بررسی مقاومت به آهن گونه‌های گیاهی معدن خاک نسوز استقلال آباده

طهماسب آسمانه* و صدیقه یونسی

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۰۳، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٤/١١/٠٧)

چکیده:

حضور فلزات سنگین در لایه‌های سطحی خاک عمدتا 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 روییده در مناطق معدنی نسبت به تنش مقادیر بالای فلزات سنگین دارای مقاومت می‌باشند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی مقاومت به آهن گونه‌های گیاهی روییده در منطقه معدن خاک نسوز استقلال آباده (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 روییده 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. ازجمله گیاهان اجتناب‌کننده می‌توان گونه‌های: *Nepeta macrosiphon*، *Lepidium persicum*، *Lappula drobovii*، *Iris spuria* و *Peganum harmala* و گیاهان تحمل‌کننده گونه‌های: *Erysimum repandum*، *Mathiola ovatifolia*، *Salvia sclarea*، *Cleome rupicola* و *Ocheria brardoiedes* را نام برد.

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

مقدمه:

حضور فلزات سنگین (فلزاتی با چگالی بیش از ۵ $g.cm^{-3}$) در لایه‌های سطحی خاک عمدتا ناشی از فعالیت‌های صنعتی و معدن‌کاری، احتراق سوخت و غیره می‌باشد. اگرچه بسیاری از این فلزات جزء عناصر ضروری برای گیاهان محسوب می شوند، 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 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،

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

در حالی که رسوب آن با آنیون‌های هیدروکسید یا بی‌کربنات، غلظتاشکل‌های 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. غلظت های 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 و۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان آباده در طول جغرافیایی ٤۲ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع معدن از سطح دریا ۲۲۰۰ تا ۲۳ ۲۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه در منطقه معدن ۱۳۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱٤/٤ 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 ۱۳۸٦). 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 روییده در مناطق معدنی نسبت به تنش مقادیر بالای فلزات سنگین دارای مقاومت می‌باشند. لذا در این پژوهش، مقاومت به آهن گونه‌های گیاهی روییده 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 روش های مرسوم مورد شناسایی قرار گرفتند (Rechinger, 1963-2010، قهرمان ۱۳۸۰-۱۳۵۷، اسدی ۱۳۸٤-۱۳۷۱). برای اندازه‌گیری مقادیر عناصر موجود در خاک و نمونه‌های گیاهی از روش Reeves و همکاران (۱۹۹۹) استفاده گردید. بر اساس این روش، برای اندازه گیری مقادیر عناصر موجود در نمونه های گیاهی، برگ های گیاهان جمع آوری 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 ٤۸ ساعت در آون خشک گردید. پس از آن حدود یک گرم از برگ های خشک هر نمونه به مدت ۱٤ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ٤۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از سرد شدن، خاکستر حاصل در ۱۰ میلی لیتر نیتریک اسید ۱۰٪ حل گردید. پس از صاف کردن، محلول ها درون لوله های 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

متری عبور داده شد. سپس نیترات‌آمونیوم (NH_4NO_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 استفاذه از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی Varian مدل Spectra AA 240 تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری pH خاک ابتدا۱۰ 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 اندازه گیری 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 ۳۶خانواده 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 می دهد.

براساس نتایج حاصل، در خاک معدن مقدار کل آهن بطور میانگین در منطقه دست‌کاشت۱۷۰۰۰، منطقه استخراجی استقلال ۱ ۱۷۳۰۰، منطقه استخراجی استقلال۲ ۱۶۷۰۰، 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 ۱۴۲۰۰میکروگرم بر گرم) دارای تفاوت معنی دار می‌باشد ($P< ۰/۰۵$)

از آن‌جایی که جذب فلزات توسط گیاه عموماً از منبع قابل تبادل خاک صورت می‌گیرد مقدار عنصر در حالت قابل تبادل نیز محاسبه گردید. مطابق جدول شماره ۱ میزان آهن قابل تبادل خاک در مناطق معدنی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارد به طوریکه در مناطق استخراجی استقلال ۱و ۲ میزان عنصر مذکور نسبت به سایر مناطق و منطقه شاهد افزایش معنی داری در سطح 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 طوریکه 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 بین۷/۴۴ 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 آنجاییکه یکی از روش‌های بررسی میزان شوری خاک، تعیین EC می‌باشد این شاخص در نمونه‌های خاکی 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 متغییر می‌باشد. بر این اساس خاک‌های مورد بررسی در ۳ گروه با مقادیر EC (۰/۳-۰/۲۳)- (۰/۶-۰/۳) و (۱/۵-۰/۶) دسی‌زیمنس بر متر قرار دارد که از نظر آماری در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند. با این وجود از آنجاییکه خاک‌های شور دارای EC بیش از ٤ 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

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^{b}	۸/۲۱± ۰/۱۱^{b}	۰/۵٦± ۰/۰٦^{ab}
	مقادیر قابل تبادل	۱/۷±۰/۱۲^{ab}		
منطقه استخراجی استقلال ۱	مقادیر کل	۱۷۳۷۸± ۲۰۷۰^{b}	۸/۲۳± ۰/۱۲^{b}	۰/۲۵± ۰/۰٤^{a}
	مقادیر قابل تبادل	۵/۳± ۰/٤^{d}		
منطقه استخراجی استقلال ۲	مقادیر کل	۱٦۷۵٦±۳۰۱ ^{b}	۸/۷۹± ۰/۱۲^{c}	۰/۲۳ ± ۰/۰۱^{a}
	مقادیر قابل تبادل	۳/۳±۰/٤^{c}		
منطقه متروکه	مقادیر کل	۳۰۲۱۰± ۱۸۰۰^{d}	۷/٤٤±۰/۱۲^{a}	۱/٤۲± ۰/۱^{c}
	مقادیر قابل تبادل	۰/۷۲±۰/۱٤^{a}		
منطقه چاه محفوظ	مقادیر کل	۲٦۲۹۵± ۱۳۷٦^{c}	۸/٦۳±۰/۱٦^{c}	۰/٦۱± ۰/۰٤^{b}
	مقادیر قابل تبادل	۱/۵ ±۰/۱^{ab}		
منطقه ورودی معدن	مقادیر کل	۱٤۲۹۳± ۵۷۵/۳^{a}	۸/٦۵ ±۰/۱۲^{c}	۰/۳^{b} ± ۰/۰۱^{ab}
	مقادیر قابل تبادل	۲/۷± ۰/۷٦^{bc}		
منطقه شاهد	مقادیر کل	۱۲۳۲۸± ۳۹۵/۳^{a}	۸/٦٦±۰/۱۱^{c}	۰/٤۳± ۰/۰۵^{ab}
	مقادیر قابل تبادل	۰/٦۸± ۰/۱^{a}		

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

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 استقلا ل 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 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 ۱٤۰۰۰-۳۰۰۰۰ متغیر می‌باشد که این میزان در مناطق معدنی نسبت به خاک‌های معمولی بیشتر است. غلظت آهن به طور معمول در خاک‌ها ۱٤۰۰۰میکروگرم 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 می تواند باعث بروز سمیت برای پوشش گیاهی منطقه باشد. از آنجا که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

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

مناطق	نام علمی گیاه	تیره	میانگین ± انحراف معیار
منطقه دست کاشت	*Populus alba*	Salicaceae	۲۵/۲ ± ۱۵۷/۲
	Armeniaca vulgaris	Rosaceae	۸ ± ۱۳۹/۲
	Tamarix ramosissima	Tamaricaceae	۱۳/۲ ± ۱۹۳
	Berberis integrima	Berberidaceae	۱۶ ± ۲۸۲/۱
	Thuja orientalis	Cupresaceae	۵/۸ ± ۱۳۱/۷
	Cersis siliquastrum	Fabaceae	۱۲/۶ ± ۲۵۳
	Robinia pseudoacacia	Fabaceae	۹ ± ۱۵۸/۲
	Melilotus officinalis	Fabaceae	۱۰/۵ ± ۲۴۶/۳
	Morus alba	Moraceae	۹/۹ ± ۲۳۵/۸
	Cydonia oblonga	Rosaceae	۱۲/۲ ± ۲۱۵/۶
	vitis vinifera	Vitaceae	۵/۳ ± ۱۰۰/۳
	Peganum harmala	Zygophylaceae	۵/۹ ± ۱۳۷/۷
	Dianthus orientalis	Caryophylaceae	۲۲/۴ ± ۲۴۳۱/۱
	Calendula persica	Asteraceae	۵/۶ ± ۱۴۵/۵
منطقه استخراجی استقلال ۱	*Onobrychis sp*	Fabaceae	۱۴/۶ ± ۴۲۶/۹
	Erysimum repandum	Brassicaceae	۴۲/۴ ± ۷۳۷/۸
	Silene sp	Caryophylaceae	۲۴/۹ ± ۲۶۲/۹
	Mathiola ovatifolia	Brassicaceae	۲۷/۳ ± ۴۸۱/۳
	Allium sp	Liliaceae	۷/۷ ± ۱۳۵/۹
	Nepeta sp	Lamiaceae	۲۹/۹ ± ۲۲۲/۵
	Nepeta macrosiphon	Lamiaceae	۱۵/۸ ± ۱۸۱/۲
	Salvia sclarea	Lamiaceae	۲۵/۱ ± ۱۱۳۹/۳
	Brossardia sp	Poaceae	۴/۲ ± ۲۴۷/۱
	Eryngium sp	Apiaceae	۷/۲ ± ۱۱۹/۴
	Astragalus sp	Fabaceae	۶/۹ ± ۱۲۴/۲
	Lepidium persicum	Brassicaceae	۱۳/۶ ± ۱۵۸/۸
	Iris caucasica	Iridaceae	۱۴/۸ ± ۴۱۱/۹
	Parlatoria rostrata	Brassicaceae	۱۷/۱ ± ۳۲۴/۲
	Allium scabriscapum	Liliaceae	۳۲/۷ ± ۲۳۶/۶
	Onobrychis sp	Fabaceae	۱۰/۹ ± ۳۴۴
	Astragalus sp	Fabaceae	۹/۴ ± ۲۳۳/۶
	Acantholimon sp	Plumbaginaceae	۱۴/۲ ± ۱۵۶/۲
	Cleome rupicola	Caparidaceae	۱۱/۷ ± ۴۲۰
	Tragopogon sp	Asteraceae	۱۰/۴ ± ۲۵۳/۶
	Tragopogon graminifulia	Asteraceae	۷/۷ ± ۳۰۵
	Valerianella sp	Valerianaceae	۱۰/۷ ± ۱۷۶/۳
	Arthemisia sp	Asteraceae	۱۰/۹ ± ۵۱۶/۹
	Erysimum repandum	Brassicaceae	۱۲/۴ ± ۴۲۷/۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

ادامه جدول ۲-

منطقه استخراجی استقلال ۱	*Arthemisia sp*	Asteraceae	۹/٦ ± ٤٨٠/٨
	Anthemis sp	Asteraceae	٥/٤ ± ١٩٨/٥
	Cousinia sp	Asteraceae	١٩/٥ ± ٨٠٩/٧
	Ocheria brardoiedes	Asteraceae	٢٥/١± ٩٤٩/٩
	Haloxylon sp	Polygonaceae	٨/٤ ± ١٢٥/٧
	Silene sp	Caryophyllaceae	٣٤/٩ ± ١٧٠/٩
	Nepeta macrosiphone	Lamiaceae	٥/٩ ± ١٢٦/٦
	Lappula drobovii	Boraginaceae	٣/٦ ± ١١١/٧
	Eryngium billardieri	Apiaceae	١٤/٥ ± ٢٢٩/٣
	Dianthus orientalis	Asteraceae	٤٧/٨ ± ٣٠١/٥
	Ocheria sp	Asteraceae	٩/٨ ± ٢٤٩/٨
	Orobanche kotschyi	Orobanachaceae	٩/٣ ± ١٨٤/٨
	Parlaturia rosterata	Brassicacea	٤١/٩ ± ٣١٩/٥
	Scabiosa flavida	Dipsaceae	٦/٤ ± ٢٥٧/٨
	Iris spuria	Iridaceae	٢١/١ ± ١٧٦/٩
	Nepeta sp	Lamiaceae	١٥/٧ ± ٢١٠/٨
	Nepeta sp	Lamiaceae	١٤/١ ± ٢٧٠/٩٢
	Onosma microcarpum	Boraginaceae	١٠/٧ ± ٢٣٠/٤
	Scabiosa flavida	Dipcaceae	٧/٤ ± ١٩٥/٧
	Lactuca sp	Asteraceae	١١/٥ ± ١٣٢/٨
	Iris sangauinea	Iridaceae	٤٣/٢ ± ٢٧١
منطقه استخراجی استقلال ۲	*Arthemis sp*	Asteraceae	٥٣/٨ ± ٢٩٦/٨
	Tragopogon graminifulia	Asteraceae	١١/٧ ± ٢٥١/٢
	Clypeola aspera	Brassicaceae	٨/٨ ± ١٥٨/٤
	Reseda Arabica	Resedaceae	١٠/٢ ± ٢٠٨/٣
	Ephedra sp	Ephedraceae	١١/٤ ± ١١٨
	Stipa barbata	Poaceae	٢٢/٥ ± ١٧٥/٦
	Acantholimon sp	Asteraceae	٨/٦ ± ١٥٠/٥
	Cousinia sp	Asteraceae	٦/٧ ± ١٣٩/٤
	Nepeta sp	Lamiaceae	٣٣/٤ ± ٢١٥
	Peganum harmala	Zygophylaceae	٨/٥± ١٥٢
	Astragalus sp	Asteraceae	٧/٣ ± ١٢٥/٤
	Onobrychis sp	Fabaceae	١٢/٢ ± ١٨٢
	Achillea sp	Asteraceae	٥/٢ ± ٢٢٣/٤
	Arthemisia sp	Asteraceae	٤/٧ ± ١٤٢/٦
	Astragalus sp	Fabaceae	١٠/٩ ± ١٨٢/٩
	Cleome rupicola	Caparidaceae	١٦/٧ ± ٣٤٧/٢
	Bromus gracillimus	Poaceae	١٧/٢ ± ١٠٩١/٨
	Cersium sp	Asteraceae	١٤ ± ١٧٢/٨

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

ادامه جدول ۲-

	Cardaria draba	Brassicaceae	۱۳٤ ±۵/۷
منطقه متروکه	*Tamarix ramosissima*	Tamaricaceae	۸۵/۵ ± ٦/۸
	Scutellaria sp	Lamiacea	۱۳۳/۷ ± ٦/۳
	Nepeta sp	Lamiaceae	۲٦۸/۸ ± ۲۷
	Haloxylon sp	Polygonaceae	۱۳٤/٦ ± ۷/٤
	Peganum harmala	Zygophylaceae	۱۲۸ ± ۷/۱
	Zosimia abisinhtifolia	Apiaceae	۱۵۳ ± ۸/۹
	Cousinia sp	Asteraceae	۸۸/۹ ± ۵/۱
	Tragopogon graminifulia	Asteraceae	۲۰٤/٤ ± ۱۱/٤
	Arthemisia sp	Asteraceae	۱٦۵/٤ ± ۳/۸
	Onobrychis sp	Papilionaceae	۱۲٤ ±۱۹/۲
	Allium scabriscapum	Liliaceae	۲۱۷/٤ ± ۹
	Boissieria Squarrosa	Poaceae	۱٤۵/۲ ± ۱۳/۳
	Tragopogon graminifulia	Asteraceae	۲۲۳ ± ۲٤
	Hordeum glaucum	Poaceae	۱۳٤ ± ۳۸/۵
منطقه چاه محفوظ	*Acantholimon sp*	Plumbaginaceae	۸۰/۹ ± ٦/۸
	Alhagi camelorum	Fabaceae	۱۲٤/۵ ± ٤/٤
	Anthemis sp	Asteraceae	٤۸۲/۸ ± ۱٦/۵
	Salvia sp	Lamiaceae	۱۹۵/۲ ± ۱۰/۲
	Lactuca sp	Asteraceae	۲۲۲/۱ ± ۷/٦
	Erysimum repandum	Brassicaceae	۵۲۰/٤ ± ۱۹/٦
	Onobrychis sp	Papilionaceae	۲٦۳/٦ ± ۱۳/۸
	silene sp	Brassicaceae	۲۹۳/۹ ± ۱۳/٤
	Ebenus stellata	Fabaceae	۱٤٤/۸ ± ۷
	Morus alba	Moraceae	۱۹۸/۷ ± ٤/۸
	Bromus glacillimus	Poaceae	۵۸۲/۷ ± ۲۸/۵
	Achillea sp	Asteraceae	۷٤۷/۲ ± ۲/٤
	Stipa barbata	Poaceae	۱٤۹/۸ ± ۵/۲
	Ailanthus altissima	Simaroubaceae	۹۹/۵ ± ۸/۲
	Ziziphora tenuior	Lamiaeae	۱۲٦ ± ٤/۹
	Hyosyamus sp	Solanaceae	۳٦۹/۳ ±۲۵/۱
	Peganum harmala	Zygophylaceae	۱٦۲/۵ ± ٤/۵
	Melilutus officinalis	Fabaceae	۱٤۸/۵ ±۵/۳
ورودی معدن	*Iris sangauinea*	Iridaceae	۷۳/۵ ± ۷/۸
	Stipa barbata	Poaceae	۱۲۹/۳ ±٤/۲
	Brosserdia sp	Poaceae	۱۵۲/٤ ± ۳/٤
	Anthemisia sp	Asteraceae	۲۵۰/۳ ± ۱۰/۹
	Onobrychis sp	Fabaceae	۱۳۵/۷ ± ۸
	Eremostachys macrophylla	Lamiaceae	٤۰۸/٦ ± ۳۷/٤

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

ادامه جدول ٢-

	Astragalus sp	Fabaceae	٢١/٦ ± ٢٢٤/٣
	Cousinia sp	Asteraceae	٣ ± ٨٢/١
	Cleome rupicola	Capparidaceae	٨/٤ ± ٢٥٥/٦
	Allium sp	Lilliaceae	٢/٧ ± ١٤١/٢
	Astragalus sp	Fabaceae	١٤/٨ ± ١٧٦/٧
ورودی معدن	*Iris caucasica*	Iridaceae	٣٧/٥ ± ٣٤٧
	Cousinia sp	Asteraceae	٧/١ ± ١٦٨/٦
	Onobrychis sp	Fabaceae	٣/٤ ± ٨٥٢/٣
	Salvia sp	Lamiaceae	١/٨ ± ٨٤/٧
	Iris caucasica	Iridaceae	١٥/٧ ± ١٤٤/٦
	Ocheria brardoiedes	Asteraceae	٦/٨ ± ٩٥/٥
	Zosimia abisinthifolia	Apiaceae	٥/٥ ±٩١/٣
	Althea sp	Malvacaeae	٩/٨ ± ١٢٤/٨
	Cephalaria microcephala	Dipasaceae	٥/٩ ± ٣٤/٤
	Nepeta sp	Lamiaceae	٨/٢ ± ١٢٣/٦
	Cousinia sp	Asteraceae	٢/٥ ± ١٢٣/١
منطقه شاهد	*Astragalus sp*	Fabaceae	٢٧/٨ ± ١٢٢/١
	Hormuzakia aggregate	Boraginaceae	٤/٨ ± ١٠١/١
	Scabiosa flavida	Dipasaceae	٤/٧ ± ٣٧/٤
	Ebenus stellata	Fabaceae	٩/٨ ± ٥٢/٢
	Onosma microcarpum	Boraginaceae	٦/٧ ± ١٢٤/٤
	Acantholimon sp	Asteraceae	٧/٨ ± ٦٥/٣
	Eryngium sp	Apiaceae	٣/٧ ± ٣٥/١

هر عدد میانگین ٣ تکرار ± انحراف معیار می‌باشد.

ورود فلزات به داخل گیاه عمدتاً توسط ریشه و از خاک انجام می‌شود، 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 شاخص‌های سنجش میزان آلودگی آهن خاک می‌باشد میزان آهن قابل تبادل خاک به معنی میزان آهنی از خاک می‌باشد که می‌تواند 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 بیشتری به محیط ریشه گیاه نفوذ می‌کند بنابراین میزان بیشتری آهن به بافت‌های گیاه نفوذ خواهد کرد و احتمال سمیت گیاه افزایش پیدا خواهد کرد.

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های خاک (جدول ١)، بیانگر این است که غلظت آهن قابل تبادل در خاک مناطق معدنی نسبت به خاک‌های معمولی بیشتر است این میزان در خاک معادن در بعضی نقاط تا ١٥ میکروگرم بر گرم می‌رسد در حالی که غلظت قابل تبادل در خاک‌های معمولی حداکثر ٤ میکرو گرم بر گرم است (Kim and Guerinot, 2007) . میزان آهن قابل تبادل خاک در منطقه معدنی استخراجی استقلال ١ و ٢ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشته و میزان عنصر مذکور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

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 می توان 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 می توان 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 دربافت 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)، (۳۰۰-۱۰۰)، (۱۰۰۰-۳۰۰) و (<۱۰۰۰) میکروگرم در گرم قرار می گیرند 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 ۱۰۰۰-۳۰۰ میکروگرم در گرم آهن را در بافت‌هایشان تجمع می‌دهند. 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 نمی دهند از راهبردهای مقاومت به تنش فلزات سنگین استفاده می کنند. برای این مقاومت احتمالاً از مکانیسم‌هایی استفاده می کنند 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 متالوتیونئین‌ها 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 واکوئل می‌باشند (Hall, 2002; Marschner, 1995; Stoyanova and Doncheva, 2002). بدیهی است که تحقیقات دقیق‌تر می‌تواند 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 به‌طوری‌که حداکثر غلظت آهن در برگ‌های *Salvia sclarea* از خانواده *Lamiaceae* (جمع‌آوری شده از منطقه استخراجی استقلال ۱)، *Bromus gracillimus* Bunge. از خانواده *Poaceae* (جمع آوری شده از منطقه استخراجی استقلال ۲) و به ترتیب حدود ۱۱٦٤/٤۸ 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]

زمان و هزینه است.

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 می گردند(یعنی گیاهانی که هم در خاک‌های فلزدار و هم در خاک‌های طبیعی رشد می‌کنند) چنین گیاهانی بیشتر در خاک 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).

منابع:

اسدی، م.، معصومی، ع. ا.، خاتم ساز، م. و مظفریان، م. (۱۳۸٤-۱۳۷۱)، فلور ایران. جلدهای ۱-۷۰، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.

اطمینان، م. (۱۳۸٦)، فراوری خاک نسوز استقلال آباده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

قهرمان، ا. (۱۳۸۰-۱۳۵۷)، فلور رنگی ایران. جلدهای ۱-۲۰، انتشارات موسسه 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, cology 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 Scinces 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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.2.0]