

تغییرات غلظت Ni، Cr و Mn در خاک‌های تشکیل شده در طول یک ردیف پستی و بلندی از سنگ‌های فوق‌بازی در غرب مشهد

سپیده اکبری^۱ - علیرضا کریمی^{۲*} - امیر لکزبان^۳ - امیر فتوت^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۰۱

چکیده

سنگ‌های فوق‌بازی به‌عنوان منابع بالقوه طبیعی عناصر سنگین به‌ویژه Ni و Cr در ورود خاک شناخته شده‌اند. هدف از این مطالعه بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و تغییرات غلظت عناصر Ni و Cr خاک‌های تشکیل شده در امتداد یک ردیف پستی و بلندی از سنگ‌های فوق‌بازی در غرب شهر مشهد بود. بدین منظور از افق‌های سه‌خاک در موقعیت‌های قله شیب، شیب پستی و پای شیب نمونه‌برداری شد. عناصر Ni، Cr و Mn، اکسیدهای آهن آزاد (Fe_d) و اکسیدهای آهن بی‌شکل (Fe_o) به‌ترتیب توسط تیزاب سلطانی توسط، سیترات-بیکربنات-دی‌تیونات و اسید اگزالیک عصاره‌گیری و توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. مورفولوژی افق‌ها نشان‌دهنده عدم تکامل و هوادیدگی خاک‌های مورد مطالعه بود. مقدار Ni از ۵۲/۶ تا ۳۱۲/۵ و Cr از ۳۵/۲ تا ۱۳۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود که نسبت به خاک‌های مناطق مرطوب کمتر است که می‌تواند به‌دلیل هوادیدگی کم خاک، اضافه شدن مواد بادرفتی شامل گچ و کربنات‌ها و کم بودن مقدار این عناصر در مواد مادری باشد. مقدار Ni و Cr از قله شیب به سمت پای شیب افزایش داشت. تغییرات هماهنگ Ni با Cr و Mn یا Fe_d در خاک‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده مشابهت این عناصر از نظر کانی‌شناسی و روند هوادیدگی بود. با توجه به مقدار زیاد نیکل و کروم در خاک‌های مورد مطالعه، لازم است که قابلیت جذب زیستی این عناصر مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ردیف پستی و بلندی، کروم، مواد مادری فوق‌بازی، نیکل

مقدمه

از ۴۵ درصد (SiO₂) تقسیم می‌شوند. سنگ‌های آذرین فوق‌بازی انواع مختلفی دارند که بر اساس حضور و فراوانی کانی‌های مافیک مانند آمفیبول‌ها (عمدتاً هورنبلند)، پیروکسن‌ها و الیون نام‌گذاری می‌شوند (۲۸). سنگ‌های فوق‌بازی و خاک‌های حاصل از آن‌ها به‌دلیل داشتن کانی‌های با قابلیت بالای هوادیدگی، به‌عنوان منشأ طبیعی عناصر سنگین در محیط خاک شناخته می‌شوند (۴۵). این سنگ‌ها مساحت محدودی (کمتر از ۱ درصد) از سطح زمین را پوشانده‌اند (۴۰ و ۴۱)؛ و به‌دلیل ترکیب ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی و داشتن مقدار زیادی از عناصر سنگین Ni، Cr، Co و Mn، می‌توانند مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را به‌وجود آورند (۹، ۲۰، ۳۳ و ۳۴).

با توجه به ترکیب عناصر سنگین در سنگ‌های فوق‌بازی، آزاد شدن این عناصر طی فرآیندهای هوادیدگی و تشکیل خاک، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده و مطالعاتی از این قبیل در سرتاسر دنیا انجام شده است (۱۶، ۴۲ و ۴۴). میانگین غلظت معمول Ni و Cr در خاک‌ها به‌ترتیب حدود ۸۴ و ۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۳۶)؛ اما بر اساس مطالعات انجام شده در خاک‌های حاصل از سنگ‌های فوق‌بازی در تایوان، میزان Ni و Cr به‌ترتیب تا ۴۰۴۸ و

تشکیل خاک تحت تأثیر پنج عامل اقلیم، موجودات زنده، پستی و بلندی، مواد مادری و زمان طی فرآیندهای خاک‌سازی تکمیل می‌شود. مواد مادری به‌عنوان یکی از عوامل اصلی خاک‌سازی، تأثیر زیادی بر غلظت عناصر سنگین در خاک دارند (۴۵). مقدار و توزیع عناصر سنگین در خاک‌ها از طریق منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود (۳۹). آزاد شدن عناصر سنگین طی هوادیدگی سنگ‌ها در طول تشکیل خاک، یکی از راه‌های اضافه شدن عناصر سنگین در خاک‌ها است (۲۰ و ۴۴).

سنگ‌های آذرین بر اساس میزان سیلیس به‌صورت سنتی به سنگ‌های آذرین اسیدی یا فلسیک (بیش از ۶۳ درصد SiO₂)، بازی (۴۵ تا ۵۲ درصد SiO₂) و فوق‌بازی یا اولترابازیک/ اولترامافیک (کمتر

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار، استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول: (Email: karimi-a@um.ac.ir)

سنگ‌ساز و کانی شاخص در سنگ‌های فوق‌بازی دگرگون شده در رخساره آمفیبولیت است (۱۲).

میانگین بارندگی، دمای سالیانه و ارتفاع منطقه مورد مطالعه بر اساس یک دوره آماری ۴۴ ساله (۱۳۷۴-۱۳۳۰) به ترتیب، ۲۶۰ میلی‌متر، ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد و ۱۲۴۰ متر از سطح دریا است. رژیم رطوبتی خاک منطقه، اریدیک در مرز زیریک و رژیم حرارتی آن، مزیک است (۴۶).

سه خاکرخ در قسمت‌های قله شیب^۲، شیب پستی^۳ و پای شیب^۴ حفر شدند. پس از تشریح خاکرخ‌ها بر اساس کلید رده‌بندی خاک آمریکایی (۴۸)، از افق‌های ژنتیکی تمامی خاکرخ‌ها، نمونه‌برداری شد. علاوه بر این، یک نمونه سنگ از هر خاکرخ برای تعیین ترکیب شیمیایی آن برداشته شد. لازم به ذکر است که هر سه خاکرخ بر روی مواد هورنبلندیت حفر شدند. هورنبلندیت‌ها از جمله سنگ‌های فوق‌بازی هستند که کوارتز کمی (کمتر از ۴۵ درصد سیلیس) دارند و شامل کانی‌های فرومینیزیم از جمله میکاها، آمفیبول‌ها (عمدتاً هورنبلند)، پیروکسن‌ها و الیون هستند (۲۸).

به‌منظور انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌های مورد نظر پس از هوا خشک کردن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش پیپت (۱۸)، pH خاک و هدایت الکتریکی در نسبت آب به خاک ۱:۲ (۴۴)، کربنات کلسیم معادل با استفاده از روش تیتراسیون برگشتی (۴۳)، مواد آلی خاک با استفاده از روش والکی-بلک (۵۱)، گچ نمونه‌ها بر اساس کاهش وزن در اثر خارج شدن آب تبلور در اثر حرارت (۹) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت‌های کاتیون‌های Ca و Mg، ابتدا خاک توسط محلول یک نرمال استات آمونیوم عصاره‌گیری شد و در ادامه به روش تیتراسیون با EDTA اندازه‌گیری شدند (۱۲). به‌منظور اندازه‌گیری اکسیدهای آهن آزاد از سیترات - دی‌تیونات - بی‌کربنات (CDB) (۳۸) و برای اندازه‌گیری اکسیدهای آهن بی‌شکل از اگزالات آمونیوم در تاریکی استفاده گردید (۳۶). در ادامه، غلظت شکل‌های مختلف آهن عصاره‌گیری شده، به‌وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. مقدار عناصر Ni، Cr و Mn در افق‌های مختلف هر خاکرخ و نمونه‌های پودر شده سنگ از لایه R هر خاکرخ، در محلول عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۲۹).

نتایج و بحث

ویژگی‌های عمومی خاک‌ها

موقعیت خاکرخ‌ها و توالی افق‌ها در هر خاکرخ در شکل ۲ نشان

۳۲۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۱۵). بیشترین میزان Ni و Cr خاک‌های حاصل از سنگ‌های فوق‌بازی در برزیل به ترتیب ۷۳۷۸۶ و ۱۱۹۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم هم گزارش شده است (۲۱). در سرپنتینیت‌های گسل نائین، غلظت Ni از ۱۶۰۰ تا ۲۶۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و غلظت Cr از ۱۳۶۲ تا ۲۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد و غلظت Ni و Cr در خاک‌های حاصل از این سنگ‌ها به ترتیب ۸۰ تا ۱۹۵۶ و ۷۰۰ تا ۱۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (۳۵).

در غرب مشهد، یک نوار باریک افیولیتی متشکل از سنگ‌های فوق‌بازی وجود دارد. پریدوتیت، سرپنتینیت و گابرو عمده سنگ‌های فوق‌بازی این منطقه را تشکیل می‌دهند (۳۲). اگر چه این نوار افیولیتی سطح کمی از پهنه بینالود را می‌پوشاند، ولی موقعیت آن که مشرف به شهر مشهد است، نگرانی‌هایی را درباره عناصر سنگین موجود در آن و آزاد شدن و انتقال آن در اثر هوازدگی ایجاد می‌کند. تا کنون مطالعات فراوانی در دنیا به‌ویژه در اقلیم‌های مرطوب‌تر از ایران درباره ژئوشیمی این سنگ‌ها و آزاد شدن عناصر سنگین در آن‌ها انجام شده است. بررسی مقدار عناصر سنگین و تحرک آن‌ها در خاک‌های اطراف مشهد از نظر زیست‌محیطی با توجه به اقلیم خشک آن می‌تواند مفید باشد. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های تشکیل شده در امتداد یک ردیف پستی و بلندی از سنگ‌های فوق‌بازی در غرب مشهد و تعیین تغییرات غلظت و تحرک Ni و Cr و عوامل مؤثر بر آن‌ها در این خاک‌ها بود.

مواد و روش‌ها

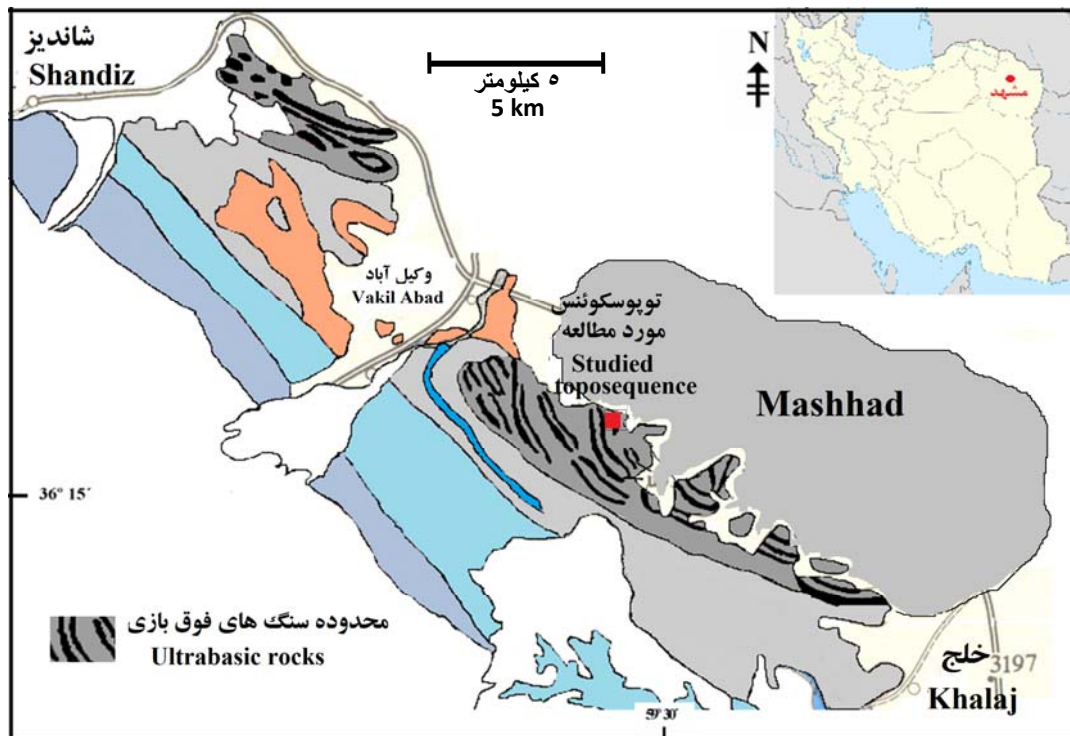
مجموعه افیولیتی و سنگ‌های مرتبط با آن، نواری به طول ده‌ها کیلومتر با راستای شمال غرب-جنوب شرق در دامنه شمالی ارتفاعات بینالود از خلیج تا شاندریز را تشکیل می‌دهند (شکل ۱). طبق نظر بسیاری از زمین‌شناسان مجموعه افیولیتی ذکر شده، خاستگاه اقیانوسی داشته و نشان‌دهنده زمین‌درز^۱ تئیس کهن است که جدا کننده قطعات لیتوسفری توران در شمال و قطعه لیتوسفری ایران در جنوب می‌باشد (۳).

در ارتفاعات غرب مشهد در محدوده پارک خورشید در طول جغرافیایی ۱۹° ۳۰' ۵۹" و عرض جغرافیایی ۱۰° ۱۵' ۳۶"، یک ردیف پستی و بلندی بر روی سنگ‌های فوق‌بازی نوار افیولیتی انتخاب شد (شکل ۱). سنگ‌های این ردیف پستی و بلندی هورنبلندیت می‌باشد که کانی اصلی تشکیل دهنده آن هورنبلند است. کانی هورنبلند جزو خانواده آمفیبول می‌باشد و آمفیبول یکی از مهم‌ترین کانی‌های

2- Summit
3- Backslope
4- Footslope

1- Geo-Suture

داده شده است. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های و رده‌بندی آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

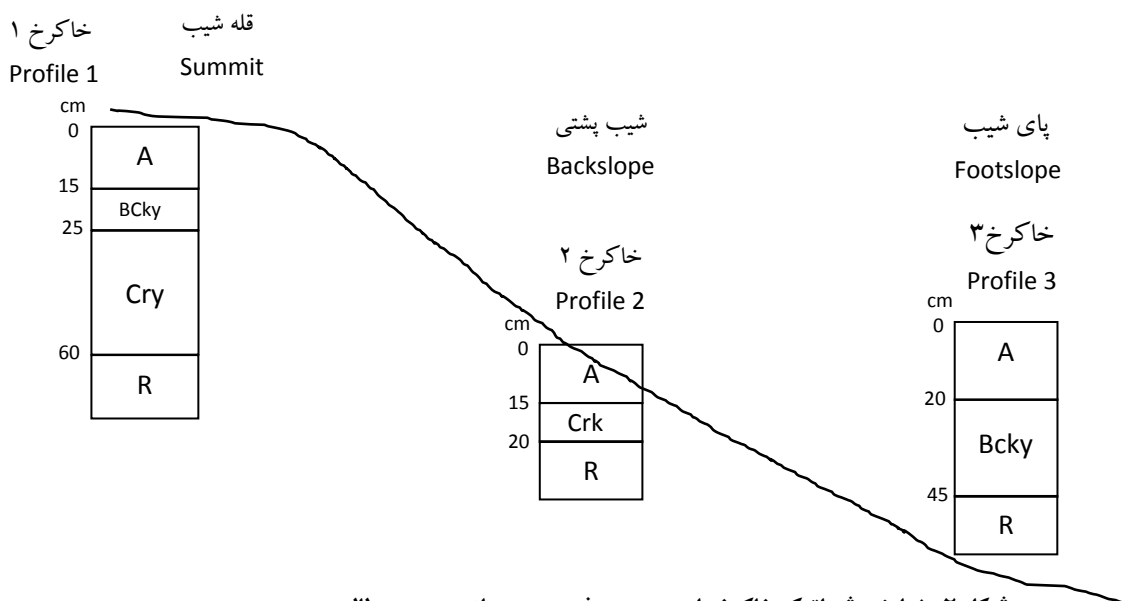


شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و پراکنش سنگ‌های فوق‌بازی در غرب مشهد؛ برگرفته از نقشه زمین‌شناسی مشهد (۱)

Figure 1- Location of study area and distribution of ultrabasic rocks in western Mashhad; from Mashhad geology map (1)

(۲۶) در منطقه مورد مطالعه، فعالیت باد را عاملی برای توجیه حضور گچ و کربنات کلسیم در خاک‌های درجای تشکیل شده از مواد مادری گرانیتی، دگرگونی و فوق‌بازی برشمردند. کربمی و همکاران (۳۱) وجود رسوبات لسی در جنوب مشهد را گزارش کرده‌اند که منشأ این رسوبات مارن‌هایی است که دارای مقدار قابل توجهی کربنات کلسیم و گچ هستند. گچ به دلیل این که حلالیت آن بیشتر از کربنات کلسیم (حدود ۷۰ برابر) است (۵۰) به سمت پائین منتقل می‌شود و به همین دلیل مقدار آن در لایه‌های عمقی بیشتر است. وجود پندانت‌های آهکی و گچی نیز نشانه‌ای از حرکت از بالا به پائین این مواد است. صرف‌نظر از مقدار ۶۳ درصدی شن در افق C₁ خاک‌خاکی، مقدار شن در سایر افق‌ها از ۱۵/۴ تا ۴۵/۴ درصد متغیر است و در بیشتر افق‌ها، سیلت جزء غالب را تشکیل می‌دهد. در خاک‌های مشابه از نظر مواد مادری ولی در شرایط گرم و مرطوب (۱۵، ۲۱ و ۳۹) و با وجود هوادیدگی بیشتر نسبت به منطقه مورد مطالعه، شن بخش غالب بافت خاک است. به عنوان مثال، در تایوان، مقدار شن خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های فوق‌بازی ۴۳ تا ۸۰ درصد متغیر است (۱۵). به علاوه در سرپنتینیت‌های گسل نائین (۳۵) که بخشی از مناطق خشک و کم‌باران را شامل می‌شوند، شن بخش غالب بافت خاک را تشکیل می‌دهد.

خاک‌خاکی اول و سوم به دلیل این که ضخامت کافی برای تشکیل افق مشخص ژپسیک را داشته‌اند در رده اریدی-سولز و خاک‌خاکی دوم به دلیل ناپایدار بودن موقعیت آن به دلیل شیب زیاد در رده انتی-سولز قرار می‌گیرند. نوع افق‌ها، ضخامت کم سولوم (مجموع افق‌های بالاتر از C) و ضخامت کم بخش هوادیده تا سنگ بستر هر خاک‌خاکی، نشان می‌دهد که خاک‌ها در هر سه بخش ردیف پستی و بلندی مورد مطالعه، تکامل چندانی ندارند که با توجه به اقلیم خشک منطقه قابل توجیه است. در مناطق گرم و مرطوب تایوان (۱۵)، پرتغال (۸) و برزیل (۲۱)، خاک‌های مطالعه شده در قسمت‌های مختلف کاتناهای سنگ‌های فوق‌بازی، ضخامت سولوم از یک متر بیشتر است و حتی به بیش از دو متر نیز می‌رسد و دارای افق‌های آرچیلیک و اکسیک هستند؛ در حالی که ضخامت سولوم در خاک‌های ردیف پستی و بلندی مورد مطالعه در خاک‌خاکی ۳ به ۴۵ سانتی‌متر می‌رسد و افق کلسیک، حداکثر فرایند خاک‌سازی در خاک‌های مورد مطالعه است. مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب از ۵/۱ تا ۳۰ درصد و گچ از ۵/۹ تا ۴۰/۱ درصد متغیر است که با توجه به این که سنگ‌های فوق‌بازی، ذاتاً فاقد این کانی‌ها هستند و هوادیدگی آن‌ها نیز کم است، تنها دلیل وجود این کانی‌ها در خاک، اضافه شدن از خارج از سیستم خاک است. حسنی نکو و همکاران



شکل ۲- نمایش شماتیک خاکرها بر روی ردیف پستی و بلندی مورد مطالعه
Figure 2- Schematic representation of soil profiles along studied toposequence

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرها

Table 1- Some physicochemical characteristics of studied soil profiles

خاکرخ Profile	افق Horizon	عمق Depth (cm)	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	EC (dSm ⁻¹) 1:2 آب: خاک	pH 1:2 آب: خاک	مواد آلی OM	گچ Gypsum	CCE
			%					%		
قله شیب (Summit) Xeric Haplogypsis										
۱	A	0-15	15.2	53.3	31.5	0.3	8	0.8	13.6	10.6
	Bcky	15-25	10.4	44.2	45.4	0.2	8.1	0.4	29.3	14.9
	Cry	25-60	6.6	.33	63.1	0.2	8.1	0.3	40.1	12.6
	R	60 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-
شیب پستی (Backslope) Lithic Xeric Torriorthents										
۲	A	0-15	11	49	40	0.3	8	0.6	5.9	10.6
	Crk* (سفید)	15-20	21.2	52.1	26.7	0.2	8.2	0.7	11	30
	Crk (قرمز)		26	48.6	25.4	0.2	8.1	0.5	20.2	13.6
	R	20 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-
پای شیب (Footslope) Lithic Calcigypsis										
۳	A	0-20	11.8	72.8	15.4	0.3	8	1.2	6	5.1
	Bcky	20-45	5.9	63.9	30.2	0.3	8.1	0.2	13.5	10.6
	R	45 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-

Crk* یک افق ترکیبی است که از دو بخش مجزای سفید و قرمز تشکیل شده است.

*Crk is a combination horizon that composed of two separated white and red parts.

بخشی که خاک آن به دلیل مقدار زیاد کربنات کلسیم، رنگ آن سفید شده است و بخش دیگر که خاک آن به قرمزی می‌گراید. به عبارت دیگر، این افق به دلیل وجود بخش‌های مجزا از نظر رنگ، یک نوع افق ترکیبی^۱ است. در این خاکرخ، سنگریزه‌ها و تخته‌سنگ‌ها، دارای پوششی کاملاً مشخص از اکسیدهای آهن هستند که نشان از شرایط

با توجه به وضعیت رسوبات بادرفتی در منطقه (۳۱) می‌توان گفت که اضافه شدن رسوبات بادرفتی به خاک، علاوه بر افزایش گچ و آهک در خاک، سبب افزایش سیلت در خاک نیز شده است. از سمت قله شیب به سمت پای شیب، از مقدار شن کاسته شده و بر مقدار سیلت افزوده می‌شود که بر اساس جهت حرکت مواد و انتقال مواد ریزتر به سمت پایین شیب، منطقی به نظر می‌رسد.

افق Crk در خاکرخ ۲، دو بخش کاملاً متفاوت را نشان می‌دهد.

1- Combination horizon

گرم بر کیلوگرم) و بیشترین مقدار آن در پای شیب (۳۰ گرم بر کیلوگرم) می‌باشد که احتمالاً مقدار کم این ویژگی در قله شیب به دلیل انتقال مواد از قله شیب به سمت پایین دست شیب می‌باشد. در خاک‌های سرپنتینیت کوه‌های کلامس ایالات متحده (۷)، میزان Fe_d در مناطق مختلف با دامنه بارندگی ۳۲۰۰-۴۰۰ میلی‌متر در سال یا به عبارت دیگر، در دو اقلیم خشک و مرطوب به ترتیب ۱۵ و ۲۷۰ گرم بر کیلوگرم گزارش شد. باید در نظر داشت که اکثر مطالعات انجام شده در مورد تغییرات Fe_d در خاک‌های فوق‌بازی در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب جهان بوده است (۱۵ و ۳۴) و به‌طور قابل توجهی، اطلاعات کمی در رابطه با میزان و چگونگی توزیع Fe_d در خاک‌های فوق‌بازی در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد (۵ و ۷). اگرچه خاک‌های فوق‌بازی مناطق خشک به دلیل هوادیدگی کمتر، میزان Fe_d کمتری نسبت به خاک‌های مشابه مناطق معتدل و مرطوب دارند؛ اما بیشتر از برخی خاک‌های تشکیل شده بر روی مواد مادری فاقد کانی‌های سرشار از آهن و منیزیم (مانند هورنبلند، الیوین و پیروکسن) است (۱۱ و ۲۷). وجود اکسیدهای آهن به‌صورت لایه‌ای و لکه‌ای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه را پوشانده‌اند و به سادگی در بازدیدهای صحرائی قابل مشاهده است که نشان‌دهنده هوادیدگی سریع کانی‌های آهن‌دار در سطح سنگ‌های فوق‌بازی و وارد شدن آنها به خاک است. الکساندر (۴) بیان نمود در پریدوتیت‌ها، سهم بیشتر Fe در کانی الیوین نهفته است همان‌طور که این کانی نسبتاً زود هوادیده می‌شود، به سرعت Fe را آزاد و اکسید می‌کند؛ در مقابل بیشترین مقدار Fe در پریدوتیت سرپنتینیتی شده در مگنتیت است که نسبت به الیوین به هوادیدگی مقاوم‌تر است.

مناسب هوادیدگی دارد. به نظر می‌رسد در این خاکرخ که در بخش شیب پشتی قرار دارد، آب و مواد انتقال یافته از بخش‌های بالاتر در بین شکاف و ترک‌های سنگ‌ها در این خاک نفوذ کرده‌اند. پوشیده شدن سنگ‌ها توسط بخش ریز، وجود کربنات‌ها به‌صورت پندانت و مقدار زیاد کربنات کلسیم و همچنین رس بیشتر در افق Crk (جدول ۱) می‌تواند دلیلی بر این ادعا باشد.

دامنه تغییرات pH در تمامی خاک‌ها تقریباً یکسان است (جدول ۱) که تأثیر حضور کربنات‌ها را برای این خصوصیت خاک نشان می‌دهد. میزان هدایت الکتریکی که در نسبت دو به یک آب به خاک اندازه‌گیری شده است با توجه به زه‌کشی مناسب خاک‌ها و موقعیت آن‌ها کمتر از ۱ دسی‌زیمنس بر متر است. مقدار کربن آلی در خاک‌های مطالعه شده از ۰/۲ تا ۱/۲ متغیر است.

اکسیدهای آهن آزاد

آهن قابل استخراج با سترات-دی-تیونات شامل آهن در پیوند با ماده آلی، آهن بی‌شکل و آهن بلورین است. بیشترین مقدار Fe_d با غلظت ۶/۸ گرم بر کیلوگرم در بخش قرمز رنگ افق Crk خاکرخ ۲ است که از مقایسه نتایج Fe_o می‌توان بیان کرد که اکسیدهای آهن بلورین سهم بیشتری را نسبت به اکسیدهای آهن بی‌شکل به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲). با مقایسه منابع علمی موجود در رابطه با خاک‌های فوق‌بازی در سطح جهان، چنین بر می‌آید که مقدار Fe_d در خاک‌های مورد مطالعه بسیار کمتر از خاک‌های مشابه می‌باشد (۵، ۱۶، ۳۴). مطالعات پژوهشگران (۱۵) در طول یک کاتنا در خاک‌های فوق‌بازی تایوان نشان داد که کمترین مقدار Fe_d در قله شیب (یک

جدول ۲- غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در خاکرخ‌ها

Table 2- Concentration of measured elements in soil profiles

خاکرخ Profile	افق Horizon	عمق Depth (cm)	Ca/Mg	Ni	Cr	Mn	Fed	Feo	Feo/Fed	Fed-Feo/Fed
%										
(Summit) قله شیب										
۱	A	0-15	17.8	57.7	42.2	515.2	5	0.19	0.037	0.96
	BCKy	15-25	11.9	52.6	35.2	415.2	3.5	0.03	0.008	0.99
	Cry	25-60	12.3	60.7	35.6	621.5	5.1	0.09	0.018	0.98
	R	60 ⁺	-	29.4	90.1	143.4	-	-	-	-
(Backlope) شیب پشتی										
۲	A	0-15	33.3	108.8	49.1	535	4.6	0.21	0.046	0.95
	Crk* (White) (سفید)	15-20	18.3	312.5	135.3	375.3	3.2	0	0.017	0.98
	Crk (Red) (قرمز)		16.7	160.5	82.9	628.9	6.8	0.2	0.029	0.97
	R	20 ⁺	-	268.2	117.2	355.7	-	-	-	-
(Footslope) پای شیب										
۳	A	0-20	6.3	163.4	109.1	456.1	5.3	0.2	0.038	0.96
	BCKy	20-45	6.3	191.8	127	408.1	4.8	0.1	0.021	0.98
	R	45 ⁺	-	295.7	131	337.7	-	-	-	-

قبلی بر اساس مورفولوژی خاکها و مقدار شکل‌های آهن بحث شد. بیشتر مطالعات انجام شده در این زمینه در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب جهان بوده است؛ حال این که منطقه مطالعاتی در شرایط خشک واقع شده است. آنور و همکاران (۴۹) بارش سالانه و میانگین دمای هوا را به عنوان عوامل مؤثر بر مقدار Ni در خاک‌های سرپنتین برشمردند؛ چنان‌که تأثیر بیشتر این دو عامل را در اقلیم‌های مدیترانه‌ای نسبت به اقلیم‌های معتدل نیمه خشک قاره‌ای بیان کردند. عامل دوم به دلیل حضور مواد با درفتی می‌باشد. اضافه شدن مقدار قابل توجه کربنات‌ها، گچ و ذرات در حد و اندازه سیلت می‌تواند سبب رقیق شدن غلظت عناصر در خاک شود. عامل سومی نیز مطرح است و آن این که مقدار این عناصر در سنگ‌های مورد مطالعه کم است و مقایسه با سنگ‌های فوق‌بازی دیگر می‌تواند این مطلب را روشن کند. به عنوان مثال، مقدار کل Ni و Cr در نمونه سنگی از یک کاتنای فوق‌بازی در فرانسه به ترتیب ۲۰۵۹ و ۱۷۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (۱۶). تفاوت در غلظت‌های این عناصر در کاتنای فرانسه و ردیف پستی و بلندی مورد مطالعه به نوع سنگ فوق‌بازی اشاره می‌کند. سنگ تشکیل شده بر کاتنای فرانسه پریدوتیت سرپنتینیته شده است؛ حال این که هورنبلندیت سنگ مادری منطقه مطالعاتی را تشکیل می‌دهد. پریدوتیت یک سنگ فوق‌بازی است که شامل بیش از ۴۰ درصد الیومین می‌باشد؛ اما سنگ فوق‌بازی که عمدتاً از هورنبلند تشکیل شده و حاوی کمتر از ۴۰ درصد الیومین باشد، هورنبلندیت نامیده می‌شود. تفاوت در نوع کانی سازنده این سنگ‌ها می‌تواند بر غلظت عناصر مؤثر باشد چنان‌که هورنبلند نسبت به الیومین، مقاومت بیشتری به فرآیند هوازدگی دارد یا به عبارت دیگر، الیومین زودتر از هورنبلند تحت دگرسانی قرار می‌گیرد؛ ضمن این که کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های فوق‌بازی مقدار زیادی از عناصر Ni و Cr را طی عمل سرپنتینیته شدن در خود جای می‌دهند.

نکته جالب توجه، رابطه نزدیک تغییرات Ni با Cr و Fe_d با Mn است که نشان از عوامل یکسان در تغییرات آنها دارد؛ به طوری که رابطه Ni با Cr و هم‌چنین رابطه Mn و Fe_d مستقیم است (شکل ۳، الف و ب). پژوهشگران بر این باورند که منگنز به‌طور عمده با اکسیدها یا (اکسی) هیدروکسیدها ترکیب می‌شود، در حالی که Ni در ساختار سیلیکات‌ها و اسپینل‌ها قرار دارد (۴۴). بنابراین، حضور بیشترین مقدار Mn در بخش قرمز رنگ افق Crk خاکرخ ۲ قابل توجه است. کیلاد و همکاران (۱۴) بیان نمودند که Ni، Cr و Mn در سنگ‌های سرپنتینیته در کانی‌های سرپنتین و کلینوکلر حضور دارند؛ بدین ترتیب که در مراحل اولیه هوازدگی، Ni و Cr به ترتیب در کانی‌های ثانویه از قبیل مونت‌موریلونیت آهن‌دار (حاصل از سرپنتین) و ورمیکولیت تری‌اکتاهدرال (حاصل از کلریت) متمرکز می‌شوند؛ در حالی که Mn عمدتاً در اکسیدهای ثانویه تجمع می‌یابد.

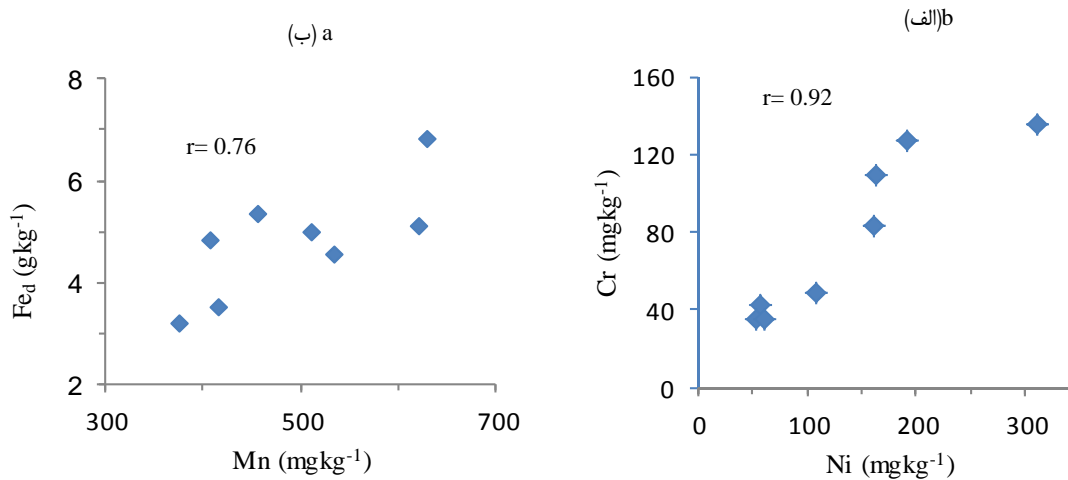
آهن قابل استخراج با اگزالات آمونیوم (Fe_o) مقادیر بیشتری را در افق‌های سطحی نشان می‌دهد (جدول ۲)، که از دلایل آن می‌توان به امکان هوازدگی بیشتر کانی‌های اولیه در افق‌های سطحی و وجود ماده آلی بیشتر که مانع از تبلور آهن بی‌شکل می‌شود اشاره کرد (۴۷). آهن قابل استخراج با اگزالات آمونیوم شامل آهن در پیوند با ماده آلی و آهن غیر بلورین است و با کاهش میزان ماده آلی از میزان آن کاسته می‌شود. در برخی افق‌ها از جمله Crk قرمز رنگ خاکرخ ۲، بر خلاف کاهش ماده آلی در افق‌های زیرین، افزایش Fe_o را مشاهده می‌کنیم (جدول ۲) که علت آن را می‌توان وجود شرایط کاهشی تر افق‌های زیرین دانست که به دلیل رس بالا، آب در آن‌ها تجمع می‌یابد. کورنل و شورتمن (۱۷) بیان داشتند که شرایط کاهشی موجب ناپایداری قسمتی از شکل‌های بلورین آهن شده و در این شرایط، شکل‌های غیربلورین آهن افزایش می‌یابند.

مقدار مطلق Fe_d نمی‌تواند نشانه‌ای از درجه تکامل باشد و شاخص Fe_d-Fe_o/Fe_d برای مقایسه هوازدگی و تکامل افق‌ها مناسب‌تر است (۵۲). نسبت تقریباً ثابت Fe_d-Fe_o/Fe_d در این خاک‌ها (جدول ۲) نشان‌دهنده تکامل یکسان خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد. در هر سه خاکرخ کاهش Fe_o/Fe_d از سطح به عمق مشاهده می‌شود. کاهش این نسبت می‌تواند بیان‌گر تبدیل اکسیدهای آهن بی‌شکل به اکسیدهای آهن با تبلور خوب باشد (۳۱). متوسط غلظت هر دو شکل آهن از قله شیب به سمت پای شیب افزایش می‌یابد که با نتایج چنگ و همکاران (۱۵) در خصوص Fe_d هماهنگی دارد.

تغییرات عناصر مورد مطالعه

بیشترین غلظت Ni و Cr به ترتیب با مقادیر ۳۱۲/۵ و ۱۳۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به بخش سفید رنگ افق Crk از خاکرخ ۲ تعلق دارد (جدول ۲)؛ در حالی که بخش قرمز رنگ از همین خاکرخ بیشترین مقدار Mn و Fe_d را به ترتیب با غلظت ۶۲۸/۹ میلی‌گرم و ۶/۸۱ گرم بر کیلوگرم دارد. در نمونه سنگی از خاکرخ ۲، غلظت عناصر Ni، Cr و Mn به ترتیب ۲۶۸/۲، ۱۱۷/۲ و ۳۵۵/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. در بخش قرمز رنگ افق Crk مقدار Mn و شکل‌های مختلف آهن بیشتر از سایر افق‌ها است.

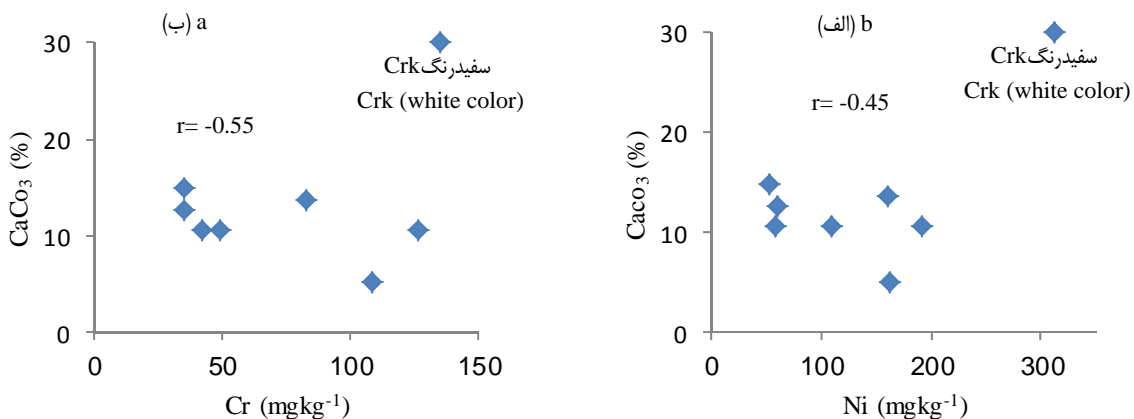
در خاک‌های تشکیل شده بر روی سرپنتینیته غرب ایران، غلظت کل عناصر Ni، Cr و Mn با روش تیزاب سلطانی به ترتیب حدود ۱۲۴۰، ۳۶۵ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۷). علاوه بر این، مقدار این عناصر در خاک‌های تشکیل شده بر سرپنتینیته‌های سرتاسر جهان، بسیار بیشتر از مقادیر به‌دست آمده در این پژوهش می‌باشد (۷، ۱۴ و ۱۵). در رابطه با مقادیر کم این عناصر در مقایسه با کشورهای مختلف، می‌توان سه عامل را در نظر گرفت. عامل اول، هوازدگی کم خاک‌های منطقه است که در بخش‌های



شکل ۳- ارتباط غلظت الف) Ni با Cr و ب) Mn با Fe_d در خاک‌های مورد مطالعه
Figure 3- Relationship between concentrations of a) Fe_d and Mn and b) Ni and Cr

مقدار Ni و Cr در مقابل کربنات کلسیم (شکل ۴) نشان می‌دهد که صرف‌نظر از افق Crk، مقدار این دو عنصر با افزایش کربنات کلسیم، کاهش پیدا کرده است. نقطه مربوط به افق Crk به صورت یک نقطه پرت در نمودار دیده می‌شود. تجمع زیاد کربنات کلسیم ثانویه زیاد در این افق، نشان‌دهنده شسته شدن مواد و آب از بالادست و انتقال آن‌ها در این افق است که شرایط را برای هوادیدگی بیشتر و آزاد شدن Ni و Cr فراهم کرده است.

کانی‌های دارای Cr در سنگ‌های فوق‌بازی عمدتاً شامل اکسیدهایی از قبیل کرومیت و مگنتیت و به مقدار کمتری شامل سیلیکات‌هایی از قبیل سرپنتین و پیروکسن هستند (۲۲، ۴۰، ۴۱ و ۴۲). کانی‌های مگنتیت و سرپنتین مقدار زیادی از Cr را طی عمل سرپنتینیته شدن در خود جای می‌دهند (۴۰ و ۴۱). بیشترین مقدار Ni و Cr با غلظت ۳۱۲/۵ و ۱۳۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، مربوط به بخش سفید رنگ افق Crk خاکرخ ۲ است که بیشترین مقدار کربنات کلسیم را دارد (جدول ۲). نمودار پراکنش



شکل ۴- نمودار پراکنش مقدار Ni و Cr در مقابل کربنات کلسیم معادل (غلظت این عناصر در افق Crk سفید رنگ خاکرخ ۲ به صورت نقطه پرت در نمودارها مشخص است و به همین دلیل در محاسبه ضریب همبستگی استفاده نشدند)

Figure 4- Scatterplot concentrations of Ni and Cr versus calcium carbonate equivalent (concentration of these elements in Crk with white color of profile 2 are not used for calculation correlation coefficient.)

عنصر با شن، رابطه معکوس و با سیلت، رابطه مستقیم دارد (شکل ۵). این واقعیت به دلیل هوادیدگی کم این خاک‌ها است. معمولاً Ni و Cr در سنگ‌های فوق‌بازی به ترتیب در کانی‌هایی مانند سرپنتین و کرومیت قرار دارند که به هوادیدگی شیمیایی مقاوم هستند (۱۰ و ۱۵). ارتباط مستقیم تغییرات این دو عنصر با مقدار سیلت در منطقه مورد مطالعه، نشانگر آن است که این کانی‌ها بیشتر در بخش سیلت قرار دارند؛ اما اثبات این موضوع، نیاز به تحقیق کانی‌شناسی دقیق با استفاده از میکروسکوپ الکترونی و پراش پرتو ایکس دارد. اکستا و همکاران (۱) نیز در جنوب شرقی اسپانیا در شرایط نیمه‌خشک پس از بخش‌بندی فیزیکی در ماده مادری بازالت، بیشترین مقدار Ni و Cr را در بخش شن گزارش کردند.

نتیجه‌گیری کلی

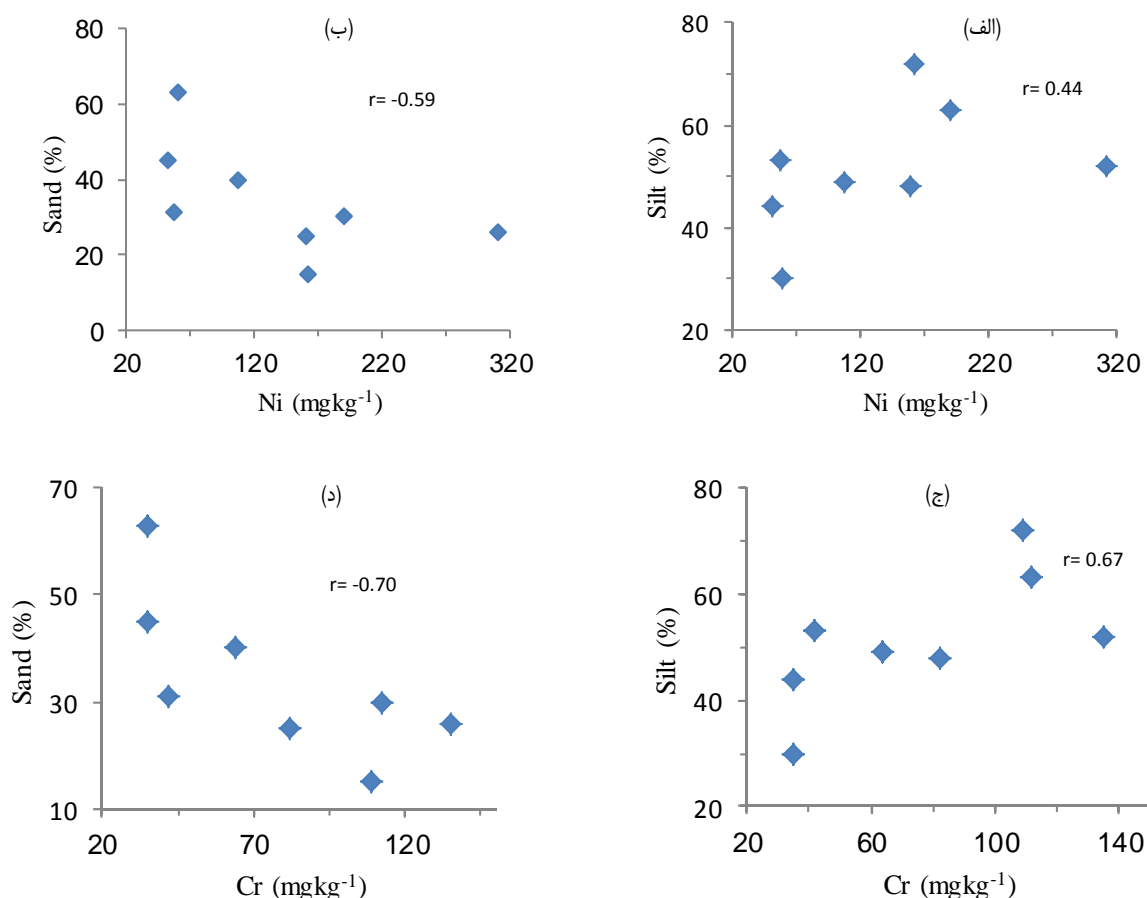
نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که خاک‌های تشکیل شده بر سنگ‌های فوق‌بازی غرب مشهد تکامل چندانی ندارند که با توجه به خشک بودن منطقه مورد مطالعه دور از انتظار نیست. ضخامت کم سولوم و مقدار کم Fe_d نسبت به خاک‌های مشابه در مناطق مرطوب و نسبت کم Fe_d-Fe_o/Fe_d مؤید تکامل کم خاک‌های مورد مطالعه است. هوادیدگی کم خاک‌های مورد مطالعه باعث شده است که دامنه مقدار Ni و Cr در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب با مقادیر ۳۱۲/۵-۵۲/۶ و ۴۲/۲-۱۳۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کمتر از خاک‌های مشابه در مناطق مرطوب باشد. از سوی دیگر، اضافه شدن مواد بادرفتی حاوی گچ و کربنات زیاد، باعث رقیق شدن مقدار این عناصر در خاک می‌گردد. اضافه شدن این مواد باعث افزایش نسبت Ca/Mg تا ۳۳/۳ شده است. تغییرات هماهنگ و مستقیم Ni و Cr و Mn و Fe_d نشان‌دهنده ژئوشیمی و روند هوادیدگی مشابه این عناصر در خاک است. مقدار Ni و Cr در این خاک‌ها با عمق، ارتباط مستقیمی دارد ضمن این‌که غلظت این عناصر از قله شیب به سمت پای شیب، روند افزایشی داشت که به موقعیت ژئومورفیک نسبت داده می‌شود.

در مجموع می‌توان گفت که مقادیر کل عناصری از قبیل Ni، Cr و Mn با عصاره‌گیر تیزاب سلطانی در خاک‌های فوق‌بازی غرب مشهد زیاد است و با توجه به این‌که مقادیر کل این عناصر قابل جذب گیاه نیست؛ برای این امر پیشنهاد می‌شود که در آینده مطالعاتی با عصاره‌گیرهای مختلف همراه با کشت‌های گلدانی انجام شود.

سنگ‌های آذرین فوق‌بازی (هورنبلندیت)، عناصر اصلی غذایی کمی دارند و در مقابل شامل کانی‌های سرشار از آهن و منیزیم هستند (۲۸). به‌واسطه منیزیم زیاد در مواد مادری این خاک‌ها، نسبت Ca/Mg بسیار کم در این خاک‌ها موضوعی بدیهی است. طبق مطالعات انجام شده پیرامون این خاک‌ها در کشورهای مختلف از قبیل امریکای شمالی (۶)، پرتغال (۸)، ایران (۳۵) و فرانسه (۱۶)، مقدار Ca/Mg به ترتیب کمتر از ۰/۶، ۱/۵، ۱/۵ و ۳/۳ می‌باشد؛ ولی در خاک‌های مطالعه شده این نسبت، بسیار زیاد و حتی تا ۳۳/۳ در افق A خاک‌رخ ۲ می‌رسد. همان‌گونه که در مطالب قبلی ذکر شد؛ کریمی و همکاران (۳۱) و حسنی نکو و همکاران (۲۶) در منطقه مورد مطالعه، فعالیت باد را عاملی برای توجیه حضور گچ و کربنات کلسیم در این خاک‌ها برشمردند و وجود این دو کانی باعث افزایش نسبت Ca/Mg می‌شود.

با توجه به مطالعاتی که چنگ و همکاران (۱۵) در یک کانتای تحت اقلیم گرم و مرطوب با میزان بارندگی ۱۸۰۰ میلی‌متر در شرق تایوان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که موقعیت ژئومورفیک خاک در زمین‌نما، مهم‌ترین عامل در کنترل Ni و Cr است. غلظت این دو عنصر با توجه به روند عمق، متنوع بود اما میانگین غلظت از قله شیب به سمت پای شیب افزایش یافت. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، متوسط غلظت عناصر Ni و Cr از قله شیب به سمت پای شیب روند افزایشی دارد (جدول ۲). دلیل آن، این است که سیلاب‌ها موادی را که از بخش‌های بالادست فرسایش داده و با خود حمل نموده‌اند، در بخش پای شیب در روی خاک‌هایی که در مرحله ابتدایی تحول بوده‌اند، نهشته می‌کنند. تغییرات Ni و Cr در این ناحیه، تابعی از عمق خاک است؛ چنان‌که به ازای افزایش عمق خاک بر میزان این دو عنصر افزوده می‌شود. محمودی و همکاران (۳۵) در پژوهشی پیرامون رابطه میان مقدار Ni و Cr و عمق خاک در سرپنتینیت‌های گسل نائین اعلام نمودند که بین Ni و عمق خاک، ارتباط مستقیمی وجود دارد؛ در حالی که برای Cr رابطه معنی‌داری مشاهده نگردید. در خاک‌های سرپنتینیت کالیفرنیا، افق‌های B بیشترین غلظت Ni را دارند؛ حال این‌که افق‌های سطحی، Cr بیشتری را شامل می‌شوند (۲۴). حسنی نکو و همکاران (۲۵) با توجه به مطالعه‌ای که در سنگ‌های فوق‌بازی جنوب غربی مشهد انجام دادند، کاهش مقدار Ni در افق‌های سطحی را در مقایسه با مقدار زیاد آن در ماده مادری، اضافه شدن رسوبات بادرفتی منشأ گرفته از رسوبات ماری با Ni خیلی کمتر بیان کردند.

در خاک‌های مورد مطالعه بر خلاف مناطق مرطوب (۱۵) و (۳۹)، ارتباطی میان رس و Ni و Cr وجود ندارد. ولی مقدار این دو



شکل ۵- ارتباط میان Ni و Cr با اجزای سیلت و شن

Figure 5- Relationship among Ni and Cr with sand and clay fractions

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- Afshar Harb A., Aghanabati A., Majidi B., Alavai Tehrni A., Shahrabi M., Davoudzadeh M., and Navai I. 1986. Geological Quadrangle Map of Mashhad (scale 1 :250 000) . Ministry of Mine and Metals, Geological Survey of Iran.
- 3- Alavi, M. 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 983-992.
- 4- Alexander E. 2004. Serpentine soil redness, differences among peridotite and serpentinite materials, Klamath Mountains, California. *International Geology Review*, 46: 754-764.
- 5- Alexander E. 2010. Old Neogene summer-dry soils with ultramafic parent materials. *Geoderma*, 159: 2-8.
- 6- Alexander E., and DuShey J. 2011. Topographic and soil differences from peridotite to serpentinite. *Geomorphology*, 135: 271-276.
- 7- Alexander E. 2014. Arid to humid serpentine soils, mineralogy, and vegetation across the Klamath Mountains, USA. *Catena*, 116: 114-122.
- 8- Alves S., Trancoso M., Gonçalves M., and Santos M. 2011. A nickel availability study in serpentinised areas of Portugal. *Geoderma*, 164: 155-163.
- 9- Artieda O., Herrero J., and Drohan P. 2006. Refinement of the Differential Water Loss Method for Gypsum Determination in Soils. Published by Soil science Society of America Journal, 1932-1935.
- 10- Becquer T., Quantin S., Rotté-Capet C., Ghanbaja J., Mustin C., and Herbillon A. 2006. Sources of trace metals in

- Ferralsols in New Caledonia. *European Journal of Soil Science*, 57: 200-213.
- 11- Bera R., Seal A., Banerjee M., and Dolui A. 2005. Nature and profile distribution of iron and aluminum in relation to pedogenic processes in some soils developed under tropical environment in India. *Environmental Geology*, 47: 241-245.
 - 12- Bucher K., and Grapes R. 2011. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York.
 - 13- Burt R. 2004. *Soil Survey Laboratory Method Manual*. Soil Survey Investigations Report, No. 42. Version 4.0, USDA-NRCS, Lincoln, Nebraska.
 - 14- 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.
 - 15- Cheng C., Shih-Hao J., Yoshiyuki L., Heng T., Ying-Hsiou C., and Zeng-Yei H. 2011. Pedogenic chromium and nickel partitioning in serpentine soils along a toposequence. *Soil Science Society of America Journal*, 75: 659-668.
 - 16- Chardot V., Echevarria G., Gury M., Massoura S., and Morel J.L. 2007. Nickel bioavailability in an ultramafic toposequence in the Vosges Mountains (France). *Plant and Soil*, 293: 7-21.
 - 17- Cornell R. and Shwertmann U. 2003. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses*. 2nd ed. VCH, Weinheim, Germany.
 - 18- Day P. 1965. Particle fractionation and particle-size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis*, Part 1; edition, Black, C.A. American Society of Agronomy: Madison, WI., Pp: 545-567.
 - 19- Dzemua G., Mees F., Stoops G., and Ranst E. 2011. Micromorphology, mineralogy and geochemistry of lateritic weathering over serpentinite in south-east Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*, 60: 38-48.
 - 20- Eze p., Udeigwe T., and Stietiya M. 2010. Distribution and potential source evaluation of heavy metals in prominent soils of Accra Plains, Ghana. *Geoderma*, 156: 357-362.
 - 21- Garnier J., Quantin C., Guimarães E., Garg V.K., Martins E.S., and Becquer T. 2009. Understanding the genesis of ultramafic soils and catena dynamics in Niquelândia, Brazil. *Geoderma*, 151: 204-214.
 - 22- Gasser U., Juchler S., Hobson W., and Sticher H. 1994. The fate of chromium and nickel in subalpine soils derived from serpentinite. *Canadian Journal of Soil Science*, 75: 187-195.
 - 23- Ghaderian S., Mohtadi A., Rahiminejad M., and Baker A. 2007. Nickel and other metal uptake and accumulation by species of *Alyssum* (Brassicaceae) from the ultramafics of Iran. *Environmental Pollution*, 145: 293-298.
 - 24- Gough, L., Meadows, G., Jackson, L. and Dudka, S. 1989. Biogeochemistry of a Highly Serpentinized, Chromite Rich Ultramafic Area. Tehama County, California. U.S. Geol. Soc. Bull. No. 1901. U.S. Dep. of Interior, Washington DC.
 - 25- Hasani Nekou A., Karimi A., Haghnia G.H., and Mahmoudy Gharai M.H. 2014. Effect of parent materials and pedogenic processes on the distribution of Pb, Zn, Cu, and Ni in the residual soils of Binaloud zone, western Mashhad. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 18: 123-134.
 - 26- Hasani Nekou A., Karimi A., Haghnia G.H., and Mahmoudy Gharai M.H. 2014. Investigating the concepts of residual soils based on evolution of soils derived from different parent materials in Binaloud zone, Mashhad. *Journal of Water and Soil*, 26: 460-470.
 - 27- Hu X., Xu L., Pan Y., and Shen M. 2009. Influence of the aging of Fe oxides on the decline of magnetic susceptibility of the Tertiary red clay in the Chinese Loess Plateau. *Quaternary International*, 209: 22-30.
 - 28- Huggett J. H. 2007. *Fundamentals of Geomorphology*. Second Edition, Simultaneously published in the USA and Canada by Routledge.
 - 29- ISO/CD 11466. 1995. *Soil Quality-Extraction of Trace Metals Soluble in Aqua-Regia*. The International Organization for Standardization.
 - 30- Jelenska M., Hasso-Agopsowicz A., Kadzialko-Hofmohl M., Sukhorada A., Bondar K., and Matviishina Z. 2008. Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from UKRAINE and POLAND as indicators of pedogenic processes. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 52: 255-270.
 - 31- Karimi A., Khademi H., Kehl M., and Jalalian A. 2009. Distribution, lithology and provenance of peridesert loess deposits in northeastern Iran. *Geoderma*, 148: 241-250.
 - 32- Karimpour M.H., Farmer L., Ashouri C., and Saadat. S. 2006. Major, trace and REE geochemistry of paleo-tethys collision-related granitoids from Mashhad, Iran. *Journal of Sciences*, 17: 127-145.
 - 33- Lessovaia S., and Polekhovskiy Y. 2009. Mineralogical composition of shallow soils on basic and ultrabasic rocks of East Fennoscandia and of the Ural Mountains, Russia. *Clays and Clay Minerals*, 4: 476-485.
 - 34- Lessovaia S., Dultz S., Polekhovskiy Y., Krupskaya V., Vigasina M., and Melchakova L. 2012. Rock control of pedogenic clay mineral formation in a shallow soil from serpentinous dunite in the Polar Urals, Russia. *Applied Clay Science*, 64: 4-11.
 - 35- Mahmoodi Meymand S., Esfandiari M., and Zarin Kafsh M. Study effects of Naein-Baft fault serpentinite (Shahrabak Region) on some physico-chemical properties of affected soil and water. *Journal of Agricultural Science*, 12: 767-777.

- 36- McGrath S.P. 1995. Chromium and Nickel. In: B.J. Alloway (ed.) Heavy Metals in Soils. 2nd. Blackie Academic and Professional, London. P. 152–178.
- 37- McKeague J., and Day J. 1966. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. Journal of Soil Science*, 46: 13-22.
- 38- Mehra O., and Jackson M. 1960. Iron oxides removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner*, 7: 317–327.
- 39- Nael M., Khademi H., Jalalian A., Schulin R., Kalbasi M., and Sotohan F. 2009. Effect of geo-pedological conditions on the distribution and chemical speciation of selected trace elements in forest soils of western Alborz, Iran. *Geoderma*, 152: 157-170.
- 40- Oze C., Fendorf S., Bird D., and Coleman R.G. 2004a. Chromium geochemistry of serpentine soils. *International Geology Review*, 46: 97–126.
- 41- Oze C., Fendorf S., Bird D., and Coleman R. 2004b. Chromium geochemistry in serpentinized ultramafic rocks and serpentine soils from the Franciscan complex of California. *American Journal of Science*, 304:67–101.
- 42- Quantin C., Ettl V., Garnier J., and Sebek O. 2008. Sources and extractability of chromium and nickel in soil profiles developed on Czech serpentinites. *Comptes Rendus Geoscience*, 340:872–882.
- 43- Page A., Miller R., and Keeney D. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, second ed. Agronomy Monographs, 9. ASASSA, Madison.
- 44- Rajapaksha A., Vithanage M., and Oze C. 2012. Nickel and manganese release in serpentine soil from the Ussangoda Ultramafic Complex, Sri Lanka. *Geoderma*, 190: 1-9.
- 45- Raous S., Echevarria G., Sterckeman T., Hanna K., Thomas F., Martins E.S., and Becquer T. 2013. Potentially toxic metals in ultramafic mining materials: identification of the main bearing and reactive phases. *Geoderma*, 192: 111–119.
- 46- Sahebjam A.A. 2002. Final report of detailed soil survey of Torogh agricultural research site, Khorasan Razavi province. Technical Report No. 1146, Soil and Water Research Institute. (in Persian).
- 47- Schwertmann U., and Taylor R. 1989. Iron Oxides. p.380-427. In Dixon, B.J. and Weed, S.B. (ed.). *Mineral in Soil Environments. Part 8*. 2nd ed. No.1. SSSA, Madison, WI.
- 48- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11th edition, USDA-NRCS, Washington DC.
- 49- Unver I., Madenoglu S., Dilsiz A., and Namli A. 2013. Influence of rainfall and temperature on DTPA extractable nickel content of serpentine soils in Turkey. *Geoderma*, 202/203: 203-211.
- 50- Vergouwen L. 1981. Eugsterite, a new salt mineral. *American Mineralogist*, 66:632-636.
- 51- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science Society of America Journal*, 37:29-38.
- 52- Zielhofer C., Espejo J.M.R., Granados M.A.N., Faust D. 2009. Durations of soil formation and soil development indices in a Holocene Mediterranean floodplain. *Quaternary International*, 209: 44-65.

Variations of Ni, Cr and Mn Concentration in Soils Formed Along a Toposequence of Ultrabasic Rocks in Western Mashhad

S. Akbari¹- A. Karimi^{2*} - A. Lakzian³ - A. Fotovat⁴

Received: 29-04-2014

Accepted: 21-01-2015

Introduction: Parent materials as one of the main soil formation factors have a great impact on the concentration of heavy metals in the soil. Heavy metals are released to the soil during weathering and pedogenic processes. Ultrabasic rocks are known as the potential natural source of heavy metals, especially Ni, Cr and Mn in the soil. Average concentrations of Ni and Cr in the soils are 84 and 34 mg kg⁻¹, respectively; while, in soil derived from ultrabasic parent material, the concentration of these elements may reach up to 100000 mg kg⁻¹. Binaloud zone in northeastern composed of different geological materials. There is a narrow band of ophiolitic rocks in this zone that located along Mashhad city. The geochemical behavior of ultrabasic rocks and the associated soil have been frequently studied mostly in humid regions. But, there are a few research works done in arid environments. The objective of this study was to investigate the physical and chemical properties and concentrations of Ni, Cr and Mn in soils formed along a toposequence of ultrabasic rocks in western Mashhad.

Materials and Methods: The study area is located in the hilly land landscape of Binaloud zone in the Western part of Mashhad. Mean annual precipitation and temperature is 260 mm and 13.7 °C, respectively. Soil temperature and moisture regimes are thermic and aridic boarder on mesic, respectively. Studied soils developed on hornblendite rocks that are ultrabasic rocks with SiO₂ less than 45% and contain ferromagnesian minerals. A toposequence was selected and, three soil profiles on shoulder, backslope and footslope geomorphic positions were described according to key to soil taxonomy 2014 and the soil horizons were sampled. Air-dried samples were passed through 2 mm sieve and were used for laboratory analysis. Pseudo-total concentrations of Ni, Cr and Mn were extracted by aqua regia digestion procedure. Free iron oxides (Fed) and amorphous iron oxides (Feo) were extracted by citrate-bicarbonate-dithionite (CBD) and oxalic acid methods, respectively and were measured by atomic absorption spectroscopy. The soil was extracted by ammonium acetar 1N and concentration of Ca and Mg were measured by EDTA titrimetric method. Calcium carbonate equivalent, gypsum, pH, Sand, silt and clay fractions and soil organic materials were measured using custom laboratory methods.

Results and Discussion: Solum thickness of the studied soils is less than 45 cm. Calcification and gypification are the two main soil formation processes leading to formation of calcic (Bk) and gypsic (By) horizons. Calcium carbonate equivalent and gypsum contents in the studied soils varied from 5.1 to 30 and 5.9 to 40.1 %, respectively. Regarding the type of parent material, presence of large amounts of gypsum and carbonates can be attributed to aeolian addition to the soil system. The presence of discontinuous and thin loess deposits in the study area confirms the dustfall deposition. High amount of these minerals cause Ca/Mg ratio is up to 33.3. Concentration of Fed and Feo were less than 6.8 and 0.2 g kg⁻¹ reflecting weak wethering state of the soils. Morphological characteristics are the indications of weak soil development and weathering. Concentrations of Ni, Cr and Mn varied from 52.6 to 312.5, 35.2 to 135.3 and 375.3 to 628.9 mg kg⁻¹ that are low values in comparison to soils in humid regions due to weak soil weathering and eolian addition of materials containing gypsum and carbonates. The Ni and Cr contents increase from shoulder to foot slope. Direct and concordant variations of Ni with Cr and Mn with Fe_d indicate the similar mineralogy and trend of weathering of these elements. Regarding the high concentration of Ni and Cr in the studied soils, the bioaccessibility of these elements should be investigated.

Conclusion: Results of this study indicated the weak development of soil formed on ultrabasic rocks in the western Mashhad that was expected regarding the arid climate of the study area. Because of the low weathering status of the soil, the concentration of Ni, Cr and Mn were less than that of similar soils in humid areas. Also aeolian addition of carbonates and gypsum to the soil system dilutes the concentration of these elements. To evaluate risk assessment of Ni, Cr and Mn in the studied soils, successive extraction and pot experiments are suggested.

Keywords: Chromium, Nickel, Slope positions, Toposequence, Ultrabasic

1, 2, 3, 4- MSc. Student, Associate Professor, Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*- Corresponding Author Email: karimi-a@um.ac.ir)