



آلودگی عناصر سنگین در خاک‌های تکامل یافته روی برخی از سنگ‌های آذرین و رسوبی در شمال غرب ایران (مطالعه موردی: آذربایجان غربی)

*مریم یوسفی فرد^۱، ولی آدمن^۲ و شمس‌اله ایوبی^۳

^۱استادیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران، ^۲دانش‌آموخته کارشناسی ارشد

گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ^۳استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: مقدار عناصر در خاک متأثر از مقدار آن‌ها در ماده مادری و فرآیندهای ژئوشیمیایی و خاکساز می‌باشد. میانگین غلظت عناصر سنگین در خاک‌ها تا حد زیادی مشابه میانگین غلظت آن‌ها در مواد مادری می‌باشد و تفاوت بین غلظت عناصر در مواد مادری و خاک‌های تشکیل شده از آن‌ها در شرایط طبیعی، نتیجه فرآیندهای خاکساز می‌باشد. آلودگی خاک توسط فلزات سنگین در هر منطقه‌ای متأثر از مکان و تقریباً دائمی است، در این مطالعه به بررسی مقدار و آلودگی ژئوشیمیایی برخی از عناصر سنگین در خاک‌های سطحی با مواد مادری متفاوت در شمال غرب آذربایجان غربی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: غلظت برخی از عناصر سنگین (آهن، منگنز، مس، روی، نیکل، کبالت و کروم) در ۱۰۵ نمونه خاک سطحی از ۸ سنگ مادری مختلف در شمال غرب استان آذربایجان غربی (سنگ‌های آذرین گرانیت، آندزیت، بازالت و واحد زمین‌شناسی سنگ‌های اولترابازیک و سنگ‌های رسوبی مارن و ماسه سنگ، سازند قم (سنگ آهک و برخی کنگلومرا)، سنگ آهک و شیل از موقعیت شیب پستی و هم‌چنین نمونه‌های سنگ (پس از هضم با اسید نیتریک ۵ نرمال) توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. از شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo}) برای تخمین آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده شد.

یافته‌ها: بیش‌ترین مقدار رس در خاک‌های حاصل از آندزیت و بازالت و سپس سنگ‌های رسوبی مشاهده شد. در سنگ مادری آندزیت بیش‌ترین مقادیر آهن (۲۷۲۳۱/۲۵ mg/kg)، منگنز (۷۳۰ mg/kg)، مس (۲۸/۵ mg/kg) و روی (۵۰/۲۵ mg/kg) کل مشاهده شد. بیش‌ترین مقادیر نیکل (۱۹۳۷/۵۰ mg/kg) کبالت (۹۲/۵۰ mg/kg) و کروم (۷۸۶ mg/kg) در واحد زمین‌شناسی سنگ‌های اولترابازیک می‌باشد. بیش‌ترین غلظت آهن کل در خاک‌های تشکیل شده روی واحد زمین‌شناسی سنگ‌های اولترابازیک (۲۲۰۶۲/۴۲ mg/kg) و کم‌ترین مقدار در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری سازند قم (۶۸۸۵/۴۲ mg/kg) مشاهده شد. غلظت‌های زیاد منگنز در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری آذرین مشاهده شد. حداکثر غلظت مس کل در خاک‌های حاصل از آندزیت (۵۳/۱۷ mg/kg) و حداکثر

* مسئول مکاتبه: m.yousefifard@pnu.ac.ir

میانگین غلظت روی کل در خاک‌های حاصل از سنگ گرانیت با $67/75 \text{ mg/kg}$ مشاهده شد. بیشترین مقدار نیکل (1667 mg/kg)، کبالت ($94/89 \text{ mg/kg}$) و کروم ($304/09 \text{ mg/kg}$) در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری اولترابازیک مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی‌داری برای غلظت آهن، منگنز، مس، نیکل، کبالت، و کروم در سطح احتمال یک درصد و برای روی در سطح احتمال $0/05$ درصد بین خاک و مواد مادری مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: مواد مادری منشاء مهم ورود عناصر سنگین در خاک‌های منطقه می‌باشد و آلودگی آهن در خاک‌های منطقه با توجه به مقدار آهن در خاک‌های جهانی مشاهده نشد، ولی برخی از خاک‌ها به عنصر منگنز آلوده‌اند. همچنین بیش‌تر خاک‌های منطقه به عنصر نیکل و حدود نیمی از خاک‌ها به عناصر کروم و کبالت طبق استاندارد خاک‌های ایران آلوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، خاک سطحی، سنگ آذرین، سنگ رسوبی، عناصر سنگین

مقدمه

محیط مطلوب انسان به مقدار زیادی به خصوصیات شیمیایی خاک‌ها، به‌خصوص مقادیر سالم و کافی عناصر سنگین بستگی دارد. هم‌اکنون معیارهای ارزیابی و راهنماهای کاربرد عناصر سنگین در خاک‌ها از اهداف جدید قانون‌گذاری در بیش‌تر کشورها می‌باشد (۲۰). مقاومت و پایداری عناصر سنگین (فلزات خطرناک و آسیب‌زا در محیط زیست) در خاک نسبت به سایر آلاینده‌ها بسیار طولانی بوده و آلودگی خاک توسط فلزات سنگین تقریباً دائمی است. فلزات سنگین در خاک تحرک کمی داشته و در لایه سطحی خاک و حداکثر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک باقی می‌مانند. مواد مادری و فرآیندهای خاکسازای یکی از منابع مهم ورود عناصر سنگین به خاک به‌شمار می‌رود (۳۱). بنابراین جهت کنترل کیفیت محیط زیست بررسی عناصر سنگین در خاک دارای اهمیت می‌باشد (۴۲). اگرچه برخی از عناصر سنگین به‌عنوان عناصر غذایی میکرو هستند، اغلب آن‌ها به‌علت غلظت بالا در خاک و یا پتانسیل قابلیت دسترسی زیستی برای بیوسفر سمیت داشته و خطرناک می‌باشند (۱۰). این عناصر فلزی شامل

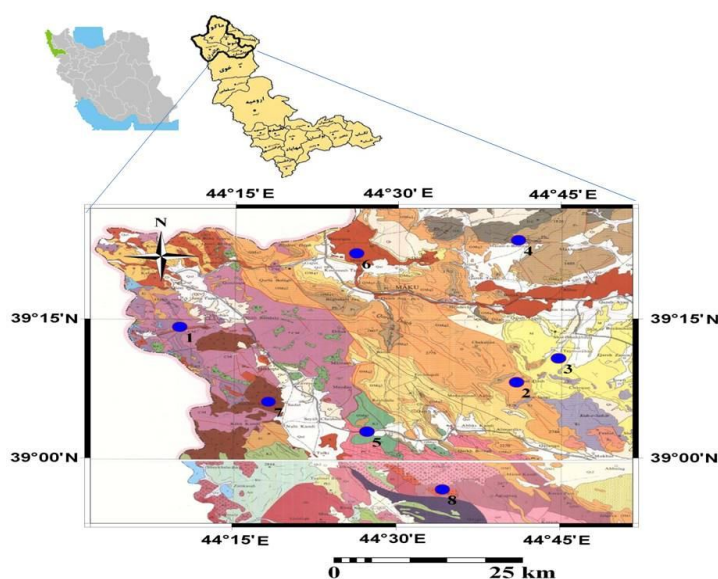
عناصر غیرضروری مانند Cd و Pb می‌باشند که حتی در مقدار بسیار کم نیز سمی می‌باشند و یا این‌که عناصر ضروری بیولوژیکی مانند Cu و Zn که ممکن است در غلظت‌های بالا ایجاد سمیت کنند (۴۰). مقدار عناصر اصلی و کمیاب در خاک‌های بکر به مواد مادری خاک و فرآیندهای خاکسازای بستگی دارد (۱۷). منشأ فلزات کمیاب طبیعی در خاک از هواپدگی سنگ مادری بوده و غلظت آن‌ها در ماده مادری تحت عنوان غلظت پایه ژئوشیمیایی نیز شناخته می‌شود. بنابراین مقدار آن به شدت وابسته به ترکیب سنگ مادری است (۱۰). غلظت پایه ژئوشیمیایی عناصر سنگین در خاک‌ها می‌تواند به‌عنوان مرجعی واقعی جهت تخمین آلودگی خاک‌ها با این عناصر باشد (۱۴). به علاوه، این اطلاعات در انتخاب نواحی که نیاز به مطالعه بیش‌تر به‌علت فعالیت‌های انسانی دارد مهم می‌باشد. غلظت پایه ژئوشیمیایی به‌شدت به ترکیب کانی‌شناسی مواد مادری و فرآیندهای هواپدگی که منجر به تشکیل خاک می‌شوند، بستگی دارند. علاوه بر این متأثر از اندازه ذره و مقدار رسوب مواد آلی در خاک نیز می‌باشد (۲۳ و ۳۲). در نتیجه، مقدار عناصر سنگین در خاک‌ها به‌شدت متفاوت

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی در مراتع مرتفع شمال غرب استان آذربایجان غربی واقع شده است، ارتفاع متوسط ۱۶۳۴ متر از سطح آب‌های آزاد است (شکل ۱ و جدول ۱). منطقه مطالعاتی دارای آب و هوای معتدل و نیمه مرطوب با متوسط بارندگی و میانگین دمای سالانه به ترتیب ۲۷۰mm و ۱۰ °C می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد. هشت نوع سنگ مادری شامل سنگ‌های آذرین کاملاً اسیدی (گرانیت)، متوسط (آندزیت) و کاملاً بازیک (بازالت و اولترابازیک) و سنگ‌های رسوبی شامل مارن و ماسه سنگ، سازند قم (سنگ آهک و برخی کنگلومرا)، سنگ آهک و شیل در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. تعداد ۱۰۵ نمونه از هشت ماده مادری مختلف از موقعیت شیب پستی^۱ با شیب یکسان، از عمق صفر تا ۱۰ cm جمع‌آوری شد. همچنین نمونه‌های سنگ (۴۰ نمونه) برداشت و جهت انجام آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند. برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک شامل درصد رس، سیلت و شن (روش پییت)، ماده آلی (روش والکی- بلک)، آهک (روش تیتراسیون معکوس)، قابلیت هدایت الکتریکی و پ- هاش در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد (۳۷). نمونه‌های هوا خشک خاک و پودر سنگ‌ها با اسید نیتریک ۵ نرمال هضم شد (۳۸). مقدار کل برخی از عناصر سنگین (آهن، منگنز، مس، روی، نیکل، کبالت و کروم) توسط دستگاه جذب اتمی مدل Analyst 200 تعیین و جهت کنترل کیفیت نتایج غلظت عناصر در نمونه استاندارد موسسه ملی فناوری آمریکا (NST) به نام San Joaquin # 2709 اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی از نرم‌افزار SPSS17 استفاده شد و مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

است و استفاده از غلظت‌های پایه یک منطقه برای نواحی دیگر مناسب نمی‌باشد (۱۸). غلظت‌های زیاد Cr و Ni برای خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری بازی و فوق بازی مشاهده شده است (۱۱ و ۳۳). خاک‌های تشکیل شده روی بازالت به صورت طبیعی در مقادیر عناصر سنگین Ni, Zn, Cu و Cr غنی می‌باشند (۲۴). در مطالعه گالان و همکاران (۲۰۰۸) در جنوب غرب اسپانیا غلظت زیاد عناصر Ni, Co, Cr در خاک‌های حاصل از سنگ مادری بازی و فوق بازی و غلظت زیاد عناصر Cu, As و Pb در خاک‌هایی با سنگ مادری آذرین اسیدی مشاهده شد. همچنین در این مطالعه الگوی توزیع عناصر تحت اثر زمین‌شناسی و ترکیب ژئوشیمیایی سنگ مادری است (۱۶). بنابراین ترکیب ژئوشیمی سنگ مادری می‌تواند، تخمینی تقریبی از سطوح پایه عناصر فلزی در خاک ایجاد کند. با مقایسه این سطوح با مقادیر عناصر فلزی مشاهده شده در خاک، می‌توان ورود این عناصر از منابع انسانی را در خاک تشخیص داد (۶). سهم مواد مادری در مقدار کل عناصر کمیاب در خاک را می‌توان از طریق اندازه‌گیری مقدار کل این عناصر در افق‌های R, C, C/B یا B/C خاک‌هایی که فاقد انقطاع سنگی هستند، تعیین نمود (۹). در مطالعات متعددی در دنیا به طبیعت ژئوشیمیایی سنگ مادری و نقش مهم آن در آلودگی عناصر سنگین در خاک پرداخته شده است. با توجه به تفاوت در سنگ مادری و شرایط خاک‌سازی در مناطق گوناگون لازم است تا غلظت این عناصر در خاک‌های مناطق متفاوت مطالعه شود. در این مطالعه به بررسی مقدار کل برخی از عناصر سنگین در خاک‌های سطحی با مواد مادری متفاوت در شمال غرب آذربایجان غربی پرداخته شده است.

1- Back slope



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Geographical location and geological map of the studied area.

جدول ۱- مشخصات و مختصات واحدهای زمین شناسی مورد مطالعه در منطقه مطالعاتی مندرج در شکل ۱.

Table 1. Specifications and coordinates of geological units studied in the study area shown in Figure 1.

سنگ شناسی Lithology	مختصات جغرافیایی GPS	شماره مکان N. of location
سنگ های اولترابازیک (Ultrabasics rocks)	39° 12' E, 44° 9' N	1
سازند قم - سنگ آهک و برخی کنگلومرا (Qom formation)	39° 19' E, 44° 21' N	2
کنگلومرا قرمز، ماسه سنگ و مارن (Marl)	39° 12' E, 44° 50' N	3
ترکیب شیل با کوارتزیت و سنگ آهک (Shale)	39° 24' E, 44° 38' N	4
سنگ آهک اربیتولینا (Limestone)	39° 02' E, 44° 26' N	5
بازالت (Basalt)	39° 22' E, 44° 23' N	6
آندزیت (Andesite)	39° 12' E, 44° 15' N	7
گرانیت دانه درشت تا میکروگرانیت (Granite)	38° 59' E, 44° 37' N	۸

$$I_{geo} = \text{Log}_2 (Cn / 1.5 Bn)$$

که در آن، I_{geo} شاخص زمین انباشتگی، Cn غلظت فلز سنگین در خاک، Bn غلظت زمینه فلز سنگین در ماده مادری.

برای تخمین آلودگی خاک به فلزات سنگین از شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) استفاده شد (۲۷). جدول ۲ درجه بندی سطح آلودگی خاکها را بر اساس شاخص زمین انباشتگی نشان می دهد.

جدول ۲- کلاس‌های آلودگی و شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo}) (۱۵).

Table 2. pollution Classes and geo-accumulation index.

وضعیت آلودگی خاک یا رسوب Soil or sediment pollution		
کلاس آلودگی pollution class	شاخص زمین‌انباشتگی Geo-accumulation Index	کیفیت خاک Soil quality
1	0<	غیرآلوده (unpolluted)
2	0-1	غیرآلوده تا آلودگی متوسط (unpolluted to Moderately polluted)
3	1-2	آلودگی متوسط (Moderately polluted)
4	3-2	آلودگی متوسط تا شدید (Moderately to strongly polluted)
5	3-4	آلودگی شدید (Strongly polluted)
6	4-5	آلودگی شدید تا بسیار شدید (Strong to very strong polluted)
7	> 5	آلودگی بسیار شدید (Very strong polluted)

درصد) و بیش‌ترین مقدار آن در خاک‌های حاصل از سازندهای آهکی و دولومیتی (۳۰ تا ۴۰ درصد) وجود دارد (۳۵).

ویژگی‌های سنگ (مانند کانی‌شناسی، بافت، تخلخل و ...) به مقدار زیادی طبیعت خاک‌های درجا را مشخص می‌کند (۲۹). به‌عنوان نمونه، ماسه‌سنگ، خاک شنی و متخلخل ایجاد می‌کند و از شیل خاک رسی ایجاد می‌شود (۲۷). بیش‌ترین مقدار رس در خاک‌های حاصل از مواد مادری آندزیت و بازالت و سپس سنگ‌های رسوبی مشاهده شد (شکل ۳). دلیل زیاد بودن شن در خاک‌های گرانیتی در مقایسه با دیگر خاک‌ها به‌علت ساختار کانی‌شناسی آن و مقدار زیاد کانی کوارتز در سنگ‌های گرانیتی و درشت‌دانه بودن آن است که باعث می‌شود بیشتر فرآیندهای هوازدگی فیزیکی در این گونه مواد مادری غالب شود (۴۱).

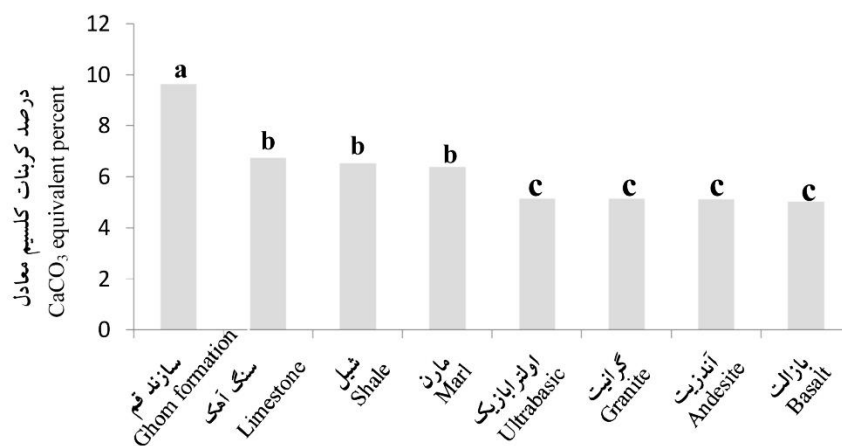
نتایج و بحث

برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها: میانگین pH خاک‌ها در محدوده خنثی (۶/۸۱-۷/۴۹) و میانگین هدایت الکتریکی خاک ۰/۲۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. میانگین کربنات کلسیم خاک ۶/۲۲ حداقل ۵ و حداکثر ۱۴/۰۵ درصد می‌باشد (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک‌های تشکیل شده روی سنگ مادری منتخب از سازند قم مشاهده گردید. مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری سنگ آهک، شیل و مارن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند ولی با سایر سنگ‌های منطقه تفاوت معنی‌داری دارند. کم‌ترین مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری آذرین مشاهده شد (شکل ۲). شکل‌آبادی (۲۰۰۰) بیان کرد که در حوزه آبخیز گل‌آباد، کم‌ترین مقدار کربنات کلسیم در خاک‌های حاصل از سازندهای آذرین (۷ تا ۱۵

جدول ۳- توصیف آماری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه (N=۱۰۵).

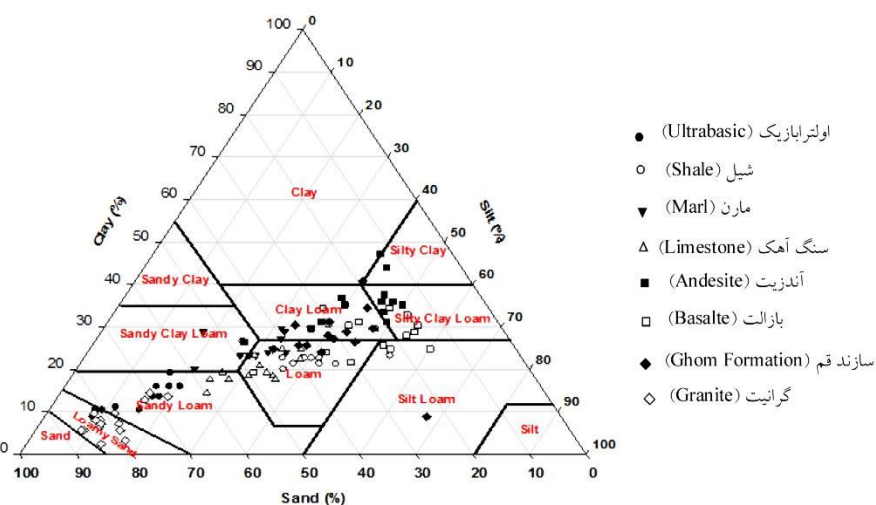
Table 3. Statistical description of some physical and chemical properties of studied soils (N=105).

ضریب تغییرات Coefficient of variation	کشدگی Kurtosis	چولگی Skewness	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	متغیر
32.01	1.41	0.68	0.07	0.24	0.473	0.073	EC (dS/m)
1.87	0.31	-0.30	0.13	7.18	7.49	6.81	pH
41.58	-0.3	-0.11	9.40	22.59	47.2	2.40	درصد رس (Clay%)
42.14	-0.71	-0.17	13.89	32.93	67.48	8.08	درصد سیلت (Silt%)
48.67	-0.90	0.48	21.65	44.48	86.32	12.72	درصد شن (Sand%)
58.36	-0.17	0.76	1.65	2.82	7.51	0.51	درصد ماده آلی (Organic matter%)
27.46	6.00	2.24	1.71	6.22	14.05	5.00	درصد کربنات کلسیم معادل (CCE%)



شکل ۲- مقایسه میانگین کربنات کلسیم معادل خاک‌های توسعه‌یافته روی مواد مادری متفاوت در منطقه مطالعاتی.

Figure 2. Mean comparison of carbonate calcium equivalent of soils developed on different parent material in studied region.



شکل ۳- پراکنش بافت خاک‌های حاصل از مواد مادری متفاوت در منطقه مطالعاتی روی مثلث بافت خاک.

Figure 3. Distribution of soil textures which developed on different parent materials in the studied region on soil texture triangle.

بیشتر است (۴). بیشترین غلظت نیکل در سنگ مادری اولترابازیک با میانگین $1937/50 \text{ mg/kg}$ و کمترین آن با میانگین غلظت $7/25 \text{ mg/kg}$ متعلق به سنگهای اسیدی گرانیست می‌باشد (جدول ۴). میانگین غلظت نیکل کل در برخی از سنگهای جهان اندازه‌گیری شده است. دامنه تغییرات نیکل کل در سنگهای فوق‌بازی $1400-2000$ ، سنگهای بازی (بازالت و گابرو) $160-130$ ، سنگهای حد واسط (دیوریت و سینیت) $5-55$ ، سنگهای اسیدی (گرانیست و گنایس) $5-15$ و در سنگهای آهکی mg/kg $7-20$ می‌باشد (۱۹). غلظت نیکل کل در اکثر سنگهای منطقه مورد مطالعه در دامنه طبیعی غلظت سنگهای جهان قرار دارد. آلویی و همکاران (۱۹۹۵) میانگین مقدار نیکل در سنگهای فوق‌بازی و اسیدی را به ترتیب 2000 mg/kg و $0/5$ گزارش کردند (۵).

سنگ مادری اولترابازیک با میانگین mg/kg $92/50$ دارای بیشترین غلظت کبالت کل در منطقه می‌باشد و کمترین غلظت کبالت کل با میانگین $11/75 \text{ mg/kg}$ متعلق به سنگهای شیل می‌باشد. سنگ مادری اولترابازیک با میانگین 786 mg/kg دارای بیشترین غلظت کروم کل و کمترین مقدار آن با میانگین غلظت $13/50 \text{ mg/kg}$ متعلق به سنگهای سازند قم می‌باشد (جدول ۴). بردل (۲۰۰۵) غلظت بیش‌تر کبالت و کروم را در سنگ به ترتیب در بازالت، شیل و گرانیست گزارش دادند که مقدار این دو عنصر در شیل به ترتیب 20 و 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در این مطالعه مقدار دو عنصر کبالت و کروم کم‌تر از مقدار گزارش شده در مقیاس جهانی می‌باشد.

عناصر سنگین در مواد مادری منطقه مورد مطالعه: سنگ مادری آندزیت با میانگین $27231/25 \text{ mg/kg}$ دارای بیشترین غلظت آهن کل در منطقه مورد مطالعه بود (جدول ۳). در مجموع سنگهای آذرین اختلاف معنی‌داری با سنگهای رسوبی داشتند، که دلیل آن وجود آهن بیش‌تر در ساختار سنگهای آذرین نسبت به سنگهای رسوبی می‌باشد. بیشترین غلظت منگنز کل در سنگ مادری آندزیت با میانگین 730 mg/kg و کمترین آن با میانگین غلظت mg/kg 52 به سنگ مادری منتخب از سازند قم تعلق دارد (جدول ۴). بردل (۲۰۰۵) غلظت بیش‌تر دو عنصر آهن و منگنز را به ترتیب در بازالت و گرانیست در مقایسه با شیل و سنگ آهک گزارش دادند. سنگ مادری آندزیت دارای بیشترین غلظت مس ($28/5 \text{ mg/kg}$) و روی ($50/25 \text{ mg/kg}$) کل می‌باشد (جدول ۴). آلوای (۱۹۹۰) بیان نمود مواد حاصل از هواپدگی سنگهای درشت‌دانه مثل ریولیت و گرانیست نسبت به مواد دانه‌ریز مثل شیل‌ها و سنگهای آذرین بازیک، دارای مقادیر کمتری از عناصر غذایی ضروری مثل مس، روی و کبالت هستند (۴). بردل (۲۰۰۵) مقدار عنصر مس را در بازالت، گرانیست، شیل و سنگ آهک در مقیاس جهانی به ترتیب 94 ، 20 ، 50 و 4 میلی‌گرم بر کیلوگرم و غلظت عنصر روی در این سنگها به ترتیب 118 ، 50 ، 85 و 20 گزارش دادند. در جنوب‌شرق استان کردستان بیشترین غلظت مس و روی در سنگهای گابرودیوریت و گابروبازالت مشاهده شد که دلیل آن ماهیت بازی این سنگها می‌باشد (۲۲).

نیکل یکی از عناصر سنگین است که مقدار آن در سنگهای آذرین فوق‌بازی نسبت به سنگهای دیگر

کل در خاک‌های سطحی کشورهای کانادا (۳۰)، استرالیا (۲)، انگلستان (۴۰)، ایتالیا (۷)، آمریکا (۳۴) و لهستان (۲۱) به ترتیب ۳۲۵، ۳۸۸، ۱۰۵۵، ۸۷۳ و ۴۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میانگین غلظت منگنز کل در خاک‌های منطقه کم‌تر از بیش‌ترین مقدار گزارش شده (انگلستان) می‌باشد و بیش‌تر از مقدار گزارش شده برای دو کشور کانادا و لهستان می‌باشد. ۶۴ درصد از کل نمونه‌ها غلظتی بیش‌تر از حداکثر غلظت قابل‌قبول منگنز کل در خاک بر اساس حد مشخص شده جهانی نشان دادند (شکل ۴a).

غلظت نیکل کل در تمامی خاک‌های مطالعه شده (جدول ۵) بیش‌تر از متوسط مقدار نیکل در خاک‌های جهان (40 mg/kg) می‌باشد (۴۳) و ۹۵/۱ درصد از نمونه‌ها، غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند را دارند (۳۹). بر اساس استاندارد کشور استرالیا ۳۶/۹ درصد از خاک‌های منطقه آلودگی به عنصر نیکل دارند (۳۶). همچنین بر اساس استاندارد کشور ایران (۱۲) ۸۷/۴ درصد از کل نمونه‌های خاک منطقه به عنصر نیکل آلوده‌اند (شکل ۴d). بیش‌ترین مقدار نیکل در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری اولترابازیک با متوسط 1667 mg/kg مشاهده شد (جدول ۵). خاک‌های حاصل از سنگ‌های فوق‌بازی، مقدار زیادی نیکل دارند، به‌طوری‌که غلظت نیکل در خاک‌های فوق‌بازی تا 2000 mg/kg نیز می‌رسد (۳).

عناصر سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه: بیش‌ترین غلظت آهن کل در خاک‌های تشکیل شده روی سنگ مادری اولترابازیک با غلظت mg/kg ۲۲۰۶۲/۴۲ و کم‌ترین مقدار در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری سازند قم با غلظت mg/kg ۶۸۸۵/۴۲ مشاهده شد (جدول ۵). دامنه گزارش شده آهن کل در خاک‌های دنیا بین ۷۰۰۰-۵۵۰۰۰۰ و متوسط غلظت آن را ۳۸۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۱) و غلظت آهن در منطقه مطالعاتی در محدوده مقدار آهن کل گزارش شده در خاک‌های دنیا قرار می‌گیرد. غلظت‌های زیاد منگنز در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری آذرین مشاهده شد (جدول ۵). دامنه تغییرات منگنز در خاک‌ها بین ۱۰۰-۴۰۰۰ و دامنه میانگین غلظت آن در خاک‌های غیرآلوده در مقیاس جهانی ۲۷۰-۵۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۵). بنابراین محدوده غلظت این عنصر در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه عمومی خاک‌های طبیعی قرار نمی‌گیرد و با توجه به دامنه غلظت خاک‌های غیرآلوده در مقیاس جهانی مشخص می‌شود که برخی از خاک‌های منطقه آلودگی به عنصر منگنز را دارند. در خاک‌های جنوب‌شرق استان کردستان، خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری گابرو-بازالت ($1019/9 \text{ mg/kg}$) و خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری دیوریت-گابرودیوریت ($493/7 \text{ mg/kg}$) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار غلظت منگنز را دارند (۲۲). میانگین غلظت منگنز

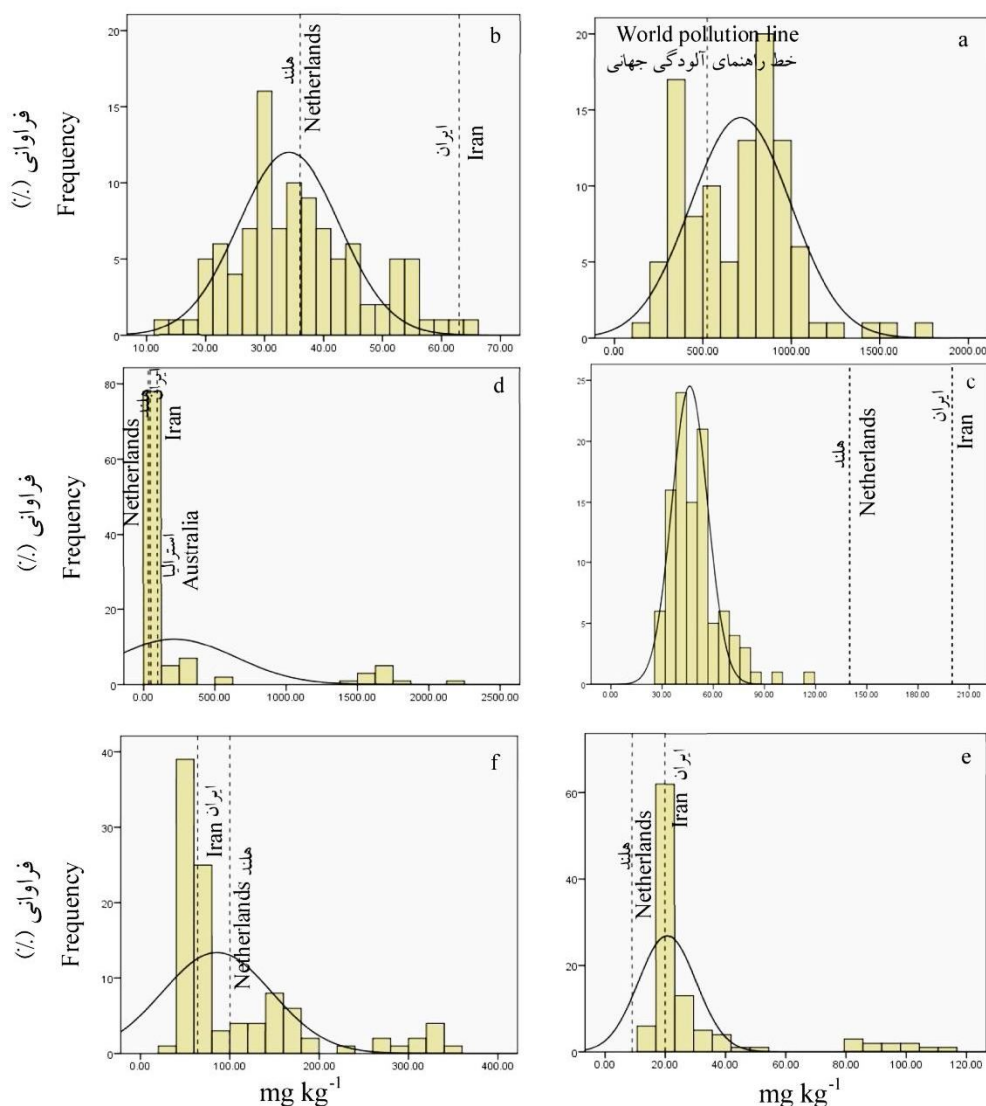
جدول ۴- میانگین، انحراف معیار و مقایسه میانگین غلظت کل عناصر در سنگ‌های مورد بررسی (تعداد=۵).

Table 4. Total concentration (mg kg⁻¹) of the studied metals; mean, standard deviation and mean comparison of studied rocks (N: 5).

گرنیت Granite	سازند قم Ghom formation	بازالت Basalte	آندزیت Andesite	سنگ آهک Lime	مارن Marl	شیل Shale	اولترابازیک Ultrabasice	سنگ (Rock) عنصر (Element)
7006 ^c ± 3275	176 ^d ± 54	20325 ^b ± 2476	27231 ^a ± 910	1162 ^d ± 635	359 ^d ± 109	1266 ^d ± 526	21418 ^b ± 6280	آهن (Fe)
466 ^c ± 131	52 ^c ± 20	550 ^{bc} ± 51	730 ^b ± 51	313 ^d ± 130	53 ^c ± 18	155 ^c ± 26	644 ^{ab} ± 239	منگنز (Mn)
13.5 ^{cd} ± 5.82	8.25 ^c ± 1.12	21.25 ^b ± 2.34	28.5 ^a ± 3.58	10.75 ^{de} ± 2	16 ^c ± 5.4	10.5 ^{de} ± 1.42	6.25 ^c ± 2.5	مس (Cu)
36 ^b ± 8.54	3 ^d ± 0.68	23 ^c ± 1.89	50.25 ^a ± 7	4 ^d ± 1.85	5 ^d ± 3.64	3.75 ^d ± 1.98	23 ^c ± 9	روی (Zn)
7.25 ^c ± 2.71	15 ^c ± 2.71	102 ^{bc} ± 16	46 ^b ± 1.98	17.25 ^c ± 4.45	17.5 ^c ± 1.53	22 ^c ± 2.74	1937 ^a ± 141	نیکل (Ni)
14 ^{de} ± 2.85	14.25 ^{de} ± 1.12	30 ^b ± 2.79	21 ^c ± 1.63	15.25 ^d ± 2.05	15 ^d ± 1.98	11.75 ^c ± 1.12	92 ^a ± 2.65	کبالت (Co)
24.75 ^b ± 2.85	13.50 ^b ± 1.63	42 ^b ± 4.56	30 ^b ± 3.35	15.50 ^b ± 1.42	15 ^b ± 2.34	17 ^b ± 1.89	786 ^a ± 21	کروم (Cr)

جدول ۵- توصیف آماری غلظت عناصر (mg kg⁻¹) در خاک‌های منطقه مورد مطالعه (انحراف معیار استاندارد).
 (حد اکثر - حداقل)
 Table 5. Statistical description of elements concentration (mg kg⁻¹) in studied soils. (mean ± standard deviation).
 (min-max)

کروم (Cr)	کوبالت (Co)	نیکل (Ni)	روی (Zn)	مس (Cu)	منگنز (Mn)	آهن (Fe)	عناصر Element	ماده مادری (تعداد) Parent material (N)
52.75 ^a ± 14.10 40-83.75	21.76 ^c ± 3.39 13.75-26.25	42.75 ^c ± 10.03 32.50-65	67.75 ^a ± 12.09 46.25-95	27 ^d ± 6 18.75-37.50	947 ^b ± 104 121-766	18395 ^b ± 3871 11750-25906		گرانیت (۱۵) Granite (15)
131.42 ^b ± 34.41 71.25-183.75	20.75 ^c ± 2.05 17.50-23.75	91.33 ^c ± 7.39 78.75-107.50	43.42 ^{cd} ± 7.78 33.75-63.75	41.50 ^b ± 8.79 28.75-65	790 ^{cd} ± 52 700-866	12460 ^d ± 1538 9843-14718		بازالت (۱۵) Basalt (15)
304 ^a ± 35 230-352	94.89 ^a ± 9.39 82.50-112.50	1667 ^a ± 186 1406-2125	43.52 ^{cd} ± 5.78 36.25-55	22 ^e ± 7 12.50-37.50	1122 ^a ± 298 840-1728	22062 ^a ± 4322 16687-30937		اولترابازیک (۱۱) Ultrabasic rocks (11)
140.67 ^b ± 26.17 92.50-183.75	35.86 ^b ± 6.68 25-52.50	322 ^b ± 133 177-593	57.21 ^b ± 8.62 45-73.75	53.17 ^a ± 3.04 47.50-60	842 ^{bc} ± 175 407-1062	15096 ^c ± 2434 110625-20343		آندزیت (۱۳) Andesite (13)
48.12 ^c ± 6.58 38.75-58.75	18.85 ^c ± 3.47 15-27.50	66.98 ^c ± 7.84 58.75-87.50	58.44 ^b ± 22.01 31.25-117.50	31.04 ^{cd} ± 3.91 26.25-41.25	712 ^d ± 133 512-882	7815 ^c ± 1684 4531-10031		شیل (۱۲) Shale (12)
62.79 ^c ± 3.54 57.50-67.50	19.90 ^c ± 3.08 17.50-28.75	106.54 ^c ± 12.25 92.50-138.75	37.69 ^d ± 5.59 30-46.25	43.27 ^b ± 6.80 36.25-61.25	392 ^{ef} ± 71 270-546	8367 ^c ± 970 7187-10187		مارن (۱۳) Marl (13)
56.46 ^c ± 7.01 47.50-72.50	18.75 ^c ± 1.85 16.25-22.50	72.08 ^c ± 5.18 62.50-82.50	46.98 ^c ± 6.45 38.75-56.25	29.06 ^{cd} ± 3.46 22.50-35	475 ^e ± 73 380-576	11906 ^b ± 2185 9343-15562		سنگ آهک (۱۲) Lime (12)
56.87 ^c ± 6.09 42.50-66.25	18.75 ^c ± 1.19 16.25-20	94.79 ^c ± 10.98 80-116.25	37.29 ^d ± 7.50 28.75-57.50	33.12 ^c ± 4.35 22.50-38.75	308 ^f ± 79 136-457	6885 ^c ± 1182 4593-9125		سازند قم (۱۲) Ghom formation (12)



شکل ۴- نمودار توزیع فراوانی غلظت کل منگنز (a)، مس (b)، روی (c)، نیکل (d)، کبالت (e) و کروم (f) برای کل داده‌های خاک و حد مجاز غلظت عناصر در چند کشور.

Figure 4. Plot frequency of total Mn (a), Cu (b), Zn (c), Ni (d), Co (e) and Cr (f) measured for the whole data as compared to soils guideline values for some countries.

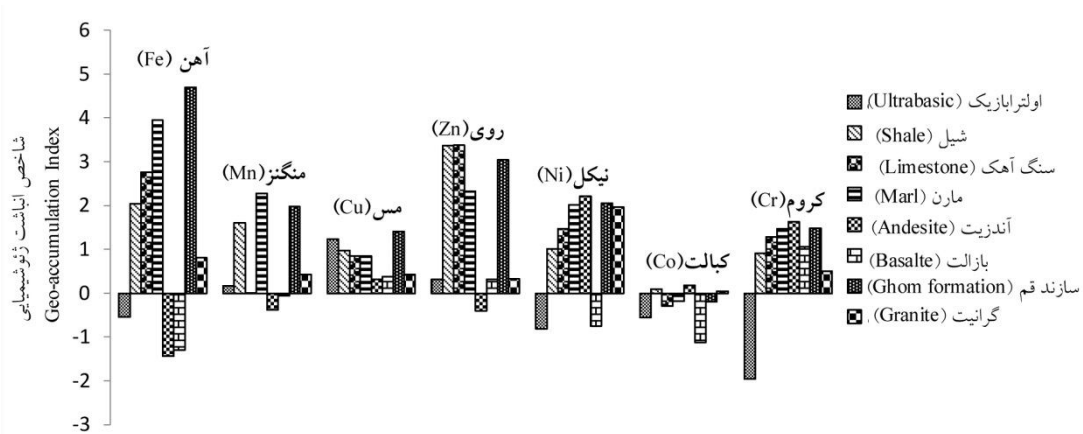
کبالت دارند (شکل ۴e). یوسفی فرد (۲۰۱۲) در منطقه اهر استان اردبیل به این نتیجه رسید که غلظت کبالت در تمام سنگ‌های آذرین و خاک‌رخ‌های تشکیل شده روی آن‌ها بیش‌تر از غلظت پوسته قاره‌ای و خاک‌های سطحی جهانی می‌باشد (۳۱). دامنه تغییرات کروم کل در خاک‌های جهان $20-200 \text{ mg/kg}$ گزارش شده است (۴۳) که با توجه به میانگین غلظت کروم

غلظت کبالت کل در خاک‌های سنگ اولترابازیک با $94/89 \text{ mg/kg}$ و خاک‌های سنگ مادری سازند قم و آهکی با $18/75 \text{ mg/kg}$ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت را نشان داد. تمام نمونه‌ها، غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند (۳۹) را دارند. بر اساس استاندارد کشور ایران (۱۲) $47/6$ درصد از کل نمونه‌های خاک منطقه آلودگی به عنصر

عناصر در این خاک‌ها مشاهده نگردید (شکل ۵). در خاک‌های حاصل از سنگ آندزیت آلودگی نیکل (کلاس ۳) و کروم (کلاس ۲) مشاهده گردید. خاک‌های سطحی سنگ گرانیت آلودگی متوسط نیکل را نشان دادند. بیش‌ترین مقدار آلودگی عناصر در خاک‌های سطحی ماده مادری شیل به‌ترتیب برای عناصر روی، آهن و منگنز می‌باشد. بیش‌ترین مقدار آلودگی در خاک‌های با ماده مادری آهکی به‌ترتیب برای عنصر روی، آهن، نیکل و کروم مشاهده گردید. خاک‌های با ماده مادری مارن بیش‌ترین انباشت ژئوشیمیایی را در مورد عناصر آهن (کلاس ۴)، منگنز (کلاس ۳)، روی (کلاس ۳)، نیکل (کلاس ۲) و کروم (کلاس ۲) نشان دادند. در خاک‌های حاصل از مواد مادری سازند قم به‌ترتیب برای عناصر آهن (کلاس ۵)، روی (کلاس ۴)، نیکل (کلاس ۲)، کروم (کلاس ۲) و مس (کلاس ۲) بیش‌ترین انباشت ژئوشیمیایی مشاهده شد.

به‌دست آمده برای تمامی خاک‌های مطالعه شده به‌جز اولترابازیک (۳۰۴/۰۹mg/kg) در محدوده طبیعی خاک‌های جهان قرار دارد. بر اساس استاندارد کشور هلند (۳۹) ۳۴ درصد از کل نمونه‌های خاک آلودگی به عنصر کروم دارند و ۴۸/۵ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور ایران (۱۲) را دارند (شکل ۴f). میکو و همکاران (۲۰۰۶) بیان نمودند که غلظت عناصر کبالت، کروم، نیکل و روی در خاک به‌وسیله مواد مادری کنترل می‌شود (۲۶). فاکچینلی و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از آنالیزهای زمین‌آماری چندمتغیره نشان دادند که کروم، نیکل و کبالت در خاک با هم در ارتباط بوده و منشأ یکسانی دارند (۱۳).

شاخص انباشت ژئوشیمیایی عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه: به‌ترتیب عنصر مس و کروم در خاک‌های تشکیل‌شده روی اولترابازیک و بازالت آلودگی متوسط نشان دادند، آلودگی ژئوشیمیایی دیگر



شکل ۵- انباشت ژئوشیمیایی عناصر سنگین در خاک‌های حاصل از مواد مادری متفاوت.

Figure 5. heavy elements geo-accumulation index of soils derived from different parent materials.

یک درصد بین خاک و مواد مادری مشاهده شد (جدول ۶). بین میزان روی در خاک و مواد مادری همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۳۷) در سطح احتمال

همبستگی عناصر سنگین بین خاک و مواد مادری: همبستگی مثبت و معنی‌داری برای غلظت آهن، منگنز، مس، نیکل، کبالت و کروم در سطح احتمال

حاصل از آن‌ها در مواد مادری آذرین در شمال غرب ایران مشاهده نمود. ایشان نشان داد که تشکیل این خاک‌ها درجا بوده و عناصر موجود در آن‌ها از مواد مادری به ارث می‌رسد (۴۴).

۵ درصد مشاهده شد. با توجه به این همبستگی مواد مادری مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده عناصر سنگین در خاک به‌شمار می‌روند. یوسفی فرد (۲۰۱۲) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عناصر روی، مس، سرب، کبالت، کروم و نیکل مواد مادری و خاک‌های

جدول ۶- ضریب همبستگی بین مواد مادری و خاک‌های تشکیل شده از آن‌ها برای عناصر مورد بررسی (تعداد= ۴۰).

Table 6. Correlation coefficient between parent materials and soils developed on them for studied elements (N=40).

Cr	Co	Ni	Zn	Cu	Mn	Fe	عنصر (Elements)
0.74**	0.65**	0.69**	0.37*	0.64**	0.69**	0.74**	ضریب همبستگی (Correlation)

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** and * Significant at the 1 and 5 percent respectively.

بر اساس استاندارد کشور ایران ۸۷/۴ درصد از کل نمونه‌های خاک منطقه به عنصر نیکل آلوده‌اند. بر اساس استاندارد کشور ایران ۴۷/۶ درصد از کل نمونه‌های خاک منطقه به عنصر کبالت و ۴۸/۵ درصد از نمونه‌ها به عنصر کروم آلوده‌اند. غلظت عناصر کبالت، کروم، نیکل و روی در خاک به‌وسیله مواد مادری کنترل می‌شود و بیش‌ترین انباشت ژئوشیمیایی عناصر سنگین در خاک‌های حاصل از مواد مادری رسوبی مشاهده گردید. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عناصر سنگین در خاک و مواد مادری بیانگر اثر مواد مادری به‌عنوان کنترل‌کننده عناصر سنگین در خاک می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه پیام‌نور جهت تأمین هزینه‌های مالی این پژوهش قدردانی و سپاسگزاری می‌نمایند.

نتیجه‌گیری کلی

خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری آندزیت و بازالت بافت سنگین‌تری در مقایسه با سنگ‌های مادری رسوبی دارند. مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری رسوبی (به‌علت حضور بیش‌تر کلسیت اولیه در ماده مادری) بیش‌تر از آذرین می‌باشد. بیش‌ترین غلظت عناصر در سنگ‌های مادری آذرین در مقایسه با سنگ‌های رسوبی مشاهده گردید. غلظت زیادتر آهن کل در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری آذرین مشاهده شد ولی مقدار آن در تمامی خاک‌ها در دامنه معمول خاک‌های جهانی قرار دارد. ۶۴ درصد از کل نمونه‌ها غلظتی بیش‌تر از حداکثر غلظت قابل قبول منگنز کل در خاک بر اساس حد مشخص شده جهانی نشان دادند. آلودگی دو عنصر مس و روی در خاک‌ها بر اساس استاندارد ایران مشاهده نگردید. غلظت نیکل کل در تمامی خاک‌های مطالعه شده بیش‌تر از متوسط مقدار نیکل در خاک‌های جهان می‌باشد. همچنین

منابع

1. Agarwal, S.K. 2009. Heavy Metal Pollution. APH Publishing Corp, New Delhi, 270p.
2. Aichberger, K. 1980. Schwermetallgehalte einiger Bodenprofile Oberosterrichts. Bodencultur 31: 215-227.
3. Alexander, E.B. 2004. Serpentine soil redness, differences among peridotite a serpentinite material, Klamath Mountains, California. International Geology Review. 46: 754-764.
4. Alloway, B.J. 1990. The Origins of Heavy Metals in Soils. John Wiley & Sons, Inc., New York. Pp: 38-57.
5. Alloway, B.J., and Alloway, B. 1995. Heavy Metals in soils. 2nd ed. Glasgow. UK. 298p.
6. Banat, K.M., Howari, F.M., and Al-Hamad, A.A. 2005. Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks? Environmental Research. 97: 258-273.
7. Bini, C., Dall'Aglio, M., Ferretti, O., and Gagnani, R. 1988. Background levels of microelements in soils of Italy. Environmental Geochemistry Health. 10: 63-69.
8. Bradl, H. 2005. Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation: Origin, Interaction and Remediation. Academic Press. Neubrucke, Germany.
9. 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 Total Environment. 249: 257-280.
10. Caillaud, J., Proust, D., Philippe, S., Fontaine, C., and Fialin, M. 2009. Trace metals distribution from a serpentinite weathering at the scales of the weathering profile and its related weathering Microsystems and clay minerals. Geoderma. 149: 199-208.
11. D'Amico, M., Julitta, F., Previtali, F., and Cantellim, D. 2008. Podzolization over ophiolitic materials in the western Alps (Natural 2013 Park of Mont Avic, Aosta Valley, Italy). Geoderma. 146: 129-137.
12. Department of environment. 2012. Quality standards for soil resources and its guides Tehran (Translated in Persian)
13. Facchinelli, A., Sacchi, E., and Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environment Pollution. 114: 313-324.
14. Fergusson, L. 1989. The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press, Oxford. 614p.
15. Förstner U., Ahlf, W., Calmano, W., and Kersten M. 1990. Sediment Criteria Development. P 231-241. In: D., Heling, P., Rothe, U., Förstner, P. Stoffers (eds), Sediments and Environmental Geochemistry. Springer, Berlin, Heidelberg.
16. Galan, E., Fernandez-Caliani, J.C., Gonzalez, I., Aparicio, P., and Romero, A. 2008. Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of South-West Spain. J. Geochem. Exp. 98: 89-106.
17. Hardy, M., and Cornu, S. 2006. Location of natural trace elements in silty soils using particle-size fractionation. Geoderma. 133: 295-308.
18. Horckmans, L., Swennen, R., Deckers, J., and Maquil, R. 2005. Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxembourg. Catena. 59: 279-304.
19. Kabata, A., and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants, 3rd ed., CRC Press. 432p.
20. Kabata-Pendias, A. 2004. Soil-plant transfer of trace elements-an environment issue. Geoderma. 122: 143-149.
21. Kabata-Pendias, A., and Wiacek, K. 1985. Excessive uptake of heavy metals by plants from contaminated soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 36: 33-39.
22. Karami, M. 1393. Relative magnetic susceptibility with geochemical properties of some igneous rocks and developed soils on them in the south-east of Kurdistan province. Master's thesis. Agriculture collage. Isfahan University of Technology. (In Persian)

23. Klassen, R.A. 1998. Geological factors affecting the distribution of trace metals in glacial sediments of central Newfoundland. *Environmental Geology*. 33: 2/3. 154-169.
24. Latrille, C., Denaix, L., and Lamy, I. 2003. Interaction of copper and zinc with allophane and organic matter in the B horizon of an andosol. *Euro. J. Soil Sci.* 54: 357-364.
25. Manta, D.S., Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R., and Sprovieria, M. 2002. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *Science Total Environment*. 300: 229-243.
26. Mico, C., Recatala, L., Peris, M., and Sanchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of a European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*. 65: 863-872.
27. Moresi, M., and Mongelli, G. 1988. The relation between the terra rossa and the carbonate-free residue of the underlying limestone and dolomite in Apulia, Italy. *Clay Minerals*. 23: 439-446.
28. Muller, G. 1969. Index of geo accumulation in the sediments of the Rhine River. *Geography*. 2: 108-118.
29. Plaster, R.W., and Sherwood, W.C. 1971. Bedrock Weathering and residual soil formation in central Virginia. *Geology Society America Bulletin*. 82: 2813-2826.
30. Presant, E. 1971. Geochemistry of iron, manganese, lead, copper, zinc, arsenic, antimony, silver, tin, and cadmium in the soils of the Bathurst area. *New Brunswick Department of Energy, Mines and Resources*. 302p.
31. Proctor, J., and Baker, A.J.M. 1994. The importance of nickel for plant growth in ultramafic (serpentinic) soils. P 417-432. In: S.M. Ross (ed.), *Toxic metals in soil-plant systems*. John Wiley and Sons. UK.
32. Salminen, R., and Tarvainen, T. 1997. The problem of defining geochemical baselines. A case study of selected elements and geological materials in Finland. *J. Geochem. Exp.* 60: 91-98.
33. Salvador-Blanes, S., Cornu, S., Bourennane, H., and King, D. 2006. Controls of the spatial variability of Cr concentration in topsoils of a central French landscape. *Geoderma*. 132: 143-157.
34. Shacklette, H.T., and Boerngen, J.G. 1984. Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous, United States. United States Government Printing Office, Washington. 105p.
35. Sheklabadi, M. 1379. Investigation of the relative erosion of some of the geological formations and its relationship with a number of physical and chemical properties of soils in Golabad watershed. Master's thesis. College of Agriculture. Isfahan University of Technology. (In Persian)
36. Singh, B.R., and Steinnes, E. 1994. Soil and water contamination by heavy metals. P 233-271. In: R. Lai and B.A. Stewart (eds.). *Soil Proc. Water Quality*. 212p.
37. Smith, K.A., and Mullins, C.E. 1991. *Soil and Environmental analysis: physical methods* Marcel Dekker, New York. 651p.
38. Sposito, G., Lund, L., and Change, 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 Sci. Soc. Amer. J.* 46: 260-264.
39. Swartjes, F.A. 1999. Risk-based assessment of soil and groundwater quality in the Netherlands: Standards and Remediation Urgency. *Risk Analysis*. 19: 1235-1249.
40. Ure, A., and Bacon, J. 1978. Comprehensive analysis of soils and rocks by spark-source mass spectrometry. *Analyst*. 103: 807-822.
41. Wright, J.S. 2007. An overview of the role of weathering in the production of quartz silt. *Sediment Geology*. 202: 237-351.
42. Xing, B., and Dudas, M.J. 1993. Trace and rare element content of white clay soils of the Three River Plain, Heilongjiang Province, P.R. China. *Geoderma*. 58: 181-199.

43. Xing, M.L., Jianjun, W.V., and Jiangming, X.U. 2006. Characterizing the risk assessment of heavy metal and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. *Environment pollution*. 41: 279-289.
44. Yousefifard, M. 1391. Evolution of soils developed on some igneous rocks in northwestern Iran. PhD thesis. College of Agriculture. Isfahan University of Technology. (In Persian)



Trace elements contamination in the soils developed on some of igneous and sedimentary rocks in the northwest of Iran (Case study: west Azarbaijan province)

*M. Yousefifard¹, V. Admen² and Sh. Ayoubi³

¹Assistant Prof., Dept. of Agricultural Engineering and Technology, Payame Noor University, Tehran, Iran,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

³Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Received: 02.05.2018; Accepted: 01.06.2019

Abstract

Background and Objectives: Number of elements in soil affected by parent materials, geochemical and pedogenesis processes. Mean concentration of elements in soils are similar to mean concentration of them in parent materials, mostly. Difference between element concentrations in parent material and soils developed on them in natural conditions, is derived from pedogenesis processes. Due to the soil pollution with heavy metals is almost permanent and local in any region, this research done about trace element concentration in surface soils with different parent materials in northwest of west Azarbaijan province.

Materials and Methods: Concentration of some trace elements in 105 surface soil samples developed on 8 different rock mass (Granite, Andesite, Basalte, Ultrabasic, Marl and sand stone, Ghom formation, Lime and Shale) from back slope position and also their concentration in rock samples in northwest of west Azarbaijan was determined by atomic absorption method. Geoaccumulation index used to estimation of soil contamination to heavy metals.

Results: Highest amounts of clay was observed in soils derived from Andesite and Basalt and then sedimentary rocks. Highest amount of total Fe (27231.25 mg/kg), Mn (730 mg/kg), Cu (28.5 mg/kg) and Zn (50.25 mg/kg) was observed in Andesite rock. Total Ni (1937.50 mg/kg), Co (92.50 mg/kg) and Cr (786 mg/kg) is more in ultrabasic rock compared to other rocks. The highest and least concentration of soil total Fe was observed in soils developed on ultrabasic (22062.42 mg/kg) and Ghome formation (6885.42 mg/kg) parent materials, respectively. High Mn concentration is in soils derived from igneous rocks. The highest of Cu (53.17 mg/kg) and Zn (67.75 mg/kg) concentration was observed in soils developed on Andesite and Granite rocks, respectively. Amount of Ni (1667 mg/kg), Co (94.89 mg/kg) and Cr (304.09 mg/kg) in soils derived from ultrabasic parent material is more than others. Positive and significant correlation was observed between studied trace elements in soils and parent materials.

Conclusion: The main source of trace elements in region soils is parent materials. Fe pollution in the soils was not observed compared to global soils, but some of soils were infected to Mn element. Also, most soils were affected to Ni and about of half of them to Cr and Co in the region according to Iran's standard.

Keywords: Contamination, Heavy elements, Igneous rock, Sedimentary rock, Surface soil

* Corresponding Author; Email: m.yousefifard@pnu.ac.ir

Arch