

مقاله پژوهشی

پتانسیل گیاه *Astragalus gossypinus* در گیاهپالایی آلومینیوم در خاک‌های معدنی بیدوئی

حسن سالاری^{۱*}، مهدی هنرمند^۱، حسین مظفری^۱، حکیمه علمی^۱

^۱ گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

* (نویسنده مسئول مکاتبات): hsalari57@gmail.com

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: اسفند ۱۴۰۳

چکیده

با توجه به میزان بالای آلومینیوم خاک در منطق معدنی مس دربیدوئی استان کرمان و مناطق پایین دست آن، بررسی راهکارهای حذف یا کاهش این عنصر لازم به نظر می‌رسد. به منظور ارزیابی پتانسیل و اثرات تجمع آلومینیوم در خاک و به ویژه در گیاهان تجمع کننده، پنج ایستگاه نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک در منطقه معدنی تعیین و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی از بافت خاک و گیاه گون منطقه نمونه‌برداری انجام شد. میزان عناصر آلومینیوم، آهن و مس مزبور در نمونه‌های خاک و گیاه غالب هر ایستگاه به روش هضم اسیدی با دستگاه ICP - OES - OES سنجش و مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های حاصل از این پژوهش، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی آنالیز شدند. فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی هر یک از عناصر فوق محاسبه گردید. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی‌دار عناصر فوق را در گیاه غالب نسبت به خاک منطقه نمونه‌برداری نشان داد. همچنین نتایج حکایت از جذب بیشتر آلومینیوم نسبت به آهن و مس موجود در خاک در گیاه غالب دارد. فاکتور تجمع زیستی در همه نمونه‌های مربوط به آلومینیوم با شاهد، اختلاف معنی‌دار نشان داد. میزان همبستگی عناصر خاک و گیاه تنها در مورد آلومینیوم به طور قابل ملاحظه‌ای معنی‌دار بود (۰/۷۶۳). به طور کلی با توجه به رشد مناسب و بیوماس بالای گیاه غالب منطقه گون (*Astragalus gossypinus*) و میزان آلومینیوم بالا در آنها، می‌توان این گیاه را به عنوان گیاه زیست‌پالایی آلومینیوم پیشنهاد کرد.

کلیدواژه‌ها: آلومینیوم، گیاه‌پالایی، معدن دربیدوئی، *Astragalus gossypinus*.

مقدمه

فعالیت‌های مختلف معدنی از جمله اکتشاف، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری معدن ممکن است منجر به تغییر کاربری اراضی اطراف معادن شود و ممکن است اثرات منفی از جمله

امروزه صنایع مبتنی بر فلز مانند معدن‌کاری، ریخته‌گری و ذوب مهمترین منابع نشر فلزات سنگین در محیط زیست هستند [۱].

جنگل‌زدایی، فرسایش، آلودگی نهرها و تالاب‌های محلی و افزایش صدا، سطح، گرد و غبار و انتشار بر محیط‌زیست داشته باشد [۲]. علاوه بر این رها کردن، از کار انداختن و تغییر کاربری معادن نیز ممکن است منجر به اثرات زیست محیطی مشابهی مانند آلودگی خاک و آب شود [۳] و اثرات منفی بر سلامت انسان و استانداردهای زندگی آنها بگذارد [۴].

هنگامی که محصولات غذایی با آب حاوی فلزات سنگین بالاتر از سطح آستانه آبیاری شوند، حاصلخیزی خاک، میکروب‌ها (تعداد و تنوع) و بهره‌وری محصول به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف گیاه انباشته شده و با غذا وارد بدن انسان می‌شوند. افزایش غلظت فلزات سنگین و نشر بیولوژیکی آنها در هرم‌های غذایی میتواند باعث سمیت قابل ملاحظه آخرین حلقه این هرم‌ها شود.

به طور کلی، امکان تجزیه‌ی زیستی فلزات سنگین به فرآورده‌های با سمیت کمتر یا بیشتر وجود ندارد، لذا این فلزات بدون تغییر در محیط زیست باقی می‌مانند. از این رو، اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین تنها با استفاده از تکنیک‌هایی که این آلاینده‌ها را از خاک خارج نموده و یا آن‌ها را در مکان خود تثبیت نمایند، امکان‌پذیر است. فلزات سنگین را می‌توان با روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی حذف کرد: جذب، تبادل یونی، رسوب شیمیایی، تصفیه الکتروشیمیایی و فیلتراسیون غشایی [۵]. این روش‌ها انرژی بر هستند و برای تکمیل فرآیند به برخی از محصولات تجاری پرهزینه نیاز دارند. یک راه حل اقتصادی، سازگار با محیط زیست و کارآمد برای حذف آلاینده‌ها گیاهپالایی است. گیاهپالایی تکنولوژی نوآورانه، کم هزینه و شناخته شده‌ای هست که از گیاهان مختلف برای تخریب، استخراج، جذب یا غیر متحرک کردن آلاینده‌ها استفاده می‌کند. این فناوری به عنوان روشی در بسیاری از محیط‌های آلوده توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. گیاهپالایی استفاده از گیاهان برای حذف فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها از آب و خاک است. گیاهپالایی که دربرگیرنده استفاده از گیاهان برای زدودن، انتقال دادن، تثبیت کردن و یا تقلیل آلودگی‌ها در خاک، رسوبات و آب است، به مجموعه‌ی متنوعی از فن‌آوری‌های گیاه‌بنیان اطلاق می‌شود که از گیاهان طبیعی موجود و یا گیاهان ایجاد شده از طریق مهندسی ژنتیک جهت پاکسازی محیط‌های آلوده استفاده

می‌کنند این تکنولوژی هزینه سرمایه و نگهداری کمتر از ۲۰ درصد از هزینه سایر تکنیک‌های حذف فلزات سنگین دارد [۶]. تحقیقات متنوعی از این تکنیک مفید زیست محیطی انجام شده است. من جمله، Mohamadrezakhani و همکاران (۲۰۱۱) تجمع عناصر مس و روی را در ریشه گیاه درمنه در خاک‌های ارتفاعات لاشکار معدن مس سرچشمه را گزارش کرده‌اند که نشان دهنده تاثیر معدن کاری بر تجمع عناصر سنگین در گیاهان بومی منطقه است [۷]. Eslami (۲۰۱۰) غنی‌شدگی عناصر مس، نقره، سرب و آرسنیک در نمونه‌های خاک گرفته شده از خاک‌های اطراف معدن مس پورفیری میدوک در استان کرمان را گزارش کردند که بر همین اساس غلظت آرسنیک، نقره، مس و سرب در خاک و گیاهان در نزدیکی آثار معدن بیشتر از استاندارد نشان داد [۸]. Ostvarzadeh و همکاران (۲۰۱۰) نیز در در تحقیقی گیاه گون و درمنه را به عنوان گیاهان فرا انباشته کننده را در خاک و گیاهان اطراف معدن مس سرچشمه کرمان گزارش کرده‌اند [۹]. بر اساس شاخص تجمع زیستی فلزات در گیاهان بومی منطقه معدن متروکه مس Rakha واقع در ایالت Thankhand هند در ریشه گیاه آمایا غلظت بالایی از مس (۱۶۱۳ میلی گرم در کیلوگرم) گزارش شده است [۱۰].

Yoon و همکاران (۲۰۱۵) نیز بر اساس شاخص‌های فاکتور انتقال و فاکتور تمرکز زیستی گیاه بومی *Gentiana pennelliana* را برای گیاهپالایی مناطق آلوده به فلزات سنگین را در شمال غرب منطقه Jacksavile فلوریدا پیشنهاد کردند [۱۱]. در گیاهان تجمع دهنده فلز سنگین، بقای گیاهان در غلظت‌های بالاتر از فلزات سمی به توانایی آنها در محدود کردن ورود فلز به سیتوزول بستگی دارد. هنگامی که گیاهان در مکان‌های آلوده به فلزات سنگین رشد می‌کنند، آنها دو تکنیک را برای محافظت از خود در برابر سمیت فلزات سنگین اتخاذ می‌کنند. اجتناب از جذب اولین خط دفاعی است که دسترسی زیستی فلزات سنگین را کاهش می‌دهد و حرکت آنها را به داخل سلول گیاهی محدود می‌کند. دومین خط دفاعی با مکانیسم‌هایی مانند توقیف و کلاته کردن در ریشه گیاه انجام می‌گیرد [۱۲]. با در نظر گرفتن روند تکاملی صنعت معدن کاری فعال و بهره‌برداری از معادن بکر و همچنین با توجه به پتانسیل معدنی بالای کشور و نیاز شدید به تولیدات معادن، نظارت

زیست محیطی بر معادن استخراج شده و متروکه از جنبه مطالعات زیست محیطی و پتانسیل گیاهان در رفع آلاینده های آنها امری ضروری است.

بنابراین هدف از این تحقیق بررسی و میزان آلاینده گی و تجمع آلومینیوم در خاک و گیاه غالب منطقه معدنی دریدونیه و ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش اثر این آلاینده است. از آنجا که گیاه گون غالب منطقه و با سطح پوشش بالا بود به عنوان گیاه اصلی مورد مطالعه انتخاب گردید. گیاه گون با نام علمی *Astragalus* با دارا بودن دو تا سه هزار گونه در شمار بزرگترین جنسهای گیاهان گلدار محسوب می شود که کشور ایران دارای ۷۵۰ گونه از این گیاه است. گون سفید یک گونه ارزشمند از نظر تولید صمغ کتیرا از اهمیت زیادی برخوردار است که در استان کرمان پراکندگی و پوشش زیادی را به خود اختصاص داده است. علاوه بر این، این مطالعه سعی دارد قابلیت گیاهپالایی گیاه غالب و بومی گون در منطقه معدنی را ارزیابی کند. همچنین در صورت موثر و مفید بودن در این فرایند به عنوان یک گیاه زیست پالای آلومینیوم معرفی گردد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق در محدوده طول جغرافیایی ۵۷/۰۲ درجه و عرض جغرافیایی ۲۹/۵۳ درجه در شهرستان بردسیر استان کرمان نزدیک به شهر شیرینک قرار گرفته است (شکل ۱). با هدف تعیین میزان عناصر سنگین معدن مس دریدونیه در خاک و گیاهان نواحی اطراف آن، نمونه برداری سیستماتیک تصادفی و به مرکزیت معدن انجام شد (جدول ۱). از هر ایستگاه نمونه برداری در منطقه سه تکرار از خاک و گیاه جمع آوری شد. جهت نمونه برداری خاک، از عمق ۳۰ سانتی متری خاک هر منطقه که کم تر در معرض تغییرات ناگهانی محیط بوده و ویژگی های خاک را بهتر نشان می دهد استفاده شد. نمونه های خاک پس از جمع آوری، در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس ۲۰ گرم خاک توزین گردیده و به یک ارلن منتقل گردید و ۲۰ میلی لیتر آب فاقد یون به آن اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه با دستگاه شیکر (با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه) هم زده شد. جهت اندازه گیری میزان آلومینیوم، آهن و مس در خاک، نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت

درون آون تهویه دار با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند و پس از خشک شدن کامل جهت انجام عمل هضم اسیدی مورد استفاده قرار گرفتند. جهت اندازه گیری عناصر در نمونه های گیاهی، ابتدا پس از شستشوی گیاهان؛ نمونه ها در آون با دمای ۹۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۴۸ ساعت خشک گردید. سپس نمونه های خشک شده پودر شده و از صافی ۰/۱۵ میلیمتری گذرانده و به دنبال آن در ۵ میلی لیتر اسیدنیتریک غلیظ به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا نمونه گیاهی کاملاً در اسید هضم شود. در مرحله بعد محلول را به مدت ۲۰ دقیقه گرم کرده تا بخارات اسیدی از آن خارج گردد. در نهایت حجم محلول به ۱۲ میلی لیتر رسانده و از کاغذ صافی جهت تزریق به دستگاه ICP عبور داده شدند.

نمونه های آماده شده توسط دستگاه^۱ ICP-OES ساخت کشور استرالیا آنالیز شدند. بررسی های متعدد، یک ایستگاه نمونه برداری که فاقد میزان بالای عناصر معدنی فوق بوده ولی متاثر از همان شرایط محیطی و اقلیمی منطقه معدنی بوده را به عنوان منطقه شاهد (Control) در نظر گرفته شد. شاخص های فاکتور زیستی تجمع^۲ (BCF) و فاکتور انتقال^۳ (TF) برای هر عنصر بررسی شد. فاکتور انتقال از نسبت غلظت عنصر در بخش هوایی به غلظت عنصر در ریشه محاسبه گردید. فاکتور تجمع زیستی از نسبت غلظت عنصر در ریشه به غلظت کل فلز در خاک به دست آمد [۱۳].

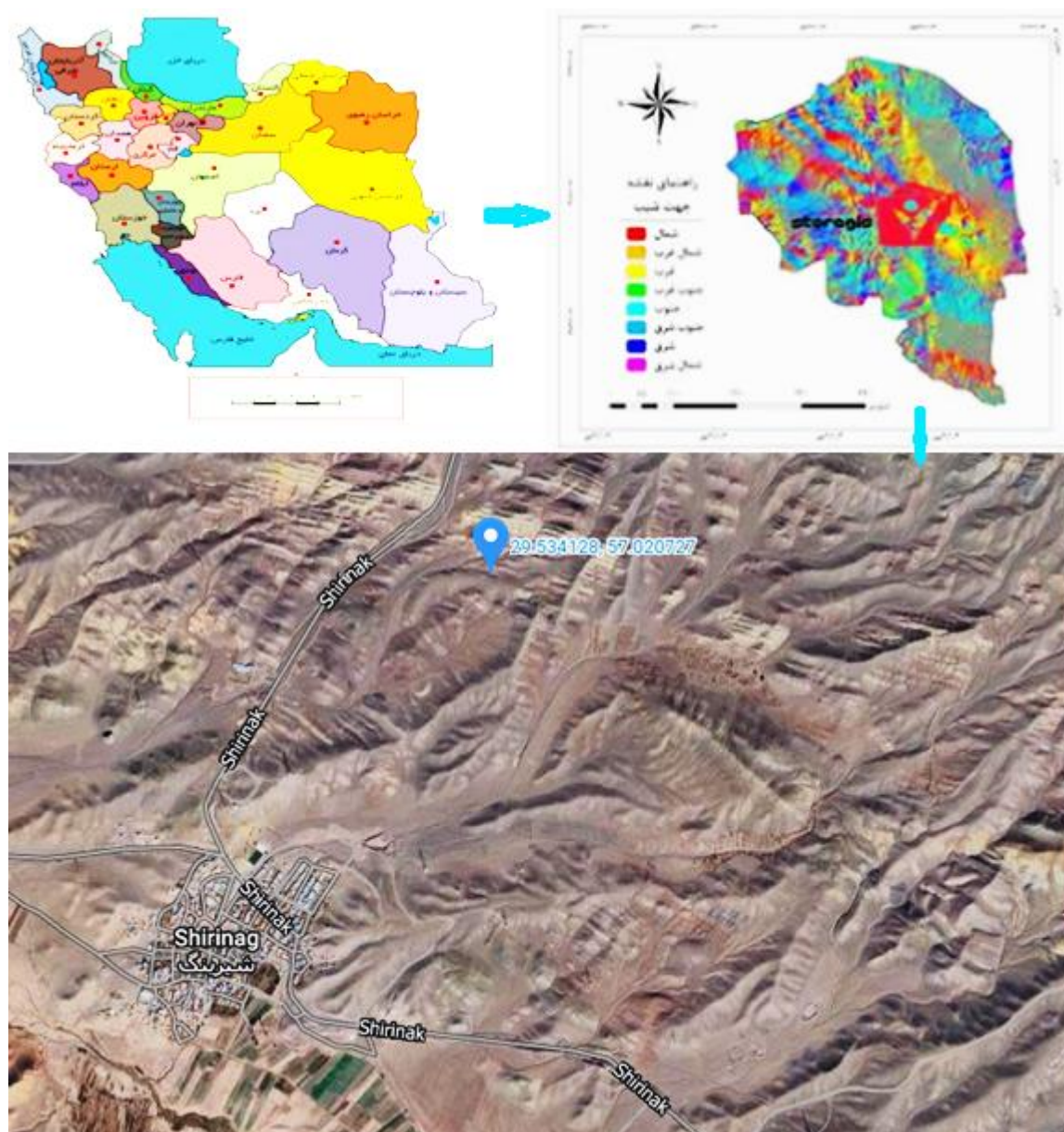
تجزیه و تحلیل آماری

آنالیزهای آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS 24.0 و رسم نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم افزار Excel 2019 انجام گرفت. جهت گروه بندی و مقایسه میانگین ها و تعیین دقیق معنی داری در بین ایستگاه های مطالعه شده از آزمون آماری چند دامنه ای دانکن در سطح معنی دار ۵ درصد استفاده شد. همبستگی عناصر موجود در خاک و گیاه بر اساس روش اسپیرمن محاسبه گردید.

¹ Inductively Coupled Plasma Optical Emission spectroscopy (ICP-OES)

² Bio Concentration Factor

³ Translocation Factor



شکل ۱: موقعیت و مختصات منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاههای مختلف

	pH	هدایت الکتریکی (میکرو موس بر سانتی متر)	کربن آلی (%)	آهن (میکروگرم بر کیلوگرم)	مس (میلیگرم بر کیلوگرم)	آلومینیوم (میلی گرم بر کیلوگرم)
C	7/12	0/45	1/34	22/62	1/02	114
S1	7/36	0/44	1/26	300	16	296
S2	7/74	0/46	1/11	326	16/34	280
S3	8/1	0/58	0/9	387	21/3	453
S4	7/7	0/52	1/1	318	24/9	384
S5	7/36	0/48	1/37	329	16/18	363

نتایج و بحث

جدول شماره ۱ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک را در نقاط مختلف نمونه برداری نشان می دهد که بیشتر متمایل به قلیایی است. در جدول ۲ میزان عناصر موجود در این خاک گزارش شده است. همچنین میزان عناصر آهن، مس و آلومینیوم جذب شده در ریشه گیاه گون در جدول ۲ آمده است.

میزان آهن، مس و آلومینیوم موجود در ایستگاه شاهد با ایستگاههای نمونه برداری اختلاف معنی دار دارد. بیشترین میزان آهن خاک در ایستگاههایی مشاهده شد که EC بالاتری نسبت به بقیه دارند. جالب توجه هست که این تغییرات EC و pH باعث اختلاف معنی دار میزان آهن در ایستگاههای نمونه برداری ۱، ۴ و ۵ نشده است. که با توجه به قلیایی بودن خاک قابل انتظار است. میزان مس موجود در خاک در دو ایستگاه ۳ و ۴ که عمدتاً به مرکز منطقه معدنی نزدیک هستند با ایستگاههای دیگر اختلاف معنی دار نشان داد. البته این مسئله باعث اختلاف معنی دار جذب مس در گیاهان در ایستگاههای مختلف نمونه برداری نشده است. همبستگی این دو عنصر نیز که ضریب بالایی دارند نشان می دهد که می تواند با رقابت موجود در اشغال جایگاههای فعال ناقلین در ریشه گیاه به نسبت قابل توجه باشد. مقدار آلومینیوم در منطقه مورد مطالعه بسیار بیشتر از دو عنصر مس و آهن می باشد به طوریکه در ایستگاه شاهد کاملاً مشهود است. این میزان در ایستگاههای مختلف نیز اختلاف معنی دار دارد. این اختلاف در ایستگاه شماره ۳ بیشترین هست. جالب هست که میزان آلومینیوم موجود در ایستگاه ۳ و ۴ در خاک و گیاه گون نیز معنی دار است. در بررسی فاکتور تجمع زیستی در مورد مس در محدوده ۶۰ درصد و در مورد آهن در محدوده ۳۰ درصد است که همواره جذب بیشتر مس را نشان میدهد. ولی این مقدار جذب در مورد آلومینیوم بیشتر از ۱۵۰ درصد رشد داشته است که نشان از انباشتگی آلومینیوم در گیاه گون دارد. لازم به ذکر است نظر به پوشش انبوه این گیاه در منطقه و ضریب تجمع زیستی بالا و فاکتور انتقال ۳۰ درصد استراتژی گیاه در راستای حفظ سمیت ناشی از آلومینیوم بالا در بخشهای هوایی کاملاً مشهود است (جدول ۳). علاوه بر این پتانسیل این گیاه در جذب موثر و قابل ملاحظه بخش اعظمی از عناصر نیز گزارش شده است [۱۴]. بعضی از گیاهان با سیستم ریشه ای خود با جذب عناصر،

توقیف کردن و عدم انتقال آنها به بخش های هوایی نقش مهمی را در حذف عناصر بازی می کنند. در این راستا گیاهان با سیستم ریشه ای انبوه تر و توانا تر پتانسیل بیشتری در حذف عناصر دارند. امروزه فرایند تقلیل و حذف عناصر توسط گیاهان طی فرایند گیاه پالایی و عدم وجود آنها در زنجیره ها و شبکه های غذایی مورد توجه انسان ها قرار گرفته و به امنیت غذایی آنها کمک بیشتری خواهد کرد. به طور ویژه در مورد عناصر آهن [۱۵]، مس [۱۶] و آلومینیوم [۱۷] به ترتیب حداقل یک گزارش از این فرایند گیاه پالایی آورده شده است. در گزارشی تأیید شده بیشترین میزان مس موجود در منطقه معدنی مس بوانات در گیاه درمنه تجمع یافته است [۱۸]. Yoon و همکاران (۲۰۱۵) بیشترین میزان مس را در ریشه گیاه *Gentiana pennelliana* و بیشترین میزان آن را در بخشهای هوایی *Phyla nodiflora* گزارش کردند که بر همین اساس پیشنهاد گیاه پالایی مس را گزارش نمودند (۱۱). عدم کنترل آلومینیوم و سمیت آن در گیاه خسارت های زیادی به بار می آورد. من جمله سمیت آلومینیوم، باعث مهار تقسیم و طویل شدن سلول های راس ریشه شده که در نهایت باعث کاهش جذب آب و مواد غذایی می شود [۱۹]. این عنصر می تواند به مکان هایی در سلول از جمله دیواره سلولی، غشا پلاسمایی، اسکلت سلولی و هسته ها متصل شده و در نتیجه باعث ایجاد اثراتی گردد که نشان دهنده سمیت آلومینیوم می باشد [۲۰]. آلومینیوم همچنین بر روی مکانیسم های کنترلی سازماندهی میکروتوبول اسکلت سلولی، پلی مریزاسیون توبولین و همچنین باعث بی نظمی در حرکات کروموزوم به واسطه رشته های میتوزی و تاخیر در سر هم بندی میکروتوبول ها در طی میتوز می شود [۲۱] مهار رشد ریشه اولین نشانه سمیت آلومینیوم است [۲۲]. تحت تنش آلومینیوم ریشه ها معمولاً کوتاه، شکننده و قهوه ای رنگ می شوند که در جذب آب و مواد غذایی کم بازده می باشند [۲۳]. مهار فعالیت ATPase در غشای پلاسمایی سلول های نوک ریشه [۲۴] تغییرات سطح و ترکیب لیپید غشای پلاسمایی، افزایش تنش اکسیداتیو، تشکیل و تجمع کالوز، اختلال در پویایی اسکلت سلولی و تعامل با کالمدولین [۲۵] از نشانه های سمیت آلومینیوم در ریشه ها هستند. در اندام هوایی می توان به تغییرات سلولی و فراساختاری در برگ ها، کاهش منافذ روزنه ای، کاهش فعالیت فتوسنتزی که منجر به کلروزه و نکروزه شدن برگ ها

[۳۰]. علاوه بر این آلومینیوم دارای اثرات منفی زیادی بر بدن انسان‌هاست [۳۱].

جدول ۴ میزان همبستگی عناصر خاک و گیاه را نشان می‌دهد. همبستگی بین عناصر موجود در خاک و گیاه گون نشان داد که در بین عناصر مورد بررسی عناصر مس و آهن همبستگی معنیداری در سطح پنج درصد دارند در حالی که آلومینیوم در سطح یک درصد این همبستگی را دارد. در این زمینه هم مدرکی وجود دارد که نشان می‌دهد غلظت عناصر کمیاب زمین در برگ‌های گیاه *Phytolacca americana* با غلظت آلومینیوم خاک همبستگی مثبت دارد [۳۲]. علاوه بر این در همین راستا گزارشی وجود دارد که تایید می‌کند در مورد عنصر روی جذب آن در گیاه با افزایش غلظت آن در خاک افزایش می‌یابد [۳۳].

می‌شود، اشاره نمود [۲۶] بررسی‌ها نشان می‌دهند که یون‌های چند ظرفیتی Al^{3+} در دولاپه لیپیدی غشا غیر قابل حل می‌باشد (سدی برای Al^{3+} است)، با وجود این برخی از یون‌های Al^{3+} می‌توانند از غشا عبور کنند. یک راه عبور $Fe(III)$ - فیتوسیدورفور است [۲۷]. راه دیگر مشابهت شعاع یونی با یون‌های منیزیم و آهن می‌باشد [۲۸] مطابق با بررسی‌های دانشمندان ناحیه گذار ریشه، اولین ناحیه در ریشه گیاه ذرت است که حساس به آلومینیوم می‌باشد. مهار رشد ریشه، از طریق مهار انتقال وزیکول‌هایی که شامل PIN_2 (Pin-formed) هستند از غشای پلاسمایی به اندوزوم‌ها صورت می‌گیرد [۲۹] همچنین آلومینیوم تغییر در میزان رشد، پروتئین و قندها را القا می‌کند که این تغییرات نیز از جمله نشانه‌های تنش‌های محیطی می‌باشند

جدول ۲- مقایسه میانگین عناصر مس، آهن و آلومینیوم در خاک

	آهن		مس		آلومینیوم	
	ریشه گیاه	خاک	ریشه گیاه	خاک	ریشه گیاه	خاک
C	$0/073 \pm 0/004^c$	$22/62 \pm 1/62^c$	$0/0062 \pm 0/0004^d$	$1/02 \pm 0/02^d$	$1/9 \pm 0/018^d$	$114 \pm 7/2^d$
S1	$0/97 \pm 0/006^b$	$300 \pm 14/68^b$	$0/097 \pm 0/004^c$	$16 \pm 0/62^c$	$4/93 \pm 0/2^c$	$296 \pm 9/6^c$
S2	$1/05 \pm 0/0053^b$	$326 \pm 22/62^b$	$0/099 \pm 0/003^c$	$16/34 \pm 0/68^c$	$4/67 \pm 0/24^c$	$280 \pm 11/62^c$
S3	$1/25 \pm 0/006^a$	$387 \pm 24/42^a$	$0/13 \pm 0/006^b$	$21/3 \pm 1/12^b$	$7/55 \pm 0/32^a$	$453 \pm 14/32^a$
S4	$1/025 \pm 0/0043^b$	$318 \pm 20/22^b$	$0/15 \pm 0/0073^a$	$24/9 \pm 1/62^a$	$6/4 \pm 0/28^b$	$384 \pm 17/12^b$
S5	$1/06 \pm 0/007^b$	$329 \pm 22/13^b$	$0/099 \pm 0/0042^c$	$16/18 \pm 0/76^c$	$6/05 \pm 0/25^b$	$363 \pm 13/68^b$

حروف یکسان از لحاظ آماری معنی دار نیستند.

جدول ۳- میزان تجمع زیستی و فاکتور انتقال عناصر مس، آهن و آلومینیوم در گیاه و خاک

عناصر	نمونه	فاکتور تجمع زیستی	فاکتور انتقال
مس	C	$0/0170/207843 \pm$	$0/090/264516 \pm$
	S1	$0/0370/60625 \pm$	$0/080/309278 \pm$
	S2	$0/0170/605875 \pm$	$0/070/313131 \pm$
	S3	$0/04570/610329 \pm$	$0/0660/307692 \pm$
	S4	$0/0170/60241 \pm$	$0/090/313333 \pm$
	S5	$0/070/605686 \pm$	$0/10/306122 \pm$
آهن	C	$0/070/190363 \pm$	$0/0540/340909 \pm$
	S1	$0/0370/323333 \pm$	$0/0630/340206 \pm$
	S2	$0/01680/322086 \pm$	$0/0710/342857 \pm$
	S3	$0/04670/322997 \pm$	$0/0660/344012 \pm$
	S4	$0/0370/323899 \pm$	$0/090/339806 \pm$
	S5	$0/0450/322188 \pm$	$0/0340/339623 \pm$
	C	$0/0260/166667 \pm$	$0/0260/321053 \pm$
	S1	$0/0231/665541 \pm$	$0/0330/3286 \pm$
	S2	$0/0171/667857 \pm$	$0/0420/327623 \pm$

عناصر	نمونه	فاکتور تجمع زیستی	فاکتور انتقال
آلومینیوم	S3	$0/011/671082 \pm$	$0/0160/330251 \pm$
	S4	$0/0161/651042 \pm$	$0/0180/331230 \pm$
	S5	$0/0171/663912 \pm$	$0/0220/331126 \pm$

جدول ۴- میزان همبستگی پیرسون بین عناصر گیاه با خاک

عناصر در خاک			
آلومینیوم	آهن	مس	مس
		0/618 **	مس
	0/093 ^{ns}	0/513 *	آهن
0/763 **	0/033 ^{ns}	0/123 ^{ns}	آلومینیوم

ns عدم تفاوت معنی دار. * تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد. ** تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد

نتیجه گیری نهایی

به طور کلی غلظت عناصر آهن و مس در این منطقه مورد بررسی به مراتب کمتر از حد مجاز اعلام شده است و میزان آلومینیوم خیلی بیشتر از حد مجاز است. با بررسی همبستگی میان فلزات سنگین در خاک و گیاه، با افزایش غلظت آلومینیوم در خاک مناطق نمونه برداری، غلظت آن در گون نیز افزایش پیدا می کند که نشان دهنده پتانسیل بالای گیاه گون در جذب آلومینیوم است. با توجه به نتایج این تحقیق و افزایش ضریب تجمع آلومینیوم و نظر به زیست توده بالای این گیاه و گونه غالب منطقه مورد بررسی، می توان این گیاه را به عنوان تجمع دهنده و زیست پالای آلومینیوم عنوان کرد. تحقیق بیشتری بر دامهای تغذیه کننده این گیاه در نواحی بیابانی مبنی بر انتقال آلومینیوم و تاثیر آن بر رشد، فعالیت و بررسی کیفیت محصولات پروتئینی آنها پیشنهاد می گردد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره (۹۵/۱۹۳۹) با استفاده از اعتبارات پژوهشی- پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده است.

منابع

- Bhat SA, Bashir O, Haq SAU, Amin T, Rafiq A, Ali M. Américo-Pinheiro JHP, Sher F. Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. Chemosphere, 2022. 303: 134788. DOI:10.1016/j.chemosphere.2022.134788
- Sonter LJ, Moran CJ, Barrett DJ, Soares-Filho BS. Processes of land use change in mining regions. Journal of Cleaner Production, 2014. 84: 494-501. DOI:10.1016/j.jclepro.2014.03.084
- Navarro MC, Pérez-Sirvent C, Martínez-Sánchez MJ, Vidal J, Tovar PJ, Bech J. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: a case study in a semi-arid zone. Journal of Geochemical exploration, 2008. 96(2-3): 183-193. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2007.04.011
- Loayza N, Rigolini J. The local impact of mining on poverty and inequality: evidence from the commodity boom in Peru. World development, 2016. 84: 219-234. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.03.005
- Sharma P, Tripathi S, Chandra R. Phytoremediation potential of heavy metal accumulator plants for waste management in the pulp and paper industry. Heliyon, 2020. 6 (7): e04559. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04559
- Nanda M, Kumar V, Sharma DK. Multimetall tolerance mechanisms in bacteria: The resistance strategies acquired by bacteria that can be exploited to 'clean-up' heavy metal contaminants from water. Aquatic toxicology, 2019. 212: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.04.011
- Mohamadrezakhani DAM, Fekri M, Sarcheshmehpoor M. Cu and Zn concentrations in shoot and root of Artemisia in the soil contaminated Lashkar heights Sarcheshmeh Copper Mine. 2011. Fifth national conference and exhibition of environmental engineering, Tehran. Iran.
- Eslami A. The determination of trace elements in soils and plants Meydounk Copper Mine.

- Bhat SA, Bashir O, Haq SAU, Amin T, Rafiq A, Ali M. Américo-Pinheiro JHP, Sher F. Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. Chemosphere,

- Twenty-nine meeting of Earth Sciences, 2010. Tehran, Iran.
- [9] Ostvarzadeh H. Phytoremediation of heavy metal copper from Sarcheshmeh Copper Mine. Fourth conference of environmental engineering, 2010. Tehran. Iran.
- [10] Manab D, Maiti SK. Metal accumulation in 5 native plants growing on Abandoned Cu-Tailing Ponds. *Journal of Applied Ecology and Environmental Research*, 2007. 5(1): 27-35.
- [11] Yoon J, Cao X, Zhou Q, Ma LQ. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 2015. 368: 456-664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>
- [12] Shrestha R, Ban S, Devkota S, Sharma S, Joshi R, Tiwari AP, Kim HY, Joshi, MK. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021. 9(4): 105688. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105688>
- [13] El-Amier YA, El-Alfy MA, Nofal MM. Macrophytes potential for removal of heavy metals from aquatic ecosystem, Egypt: using metal accumulation index (MAI). *Plant Archives*, 2018. 18 (2): 2131-2144.
- [14] Zareh M, Hamidian AH, Amiri B. Investigating heavy metal pollution in soil and plant (*Astragalus* sp.) in lands around Khotoun Abad melting plant. *journal of natural environment*. 1397. 71 (2): 185-195. <https://doi.org/10.22059/JNE.2018.250891.1472>
- [15] January MC, Cutright TJ, Van Keulen H, Wei R. Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As, and Fe: Can *Helianthus annuus* hyperaccumulate multiple heavy metals?. *Chemosphere*, 2008. 70(3): 531-537. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.066>
- [16] Goswami S, Das S. Copper phytoremediation potential of *Calandula officinalis* L. and the role of antioxidant enzymes in metal tolerance. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2016. 126: 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.030>
- [17] Maldaner J, Steffen GPK, Saldanha CW, Steffen RB, Tabaldi LA, Missio EL, De Moraes RM, Flores R. Combining tolerant species and microorganisms for phytoremediation in aluminium-contaminated areas. *International Journal of Environmental Studies*, 2020. 77(1): 108-121. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1560838>
- [18] Shokri KH, Shaban M. Investigation of the Impacts of Copper Mine Pollution on Soil and Plants Around the Banat Copper Mine. *Journal of environmental sciences studies*. 1398. 4 (4): 2107-2113.
- [19] Das P, Samantaray S, Rout G. Studies on cadmium toxicity in plants: a review, *Environmental pollution*, 1997. 98 (1): 29-36. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00110-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00110-3)
- [20] Ezaki B, Gardner RC, Ezaki Y, Matsumoto H. Expression of aluminum-induced genes in transgenic *Arabidopsis* plants can ameliorate aluminum stress and/or oxidative stress, *Plant Physiology*, 2000. 122 (3): 657-666. <https://doi.org/10.1104/pp.122.3.657>
- [21] Foy C, Chaney RT, White M. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual review of plant physiology*, 1978. 29 (1): 511-566.
- [22] Woolhouse H. Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals. In: *Physiological plant ecology III*. 1983. Springer, 245-300.
- [23] Vitorello VA, Capaldi FR, Stefanuto VA. Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 2005. 17 (1): p. 129-143. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100011>
- [24] Shen H, Yan XL. Types of aluminum toxicity and plants resistance to aluminum toxicity. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001. 32: 281-285.
- [25] Roy AK, Sharma A, Talukder G. Some aspects of aluminum toxicity in plants, *The botanical review*, 1988. 54 (2): 145-178. doi.org/10.1007/BF02858527
- [26] Sivaguru M, Fujiwara T, Šamaj J, Baluška F, Yang Z, Osawa H, Maeda T, Mori T, Volkmann D, Matsumoto H. Aluminum-induced 1→3-β-d-glucan inhibits cell-to-cell trafficking of molecules through plasmodesmata. A new mechanism of aluminum toxicity in plants, *Plant physiology*, 2000. 124 (3): 991-1006. <https://doi.org/10.1104/pp.124.3.991>
- [27] Nagajyoti P, Lee K, Sreekanth T. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 2010. 8 (3): 199-216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>
- [28] Kochian L, Jones D. Aluminum toxicity and resistance in plants, *Research Issues in Aluminum Toxicity* Eds RA Yokel and MS Golub Taylor and Francis Publishers, Bristol, PA, 1997.
- [29] Ma JF. Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants. *Plant and cell physiology*, 2000. 41(4): 383-390. <https://doi.org/10.1093/pcp/41.4.383>
- [30] Matsumoto H. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants, *International review of cytology*, 2000. 200: 1-

46. [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(00\)00001-2](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(00)00001-2)
- [31] Niu Q. Overview of the relationship between aluminum exposure and human health. *Neurotoxicity of Aluminum*, 2023. 1-32. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1592-7_1
- [32] Liu C. Liu WS. van Der Ent A. Morel JL. Zheng HX. Wang GB. Tang YT. Qiu RL. Simultaneous hyperaccumulation of rare earth elements, manganese and aluminum in *Phytolacca americana* in response to soil properties. *Chemosphere*, 2021. 282, 131096. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131096>
- [33] Křibek B, Majer V, Knésl, I, Nyambe I, Mihaljevič M, Ettler, V, Sracek, O. Concentrations of arsenic, copper, cobalt, lead and zinc in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) growing on uncontaminated and contaminated soils of the Zambian Copperbelt. *Journal of African Earth Sciences*. 2014. 99: 713-723. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.02.009>