصرهای مورد بررسی به تفکیک اندام هوایی و زیرزمینی در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۶). لازم به ذکر است، از نظر آماری تنها در میزان تجمع V در دو گونه اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۵. میزان و محدوده تجمع عناصرها در اندام‌های مختلف گونه *Z. atriplicoides* (mg/kg)

اندام <i>Z. atriplicoides</i>	ترتیب تجمع عناصرهای مورد بررسی	مقادیر کل تجمع عناصرها	میانگین تجمع عناصرها	میانگین محدوده تجمع عناصرها در فاصله‌های مورد بررسی
کل (هوایی و ریشه)	As < Cr < V < Co < Ni	< ۲۷۲۳/۵۲ < ۵۷۲۷ < ۳۴۰/۴۵ < ۵۰۱/۵۵ ۱۴۵/۹۴	< ۱۸۱/۵۷ < ۳۸۱/۸۰ ۹/۷۳ < ۲۲/۷۰ < ۳۳/۴۴	۳۳۶/۲۰ تا ۱۶۶/۳۷، ۴۶۳/۲۸ تا ۲۰۸/۷۳ تا ۲۰/۸۰، ۳۷/۴۸ تا ۲۷/۳۸ و ۲۶/۰۹ تا ۱۰/۴۱ و ۹/۳۵
هوایی	As < Cr < V < Co < Ni	< ۱۳۰۶/۷۷ < ۲۶۹۸/۵۰ ۷۱/۶۰ < ۱۶۳/۳۵ < ۲۴۹/۵۴	< ۱۶/۶۴ < ۸۷/۱۲ < ۱۷۹/۹۰ ۴/۷۷ < ۱۰/۸۹	۱۵۶/۱۷ تا ۲۱۷/۷۰، ۷۹/۲۱ تا ۹۹/۷۲ تا ۱۳/۹۴ و ۱۸/۹۹، ۹/۹۰ تا ۲/۴۷ و ۴/۵۸ تا ۵/۰۹
ریشه	As < Cr < V < Co < Ni	< ۱۴۱۶/۷۵ < ۳۰۲۸/۵۰ ۷۴/۳۴ < ۱۷۷/۱۰ < ۲۵۲/۰۱	< ۱۶/۸۰ < ۹۴/۴۵ < ۲۰/۱/۹۰ ۴/۹۶ < ۱۱/۸۱	۱۷۶/۷۸ تا ۲۶۹/۱۳، ۸۶/۰۸ تا ۱۱۶/۸۶ تا ۱۳/۴۴ و ۲۰/۴۰، ۱۰/۷۶ تا ۴/۶۱ و ۴/۷۵ تا ۵/۵۱

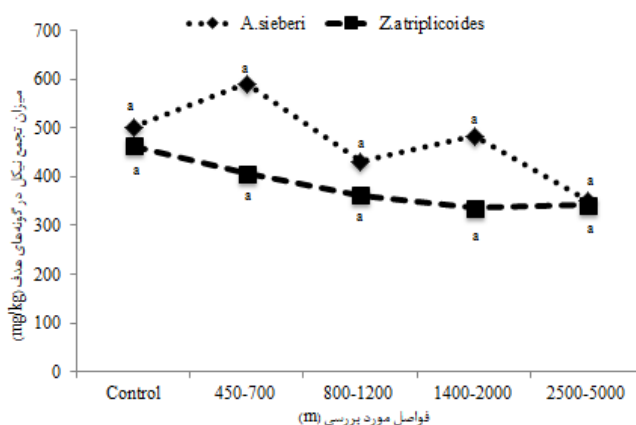
جدول ۶. ترتیب پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی (mg/kg)

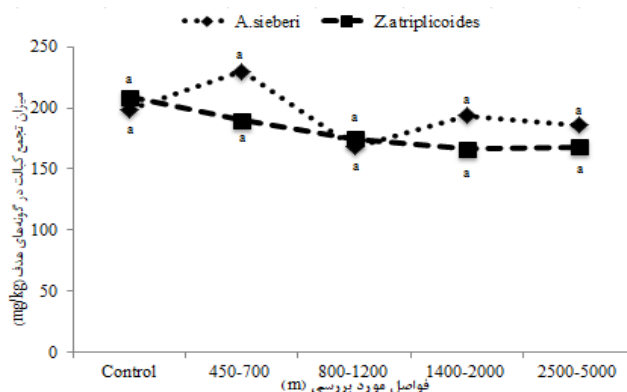
عنصر مورد بررسی	اندام گونه‌ها	پتانسیل تجمع عنصرها در گونه‌ها	مقادیر کل تجمع عنصرها	میانگین تجمع عنصرها
Ni	کل (هوایی و ریشه)	b < a	۵۷۲۷ < ۷۰۷۱/۷۰	۳۸۱/۸۰ < ۴۷۱/۴۵
	هوایی	b < a	۲۶۹۸/۵۰ < ۳۷۰۹/۴۳	۱۷۹/۹۰ < ۲۴۷/۲۹
Co	ریشه	b < a	۳۰۲۸/۵۰ < ۳۳۶۲/۴۰	۲۰۱/۹۰ < ۲۲۴/۱۶
	کل (هوایی و ریشه)	b < a	۲۷۲۳/۵۲ < ۲۹۲۸/۹۶	۱۸۱/۵۷ < ۱۹۵/۲۶
V	هوایی	b < a	۱۳۰۶/۷۷ < ۱۴۸۹/۰۶	۸۷/۱۲ < ۹۹/۲۷
	ریشه	b < a	۱۴۱۶/۷۵ < ۱۴۳۹/۹۰	۹۴/۴۵ < ۹۵/۹۹
Cr	کل (هوایی و ریشه)	a < b	۴۲۵/۰۵ < ۵۰۱/۵۵	۲۸/۳۴ < ۳۳/۴۴
	هوایی	a < b	۲۱۸/۳۸ < ۲۴۹/۵۴	۱۴/۵۶ < ۱۶/۶۴
As	ریشه	a < b	۲۰۶/۶۷ < ۲۵۲/۰۱	۱۳/۷۸ < ۱۶/۸۰
	کل (هوایی و ریشه)	b < a	۳۴۰/۴۵ < ۳۶۶/۱۰	۲۲/۷۰ < ۲۴/۴۱
As	هوایی	b < a	۱۶۳/۳۵ < ۱۸۶/۱۳	۱۰/۸۹ < ۱۲/۴۱
	ریشه	b < a	۱۷۷/۱۰ < ۱۷۹/۹۷	۱۱/۸۱ < ۱۱/۹۹
As	کل (هوایی و ریشه)	b < a	۱۴۵/۹۴ < ۱۵۱/۰۷	۹/۷۳ < ۱۰/۰۷
	هوایی	b < a	۷۱/۶۰ < ۷۶/۱۵	۴/۷۷ < ۵/۰۸
	ریشه	b < a	۷۴/۳۴ < ۷۴/۹۲	۴/۹۶ < ۴/۹۹

Z. atriplicoides (b) و *A. sieberi*(a)

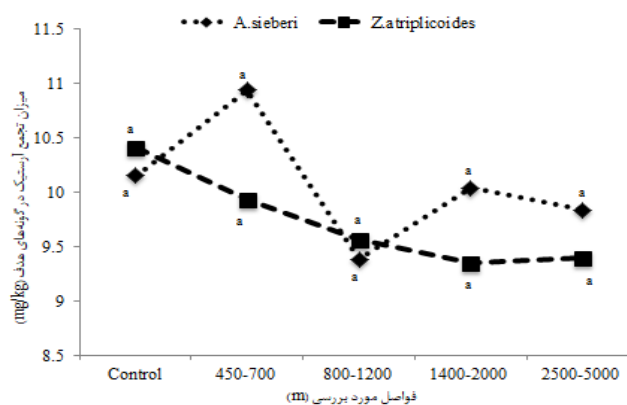
اول و دوم و در گونه *Z. atriplicoides* در فاصله شاهد و سوم مشاهده شد که از نظر آماری مقدار تجمع Cr، As و Co در فاصله‌های مختلف در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۶ الی ۸). مقدار تجمع V در فاصله‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار آن در گونه *A. sieberi* در فاصله اول و شاهد و در گونه *Z. atriplicoides* در فاصله اول و چهارم مشاهده شد که از نظر آماری مقدار V در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۹).

میانگین تجمع عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi* مقدار تجمع Ni در فاصله‌های هدف نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این عنصر در گونه *A. sieberi* در فاصله اول و چهارم و در گونه *Z. atriplicoides* در فاصله شاهد و چهارم مشاهده شد، اما از نظر آماری مقدار تجمع Ni در بین فاصله‌های مختلف در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۵). مقدار تجمع Cr، As و Co در فاصله‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این عنصرها در گونه *A. sieberi* در فاصله

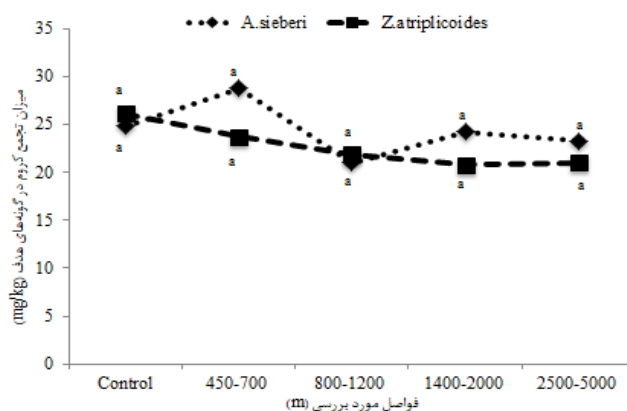
شکل ۵. مقدار تجمع Ni در فاصله‌های هدف در گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*



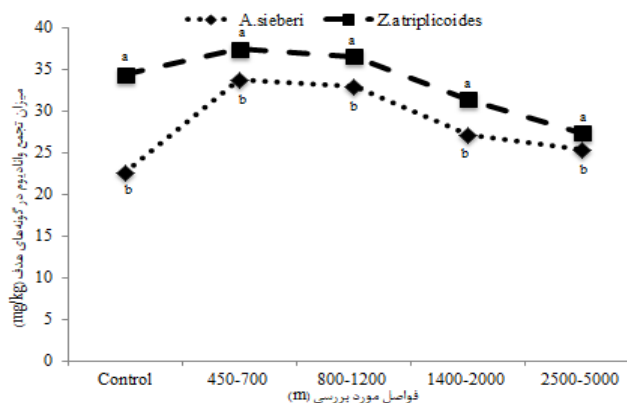
شکل ۶. مقدار تجمع C₀ در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۷. مقدار تجمع As در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۸. مقدار تجمع Cr در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۹. مقدار تجمع V در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

انتقال در Cr، Co و Ni بین ۰/۵۸ تا ۰/۱۳، ۰/۶۶ تا ۰/۳۸ و ۰/۶۶ تا ۰/۳۸، در فاصله‌های سوم و چهارم و در ۰/۸۲ تا ۰/۱۲ mg/kg، در فاصله سوم و شاهد و در عنصر V بین ۰/۹۳ تا ۱/۲۹ mg/kg، در فاصله شاهد و سوم مشاهده شد. بیشترین مجموع فاکتور انتقال در فاصله‌ها در $As > V > Co, Cr > Ni$ بود که برابر با ۶/۱۷ < ۵/۴۷=۵/۴۷ < ۵/۳۴ < ۵/۱۴ و میانگین فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در پنج فاصله نیز ۱/۲۳ mg/kg < ۱/۰۹=۱/۰۹ < ۱/۰۷ < ۱/۰۳ مشاهده شد. بنابراین با توجه به اینکه فاکتور انتقال در تمام عنصرهای مورد بررسی بالاتر از یک می‌باشد، می‌توان اشاره کرد که گونه *A. sieberi* پتانسیل انتقال عنصرها از ریشه به اندام هوایی را دارد.

فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

نتیجه تجزیه واریانس فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در دو گونه *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* و فاصله‌های هدف در آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که در بررسی مقدار فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در بین دو گونه، فاصله‌ها و اثر مشترک بین دو گونه و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۷).

A. sieberi

فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در گونه *A. sieberi* نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار فاکتور

جدول ۷. تجزیه واریانس فاکتور انتقال گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

Sig (معنی‌داری)	F	Mean Square (میانگین مربعات)	Sum Square (مجموع مربعات)	Df (درجه آزادی)	عنصر	منبع تغییرات
۰/۲۹	۱/۱۷	۰/۳۹	۰/۳۹	۱	Ni	A
۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۱	Co	(گونه‌ها)
۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۰۲	۰/۰۲	۱	As	
۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۱	Cr	
۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۱	V	
۰/۲۹	۱/۳۶	۰/۴۵	۱/۸۰	۴	Ni	B
۰/۴۴	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۵۸	۴	Co	تیمار (فاصله‌های هدف)
۰/۵۲	۰/۸۴	۰/۰۳	۰/۱۱	۴	As	
۰/۴۴	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۵۸	۴	Cr	
۰/۵۱	۰/۸۶	۰/۰۳	۰/۱۴	۴	V	
۰/۱۹	۱/۷۰	۰/۵۷	۲/۲۶	۴	Ni	A _x B
۰/۵۱	۰/۸۴	۰/۱۲	۰/۵۰	۴	Co	(گونه‌ها×تیمارها)
۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۰۲	۰/۱۰	۴	As	
۰/۵۱	۰/۸۴	۰/۱۲	۰/۵۰	۴	Cr	
۰/۱۰	۲/۲۵	۰/۰۹	۰/۳۷	۴	V	
-	-	۰/۳۳	۵/۹۸	۱۸	Ni	Error
-	-	۰/۱۵	۲/۶۵	۱۸	Co	(خطا)
-	-	۰/۰۳	۰/۶۲	۱۸	As	
-	-	۰/۱۵	۲/۶۵	۱۸	Cr	
-	-	۰/۰۴	۰/۷۴	۱۸	V	
-	-	-	۴۹/۳۷	۳۰	Ni	Total
-	-	-	۳۶/۶۶	۳۰	Co	(مجموع)
-	-	-	۳۱/۱۹	۳۰	As	
-	-	-	۳۶/۶۷	۳۰	Cr	
-	-	-	۳۳/۷۵	۳۰	V	

Z. atriplicoides

فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در گونه *Z. atriplicoides* نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار فاکتور انتقال در عنصرهای Cr، As، Co و Ni برابر با ۱/۱۰-۸۷/۱۴ mg/kg، ۰/۹۰-۱/۰۵، ۰/۹۵ و ۱/۱۰-۰/۹۰ در فاصله‌های چهارم و اول و در V در محدوده ۱/۲۱ mg/kg - ۰/۷۹ در فاصله دوم و شاهد مشاهده شد. بیشترین مجموع فاکتور انتقال در فاصله‌های هدف مربوط به $As > Cr, Co > Ni > V$ بود که برابر با ۵/۰۶ mg/kg $< 4/92 = 4/92 < 4/90$ و میانگین فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در پنج فاصله هدف نیز برابر با $1/01 = 1/01 < 0/98 = 0/98$ مشاهده شد. بنابراین با توجه به اینکه فاکتور انتقال در عنصرهای V و Ni بالاتر از یک می‌باشد، می‌توان اشاره کرد که گونه *Z. atriplicoides* پتانسیل انتقال این عنصرها از ریشه به اندام هوایی خود را دارد.

A. sieberi در فاصله چهارم و سوم و در *Z. atriplicoides* در فاصله اول و چهارم مشاهده شد، اما از نظر آماری فاکتور انتقال آنها در فاصله‌های هدف، در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱۰ الی ۱۲). فاکتور انتقال عنصر As در فاصله‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین این فاکتور در گونه *A. sieberi* در فاصله شاهد و سوم و در گونه *Z. atriplicoides* در فاصله اول و چهارم مشاهده شد که از نظر آماری فاکتور انتقال عنصرهای As و Cr در فاصله‌های هدف در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱۳).

فاکتور انتقال V در فاصله‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین آن در گونه *A. sieberi* در فاصله سوم و شاهد و در گونه *Z. atriplicoides* نیز در فاصله شاهد و دوم مشاهده شد که از نظر آماری فاکتور انتقال عنصر V در دو گونه فاقد اختلاف معنی‌داری بودند (شکل ۱۴).

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

نتیجه حاصل از تجزیه واریانس فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه‌ها و فاصله‌های هدف در آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که در بررسی مقدار فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در بین فاصله‌های هدف و اثر مشترک بین گونه‌ها و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما در مقدار تجمع زیستی عنصر V بین گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* این اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد (جدول ۹).

فاکتور انتقال گونه‌ها در عنصرهای مورد بررسی

با توجه به نتایج حاصل ترتیب فاکتور انتقال گونه‌های مذکور در عنصرهای مورد بررسی در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۸). لازم به ذکر است که از نظر آماری بین فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی و گونه‌های مذکور فاقد اختلاف معنی‌داری بودند.

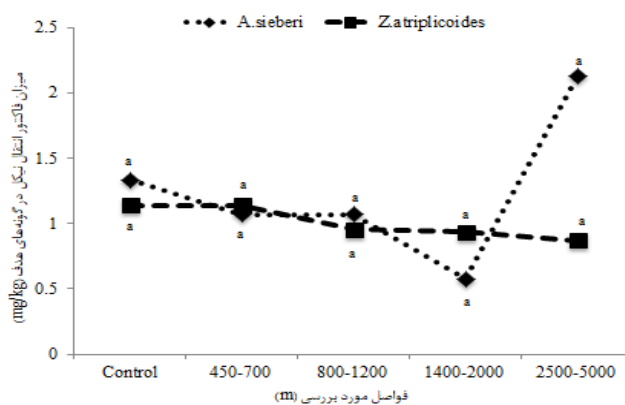
میانگین فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

فاکتور انتقال Cr، Co و Ni در فاصله‌های هدف نشان داد که بیشترین و کمترین فاکتور انتقال آنها در گونه

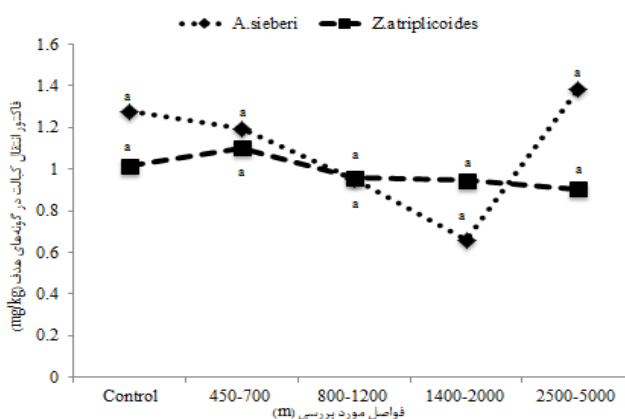
جدول ۸. فاکتور انتقال گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی (mg/kg)

عنصر مورد بررسی	فاکتور انتقال گونه‌ها	مقدار کل فاکتور انتقال	میانگین فاکتور انتقال
Ni	b < a	۵/۰۳ < ۶/۱۷	۱/۰۱ < ۱/۲۳
Co	b < a	۴/۹۲ < ۵/۴۷	۰/۹۸ < ۱/۰۹
V	b < a	۵/۰۶ < ۵/۳۴	۱/۰۱ < ۱/۰۷
Cr	b < a	۴/۹۲ < ۵/۴۷	۰/۹۸ < ۱/۰۹
As	b < a	۴/۹۰ < ۵/۱۴	۰/۹۸ < ۱/۰۳

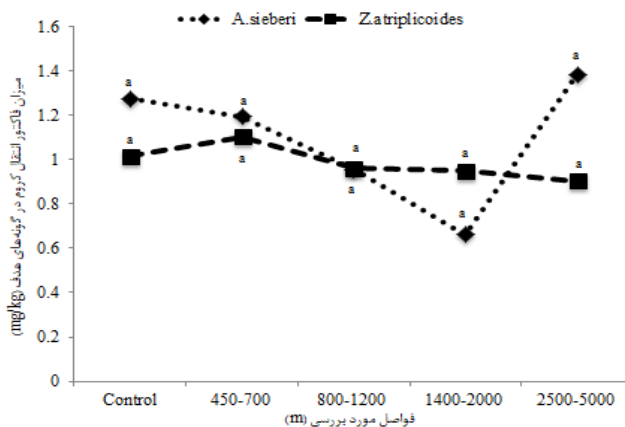
Z. atriplicoides (b) و *A. sieberi* (a)**



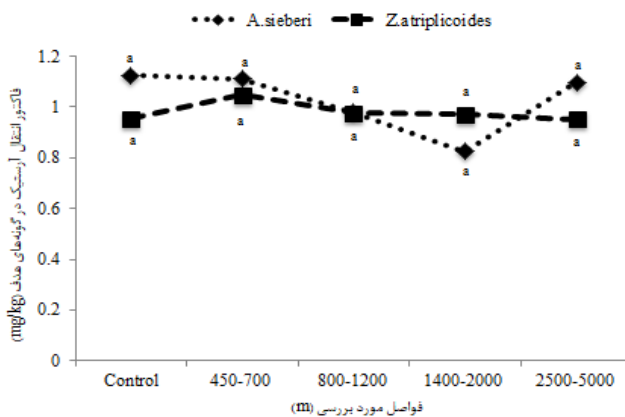
شکل ۱۰. مقدار فاکتور انتقال Ni در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



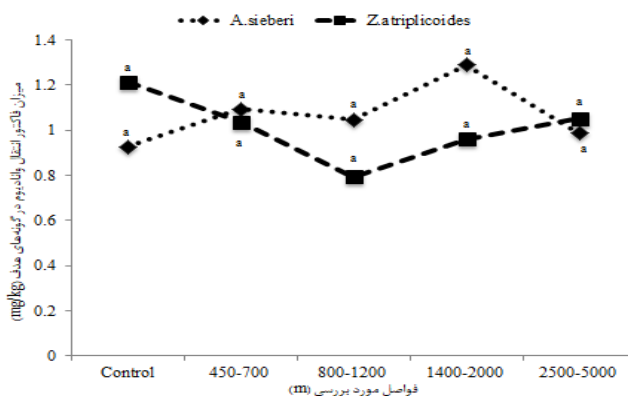
شکل ۱۱. مقدار فاکتور انتقال Co در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۲. مقدار فاکتور انتقال Cr در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۳. مقدار فاکتور انتقال As در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۴. مقدار فاکتور انتقال V در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

عنصرهای مورد بررسی در بین فاصله‌های هدف و اثر مشترک بین گونه‌ها و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما در مقدار تجمع زیستی عنصر V بین گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* این اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد (جدول ۹).

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه‌های

Z. atriplicoides و *A. sieberi*

نتیجه حاصل از تجزیه واریانس فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه‌ها و فاصله‌های هدف در آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که در بررسی مقدار فاکتور تجمع زیستی

جدول ۹. تجزیه واریانس فاکتور تجمع زیستی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

Sig (معنی‌داری)	F	Mean Square (میانگین مربعات)	Sum Squarare (مجموع مربعات)	Df (درجه آزادی)	عنصر	منبع تغییرات
۰/۷۸	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۱	Ni	A
۰/۶۸	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۱	Co	(گونه‌ها)
۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱	As	
۰/۹۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱	Cr	
۰/۰۰	۱۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۱	V	
۰/۷۰	۰/۵۶	۰/۰۵	۰/۲۲	۴	Ni	B
۰/۰۳	۳/۵۹	۰/۳۰	۱/۲۱	۴	Co	تیمار (فاصله‌های هدف)
۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۰۳	۰/۱۳	۴	As	
۰/۶۶	۰/۶۱	۰/۰۸	۰/۳۳	۴	Cr	
۰/۰۹	۲/۳۹	۰/۰۱	۰/۰۴	۴	V	
۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۰۶	۰/۲۴	۴	Ni	A _x B
۰/۸۴	۰/۳۵	۰/۰۳	۰/۱۲	۴	Co	(گونه‌ها، تیمارها)
۰/۹۰	۰/۲۶	۰/۰۱	۰/۰۵	۴	As	
۰/۸۴	۰/۳۶	۰/۰۵	۰/۲۰	۴	Cr	
۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۴	V	
-	-	۰/۱۰	۱/۷۷	۱۸	Ni	Error
-	-	۰/۰۸	۱/۵۲	۱۸	Co	(خطا)
-	-	۰/۰۵	۰/۹۳	۱۸	As	
-	-	۰/۱۴	۲/۴۷	۱۸	Cr	
-	-	۰/۰۰	۰/۰۸	۱۸	V	
-	-	-	۹/۸۱	۳۰	Ni	Total
-	-	-	۵/۷۸	۳۰	Co	(مجموع)
-	-	-	۱۶/۹۴	۳۰	As	
-	-	-	۱۴/۲۲	۳۰	Cr	
-	-	-	۴/۹۳	۳۰	V	

A. sieberi

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه *A. sieberi* نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی در Cr و As بین ۰/۴۵ تا ۰/۷۰ و ۰/۶۵ تا ۰/۸۱ در فاصله‌های دوم و چهارم، در Ni بین ۰/۳۷ تا ۰/۶۹ در فاصله چهارم و سوم، در Co بین ۰/۱۵ تا ۰/۵۵ در فاصله دوم و شاهد و در V بین ۰/۳۳ تا ۰/۴۱ در فاصله سوم و دوم مشاهده شد. بیشترین مجموع فاکتور تجمع زیستی در فاصله‌ها به ترتیب mg/kg $As > Ni > Cr > Co$ بود که برابر با mg/kg $3/62 < 3/03 < 2/58 < 1/79 < 1/39$ و میانگین فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها mg/kg $0/72 < 0/60 < 0/51 < 0/36 < 0/28$ مشاهده شد.

Z. atriplicoides

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه *Z. atriplicoides* نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی در عنصرهای Ni و Co برابر با mg/kg $0/84 - 0/16$ و $0/73 - 0/38$ در فاصله‌های دوم و شاهد، در عنصرهای As و Cr برابر با mg/kg $0/86 - 0/60$ و $0/88 - 0/46$ در فاصله‌های سوم و شاهد و در V در محدوده mg/kg $0/52 - 0/35$ در فاصله‌های چهارم و دوم مشاهده شد. بیشترین مجموع فاکتور تجمع زیستی در فاصله‌های هدف مربوط به mg/kg $3/63 < 3/06 < 2/42 < 2/18 < 1/61$ و میانگین فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در پنج فاصله هدف نیز برابر با mg/kg $0/72 < 0/61 < 0/48 < 0/44 < 0/32$ مشاهده شد.

فاکتور تجمع زیستی گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*

در عنصرهای مورد بررسی

با توجه به نتایج حاصل ترتیب فاکتور تجمع زیستی گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi* در عنصرهای مورد بررسی در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۱۰). لازم به ذکر است که از نظر آماری تنها در مقدار تجمع زیستی V بین دو گونه اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد.

میانگین فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در

فاصله‌ها و گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای Cr، As و Ni در فاصله‌های هدف نشان داد که از نظر آماری در بین فاصله‌های هدف در دو گونه مذکور با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما فاکتور تجمع زیستی عنصر Co در دو گونه مذکور در فاصله شاهد با سایر فاصله‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری داشتند. فاکتور تجمع زیستی عنصر V در دو گونه مذکور نیز در دو فاصله دوم و چهارم با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند که سایر فاصله‌ها با این دو فاصله اختلافی نداشتند (شکل ۱۵ الی ۱۹).

مقدار تجمع عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌های هدف،

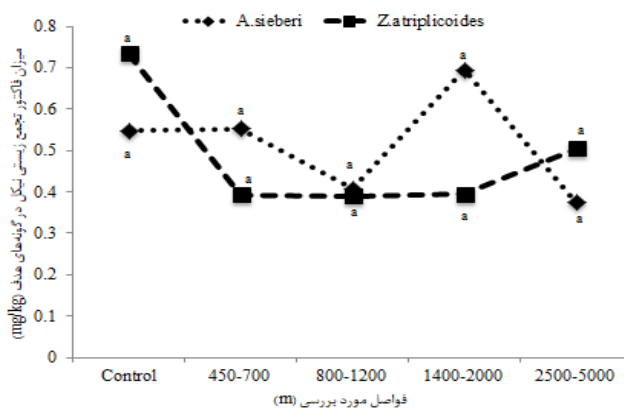
در خاک

نتایج مقدار تجمع عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌های هدف نشان داد که مقدار تجمع Ni بین فاصله‌های شاهد، سوم و چهارم و بین فاصله‌های شاهد، اول و سوم و همچنین بین فاصله‌های اول، دوم و سوم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

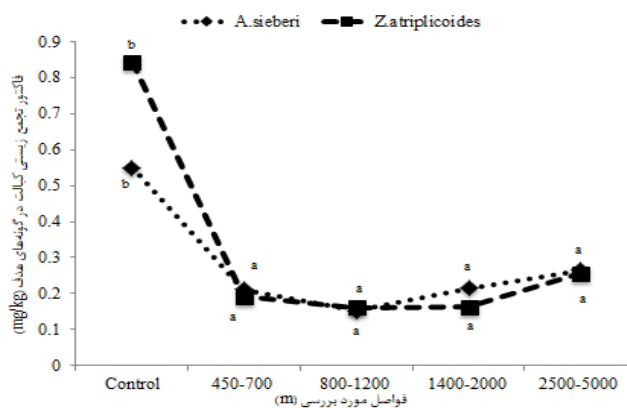
جدول ۱۰. فاکتور تجمع زیستی گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi* در عنصرهای مورد بررسی (mg/kg)

عنصر مورد بررسی	فاکتور تجمع زیستی گونه‌ها	مقدار کل فاکتور تجمع زیستی	میانگین فاکتور تجمع زیستی
Ni	b < a	2/42 < 2/58	0/48 < 0/51
Co	a < b	1/39 < 1/61	0/28 < 0/32
V	a < b	1/79 < 2/18	0/36 < 0/44
Cr	a < b	3/03 < 3/06	0/60 < 0/61
As	a < b	3/62 < 3/63	0/72 = 0/72

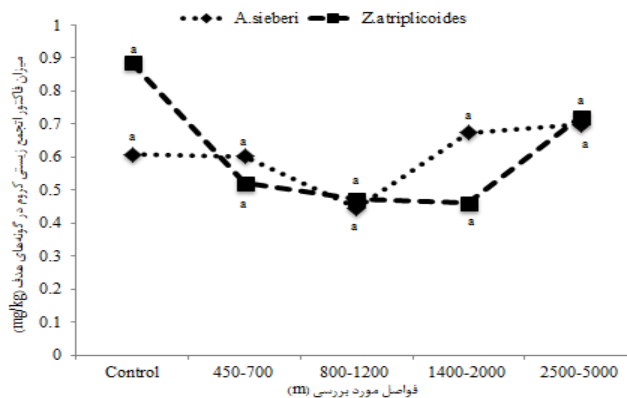
Z. atriplicoides (b) و *A. sieberi*(a)**



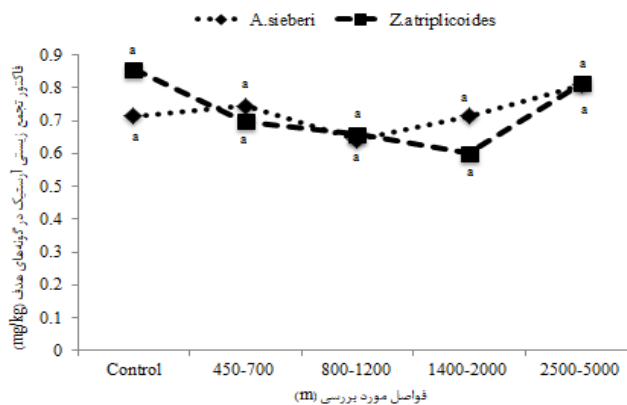
شکل ۱۵. فاکتور تجمع زیستی Ni در فاصله‌های هدف در گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*



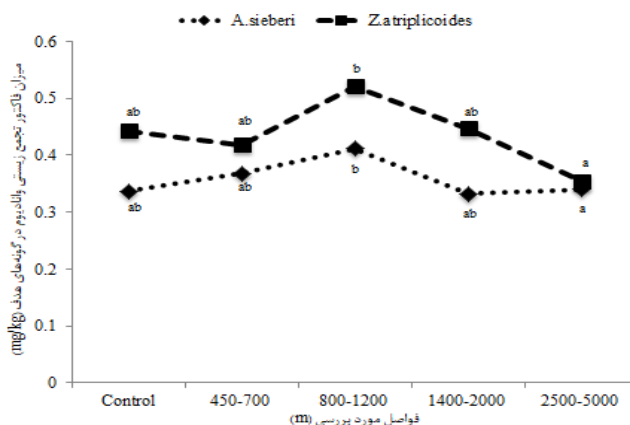
شکل ۱۶. فاکتور تجمع زیستی Co در فاصله‌های هدف در گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*



شکل ۱۷. فاکتور تجمع زیستی Cr در فاصله‌های هدف در گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*



شکل ۱۸. فاکتور تجمع زیستی As در فاصله‌های هدف در گونه‌های *Z. atriplicoides* و *A. sieberi*



شکل ۱۹. فاکتور تجمع زیستی V در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

زیست‌بوم‌های حساس و شکننده و سازگاری آنها با منطقه محل رشد خود است (۲۰). با توجه به نتایج گونه درمنه دشتی *Artemisia sieberi* Besser در اندام هوایی و زیرزمینی پتانسیل بیشتری در تجمع عنصرهای Cr، *Zygophyllum atriplicoides* و Ni و Co، As در اندام هوایی و زیرزمینی پتانسیل بیشتری در تجمع V دارد. اما در مجموع مقایسه بین مقدار عنصرهای هدف در گونه‌ها و فاصله‌ها، مقدار Cr، As، Co و Ni از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و تنها در مقدار V اختلاف معنی‌داری بین گونه‌ها و فاصله‌ها مشاهده شد. نتایج حاصل پژوهش حاضر با نتایج برخی محققان هم‌خوانی دارد به طوری که محققان در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی چند گونه مرتعی دریافتند، گل گاوزبان *Echium amoenum* Fisch. & C.A.Mey. و *Scariola orientalis* (Boiss.) Sojak کن عنوان بیش‌اندوز Ni و استپی بیابانی *Stipa hohackeria* Trin. et Rupr. و *Hulthemia persica* J.F.Gmel. کنگر *G. tournefortii*، گون چمن *Astragalus effusus* Bunge و بومادران *Taeniatherum crinitu* (Schreb.) Nevski

در خصوص مقدار تجمع Co نتایج نشان داد که بین مقدار تجمع این عنصر در فاصله‌های اول، دوم و سوم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما فاصله شاهد و چهارم از نظر مقدار تجمع این عنصر با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. همچنین نتایج مقدار عنصرهای Cr و As نشان داد که بین مقدار تجمع این عنصرها در فاصله‌های شاهد، اول، دوم، سوم و چهارم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارد. در نهایت مقدار تجمع V در بین فاصله‌های شاهد، دوم، سوم و چهارم و همچنین بین فاصله‌های اول و دوم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۱۱).

■ بحث و نتیجه‌گیری

کاربرد گیاهان مرتعی جهت گیاه‌پالایی مهم به شمار می‌آیند، چون این گونه‌ها بیشتر از نظر رشد، بقا و تولید مثل در شرایط تنش‌های محیطی نسبت به سایر گونه‌ها موفق‌تر هستند. لذا علاقه و تلاش بسیاری در زمینه جستجوی گونه‌های مرتعی مقاوم به عنصرهای سنگین وجود دارد که اغلب گونه‌های بومی در این زمینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. علت کاربرد گونه‌های بومی در گیاه‌پالایی جلوگیری از ورود گونه‌های مهاجم به

جدول ۱۱. مقدار تجمع عنصرهای مورد بررسی در خاک فاصله‌های هدف (mg/kg)

V	Cr	AS	Co	Ni	فاصله‌ها (m)
۳۴/۹۶ ^a	۱۹/۲۰ ^a	۶/۹۶ ^a	۱۷۵/۴۸ ^a	۳۹۷/۸۲ ^{ab}	شاهد
۴۴/۲۴ ^b	۲۲/۰۰ ^a	۶/۹۹ ^a	۴۷۹/۱۶ ^b	۴۸۱/۵۲ ^{bc}	۷۰۰-۴۵۰
۳۹/۵۸ ^{ab}	۲۳/۹۲ ^a	۷/۳۸ ^a	۵۵۸/۰۸ ^b	۴۹۲/۰۵ ^c	۱۲۰۰-۸۰۰
۳۶/۳۰ ^a	۲۵/۶۸ ^a	۸/۰۷ ^a	۵۳۸/۷۵ ^b	۴۴۶/۱۸ ^{abc}	۲۰۰۰-۱۴۰۰
۳۷/۸۶ ^a	۱۵/۸۳ ^a	۶/۰۲ ^a	۳۴۹/۳۳ ^c	۳۷۹/۷۲ ^a	۵۰۰۰-۲۵۰۰

هیدروکسیل با بارهای مثبت عنصرهای سنگین بر هم کنش ایجاد کرده و به دنبال آن تعادل دینامیکی حاصل و منجر به ورود آسان تر به سلولها از طریق آپوپلاست یا سیمپلاست می گردد (۷). از طرفی دیگر علت این مسئله آن است که در این گونه عنصرها در مجاورت سطح ریشه جذب و از طریق غشا سلولی وارد سلولهای ریشه می شوند و برخی از قسمتها عنصر از غشا سلولی عبور و به بافت آوندی ریشه می رسند. در حالیکه قسمت باقی مانده در واکوئل بی حرکت شده و سپس از بافتهای آوندی به برگ و ساقه منتقل می شوند. اکثر عنصرها زمانیکه در داخل بافت گیاه قرار می گیرند، نامحلول شده و به علت اسیدیته بهینه سلولی نمی توانند در سیستم عروقی حرکت کنند لذا عنصرهای نامحلول عموماً در محفظه های خارجی و درونی سلول به صورت رسوبات سولفات، کربنات یا فسفات ذخیره می شوند (۱۷). اما *Z. atriplicoides* پتانسیل بیشتری در تجمع عنصرها در ریشه های خود داشت که نشان دهنده تأثیر بازدارندگی ریشه از جابه جایی عنصرها به اندامهای هوایی است که به شدت آنها را محدود کرده است. بنابراین سیستم ریشه سطح وسیعی را جهت جذب آلاینده های غیر ضروری علاوه بر تجمع آب و مواد مغذی فراهم می کند. حتی بسیاری از عنصرها پس از ورود به ریشه رسوبات سولفات، کربنات و فسفات را تشکیل می دهند و این عنصرها در قسمت های برون سلولی و داخل سلولی بی حرکت می شوند. لذا انتقال عنصرها از طریق آپوپلاست به دلیل ظرفیت بالای تبادل کاتیونی دیواره های سلولی محدودتر می شود. از طرفی ماهیت نامحلول بودن اکثر عنصرهای خطرناک منجر به ممانعت از حرکت آزاد آنها در سیستم گیاه می شود. همچنین علت جذب عنصرها در ریشه به علت اتصال یونهای فلزی سمی با بار منفی در دیواره سلولی است و انتقال کم عنصرهای به اندامهای هوایی به دلیل اشباع جذب عنصرهای در ریشه زمانی است که غلظت عنصرهای داخلی بالاست (۱۵). از طرفی دیگر طبق نتایج پژوهش حاضر مشخص شد که گونه های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* بیش از 1000 mg/kg Ni و Co را در اندامهای هوایی خود تجمع دادند. با توجه به پژوهشهای انجام شده مقدار بحرانی Ni در گونه های

Centaurea گل گندم *Achillea millefolium* L. *virgata* Lamarck، چای کوهی *Stachys lavandulifolia* Vahl، شنگ وحشی *Tragopogon collinus* DC. و خاکشیر *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl به عنوان تجمع کننده خوب Ni شناخته شدند (۲۰). همچنین در بررسی دیگر گونه ای از مناطق نیمه خشک با نام چیلکا *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers نشان داد که توانایی تجمع As ، Co و Cr در اندام هوایی و زیرزمینی را داشته و بیشترین تجمع به ترتیب مربوط به As ، Co و Cr است. لذا گونه مناسبی جهت اهداف گیاه پالایی به شمار می آید (۷). همچنین در پژوهشی دیگر برخی محققان در بررسی چند گونه از مناطق بیابانی و خشک از جمله علف شور *Salsola kali* L.، گونه قبیج باقالایی *Zygophyllum fabago* L.، گونه بیابانی لیمونیوم *Limonium canariensis* Kuntze، گونه گز *Tamarix canariensis*، گونه آتریپلکس *Atriplex halimus* L. و گونه های غیر هالوفیت پیر پائیزی Greuter (L.) *Dittrichia viscosa* گل بیمرگ Cambess، *Helichrysum decumbens*، پسته مصطکی *Pistacia lentiscus* L. و جگز *Cistus monspeliensis* L. پرداختند و نتایج نشان داد در بین گونه های هالوفیتها مقدار تجمع As و Ni در *S. kali* بیشتر از سایر گونه ها و در *Z. fabago* کمترین بود. در غیر هالوفیتها مقدار تجمع As و Ni در *C. monspeliensis* بیشتر از سایر گونه ها و در *P. lentiscus* کمترین بود (۲۲). در تحقیقی دیگر نیز دریافتند که گونه های خردل هندی *Brassica juncea* مقدار قابل ملاحظه ای As در ریشه، ساقه و برگ های خود تجمع داده و برای گیاه پالایی این عنصر مناسب است (۱۶). یافته های عنصر V در پژوهش حاضر در مقایسه با تحقیقی مرتبط در گونه نی *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud از پتانسیل تجمع این عنصر در ریشه است و در قیاس با سایر عنصرها، V توانایی بیشتری در تجمع در ریشه را دارا می باشد (۱۱). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، مقدار عنصرها در *A. sieberi* در اندام هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی مشاهده شد. با توجه به اینکه ریشه گیاهان دارای بارهای منفی در سلولهاست و به علت وجود گروه های

نی *P. australis* و سازو *Juncus inflexus* L. با فاکتور انتقال پایین‌تر از یک جهت تثبیت گیاهی As مناسب هستند (۲۹). در نهایت در پژوهشی دیگر گونه‌های پانیکوم *Panicum antidotal* Retz. پنبه (*Schumach.*) *H. purpureum Pennisetum* Morrone آفتابگردان *H. annuus* و کدو حلواپی *Cucurbita pepo* L. مقدار بیشتری از Cr و Co را در ریشه‌های خود تجمع دادند که بیشترین و کمترین این عناصر به ترتیب در *H. annuus* و *C. pepo* بود (۱۵). فاکتور انتقال نشان داد که عناصر بیشتر در قسمت هوایی یا زیرزمینی انباشته شدند و اینکه آنها پتانسیل استخراج گیاهی دارند و یا تثبیت گیاهی، به طوریکه فاکتور انتقال بزرگتر از یک نشان از تجمع عناصر در اندام هوایی و فاکتور انتقال کمتر از یک نشان از تجمع عناصر در ریشه است (۲۳). طبق پژوهش‌های انجام شده گونه‌های قدومه *Alyssum* sp. کیسه چوپان *Thlaspi* sp. و *Berkheya coddii* Roessler به عنوان استخراج کننده Ni، همچنین گونه *Leersia hexandra* Sw. به عنوان استخراج کننده Cr، گونه سرخس دوپایه *Pteris vittata* L. به عنوان استخراج کننده As و قمیش *Arundo donax* L. و لویی *Typha latifolia* L. به عنوان تثبیت کننده Ni، گونه‌های نی *T. latifolia*، صنوبر شرقی *Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall بید سرخ *Salix purpurea* L. باقلای مصری *Lupinus albus* و کنوکارپوس *Conocarpus erectus* L. و کوب *Dahlia pinnata* Cav. به عنوان تثبیت کننده As و *T. latifolia* به عنوان تثبیت کننده Cr شناسایی شدند (۲۳). با توجه به اینکه خاک در اراضی آلوده دارای شرایط نامناسب است لذا، استقرار و رشد در منطقه مطالعاتی با موانعی مواجه خواهند شد. بنابراین شناسایی گونه‌های مناسب که توانایی مقابله با این شرایط دشوار و پتانسیل تجمع و جذب عناصر را دارند منجر به تأثیر بالا در افزایش کارایی گیاه‌پالایی می‌گردند. بنابراین مطالعه و شناخت پوشش گیاهی در اطراف معادن و اندازه‌گیری مقدار غلظت عناصر در این گونه‌ها منجر به شناخت گونه‌های فراانباشت می‌گردد. لذا گونه *A. sieberi* به عنوان استخراج کننده و گونه *Z. atriplicoides* به عنوان تثبیت کننده، از گونه‌های مناسب جهت پاکسازی اراضی

حساس، متوسط و مقاوم به ترتیب بیش از ۱۰، بیش از ۵۰ و بیش از ۱۰۰۰ mg/kg گزارش شده است (۵). لذا گونه‌های هدف این تحقیق به عنوان گونه‌های مقاوم به Ni شناسایی شدند. از طرفی طبق اظهار نظر کارشناسان گونه‌هایی که توانایی تجمع حداقل ۱ gr/kg از عناصر Ni، As، Co و Cr در اندام هوایی خود را داشته باشند به عنوان گونه بیش‌اندوز عنصرهای مذکور شناخته می‌شوند (۲۳). بنابراین *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* به عنوان گونه‌های بیش‌اندوز Ni و Co شناخته شدند. نتایج همچنین نشان داد که مجموع فاکتور انتقال عناصرهای هدف در گونه *A. sieberi* بیشتر از یک و در گونه *Z. atriplicoides* پایین‌تر از یک هستند. بنابراین گونه *A. sieberi* پتانسیل استخراج گیاهی و همچنین گونه *Z. atriplicoides* پتانسیل تثبیت گیاهی را دارا می‌باشند. پژوهشگران بسیاری پتانسیل استخراج و تثبیت گیاهی گونه‌های مختلف در خصوص عنصرهای V، Ni، As، Co و Cr بررسی کردند که نتایج حاصل از پژوهش حاضر با برخی محققان همخوانی دارد به طوری که در بررسی *A. marina* در اطراف منطقه استخراج بوکسیت در اندونزی مشخص شد که این گونه دارای فاکتور انتقال بزرگتر از یک برای Cr بوده و دارای توانایی استخراج گیاهی است (۴). در بررسی غلظت Ni، As، Co و Cr در اندام هوایی ۳۵ گونه در اطراف معدن مس در آذربایجان مشخص شد که گونه‌های بومی مورد بررسی برای پتانسیل تثبیت گیاهی در اطراف معدن مذکور مناسب هستند (۳). همچنین در تحقیقی دیگر مشخص شد که *P. viviparum* قابلیت تجمع As با فاکتور انتقال ریشه ۳/۶۹ و فاکتور تجمع زیستی بزرگتر از یک در معادن اطراف چین دارد (۱۴). در تحقیقی دیگر محققان دریافتند که فاکتور انتقال Ni در چند گونه مرتعی از جمله *S. orientalis*، *E. amoenum* و *T. collinus* بزرگتر از یک بوده و پتانسیل استخراج گیاهی را دارند (۲۰). در تحقیقی دیگر محققان دریافتند که گونه‌های بومی گون سفید *Fisch Astragalus gossypinus*، چوبک *Acantholimon brachystachyum* Boiss. ex Bunge یال اسبی *Stipa barbata* و افدرا *Ephedra major* Host با فاکتور انتقال بالاتر از یک جهت استخراج گیاهی As و علف پشمکی *Bromus tomentellus* Boiss. مرغ *Elymus* sp.

بقا و رشد این گونه‌ها تحت تأثیر تنش‌های محیطی است. بنابراین کاربرد گونه‌ها بومی که سازگار با شرایط آب و هوای منطقه مطالعاتی هستند کارایی زیادی در جذب و تجمع عنصرهای هدف در این مطالعه را داشته که برای برنامه‌های محیط زیستی در منطقه مذکور به عنوان گزینه مناسب به منظور گیاه‌پالایی محدوده سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب در محدوده مطالعاتی و مناطق مشابه پیشنهاد می‌شود. بنابراین خروجی این پژوهش معرفی گونه‌های مناسب برای مدیریت زیستی در شرایط آب و هوایی نیمه خشک با گونه‌های بومی منطقه جاجرم بود که گونه‌های مورد مطالعه جایگزین مناسبی برای غلبه بر تنش آلودگی و رشد در محدوده سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینای جاجرم هستند که به پژوهش‌های بیشتری برای مدیریت در اطراف آن محدوده می‌توانند، متمرکز شوند.

■ سپاسگزاری

این مقاله استخراجی از رساله دکتری می‌باشد که با حمایت مالی شرکت آلومینای ایران به شماره طرح ۴۹۲۰ انجام شده است. لذا نویسندگان بر خود واجب می‌دانند که از حمایت‌های مادی و معنوی این بخش کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

آلوده به عنصرهای Ni و Co هستند. با توجه به تجمع عنصرها در ریشه گونه *Z. atriplicoides* امکان ورود عنصرها به زنجیره غذایی دام‌ها وجود ندارد که با توجه به خوشخوراک بودن این گونه و چرا توسط دام‌ها می‌تواند به عنوان گونه مناسب جهت گیاه‌پالایی در منطقه مطالعاتی باشد. این گونه امکان بی‌حرکت کردن عنصرها توسط سیستم ریشه‌ای را داشته و شرایط میکروبیولوژی، حاصلخیزی خاک و به حداقل رساندن انتقال عنصرهای هدف به آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند. از طرفی با تنوع کشت گونه‌های گیاهی منجر به ایجاد تنوع اشکال حیات در جوامع گیاهی، امکان استفاده کارآمدتر از آب، مواد مغذی و تنوع زیستی بالاتر، منجر به پایداری طولانی مدت در منطقه می‌شود. در واقع گیاهان یکساله منجر به ایجاد پوشش سریع در خاک منطقه در اولین مراحل تثبیت را فراهم کرده و سپس گونه‌های چند ساله یک سایبان دائمی ایجاد کرده که از فرسایش و پراکندگی عنصرهای توسط گرد و غبار موجود در هوا را کاهش دهند. در بحث فاکتور انتقال که *A. sieberi* پتانسیل استخراج گیاهی دارد، که می‌توان از آنها در بحث گیاه‌پالایی معدن جهت استخراج عناصر ارزشمند با هدف دستیابی سود اقتصادی بهره برد. بنابراین کاربرد و بهره‌برداری از گونه‌های بومی مرتعی برای کاربرد در فناوری گیاه‌پالایی اراضی آلوده به عنصرها حائز اهمیت است و علت این امر توانایی مقاومت،

■ References

1. Akinleye, C., Adewumi, A.J., & Akinleye, R.O. (2022). A systematic review of ecological and human health risk associated with metals in soils around mining areas in Nigeria. *Achievers Journal of Scientific Research*, 4(1), 120-141.
2. Alharbi, M., & Aljeddani, G. (2022). Heavy Metals Phytoremediation and Its Impact on Photosynthetic Pigments and Metabolic Content in Some Plant Species Grown in the Streets of Jeddah Governorate, Saudi Arabia. *Journal of Environmental Protection*, 13(7), 557-574.
3. Alizadeh, A., Ghorbani, J., Motamedi, J., Vahabzadeh, G., Edraki, M., & Vander Ent, A. (2022). Metal and metalloid accumulation in native plants around a copper mine site: implications for phytostabilization. *International Journal of Phytoremediation*, 24(11), 1141-1149.

4. Azizah, D., Lestari, F., Kurniawan, D., Melany, W.R., Apriadi, T., & Murtini, S. (2022). *Index of environmental pollution and adaptation of Avicennia marina around the ex-bauxite mining area in Bintan Island*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
5. Chen, C., Huang, D., & Liu, J. (2009). Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean-soil, air, water*, 37(4-5), 304-313.
6. Fazelisalmani, M., & Osanloo, M. (2014). *Mine Planning and Equipment Selection*: Springer.
7. Franco, H., Celis, C., Forero, S., Pombo, L.M., & Rodriguez, O.E. (2018). Phytoremediating Activity of Baccharis Latifolia in Soils Contaminated with Heavy Metals. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*, 9(4), 38-43.
8. Jafari, M., & Tavili, A. (2010). *Reclamation of Aridland*. Tehran: University of Tehran Press. 3rd Edition. (in Farsi)
9. Jafai, M., Jahantab, E., & Moameri, M. (2020). Investigation of Remediation of Contaminated Soils with Heavy Metals Using Helianthus Annuus L. Plant. *Environmental Science and Technology*, 22(7), 1-14. (in Farsi)
10. Jahantab, E. (2021). Potential of heavy metals uptake by Gundelia tournefortii in rangelands around the Yasouj cement factory. *Range and Desert Research*, 28(4), 733-744. (in Farsi)
11. Hamidian, A.H., Atashgahi, M., & Khorasani, N. (2014). Phytoremediation of heavy metals (Cd, Pb and V) in gas refinery wastewater using common reed (Phragmites australis). *International Journal of Aquatic Biology*, 2(1), 29-35.
12. Kabir, E., Ray, S., Kim, K.H., Yoon, H.O., Jeon, E.C., Kim, Y.S., Cho, Y.S., Yun, S.T., & Brown, R. J. C. (2012). Current statues of trace metal pollution in soils affected by industrial activities. *The Scientific World Journal*, 2012, 1-18.
13. Kashki, M.T., Shahmoradi, A., & Namdoost, T. (2015). Investigate dynamic and trend changes of vegetation on desert ecosystems (case study: Jajarm region, North Khorasan). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(7), 87-98. (in Farsi)
14. Li, R., Dong, F., Yang, G., Zhang, W., Zong, M., Nie, X., Zhou, L., Babar, A., Liu, J., Ram, B.K., Fan, C., & Zeng, Y. (2019). Characterization of Arsenic and Uranium Pollution Surrounding a Uranium Mine in Southwestern China and Phytoremediation Potential. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(1), 1-13.
15. Lotfy, S.M., & Mostafa, A.Z. (2014). Phytoremediation of contaminated soil with Cobalt and Chromium. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 367-373.
16. Makombe, N., & Gwisai, R.D. (2018). Soil Remediation Practices for Hydrocarbon and Heavy Metal Reclamation in Mining Polluted Soils. *The Scientific World Journal*, 2018, 1-7.
17. Manzoor, M.M., Goyal, P., Gupta, A.P., & Gupta, S. (2020). Heavy metal soil contamination and bioremediation. *Bioremediation and Biotechnology*, Vol 2: Degradation of Pesticides and Heavy Metals, 221-239. Springer.

18. Merzougui, A., Mariama, L., Hamid, F.E., Lachgar, M., El Anssari, A., & Mrani, D. (2022). Lead uptake, flavonoids and proline relationship in *Atriplex nummularia* growing in a galena mining are. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 12(1), 11-18.
19. Mingyuan, L., Samsuri, A.W., Shukor, M.Y., & Phang, L.Y. (2020). Growth Performance of *Jatropha curcas* Cultivated on Local Abandoned Bauxite Mine Soil. *Sustainability*, 12(19), 1-14.
20. Moameri, M., Jafari, M., Tavili, A., Motasharezadeh, B., & Zare Chahouki, M.A. (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.
21. Moreira, H., Marques, A.P., Rangel, A.O., & Castro, P.M. (2011). Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese site: prospects for Phytoremediation. *Water Air and Soil pollution*, 221(1), 377–389.
22. Parraga-Aguado, I., Gonzalez-Alcaraz, M.N., Alvarez-Rogel, J., & Conesa, H.M. (2014). Assessment of the employment of halophyte plant species for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. *Ecological Engineering*, 71, 598–604.
23. Peco, J.D., Higuera, P., Campos, J.A., Esbri, J.M., Moreno, M.M., Brunet, F.B., Luisa, M., & Sandalio, L.M. (2021). Abandoned Mine Lands Reclamation by Plant Remediation Technologies. *Sustainability*, 13(12), 1-27.
24. Palutoglu, M., Akgul, B., Suyarko, V., Yakovenko, M., Kryuchenko, N., & Sasmaz, A. (2018). Phytoremediation of Cadmium by Native Plants Grown on Mining Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100(2), 293–297.
25. Rahim, F.A.A., Hamid, T.H.T.A., & Zainuddin, Z. (2019). *Jatropha curcas* as a potential plant for bauxite phytoremediation. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
26. Robles, H.G., Melloni, E.G., Navarro, F.B., Martin Peinado, F.J., & Lorite, J. (2022). Gypsum mining spoil improves plant emergence and growth in soils polluted with potentially harmful element. *Plant and Soil*, 481, 315-329.
27. Saba, G., Parizanganeh, A.H., 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.
28. Selvaraj, K., Ramasubramanian, V., & Kumar, M. (2021). Phytoremediation of Soil Contaminated with Arsenic, Nickel and Copper. *Indian Journal of Environmental Sciences*, 26(2), 51-59.
29. Sharifi, Z., Sinegani, A.A.S., & Shariati, S. (2012). Potential of Indigenous Plant Species for the Phytoremediation of Arsenic Contaminated Land in Kurdistan (Iran). *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 21(5), 557–573.

30. Sola, C., Burgos, M., Plazuelo, A., Toja, J., Plans, M., & Prat, N. (2004). Heavy metal bioaccumulation and macroinvertebrate community changes in a mediterranean stream affected by acid mine drainage and an accidental spill (Guadiamar river, SW Spain). *Science of the Total Environment*, 333(1-3), 109-126.
31. Vodyanitskii, Y.N. (2016). Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of Agrarian Science*, 14(3), 257-263.
32. Zhou, H., & Guo, X. (2015). Soil Heavy Metal Pollution Evaluation around Mine Area with Traditional and Ecological Assessment Methods. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 3 (10), 28-33.