

بررسی توزیع کبالت در برخی آلفی سولهای حاوی تجمعات آهن و منگنز

محمد جواد محبی صادق^{۱*} - احمد حیدری^۲ - فریدون سرمدیان^۳ - غلامرضا ثواقبی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۵

چکیده

توزیع کبالت در خاک بسته به خصوصیات خاک متفاوت می‌باشد. تجمعات آهن و منگنز به عنوان یکی از عوامل جذب کننده فلزات سنگین از جمله کبالت مورد توجه هستند. به منظور مطالعه عوامل موثر بر توزیع کبالت و نقش تجمعات آهن و منگنز در انباشت کبالت در خاک، هفت خاکرخ حاوی تجمعات آهن و منگنز با رده‌بندی یکسان بررسی شدند. آهن (Fe_1) و منگنز (Mn_1) قابل استخراج با اسید نیتریک، آهن غیربلورین (Fe_0) و اکسیدهای آهن آزاد (Fe_d) و برخی خصوصیات خاک (pH, Clay, CEC, OC) اندازه‌گیری و همبستگی آنها با میزان کبالت (Co_1) قابل استخراج با اسید نیتریک بررسی شد. همچنین تجمعات آهن و منگنز و خاک مجاور آنها از هم جدا گردیده و Fe_1 ، Fe_0 ، Co_1 ، Mn_1 و Fe_d در هر دو آنها اندازه‌گیری شدند. ضریب غنی شدن (k) برای عناصر استخراج شده محاسبه گردید. بررسی کانی‌شناسی به وسیله دستگاه تفرق اشعه ایکس (XRD) و مطالعات میکروسکوپ الکترونی (SEM) و تجزیه عنصری (EDS) نیز بر روی تجمعات انجام شد. نتایج نشان داد که کبالت (Cot) با منگنز و آهن غیربلورین همبستگی مثبت و معنی‌دار و با میزان رس و اکسیدهای آهن آزاد که از عوامل اصلی کنترل CEC در این خاکها هستند، رابطه منفی و معنی‌دار دارد. همبستگی کبالت با Fe_0 و Mn_1 نشان دهنده حضور آن در شرایطی است که مانع تبلور کانی‌ها می‌شود و همبستگی منفی آن با Fe_d و رس بیانگر تاثیرپذیری اندک توزیع کبالت از توزیع رس و اشکال بلورین آهن و به تبع آنها CEC است. میانگین ضرایب غنی شدن Fe_0 ، Fe_1 ، Mn_1 و Fe_d در تجمعات به ترتیب ۱/۱۹، ۲/۱۹ و ۱/۳۴ بود. ضریب غنی شدن کبالت نیز بین ۴/۴۳ - ۱۳/۴ با میانگین ۷/۲۸ به دست آمد. این مسئله بیانگر توانایی این تجمعات در انباشت کبالت و اثر آنها در توزیع عناصر سنگین به ویژه کبالت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کبالت، خصوصیات خاک، تجمعات آهن و منگنز، ضریب غنی شدن

مقدمه

جمله کبالت در خاک تاثیر گذارند (۲۰، ۲۵). مواد آلی، میزان رس، آهک و اکسیدهای آهن و منگنز با تاثیر بر ویژگی‌های جذبی خاک، شرکت در جذب اختصاصی و غیراختصاصی، فرآیندهای هم‌رسوبی (co-precipitation) و جایگزینی هم‌شکل و اثرپذیری از فرآیندهای خاک‌سازی از قبیل انتقال فیزیکی ذرات ریز (Lessivage)، کربناتی شدن (calcification) و... (۱) و عواملی مانند pH با تاثیر بر روی حلالیت کربنات‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدها و نیز تاثیر در تشکیل کمپلکس‌ها، تغییر در بار سطحی و حلالیت مواد آلی می‌توانند بر روی نگاه‌داشت و توزیع فلزات سنگین از جمله کبالت موثر باشند (۲). ساتل و همکاران (۲۹) pH را یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر قابلیت دسترسی کبالت دانستند. میکو و همکاران (۲۰) بیان کردند که CEC خاک در تعیین سطح آلودگی کبالت اهمیت زیادی دارد. نورول (۲۲) بیان کرد که اکسیدهای منگنز از عوامل اصلی جذب کبالت در خاک هستند. آلویی (۱) اظهار داشت کبالت و منگنز در خاک همبستگی زیادی با هم دارند و این همبستگی در توزیع آنها در خاک موثر است.

کبالت یکی از عناصر ضروری برای انسان و دام بوده و عنصری مفید برای گیاهان است. کبالت در چرخه‌های زیستی مختلفی دخالت دارد. این عنصر یکی از عوامل ضروری در تثبیت زیستی نیتروژن و ساختار برخی آنزیم‌ها می‌باشد. به‌طور کلی، کمبود کبالت در خاک شایع‌تر از مقادیر زیاد و مضر آن است (۳). با این وجود غلظت‌های سمی این فلز در اطراف معادن و برخی مناطق صنعتی گزارش شده است (۴). کمبود کبالت در گیاهان و علوفه تولیدی در نهایت منجر به بروز بیماری‌های دام نیز می‌شود (۱).

عوامل مختلفی مانند میزان رس، pH، CEC، مواد آلی، میزان کربنات‌ها و اکسیدهای آهن و منگنز بر روی توزیع فلزات سنگین از

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، دانشیار و استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران

(Email: mjmohebbi@ut.ac.ir)

(* - نویسنده مسئول)

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در خیرودکنار نوشهر بین عرض‌های ۲۷° ۳۶' تا ۴۰° ۳۶' شمالی و طول‌های ۳۲° ۵۱' تا ۴۳° ۵۱' شرقی واقع شده است. رژیم حرارتی خاک در منطقه مورد مطالعه بسته به ارتفاع بین مزیک و ترمیک متغیر بوده و رژیم رطوبتی آن یودیک است. پس از بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه، موقعیت ۷ خاکرخ با رده‌بندی یکسان در سطح زیرگروه با سنگ بستر آهکی حاوی تجمعات آهن و منگنز تعیین شده، تشریح صحرائی و نمونه‌برداری آن‌ها انجام پذیرفت. خاکرخ‌ها در نواحی تپه و کوهستان تحت پوشش جنگل قرار داشتند. جهت انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌های مورد نظر پس از هواخشک کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و آزمایش‌های لازم شامل قرائت pH در عصاره اشباع، تعیین بافت به روش هیدرومتری (۲۷)، کربن آلی با روش تیتراسیون (۵) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با روش استات آمونیوم در ۸/۲ pH= (۲۷) انجام گردید. از سترات-دی‌تیونات-بی‌کربنات (CDB) جهت اندازه‌گیری اکسیدهای آهن آزاد (۱۹)، از اگزالات آمونیوم در تاریکی برای اندازه‌گیری اکسیدهای آهن بی‌شکل (۱۷) از روش هضم توسط اسید نیتریک ۴ نرمال جهت اندازه‌گیری آهن و منگنز و کبالت (۲۴) و از DTPA برای استخراج فرم محلول و قابل تبادل کبالت (۱۵) استفاده گردید. تجمعات آهن و منگنز با دقت از خاک مجاور جدا شده و اکسیدهای آهن بی‌شکل، اکسیدهای آهن آزاد و آهن و منگنز و کبالت قابل استخراج با اسید نیتریک (۴ نرمال) در تجمعات و خاک مجاور اندازه‌گیری شدند. غلظت منگنز، فرم‌های مختلف آهن و کبالت با دو تکرار به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu (670-AA) اندازه‌گیری شد. ضریب غنی شدن برای عناصر استخراج شده به صورت زیر تعریف گردید (۳۲):

$$K = Cn/Cs$$

که در آن Cn غلظت عناصر در تجمعات و Cs غلظت عناصر در متن خاک می‌باشد. ضریب غنی شدن K بدون واحد بوده و بزرگتر بودن آن از ۱ نشان‌دهنده تجمع عناصر در تجمعات می‌باشد. کانی‌شناسی تجمعات آهن و منگنز با استفاده از دستگاه تفرق اشعه ایکس مدل - زمینس D5000 با اشعه $CuK\alpha$ ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر انجام شد. مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و تجزیه عنصری (EDS)، بر روی نمونه دست نخورده، با هدف بررسی تجزیه عنصری در سه نقطه شامل (۱) متن خاک، (۲) حد واسط خاک و تجمعات و (۳) تجمعات با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلیپس مدل XL30 انجام گردید. رده‌بندی خاکرخ‌ها براساس کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۸)، تعیین گردید. آنالیز همبستگی به وسیله نرم افزار SPSS.16 انجام شد.

لائو و همکاران (۱۶) همبستگی مثبت کبالت با اکسیدهای آهن آزاد و منگنز در اراضی شالیزاری را گزارش کردند. لی و همکاران (۱۴) همبستگی مثبت بین کبالت و میزان آهن و منگنز خاک را یافتند و بیان کردند میزان منگنز و pH، نقش مهمی در میزان قابل دسترس کبالت ایفا می‌کنند.

تجمعات اکسید و احیایی آهن و منگنز در اشکال مختلفی مانند پوشش^۱، گرهک^۲ و سخت‌دانه^۳ در خاک ظاهر می‌شوند. این تجمعات در بسیاری از خاک‌های با زهکش داخلی ضعیف یافت می‌شوند، بنابراین می‌توانند به‌عنوان شاخصی برای شناسایی شرایط هیدرومورفی خاک تلقی شوند و منعکس کننده بسیاری از فرآیندهای پیدایش خاک بوده و در رده‌بندی خاک نیز حائز اهمیت زیادی هستند (۳۵). علاوه بر اهمیت تجمعات آهن و منگنز از منظر پیدایش خاک، این تجمعات از لحاظ زیست محیطی نیز مورد توجه می‌باشند. این نواحی در خاک بسیار فعال بوده و برهمکنش‌های بسیاری با ریشه گیاه، محلول خاک و هوای محیط خاک دارند و در نتیجه در حرکت و تجمع بسیاری از عناصر و مواد در خاک موثر می‌باشند (۱۰). تجمعات آهن و منگنز شرایط متفاوتی نسبت به متن خاک داشته و از توانایی بالایی در انباشت عناصر سنگین در خاک برخوردارند. پالمبو و همکاران (۲۳) غلظت بالاتر سرب، مس و روی را در تجمعات نسبت به متن خاک گزارش کردند. کورنو و همکاران (۷) و لاتریل و همکاران (۱۳) تجمع عناصر سنگین همچون مس، سرب و نیکل را در گرهک‌ها و سخت‌دانه‌های آهن و منگنز یافتند. تن و همکاران (۳۰) با مطالعه جذب فلزات سنگین توسط گرهک‌های آهن و منگنز بیان کردند که این تجمعات قدرت جذب زیادی داشته و بسته به نوع فلز سنگین، درجات مختلفی از جذب را نشان می‌دهند. انباشت کبالت در تجمعات آهن و منگنز نیز در برخی مطالعات گزارش شده است. تن و همکاران (۳۱) غلظت بالای کبالت در تجمعات آهن و منگنز را مشاهده کردند. تیموفیوا و گولو (۳۲) با مطالعه گرهک‌های آهن و منگنز میزان بالاتر انباشت کبالت در این تجمعات را در مقایسه با متن خاک یافتند و بیان کردند که تجمعات آهن و منگنز، تحرک کبالت در خاک را کاهش می‌دهند. در مجموع مطالعات در مورد کبالت و عوامل موثر بر آن در خاک کم بوده و نیاز به مطالعات بیشتر در مورد آن احساس می‌شود. همچنین مطالعات معدودی روی غلظت نقطه‌ای فلزات سنگین انجام شده است.

هدف از این پژوهش بررسی عوامل تاثیر گذار بر توزیع کبالت در خاکرخ برخی آلفی‌سول‌های حاوی تجمعات آهن و منگنز و بررسی انباشت کبالت در تجمعات اکسید و احیایی آهن و منگنز در مقایسه با متن خاک و نقش آنها در توزیع کبالت می‌باشد.

- 1- Coating
- 2- Nodule
- 3- Concretion

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخی‌های مطالعه شده

افق	عمق cm	بافت %			pH	OC %	CEC cmol ⁺ /kg	Mn _t *	Fe _t * %			Co _t (mg/kg)	Fe _d /clay
		شن	سیلت	رس					Fe _o *	Fe _d *	Fe _t *		
خاکرخی شماره ۱، Very fine, mixed, active, mesic, Oxisaquic Paleudalfs													
A	۰-۱۵	۱۴	۴۰	۴۶	۷/۲۰	۲/۲۲	۲۰	۰/۲۳	۱	۰/۸	۳/۰۶	۳۳/۵	۰/۰۲
EB	۱۵-۵۰	۱۲/۵	۳۷/۵	۵۰	۷/۳۸	۰/۸۰	۱۸/۴	۰/۱۶	۱/۰۱	۰/۶۳	۳/۰۹	۲۹/۷	۰/۰۲
Btg1	۵۰-۹۰	۷/۵	۲۲/۵	۷۰	۷/۶۰	۰/۵۳	۳۰	۰/۰۷	۲/۷۰	۰/۴۶	۴/۵۰	۲۳/۲	۰/۰۳
Btg2	۹۰-۱۳۰	۷/۵	۱۷/۵	۷۵	۷/۷۳	۰/۴۴	۳۵/۳	۰/۰۹۳	۲/۸۵	۰/۴۳	۴/۵۳	۲۶/۷	۰/۰۳
خاکرخی شماره ۲، Very fine, smectitic, mesic, Oxisaquic Paleudalfs													
A1	۰-۲۰	۱۶	۴۰	۴۴	۷/۰۵	۲/۲۲	۲۴	۰/۱۸	۱/۸۵	۰/۷۰	۳	۲۵/۱۱	۰/۰۴
A2	۲۰-۴۰	۱۰	۴۰	۵۰	۷/۳۵	۱/۷۰	۲۲/۵	۰/۰۸۳	۱/۴۰	۰/۵۸	۳/۶۶	۲۰	۰/۰۲
EB	۴۰-۸۰	۱۰	۲۷/۵	۶۲/۵	۷/۵۷	۰/۶۲	۲۰	۰/۰۸۷	۲	۰/۴۴	۳/۵۲	۱۷/۹۴	۰/۰۳
Btg	۸۰-۱۲۰	۷/۵	۲۲/۵	۷۰/۰	۷/۲۱	۰/۴۴	۳۲	۰/۰۹۷	۲/۵۰	۰/۵	۳/۷۸	۱۸/۵	۰/۰۳
خاکرخی شماره ۳، Very fine, mixed, active, thermic, Oxisaquic Paleudalfs													
A	۰-۲۰	۱۴	۴۸	۳۸	۷/۱۸	۲/۶۷	۲۱	۰/۲۳	۱/۴۰	۰/۵۶	۲/۷۱	۲۸/۸۵	۰/۰۳
Bt	۲۰-۷۰	۱۰	۲۵	۶۵	۷/۲۵	۰/۴۸	۲۷	۰/۰۷	۲/۴۰	۰/۳۲	۴/۲۹	۲۴/۴۲	۰/۰۳
Btg	۷۰-۱۱۰	۷/۵	۳۰	۶۲/۵	۷/۷۰	۰/۴۴	۳۳	۰/۱۲	۲/۵۳	۰/۵۲	۴/۲۲	۲۶	۰/۰۴
خاکرخی شماره ۴، Very fine, mixed, active, thermic, Oxisaquic Paleudalfs													
A	۰-۲۰	۱۰	۴۲	۴۸	۶/۹۴	۲	۲۰/۷	۰/۱۴	۱/۳۵	۰/۶۸	۲/۶۵	۱۹	۰/۰۲
Bt	۲۰-۶۰	۱۰	۲۰	۷۰	۷/۶۷	۰/۷۵	۳۰/۵	۰/۰۸۷	۲/۸۵	۰/۳۲	۴/۱۰	۱۲/۹	۰/۰۳
Btg1	۶۰-۹۰	۱۳/۵	۱۶/۵	۷۰	۷/۸۱	۰/۶۶	۳۱	۰/۰۷۷	۲/۶۵	۰/۱۴	۳/۷۲	۸/۲	۰/۰۳
Btg2	۹۰-۱۲۰	۱۳/۵	۱۶/۵	۷۰	۷/۱۸	۰/۲۲	۳۴	۰/۱۱	۳	۰/۱۶	۳/۸۶	۱۵	۰/۰۴
خاکرخی شماره ۵، Very fine, mixed, active, mesic, Oxisaquic Paleudalfs													
A	۰-۲۰	۱۰	۴۲	۴۸	۷/۰۴	۲/۴۴	۲۲/۵	۰/۲۴	۱/۱۰	۰/۷۲	۲/۹۰	۲۰	۰/۰۲
Bt1	۲۰-۵۰	۹	۲۱	۷۰	۷/۳۰	۰/۶۶	۲۷	۰/۰۵۶	۲/۷۰	۰/۴۲	۴/۵۰	۲۴	۰/۰۳
Bt2	۵۰-۷۵	۵	۲۲/۵	۷۲/۵	۷/۸۰	۰/۴۸	۲۵/۳	۰/۰۹۸	۲/۸۰	۰/۴۷	۴/۱۹	۲۵/۸۵	۰/۰۳
Bt3	۷۵-۱۲۰	۸	۲۰	۷۲	۷/۵۴	۰/۱۷	۳۳	۰/۱۳۲	۲/۶۰	۰/۳۵	۴/۱۳	۲۶/۵	۰/۰۳
خاکرخی شماره ۶، Very fine, mixed, active, mesic, Oxisaquic Paleudalfs													
A	۰-۱۵	۲۰	۴۲	۳۸	۷/۱۱	۴	۲۵/۵	۰/۲۳۵	۱/۲۵	۱/۰۴	۲/۳۵	۲۳/۲	۰/۰۳
EB	۱۵-۵۰	۱۵	۲۵	۵۰	۷/۵۷	۰/۶۶	۲۰/۷	۰/۱۱۴	۱/۷۰	۰/۵۴	۳/۵۱	۲۲/۴	۰/۰۳
Btg1	۵۰-۸۰	۷/۵	۲۷/۵	۶۵	۷/۱۱	۰/۴۴	۲۸	۰/۱۰۳	۲	۰/۴۵	۴/۵۷	۲۱/۴	۰/۰۳
Btg2	۸۰-۱۱۵	۱۰	۲۰	۷۰	۷/۶۱	۰/۲۲	۳۴	۰/۰۹۵	۲/۷۰	۰/۵۰	۵/۰۷	۱۹	۰/۰۳
خاکرخی شماره ۷، Very fine, mixed, active, mesic, Oxisaquic Paleudalfs													
A	۰-۲۰	۱۴	۴۲	۴۴	۶/۹۲	۴/۴۵	۲۰	۰/۱۹۶	۱/۵۵	۱/۰۸	۳/۳۴	۲۵/۹	۰/۰۳
Bt	۲۰-۶۰	۱۰	۲۲/۵	۶۷/۵	۷/۶۶	۰/۲۲	۲۸	۰/۰۸	۲/۵۰	۰/۵۳	۴/۴۹	۲۲	۰/۰۳
Btg	۶۰-۱۱۰	۷/۵	۱۷/۵	۷۰	۷/۸۱	۰/۱۷	۳۵	۰/۰۹۴	۳/۵۰	۰/۴۲	۴/۱۸	۱۵	۰/۰۴

*Fe_o: آهن قابل استخراج با اگزالات آمونیوم، Fe_d: آهن قابل استخراج با سترات دی‌تیونات، Fe_t: آهن قابل استخراج با اسیدنیتریک (نرمال) Mn_t: منگنز قابل استخراج با اسید نیتریک (نرمال) Co_t: کبالت قابل استخراج با اسید نیتریک (۴نرمال)

نتایج

ناچیز بوده و در گستره اندازه‌گیری قرار نداشت. میزان کبالت کل (Co_t) با مقادیر Fe_o در سطح ۱ درصد و Mn_t در سطح ۵ درصد رابطه مثبت و معنی‌داری نشان می‌دهد در حالی که با Fe_d ، CEC و درصد رس در سطح ۵ درصد رابطه منفی و معنی‌داری دارد. Fe_o با کربن آلی و منگنز همبستگی مثبت و معنی‌داری را در سطح ۱ درصد نشان می‌دهد. Fe_t و Fe_d همبستگی مثبت و معنی‌داری را با pH و CEC و درصد رس در سطح ۱ درصد دارند. pH، Fe_t و کربن آلی رابطه معنی‌داری را با Co_t نشان نمی‌دهند (جدول ۲). تجمع‌ها جدا شده به شکل گرهک و سخت دانه در اندازه درشت تا خیلی درشت بوده و مرز واضحی را با متن خاک نشان می‌دهند. رنگ تجمع‌ها در افق‌های مطالعه شده سیاه می‌باشد (جدول ۳).

حداکثر میزان آهن قابل استخراج با اسید نیتریک در تجمع‌ها اکسید و احیایی آهن و منگنز و متن خاک به ترتیب ۴/۱۴ و ۵/۴۳ درصد و ضریب غنی شدن میانگین آن ۱/۱۹ به دست آمد (جدول ۴). میزان منگنز قابل استخراج با اسید نیتریک در تجمع‌ها بین ۰/۳۵ تا ۰/۴۵ و در متن خاک ۰/۱۵ تا ۰/۴۵ درصد متغیر بوده و ضریب غنی شدن میانگین برای منگنز ۱۲/۳ می‌باشد. Fe_o در تجمع‌ها و متن خاک به ترتیب در دامنه ۰/۶ تا ۱/۱ و ۰/۲۴ تا ۰/۵۳ درصد قرار داشته و ضریب غنی شدن میانگین ۲/۱۹ را نشان می‌دهد. Fe_d در تجمع‌ها بین ۲/۲ تا ۳/۹ و در متن خاک ۱/۳ تا ۳/۱۵ درصد بوده و ضریب غنی شدن آن ۱/۳۴ می‌باشد. نسبت Fe_o/Fe_d در خاک بین ۰/۰۸ تا ۰/۲۷ و در تجمع‌ها بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۸ متغیر می‌باشد. حداکثر میزان کبالت قابل استخراج با اسید نیتریک در تجمع‌ها و آهن و منگنز ۷۱/۳ و در متن خاک ۱۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. ضریب غنی شدن کبالت بین ۴/۴۳ تا ۱۳/۴ و به طور میانگین ۷/۲۸ می‌باشد (جدول ۴).

شرایط اکسایش و کاهش متناوب در خاک‌های مطالعه شده بر روی اشکال مختلف آهن و منگنز در خاک تاثیر گذاشته و باعث تشکیل فرم‌های مختلفی از تجمع‌ها آهن و منگنز شده است. دامنه تغییرات pH از خنثی تا کمی قلیایی را نشان می‌دهد (جدول ۱). آهن در این خاک‌ها شدیداً شسته شده و مقادیر آن بسیار ناچیز بود. میزان کربن آلی (OC) با افزایش عمق کاهش یافته و از حداکثر ۴/۴۵ درصد در افق A خاکرغ ۷ و حداقل ۰/۱۷ درصد در افق‌های Bt3 خاکرغ ۵ و Btg خاکرغ ۷ متغیر بود. درصد رس در افق‌های تحتانی افزایش می‌یابد که موجب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در این افق‌ها شده است. دامنه تغییرات منگنز استخراج شده با اسید نیتریک (Mn_t) ۰/۰۵۶ تا ۰/۲۴ درصد می‌باشد. منگنز در افق‌های سطحی بیشترین میزان را نشان می‌دهد و در اکثر خاکرغ‌های مطالعه شده بعد از کاهش در افق‌های میانی، در افق‌های تحتانی افزایش پیدا می‌کند. بیشترین میزان آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات آمونیوم (Fe_o) ۱/۰۸ درصد در افق A خاکرغ ۷ می‌باشد. بیشترین میزان آهن فرم آهن در افق‌های سطحی بوده و در برخی از خاکرغ‌ها میزان آن در افق‌های تحتانی افزایش می‌یابد. هم‌چنین دامنه تغییرات آهن عصاره‌گیری شده با سیترات دی‌تیونات (Fe_d) از حداقل ۱ درصد در افق A خاکرغ ۱ تا حداکثر ۳/۵ درصد در افق Btg خاکرغ ۷ متغیر است. میزان آهن استخراج شده با اسید نیتریک (Fe_t) نیز در دامنه ۲/۳۵ تا ۵/۰۷ درصد می‌باشد. افق‌های سطحی با کربن آلی زیاد کمترین میزان Fe_t و Fe_d را دارا هستند. نسبت $Fe_d/clay$ نیز در خاکرغ‌ها روند ثابتی را نشان می‌دهد. میزان کبالت استخراج شده با اسید نیتریک (Co_t) در دامنه ۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در افق Btg1 خاکرغ ۴ تا ۳۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در افق A خاکرغ ۱ متغیر است (جدول ۱). کبالت قابل استخراج با DTPA در این خاک‌ها بسیار

جدول ۲- همبستگی کبالت (Co_t) با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

	pH	clay	OC	CEC	Fe_d	Fe_o	Fe_t	Mn_t	Co_t
pH	۱								
clay	۰/۶۷۶**	۱							
OC	-۰/۶۷۷**	-۰/۸۵۲**	۱						
CEC	۰/۵۳۴**	۰/۷۸۰**	-۰/۵۹۹**	۱					
Fe_d	۰/۶۷۳**	۰/۸۹۳**	-۰/۷۱۴**	۰/۸۵۶**	۱				
Fe_o	-۰/۵۷۰**	-۰/۷۹۰**	۰/۸۵۹**	-۰/۶۰۵**	-۰/۷۲۱**	۱			
Fe_t	۰/۶۰۹**	۰/۸۶۵**	-۰/۷۶۰**	۰/۶۹۱**	۰/۷۸۴**	-۰/۵۹۷**	۱		
Mn_t	-۰/۶۰۱**	-۰/۸۱۸**	۰/۷۹۹**	-۰/۵۱۷**	-۰/۷۴۲**	۰/۷۴۵**	-۰/۷۹۵**	۱	
Co_t	۰/۲۵۵	-۰/۴۰۰*	۰/۲۹۷	-۰/۴۰۱*	-۰/۴۴۸*	۰/۵۰۸**	-۰/۱۸۱	۰/۴۶۰*	۱

**، * سطوح معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد

جدول ۳- خصوصیات ظاهری تجمعات آهن و منگنز در افق‌های مورد بررسی

خاکرخ	افق	نوع	فراوانی	اندازه	شکل	مرز	تضاد	رنگ
۲	Btg1	گرهک و سخت دانه	متوسط	درشت تاخیلی درشت	کروی و نامنظم	واضح	متمایز	5YR2/5/1
۳	Btg	گرهک و سخت دانه	زیاد	درشت تاخیلی درشت	کروی و نامنظم	واضح	متمایز	5YR2/5/1
۶	Btg1	گرهک و سخت دانه	متوسط	درشت تاخیلی درشت	کروی و نامنظم	واضح	متمایز	2/5YR2/5/0
	Btg2	گرهک و سخت دانه	زیاد	درشت تاخیلی درشت	کروی و نامنظم	واضح	متمایز	2/5YR2/5/0
۷	Btg	گرهک و سخت دانه	متوسط	درشت تاخیلی درشت	کروی و نامنظم	واضح	متمایز	5YR2/5/1

افزایش فاحشی را نشان می‌دهد (جدول ۵ و شکل ۲). نتایج کانی‌شناسی تجمعات آهن و منگنز نشان‌دهنده حضور کانی‌های آهن لپیدوکروسایت، گنویت، فری‌هیدرات و کانی منگنز بیرنسایت بود.

نتایج تجزیه عنصری (EDS) از متن خاک به سمت تجمعات نشان دهنده کاهش در میزان آلومینیوم و سیلیسیوم و افزایش آهن و منگنز در تجمعات است. میزان کبالت در متن خاک به سمت تجمعات

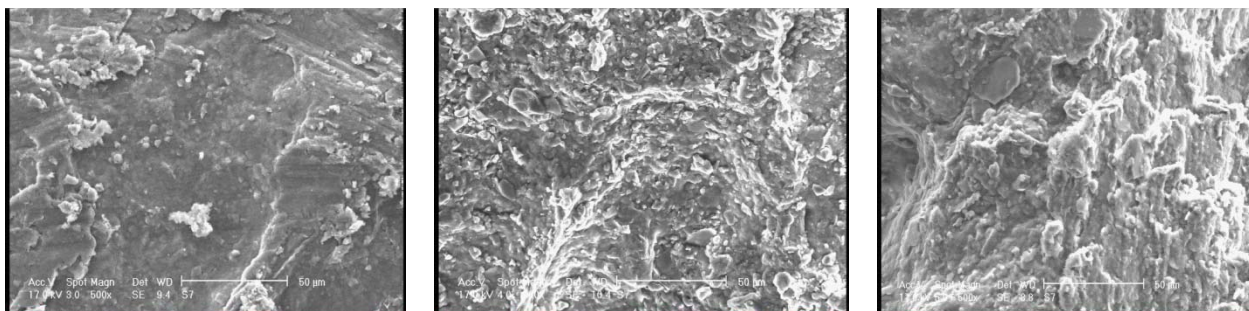
جدول ۴- مقایسه مقادیر اشکال مختلف آهن و منگنز و کبالت در تجمعات و خاک مجاور

خاکرخ	افق	Co _t	Fe _o /Fe _d	Fe _d	Fe _o	Mn _t	Fe _t
		mg/kg	%				
		۱۱/۸	۰/۲۷	۱/۳	۰/۳۵	۰/۰۴	۳/۹
۲	Btg	۵۲/۳	۰/۳۸	۲/۹	۱/۱	۰/۴۴	۵۴/۳
		۴/۴۳	-	۲/۲۳	۳/۱۴	۱۱	۱/۳۹
		۶/۱	۰/۲۲	۲/۴	۰/۵۳	۰/۰۳	۴/۱۴
۳	Btg	۵۰	۰/۳۴	۳/۲۵	۱/۱	۰/۴۵	۵
		۸/۲	-	۱/۳۵	۲/۰۷	۱۵	۱/۲
		۸/۵	۰/۲۲	۱/۹	۰/۴۳	۰/۰۴۵	۳/۹۵
	Btg1	۷۱/۳	۰/۲۸	۲/۲	۰/۶	۰/۴۴۶	۴/۲
۶		۸/۴	-	۱/۱۵	۱/۳۹	۹/۹	۱/۰۶
		۴/۵	۰/۰۸	۲/۹	۰/۲۴	۰/۰۱۵	۴/۱۲
	Btg2	۶۰/۳	۰/۱۹	۳/۹	۰/۷۴	۰/۳۵	۴/۹
		۱۳/۴	-	۱/۳۵	۳/۰۸	۲۳/۴	۱/۱۸
		۹	۰/۲	۳/۱۵	۰/۳۹	۰/۰۴	۴/۱
۷	Btg	۵۴	۰/۱۲	۳/۴	۰/۷	۰/۴	۴/۷
		۶	-	۱/۰۷	۱/۸	۱۰	۱/۱۴
		۷/۹	۰/۱۹	۲/۳۳	۰/۳۸۸	۰/۰۳۴	۴/۰۴۲
	میانگین	۵۷/۵۸	۰/۲۶	۳/۱۳	۰/۸۴۸	۰/۴۱۸	۴/۸۴۶
		۷/۲۸	-	۱/۳۴	۲/۱۹	۱۲/۳	۱/۱۹

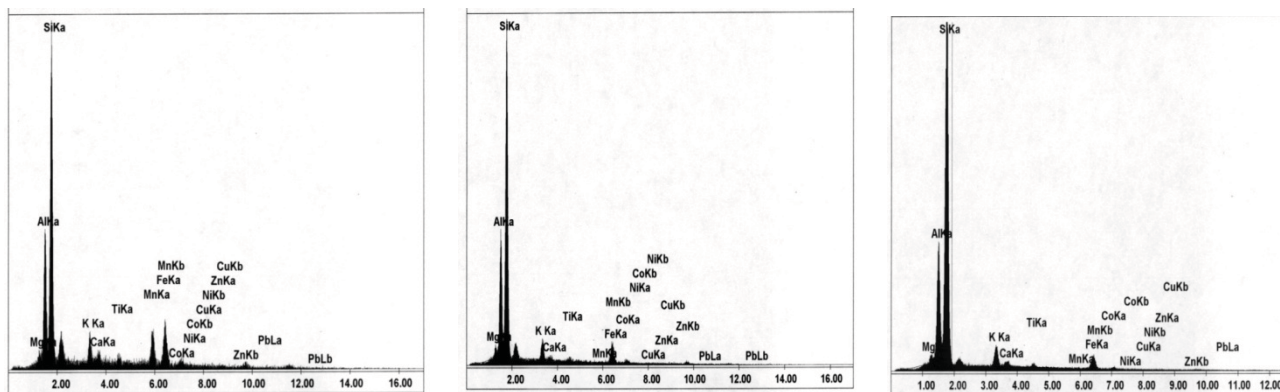
* ضریب غنی شدن میانگین = میانگین غلظت در تجمعات تقسیم بر میانگین غلظت در خاک



شکل ۱- نقاط مورد تجزیه از خاک به سمت تجمعات نمونه افق Btg نیمرخ ۳ (قبل از آماده سازی)



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از خاک به سمت تجمعات نمونه افق Btg نیمرخ ۳



شکل ۳- نمودارهای تجزیه عنصری (EDS) از خاک به سمت تجمعات نمونه افق Btg نیمرخ ۳

جدول ۵- درصد وزنی (Wt%) و اتمی (At%) برخی عناصر حاصل از تجزیه عنصری

عنصر	خاک		حدواسط		تجمعات	
	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%
Al	۱۵	۲۰/۱۳	۱۵/۱۳	۱۸/۱۵	۱۰/۷۶	۱۸/۱۵
Si	۵۳/۵۲	۵۷/۹۲	۴۵/۳۲	۴۱/۱۹	۲۵/۸۷	۴۱/۱۹
Fe	۵/۸۴	۹/۷	۱۴/۳۲	۱۲/۱۴	۱۴/۹۱	۱۲/۱۴
Mn	۰/۴۲	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۶	۱۱/۵۵	۰/۵۶
Co	۰/۳۱	۰/۵۲	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۷۴	۰/۵۷

بحث و بررسی

با توجه به نتایج به دست آمده از این بررسی pH، کربن آلی و Fe_t رابطه معنی‌داری را با کبالت نشان نمی‌دهند (جدول ۲) که عدم تاثیرپذیری مستقیم کبالت از آنها را نشان می‌دهد. با این وجود میزان بسیار ناچیز کبالت قابل استخراج با DTPA می‌تواند به دلیل گستره خنثی تا قلیایی pH خاک‌های مطالعه شده باشد. pH بالا باعث کاهش در حلالیت اکسیدهای آهن و منگنز و کربنات‌ها، که قابلیت تثبیت کبالت را دارند، شده و از طرف دیگر جذب اختصاصی و غیر اختصاصی کبالت را افزایش می‌دهد که به تبع آن فرم محلول و قابل تبادل آن کاهش می‌یابد (۱). آهن قابل استخراج با سترات‌دی‌تیونات بیکربنات شامل آهن در پیوند با ماده آلی، آهن غیر بلورین و آهن بلورین است. در اکثر خاک‌ها با افزایش عمق میزان آهن بلورین بیشتر شده که باعث مقادیر بیشتر Fe_d نسبت به افق‌های سطحی شده است (جدول ۱). نتایج فیلدر و سومر (۸) نیز موید نتایج بدست آمده است. نسبت $Fe_d/clay$ نیز در این خاک‌ها روند تقریباً ثابتی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده حرکت همزمان (co-migration) آهن و رس به افق‌های زیرین است (جدول ۱). همبستگی بالای Fe_d و میزان رس نیز می‌تواند موید این مطلب باشد. روند تقریباً یکسان رس و Fe_d در خاک‌ها نشان‌دهنده انتقال مکانیکی ذرات معدنی کوچک (Lessivage)، از افق A به B است (۱۲). رابطه مثبت و معنی‌دار CEC با Fe_d و رس نشان‌دهنده این مطلب است که رس و آهن در اشکال بلورین عوامل موثر بر CEC هستند (جدول ۲)، با توجه به pH خنثی تا قلیایی خاک‌های مطالعه شده وجود مقادیری بار وابسته به pH نیز در آنها محتمل است. همبستگی منفی کبالت (Co_t) با رس و Fe_d (جدول ۲) نشان‌دهنده متفاوت بودن توزیع کبالت با اشکال بلورین آهن، رس و تاثیرپذیری اندک آن از فرآیند انتقال همزمان رس و آهن و به تبع آن CEC است. این در حالی است که همبستگی منفی کبالت با رس و CEC با نتایج لائو و همکاران (۱۶) که رابطه مستقیمی را بین مقدار کبالت با رس و CEC گزارش نموده‌اند در تضاد می‌باشد. رابطه مستقیم و معنی‌دار کبالت با منگنز کل و اکسیدهای آهن آمورف (جدول ۲) توسط ساتل و همکاران (۲۹) و لائو و همکاران (۱۶) نیز گزارش شده است. همبستگی منفی و معنی‌دار بین Mn_t رس و CEC نشان‌دهنده عدم همراهی اکسیدهای منگنز در انتقال رس است. رابطه مثبت و معنی‌دار منگنز با کربن آلی (جدول ۲) و افزایش آن در افق‌های تحتانی حاوی رس بالا با شرایط کاهشی (جدول ۱)، که باعث تحرک بیشتر و عدم تبلور منگنز می‌شود، نشان‌دهنده حضور منگنز در اشکال پیوندیافته با ماده آلی و غیربلورین است. مک کنزی (۱۸) بیان کرد منگنز در خاک عمدتاً به شکل آمورف و در پیوند با ماده آلی حضور دارد. Fe_o در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های تحتانی است (جدول ۱) که از دلایل آن می‌توان به

امکان هوازدگی بیشتر کانی‌های اولیه و رس‌ها در افق‌های سطحی و وجود ماده آلی بالا که مانع تبلور آهن بی‌شکل می‌شود اشاره کرد (۲۶). 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، این دلایل همبستگی مثبت Fe_o با ماده آلی را توجیه می‌کند. در برخی خاک‌ها به رغم کاهش ماده آلی در افق‌های تحتانی، افزایش Fe_o را مشاهده می‌شود (جدول ۱) که علت آن را می‌توان وجود شرایط احیایی تر افق‌های تحتانی دانست که باعث افزایش فرم‌های غیر بلورین شده است. کورنل و شورتمن (۶) بیان کردند شرایط کاهشی منجر به ناپایداری اشکال بلورین آهن شده و میزان فرم‌های غیربلورین افزایش می‌یابد. وودیانسکی (۳۴) بیان کرد اکسیدهای آهن در اشکال غیربلورین در شرایط کاهشی قادر به تثبیت کبالت هستند. رابطه معنی‌دار کبالت با آهن غیربلورین و منگنز کل (جدول ۲) نشان‌دهنده حضور قسمتی از کبالت در ساختارهای آمورف و شرایطی است که مانع از تبلور کانی‌ها شده است. همچنین انباشت کبالت توسط تجمعات آهن و منگنز با مقادیر بالایی از آهن غیربلورین و منگنز (جدول ۴) می‌تواند این روابط را توجیه کند.

ضریب غنی شدن آهن در تجمعات نسبت به منگنز مقادیر بسیار کمتری را نشان می‌دهد (جدول ۴)، نتایج حاصل از تجزیه عنصری (EDS) نیز موید این مطلب می‌باشد (جدول ۵، شکل ۲). منگنز در مقایسه با آهن پتانسیل اکسایش بالاتری داشته و در نتیجه تحرک بیشتری در خاک دارد، همچنین آهن حضور بیشتری در کانی‌ها و ساختارهای متن خاک دارد، این شرایط می‌تواند ضریب غنی‌شدن کمتر آهن را توجیه نماید (۱۱). کاهش میزان آلومینیوم و سیلیسیوم از متن خاک به سمت داخل تجمعات (جدول ۵، شکل ۲) نشان‌دهنده نفوذ کمتر رس‌های سیلیکاتی به درون تجمعات است. تن و همکاران (۳۱) بیان کردند در طی تشکیل تجمعات محیط آنها به تدریج بسته‌تر شده و نفوذ رس به درون آنها کاهش می‌یابد و یا رشد بلورهای آهن و منگنز متن رسی را کنار زده و خود جایگزین آن می‌شود. دلایل مختلفی را می‌توان برای انباشت میزان بیشتر کبالت در تجمعات ذکر کرد. اکسیدهای آهن و منگنز در pH‌های خنثی تا قلیایی دارای بار مثبت بوده و توانایی بالایی در جذب اختصاصی و غیراختصاصی عناصری همچون کبالت دارند. لپیدوکروسایت حضور گسترده‌ای در تجمعات آهن و منگنز دارد (۲۶). آلووی (۱) بیان کرد حضور لپیدوکروسایت نشان‌دهنده تناوب شرایط اکسایش و کاهش است. از طرف دیگر گئوتیت کانی غالب در محیط‌های اکسیدی است (۳۳). حضور این دو کانی در تجمعات نشان‌دهنده ترکیبی از شرایط اکسایش و کاهش در پیدایش این میکروزون‌های خاک است. وجود تناوب شرایط اکسایش و کاهش منجر به وجود آمدن لایه‌های مختلف از آهن و منگنز در تجمعات می‌شود. گاسپاراتوس و همکاران

به نظر می‌رسد مقادیر ناچیز کبالت قابل استخراج با DTPA به دلیل pH قلیایی خاکهای مطالعه شده باشد. ماده آلی و آهن کل هم که بخش عمده آن در ساختار کانی‌ها قرار دارد عوامل موثری در این رابطه نمی‌باشند. همبستگی منفی کبالت با رس، CEC و Fe_d در سطح ۵ درصد نشان‌دهنده تاثیرپذیری اندک کبالت از توزیع رس و آهن بلورین و انتقال همزمان آنها می‌باشد. کبالت کل قوی‌ترین همبستگی مثبت را با آهن آمورف و منگنز نشان می‌دهد که نشان‌دهنده حضور قسمتی از کبالت در ساختارهای آمورف و شرایطی است که مانع از تبلور کانی‌ها شده است. ضریب غنی شدن منگنز در تجمعات مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. از طرف دیگر بالاتر بودن نسبت Fe_o/Fe_d در تجمعات نسبت به متن خاک نشان‌دهنده میزان بیشتر ساختارهای غیربلورین، مواد آلی بالاتر و زمان تشکیل کمتر اکسیدهای آهن در تجمعات است. ضریب غنی شدن و مقادیر بالایی کبالت در تجمعات اکسید و احیایی آهن و منگنز نشان‌دهنده شرایط متمایز آنها با متن خاک و توانایی بالای این نواحی تجمعی در جذب و انباشت کبالت می‌باشد. همبستگی کبالت با آهن غیربلورین و منگنز در خاک‌رخ‌ها و انباشت کبالت در تجمعات با مقادیر بالای آهن غیر بلورین و منگنز می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط انباشت و توزیع کبالت با محصولات فرآیندهای اکسایشی و کاهش‌ی خاکسازی باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از تجمعات آهن و منگنز مطالعات گسترده‌تری در مورد نقش این میکروژن‌ها در انباشت عناصر در خاک و به کارگیری شرایط و ساختار پیدایشی آنها در کنترل غلظت فلزات سنگین از جمله کبالت نیاز است.

(۹) اظهار داشتند تجمعات آهن و منگنز دارای ساختار لایه‌ای ناشی از تفاوت در پتانسیل اکسیداسیون آهن و منگنز هستند، این ساختار لایه‌ای نشان‌دهنده شکل‌گیری دوره‌ای تجمعات است، این مکانیسم پیدایشی باعث به دام افتادن فلزات سنگینی مانند کبالت و جداسازی آنها از محیط می‌شود. ضریب غنی شدن کمتر اکسیدهای آهن آزاد (Fe_d) در تجمعات نسبت به آهن غیربلورین (Fe_o) منجر به افزایش نسبت Fe_o/Fe_d در تجمعات نسبت به متن خاک شده است (جدول ۴). آهن قابل استخراج با اگزالات آمونیوم (Fe_o) شامل آهن غیربلورین و آهن در پیوند با ماده آلی است در نتیجه مقادیر بالاتر آن در تجمعات نشان‌دهنده میزان بالاتر ساختارهای آمورف و ترکیبات آلی بیشتر نسبت به متن خاک است. ساختارهای آمورف سطح ویژه بالایی داشته و این امر فرصت خوبی را برای قرارگیری عناصر سنگین درون این ساختارها فراهم می‌کند (۱۱).

حضور میزان بالایی از منگنز در تجمعات اکسید و احیایی (جدول ۴) می‌تواند از دلایل اصلی انباشت کبالت در تجمعات باشد. میاتا و همکاران (۲۱)، اظهار داشتند اکسیدهای منگنز توانایی بالایی برای اکسیداسیون Co^{2+} به Co^{3+} دارند. Co^{3+} دارای شعاع یونی نزدیک به منگنز بوده و جایگزین آن در ساختار اکسیدهای منگنز می‌شود. این واکنش سریع و غیرقابل برگشت بوده و غلظت بالاتر عناصر دیگر نیز قادر به خارج ساختن کبالت نخواهند بود.

نتیجه‌گیری

pH، OC و Fe_t رابطه معنی‌داری را با کبالت کل نشان ندادند، اما

منابع

- 1- Alloway B.J. 1995. Heavy Metal in Soils. ۳rd ed. Glasgow.UK.
- 2- Appel C., and Ma L. 2001. Concentration, pH and surface charge effect on cadmium and lead sorption in three tropical soils. Journal of Environmental Quality, 21:581-589.
- 3- Bakkaus E., Collins R.N., Morel J.L., Gouget B. 2008. Potential phytoavailability of anthropogenic cobalt in soils as measured by isotope dilution techniques. Science of the Total Environment, 406:108-115.
- 4- Banza C.L.N., Nawrot T., Haufroid V., Decrée S., De Putter T., Smolders E., Kabyla B.I., Luboya O.N., Ilunga A.N., Mutombo A.M., and Nemery, B. 2009. High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo. Environmental Research, 109: 745-7452.
- 5- Carter, M.R. and Gregorich, E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis. p. 1224. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science.
- 6- Cornell R.M., and Shwertmann U. 2003. The iron oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses. 2nd ed. VCH, Weinheim, Germany.
- 7- Cornu S., Deschattrées V., Salvador-Blanes S., Clozel B., Hardy M., Branchut S., and Le Forestier L. 2005. Trace element accumulation in Mn-Fe oxide nodules of a planosolic horizon. Geoderma, 125:11-24.
- 8- Fiedler S., and Sommer M. 2004. Water and redox conditions in wetland soils-their influence on pedogenic oxides and morphology. Soil Science Society of America Journal, 68:326-335.
- 9- Gasparatos D., Tarenidis D., Haidouti C., and Oikonomou G. 2005. Microscopic structural Fe-Mn nodule: environmental implication. Environmental Chemistry, 2:175-178.
- 10- Huang L., Hong J., Tan W., Hu H., Liu F., and Wang M. 2008. Characteristics of micromorphology and element distribution of iron-manganese cutan in typical soils of central China. Geoderma, 146:40-47.
- 11- Huang L., Liu F., Tan W., Hu H., and Wang M. 2009. Geochemical characteristics of selected element in iron-

- manganese cutan and matrices of alfisol in central china. *Journal of Geochemical Exploration*, 103:30-36.
- 12- Jao A.S.R., Moorman F.R., and Maduakor H.O. 1974. Form and pedogenic distribution of extractable Al and Fe in selected soils of Nigeria. *Geoderma*, 11:168-179.
 - 13- Latrille C., Elsass F., Van Oort F., Denix L. 2001. Physical speciation of trace metals in Fe-Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestones (France). *Geoderma*, 100: 127-146.
 - 14- Li z, McLaren R.G., and Metherel A.K. 1999. The effect of soil manganese status on bioavailability of soil cobalt for pasture uptake in New zealand soils. *Proceeding of New zealand Grassland association*, 61:133-137.
 - 15- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42:421-428.
 - 16- Luo D., Zheng H., Yanhui C., Wang G., and Fenghua D. 2010. Transfer characteristics of cobalt from soil to crops in the suburban areas of Fujian Province, southeast China. *Journal of Environmental Management*, 91: 2248-2253.
 - 17- McKeague J.A., and Day J.H. 1966. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Canadian Society of Soil Science*. 46:13-22.
 - 18- McKenzie R.M. 1988. Manganese oxides and hydroxides .p.439-465 . In. Dixon J.B and Weed S.B. (ed) *Minerals in soil environments*. Part 9. SSSA, Madison. WI.
 - 19- Mehra O.P., and Jakson M.L. 1960. Iron oxides removal from soil and Clay by a dithionate-citrate- system buffered with bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7:13-22.
 - 20- Micó C., Li H.F., Zhao F.J., McGrath S.P. 2008. Use of Co speciation and soil properties to explain variation in Co toxicity to root growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) in different soils. *Environmental Pollution*, 156: 882-890.
 - 21- Miyata N., Tani Y., Sakata M., and Iwahori K. 2004. Microbial manganese oxide formation and interaction with toxic metal. *Journal of Biology and Biochemistry*, 104:1-4.
 - 22- Norvell W.A. 1988. Inorganic reactions of manganese in soil. In Graham, R.D, Hannam R.J, and Uren, N.C (ed). *manganese in soil and plant*. part3. BHP-UTAH, Australia.
 - 23- Palumbo B., Ballanca A., Neri R., and Roe M.J. 2001. Trace metal partitioning in Fe-Mn nodules from Silican soil, Italy. *Chemical Geology*, 173: 257-269.
 - 24- Richards B.K., Steenhuis T.S., Peverylyb J.H., and McBride M.B. 1998. Metal mobility at an old, heavily loaded sludge application site. *Environmental Pollution*, 99:365-377.
 - 25- Rooney C.P., Zhao F.J. and McGrath S.P. 2006. Soil factors controlling the expression of copper toxicity to plants in a wide range of european soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25:726-732.
 - 26- Schwertmann U., and Taylor R.M. 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.
 - 27- Sparks, D.L. 1996. *Method of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. American Society of Agronomy.
 - 28- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, United States Department of Agriculture. 11th ed. Natural Resources Conservation Service.
 - 29- Suttle N.F., Bell J., Thornton I., and Agyriaki A. 2003. Predicting the risk of cobalt deprivation in grazing livestock from soil composition data. *Environmental Geochemistry and Health*, 25:33-39.
 - 30- Tan W., Liu F., Feng X., and Huang Q., Li X. 2005. Adsorption and redox reactions of heavy metals on Fe-Mn nodules from Chinese soils. *Journal of Colloid and Interface Science*, 284:600-605.
 - 31- Tan W., Liu F., Li Y., Hu H., and Huang Q. 2006. Elemental Composition and Geochemical Characteristics of Iron-Manganese Nodules in Main Soils of China. *Pedosphere*, 16: 72-81.
 - 32- Teemofeeva Ya.O., and Golov V.I. 2007. Sorption of Heavy metal by Iron-magnetic nodules in soils of Primorskii Region. *Eurasian Soil Science*, 40: 1308-1315.
 - 33- Vempati R.K and Loppert R.H. 1988. chemistry and mineralogy of Fe- containing oxides and layer silicate in relation to plant available Fe. *Journal of Plant Nutrition*, 11:1557-1574.
 - 34- Vodyanitskii Yu .N. 2010. The Role of Iron in the Fixation of Heavy Metals and Metalloids. In *soils: A Review of Publications*. *Eurasian Soil Science*, 43: 519-532.
 - 35- Wiederhold j., Teutsch N., Kraemer S., and Halliday A. 2007. Iron isotope fractionation during pedogenesis in reoxomorphic. *Soil Science Society of American Journal*, 71:1840-1850.

Investigation of Cobalt (Co) Distribution in Some Alfisols Containing Iron and Manganese Concentrations

M. J. Mohebbi Sadegh^{1*}-A. Heidari²-F. Sarmadian³-Gh. Savaghebi⁴

Received: 26-12-2011

Accepted: 26-08-2012

Abstract

Cobalt distribution varies by changing soil properties. Fe and Mn concentrations are considered as absorbant agents for heavy metals such as cobalt. In order to study of effective factors on cobalt distribution and the role of Fe and Mn concentrations in Co accumulation in soil seven profiles with same classification and containing Fe and Mn concentrations were investigated. Nitric acid extractable Fe (Fe_e), Mn (Mn_t), non crystalline Fe (Fe_o), free iron oxides (Fe_d) and some soil properties (OC, pH, CEC, clay) were measured and their correlation with cobalt (Co_t) were studied. Furthermore, both Fe and Mn concentrations and their adjacent soil analyzed for Fe_e , Mn_t , Fe_o , Fe_d , and Co_t and enrichment coefficients were measured for extracted elements. Mineralogical properties determined by X-ray diffraction (XRD). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectrometry (EDS) were performed for Fe-Mn concentrations. Results showed that cobalt (Co_t) positively and significantly correlated with Mn_t and Fe_o while its correlation with clay and Fe_d as main controlling factors of CEC was negative and significant. Cobalt's correlation with Mn_t and Fe_o demonstrated its occurrence in an unsuitable condition for crystallization. The negative correlation between cobalt with clay and Fe_d shows that its distribution slightly affected by clay and crystalline Fe distribution and the resultant CEC. Mean enrichment coefficients of Mn_t , Fe_e , Fe_o and Fe_d were 12.3, 1.19, 2.19, 1.34 respectively. Cobalt enrichment coefficient was between 4.43-13.4 and in average 7.28. These results prove the ability of Fe-Mn concentrations in heavy metals accumulation and their impacts on distribution of them especially cobalt.

Keywords: Cobalt, Soil properties, Fe-Mn concentration, Enrichment coefficient

1,2,3,4- MSc Student, Assistant Professor, Associate Professor and Professor, Department of Soil Science Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, respectively
(*- Corresponding Author Email: mjmohebbi@ut.ac.ir)