دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره چهارم، شماره هشتم، بهار و تابستان ۹۵
http://pec.gonbad.ac.ir

بررسی غلظت سرب، روی و مس در خاک و گونه مرتعی *Kochia prostrate*(L.) Schrad. در اطراف کارخانه سیمان فیروزکوه

فاطمه منتظری[1*]، رضا تمرتاش[2]، محمدرضا طاطیان[3]، سیدمحمد حجتی[4]
[1]دانشجوی کارشناسی‌ارشد مرتعداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری
[2و3]استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری
[4]دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۶

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی میزان عناصر کل سرب، مس و روی در خاک و گیاه *Kochia prostrate* (L.) Schrad. اطراف کارخانه سیمان فیروزکوه در استان تهران انجام شد.۱۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری و ۱۵ نمونه گیاه از اطراف کارخانه سیمان از فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ متری در جهت باد غالب منطقه برداشت شدند. همچنین نمونه شاهد از منطقه‌ای دور از کارخانه سیمان (به فاصله ۲۵۰۰ متر) در خلاف جهت باد غالب برداشت شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه جهت انجام آزمایشات منتقل شدند. در این تحقیق طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. آنالیز داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن و آزمون t انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که غلظت هر سه عنصر اندازه‌گیری شده در خاک شاهد و آلوده دارای اختلاف معنی‌دار است به‌طوری‌که میانگین غلظت کل عناصر سرب، مس و روی در خاک شاهد به‌ترتیب ۸/۶۹، ۱۱/۳۴ و ۳۳/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک آلوده ۱۸/۶، ۳۱/۷۹ و ۶۶/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد گردید. همچنین آنالیز واریانس غلظت این عناصر درخاک و در گیاه با فاصله از کارخانه دارای اختلاف معنی‌داری است.غلظت سرب و مس در اندام زیرزمینی گونه مورد مطالعه بیش از اندام هوایی بوده، به‌طوری‌که در اندام زیر زمینی به‌ترتیب ۱۰/۳۱، ۲۱/۹۴ و در اندام هوایی ۳/۱۴ و ۱۳/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری گردید. در حالی که غلظت روی در اندام هوایی ۹۷/۰۲ و در اندام زیرزمینی ۸۸/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد. شاخص آلودگی PI_i برای عناصر سرب و مس در سطح آلودگی کم تا متوسط قرار دارد و برای عنصر روی نشان دهنده آلودگی متوسط تا زیاد است.

***واژه‌های کلیدی*: تجمع‌زیستی،شاخص آلودگی PI_i، عناصر آلاینده، *Kochia prostate* (L.) Schrad.**

*نویسنده مسئول: montazeri.fatememeh@ymail.com

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

مقدمه

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های محیطی هستند که می‌توانند از طرق مختلف وارد زنجیره غذایی شوند و به مصرف انسان و جانداران دیگر برسند (Zhipeng *et al.*, 2009; Mandal and Voutchkov, 2011; Al-juboury, 2009). یکی از مهمترین راه‌های ورود فلزات به زنجیره غذایی، جذب آن‌ها توسط گیاهان است که به‌دلیل پایداری و خاصیت تجمع زیستی این فلزات، مقدار فلزات سنگین در خاک و گیاهان نباید از حد معینی بیشتر گردد (Christoforidis, 2009; Loska, 2003). عدم تجزیه پذیری فلزات سنگین از طریق فرآیندهای شیمیایی یا زیستی، تهدیدی برای سلامتی گیاهان و جانورانی است که در سطوح مختلف چرخه غذایی حضور دارند (توکلی محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Saha and Hossain, 2011). با افزایش جمعیت و توسعه صنایع در شهرها، آلودگی فلزات سنگین روز به روز افزایش یافته است (توانکار و شفقت، ۱۳۸۷). در این بین، یکی از صنایع آلوده کننده کارخانه سیمان است که از طریق انتشار گرد و غبار و گازهای آلاینده محیط زیست را در معرض خطرات جدی قرار داده است (Bilen, 2010). آلودگی ناشی از کارخانه سیمان در اثر عواملی نظیر حمل و نقل مواد اولیه از معدن به سمت کارخانه، فرآیندهای سنگ شکنی و آسیاب کردن مواد اولیه و کوره‌های پخت مواد حاصل می‌شود. سوخت‌های استفاده شده در کوره پخت مواد و همچنین مواد اولیه خام به‌طور معمول دارای مقادیری از فلزات سنگین هستند. طی فرآیند پخت مواد اولیه و احتراق سوخت، این فلزات سمی آزاد شده و وارد محیط زیست شده و اکوسیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. اثرات سوء این عناصر بر پوشش گیاهی امری اجتناب ناپذیر است (عباسی و سالاری، ۱۳۸۵). دود خارج شده از کارخانه سیمان ابتدا هوا را آلوده کرده و هوا آلاینده‌ها را به خاک انتقال می‌دهد و در نهایت وارد چرخه غذایی می‌شود (Al- Khashman and Shawabkeh, 2006). اگرچه کارخانجات سیمان را به دور از مناطق مسکونی احداث می کنند، اما آثار مضر آن بر محیط از طریق باد، باران به انسان انتقال داده می‌شود (Isikli *et al.*, 2003). کارخانجات سیمان باعث انتشار آلاینده‌هایی از قبیل آرسنیک، کادمیوم، سرب، جیوه، تالیوم، آلومینیوم، بریلیوم، کروم، مس، منگنز، نیکل و روی می‌شوند که اثرات سمی آنها در مطالعات زیست محیطی به اثبات رسیده است (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Adrino, 2001).

مسلم‌پور و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقاتی که در محدوده کارخانه سیمان خاش در جنوب ایران انجام دادند آلودگی ۸۰ درصد از فلزات سنگین (آرسنیک, مس، کروم، روی، مولیبدن، کبالت و منگنز) را در اطراف کارخانه در حد مجاز اعلام کردند و ۲۰ درصد از عناصر (کادمیوم و نیکل) را در حد متوسط آلودگی نشان دادند. آدو و همکاران (Addo *et al.*, 2012) در اطراف کارخانه سیمان منطقه ولتا واقع در جنوب شرقی کشور غنا، در جهت باد غالب، غلظت ۶۲ درصد از فلزات مورد بررسی در خاک بیش از حد بحرانی اعلام کرده‌اند.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

روش‌های زیادی در جهت کاهش گازهـای گلخانـه‌ای بوجـود آمـده اسـت کـه یکـی از مقـرون بـه صرفه‌ترین راه‌ها، استفاده از گیاهان می‌باشد. بـه‌همـین منظـور، ارزیابی تجمع فلـزات سمی در خاک و گیاهان، از نظر سلامت و حیات انسان و سایر موجودات بسیارمهم و ضروری اسـت. گیاهـان بـه‌علـت استفاده ازآب، خاک وهوا، در تغییر کیفیت محیط‌زیست مشارکت مهمی دارند و با توجه بـه مقـرون بـه صرفه بودن، می‌توان از آنها برای پاکسازی محیط‌های آلوده بـه انـواع آلاینـده‌هـا نظیـر فلـزات سـنگین استفاده نمود که در این بین برخی گیاهان میزان جذب بالاتری را نشان می‌دهنـد (ذوفـن و همکـاران، ۱۳۹۲ ;Kling, 2000). طبق مطالعات انجام گرفته، گیاهان اطـراف کارخانـه بـه‌دلیـل انتشـار گازهـای آلاینده، تحت تاثیر آنها قرار گرفته و آسیب می‌بینند و با توجه به قرارگیری ایران در نوار خشک جهـان، آلاینده‌ها با شدت بیشتری عمل کرده و ترمیم آسیب‌های وارد شده سخت‌تراست. ازطرف دیگر، جوامـع گیاهی موجود دراین مناطق ضعیف و شکننده هستند که مقاومت کمتری نسبت بـه اثـرات آلاینـده‌هـا دارن. لذا لازم است اثرات آلاینده‌های صنعتی بر گیاهان مناطق حوزه نفوذ مورد بررسی قرار گیرد تا بـا توجه به بهره‌برداری‌های صورت گرفته از ایـن گیاهـان، میـزان آلـودگی و چگـونگی مـدیریت آن‌هـا در برنامه‌های آتی مورد استفاده قرار گیرد.

نظر به این‌که گونه *Kochia prostrate* از گیاهان نیمه بوته‌ای سازگار با منطقه مورد مطالعه بـوده و از نظر حفاظت خاک و ارزش غذایی برای دام دارای اهمیـت اسـت (Davis and Parker, 1979)، بـرای مطالعه انتخاب گردید. از طرفی، از آنجا که میزان بـیش از انـدازه فلـزات در محـیط زیسـت، بـه‌عنـوان آلاینده محسوب می‌شود؛ این تحقیق، با هدف بررسی تاثیر کارخانه سیمان فیروزکوه بر غلظـت فلـزات سرب، روی و مس در خاک و اندام‌های مختلف این گیاه انجام شده است.

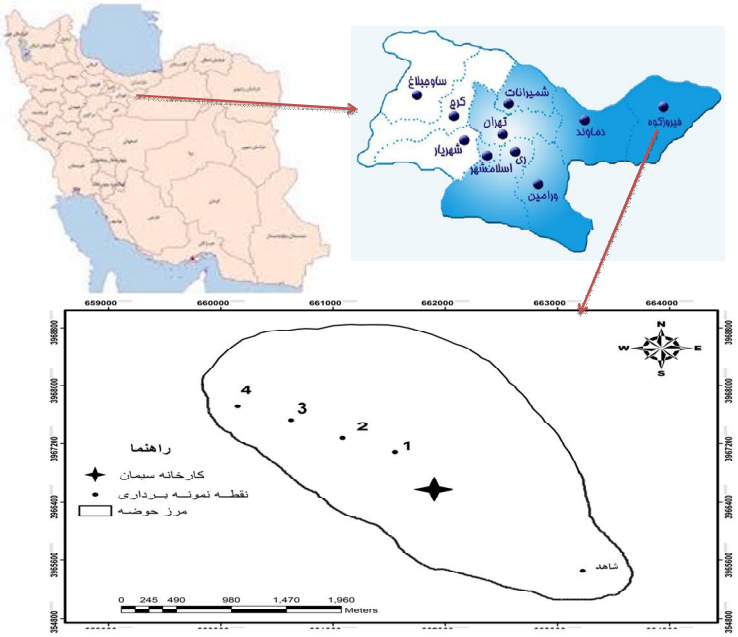
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: شهرستان فیروزکوه واقع در شرق استان تهران و درعرضـجغرافیایی ۵۲ درجـه و ۱۴ دقیقه و ۳۵ درجه و ۲۲ دقیقه قرار گرفته است. متوسط بارندگی سالانه ۲۹۶/۸ میلی‌متر گـرم‌تـرین ماه سال به میزان ۲۰/۲ درجه سـانتی‌گـراد مربـوط بـه تیرمـاه و سـردترین مـاه سـال بـا ۳/۶- درجـه سانتی‌گراد، بهمن ماه ثبت شده است. کارخانـه سـیمان فـراز فیروزکـوه در پـنج کیلـومتری شهرسـتان فیروزکوه واقع شده‌است. مراتع مورد مطالعه در اطراف این کارخانه و به شعاع ۲۰۰۰ متـری از کارخانـه قرار دارد وگیاهان بوته‌ای و نیمه بوته‌ای در منطقه حضور دارنـد کـه گونـه *Kochia prostate* بـه‌دلیـل ارزش حفاظتی و علوفه‌ای برای دام‌ها انتخاب شد (احمدی، ۱۳۸۵).

روش نمونه‌برداری: نمونه‌های خاک و گیاه از اطراف کارخانه سیمان فیروزکوه و در جهـت بـاد غالـب منطقه (شمال غربی) برداشت شدند. نمونه‌هـا از فاصـله ۵۰۰ متـری تـا فاصـله ۲۰۰۰ متـری کارخانـه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

نمونه‌های اولیه از فاصله ۵۰۰ متری کارخانه و نمونه‌های بعدی به فاصله ۵۰۰ متر از یکدیگر تا محدوده ۲۰۰۰ متری کارخانه (با توجه به فاصله موثر تأثیر آلودگی بر گیاهان و خاک در مناطق مشابه (Abdulrasoul *et al.*, 2011; Al-Omran and Maghraby, 2011) به‌صورت تصادفی- سیستماتیک جمع‌آوری شدند. در این تحقیق، از طرح آزمایشی کاملا تصادفی با سه تکرار و پنج تیمار استفاده شد. نمونه شاهد از منطقه‌ای دور از کارخانه سیمان (به فاصله ۲۵۰۰ متر) که در خلاف جهت باد غالب قرار دارد برداشت شد. منطقه نمونه‌برداری و شاهد کاملاً مسطح بوده و از نظر شرایط شیب، جهت، ارتفاع و زمین‌شناسی در شرایط مشابه قرار داشتند. نمونه‌های خاک از محیط اطراف ریشه گیاهان (عمق ۰-۳۰ سانتی متری، به دلیل گستردگی بیشتر ریشه تا این عمق) برداشت شدند. همچنین نمونه‌های گیاهی پس از برداشت از قسمت ریشه، ساقه و برگ جدا شده و در پاکت‌های مخصوص قرار داده شدند. انتخاب پایه‌ها به صورت تصادفی بوده به طوری‌که در فواصل تعیین شده به صورت سیستماتیک، نقاط تصادفی تعیین و اولین گونه نزدیک به آن به‌عنوان پایه گیاهی، نمونه‌برداری شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

روش آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک منتقل شده به آزمایشگاه جهت تعیین درصد رطوبت، وزن شده و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. نمونه‌های خشک شده برای اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکی و

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

شیمیایی خاک استفاده گردید. بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری، اسیدیته خاک از گل اشباع با استفاده از pHمتر، قابلیت هدایت‌الکتریکی از عصاره گل اشباع با استفاده از هدایت سنج الکتریکی، کربن آلی باروش والکی- بلاک، آهک خاک با روش کلسیمتری با استفاده از اسید کلریدریک یک نرمال بدست آمد (Bordbar, 2006). برای اندازه گیری میزان فلزات سنگین خاک، پنج گرم از نمونه‌های الک شده را وزن کرده و در بطری ۲۵۰ میلی‌لیتر از جنس پلی پروپلین قرار داده و با ۵۰ میلی لیتر عصاره خاک (HCl غلیظ ۳۷ درصد و HNO3 ۶۵ درصد) مخلوط (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲) و جهت تجزیه با دستگاه ICPآماده شد.دو گرم از نمونه گیاهی خشک شده درون کاسه چینی توزین و درون آون با درجه حرارت ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت دو ساعت قرار گرفت. سپس، مقدار ۲۰ سی‌سی اسید نیتریک و پرکلریک اسید به آن اضافه شد. نمونه محلول بر روی هیتر گذاشته شد و سپس درون بالن ۵۰ سی سی که بر روی آن کاغذ صافی قرار داشت ریخته شد و با آب مقطر به حجم رسید (امامی، ۱۳۷۵). تمامی نمونه‌ها بدین روش برای تجزیه عناصر سنگین با استفاده از دستگاه ICP (Inductively Coupled Plasma) آماده گردید. در این تحقیق طرح آزمایشی کاملا تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. جهت مقایسه عناصر سنگین (سرب، مس وروی) در خاک و گیاه و در فواصل مختلف از کارخانه، از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین دانکن استفاده شد. همچنین، جهت مقایسه غلظت عناصر بین اندام هوایی و زیرزمینی گیاه از آزمون t مستقل استفاده شد. برای بررسی وضعیت آلودگی در منطقه، از شاخص آلودگی PI_i استفاده شد.

$$PI_i=\frac{Ci}{Bi}$$ فرمول (۱)

که در آن؛ Ci غلظت آلاینده i ام و Bi غلظت زمینه (شاهد) آلاینده i ام (Muller, 1979). محدوده طبقه بندی کیفی آلودگی برای شاخص آلودگی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی کیفی شاخص آلودگی

شاخص آلودگی PI_i	طبقه کیفی آلودگی
PI≤۱	کم
۱<PI≤۳	متوسط
PI>۳	زیاد

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

نتایج

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها در جدول ۲ آورده شده است (جدول ۲).

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در محدوده اطراف کارخانه سیمان فیروزکوه

فاصله از کارخانه (متر) / خصوصیات خاک	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	شاهد
کربن آلی (درصد)	۰/۸۳	۱/۲۸	۱/۹۴	۱/۵۰	۱/۲۲
رس(درصد)	۱۵/۲۶	۱۱/۳۵	۱۴/۶۵	۱۸/۳۱	۱۱/۲۹
شن(درصد)	۵۳/۶۱	۵۵/۷۴	۵۰/۳۷	۴۹/۲۵	۵۵/۱۸
سیلت(درصد)	۳۱/۲۳	۳۳/۵۱	۳۵/۱۶	۳۲/۸	۳۳/۶۹
آهک (درصد)	۳۶/۱۲	۳۷/۲۹	۴۵/۸۷	۴۸/۶۳	۴۳/۶۶
هدایت الکتریکی	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۴۹
اسیدیته	۷/۶۱	۷/۵۳	۸/۲۱	۸/۰۹	۷/۶۰

آنالیز واریانس عناصر سنگین با فاصله از کارخانه نشان داد که هر سه عنصر سرب، مس و روی در خاک با فاصله از کارخانه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشند، در حالیکه این عناصر در گیاه با فاصله از کارخانه اختلاف معنی‌داری را در سطح پنج درصد از خود نشان می‌دهند (جدول ۳).

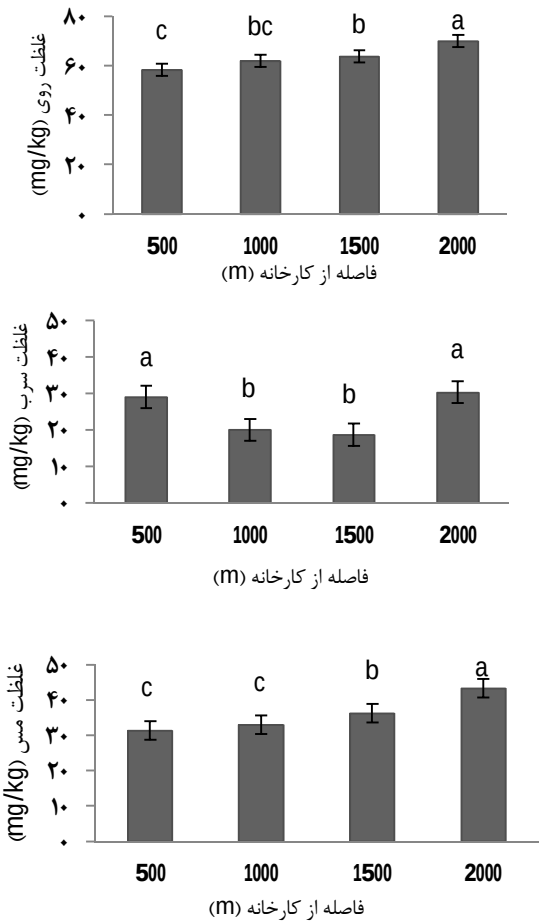
جدول ۳- آنالیز واریانس فلزات سنگین (کیلوگرم/ میلی‌گرم) در خاک و گیاه با فاصله از کارخانه

فلزات سنگین	منبع تغییرات		درجه آزادی	میانگین مربعات	خطای آزمایش	F value
سرب	فاصله	خاک	۳	۱۰۸/۵۵۶	۲/۴۱۷	۴۴/۹۲**
		گیاه		۰/۲۱۴	۰/۲۲۶	۴/۷**
مس	فاصله	خاک	۳	۸۴/۶۶۷	۲/۰۱	۴۲/۳۳۲**
		گیاه		۱/۸	۰/۵۶	۵/۴۱ *
روی	فاصله	خاک	۳	۷۱/۲۲۲	۴/۶۶۷	۱۵/۲۶۲**
		گیاه		۱۶/۵	۱/۵۹	۵/۱۶*

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

همچنین مقایسه میانگین فلزات سنگین در فواصل مختلف از کارخانه حاکی از آن است که مس و روی با دور شدن از کارخانه تا فاصله ۲۰۰۰ متر افزایش می‌یابند در حالی‌که عنصر سرب، روند متغیری را نشان داده است؛ به‌طوری‌که ابتدا با دور شدن از کارخانه تا فاصله ۱۵۰۰ متری کاهش و سپس این میزان افزایش یافته است (شکل ۲).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۲- مقایسه میانگین سرب، مس و روی با فاصله از کارخانه

(وجود حروف مشابه در شکل نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین میانگین‌ها است)

نتایج حاصل از آزمون t بین میانگین فلزات سنگین در فواصل مختلف کارخانه سیمان و در جهت باد غالب و خاک شاهد، در جدول ۴ ارائه شده است. غلظت هر سه عنصر اندازه گیری شده در خاک شاهد و آلوده، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد؛ به‌طوری‌که، سرب و مس در سطح پنج درصد و روی در سطح یک درصد این اختلاف را نشان داده‌اند. در بین عناصر روی بیشترین غلظت و سرب کمترین غلظت را به خود اختصاص داده‌اند.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

جدول ۴-آزمون t جهت مقایسه غلظت فلزات سنگین (کیلوگرم/ میلی‌گرم) در خاک آلوده و شاهد.

عناصر	میانگین غلظت در خاک آلوده	میانگین غلظت در خاک شاهد	t-value
سرب	۱۸/۶±۲/۵۴	۸/۶۹±۱/۲۴	۲/۶۰۷*
مس	۳۱/۷۹±۷/۱۱	۱۱/۳۴±۰/۹	۴/۴۲۷*
روی	۶۶/۱۲±۹/۵۲	۳۳/۹۵±۶/۲	۱۲/۳۱۶**

*اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد، **اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد

میزان آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه و میزان استاندارد آن در جدول ۵ آورده شده است. با مقایسه غلظت عناصر درمنطقه مورد مطالعه و میزان استاندارد عناصر، مشاهده می‌شود که عناصر از مقدار استاندارد موجود تجاوز نکرده‌اند. در رابطه با عناصر سرب و روی با میزان استاندارد اختلاف معنی دار در سطح یک درصد مشاهده می شود، درحالی‌که مس، تفاوت معنی داری را با میزان استاندارد نشان نداد.

جدول ۵- آزمون t جهت مقایسه غلظت فلزات سنگین (کیلوگرم/میلی‌گرم) در خاک اطراف کارخانه و میزان استاندارد (Hernandez, 2003).

عناصر	میانگین غلظت در خاک اطراف کارخانه سیمان	غلظت استاندارد	T-value
سرب	۱۸/۶±۱/۴۵	۵۰±۱/۰۰	-۳۰/۸۴**
مس	۳۱/۷۹±۱/۲۵	۳۰±۱/۰۰	۱/۸۳ns
روی	۶۶/۱۲±۲/۰۸	۱۰۰±۵/۵۶	-۹/۸۶**

**اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns عدم معنی‌داری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص آلودگی در منطقه مورد مطالعه برای فلزات سرب، روی و مس در جدول ۶ نشان داده شده است. سرب و مس در سطح آلودگی کم تا متوسط و روی، در محدوده متوسط تا زیاد برآورد شده است.

جدول ۶- شاخص آلودگی فلزات سنگین (کیلوگرم/ میلی‌گرم) و محدوده کلاس کیفی در منطقه.

شاخص/ فلزات	شاخص آلودگی PI_i		
	حداقل	حداکثر	محدوده کلاس کیفی
سرب	۱	۱/۳۷	کم - متوسط
روی	۱/۰۷	۲/۳	متوسط - زیاد
مس	۰/۸۵	۱/۱۴	کم - متوسط

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

مقایسه بین غلظت عناصر موجود در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه *Kochia prostate* بوسیله آزمون t محاسبه گردید. با توجه به جدول، همه عناصر دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بین اندام هوایی و زیرزمینی می‌باشد. غلظت مس و سرب در اندام زیر زمینی بیش از اندام هوایی بوده ولی غلظت عنصر روی در اندام هوایی بیشتر از اندام زیر زمینی برآورد شده است (جدول ۷).

جدول ۷- آزمون t جهت مقایسه غلظت فلزات سنگین (کیلوگرم/میلی‌گرم) دراندام‌های گونه *Kochia prostate*

فلزات	اندام زیرزمینی	اندام هوایی	t-value
سرب	۱۰/۳۱±۱/۹۹	۳/۱۴±۱/۰۷	۹/۸۰ *
مس	۲۱/۹۴±۱۴/۱۴	۱۳/۸۴ ±۲/۱۸	۶/۷۴ *
روی	۸۸/۵۲±۲/۳۷	۹۷/۰۲ ±۱۱/۵۲	۸/۹۳ *

*اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به خطرات بهداشتی، قدرت تحرک و تجمع زیستی فلزات، حتی میزان جزیی آن در خاک بسیار قابل توجه می‌باشد. بررسی گرد و غبار ناشی از کارخانه سیمان به‌دلیل دارا بودن فلزات سنگین و اثرات ناشی از آن بر خاک و پوشش گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین در این مطالعه میزان فلزات سنگین سرب، مس و روی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی حاضر گویای غلظت بالاتر سرب، مس و روی در خاک اطراف کارخانه نسبت به منطقه شاهد می‌باشد؛ که در خاک شاهد به‌ترتیب ۸/۶۹، ۱۱/۳۴ و ۳۳/۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و در خاک آلوده اطراف کارخانه ۱۸/۶، ۳۱/۷۹ و ۶۶/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم محاسبه شده است. این در حالی است که در بین عناصر ذکر شده، روی با غلظت ۶۶/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشترین میزان را در بین فلزات سنگین به‌خود اختصاص داده است. این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات محققینی از قبیل (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰؛ مسلم‌پور و همکاران، ۱۳۹۱؛ Samuel, 2012؛ Addo *et al.*, 2012) هم‌خوانی دارد؛ اما در تحقیقی که توسط اوگوکانل و فاتوبا (Ogukunle and Fatoba, 2014) انجام گرفت عکس این نتیجه حاصل گردید به‌طوری‌که عنصر روی، کمترین مقدار را در بین عناصر دارا بوده است. در مطالعه‌ای در اطراف کارخانه سیمان کرمان انجام گرفت بیان گردید که غلظت سرب در محدوده داخلی کارخانه ۹۵/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم است که در مقایسه با تحقیق حاضر، از غلظت بالایی برخوردار است که نوع مواد اولیه مورد استفاده و نوع فرآیند تولید در میزان آلودگی خاک می‌تواند موثر باشد (رجایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳).

غلظت عناصر با دور شدن از منبع آلودگی در مورد عناصر روی و مس از یک روند افزایشی تبعیت می‌کند در صورتی‌که عنصر سرب، از ابتدا تا فاصله ۱۵۰۰ متری کاهش می‌یابد و در فاصله ۲۰۰۰

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

متری افزایش را نشان می‌دهد که در مقایسه با خاک شاهد که در فاصله ۲۵۰۰ متری از کارخانه است، می‌توان نتیجه گرفت که روندی متغیر اما کاهشی دارد.

همچنین، نتایج حاکی از آن است که غلظت فلزات در اندام‌های مختلف گونه مورد نظر دارای اختلاف معنی‌داری است به‌طوری‌که میزان دو عنصر سرب و مس، در اندام زیرزمینی بیش از اندام هوایی بوده اما روی، برخلاف دو عنصر دیگر، در اندام هوایی با غلظت ۹۷/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم دارای بیشترین غلظت بوده است. این نتایج در شرایطی به‌دست آمده است که گونه مراحل رویشی خود را کامل نموده است. می‌توان گفت که با توجه به نوع گونه متفاوت، نتایج مختلفی در تحقیقات صورت گرفته به‌دست آمده است. در این راستا، اوگوکانل و همکاران (Ogukunle *et al*., 2013) در تحقیقاتشان بر روی گونه تاج خروس به نتایج مشابهی دست یافتند اما در ارتباط با گونه گوجه فرنگی میزان روی در اندام زیر زمینی را بیشتر از اندام هوایی گزارش کرده‌اند. در واقع، تحرک‌پذیری عناصر خاک، در شرایط رویشگاهی متفاوت از قبیل اسیدی یا قلیایی بودن (دره قایدی و همکاران، ۱۳۹۱)، شوری، میزان آهک و گچ، ماده آلی (Knezeric *et al*., 2009) و سایر شرایط تغییر می‌کند که این موضوع بر میزان تجمع آن‌ها در اندام‌های گیاهی اثر می‌گذارد (نوید شاد و جعفری صیاد، ۱۳۷۹). بر این اساس برخی عناصر با توجه به شرایط موجود و ایجاد قابلیت بیشتر، در اندام‌هایی نظیر برگ و ریشه تجمع بیشتری حاصل نموده و در برخی دیگر این شرایط معکوس می‌شود. این موضوع به قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک و جذب و انتقال آن‌ها به بخش‌های هوایی گونه‌های مورد مطالعه مرتبط است(دره قایدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ روحی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱؛ Reimann *et al*., 2001; Svetlana and Slavkovi, 2006;). در مورد عنصر مس، خلدبرین و اسلام زاده (۱۳۸۰) بیان داشتند که این عنصر می‌تواند اغلب کاتیون‌ها را از مکان جذبی خود خارج سازد و خود محکم به ریشه متصل شود. به‌همین دلیل مقدار آن در ریشه، اغلب بیشتر از مقدار آن در برگ و ساقه است که در گونه مورد مطالعه نیز چنین شرایطی دیده شده است.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته می‌توان دریافت که میزان انتقال‌پذیری عناصر بر اساس نوع گونه متفاوت است و روابط متفاوتی در جذب عناصر توسط گونه‌های مختلف مشاهده می‌شود و در مناطق مختلف با توجه به شرایط رویشگاهی، گونه‌های گیاهی، میزان غلظت مشابهی از نظر عناصر سنگین نداشته‌اند (Izaya *et al*., 2007; Nasri *et al*., 2008; Sayyad *et al*., 2010; Stevovic *et al*., 2010). نتایج تحقیق نشان داد غلظت عناصر در خاک منطقه کمتر از میزان این فلزات در میانگین جهانی و استاندارد جهانی برآورد شده است. همانطور که در نتایج بیان شده است غلظت فلزات سرب، مس و روی در خاک منطقه به‌ترتیب ۱۸/۶، ۳۱/۷۹ و ۶۶/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، این درحالی است که مقدار حداقل استاندارد این عناصر برابر با ۵۰، ۳۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است، این امر نشان

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

دهنده عدم وضعیت بحرانی عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه است.اما در مجموع، فلزات سنگین به‌دلیل قدرت تحرک و تجمع زیستی، حتی میزان جزئی آن در خاک و گیاه، بسیار قابل توجه است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، طبقه کیفی آلودگی توسط شاخص آلودگی PI_i برای سرب و مس در محدوده کم تا متوسط اما برای روی متوسط تا زیاد بود. با توجه به این‌که میزان این فلزات از حد استاندارد موجود تجاوز نکرده‌اند، این منطقه در معرض آلودگی قرار دارد. با توجه به این مورد احداث کارخانه‌هابه‌ویژه کارخانه‌های سیمان در مناطقی دور از مناطق مسکونی امری ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین، در بین عناصر مورد مطالعه، گونه *Kochia prostate* قابلیت بالاتری در جذب عنصر روی نسبت به مس و سرب از خود نشان داده است. از طرفی، میزان این عنصر در اندام‌های هوایی گیاه بیشتر جذب شده است که نشان می‌دهد علاوه بر قدرت جذب بالاتر توان بیشتری در انتقال این عنصر از خاک به اندام‌های هوایی داشته است. لذا، نتیجه کاربردی این تحقیق را می‌توان معرفی این‌گونه به‌عنوان گیاهی مناسب جهت احیاء مناطق آلوده به این عنصر اعلام نمود.

منابع

احمدی م. ۱۳۸۵. استفاده چندمنظوره از مراتع (مطالعه موردی: شهرستان فیروزکوه). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی ساری، دانشگاه مازندران. ۸۲ صفحه.

امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. موسسه خاک و آب. نشریه ۹۸۲.

توانکار ف.، شفقت ع. ۱۳۸۷. بررسی غلظت کروم در خاک و گیاهان اطراف کارخانه سیمان اردبیل. دومین همایش منطقه‌ای منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه آزاداسلامی واحد ارسنجان، ۱-۱۰.

توکلی محمدی، م.، خدادادی، ا.، پرتانی، ص. مرزبان، م. ۱۳۹۰. بررسی منابع آلاینده فلزات سنگین دراستان زنجان بااستفاده از GIS. سی‌امین همایش علوم زمین. تهران. ۱-۹.

خلدبرین، ب. و اسلام‌زاده، ط. ۱۳۸۰. تغذیه معدنی گیاهان عالی. دانشکده علوم دانشگاه شیراز ۴۳۲ صفحه.

دره قایدی، ب.، رسولی، م.ح.، خداوردیلو، ح. ۱۳۹۱. جذب و نگهداشت منگنز، آهن، روی و مس در چند خاک غیر اسیدی و اسیدی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار ۲(۱): ۶۳-۶۸.

ذوفن، پ.، سعادتخواه، ع.، رستگارزاده، س. ۱۳۹۲. مقایسه توانایی تغلیظ فلزات سنگین در پوشش گیاهی منطقه اطراف صنایع فولادسازی در جاده بندر امام-ماهشهر، اهواز. زیست‌شناسی گیاهی، سال پنجم، شماره شانزدهم، ۴۱-۵۶.

رجایی‌نژاد، م.، احرام پوش، م.ح.، نژادکورکی، ف. ۱۳۹۳. بررسی میزان آلودگی فلز سنگین سرب در خاک نواحی اطراف کارخانجات سیمان با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی و زمین انباشت (مطالعه موردی: کارخانه سیمان کرمان). اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست. دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۹ و ۲۰ شهریور. ۱- ۸.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

روحی مقدم، ع.، حسینی، م.، رحمانی، ا.، طبری، ا.، ابراهیمی، ع. ۱۳۹۱. فرایند تغذیه و بازگشت عناصرغذایی در جنگلکاری‌های خالص و آمیخته بلندمازو (مطالعه موردی: جنگل‌های پایین دست چمستان نور). فصلنامۀعلمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲(۲۰):۲۷۲-۲۵۶.

رفیعی ب.، آلیانی ف.، فرشباف م.۱۳۹۰. بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف کارخانه‌های سیمان و ذوب فلزات، جنوب شرق تهران، و ارتباط با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک. مجله یافته‌های نوین زمین شناسی کاربردی، ۹: ۳۰-۳۷.

عباسی، ج. سالاری. ۱۳۸۵. آلودگی‌های زیست محیطی کارخانجات سیمان، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن. ۷۰۱-۷۱۱.

مسلم‌پور ما.، شهدادی س.، نعیمی ر. ۱۳۹۱. ارزیابی آلودگی فلزات سمی دراطراف کارخانه سیمان خاش جنوب شرق ایران. اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط زیست، همدان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، ۱-۹.

نوید شاد، بهمن و علیرضا جعفری صیاد. ۱۳۷۹. تغذیه دام (ترجمه). انتشارات عمیدی. ۵۲۸ صفحه.

Abdulrasoul M.O., Salem E.M., Mahmoud E.A., Salem M.I 2011. Impact of cement dust on some soil properties around thecement factory in -Al-Hasa Oasis, Saudi Arabia. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 11(6): 840-846.

Addo M.A., Darko E.O., Gordon C., Nyarko B.J.B., Gbadago J.K., Nyarko E., Affum H.A., Botwe B.O. 2012. Evaluation of heavy metals contamination of soil and vegetation in the vicinity of a cement factory in the Volta Region, Ghana., International Journal of Science and Technology, 2(1): 40-50.

Adrino D.C. 2001. Trace element in Terrestrial environment. Biogeochemistry, bioavailability and risk ofmetal, Springer-Verlag, New York.

Al-Juboury A.I. 2009. Natural Pollution by Some Heavy Metals in the Tigris River, NorthernIraq. Int. J. Environ. Res. 3(2):189-198.

Al-Khashman, O.A., Shawabkeh, R.A. 2006. Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan, Environ Pollut, Vol. III, Nr. 140, pp: 387-94.

Al-Omran, A.M., El-Maghraby S.E. 2011. Impact of cement dust on some soil properties around cement factory in Al-Hasa Oasis. Amer. Eurasian J.Agric. and Environ. Sci. 11(6): 840-846.

Bilen, S. 2010. Effect of cement dust pollution on microbial properties and enzyme activities in cultivated and no-till soils. African Journal of Microbiology Research, 22(4): 2418-2425.

Bordbar, S.K., Jahromi, S.M. 2006. Exploring the potential of carbon storage in Eucalyptus and Acacia plantations in the western regions of Fars province.PhD thesis, Azad University, 153p.

Christophoridis, C. 2009. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators, Journal of Hazardous Materials.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

Davis, J.G., Parker M.B. 1993. Zinc toxicity symptom development and partitioning of biomass and zinc in peanut plants. Journal of Plant Nutrition, 16: 2353–2369.

Hernandez, L., Probst, A., Probst, J.L., Ulrich, E. 2003. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. The Science of the total Environment, 312: 195-219.

Izaya N., Oliver A., Chadwick A., Joshua P., Francisco C., Leonidas V. 2007. Temporal nutrient variation in soil and vegetation of post-forest pastures as afunction of soil order, pasture age,and management, Rondoˆnia, Brazil. Agriculture, Ecosystems and Environment. 118:159-172.

Isikli B., Demir T.A., Ürer S.M., Berber A., Akar T., Kalyoncu C. 2003. Effects of Chromium exposure from a cement factory. Environmental Research 91: 113-118.

Kling J. 1997. Phytoremediation of organics moving rapidly intotrials. International Journal of Environmental Science and Technology. 31(3):129-146.

Knezevic M., Stankovic D., Krstic B., Nikolic M.S., Vilotic D. 2009. Concentrations of heavy metals in soil and leaves of plant species *Paulownia elongata* S.Y.Hu and *Paulownia fortunei* Hemsl. African Journal of Biotechnology. 8(20): 5422-5429.

Loska K., Wiechula D. 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source heavy metal contamination in surface sediments from Rybnik Reservoir, Chemosphere, 51: 723–733.

Mandal A., Voutchkov M. 2011. Heavy metals in soils around the cementfactory in Rockfort, Kingston, Jamaica International Journal of Geosciences, 2, 48-54.

Nasri M., Khalatbari M., Zahedi H., Paknejad F., Tohidi Moghadam H.R. 2008. Evaluation of Micro and Macro Elements in Drought Stress Condition in Cultivars of Rapeseed (*Brassica napus* L.). American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 3(3): 579-583.

Ogunkunl C., Fatoba P. 2014. Contamination and spatial distribution of heavy metals in topsoil surrounding a mega cement factory. Atmospheric Pollution Research 5: 270–282.

Saha P.K. Hossain M.D. 2011. Assessment of heavymetal contamination and sediment quality in the Buriganga River, Bangladesh, 2nd International conference of environmental science and Technology, Singapore.

Samuel E., Aynalem D. 2012. Assessing the Effect of cement dust emission on the physiocochimical nature of soil around Messebo area, Tigray, North Etiopia. Int. J. Econ. Environ. Geol. 3(2): 12-20.

Sayyad G., Afyuni M., Mousavi S.F., Abbaspour K.C., Richards B.K., Schulin, R. 2010. Transport of Cd, Cu, Pb and Zn in a calcareous soil under wheat and safflower cultivation a column study. Journal of Geoderma. 154: 311–320.

Stevovic S., Mikovilovicand V.S., Calic-Dragosavac D. 2010. Environmental

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

impact of site location on macro and microelements in Tansy. African Journal of Biotechnology 9(16): 2408-2412.

Svetlana, L., Slavkovi L. 2006. Inorganic analysis of herbal drugs. Plant and soil analysis – diverse bioavailability and uptake of essential and toxic elements. J. Serb. Chem. Soc. 71(10): 1095–1105

Zhipeng H., Jinming S., Naixing Z., Peng Z., Yayan, X. 2009. Variation characteristics and ecological risk of heavy metals in the south Yellow Sea surface sediments. Environ. Monit. Assess. 157: 515-528.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]