

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

مصطفی کرمی^۱، شمس‌الله ایوبی^{۲*} و حسین خادمی^۲

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

۲- استاد دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>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 توسعه یافته بر روی مواد مادری متفاوت آذرین پرداخته شده است. در مجموع از ۶۵ نقطه خاک سطحی از عمق ۱۰-۱۰۰ سانتی متری از منطقه‌ای به وسعت ۲۶۰ کیلومتر مربع نمونه برداری صورت گرفت. از سنگ‌های غالب در منطقه تعداد ۸ تا ۱۰ نمونه سنگ و از سنگ‌های مادری که وسعت کمتری دارند تعداد ۶ 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 ۵ 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 ۵ 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. بر اساس 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 توسعه یافته بر روی سنگ مادری گرانیت پورفیری در میزان غلظت روی کل با دیگر خاک‌های توسعه یافته 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 ۴/۷ و ۱/۵ درصد از نمونه‌ها آلودگی نشان می‌دهند، ولی بر اساس استاندارد کشور استرالیا آلودگی به این عنصر وجود ندارد. خاک‌های توسعه یافته بر روی سنگ مادری (گابرو-بازالت) به استثنای خاک‌های توسعه یافته بر روی سنگ‌های مادری دیوریت گابرویی و گرانیت با دیگر خاک‌های توسعه یافته 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 ۹۶/۸، ۲۰/۶ و ۹۳/۶ درصد از نمونه‌ها در خاک‌های منطقه آلودگی به عنصر نیکل دارند. همچنین خاک توسعه یافته بر روی سنگ</p>	<p>دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۱۴</p> <p>کلمات کلیدی: فلزات سنگین، مواد مادری، شاخص معنی‌شدگی، همبستگی.</p> <p>* عهده دار مکاتبات Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir</p>

مادری اسپیلیت-بازالت با دیگر خاک‌های توسعه یافته 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 غنی‌شدگی عناصر سنگین بعد از عنصر مس، عناصر کروم و نیکل بیش‌ترین غنی‌شدگی را در خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری منطقه مورد مطالعه دارند؛ همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت مس موجود در مواد مادری و خاک‌های توسعه یافته بر روی آنها مشاهده شد که نشان‌دهنده درجا بودن خاک‌ها و منشأ توارثی این عنصر در خاک است.

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 به دلیل 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).

عناصر سنگین در اکثر سنگ‌های موجود در پوسته زمین و در تمام خاک‌هایی که تحت شرایط اقلیمی مختلف تشکیل شده‌اند، می‌توانند یافت شوند. سنگ‌های مادری نقش تعیین‌کننده‌ای 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

مقدمه

عبارت عناصر سنگین^۱ 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

1- Heavy elements

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 کیلومتر مربع 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 گابرو دیوریت، دیوریت، گرانودیوریت، سنیت 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 گابرو دیوریت. 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، سنیت و

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^۱ و خاک‌سازی^۲ 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 غنی شدن و یا تهی شدن 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.

1- Geochemical factors

2- Pedogenic factor

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

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

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

مطالعات آزمایشگاهی

پرکین المر ۳۰۳۰ و مقدار کل عنصر کروم نیز توسط دستگاه جذب اتمی^۲ 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.

مقدار کل عناصر سنگین روی، مس و نیکل موجود در خاک (قابل عصاره‌گیری 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^۱ مدل

2- Atomic Absorbtion Spectrometry of Analyst 200

1- Atomic Absorbtion Spectrometry Perkin Elmer 3030

کرمی و همکاران: تأثیر نوع سنگ آذرین بر میزان غلظت...

منطقه مورد بررسی است. مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد سنگ‌های مادری گابرو-دیوریت و گابرو-بازالت با دیگر سنگ‌های مادری اختلاف معنی‌داری دارند. از دلایل ازدیاد مس در سنگ‌های گابرو-دیوریت و گابرو-بازالت ماهیت بازی بودن این سنگ‌هاست (جدول ۴). آلویی (۳) اظهار داشت مواد حاصل از هوازدگی 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 و کبالت 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 گابرو-دیوریت و گابرو-بازالت به استثنای سنگ مادری گرانیت پورفیری با دیگر سنگ‌های مادری اختلاف معنی‌داری ندارند (جدول ۴). آلویی (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.

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^۱ 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^۲ (دارای توزیع نرمال) استفاده گردید. در نهایت برای اطمینان از پیروی متغیرها از توزیع نرمال از تست غیرپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف^۳ 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

1- Duncan's test

2- Pearson's coefficient of correlation

3- Kolmogorov-smirnov test

جدول (۲) توصیف آماری غلظت عناصر سنگین (میلی گرم 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

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

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

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

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

نتایج تجزیه عنصری سنگ‌های مادری نشان می‌دهد که سنگ مادری دیوریت-گابرو دیوریت با میانگین $67/7$ میلی گرم 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 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 $30/3$ میلی گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۵۴ با حداقل ۱ و حداکثر ۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۵). جدول ۶ دامنه غلظت برخی از فلزات سنگین در خاک‌های غیر آلوده در مقیاس جهانی (میلی گرم بر کیلوگرم) را نشان می‌دهد (۲۱). با توجه به دامنه غلظت محاسبه شده برای مس (۱۳-۲۴) میلی گرم بر کیلوگرم در جدول ۵ در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه آلودگی به چشم می‌خورد.

نتایج تجزیه عنصری سنگ‌های مادری نشان می‌دهد که سنگ مادری دیوریت-گابرو دیوریت با میانگین $67/7$ میلی گرم 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-گابرو دیوریت 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 $130/1$ میلی گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات آن $765/7$ با حداقل ۵ و حداکثر $770/7$ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۲). با توجه به منبع آلودگی (۳)، میانگین غلظت کروم کل در برخی از سنگ‌های جهان نشان داده شده است. در سنگ‌های فوق بازی غلظت کروم 2653 میلی گرم بر کیلوگرم، در سنگ‌های بازی 190 میلی گرم بر کیلوگرم، در سنگ‌های اسیدی 4 میلی گرم بر کیلوگرم و در سنگ‌های

کرمی و همکاران: تأثیر نوع سنگ آذرین بر میزان غلظت...

جدول (۴) مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در سنگ‌های مادری منطقه مورد مطالعه بر حسب (میلی گرم بر کیلوگرم).
Table (4) Mean comparison heavy metals concentration in the parent material of study area (mg.kg-1).

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

جدول (۵) توصیف آماری عناصر سنگین در خاکهای منطقه مورد مطالعه.
Table (5) Summary of statistical status heavy metals in the soils of study area.

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

جدول (۶) دامنه محاسبه شده برخی از فلزات سنگین در خاک‌های غیر آلوده (میلی گرم بر کیلوگرم) در مقیاس جهانی (۲۱).
Table (6) The calculated rang of some heavy metals in non-contaminated soils in the global scale (mg kg⁻¹).

دامنه میانگین غلظت (میلی گرم 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)

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

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

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 بازیگ 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 توسعه یافته 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.

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 استاندارد کشور 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

کرمی و همکاران: تأثیر نوع سنگ آذرین بر میزان غلظت...

جدول (۷) مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم 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	گابروی 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}

به ترتیب نشان از تخلیه (شستشو) و غنی شدن (جذب و یا رسوب) عنصر از خاک می‌باشد. رابطه زیر بیانگر چگونگی محاسبه شاخص غنی‌سازی است:

$$EF = (Cm/Cs) x / (Cm/Cs) c \quad (1)$$

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.

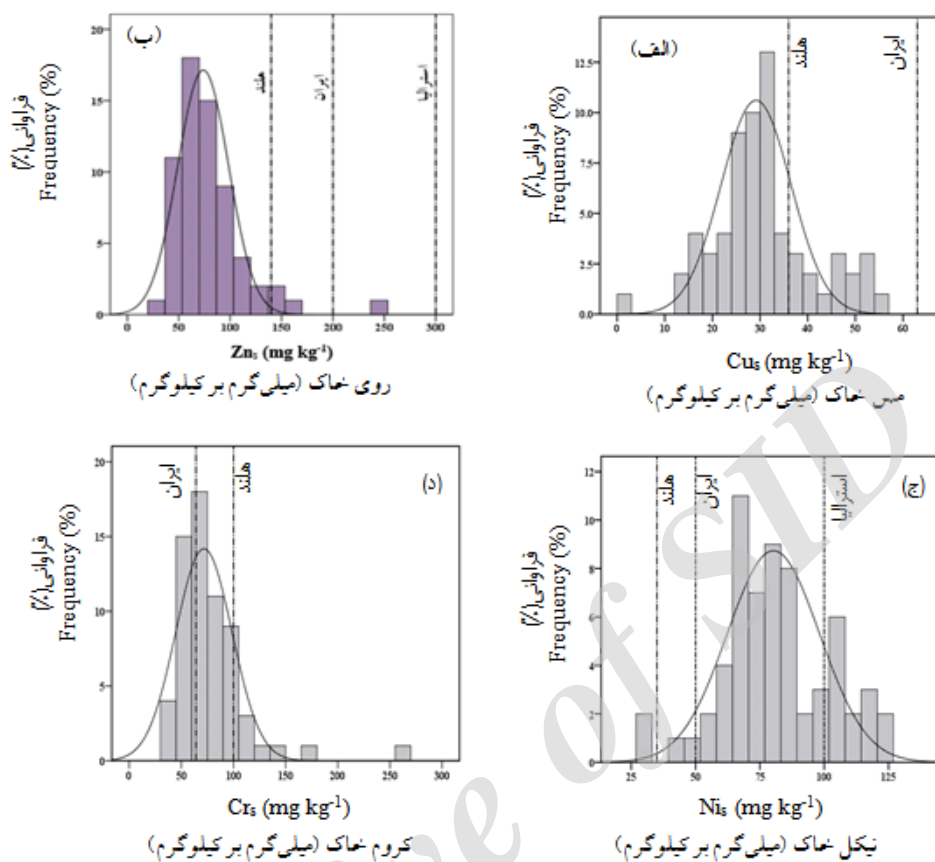
شکل ۳ شاخص غنی‌شدگی (EF) عناصر سنگین در خاک را در مقایسه با عنصر نسبتاً نامتحرک آهن نشان می‌دهد. با توجه به شکل همه عناصر مطالعه شده در خاک غنی شده یا تجمع یافته‌اند؛ اما این غنی‌شدن در خاک‌های مختلف برای هر عنصر متفاوت می‌باشد.

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

مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که سنگ مادری اسپیلیت-بازالت با دیگر سنگ‌های 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.

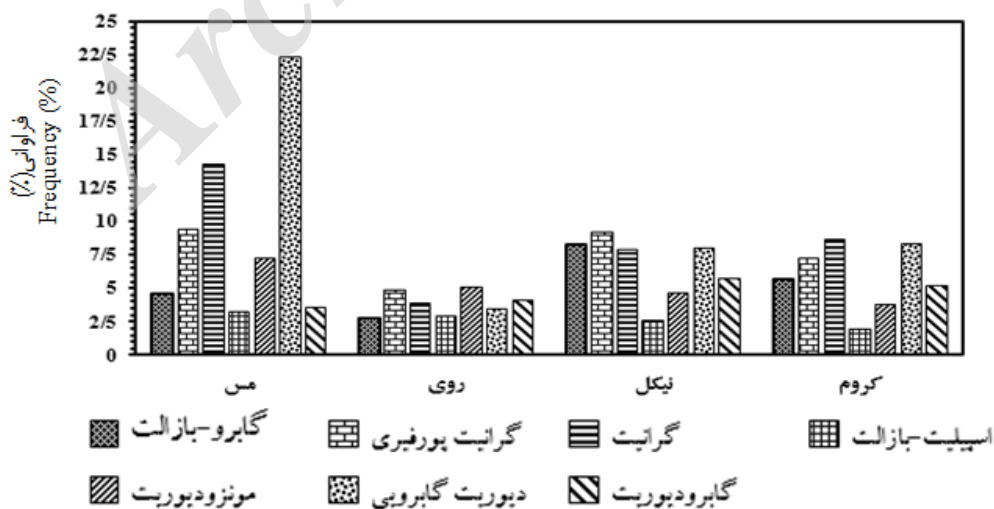
شاخص غنی‌شدگی عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه

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



شکل (2) 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 (3) 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

کرمی و همکاران: تأثیر نوع سنگ آذرین بر میزان غلظت...

جدول (۸) درجه بندی سطح غنی شدگی خاک ها بر مبنای شاخص EF
Table (8) rating level Soils enrichment based on EF index.

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

جدول ۸ دارای غنی شدگی قابل توجه می باشد. ترتیب غنی شدگی این عنصر در این خاک ها به صورت ذیل است:

گرانیت < دیوریت گابرویی < گرانیت پورفیری < گابرو-بازالت < گابرو دیوریت < 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 می دهد. همبستگی نسبتاً پایین و معنی داری بین مس با روی ($r=0.25$ و $p < 0.05$) و همبستگی نسبتاً بالا و معنی داری با کروم ($r=0.34$ و $p < 0.01$) و نیکل ($r=0.36$ و $p < 0.01$) در خاک های منطقه مورد مطالعه مشاهده شد.

تقی پور (۳۰) همبستگی نسبتاً بالا و معنی داری بین مس با روی ($r=0.5$) و نیکل ($r=0.4$) در منطقه مطالعاتی خود به دست آورد. امیری (۴) در بررسی بخشی از خاک های سطحی شرق اصفهان همبستگی مثبت و معنی داری بین عنصر مس با عناصر منگنز ($r=0.43$)، نیکل ($r=0.67$)، کبالت ($r=0.52$) و کروم ($r=0.52$) در کاربری غیر شهری به دست آورد.

ترتیب غنی شدگی مس در خاک های توسعه یافته بر روی مواد مادری آذرین به صورت ذیل است:

دیوریت گابرویی < گرانیت < گرانیت پورفیری < مونزودیوریت < گابرو-بازالت < گابرو دیوریت < اسپیلیت-بازالت.

بعد از عنصر مس، عناصر کروم و نیکل بیشترین غنی شدگی را در خاک های توسعه یافته بر روی مواد مادری دارند. شاخص غنی شدگی نیکل در خاک های توسعه یافته بر روی مواد مادری گرانیت پورفیری، گابرو-بازالت، دیوریت گابرویی و گرانیت به ترتیب ۸/۳، ۹/۱، ۷/۹۵ و ۷/۹۲ می باشد. بنابراین با توجه به جدول ۸ خاک های توسعه یافته بر روی مواد مادری گرانیت پورفیری، گابرو-بازالت، دیوریت گابرویی و گرانیت دارای شاخص غنی شدگی قابل توجه می باشد.

ترتیب غنی شدگی عنصر نیکل در خاک های توسعه یافته بر روی مواد مادری به صورت ذیل است: گرانیت پورفیری < گابرو-بازالت < دیوریت گابرویی < گرانیت < گابرو دیوریت < مونزودیوریت < اسپیلیت-بازالت.

شاخص غنی شدگی کروم در خاک های توسعه یافته بر روی مواد مادری گرانیت ۸/۶ می باشد که با توجه به

جدول (۹) ضریب همبستگی بین عناصر مورد بررسی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه (N=۶۵)
 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 معنی دار است.

** Significant at the 1% level.

S : S مقدار پارامتر در خاک است.

S: s parameter value in the soil.

° در سطح ۵ درصد معنی دار است.

* Significant at the 5% level

انسانی قرار دارند، و مقادیر کم این فلزات در خاک‌های منطقه نشان داد که این دو عنصر بیش تر تحت تأثیر منابع طبیعی در خاک یافت می‌شوند.

با توجه به مطالعه حاضر، منطقه مورد مطالعه از مناطق صنعتی و شهری دور است و بیش تر عناصر سنگین تحت کنترل مواد مادری می‌باشند. همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود. بیش تر 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 معنی داری بین مس با روی ($r=0.42$ و $p < 0.05$)، کروم ($r=0.39$ و $p < 0.01$) و نیکل ($r=0.46$ و $p < 0.01$) 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 معنی داری داشته باشند (۲۳).

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 معنی دار نشان نداد. می‌توان نتیجه گرفت عنصر روی به وسیله 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 معنی داری را بین عناصر کروم، نیکل و کبالت و بین عناصر سرب، روی و مس همبستگی مثبت و معنی داری ($p < 0.01$) به دست آورد و بین دو گروه مذکور همبستگی معنی داری مشاهده نکرد. ایشان ابراز داشت که هر یک از این دو گروه به وسیله ویژگی‌های فیزیکی خاک کنترل می‌شوند.

همبستگی بالا و معنی داری بین عنصر نیکل با کروم ($r=0.54$ و $p < 0.01$) مشاهده شد (جدول ۹). دنکوب (۱۱) در منطقه مطالعاتی خود بیان داشت که ضریب همبستگی بالایی بین کروم و نیکل ($r=0.72$ و $p < 0.01$) وجود دارد که نشان دهنده منبع یکسان این عناصر در منطقه می‌باشد. او به این نتیجه رسید که این دو عنصر در محیط کم تر تحت تأثیر فعالیت‌های

کرمی و همکاران: تأثیر نوع سنگ آذرین بر میزان غلظت...

تشکیل می‌شوند، به مقدار زیادی جایگزین منیزیم می‌شوند (۸).

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 ($r=0.51$ و $p < 0.01$) مشاهده شد.

یوسفی‌فرد (۳۳) در بررسی بخشی از سنگ‌های مادری و خاک‌های 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 خاک‌های حاصل از آنها مشاهده نمود. او نشان داد که این خاک‌ها 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 تهی شدن عناصر به حساسیت سنگ مادری به حوادثی بستگی دارد.

با توجه به این که 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 (۱۰) ضریب همبستگی بین عناصر مورد بررسی در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه (N=65)
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: مقدار پارامتر در سنگ است.

r: r parameter value in the rock.

عنصر روی همبستگی نسبتاً بالا و معنی‌داری با عناصر نیکل ($r=0.5$ و $p < 0.01$) و کروم ($r=0.41$ و $p < 0.01$) در منطقه مورد مطالعه نشان داد (جدول ۱۰). عناصر دو ظرفیتی آهن، منگنز، روی، مس، کبالت و نیکل دارای شعاع هیدراته $6(a_i)$ آنگسترم و ضریب فعالیت یکسان می‌باشند و از این نظر در یک گروه قرار می‌گیرند (۲۳). بدیهی است که این عناصر دارای رفتار ژئوشیمیایی مشابهی باشند.

همبستگی بالا و معنی‌داری بین عناصر نیکل و کروم ($r=0.78$ و $p < 0.01$) 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

1- Hydrated radius

جدول (۱۱) ضریب همبستگی بین عناصر مورد بررسی در سنگ‌ها و خاک‌های منطقه مورد مطالعه (N=۶۵)
 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.

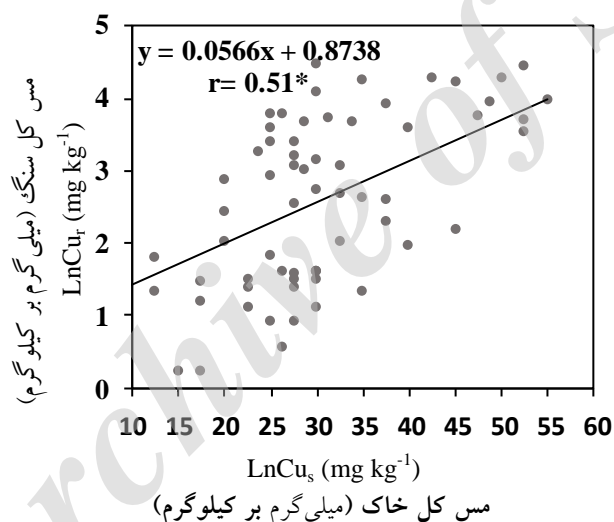


Figure (4) Correlation charts copper concentration (mg.kg^{-1}) in soil and parent material.

نتیجه گیری

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

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

کرمی و همکاران: تأثیر نوع سنگ آذرین بر میزان غلظت...

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.

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

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 Shoty, 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).

Archive of SID