

## بررسی وضعیت آلودگی به عناصر کروم، نیکل و کبالت در خاک‌های متاثر از سازندهای افیولیتی در منطقه نی‌ریز استان فارس

آناهید سلمان پور<sup>۱\*</sup> - محمدحسن صالحی<sup>۲</sup> - جهانگرد محمدی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵

### چکیده

سازندهای افیولیتی دارای مقدار زیاد عناصر سنگین مانند کروم و نیکل می‌باشند. با این حال، مطالعات در مورد بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های تشکیل شده بر روی این سازندها مورد توجه کافی قرار نگرفته است. تحقیق حاضر با هدف بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های تشکیل شده بر روی این سازندها از نظر مقدار کروم، نیکل و کبالت در منطقه نی‌ریز انجام شد. بر اساس مطالعات خاک‌شناسی، در سه واحد اراضی شامل تپه، مخروط‌افکنه و پلایا، ۷ خاک‌خ حفر گردید. نمونه‌های خاک از افق‌ها و نمونه‌های سنگ از سازند افیولیتی تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و مقدار کل عناصر کروم، کبالت و نیکل در خاک و سنگ، تعیین گردیدند. نتایج نشان داد غلظت کروم در خاک‌ها (میانگین ۲۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۱۰ تا ۴۰ برابر حد آستانه استاندارد ایران و اروپا (به ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، غلظت نیکل (میانگین ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۱۰ برابر حد آستانه استاندارد ایران و اروپا (به ترتیب ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مقدار کبالت (میانگین ۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) زیر حد آستانه (۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. مقادیر این عناصر در خاک‌های افیولیت‌ها بیشترین و در خاک‌های مخروط‌افکنه کمترین بود. مقدار شاخص زمین‌انباشتگی برای سه عنصر در خاک‌های افیولیتی حداکثر و مخروط‌افکنه (حدود ۷/۷) و در حاشیه پلایا (۳/۹ تا ۶/۲) کاهش چشم‌گیر داشت. مقدار فاکتور غنی‌شدگی برای نیکل نیز در تپه‌های افیولیتی (میانگین ۰/۶) به سمت مخروط‌افکنه (میانگین ۰/۷) تقریباً ثابت و در پلایا (میانگین ۰/۱) کاهش و برای دو عنصر دیگر از افیولیت‌ها (به ترتیب ۰/۹ و ۰/۶ برای کروم و کبالت) به سمت مخروط‌افکنه (۰/۵ برای هر دو عنصر) و پلایا (به ترتیب ۰/۳ و ۰/۱ برای کروم و کبالت) کاهش نشان داد. مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در خاک‌ها، وجود آلودگی را تأیید کرد و مقادیر فاکتور غنی‌شدگی نیز بیانگر این بود که منشاء عناصر در خاک از منشاء مواد مادری و از توده افیولیتی منطقه است. مطالعات آبی در زمینه امکان انتقال این عناصر به آب زیرزمینی و باغ‌های میوه موجود در مخروط افکنه قلعه‌بهمن ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی، لندفورم

### مقدمه

تجمع بیش از اندازه فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی علاوه بر آلودگی‌های محیطی به دلیل سمیت، پایداری و تجمع آن‌ها در محیط به یک نگرانی بزرگ تبدیل شده است (۴۱). به دلیل پتانسیل این فلزات در ایجاد خطر برای سلامتی انسان‌ها، آلودگی خاک به فلزات سنگین، توجه عموم و سازمان‌های دولتی را به ویژه در کشورهای در حال توسعه به خود جلب کرده است. معادن فعال

(آلودگی صنعتی)، از مهم‌ترین عوامل طبیعی آلاینده خاک محسوب می‌شوند. غلظت طبیعی عناصر سنگین در خاک‌ها از منابع طبیعی به کانی‌شناسی و ویژگی‌های شیمیایی سنگ مادر و زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد (۶ و ۲۹).

منطقه‌های افیولیتی ایران با طول نسبتاً زیاد و عرض متغیر نه تنها در امتداد چین‌خوردگی‌های زاگرس، بلکه در شرق، شمال و مرکز ایران شناخته شده است. عمده‌ترین سازندهای افیولیت‌ها، شامل سنگ‌های بازی و فوق بازی به همراه سنگ‌های رسوبی و انواع سنگ‌های دگرگونی (۱۹ و ۲)، به صورت ساختارهای درهم و مخلوط شده، است. مجموعه افیولیتی نی‌ریز به وسعت حدود ۳۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران و به موازات چین‌خوردگی‌های زاگرس و در لبه برخورد صفحه عربستان و ایران و در قسمت جنوب غربی

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استادان گروه خاکشناسی، دانشگاه شهرکرد

(\* نویسنده مسئول: Email: anahidsalmanpour@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jsw.v31i3.52881

روی از فعالیت‌های انسانی و عناصر کبالت، کروم و منگنز از فرایندهای طبیعی، نیکل از هر دو منشأ طبیعی و انسانی و جیوه از فعالیت‌های انسانی به خاک وارد شده است. نمغی و همکاران (۳۵) با مطالعه نمونه‌های خاک و آب منطقه فیروزآباد شاهرود که بر روی مجموعه افیولیتی واقع شده است، اظهار داشتند غلظت نیکل، کروم، آهن، منگنز، منیزیم و روی در خاک و غلظت نیکل، کروم و منیزیم در آب بیش از حد مجاز است. فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین-انباشتگی محاسبه شده برای نمونه‌های خاک نیز نشان از آلودگی به این عناصر سنگین بود. نتایج ایشان همچنین نشان داد غلظت کروم، نیکل، آهن، منگنز و کبالت با مقادیر شن خاک و مقادیر آلومینیوم، فسفر، منگنز و سرب با رس خاک همبستگی معنی‌دار دارد. اکبری (۱) توزیع کروم و نیکل را در امتداد یک کاتنا در غرب مشهد که متأثر از سنگ‌های فوق بازی مجموعه افیولیت‌های مشهد بودند را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد مقادیر کروم و نیکل در خاک‌های این منطقه بسیار بالاتر از حد آستانه است و مقادیر عناصر از قله به سمت پای شیب افزایش نشان داد.

کلپرتز (۱۸) آلودگی خاک‌های سه منطقه شهری در جنوب یونان را به برخی عناصر سنگین بررسی نمود. وی مشاهده کرد غلظت عناصر نیکل، کروم، کبالت و آهن در نقاط مختلف نمونه-برداری با یکدیگر تفاوت چشم‌گیر نداشت که نشان می‌داد منشأ این عناصر طبیعی است. وی ورود این عناصر را به خاک از بیرون‌زدگی-های سرپتینی در اراضی کشاورزی آن منطقه دانست. لی و همکاران (۲۱) مناطق زراعی و شهری در منطقه ژوژو<sup>۲</sup> نزدیک معدن سرب و روی ژوژو در استان هونان<sup>۳</sup> چین را از نظر آلودگی عناصر سنگین بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد غلظت عناصر نقره، تیتانیوم، بیسموت و آنتیمونی با افزایش عمق و فاصله از معدن کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد این عناصر از عملیات حفاری معدن ناشی شده و از طریق رسوب اتمسفری وارد خاک شده است. نتایج ایشان همچنین نشان داد مقدار کروم، کبالت و نیکل در تمام نمونه‌های خاک و در تمام اعماق یکسان و مشابه بود که نشان می‌دهد منشأ این عناصر فرایندهای طبیعی می‌باشد. همچنین بررسی‌های میزان آلودگی این خاک‌ها با استفاده از شاخص زمین‌انباشتگی نشان داد اراضی مورد مطالعه از نظر نقره، بیسموت، آنتیمونی در گروه غنی‌شده و از نظر کروم، نیکل، کبالت و تیتانیوم در گروه حداقل غنی‌شدگی قرار گرفتند. تجزیه‌های آزمایشگاهی گابروهای موجود در افیولیت‌های نی‌ریز (۷) نشان می‌دهد که این مجموعه منشأ عناصر سنگینی مانند کروم و نیکل می‌باشند از این نظر می‌توانند مشکلاتی را برای محیط زیست ایجاد کنند. با این حال، خاک‌های تشکیل شده بر روی آن‌ها در این

کمر بند سنگ‌های دگرگونی زون سندج-سیرجان، نزدیک به شهر نی‌ریز و در غرب دریاچه بختگان قرار دارد (۲ و ۷). هوادیدگی کانی‌ها و سنگ‌های موجود در افیولیت‌ها، رسوبات و خاک‌هایی را تشکیل می‌دهد که حاوی مقدار زیادی Cr, Ni, Mn, Co, Mg و Fe هستند (۱۸). غلظت این عناصر در سنگ‌های بازی و فوق بازی حدود ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است اما محدوده گزارش شده برای این عناصر در مطالعات بستگی به منطقه مورد مطالعه و بافت خاک دارد و غلظت عناصر در خاک‌های رسی نسبت به خاک‌های با بافت درشت‌تر بیشتر است (۲). ویژگی‌های مختلف خاک بر قابلیت دسترسی این عناصر در خاک تأثیر دارد. حلالیت کبالت و نیکل مانند دیگر عناصر کمیاب، با افزایش pH کاهش می‌یابد؛ در حالی که کروم VI در خاک‌های با pH خنثی تا قلیایی بسیار متحرک هستند و هنگام بالا رفتن pH مشکل‌ساز می‌شوند و جذب این عنصر را توسط گیاه افزایش می‌دهد (۱۶). بر این اساس حداکثر غلظت مجازی برای این عناصر، در کاربری‌های مختلف در خاک توسط استانداردهای مختلف در ایران و جهان تعیین شده است (۲۴).

مطالعات بسیاری در زمینه وضعیت آلودگی خاک‌ها و رسوبات به عناصر سنگین در نزدیکی معادن در مناطق مختلف دنیا انجام گرفته است. چویک و همکاران (۵) در رسوبات سد سیحان در ترکیه، امکان آلودگی رسوبات موجود در این سد را نسبت به عناصر روی، مس، آهن، کروم و کادمیوم بررسی نمودند. آنالیز همبستگی نشان داد غلظت عناصر فوق متأثر از میزان ماده آلی و اندازه ذرات رسوب بوده و بر اساس مقادیر فاکتور غنی‌شدگی رسوبات این سد از نظر مقدار کادمیوم بسیار غنی‌شده و از نظر کروم و منگنز غنی‌شدگی جزئی داشتند، اما مقادیر این دو عنصر در رسوبات از حد مجاز بسیار بالاتر بود. بر اساس مطالعات بیبی‌نوراللیجانا و همکاران (۴) غلظت مس، نیکل و سرب در رسوبات رودخانه نزدیک به معدن مس ماموت و آب رودخانه در شرق مالزی بسیار فراتر از مقادیر استاندارد بود. فاکتور غنی‌شدگی و زمین‌انباشتگی نیز نشان داد در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه و مخصوصاً ایستگاه‌هایی که در طول رودخانه قرار داشتند آلودگی وجود دارد و مقدار فاکتور غنی‌شدگی بیش از ۱/۵ نیز نشان داد منشأ این فلزات فعالیت‌های انسانی مانند حفاری معدن است.

کاوشیک و همکاران (۱۷) نیز با بررسی خاک‌های حاشیه رودخانه یامونا در دهلی مشاهده کردند این خاک‌ها از نظر مقدار کروم آلودگی متوسطی دارند. هرچند در مطالعات پیشین مربوط به این منطقه آلودگی زیادی از این عنصر دیده شده بود و منشأ آن فعالیت‌های انسانی گزارش شده بود. گانگ و همکاران (۱۲) وضعیت آلودگی خاک منطقه شهری ووهان<sup>۱</sup> چین را از نظر برخی عناصر سنگین بررسی کردند. مطالعات ایشان نشان داد عناصر کادمیم، مس، سرب و

2- Zhuzhou  
3- Hunan

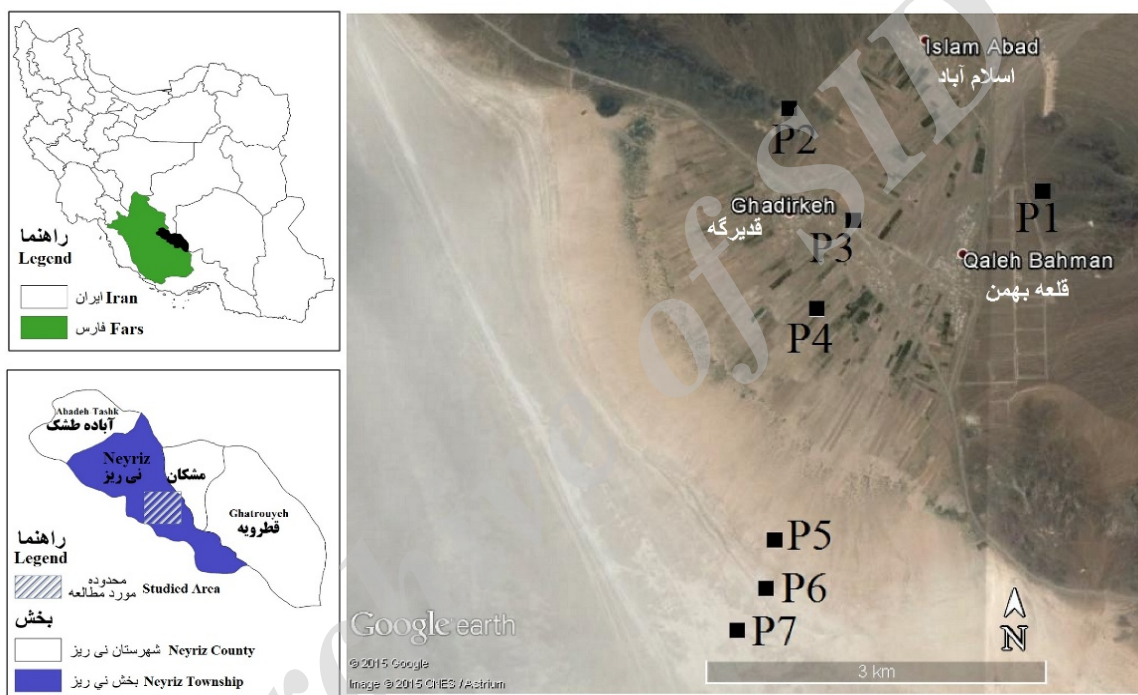
1- Wuhann

و عرض‌های جغرافیایی "۴۸' ۱۷" ۲۹° و "۳۶' ۲۰" ۲۹° قرار دارد و در قسمت شمال و شرق توسط بیرون‌زدگی‌های مجموعه افیولیتی نی‌ریز احاطه شده است (شکل ۱). افیولیت‌های نی‌ریز دارای سه واحد سنگ‌شناسی شامل سنگ‌های بازی، فوق بازی و مرمر است که دارای مقادیر مختلف منیزیم، کروم، نیکل و کبالت می‌باشد (۳۶). میانگین سالانه بارندگی منطقه بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک نی‌ریز ۱۸۵ میلی‌متر و میانگین دمای آن ۱۹/۴ درجه سلسیوس است (۱۰). رژیم رطوبتی منطقه اریدیک و رژیم حرارتی ترمیک است و سه واحد فیزیوگرافی مختلف شامل تپه، مخروط افکنه آبرفتی و اراضی پست (پلاهای بختگان) در منطقه مورد مطالعه وجود دارد (۱۴).

منطقه، هنوز از نظر آلودگی بررسی نگردیده‌اند. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های تشکیل شده بر این مجموعه از نظر مقدار کروم، نیکل و کبالت در یک برش از بالا دست به پایین دست شامل تپه، مخروط افکنه و پلایا در منطقه قلعه بهمن نیریز انجام شد.

## مواد و روش‌ها

منطقه قلعه بهمن از توابع شهرستان نیریز در شرق دریاچه بختگان در ۲۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز منطقه‌ای به وسعت حدود ۱۶ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی "۲۵' ۰۸" ۵۴° و "۰۱' ۱۱" ۵۴°



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت خاک‌های حفر شده  
Figure 1- Studied area with location of the pedons

نمونه خاک از هر یک از افق‌های خاک‌ها و نمونه سنگ از رخنمون‌های افیولیتی برداشت شدند. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، هواخشک شده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شد. نمونه‌های سنگ نیز با دستگاه آسیاب مدل MM400 Retsch ساییده شد. بهافت خاک به روش هیدرومتر، هدایت الکتریکی و pH در عصاره اشباع (۳۲)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۲۵)، گچ به روش استون (۳۷) و مقدار کل عناصر سنگین به روش هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۳۳) در خاک و پودر سنگ، عصاره‌گیری و در نهایت مقادیر کروم، کبالت، نیکل و آهن توسط دستگاه جذب اتمی

برای تحقیق حاضر، در هر واحد فیزیوگرافی، نقاطی در طول یک ترانسکت، انتخاب و در مجموع ۷ خاک‌ها شامل دو خاک‌ها در تپه‌ها، دو خاک‌ها در مخروط افکنه و ۳ خاک‌ها در اراضی پست (پلایا) حفر گردید (شکل ۱). اختلاف ارتفاع در امتداد برش مورد مطالعه، حدود ۵۰ متر و در طول حدود ۶ کیلومتر بود (شکل ۲). خاک‌های ۱ و ۲ بر روی خاک‌های کم عمق واقع بر سازندهای افیولیتی (واحد فیزیوگرافی تپه)، خاک‌ها ۳ در یک باغ به، خاک‌ها ۴ در یک باغ انار (هر دو در مخروط افکنه آبرفتی) و خاک‌های ۵، ۶ و ۷ در حاشیه پلایای بختگان (در اراضی پست) حفر گردیدند و پس از تشریح، تا سطح زیرگروه بر اساس رده‌بندی آمریکایی (۳۱) طبقه‌بندی گردید.



شکل ۲- نیمرخ ارتفاعی خاکرخ‌های حفر شده در منطقه قلعه بهمن (P1 تا P7 به ترتیب خاکرخ ۱ تا ۷ می‌باشد)  
 Figure 2- Elevation profile of pedons in Ghal-e Bahman from Google Earth (P1-P7 indicates pedons 1 to 7, respectively)

مخروط‌افکنه بیشترین و در خاک‌های افیولیت‌ها کم‌عمق‌ترین بود (جدول ۲) و بافت خاک از لوم شنی در افیولیت‌ها و مخروط‌افکنه به لوم در پلایا تغییر می‌کرد. مقدار سنگ و سنگریزه در خاکرخ‌های افیولیت‌ها بیش از ۷۰ درصد و در مخروط‌افکنه در افق‌های مختلف بین ۳۰ تا ۹۰ درصد متغیر بود که وجود لایه‌های رسوبی متعدد را در این خاک‌ها نشان می‌داد، در حالی‌که در خاک‌های پلایا سنگ و سنگریزه مشاهده نشد. در طول برش مورد مطالعه، خاک‌های افیولیت‌ها غیر شور، خاک‌های مخروط‌افکنه شوری متوسط و خاک‌های پلایا دارای مقادیر بالای هدایت الکتریکی بودند.

مقادیر نسبت جذب سدیم و گچ نیز در خاک‌های پلایا بسیار بالا بود. همچنین، رنگ خاک حاشیه پلایا به دلیل بالا بودن سطح آب ناشی از لندفرم و موقعیت منطقه به سمت رنگ‌های احیاء تغییر یافته بود. بر اساس مشاهدات صحرائی، تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی و طبق سامانه رده‌بندی آمریکایی (۳۱)، خاک‌های مورد مطالعه در سه زیرگروه قرار گرفتند. خاک‌های تشکیل شده بر روی سازندهای افیولیتی (شکل ۲) با یک لایه سطحی کم‌عمق (کمتر از ۱۵ سانتی-متر) بر روی سنگ مادر هوادیده (افق Cr)، در زیرگروه Lithic Torriothents (جدول ۲)، خاک‌های مخروط‌افکنه قلعه بهمن با یک لایه سطحی (افق A) به ضخامت ۲۵ سانتی‌متر بر روی لایه-های رسوبی (افق‌های مختلف C) با ضخامت‌های متفاوت در زیرگروه Typic Torrifluvents (جدول ۲) و خاک‌های حاشیه پلایا با تجمع قابل توجه نمک و گچ در تمام افق‌ها و همچنین نشانه وجود شرایط احیا (جدول ۲) در زیرگروه Gypsic Aquisalids قرار گرفتند. نتایج

برای بررسی وضعیت آلودگی منطقه مورد مطالعه دو شاخص محاسبه گردید. شاخص غنی‌شدگی<sup>۱</sup> با استفاده از فرمول ۱ (۲۸) و شاخص زمین‌انباشتگی<sup>۲</sup> با استفاده از فرمول ۲ (۲۳) محاسبه گردید:

$$EF = (C_i / C_{Fe})_S / (C_i / C_{Fe})_{RS} \quad (1)$$

در این روابط  $C_i$  مقدار عنصر  $i$  مقدار عنصر آهن در خاک مورد نظر (S) و در نمونه مرجع (RS) است که ترکیبی مشابه با میانگین ماده مادری در منطقه مورد مطالعه را داشته باشد (۵). در تحقیق حاضر برای محاسبه فاکتور غنی‌شدگی غلظت عناصر موجود در نمونه‌های سنگ که از رخنمون‌های افیولیتی تهیه شد به عنوان نمونه مرجع استفاده گردید.

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / (1.5 \times B_n)) \quad (2)$$

که در این رابطه،  $C_n$  غلظت عنصر مورد نظر در خاک،  $B_n$  میانگین غلظت همان عنصر در زمینه (ماده مادری) و ۱/۵ فاکتور تصحیح ماتریس در نتیجه اثرات لیتولوژیک می‌باشد. در تحقیق حاضر فرض شد میانگین عناصر در نمونه سنگ زمینه با میانگین عناصر در کل پوسته زمین در آن منطقه برابر است (۲۷). برای هر شاخص طبقه‌بندی ارائه گردیده است (۲۳ و ۳۴) که در جدول ۱ آمده است.

## نتایج و بحث

به طور کلی در برش مورد مطالعه، عمق خاک در خاک‌های

- 1- Enrichment Factor
- 2- Geo-accumulation Index

حدود ۲۲۳۹/۵، ۳۰۵/۵ و ۱۸/۹ میلی گرم در کیلوگرم بود.

نشان داد مقدار کروم در خاک‌های مورد مطالعه، بیشترین و کبالت کمترین بود (جدول ۲). میانگین مقادیر کروم، نیکل و کبالت به ترتیب

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص‌های مورد مطالعه

Table 1-Classification of studied indices

شاخص غنی‌شدگی	EF	شاخص زمین‌انباشتگی	I <sub>geo</sub>
حداقل غنی‌شدگی Depletion to minimal enrichment	< 2	غیرآلوده Practically unpolluted	0 ≤
غنی‌شدگی متوسط Moderate enrichment	2-5	غیرآلوده تا آلودگی متوسط Unpolluted to moderately polluted	≤ 0-1
غنی‌شدگی قابل توجه Significant enrichment	5-20	آلودگی متوسط Moderately polluted	≤ 1-2
غنی‌شدگی زیاد Very highly enriched	20-40	آلودگی متوسط تا زیاد Moderately to strongly polluted	≤ 2-3
غنی‌شدگی شدید Extremely enriched	> 40	آلودگی زیاد Strongly polluted	≤ 3-4
		آلودگی زیاد تا شدید Strong to very strongly polluted	≤ 4-5
		آلودگی بسیار شدید Very strongly polluted	≥ 6

همچنین بالا بودن نفوذپذیری خاک در این منطقه نسبت داده شود. همچنین، نوع کاربری (باغ‌های میوه) احتمالاً باعث شستشوی عناصر سنگین به دلیل آبیاری در دراز مدت و یا جذب آن‌ها توسط درختان شده است. افزایش مقادیر هر سه عنصر در عمق ۸۰ سانتی‌متری (جدول ۲) نیز احتمال شستشوی عناصر به اعماق را در اثر آبیاری تقویت می‌کند. مطالعات مختلف (۲۲، ۲۴ و ۲۷) نشان می‌دهد ویژگی‌های مختلفی از خاک مانند pH، هدایت الکتریکی، ماده آلی، قابلیت تبادل کاتیونی، درصد رس، اندازه ذرات، کانی‌شناسی و نوع گیاه کشت شده در خاک نقش مهمی در جذب و مقدار عناصر سنگین در خاک ایفا می‌کند.

در خاک‌های پلایا نیز به دلیل اینکه مقدار رس خاک بیشتر شده (جدول ۲) و نفوذ عمقی کمتر است غلظت تمامی عناصر افزایش یافته است. بالا بودن سطح آب زیرزمینی در این منطقه نیز مزید بر علت است و از شستشوی عناصر به اعماق جلوگیری می‌کند. همبستگی منفی و بسیار معنی‌دار بین درصد رس با مقدار نیکل و معنی‌دار بین کروم و کبالت و نیز همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار بین مقدار رس با کبالت و نیکل و معنی‌دار بین رس و کروم (جدول ۴) نیز تفسیر بالا را تایید می‌کنند. در خاک‌های مورد مطالعه بین ماده آلی با عناصر مورد مطالعه همبستگی معنی‌دار مشاهده نشد که با نتایج دیانی و محمدی (۸)، گاندوویس و همکاران (۱۰) و هرناندز و همکاران (۱۵) همخوانی دارد.

مقادیر بدست آمده نشان داد در تمام خاک‌های مورد مطالعه، غلظت کروم حدود ۱۰ تا ۴۰ برابر حد آستانه استانداردهای ایران (۹) و اروپا (۲۴) است (جدول ۳). مقدار حد آستانه غلظت نیکل در خاک‌های اوفیولیتی نزدیک به ۱۰ برابر حد آستانه بود، اما در خاک‌های مخروط‌افکنه تا عمق ۸۰ سانتی‌متری به زیر حد آستانه کاهش و در عمق‌های بیشتر به شدت افزایش یافت. در خاک‌های اراضی پست حاشیه دریاچه مقدار نیکل زیر حد آستانه بود. غلظت کبالت برای تمام خاک‌ها کمتر از حد آستانه بود. مطالعات ژئوشیمیایی دایک‌های گابرو در افیولیت‌های نی‌ریز (۷) و آنالیز آزمایشگاهی این تحقیق نیز نشان می‌دهد اوفیولیت‌های نی‌ریز دارای مقادیر بالای کروم، نیکل و مقادیر کم کبالت هستند.

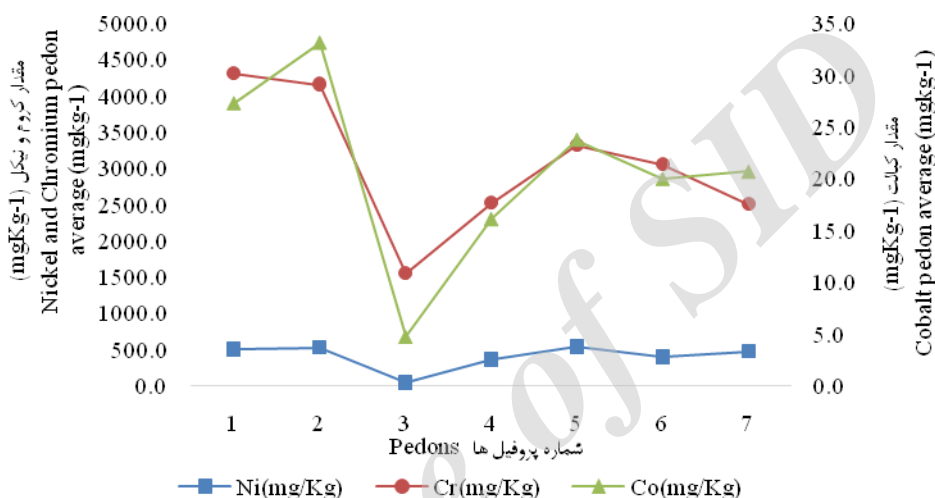
برای بررسی روند تغییرات عناصر در طول برش، میانگین وزنی عناصر برای هر خاکرخ بدست آمد (شکل ۳). روند مقدار هر سه عنصر در خاک‌های مخروط‌افکنه کمتر از خاک‌های پلایا بود، اما روند تغییرات کبالت و کروم بسیار شبیه یکدیگر است هر چند مقدار آن‌ها بسیار کمتر از کروم است. بیشترین مقدار هر سه عنصر در خاک‌های کم عمق افیولیتی بود و در خاک‌های مخروط‌افکنه مقادیر آنها شدیداً کاهش نشان داد. مقدار نیکل در خاک‌های پلایا تقریباً نزدیک به مقدار آن در خاک‌های افیولیتی است اما مقدار نیکل و کروم آنها از مخروط‌افکنه بیشتر و از خاک‌های افیولیتی کمتر است و از این لحاظ حالت بینابین دارند. علت پایین بودن این عناصر در خاک‌های مخروط‌افکنه می‌تواند به بالاتر بودن درصد رس (جدول ۲) و عدم وجود توانایی ذرات رس در نگهداری و جذب این عناصر (۳) و

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها  
Table 2- Physical and chemical of pedons

شماره خاکریز No. Pedon	واحد فیزیوگرافیک Physiographic Unit	زیرگروه خاک Soil subgroup	افق Horizon	عمق Depth	رسی Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رنگ Color	pH	هدایت الکتریکی EC (dSm <sup>-1</sup> )	درصد کربن آلی OC (%)	درصد کربنات درست معادل CCE (%)	نسبت جذب سطحی SAR	کروم Cr (mgKg <sup>-1</sup> )	نیکل Ni (mgKg <sup>-1</sup> )	کبالت Co (mgKg <sup>-1</sup> )
P1	Hill	Lithic Torrihents	A	0-7	14	30	56	5Y8/2	8.5	0.34	0.20	11.5	0.11	4297.5	490.2	27.27
			Cr	+7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P3	Alluvial Fan	Typic Torrifluents	Ap	0-35	7	22	71	5Y8/3	7.4	8.7	0.20	20.1	3.7	1310.4	22.8	3.12
			C1	35-53	10	18	72	5Y6/3	7.3	8.29	0.12	16.5	3.94	1225.00	45.00	3.00
			C2	53-75	7	6	87	5Y7/3	7.5	9.76	0.06	18.3	4.75	3427.50	641.25	26.05
			C3	75-80	11	11	79	2.5Y6/3	7.1	11.24	0.12	24.5	6.81	2951.25	461.40	22.72
P7	Lowland (Playa)	Gypsic Aquisalids	C4	+80	5	8	87	5Y5/4	7.1	10.07	0.02	28.5	6.22	3325.00	519.00	21.75
			Ay2g	0-20	24	40	36	10GB 8/1	8.4	36.37	0.42	30.00	20.72	2127.5	44.55	3.00
			By2gl	20-60	42.5	32.5	25	10Y 7/1	8.4	35.68	0.26	15	14.93	1377.5	27	3.22
			By2g2	60-73	62	17	21	5GY 8/1	8.5	26.67	0.10	7.50	13.04	1680	31.05	26.65
			By2mg	+73	67	21	12	10G 8/1	8.5	26.75	0.04	1.00	21.14	1225	45	25.45

جدول ۳- حداکثر مقدار مجاز خاک بر اساس استانداردهای ایران (۸) و اروپا (۲۱) (میلی گرم بر کیلوگرم)

عنصر سنگین Heavy metal	استاندارد اتریش Austria standard	استاندارد اتحادیه اروپا The European Union standard	استاندارد آلودگی خاک‌های ایران (۱۳۹۳) برای خاک‌های کشاورزی (pH>۷) Iran Soil Standard for farmlands
کروم Chromium	100	150	100
نیکل Nickel	100	75	50
کبالت Cobalt	50	-	40



شکل ۳- تغییرات میانگین سه عنصر کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های مورد مطالعه از بالادست به پایین دست منطقه  
Figure 3- Changes in average amount of Chromium, Nickle and Cobalt in studied pedons

۴/۸ برای نیکل، کروم و کبالت) کاهش چشم‌گیر نشان داد. شاخص زمین‌انباشتگی برای خاک‌های تپه‌های افیولیتی و مخروط‌افکنه برای هر سه عنصر آلودگی بسیار شدید و برای خاک‌های پلایا آلودگی زیاد تا شدید داشته است (جدول ۲). مقدار فاکتور غنی‌شدگی برای نیکل نیز از تپه‌های افیولیتی (میانگین ۰/۶) به سمت مخروط‌افکنه (میانگین ۰/۷) تقریباً ثابت و در پلایا (میانگین ۰/۱) کاهش چشم‌گیر داشت اما برای دو عنصر دیگر از افیولیت‌ها (به ترتیب، ۰/۹ و ۰/۶ برای کروم و کبالت) به سمت مخروط‌افکنه (به ترتیب، ۰/۵ و ۰/۵ برای کروم و کبالت) و پلایا (به ترتیب، ۰/۳ و ۰/۱ برای کروم و کبالت) کاهش داشت. کاهش شاخص‌ها در خاک‌های پلایا می‌تواند به دلیل کاهش قدرت فرایندهای انتقال رسوب از افیولیت‌ها به سمت پلایا در اثر کاهش شدت و قدرت فرایندهای فرسایش و رقیق شدن عنصر آلاینده در طول مسیر رسوبگذاری در زمان تشکیل این واحدها باشد (۲۷، ۳۰ و ۳۸).

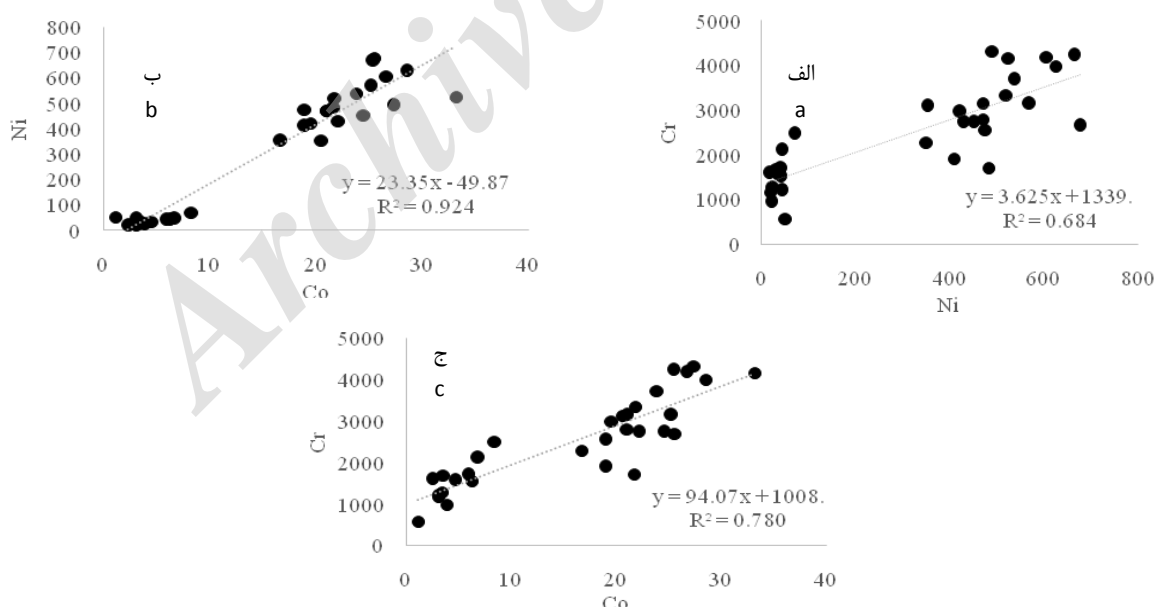
هنگامی که عناصر منشاء ژنتیکی و زمین‌شناسی مشابه داشته باشند همبستگی بالایی (بیش از ۰/۶) بین مقادیر موجود در خاک دیده می‌شود (۲۸ و ۳۴). در تحقیق حاضر بین سه عنصر کروم، نیکل و کبالت همبستگی مثبت و بالا مشاهده شد (شکل ۴ الف تا ج) که نشان از ورود این عناصر به خاک‌های مورد مطالعه از منابع مشترک مانند هوادیدگی مواد مادری است (۳۸). همبستگی بالا بین مقادیر دو عنصر نیکل و کبالت (شکل ۴ ب) به این دلیل است که این دو عنصر سایدروفیلیک (آهن‌دوست) هستند و عموماً توزیع این دو عنصر در پوسته زمین به همراه یکدیگر است (۱۳).

روند تغییرات فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتگی در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است. بر اساس این نتایج، مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در افیولیت‌ها (به ترتیب، ۷/۸، ۷/۸ و ۷/۷ برای نیکل، کروم و کبالت) و مخروط‌افکنه (به ترتیب، ۷/۷، ۷/۳ و ۷/۲ برای نیکل، کروم و کبالت) تقریباً ثابت و در پلایا (به ترتیب، ۳/۹، ۶/۲ و

جدول ۴- همبستگی بین کروم، نیکل و کبالت با ویژگی خاک‌های مورد مطالعه  
Table 2- Correlation coefficients between Chromium, nickel and cobalt and studied soil properties

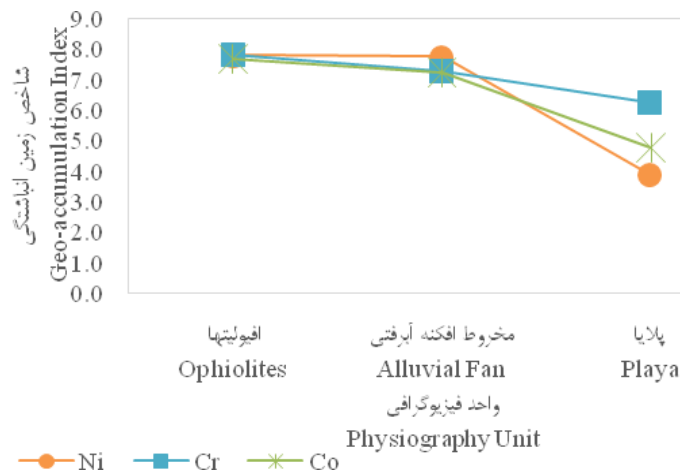
	نیکل Ni (mgKg <sup>-1</sup> )	کروم Cr (mgKg <sup>-1</sup> )	کبالت Co (mgKg <sup>-1</sup> )	شن Sand %	سیلت Silt %	رس Clay %	pH	SAR	کربن آلی OC %	هدایت الکتریکی EC(dSm <sup>-1</sup> )	کربنات کلسیم %CCE معادل
نیکل Ni (mgKg <sup>-1</sup> )	1										
کروم Cr (mgKg <sup>-1</sup> )	0.827**	1									
کبالت Co (mgKg <sup>-1</sup> )	0.961**	0.884**	1								
شن Sand %	-0.460**	-0.353*	-0.433*	1							
سیلت Silt %	0.363*	0.281	0.350	-0.955**	1						
رس Clay %	0.512**	0.389*	0.475**	-0.954**	0.822**	1					
pH	-0.120	-0.265	-0.145	0.013	0.021	-0.049	1				
SAR	0.522**	0.265	0.446*	-0.768**	0.659**	0.808**	0.054	1			
کربن آلی OC %	0.151	0.149	0.166	-0.715**	0.655**	0.711**	0.046	0.508**	1		
هدایت الکتریکی EC (dSm <sup>-1</sup> )	0.503**	0.311	0.437*	-0.815**	0.697**	0.859**	-0.033	0.904**	0.612**	1	
کربنات کلسیم CCE % معادل	-0.104	-0.064	-0.157	-0.016	-0.045	0.078	-0.213	-0.150	0.193	-0.079	1

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۱ و ۵ درصد است  
\*\*and \* correlation is significant at 0.01 (p<0.01) and 0.05 (p<0.05) levels, respectively

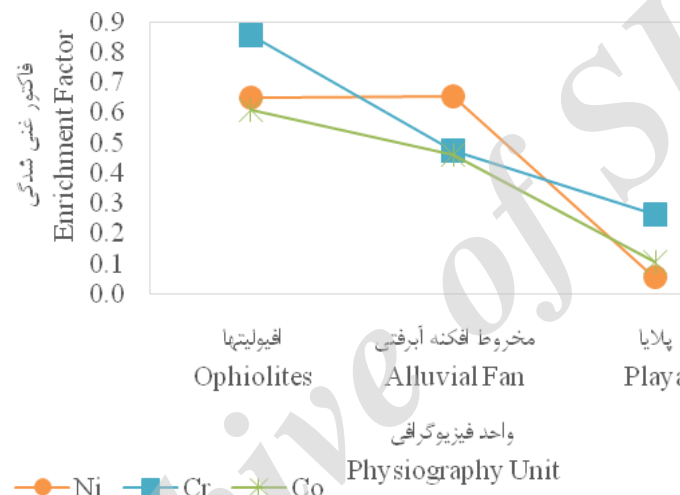


شکل ۴- همبستگی بین عناصر مورد مطالعه الف) نیکل و کروم، ب) کبالت و نیکل و ج) کبالت و کروم  
Figure 4- Correlation between studied elements a) Nickel and Chromium, b) Cobalt and Nickel and c) Cobalt and Chromium





شکل ۵- تغییرات میانگین شاخص زمین انباشتگی برای سه عنصر کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های مورد مطالعه  
Figure 5- Changes in Geo-accumulation Index average for Chromium, Nickle and Cobalt in studied pedons



شکل ۶- تغییرات میانگین فاکتور غنی شدگی برای سه عنصر کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های مورد مطالعه  
Figure 6- Changes in Enrichment Factors average for Chromium, Nickle and Cobalt in studied pedons

تشکیل آن‌ها اتفاق افتاده است. به این صورت که احتمالاً روند کاهش شاخص‌های محاسبه شده از بالا دست به سمت پلایا به دلیل تغییر قدرت فرایند فرسایش و رسوب‌گذاری در زمان تشکیل مخروط‌افکنه و روند افزایشی عناصر از سطح به عمق خاک در خاک‌های مخروط‌افکنه پس از تشکیل آن در اثر فعالیت‌های انسانی و نوع کاربری اتفاق افتاده است. بنابراین، بر اساس نتایج می‌توان اظهار کرد مطالعه هم‌زمان شاخص‌ها و غلظت عناصر در خاک‌ها، اطلاعات مفیدتری در ارتباط با فرایندهای تشکیل لندفرم‌ها و تغییرات خاک‌ها در مقایسه با مطالعه غلظت مطلق عناصر در اختیار قرار می‌دهد.

### نتیجه‌گیری کلی

مطالعه انجام شده بر خاک‌های تشکیل شده بر افیولیت‌های نریز نشان داد در خاک‌های این منطقه، غلظت عناصر کروم و نیکل

محققین (۴ و ۴۰) عقیده دارند اگر مقدار فاکتور غنی‌شدگی یک عنصر کمتر از ۱/۵ باشد به این معنی است که منشأ عنصر از مواد پوسته زمین بوده و وجود آن به دلیل فرایندهای طبیعی اتفاق افتاده است. بنابراین، با توجه به این که مقدار فاکتور غنی‌شدگی برای خاک‌های مورد مطالعه کمتر از ۱/۳ بود (شکل ۶) می‌توان نتیجه گرفت منشأ عناصر مورد مطالعه ناشی از مواد مادری افیولیتی است و منطقه از نظر هر سه عنصر کروم، نیکل و کبالت در گروه حداقل غنی‌شدگی (جدول ۱) قرار می‌گیرد. هودا و همکاران (۱۶) و گونلی و رنلا (۱۳) نیز منشأ ورود این عناصر به خاک را مواد مادری و حفر معادن دانسته‌اند.

با در نظر گرفتن نتایج بدست آمده، به نظر می‌رسد روند متفاوتی که برای غلظت عناصر سنگین و شاخص‌های محاسبه شده دیده شد احتمالاً به دلیل فرایندهایی است که در زمان تشکیل واحدها و بعد از

نتایج بدست آمده، مطالعات آتی در زمینه امکان انتقال این عناصر به آب زیرزمینی و درختان میوه در مخروط افکنه قلعه بهمن ضروری به نظر می‌رسد. نتایج حاکی از آن است که مطالعه همزمان شاخص‌ها و غلظت عناصر، اطلاعات مفیدتری نسبت به مقادیر مطلق عناصر در اختیار قرار می‌دهد. مطالعه نسبت ایزوتوپ‌های پایدار برای عناصر سنگین موجود در خاک‌های منطقه برای درک بهتر فرآیندها نیز پیشنهاد می‌گردد.

بسیار بیشتر از حد آستانه و غلظت کبالت زیر حد آستانه استاندارد ایران و اروپا قرار دارد. مقادیر این عناصر در خاک‌های تشکیل شده بر روی تپه‌های افیولیتی از مناطق دیگر بیشتر و در مخروط افکنه کمتر از افق‌لیت‌ها و اراضی پست دیگر بود. مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در این خاک‌ها نیز وجود آلودگی در این خاک‌ها را تأیید کرد و مقادیر فاکتور غنی‌شدگی در این خاک‌ها نشان داد که منشأ این عناصر در خاک از منشأ مواد مادری (توده افیولیتی) منطقه است. با توجه به

## منابع

1. Akbari S. 2014. Soil formation, pedologic processes and nickel and chromium distribution in soil mineral particles along a Catena over Ultra basic parent material, West of Mashhad. Ms. Thesis. Faculty of soil science. Mashhad. Iran. (in Persian)
2. Alavi Tehrani N. 1977. Geology and petrography in the ophiolite range n.w. of Sabzevar (Khorassan/Iran): With special regard to metamorphism and genetic relations in an ophiolite suite (Report / Geological Survey of Iran). Geological Survey of Iran. Tehran. 156 pp.
3. Alloway B. 2013. Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soil and their bioavailability. Springer, NY. 614 pp.
4. Bibi Noorarijannah A.M., Lin C.Y., Cleophas F., Mohd Harun A., and Musta B. 2015. Assessment of heavy metals contamination in Mamut river sediments using sediment quality guidelines and geochemical indices. Environmental Monitoring and Assessment, 187: 1-11.
5. Çevik F., Göksu M.Z.L., Derici O.B., and Findik Ö. 2009. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses. Environmental Monitoring and Assessment, 152: 309-317.
6. Davari A., Danehkar A., Khorasani N., and Javanshir A. 2012. Identification of Heavy Metals Contamination at Bushehr Mangroves. Journal of Environmental Science. 3: 27-36. (in Persian with English abstract)
7. Davoudi Z., Rahgoshay M., and Monsef A. 2012. Petrology of gabbroic dikes mantle ophiolite sequence Neyriz. Proceeding of the 31st meeting of Earth Sciences. 2nd and 3rd of December. Tehran. Geological Survey of Iran. (in Persian)
8. Dayani M., and Mohammadi J. 2010. Geostatistical assessment of Pb, Zn and Cd contamination in near-surface soils of the urban-mining transitional region of Isfahan, Iran. Pedosphere, 20: 568-577.
9. Department of environment. 2014. Soil resource quality standards. Department of human environment (soil and water office). 166pp.
10. Fars statistical year book. 2007. Fars management and planning Organization. Office of the president management and planning organization. (in Persian)
11. Gandois L., Probst A., and Dumat C. 2010. Modelling trace metal extractability and solubility in French forest soils by using soil properties. European Journal of Soil Science, 61: 271-286.
12. Gong M., Wu L., Bi X.Y., Ren L.M., Wang L., Ma Z.D., Bi Z.D., and Li Z.G. 2010. Assessing heavy-metal contamination and sources by GIS-based approach and multivariate analysis of urban-rural topsoils in Wuhan, central China. Environmental Geochemistry and Health, 32: 59-72.
13. Gonnelli C., and Renella G. 2013. Chromium and nickel. p 313-333. In B.J. Alloway (ed). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soil and their bioavailability. 3<sup>rd</sup> ed. Springer, NY.
14. Hassanshahi H., and Dastoor J. 1995. Reconnaissance soil survey of Neyriz basin (Fars Province). Soil and Water Research Institute. No. 1033 on technical issues. (in Persian)
15. Hernandez L., Probst A., Probst J.L., and Ulrich E. 2003. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. Science of the Total Environment, 312 (1): 195-219.
16. Hooda P.S. 2010. Trace elements in soils. Wiley Online Library. 616 pp.
17. Kaushik A., Kansal A., Kumari S., and Kaushik C. 2009. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: assessment by metal enrichment factor of the sediments. Journal of Hazardous Materials, 164: 265-270.
18. Kelepertzis E. 2014. Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: Insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece. Geoderma, 221: 82-90.
19. Khaledi Z., and Mohammadzadeh H. 2012. Evaluation of Cr in ophiolite and groundwater and its potential to contaminate the environment in SE of Birjand. Journal Of Economic Geology, 4: 335-350.

20. Khosro Tehrani Kh. 1998. Geology of Iran. Payam Noor University Press. Iran. (in Persian)
21. Li Z., Feng X. Bi X., Li G., Lin Y., and Sun G. 2014. Probing the distribution and contamination levels of 10 trace metal/metalloids in soils near a Pb/Zn smelter in Middle China. *Environmental Science and Pollution Research*, 21: 4149-4162.
22. Ljung K., Selinus O., Otabbong E., and Berglund M. 2006. Metal and arsenic distribution in soil particle sizes relevant to soil ingestion by children. *Applied Geochemistry*, 21: 1613-1624.
23. Loska K., Cebula J., Pelczar J., Wiechuła D., and Kwapuliński J. 1997. Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 93: 347-365.
24. Maleki A., Amini H., Nazmara S., Zandi S., and Mahvi A.H. 2014. Spatial distribution of heavy metals in soil, water, and vegetables of farms in Sanandaj, Kurdistan, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 29:136-146.
25. Namaghi H.H., Karami G.H., and Saadat S. 2011. A study on chemical properties of groundwater and soil in ophiolitic rocks in Firuzabad, east of Shahrood, Iran: with emphasis to heavy metal contamination. *Environmental monitoring and assessment*, 174: 573-583.
26. Nelson R. 1982. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 181-197.
27. Paul D., Choudhary B., Gupta T., and Jose M.T. 2015. Spatial distribution and the extent of heavy metal and hexavalent chromium pollution in agricultural soils from Jajmau, India. *Environmental Earth Sciences*, 73: 3565-3577.
28. Reimann C., and de Caritat P. 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment*, 337: 91-107.
29. Shafiee N., Shirani H., and Sfandiarpour I. 2013. Enrichment of arsenic and selenium in the soils around Sarcheshmeh copper mine. *Soil Management Journal*, 2:1-11. (in Persian with English abstract)
30. Smolders A.J.P., Lock R.A.C., Van der Velde G., Medina Hoyos R.I., and Roelofs J.G.M. 2003. Effects of Mining Activities on Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, and Macroinvertebrates in Different Reaches of the Pilcomayo River, South America. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44: 0314-0323.
31. Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy* (12th ed.). NRCS, USDA, USA.
32. Sonmez S., Buyuktas D., Okturen F., and Citak S. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1: 1, 1: 2.5, 1: 5) in soil salinity studies. *Geoderma*, 144: 361-369.
33. 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.
34. Sutherland R. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39: 611-627.
35. Swan A.R., and Sandilands M. 1995. Introduction to geological data analysis, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, pp. 387A.
36. Tangestani M.H., Jaffari L., Vincent R.K., and Sridhar B.B.M. 2011. Spectral characterization and ASTER-based lithological mapping of an ophiolite complex: A case study from Neyriz ophiolite, SW Iran. *Remote Sensing of Environment*, 115: 2243-2254
37. Toomanian N., Jalalian A., and Eghbal M.K. 2001. Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. *Geoderma*, 99: 199-224.
38. Villarroel L., Miller J., Lechler P., and Germanoski D. 2006. Lead, zinc, and antimony contamination of the Rio Chilco-Rio Tupiza drainage system, Southern Bolivia. *Environmental Geology*, 51: 283-299.
39. Yalcin M.G., Battaloglu R., and Ilhan S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53: 399-415.
40. Zhang J., and Liu C. 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54: 1051-1070.
41. Zhu Y.G., Williams P.N., and Meharg A.A. 2008. Exposure to inorganic arsenic from rice: a global health issue? *Environmental Pollution*, 154: 169-171.

## Evaluation of Soils Pollution to Chromium, Nickel and Cobalt as Affected by Ophiolitic Formations in Neyriz Region, Fars Province

A. Salmanpour<sup>1\*</sup>- M.H. Salehi<sup>2</sup>- J. Mohammadi<sup>3</sup>

Received:27-01-2016

Accepted:05-12-2016

**Introduction:** The heavy metal concentration in agricultural lands, due to the toxicity, persistence and their accumulation in the environment has become a major concern. Ophiolitic formations extend in southern part of central Iran and parallel to folds of the Zagros Mountains, is located in the north of Neyriz town and in the west of Bakhtegan Lake. Rock weathering of these complexes forms sediments and soils with a large amount of Mn, Ni, Cr, Co, Mg and Fe. Laboratory analysis of Neyriz ophiolitic rocks indicates that they are a source of heavy metals as well, and may cause problems for the environment. However, there is no investigation in Neyriz area regarding contamination of the soils. The present study was conducted to assess soils pollution in Ghal-e Bahman area, 20 km from Neyriz which derived from ophiolitic formations of this area.

**Materials and Methods:** The study area located in the Ghal-e Bahman region, eastern part of Bakhtegan Lake. The soils of this region are affected from Neyriz ophiolite. In this region, three physiographic units including a hill, an alluvial fan and a lowland (playa) were separated. In each unit, some pedons were dug and classified according to American Soil Taxonomy. Soil samples were obtained from each genetic horizon and rock samples were also taken from ophiolitic formation. Then, chemical and physical properties were determined. Heavy metals were also extracted by nitric acid and amount of Cr, Ni, Co and Fe were calculated. Enrichment Factor (EF) and Geo-accumulation indices ( $I_{geo}$ ) were also calculated and soils were classified according to their pollution level.

**Results and Discussion:** In general, soils on different landforms had different horizon properties and different classification. They are varied from a shallow, thin layer on hills to relative deep layer on lowland. These soils were classified in three different subgroups according to American Soil Taxonomy. Soils on ophiolitic hills classified as Lithic Torriothents because of a thin surface layer on a weathered bedrock. Soils developed on alluvial fan landform, with several alluvial subsurface horizons with different rock fragments percentage and size, was classified as Typic Torrifluvents; and the soils on lowland (Bakhtegan playa) was Gypsic Aquisalids because of salt and gypsum concentration in all layers and had redox color (chroma of less than 2) affected by high level of groundwater in the soil surface and subsurface layers.

The results showed that the amount of chromium with the average of  $2200 \text{ mgkg}^{-1}$ , was 10 to 40 times higher than the Iran and Europe threshold levels ( $100$  and  $150 \text{ mgkg}^{-1}$ , respectively). The amount of nickel, with the average of  $300 \text{ mgkg}^{-1}$ , were 10 fold higher than the threshold level and cobalt ( $19 \text{ mgkg}^{-1}$ ) was lower than criteria defined by soils standards of Iran and Europe ( $40 \text{ mgkg}^{-1}$ ). The amount of studied metals were the highest in ophiolitic hills, and playa soils were in second place in this respect. The amount of metals had a significant decrease in alluvial fan but didn't drop under threshold level. The lowest amount of heavy metals in alluvial fan was probably because of the high percentage of sand, higher permeability and low soil water retention in all horizons. The negative significant correlation between the elements and sand also confirms this hypothesis. In addition, increasing elements at the depth of 70 cm of the soil in alluvial fan showed that land type (orchards) and long period of irrigation may cause leaching heavy metals from topsoil to the soil depth. However, no significance correlation was observed between the elements and soil organic carbon. The correlation coefficients between three elements revealed that all of them had the similar geologic origin and thus their spatial occurrence in soils can be attributed to the weathering of similar parent material.

$I_{geo}$  showed an almost constant trend from ophiolitic hill (7.7-7.8) to alluvial fan (7.2-7.7) and a significant decrease in playa (3.9-6.2) for all metals. The variation of EF for nickel had an almost constant trend from ophiolitic hill (with the average of 0.6) to alluvial fan (with the average of 0.7) and a significant decrease in playa (with the average of 0.1). Also, a decreasing trend was observed from ophiolite hill (0.9 and 0.6 for chromium and cobalt, respectively) to alluvial fan (0.5 for both) and playa (0.3 and 0.1 for chromium and cobalt,

1, 2 and 3- Ph.D. and Professors of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University  
(\*-Corresponding Author Email: anahidsalmanpour@yahoo.com)

respectively). A decreasing trend observed for indices can be due to the reduction of sediment transport processes and dilution effect of elements from hill to playa during the deposition and their formation. It seems that the EF index and the  $I_{geo}$  provide more useful information about hydrologic processes during formation of landform and development of soils than absolute values of heavy metals.

**Conclusions:** The present study showed that the amounts of chromium and nickel were higher than the threshold in studied soil. The soils derived from ophiolitic formation showed the highest values and the soils over alluvial fans had the lowest levels of heavy metals. Useful information was obtained from EF index and  $I_{geo}$  about the prominent geomorphic processes during landforms formation

Future studies should be focused on possible transfer of these elements into the groundwater and also trees of the orchards in Ghal-e Bahman region.

**Keywords:** Enrichment Factor (EF), Geo-accumulation index ( $I_{geo}$ ), Heavy metals, Neyriz ophiolitic formations, Pollution

Archive of SID