

فاکتورهای تأثیرگذار بر توزیع برخی فلزات سنگین با شرایط ژئوپدولوژیکی متفاوت در خاک‌های اطراف زنجان

علی افشاری

دانشجوی دکتری، رشته خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان a.afshari66@yahoo.com

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی نقش فاکتورهای خاک‌سازی و شرایط مختلف ژئوپدولوژیکی بر توزیع و جزءبندی شیمیایی عناصر انجام گرفت. برای این منظور ۱۵ خاکرخ بر روی مواد مادری مختلف شامل گرانیت (Gr)، بازالت (Ba)، آندزیت (An)، پورفیریت (Pr)، توف‌های آتشفشانی (Tu)، سنگ آهک (Li)، کنگلومرا-شیل (Cg)، شیل (Sh)، فیلیت (Ph)، ماسه سنگ (Sa)، دولومیت (Do) و رسوبات آبرفتی (Qa) در اطراف زنجان حفر گردید. غلظت و توزیع عناصر Zn, Cd, Co, Cr و تا حدودی Pb بیشتر تحت کنترل فاکتورهای سنگ‌شناختی است، در حالی که عناصر Cu, Mn و Ni بیشتر تحت کنترل فرآیندهای بیوژئوشیمیایی قرار دارند. شدت تهی شدن عناصر به صورت $Zn > Co > Cd = Pb > Mn = Cr = Ni = Cu$ بدست آمد. در مراحل اولیه تشکیل خاک، جنس سنگ بستر و کانی‌های موجود در آن و در مراحل بعدی، فرآیندهای خاک‌سازی از قبیل آهک، اسیدپته، ماده آلی و رس باعث ایجاد الگوهای متفاوت غنی شدن - تهی شدن شده است. توزیع عناصر در خاک‌های انتی‌سولز، مالی‌سولز و اینسپتی‌سولز به ترتیب تحت تأثیر لیتولوژی مواد مادری، ماده آلی و توزیع مجدد آهک قرار دارد. در عصاره‌گیری متوالی، جزء باقیمانده جزء غالب در تمام عناصر بود. در مرتبه بعدی برای کبالت و نیکل، جزء اکسیدی، برای سرب، جزء کربناتی و برای مس و روی جزء آلی در اولویت قرار داشتند. فاکتور تحرک عناصر در افق سطحی خاکرخ‌های مختلف به صورت $Pb > Co > Ni > Cu > Zn$ بدست آمد. نتایج مربوط به عصاره‌گیری با DTPA عناصر مختلف برای سرب، مس، نیکل، روی و کبالت به ترتیب ۲/۰۴، ۱/۸۱، ۰/۸۴، ۰/۴۲ و ۰/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد که بیشترین مقادیر آن در افق سطحی خاک‌ها بود.

واژگان کلیدی: عناصر سنگین، شاخص غنی شدن، عصاره‌گیری متوالی، ژئوشیمی خاک، ماده مادری.

مقدمه

و مواد آلی، که این جابه‌جایی‌ها و تجمع‌ها از طریق فرآیندهای مهم خاک‌سازی از قبیل آبشویی (Leaching)، آبشستگی (Eluviation)، شور شدن (Salinization)، آهکی شدن (Calcification)، سیلیس‌زدایی (Podzolization)، انتقال آهن و هوموس (Ferralitization)، شرایط اکسایش و کاهش (Gleying) و انباشتگی مواد آلی می‌باشد (Alloway, 1990). فاکتورهای پدولوژیکی - زمین‌شناختی (Geo-pedological factors) علاوه بر اینکه غلظت کل عناصر را در خاک تعیین می‌کنند بلکه بر توزیع فرم‌های شیمیایی و زیست‌فراهمی آنها نیز تأثیر می‌گذارند. عناصر سنگین در خاک‌ها به فرم‌های شیمیایی مختلف حضور دارند. عناصر در سیلیکات‌ها، آلومینوسیلیکات‌ها و دیگر کانی‌های اولیه به فرم‌های

فرآیندهای پدولوژیکی و زمین‌شناختی بر فراوانی، توزیع و رفتار عناصر در محیط خاک‌های طبیعی تأثیر مهمی دارند. تجمع عناصر سنگین در خاک‌های درجا عمدتاً وابسته به نوع سنگ بستر، خاک‌های مشتق شده از مواد مادری و فاکتورهای خاک‌سازی فعال در آنها می‌باشد (Nael et al, 2009). با گذشت زمان و پیشرفت مراحل خاک‌سازی، تأثیر مواد مادری بر نگهداری عناصر سنگین در خاک کاهش می‌یابد (Zhang et al, 2002). بیشترین تأثیرات فرآیندهای خاک‌سازی در رفتار عناصر سنگین در دو مورد مهم می‌باشد؛ الف: آزاد کردن عناصر سنگین از مواد مادری از طریق هوازدگی ب: انتقال، تجمع و جذب عناصر به کمک کانی‌های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدها

جغرافیایی $48^{\circ} 19'$ و $48^{\circ} 53'$ در بخش مرکزی استان زنجان واقع شده است. متوسط ارتفاع استان از سطح دریا ۱۵۰۰ متر، تعداد روزهای یخبندان در طول سال ۱۱۵ روز و متوسط بارندگی آن بین ۳۳۰ تا ۳۶۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی در شمال شرقی منطقه (بخش‌های بالاتر از شهر زنجان و کوه‌های طارم) به ترتیب زیریک معمولی و فریجید و بخش‌های پایین‌تر به ترتیب زیریک خشک و مزیک می‌باشد. تشکیلات زمین‌شناسی منطقه زنجان متفاوت و متعلق به دوران‌هایی از پرکامبرین تا دوران سوم زمین‌شناختی است. در منطقه مطالعاتی سنگ‌های آذرین مربوط به دوره ائوسن-کامبرین (Cambrian-Eocene age)، سنگ‌های رسوبی مربوط به دوره ژوراسیک-کرتاسه (Jurassic-Cretaceous age) و رسوبات آبرفتی در دوره کواترنری می‌باشد (Stocklin et al, 1969). از بین مواد مادری عمده منطقه که از نظر ترکیب ژئوشیمیایی تفاوت داشتند، ۱۱ نوع مختلف شامل گرانتیت (Gr)، بازالت (Ba)، آندزیت (An)، پورفیریت (Pr)، توف‌های سبز آتشفشانی (Tu)، سنگ آهک (Li)، کنگلومرا-شیل (Cg)، شیل (Sh)، فیلیت (Ph)، ماسه سنگ (Sa) و دولومیت (Do)، با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات صحرائی انتخاب شد. همچنین ۴ خاکرخ بر روی رسوبات آبرفتی (Qa1 تا Qa4) که دارای کاربری کشاورزی بودند حفر گردید.

خاکرخ‌های حفر شده با توجه به استانداردهای مورد نظر (Schoeneberger et al, 2002) تشریح و افق‌های مشخصه و رده‌بندی آنها تا سطح گروه بزرگ، مطابق با معیارهای رده‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2010) تعیین گردید. از تمامی افق‌های ژنتیکی خاکرخ‌ها و همچنین سنگ بستر آنها (افق R) نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های سنگ برای تعیین غلظت کل عناصر سنگین به طور کامل آسیاب شدند. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل توزیع اندازه ذرات به روش پیپت، هدایت الکتریکی خاک (EC) و pH در سوسپانسیون ۲:۱ خاک به آب، مواد آلی خاک به روش والکی و بلک، کربنات

غیرمتحرک هستند که با هوادیدگی این کانی‌ها، برای گیاهان قابل جذب می‌شوند. بنابراین، تعیین فرم‌های شیمیایی عناصر در خاک‌ها اطلاعات مفید بیشتری از تحرک و زیست‌فراهمی آنها در اختیار ما قرار می‌دهد، نسبت به زمانی که تنها غلظت کل را داشته باشیم. روش عصاره‌گیری متوالی برای پیش‌بینی اثرات طولانی مدت پتانسیل رهاسازی عناصر سنگین در آلودگی رسوبات و خاک‌ها به کار رفته است. همچنین برای تعیین تأثیر کنترل‌کننده‌های پدولوژیکی بر توزیع عناصر سنگین و جزءبندی آنها در خاک‌ها استفاده شده است (Blaser et al, 2000).

در کشور ما، در مطالعاتی که در رابطه با فلزات سنگین انجام می‌شود، عموماً به تأثیر مواد مادری و نقش پیدایش و تشکیل خاک و فرآیندهایی که باعث غنی‌شدن و یا تهی‌شدن فلزات سنگین از خاک می‌گردد، توجه کمتری می‌شود. در این مطالعات اغلب خاک سطحی مورد مطالعه قرار می‌گیرد و کل نیمرخ خاک در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین در این مطالعات تغییرات طبیعی عناصر سنگین که به خاطر اثرات سنگ مادر و تکامل خاک رخ می‌دهد، نادیده گرفته می‌شود. از این رو، استفاده از شاخص‌هایی که بتواند آثار ژئوپدولوژیک را در توزیع فلزات سنگین در خاک‌های مختلف لحاظ نماید، می‌تواند جنبه‌های تازه‌تری از رفتار این عناصر را توضیح دهد. یکی از این شاخص‌ها، عامل غنی‌شدن (Enrichment factor) می‌باشد که غلظت فلزات سنگین در افق‌های ژنتیکی را نسبت به یک عنصر پایدار در خاک مانند زیرکونیوم یا تیتانیوم بیان می‌کند (Nael et al, 2009). در این مطالعه موارد زیر مورد بحث قرار گرفته است الف: توزیع عناصر سنگین (غلظت کل، قابل استخراج با DTPA، فاکتور تحرک و اجزاء شیمیایی هر یک از فلزات) در خاکرخ‌های با شرایط ژئوپدولوژیک مختلف ب: الگوهای غنی‌شدن - تهی‌شدن عناصر در خاکرخ‌های مختلف.

روش تحقیق

منطقه مطالعاتی با وسعت حدود ۲۰۰۰ کیلومتر بین طول‌های جغرافیایی $36^{\circ} 20'$ و $36^{\circ} 41'$ و عرض‌های

نیز استفاده شده است. آهن نیز همانند Al و Zr جزء عناصر نادر می‌باشد، چرا که این عنصر در خاک تحرک بالایی ندارد و پس از هوازدگی که وارد کانی‌های ثانویه خاک می‌شود، بیشتر در فاز باقیمانده تجمع می‌یابد (Taylor and Eggleton, 2001). غلظت لیثونیک عنصر مورد نظر (M) در یک افق مشخص با توجه به غلظت عنصر مرجع (Fe) در این افق و نسبت M/Fe در پایین-ترین افق (C/B، B/C و یا C) از رابطه ۱ محاسبه گردید. تفاوت بین غلظت اندازه‌گیری شده و غلظت محاسبه شده (لیثونیک) عنصر M در یک افق مشخص به عنوان معیار غنی شدن - تهی شدن مورد استفاده قرار گرفت. عامل غنی‌شدگی تأثیرات فرآیندهای پدولوژیکی و سایر عوامل غیرلیثونیک را بر توزیع و فراوانی عناصر در خاک مشخص می‌کند (Nael et al, 2009). شدت غنی-شدن بر اساس رابطه ۲ محاسبه گردید.

کلسیم معادل به روش تیتراسیون اسید و باز، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات آمونیوم اندازه‌گیری شدند (Burt, 2004). غلظت کل عناصر سنگین با استفاده از روش اسید نیتریک ۵ نرمال (Sposito et al, 1982)، غلظت قابل استخراج با DTPA از روش Lindsay and Norvell, 1978 و عصاره‌گیری متوالی با استفاده از روش Tessier et al, 1979 انجام شد. غلظت عناصر Mn، Fe، Ni، Co، Cr، Pb، Zn و Cu با کمک دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۲۰۰ و غلظت کادمیم با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل ریلایت ۱ قرائت گردید. تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 و مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. برای محاسبه غلظت لیثونیک عناصر در خاک‌های مورد مطالعه از عنصر مرجع Fe استفاده گردید. البته در مطالعاتی از عنصر مرجع Ti و Zr (Blaser et al, 2000)

$$(M)_{lithogenic} = (Fe) * (M / Fe)_{lowest horizon} \quad (1)$$

$$(M)_{measured} - (M)_{lithogenic} < 0$$

عنصر از افق مورد نظر تهی شده است

$$(M)_{measured} - (M)_{lithogenic} > 0$$

عنصر در افق مورد نظر غنی شده است

$$EF = (M / Fe)_{given horizon} / (M / Fe)_{lowest horizon} \quad (2)$$

می‌شود (Lu et al, 2007). جزء تبادلی و متصل به کربنات‌ها پتانسیل تحرک‌پذیری و زیست‌فراهم شدن را برای گیاهان دارند (Pueyo et al, 2003) و با کمترین تغییرات اسیدیته خاک سهم این اجزاء تغییر خواهد کرد.

بحث و نتایج

در جدول ۱ میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف ارائه شده است. مقدار ماده آلی خاک‌ها بین ۰/۱ تا ۳/۲ درصد متغیر می‌باشد که مقادیر بیشتر آن در افق سطحی خاک‌رخ‌ها مشاهده می‌شود. میانگین ماده آلی در خاک‌های آندزیتی حداکثر و در خاک‌های ماسه سنگی

در این رابطه، صورت کسر، نسبت غلظت کل عنصر مورد نظر (M) به غلظت عنصر مرجع (Fe) در یک افق ژنتیکی مشخص، و مخرج کسر، مقدار همین نسبت در پایین‌ترین افق می‌باشد. اگر مقدار عددی EF کوچک‌تر از یک باشد، عنصر مورد نظر از افق خارج شده است و اگر EF بزرگتر از یک باشد، عنصر مورد نظر در افق ژنتیکی غنی شده است (Blaser et al, 2000).

مطالعات مختلفی از فاکتور تحرک (MF: Mobility factor) به عنوان ارزیابی میزان تحرک فلزات سنگین در خاک‌ها استفاده می‌کنند. فاکتور تحرک بر اساس نسبت بین جزء تبادلی و کربنات به مجموع کل جزءها محاسبه

حداقل بدست آمد (به ترتیب با میانگین ۱/۶ و ۰/۲ درصد).

میانگین مقدار آهک بین ۸/۲ تا ۴۹/۳ درصد به ترتیب در خاک‌های حاصل از شیل و سنگ آهک مشاهده شد. رسوب کربنات کلسیم ثانویه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک یک پدیده معمول می‌باشد. منبع کلسیم برای تشکیل کربنات کلسیم ثانویه در خاک‌ها آزادسازی یون کلسیم طی فرآیندهای شیمیایی از کانی‌های اولیه کلسیم‌دار مانند پلاژیوکلازها، هورنبلند، پیروکسن و آمفیبول می‌باشد (یوسفی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۲). هدایت الکتریکی خاک‌ها بین ۰/۰۹ تا ۲/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که بیشترین میانگین آن در خاک‌های آبرفتی بدست آمد. با توجه به اینکه خاک‌های مربوط به مواد مادری آبرفتی دارای کاربری کشاورزی هستند، استفاده از کودها و سایر فرآورده‌های جانبی می‌تواند باعث بالا بردن نسبی EC خاک‌ها بشود (Achiba et al, 2009). میانگین کمترین pH مربوط به خاک‌های حاصل از شیل و آندزیت (به طور مشترک ۷/۱ pH) و بالاترین میانگین pH مربوط به خاک‌های آهکی می‌باشد (pH= ۸/۰).

رس محصول متداول هوادیدگی شیمیایی است و به عنوان شاخصی جهت نشان دادن هوادیدگی در مطالعات استفاده می‌شود (یوسفی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۲). در این مطالعه درصد رس بین ۳/۱ تا ۳۶/۲٪، شن بین ۱۲/۵ تا ۶۹/۶٪ و سیلت بین ۴/۹ تا ۸۱/۶٪ بدست آمد. درصد رس در خاک‌های حاصل از توف، گرانیب بیشترین مقدار می‌باشد (به ترتیب ۲۷/۴، ۲۴/۵ و ۲۳/۹٪).

ترکیب ژئوشیمیایی خاک‌ها

جدول ۱ میانگینی از غلظت کل عناصر سنگین مورد بررسی را در تمام خاک‌ها نشان می‌دهد. میانگین مس در خاک‌های حاصل از ماسه سنگ حداکثر و در خاک‌های آهکی حداقل می‌باشد (به ترتیب ۶۰/۱ و ۱۰/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم). بالاترین میانگین سرب مربوط به خاک‌های دولومیتی و آبرفتی است (به ترتیب ۷۴/۱ و ۶۹/۱

میلی‌گرم بر کیلوگرم). غلظت کبالت به طور معنی‌داری در خاک‌های توسعه یافته روی سنگ‌های فیلیت، بازالت، شیل، کنگلومرا-شیل و دولومیت بالاست (به ترتیب ۲۸/۳، ۲۸/۱، ۲۷/۵، ۲۶/۶ و ۲۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم). میانگین آهن با ۳۴/۸ گرم بر کیلوگرم و کروم با ۴۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های حاصل از شیل به طور معنی‌داری نسبت به خاک‌های حاصل از سنگ‌های دیگر بالاست. مقادیر منگنز کل در خاک‌های توسعه یافته روی سنگ‌های آذرینی بیشتر است و در خاک‌های پورفیری و بازالتی به ترتیب ۸۴۴/۲ و ۶۸۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. نیکل و کادمیم کل در خاک‌های دولومیتی غلظت نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد (به ترتیب ۵۶/۰ و ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم).

الگوی غنی‌شدگی و تهی‌شدگی در هر یک از خاک‌های مختلف

در این بخش، یکی از خاک‌های حاصل از مواد مادری آبرفتی (Qa4) و خاک‌های مربوط به سنگ مادری گرانیب (Gr) به خاطر اینکه ویژگی‌های فیزیکی این خاک‌ها وجود پیوستگی سنگ‌شناختی (Lithologic continuity) را تأیید نمی‌کرد، کنار گذاشته شد. توزیع فراوانی تجمعی شاخص غنی‌شدن برای تمام خاک‌ها (به جز Qa4 و Gr) و تمام افق‌ها (به جز پایین‌ترین افق‌های که به عنوان افق مرجع در نظر گرفته شده‌اند) نشان می‌دهند که شدت تهی‌شدگی عناصر سنگین مورد بررسی دارای ترتیب زیر می‌باشد: Zn>Co>Cd=Pb>Mn=Cr=Ni=Cu. به طوری که روی و کبالت به ترتیب در ۸۴ و ۸۰ درصد، کادمیم و سرب در ۷۵ درصد و منگنز، کروم، نیکل و مس به طور مشترک در ۷۳ درصد کل نمونه‌ها تهی شده‌اند.

رفتار غنی‌شدن و تهی‌شدن یک عنصر خاص در مواد مادری مختلف و حتی در پاره‌ای از موارد، در نیمرخ‌های مختلف مربوط به یک ماده مادری خاص متفاوت است. در این بخش میزان غنی‌شدن و تهی‌شدن در تک تک

در خاکرخ Li (تیپیک زراورتنز)، عناصر مس و منگنز در افق A و C1 غنی شده‌اند، در حالی که سایر عناصر فقط در افق C1 غنی‌شدگی را نشان می‌دهند و در افق‌های دیگر تهی شده‌اند. سرب در افق‌های سطحی غنی شده و در افق‌های زیرین تهی‌شدگی را نشان می‌دهد. در مقابل Co، Mn و تا حدی Fe و Cr در کل نیمرخ تهی شده‌اند. در خاکرخ Cg (تیپیک هیلزریپتز)، عناصر Cu، Pb، Ni، Zn، Cd، Cr، Co و Mn در کلیه افق‌ها به نسبت‌های مختلف تهی شده‌اند. این در حالی است که مقدار برخی از این عناصر در سنگ مادری بالاست (جدول مربوطه نیامده است). این شرایط برای خاکرخ‌های مربوط به Li، An، Ba، Gr، Sh و Do برای عناصری مثل Ni، Pb، Co، Zn، Cd، Mn در خاکرخ Sh (تیپیک هیلزریپتز)، تمام عناصر (به استثنای Ni) در افق A غنی شده‌اند، که شدت غنی‌شدگی کادمیم بسیار بالاست (EF= ۴/۲۱). در افق‌های پایینی به غیر از کادمیم و مس، بقیه عناصر تهی‌شدگی را نشان می‌دهند. جذب اختصاصی عناصر واسطه توسط اکسیدهای آهن وابستگی شدیدی به pH دارد و در خاک‌های با pH پایین‌تر، این پیوند بسیار ضعیف می‌باشد. در نتیجه این نوع جذب نمی‌تواند در زمان‌های طولانی عناصر را در خود نگه دارد (Marques et al, 2004). اما در خاک‌های مطالعه شده pH به نسبت زیاد (۷/۱) است و در نتیجه با افزایش بار الکتریکی منفی توانایی خاک افق سطحی در نگهداری عناصر سنگین افزایش می‌یابد. در خاکرخ Ph (تیپیک کلسی‌زریپتز)، همانند خاکرخ Sh، تمام عناصر در افق A حالت‌های مختلفی از غنی‌شدگی را نشان می‌دهند و در افق‌های پایین‌تر عناصر Mn و Ni تهی شده‌اند و عناصر Cu، Cr، Co، Pb، Zn و Cd غنی شده‌اند.

خاکرخ‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند (جدول ۲). در خاکرخ Qa1 (تیپیک کلسی‌زریپتز)، منگنز در افق Ap و Bw غنی شده است و عناصر مس و سرب در افق Bk2 غنی شده‌اند. سایر عناصر در کلیه افق‌ها تهی شده‌اند (مقدار EF آنها کمتر از یک می‌باشد). در خاکرخ Qa2 (تیپیک کلسی‌زریپتز)، کادمیم در افق Ap و Bk و منگنز در افق Ap غنی شده‌اند و سایر عناصر در کلیه افق‌ها تهی شده‌اند. در خاکرخ Qa4 (تیپیک کلسی‌زریپتز)، تمام عناصر در کلیه افق‌ها (به استثنای چند افق) حالت غنی‌شدن را نشان می‌دهند. در این خاکرخ شدت غنی‌شدن برای نیکل و سرب بیشتر از عناصر دیگر می‌باشد و تقریباً در تمام عناصر بیشترین غنی‌شدگی مربوط به افق سطحی می‌باشد. با توجه به اینکه خاکرخ‌های مربوط به مواد آبرفتی دارای کاربری کشاورزی هستند، استفاده از انواع کودها، آفت-کش‌ها و سموم می‌تواند باعث غنی‌شدن افق سطحی این خاکرخ‌ها با این شدت باشد (Blaser et al, 2000). در خاکرخ Ba (تیپیک کلسی‌زرولز)، تمام عناصر به غیر از نیکل، مس و منگنز، حالت‌های مختلفی از تهی‌شدگی را نشان می‌دهند. حداکثر غنی‌شدگی مربوط به نیکل می‌باشد و مس و منگنز نسبت‌های کمتری از شدت غنی‌شدگی را نشان می‌دهند. در خاکرخ An (لیتیک زراورتنز)، رفتار عناصر مختلف بسیار شبیه هم می‌باشد، تنها روی و مس به نسبت‌های خیلی کم غنی شده‌اند و در بقیه عناصر مقدار EF کمتر از یک می‌باشد که نشان‌دهنده تهی‌شدگی این عناصر می‌باشد. در خاکرخ Pr (تیپیک هیلزریولز)، مس، نیکل و کروم در افق A و Bw غنی شده‌اند، در حالی که عناصر سرب، روی، کادمیم، کبالت و منگنز در افق Ap تهی شده و در افق Bw غنی شده‌اند. شدت غنی‌شدگی مس و نیکل نسبت به سایر عناصر بالاست. در خاکرخ Tu (تیپیک کلسی‌زریپتز)، تمام عناصر در کلیه افق‌ها حالت‌های مختلفی از تهی‌شدگی را نشان می‌دهند.

جدول ۲ - شاخص غنی شدن عناصر سنگین به همراه برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نيمرخ‌های منتخب

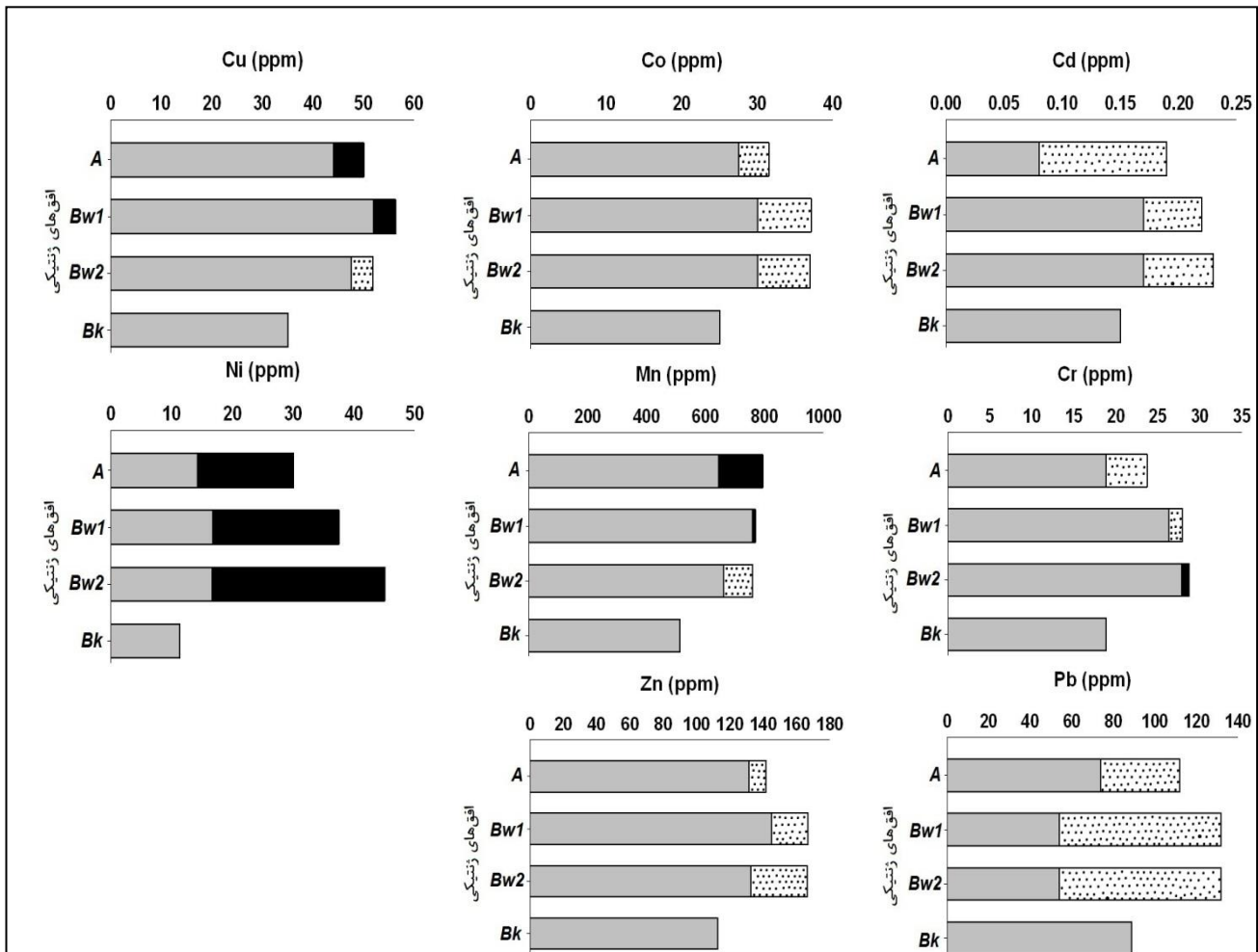
نيمرخ	افق	مس	سرب	نيکل	روی	کادميم	کروم	کبالت	منگنز	آهک	pH	OM	رس
Qa1	Ap	۰/۸۲	۰/۴۱	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۶۲	۱/۰۰	۰/۵۸	۱/۰۹	۱۸/۱	۷/۴	۱/۰۷	۳/۳
	Bw	۰/۸۸	۰/۳۷	۰/۷۳	۰/۴۴	۰/۵۲	۰/۹۵	۰/۵۹	۱/۰۶	۲۱/۰	۷/۳	۰/۷۵	۴/۶
	Bk1	۰/۸۲	۰/۳۷	۰/۷۱	۰/۴۳	۰/۳۴	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۷۹	۳۳/۶	۷/۵	۰/۵۱	۱۳/۲
	Bk2	۱/۱۰	۱/۰۵	۰/۸۸	۰/۴۳	۰/۲۹	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۷۴	۴۶/۲	۷/۵	۰/۳۳	۴/۳
	Bk3	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۵۰/۱	۷/۶	۰/۲۴	۳/۱
Qa2	Ap	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۶۶	۲/۱۰	۰/۶۳	۰/۵۳	۱/۰۵	۲۱/۴	۷/۲	۱/۰۷	۲۴/۷
	Bk	۰/۷۳	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۵۸	۱/۱۱	۰/۶۵	۰/۵۲	۰/۷۳	۲۹/۸	۷/۳	۰/۸۱	۱۰/۲
	Bkk1	۰/۷۶	۰/۵۰	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۸۶	۳۵/۳	۷/۴	۰/۳۹	۲۷/۸
	Bkk2	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۴۵/۳	۷/۶	۰/۳۲	۳۶/۲
Qa4	Ap	۱/۰۳	۲/۲۲	۴/۰۳	۱/۰۶	۱/۷۴	۱/۶۱	۱/۰۲	۱/۴۵	۱۱/۸	۷/۱	۲/۲۱	۲۲/۷
	Bk1	۱/۰۰	۱/۳۱	۲/۷۲	۰/۸۸	۲/۱۰	۱/۴۷	۱/۲۱	۱/۰۰	۳۰/۷	۷/۲	۰/۸۱	۲۷/۲
	Bk2	۱/۱۵	۲/۰۲	۴/۳۹	۱/۲۸	۰/۱۷	۱/۴۲	۱/۶۱	۱/۰۳	۴۹/۶	۷/۵	۰/۶۵	۲۸/۷
	Bk3	۱/۱۵	۲/۰۹	۳/۰۳	۱/۱۴	۰/۴۷	۰/۹۹	۱/۲۲	۰/۸۷	۴۸/۵	۷/۵	۰/۴۷	۲۷/۴
	Bkk	۰/۹۰	۱/۵۱	۳/۳۷	۱/۱۳	۰/۵۵	۱/۵۴	۱/۴۲	۰/۸۱	۴۹/۸	۷/۴	۰/۰۹	۲۷/۰
	C	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱۹/۷	۷/۵	۰/۰۶	۲۳/۹
Ba	A	۱/۱۴	۰/۶۶	۲/۱۱	۰/۹۳	۰/۴۳	۰/۷۹	۰/۸۷	۱/۲۳	۲/۹	۷/۰	۲/۸۳	۶/۴
	Bw1	۱/۰۸	۰/۴۱	۲/۲۴	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۹۴	۰/۸۱	۱/۰۱	۱۰/۵	۷/۱	۰/۹۲	۲۹/۰
	Bw2	۰/۹۲	۰/۴۱	۲/۶۹	۰/۸۰	۰/۷۵	۱/۰۳	۰/۸۱	۱/۱۱	۱۱/۱	۷/۱	۰/۷۸	۲۸/۲
	Bk	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۳۱/۹	۷/۶	۰/۳۹	۲۶/۷
An	A	۱/۲۰	۰/۶۸	۰/۷۹	۱/۰۵	۰/۷۶	۰/۵۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۹/۷	۷/۰	۱/۴۰	۲۳/۶
	Ac	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱۱/۳	۷/۲	۱/۷۶	۲۱/۱
Pr	A	۱/۳۱	۰/۹۸	۳/۱۳	۰/۷۰	۰/۷۰	۱/۴۸	۰/۷۱	۰/۷۱	۷/۶	۷/۲	۱/۸۵	۲۳/۶
	Bw	۲/۶۵	۱/۳۰	۱/۳۷	۰/۹۸	۱/۱۳	۱/۲۵	۱/۰۲	۱/۱۰	۱۲/۲	۷/۳	۰/۸۱	۱۵/۹
	C	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱۴/۷	۷/۹	۰/۵۷	۷/۴
Tu	A	۰/۴۳	۰/۲۱	۰/۶۰	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۶۵	۰/۳۹	۰/۷۱	۲۷/۷	۷/۳	۰/۹۲	۳۱/۹
	Bk1	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۵	۰/۸۷	۲۶/۰	۷/۴	۰/۶۶	۲۶/۸
	Bk2	۰/۴۷	۰/۲۲	۰/۶۴	۰/۴۲	۰/۲۳	۰/۷۰	۰/۳۲	۰/۷۵	۲۷/۱	۷/۵	۰/۵۵	۲۷/۶
	C	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۴۹/۶	۷/۷	۰/۲۱	۲۳/۱
Li	A	۱/۳۲	۰/۶۵	۱/۱۴	۰/۶۰	۰/۵۴	۰/۷۱	۰/۷۳	۱/۰۵	۴۹/۶	۷/۳	۲/۹۵	۲۷/۸
	C1	۲/۴۳	۱/۴۶	۰/۴۷	۱/۱۱	۰/۴۱	۱/۵۳	۲/۰۴	۱/۴۹	۴۹/۱	۸/۰	۰/۶۶	۳۰/۲
	C2	۰/۹۰	۰/۷۴	۰/۱۷	۰/۵۷	۰/۰۳	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۴	۴۹/۱	۸/۲	۰/۲۱	۳۳/۰
	C3	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۴۹/۵	۸/۳	۰/۱۰	۳۳/۴
Cg	A	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۶۷	۰/۲۰	۰/۱۹	۳۰/۲	۷/۲	۲/۵۷	۲۷/۲
	Bw	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۹۵	۰/۲۳	۰/۱۴	۴۲/۴	۷/۴	۱/۰۱	۷/۲
	Cr	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۴۵/۳	۷/۵	۰/۱۱	۱۱/۵

۱۵/۸	۱/۰۱	۷/۱	۷/۱	۱/۰۶	۱/۰۳	۱/۲۵	۴/۲۱	۱/۰۳	۰/۵۵	۱/۰۶	۱/۴۸	A	Sh
۱۶/۰	۰/۳۹	۷/۱	۶/۳	۰/۶۲	۰/۸۵	۰/۹۲	۲/۸۱	۱/۰۰	۰/۸۶	۰/۶۲	۱/۰۷	Bw1	
۱۰/۵	۰/۳۶	۷/۱	۱۱/۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	Bw2	
۱۹/۸	۰/۸۱	۷/۴	۱۵/۱	۱/۱۱	۱/۱۵	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۲۹	۱/۱۹	۱/۳۰	۱/۱۹	A	Ph
۲۰/۷	۰/۴۲	۷/۲	۲۰/۶	۰/۹۷	۱/۲۰	۱/۱۴	۱/۴۷	۱/۲۳	۰/۸۲	۱/۶۱	۱/۱۲	Bk1	
۲۵/۰	۰/۱۸	۷/۵	۱۱/۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	Bk2	
۸/۰	۰/۳۳	۷/۵	۱۳/۴	۰/۸۳	۱/۲۱	۱/۰۸	۵/۵۴	۰/۴۹	۰/۴۲	۰/۷۸	۰/۵۶	A	Sa
۴/۲	۰/۰۹	۷/۸	۱۸/۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	Cr	
۲۵/۸	۳/۱۹	۷/۱	۲۱/۰	۱/۰۸	۰/۸۶	۱/۱۷	۱/۱۷	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۰	A	Do
۲۰/۳	۰/۶۳	۷/۶	۴۹/۱	۰/۷۱	۱/۳۲	۱/۷۸	۰/۷۳	۱/۲۱	۱/۲۴	۲/۰۶	۱/۱۱	Bk1	
۱۲/۲	۱/۱۹	۷/۴	۲۹/۰	۰/۷۱	۰/۷۸	۱/۲۳	۰/۸۵	۰/۹۲	۰/۶۹	۱/۴۳	۰/۸۶	Bk2	
۱۹/۷	۰/۹۸	۷/۴	۲۹/۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	Bk3	

همچنین نیکل هیچ تهی‌شدگی نشان نمی‌دهد. Nael et al, 2009 اینگونه عناصر را که مورد نیاز گیاهان هستند و در محیط ریشه غنی شده‌اند را بیشتر تحت کنترل فرآیندهای پدوفیتوژنتیک (Pedo-phytogenic) می‌دانند تا عوامل سنگ‌شناختی. همچنین، بالا بودن واکنش خاک و وجود رس بیشتر در بعضی از افق‌ها نسبت به افق‌های سطحی می‌تواند غنی‌شدگی را در این افق‌ها توجیه نماید. غلظت عناصر Cd ، Co ، Mn ، Zn و Pb در نمونه سنگ مادری بازالت (افق R) به ترتیب $۱۲۷۷/۵$ ، $۴۳/۸$ ، $۰/۲۱$ ، $۴۸۷/۵$ و $۷۱/۳$ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (نتایج مربوط به تجزیه نمونه سنگ‌ها در این مقاله نیامده است)، که نشان می‌دهد مقدار زمینه این عناصر در مواد مادری بالاست. نتایج عصاره‌گیری متوالی نیز نشان می‌دهد که تمرکز کلیه این عناصر در این خاک‌ها در بخش باقیمانده می‌باشد (جدول ۳). این امر می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در حال حاضر شرایط لازم برای غنی‌شدن این عناصر در این خاک مهیا نشده است.

جدول ۳ فرم‌های شیمیایی عناصر مختلف در افق سطحی و افق‌های پایین‌تر در کلیه خاک‌ها را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۲ پنج جزء شیمیایی عناصر، قطع نظر از نوع ماده مادری ارائه شده است. با توجه به شکل، الگوی شیمیایی کبالت به صورت جزء باقیمانده ($۴۵/۴\%$) < اکسیدی

در خاک‌ها Sa (تیپیک زراورتنز)، عناصر کادمیم، کروم و کبالت غنی شده‌اند که بالاترین میزان غنی‌شدن مربوط به کادمیم است ($EF= ۵/۵۴$). در این خاک‌ها، عناصر Pb ، Zn ، Mn و Ni تهی شده‌اند که میزان تهی‌شدگی نیکل و روی بیشتر از سایر عناصر می‌باشد. در خاک‌ها Do (تیپیک کلسی‌زرولوز)، عناصر سرب (به استثنای افق A) و کروم در تمام افق‌ها غنی شده‌اند. عناصر کادمیم و منگنز فقط در افق A غنی شده‌اند و عناصر مس، نیکل، روی و کبالت فقط در افق Bk1 غنی شده‌اند. در سایر افق‌ها این عناصر نسبت‌های مختلفی از تهی‌شدگی را نشان می‌دهند. در خاک‌های مختلف میزان متفاوت غنی‌شدن یا تهی‌شدن یک فلز می‌تواند ناشی از تفاوت میزان رس و نیز تفاوت فرآیندهای خاک‌سازی که در آنها غلبه دارد، باشد. روند تغییرات غنی‌شدن - تهی‌شدن عناصر در خاک‌ها Ba در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود عناصر Cu ، Mn و Ni در افق‌های پدوژنتیکی (افق‌های خاک‌ساز) غنی شده‌اند. این عناصر جزء عناصر ضروری برای رشد گیاهان هستند و در محیط ریشه در چرخش می‌باشند (Alloway, 1990). سایر عناصر در سرتاسر خاک‌ها حالت‌هایی از تهی‌شدگی را نشان می‌دهند، البته کروم در افق Bw2 غنی شده است.



شکل ۱- غلظت کل اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (لیتوزنیک) عناصر سنگین در نیمرخ Ba (محاسبه شده با استفاده از رابطه ۱). (در هر شکل رنگ مشکی و منقوطة به ترتیب میزان غنی شدن و تهی شدن را نشان می‌دهند. قسمت خاکستری، در افق‌هایی که غنی شدن رخ داده بیانگر غلظت لیتوزنیک (محاسبه شده) و در افق‌هایی که تهی شدن رخ داده بیانگر غلظت اندازه‌گیری شده می‌باشد).

(/۲۲/۸) < کربناتی (/۱۴/۰) < تبادل (/۱۱/۸) < آلی (/۶/۱)
 بدست آمد. نیکل به صورت جزء باقیمانده (/۵۱/۶) < اکسیدی
 (/۱۹/۲) < کربناتی (/۱۲/۰) < آلی (/۹/۰) < تبادل (/۸/۲) و

جزء باقیمانده در روی بسیار بالاتر از اجزاء شیمیایی دیگر در این فلز می‌باشد به طوری که بیش از ۸۲ درصد از روی فقط در این جزء مشاهده شد (شکل ۲). روند یکسان توزیع شیمیایی روی و مس می‌تواند بیانگر رفتار مشابه آنها در خاک‌های مورد مطالعه باشد. با توجه به نتایج جدول ۳، توزیع شیمیایی کبالت در خاک‌های مربوط به خاک‌های آبرفتی (Qa1 تا Qa4)، توف، کنگلومرا- شیل و دولومیت روند یکسانی دارد (جزء باقیمانده < اکسیدی

سرب به صورت جزء باقیمانده (/۴۱/۳) < کربناتی (/۱۵/۹) < اکسیدی (/۱۵/۸) < آلی (/۱۳/۹) < تبادل (/۱۳/۱) مشاهده شد. الگوی توزیع شیمیایی روی و مس کاملاً شبیه هم بود و به صورت جزء باقیمانده < اکسیدی < آلی < کربناتی < تبادل بدست آمد، که سهم هر یک از اجزاء به ترتیب برای مس و روی برابر با: ۷۱/۰، ۱۲/۹، ۸/۸، ۴/۹، ۲/۴ درصد و ۸۲/۱، ۸/۷، ۵/۵، ۲/۵، ۱/۲ درصد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود سهم

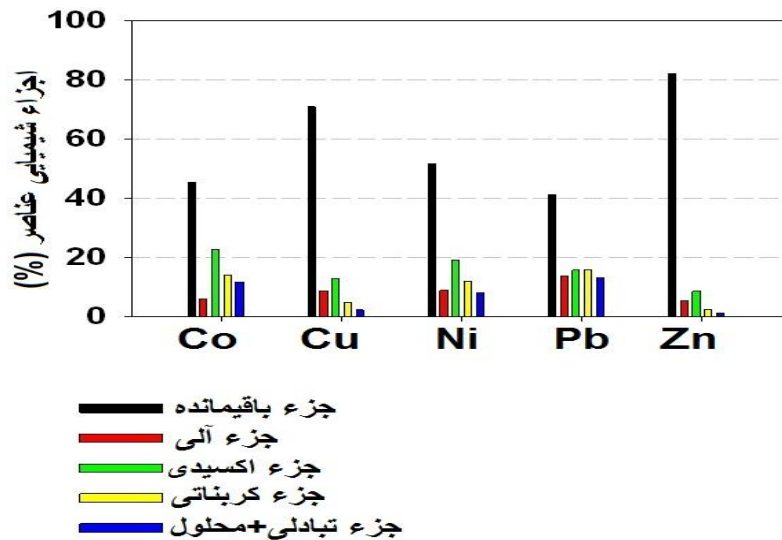
جزء باقیمانده، در خاک‌های با منشاء آندزیت، شیل و دولومیت، جزء متصل به مواد آلی سهم بیشتری را دارد. در خاک‌های با منشاء گرانیت، پورفیریت، توف، سنگ آهک و مواد آبرفتی سهم جزء متصل به کربنات‌ها بالاست. در خاک‌های حاصل از فیلیت و بازالت بعد از جزء باقیمانده، جزء متصل به اکسیدهای آهن و منگنز بیشترین مقدار را نشان می‌دهند. در خاک‌های حاصل از ماسه سنگ، روند کمی متفاوت است و به صورت جزء باقیمانده <تبادلی> آلی <کربناتی> <اکسیدی> مشاهده می‌شود. در خاک‌های با منشاء کنگلومرا-شیل، جزء اکسیدی بیشترین سهم را دارد (۴۰/۴٪) و بعد از آن جزء باقیمانده (۲۷/۱٪)، آلی (۱۴/۶٪)، کربناتی (۱۰/۶٪) و تبادلی (۷/۲٪) بدست آمد. Lu et al, 2007 در خاک‌های سطحی شهری (گوانگژو - چین) با استفاده از عصاره‌گیر متوالی، بیشترین جزء شیمیایی سرب را در بخش متصل به اکسیدهای آهن و منگنز گزارش کردند.

غلظت قابل استخراج با DTPA و فاکتور تحرک عناصر سنگین در خاک‌های مختلف

نتایج نشان داد که میزان تحرک عناصر به صورت زیر می‌باشد: $Pb > Co > Ni > Cu > Zn$ به ترتیب با فاکتور تحرک ۰/۲۹، ۰/۲۶، ۰/۲۰، ۰/۰۷ و ۰/۰۴ (در تمام نمونه خاک بدون توجه به نوع خاک‌رخ و افق مشخصه). فراوانی سرب در افق‌های خاک‌ساز و به ویژه در افق‌های سطحی به طور بارزی بیشتر از سنگ بستر می‌باشد. با توجه به مطالعات صورت گرفته می‌توان گفت که مقدار این عنصر در خاک‌های طبیعی شدیداً وابسته به نوع ماده مادری بوده ولی به خاطر گستردگی وسیع آلودگی سرب، اغلب خاک‌ها به ویژه در افق سطحی، نسبت به این عنصر غنی شده‌اند (Pendias, 2001 & Kabata-Pendias). یکی از دلایل میزان بالای فاکتور تحرک سرب در بین عناصر مختلف می‌تواند مربوط به این شرایط باشد. همچنین جذب آن توسط گیاه (Blaser et al, 2000).

<کربناتی > تبادلی > آلی) و در خاک‌رخ‌های حاصل از گرانیت، بازالت و فیلیت به صورت جزء باقیمانده <اکسیدی > تبادلی <کربناتی > آلی بدست آمد. در سایر خاک‌رخ‌ها نتایج نزدیک به این دو روند را نشان داد. توزیع شیمیایی روی در خاک‌رخ‌ها کمترین تغییرپذیری را نشان می‌دهد و در خاک‌های حاصل از مواد مادری آبرفتی، گرانیت، بازالت، آندزیت، توف، کنگلومرا-شیل، شیل، فیلیت، ماسه سنگ و دولومیت به صورت جزء باقیمانده <اکسیدی > آلی <کربناتی > تبادلی و در خاک‌های حاصل از پورفیریت و سنگ آهک به صورت جزء باقیمانده < آلی > اکسیدی < کربناتی > تبادلی مشاهده شد. تغییرات مس در فرم‌های شیمیایی مختلف نشان می‌دهد که خاک‌های حاصل از مواد مادری آبرفتی، گرانیت، بازالت، پورفیریت، سنگ آهک، شیل، فیلیت و دولومیت به صورت جزء باقیمانده < اکسیدی > آلی < کربناتی > تبادلی است و در خاک‌های حاصل از آندزیت و کنگلومرا-شیل به صورت جزء باقیمانده < آلی > اکسیدی < کربناتی > تبادلی بدست آمد و در خاک‌های حاصل از توف و ماسه سنگ نزدیک به روند اولی می‌باشد. Palumbo et al, 2000 در خاک‌های آهکی غلظت‌های بالایی از منگنز و کادمیم و همچنین سرب، مس و روی را در جزء ساده‌شدنی گزارش کردند. این نتایج اهمیت اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز را در جذب سطحی سرب نشان می‌دهد.

روند تغییرات نیکل در خاک‌های حاصل از مواد آبرفتی، گرانیت، بازالت، آندزیت و فیلیت به صورت جزء باقیمانده <اکسیدی > کربناتی <آلی > تبادلی است و در خاک‌های با منشاء ماسه سنگ و پورفیریت بعد از جزء باقیمانده، سهم جزء آلی بالاست و در خاک‌های با منشاء توف، سنگ آهک، کنگلومرا-شیل، بعد از جزء باقیمانده و اکسیدی، جزء متصل به کربنات‌ها بالاست و در خاک‌های دولومیتی جزء متصل به مواد آلی سهم بالایی را به خود اختصاص داده است. روند تغییرات شیمیایی سرب در هیچ یک از خاک‌ها شبیه هم نیست. با این حال، بعد از



شکل ۲- میانگین جزءهای شیمیایی عناصر سنگین در تمام خاک‌های مورد مطالعه

می‌شود، ولی این ارتباط معنی‌دار نیست (جدول مربوطه نیامده است). موقعیت زمین‌نما (Landscape) و تغییرات پستی و بلندی بر تجمع و غلظت عناصر تأثیر دارند. در حالی که فاکتورهای پدوژنیک توزیع عمودی عناصر و مواد آلی غلظت‌های قابل استخراج با DTPA را در خاک کنترل می‌کنند (Sharma et al, 2005).

نتیجه‌گیری

فاکتورهای خاک‌سازی و شرایط ژئوپدولوژیک مختلف بر مقدار، توزیع و تحرک عناصر سنگین بین خاک‌های مختلف تأثیر می‌گذارند. غلظت و توزیع عناصر Co، Cr، Cd، Zn و تا حدودی Pb بیشتر تحت کنترل فاکتورهای سنگ‌شناختی است، در حالی که عناصر Cu، Mn و Ni بیشتر تحت کنترل فرآیندهای بیوژئوشیمیایی (چرخش در محیط ریشه و افق‌های خاک‌ساز) قرار دارند. البته خاک‌هایی که به نحوی متأثر از فعالیت‌های انسانی هستند (خاک‌های Qa1، Qa2، Qa3، Qa4)، شرایط خارج از محیط خاک نیز می‌تواند بر توزیع و غلظت برخی عناصر دخیل باشد. فرآیند غنی‌شدن - تهی‌شدن عناصر مختلف در مرحله اول تحت کنترل ماده مادری قرار دارد (وجود

مطالعات مختلفی مقادیر بالای فاکتور تحرک عناصر مختلف را فقط در افق سطحی گزارش کردند (Lu et al, 2007). در مطالعه حاضر فاکتور تحرک عناصر در افق سطحی خاک‌های مختلف به ترتیب برابر است با: $Pb > Co > Ni > Cu > Zn$. این نتایج در توزیع اجزای شیمیایی عناصر نیز مشاهده می‌شود. به طوری که در افق سطحی سهم جزءهای ساده‌شدنی (جزءهای تبادلی و کربناته) بیشتر است. این نشان می‌دهد که تحرک عناصر در افق‌های سطحی نسبتاً بالاست.

در تمام نمونه‌های خاک، نتایج مربوط به میانگین عصاره‌گیری با DTPA عناصر مختلف برای سرب، مس، نیکل، روی و کبالت به ترتیب ۲/۰۴، ۱/۸۱، ۰/۸۴، ۰/۴۲ و ۰/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. بیشترین غلظت فلزات قابل استخراج با DTPA در افق سطحی خاک‌های مختلف مشاهده می‌شود، که با افزایش عمق روند کاهشی دارد (جدول ۳). غلظت‌های قابل استخراج با DTPA عناصر مختلف، بیشتر تابع خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد، غلظت‌های قابل استخراج با DTPA فلزات با مقدار آهک و pH رابطه منفی و معنی‌دار نشان داده است. با سایر خصوصیات خاک هر چند روابطی مشاهده

"Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, pp 156-163.

-**Alloway BJ. (1990).** "Heavy metals in soils. Blackie and Sons", Ltd. Glasgow and London.

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

-**Burt R. (Ed.). (2004).** "Soil Survey Laboratory Methods Manual, Soil Survey Investigations", Report No. 42, Version 4.0, USDA, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE, USA.

-**Goldschmidt VM. (1954).** "Geochemistry. In: A. Muir (Ed.), *Geochemistry*". Clarendon Press, Oxford.

-**Kabata-Pendias A and Pendias H. (2001).** "Trace Elements in Soils and Plants". Third Ed. CRC Press, Boca Raton, London. 413 P.

-**Lee BD, Cartwr BJ, Basta NT and Weaver B. (1997).** "Factors influencing heavy metal distribution in six Oklahoma benchmark soils". *Soil Science Society of American Journal*, pp 218-223.

-**Lindsay WL and Norvell WA. (1978).** "Development of DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper". *Soil Science Society of American Journal*, pp 421-428.

-**Lu Y, Zhu F, Chen J, Gan H and Guo Y. (2007).** "Chemical fractionation of heavy metals in urban soils of Guangzhou", China. *Environmental Monitoring Assessment*, 11

-**Marques J, Schulze DG, Curi N and Mertzman A. (2004).** "Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*", pp 179-195.

-**Nael M, Khademi H, Jalalian A, Schulin R, Kalbasi M and Sotolian 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*", pp 157-170.

-**Palumbo B, Angelone M, Bellanca A, Dazzi C, Hauser S, Neri R, Wilson S. (2000).** "Influence of inheritance and pedogenesis on heavy metal distribution in soils of Sicily, Italy. *Geoderma*", pp 247-266.

-**Pueyo M, Sastre J, Hernandez E, Vidal M, Lopez-Sanchez JF and Rauret G. (2003).** "Prediction of trace element mobility in contaminated soils by sequential extraction". *Journal of Environmental Quality*, pp 2054-2066.

-**Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham EC and Broderon WD. (2002).** "Field book for describing and sampling soils", Version 2.0 Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 228 P.

کانی‌های مقاوم یا حساس به هوازدگی و مقدار زمینه‌ای فلز در آن). در مرتبه بعدی فاکتورهای خاک‌سازی از قبیل میزان آهن، اسیدیت، ماده آلی و تجمع رس در طول پروفیل خاک، مهمترین نقش را در توزیع عناصر سنگین بازی می‌کند. خاک‌های انتی‌سولز با توجه به شرایط ابتدایی تشکیل خاک، بیشتر متأثر از لیتولوژی مواد مادری هستند (خاک‌رخ‌های مربوط به Sa، Li و An). در خاک‌های مالی‌سولز، عامل مهم در توزیع و تجمع عناصر سنگین وجود ماده آلی بالا در این خاک‌هاست (خاک‌رخ‌های مربوط به Do، Ba و Pr). با توجه به اقلیم خاص منطقه مطالعاتی (شرایط نیمه خشک)، وجود آهن اولیه (مربوط به نوع ماده مادری) و توزیع آن در اثر فرآیندهای خاک‌سازی (آهن ثانویه) و عامل واکنش خاک در پراکنش عمقی عناصر نقش به‌سزایی دارد که این مورد بیشتر در خاک‌های اینسپتی‌سولز دیده می‌شود (خاک‌رخ‌های مربوط به Qa1 تا Qa4، Li، Cg، Sh). نتایج مربوط به جزءبندی شیمیایی عناصر مختلف نشان می‌دهد که جزء باقیمانده بیشترین سهم را دارد. در مرتبه بعدی در کبالت و نیکل، جزء متصل به اکسیدهای آهن و منگنز، در سرب، جزء متصل به کربنات‌ها و در روی و مس جزء متصل به مواد آلی دارای فاز غالب هستند. فاکتور تحرک به ویژگی‌های ژئوشیمیایی فلز و در مرتبه بعدی به شرایط تشکیل خاک بستگی دارد. در این مطالعه بالاترین فاکتور تحرک مربوط به فلز سرب می‌باشد. همچنین بیشترین غلظت عصاره‌گیری با DTPA نیز در سرب دیده شد.

منابع

- یوسفی‌فرد م، ایوبی ش و جلالیان ا. (۱۳۹۲). " شدت هوازدگی و بررسی شاخص‌های آن در خاک‌های توسعه یافته روی چند سنگ آذرین در شمال غرب ایران". نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۲، ص ۲۶۶-۲۸۱.

-**Achiba WB, Gabteni N, Lakhdar A, Laing GD, Verloo M, Jedidi N and Gallali T. (2009).**

-Taylor G and Eggleton RA. (2001). "Regolith geology and geomorphology". John Wiley & Sons, NY.

-Tessier A, Campbell PGC and Bisson M.(1979). "Sequential extraction procedures for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry", pp 844-851.

-Tijani MN, Okunlola OA and Abimbola AF. (2006). "Lithogenic concentrations of trace metals in soils and saprolites over crystalline basement rocks: A case study from SW Nigeria". Journal of African Earth Science, pp 427-438.

-Zhang XP, Deng W and Yang XM. (2002). "The background concentrations of 13 soil trace elements and their relationship to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet)", China. Journal of Asian Earth Science, pp 167-174.

-Sharma DB, Mukhopadhyay SS and Arora H. (2005). "Total and DTPA-extractable micronutrients in relation to pedogenesis in some Alfisols of Punjab, Indian". Soil Science, pp 559-572.

Soil Survey Staff. (2010). "Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys". 11th ed. Govt. Print, Office, Washington D.C.

-Sposito G, Lund LJ and Chang AC. (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 American journal, 46: 260-264.

-Stocklin J, Hirayama K, Alavi M, Eftekharn-zhad J, Haghypour A, Hajian J and Vale N. (1969). "Explanatory text of the Zanjan quadrangle map, 1:250000. Geological quadrangle" No. D4. Geological Survey of Iran. 61 P.

Factors affecting the Distribution of some Heavy Metals with Geo-pedological Conditions in different soils near Zanjan province

Ali Afshari

PhD. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Zanjan, Iran.

Abstract

The present study was aimed to evaluate role of Pedogenesis factors and Geo-pedological conditions on Distribution and Chemical speciation of some heavy metals. For this purpose, number of 15 profiles on different parent materials include Granite (Gr), Basalt (Ba), Andesite (An), Porphyritic (Pr), Volcanic tuff (Tu) Limestone (Li), Conglomerates (Cg), Shale (Sh), Phyllites (Ph), Sandstone (Sa), Dolomite (Do) and Alluvium (Qa) were excavated around in Zanjan. The concentration and distribution of the elements Cr, Co, Cd, Zn and Pb are more controlled by lithogenic factors while elements Cu, Mn and Ni were affected by bio-geochemical processes factors. Depletion rate was obtained in order of following: $(Zn > Co > Cd = Pb > Mn = Cr = Ni = Cu)$. In the early stages of pedogenesis, bedrock and minerals and in its later stages, some soil processes such as calcium carbonate equivalent (CCE), acidity (pH), organic matter and clay create different patterns of enrichment-depletion. Distribution of elements in Entisols, Mollisols and Inceptisols, respectively, were controlled by parent material lithology, organic matter and redistribution calcium carbonated. In Sequential extraction, residual fraction was dominant component in all elements. For cobalt, nickel oxide fraction, for lead carbonate fraction, for copper and zinc, organic fractions were observed. Mobility factor for various elements in the surface horizons were $(Pb > Co > Ni > Cu > Zn)$, respectively. results of extract measured by DTPA-extractible in various elements for lead, copper, nickel, zinc and cobalt were, 2.04, 1.81, 0.84, 0.42 and 0.30 mg/kg respectively and the highest value was observed in surface soil horizons.

Keywords: Heavy metals, Enrichment factor, Sequential extraction, Soil geochemistry, Parent materials.