دانشگاه جیرفت

Soil and Sustainable Development

Homepage: https://ssd.ujiroft.ac.ir

خـــاک
و توسعه پایدار

Investigation of the concentration of certain heavy metal in soil adjacent to Chromium mines in southern Kerman province

Parvin Amiranipour[1], Javad Zamani[2]✉ and Ghobad Jalali[2]

1- Former master student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran

2- Assisstant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran

Email: zamani@ujiroft.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Feb. 08, 2025

Revised: Mar. 10, 2025

Accepted: Mar. 26, 2025

Published: Summer, 2025

Keywords:

Mineral pollutant,

Human health,

Soil pollution,

Mining.

ABSTRACT

Heavy metals pollution is considered one of the most significant soil contaminants. Heavy metals present in the soil are not only absorbed by plants but also enter the human food chain through surface and groundwater. They can also enter the human body through atmospheric deposits and dust, posing health risks. Therefore, assessment of the presence and concentration of heavy metals in soil is an important issue. This study aimed to investigate the concentration of certain heavy metals (Cr, Cd, Pb, Ni, Cu, Zn, Mn) in soils affected by major chromium mines in the southern Kerman province, specifically the Esfandeghe, Aseminon, and Dehkahan mines. The results of this study indicated that mining activities can significantly contribute to the presence and occurrence of heavy metals in the surface soil of areas surrounding the mine, placing them in a definite risk range of metals. Among these, the assessment of certain heavy metals such as Zn and Cu, which may originate from agricultural activities and management practices like fertilization and pesticide use, was prevalent and in a definite risk range in the studied agricultural land (an orchard near the Dehkahan mine). This result indicates that agricultural activities may also have contributed to the increase concentration of heavy metals in the soils. however, the pollution with a definite risk level in soil around the mines, especially concerning Cd, Ni, Pb and Cr, suggests that mining activities, if not managed and controlled, can be a main source of soil and environmental pollution and the associated risks.

Cite this article: Amiranipour, P., Zamani, J. and Jalali, Gh., (2025), Investigation of the concentration of certain heavy metal in soil adjacent to Chromium mines in southern Kerman province, Soil and Sustainable Development, 1 (1), 33-46.

DOI: https://doi.org/10.22034/ssd.2025.498872.1004 **© The Author(s). Publisher: The University of Jiroft Press**

خـــاک
و توسعه پایدار

خاک و توسعه پایدار
Homepage: https://ssd.ujiroft.ac.ir

دانشگاه جیرفت

بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در خاک مجاور معادن کروم در جنوب استان کرمان

پروین امیرانی‌پور[1]، جواد زمانی باب‌گهری[2]✉ و قباد جلالی[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سابق، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایمیل: zamani@ujiroft.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۲۰ بهمن ۱۴۰۳
تاریخ بازنگری: ۲۰ اسفند ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۰۶ فروردین ۱۴۰۴
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
آلاینده معدنی،
سلامت انسان،
آلودگی خاک،
معدن‌کاری.

چکیده

آلودگی به فلزات سنگین، یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های خاک محسوب می‌شوند. فلزات سنگین موجود در خاک نه‌تنها توسط گیاهان جذب، بلکه ممکن است با ورود به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد زنجیره غذایی انسان شوند، و همچنین می‌توانند از طریق رسوبات اتمسفری و ریزگردها وارد بدن شده و سلامتی انسان را به خطر اندازند. بنابراین بررسی وجود فلزات سنگین و مقدار آن‌ها در خاک موضوع مهمی است. لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی غلظت برخی فلزات سنگین (Cr, Cd, Pb, Ni, Cu, Zn, Mn) در خاک‌های متاثر از معادن اصلی کروم در جنوب استان کرمان یعنی معدن اسفندقه، آسمینون و دهکهان انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد فعالیت‌های معدن‌کاری می‌تواند تا حد زیادی موجب حضور و بروز عناصر سنگین در خاک سطحی مناطق اطراف معدن شود و در محدودهٔ خطر قطعی قرار گیرد. در این میان، بررسی برخی از عناصر سنگین نظیر روی و مس که می‌توانند منشأ کشاورزی و حاصل مدیریت‌های کشاورزی نظیر کوددهی و استفاده از آفت‌کش‌ها باشند، در کاربری کشاورزی مورد بررسی (باغ نزدیک معدن دهکهان)، زیاد و در محدوده خطر قطعی بود؛ که این موضوع نشان می‌دهد فعالیت‌های کشاورزی نیز می‌توانند افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک منطقه را موجب شده باشند. اما آلودگی با درجه خطر قطعی در خاک اطراف معادن، به ویژه در مورد عناصر کادمیوم، نیکل، سرب و کروم، نشان می‌دهد فعالیت‌های معدن‌کاری در صورتی که مدیریت شده و کنترل‌شده نباشند، می‌توانند منبع مهمی برای آلودگی خاک و محیط زیست و خطرات ناشی از آن محسوب شوند.

ارجاع به مقاله: امیرانی‌پور، پروین، زمانی باب‌گهری، جواد و جلالی، قباد، (۱۴۰۴)، بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در خاک مجاور معادن کروم در جنوب استان کرمان ، خاک و توسعه پایدار، ۱ (۱)، ۳۳-۴۶.

© نویسندگان ، ناشر: انتشارات دانشگاه جیرفت

DOI: https://doi.org/10.22034/ssd.2025.498872.1004

مقدمه

نادیده گرفتن روابط صحیح میان نیازهای بشری و محیط زیست، زندگی موجودات در کره زمین را روز به روز با مسایل پیچیده‌تری مواجه ساخته است؛ به طوری که انسان با فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی که با هدف بهره‌برداری از منابع و امکاناتی برای ادامه زندگی، انجام می‌دهد، ضمن ایجاد تغییرات مفید و مناسب، می‌تواند سبب آلودگی آن نیز شود. آلودگی عبارت است از ورود بیش از حد یک ماده (جامد، مایع و گاز) و یا انرژی (گرما، صدا و اشعه رادیواکتیو) به محیط زیست (آب، خاک و هوا) که منجر به آسیب بلندمدت یا کوتاه مدت به سلامت اکولوژیکی آن شود و از نظر کمی و کیفی بر موجودات زنده و زندگی آن‌ها تاثیر منفی بگذارد (Yadav et al., 2022). آلودگی خاک سبب کاهش کیفیت خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی، تغییر ترکیب طبیعی آن، کاهش رشد و نمو گیاهان و در نهایت تخریب خاک می‌شود. آلاینده‌های معدنی و آلی فراوانی در طبیعت وجود دارند که با منشأ طبیعی دارند و یا در اثر فعالیّت‌های انسانی به وجود می‌آیند.

یکی از آلاینده‌های محیط زیست و خاک، فلزات سنگین می‌باشند. اصطلاح فلزات سنگین از نظر بیولوژیکی به عناصری اطلاق می‌شوند که دارای خواص سمی هستند. مانند آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، کبالت (Co)، آهن (Fe)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، جیوه (Hg)، مس (Cu)، قلع (Sn) و روی (Zn). فلزات سنگین به طور طبیعی در سطوح مختلف در محیط‌های آب و خاک وجود دارند. سمیت فلزات سنگین در خاک می‌تواند به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر شرایط زیست محیطی باشد. فلزات به شدت به مواد آلی مختلف از قبیل پروتئین‌ها، هومیک اسیدها و فولویک اسیدها متصل می‌شوند. با این‌حال فرآیندهای کمپلکس شدن، اثرات متقابل یونی و تشکیل رسوب، از مهم‌ترین پدیده‌هایی هستند که می‌توانند فراهمی این عناصر را کاهش داده و منجر به ایجاد نشانه‌های کمبود آن‌ها در گیاهان در حال رشد شود. در واقع بسیاری از فلزات سنگین خود برای رشد گیاه هم ضروری هستند. اما همین فلزات سنگین در مقادیر زیاد به شدت برای سلول‌های گیاه سمی هستند، زیرا موجب دناتوره‌شدن (Denaturation) پروتئین‌ها می‌شوند (Senthil et al., 2020)؛ دناتوره شدن یعنی از دست دادن ساختار سه‌بعدی یک مولکول زیستی؛ از آنجاییکه عملکرد یک بیومولکول مانند پروتئین به ساختار سه‌بعدی آن وابسته است، این عمل موجود از بین رفتن کارایی آن می‌شود، در نتیجه عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن در طبیعت و طول عمر زیستی بالا، به عنوان یک آلایندهٔ بسیار مهم محیط زیست محسوب می‌شوند. فلزات سنگین موجود در خاک نه تنها توسط گیاهان جذب و وارد زنجیره غذایی می‌شوند، بلکه ممکن است با ورود به آب‌های سطحی و زیرزمینی، سلامتی موجودات زنده را به خطر اندازند (Hu et al., 2007). به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که روی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف معدن فعال سرب، روی و مس ترکیه انجام شد، نتایج نشان داد که اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی و ورود آن‌ها به آب، باعث تولید آب‌های اسیدی با مقادیر بالای سولفات می‌شوند، آب‌های اسیدی منجر به انحلال فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی آهن، منگنز، سرب و روی و عامل ورود آن‌ها به آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند (Keskin and Toptas, 2012). همچنین، فلزات سنگین ماندگاری زیادی در محیط زیست دارند و می‌توانند تنوع، ساختار و عملکرد اکوسیستم را برهم بزنند (Muler et al., 2002). به طور مثال، پژوهش‌ها نشان می‌دهند که آلودگی خاک به فلزات سنگین موجب تاثیر منفی بر جمعیت میکروبی خاک نیز می‌شود (Li et al., 2007; Wang et al., 2023).

فلزات سنگین در خاک ممکن است از فعالیت‌های کشاورزی، شهرنشینی، صنعتی‌سازی و فعالیت‌های معدنی ناشی شوند. آن‌ها می‌توانند از طریق رنگ‌ها، کودها، آفت‌کش‌ها، نشت از صنایع پتروشیمی و مناطق صنعتی، معادن متروک و رهاشده، بنزین سرب‌دار و رسوبات جوی، وارد خاک و آن را آلوده کنند (Zhang, 2006). در این میان فعالیت معادن به عنوان یکی از خطرناک‌ترین فعالیت‌های انسانی آلوده‌کننده خاک به فلزات سنگین در جهان محسوب می‌شود. تاکنون پژوهش‌های متعددی جهت ارزیابی پراکنش فلزات سنگین موجود در خاک‌های مختلف از قبیل خاک‌های شهری، صنعتی، کشاورزی و غیره انجام شده است (Lin et al., 2004; Keskin and Toptas, 2012).

برخی از فلزات سنگین در خاک سطحی حوالی معادن دارای غلظت بالایی هستند. گاهی اوقات به علت استفاده ناکارآمد از معادن، مواد باطله تولیدی که دارای غلظت فلزی بالایی هستند در معرض عوامل جوی و در محیط خاک و در برخی موارد در محیط خاک‌های حاصلخیز کشاورزی رهاسازی می‌شوند. نمونه خاک‌های نزدیک معادن که دارای غلظت بالای فلزات سنگین می‌باشند، نشان‌دهندهٔ وابسته بودن آلودگی خاک به فعالیت معدن می‌باشد (Rahmani et al., 2009). اراضی همجوار معادن به واسطه رواناب‌ها و ریزگردها، متاثر از عناصر آلاینده معدن می‌باشند (Wu and Zhang, 2010).

یکی از فلزات سنگین کروم می‌باشد، که در جنوب استان کرمان معادن آن وجود دارند. این موضوع می‌تواند تاثیراتی بر توزیع آلودگی خاک اراضی مجاور معادن به این عنصر در اثر ریزگردها و آب‌های سطحی و زیرسطحی داشته باشد. کروم در تمام بخش‌های محیطی از جمله آب، هوا و خاک در غلظت‌های مختلف وجود دارد. اما منبع عمده آن خاک است، که به صورت پیوند با ذرات خاک تجمع می‌یابد (Shanker et al., 2005). معادن کرومیت نیز منبع مهم کروم در طبیعت محسوب می‌شوند، که به دلیل با ارزش بودن می‌توانند برای پوشش گیاهی منطقه خطرزا باشند (Sundaramoorthy et al., 2010).

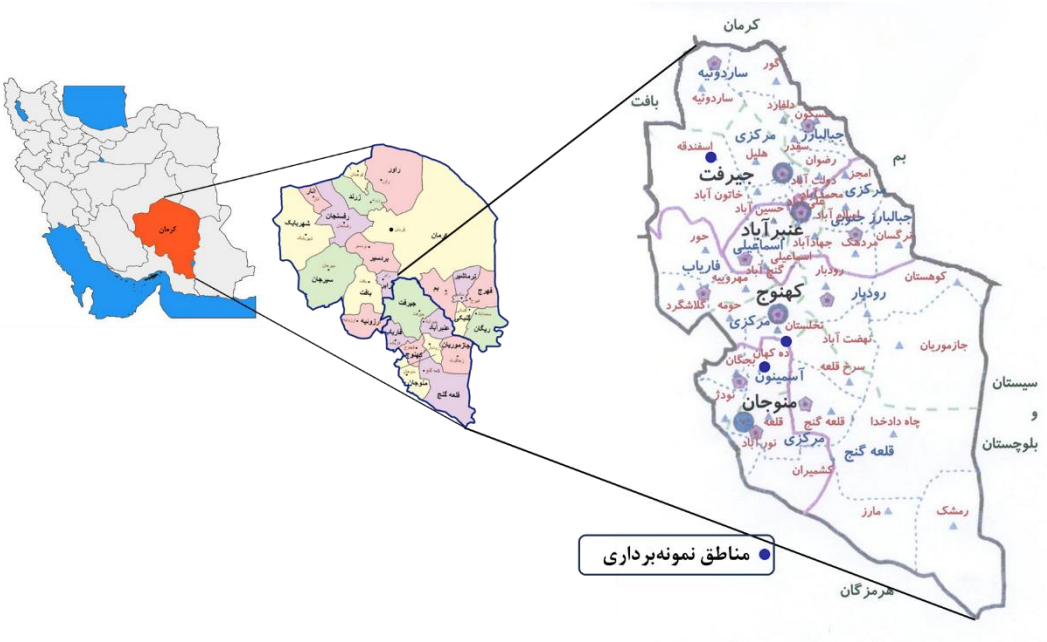
آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی ناشی از استفاده از کروم در فعالیت‌های مختلف انسانی یک مشکل جهانی است، که دهه‌ها است توسط جامعه علمی مورد بررسی قرار گرفته و هنوز هم به عنوان یک موضوع رایج می‌باشد (پیروز و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعه‌ای، محققین مقدار کروم، نیکل و کبالت در نمونه‌های محیط زیست را مقایسه نموده و نتیجه گرفته‌اند که: این عناصر به‌طور دائم در حال افزایش هستند و می‌توانند به حد سمی برسند. از یک سو این عناصر برای متابولیسم حیاتی مهم هستند و از طرف دیگر وقتی غلظت آن‌ها به حد بحرانی برسد، این عناصر تخریب‌کنندهٔ محیط‌زیست و عامل بیماری‌زایی در ارگانیسم‌ها خواهند بود. آنچه از همه مهم‌تر است، سرطان‌زا و جهش‌زا بودن آن‌ها در حیوانات و انسان است (Sharma et al., 2003).

از آنجایی که شرایط منطقه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در انباشت فلزات سنگین در محیط خاک، قابلیت در دسترسی آن‌ها و در نهایت جذب این فلزات به وسیله گیاه موثر هستند، این پژوهش با توجه به وجود منابع معدنی از عنصر کروم در جنوب استان کرمان، به بررسی وضعیت این عنصر و همچنین برخی دیگر از فلزات سنگین در خاک‌های مجاور متاثر از معادن انجام شد.

منطقه مطالعاتی

تعداد ۱۲ نمونه مختلف خاک از اراضی مجاور معادن کروم جنوب استان کرمان در منطقهٔ اسفندقه (شهرستان جیرفت)، منطقه دهکهان (شهرستان کهنوج) و منطقه آسمینون (شهرستان منوجان)، به روش نمونه‌برداری تصادفی از خاک سطحی (عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری) برداشت شد. نمونه‌ها پس از تهیه به آزمایشگاه منتقل و برخی از ویژگی‌های خاک

و همچنین غلظت برخی از فلزات سنگین در آن‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه در این پژوهش را روی نقشه ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه روی نقشه و نقاط نمونه‌برداری در جنوب استان کرمان

مواد و روش‌ها

آنالیز برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

برخی از ویژگی‌های مهم و تأثیرگذار خاک روی قابلیت دسترسی فلزات سنگین شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (Andrenelli et al., 2016)، کربن آلی به روش والکلی و بلاک (Page et al., 1982)، اسیدیته خاک در گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (Page et al., 1982) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری غلظت کل برخی فلزات سنگین در خاک

نمونه‌های خاک بعد از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متر عبور و در آون در درجه حرارت ۱۰۵ درجه به مدت یک شبانه روز قرارداده شدند. ۲ گرم از نمونه‌های خاک خشک شده در بالن ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد؛ ۱۰ میلی‌لیتر محلول تیزاب سلطانی (مخلوطی از اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت ۳:۱) به آرامی به نمونه‌ها اضافه شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها روی دستگاه گرمکن (هیتر) ابتدا به مدت ۱ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و سپس به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شد. با احتیاط قبل از به جوش آمدن، نمونه‌ها برداشته و با استفاده از آب مقطر

به حجم رسانده شدند. در نهایت غلظت کل فلزات سنگین، کروم، کادمیوم، سرب، روی، مس، منگنز و نیکل با استفاده از دستگاه جذب اتمی (پرکین المر مدل ۷۰۰۰) قرائت شد (Chand and Prasad, 2013).

نتایج و بحث

مقادیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در نقاط نمونه‌برداری در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

نمونه	pH	EC	ماده آلی	شن	رس	سیلت	بافت خاک
		(ds/m)	درصد				
S1	7.41	0.850	0.877	87.29	5.21	7.50	Loamy Sand
S2	7.46	0.915	0.682	88.24	5.44	6.32	Sand
S3	7.52	1.98	1.0725	86.76	3.67	9.56	Loamy Sand
S4	8.40	0.701	0.487	85.54	6.43	8.03	Loamy Sand
S5	7.99	0.370	0.682	92.89	3.12	3.99	Sand
S6	8.61	0.610	0.975	92.24	4.72	3.04	Sand
S7	7.62	1.69	0.682	90.09	5.76	4.15	Sand
S8	7.51	1.05	0.117	90.96	0.76	8.28	Sand
S9	7.63	1.11	1.2675	88.84	3.42	7.74	Sand
S10	7.84	0.713	0.887	87.06	4.93	8.01	Loamy Sand
S11	8.58	0.886	0.682	93.96	0.76	5.28	Sand
S12	7.88	0.783	0.487	90.96	3.72	5.32	Sand

S1- خاک مرتعی منطقه معدن اسفندقه، S2- خاک مجاور معدن آسمینون (موقعیت ۱)، S3- خاک مجاور معدن اسفندقه، S4- خاک مجاور معدن معدن راش - آسمینون، S5- خاک مجاور معدن آسمینون (موقعیت ۲)، S6- خاک مجاور معدن فرعی آسمینون (موقعیت ۳)، S7- خاک مجاور معدن آسمینون (موقعیت ۴)، S8- خاک مرتعی منطقه آسمینون، S9- خاک مرتعی منطقه معدن دهکهان، S10- خاک باغ در منطقه معدن دهکهان، S11- خاک منطقه معدن دهکهان (دامنه کوه) و S12- خاک مجاور معدن دهکهان

نتایج نشان داد که درصد شن در هر ۱۲ نمونه بالای ۸۵ درصد بود، لذا بافت لایه سطحی خاک در تمام نمونه‌ها کلاس شن[1] و شن لومی[2] بود. خاک‌های درشت‌بافت از لحاظ نفوذ آب و نیز وارد شدن آب‌های سطحی به سفره‌های آب

1- Sand
2 -loamy sand

زیرزمینی شرایط مناسبی دارند، از طرفی کمبود رس خاصیت فیلتر بودن و تصفیه‌کنندگی خاک را می‌گیرد و این موارد در صورتی که خاک منطقه آلوده باشد، می‌تواند باعث ورود آلاینده‌ها به آب زیرسطحی شود. pH در هر ۱۲ نمونه خاک در محدوده ۷ تا ۸/۵ یعنی در محدوده قلیایی بود. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی[3] یا شوری خاک در همهٔ نمونه‌ها پایین و در محدودهٔ خاک‌های غیرشور بود (کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر). مقدار مواد آلی خاک‌ها در محدوده ۰/۱ تا ۱/۲۶ بود. اقلیم (میانگین درجه حرارت و مقدار بارندگی)، از جمله عوامل موثر بر مقدار تجمع کربن آلی در خاک می‌باشند. از این لحاظ هرچه بارندگی منطقه بیشتر و درجه حرارت آن پایین‌تر (خنک‌تر) باشد، تجمع مواد آلی خاک بیشتر بوده و در شرایط گرم و خشک، تجزیه مواد آلی بیشتر و در نتیجه مقدار کربن آلی خاک کمتر است؛ از طرفی به دلیل کمبود پوشش گیاهی، تثبیت کربن اتمسفر از طریق فتوسنتز و بازگشت آن به خاک در مناطق گرم و خشک کمتر اتفاق می‌افتد. از این رو در منطقه جنوب استان کرمان به‌دلیل کمی بارندگی و شرایط گرم و خشک حاکم بر این منطقه، تجزیه مواد آلی بیشتر و همچنین به‌دلیل شرایط نامساعد اقلیمی (بارندگی کم) مقدار تولید مواد آلی نیز پایین‌تر است، بنابراین مقدار کربن آلی خاک پایین می‌باشد.

بررسی مقادیر برخی از فلزات سنگین در نمونه‌های خاک

نتایج مقادیر کل برخی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک در جدول ۲ آورده شده است. همچنین در جدول ۳، محدوده مشخص شده استاندارد برای فلزات سنگین مورد مطالعه طبق گزارش سازمان محیط زیست ایران (افیونی، ۱۳۹۰) آورده شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، غلظت کروم در اکثر نمونه‌های خاک مورد مطالعه و به طور ویژه در نقاط معدنی بالا بود. در نمونه S1 (خاک ریزوسفری مجاور معدن کروم اسفندقه) کم‌ترین مقدار کروم کل (۱۰۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در نمونه S12 (خاک معدنی معدن دهکهان) بیشترین غلظت (۲۱۶۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. اما تنها در نمونه S12 مقدار کروم در محدوده‌ی خطر قطعی بود؛ همچنین در خاک نمونه‌های (S3, S4, S6, S7) مقدار کروم بر اساس استاندارد مورد استفاده، در محدوده‌ی امکان خطر قرار داشت و بقیه نقاط از این لحاظ آلوده نبودند (محدوده‌ی بی‌خطر)

[3] -Electrical conductivity

جدول ۲- مقادیر کل برخی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)

نمونه	Cr	Cd	Pb	Ni	Cu	Zn	Mn
S1	103.80	1.05	22.05	14.50	16.47	20.12	5.80
S2	410	15	386.25	362.50	411.25	640	17.50
S3	821.25	65	1373.75	1695	802.50	450	235
S4	718.75	57.5	1451.25	1435	296.25	452.50	170
S5	352.50	30	677.50	867.50	1127.50	200	127.50
S6	715	62.50	1393.75	1497.50	528.75	823.65	320
S7	535	26.25	696.25	721.25	815	172.50	80
S8	352	45	1182.50	713.75	792.50	1198.75	257.5
S9	250	36.25	1028.75	227.50	1471.25	1807.50	257.5
S10	183.75	32.5	783.75	51.25	2120	2331.25	228.75
S11	402.50	50	1182.5	1116.25	492.50	361.25	248.75
S12	2162.50	13.75	375	797.5	435	95	1922.50

S1- خاک مرتعی منطقه معدن اسفندقه، S2- خاک مجاور معدن آسمینون (موقعیت ۱)، S3- خاک مجاور معدن اسفندقه، S4- خاک مجاور معدن معدن راش - آسمینون، S5- خاک مجاور معدن آسمینون (موقعیت ۲)، S6- خاک مجاور معدن فرعی آسمینون (موقعیت ۳)، S7- خاک مجاور معدن آسمینون (موقعیت ۴)، S8- خاک مرتعی منطقه آسمینون، S9- خاک مرتعی منطقه معدن دهکهان، S10- خاک باغ در منطقه معدن دهکهان، S11- خاک منطقه معدن دهکهان (دامنه کوه) و S12- خاک مجاور معدن دهکهان

جدول ۳- محدوده‌های مشخص شده استاندارد برای فلزات سنگین (غلظت: میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)

	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	Cr
خطر قطعی	>2000	>9380	>3930	>1410	>270	>24	>1230
محدوده امکان خطر	1000-2000	5620-9380	500-3930	530-1430	60-270	8-24	480-1230
بی خطر	<1000	5620<	500<	530<	60<	<8	<480

بررسی‌های انجام شده براساس جدول حدود استاندارد عناصر سنگین، نشان داد که غلظت کل کادمیوم در نمونه S1 در محدوده بی‌خطر، در نمونه‌های S2 و S12 در محدوده‌ی امکان خطر و در بقیه نمونه‌ها (S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11) در محدوده خطر قطعی بر اساس استاندارد تعیین شده، قرار داشتند. خاک نمونه S1 از لحاظ مقدار سرب هم غیرآلوده و در محدوده‌ی بی‌خطر بود، اما سایر نقاط مورد مطالعه از این لحاظ در محدوده آلوده و خطر قطعی بودند. این

نتایج اهمیت توجه ویژه به این عنصر سرب و نیز کادمیوم در خاک این مناطق و بررسی‌های دقیق‌تر آن‌ها را نشان می‌دهد.

غلظت کل مس در برخی نمونه‌ها (S3, S5, S6, S7, S8, S9, S10) در محدوده امکان خطر و در بقیه نمونه‌ها (S1, S2, S4, S11, S12) در محدوده بی‌خطر بود. بیشترین غلظت و مقدار مس (۱۴۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به باغ‌های مجاور معدن دهکهان بود، این موضوع نشان می‌دهد، احتمالاً عملیات کشاورزی (استفاده از سموم و کودها) موجب افزایش این عنصر در خاک سطحی آن منطقه شده است. بررسی غلظت کل نیکل در مناطق نمونه‌برداری نشان داد که خطر قطعی آلودگی به نیکل در برخی نمونه‌ها (S3, S4, S6) یعنی در اطراف معدن اسفندقه و معادن آسمینون وجود دارد و از این لحاظ بیشترین مقدار آلودگی به نیکل مربوط به نمونه برداشت شده از اطراف معدن اسفندقه مشاهده شد. همچنین در برخی دیگر از نمونه‌ها (S5, S7, S9, S11, S12) به ویژه نمونه‌های نزدیک به معادن مورد بررسی، آلودگی به عنصر نیکل در محدوده امکان خطر قرار داشت و بقیه نمونه‌ها (S1, S2, S9, S10) بر اساس استاندار مورد استفاده، خاک غیرآلوده و در محدوده‌ی بی‌خطر بودند. غلظت کل منگنز در نمونه S12 در محدودهٔ امکان خطر قطعی و در یازده نمونه دیگر در محدودهٔ بی‌خطر بود. غلظت کل روی در همه نمونه‌ها در محدوده بی‌خطر بود، اما نتایج نشان داد که کشاورزی باغی در منطقه اطراف معدن دهکهان (S10) تا حدی موجب افزایش غلظت عنصر روی در خاک این باغ شده است که بخشی از این افزایش غلظت می‌تواند ناشی از استفاده کودها در خاک باشد.

منابع معدنی به ویژه کانی‌های فلزی حاوی مقادیر قابل توجهی از انواع عناصر سنگین می‌باشند که به‌طور بالقوه سمی می‌باشند. ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی با سنگ‌ها و رگه‌های معدنی و هوازدگی سنگ‌ها در کانسارها باعث آزادسازی این عناصر شده و مقدار زیادی از این فلزات سنگین و عناصر سمی می‌تواند در رسوبات پایین دست و خاک‌های مجاور نیز وجود داشته باشد، که غلظت این عناصر بستگی به منبع و رگه‌های معدنی آن منطقه دارد.

در سال‌های اخیر آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها به دلیل سمیت بالقوه‌ی آن‌ها مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. فعالیت‌های انسانی مربوط به شهرنشینی، صنعت و معدن‌کاری از منابع مهم ورود فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها به خاک می‌باشند. فلزات سنگین می‌توانند مسافت‌های طولانی از طریق ذرات اتمسفری و ریزگردها حمل شوند، بخشی از این فلزات ممکن است به وسیله‌ی رسوب اتمسفر به خاک‌ها منتقل شوند،

بنـابراین خاک‌ها، بـه‌ویژه خـاک‌هـایی کـه در مجـاورت منـاطق صنعتی و معدن‌کاری هستند، مکان‌های مهمی برای تجمع فلزات سـنگین محسـوب می‌شـوند (Barkett and Akun, 2018)، عناصـر سـنگینی که توسـط رسـوبات اتمسـفری و ریزگردها به نقاط دیگر منتقل می‌شـوند، می‌توانند موجب بیماری‌های تنفسـی و نیز خطرات حاصـل از این عناصـر بر سلامت انسان در اثر بلع و ورود به بدن نیز شوند (عبدلی و همکاران، ۱۳۹۲).

نتایج برخی پژوهش‌ها نشـان می‌دهد که توزیع مکانی و غلظت فلزات سـنگین در خاک اطراف مناطق معدنی و صـنعتی تابعی از فاصله تا معادن و کارخانه و مناطق صنعتی می‌باشد و منحنی شدت آلودگی با افزایش فاصله از مناطق معدنی و صـنایع کاهش می‌یابد (یاری و همکاران، ۱۳۹۵)، اما عملیات کشـاورزی نیز به‌دلیل مصـرف بیش از حد کودهای دامی و شیمیایی می‌تواند باعث افزایش این عناصر در خاک شود (برزین و همکاران، ۱۳۹۴).

اسد شهانقی و احمدی (۱۳۹۸) وضعیت آلودگی اطراف معدن شـنیدسـتان زنجان به برخی فلزات سـنگین (Zn, Pb, Ni, Cu, Cr, Cd, As) را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشـــان داد که متوســـط غلظت فلزات روی (۱۱۲۴/۴)، مس (۳۴۳/۱)، ســـرب (۲۲۹/۷)، آرســـنیک (۴۰/۱)، کروم (۲۸/۳)، کادمیوم (۲۷/۱) و نیکل (۱۴/۶) بر حســـب میلی‌گرم بر کیلوگرم در نمونه‌های خاک، نسبت به استاندارد کیفیت منابع خاک ایران (به جزء نیکل و سرب) بسیار بیشتر بود. آن‌ها بیان داشتند که فعالیت‌های معدن‌کاری و استخراج کانسنگ می‌تواند باعث افزایش غلظت فلزات سنگین و دسترس‌پذیری آن‌ها در محیط خاک شود.

پژوهش‌های زیادی نشـــان داده‌اند که فعالیت‌های انســـانی بر توزیع فلزات ســـنگین در خاک تاثیر دارند. به عنوان مثال مطالعه‌ای در کشور صربستان توســـط Mihailović و همکاران (۲۰۱۵) برای بررسی غلظت فلزات سنگین و منـــابع آلـــودگی در خـــاک‌هـــای شـــهر نووی ساد صورت گرفت. نتـــایج آن‌ها نشـــان داد که آرســـنیک، کبالت، کروم، منگنز و نیکـــل منشـــأ طبیعـــی و مـــس، ســـرب و روی منشـــأ انســـانی دارنـــد. همچنین در پژوهش دیگری که بررسی آلودگی هشت فلز سنگین در یک شهرک صنعتی قدیمی در شمال چین انجام شد، نتایج نشان داد، غلظت سرب، کادمیوم و مس بیشـتر از مقدار اسـتاندارد بود، و دلیل غلظت بالای این فلزات را ناشـی از فعالیت‌های انسـانی دانسـتند (Li and Feng, 2012). پژوهشـگران در بررسـی تاثیر صـنایع فولاد خوزسـتان بر آلودگی خاک نواحی اطراف این صـنایع به این نتیجه رسیدند که بیشـترین مقدار آلودگی در این منطقه مربوط به آهن، آرسـنیک و سـرب اسـت (Rastmanesh et al., 2013).

در مطالعه‌ای دیگر پژوهشگران غلظت‌های بالای به‌دست آمده برای فلزات سرب و کادمیوم در ارزیابی آلودگی خاک با فلزات سنگین در شهرستان آران و بیدگل را تحت تاثیر حضور منابع انسانی همچون مناطق صنعتی، کوره‌های آجرپزی و مناطق شهری دانستند (Baghaie et al., 2007). در مطالعه حاضر نیز افزایش برخی از عناصر سنگین (به ویژه مس و روی) در مناطق کشاورزی و باغی نشان می‌دهد که فعالیت‌های کشاورزی نیز علاوه بر منابع آلاینده‌ای مانند معادن می‌توانند افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک منطقه را موجب شده باشند. اما آلودگی با درجه خطر قطعی در خاک اطراف معادن، به ویژه در مورد عناصر کادمیوم، نیکل، سرب و کروم، نشان می‌دهد فعالیت‌های معدن‌کاری در صورتی که مدیریت شده و کنترل‌شده نباشند، می‌توانند منبع مهمی برای آلودگی خاک و محیط زیست و خطرات ناشی از آن محسوب شوند.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن بالا بودن غلظت کروم به عنوان یک آلاینده محیطی در خاک‌های اراضی مجاور مناطق معدنی جنوب استان کرمان، باید اقدامات لازم جهت کاهش انتقال این آلاینده از خاک‌های معدنی به اراضی مجاور و نیز جلوگیری از ورود آن به رسوبات اتمسفری و ریزگردها و در نتیجه جلوگیری از انتقال آن‌ها به زنجیره غذایی انسان، صورت پذیرد. با توجه به موقعیت‌های مورد مطالعه و تنوع نمونه‌های گرفته شده از چند موقعیت در جنوب استان کرمان، این مناطق در معرض آلودگی‌های مختلف از جمله آلودگی خاک به برخی فلزات سنگین از جمله کروم قرار دارند. بنابراین تعیین دقیق‌تر غلظت فلزات سنگین در این مناطق و ارائه راه‌های موثر و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مناسب و کارآمد جهت پیشگیری، کنترل و کاهش آلودگی خاک‌های مجاور مناطق معدنی و توزیع و گسترش این فلزات سنگین به نقاط شهری مهم از جمله جیرفت، کهنوج، بافت، منوجان، قلعه‌گنج، فاریاب و سایر مناطق اطراف این معادن، امری ضروری است. چرا که ورود این عناصر به منابع آب و جذب توسط گیاهانی که در خاک این مناطق رشد و نمو می‌کنند، می‌تواند در دراز مدت باعث اثرات زیان‌بار بهداشتی برای انسان‌ها و موجودات این مناطق باشد.

منابع مورد استفاده

افیونی، م. ۱۳۹۰. *راهنمای تعیین حداکثر بار مجاز آلودگی منابع آلاینده قابل تخلیه به منابع خاک*. اداره کل محیط زیست استان اصفهان. ۵۲۲ صفحه.

اسد شهانقی، غ. و ف. احمدی. ۱۳۹۸. ارزیابی وضعیت آلودگی خاک‌های اطراف معدن شیندستان زنجان به فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی). شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه زنجان.

برزین، م.، خیرآبادی، ح.، و افیونی، م.، ۱۳۹۴. بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین خاک‌های سطحی استان همدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی - علوم آب و خاک*، ۱۹(۷۲) ۶۹-۸۰.

پیروز، پ.، خ. منوچهری کلانتری و ف. نصیبی. ۱۳۹۵. بررسی فیزیولوژیک گیاه آفتابگردان تحت تنش کروم: *تأثیر بر رشد، تجمع و القای تنش اکسیداتیو در ریشه آفتابگردان (Helianthus annuus)*. *مجله زیست شناسی گیاهی*. ۹۳: ۹۹-۹۱.

عبدلی، س.، خلیلی مقدم، ب.، رهنما، م.، ۱۳۹۲. بررسی میزان غلظت عناصر سنگین در ریزگرد های برخی از شهرهای کشور، اولین همایش ملی آلاینده های کشاورزی و سلامت غذایی، چالشها و راهکارها، اهواز.

یاری، ی.، ممتاز، ح.ر.، و طاهری، م.، ۱۳۹۵. توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه صنعتی زنجان. *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۶(۱)، ۲۲۳-۲۳۶.

Andrenelli, M.C., Maienza, A., Genesio, L., Miglietta, F., Pellegrini, S., Vaccari, F.P., & Vignozzi, N. (2016). Field application of pelletized biochar: Short term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*, 163(1):190-196.

Baghaie, A.H., Khademi, H., & Mahammadi, J. (2007). Geostatistical analysis of spatial variability of Lead and Nickel around two industrial factories in Isfahan Province. Journal of *Agriculture Sciences and Natu- ral Resources,* 14(2):1-9.

Barkett, M.O., & Akun, E. (2018). Heavy metal contents of contaminated soils and ecological risk assessment in abandoned copper mine harbor in Yedidalga, Northern Cyprus. *Environmental Earth Sciences*, 77:378-389.

Chand, V., & Prasad, S. (2013). ICP-OES assessment of heavy metal contamination in tropical marine sediments: a comparative study of two digestion techniques. *Microchemical Journal*, 111:53-61.

Hu, Q., Qi, H-Y., Zeng, J-H., & Zhang, H-X. (2007). Bacterial diversity in soils around a lead and zinc mine. *Journal of Environmental Sciences,* 19:74-79.

Keskin, T., & Toptaş, E. (2012). Heavy metal pollution in the surrounding ore deposits and mining activity: a case stady from Koyulhisar (Sivas-Turkey), *Evviron Earth Science,* 67:859-866.

Li, X., & Feng, I. (2012). Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China. *Atmospheric Environment*, 47, 58-65.

Li, Z., Xu, J., Tang, C., Wu, J., Muhammad, A., & Wang. H. (2007). Application of 16S rDNA-PCR amplification and DGGE fingerprinting for detection of shift in microbial community diversity in Cu-, Zn-, and Cd-contaminated paddy soils. *Chemosphere*, 62:1374-1380.

Lin, H., Wong, S., & Li, G. (2004). Heavy metal content of rice and shellfish in Taiwan. *J. Food Drug Anal,* 12:167-174.

Mihailović, A., Budinski-Petković, L., Popov, S., Ninkov, J., Vasin, J., Ralević, N.M., & Vasić, M.V. (2015). Spatial distribution of metals in urban soil of Novi Sad, Serbia: GIS based approach. *Journal of Geochemical Exploration*, 150: 104-114.

Muler, A.K., Westergaard, K., Christensen, S., & Sørensen, S.J. (2002). The diversity and function of soil microbial communities exposed to different disturbances. *Microbial Ecology*, 44:49-58.

Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). *Methods of Soil Analysis*. Second edition. Part2: Chemical and Biological Properties. Madison, WI: American Society of Agronomy.

Rahmani, A.R., Norozi, R., Samadi, M.T., & Afkhami, A. (2009). Hexavalent chromium removal from aqueous solution by produced Iron nanoparticles. *Iran J Environ Health*, 1(2):67-74.

Rastmanesh, F., Zarosvandi, A., & Hormozinejad, F. (2013). An investigation on Khuzestan steel industry in soil pollution around it. *First International Congress of Earth Sciences; Tehran, Iran.*

Senthil, S.K., Murugan, P.K., Selvam, S., Chandhana, J.P., Satheesh Babu, T.G., & Kandasamy, E. (2020). Fluorescence spectroscopic analysis of heavy metal induced protein denaturation. Materials Today: Proceedings, 33, (5), 2328-2330, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.693.

Shanker, K.A., Cervantes, C., Loza-Taversa, H., & Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International,* 31:739-753.

Sharma, D.C., Sharma, C.P., & Tripathi, R.D. (2003). Phytotoxic lesions of chromium inmaize" *Chemosphere*, 51:63-68.

Sundaramoorthy, P., Alagappan, C., Kaliyaperumal, S.G., Pachikkaran, U., & Galashmanan, B. (2010). Chromium stress in paddy: (i) Nutrient status of paddy under chromium stress; (ii) Phytoremediation of chromium by aquatic and terrestrial weeds. *Comptes Rendus Biologies,* 333: 597-607.

Wang, X., Dai, Z., Lin, J., Zhao, H., Yu, H., Ma, B., Hu, L., Shi, J., Chen, X., Liu, M., Ke, X., Yu, Y., Dahlgren, R.A., & Xu, J. (2023). Heavy metal contamination collapses trophic interactions in the soil microbial food web via bottom-up regulation. Soil Biology and Biochemistry, 184, 109058, https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109058.

Wu, C., & Zhang, L. (2010). Heavy metal concentrations and their possible sources in paddy soils of a modern agricultural zone, southeastern China. *Environmental Earth Sciences*, 60(1):45-6.

Yadav, P., Usha, L., & Singh, B. (2022). Chapter 10 - Air pollution mitigation and global dimming: a challenge to agriculture under changing climate, PP. 271-298, *In*: Arun K. Shanker, Chitra Shanker, Anjali Anand, M. Maheswari, (Eds), *Climate Change and Crop Stress*, Academic Press, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816091-6.00015-8.

Zhang, C. 2006. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland. *Environmental pollution*, 142(3):501-511.