



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## تأثیر مواد مادری و تحول خاک بر مقدار و توزیع عمقی برخی فلزهای سنگین در خاک‌های منطقه کیودر آهنگ، همدان

شیوا نصرتی‌پور<sup>۱</sup>، \* محسن نائل<sup>۲</sup>، محسن شکل‌آبادی<sup>۲</sup> و علی اصغر سپاهی‌گرو<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، آستادیار گروه علوم خاک،

دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، آستاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** غلظت و توزیع فلزهای سنگین در خاک توسط دو عامل اصلی وراثت (ژئوژنیک) و غیر وراثت (پدوژنیک یا آنتروپوژنیک) کنترل می‌شوند؛ به طوری که در مراحل اولیه تشکیل خاک، وضعیت این فلزها در خاک بیش‌تر تابع ماهیت مواد مادری است، اما با گذشت زمان، فرایندهای پدوژنیک و انسانی حاکم بر شرایط خاک نیز تأثیرگذار خواهند شد (۱۱، ۱۲). این پژوهش با هدف بررسی تأثیر این عوامل بر مقدار و توزیع عمقی برخی فلزهای سنگین در خاک‌های اطراف نیروگاه شهید مفتاح استان همدان صورت گرفت.

**مواد و روش‌ها:** شش نوع ماده مادری مختلف شامل شیل، شیست، سنگ آهک، دشت آبرفتی، پادگانه آبرفتی و نهشته مخروط افکنه‌ای در منطقه مطالعاتی شناسایی و نحوه تشکیل و تحول خاک در آن‌ها بررسی شد. غلظت کل فلزهای  $Fe$  و  $Pb$ ،  $Zn$ ،  $Ni$ ،  $Mn$ ،  $Cu$ ،  $Cd$  در همه افق‌های پدوژنیک و مواد مادری تعیین و ترکیب کانی‌های موجود در مواد مادری مشخص شد.

**یافته‌ها:** توسعه و تحول خاک‌های پدیده آمده بر روی تمام مواد مادری مورد مطالعه، حداکثر در حد خاک‌های جوان اینسپتی‌سول (تیپیک هاپلوزراپتز و تیپیک کلسی زراپتز) صورت گرفته است. مهم‌ترین دلیل این امر، نبود رطوبت کافی برای فرایند هوازگی و آبشویی، به دلیل اقلیم نیمه‌خشک منطقه می‌باشد. با این حال، شدت فرایندهای خاکساز و به تبع آن شدت تحول خاک، در خاک‌های آهکی بیش‌تر از سایر خاک‌هاست. علت این امر، حساسیت بالای مواد مادری آهکی به هوازگی شیمیایی است. در مقابل، مقاومت نسبی بیش‌تر شیل به هوازگی موجب تحول کم خاک‌های تشکیل شده بر روی این ماده مادری شده است. به‌طور کلی در خاک‌های بررسی شده، مواد مادری به‌شدت غلظت فلزهای سنگین را کنترل می‌کند. بیش‌ترین مقدار فلز روی، مس و نیکل در خاک‌های شیلی دیده شد (به ترتیب، ۱۳۶/۰، ۳۱/۳ و ۵۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم)؛ بالاترین غلظت این فلزها نیز در ماده مادری شیل اندازه‌گیری شد (به ترتیب، ۱۲۱/۱، ۳۷/۱ و ۵۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم). خاک‌های آهکی دارای کم‌ترین مقادیر کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، روی، سرب و آهن هستند؛ کم‌ترین مقدار مس، منگنز، نیکل، روی و آهن نیز در سنگ آهک اندازه‌گیری شد.

\* مسئول مکاتبه: [moh\\_nael@yahoo.com](mailto:moh_nael@yahoo.com)

این در حالی است که غلظت کادمیوم در سنگ آهک نسبت به سایر مواد مادری بیش‌ترین است. با گروه‌بندی افق‌های خاکساز و مواد مادری به روش تحلیل خوشه‌ای، بیش‌تر افق‌های C در خوشه‌های مربوط به افق‌های خاکساز متناظرشان قرار گرفتند؛ این مشاهده بیانگر شباهت افق‌های خاکساز با افق‌های مواد مادری از نظر عناصر مورد مطالعه، و به تبع اهمیت عامل وراثت در کنترل غلظت فلزهاست. با این حال غلظت فلزها در افق‌های خاکساز، به‌ویژه در خاک‌رخ‌های آهکی، بیش‌تر از مقدار آن‌ها در مواد مادریشان است؛ این پدیده ناشی از غنی شدن فلزها در خاک‌های آهکی در طی فرایندهای خاکساز، به‌ویژه آبشویی کربنات‌ها، است.

**نتیجه‌گیری:** در خاک‌های منطقه، غلظت فلزها (به‌جز منگنز) به‌طور عمده تحت کنترل ماده مادری بوده و سهم فرایندهای خاکساز در مرتبه دوم می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** فلزهای سنگین، مواد مادری، تحول خاک، نیروگاه

### مقدمه

بررسی چگونگی پیدایش و تکامل خاک، زیربنایی‌ترین آگاهی‌ها مربوط به خاک را در اختیار قرار خواهد داد (۴). روی هم رفته ۶ عامل، پیدایش و تحول خاک‌ها را کنترل می‌کنند (۱۱) که عبارتند از: اقلیم، پوشش گیاهی و دیگر جانداران، مواد مادری (نوع کانی‌ها)، پستی و بلندی (سیستم‌های باز و بسته)، زمان و فعالیت‌های بشر (تخریب، آلودگی و بهسازی). در میان عوامل خاکساز، آغاز فرایندهای پدورژنیک به‌طور عمده توسط شرایط اقلیمی رقم می‌خورد (۱۱). اما در یک منطقه ویژه با شرایط اقلیمی مشخص، عامل مواد مادری تشکیل خاک را بیش‌تر کنترل خواهد کرد و دو عامل موجودات زنده و توپوگرافی در طول زمان اثر این عامل را متعادل خواهند کرد (۲۱). در این شرایط، بررسی نحوه پیدایش و تکامل خاک براساس پژوهش‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی درک بهتری را از فرایندهای خاکساز و نحوه تشکیل خاک‌ها فراهم خواهد کرد. باید دانست، خاک بخش بیرونی سطح زمین است و هر نوع تغییر در زمین‌شناسی و فرایندهای ژئومورفیک، باعث بروز پیامدهایی بر فرایندهای خاکساز خواهد شد (۶). در واقع، قبل از بررسی

تکامل خاک، شناخت مواد مادری آن خاک ضروری می‌باشد، چرا که بررسی عامل‌های زمین‌شناختی سبب درک ژرف‌تر توسعه، تکامل خاک‌ها و الگوی پراکنش آن‌ها می‌شود. از سوی دیگر، مواد مادری چارچوبی است که خاک در آن پدید می‌آید و اگر بخواهیم با دیدی کلی‌نگر به بررسی خاک بپردازیم و نه تنها سولوم، بلکه افق‌های عمقی‌تر خاک را بررسی نماییم، نقش مواد مادری بیش‌تر خواهد شد (۲۶). این آگاهی‌ها به‌ویژه در مورد خاک‌های جوان که بیش‌تر وابسته به مواد مادری هستند اهمیت بیش‌تری دارد، بدیهی است با گذشت زمان نقش این عامل کم‌رنگ شده و ویژگی‌های خاک‌ها بیش‌تر وابسته به اقلیم و توپوگرافی خواهد بود (۳۱).

در پیدایش خاک از مواد مادری دو مرحله دخالت دارد: مرحله اول دگرگونی ساختار کانی‌های اولیه تشکیل‌دهنده مواد مادری توسط فرایندهای هوازدگی فیزیکی و شیمیایی و مرحله دوم (پدورژنیک) شامل تشکیل پروفیل خاک از مواد مادری هوادیده می‌باشد، که منجر به پیدایش خاک بالغ منطقه‌ای شده و به‌عنوان نقطه پایانی این فرایند دومرحله‌ای تلقی می‌شود. فرایندهای هوازدگی و پدورژنیک را نمی‌توان به آسانی از هم تشخیص داد، چرا که ممکن است به‌طور

می‌گردد (۲۲). بلاسر و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند با فعالیت فرایندهای خاکساز و هواپدگی سنگ بستر، غلظت فلزها بر حسب نوع سنگ بستر به‌طور تدریجی افزایش می‌یابد (۳). پژوهش‌های متعدد دیگری نیز تأثیر فرایندهای خاکساز را بر مقدار و توزیع فلزهای سنگین در خاک‌ها گزارش کرده‌اند (۱، ۸).

در زمینه نقش ماده مادری بر توزیع پروفیلی فلزهای سنگین، پژوهش‌های بسیار کمی در ایران انجام گرفته و بیش‌تر محدود به توزیع فلزهای سنگین در لایه‌های سطحی خاک است. افزون بر آن، در مورد تعیین سهم عواملی که غلظت فلزهای سنگین در خاک را کنترل می‌کنند پژوهش‌های انگشت‌شماری در کشور انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها، مطالعه نائل و همکاران (۲۰۰۹) در یک محیط جنگلی در ایران است که دریافتند عامل اصلی مؤثر در غلظت فلزهای سنگین، مواد مادری است و سهم فرایندهای خاکساز در غلظت کل و توزیع دوباره فلزهای سنگین بعد از مواد مادری و در مرتبه دوم اهمیت قرار داد. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی نقش مواد مادری و نیز نقش عامل‌های غیروراثتی (فرایندهای خاکساز و فعالیت‌های انسانی - صنعتی) بر مقدار و توزیع عمقی فلزهای سنگین در منطقه صنعتی کبودرآهنگ در استان همدان انجام شد (۲۰).

### مواد و روش‌ها

بر پایه بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و بازدیدهای صحرائی، منطقه کبودرآهنگ به‌دلیل تنوع مواد مادری و فعالیت‌های صنعتی پراکنده به‌عنوان منطقه مطالعاتی گزینش شد. مساحت منطقه پژوهشی ۷۲۷/۶ کیلومتر مربع است که بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ۲۸ ثانیه و ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه و ۳۶ ثانیه و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و

هم‌زمان و در یک محل رخ دهند و بدین ترتیب اغلب روابط تنگاتنگی دارند (۱۱). در خاک، عامل‌های مختلفی توزیع و غلظت فلزهای سنگین را کنترل می‌کنند که منجر به غنی شدن یا تهی شدن فلزهای سنگین در خاک می‌شوند. این عامل‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: عامل وراثتی (ژئوژنیک) و عامل‌های غیر وراثتی (آنتروپویدوژنیک). در آغاز، ترکیب فلزهای سنگین در خاک‌ها، از مواد مادری آن خاک به ارث می‌رسد، اما با گذشت زمان، وضعیت فلزهای سنگین در نتیجه فرایندهای پدوژنیک و انسانی حاکم بر شرایط خاک، متفاوت خواهد شد (۱۱، ۱۲). فلزهای سنگین، اجزاء شیمیایی سازنده خاک می‌باشند که از نظر کمی، مقدار ناچیزی را در خاک شامل می‌شوند. اما بسیاری از آن‌ها، از نظر تغذیه گیاه ضروری می‌باشند. به‌طوری‌که اولین بررسی‌ها در این زمینه مربوط به پژوهشگران علاقه‌مند به بحث تغذیه گیاه می‌باشد (۳۴).

تأثیر مقدار فلزهای سنگین موجود در مواد مادری بر مقدار این فلزها در خاک، متغیر بوده و بستگی به نوع و شدت فرایندهای خاکساز و درجه تکامل خاک دارد. در پژوهش‌هایی که توسط پالومبو و همکاران (۲۰۰۰) در سیسیل ایتالیا انجام گرفت، مشخص گردید که مقدار و توزیع فلزهای سنگین در خاک‌های آلفی‌سول توسط فرایندهای تشکیل اکسید فریک آبدار<sup>۱</sup>، انتقال کربنات‌ها<sup>۲</sup> و انتقال رس<sup>۳</sup>؛ در مالی‌سول‌ها توسط مواد آلی؛ در ورتی‌سول‌ها توسط فرایند بهم‌خوردگی خاک در اثر انبساط و انقباض رس‌ها؛ در آنتی‌سول‌ها و اینسپتی‌سول‌ها توسط انحلال سولفات‌ها و در آندی‌سول‌ها توسط هوازدگی ضعیف مواد آتشفشانی و کمپلکس مواد آلی کنترل

- 1- Rubifaction
- 2- Decarbonation
- 3- Argillation
- 4- Argillopedoturbation

(۳۲)، توزیع اندازه ذرات (۵)، قابلیت هدایت الکتریکی (۲۴)، کربن آلی (۳۳)، کربنات کلسیم معادل (۲۷) و ظرفیت تبادل کاتیونی (۲۵) برای افق‌های خاک به عمل آمد. از نمونه‌های سنگ آهک و شیست، مقطع‌های نازک آماده شد تا نوع کانی‌های سازنده مواد مادری به کمک میکروسکوپ پلاریزان و به روش نیمه‌کمی تعیین گردد. برای بررسی کانی‌های مواد مادری دیگر (شیل، دشت آبرفتی، نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا و پادگانه آبرفتی در سطح پایین) از افق C آن‌ها نمونه پودر شده آماده شد و به کمک دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) ترکیب کانی‌ها تعیین شد. مقدار کل فلزهای سنگین کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، روی، سرب و آهن در افق‌های خاک و سنگ بستر اندازه‌گیری شد. به این منظور، به ۲ گرم نمونه، ۱۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ( $\text{HNO}_3$ ) ۴ نرمال افزوده شد و به مدت ۱۲ ساعت در حمام بخار در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (۳۰) و پس از گذشت ۱۲ ساعت، نمونه‌ها صاف شدند و غلظت کل فلزهای برگزیده با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل واریان ۲۰ تعیین شد. در بخش مقایسه میانگین فلزهای سنگین در خاک‌های با مواد مادری مختلف، از طرح کاملاً تصادفی و آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

به‌منظور بررسی وضعیت غلظت فلزها در افق‌های خاک (Rs) در مقایسه با غلظت آن‌ها در مواد مادری (Rp)، از فاکتور درصد تغییرات استفاده شد (رابطه ۱).

$$(1) \quad \text{درصد تغییرات} = [(Rs-Rp)/Rp] \times 100$$

در صورتی که درصد تغییرات مثبت باشد، فلز مورد نظر در افق غنی شده است و اگر این درصد منفی شود، فلز از افق خارج شده است (۹). تحلیل‌های آماری مانند مقایسات میانگین و همبستگی به کمک نرم‌افزار SAS انجام شدند. مقایسه میانگین

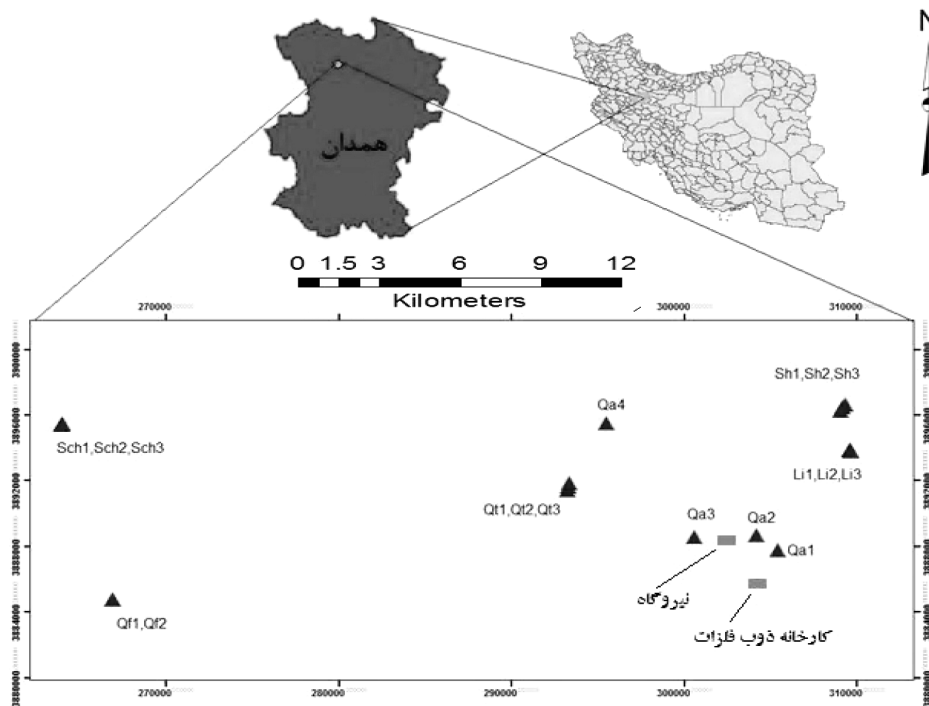
۱۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه و ۳۵ درجه و ۲ دقیقه و ۵۷ ثانیه واقع شده است. ارتفاع نقاط بررسی شده از سطح دریا بین ۱۶۲۰ تا ۱۹۹۵ متر است. میانگین بارش و دمای سالانه منطقه به ترتیب ۳۰۰ میلی‌متر و ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. براساس بررسی‌های خاکشناسی انجام شده، رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب زیریک و مزیک بوده (۲) و خاک‌ها بیش‌تر دارای واکنش‌های خنثی تا قلیایی هستند. خاک‌های منطقه بیش‌تر در رده‌های اینسپتی‌سول و انتی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند.

از میان مواد مادری گوناگون در منطقه، مواد مادری شیست (Sch)، سنگ‌آهک (Li)، دشت آبرفتی (Qa)، شیل (Sh)، نهشته‌های مخروط افکنه‌ای در سطح بالا (Qf) و پادگانه‌های آبرفتی در سطح پایین (Qt) با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی‌های صحرائی انتخاب گردیدند. در هر یک از این مواد مادری نیمرخ‌ها و برش‌های متعددی بررسی شد و در پایان با توجه به مشاهده‌های مورفولوژیک صحرائی، خاکرخ‌های نماینده‌گزینه‌ش شدند (برای دشت آبرفتی چهار خاکرخ، برای نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا دو خاکرخ و برای سایر مواد مادری سه خاکرخ انتخاب شد) و موقعیت دقیق هر خاکرخ مشخص گردید (شکل ۱). در منطقه دشت آبرفتی، نیروگاه برق شهیدفتح و کارخانه ذوب فلزها در حال فعالیت هستند و موقعیت خاکرخ‌های Qa1 و Qa2 در نزدیکی این منبع‌های صنعتی می‌باشد. پس از بررسی‌های مورفولوژیک صحرائی و تشریح خاکرخ‌ها (۲۸، ۲۹)، از افق‌های خاک و مواد مادری نمونه‌برداری شد.

همه نمونه‌ها به‌منظور انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی هواخشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. نمونه‌های سنگ نیز آسیاب شدند. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی معمول شامل درصد سنگریزه، واکنش خاک (نسبت آب به خاک: ۵ به ۱)

خاکساز (افق‌های A و B) بر اساس شباهت در مقدار فلزهای سنگین برگزیده، گروه‌بندی شدند. سپس، برای تعیین تأثیر عامل وراثت در فراوانی فلزهای سنگین، نمونه‌های مربوط به افق‌های مواد مادری (C و CB) در تحلیل خوشه‌ای وارد شد.

ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ژئوشیمیایی خاک‌ها بر پایه نوع ماده مادری و به کمک آزمون دانکن انجام شد. به منظور تعیین شدت تأثیر نوع مواد مادری بر غلظت فلزهای سنگین، از تحلیل چندمتغیره خوشه‌ای (Cluster analysis) برای گروه‌بندی خاک‌ها استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا نمونه‌های مربوط به افق‌های



شکل ۱- موقعیت مواد مادری و خاکرخ‌های مورد مطالعه (سنگ‌آهک=Li، شیل=Sh، شیست=Sch، دشت آبرفتی=Qa، پادگانه آبرفتی در سطح پایین=Qt، نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا=Qf).

Figure 1. Location of selected parent materials and profiles. Sch=Schist; Li=Limestone; Qa=Alluvial plain; Sh=Shale; Qf=fan deposits; Qt=Fluvial terrace.

می‌دهد، به طوری که دارای لایه‌های غنی از کردیریت و بیوتیت می‌باشد. خاک‌های مطالعه شده روی این ماده مادری در زیرگروه‌های Typic Xerorthents و Typic Calcixerepts طبقه‌بندی می‌شوند. افق‌های مشخصه اکریک و کلسیت در این خاک‌ها تشخیص داده شد. وجود کربنات ثانویه در برخی از خاکرخ‌ها به منشأ غیروراثتی (انحلال کربنات از سازندهای آهکی موجود در منطقه و انتقال آن توسط جریان‌های

### نتایج و بحث

**شیست و خاکرخ‌ها (Sch):** این سنگ بستر از دگرگون شدن سنگ رسوبی شیل پدید آمده و کانی‌های سازنده آن بر اساس مطالعه مقطع نازک کردیریت، بیوتیت، کوارتز و مسکوویت می‌باشد. به دلیل زمینه بسیار ریز این مقطع، امکان بررسی کمی کانی‌های این سنگ بستر وجود نداشت. شیست به خوبی لایه‌بندی ترکیبی را در ساختار خود نشان

دارای افق‌های مشخصه اکریک و کمبیک هستند. میانگین واکنش خاک‌های آبرفتی ۸/۹ اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

**شیل و خاکرخ‌ها (Sh):** شیل یک سنگ رسوبی ورقه‌ای است که برعکس شایست دارای سطحی کدر می‌باشد. کانی‌های کوارتز (۰/۴۸)، ایلیت (۰/۳۴)، آلپیت (۰/۸) و کائولینیت و ورمی‌کولیت (۰/۱۰) در این ماده مادری شناسایی شد. زیرگروه‌های Typic Calcixerepts و Typic Xerorthents و Typic Haploxerepts برای خاک‌های شیلی تشخیص داده شد. این خاک‌ها دارای افق‌های مشخصه اکریک، کمبیک و کلسیک هستند. انحلال آهک از سازندهای آهکی بالادست منطقه باعث تجمع آهک و تشکیل افق کلسیک در برخی از خاکرخ‌ها شده است. میانگین واکنش خاک در این خاکرخ‌ها ۸/۴ است (جدول ۱).

**نهشته‌های مخروط افکنه‌ای در سطح بالا و خاکرخ‌ها (Qf):** این نهشته‌ها، سرزمین‌های بادبزی حدواسطی هستند که هم آثار آبرفتی و هم آثار واریزه‌ای را دارند و دارای منشأ شایست می‌باشند. نمونه‌های پودر شده افق C این خاکرخ‌ها به روش تفرق اشعه ایکس کانی‌شناسی شد. در دیفراکتوگرام‌های به‌دست آمده، کانی‌های کوارتز (۰/۳۱)، کلسیت (۰/۲۸)، ایلیت (۰/۱۰)، پیروکسن (۰/۱۱)، الیوین و میکا (۰/۱۷) و کانی‌های غیر متبلور (۰/۳) شناسایی گردید. خاک‌های مورد مطالعه روی این ماده مادری، در زیرگروه‌های Typic Xerofluvents و Typic Haploxerepts طبقه‌بندی شدند. این خاک‌ها دارای افق‌های مشخصه اکریک و کمبیک هستند. میانگین واکنش خاکرخ‌های مورد مطالعه در این نهشته‌ها، ۸/۷ است (جدول ۱).

سطحی و زیرسطحی) نسبت داده شد. چراکه در ماده مادری شایست اثری از کربنات دیده نشد. میانگین واکنش خاک در خاکرخ‌های مورد مطالعه بر روی این ماده مادری ۸/۵ است (جدول ۱).

**سنگ آهک و خاکرخ‌ها (Li):** این ماده مادری یک سنگ کربناته کم‌عمق بوده و دارای ۹۵ درصد کربنات کلسیم (میکریت، میکروفسیل‌ها) و ۵ درصد اکسید آهن می‌باشد. رگه‌های اکسید آهن در اثر آب‌های جوی در این سنگ رسوب کرده‌اند و حضور فسیل در این سنگ بستر، به دلیل تشکیل آن در محیط دریایی کم‌عمق است. تمام خاک‌های بررسی شده روی این ماده مادری در زیرگروه Typic Xerorthents طبقه‌بندی شد و تنها افق اکریک در آن‌ها دیده شد. کربنات ثانویه در این خاکرخ‌ها مشاهده نشد. میانگین واکنش خاک در خاکرخ‌های مورد مطالعه بر روی این ماده مادری، ۸/۶ است (جدول ۱).

**دشت آبرفتی و خاکرخ‌ها (Qa):** دشت‌های آبرفتی سرزمین‌های دارای شیب ملایم و یا مسطحی هستند که از انباشته شدن رسوب‌های ریز حاصل می‌شوند و ممکن است این رسوب‌گذاری در حال حاضر فعال یا غیرفعال باشد. با توجه به این‌که پتروگرافی این ماده مادری به روش میکروسکوپی غیرممکن است، نمونه‌های پودری رسوب سخت نشده به روش تفرق اشعه ایکس (XRD) کانی‌شناسی شد. در دیفراکتوگرام‌های به‌دست آمده، مساحت زیر پیک‌ها درصد کانی‌ها را مشخص کرد. کانی‌های شناسایی شده در نمونه پودری افق C خاکرخ‌ها در دشت آبرفتی، شامل کوارتز (۰/۲۸)، کلسیت (۰/۳۸)، ایلیت (۰/۱۵)، میکا (۰/۱۴) و کانی‌های غیرمتبلور (۰/۵) می‌باشد. همه خاکرخ‌های بررسی شده در این سرزمین در زیرگروه Typic Haploxerepts طبقه‌بندی شده و

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در نیمرخ‌های برگزیده.

Table 1. Physical and chemical properties of selected soil profiles.

کربنات کلسیم معادل CaCO <sub>3</sub>	کربن آلی OC	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	هدایت الکتریکی EC (ds/m)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	pH	عمق Depth (cm)	افق Horizon	خاکرخ Profile	ماده مادری Parent material
8.5	0.65	14.6	44.9	40.5	0.098	18.3	8.50	0-10	A	Sch1	شیست
4.3	0.75	27.5	49.4	23.1	0.059	31.5	8.27	10-20	CB		Schist
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	+20	Cr		
8.6	1.0	17.6	54.4	28.0	0.098	27.1	8.57	0-20	A	Sch2	
22.3	0.29	21.0	61.1	18.8	0.098	25.4	8.46	20-60	Bk		
16.9	0.08	19.1	63.2	17.7	0.010	26.2	8.09	60-90	C		
46.0	0.89	6.8	49.1	44.1	0.010	19.2	8.66	0-15	A	Li1	سنگ آهک
46.0	0.57	9.7	50.9	39.4	0.085	16.6	8.58	15-45	CB		Limestone
46.0	0.53	2.9	48.5	48.6	0.110	7.8	8.64	0-5	A	Li2	
46.2	0.16	3.4	49.1	47.5	0.094	5.2	8.88	5-50	C		
22.3	1.35	30.8	66.8	2.4	0.18	31.4	8.61	0-25	A	Qa1	دشت آبرفتی
24.0	1.12	42.0	56.3	1.7	0.28	27.9	9.33	25-40	Bw		Alluvial plain
28.8	0.39	42.3	56.2	1.5	1.84	23.5	9.27	40-100	C		
31.1	1.08	16.1	69.6	14.3	0.15	24.4	8.71	0-25	A	Qa4	
31.6	0.89	22.6	64.0	13.4	0.17	24.4	9.05	25-40	Bw		
34.4	0.39	25.7	61.1	13.2	0.21	23.5	8.82	40-100	C		
4.3	0.67	9.4	45.7	44.9	0.085	21.0	8.27	0-10	A	Sh1	شیل
5.0	0.16	25.9	52.4	21.7	0.062	48.2	8.25	10-20	C		Shale
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	+20	R		
15.9	0.39	15.6	40.4	44.0	0.087	22.7	8.64	0-25	A	Sh3	
21.3	0.20	15.1	43.9	41.0	0.085	21.8	8.49	25-55	Bk		
15.1	0.12	13.8	37.5	48.7	0.082	23.6	8.40	55-100	C		
0.50	7.5	10.4	43.2	46.4	0.67	21.0	8.75	0-25	A	Qf1	نهشته مخروط افکنه‌ای
0.32	9.4	5.0	44.0	51.0	0.74	23.6	8.81	25-50	Bw		Fan deposit
0.28	16.0	12.3	32.0	55.7	0.68	17.5	8.49	50-80	C		
0.67	26.8	10.0	52.4	37.6	0.10	17.4	8.54	0-25	A	Qt1	پادگانه آبرفتی
0.63	23.8	13.3	47.5	39.2	0.12	17.8	8.60	25-55	Bw		Fluvial terrace
0.47	28.4	13.8	48.2	38.0	0.12	17.5	8.60	55-105	C		

ارتفاع کم دیده شدند. در دیفرانکتوگرام‌های حاصل از نمونه‌های پودر شده از C خاکرخ‌های این واحد، کانی‌های کلسیت (۲۴٪)، کوارتز (۲۰٪)، آلومینوسیلیکات‌ها (۳۸٪)، کانی‌های تفکیک نشده ۲:۱ (۱۳٪) و کانی‌های غیر متبلور (۵٪) شناسایی شد. همه

#### پادگانه آبرفتی در سطح پایین و خاکرخ‌ها (Qt):

پادگانه آبرفتی (تراس‌های آبرفتی) ساختاری فرسایشی- رسوبی هستند و ممکن است فرایند فرسایش هم‌چنان با شدت کم تا متوسط فعال باشد. این پادگانه‌ها در واحد دشت و به صورت پله مانند با

را در مناطق خشک و نیمه‌خشک کنترل می‌کند، چرا که در این شرایط، فرایند هوازدگی و آبشویی در خاک‌ها بسیار ضعیف عمل می‌کند (۷).

**فلز مس:** میانگین غلظت فلز مس در کل منطقه ۲۶/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با دامنه ۱۴/۷ تا ۳۳/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اندازه‌گیری شد. در میان خاک‌های بررسی شده، غلظت مس در خاک‌های شیلی، دشت آبرفتی، نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا و شیستی به‌طور محسوسی بیش‌تر از خاک‌های پادگانه آبرفتی در سطح پایین است، هر چند این تفاوت‌ها در برخی موارد معنی‌دار نمی‌اشد (جدول ۳). کم‌ترین مقدار مس در خاک‌های آهکی (۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دیده شد. با توجه به مقدار مس در مواد مادری بررسی شده، سنگ شیل دارای بیش‌ترین مقدار مس (۳۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سنگ آهک دارای کم‌ترین مقدار مس (۷/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد. مقدار مس در سنگ شیست ۱۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. مقادیر کم‌تر فلز مس در سنگ شیست در برابر سنگ شیل، مربوط به فرایند دگرگون شدن این سنگ بستر می‌باشد، بدین صورت که با شروع فرایند دگرگونی سنگ شیل، در مقدار مس و روی تغییرات به نسبت شدیدی روی می‌دهد، به‌طوری‌که در جریان فرایند دگرگونی، یون‌های فلزی به همراه سیال در سنگ مهاجرت می‌نمایند (۱۴). این هماهنگی میان غلظت مس در مواد مادری و خاک، نقش عامل‌های طبیعی در توزیع غلظت این فلز را نشان می‌دهد. البته با توجه به این‌که برخی از خاک‌ها در مجاورت مناطق صنعتی قرار دارند (Qa2)، امکان افزایش غلظت مس از طریق عوامل غیرطبیعی دور از انتظار نیست. قابل ذکر است که نمی‌توان با قطعیت، افزایش غلظت فلز مس در این خاک‌ها نسبت به خاک‌های دور از منبع آلاینده را ناشی از فعالیت‌های انسانی دانست. چرا که با در نظر گرفتن غلظت این فلز (و بسیاری از فلزهای دیگر) در

خاک‌های واقع در این منطقه در زیرگروه Typic Haploxerepts طبقه‌بندی شده و دارای افق‌های مشخصه اکریک و کمبیک هستند. میانگین واکنش خاک در این خاک‌ها ۸/۳ اندازه‌گیری شد (جدول ۱).  
**غلظت کل فلزهای سنگین در خاک‌ها و مواد مادری:** تغییرات غلظت کل فلزها در خاک‌های مورد مطالعه کم است این واقعیت را پایین بودن ضریب پراکندگی نشان می‌دهد. با این حال، بیش‌ترین ضریب پراکندگی مربوط به فلز منگنز (۰/۴۹۰) و کم‌ترین ضریب پراکندگی مربوط به فلز سرب (۰/۱۱۷) و مس (۰/۱۶۹) می‌باشد. فلزهای روی، آهن، نیکل و کادمیوم از این نظر حالت بینابینی دارند.

**فلز کادمیوم:** کادمیوم در منطقه مطالعاتی، با میانگین ۱/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه ۰/۱ تا ۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم کم‌ترین غلظت را در بین فلزهای بررسی شده داراست. روی هم رفته، غلظت پایین کادمیوم در خاک‌ها، به دلیل فراوانی کم آن در مواد مادری، است (۷). کم‌ترین غلظت فلز کادمیوم در خاک‌های آهکی (۰/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دیده شد، این در حالی است که در میان مواد مادری بررسی شده سنگ آهک دارای بیش‌ترین مقدار کادمیوم (۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۳). لادو و همکاران (۲۰۰۸) غلظت بالای کادمیوم را در سنگ آهک گزارش کردند (۱۵). میانگین غلظت کادمیوم در خاک‌های Sh, Qf, Qa, Sch, Qt به ترتیب ۱/۷۷، ۱/۴۴، ۱/۴۰، ۱/۴۰ و ۱/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد. کادمیوم همبستگی مثبت و معنی‌داری با کربن آلی ( $r=0/28$ )، رس ( $r=0/33$ ) و سیلت ( $r=0/33$ ) نشان داد (جدول ۴). بررسی‌های جیاکین و همکاران (۲۰۰۷) بر روی توزیع فلزهای سنگین نشان داد که غلظت کادمیوم در خاک تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی قرار می‌گیرد (۱۰). به گفته هان و همکاران (۲۰۰۷) مواد مادری به شدت غلظت فلزهای سنگین (کادمیوم، سرب، روی و غیره)



افق C این خاکرخها و هماهنگی آن با غلظت مس (و بسیاری از فلزهای دیگر) در طول خاکرخها، این نتیجه به دست آمد که در منطقه بررسی شده، حتی در منطقه‌های صنعتی نیز به‌طور عمده غلظت فلزهای سنگین توسط منشأ ژئوژنیک کنترل می‌شود (جدول ۲). نتایج به دست آمده با نتایج بسیاری از پژوهشگران همخوانی داشت. خداکرمی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی فلزهای سنگین در بخشی از خاک‌های همدان به این نتیجه رسید که عامل اصلی غلظت بالای مس در منطقه، عامل زمین‌شناختی از جمله وجود ماده مادری شیل و دشت آبرفتی است (۱۳). در بسیاری از پژوهش‌ها بیان شده است که غلظت فلز مس تحت تأثیر مواد مادری قرار دارد (۱۰، ۱۸). مقایسه غلظت مس در سنگ‌های بستر و خاک‌های ایجاد شده از آنها، بیانگر افزایش غلظت این فلز در بیش‌تر خاک‌ها نسبت به سنگ بسترشان است (جدول‌های ۲ و ۶). این روند به‌ویژه در مقایسه سنگ آهک با خاک‌های آهکی چشم‌گیر است. به‌عبارت دیگر، علت غنی‌شدن بسیاری از فلزها در خاک‌های آهکی در مقایسه با سنگ‌ها و خاک‌های دیگر مانند شیل را می‌توان در شدت بالاتر فرایند انحلال کربنات‌ها در مواد مادری آهکی، نسبت به سایر مواد مادری، و غنی‌شدن در جای فلزها جستجو کرد (۲۶) (جدول ۶). در این جدول تغییرات فلزهای مورد مطالعه در افق‌ها نسبت به مواد مادری‌شان، محاسبه شده است. می‌توان غنی‌شدگی شدیدتر بیش‌تر فلزها (به‌جز کادمیوم و سرب) در افق‌های خاک‌های آهکی نسبت به خاک‌های دیگر را مشاهده کرد. در حالی‌که غلظت بیش‌تر این فلزها، در خاک‌های آهکی کم‌تر از غلظت آنها در سایر خاک‌هاست. در جدول ۵ نیز همبستگی معنی‌دار و منفی مس، منگنز، نیکل، سرب، روی و آهن با کربنات کلسیم معادل دیده می‌شود، که این نتیجه را می‌توان ناشی از فرایند کربنات‌زدایی و غنی‌شدن در جای فلزهای سنگین دانست.

**فلز منگنز:** میانگین غلظت فلز منگنز در منطقه مطالعاتی، ۷۱۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با دامنه ۴۳/۸ تا ۱۵۷۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اندازه‌گیری شد. این فلز دارای بیش‌ترین ضریب تغییرات (۰/۴۹) در بین فلزهای مورد بررسی می‌باشد. بیش‌ترین غلظت فلز منگنز در خاک‌های نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا (۱۱۹۴/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شستی (۱۱۶۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) یافت شد و در خاکرخ‌های دشت آبرفتی، شیل، تراس رودخانه‌ای با منشأ شیل و سنگ آهک، به‌ترتیب ۷۶۹/۰، ۵۹۴/۳، ۴۲۶/۶ و ۲۴۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۳). در بین مواد مادری، بیش‌ترین غلظت منگنز در نهشته‌های مخروط افکنه‌ای در سطح بالا (۱۲۳۷/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین غلظت منگنز در سنگ آهک (۳۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. همبستگی مثبت و بالا میان منگنز و ظرفیت تبادل خاک ( $r=0/50$ ) می‌تواند بر نقش مواد مادری بر غلظت منگنز در خاک‌ها دلالت داشته باشد (جدول ۴). مقایسه غلظت مس، روی و منگنز در سنگ‌ها و خاک‌ها، به‌ویژه سنگ آهک و خاک‌های آهکی بیانگر افزایش غلظت این فلزها در خاک نسبت به سنگ بستر است (جدول ۶). البته در بیش‌تر موارد، شدت این روند در مورد منگنز بیش‌تر از فلز روی و در روی خیلی بیش‌تر از مس می‌باشد (جدول ۲). این مشاهده را شاید بتوان از یک‌سو به تحرک بیش‌تر منگنز و از سوی دیگر به توانایی بالای اکسیدهای منگنز آزاد برای جذب مس و روی نسبت داد (۱۱). بدین ترتیب می‌توان دریافت که فرایندهای خاکساز (پدوژنیک) و زیستی (بیوژنیک) نقش بیش‌تری در غنی‌شدن منگنز در این خاک‌ها دارند. باید دانست که این فلزها چون با درجه‌های متفاوتی در فرایند زیست چرخشی شرکت می‌کنند، سرعت تجمع آنها بیش‌تر از سرعت خروج آنها از خاک است. به‌خصوص این‌که در خاک‌های بررسی شده، شرایط برای فرایند آبشویی به‌دلیل اقلیم نیمه‌خشک منطقه، کم می‌باشد.

جدول ۲- غلظت کل فلزهای سنگین در مواد مادری و خاک‌های برگزیده (mg/kg). تعداد نمونه برای ماده مادری (R) و افق‌های خاک، به ترتیب دو و سه تکرار می‌باشد (ND=تعیین نشد).

**Table 2. Total concentration of heavy metals in selected parent materials and soil profiles (mg/kg). Two and three replications for parent material (R) and soil horizons, respectively, were analyzed.**

روی Zn	سرب Pb	نیکل Ni	منگنز Mn	مس Cu	کادمیوم Cd	آهن Fe ( $\times 10^{-3}$ )	افق Horizon	خاک‌رخ Profile	ماده مادری Parent material
101.3	32.5	69.9	1570.8	28.3	1.4	54.4	A	Sch1	شیست
100.9	31.1	23.1	1427.8	27.5	1.2	49.6	CB		Schist
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Cr		
98.0	29.0	55.8	992.2	25.9	1.5	37.9	A	Sch2	
84.4	26.9	37.8	969.8	23.0	1.2	40.3	Bk		
81.3	27.6	463.4	986.7	26.2	1.8	32.5	C		
71.1	10.9	39.1	301.0	17.6	0.5	47.3	R		
74.9	26.5	18.9	326.3	20.3	0.9	17.6	A	Li1	سنگ آهک
60.5	25.5	21.3	304.5	21.0	1.1	14.8	CB		Limestone
31.1	23.0	10.3	150.4	15.9	0.9	9.8	A	Li2	
11.5	21.1	5.4	43.8	14.0	0.8	6.1	Cr		
8.5	23.8	10.9	35.0	7.0	2.2	4.0	R		
94.4	33.4	59.7	844.6	30.1	1.6	45.6	A	Qa1	دشت آبرفتی
88.5	33.5	56.5	860.0	28.7	1.4	44.2	Bw		Alluvial plain
80.1	28.9	61.3	818.0	30.0	1.3	47.3	C		
60.6	28.9	33.0	652.5	26.4	1.6	30.2	A	Qa4	
67.3	29.6	48.0	682.0	26.6	1.2	30.5	Bw		
57.3	29.8	47.8	683.0	25.1	1.0	27.7	C		
66.6	29.8	48.1	739.0	28.9	1.2	35.4	R		
124.3	32.7	63.0	849.2	29.4	1.2	38.4	A	Sh1	شیل
172.6	37.1	78.0	868.6	33.1	1.6	48.1	C		Shale
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	R		
117.6	37.3	67.7	649.9	33.7	1.1	39.5	A	Sh3	
107.7	34.0	57.3	527.8	30.1	0.9	32.0	Bk		
115.6	35.6	52.6	516.7	33.5	1.1	33.5	C		
121.1	15.0	53.5	390.7	37.1	0.7	40.1	R		
70.1	36.2	46.0	1000.1	28.8	1.2	50.3	A	Qf1	نهشته مخروط افکنه‌ای
70.3	34.7	49.9	1155.0	28.3	1.2	44.0	Bw		Fan deposit
72.4	35.5	44.6	1022.1	26.0	1.3	38.3	C		
70.5	34.6	42.9	1237.0	27.1	1.5	40.2	R		
73.7	32.2	38.9	580.9	23.5	1.6	29.0	A	Qt1	پادگانه آبرفتی
80.0	30.9	37.7	563.0	23.9	1.6	36.9	Bw		Fluvial terrace
66.0	30.4	35.2	443.7	23.1	1.8	29.5	C		
62.7	30.9	34.0	471.4	23.3	1.8	25.6	R		

نیکل در خاک‌های منشأ گرفته از سنگ آهک (۱۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) یافت شد و غلظت نیکل در خاک‌های شیلی، دشت آبرفتی، شیستی، نهشته مخروط

فلز نیکل: میانگین غلظت نیکل در خاک‌های منطقه ۴۵/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با دامنه ۵/۴ تا ۷۸/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. کم‌ترین مقدار

فلزهای سنگین به خاک دریافتند، غلظت فلز نیکل در خاک توسط سنگ بستر کنترل می‌شود (۱۵، ۱۹). در واقع تأثیر عامل‌های وراثتی در فراوانی فلز نیکل بسیار بیش‌تر از عامل‌های غیروراثتی (فرایندهای خاکسازي و فعالیت‌های انسانی) است. غنی‌شدن نیکل در خاک‌های آهکی دیده می‌شود (جدول ۶). علی‌رغم غلظت بالای نیکل در سنگ شیل نسبت به سنگ آهک، غنی‌شدن نیکل در خاک‌های آهکی مشاهده شد (جدول ۲). باید دانست که تحرک نیکل در خلال هوادیدگی، به نوع کانی‌های سنگ بستر بستگی دارد. از طرفی در هوادیدگی سنگ‌های رسوبی رسی مانند شیل، فرایندهای فیزیکی بیش‌تر از فرایندهای شیمیایی (انحلال) اهمیت دارد، به‌طوری‌که از هوادیدگی سنگ آهک، به‌دلیل دارا بودن مقادیر اندکی از مواد نامحلول، مقادیر کمی خاک بر جای می‌ماند (۲۶).

افکنه‌ای در سطح بالا و پادگانه آبرفتی در سطح پایین به‌ترتیب ۵۷/۷، ۵۵/۳، ۵۵/۰، ۴۵/۱ و ۳۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (جدول ۳). غلظت نیکل در خاک‌ها از غلظت نیکل در مواد مادری متناظرشان تبعیت می‌کنند. منابع نشان می‌دهد که در بین سنگ‌های رسوبی، رسوب‌های رسی دارای بیش‌ترین مقدار نیکل (۹۰-۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند (۱۱). شباهت غلظت نیکل در مواد مادری و خاک‌ها از نقش غیر قابل انکار و با اهمیت مواد مادری در ورود نیکل به خاک، حکایت دارد. در میان فلزهای بررسی شده، نیکل در برابر دیگر فلزها دارای همبستگی قوی‌تری با ظرفیت تبادل کاتیونی ( $r=0/60$ ) و رس خاک ( $r=0/42$ ) می‌باشد (جدول ۴) و تغییرات آن در خاک‌های مختلف از مواد مادری به ارث می‌رسد. لادو و همکاران (۲۰۰۸) و میکو و همکاران (۲۰۰۶) در طی بررسی منبع‌های ورود

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت کل فلزهای سنگین در همه خاک‌های بررسی شده بر اساس نوع ماده مادری.

**Table 3. Mean comparison of total concentration of heavy metals in soil profiles grouped by parent materials.**

آهن Fe ( $\times 10^3$ )	روی Zn	سرب Pb	نیکل Ni	منگنز Mn	مس Cu	کادمیوم Cd	تعداد n	ماده مادری Parent material
38.52 <sup>a</sup>	136.0 <sup>a</sup>	32.3 <sup>ab</sup>	57.7 <sup>a</sup>	594.3 <sup>bc</sup>	31.3 <sup>a</sup>	1.03 <sup>bc</sup>	8	شیل Shale
42.98 <sup>a</sup>	95.0 <sup>b</sup>	28.6 <sup>b</sup>	55.0 <sup>a</sup>	1167.8 <sup>a</sup>	26.6 <sup>b</sup>	1.44 <sup>a</sup>	7	شیست Schist
13.76 <sup>c</sup>	52.0 <sup>c</sup>	24.3 <sup>c</sup>	16.6 <sup>c</sup>	247.7 <sup>d</sup>	19.0 <sup>d</sup>	0.96 <sup>c</sup>	5	سنگ آهک Limestone
37.13 <sup>a</sup>	71.3 <sup>bc</sup>	30.8 <sup>b</sup>	55.3 <sup>a</sup>	769.0 <sup>b</sup>	28.7 <sup>ab</sup>	1.40 <sup>ab</sup>	12	دشت آبرفتی Alluvial plain
44.14 <sup>a</sup>	69.0 <sup>c</sup>	34.9 <sup>a</sup>	45.1 <sup>ab</sup>	1194.3 <sup>a</sup>	27.8 <sup>b</sup>	1.40 <sup>ab</sup>	5	نهشته مخروط افکنه‌ای Fan deposit
24.58 <sup>b</sup>	61.1 <sup>c</sup>	31.2 <sup>ab</sup>	31.4 <sup>b</sup>	426.6 <sup>cd</sup>	22.0 <sup>c</sup>	1.77 <sup>a</sup>	10	پادگانه آبرفتی Fluvial terrace

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بدون تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ هستند.

سرب را به دلیل ساختارهای زمین‌شناسی دانستند و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی را در افزایش غلظت آن مؤثر دانستند (۱۷، ۱۹). در پدیده آلودگی نقطه‌ای انتظار می‌رود که با افزایش فاصله از منبع آلوده‌کننده، غلظت آلاینده‌ها در خاک کاهش یابد. چنین رفتاری در مورد خاک‌رخ‌های واقع در دشت آبرفتی قابل مشاهده است (جدول ۲). غنی شدن سرب در بسیاری از افق‌های سطحی، نقش منبع‌های بیرونی را در غلظت این فلز نشان می‌دهد. البته نباید نقش مواد آلی را در جذب و چرخش این فلز در پدوسفر نادیده گرفت (۳). همبستگی مثبت فلز سرب با کربن آلی و رس نشان‌دهنده نقش این بخش‌ها در تثبیت سرب می‌باشد (جدول ۴). با این حال، کم بودن این همبستگی را می‌توان به پوشش گیاهی کم در منطقه نسبت داد.

فلز سرب: میانگین سرب در کل منطقه، ۳۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با دامنه ۲۱/۱ تا ۳۷/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، تعیین شد. در خاک‌های بررسی شده، سرب دارای کم‌ترین ضریب پراکنش است. به طوری که خاک‌های آهکی دارای کم‌ترین غلظت سرب (۲۴/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و غلظت سرب در خاک‌های دیگر بیش‌تر از خاک‌های آهکی می‌باشد (جدول ۳). روی هم رفته تمرکز سرب در رسوبات رسی بیش‌تر از رسوبات آهکی است (۱۱). همبستگی مثبت و معنی‌دار سرب با ظرفیت تبادل کاتیونی ( $r=0/43$ ) نیز می‌تواند تأییدکننده این رابطه باشد (جدول ۴). بر همین مبنا، روند تغییرات سرب در بیش‌تر خاک‌های بررسی شده (به استثناء خاک‌رخ‌های Qa)، هماهنگ با فراوانی این فلز در مواد مادری متناظرشان است. برخی پژوهشگران افزایش غلظت

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین غلظت کل فلزهای سنگین و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک‌رخ‌های بررسی شده ( $n=47$ ).

Table 4. Pearson correlation between total concentration of heavy metals and the physical and chemical properties of soil profiles.

فلز Metal	pH	هدایت الکتریکی EC	کربن آلی OC	کربنات کلسیم معادل CaCO <sub>3</sub>	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
کادمیوم Cd	-0.27	0.32*	-0.28*	0.18	0.24	0.33*	0.33*	-0.38**
مس Cu	0.39**	-0.28*	-0.02	-0.74**	0.45**	0.28*	-0.13	-0.05
منگنز Mn	0.13	-0.28*	0.12	-0.71**	0.50**	0.16	0.01	-0.09
نیکل Ni	0.28*	-0.20	-0.02	-0.71**	0.60**	0.42**	0.06	-0.25
سرب Pb	-0.05	0.00	0.10	-0.38**	0.43**	0.19	-0.07	-0.05
روی Zn	0.06	-0.29*	-0.19	-0.70**	0.42**	-0.02	-0.41**	0.27
آهن Fe	0.24	-0.20	0.02	-0.84**	0.56**	0.27	-0.14	-0.04

\* همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است و \*\* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

فلز روی: میانگین غلظت فلز روی در کل منطقه، ۸۱/۴ میلی گرم بر کیلوگرم، با دامنه ۱۱/۵ تا ۱۷۲/۶ میلی گرم بر کیلوگرم، است. غلظت کل فلز روی در خاک‌های شیلی تفاوت معنی‌داری را با سایر خاک‌ها نشان می‌دهد و در بین خاک‌های شیستی، آبرفتی، نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا، پادگانه آبرفتی در سطح پایین و آهک تفاوت معنی‌داری آشکار نشد؛ با این حال، کم‌ترین مقدار روی در خاک‌های آهکی (۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. سنگ بستر شیل حاوی ۱۲۱ میلی گرم بر کیلوگرم روی است، این در حالی است که شیست پس از شیل، با داشتن ۷۹/۱ میلی گرم بر کیلوگرم روی، بیش‌ترین مقدار این فلز را شامل می‌شود و سنگ آهک دارای کم‌ترین مقدار فلز روی (۸/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) است. هان و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که در میان سنگ‌های رسوبی، شیل دارای مقادیر بالاتری از روی است. وضعیت این فلز نیز در خاک مانند مس می‌باشد (۷). در بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، روی با ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت و معنی‌داری (۴۲/۰=r) نشان داد (جدول ۴). از این روی مواد مادری عامل اصلی در مقدار و توزیع فلز روی در خاک‌های بررسی شده می‌باشد. لو و همکاران (۲۰۰۷) و میکو و همکاران (۲۰۰۶) ساختارهای زمین‌شناسی را عامل اصلی ورود روی به خاک دانستند (۱۸، ۱۹). لی و همکاران (۲۰۰۱) در طی بررسی توزیع فلزهای سنگین در چین، به این نتیجه رسیدند که غلظت‌های بالاتر مس و روی در مناطق شهری و صنعتی یافت می‌شود (۱۶). در کلیه خاک‌ها و در بیش‌تر افق‌ها، خاک‌ها در مقایسه با سنگ بستر خود، دارای مقدار بیش‌تری روی هستند و دیده شد که در بیش‌تر موارد شدت غنی‌شدن روی بیش‌تر از مس می‌باشد (جدول ۶). این تفاوت را می‌توان با توجه به رهاسازی و تحرک بیش‌تر روی نسبت به مس توجیه کرد.

جدول ۵- همبستگی پیرسون بین غلظت کل فلزهای سنگین در خاک‌های بررسی شده (n=۴۷).

Table 5. Pearson correlation between total concentration of heavy metals in soil profiles (n=47).

آهن Fe	روی Zn	سرب Pb	نیکل Ni	منگنز Mn	مس Cu	کادمیوم Cd
						1
					1	-0.01
				1	0.53**	0.01
			1	0.65**	0.78**	-0.06
		1	0.54**	0.41**	0.54**	0.23
	1	0.25	0.60**	0.24	0.69**	0.32
1	0.58**	0.52**	0.82**	0.82**	0.79**	-0.02

\* همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی دار است و \*\* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

آهکی از نظر مقدار آهن در رتبه آخر قرار گرفت. بیش‌ترین غلظت آهن در ماده مادری شیست (۴۷/۳ گرم بر کیلوگرم)، نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا (۴۰/۲ گرم بر کیلوگرم) و شیل (۴۰/۱ گرم بر کیلوگرم) یافت شد و کم‌ترین مقدار آهن نیز در سنگ بستر آهک (۴ گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد.

فلز آهن: میانگین غلظت فلز آهن در کل منطقه، ۳۳/۸ گرم بر کیلوگرم بوده که حداقل و حداکثر مقدار آن در منطقه به‌ترتیب برابر ۶/۱ و ۵۴/۴ گرم بر کیلوگرم می‌باشد تفاوت معنی‌داری میان غلظت آهن در خاک‌های نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا، شیست، شیل و دشت آبرفتی دیده نشد. خاک‌های

جدول ۶- درصد تغییرات فلزهای سنگین در خاک‌های منتخب بر روی مواد مادری مختلف بر اساس رابطه ۱.

Table 6. Variation percentage of different heavy metals in selected soil profiles developed on different parent materials based on Eq. 1.

آهن Fe	کادمیوم Cd	مس Cu	منگنز Mn	نیکل Ni	روی Zn	سرب Pb	افق Horizon	خاک‌رخ Profile
3.0	0.0	-17.0	38.5	-9.7	27.9	82.7	A	Sh2
-13.0	71.4	-21.0	1.2	-10.7	18.9	73.3	Bw	
1.0	57.1	-16.4	27.0	-12.9	25.1	89.3	C	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	R	
-19.9	200.0	47.2	229.6	42.7	37.8	166.1	A	Sch2
-14.8	140.0	30.7	222.2	-3.3	18.7	146.8	Bk	
-31.3	260.0	48.9	227.8	11.0	14.3	155.0	C	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	R	
340.0	-59.1	190.0	832.3	73.4	781.2	11.3	A	Li1
270.0	-50.0	200.0	770.0	95.4	611.8	7.1	CB	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	R	
-3.6	23.1	0.3	3.2	-2.6	17.9	15.6	A	Qa1
-6.6	7.7	-4.3	5.1	-7.8	10.5	15.9	Bw	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	C	
31.3	-7.7	10.8	-2.2	3.1	-3.2	1.7	A	Qf1
14.9	-7.7	8.8	13.0	11.9	-2.9	-2.5	Bw	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	C	
-1.7	-11.1	1.7	30.9	10.5	11.8	5.9	A	Qt1
25.1	-11.1	3.5	26.9	7.1	21.2	1.6	Bw	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	C	

وراثت در غلظت آهن در خاک دلالت کند (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی‌دار آهن با بیش‌تر فلزها نشان‌دهنده منبع مشترک (منشأ طبیعی) ورود این فلزها به خاک می‌باشد (جدول ۵). درجه همبستگی آهن با فلزهای بررسی شده به این صورت کاهش می‌یابد: نیکل < منگنز < مس < روی < سرب < کادمیوم. پژوهشگران بسیاری همبستگی بالا میان آهن و سایر فلزها را گزارش کرده‌اند. ریترمجر و همکاران

حضور کانی‌های آهن‌دار در سنگ شیست باعث افزایش غلظت این فلز در خاک شده است. به‌طوری‌که در بخش کانی‌شناسی مشخص شد، شیست سنگ دگرگونی است که به‌طور عمده از کانی‌های کردیریت و بیوتیت تشکیل شده و هر دو این کانی‌ها، جزء کانی‌های آهن‌دار محسوب می‌شوند. همبستگی مثبت و معنی‌دار آهن با ظرفیت تبادل کاتیونی ( $r=0/56$ ) نیز می‌تواند بر نقش مهم عامل

(۲۰۱۱)، این رابطه را میان آهن و برخی از فلزها مشاهده کردند (۲۳).

**نقش وراثت (مواد مادری) در مقدار فلزهای سنگین:** به منظور گروه‌بندی افق‌ها از نظر مقدار فلزهای سنگین، افق‌های خاکساز (A و B) خوشه‌بندی شدند. سپس در مرحله دوم و برای تعیین نقش مواد مادری در غلظت این فلزها، افق‌های مادری (CB و C) نیز در تحلیل وارد شدند (شکل‌های ۲ و ۳). فاصله خوشه‌ها نشان‌دهنده درجه ارتباط بین مواد مادری و افق‌های بررسی شده، از نظر غلظت فلزهای سنگین است. نمودار شاخه‌ای ۲، افق‌های خاکساز را در بالاترین سطح به دو گروه اصلی تقسیم می‌کند: گروه اول شامل افق‌های خاکساز خاک آهکی است و گروه دوم افق‌های خاکساز خاک‌های پادگانه آبرفتی در سطح پایین، دشت آبرفتی، شیلی، پادگانه مخروط افکنه‌ای در سطح بالا و شیستی را در خود جای می‌دهد. با وارد کردن نمونه‌های مواد مادری، گروه‌بندی نظم بهتری پیدا می‌کند (شکل‌های ۲ و ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سطح بالا خاک‌های شیلی از بقیه خاک‌ها تفکیک می‌شود و در سطح پایین‌تر، خاک‌های آهکی نیز در خوشه جداگانه‌ای تقسیم‌بندی می‌شود. محل قرارگیری افق‌های C و CB بیش‌تر، در داخل خوشه‌های مربوط به افق‌های خاکساز می‌باشد که از نظر نوع ماده مادری با آن‌ها شباهت دارد. این نتایج نشان‌دهنده ارتباط مواد مادری و افق‌های خاکساز است.

### نتیجه‌گیری

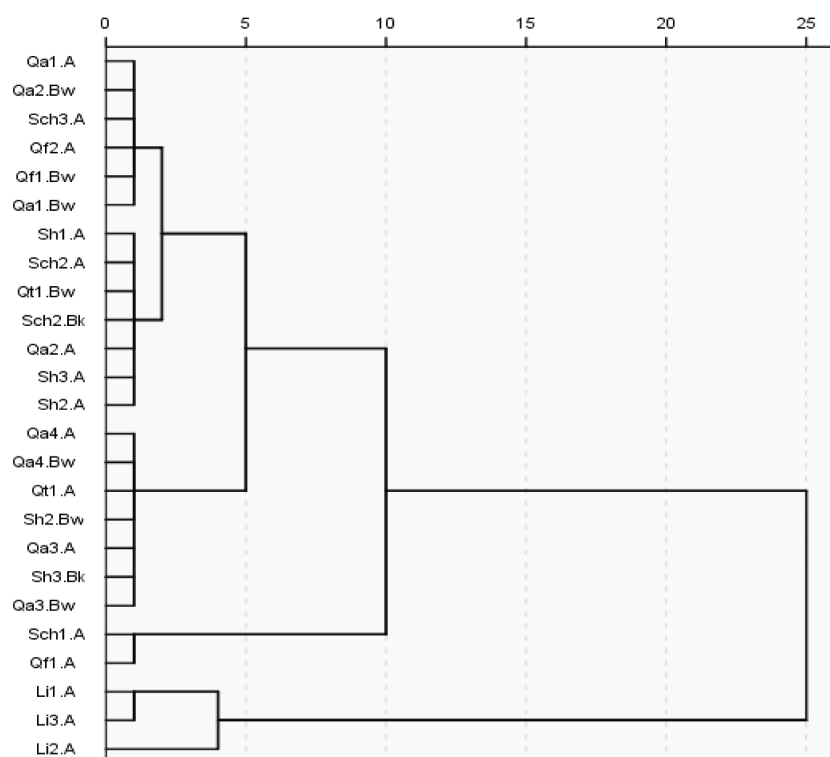
به‌طورکلی، در این مطالعه با توجه به تنوع بسیار کم فرایندهای خاکساز و مشارکت ناچیز فعالیت‌های انسانی در غلظت فلزهای سنگین، نقش مواد مادری بسیار واضح‌تر دیده شد. نتایج بدست آمده از این پژوهش از قرار زیر می‌باشد:

توسعه و تکامل خاک‌های پدیده آمده بر روی همه مواد مادری مختلف (شیل، شیست، سنگ آهک، دشت آبرفتی، نهشته‌های مخروط افکنه‌ای در سطح بالا و پادگانه آبرفتی در سطح پایین)، حداکثر در حد خاک‌های جوان اینسپتی‌سول صورت گرفته است. مهم‌ترین دلیل تشکیل این خاک‌ها، نبود رطوبت کافی برای فرایند هوازدگی، به دلیل اقلیم نیمه‌خشک منطقه می‌باشد. در خاک‌های بررسی شده، مواد مادری به‌شدت غلظت فلزهای سنگین را کنترل می‌کند. چرا که منطقه در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک واقع شده و در این شرایط، فرایند هوازدگی و آبشویی در خاک‌ها شدید نیست. بنابراین نقش ماده مادری در غلظت فلزهای سنگین در خاک‌ها نسبت به منطقه‌های مرطوب پر رنگ‌تر است و شرایطی که در آن امکان تمایز و تفرق خاک از ماده مادری در اثر پیشرفت هوازدگی باشد، چندان وجود نداشت.

تنوع فرایندهای خاکساز در خاک‌های بررسی شده کم است. فرایند کرنات‌زدایی، فرایند غالب در این خاک‌هاست. که این فرایند در خاک‌های آهکی به وضوح قابل تشخیص است. بدین ترتیب فرایندهای خاکساز و به تبع آن شدت تحول خاک، در خاک‌های آهکی بیش‌تر از سایر خاک‌هاست. علت تشکیل خاک‌های متحول بر روی ماده مادری آهکی، حساسیت بالای آن به هوازدگی شیمیایی و نیز واقع شدن خاک‌ها در موقعیت‌های مختلف شیب است. در مقابل، مقاومت نسبی شیل به هوازدگی موجب تحول کم خاک‌های تشکیل شده بر روی این ماده مادری می‌باشد. در خاک‌های بررسی شده، هماهنگی زیادی میان غلظت مس و روی در مواد مادری و غلظت این فلزها در خاک‌های منشأ گرفته از این مواد مادری دیده شد. وجود مقادیر زیاد رسوبات دانه‌ریز

ترکیب کانی‌شناسی مواد مادری این خاک‌ها هماهنگی دارد. مقایسه غلظت منگنز، روی و مس در سنگ آهک و خاک‌های آهکی بیانگر افزایش غلظت این فلزها در خاک در برابر مواد مادری است. به عبارت دیگر، علت غنی‌شدن بسیاری از فلزها در خاک‌های آهکی در مقایسه با خاک‌های دیگر، مانند شیل، را می‌توان به شدت بالای انحلال کربنات‌ها (خروج مقادیر بالای کلسیت) از مواد مادری آهکی و غنی‌شدن در جای فلزها نسبت داد. شدت این افزایش در مورد منگنز و روی خیلی بیش‌تر از مس است. تحرک بیش‌تر منگنز در محیط خاک و توانایی بالای اکسیدهای منگنز آزاد در جذب مس و روی، این مشاهده را توضیح می‌دهند.

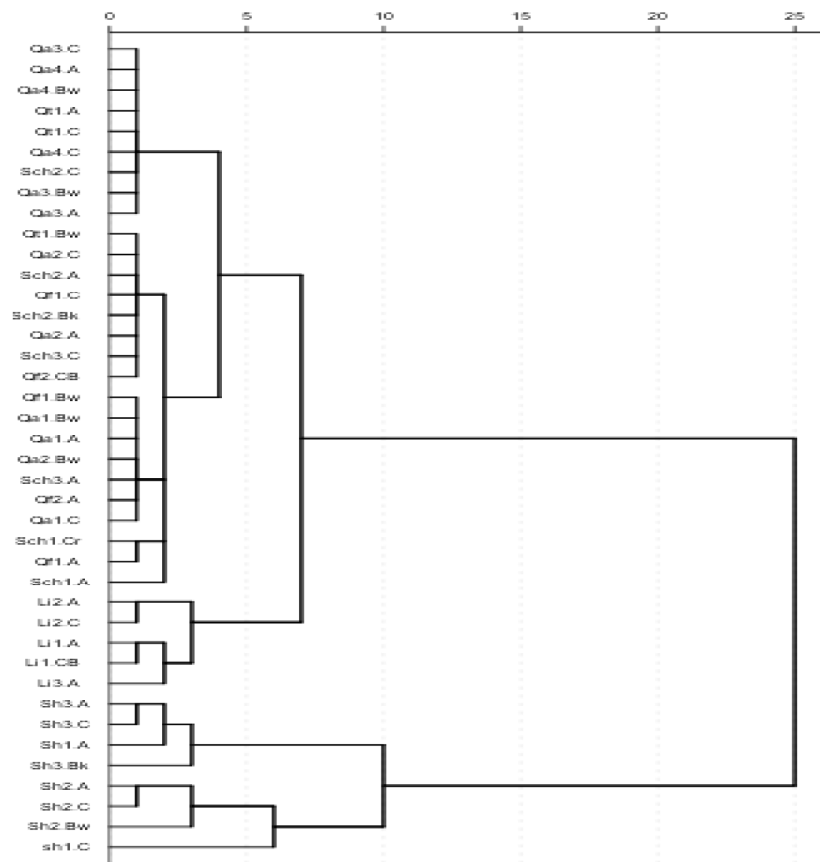
در سنگ شیل، موجب حضور مقدار زیاد مس و روی در این سنگ شده است. به دنبال آن، فراوانی مس و روی در خاک‌های شیلی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دیگر خاک‌ها می‌باشد. مقادیر کم‌تر فلزهای مس و روی در سنگ شیست نسبت به شیل، مربوط به فرایندهای دگرگون‌شدن است، به طوری که در طی این فرایند تغییراتی در مقدار این دو فلز رخ می‌دهد و یون‌های فلزی به همراه سیال در سنگ مهاجرت می‌نمایند. همبستگی مثبت و معنی‌دار مس و روی با ظرفیت تبادل کاتیونی می‌تواند ناشی از تأثیر ماده مادری بر غلظت این فلزها باشد. فراوانی بالای منگنز در خاک‌های نهشته مخروط افکنه‌ای در سطح بالا و شیستی دیده شد. این مشاهده با ترکیب ژئوشیمیایی و



شکل ۲- نمودار درختی غلظت کل فلزهای سنگین برای افق‌های خاکساز (سولوم خاک) در خاک‌های بررسی شده.

**Figure 2. Dendrograms of total concentration of heavy metals for pedogenic horizons in studied soil profiles.**





شکل ۳- نمودار درختی غلظت کل فلزهای سنگین در همه افق‌های خاک‌های بررسی شده (سولوم خاک به همراه افق‌های C, CB و Cr).

**Figure 3. Dendrograms of total concentration of heavy metals for all horizons in studied soil profiles (solum together with C, CB and Cr horizons).**

تبادل کاتیونی، در خاک‌های بررسی شده دیده شد. فرایندهای خاک‌سازی، مانند تشکیل افق کلسیک، بر مقدار کل بیش‌تر فلزهای سنگین مؤثر است. با این وجود، نقش این فرایندها در غلظت کل و توزیع مجدد فلزهای سنگین در مرتبه دوم اهمیت قرار دارد. همبستگی منفی و معنی‌داری بین مس، روی، سرب، نیکل، آهن و منگنز با کربنات کلسیم معادل دیده شد. این مشاهده ناشی از فرایندهای آهک‌زدایی و آهک‌زایی است. به هنگام انحلال آهک، تجمع درجای فلزها را خواهیم داشت و در طی فرایند آهک‌زایی، غلظت این عناصر به‌طور نسبی کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن غلظت بیش‌تر فلزها در افق C خاک‌های

تأثیر عامل وراثت در غلظت فلز نیکل و آهن در خاک‌های بررسی شده، بیش‌تر از عامل‌های غیروراثتی است. کم‌ترین مقدار نیکل و آهن در خاک‌های منشأ گرفته از آهک دیده شد. با این حال، غنی شدن نیکل و آهن در خاک‌های آهکی نسبت به ماده مادری، بیش‌تر از خاک‌های شیلی است. در طی هوازدگی سنگ‌های رسوبی مانند شیل، فرایندهای فیزیکی بیش‌تر از فرایندهای شیمیایی اهمیت دارد و برعکس در سنگ‌های رسوبی کربناته، فرایند شیمیایی کربنات‌زدایی با اهمیت‌تر است؛ بنابراین از هوازدگی سنگ آهک، مقدار کمی خاک بر جای می‌ماند. همبستگی مثبت و معنی‌دار نیکل و آهن با ظرفیت

امکان تفسیر و نتیجه‌گیری‌های نادرستی را در پی دارد. تحلیل خوشه‌ای چندمتغیره فلزهای سنگین نشان می‌دهد که مقدار فلزهای سنگین در بیش‌تر افق‌های خاکساز، تا حد زیادی تحت کنترل عامل وراثت می‌باشد. این قاعده در مورد خاک‌های آهکی نیز صدق می‌کند. با این حال نباید نقش فرایندهای خاک‌سازی را در این خاک‌ها نادیده گرفت.

مورد مطالعه و هماهنگی آن با غلظت این فلزها در طول خاکرخ‌ها، مشخص شد که در منطقه مطالعاتی، حتی در نقاط صنعتی، غلظت فلزهای سنگین بیش‌تر تحت کنترل مواد مادری است. در اینجا می‌توان به اهمیت مطالعه پروفیلی خاک نسبت به بررسی‌های خاک سطحی در زمینه فلزهای سنگین پی برد، به‌طوری‌که نبود اطلاعات کافی از افق‌های زیرسطحی

### منابع

1. Acosta, J.A., Martinez-Martinez, S., Faz, A., and Arocena, J. 2001. Accumulations of major and trace elements in size fractions of soils on eight different parent materials. *Geoderma*. 161: 30-42.
2. Banaei, M.H. 1998. Soil moisture and temperature regime map of Iran. Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture, Iran.
3. Blaser, P., Zimmermann, S., Luster J., and Shotyk, W. 2000. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Ni, Pb and Zn in Swiss forest soils. *Sci. Total Environ.* 249: 257-280.
4. Buol, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C., and McDaniel, P.A. 2003. Soil genesis and classification. 5<sup>th</sup> ed., Iowa State Press. 494p.
5. Gee, G.W. 2002. Particle-size analysis. P 255-295, In: Dane, J.H and G.G. Topp (eds.), *Methods of soil analysis*. ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
6. Graham, R.C., and Boul, S.W. 1990. Soil-geomorphic relations on the Blue Ridge Front: II. Soil characteristics and pedogenesis. *SSSAJ*. 54: 1367-1377.
7. Han, F.X., Alloway, J.B., and Trevors, T.J. 2007. Biogeochemistry of Trace Elements in Arid Environments. *Soil Sci Soc*. 366p.
8. Hardy, M., and Cornu, S. 2006. Location of natural trace elements in silty soils using particle-size fractionation. *Geoderma*. 133: 295-308.
9. Islama, M.R., Peuraniemib, V., Aariob, R., and Rojstaczera, S. 2002. Geochemistry and mineralogy of saprolite in Finnish Lapland. *Appl. Geochem.* 17: 885-902.
10. Jiachun, S., Haizhen, W., Jianming, X., Jianjun, W., Xingmei, L., and Haiping, Z. 2007. Spatial distribution of heavy metal in soil: A case study of changing, China. *Environ. Geol.* 52: 1-10.
11. Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4<sup>th</sup> ed. CRC Press, Boca Raton, New York, 505p.
12. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3<sup>rd</sup> ed., CRC Press, Boca Raton, New York. 432p.
13. Khodakarami, L., Soffianian, A.R., Mohamadi, E., and Mirghafari, N.A. 2011. Study of heavy metals concentration Copper, Zinc and Arsenic soil using GIS and RS techniques (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin-Talkhab catchment in Hamedan province). *J. Appl. RS & GIS Tech. Natur. Resour. Sci.* 1: 79-89.
14. Krauskopf, K.B. 1979. Introduction to geochemistry. 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill Kogakusha, LTD. 617p.
15. Lado, L.R., Hengl, T., and Reuter. H.I. 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*. 148: 189-199.
16. Lee, M.R., Correa, J.A., and Castilla, J.C. 2001. An assessment of the potential use of the nematode to copepod ratio in the monitoring of metal pollution. The Chañaral case. *Mar. Pollut. Bull.* 42: 8. 696-701.

17. Luna, A.R., and Cesar, A.R. 2003. Land use, land cover changes and lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. *Landscape ecology*. 18: 2. 159-171.
18. Luo, W., Wang, T.Y., Lu, J.P., Shi, Y., Zheng, Y., Xing, Y., and Wu, G. 2007. Landscape ecology of the Guanting Reservoir, Beijing, China: Multivariate and geostatistical analyses of metals in soils. *Environ. Pollut.* 146: 567-576.
19. Mico, C., Recatala, L., and Sanchez, M.J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of a European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*. 65: 863-872.
20. Nael, M., Jalalian, A., Khademi, H., Kalbasi, M., and Sotohan, F. 2009. Effect of geo-pedological conditions on the distribution and chemical speciation of selected trace elements in forest soils of western Alborz, Iran. *Geoderma*. 152: 157-170.
21. Navidi, N., and Abtahi, A. 2001. Effects of climate and topography in forest soils genesis Khirrod Kenar of Nowshahr in Mazandaran province. *J. Soil Water Sci.* 15: 299-316.
22. Palumbo, B., Angelone, M., Bellanca, A., Dazzi, C., Hauser, S., Neri, R., and Wilson, J. 2000. Influence of inheritance and pedogenesis on heavy metal distribution in soil of Sicily, Italy. *Geoderma*. 95: 247-266.
23. Reitermajer, D., Celino, J.J., and Queiroz, A.F.S. 2011. Heavy metal distribution in the sediment profiles of the Sauípe River Estuary, north seashore of the Bahia State, Brazil. *Microchem. J.* 99: 400-405.
24. Roades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. P 417-436, In: Sparks, D.L. (ed.) *Method of soil analysis, part: 3, chemical methods*. ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
25. Rowell, D.L. 1994. *Soil science: Methods and applications, part 7: measurement of the composition of soil solution*. Longman Group, UK. 146p.
26. Schaeztl, R., and Anderson, S. 2005. *Soils, genesis and geomorphology*. Cambridge University Press. 817p.
27. Sims, J.T. 1996. Lime requirement. P 491-515, In: Sparks, D.L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods (3<sup>rd</sup> ed.)*. ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
28. Soil Conservation Service. 1979. *Definitions and abbreviations for soil description*. Portland, Oregon, USDA. 16p.
29. Soil survey staff. 2010. *Key to soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey*, 11<sup>th</sup> ed. USDA-NRCS. 338p.
30. Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.
31. Thanachit, S., Suddhipakarn, A., Kheoruenromne, I., and Gilkes, R.J. 2006. The geochemistry of soil on a catena on basalt at Khon Buri, northeast Thailand. *Geoderma*. 135: 81-96.
32. USDA and NRCS. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Inv. Rep. No. 42, ver. 3. 0 USDA, Washington, DC.
33. Walkey, A., and Black, I.A. 1934. An Examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
34. Wilson, M.A., Burt, R., and Indorante, S.J. 2008. Geochemistry in the modern soil survey program. *Environ. Monit. Assess.* 139: 151-171.



## **The effect of parent materials and soil evolution on the content and depth distribution of selected heavy metals in soils of Kabudarahang region, Hamedan**

**Sh. Nosratipoor<sup>1</sup>, \*M. Nael<sup>2</sup>, M. Sheklabadi<sup>2</sup> and A.A. Sepahigero<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Hamedan Bu-Ali Sina University, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Hamedan Bu-Ali Sina University, <sup>3</sup>Professor, Dept. of Geology, Hamedan Bu-Ali Sina University

Received: 08/11/2013; Accepted: 06/02/2014

### **Abstract**

**Background and Objectives:** The content and distribution of heavy metals in soil environment are mainly controlled by two broad factors, namely inheritance (geogenic) and non-inheritance (pedogenic or anthropopedogenic) factors. In the early stages of soil development, the status of heavy metals is mainly influenced by the composition of parent materials; over the course of time, however, different pedogenic and anthropogenic processes become important (11, 12). This study aimed to investigate the effect of these factors on the content and depth distribution of selected heavy metals in soils near Mofateh Martyr powerhouse in Hamedan.

**Materials and Methods:** Six types of parent materials consisting of shale (Sh), schist (Sch), limestone (Li), alluvial plain (Qa), alluvial terraces (Qt) and fan deposits (Qf) were identified in the study area and soil genesis and evolution were studied. Total content of Cd, Cu, Mn, Ni, Zn, Pb and Fe were determined in both soil horizons and parent materials. The mineralogy of parent materials was assessed.

**Results:** The maximum degree of soil development in all of the selected parent materials is restricted to the formation of Inceptisols (Typic Haploxerepts and Typic Calcixerepts), mainly due to the limited weathering conditions prevailing in this semiarid region; although, the rate of soil forming processes and, in turn, soil development is relatively higher in soils derived from limestone, which is more sensitive to chemical weathering. In contrast, the higher relative resistance of shale to weathering processes explains the formation of less developed soils on this parent material. In general, the concentration of most selected heavy metals is controlled by the nature of parent material in the study area. The highest amount of zinc, copper and nickel was observed in Sh soils (136.0, 31.3 and 57.7 mg/kg, respectively); accordingly, the highest concentration of these metals was also measured in the shale (121.1, 37.1 and 53.5 mg/kg, respectively). Li soils have the lowest amount of cadmium, copper, manganese, nickel, zinc, lead and iron; the lowest amount of copper, manganese, nickel, zinc and iron was also measured in limestone. However, cadmium content in limestone is highest compared to the other parent materials. By grouping soil horizons and parent materials using cluster analysis, most of the C horizons were located in clusters related to their corresponding pedogenic horizons, indicating the similarity of pedogenic horizons with parent materials and hence the importance of inheritance factor in controlling the concentration of selected metals. However, concentration of metals in soil horizons, particularly in limestone profiles, is higher than parent materials; this is due to metal enrichment in soils during pedogenic processes, especially leaching of carbonates.

**Conclusion:** The concentration of all metals (except for Mn) is mainly controlled by parent material and pedogenic processes have minor effects in the studied soils.

**Keywords:** Heavy metals, Parent materials, Soil evolution, Power plant

---

\* Corresponding Author; Email: moh\_nael@yahoo.com