



## بررسی تاثیر فاکتورهای خاکی بر مقادیر قابل استخراج با DTPA و کل فلزات سنگین خاک تحت سه نوع کاربری

• ابراهیم محمودآبادی

دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

• غلامرضا ثواقبی

تاریخ دریافت: اسفند ماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۹۲

Email: Ebrahim1985@gmail.com

### چکیده

امروزه یکی از مسائلی مهم زیست محیطی، آلوده شدن خاکها به فلزات سنگین است. ورود این آلاینده‌ها به خاک سبب حذف تدریجی بسیاری از موجودات مفید این زیستگاه شده، در نتیجه تنوع زیستی که شرط اصلی پویایی، خود تنظیمی، تعادل و پایداری اکوسیستم خاک است، از بین می‌رود. غلظت کل فلز در محیط ضرورتاً درجه سمیت یا زیست‌فراهمی‌اش را منعکس نمی‌کند به این دلیل که زیست‌فراهمی بطور زیادی به شرایط محیطی مختلفی بستگی دارد. از طرفی کاربری اراضی تأثیرات زیادی را بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها دارد. شناخت فرایندهای تأثیر گذار در زیست‌فراهمی فلزات می‌تواند کمک شایانی را در مدل‌سازی و فهم تأثیرات زیست محیطی این عناصر در خاک داشته باشد. به منظور بررسی تأثیر فاکتورهای خاکی در تحرک و زیست‌فراهمی عناصر سنگین ۱۱۶ نمونه سطحی از خاک سه نوع کاربری جنگل دست کاشت سوزنی برگ، جنگل دست کاشت پهن‌برگ و زمین مرتعی از پارک جنگلی چیتگر تهران برداشته شد. میانگین سالیانه بارش منطقه ۲۶۷ میلی‌متر و درجه حرارت سالانه ۱۷/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد. مقدار کربنات کلسیم، pH، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، مقادیر کل و فرم قابل استخراج با DTPA فلزات آهن، مس، روی و منگنز خاک اندازه‌گیری شد. با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، رابطه و همبستگی بین فاکتورهای خاکی و فلزات بررسی شد. سپس با استفاده از روش رگرسیون گام به گام بیشترین فاکتورهای تأثیرگذار در هر کاربری تعیین و با یکدیگر مقایسه شدند. مقایسه میانگین کربن آلی خاک در کاربری‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کربن در کاربری جنگل پهن‌برگ با میانگین ۲/۷ بود که نسبت به کاربری سوزنی برگ با میانگین ۱/۶ و کاربری مرتع با میانگین ۰/۸ اختلاف معنی‌دار ( $p < 0.01$ ) نشان داد. مقدار ماده آلی در کل منطقه مطالعاتی همبستگی مثبتی و شدیدی با روی قابل استخراج با DTPA نشان داد ( $R = 0.762$ ). که مقدار این همبستگی در بین کاربری‌ها متغیر بود. همچنین مقدار کربن با مقدار قابل جذب آهن و منگنز نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. آنالیز واریانس یک طرفه مقدار کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) نیز در بین کاربری‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌دار نشان دادند ( $p < 0.05$ ). همبستگی منفی و معنی‌داری ( $< 0.01$ ) بین میزان کربنات کلسیم و مقدار کل فلزات مس ( $R = -0.469$ )، منگنز ( $R = -0.441$ ) و آهن ( $R = -0.641$ ) در کل منطقه مطالعاتی دیده شد. نتایج نشان داد که فاکتورهای خاکی نقش مهمی در زیست‌فراهمی فلزات سنگین در خاک ایفا می‌کنند. که این فاکتورهای خاکی تحت تأثیر مواد مادری و نوع کاربری و مدیریت اراضی قرار می‌گیرند و باعث تأثیرات مختلفی بر فراهمی فلزات در خاک می‌شوند. این مطالعه کمک به شناخت فاکتورهای مؤثر بر زیست‌فراهمی فلزات و همچنین پیش‌بینی و مدل‌سازی مقادیر قابل جذب عناصر با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین نوع کاربری زمین می‌کند.

کلمات کلیدی: آلودگی زیست محیطی، فلزات سنگین، خصوصیات خاک، زیست‌فراهمی، کاربری اراضی.

Watershed Management Research (Pajouhesh &amp; Sazandegi) No 106 pp: 28-40

**Surveying of soil factors effects on total form and DTPA-extractable form of heavy metals in three land-Use types**

By: E. Mahmoud Abadi, University of Tehran (Corresponding Author). Gh, Savaghebi.

Today one of the important environmental issues is soil pollution with heavy metal. Pollutants entering to soil causes the gradual elimination of beneficial organisms from this habitat, therefore Biodiversity is the original condition for dynamics, self-regulation, balance and stability of soil ecosystems, is destroyed. Total metal concentrations in the environment do not necessarily reflect its degree of toxicity or bioavailability because the bioavailability greatly depends on various environmental conditions. On the other hand, Land use impacts on many physical and chemical properties of soils. Recognition effective processes on bioavailability of metals help in modeling and understanding the environmental effects of these elements in the soil. In order to investigate the influence of soil factors on the total form and mobility and bioavailability heavy metals in different land-use, 116 samples were taken from surface soil in three land use Including Needle leaf forest, broadleaf and Rangeland in Chitgar Forest Park located in the West of Tehran city. Mean annual precipitation based on 14 years statistics of Chitgar meteorological synoptic station from 1996 to 2010 were 267 mm and annual temperature was 17.2 degree centigrade. In the laboratory amount of calcium carbonate, pH, electrical conductivity, percent organic carbon, iron, copper, zinc and manganese in two form DTPA-extractable and total form was measured. Then, using stepwise regression methods most influential factors determined in each land use and were compared with each other. According to Mean comparison, the maximum amount of carbon was in the broad-leaves forests with average 2.7 that showed significant difference with Needle leaves forest with average 1.6 and pasture with average 0.8. Soil organic Carbon had a strong positive correlation with DTPA extractable Zn ( $R=0.762$ ). This correlation was variable between the land use types. Also, the amount of carbon showed a significant positive correlation with Fe and Mn DTPA form. One way variance analysis of calcium carbonate ( $CaCO_3$ ) had significant difference in all studied land uses ( $P<0.05$ ). On the other hand a significant negative correlation ( $p<0.01$ ) Was observed Between  $CaCO_3$  and total amount of Cu ( $R=-0.469$ ), Mn ( $R=-0.441$ ) and Fe ( $R=-0.641$ ) in the entire study area. Results showed that soil factors play an important role in the bioavailability of heavy metals in the soil. These factors are affected by parent material, and sometimes land-use and management types and Cause different effects on the bioavailability of metals in the soil. This study contributes to the understanding of factors that affect the bioavailability of metals and also help to Model and predict available form of metal with regard to soil physical and chemical properties under different land use.

Keywords: Environmental pollution, Heavy metals, Soil properties, Bioavailability, Land use type

**مقدمه**

که حرکت فلزات سنگین و قابلیت استفاده آنها را برای گیاهان در خاکها کنترل می‌کند برای پیش بینی تاثیرات زیست‌محیطی فلزات سنگین در کشاورزی ضروری است (Lund et al, ۱۹۷۶). ویژگیهای خاک از قبیل pH، مقدار و نوع کانیهای رسی، مقدار و نوع ماده آلی و مقدار رطوبت، ترکیب محلول خاک واکنشدهای رسوب و فراهمی فلزات در محلول خاک را تعیین می‌کنند (Kumpiene et al, ۲۰۰۵). تغییر شرایط محیطی از قبیل تغییر نوع کاربری زمین و تغییر اقلیم و همچنین اشباع خاک توسط فلز بیش از ظرفیت بافری آن می‌تواند باعث تحرک فلزات سنگین در خاک گردد (Huang and Jin, ۲۰۰۸). اسیدهای آلی ساده تراوش شده از ریشه گیاهان

فلزات سنگین به عناصری اطلاق می‌شود که جرم اتمی آنها از ۵۵٫۸ mol بیشتر باشد. که برخی از این عناصر به مقادیر نسبتاً کم برای رشد گیاه، حیوان و انسان ضروری می‌باشند ولی مقدار بیش از حد آنها می‌تواند ایجاد مسمومیت کند که به عنوان عناصر میکرو نیز شناخته می‌شوند (Lindsay and Norvell, ۱۹۷۸). غلظت کل فلز در محیط ضرورتاً درجه سمیت یا زیست فراهمی‌اش را منعکس نمی‌کند بخاطر اینکه زیست‌فراهمی بطور زیادی به شرایط محیطی مختلفی بستگی دارد. این امر ارزیابی دقیق مقدار خطر ایجاد شده بوسیله فلزات را مشکل می‌کند. بنابراین شناخت فرایندهایی

متر شمالی واقع شده است. مساحت منطقه حدود ۷۰۰ هکتار بود. پستی و بلندیهای عمده منطقه را تپه و ماهورها تشکیل می‌دهند و در محدوده مورد نظر بیشتر طبقات شیب دو، چهار و پنج وجود دارند. از نظر جهت شیب، شیب کلی منطقه رو به جنوب غرب است و در محدوده مورد نظر جهات غالب شیب شامل جنوب غربی و شمال شرقی می‌باشند. حداکثر ارتفاع منطقه ۱۳۱۳ متر از سطح دریا و حداقل آن ۱۲۲۵ متر می‌باشد و متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۲۶۹ متر است. متوسط سالیانه بارش براساس آمار چهارده ساله (۷۴-۸۹) ایستگاه هواشناسی چیتگر ۲۶۷ میلیمتر و درجه حرارت سالانه ۱۷/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد.

عملیات جنگلکاری و احداث پارک از نیمه دوم سال ۱۳۴۵ توسط اداره منابع طبیعی استان تهران آغاز در سال ۱۳۴۷ به پایان رسید. کلیه مناطق جنگل کاری شده قبل از کاشت جزو مراتع بوده و به وسیله دام چرا می‌شده است (Pour hashemi, ۱۹۹۷).

### نمونه برداری

در مجموع تعداد ۱۱۶ نمونه سطحی به صورت شبکه منظم و با فاصله ۲۵۰ متر از عمق ۰-۲۰ سانتیمتری سطح خاک از سه کاربری جنگل سوزنی‌برگ، جنگل پهن‌برگ و زمین‌های مرتعی برداشته شد (شکل ۱). از این تعداد نمونه ۳۲ نقطه در کاربری مرتع، ۲۹ نقطه در کاربری جنگل پهن‌برگ و ۵۵ نقطه در کاربری جنگل سوزنی‌برگ قرار گرفت.

سه کاربری جنگل سوزنی‌برگ، جنگل پهن‌برگ و زمین دارای پوشش مرتعی انتخاب شد که بر اساس گزارش سایت شهرداری تهران درختان سوزنی‌برگ از نوع کاج الداریکا (*Pinus eldarica*) و درختان پهن‌برگ شامل افاقیا (*Robinia psueoloacacia*) و همچنین زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior*) می‌باشند. از مهمترین گیاهان کاربری مرتع می‌توان به خارشتر (*Alhagi maurorum*)، جو موشی (*Hordeum morinim*)، شکر تیغال (*Echinops Sp*)، گون (*Astragalus gossypinus*)، درمنه (*Artemisia Siberia*)، بومادران (*Achillea millefolium*) اشاره نمود.

### آنالیزهای آزمایشگاهی

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و آماده‌سازی (هوا خشک کردن، کوبیدن و عبور از الک دو میلیمتری)، بافت خاک به روش هیدرومتری، کربن آلی خاک به روش والکی و بلاک، اندازه‌گیری نیتروژن خاک با روش کجلدال، EC و pH با استفاده از عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شدند. مقدار قابل استخراج با DTPA عناصر روی (Zn)، مس (Cu)، منگنز (Mn) و آهن (Fe) به روش عصاره‌گیری با DTPA و مقدار کل عناصر به روش عصاره‌گیری نمونه‌ها توسط اسید نیتریک ۴ نرمال انجام گرفت. در عصاره‌های بدست آمده مقدار فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu 670AA اندازه‌گیری شد.

دارای پتانسیل بالایی برای افزایش تحرک فلزات در پروفیل خاک به واسطه کاهش اسیدیته و تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین می‌باشد (Renella, ۲۰۰۴).

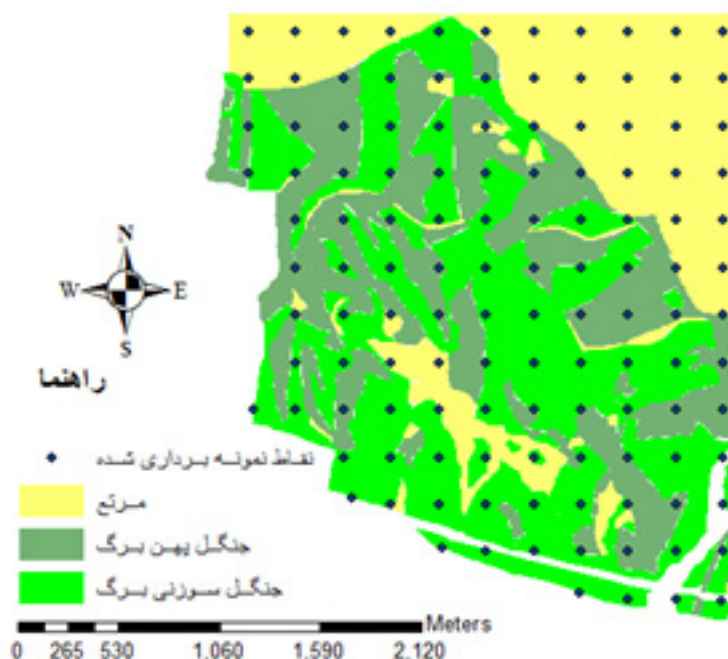
مواد آلی محلول و غیر محلول، توسط واکنش‌های تبادلی و جذب شیمیایی، با فلزات سنگین تشکیل کمپلکس می‌دهند. ساین و همکاران (Singh et al, ۲۰۰۴) گزارش کردند که مقادیر روی، مس، آهن و منگنز در خاک تیمار شده با کود دامی به شدت افزایش می‌یابد. فرآیندهای پدوژنیک ممکن است میزان بالایی از فلزات سمی کمیاب را آزاد سازی کند. هواز دگی بر روی سنگ بستر، غلظت فلزات را به آرامی می‌تواند بالا ببرد و موجب افزایش غلظت فلزات سنگین شود و سپس در اثر فرآیندهای انحلال و آبشویی قسمت اعظمی از عناصر محلول توسط فرآیندهای پدوژنیک، شسته می‌شوند (Damico et al, ۲۰۰۸). اندازه ذرات و مساحت سطوح دو فاکتور مهم در پروسه‌های جذب سطحی هستند و می‌توانند زیست‌فراهمی فلز را تحت تاثیر قرار بدهند. ذرات کوچک ولی با سطوح زیاد جذب سطحی بیشتری نسبت به ذرات بزرگ ولی با سطوح بزرگ دارند (McGrath and Lane, ۱۹۸۹). وجود و یا عدم وجود کربنات کلسیم، کنترل کننده بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در رابطه با قابل دسترس بودن عناصر سنگین برای گیاه و تحرک این عناصر در خاک می‌باشد. (Soon and Bates, ۱۹۸۲) سطح کربنات کلسیم می‌تواند با جذب شیمیایی بعضی از عناصر سنگین یک مکانیسم جذب و نگهداری فلز را فراهم آورد (Naidu et al, ۲۰۰۳). جذب فلزات در خاک قویاً وابسته به خصوصیات خاک می‌باشد. جذب فلزات در خاک با افزایش اسیدیته، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان اکسیدهای آهن و منگنز افزایش می‌یابد (Yassen, ۲۰۰۷). از طرفی تحقیقات زیادی تاثیر نوع کاربری را بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک گزارش کرده‌اند (Laclau, ۲۰۰۳; Taleghani et al, ۲۰۰۷; Busse et al, ۲۰۰۹). خاک‌های جنگلی با ترسیب کربن سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله حاصلخیزی رویشگاه و بهبود ساختمان‌سازی می‌شود (Busse et al, ۲۰۰۹). مقدار کربن خاک تاثیرات زیادی را بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک دارد بنابراین می‌توان انتظار داشت که در انواع کاربری روابط بین فاکتورها با یکدیگر و با مقدار فلزات سنگین تغییر نماید.

هدف از این مطالعه بررسی روابط بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و مقدار کل فلزات سنگین و فرم قابل استخراج با DTPA مس، آهن، روی و منگنز در سه نوع کاربری جنگل سوزنی‌برگ، جنگل پهن‌برگ و کاربری مرتع در منطقه نیمه خشک می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه قسمتی از پارک جنگلی چیتگر و زمین‌های اطراف آن واقع در غرب شهر تهران و بین طول جغرافیایی ۵۱۷۵۸۱ تا ۵۱۹۸۳۱ متر شرقی و عرض جغرافیایی ۳۹۵۲۹۸۲ تا ۳۹۵۵۹۸۲



شکل ۱- نقشه نوع کاربری اراضی و الگوی نمونه برداری منطقه مورد مطالعه

پیش بینی وارد کرده و با مشخص کردن متغیر وابسته، میزان تأثیر گذاری متغیرها و نتیجه آزمون مشخص گردید. از روش رگرسیون گام به گام به منظور تعیین متغیرهایی که بیشترین تأثیر را داشتند، استفاده گردید.

### نتایج

جدول ۱ توصیف‌های آماری شامل میانگین، واریانس، مقادیر ماکزیمم و مینیمم، کشیدگی و چولگی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده را برای ۱۱۶ نقطه نمونه برداری شده را نشان می‌دهد.

### آنالیزهای آماری

برای تجزیه آماری داده‌ها از طرح کاملا تصادفی نامتعادل و از نرم‌افزار SPSS v16 استفاده گردید. تأثیر کاربری بر خصوصیات خاک با استفاده جدول تجزیه واریانس (ANOVA) و آزمون L.S.D صورت گرفت. همچنین ارزیابی تأثیر فاکتورهای خاک بر جذب و تحرک فلزات از طریق ضریب همبستگی پیرسون صورت گرفت. برای تعیین سهم نسبی هریک از متغیرهای تأثیرگذار در مقادیر فلزات سنگین از روش هم زمان استفاده گردید. خصوصیات خاک به عنوان متغیرهای

جدول ۱- خلاصه آماری پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاکهای مورد مطالعه

متغیر	دامنه تغییرات	مقدار مینیمم	مقدار ماکزیمم	میانگین	واریانس	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات
pH	۱/۱۰	۷/۸۰	۸/۹۰	۸/۳۷	۰/۰۶	-۰/۱۲	-۰/۴۵	۰/۰۳
°CaCO <sub>3</sub>	۲۲/۶۷	۲/۸۷	۲۵/۵۳	۱۰/۲۴	۲۸/۲۹	-۰/۸۴	-۰/۰۱	۰/۵۲
درصد کربن آلی	۳/۰۱	-۰/۰۹	۳/۱۰	۱/۰۸	۰/۶۸	۱/۰۴	۰/۰۵	۰/۷۷
**C/N	۱۹/۲۰	۱/۳۳	۲۰/۵۳	۹/۳۴	۱۷/۶۱	-۰/۳۱	-۰/۳۹	۰/۴۵
EC ds/m	۳/۵۰	-۰/۴۴	۳/۹۴	۱/۲۳	۰/۷۶	۲/۲۵	۴/۹۳	۰/۶۲
درصد رس	۴۰/۰۰	۱۰/۷۲	۵۰/۷۲	۲۲/۰۹	۶۰/۳۱	۱/۱۶	۱/۵۷	۰/۳۵
درصد شن	۶۶/۰۰	۱۳/۲۸	۷۹/۲۸	۵۳/۴۱	۲۰۹/۷۸	-۰/۸۴	۰/۱۰	۰/۲۷
درصد سیلت	۴۰/۰۰	۱۰/۰۰	۵۰/۰۰	۲۴/۵۱	۶۴/۷۸	۱/۰۳	۰/۸۰	۰/۳۳

\*کربنات کلسیم معادل \*\*نسبت کربن به نیتروژن

بیشترین درصد کربنات کلسیم مربوط به کاربری جنگل پهن برگ و سوزنی بود که با کاربری مرتع تفاوت معنی دار نشان داد. درصد رس خاک نیز بیشترین درصد مربوط به کاربری مرتع بود که نسبت به دو کاربری دیگر اختلاف معنی دار نشان داد.

### همبستگی بین فرم قابل استخراج با DTPA و مقدار کل فلزات در کل منطقه مورد مطالعه

در جدول ۳ همبستگی بین فرم قابل استخراج با DTPA و مقدار کل فلزات در کل منطقه مورد مطالعه آورده شده است. بر اساس این جدول به جز فلز آهن، بین مقدار کل روی، مس و منگنز و فرم قابل استخراج با DTPA این فلزات رابطه معنی دار ( $p < 0.01$ ) وجود دارد.

جدول ۲- مقایسه میانگین مقادیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در انواع کاربریها

نوع کاربری	EC (dS/m)	pH	CaCO <sub>3</sub>	OC	C:N	درصد رس	% سیلت	% شن
کاربری مرتع	۱/۱۵ ab	۸/۴a	۸/۱b	۰/۸c	۶/۳b	۲۸/۴a	۳۲/۳a	۳۹/۳b
جنگل پهن برگ	۱/۳۴a	۸/۴a	۱۱/۷a	۲/۷a	۱۱/۲a	۱۹/۴b	۲۱/۷b	۵۸/۹a
جنگل سوزنی برگ	۰/۹۳b	۸/۳a	۱۰/۸a	۱/۶b	۱۰/۰a	۱۹/۹b	۲۱/۳b	۵۸/۸a

میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین فرم قابل استخراج با DTPA و مقدار کل فلزات در کل منطقه مورد مطالعه

FeDTPA	MnDTPA	CuDTPA	ZnDTPA	Cu	Mn	Fe	ZN
							1
							ZN
						1	.276**
							Fe
					1	.398**	.254**
							Mn
				1	0.137ns	.643**	.378**
							Cu
			1	0.051ns	-.354**	-.370**	.404**
							ZnDTPA
							CuDTPA
		1	.197*	.412**	.492**	.204*	.529**
							MnDTPA
	1	.560**	.307**	0.1ns	.443**	0.034ns	.247*
							FeDTPA
1	.496**	.345**	.394**	.246**	0.129	0.072ns	.352**

\* و \*\* به ترتیب معنی داری در سطح پنج درصد و یک درصد

مثبت ( $p < 0.05$ ) و با آهن و منگنز کل همبستگی منفی نشان داد. نسبت C:N با روی قابل استخراج با ( $p > 0.01$ ) DTPA همبستگی مثبت نشان داد. درصد رس با منگنز کل و مقدار قابل استخراج با DTPA همبستگی مثبت ( $p < 0.01$ ) و با مقدار قابل استخراج با DTPA روی همبستگی منفی ( $p < 0.01$ ) نشان داد. ضرایب همبستگی درصد شن با فلزات بر عکس ضرایب همبستگی درصد رس بود. درصد سیلت با مقادیر منگنز کل و مقدار قابل استخراج با DTPA منگنز و مس همبستگی مثبت ( $p < 0.01$ ) نشان داد در حالی که با مقدار روی قابل استخراج با DTPA همبستگی منفی ( $p < 0.05$ ) بود.

### همبستگی بین مقادیر فلزات با خصوصیات خاک

در جدول 4 ضرایب همبستگی پیرسون بین فاکتورهای خاک و مقادیر کل فلزات روی، مس، منگنز و آهن و همچنین مقادیر روی، منگنز، مس و آهن قابل استخراج با DTPA در کل منطقه مورد مطالعه و سپس به تفکیک هر کاربری نشان داده شده است. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی در کل منطقه مطالعاتی نشان داد که pH خاک با روی ( $p < 0.01$ ) و مس ( $p < 0.05$ ) همبستگی مثبت دارد. همبستگی منفی بین مقدار کربنات کلسیم با مس، منگنز و آهن کل و مقدار مس و آهن قابل استخراج با DTPA ( $p < 0.01$ ) و همچنین با مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA ( $p < 0.05$ ) مشاهده گردید. کربن آلی خاک با مقادیر روی کل و منگنز و آهن قابل استخراج با DTPA همبستگی

جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی بیرسون بین فاکتورهای خاکی و مقادیر کل و قابل استخراج با DTPA فلزات سنگین در کل منطقه و سه نوع کاربری اراضی

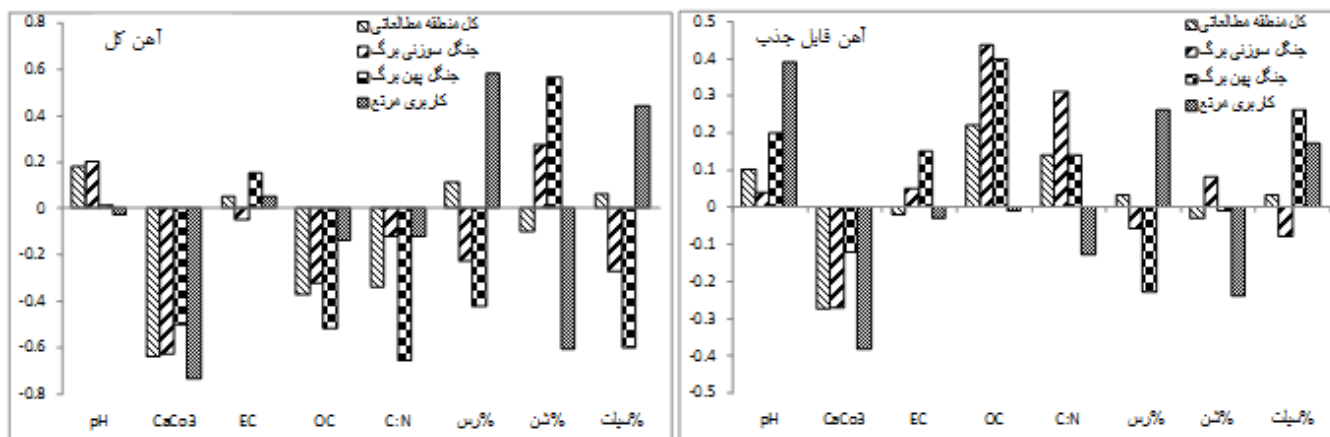
	مقدار قابل جذب				مقدار کل					
	آهن	مس	منگنز	روی	آهن	مس	منگنز	روی		
pH	۰/۱۰	۰/۲۲۷*	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۳۱۲**	کل منطقه مطالعاتی	
CaCO3	-۰/۲۷۵**	-۰/۳۱۶**	-۰/۲۱۵*	۰/۱۹۷*	-۰/۶۴۱**	-۰/۴۶۹**	-۰/۴۴۱**	-۰/۲۱۹*		
EC	-۰/۰۲	۰/۲۱۷*	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۸	-۰/۰۲	۰/۱۰		
OC	۰/۲۱۸*	۰/۰۹	۰/۲۰۶*	۰/۷۶۲**	-۰/۳۷۵**	-۰/۰۳	-۰/۳۵۰**	۰/۲۱۹*		
CN	۰/۱۴	-۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۰۶۱۱**	-۰/۳۳۷**	-۰/۱۰	-۰/۲۱۳*	۰/۱۲		
% رس	۰/۰۳	۰/۴۹۴**	۰/۴۵۲**	-۰/۲۵۱**	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۵۴۵**	۰/۱۳		
% شن	-۰/۰۲	-۰/۵۶۲**	۰/۵۲۰**	۰/۲۵۲**	-۰/۱۰	-۰/۱۰	-۰/۶۰۷**	-۰/۱۴		
% سیلت	۰/۰۳	۰/۵۳۴**	۰/۴۹۹**	-۰/۲۱۱*	۰/۰۶	-۰/۰۳	۰/۵۶۴**	۰/۱۳		
pH	۰/۰۴	۰/۱۰	-۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۲۷		کاربری جنگل سوزنی برگ
CaCO3	-۰/۲۷۲-	-۰/۲۱	-۰/۲۵	-۰/۱۳	-۰/۶۲۷**	-۰/۶۱۷**	-۰/۲۷۹*	-۰/۲۷		
EC	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۲۴	-۰/۰۵	۰/۰۷	-۰/۲۳	۰/۰۲		
OC	-۰/۴۳۵--	۰/۳۵۹**	۰/۴۸۶**	۰/۷۰۲**	-۰/۳۲۲*	-۰/۰۳	-۰/۲۳	۰/۲۷		
CN	۰/۳۱۰*	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۴۳۰**	-۰/۱۲	-۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۱۲		
% رس	-۰/۰۶	۰/۵۳۰**	۰/۲۷	۰/۱۸	-۰/۲۳	-۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۰۶		
% شن	۰/۰۸	-۰/۵۹۳**	-۰/۳۲۹**	-۰/۲۱	۰/۲۷۱*	-۰/۲۷۸*	-۰/۲۵	-۰/۱۴		
% سیلت	-۰/۰۸	۰/۵۵۹**	۰/۳۳۷*	۰/۲۰	-۰/۲۷۱*	-۰/۲۸۸*	-۰/۲۹۶*	۰/۲۰		
pH	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۲۶	کاربری جنگل پهن برگ	
CaCO3	-۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۳۹۴*	-۰/۵۰۲**	-۰/۳۳	-۰/۴۳۴*	-۰/۰۵		
EC	۰/۱۵	۰/۲۳۴*	-۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۱۴	۰/۲۶۸*		
OC	۰/۳۹۶*	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۸۰۴**	-۰/۵۱۷**	-۰/۱۱	-۰/۲۳	۰/۲۷		
CN	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۴۵۵*	۰/۷۰۹**	-۰/۶۵۵**	-۰/۴۳۰*	۰/۱۶	۰/۱۱		
% رس	-۰/۲۳	-۰/۱۲	۰/۳۹۹*	۰/۰۵	-۰/۴۱۲*	-۰/۴۶۹**	-۰/۰۶	-۰/۱۶		
% شن	-۰/۰۱	-۰/۱۱	-۰/۶۱۴**	-۰/۲۸	۰/۵۶۱**	۰/۴۶۹*	-۰/۰۵	۰/۰۵		
% سیلت	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۶۹۶**	۰/۴۶۸*	-۰/۶۰۲**	-۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۰۹		
pH	۰/۳۹۱*	۰/۱۸	۰/۳۶۳**	۰/۱۱	-۰/۰۳	-۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۰۸		کاربری مرتع
CaCO3	-۰/۳۸۲**	-۰/۵۴۵**	-۰/۳۷۱**	۰/۲۲	-۰/۷۲۳**	-۰/۴۸۴**	-۰/۵۳۵**	-۰/۰۷		
EC	-۰/۰۳	۰/۰۹	-۰/۱۳	-۰/۰۴	۰/۰۵	-۰/۰۲	۰/۰۲	-۰/۰۳		
OC	-۰/۰۱	-۰/۲۶۱*	۰/۰۸	۰/۱۳	-۰/۱۴	-۰/۱۲	-۰/۰۷	-۰/۱۵		
CN	-۰/۱۳	۰/۱۳	-۰/۰۶	۰/۱۵	-۰/۱۲	۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۰۳		
% رس	۰/۲۶۳*	۰/۵۳۳**	۰/۵۹۳**	-۰/۲۰	۰/۵۸۱**	۰/۵۰۵**	۰/۷۲۸**	۰/۱۶		
% شن	-۰/۲۴	-۰/۵۸۸**	-۰/۶۶۱--	۰/۲۰	-۰/۶۰۸**	-۰/۵۵۰**	-۰/۷۲۸**	-۰/۰۹		
% سیلت	۰/۱۷	۰/۴۶۵**	۰/۵۶۰**	-۰/۱۵	۰/۰۰۴۴۱	۰/۴۱۲**	۰/۴۹۹**	۰/۰۴		

\* و \*\* به ترتیب معنی داری در سطح پنج درصد و یک درصد

### بررسی وضعیت فلزات در کاربری ها آهن

بررسی ضریب همبستگی بین خصوصیات خاک و آهن کل و آهن قابل استخراج با DTPA نشان داد که به جز همبستگی معنی دار آهن قابل استخراج با DTPA با  $pH$  ( $p < 0.01$ ) در هیچ یک از کاربری ها مقدار  $pH$  خاک با آهن معنی دار نبود. در تمامی کاربری ها مقدار آهن کل با مقدار کربنات کلسیم خاک همبستگی منفی شدیدی ( $p < 0.01$ ) نشان داد. همچنین در مورد مقدار قابل استخراج با DTPA آهن نیز ضریب همبستگی منفی برای تمام کاربری ها دیده شد به طوری که این ضریب در کاربری مرتع بیشترین مقدار ( $p < 0.01$ ) و در کاربری جنگل پهن برگ (عدم معنی دار) کمترین مقدار بود و برای جنگل سوزنی برگ همبستگی معنی دار ( $p < 0.05$ ) بین این دو فاکتور برقرار بود. مقدار هدایت الکتریکی ضریب همبستگی معنی داری را با مقدار آهن نشان نداد. عامل کربن آلی خاک با مقدار آهن کل در هر سه نوع کاربری ضریب همبستگی منفی نشان داد که این ضریب برای کاربری های پهن برگ ( $p < 0.01$ ) و سوزنی برگ ( $p < 0.05$ ) معنی دار و برای کاربری مرتع معنی دار نبود. همچنین ضریب همبستگی مثبت بین مقدار کربن آلی و مقدار قابل استخراج با DTPA آهن در کاربری سوزنی برگ

( $p < 0.01$ ) و کاربری پهن برگ ( $p < 0.05$ ) بدست آمد. ضریب همبستگی پیرسون بین نسبت کربن به نیتروژن و مقدار آهن کل برای سه نوع کاربری مقدار منفی نشان داد که این ضریب فقط برای کاربری پهن برگ در سطح یک درصد معنی دار بود. این نسبت با مقدار آهن قابل استخراج با DTPA فقط در کاربری جنگل سوزنی برگ همبستگی معنی دار مثبت ( $p < 0.05$ ) نشان داد و در دو کاربری دیگر این نسبت معنی دار نبود. درصد رس خاک با مقدار کل آهن در دو کاربری جنگل پهن برگ ( $p < 0.05$ ) و کاربری جنگل سوزنی (ns) همبستگی منفی و در کاربری مرتع مثبت ( $p < 0.01$ ) بود. در مورد ضریب همبستگی آهن قابل استخراج با DTPA با درصد رس فقط این ضریب در کاربری مرتع معنی دار و مثبت ( $p < 0.05$ ) بود و در دو کاربری دیگر معنی دار نبود. این ضریب در مورد درصد شن در انواع کاربری ضرایب عکس درصد رس را نشان داد. همبستگی درصد سیلت خاک با مقدار کل آهن در سه کاربری مرتع و جنگل پهن برگ معنی دار بود که برای دو کاربری جنگل سوزنی برگ ( $p < 0.05$ ) و پهن برگ ( $p < 0.01$ ) منفی و برای کاربری مرتع ( $p < 0.01$ ) مثبت بود. فاکتور  $pH$  خاک فلزات سنگین در اکثر کاربری ها با مقادیر فلزات همبستگی نشان نداد.



نمودار 1- ضریب همبستگی پیرسون مقدار آهن کل و قابل استخراج با DTPA با خصوصیات خاک در کاربری های مختلف

دادند. ضریب همبستگی بین درصد رس و شن با مقادیر کل و قابل استخراج با DTPA در هیچ یک از کاربری ها معنی دار نبود. درصد سیلت خاک تنها با مقدار روی قابل استخراج با DTPA در کاربری جنگل پهن برگ ( $p < 0.01$ ) معنی دار بود.

#### منگنز

مقدار کربنات کلسیم با مقدار منگنز در هر سه کاربری مرتع ( $p < 0.01$ )، جنگل سوزنی برگ ( $p < 0.05$ )، جنگل پهن برگ ( $p < 0.05$ ) همبستگی منفی نشان داد. همچنین این فاکتور با مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA تنها در کاربری مرتع همبستگی منفی ( $p < 0.01$ ) نشان داد. مقادیر منگنز کل و قابل استخراج با DTPA

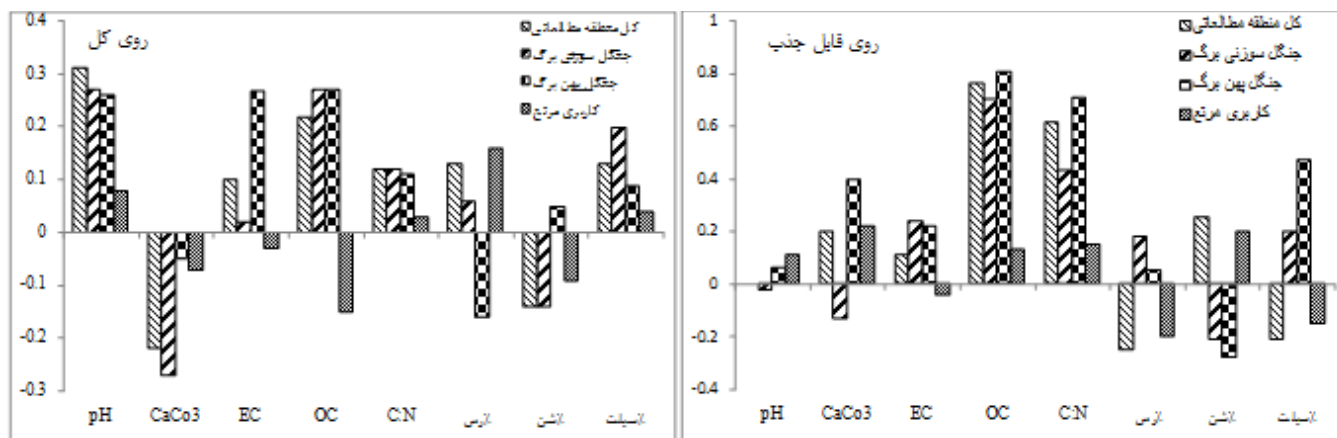
#### روی

مقدار روی قابل استخراج با DTPA خاک در هیچکدام از کاربری ها همبستگی معنی داری را با مقدار  $pH$  خاک نشان نداد. این مقدار در کاربری پهن برگ با مقدار کربنات کلسیم همبستگی مثبت و معنی دار ( $p < 0.05$ ) نشان داد. مقدار هدایت الکتریکی نیز تنها با مقدار کل روی در کاربری جنگل پهن برگ همبستگی مثبت ( $p < 0.05$ ) نشان داد. کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن با مقدار روی کل در هیچ یک از کاربری ها همبستگی معنی دار نشان نداد. در حالی که مقدار قابل استخراج با DTPA روی در کاربری جنگل سوزنی برگ و پهن برگ همبستگی مثبت و شدید ( $p < 0.01$ ) نشان

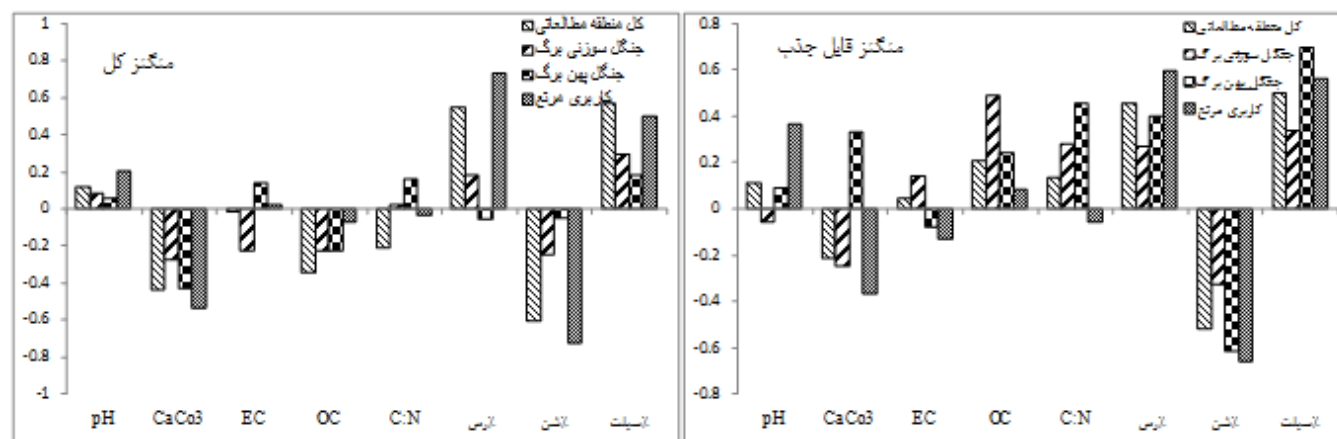
خاک با مقدار منگنز کل تنها در کاربری مرتع معنی‌دار ( $p < 0.01$ ) بود. همچنین این فاکتور با مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA در کاربری مرتع ( $p < 0.01$ ) و کاربری جنگل پهن برگ ( $p < 0.05$ ) همبستگی مثبت نشان داد.

همچنین مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA با مقدار شن در هر سه کاربری همبستگی منفی و معنی‌دار ( $p < 0.01$ ) نشان داد. درصد سیلت خاک بر خلاف درصد شن در تمام کاربری‌ها همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد.

عامل EC خاک همبستگی معنی‌دار نشان ندادند. مقدار کل منگنز به هیچ یک از عوامل کربن آلی و نسبت C:N خاک همبستگی نشان نداد. مقدار کربن آلی خاک با مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA در کاربری جنگل سوزنی برگ همبستگی مثبت ( $p < 0.01$ ) نشان داد. همبستگی بین منگنز قابل استخراج با DTPA با نسبت کربن به نیتروژن در کاربری جنگل پهن برگ معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) و مثبت بود. در کاربری مرتع همبستگی این دو فاکتور با مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA معنی‌دار نبود. همبستگی مثبت بین درصد رس



نمودار ۲- ضریب همبستگی مقدار روی کل و قابل استخراج با DTPA با خصوصیات خاک در کاربری‌های مختلف



نمودار ۳- ضریب همبستگی مقدار منگنز کل و قابل استخراج با DTPA با خصوصیات خاک در کاربری‌های مختلف

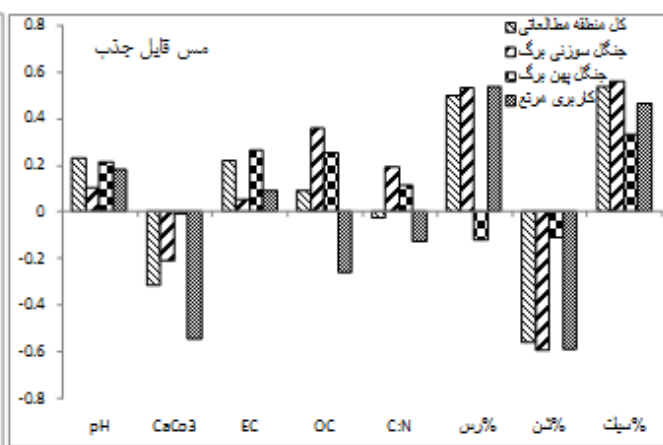
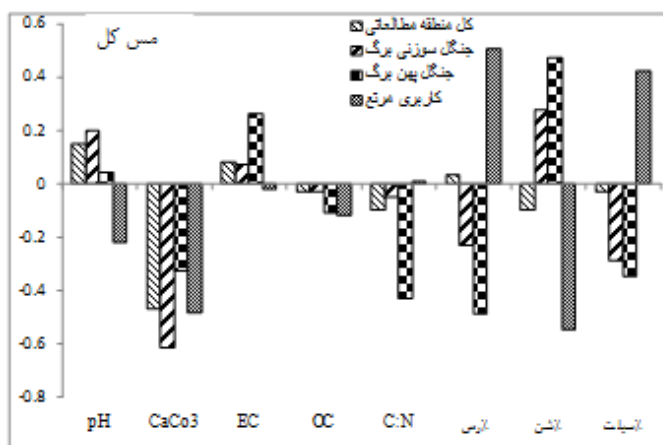
قابل استخراج با DTPA مس تنها در کاربری مرتع همبستگی معنی‌دار مثبت ( $p > 0.05$ ) دیده شد. مقدار کربن آلی در هیچ یک از کاربری‌ها با مقدار مس کل همبستگی نشان نداد. مقدار کربن با مقدار قابل استخراج با DTPA تنها در کاربری مرتع منفی و معنی‌دار ( $p > 0.05$ ) بود در حالی که دو کاربری دیگر این ضریب معنی‌دار نبود. نسبت C:N با مقدار مس کل در کاربری جنگل پهن برگ همبستگی منفی ( $p > 0.05$ ) نشان داد در حالی که این ضریب در دو کاربری دیگر معنی‌دار نبود. همچنین مقدار قابل استخراج با DTPA

مس مقدار pH خاک در هیچ یک از سه نوع کاربری با مقدار مس کل و قابل استخراج با DTPA همبستگی معنی‌دار نشان نداد. مقدار مس کل با مقدار کربنات کلسیم در همبستگی منفی نشان داد که این ضریب تنها در کاربری جنگل سوزنی برگ و جنگل پهن برگ همبستگی معنی‌دار ( $p > 0.01$ ) نشان داد. همچنین این فاکتور با مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA تنها در کاربری مرتع همبستگی منفی معنی‌دار ( $p > 0.01$ ) نشان داد. بین مقدار EC خاک و مقدار



پهن برگ و سوزنی برگ این ضریب مثبت ( $p > 0.05$ ) و در کاربری مرتع منفی ( $p > 0.01$ ) می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی مس قابل استخراج با DTPA در کاربری سوزنی برگ و مرتع منفی ( $p > 0.01$ ) بود و در کاربری پهن برگ معنی دار نبود. درصد سیلت با مقدار کل مس در کاربری مرتع همبستگی منفی ( $p > 0.01$ ) و کاربری پهن برگ ( $p > 0.05$ ) همبستگی مثبت نشان داد. همبستگی بین درصد سیلت و مس قابل استخراج با DTPA در هر سه کاربری مثبت بدست آمد که در کاربری مرتع و جنگل سوزنی برگ این ضریب معنی دار ( $p > 0.01$ ) بود.

مس در هیچ یک از کاربری‌ها با نسبت کربن به نیتروژن معنی دار نبود. درصد رس و سیلت ضرایب همبستگی عکس هم را با مقادیر کل و قابل استخراج با DTPA مس نشان دادند به طوری که این ضریب برای مس کل در کاربری مرتع منفی و در کاربری پهن برگ مثبت ( $p > 0.01$ ) بود و در کاربری سوزنی برگ معنی دار نبود. مقدار مس قابل استخراج با DTPA با مقدار رس در کاربری مرتع و جنگل سوزنی برگ معنی دار و مثبت ( $p > 0.01$ ) بود. ضرایب همبستگی درصد شن با مقدار کل و قابل استخراج با DTPA بر خلاف درصد رس می‌باشد. به طوری که برای مقدار کل مس در کاربری جنگل



نمودار ۴- ضریب همبستگی مقدار مس کل و قابل استخراج با DTPA با خصوصیات خاک در کاربری‌های مختلف

در این مطالعه نیز نیتروژن کل خاک در جنگل پهن برگ نسبت به دو کاربری دیگر بیشتر بود. گونه غالب کاربری پهن برگ درختان اقلایمی می‌باشد که این درختان توانایی تثبیت ازت را دارند این امر باعث تجمع بالاتر ازت در خاک این کاربری شده است. با توجه به بالا بودن میزان نیتروژن در کاربری پهن برگ نسبت کربن به نیتروژن در این کاربری با جنگل سوزنی برگ اختلاف معنی داری نشان نداد. (جدول ۲). بافت خاک از خصوصیات ثابت خاک بوده و معنی داری آن تحت تاثیر خصوصیات ذاتی خاک می‌باشد. منطقه مورد مطالعه روی نهشته‌های آبرفتی منطقه تهران که حاصل فعالیت رودخانه‌ها و مسیل‌های فصلی جریان یافته از کوه‌های البرز، قرار گرفته است. از طرفی قرارگیری کاربری جنگل سوزنی برگ و پهن برگ در نواحی مرتفع‌تر نسبت به بخش‌های مرتعی که در قسمت‌های پست و با شیب کمتر، باعث افزایش درصد رس در کاربری مرتعی و اختلاف معنی دار نسبت به دو کاربری دیگر شده است.

#### بررسی وضعیت عناصر در انواع کاربری آهن

با استفاده از روش گام به گام در کاربری مرتع بیشترین همبستگی مقدار آهن کل با مقدار کربنات کلسیم و مقدار رس خاک بود. به نظر می‌رسد مقدار آهن کل در این کاربری وابسته به کانیهای رسی بوده که دارای مقدار آهن بالا در خود می‌باشند. منیتیت  $Fe_3O_4$ ، هماتیت

#### بحث و نتیجه‌گیری

##### تاثیر نوع کاربری بر خصوصیات خاک

نتایج بسیاری از تحقیقات (Qing-Biao et al, 2009; Hopmans & Elms, 2009; Wauthers et al, 2008) نشان داده‌اند که جنگل کاری قابلیت زیادی در ترسیب کربن آلی در خاک دارد. در این مطالعه نیز جنگل پهن برگ دارای بیشترین تجمع کربن در خاک سطحی بود و کاربری مرتع کمترین مقدار را نشان داد. که دلیل آن زیست توده بیشتر درختان پهن برگ و تولید بیشتر بقایای سطحی و همچنین پوشش زیراشکوب نسبتاً مناسب در این کاربری، باعث بالاتر بودن درصد کربن آلی خاک نسبت به دو کاربری دیگر است. ولی در کاربری سوزنی برگ به دلیل خاصیت آللوپاتی گونه کاج تهران، کمبود رطوبت مورد نیاز پوشش علفی و تراکم زیاد درختان کاج در واحد سطح باعث عدم رشد گیاهان در زیر اشکوب کاربری سوزنی برگ می‌گردد. در کاربری مرتع به دلیل عدم آبیاری و خشکی نسبتاً طولانی در فصل گرم سال و نیز زیست توده کم گیاهان موجود در این کاربری باعث کمبود ماده آلی در خاک این کاربری شده که کمترین میانگین کربن آلی خاک را در بین کاربری‌ها نشان داده است. نتایج Dinakaran & Krishnaya (2008) نیز این مطلب را نشان دادند. Paul et al (2002) بر اساس تحقیقات خود بیان داشتند که کشت گونه‌های تثبیت کننده نیتروژن باعث افزایش نیتروژن خاک و به تبع آن افزایش کربن آلی خاک می‌شود.

از افزایش مقدار کمپلکس‌های آلی محلول آهن در این کاربری باشد. جنسن و همکاران (Jansen et al, ۲۰۰۳) نشان دادند که مواد آلی خاک در انحلال آهن و آلومینیوم نقش مهمی داشتند. همچنین مقدار کربنات نیز به دلیل تشکیل کربنات‌های غیر محلول باعث کاهش غلظت آهن قابل استخراج با DTPA در خاک شده است.

### روی

مواد غیر هومیک کاتیونی از قبیل کربوهیدراتها، پروتئینها و اسیدهای نوکلئیک به آسانی تجزیه می‌شوند. و تولید اسیدهای آلی نموده که به آسانی دیسوسییه می‌شوند و آنیون کربوکسیلات حاصله می‌تواند کمپلکس‌های محلول با کاتیونهای فلزی تشکیل دهد و بنابراین زیست‌فراهمی فلزات را افزایش دهد. در مقابل مواد هومیکی بطور نسبی پایدار هستند و سطوح ذرات را در خاکهای طبیعی می‌پوشانند. مواد هومیکی حاوی تعدادی از گروههای عاملی هستند که قادرند با فلزات وارد واکنش شوند. این گروههای عامل شامل کربوکسیلها، کربونیلها، فنیلها، هیدروکسیدها، آمینها، آمیدها، آمیدازولها، سولفیدریلها و گروههای سولفونیک هستند. فلزات کمپلکس شده با مواد هومیکی بطور کلی قابلیت زیست‌فراهمی ندارند (Kumpiene et al, ۲۰۰۲). که این امر توسط (Goulding and Blake, ۱۹۹۸) نیز نشان داده شد. نتایج آنالیز گام به گام نشان داد در کاربری جنگل سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بیشترین ضریب رگرسیونی مقدار روی کل با فاکتور کربن آلی و کربنات کلسیم بود که این ضریب برای هر دو فاکتور مثبت بود. نتایج (McBride, ۱۹۹۴) از توانایی مواد آلی در محدود نمودن تحرک و قابلیت استفاده فلزات سنگین حتی در شرایط اسیدی دلالت دارد. جذب یکی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده غلظت روی در خاکها می‌باشد (Bradl, ۲۰۰۴). ادو و همکاران (Udo et al, ۱۹۷۰) همبستگی زیادی بین روی خاک و مقدار مواد آلی مشاهده کردند و نتیجه گرفتند که مواد آلی یک جزء مهم در نگهداری روی در خاکهای آهکی است. همچنین کربنات کلسیم نیز از طریق جذب و تشکیل کمپلکس غیر محلول سبب افزایش غلظت روی کل در خاک می‌شود.

مقدار روی قابل استخراج با DTPA در دو کاربری جنگل سوزنی‌برگ و جنگل پهن‌برگ نیز با مقدار کربن آلی ضریب رگرسیونی بالایی نشان داد که این امر توسط Bradl (۲۰۰۴) به این صورت توضیح داده شده که عوامل کی‌لیت‌کننده نقش مهمی در تحریک روی خاک دارند. به طوری که حضور اسیدهای آلی در محلول خاک باعث کاهش جذب روی توسط خاک شده، روی با مولکولهای آلی تشکیل کمپلکس‌های پایدار می‌دهد بنابراین تمایل روی برای جذب توسط سایت‌ها کاهش می‌یابد و باعث افزایش مقدار روی قابل استخراج با DTPA می‌شود.

در کاربری مرتع بیشترین ضریب رگرسیونی بین مقدار روی کل و درصد رس و مقدار کربن برقرار بود. توانایی کانی‌های رسی از جمله فیلوسیلیکاتها برای ایجاد پیوند با یونهای فلزات سنگین در ارتباط با ظرفیت تبادل کاتیونی این نوع کانی‌ها می‌باشد. معمولاً هر چه ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) آنها بالاتر باشد تمایل به جذب کاتیونهای

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، گوتیت FeOOH، لیمونیت nH<sub>2</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> از مهمترین کانیهای آهن‌دار به حساب می‌آیند. آهن در ترکیب بسیاری از سنگهای آتشفشانی، دگرگونی و رسوبی شرکت دارد. در سنگهای اولیه بیشتر به صورت سیلیکات‌های مختلف با آلومینیوم یا منیزیم و در سنگ‌های رسوبی اغلب به فرم اکسیدی وجود دارد (Vodyanitskii, ۲۰۰۳). نتایج Wang And و Sotjimenz and Paezosana (۲۰۰۱) و Wu (۲۰۰۸) نیز همبستگی مثبتی بین درصد رس و آهن نشان دادند. کانیهای حاوی کربنات کلسیم مقدار کمی آهن داشته که این امر موجب همبستگی منفی مقدار آهن با کربنات کلسیم بوده است. مقدار آهن کل با مقدار کربن آلی همبستگی منفی نشان داده است. انتقال آهن در خاک به صورت یون آزاد به ندرت اتفاق می‌افتد، چرا که آهن به صورت محلول فقط تحت فرم یون فرو (Fe<sup>2+</sup>) آن هم در شرایط pH کم و محیط اشباع خاک دیده می‌شود و خاک با زهکشی و تهویه مناسب عملاً یون فرو (Fe<sup>2+</sup>) محلول ندارد (Vodyanitskii, ۲۰۰۳). بنابراین می‌توان ماده آلی خاک را در انتقال آهن به افقهای پایین تر عنوان کرد. در مطالعه پراکنش فلزات سنگین در رسوبات حاره‌ای جنوب کالیفرنیا ماده آلی به عنوان حامل فلزات کبالت، مس، آهن و نیکل در این رسوبات عنوان شد (Sotojimenz and Paezosana, ۲۰۰۱).

مقدار آهن قابل استخراج با DTPA نیز در کاربری مرتع بیشترین همبستگی منفی را با مقدار کربنات کلسیم نشان داد که مربوط به جذب شیمیایی و کاهش فرم محلول این عنصر در خاک است. (Emmerich et al, ۱۹۸۲; Goulding and Blake, ۱۹۹۸) نیز نشان دادند که سطح کربنات کلسیم می‌تواند با جذب شیمیایی بعضی از عناصر سنگین یک مکانیسم جذب و نگهداری فلز را فراهم آورد، سبب کاهش فعالیت فرم محلول این عناصر گردد. در کاربری جنگل پهن‌برگ مقدار رس و کربن آلی بیشترین همبستگی را با مقدار آهن قابل استخراج با DTPA نشان دادند که رس همبستگی منفی و ماده آلی همبستگی مثبت نشان داد. همبستگی منفی درصد رس خاک را می‌توان ناشی جذب سطحی آهن محلول خاک دانست. اجزای خاکهای ریزدانه حاوی ذرات خاک با واکنش گری سطحی بالا و سطح ویژه بالا مانند کانی‌های رسی، هیدروکسیدهای آهن و منگنز جذب سطحی را افزایش می‌دهند (Duker et al, ۱۹۹۵).

در کاربری جنگل سوزنی‌برگ، همبستگی مثبت بین آهن قابل استخراج با DTPA با مقدار کربن آلی را می‌توان به تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول آهن دانست در این کاربری به دلیل بالا رفتن مقدار کربن در خاک به نظر می‌رسد که باعث افزایش کمپلکس محلول در خاک شده و در نتیجه همبستگی این دو فاکتور بالا رفته است. در کاربری جنگل سوزنی‌برگ مقدار آهن بر اساس رگرسیون گام به گام بیشترین همبستگی با مقدار کربنات کلسیم و کربن آلی دیده شد. همبستگی منفی مقدار کربن آلی و مقدار کل آهن را می‌توان به افزایش حلالیت و در نتیجه خروج از لایه سطحی آهن نسبت داد که در نتیجه آن کاهش مقدار آهن در نقاطی که مقدار ماده آلی بالا بوده، شده است. همچنین در این کاربری مقدار کربن آلی بیشترین همبستگی را با مقدار قابل استخراج با DTPA نشان داد که این امر می‌تواند ناشی

نشان داده‌اند (Sauve et al, ۱۹۹۶; McBride et al, ۱۹۹۷; Sauve et al, ۱۹۹۷; Peijnenburg et al, ۲۰۰۰).

#### مس

بر اساس آنالیز گام به گام، مقدار مس کل در کاربری جنگل سوزنی‌برگ بیشترین ضریب رگرسیونی را با مقدار کربنات کلسیم نشان داد. با توجه به ضریب همبستگی منفی این فاکتور با مقدار کل مس می‌توان تاثیر این فاکتور را به مواد مادری خاک نسبت داد به طوری که کانیهای کربنات دار مقدار کمتری از ترکیبات مس را در خود داشتند. مهمترین منبع مس در خاک‌ها، اکسیدهای آهن و منگنز، مواد آلی و سولفیدها هستند (Duker et al, ۱۹۹۵).

مقدار مس قابل استخراج با DTPA در این کاربری با فاکتور درصد شن، مقدار کربنات کلسیم و مقدار کربن آلی بر اساس رگرسیون گام به گام بیشترین همبستگی را نشان داد. که این ضریب برای درصد شن و مقدار کربنات کلسیم منفی و برای کربن آلی مثبت به دست آمد. با توجه به همبستگی بالای مقدار مس کل و مس قابل استخراج با DTPA، می‌توان دلیل اصلی همبستگی منفی مقدار مس و کربنات کلسیم را در ارتباط با کمتر بودن مقدار مس در کانیهای حاوی کربنات دانست. همچنین همبستگی مثبت مقدار کربن آلی و مس قابل استخراج با DTPA را در ارتباط با تولید کمپلکس‌های محلول مس در این کاربری دانست. که تحقیقات زیادی جذب و تشکیل کمپلکس‌های مس توسط مواد آلی را نشان داده‌اند (Stevenson, ۱۹۷۶; Stevenson, ۱۹۹۱; del Castillo et al, ۱۹۹۳).

مقدار مس کل در کاربری جنگل پهن برگ با مقدار رس و کربنات کلسیم بیشترین ضریب رگرسیونی را نشان داد که این ضرایب منفی بدست آمد. همبستگی منفی مس با کربنات کلسیم را می‌توان تحت تاثیر مقدار کم مس در مواد مادری کربناتسی و همچنین بالا بودن مقدار کربنات کلسیم در این کاربری نسبت داد. مقدار قابل استخراج با DTPA مس بیشترین ضریب رگرسیونی را با فاکتورهای درصد سیلت و مقدار کربن آلی خاک نشان داد همچنین درصد کربن آلی از طریق تشکیل کمپلکس فراهمی مس را افزایش می‌دهد. مک پراید نشان داد که با افزایش مواد آلی قابل حل، تحرک مس خصوصا در خاک‌های شنی با اسیدیته بالا افزایش یافت (Mcbride, ۱۹۹۹). در کاربری مرتع مقدار مس کل بیشترین همبستگی را با درصد رس و درصد کربنات کلسیم نشان داد. از طرفی مقدار مس قابل استخراج با DTPA نیز بیشترین ضریب رگرسیونی را با درصد رس نشان داد که با توجه به همبستگی بالای بین مقدار مس قابل استخراج با DTPA با مقدار مس کل (۰/۶۴) و نیز ضریب همبستگی مثبت بین مس کل و درصد رس، دلیل همبستگی مثبت بین مقدار قابل استخراج با DTPA و درصد رس را به بالا بودن مقدار مس در ساختمان این ذرات نسبت داد.

#### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که خصوصیات خاک در انواع کاربری اراضی همبستگی متفاوتی را بر مقدار فلزات سنگین در خاک داشت. علاوه

این عناصر نیز در آنها افزایش می‌یابد (Korte et al, ۱۹۷۶). در مطالعه قشلاقی و همکاران (Qishlaqi et al, ۲۰۰۹) مقدار نیکل، کرم، آهن، منگنز و روی خاک همبستگی بالایی با مقدار رس خاک نشان دادند. مقدار روی قابل استخراج با DTPA نیز بالاترین ضریب رگرسیونی را با مقدار کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن نشان داد. در این کاربری نیز مقدار ماده آلی با تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول باعث افزایش غلظت قابل استخراج با DTPA روی شد این کاربری در مقایسه با سایر کاربری‌ها ضریب همبستگی کمتری نشان داد که می‌توان به مقدار کم کربن آلی در این کاربری و نوع ماده آلی تولید شده در این کاربری نسبت داد. عوامل کی‌لیت‌کننده مصنوعی و طبیعی، نقش مهمی در تحریک Zn خاک دارند (Bradl, ۲۰۰۴). همچنین همبستگی منفی مقدار روی قابل استخراج با DTPA را با مقدار رس خاک با توجه به نتایج کرته و همکاران (Korte et al, ۱۹۷۶) می‌توان به جذب سطحی بر روی سطوح رس نسبت داد. در خاکهای آهکی و قلیایی، غیرقابل دسترس بودن عنصر روی به جذب Zn توسط کربنات‌ها، رسوب هیدروکسید و کربنات روی نامحلول می‌باشد. (Adriano, ۲۰۰۱).

#### منگنز

بر اساس آنالیز گام به گام مقدار منگنز کل بیشترین همبستگی را در کاربری جنگل سوزنی‌برگ با مقدار کربنات کلسیم که همبستگی منفی بود نشان داد. مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA در این کاربری با مقدار کربن آلی و مقدار کربنات کلسیم بیشترین ضرایب را نشان دادند که کربن آلی ضریب مثبت و کربنات کلسیم ضریب منفی نشان داد. در اینجا نیز همانند آهن قابل استخراج با DTPA، ضریب مثبت با کربن را در اثر افزایش کمپلکس آلی و ضریب منفی کربنات کلسیم را جذب سطحی این عنصر در این کاربری نسبت داد. در خاک‌های آهکی، جذب شیمیایی بر روی و به همراه آن رسوب می‌تواند نقش مهمی ایفا نماید (Bradl, ۲۰۰۴). در کاربری مرتع ضریب رگرسیون بالایی بین مقدار کل منگنز با مقدار رس خاک دیده شد. به نظر می‌رسد که این امر از مواد مادری خاک ناشی شده باشد به طوری که کانیهای رسی موجود در منطقه دارای مقدار زیادی منگنز هستند. منگنز به شدت توسط کانی‌های رسی جذب سطحی می‌شوند و جذب سطحی با افزایش pH، افزایش می‌یابد (Reddy, Sotjimenz and Paezosana, ۱۹۷۶). مطالعه Wang And Wu (۲۰۰۸) نیز همبستگی مثبتی بین منگنز و رس خاک نشان دادند. مقدار منگنز قابل استخراج با DTPA نیز با مقدار رس خاک ضریب رگرسیونی بالایی نشان داد. بر اساس جدول ۳، فرم قابل استخراج با DTPA منگنز همبستگی شدیدی با مقدار کل منگنز خاک نشان داد. از طرفی درصد رس خاک در کاربری مرتع بالا بود که این امر سبب افزایش فرم منگنز قابل استخراج با DTPA در خاک شده است. بنابراین همبستگی مثبت بین مقدار رس خاک و فرم قابل استخراج با DTPA را می‌توان به همبستگی مقدار کل منگنز و رس خاک نسبت داد. تحقیقات زیادی تاثیرپذیری فرم قابل استخراج با DTPA و مقدار کل فلزات سنگین در خاک را

Influence of cattle-manure slurry application on the solubility of cadmium, copper, and zinc in a manured acidic, loamy-sand soil. *Journal of Environmental Quality*. 697-689, 22.

6. Dinakaran J and NR. Krishnayya, 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils, -94:1144 1150.

7. Duker A., Ledin A., Karlsson S., Allard B. 1995. Adsorption of zinc on colloidal (hydr)oxides of Si, Al and Fe in the presence of a fulvic acid. *Appl. Geochem.* -10:197 205.

8. Emmerich W.E., Lound L.J., Page A.L., Chang A.C. 1982. Movement of heavy metals in sewage sludge-treated soils. *J. Environ. Qual*, 178-11:174.

9. Goulding K T and Blake L. 1998. Land use, liming and the mobilization of potentially toxic metals. *Agric. Ecosyst. Environ.* 144-67:135.

10. Hopmans P. and Elms SR. 2009. Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a -30year rotation of Pinus radiata on podzolized sands: Impacts of intensive harvesting on soil resources. *Forest Ecology and Management*, -2183:(10)258 2193.

11. Huang S and Jin J. 2008. Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use. *Environ Monit Assess*, 327-139:317.

12. Jansen B., Nierop G.J., Verstraten JM. 2003. Mobility of Fe(II), Fe(III) and Al in acidic forest soils mediated by dissolved organic matter: influence of solution pH and metal/organic carbon ratios. *Geoderma*, 340-4:323-3, 113.

13. Kumpiene J., Lagerkvist A., Maurice C. 2002. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments-a review, Division Of Waste Science & Technology, Lulea University Of Technology, SE97187-Lulea, Sweden.

14. Laclau P. 2003. Biomass and Carbon Sequestration of Ponderosa Pine Plantations and Native Cypress forests in Northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management*, 333-317, (3-1)180.

15. Lindsay WL., Norvell WA. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 428-421, 42.

16. Lund L.J., Page A.L., Nelson CO. 1976. Movement of heavy metals below sewage disposal ponds. *J. Environ*

بر ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های فلزات نیز بر تحرک آنها در خاک تأثیرگذار بود. مکانیسم پیوند فلزات در خاک تعیین کننده تحرک نسبی آنها در خاک می‌باشد. بر اساس ثابت‌های هیدرولیز عناصر می‌توان در مورد خصوصیات حلالیتشان در خاک قضاوت نمود.

در بین فاکتورهای مورد بررسی، عنصر روی بیشترین همبستگی را با مقدار کربن آلی خاک نشان داد. مواد آلی با تولید عوامل کی‌لیت‌کننده نقش مهمی در تجمع و تحرک روی خاک نشان دادند. مقدار آهن، مس و منگنز تحت تاثیر کربنات کلسیم، درصد اندازه ذرات و مقدار ماده آلی خاک بود. مقدار کل فلزات در کلیه کاربری‌ها با مقدار کربنات کلسیم همبستگی منفی نشان داد که امر بیانگر مقدار کم فلزات در مواد مادری حاوی کربنات کلسیم بود. که با توجه به همبستگی مثبت بین فرم قابل استخراج با DTPA فلزات با مقدار کل این فلزات یکی از دلایل همبستگی منفی مقدار کربنات کلسیم و فرم قابل استخراج با DTPA فلزات مورد بررسی عنوان نمود همچنین سطح کربنات کلسیم با جذب شیمیایی بعضی از عناصر سنگین یک مکانیسم جذب و نگهداری فلز را فراهم آورده که سبب کاهش فعالیت فرم محلول عناصر آهن، مس و منگنز قابل استخراج با DTPA در کاربری‌ها عنوان کرد. البته باید توجه داشت که هوادیدگی سنگهای معدنی منبع اصلی ورودی فلزات سنگین در خاک است. در این تحقیق نیز به نظر می‌رسد که تغییرات مقادیر کل فلزات بیشتر تحت تاثیر مواد مادری بود. که این مقادیر کل بر فرم قابل استخراج با DTPA این فلزات تاثیر گذار بوده‌اند. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق فاکتورهای خاکی نقش مهمی در زیست فراهمی فلزات سنگین در خاک ایفا می‌کنند. که این فاکتورهای خاکی تحت تاثیر مواد مادری و همچنین تحت تاثیر نوع کاربری و مدیریت اراضی قرار می‌گیرند. کاربری اراضی از طریق افزایش و یا کاهش مقدار پارامترهای خاک باعث تغییر در مقدار جذب و یا حلالیت فلزات سنگین می‌شود.

### منابع

1. Adriano DC. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments, Springer-Verlag, New York/Berlin/Heidelberg.
2. Bradl BH. (2004). Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents, *J. Colloid Interface Sci*, 277 18-1.
3. Busse MD., Sanchez FG., Ratcliff AW., Butnor JR, Carter EA. And Powers RF. Soil carbon sequestration and changes in fungal and bacterial biomass following incorporation of forest residues. *Soil Biology & Biochemistry*. :41 :2009 227-220.
4. D'Amico ME., Julitta F., Previtali F., Cantelli D. 2008. Podzolization over ophiolitic materials in the western Alps. (Natural Park of Mont Avic, Aosta Valley, Italy). *Geo-derma* 136 - 146:129.
5. Del Castillo P., Chardon W.J. and Salomons W. (1993).

copper pools in urban contaminated soils. Environmental Pollution. 157-153 ,94.

29. Sauve S., McBride M.B., Norvell W.A. and Hendershot W.H. (1997). Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils: effects of copper level, pH and organic matter. Water, Air and Soil Pollution. 149-133 ,100.

30. Singh K.P., Mohan D., Sinha S., Dalwani S. 2004. Impact assessment of treated /untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area, Chemosphere 255–227 55.

31. Soon Y and T.E Bates.1982.Chemical pools of Cd,Ni and Zn in Polluted Soils and some preliminary indications of their availability to plants.Soil Sci.488-33:477.

32. Soto-Jimenez MF And Paez-Osuna F.2001 Distribution and Normalization of Heavy Metal Concentrations in Mangrove and Lagoonal Sediments from Mazatla'n Harbor (SE Gulf of California). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 274–259 :53.

33. Stevenson, FJ. 1976. Stability constants of Cu +2 , Pb +2 , and Cd +2 complexes with humic acids. Soil Science Society of America Journal. 672-665 ,40.

34. Stevenson FJ. 1991. Organic matter-micronutrient reactions in soil. In 'Micronutrients in Agriculture'. 2nd. edn. pp. 186-145. Soil Science Society of America, Madison.

35. Taleghani MA. Zahedi Gh. Adeli A., Takebi Kh. 2007. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. J Jangel & Sonobar Iran,252-241 ,15:3.(in Farsi).

36. Udo E.J., Bohn HL. Tucker TC. 1970. Zinc adsorption by calcareous soil. Soil Sci.Soc.Am.Proc, 407-405 ,34.

37. Vodyanitskii Y N: Chemistry and Mineralogy of Soil Iron (Pochv. Inst. Im. V.V. Dokuchaeva, Moscow, :2003 238 pp. [in Russian].

38. Wang L and Wu J. 2008. Spatial variability of heavy metals in soils across a valley plain in Southeastern China. Environ Geol, 1217–1207 :55.

39. Yassen AA., Nadia M., Zaghloul SM. 2007. Role of some organic residues as tools for reducing heavy metals hazard in plant. Journal of agricultural sciences. -204:(2)3 209

.Qual.334-5:330.

17. McBride M., Sauve S. and Hendershot W. (1997). Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. European Journal of Soil Science. 346-337 ,48.

18. McBride M.B. Environmental Chemistry of Soils, Oxford Univ. Press,New York, 1994.

19. McGrath S.P and P.W Lane.1989. An Explanation for the apparent losses of metals in a long-term field experiment with sewage sludge. Nviron.Pollut.256-60:235.

20. Naidu, R. Oliver, D. McStuart. 2003. Heavy Metal Phytotoxicity in Soils. In: A. Langley, M. Gilbey, and B. Kwnnedey (Eds). Proceeding of the Fifth National Workshop on the Assessment of Site Contamination. 24-235.

21. Paul K., Polglase PJ. Nyakuengama JG. Khanna PK. 2002. Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecology and Management. 257-241 :(3-1)168.

22. Peijnenburg, W., Baerselman, R., de Groot, A., Jager, T., Leenders, D., Posthuma, L. and Van Veen, R. (2000). Quantification of metal bioavailability for lettuce in field soils. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 430-420 ,39.

23. Pour Hashemi M.1997. Study of quality and quantity afforested species in Chitgar forest park. Thesis of Msc in forestry field, Natural recourse faculty of Tehran University. (In Farsi).

24. Qing-Biao W.U., Xiao-Ke W., Zhi-Yun O. 2009. Soil Organic Carbon and Its Fractions across Vegetation Types: Effects of Soil Mineral Surface Area and Micro aggregates. Pedosphere, 264-258 ,(2)19.

25. Qishlaqi A., Moore F., Forghani G. (2009). Characterization of metal pollution in soils under two landuse patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis. Journal of Hazardous Materials, 384-172:374.

26. REDDY MR and PERKINS HF. 1976. Fixation of Manganese By Clay Minerals. Soil science, 1 ,121.

27. Renella G., Landi L., Nannipieri P. 2004. Degradation of low molecular weight organic acids complexed with heavy metals in soil. Geoderma. 315-311 :122.

28. Sauve S., Cook N., Hendershot W.H. and McBride, M.B. (1996). Linking plant tissue concentrations and soil

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■