

## بررسی مقاومت به آهن گونه‌های گیاهی معدن خاک نسوز استقلال آباد

طهماسب آسمانه\* و صدیقه یونسی

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۰۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۱/۰۷)

### چکیده:

حضور فلزات سنگین در لایه‌های سطحی خاک عمدتاً ناشی از فعالیت‌های صنعتی و معدن‌کاری، احتراق سوخت و غیره می‌باشد. اگرچه بسیاری از این فلزات جزء عناصر ضروری برای گیاهان محسوب می‌شوند، اما غلظت‌های بالای آن‌ها سبب بروز سمیت در گیاهان می‌گردد. برخی از گیاهان روئیده در مناطق معدنی نسبت به تنش مقادیر بالای فلزات سنگین دارای مقاومت می‌باشند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی مقاومت به آهن گونه‌های گیاهی روئیده در منطقه معدن خاک نسوز استقلال آباد (فارس، ایران) بوده است. بدین منظور، نمونه‌برداری از خاک شش ناحیه معدن و یک منطقه شاهد انجام گرفت. نمونه‌های گیاهی در هر منطقه نیز جمع‌آوری گردید. پس از نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها پارامترهایی از قبیل اسیدیته، هدایت الکتریکی، آهن قابل تبادل، آهن کل خاک و مقدار آهن گیاه تعیین گردید. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد مقدار آهن کل و قابل تبادل خاک‌های نمونه‌برداری شده از معدن در مقایسه با شاهد (خاک ناحیه غیر معدنی) افزایش معنی‌داری داشت. با بررسی مقادیر آهن در گونه‌های گیاهی، می‌توان نتیجه گرفت که برخی از گیاهان روئیده در معدن نسبت به سمیت آهن مقاوم بوده و از هر دو راهبرد اجتناب و تحمل برای مقاومت در برابر مقادیر بالای آهن استفاده می‌کنند. از جمله گیاهان اجتناب‌کننده می‌توان گونه‌های: *Nepeta* *Erysimum* *Peganum harmala* و *Iris spuria* *Lappula drobovii* *Lepidium persicum* *anacrosiphon* *Ochertia brardoiedes* و *Cleome rupicola* *Salvia sclarea* *Mathiola ovatifolia* *repandum* را نام برد.

کلمات کلیدی: پوشش گیاهی، سمیت آهن، راهبرد اجتناب، راهبرد تحمل، فلزات سنگین، معدن‌کاری.

### مقدمه:

فراوان پوسته زمین است، سومین عنصر محدود کننده رشد گیاهان نیز محسوب می‌شود آهن یکی از عناصر کم‌مصرف مورد نیاز گیاهان به شمار می‌آید که جایگاه خاصی در تغذیه گیاه دارد و هر گونه اختلال در قابلیت استفاده از آن موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (Kirk and Bajita, 1995). میزان در دسترس بودن آهن در خاک و جذب آن توسط ریشه گیاه بستگی به مقدار کل آن، اسیدیته، شرایط اکسید و احیایی خاک و شکل آهن محلول دارد. افزایش غلظت آهن در خاک‌های اسیدی، احتمال ایجاد سمیت توسط آن را در گیاه زیاد می‌کند،

حضور فلزات سنگین (فلزاتی با چگالی بیش از  $5 \text{ g.cm}^{-3}$ ) در لایه‌های سطحی خاک عمدتاً ناشی از فعالیت‌های صنعتی و معدن‌کاری، احتراق سوخت و غیره می‌باشد. اگرچه بسیاری از این فلزات جزء عناصر ضروری برای گیاهان محسوب می‌شوند، اما غلظت‌های بالای آن‌ها سبب بروز سمیت در گیاهان می‌گردد (Baker and Brooks, 1989; Parekh et al., 1990). آهن به عنوان یکی از فلزات سنگین، از جمله فراوانترین عنصر فلزی موجود در کره زمین بوده و در حالی که چهارمین عنصر

\*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: asemaneh@yu.ac.ir

در حالی که رسوب آن با آنیون‌های هیدروکسید یا بی‌کربنات، غلظت‌ناشکل‌های محلول آن را در خاک‌های قلیایی پایین می‌آورد (Briat et al., 1995; Marschner, 1995).

بسیاری از گونه‌های گیاهی، دامنه‌ی وسیعی از انواع خاک را تحمل می‌کنند. در نتیجه عوامل خاک، معمولاً محدودکننده‌ی اصلی برای توزیع گیاهان نیستند. اما اغلب خاک‌هایی که بر روی تشکیلات زمین‌شناسی غیرمعمول توسعه یافته‌اند، مانند معادن و سرپنتین (*Serpentine*)، با توجه به ترکیبات خاصی که دارند، دارای پوشش گیاهی مخصوص به خود هستند. غلظت‌های بالای برخی عناصر موجود در این خاک‌ها و یا عدم تناسب غلظت این عناصر می‌تواند به عنوان تنش غیر زیستی بر اکولوژی و فیزیولوژی گیاهان منطقه اثر گذار باشد که از جمله این معادن، معدن خاک نسوز است که غلظت‌های بالای آهن و آلومینیوم دارد.

معدن خاک نسوز استقلال آباده با مساحت تقریبی ۱۵/۵ هکتار در استان فارس و در ۲۱۸ کیلومتری جنوب شرق اصفهان و ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان آباده در طول جغرافیایی ۴۲ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع معدن از سطح دریا ۲۲۰۰ تا ۲۳۰۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه در منطقه معدن ۱۳۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت نسبی ۳۵ درصد است. معدن دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های معتدل می‌باشد. از آن جایی که منشأ سنگ اولیه خاک نسوز از سنگ‌های گرانیتی بوده اکسیدهای آهن و سیلیس در این خاک به وفور دیده می‌شود (اطمینان ۱۳۸۶). افزایش مقدار آهن می‌تواند به ایجاد اکسیژن فعال و در نتیجه تنش اکسیداتیو در گیاه منجر شود. سمیت آهن می‌تواند به سرعت بسیاری از فرایندهای متابولیکی را متوقف کند و باعث کاهش رشد رویشی به‌ویژه کاهش رشد ریشه گیاهان شود (Sahrawat, 2004). برخی از گیاهان روئیده در مناطق معدنی نسبت به تنش مقادیر بالای فلزات سنگین دارای مقاومت می‌باشند. لذا در این پژوهش، مقاومت به آهن گونه‌های گیاهی روئیده در منطقه معدن خاک

نسوز استقلال آباده مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها:

گونه‌های گیاهی به همراه نمونه‌های خاکی مربوطه به محدوده‌ی معدن از جمله اطراف معادن متروکه، قسمت‌های در حال استخراج، محل ریختن باطله‌ها (منطقه چاه محفوظ) و گیاهان کشت شده به روش پیمایشی جمع‌آوری شد. سپس نمونه‌های هرباریومی تهیه و کلیه گونه‌ها بر اساس منابع موجود و روش‌های مرسوم مورد شناسایی قرار گرفتند (Rechinger, 1963-2010، قهرمان ۱۳۸۰-۱۳۵۷، اسدی ۱۳۸۴-۱۳۷۱). برای اندازه‌گیری مقادیر عناصر موجود در خاک و نمونه‌های گیاهی از روش Reeves و همکاران (۱۹۹۹) استفاده گردید. بر اساس این روش، برای اندازه‌گیری مقادیر عناصر موجود در نمونه‌های گیاهی، برگ‌های گیاهان جمع‌آوری شده سه بار با آب مقطر شستشو داده شد و در داخل پاکت‌های مخصوص قرار گرفت. سپس نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک گردید. پس از آن حدود یک گرم از برگ‌های خشک هر نمونه به مدت ۱۴ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن، خاکستر حاصل در ۱۰ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۱۰٪ حل گردید. پس از صاف کردن، محلول‌ها درون لوله‌های پلاستیکی مخصوص ریخته شد و مقدار آهن در آن‌ها توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (مدل Varian AA240) مورد آنالیز قرار گرفت.

جهت اندازه‌گیری آهن کل خاک، حدود ۵ گرم از هر نمونه در هاون چینی ساییده شد و در دمای ۷۰ درجه به مدت ۵ ساعت در آون خشک گردید. سپس به روش هضم اسیدی خاک به خوبی تجزیه شد. پس از صاف کردن با آب مقطر دوباره تقطیر به حجم رسید. در نهایت ۱۵ میلی‌لیتر از هر نمونه برداشته و مقادیر عناصر مورد نظر در این محلول‌ها توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی آنالیز گردید.

جهت اندازه‌گیری مقادیر قابل تبادل آهن خاک، نمونه خاک در شرایط آزمایشگاه خشک گردید و از الک دو میلی

نیز محاسبه گردید. مطابق جدول شماره ۱ میزان آهن قابل تبادل خاک در مناطق معدنی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارد به طوری که در مناطق استخراجی استقلال ۱ و ۲ میزان عنصر مذکور نسبت به سایر مناطق و منطقه شاهد افزایش معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ نشان داد. بالاترین میزان آهن قابل تبادل مشاهده شده مربوط به منطقه استخراجی استقلال ۱ (میانگین ۵/۳ میکروگرم بر گرم) و کمترین آن متعلق به منطقه متروکه (میانگین ۰/۷۲ میکروگرم بر گرم) بود که تقریباً معادل منطقه شاهد (میانگین ۰/۶۸ میکروگرم بر گرم) است. همچنین میزان آهن قابل تبادل در منطقه استخراجی استقلال ۲ افزایش چشمگیری نسبت به منطقه شاهد داشت به طوری که میانگین غلظت آن ۳/۲ میکروگرم بر گرم می‌باشد.

#### تغییرات اسیدیته و EC خاک مناطق معدنی و شاهد:

اسیدیته خاک بر بسیاری پارامترهای زیست محیطی تأثیر می‌گذارد. با توجه به نتایج حاصل از سنجش اسیدیته خاک، pH مناطق مورد مطالعه بین ۷/۴۴ تا ۸/۷۹ متغیر می‌باشد (جدول ۱) و اسیدیته خاک منطقه معدن استخراجی، منطقه متروکه و منطقه دست‌کاشت نسبت به منطقه شاهد کاهش معنی‌دار داشته است. شوری یکی از عوامل محدود کننده رشد گیاهان است. از آنجایی که یکی از روش‌های بررسی میزان شوری خاک، تعیین EC می‌باشد این شاخص در نمونه‌های حاکی نیز اندازه‌گیری و مقایسه گردید (جدول ۱). آنالیز نتایج حاکی از آن است که EC نمونه‌های خاک بین ۰/۲۳ الی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر متغیر می‌باشد. بر این اساس خاک‌های مورد بررسی در ۳ گروه با مقادیر EC (۰/۲۳-۰/۳) - (۰/۳-۰/۶) و (۰/۶-۱/۵) دسی‌زیمنس بر متر قرار دارد که از نظر آماری در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند. با این وجود از آنجایی که خاک‌های شور دارای EC بیش از ۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند (Archibold, 1995)، خاک مناطق مختلف معدن جزء خاک‌های غیر شور طبقه‌بندی می‌شود.

#### مقادیر آهن در گیاهان مناطق معدن و شاهد: مقدار آهن

انباشته شده در بخش‌های هوایی گونه‌های گیاهی که از منطقه جمع‌آوری شده بودند نیز، اندازه‌گیری شد. دامنه مقدار آهن از

متری عبور داده شد. سپس نیترات آمونیوم ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) یک مولار به نمونه‌ها اضافه گردید و پس از صاف نمودن مخلوط حاصل، به محلول اسیدنیتریک ۰/۲ درصد اضافه شد و در نهایت، مقادیر قابل تبادل عناصر مورد نظر، با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی Varian مدل Spectra AA 240 تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری pH خاک ابتدا ۱۰ گرم خاک غربال شده با ۳۰ میلی لیتر آب مقطر به خوبی مخلوط گردید پس از گذشت ۳۰ دقیقه pH محلول رویی با استفاده از pH متر اندازه‌گیری شد. شوری خاک نیز، با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی (EC سنج) بر اساس واحد دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد (Betsch and Bloom, 1996).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS18.0 صورت پذیرفت. روش آماری مورد استفاده آنالیز واریانس یک طرفه در سطح ۰/۰۵ درصد بوده است.

#### نتایج:

در این مطالعه در مجموع ۱۱۰ نمونه گیاهی جمع‌آوری گردید. که از این تعداد گیاهانی که قابل شناسایی بودند به ۳۶ خانواده و ۸۱ جنس تعلق دارند.

#### تغییرات غلظت مقادیر کل و قابل تبادل آهن خاک: جدول

۱ برخی از ویژگی‌های خاک از قبیل مقادیر کل و قابل تبادل عنصر آهن (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک)، pH و EC را در خاک‌های مناطق مختلف معدن و شاهد نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج حاصل، در خاک معدن مقدار کل آهن بطور میانگین در منطقه دست‌کاشت ۱۷۰۰۰، منطقه استخراجی استقلال ۱ ۱۷۳۰۰، منطقه متروکه ۳۰۰۰۰ و منطقه چاه محفوظ ۲۶۰۰۰ میکروگرم بر گرم بوده که با مقادیر این عنصر در منطقه ورودی معدن و منطقه شاهد (به ترتیب ۱۲۰۰۰ و ۱۴۲۰۰ میکروگرم بر گرم) دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0/05$ )

از آنجایی که جذب فلزات توسط گیاه عموماً از منبع قابل تبادل خاک صورت می‌گیرد مقدار عنصر در حالت قابل تبادل

جدول ۱- مقادیر عنصر آهن (در حالت کل و قابل تبادل بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک)، pH و EC (بر حسب دسی‌زیمنس بر متر) خاک‌های مناطق مختلف معدن خاک نسوز استقلال آباده.

مناطق		Fe	pH	EC
منطقه دست کاشت	مقادیر کل	۱۷۰۹۳±۲۹۳/۲ <sup>b</sup>	۸/۲۱±۰/۱۱ <sup>b</sup>	۰/۵۶±۰/۰۶ <sup>ab</sup>
	مقادیر قابل تبادل	۱/۷±۰/۱۲ <sup>ab</sup>		
منطقه استخراجی استقلال ۱	مقادیر کل	۱۷۳۷۸± ۲۰۷۰ <sup>b</sup>	۸/۲۳±۰/۱۲ <sup>b</sup>	۰/۲۵±۰/۰۴ <sup>a</sup>
	مقادیر قابل تبادل	۵/۳±۰/۴ <sup>d</sup>		
منطقه استخراجی استقلال ۲	مقادیر کل	۱۶۷۵۶±۳۰۱ <sup>b</sup>	۸/۷۹±۰/۱۲ <sup>c</sup>	۰/۲۳ ± ۰/۰۱ <sup>a</sup>
	مقادیر قابل تبادل	۳/۳±۰/۴ <sup>c</sup>		
منطقه متروکه	مقادیر کل	۳۰۲۱۰±۱۸۰۰ <sup>d</sup>	۷/۴۴±۰/۱۲ <sup>a</sup>	۱/۴۲±۰/۱ <sup>c</sup>
	مقادیر قابل تبادل	۰/۷۲±۰/۱۴ <sup>a</sup>		
منطقه چاه محفوظ	مقادیر کل	۲۶۲۹۵± ۱۳۷۶ <sup>c</sup>	۸/۶۳±۰/۱۶ <sup>c</sup>	۰/۶۱±۰/۰۴ <sup>b</sup>
	مقادیر قابل تبادل	۱/۵ ± ۰/۱ <sup>ab</sup>		
منطقه ورودی معدن	مقادیر کل	۱۴۲۹۳± ۵۷۵/۳ <sup>a</sup>	۸/۶۵ ± ۰/۱۲ <sup>c</sup>	۰/۳ <sup>b</sup> ± ۰/۰۱ <sup>ab</sup>
	مقادیر قابل تبادل	۲/۷± ۰/۷ <sup>bc</sup>		
منطقه شاهد	مقادیر کل	۱۲۳۲۸± ۳۹۵/۳ <sup>a</sup>	۸/۶۶±۰/۱۱ <sup>c</sup>	۰/۴۳±۰/۰۵ <sup>ab</sup>
	مقادیر قابل تبادل	۰/۶۸± ۰/۱ <sup>a</sup>		

هر عدد میانگین ۵ تکرار ± انحراف معیار می باشد. حروف متفاوت در هر ستون بیانگر معنی دار بودن تفاوت مقدار عنصر در خاک‌های مختلف با استفاده از آزمون Duncan می باشد (P < ۰/۰۵).

روی پوشش گیاهی مناطق اطراف تأثیرگذار هستند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که به طور میانگین غلظت آهن کل در مناطق مورد بررسی بجز منطقه شاهد از ۱۴۰۰۰-۳۰۰۰۰ متغیر می‌باشد که این میزان در مناطق معدنی نسبت به خاک‌های معمولی بیشتر است. غلظت آهن به طور معمول در خاک‌ها ۱۴۰۰۰ میکروگرم بر گرم گزارش شده است (Kim and Guerinot, 2007; Jankiewicz *et al.*, 2002; Tagliavini *et al.*, 1995).

با توجه به جدول شماره ۱ می‌توان این‌گونه بیان کرد بیشترین میزان آهن متصل شده به ذرات خاک در مناطق معدنی مربوط به منطقه متروکه (۳۰۰۰۰ میکروگرم بر گرم) می‌باشد که نسبت به منطقه شاهد و سایر مناطق معدن افزایش چشمگیری نشان داده است.

وجود مقادیر بالای آهن در مناطق مختلف معدن می‌تواند باعث بروز سمیت برای پوشش گیاهی منطقه باشد. از آنجا که

حداقل ۳۵ تا حداکثر ۱۱۳۹ میکروگرم در گرم ثبت گردید (جدول شماره ۲) که بیشترین مقدار مربوط به جنس *Salvia sclarea* L. از منطقه استخراجی استقلال ۱ بود.

#### بحث:

فلزات سنگین از مهم‌ترین ترکیبات غیرآلی آلوده کننده محیط زیست محسوب می‌شود. آلودگی خاک با فلزات سنگین در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی، آبکاری فلزات، استفاده از آفت کش‌ها، ضایعات فلزی و فعالیت‌های صنعتی ایجاد می‌شود. همچنین فعالیت‌های معدن‌کاری و استخراج فلزات از عوامل عمده در آلودگی خاک‌ها هستند و عموماً خاک‌های سطحی اطراف معادن حاوی مقادیر بالایی از این فلزات هستند.

معادن فلزات سنگین دارای تأثیرات مهمی بر روی پوشش گیاهی مناطق اطراف خود هستند. سنگ‌های باطله، ضایعات و مواد شیمیایی بکار رفته در طی مراحل خالص‌سازی فلزات بر

جدول ۲- غلظت آهن در نمونه‌های گیاهی روئیده در مناطق مختلف معدن خاک نسوز استقلال آباده و شاهد بر حسب میکروگرم در گرم وزن خشک.

مناطق	نام علمی گیاه	تیره	میانگین $\pm$ انحراف معیار
منطقه دست کاشت	<i>Populus alba</i>	Salicaceae	۲۵/۲ $\pm$ ۱۵۷/۲
	<i>Armeniaca vulgaris</i>	Rosaceae	۸ $\pm$ ۱۳۹/۲
	<i>Tamarix ramosissima</i>	Tamaricaceae	۱۳/۲ $\pm$ ۱۹۳
	<i>Berberis integrima</i>	Berberidaceae	۱۶ $\pm$ ۲۸۲/۱
	<i>Thuja orientalis</i>	Cupresaceae	۵/۸ $\pm$ ۱۳۱/۷
	<i>Cersis siliquastrum</i>	Fabaceae	۱۲/۶ $\pm$ ۲۵۳
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabaceae	۹ $\pm$ ۱۵۸/۲
	<i>Melilotus officinalis</i>	Fabaceae	۱۰/۵ $\pm$ ۲۴۶/۳
	<i>Morus alba</i>	Moraceae	۹/۹ $\pm$ ۲۳۵/۸
	<i>Cydonia oblonga</i>	Rosaceae	۱۲/۲ $\pm$ ۲۱۵/۶
	<i>vitis vinifera</i>	Vitaceae	۵/۳ $\pm$ ۱۰۰/۳
	<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceae	۵/۹ $\pm$ ۱۳۷/۷
	<i>Dianthus orientalis</i>	Caryophyllaceae	۲۲/۴ $\pm$ ۲۴۳/۱
	<i>Calendula persica</i>	Asteraceae	۵/۶ $\pm$ ۱۴۵/۵
منطقه استخراجی استقلال ۱	<i>Onobrychis sp</i>	Fabaceae	۱۴/۶ $\pm$ ۴۲۶/۹
	<i>Erysimum repandum</i>	Brassicaceae	۴۲/۴ $\pm$ ۷۳۷/۸
	<i>Silene sp</i>	Caryophyllaceae	۲۴/۹ $\pm$ ۲۶۲/۹
	<i>Mathiola ovatifolia</i>	Brassicaceae	۲۷/۳ $\pm$ ۴۸۱/۳
	<i>Allium sp</i>	Liliaceae	۷/۷ $\pm$ ۱۳۵/۹
	<i>Nepeta sp</i>	Lamiaceae	۲۹/۹ $\pm$ ۲۲۲/۵
	<i>Nepeta macrosiphon</i>	Lamiaceae	۱۵/۸ $\pm$ ۱۸۱/۲
	<i>Salvia sclarea</i>	Lamiaceae	۲۵/۱ $\pm$ ۱۱۳۹/۳
	<i>Brossardia sp</i>	Poaceae	۴/۲ $\pm$ ۲۴۷/۱
	<i>Eryngium sp</i>	Apiaceae	۷/۲ $\pm$ ۱۱۹/۴
	<i>Astragalus sp</i>	Fabaceae	۶/۹ $\pm$ ۱۲۴/۲
	<i>Lepidium persicum</i>	Brassicaceae	۱۳/۶ $\pm$ ۱۵۸/۸
	<i>Iris caucasica</i>	Iridaceae	۱۴/۸ $\pm$ ۴۱۱/۹
	<i>Parlatoria rostrata</i>	Brassicaceae	۱۷/۱ $\pm$ ۳۲۴/۲
	<i>Allium scabriscapum</i>	Liliaceae	۳۲/۷ $\pm$ ۲۳۶/۶
	<i>Onobrychis sp</i>	Fabaceae	۱۰/۹ $\pm$ ۳۴۴
	<i>Astragalus sp</i>	Fabaceae	۹/۴ $\pm$ ۲۳۳/۶
	<i>Acantholimon sp</i>	Plumbaginaceae	۱۴/۲ $\pm$ ۱۵۶/۲
	<i>Cleome rupicola</i>	Caparidaceae	۱۱/۷ $\pm$ ۴۲۰
	<i>Tragopogon sp</i>	Asteraceae	۱۰/۴ $\pm$ ۲۵۳/۶
<i>Tragopogon graminifolia</i>	Asteraceae	۷/۷ $\pm$ ۳۰۵	
<i>Valerianella sp</i>	Valerianaceae	۱۰/۷ $\pm$ ۱۷۶/۳	
<i>Arthemisia sp</i>	Asteraceae	۱۰/۹ $\pm$ ۵۱۶/۹	
<i>Erysimum repandum</i>	Brassicaceae	۱۲/۴ $\pm$ ۴۲۷/۳	

ادامه جدول ۲-

منطقه استخراجی استقلال ۱	<i>Artemisia sp</i>	Asteraceae	۹/۶ ± ۴۸۰/۸
	<i>Anthemis sp</i>	Asteraceae	۵/۴ ± ۱۹۸/۵
	<i>Cousinia sp</i>	Asteraceae	۱۹/۵ ± ۸۰۹/۷
	<i>Ochertia brardoiedes</i>	Asteraceae	۲۵/۱ ± ۹۴۹/۹
	<i>Haloxylon sp</i>	Polygonaceae	۸/۴ ± ۱۲۵/۷
	<i>Silene sp</i>	Caryophyllaceae	۳۴/۹ ± ۱۷۰/۹
	<i>Nepeta macrosiphone</i>	Lamiaceae	۵/۹ ± ۱۲۶/۶
	<i>Lappula drobovii</i>	Boraginaceae	۳/۶ ± ۱۱۱/۷
	<i>Eryngium billardieri</i>	Apiaceae	۱۴/۵ ± ۲۲۹/۳
	<i>Dianthus orientalis</i>	Asteraceae	۴۷/۸ ± ۳۰۱/۵
	<i>Ochertia sp</i>	Asteraceae	۹/۸ ± ۲۴۹/۸
	<i>Orobancha kotschy</i>	Orobanchaceae	۹/۳ ± ۱۸۴/۸
	<i>Parlaturia rosterata</i>	Brassicaceae	۴۱/۹ ± ۳۱۹/۵
	<i>Scabiosa flavida</i>	Dipsaceae	۶/۴ ± ۲۵۷/۸
	<i>Iris spuria</i>	Iridaceae	۲۱/۱ ± ۱۷۶/۹
	<i>Nepeta sp</i>	Lamiaceae	۱۵/۷ ± ۲۱۰/۸
	<i>Nepeta sp</i>	Lamiaceae	۱۴/۱ ± ۲۷۰/۹۲
	<i>Onosma microcarpum</i>	Boraginaceae	۱۰/۷ ± ۲۳۰/۴
	<i>Scabiosa flavida</i>	Dipsaceae	۷/۴ ± ۱۹۵/۷
	<i>Lactuca sp</i>	Asteraceae	۱۱/۵ ± ۱۳۲/۸
<i>Iris sanguinea</i>	Iridaceae	۴۳/۲ ± ۲۷۱	
منطقه استخراجی استقلال ۲	<i>Artemis sp</i>	Asteraceae	۵۳/۸ ± ۲۹۶/۸
	<i>Tragopogon graminifolia</i>	Asteraceae	۱۱/۷ ± ۲۵۱/۲
	<i>Clypeola aspera</i>	Brassicaceae	۸/۸ ± ۱۵۸/۴
	<i>Reseda Arabica</i>	Resedaceae	۱۰/۲ ± ۲۰۸/۳
	<i>Ephedra sp</i>	Ephedraceae	۱۱/۴ ± ۱۱۸
	<i>Stipa barbata</i>	Poaceae	۲۲/۵ ± ۱۷۵/۶
	<i>Acantholimon sp</i>	Asteraceae	۸/۶ ± ۱۵۰/۵
	<i>Cousinia sp</i>	Asteraceae	۶/۷ ± ۱۳۹/۴
	<i>Nepeta sp</i>	Lamiaceae	۳۳/۴ ± ۲۱۵
	<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceae	۸/۵ ± ۱۵۲
	<i>Astragalus sp</i>	Asteraceae	۷/۳ ± ۱۲۵/۴
	<i>Onobrychis sp</i>	Fabaceae	۱۲/۲ ± ۱۸۲
	<i>Achillea sp</i>	Asteraceae	۵/۲ ± ۲۲۳/۴
	<i>Artemisia sp</i>	Asteraceae	۴/۷ ± ۱۴۲/۶
	<i>Astragalus sp</i>	Fabaceae	۱۰/۹ ± ۱۸۲/۹
	<i>Cleome rupicola</i>	Caparidaceae	۱۶/۷ ± ۳۴۷/۲
	<i>Bromus gracillimus</i>	Poaceae	۱۷/۲ ± ۱۰۹۱/۸
	<i>Cersium sp</i>	Asteraceae	۱۴ ± ۱۷۲/۸

ادامه جدول ۲-

منطقه متروکه	<i>Cardaria draba</i>	Brassicaceae	۵/۷ ± ۱۳۴
	<i>Tamarix ramosissima</i>	Tamaricaceae	۶/۸ ± ۸۵/۵
	<i>Scutellaria sp</i>	Lamiaceae	۶/۳ ± ۱۳۳/۷
منطقه چاه محفوظ	<i>Nepeta sp</i>	Lamiaceae	۲۷ ± ۲۶۸/۸
	<i>Haloxylon sp</i>	Polygonaceae	۷/۴ ± ۱۳۴/۶
	<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceae	۷/۱ ± ۱۲۸
	<i>Zosimia abisinhtifolia</i>	Apiaceae	۸/۹ ± ۱۵۳
	<i>Cousinia sp</i>	Asteraceae	۵/۱ ± ۸۸/۹
	<i>Tragopogon graminifolia</i>	Asteraceae	۱۱/۴ ± ۲۰۴/۴
	<i>Arthemisia sp</i>	Asteraceae	۳/۸ ± ۱۶۵/۴
	<i>Onobrychis sp</i>	Papilionaceae	۱۹/۲ ± ۱۲۴
	<i>Allium scabriscapum</i>	Liliaceae	۹ ± ۲۱۷/۴
	<i>Boissieria Squarrosa</i>	Poaceae	۱۳/۳ ± ۱۴۵/۲
	<i>Tragopogon graminifolia</i>	Asteraceae	۲۴ ± ۲۲۳
	<i>Hordeum glaucum</i>	Poaceae	۳۸/۵ ± ۱۳۴
	<i>Acantholimon sp</i>	Plumbaginaceae	۶/۸ ± ۸۰/۹
	<i>Alhagi camelorum</i>	Fabaceae	۴/۴ ± ۱۲۴/۵
	<i>Anthemis sp</i>	Asteraceae	۱۶/۵ ± ۴۸۲/۸
	<i>Salvia sp</i>	Lamiaceae	۱۰/۲ ± ۱۹۵/۲
	<i>Lactuca sp</i>	Asteraceae	۷/۶ ± ۲۲۲/۱
	<i>Erysimum repandum</i>	Brassicaceae	۱۹/۶ ± ۵۲۰/۴
	<i>Onobrychis sp</i>	Papilionaceae	۱۳/۸ ± ۲۶۳/۶
	<i>silene sp</i>	Brassicaceae	۱۳/۴ ± ۲۹۳/۹
	<i>Ebenus stellata</i>	Fabaceae	۷ ± ۱۴۴/۸
	<i>Morus alba</i>	Moraceae	۴/۸ ± ۱۹۸/۷
	<i>Bromus glacillimus</i>	Poaceae	۲۸/۵ ± ۵۸۲/۷
	<i>Achillea sp</i>	Asteraceae	۲/۴ ± ۷۴۷/۲
	<i>Stipa barbata</i>	Poaceae	۵/۲ ± ۱۴۹/۸
	<i>Ailanthus altissima</i>	Simaroubaceae	۸/۲ ± ۹۹/۵
	<i>Ziziphora tenuior</i>	Lamiaceae	۴/۹ ± ۱۲۶
ورودی معدن	<i>Hyosyamus sp</i>	Solanaceae	۲۵/۱ ± ۳۶۹/۳
	<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceae	۴/۵ ± ۱۶۲/۵
	<i>Melilutus officinalis</i>	Fabaceae	۵/۳ ± ۱۴۸/۵
	<i>Iris sangauinea</i>	Iridaceae	۷/۸ ± ۷۳/۵
	<i>Stipa barbata</i>	Poaceae	۴/۲ ± ۱۲۹/۳
	<i>Brosserdia sp</i>	Poaceae	۳/۴ ± ۱۵۲/۴
	<i>Anthemisia sp</i>	Asteraceae	۱۰/۹ ± ۲۵۰/۳
	<i>Onobrychis sp</i>	Fabaceae	۸ ± ۱۳۵/۷
<i>Eremostachys macrophylla</i>	Lamiaceae	۳۷/۴ ± ۴۰۸/۶	

ادامه جدول ۲-

ورودی معدن	<i>Astragalus sp</i>	Fabaceae	۲۱/۶ ± ۲۲۴/۳
	<i>Cousinia sp</i>	Asteraceae	۳ ± ۸۲/۱
	<i>Cleome rupicola</i>	Capparidaceae	۸/۴ ± ۲۵۵/۶
	<i>Allium sp</i>	Liliaceae	۲/۷ ± ۱۴۱/۲
	<i>Astragalus sp</i>	Fabaceae	۱۴/۸ ± ۱۷۶/۷
	<i>Iris caucasica</i>	Iridaceae	۳۷/۵ ± ۳۴۷
	<i>Cousinia sp</i>	Asteraceae	۷/۱ ± ۱۶۷/۶
	<i>Onobrychis sp</i>	Fabaceae	۳/۴ ± ۸۵۲/۳
	<i>Salvia sp</i>	Lamiaceae	۱/۸ ± ۸۴/۷
	<i>Iris caucasica</i>	Iridaceae	۱۵/۷ ± ۱۴۴/۶
	<i>Ocheria brardoiedes</i>	Asteraceae	۶/۸ ± ۹۵/۵
	<i>Zosimia abisinthifolia</i>	Apiaceae	۵/۵ ± ۹۱/۳
	منطقه شاهد	<i>Althea sp</i>	Malvaceae
<i>Cephalaria microcephala</i>		Dipasaceae	۵/۹ ± ۳۴/۴
<i>Nepeta sp</i>		Lamiaceae	۸/۲ ± ۱۲۳/۶
<i>Cousinia sp</i>		Asteraceae	۲/۵ ± ۱۲۳/۱
<i>Astragalus sp</i>		Fabaceae	۲۷/۸ ± ۱۲۲/۱
<i>Hormuzakia aggregate</i>		Boraginaceae	۴/۸ ± ۱۰۱/۱
<i>Scabiosa flavida</i>		Dipasaceae	۴/۷ ± ۳۷/۴
<i>Ebenus stellata</i>		Fabaceae	۹/۸ ± ۵۲/۲
<i>Onosma microcarpum</i>		Boraginaceae	۶/۷ ± ۱۲۴/۴
<i>Acantholimon sp</i>		Asteraceae	۷/۸ ± ۶۵/۳
<i>Eryngium sp</i>	Apiaceae	۳/۷ ± ۳۵/۱	

هر عدد میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار می باشد.

بیشتری به محیط ریشه گیاه نفوذ می کند بنابراین میزان بیشتری آهن به بافت های گیاه نفوذ خواهد کرد و احتمال سمیت گیاه افزایش پیدا خواهد کرد.

نتایج حاصل از آنالیز نمونه های خاک (جدول ۱)، بیانگر این است که غلظت آهن قابل تبادل در خاک مناطق معدنی نسبت به خاک های معمولی بیشتر است این میزان در خاک معادن در بعضی نقاط تا ۱۵ میکروگرم بر گرم می رسد در حالی که غلظت قابل تبادل در خاک های معمولی حداکثر ۴ میکرو گرم بر گرم است (Kim and Guerinot, 2007). میزان آهن قابل تبادل خاک در منطقه معدنی استخراجی استقلال ۱ و ۲ تفاوت معنی داری با یکدیگر داشته و میزان عنصر مذکور

ورود فلزات به داخل گیاه عمدتاً توسط ریشه و از خاک انجام می شود، بالا رفتن غلظت فلزات سنگین در خاک باعث ایجاد سمیت، بازداشتن رشد و از بین رفتن بسیاری از گیاهان می شود (Jankiewicz et al., 2002; Suresh, 2005).

آهن قابل تبادل یکی از بهترین شاخص های سنجش میزان آلودگی آهن خاک می باشد میزان آهن قابل تبادل خاک به معنی میزان آهنی از خاک می باشد که می تواند از ذرات خاک جدا شده و جذب ریشه گیاهان شود و یا اینکه در محیط آبی خاک نفوذ کند. هر چه میزان این شاخص مهم در خاک بیشتر باشد خطر سمیت آهن نیز بالاتر خواهد رفت به عبارت دیگر در این شرایط آزادسازی آهن از ذرات خاک بیشتر شده و آهن

مقادیر بالای فلزات سنگین در گیاهان حساس باعث ایجاد مسمومیت در گیاه می‌گردد. غلظت معمول آهن در بافت‌های گیاهی تا ۳۵۰ میکروگرم در گرم گزارش شده است و غلظت بیشتر از ۳۵۰ میکروگرم در گرم آهن سبب ایجاد سمیت در گیاه می‌شوند (Jankiewicz *et al.*, 2002; Suresh, 2005). از آنجاییکه گیاهان این گروه آثار ظاهری حاصل از سمیت آهن که نشانه مشخص آن معمولاً به صورت لکه‌های قهوه‌ای ریز روی برگ، و ریشه کوتاه، کلفت و خشن است را بروز نمی‌دهند از راهبردهای مقاومت به تنش فلزات سنگین استفاده می‌کنند. برای این مقاومت احتمالاً از مکانیسم‌هایی استفاده می‌کنند که این مکانیسم‌ها در سمیت‌زدایی و بنابراین تحمل نسبت به تنش فلز سنگین دخیل هستند. این مکانیسم‌ها شامل کاهش جذب و تجمع فلزات سنگین توسط دیواره سلولی و غشاء پلاسمایی، ترشحات برون سلولی، پیوند شدن فلزات در سلول توسط پروتئین‌هایی از قبیل متالوتیونین‌ها و فیتوکلاتین-ها، پیوند فلزات در سلول توسط لیگاندهای آلی با وزن مولکولی کم از قبیل اسیدها، آمینواسیدها و پپتیدها، القا پروتئین‌های شوک گرمایی و حجره‌بندی فلزات در واکنش می‌باشند (Hall, 2002; Marschner, 1995; Stoyanova and Doncheva, 2002). نوع مکانیسم آهن در این زمینه را مشخص کند.

همانطور که گفته شد از بین ۱۰۰ گونه گیاهی شناسایی شده در این تحقیق تعدادی از گونه‌های گیاهی مقادیر بالایی از آهن را در برگ‌های خود تجمع داده بودند به طوری که حداکثر غلظت آهن در برگ‌های *Salvia sclarea* از خانواده *Lamiaceae* (جمع‌آوری شده از منطقه استخراجی استقلال ۱)، *Bromus gracillimus* Bunge از خانواده *Poaceae* (جمع‌آوری شده از منطقه استخراجی استقلال ۲) و به ترتیب حدود ۱۱۶۴/۴۸ و ۱۱۱۲ میکروگرم در گرم اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه غلظت‌های بیش از ۱۰۰۰ میکروگرم در گرم به‌عنوان انباشتگر در نظر گرفته می‌شوند احتمالاً این گیاهان انباشتگر آهن می‌باشند. که این خود نیاز به آزمایشات تکمیلی و کشت بذر و تیمار غلظت‌های متفاوت آهن دارد که مستلزم صرف

نسبت به سایر مناطق معدنی و شاهد افزایش معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد. با توجه به مقایسه میانگین‌های مذکور می‌توان گفت از نظر آماری اختلاف زیادی در بین مناطق یاد شده از نظر غلظت آهن وجود دارد که می‌تواند با پارامترهای مختلف زیست محیطی مرتبط باشد. از جمله این عوامل می‌توان به خواص شیمیایی عنصر، تجزیه‌پذیری ترکیبات معدنی حاوی عنصر و اجزای شیمیایی حاصل از آنها، اسیدیته خاک، پتانسیل اکسید و احیا و نوع بافت خاک اشاره کرد.

اسیدیته خاک مناطق معدن به جز منطقه‌ی متروکه، کاهش زیادی نسبت به شاهد نداشت. بنابراین با توجه به نتایج می‌توان دریافت که عامل تهویه و بافت خاک نسبت به سایر عوامل مانند pH مهم‌تر می‌باشد و موجب افزایش آهن آزاد خاک خواهد شد.

گیاهانی که از این مناطق برداشت شده‌اند از نظر رشد در مقایسه با گیاهانی که از مناطق شاهد برداشت شده‌اند تفاوت قابل ملاحظه‌ای نشان نمی‌دهند، ولی از نظر میزان آهن دریافت هایشان تفاوت دارند. یکی از دلایل میزان بالای آهن در گیاه را می‌توان ناشی از غلظت بالای آهن کل و قابل تبادل دانست.

بررسی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که گیاهان از نظر غلظت آهن در چهار گروه با مقادیر (۱۰۰-۳۵)، (۳۰۰-۱۰۰۰)، (۱۰۰۰-۳۰۰۰) و (<۱۰۰۰) میکروگرم در گرم قرار می‌گیرند بر این اساس طبق منابع موجود، کمبود آهن (غلظت‌های <۳۰) در گیاهان مناطق معدنی مشاهده نمی‌شود. اما در بعضی از گیاهان علیرغم غلظت بالای آهن در خاک و همچنین میزان آهن در دسترس، مقادیر آهن در گیاه در دامنه غلظت ۳۰۰-۱۰۰ میکروگرم در گرم قرار دارند این گروه از گیاهان احتمالاً از راهبرد اجتناب برای مقاومت در برابر مقادیر بالای آهن استفاده می‌کنند به این صورت که با وجود بالا بودن غلظت فلز در خاک، از جذب فلزات سنگین ممانعت می‌شود. مکانیسم اصلی کنترل در این گیاهان، محدودیت انتقال فلز از ریشه به شاخه‌هاست. این گونه‌ها را اجتناب‌گر می‌نامند (Baker, 1981).

گروه دیگری از گیاهان منطقه غلظت ۳۰۰-۱۰۰۰ میکروگرم در گرم آهن را در بافت‌هایشان تجمع می‌دهند.

زمان و هزینه است.

های طبیعی رشد می‌کنند ولی دارای ژن‌های محدودی برای مقاومت به فلزات سنگین هستند. وقتی این گیاهان روی خاک های فلزدار قرار می‌گیرند نوعی انتخاب طبیعی برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به فلزات ایجاد می‌شود که در نهایت ممکن است باعث ایجاد جوامع آن مناطق گردد. همچنین در چنین شرایطی احتمال ایجاد اکوتیپ‌های مقاوم به فلزات وجود دارد (Pollard, 2002).

### نتیجه‌گیری کلی:

از آنجایی که گیاهان منطقه معدنی در سایر مناطق از جمله منطقه شاهد رشد پیدا می‌کنند می‌توان چنین نتیجه گرفت که گیاهان این منطقه جزء گیاهان پسودومتالوفیت محسوب می‌گردند (یعنی گیاهانی که هم در خاک‌های فلزدار و هم در خاک‌های طبیعی رشد می‌کنند) چنین گیاهانی بیشتر در خاک

### منابع:

- اسدی، م.، معصومی، ع. ا.، خاتم ساز، م. و مظفریان، م. (۱۳۸۴-۱۳۷۱)، فلور ایران. جلد‌های ۱-۷۰، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.
- اطمینان، م. (۱۳۸۶)، فراوری خاک نسوز استقلال آبا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- قهرمان، ا. (۱۳۸۰-۱۳۵۷)، فلور رنگی ایران. جلد‌های ۱-۲۰، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.
- Archibold, O. W. (1995) Ecology of world vegetation. Chapman and Hall Inc, London.
- Baker, A. J. M. and Brooks, R. R. (1989) Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements and review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1:81-126.
- Briat, j.F. Fobis-Loisy, I. Grignon, N. Lobreaux, S. Pascal, N. Savino, G. Thoiron, S., Von Wiren, N. and Van Wuytswinkel, O. (1995) Cellular and molecular aspects of iron metabolism in plants *Biol. Cell* 84: 69-81.
- Jankiewicz, B., Ptaszynski, B. and Turek, A. (2002) Spectrometric determination of Iron (II) in the soil of selected Allotment Gardens in Lodz. *Polish Journal of Environmental Studies* 6: 745-749.
- Kirk, G. J. D. and Bajita, J. B. (1995) Root-induced iron oxidation, pH changes and zinc solubilization in
- Kim, S. A. and Guerinot, M. L. (2007) Mining iron: Iron uptake and transport in plants *FEBS Letters* 581: 2273-2280.
- Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Harcourt Brace and Company Publishers. pp.313-323 London.
- Parekh, D. Purani, K. R. M. and Vastava, H. S. (1990) Inhibition of chlorophyll biosynthesis by cadmium in greening maize leaf segments. *Biochemical Physiology der Pflanzeng* 186: 239-242.
- Pollard, A. J., Powell, K. D., Harper, F. A. and Smith, J. A. (2002) The genetic basis of metal hyperaccumulation in plants. *Critical Reviews In Plant Sciences* 24: 539-560.
- Reeves, R. D. Baker, A. J. M. Borhidi, A. and Berazain, R. (1999) Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Cuba. *Annals of Botany* 83: 29-38.
- Rechinger, K. H. (1963-2010). *Flora Iranica*. Vol. 1-178. Akademische Druk-u verlagsanstalt, Graz, Austria.
- Stoyanova, Z. and Doncheva, S. (2002) The effect of Zinc supply and succinate treatment of plant growth and mineral uptake in pea plant. *Journal of Physiology* 14: 111-115.
- Suresh, S. (2005) Characteristics of soils prone to iron toxicity and management. *Agricultural college and research institute, Killikulma* 26: 50-58.
- Sahrawat, K. L. (2004) Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1471-1504
- Tagliavini, M., Rombola, A. D. and Marangoni, B. (1995) Response to iron-deficiency stress of pear and quince genotypes. *Journal of Plant Nutrition* 18: 2465-2482.
- Yeritsyan, N. and Economakis, C. (2002) Effect of nutrient solution's iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants grown in solution culture. *Acta Horticulture* 576: 277- 283.