مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۰ شماره ۱ تابستان ۱۳۹۶

تأثیر نوع سنگ آذرین بر میزان غلظت عناصر سنگین خاک‌های حاصل از آن در منطقه قروه استان کردستان

مصطفی کرمی[۱]، شمس الله ایوبی[۲*] و حسین خادمی[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- استاد دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت:۱۳۹۴/۱۰/۲۲

پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۱۴

کلمات کلیدی:

فلزات سنگین،

مواد مادری،

شاخص غنی شدگی،

همبستگی.

* عهده دار مکاتبات

Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir

چکیده

به دلیل تجمع عناصر سنگین در خاک و خطرات ناشی از آن، تشخیص نوع، منشأ و پراکندگی این عناصر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. با توجه به اینکه مواد مادری یکی از عوامل اصلی در ارتباط با ترکیب و ویژگی خاک است، در این مطالعه به مقایسه ویژگی‌های متفاوت خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری متفاوت آذرین پرداخته شده است. در مجموع از ٦٥ نقطه خاک سطحی از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری از منطقه‌ای به وسعت ۲٦۰ کیلومتر مربع نمونه‌برداری صورت گرفت. از سنگ‌های غالب در منطقه تعداد ۸ تا ۱۰ نمونه سنگ و از سنگ‌های مادری که وسعت کم‌تری دارند تعداد ٦ تا ۸ نمونه سنگ برداشته شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک و سنگ، غلظت فلزات مس، روی، نیکل و کروم در نمونه‌های خاک روش (اسید نیتریک ٥ نرمال) و سنگ روش (اسید فلوریدریک، نیتریک و کلریدریک غلیظ) پس از عصاره‌گیری، با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ٥ درصد نشان داد که سنگ مادری (گابرو-بازالت) بجز با سنگ‌های مادری گرانیت پورفیری و گرانیت با دیگر واحدهای سنگی در میزان مس کل خاک اختلاف معنی‌داری ندارد. براساس حد مجاز مشخص شده برای کشور ایران در منطقه مورد مطالعه از لحاظ عنصر مس آلودگی وجود ندارد؛ ولی بر اساس استاندارد کشور هلند ۲۳/۱ درصد از نمونه‌ها آلودگی نشان می‌دهند؛ خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ مادری گرانیت پورفیری در میزان غلظت روی کل با دیگر خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های مادری اختلاف معنی‌داری دارند. بر اساس حد مشخص شده در کشور هلند و ایران در غلظت روی کل در خاک به ترتیب ٤/٧ و ١/٥ درصد از نمونه‌ها آلودگی نشان می-دهند، ولی بر اساس استاندارد کشور استرالیا آلودگی به این عنصر وجود ندارد. خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ مادری (گابرو-بازالت) به استثنای خاک-های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های مادری دیوریت گابرویی و گرانیت با دیگر خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های مادری در میزان غلظت نیکل کل خاک اختلاف معنی‌داری ندارد. بر اساس حد مشخص شده در کشور هلند، استرالیا و ایران به ترتیب ٩٦/٨، ٢٠/٦ و ٩٣/٦ درصد از نمونه‌ها در خاک‌های منطقه آلودگی به عنصر نیکل دارند. همچنین خاک توسعه‌یافته بر روی سنگ

مادری اسپیلیت-بازالت با دیگر خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های مادری در میزان کروم کل خاک اختلاف معنی‌داری دارد. ۱۲/۵ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند و ۵۷/۸ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور ایران را دارند. از لحاظ غنی شدگی عناصر سنگین بعد از عنصر مس، عناصر کروم و نیکل بیش‌ترین غنی‌شدگی را در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری منطقه مورد مطالعه دارند؛ همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت مس موجود در مواد مادری و خاک-های توسعه‌یافته بر روی آنها مشاهده شد که نشان‌دهنده درجا بودن خاک‌ها و منشأ توارثی این عنصر در خاک است.

مقدمه

عبارت عناصر سنگین[1] را می‌توان به تعدادی از عناصر اطلاق نمود که اغلب چگالی بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب داشته و در گروه عناصر واسطه جدول تناوبی قرار دارند (۱۷). عناصر سنگین در خاک تحرک کمی داشته و این عناصر در لایه سطحی خاک و حداکثر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک باقی می‌مانند. پراکنش جغرافیایی عناصر سنگین چه به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت‌های انسان مسائل و مشکلاتی را به همراه خواهد داشت. این مشکلات شامل کمبود یا اثرات سمی این عناصر هستند (۱۰). برخی از عناصر سنگین جزء عناصر ریزمغذی بوده و دارای عملکردهای حیاتی در چرخه‌های زیستی می‌باشند. عناصر مهم این گروه شامل: منگنز، مس، روی، مولیبدون و بر است؛ برای برخی دیگر از عناصر سنگین مانند نقره، کادمیوم، آرسنیک و سرب نه تنها هیچ عملکرد بیولوژیک شناخته شده‌ای گزارش نشده است؛ بلکه این عناصر برای اکثر گیاهان و حیوانات به درجات مختلف سمی هستند (۶).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در مورد غلظت عناصر سنگین در مواد مادری مختلف و خاک‌های تشکیل شده از آنها در دنیا انجام شده‌اند. این پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مقدار فلزات سنگین در خاک، به نوع مواد مادری، اقلیم منطقه، توپوگرافی و فعالیت‌های بشر وابسته است (۶ و ۲۲) میانگین غلظت این عناصر در خاک‌ها تا حد زیادی مشابه میانگین غلظت آنها در مواد مادری می‌باشد. با این حال دامنه تغییرات غلظت این عناصر در خاک‌ها به طور عمده، بیش‌تر از مواد مادری است (۲۲). که تفاوت بین غلظت عناصر در مواد مادری و خاک‌های تشکیل شده از آنها در شرایط طبیعی، نتیجه فرآیندهای خاک‌سازی می‌باشد (۵).

بلاستر و همکاران (۶) با مطالعه خاک‌های با مواد مادری متفاوت در سوئیس بیان کردند که هوادیدگی سنگ بستر در کنار فرآیندهای خاک‌سازی، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار عناصر سنگین در خاک هستند.

آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل‌کننده محیط زیست هستند و در بین آنها عناصر سنگین به‌دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیک آن‌ها بر جانداران در غلظت‌های کم، مهم می‌باشند و به دلیل کاربرد عناصر سنگین در صنعت و مهم‌تر از همه نقش این عناصر در آلودگی محیط، این عناصر از اهمیت زیادی برخوردارند (۳۲).

عناصرسنگین در اکثر سنگ‌های موجود در پوسته زمین و در تمام خاک‌هایی که تحت شرایط اقلیمی مختلف تشکیل شده‌اند، می‌توانند یافت شوند. سنگ‌های مادری نقش تعیین کننده‌ای در میزان عناصر سنگین در خاک دارند. ممکن است خاک‌های مشابهی که از نظر نوع مواد مادری با یکدیگر متفاوتند، از نظر نوع و مقدار عناصر سنگین دارای شباهت‌هایی باشند. تفاوت بین میزان این

1- Heavy elements

عناصر در مواد مادری و خاک‌هایی که از آنها تشکیل شده‌اند به خاطر مداخله فرآیندهای خاک‌سازی می‌باشد که در خلال تشکیل خاک وقوع می‌یابد (۵).

به طور کلی می‌توان گفت مقدار عناصر اصلی و سنگین در خاک‌های بکر به زمین‌شناسی مواد مادری خاک و فرآیندهای ژئوشیمیایی[1] وخاک‌سازی[2] مرتبط به تشکیل خاک بستگی دارد (۱۶).

در مطالعات آلودگی خاک به فلزات سنگین، توجه کمی به اثر مواد مادری و نقش پیدایش و تشکیل خاک و فرآیندهایی که باعث غنی‌شدن و یا تهی‌شدن عناصر سنگین در خاک می‌گردد، شده است (۷). شاخص‌هایی مانند حداکثر غلظت مجاز (در غلظت‌های بالاتر از این حد، فلزات سنگین برای موجودات زنده خطرناک می‌باشند)، به بررسی خاک سطحی می‌پردازد و کل نیم‌رخ خاک را مورد مطالعه قرار نمی‌دهد. علاوه بر این تغییرات طبیعی عناصر سنگین که به علت اثرات سنگ‌شناختی و خاک‌شناختی رخ می‌دهد، در نظر گرفته نشده است. از این رو، به کار بردن شاخص‌های دیگری که بتواند اثرات ژئوپدولوژیک را در توزیع عناصر سنگین در خاک‌های مختلف لحاظ نماید، می‌تواند جنبه‌های تازه‌تری از مسائل آلودگی خاک را روشن کند (۷).

نظر به آن‌که بخش قابل توجهی از کشور را سنگ‌های رسوبی پوشانده است، توجه کمی به توسعه خاک‌ها و چگونگی تشکیل و تکامل آنها روی سنگ‌های آذرین شده است و اکثر مطالعات تشکیل و تکامل خاک در ارتباط با خاک‌های توسعه‌یافته روی مواد مادری رسوبی می‌باشد (۱۴، ۱۹ و ۳۱).

اهداف تحقیق

۱- بررسی اثر واحدهای سنگ‌شناسی مختلف بر غلظت عناصر سنگین در خاک‌های حاصله روی آنها.

۲- بررسی میزان غنی شدگی عناصر در خاک سطحی(۱۰-۰ سانتی متری) نسبت به سنگ مادری روئین و ارتباط آن با تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

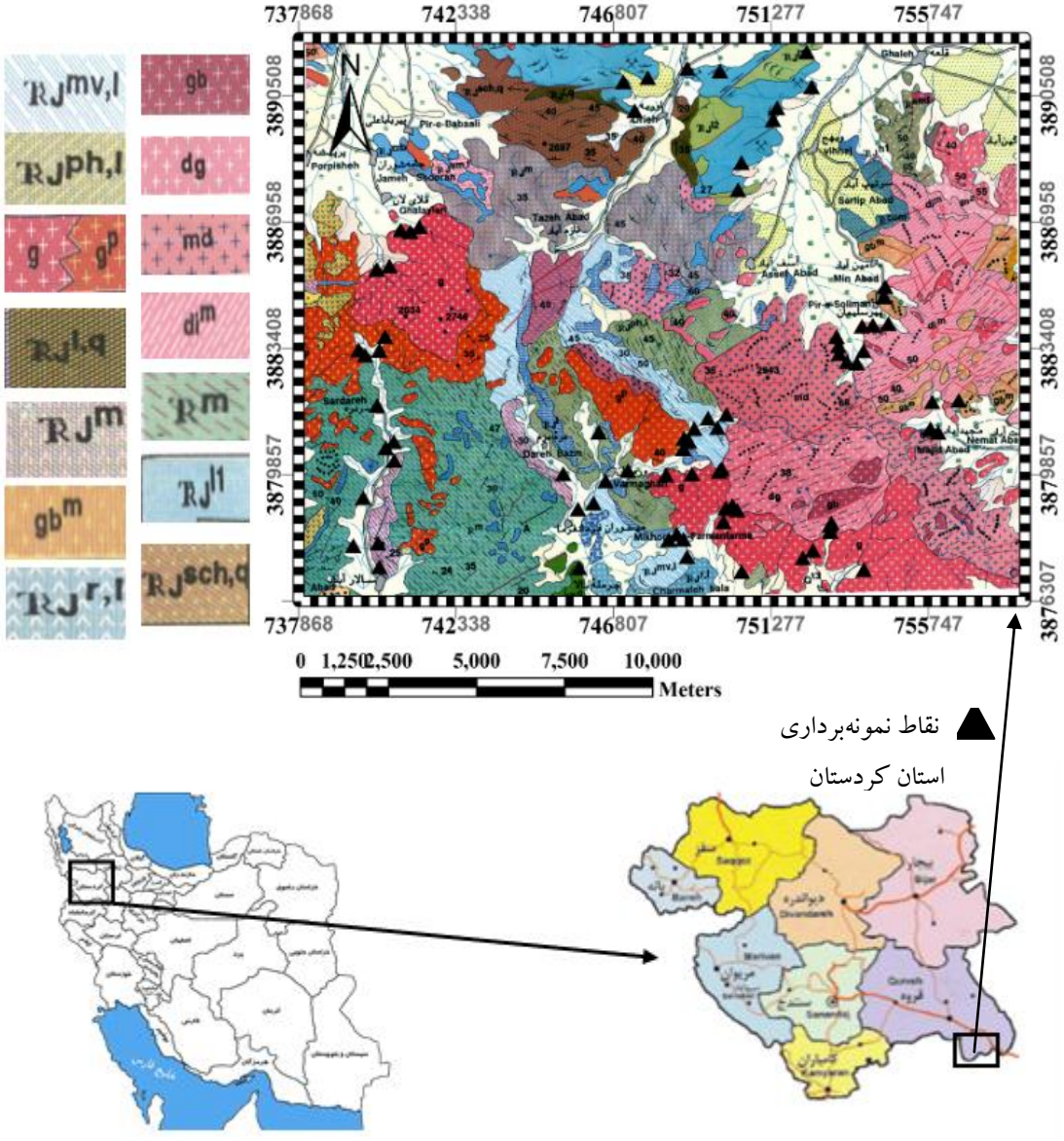
منطقه مورد مطالعه با وسعت ۲۶۱ کیلومترمربع در استان کردستان، در جنوب شهر قروه واقع می‌باشد. این منطقه بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه تا ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شمالی واقع شده است. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا به دلیل وجود کوه‌های مرتفع در این ناحیه متفاوت است، ولی به طور متوسط ۲۲۰۰ متر از سطح دریا اختلاف دارد. میزان بارندگی سالانه به طور متوسط ۴۸۰ میلی‌متر است. از معادن عمده در این ناحیه می‌توان به معادن سنگ مرمر، سنگ آنتیموان، سنگ زرنیخ، سنگ آهک و سنگ لاشه ساختمانی اشاره کرد (۱۵).

با توجه به شکل ۱ و جدول ۱، تشکیلات زمین‌شناسی غالب منطقه، سنگ‌های دگرگونی تریاس، تریاس-ژوراسیک، ژوراسیک و سنگ‌های ائوسن می‌باشد. علاوه بر این توده‌های نفوذی با ترکیبی از گابرودیوریت، دیوریت، گرانودیوریت، سینیت و گرانیت هم وجود دارد. سنگ‌های آتشفشانی زیر دریایی شامل اسپیلیت، بازالت، آندزیت و بندرت ریولیت هستند و در آن‌ها ساخت بالشتی دیده می‌شود. علاوه بر این، سنگ‌های توفی دانه‌ریز و توف برش نیز وجود دارند. کاربری غالب در این منطقه کشاورزی و مرتع می‌باشد (۱۵). هفت نوع از سنگ‌های مادری غالب در منطقه به شرح ذیل است: ۱- دیوریت و دیوریت گابرویی. ۲- دیوریت و گابرودیوریت. ۳- گرانیت پورفیری. ۴- گرانیت، آمفیبول گرانیت، گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت. ۵- تناوبی از سنگ‌های متاولکانیک (اسپیلیت و بازالت) و مرمر. ۶- مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت، سینیت و

1- Geochemical factors
2- Pedogenic factor

کوارتزدیوریت. ۷- سنگ‌های آتشفشانی بازیک دگرگون شده، شیست و درون لایه‌هایی از مرمر (جدول ۱).

از منطقه مورد مطالعه تعداد ۶۵ نقطه برای نمونه‌برداری انتخاب شد. از سنگ‌های غالب در منطقه تعداد ۸ تا ۱۰ نمونه و از بقیه واحدهای سنگ‌شناسی که وسعت کم‌تری دارند، تعداد ۶ تا ۸ نمونه سنگ برداشته شد. محل نمونه‌برداری به طور مشابه از همه واحدهای سنگ-شناسی در قسمت دامنه شیب بود. نمونه‌برداری با استفاده از یک بیلچه غیر فلزی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک صورت پذیرفت. ابتدا نمونه‌های خاک، هواخشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. نمونه‌های سنگ نیز آسیاب شده و از الک ۰/۲۵ میلی‌متری عبور و برای تعیین غلظت عناصر سنگین به آزمایشگاه انتقال داده شدند.



شکل (۱) موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه قروه، استان کردستان با تفکیک نوع واحد سنگ‌شناسی.

Figure (1) Location of sampling points in Ghorveh region, Kurdistan province with separation type of geological formations.

جدول (۱) مشخصات واحدهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه (۱۵)

Table (1) Characteristics of geology units in the study area

واحد زمین-شناسی Geological unit	سازند Formation	واحد زمین‌شناسی Geological unit	سازند Formation	واحد زمین-شناسی Geological unit	سازند Formation
gn^2	گرانیت میلونیتی دانه ریز Mylonitic granite granulated	$RJ^{l,1}$	مرمر به رنگ سفید تا کرم White to cream marble	md	مونزودیوریت Monzodiorite
RJ^{h1}	پیروکسن هورنفلس Pyroxene hornfels	$RJ^{mv,I}$	اسپیلیت، بازالت و مرمر Spilit, basalt and marble	dg	دیوریت و گابرو Diorite and gabbro
RJ^{m}	تناوبی از شیست، کوارتزیت Periodic of quartzite and schist	$RJ^{r,l}$	متاریولیت، سنگ آهک Meta rhyolite, limestone	di^{m}	دیوریت و گابرودیوریت Diorite and gabbro-diorite
gb	گابرو Gabbro	$RJ^{am,l}$	پارا آمفیبول شیست Para amphibole schist	gb^{m}	گابرو وگابرودیوریت Gabbro and gabbro-diorite
$RJ^{l,q}$	تناوبی از کوارتزیت و مرمر Periodic of quartzite and marble	$RJ^{sch,q}$	سنگ‌های میکاشیست Micaschist stones	R^{com}	اورتوگنیس، آمفیبولیت Ortho gneiss, amphibolite
R^{amf}	تناوبی از مرمر و آمفیبولیت Periodic of marble and amphibolite	g, g^{p}	گرانیت و گرانیت پورفیری Granite and porphyritic granite	RJ^{l2}	مرمر به رنگ خاکستری White to gray marble
$RJ^{ph,I}$	میکاشیست، فیلیت و اسلیت Mica schist, phyllite and slate	gn^1	گرانیت میلونیتی دانه درشت Coarse-grained mylonitic granite	R^{m}	سنگ‌های بازی دگرگون شده Metamorphosed basic rocks

مطالعات آزمایشگاهی

مقدار کل عناصر سنگین روی، مس و نیکل موجود در خاک (قابل عصاره گیری با اسید نیتریک ۵ نرمال) (۲۷) و مقدار کل این عناصر در سنگ‌های مادری (قابل عصاره‌گیری با مخلوط ۰/۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ، ۵ میلی‌لیتر اسید فلوریدریک غلیظ و ۲ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ) (۲۸) توسط دستگاه جذب اتمی[1] مدل پرکین المر ۳۰۳۰ و مقدار کل عنصر کروم نیز توسط دستگاه جذب اتمی[2] مدل *آنالیست* ۲۰۰ تعیین شد. به منظور کنترل کیفیت نتایج تجزیه فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، یک نمونه استاندارد مؤسسه ملی فناوری آمریکا تهیه شد و غلظت عناصر مورد بررسی در آن اندازه‌گیری گردید.

1- Atomic Absorbtion Spectrometry Perkin Elmer 3030

2- Atomic Absorbtion Spectrometry of Analyst 200

بعد از اتمام تجزیه‌های آزمایشگاهی، به منظور توصیف نتایج آزمایش‌ها و به دست آوردن خلاصه‌ای از اطلاعات آماری از نرم‌افزار SPSS 17 استفاده شد. برای نمایش توزیع داده‌های آماری از نمودار هیستوگرام استفاده شد. همچنین برای بررسی وضعیت توزیع فراوانی از میانه، میانگین، مد، واریانس، انحراف معیار، دامنه، چولگی و کشیدگی استفاده گردید. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین میان واحدهای سنگ‌شناسی مختلف با استفاده از آزمون دانکن[1] در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت. علاوه بر بررسی وضعیت و توصیف داده‌های مربوط به یک ویژگی، همبستگی بین ویژگی خاک و غلظت فلزات سنگین در خاک و دیگر خصوصیات از ضریب همبستگی پیرسون[2] (دارای توزیع نرمال) استفاده گردید. در نهایت برای اطمینان از پیروی متغیرها از توزیع نرمال از تست غیرپارامتری کولموگروف- اسمیرنف[3] در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

توصیف آماری متغیرها

میانگین غلظت مس کل در سنگ‌های مورد بررسی ۲۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات آن ۸۵ با حداقل ۱/۲ و حداکثر ۸۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۲). با توجه به جدول ۳ که بر گرفته از منبع هیک برادل (۲۰۰۴) می‌باشد، مقدار مس در پوسته زمین ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در سنگ‌های گرانیتی ۱۳ و در سنگ‌های بازالتی ۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده است (۸). نتایج تجزیه عنصری سنگ مادری نشان می‌دهد که سنگ مادری گابرو-بازالت با میانگین ۴۲/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین غلظت مس کل در منطقه مورد بررسی است. مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد سنگ‌های مادری گابرودیوریت و گابرو-بازالت با دیگر سنگ‌های مادری اختلاف معنی‌داری دارند. از دلایل ازدیاد مس در سنگ‌های گابرودیوریت و گابرو-بازالت ماهیت بازی بودن این سنگ‌هاست (جدول ۴). آلووی (۳) اظهار داشت مواد حاصل از هوادیدگی سنگ‌های درشت دانه مثل ریولیت و گرانیت نسبت به مواد دانه ریز مثل شیل‌ها و سنگ‌های آذرین بازیک، دارای مقادیر کمتری از عناصر غذایی ضروری مثل مس، روی وکبالت هستند.

میانگین غلظت روی کل در سنگ‌های مورد بررسی ۵۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات آن ۱۴۱ با حداقل ۵ و حداکثر ۱۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۲). مقدار روی در پوسته زمین ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در سنگ‌های گرانیتی ۴۵ و در سنگ‌های بازالتی ۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (درمقیاس جهانی) اندازه‌گیری شده است. نتایج تجزیه عنصری سنگ مادری نشان می‌دهد که سنگ‌های مادری بازالت-گابرو با میانگین ۷۶/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین غلظت روی کل در منطقه مورد بررسی می‌باشد. مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که سنگ‌های مادری گابرودیوریت و گابرو-بازالت به استثنای سنگ مادری گرانیت پورفیری با دیگر سنگ‌های مادری اختلاف معنی‌داری ندارند (جدول ۴). آلووی (۲) بیان داشت مقدار متوسط روی در سنگ‌های آذرین فوق بازی و بازی از گرانیت بیش‌تر است.

میانگین غلظت نیکل کل در سنگ‌های مورد بررسی ۴۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات آن ۱۴۱/۸ با حداقل ۳/۲ و حداکثر ۱۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۲). مقدار نیکل در پوسته زمین ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در سنگ‌های گرانیتی ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سنگ‌های بازالتی ۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم درمقیاس جهانی اندازه‌گیری شده است.

1- Duncan's test
2- Pearson's coefficient of correlation
3- Kolmogrov-smirnov test

جدول (۲) توصیف آماری غلظت عناصر سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در سنگ‌های غالب منطقه مورد بررسی

Table (2) statistic description of heavy metals concentration ($mg.kg^{-1}$) in the major rocks of study area

ضریب تغییرات C.V (%)	چولگی Skewness	حداقل Min	حداکثر Max	انحراف معیار S.D	میانگین Mean	تعداد No.	عنصر Element
58.20	0.7	5.00	146.0	33.90	58.20	65	روی Zinc
97.30	1.13	1.20	86.20	22.90	23.54	65	مس Copper
66.60	1.53	3.20	145.0	28.26	42.40	60	نیکل Nickel
140.00	1.72	5.00	770.7	181.5	130.10	63	کروم Chrome

جدول (۳) غلظت عناصر سنگین در سنگ‌های آذرین در مقیاس جهانی (۸)

Table (3) Chemical properties of heavy metals in the world igneous rocks

بازالت ($mg\ kg^{-1}$) Basalt	گرانیت ($mg\ kg^{-1}$) Granite	پوسته ($mg\ kg^{-1}$) Crust	عناصر سنگین Heavy metal
114	20	100	کروم Cr
76	1	75	نیکل Ni
86	45	70	روی Zn
110	13	55	مس Cu

نتایج تجزیه عنصری سنگ‌های مادری نشان می‌دهد که سنگ مادری دیوریت-گابرودیوریت با میانگین ۶۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین غلظت نیکل کل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که سنگ‌های مادری دیوریت-گابرودیوریت بجز با سنگ‌های مادری مونزودیوریت و گابرو-بازالت با دیگر واحدهای سنگی اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۴).

میانگین غلظت کروم کل در سنگ‌های مورد بررسی ۱۳۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات آن ۷۶۵/۷ با حداقل ۵ و حداکثر ۷۷۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۲). با توجه به منبع آلووی (۳)، میانگین غلظت کروم کل در برخی از سنگ‌های جهان نشان داده شده است. در سنگ‌های فوق بازی غلظت کروم ۲۶۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، درسنگ‌های بازی ۱۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در سنگ‌های اسیدی ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سنگ‌های آهکی ۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده است. نتایج تجزیه عنصری سنگ‌های مادری نشان می‌دهد که سنگ‌های مونزودیوریت با میانگین ۲۲۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین غلظت کروم کل در منطقه مورد بررسی می‌باشد. مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که سنگ مادری مونزودیوریت بجز با سنگ مادری گرانیت پورفیری با دیگر واحدهای سنگی اختلاف معنی‌داری ندارد (جدول ۴).

میانگین غلظت مس کل در خاک‌های مورد بررسی ۳۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۵۴ با حداقل ۱ و حداکثر ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۵). جدول ۶ دامنه غلظت برخی از فلزات سنگین در خاک‌های غیرآلوده در مقیاس جهانی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان می‌دهد (۲۱). با توجه به دامنه غلظت محاسبه شده برای مس (۲۴-۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در جدول ۵ در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه آلودگی به چشم می‌خورد.

جدول(٤) مقایسهٔ میانگین غلظت فلزات سنگین در سنگ‌های مادری منطقه مورد مطالعه بر حسب (میلی‌گرم بر کیلوگرم).
Table (4) Mean comparison heavy metals concentration in the parent material of study area (mg.kg-1).

گابرودیوریت Gabbro diorite	دیوریت گابرویی Diorite gabbro	مونزودیوریت Monzodiorite	اسپیلیت-بازالت Spilit-Basalt	گرانیت Granite	گرانیت پورفیری Porphyritic granit	گابرو-بازالت Gabbro-Basalt	متغیر Variable
165.4^{ab}	62.4^{ab}	221.4^{a}	161.7^{ab}	169.3^{ab}	16.7^{b}	109.1^{ab}	کروم Cr
42^{a}	16.8^{b}	22.1^{b}	21.3^{b}	12.6^{b}	5.9^{b}	42.7^{a}	مس Cu
67.7^{a}	35^{bc}	55.3^{ab}	38.7^{bc}	37.7^{bc}	22.2^{c}	43.3^{abc}	نیکل Ni
69.4^{a}	64.4^{ab}	61^{ab}	51^{ab}	51.1^{ab}	33.1^{b}	76.1^{a}	روی Zn

جدول(٥) توصیف آماری عناصر سنگین در خاکهای منطقه مورد مطالعه
Table (5) Summary of statistical status heavy metals in the soils of study area.

ضریب تغییرات(٪) CV (%)	چولگی Skewness	حداقل Min	حداکثر Max	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean mg/kg	تعداد No.	عنصر Element
64.30	2.35	35.0	250.0	34.4	79.1	64	روی Zinc
60.75	0.3	1.0	55.0	10.6	30.3	65	مس Copper
39.10	0.0	30.0	125.0	20.8	81.2	63	نیکل Nickel
26.30	2.83	37.5	260.0	34.4	76.5	64	کروم Chromium

جدول (٦) دامنه محاسبه شده برخی از فلزات سنگین در خاک‌های غیر آلوده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقیاس جهانی (٢١).
Table (6) The calculated rang of some heavy metals in non-contaminated soils in the global scale (mg kg^{-1}).

دامنه میانگین غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Rang of concentration average (mg kg^{-1})	فلز (Metal)
12-34	نیکل (Nickel)
45-100	روی (Zinc)
13-24	مس (Copper)
12-83	کروم (Chrome)

مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که سنگ‌مادری آتشفشانی بازیک دگرگون شده (گابرو-بازالت) بجز با سنگ‌های مادری گرانیت پورفیری و گرانیت با دیگر واحدهای سنگی اختلاف معنی‌داری ندارد (جدول ۷). از دلایل غلظت زیاد مس کل در خاک‌های مورد بررسی وجود سنگ‌های مادری آذرین بازی همچون گابرو و بازالت می‌باشد. با توجه به مطالعه حاضر غلظت مس به وسیله مواد مادری آذرین بازی کنترل می‌شود. شکل ۲ درصد فراوانی غلظت مس کل خاک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. حداکثر غلظت قابل قبول مس کل در خاک بر اساس حد

مشخص شده در کشور هلند (۲۹) بر روی شکل مشخص شده است که با توجه به آن ۲۳/۱ درصد از نمونه‌ها آلودگی به عنصر مس را نشان می‌دهند. همچنین براساس حد مجاز مشخص شده برای کشور ایران (۱۳) در منطقه مورد مطالعه از لحاظ عنصر مس، آلودگی وجود ندارد.

میانگین غلظت روی کل در خاک‌های مورد بررسی ۷۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۲۱۵ با حداقل ۳۵ و حداکثر ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۵). با توجه به دامنه غلظت محاسبه شده برای روی (۱۰۰-۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقیاس جهانی) در جدول ۵ در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه، آلودگی وجود دارد. خاک‌های توسعه یافته بر روی سنگ‌های مادری گرانیت پورفیری با ۱۱۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و خاک‌های توسعه یافته بر روی سنگ مادری گرانیت با ۶۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت روی کل را دارند. مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که خاک‌های توسعه-یافته بر روی سنگ مادری گرانیت پورفیری در میزان غلظت روی با دیگر سنگ‌های مادری اختلاف معنی‌داری دارد(جدول ۷). شکل ۲ درصد فراوانی روی کل خاک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. حداکثر غلظت قابل قبول روی در خاک بر اساس حد معین شده در کشور هلند (۲۹)، استرالیا (۲۶) و ایران (۱۳) بر روی شکل ۲ (ب) مشخص شده است. از تعداد ۶۴ نمونه خاک، تعداد ۳ نمونه غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند را دارند. بر اساس استانداردکشور استرالیا، در منطقه مورد بررسی آلودگی به عنصر روی وجود ندارد و بر اساس استاندارد کشور ایران ۱/۵ درصد از خاک‌های منطقه آلودگی به این عنصر را دارند. میانگین غلظت نیکل کل در خاک‌های مورد بررسی ۸۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۹۵ با حداقل ۳۰ و حداکثر ۱۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۵). با توجه به دامنه غلظت محاسبه شده برای نیکل (۳۴-۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقیاس جهانی) در جدول ۵ در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه آلودگی به چشم می‌خورد. غلظت نیکل کل در خاک‌های توسعه یافته بر روی سنگ‌های مادری گابرو-بازالت با ۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و خاک‌های توسعه یافته بر روی سنگ مادری دیوریت گابرویی با ۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت را نشان داده‌اند نتایج آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که سنگ مادری بازیک دگرگون شده (گابرو-بازالت) به استثنای سنگ‌های مادری دیوریت گابرویی و گرانیت با دیگر سنگ‌های مادری اختلاف معنی‌داری ندارد (جدول ۷). غلظت زیاد نیکل و کروم برای خاک‌های توسعه یافته روی مواد مادری بازی و فوق بازی مشاهده شده است (۱۰ و ۲۵). به عنوان مثال خاک‌های توسعه‌یافته بر روی بازالت به صورت طبیعی در مقدار عناصر سنگین مس، روی، نیکل و کروم غنی می‌باشد (۲۰ و ۲۴). شکل ۲ درصد فراوانی نیکل کل خاک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. حداکثر غلظت قابل قبول نیکل در خاک بر اساس حد مشخص شده در کشور هلند (۲۹)، استرالیا (۲۶) و ایران (۱۳) بر روی شکل ۲ (ج) مشخص شده است. ۹۶/۸ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند را دارند. بر اساس استاندارد کشورهای استرالیا و ایران به ترتیب، ۲۰/۶ و ۹۳/۶ درصد از خاک‌های منطقه آلودگی به عنصر نیکل دارند.

میانگین غلظت کروم کل در خاک‌های مورد بررسی ۷۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۲۲۲/۵ با حداقل ۳۷/۵ و حداکثر ۲۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۵). با توجه به دامنه غلظت محاسبه شده برای کروم(۸۳-۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقیاس جهانی) در جدول ۵ در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه آلودگی وجود دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سنگ‌های مادری اسپیلیت-بازالت با میانگین ۱۱۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین غلظت کروم کل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول(۷) مقایسهٔ میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های منطقه مورد مطالعه

Table (7) Mean comparison heavy metals concentration (mg kg-1) in the soils of study area.

متغیر Variable	گابرو- بازالت Gabbro-Basalt	گرانیت پورفیری Porphyritic granite	گرانیت Granite	اسپیلیت- بازالت Spilit Basalt	مونزودیوریت Monzodiorite	دیوریت گابرویی Diorite-Gabbro	گابرودیوریت Gabbrodiorite
کروم Chrome	78.3^{b}	76.4^{b}	57.5^{b}	114.1^{a}	75.9^{b}	65.4^{b}	67.8^{b}
نیکل Nickel	98^{a}	78^{abc}	73.2^{bc}	91.2^{ab}	78.9^{abc}	69^{c}	78.7^{abc}
روی Zinc	86.7^{b}	119.5^{a}	61.1^{b}	83^{b}	79.2^{b}	65.6^{b}	65^{b}
مس Copper	37.6^{a}	25.8^{b}	24.1^{b}	32.1^{ab}	27.8^{ab}	33.4^{ab}	31.2^{ab}

مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که سنگ مادری اسپیلیت-بازالت با دیگرسنگ‌های مادری اختلاف معنی‌داری دارد (جدول ۷). شکل ۲ (د) درصد فراوانی کروم کل خاک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. حداکثر غلظت قابل قبول کروم در خاک بر اساس حد مشخص شده در کشور هلند (۲۹) و ایران (۱۳) بر روی شکل مشخص شده است. ۱۲/۵ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند و ۵۷/۸ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور ایران را دارند.

شاخص غنی‌شدگی عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه

با توجه به هدف بررسی حاضر که تعداد ۵ عنصر شامل آهن، روی، مس، نیکل و کروم مورد مطالعه قرار گرفت، عنصر آهن به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شد. دیلی و فرگوسن (۱۲) فلز آهن را به عنوان یک نرمال کننده مناسب پیشنهاد کردند؛ زیرا که توزیع آهن در ارتباط با دیگر فلزات نیست و همچنین غلظت آن در طبیعت زیاد می‌باشد. بنابراین مقدار آن به طور عمده وابسته به فعالیت‌های انسانی نمی‌باشد. مقادیر منفی و مثبت می‌باشد. در جدول ۸ خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری گرانیت و گرانیت پورفیری دارای غنی‌شدگی قابل به‌ترتیب نشان از تخلیه (شستشو) و غنی‌شدن (جذب و یا رسوب) عنصر از خاک می‌باشد.

رابطه زیر بیانگر چگونگی محاسبه شاخص غنی‌سازی است:

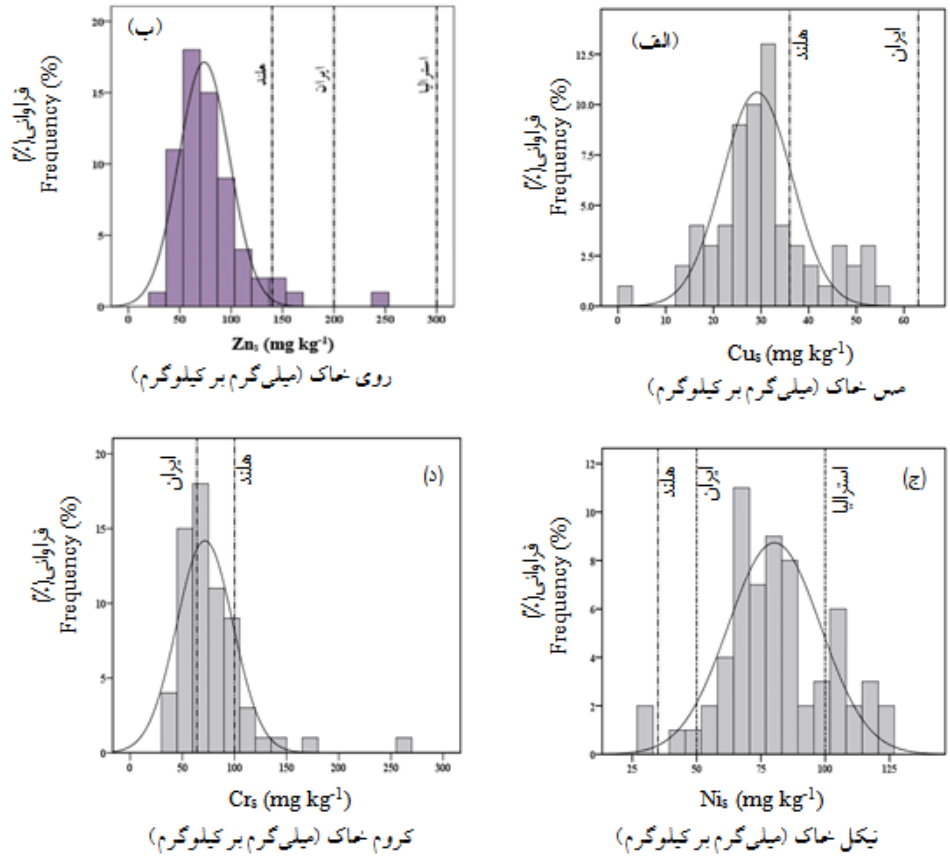
$$EF = (Cm/Cs)\ x/\ (Cm/Cs)\ c \qquad (۱)$$

Cm: غلظت فلز سنگین مورد نظر

Cs: غلظت عنصر آهن (به عنوان عنصر مرجع زیرزمینی) و c و x به ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های مورد اشاره در پوسته زمین و خاک است.

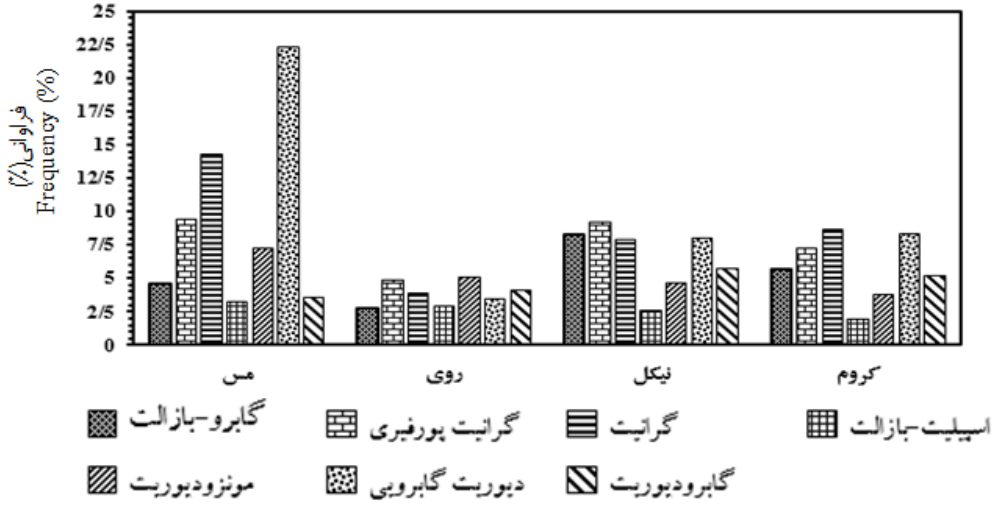
شکل ۳ شاخص غنی‌شدگی (EF) عناصر سنگین در خاک را در مقایسه با عنصر نسبتاً نامتحرک آهن نشان می‌دهد. با توجه به شکل همه عناصر مطالعه شده در خاک غنی شده یا تجمع یافته‌اند؛ اما این غنی‌شدن در خاک‌های مختلف برای هر عنصر متفاوت می‌باشد.

عنصر مس در بین عناصر سنگین به مقدار قابل توجهی در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری دیوریت گابرویی، گرانیت و گرانیت پورفیری غنی شده است. مقادیر میانگین EF (شاخص غنی‌شدگی) در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های مادری دیوریت گابرویی، گرانیت و گرانیت پورفیری به ترتیب ۲۲/۲، ۱۴/۳ و ۹/۴ توجه ولی خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری دیوریت گابرویی دارای غنی‌شدگی شدید می‌باشد.



شکل (۲) نمودار توزیع فراوانی غلظت عناصر سنگین کل در خاک‌های منطقه مورد مطالعه.

Figure(2) distribution histogram of heavy metals concentration in soils (mg kg^{-1}) of study area



شکل(۳) نمودار و مقادیر عناصر سنگین مورد بررسی در مواد مادری مختلف بر اساس شاخص غنی‌شدگی

Figure (3) the frequency of heavy metals in different parent materials based on enrichment factor

جدول (۸) درجه‌بندی سطح غنی‌شدگی خاک‌ها بر مبنای شاخص EF
Table (8) rating level Soils enrichment based on EF index.

غنی شدگی کم low Enriched	EF < 2
غنی شدگی متوسط Medium Enriched	EF = 2-5
غنی شدگی قابل توجه Noteworthy Enriched	EF = 5-20
غنی شدگی شدید Extreme Enriched	EF =20-40
غنی شدگی بسیار شدید Very Extreme Enriched	EF > 40

ترتیب غنی‌شدگی مس در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری آذرین به‌صورت ذیل است:
دیوریت گابرویی> گرانیت> گرانیت پورفیری> مونزودیوریت> گابرو-بازالت> گابرودیوریت> اسپیلیت-بازالت.

بعد از عنصر مس، عناصر کروم و نیکل بیش‌ترین غنی‌شدگی را در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری دارند. شاخص غنی‌شدگی نیکل در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری گرانیت پورفیری، گابرو-بازالت، دیوریت گابرویی و گرانیت به ترتیب ۹/۱، ۸/۳، ۷/۹۵ و ۷/۹۲ می‌باشد. بنابراین با توجه به جدول ۸ خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری گرانیت پورفیری، گابرو-بازالت، دیوریت گابرویی و گرانیت دارای شاخص غنی‌شدگی قابل توجه می‌باشد.

ترتیب غنی‌شدگی عنصر نیکل در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری به صورت ذیل است:
گرانیت پورفیری> گابرو-بازالت> دیوریت گابرویی> گرانیت> گابرودیوریت> مونزودیوریت> اسپیلیت-بازالت.

شاخص غنی‌شدگی کروم در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری گرانیت ۸/۶ می‌باشد که با توجه به جدول ۸ دارای غنی‌شدگی قابل توجه می‌باشد. ترتیب غنی‌شدگی این عنصر در این‌خاک‌ها به صورت ذیل است:
گرانیت> دیوریت گابرویی> گرانیت پورفیری> گابرو-بازالت> گابرودیوریت> مونزودیوریت> اسپیلیت-بازالت.

همبستگی بین فلزات سنگین خاک در منطقه مورد بررسی

جدول ۹ ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت عناصر سنگین در خاک را نشان می‌دهد. همبستگی نسبتاً پایین و معنی‌داری بین مس با روی ($p <$ ۰/۰۵ و $r=$ ۰/۲۵) و همبستگی نسبتاً بالا و معنی‌داری با کروم ($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۳۴) و نیکل ($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۳۶) در خاک‌های منطقه مورد مطالعه مشاهده شد.

تقی‌پور (۳۰) همبستگی نسبتاً بالا و معنی‌داری بین مس با روی ($r=$ ۰/۵) و نیکل ($r=$ ۰/۴) در منطقه مطالعاتی خود به‌دست آورد. امیری (۴) در بررسی بخشی از خاک‌های سطحی شرق اصفهان همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عنصر مس با عناصر منگنز($r=$ ۰/۴۳)، نیکل($r=$ ۰/۶۷)، کبالت ($r=$ ۰/۵۲) و کروم($r=$ ۰/۵۲) در کاربری غیرشهری به‌دست آورد.

جدول (۹) ضریب همبستگی بین عناصر مورد بررسی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه (N=٦٥)

Table (9) The correlation coefficient between the studied elements in soils of the study area (N=65)

$Ln\ Ni_s$	$Ln\ Zn_s$	$Ln\ Cu_s$	عنصر Element
		1	$Ln\ Cu_s$ (مس)
	1	0.25^{*}	$Ln\ Zn_s$ (روی)
1	0.07	0.36^{**}	$Ln\ Ni_s$ (نیکل)
0.54^{**}	0.23	0.34^{**}	$Ln\ Cr_s$ (کروم)

** در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

** Significant at the 1% level.

S : s مقدار پارامتر در خاک است.

S: s parameter value in the soil.

* در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

. * Significant at the 5% level

ایشان عنوان کرد که این عناصر در منطقه مورد بررسی به وسیله لیتولوژی منطقه کنترل می‌شوند.

در این مطالعه عنصر روی با عناصر دیگر همبستگی بالا و معنی‌دار نشان نداد. می‌توان نتیجه گرفت عنصر روی به‌وسیله عوامل دیگری غیر از عوامل لیتوژنیک در منطقه مورد مطالعه کنترل می‌شود (جدول ۹). نائل (۲۲) در بررسی بخشی از خاک‌های منطقه فومن-ماسوله در استان گیلان همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین عناصر کروم، نیکل و کبالت و بین عناصر سرب، روی و مس همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p <$ ۰/۰۱) به‌دست آورد و بین دو گروه مذکور همبستگی معنی‌داری مشاهده نکرد. ایشان ابراز داشت که هریک از این دو گروه به وسیله ویژگی‌های فیزیکی خاک کنترل می‌شوند.

همبستگی بالا و معنی‌داری بین عنصر نیکل با کروم ($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۵۴) مشاهده شد (جدول ۹). دنکوب (۱۱) در منطقه مطالعاتی خود بیان داشت که ضریب همبستگی بالایی بین کروم و نیکل ($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۷۲) وجود دارد که نشان دهنده منبع یکسان این عناصر در منطقه می‌باشد. او به این نتیجه رسید که این دو عنصر در محیط کم‌تر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارند، و مقادیر کم این فلزات در خاک‌های منطقه نشان داد که این دو عنصر بیش‌تر تحت تأثیر منابع طبیعی در خاک یافت می‌شوند.

با توجه به مطالعه حاضر، منطقه مورد مطالعه از مناطق صنعتی و شهری دور است و بیش‌تر عناصر سنگین تحت کنترل مواد مادری می‌باشند. همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود. بیش‌تر عناصر همبستگی زیادی با یکدیگر دارند که نشان از یکسان بودن منشاء ورود این عناصر به خاک می‌باشد.

همبستگی بین فلزات سنگین مواد مادری در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱۰ ضرایب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در مواد مادری را نشان می‌دهد. همبستگی نسبتاً بالا و معنی‌داری بین مس با روی ($p <$ ۰/۰۵ و $r=$ ۰/۴۲)، کروم ($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۳۹) و نیکل ($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۴۶) در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. روی، نیکل و مس دارای شعاع یونی نزدیک به هم هستند و مانند آهن و منگنز می‌توانند جایگزین همدیگر شوند. این ویژگی باعث می‌شود که این عناصر با یکدیگر همبستگی معنی‌داری داشته باشند (۲۳).

جدول(۱۰) ضریب همبستگی بین عناصر مورد بررسی در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه(N=٦٥)

Table (10) The correlation coefficient between the studied elements in the rocks of the study area (N=65)

عنصر	$Ln\ Cu_r$	Zn_r	$Ln\ Ni_r$
$Ln\ Cu_r$ (مس)	1		
Zn_r (روی)	0.42^{**}	1	
$Ln\ Ni_r$ (نیکل)	0.46^{**}	0.5^{**}	1
$Ln\ Cr_r$ (کروم)	0.39^{**}	0.41^{**}	0.78^{**}

** در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

** Significant at the 1% level.

r :r مقدار پارامتر در سنگ است.

r: r parameter value in the rock.

عنصر روی همبستگی نسبتاً بالا و معنی‌داری با عناصر نیکل($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۵) و کروم($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۴۱) در منطقه مورد مطالعه نشان داد (جدول ۱۰). عناصر دو ظرفیتی آهن، منگنز، روی، مس، کبالت و نیکل دارای شعاع هیدراته[1] (a_i) ۶ آنگسترم و ضریب فعالیت یکسان می‌باشند و از این نظر در یگ گروه قرار می‌گیرند (۲۳). بدیهی است که این عناصر دارای رفتار ژئوشیمیایی مشابهی باشند.

همبستگی بالا و معنی‌داری بین عناصر نیکل و کروم ($p <$ ۰/۰۱ و $r=$ ۰/۷۸) مشاهده شد که نشان از منشأ یکسان این عناصر می‌باشد. آکوستا و همکاران (۱) نشان دادند که همبستگی بالای نیکل و کروم به شباهت آنها در انتقال و تجمع این فلزات اشاره دارد. با توجه به جدول تناوبی، آهن، کبالت و نیکل در یک گروه قرار گرفته و دارای وزن اتمی و شعاع یونی نزدیک به هم می‌باشند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که این عناصر با یکدیگر همبستگی معنی‌دار داشته باشند. کروم و نیکل به دلیل شعاع یونی هم اندازه با منیزیم با یکدیگر مشابه‌اند. این عناصر در کانی‌های منیزیم‌داری که در مراحل اولیه تشکیل می‌شوند، به مقدار زیادی جایگزین منیزیم می‌شوند (۸).

1- Hydrated radius

همبستگی بین عناصر سنگین در خاک و مواد مادری منطقه مورد بررسی

در جدول ۱۱ غلظت مس در مواد مادری و خاک‌های تشکیل شده بر روی این مواد دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد. بین غلظت روی، نیکل و کروم در خاک و مواد مادری همبستگی معنی‌داری وجود ندارد؛ بنابراین مواد مادری را می‌توان یکی از عوامل مهم در کنترل غلظت مس به شمار آورد. اما مواد مادری تأثیری بر غلظت روی، نیکل و کروم در خاک‌های منطقه ندارد.

نمودار پراکنش، همراه با معادلات رگرسیون خطی عنصر مس موجود در خاک در مقابل غلظت این عنصر در مواد مادری در شکل ۴ آورده شده است و همبستگی بالایی را بین این دو پارامتر نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی بالایی بین مس موجود در خاک و مواد مادری ($\rho <$ ۰/۰۱ و $r=$۰/۵۱) مشاهده شد.

یوسفی‌فرد (۳۳) در بررسی بخشی از سنگ‌های مادری و خاکرخ‌های توسعه‌یافته بر روی آنها در منطقه اهر استان، اردبیل همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عناصر روی، مس، سرب، کبالت، کروم و نیکل موجود در مواد مادری و خاکرخ‌های حاصل از آنها مشاهده نمود. او نشان داد که این خاکرخ‌ها درجا بوده و عناصر موجود در آنها از مواد مادری به ارث می‌رسد؛ به عبارت دیگر مقدار این عناصر، وابسته به مقدار آنها در مواد مادری است. ایشان عنوان کرد که نرخ تجمع و تهی‌شدن عناصر به حساسیت سنگ مادری به هوادیدگی بستگی دارد.

با توجه به این‌که در منطقه مورد بررسی نمونه‌برداری بیش‌تر از دامنه شیب و از خاک سطحی صورت گرفته، عدم همبستگی بین عناصر موجود در خاک و مواد مادری ممکن است به دلیل انتقال رسوبات از مکانی دیگر باشد.

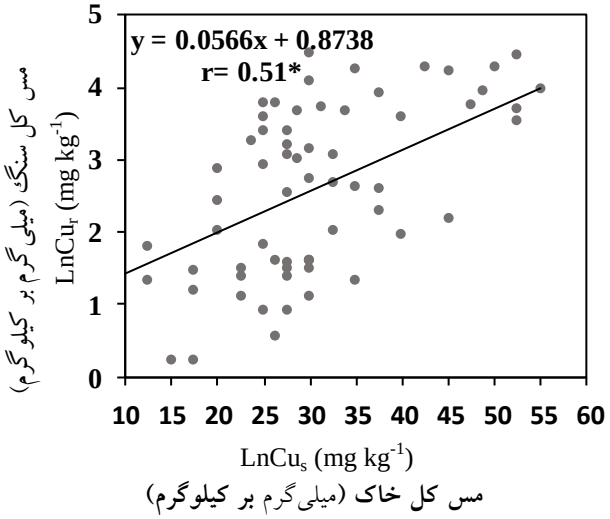
جدول(۱۱) ضریب همبستگی بین عناصر مورد بررسی در سنگ‌ها و خاک‌های منطقه مورد مطالعه(N=٦٥)

Table (11) The correlation coefficient between the studied elements in the rocks and soils of the study area (N=65)

ضریب همبستگی correlation coefficient	عنصر Element
0.51^{**}	Cu (مس)
0.04	Zn (روی)
0.22	Ni (نیکل)
0.17	Cr (کروم)

** در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

** Significant at the 1% level.



شکل (٤) نمودار همبستگی غلظت مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک و مواد مادری.

Figure (4) Correlation charts copper concentration ($mg.kg^{-1}$) in soil and parent material.

دلیل دیگر تفاوت‌های فاحش عناصر سنگین موجود در سنگ‌های مادری با خاک‌های توسعه‌یافته بر روی آنها را شاید بتوان در عدم یکنواختی سنگ مادر در منطقه جستجو کرد. در حقیقت هم‌جواری خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های آذرین بازی، حدواسط و اسیدی و خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های مادری دگرگونی ، عامل اصلی عدم یکنواختی مواد مادری در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه گیری

مقایسه میانگین مس، نیکل و کروم کل در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های مادری مختلف نشان دادکه خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری گابرو-بازالت دارای بیش‌ترین غلظت این عناصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشند. مقایسه میانگین غلظت روی کل در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی سنگ‌های مادری مختلف نشان دادکه خاک‌های

توسعه‌یافته بر روی مواد مادری گرانیت پورفیری دارای بیش‌ترین غلظت این عنصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مقایسه میانگین غلظت مس کل در سنگ‌های مادری نشان داد که سنگ مادری گابرو-بازالت و گابرودیوریت دارای بیش‌ترین غلظت مس در سنگ‌های مادری می‌باشند. مقایسه میانگین غلظت نیکل و کروم کل در سنگ‌های مادری نشان داد که سنگ مادری گابرودیوریت دارای بیش‌ترین غلظت این عناصر در سنگ‌های مادری می‌باشد. مقایسه میانگین غلظت روی کل در سنگ‌های مادری نشان داد که سنگ مادری گابرو-بازالت دارای بیش‌ترین غلظت این عنصر در سنگ‌های مادری است. براساس حد مجاز مشخص شده برای کشور ایران در منطقه مورد مطالعه از لحاظ عنصر مس آلودگی وجود ندارد؛ ولی بر اساس استاندارد کشور هلند ۲۳/۱ درصد از نمونه‌ها آلودگی را نشان می‌دهند؛ بر اساس حد مشخص شده در کشور هلند و ایران در غلظت روی کل در خاک به ترتیب ۴/۷ و ۱/۵ درصد از نمونه‌ها آلودگی نشان می‌دهند. ولی بر اساس استاندارد کشور استرالیا آلودگی به این عنصر وجود ندارد. بر اساس حد مشخص شده در کشور هلند، استرالیا و ایران به ترتیب ۹۶/۸، ۲۰/۶ و ۹۳/۶ درصد از نمونه‌ها در خاک‌های منطقه آلودگی به عنصر نیکل دارند. بر اساس حد مشخص شده در کشور هلند و ایران در میزان غلظت کروم در خاک به ترتیب ۱۲/۵ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند و ۵۷/۸ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور ایران را دارند. عنصر مس در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی مواد مادری دیوریت گابرویی با شاخص غنی‌شدگی ۲۲/۵ دارای غنی‌شدگی شدید می‌باشد. خاک‌های تشکیل شده از مواد مادری گرانیت، گرانیت پورفیری و مونزودیوریت با شاخص غنی‌شدگی ۲۰-۵، دارای غنی‌شدگی قابل توجه مس در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

منابع

1. Acosta, J., Martínez-Martínez, S., Faz, A., and Arocena. J. 2011. Accumulations of major and trace elements in particle size fractions of soils on eight different parent materials. Geoderma,. 161: 30-42.

2. Alloway, B. J. 1995. Soil processes and behavior of metals. John Wiley and Sons, Inc. 11-37.

3. Alloway, B. J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Sons, Ltd., Glasgow-London. pp 339.

4. Amiri, S. 2011. The effect of land use and parent material on the vertical distribution of magnetic susceptibility of soil surface East of Isfahan. M.Sc. Thesis, Department of Soil Sciences, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract).

5. Aubert, H. and Pinta, M. 1977. Trace Elements in soils. Elsevier Scientific Publishing Company.

6. Blaser, P., Zimmermann, S., Luster, J., and Shotyk, W. 2000. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils. Science of the Total Environment, 249: 257-280.

7. Bloomfield, C. 1981. Translocation of metals in soils. Chemistry of soil processes, DJ Greenland and MHB Hayes Ed(s).

8. Bradl, H. 2005. Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation: Origin, Interaction and Remediation. Academic Press. Neubrucke, Germany.

9. D Amico, M., Julitta, F., Previtali, F., and Cantellim, D. 2008. Podzolization over ophiolitic materials in the western Alps (Natural Park of Nont Avic, Aosta Valley, Italy). Geoderma, 146: 129-137.

10. Dalzell, H. W.1987. Soil Management: compost production and use in tropical and subtropical environments Food and Agriculture Organization.

11. Dankoob, Z. 2010. Spatial relationship magnetic susceptibility with total concentration some of heavy metals in surface soil of Isfahan region. M.Sc. Thesis, Department of Soil Sciences, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract).

12. Deely, J. M. and Fergusson, J. E. 1994. Heavy metal and organic matter concentration and distributions in dated sediments of small estuary adjacent to a small urban area. Science of the Total Environment, 153: 97-111.

13. Anonymous. Environmental Protection Agency of Tehran. 2013. Soil Resources quality standards and guides it. (In Persian).

14. Farpoor, M. H. 1995. Relationship between soil and geomorphology in the region of Ghedar kabk – Chahar Mahal and Bakhtiari province, MS.C. Thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Persian with English abstract).

15. Anonymous. Geological and Mineral Exploration organization of country, Ghorveh map. Scale of 1: 100,000 map, printing of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian).

16. Hardy, M., and Cornu, S. 2006. Location of natural trace elements in silty soils using particle-size fractionation. Geoderma, 133: 295-308.

17. Homam, M. 2005. Igneous petrology. Publications Ferdowsi University of Mashad, Mashad. pp 138. (In Persian).

18. Kabata, A. and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants, 3rd ed., CRC Press. pp 432.

19. Karimzadeh, H. R. 1995. Relationship between how the evolution soils in different physiographic units and their erodibility in Lordegan region, North Aquiverous Basin of Karun River. MS.C. Thesis Soil Science, Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract).

20. Latrille, C., Denaix, L., and Lamy, I. 2003. Intraction of copper and zinc with allophane and organic matter in the B horizon of an andosol. European Journal of Soil Science, 54: 357-364.

21. Manta, D. S., Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R., and Sprovieri, M. 2002. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. Science of the Total Environment, 300: 229-243.

22. Nael, M. 2009. The effect of parent material and method formation and evolution of soils on the distribution some of major and trace elements in forest soils of Fooman-Masouleh region. P.HD. Thesis, Department of Soil Sciences, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract).

23. Oostan, Sh. 2010. Environmental soil chemistry attitude. Tabriz Univ. Press, Tabriz, pp 255. (in Persian).

24. Shoji, S., Nanzyo, M., and Dahlgren, A. 1993. Volcanic ash soils, genesis, properties and utilization. Developmental. Soil Science. No 21. Elsevier, Amesterdam.

25. Sierra, M., Martínez, F., and Aguilar, J. 2007. Baselines for trace elements and evaluation of environmental risk in soils of Almería (SE Spain). Geoderma, 139: 209-219.

26. Singh, B. R., and Steinnes, E. 1994. Soil and water contamination by heavy metals. In: R. Lai and B. A. Stewart (Eds), . Soil Proc. Water Quality, pp 233-271.

27. Sposito, G., Lund, L., and Chang, A. 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 Science Society of America Journal, 46: 260-264.

28. Stalikas, C. D., Pilidis, G. A., and Tzouwara-Karayanni, S. M. 1999. Use of a sequential extraction scheme with data normalisation to assess the metal distribution in agricultural soils irrigated by lake water. Science of the Total Environment, 236: 7-18.

29. Swartjes, F. A. 1999. Risk-based assessment of soil and groundwater quality in the Netherlands: Standards and Remediation Urgency. Risk Analysis, 19: 1235-1249.

30. Taghi poor, M. 2009. Spatial variability some of heavy metals in surface soils some of Hamedan Province. M.Sc. Thesis, Department of Soil Sciences, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract).

31. Toomanian, N. 2006. how lands development, variety of soils, surveying some of the pedogenic characteristics on the part of central Iran, Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract).

32. Vahhab Zadeh, A. H. 1993. Foundations environment. University

33. Yoosefi Fard, M. 2012. Evolution and soils developed on some of igneous rocks in North West of Iran. P.HD. Thesis, Department of Soil Sciences, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract).