

تأثیر افت سطوح مختلف آب بر شکل‌های مختلف اکسیدهای آهن خاک در کرانه شرقی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

امین موسوی^{۱*}، فرزین شهبازی^۲، شاهین اوستان^۳، علی اصغر جعفرزاده^۴

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، پست الکترونیک (amin_mousavi@alumni.ut.ac.ir)

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۴- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

چکیده

آگاهی از چگونگی تغییر شکل‌های مختلف آهن و نسبت آن‌ها در اراضی مجاور دریاچه ارومیه اطلاعات مفیدی را در رابطه با تبعات افت سطح آب و عقب‌نشینی دریاچه و همچنین میزان و درجه تکامل خاک‌ها ارائه خواهد داد. به طور کلی یکی از اهداف این پژوهش تعیین همبستگی میان افت سطح آب بر تکامل خاک و اثرات زهکشی بر تشکیل این فرایندها در شرایط خاک‌های شور است. منطقه مورد مطالعه با وسعتی حدود ۳۷۰۰۰ هکتار شامل سه سایت مطالعاتی است که هر سایت با توجه به سطح تراز اکولوژیک دریاچه (۱۲۷۲ متر از سطح آب‌های آزاد) و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به سه طبقه از ۱۲۷۱ متر تا ۱۲۷۷ متر تقسیم شد. در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و شکل‌های مختلف اکسیدهای آهن ۱۵۷ نمونه خاک شامل آهن کل (Fet)، آهن بلورین یا آزاد (Fed) و آهن بی‌شکل (Feo) اندازه‌گیری شدند. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری با آزمون (T-test) برای بررسی رابطه بین افت سطح آب و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نمونه‌های خاک به ویژه شکل‌های مختلف آهن و ارتباط آن با عقب‌نشینی دریاچه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که نسبت آهن بی‌شکل (اکرالاتی) به آهن آزاد (دی تیوناتی) در این نمونه خاک‌ها تحت تأثیر شوری، بافت، مواد آلی خاک و همچنین میزان سطح تراز اکولوژیک دریاچه متفاوت است و بین میزان رس با مقادیر آهن کل (Fet)، آهن پدوژنیک (Fed) و آهن بی‌شکل (Feo) و همچنین بین شکل‌های مختلف آهن با یکدیگر ارتباط معنی‌داری وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: شکل‌های آهن، دریاچه ارومیه، افت سطح آب، تکامل خاک، تراز اکولوژیک

مقدمه

آهن به شکل های مختلفی در خاک مشاهده می شود در کانی های اولیه به صورت Fe^{2+} یا Fe^{3+} است که طی هواپیدگی در محیطی با تهویه نامناسب به شکل Fe^{2+} درآمده و آزاد می شود. در حالی که در خاک های با تهویه مناسب به Fe^{3+} تبدیل و به صورت اکسید و هیدروکسیدهای Fe^{3+} رسوب می کند. توزیع آهن و شکل های آن شاخصی در ارزیابی تکامل خاک است (Stonehouse و Arnaud, ۱۹۷۱). از طرفی مقایسه مقدار آهن در خاک های مختلف بیانگر میزان آبشویی این عنصر در خاک است که در شناسایی و تشخیص انواع خاک ها اهمیت دارد. اکسیدهای آهن باعث پایداری ساختمان خاک می شوند، به طوری که حتی در محیط اسیدی، در صورتی که شرایط هواپیدگی خاک مناسب باشد آهن به صورت سه ظرفیتی باقی خواهد ماند. در طول هواپیدگی، بخشی از آهن ساختمانی مواد مادری آزاد شده و در خاک به صورت بی شکل، بلوری ضعیف، بلوری و یا هیدروکسی و اکسی هیدروکسی رنگی مجدد رسوب می کند. با افزایش سن خاک، میزان این محصولات افزایش یافته و در نتیجه میزان آهن آزاد اغلب می تواند به عنوان شاخصی برای تعیین سن نسبی خاک ها به کار برده شود (Ogunsola و همکاران، ۱۹۸۹).

ترکیبات آهن بلوری و بی شکل با بخش رس خاک پیوند می یابند. به نظر می رسد آزاد آهن عامل اتصال ذرات ریز به هم هستند. تبلور خیلی بالا یا اکسیدهای آهن آزاد در خاک ها، شاید نتیجه محیط اسیدی متوسط، خشک و مرطوب شدن پیایی و سن بالا باشد (Verhey, ۱۹۷۳). و تشکیل عوارض اکسید و احیا به صورت تجمع و تخلیه آهن، در اثر نوسان سطح تراز اکولوژیکی در خاک رخ می دهد (Zeng-Yei و Zeng-Sang, ۲۰۰۱). وجود الگوهای رنگی و عوارض اکسید و احیا مهم ترین خصوصیت خاک های تحت تأثیر نوسان سطح تراز اکولوژیکی می باشد که با استفاده از آنها می توان اشباع فصلی این خاک ها را پیش بینی کرد (حسن نژاد و همکاران ۲۰۰۸). دوره های متناوب اکسایش و کاهش در زمان های طولانی و به دنبال آن تحرک و تجمع یا تخلیه آهن با عمق سطح تراز اکولوژیکی در ارتباط است (Costantini و همکاران، ۲۰۰۶).

خاک های غرقاب در شرایط احیایی دارای رنگ خاکستری تیره هستند. در این خاک ها آهن به شکل احیا در طبقات زیرین و یا نواحی دارای اکسیژن کافی اکسیده شده و به شکل های مختلف رسوب می کند. رنگ خاک و عوارض ناشی از اکسیداسیون و احیا از جمله مهم ترین خصوصیات هستند که از میزان تراز اکولوژیکی و نوسان آن تأثیر می پذیرند (Akef و همکاران، ۲۰۰۳). هیدروکسیدهای آهن و رس های کوچک تر از ۰/۱ میلی متر رابطه خطی با میانگین وزنی قطر خاکدانه دارند. وجود این ترکیبات در سطح خاک باعث افزایش جذب ترکیبات آلی در سطح خاک شده که به فرایند خاکدانه سازی در خاک کمک می کنند (Shao-Shan و همکاران، ۲۰۰۸). (Mbagwu, ۲۰۰۳) عنوان داشت در خاک های نیجریه اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربنات کلسیم نسبت به مواد آلی خاک در پایداری ساختمان خاک بیشترین نقش را دارد. نوسانات سطح آب و تراز اکولوژیکی به پدیده ای متداول به خصوص در سال های اخیر در دریاچه ارومیه تبدیل شده است، که باعث ایجاد برخی از تغییرات در ویژگی های خاک ها به ویژه در فرایند انتقال و تجمع اکسیدهای آهن در خاک شده است. اثرات این عوامل در تغییر ویژگی های خاک به سایر شرایط خاک از جمله شوری یا عدم آن، فعالیت میکروبی، وجود و یا عدم وجود ماده آلی در خاک، بافت خاک و بسیاری از ویژگی های دیگر بستگی دارد. لذا مطالعه شکل های مختلف اکسیدهای آهن و تغییرات آن ها در خاک در اثر عوامل مختلف می تواند به تعیین روند تکامل خاک ها کمک نماید. اهداف این پژوهش شامل بررسی نوسان ها و سطح تراز اکولوژیکی دریاچه و همچنین بررسی برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک بر شکل های مختلف اکسیدهای آهن موجود در برخی از خاک های ساحل شرقی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه است.

مواد و روش ها

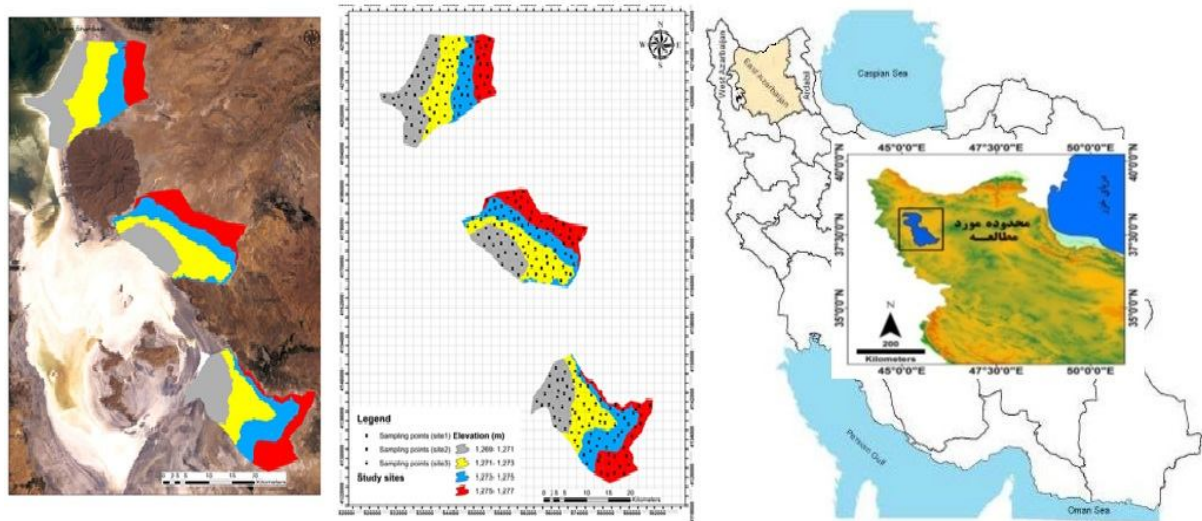
دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران بزرگترین و مرتفع ترین دریاچه داخلی ایران است. حوزه آبخیز دریاچه ارومیه دارای مساحت تقریبی ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع است. این حوزه آبخیز در سه استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان و بین مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۶ درجه طول شرقی قرار گرفته است. این دریاچه ۱۴۰ کیلومتر طول و در گسترده ترین نقطه ۴۰ کیلومتر عرض دارد و در بعضی نقاط عرض آن بین ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر متغیر است. منطقه مورد مطالعه در اراضی شرق دریاچه ارومیه، با متوسط ارتفاع ۱۲۷۳ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. بر

اساس نقشه مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان غربی (مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۶۸) این منطقه بر روی دشت رسوبی با شیب ملایم واقع شده است. همچنین مواد مادری خاک‌های این منطقه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ارومیه (شهرابی، ۱۹۹۴) از نوع رسوبات کواترنر متشکل از پهنه‌های رسی نمکی می‌باشند. به علاوه بر اساس داده‌های هواشناسی اخیر ایستگاه هواشناسی ارومیه، میانگین بارندگی و درجه حرارت سالیانه این منطقه به ترتیب ۳۴۵/۳۷ میلی‌متر و ۱۰/۸۳ درجه سلسیوس می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۲). در ادامه با تهیه، جمع‌آوری و بررسی اطلاعات اولیه شامل تهیه مدل رقومی ارتفاع^۱ (DEM)، نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی از منطقه مورد مطالعه، شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه در سه سایت مطالعاتی هر یک به مساحت تقریبی ۳۷۰۰۰ هکتار به ابعاد ۲۰۰۰ متر × ۲۰۰۰ متر صورت گرفت و هر سایت نیز با توجه به سطح تراز اکولوژیک دریاچه (۱۲۷۲ متر ارتفاع از سطح آب‌های آزاد) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به سه طبقه از ۱۲۷۱ متر تا ۱۲۷۷ متر و هر یک از لایه‌های سایت‌های مطالعاتی نیز به ترتیب شامل لایه اول دارای تراز اکولوژیک (۱۲۷۷-۱۲۷۵ متر)، لایه دوم دارای تراز اکولوژیک (۱۲۷۵-۱۲۷۳ متر) و لایه سوم دارای تراز اکولوژیک (۱۲۷۳-۱۲۷۱ متر) تقسیم شدند، سپس با وارد کردن مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) هر یک از نقاط نمونه‌برداری به دستگاه مکان‌یاب جغرافیایی^۳ (GPS) در مرحله صحرایی از هر ۴۰۰ هکتار یک نمونه مرکب خاک (هر نمونه مرکب شامل چهار زیرنمونه) از عمق (۱۰-۰) سانتی‌متری به روش طبقه‌بندی شده تصادفی برداشت شد، که موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ۱۵۷ نقطه نمونه‌برداری برای هر سه سایت مطالعاتی در شکل ۱ نشان داده شده است. در نهایت نیز نمونه‌های خاک برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، هوا خشک کردن، نرم کردن و عبور دادن خاک‌ها از الک دو میلی‌متری انجام شده و آزمایش‌های لازم شامل تعیین بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee و Or، ۲۰۰۲)، درصد رطوبت اشباع خاک به روش توزین، اسیدیته (pH) گل اشباع با دستگاه pH متر (Thomas، ۱۹۹۶)، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (ECe) با دستگاه هدایت سنج الکتریکی (Rhoades، ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش تیتراسیون معکوس یا برگشتی (Richards، ۱۹۵۴) کربن آلی به روش والکی- بلک اصلاح شده (Nelson و Sommers، ۱۹۸۶)، انجام شد. آهن آزاد یا پدوژنیک (Fed) شامل آهن بلوری و ضعیف بلور (آهن نسبتاً بلوری) به همراه آهن متصل به ترکیبات آلی به روش سترات-دی تیونات-بیکربنات (Mehra و Jackson، ۱۹۶۰)، آهن بی‌شکل (Feo) شامل آهن بی‌شکل، ضعیف بلور و آهن متصل به ترکیبات آلی (آهن نسبتاً بلوری) به روش اگزالات آمونیوم اسیدی با pH برابر ۳ و با عصاره‌گیری در تاریکی (McKeague و Day، ۱۹۶۶) و آهن معادل کل (Fet) پس از هضم به روش تیزاب سلطانی (Loeppert و Inskip، ۱۹۹۶) (ISO standard 11466، ۱۹۹۵)، استخراج و مقدار هر سه شکل آهن موجود در عصاره با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل شیمادزو (AA-670) اندازه‌گیری شد. در ادامه تفاضل آهن قابل استخراج با دی‌تیونات و اگزالات آمونیوم، به عنوان آهن بلوری خاک (Fec) فرض شد و به منظور انجام تحلیل‌های آماری و مقایسه و بررسی اثرات هر یک از سایت‌های مطالعاتی و لایه‌های تراز اکولوژیک دریاچه به تفکیک بر روی ویژگی‌های مورد مطالعه از نرم‌افزار SPSS با آزمون آماری T-test استفاده شد.

¹ - Digital Elevation Models

² - Geographic Information System

³ - Global Positioning System



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی سایت‌های مطالعاتی و مکان‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

نتایج و بحث

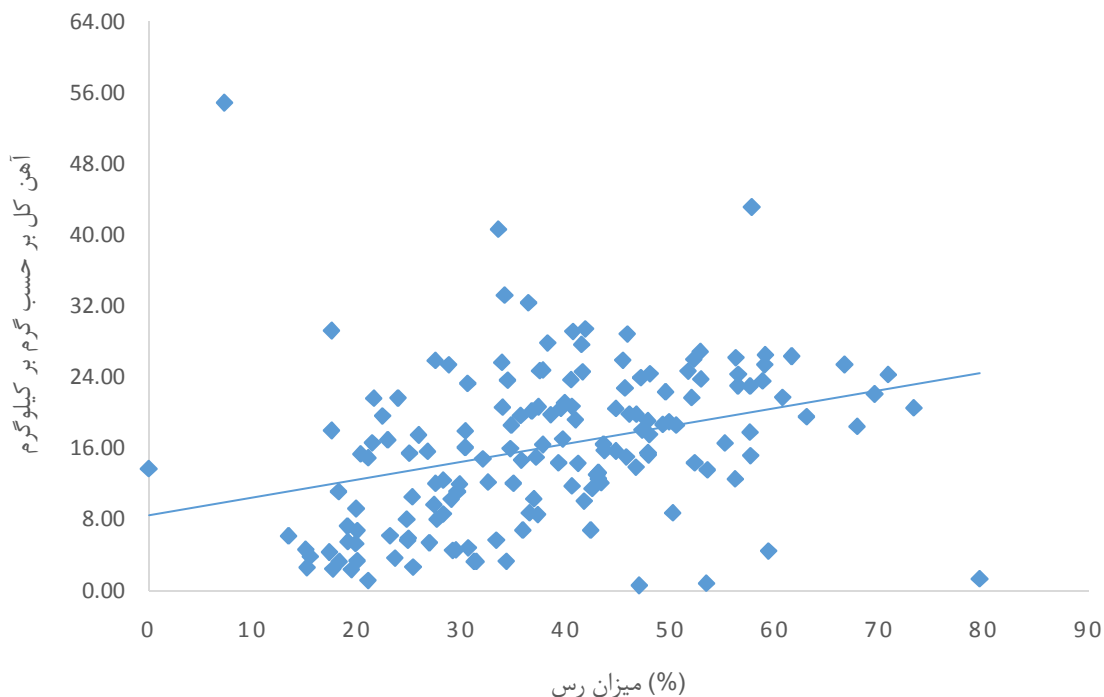
تشریح برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک

تمامی خاک‌های مورد مطالعه در مناطق شور دارای آب زیرسطحی خیلی شور بودند. این خاک‌ها از لحاظ شرایط پستی و بلندی در دو دسته قرار دارند: بخشی از این اراضی مسطح بوده و فاقد حالت آب‌ماندگی در سطح بودند. در این اراضی، شوری خاک از عمق، در اثر تبخیر شدید سطحی بالا آمده و در سطح زمین تجمع می‌یابد. بنابراین شوری در خاک‌های سطحی بیشتر از عمق است. در این خاک‌ها تفاوت چندانی در میزان آهن بلورین در سطح و اعماق بیشتر وجود ندارد. با این وجود مقدار آهن بلوری خاک یا (Fec) در لایه‌های اول و در سطح تراز اکولوژیکی ۱۲۷۵-۱۲۷۷ متر از سطح آب‌های آزاد سایت‌های مطالعاتی یک و دو بیش از سایر لایه‌ها و سطوح تراز اکولوژیکی است که می‌تواند به دلیل اثرات تلاطم سطح آب زیرسطحی بر شرایط احیا و آزاد شدن آهن باشد و در لایه سوم و در سطح تراز اکولوژیکی ۱۲۷۱-۱۲۷۳ متر از سطح آب‌های آزاد سایت مطالعاتی سوم بیش از سایر لایه‌ها و سطوح تراز اکولوژیکی است. در این خاک‌ها با کاهش شوری در خاک‌های لایه‌های ابتدایی و دارای تراز اکولوژیکی بالاتر به علت تلاطم آب و نوسان تراز اکولوژیکی طی دوره‌ای از سال، میزان آهن بلورین افزایش نشان می‌دهد. همچنین شرایط آب‌ماندگی و غرقاب سبب افزایش میزان ماده آلی خاک شده است. این نتایج با یافته‌های (Schwertmann و Taylor, ۱۹۸۹) نیز مطابقت دارد. در خصوص میزان آهن بلورین (Fec) در سایر خاک‌ها و لایه‌ها (لایه شماره ۱ و دارای تراز اکولوژیکی ۱۲۷۵-۱۲۷۷ متر از سطح آب‌های آزاد) باید خاطر نشان کرد که آب‌ماندگی در سطح این خاک‌ها سبب شده است که لایه‌های اول و دارای سطح تراز اکولوژیکی ۱۲۷۵-۱۲۷۷ متر شوری کمتری از سایر لایه‌ها داشته باشند و از سویی میزان ماده آلی آن نیز نسبتاً بیشتر باشد.

در همه خاک‌های مطالعه شده آهن کل (Fet) لایه‌های اول سایت‌های اول و دوم منطقه مطالعاتی و دارای سطح تراز اکولوژیکی ۱۲۷۵-۱۲۷۷ متر بیشتر از سایر لایه‌ها بوده و دلیل آن درصد رس بیشتر در لایه‌های اول سایت‌های اول و دوم منطقه مطالعاتی است. همچنین آهن کل (Fet) در لایه دوم سایت سوم منطقه مطالعاتی و دارای سطح تراز اکولوژیکی ۱۲۷۳-۱۲۷۵ متر منطقه مطالعاتی بیشتر از سایر لایه‌ها می‌باشد. ارتباط بین میزان رس و آهن کل را می‌توان با مقایسه مقدار این دو پارامتر در خاک‌های مطالعه شده دریافت (رابطه ۱، شکل ۲). ضریب رگرسیون نسبتاً پایین این رابطه، نشان دهنده عدم تبعیت آهن کل از مقدار رس در برخی از نمونه‌های خاک است. به عبارتی برخی از کانی‌های آهن‌دار از قبیل بیوتیت و ایلمنیت در بخش سیلت و شن حضور دارند (تورنت و همکاران ۲۰۱۰) که باعث می‌شوند میزان آهن کل، علاوه بر میزان رس تحت کنترل این کانی‌ها نیز باشد. تغییر آهن کل نمونه‌های خاک در لایه‌های سایت‌هایی که از ماده مادری یکنواختی برخوردار هستند کم می‌باشد (تورنت و همکاران ۲۰۱۰) و در سایت سوم منطقه مطالعاتی تغییرات آن نامنظم و در سایر خاک‌های با ماده مادری یکنواخت، این تغییرات کم است.

$$\text{Fet (g/kg)} = 0.2007 \text{ Clay (\%)} + 8/5234 \quad r = 0.32$$

[1]



شکل ۲ - تغییرات آهن کل با میزان رس خاکها

در ادامه نتایج ضرایب همبستگی خطی (جدول ۱) و نتایج تحلیل آماری (جدول ۲، ۳ و ۴) در هر یک از لایه‌ها و ترازهای اکولوژیکی سایت‌های مطالعاتی برای مقایسه میزان آهن کل (Fet)، آهن پدوژنیک (Fed)، آهن بی‌شکل (Feo)، آهن بلوری (Fed-Feo)، درجه بلوری شدن اکسیدهای آهن (Fed/Fed) و درصد رس (% Clay) نمونه‌های خاک با آزمون (T-test) نشان داده شده است.

جدول ۱- ضرایب همبستگی خطی بین شکل‌های مختلف آهن و رس

	Fet	Fed	Feo	Fed-Feo	Feo/Fed	Fet-Fed	% Clay
Fet	۱						
Fed	۰/۶۶۶**	۱					
Feo	۰/۶۶۴**	۰/۵۰۲**	۱				
Fed-Feo	۰/۶۱۷**	۰/۹۹۴**	۰/۴۰۷**	۱			
Feo/Fed	-۰/۲۷۲**	-۰/۵۷۹**	۰/۰۷۷	-۰/۶۲۲**	۱		
Fet-Fed	۰/۹۸۰**	۰/۵۰۱**	۰/۶۳۵**	۰/۴۵۱**	۰/۱۶۲*	۱	
% Clay	۰/۳۲۲**	۰/۳۷۲**	۰/۱۶۱*	۰/۲۶۷**	-۰/۲۸۶**	۰/۳۰۱**	۱

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

جدول ۲- آزمون T-test برای مقایسه شکل های مختلف آهن در سایت یک منطقه مطالعاتی

نوع آهن	سایت مطالعاتی	میانگین (سایت)	لایه	تعداد نمونه (سایت)	تعداد نمونه (لایه)	تراز اکولوژیکی (متر)	میانگین (لایه)	انحراف معیار (لایه)	درجه آزادی (لایه)	آزمون T (لایه)	سطح احتمال (probability level) (لایه)
	۱		۱		۱۴	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۱۶/۵۳	۷/۴۱	۱۳	۸/۳۴	۰/۰۰۱**
Fet	۱	۹/۳۲	۲	۶۰	۱۸	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۹/۹۳	۵/۱۴	۱۷	۸/۲۰	۰/۰۰۱**
	۱		۳		۲۸	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۵/۳۱	۴/۰۰	۲۷	۷/۰۲	۰/۰۰۱**
Fed	۱	۱/۳۲	۲	۶۰	۱۸	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۱/۴۰	۰/۶۵	۱۷	۹/۱۶	۰/۰۰۱**
	۱		۳		۲۸	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۰/۷۵	۰/۴۹	۲۷	۸/۰۲	۰/۰۰۱**
Feo	۱	۰/۲۵	۲	۶۰	۱۸	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۰/۱۹	۰/۱۳	۱۳	۱۳/۸۹	۰/۰۰۱**
	۱		۳		۲۸	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۰/۱۷	۰/۱۱	۲۷	۷/۹۸	۰/۰۰۱**
Fed-Feo	۱	۱/۰۷	۲	۶۰	۱۸	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۱/۲۰	۰/۶۰	۱۷	۸/۵۵	۰/۰۰۱**
	۱		۳		۲۸	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۰/۵۸	۰/۴۱	۲۷	۷/۴۰	۰/۰۰۱**
Feo/Fed	۱	۰/۲۲	۲	۶۰	۱۸	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۰/۱۵	۰/۰۹	۱۷	۷/۰۰	۰/۰۰۱**
	۱		۳		۲۸	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۰/۲۶	۰/۱۴	۲۷	۹/۸۳	۰/۰۰۱**
Fet-Fed	۱	۸/۰۰	۲	۶۰	۱۸	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۸/۵۴	۴/۸۸	۱۷	۷/۴۲	۰/۰۰۱**
	۱		۳		۲۸	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۴/۵۶	۳/۶۶	۲۷	۶/۵۹	۰/۰۰۱**
% Clay	۱	۳۰/۵۴	۲	۶۰	۱۸	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۲۷/۵۱	۹/۱۰	۱۷	۱۲/۸۲	۰/۰۰۱**
	۱		۳		۲۸	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۳۰/۰۷	۱۵/۹۱	۲۷	۹/۹۹	۰/۰۰۱**

** معنی داری در سطح یک درصد

جدول ۳- آزمون T-test برای مقایسه شکل های مختلف آهن در سایت دو منطقه مطالعاتی

نوع آهن	سایت مطالعاتی	میانگین (سایت)	لایه	تعداد نمونه (سایت)	تعداد نمونه (لایه)	تراز اکولوژیکی (متر)	میانگین (لایه)	انحراف معیار (لایه)	درجه آزادی	آزمون T (T test)	سطح احتمال (probability level) (level) (لایه)
	۲		۱		۲۳	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۲۳/۵۶	۸/۱۷	۲۲	۱۳/۸۲	۰/۰۰۱**
Fet	۲	۱۹/۲۸	۲	۷۱	۲۲	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۱۶/۹۴	۵/۷۷	۲۱	۱۳/۷۶	۰/۰۰۱**
	۲		۳		۲۶	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۱۷/۴۷	۴/۱۵	۲۵	۲۱/۴۴	۰/۰۰۱**
Fed	۲	۴/۱۸	۲	۷۱	۲۲	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۳/۹۳	۱/۶۲	۲۱	۱۱/۴۰	۰/۰۰۱**
	۲		۳		۲۶	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۳/۲۰	۱/۷۵	۲۵	۹/۳۰	۰/۰۰۱**
Feo	۲	۰/۴۹	۲	۷۱	۲۲	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۰/۵۲	۰/۴۱	۲۱	۱۲/۲۹	۰/۰۰۱**
	۲		۳		۲۶	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۰/۵۵	۰/۰۸	۲۵	۳۶/۵۶	۰/۰۰۱**
Fed-Feo	۲	۳/۶۹	۲	۷۱	۲۲	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۳/۴۱	۱/۵۰	۲۱	۱۰/۶۴	۰/۰۰۱**
	۲		۳		۲۶	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۲/۶۵	۱/۷۸	۲۵	۷/۶۱	۰/۰۰۱**
Feo/Fed	۲	۰/۱۴	۲	۷۱	۲۲	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۰/۱۵	۰/۰۶	۲۱	۱۱/۹۸	۰/۰۰۱**
	۲		۳		۲۶	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۰/۲۰	۰/۰۶	۲۵	۱۷/۷۷	۰/۰۰۱**
Fet-Fed	۲	۱۵/۱۰	۲	۷۱	۲۲	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۱۳/۰۱	۴/۹۶	۲۱	۱۲/۳۰	۰/۰۰۱**
	۲		۳		۲۶	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۱۴/۲۷	۴/۱۱	۲۵	۱۷/۷۱	۰/۰۰۱**
% Clay	۲	۴۵/۵۹	۲	۷۱	۲۲	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۴۵/۵۹	۷/۸۷	۲۱	۲۷/۱۶	۰/۰۰۱**
	۲		۳		۲۶	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۴۳/۱۶	۱۴/۱۷	۲۵	۱۵/۵۳	۰/۰۰۱**

** معنی داری در سطح یک درصد

جدول ۴- آزمون T-test برای مقایسه شکل های مختلف آهن در سایت سه منطقه مطالعاتی

نوع آهن	سایت مطالعاتی	میانگین (سایت)	لایه	تعداد نمونه (سایت)	تعداد نمونه (لایه)	تراز اکولوژیکی (متر)	میانگین	انحراف معیار	درجه آزادی	آزمون T (T test)	سطح احتمال (level) (لایه)
	۳		۱	۱۵	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۲۳/۳۴	۹/۵۲	۱۴	۹/۴۵	۰/۰۰۱**	
Fet	۳	۲۳/۴۸	۲	۲۶	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۲۳/۸۸	۶/۷۶	۷	۹/۹۸	۰/۰۰۱**	
	۳		۳	۳	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۲۳/۵۶	۵/۶۲	۲	۷/۲۵	۰/۰۱۸	
	۳		۱	۱۵	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۳/۱۲	۱/۱۳	۱۴	۱۰/۶۷	۰/۰۰۱**	
Fed	۳	۳/۵۷	۲	۲۶	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۳/۶۰	۱/۲۰	۷	۸/۴۵	۰/۰۰۱**	
	۳		۳	۳	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۵/۷۱	۱/۰۶	۲	۹/۲۹	۰/۰۱۱	
	۳		۱	۱۵	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۰/۵۷	۰/۲۰	۱۴	۱۱/۳۰	۰/۰۰۱**	
Feo	۳	۰/۵۲	۲	۲۶	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۰/۴۳	۰/۱۳	۷	۹/۳۸	۰/۰۰۱**	
	۳		۳	۳	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۰/۴۸	۰/۲۳	۲	۳/۶۴	۰/۰۶۸	
	۳		۱	۱۵	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۲/۵۵	۱/۱۳	۱۴	۸/۶۹	۰/۰۰۱**	
Fed-Feo	۳	۳/۰۵	۲	۲۶	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۳/۱۷	۱/۱۵	۷	۷/۷۶	۰/۰۰۱**	
	۳		۳	۳	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۵/۲۴	۱/۲۹	۲	۷/۰۴	۰/۰۲۰	
	۳		۱	۱۵	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۰/۲۰	۰/۰۷	۱۴	۱۰/۲۰	۰/۰۰۱**	
Feo/Fed	۳	۰/۱۶	۲	۲۶	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۰/۱۳	۰/۰۴	۷	۸/۴۲	۰/۰۰۱**	
	۳		۳	۳	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۰/۰۹	۰/۰۶	۲	۲/۷۲	۰/۱۱۳	
	۳		۱	۱۵	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۲۰/۱۳	۹/۳۶	۱۴	۸/۳۲	۰/۰۰۱**	
Fet-Fed	۳	۱۹/۹۱	۲	۲۶	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۲۰/۲۸	۶/۴۲	۷	۸/۹۴	۰/۰۰۱**	
	۳		۳	۳	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۱۷/۸۵	۶/۶۸	۲	۴/۶۲	۰/۰۴۴	
	۳		۱	۱۵	۱۲۷۵-۱۲۷۷	۳۷/۳۱	۱۳/۰۰	۱۴	۱۱/۱۱	۰/۰۰۱**	
% Clay	۳	۳۵/۰۵	۲	۲۶	۱۲۷۳-۱۲۷۵	۳۵/۷۵	۸/۵۴	۷	۱۱/۸۳	۰/۰۰۱**	
	۳		۳	۳	۱۲۷۱-۱۲۷۳	۲۱/۸۵	۷/۵۱	۲	۵/۰۳	۰/۰۳۷	

** : معنی داری در سطح یک درصد

این نتایج نشان داد که در هر یک از نمونه های خاک واقع شده در لایه ها و ترازهای اکولوژیکی مختلف هر یک از سایت های مطالعاتی یک و دو و همچنین لایه های اول و دوم سایت مطالعاتی سوم تفاوت آماری معنی داری در سطح یک درصد میان آهن کل (Fet)، آهن پدوژنیک (Fed)، آهن بی شکل (Feo)، آهن بلوری (Fed-Feo)، درجه بلوری شدن اکسیدهای آهن (Feo/Fed)، مقدار آهن موجود در شبکه کانی (Fet-Fed) و درصد رس (% Clay) وجود دارد.

نتیجه گیری کلی

با توجه به شاخص های محاسبه شده برای شکل های مختلف آهن، هر سایت مطالعاتی با توجه به سطح تراز اکولوژیکی دریاچه (۱۲۷۲) متر از سطح آب های آزاد) و با استفاده از نرم افزار ArcGIS به سه طبقه (سه لایه) از ۱۲۷۱ متر تا ۱۲۷۷ متر و هر یک از لایه های سایت های مطالعاتی نیز به ترتیب شامل لایه اول دارای تراز اکولوژیکی (۱۲۷۵-۱۲۷۷ متر)، لایه دوم دارای تراز اکولوژیکی (۱۲۷۵-۱۲۷۳ متر) و لایه سوم دارای تراز اکولوژیکی (۱۲۷۳-۱۲۷۱ متر) تقسیم شدند و نمونه خاک های مورد مطالعه و مد نظر درون هر یک از این لایه ها سطوح تراز اکولوژیکی که متأثر از فرایندهایی از قبیل نوسانات آب های زیرزمینی، فرسایش و رسوب در زمان های مختلف هستند، تفکیک شدند. در این مورد پایداری زمین منظر عامل مهمی در تکامل خاک است. توزیع شکل های مختلف آهن به درک بهتر خاک ها و تکامل آنها کمک می کند. در حرکت از سمت لایه اول به سمت لایه سوم سایت های مطالعاتی اول و دوم مقدار (Fed) روند کاهشی را طی کرده و به پایین ترین مقدار خود در لایه سوم سایت مطالعاتی اول رسیده است. بالا بودن مقدار (Fed) در لایه های اول سایت مطالعاتی یک و دو، و همچنین در لایه سوم سایت مطالعاتی سه نشان دهنده پایداری این لایه ها و امکان پیشرفت هوادیدگی در

آن است. در لایه اول و لایه سوم سایت یک، لایه سوم سایت دو و لایه سوم سایت سه مقدار (Fed) در همه سطوح و تراز اکولوژیکی تقریباً یکسان بوده و بیانگر مشابهت سطوح است. در عین حال این مقدار در لایه اول سایت دو در مقایسه با سایر لایه های سایت های مطالعاتی بیشتر می باشد که دلیل آن مقدار بالای رس در لایه اول سایت دو می باشد. تغییرات (Fed) در لایه های مختلف سایت های مطالعاتی یک و دو کم بوده و مقداری کاهش نسبت به سایت مطالعاتی سه در برخی لایه ها نشان می دهد. تغییرات (Fed-Feo) در سطوح و ترازهای مختلف اکولوژیکی سایت های مطالعاتی روند مشابهی با تغییرات (Fed) دارد. در حرکت از سمت لایه اول به سمت لایه دوم سایت مطالعاتی یک مقدار (Feo/Fed) کاهش و در لایه سوم این سایت این مقدار افزایش می یابد، در سایت دوم منطقه مطالعاتی نیز با حرکت از سمت لایه اول به سمت لایه سوم مقدار (Feo/Fed) افزایش می یابد و در نهایت هم در سایت سوم منطقه مطالعاتی نیز با حرکت از سمت لایه اول به سمت لایه سوم مقدار (Feo/Fed) کاهش نشان می دهد. در واقع تغییرات (Feo/Fed) چندان تابع سطوح و ترازهای اکولوژیکی نبوده و با توجه مساعد بودن یا نبودن شرایط پیشرفت فرایندهای خاکسازگی تغییر می کند. یکنواختی آن در لایه سوم سایت دو نشان دهنده شرایط نسبتاً یکنواخت خاکسازگی برای سطوح و ترازهای اکولوژیکی مختلف می باشد. مقدار (Feo/Fed) در لایه سوم سایت یک منطقه مطالعاتی بیشترین مقدار را داشته و گویای این است که در این لایه از سایت در مقایسه با سایر سطوح و ترازهای اکولوژیکی هوادیدگی کمتری دارد (Howard و همکاران، ۲۰۱۲). در نتیجه می توان نتیجه گرفت که حضور آهک در نمونه خاک های مطالعه شده مانع هوادیدگی کانی های آهن دار شده است. در مقابل در لایه دوم سایت یک، لایه اول سایت دو و لایه سوم سایت سه منطقه مطالعاتی بافت درشت خاک ها به تسریع هوادیدگی کانی ها کمک کرده و باعث کاهش (Feo/Fed) شده است. این نسبت در لایه سوم سایت سه نمونه خاک (S1-۶۰) و به شماره ۶۰ واقع شده در لایه سوم سایت اول منطقه مطالعاتی بالاترین مقدار و در لایه دوم سایت یک نمونه خاک (S1-۲۱) و به شماره ۲۱ واقع شده در لایه دوم سایت اول منطقه مطالعاتی کمترین مقدار را داراست. این امر نشان دهنده هوادیدگی بیشتر نمونه های خاک واقع شده در لایه دوم سایت یک منطقه مطالعاتی نسبت به نمونه های خاک واقع شده در لایه سوم سایت سه است که با توجه به شرایط پایدار زمین منظر و لایه دوم سایت یک، این نتیجه قابل توجیه است. در لایه های اول سایت های مطالعاتی اول و سوم مقدار (Feo/Fed) بالا بوده و در لایه دوم کاهش پیدا کرده است. این نتیجه بیانگر آن است که لایه های اول سایت های مطالعاتی اول و سوم جوان بوده و هوادیدگی کمتری در آن ها صورت گرفته است و دلیل آن را می توان به مقدار نسبتاً بالای آهک در نمونه های خاک و ممانعت آن از پیشروی فرایندهای خاکسازگی دانست. در لایه سوم سایت دو منطقه مطالعاتی (Feo/Fed) یکنواختی بیشتری در این سطح تراز اکولوژیکی نشان می دهد که به مفهوم شرایط هوادیدگی یکسان در این لایه از سایت مطالعاتی مورد نظر است. در خصوص میزان (Feo) نیز در خاک های شور بسته به اینکه اشباع خاک از آب در سطح خاک بوده و یا در عمق متفاوت است. در خاک های شور واقع شده در لایه های اول سایت های مطالعاتی اول و سوم منطقه مطالعاتی و دارای سطوح تراز اکولوژیکی بالاتر و اشباع از آب در سطح، میزان (Feo) بیشتر از لایه های دوم و سوم این سایت ها و در لایه سوم سایت دوم منطقه مطالعاتی و دارای سطوح تراز اکولوژیکی پایین تر این روند برعکس بود. به طور کلی میزان (Feo) در خاک های دارای شوری بیشتر به مراتب بیشتر از خاک های دارای شوری کمتر بود. همچنین میزان (Fec) در خاک های شور و خاک های دارای شوری کمتر تفاوت چندانی نداشت. نسبت (Feo/Fec) در خاک های شور تقریباً بین ۴ تا ۵ برابر خاک های با شوری کمتر بود که این امر در اثر کاهش میزان (Feo) در خاک های با شوری کمتر می باشد. افزایش نسبت (Feo/Fec) در خاک های شور و کاهش آن در خاک های با شوری کمتر نشان از تکامل بیشتر خاک های با شوری کمتر دارد. شوری سبب کاهش میزان (Fec) و افزایش میزان (Feo) در خاک می شود. اثرات ماده آلی نیز در افزایش میزان آهن به شکل های (Feo) و (Fec) در خاک های با شوری کمتر به مراتب بیشتر از خاک های شور بود. با افزایش میزان رس در نمونه های خاک، میزان (Fec) نیز در خاک ها افزایش می یابد که این امر سبب افزایش میزان رنگدانه ها و تجمع آهن در مناطق با شوری کمتر به میزان بیشتر می شود. به طور کلی نتایج نشان می دهد که قضاوت در مورد تکامل خاک ها بر اساس توزیع شکل های مختلف اکسیدهای آهن، درک بهتری از خاک ها و شرایط خاکسازگی حاکم بر آن ها را ارائه می دهد. به عنوان مثال از مقایسه نسبت (Fed-Feo) در لایه های اول سایت های منطقه مطالعاتی با نمونه های خاک واقع شده در لایه های دوم و سوم و سطوح تراز اکولوژیکی سایت های منطقه مطالعاتی بر اساس خواص فیزیکی و شیمیایی این نتیجه حاصل می شود که نمونه های خاک واقع شده در لایه های اول به علت داشتن نسبت (Fed-Feo) بالاتر

که بیانگر ترکیبات متبلور آهن و یا همان اکسیدهای آهن بلورین است موجب کریستاله شدن بیشتر اکسیدهای آهن آزاد به سمت لایه های دوم و سوم و دارای سطوح تراز اکولوژیکی و میزان آب کمتر سایت های مطالعاتی و در نتیجه خاک متکامل تر این لایه ها می شود. در واقع یک علت دیگر برای تکامل یافتگی نمونه های خاک واقع شده در لایه های اول مساعد نبودن شرایط برای پیشرفت فرایندهای خاکساز است. از سویی دیگر در برخی از نمونه های خاک هوادیدگی شیمیایی موجب متکامل تر شدن خاک می شود.

منابع

سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۲، آمار و اطلاعات و داده های اقلیمی ۳۰ ساله (۱۹۷۵-۲۰۰۵) ایستگاه هواشناسی ارومیه.

- Akef M., Mahmoodi S., Eghbal K.M., and Sarmadian F. 2003. Studying the changes of physicochemical and micro morphological characteristics of soils in converted natural forests to paddy soils in Fouman at region in Guilan province. *Iran Natural Resources* 56(4): 407-423. (in Persian with English abstract).
- Costantini E.A.C., Pellegrini S., Vignozzi N., and Barbetti R. 2006. Micromorphological characterization and monitoring of internal drainage in soils of vineyard and olive groves in central Italy. *Geoderma* 131: 388-403.
- Gee G.W., and Or.D. 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J.H., and Topp, G.C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical methods*. Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSSA.
- Howard JL, Clawson CR., and Daniels LW. 2012. A comparison of mineralogical techniques and potassium adsorption isotherm analysis for relative dating and correlation of Late Quaternary soil chronosequences. *Geoderma* 179: 180, 81-95.
- Iranian Institute of Soil and Water Research. 1989. The 1:250000 map of land resource assessment capabilities of west Azerbaijan province. Sheet, No. II.
- ISO Standard 11466, 1995. Soil quality-Extraction of trace elements soluble in aqua regia. International Organization for Standardization.
- Loeppert R.H., and Inskeep W.P. 1996. Iron. In: Sparks, D. L.,(Eds.), *Methods of soil analysis, Part 3- chemical methods*. Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI 639-664.
- Mbagwu J. 2003. Aggregate stability and soil degradation in the tropics. *Geoderma* 3-21.
- McKeague JA., and Day JH. 1966. Dithionate and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci* 46:13-23.
- Mehra OP., and Jackson ML. 1960. Iron oxides removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals* 7: 317-327.
- Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. Pp. 961-1010. In: Sparks D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Chemical Methods. Part 3*. The American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Ogunsola O.A., Omueti J.A., Olade O., and Udo E.J. 1989. Free oxide status and distribution in soils overlying limestone areas in Nigeria. *Soil Science-Red Soils under Mediterranean Type of Climate: Their Properties Use and Productivity*. Soil Science Society American Journal 147: 245-251.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. Pp. 417-435. In: Sparks DL (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3*. The American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Richards LA. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Handbook 60 USDA, US Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Schwertmann U., and Taylor A.M. 1989. Iron oxides. Pp. 379 -438. In: Dixon J.B., and Weed S.B. (Eds). *Minerals in soil environments*. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.
- Shahrabi, M. 1994. The report of 1:250000 scale geological map of Urmia. Publication of Geological survey and Mineral Exploration Organization of Iran.
- Shao-Shan A., Yi-Mei H., Fen-Li Z., and Jian-Guo Y. 2008. Aggregate characteristics during natural revegetation on the Loess Plateau. *Soil Science Society of China* 18(6): 809-816.
- Stonehouse H. B., and Arnaud R. J. St. 1971. Distribution of iron, clay and extractable iron and aluminum in some Skatchewan soils. *Canadian of Journal Soil Science*, 51: 283-292.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In: Sparks D.L (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3*. Madison. Wisconsin. USA. Pp. 475-490.

- Torrent J, Liu QS, and Barron V. 2010. Magnetic minerals in Calcic Luvisols (Chromic) developed in a warm Mediterranean region of Spain: Origin and paleoenvironmental significance. *Geoderma* 154: 465–472.
- Verheye W. 1973. Formation, classification and land evaluation of soils in mediterranean areas. University of Gent. 122pp.
- Zeng-Yei H., and Zeng-Sang C. 2001. Quantifying soil hydromorphology of a Rice-growing Ultisol to posequence in Taiwan. *Soil Science Society American Journal* 65:270-278.