

مقایسه تکامل خاک‌های مختلف براساس میزان توسعه افق آرجیلیک

ویدا منتخبی کلجاهی^{*}، علی اصغر جعفرزاده^۲، حسین رضائی^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۱

^۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: v.montakhabi@gmail.com

چکیده

ارزیابی ژنتیکی تکامل خاک با توجه به وابستگی بسیاری از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به رده‌بندی خاک و میزان تکامل آن از اهمیت وافری برخوردار است. در این سنجش رس خاک‌ها یکی از کاراترین معیارهای بررسی تکامل خاک می‌باشد. پژوهش حاضر با بررسی خاک‌های آلفی‌سول، مالی‌سول و اریدی‌سول دارای افق آرجیلیک در چهار ناحیه مراغه، دشت تبریز، جنگل‌های ارسباران و جنگل‌های آمل انجام یافت. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی تکامل خاک‌ها بر اساس مطالعات رده‌بندی، میکرومرفولوژیکی در کنار روش‌های کمی و نیمه کمی شاخص تجمع رس و شاخص‌های MISODI و MISICA است. نتایج بیان‌گر توصیف کلی میزان تکامل خاک‌ها توسط شاخص تجمع رس بوده، در صورتی که شاخص‌های میکرومرفولوژیکی به‌ویژه MISODI توصیف منطقی‌تر و دقیق‌تری از ترتیب تکاملی خاک‌های مورد مطالعه دارند. علت این وضعیت در بالا بودن تعداد و دقیق بودن ملاک‌ها و معیارهای ارزیابی این شاخص‌ها است که طبق این شاخص، تکامل خاک‌های مورد مطالعه به‌ترتیب در خاک‌های اریدی‌سول، آلفی‌سول و مالی‌سول افزایش می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت صرف‌نظر از شاخص‌های سهل‌الوصول فیزیکی و شیمیایی تکامل خاک که غالباً کاربرد آن‌ها مختص خاک‌هایی با ویژگی‌های خاص بوده و همراه با خطاست، کمی‌سازی مطالعات میکروسکوپی خاک و استفاده از شاخص‌های میکرومرفولوژیکی می‌تواند در بررسی تکامل خاک و تعیین فاصله تاکسونومی خاک‌ها مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: افق آرجیلیک، شاخص تکامل خاک، رس، میکرومرفولوژی

Comparision of different soils evolution based on Argillic horizon development

V Montakhabi Kalajahi^{1*}, AA Jafarzadeh², H Rezaei³

Received: 26 October 2015

Accepted: 31 December 2016

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Sci., Univ. of Tabriz. Iran

²Prof., Dept. of Soil Sci., Univ. of Tabriz. Iran

³Assist. Prof., Dept. of Soil Sci., Univ. of Tabriz. Iran

*Corresponding Author, Email: v.montakhabi@gmail.com

Abstract

Assessing of soil genetically evolution is very important because the large number of management decisions depend on soil classification and its evolution rate. In this regards, evaluation of soils clay is one of the best indices for soil evolution. This study was carried out in four regions of Maraghe, Tabriz, Arasbaran and Amol by study of Alfisols, Mollisols and Aridisols with argillic horizon. The main aim of study was evaluation of soil evolution using quantitative and semi quantitative methods of CAI, MISODI and MISECA indices besides previous assessment of their evolution according to soil classification and micromorphological observations. Results revealed general description of soils evolution by CAI, while micromorphological indices especially MISODI describe accurate and rational studied soils evolution arrangement. The reason for accurate and rational description by MISODI index was the high number and precise parameters that according to this index evolution rate increase in the studied soils of Mollisols, Alfisols and Aridisols orders respectively. Generally it can be concluded that regardless of achievable physical and chemical indices of soil evolution which may have errors and are private for each soils, quantification of soil microscopic studies can be the best way for soil evolution evaluating and determining their taxonomic distance.

Keywords: Argillic Horizon, Soil evolution index, Clay, Micromorphology

مقدمه

بررسی تکامل خاک با توجه به نقش مهم بخش رس، تحولات آن همواره مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته و به‌عنوان یکی از معیارهای اصلی توسعه یافتگی و تکامل خاک شناخته شده است (بیرکلند ۱۹۸۹، تورنت و همکاران ۲۰۱۰، هوارد و همکاران ۲۰۱۲ و دتیر و همکاران ۲۰۱۲). تفاوت بافتی افق‌های مختلف ناشی از تشکیل درجا، دگرگونی شیمیایی، حرکت و انتقال رس می‌باشند (امینی جهرمی و همکاران ۱۳۸۸). از این‌رو تشکیل و توسعه‌یافتگی افق آرجیلیک می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های برتر بررسی تکامل خاک‌ها باشد.

خاک‌های مختلف تحت تأثیر فاکتورها و طی فرآیندهای مختلف تشکیل شده، توسعه و تکامل می‌یابند (ینی ۲۰۱۱). استفاده شایسته و مناسب از خاک مستلزم شناخت دقیق ویژگی‌های آن است که طی سیر تکاملی خاک حاصل شده است، لذا بررسی تکامل خاک دارای اهمیت ویژه‌ای است. ارائه شاخص‌های مختلف تکامل خاک حاصل برقراری ارتباط بین ویژگی معین و اجزای موجود در خاک می‌باشد (شاتزل و آندرسون ۲۰۰۵). از بین ملاک‌های مختلف به‌کار رفته جهت

۲۰۰۸، راسا و همکاران (۲۰۱۲). کمی‌سازی مشاهدات میکرومورفولوژیک منجر به ارائه شاخص‌های کمی از توسعه یافتگی خاک‌ها شد که حاصل مطالعه فابریک خاک بوده است (فراری و ماگالدی ۱۹۸۳، تووی ۱۹۹۵). از طرفی شاخص‌های میکرومورفولوژیک از جمله شاخص میکرومورفولوژیک تکامل خاک^۲ (ماگالدی و تالینی ۲۰۰۰) و شاخص میکرومورفولوژیک تکامل خاک در شرایط خشک و آهکی^۳ با توجه به آهکی بودن خاکرخ‌های انتخابی می‌تواند محققان را در راستای نیل به شناسایی هرچه دقیق‌تر خاک‌ها یاری رساند.

هدف تحقیق حاضر مقایسه میزان تکامل خاک‌های مختلف بر مبنای توسعه یافتگی افق آرجیلیک در مناطق برگزیده کشور براساس نتایج مطالعات پیشین می‌باشد (ممتاز ۱۳۸۸، موسوی ۱۳۸۹، فروغی فر ۱۳۸۹، و رضائی ۲۰۱۵) که با تلفیق روش‌های کمی، نیمه‌کمی و کیفی ژنتیکی و میکرومورفولوژیکی خاک سعی بر آن دارد تا جزئیات بیشتر و دقیق‌تری را از تحولات خاک‌های دارای افق آرجیلیک در شرایط مختلف محیطی نشان دهد.

مواد و روش‌ها

جهت نیل به هدف مطالعه ۴ خاکرخ شاهد از ۴ منطقه متفاوت که در تحقیقات پیشین افق آرجیلیک در آن‌ها گزارش شده بود انتخاب گردید (جدول ۱) که رده-بندی و توزیع افق‌های آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

لوین و کیولکوز (۱۹۸۳) با معرفی شاخص تجمع رس یکی از اولین گام‌ها را در استفاده از تغییرات میزان بخش رس به‌عنوان شاخصی از تکامل یافتگی خاک‌ها برداشتند و شریف حسین‌خان و همکاران (۲۰۰۵) نیز با کاربرد این شاخص ارتباط بین تکامل خاک و میزان تغییرات رس افق‌ها در نتیجه فرآیندهای خاک‌سازی را تأیید نمودند. صرف‌نظر از بررسی تغییرات میزان رس در افق‌های مختلف توجه به نمودهای میکرومورفولوژیک ناشی از تحولات بخش رس که طی فرآیندهای خاک‌سازی پدید آمده‌اند، نیز می‌تواند جنبه‌های جدیدی از بررسی تکامل خاک را طی مطالعات میکروسکوپی خاک نشان دهد. میکرومورفولوژی به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های شناسایی افق آرجیلیک معرفی شده که نتایج حاصل از آن می‌تواند به‌عنوان یکی از معتبرترین ملاک‌های درجه تکامل خاک‌ها قرار گیرد (استوپس ۲۰۰۳).

خادمی و مرموت (۲۰۰۳) افزایش میزان رس و نسبت رس ریز به رس کل در خاک زیرین نسبت به افق‌های فوقانی و مشاهده پوشش‌های رسی در مقاطع نازک خاک را شواهدی از تجمع رس معرفی کرده و بیان کردند که بارندگی کافی در شرایط اقلیمی مرطوب‌تر گذشته موجب حرکت کربنات‌ها از خاک سطحی، شستشوی متعاقب رس و تشکیل افق آرجیلیک در خاک شده است. خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) با مطالعه میکرومورفولوژیک افق‌های آرجیلیک در جنوب ایران دریافته‌اند که برخی از افق‌های آرجیلیک احتمالاً در اقلیم‌های مرطوب‌تر گذشته تشکیل شده است.

اگرچه روش کیفی میکرومورفولوژی در بررسی تحولات خاک از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، اما امروزه محققان جهت افزایش سرعت، دقت و قابلیت این روش مطالعاتی، استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل تصویر^۱ را به‌منظور کمی کردن نتایج حاصل از مطالعه مقاطع نازک در دستور کار قرار دادند (جیانگ و همکاران

² Micromorphological soil development index (MISODI)

³ Micromorphological index of soil evolution calcareous arid condition (MISECA)

¹ Image Analysis

جدول ۱- اطلاعات عمومی نواحی مورد مطالعه (ممتاز ۱۳۸۸، موسوی ۱۳۸۹، فروغی فر ۱۳۸۹، رضائی ۲۰۱۵).

شماره خاکرخ	موقعیت مکانی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	کاربری	متوسط بارش سالیانه (mm)	رژیم رطوبتی خاک	رژیم حرارتی خاک
۱	دشت تبریز	۴۶° ۵' ۴"	۳۸° ۹' ۴۰"	مرتع	۳۲۸/۷	Aridic border to Xeric	Mesic
۲	مراغه	۴۶° ۲۷' ۳۳"	۳۷° ۱۷' ۲۶"	گندم	۳۶۰	Xeric	Mesic
۳	کلیبر	۴۶° ۴۷' ۴۵"	۳۸° ۵۴' ۵۲"	جنگل	۴۰۷/۱۳	Xeric	Mesic
۴	آمل	۵۲° ۲۵' ۱۲"	۳۶° ۲۳' ۳۲"	جنگل	۹۳۶/۵	Udic	Thermic

جدول ۲- توزیع افق‌ها ولایه‌های خاک و رده‌بندی خاکرخ‌های مطالعه شده.

شماره خاکرخ	توزیع افق‌ها ولایه‌های خاک	خانواده خاک (بی‌نام ۲۰۱۴)
۱	A- Bw1- Bw2- Bw3-Btn-BC-C	Fine, mixed, active, mesic Xeric Natragids
۲	Ap- Btk1- Btk2- Btk3- Btk4-C	Fine, mixed, subactive, calcareous, mesic, Calcic Haploxeralfs
۳	Oa-A1-A2-Bt1-Bt2-C	Fine, mixed, active, mesic Typic Haploxeralfs
۴	A- Bt1- Bt2- Bt3-C	Fine, mixed, superactive, thermic Typic Argiudolls

با توجه به هدف اصلی تحقیق، صرف نظر از مطالعات پایه که جمع‌بندی آنها ذکر گردید بررسی تکامل خاک‌های مذکور با تکیه بر تحولات بخش رس در خاکرخ‌های شاهد مطالعه شد. در این راستا شاخص تجمع رس^۱ ارائه شده توسط لوین و کیولکوز (۱۹۸۳) جهت بررسی میزان تکامل خاک‌ها به کار رفت (رابطه ۱).

$$CAI = (Bc - Cc) \times T \quad [1]$$

در این رابطه Bc مقدار رس افق B برحسب درصد، Cc مقدار رس افق C برحسب درصد و T ضخامت افق B برحسب سانتی‌متر می‌باشد.

در کنار شاخص فوق مطالعه میکرومرفولوژیک به منظور درک بهتر تکامل خاکرخ‌های مورد مطالعه انجام گردید که ضمن مطالعه کلی فابریک خاک و تحولات آن، نمونه‌های خاک‌ساختی حاصل از حضور رس مورد مطالعه قرار گرفت. لازم به ذکر است که جهت تشریح مقاطع نازک از نظام واژگان بولاک و

همکاران (۱۹۸۵)، استوپس (۲۰۰۳) و استوپس و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شد.

به منظور تکمیل مطالعات میکروسکوپی بررسی کمی مقاطع نازک با استفاده از نرم‌افزار تحلیل تصویری Clemex و شاخص‌های MISODI و MISECA ارائه شده توسط ماگالدی (۲۰۰۰) و خرماالی (۲۰۰۳) انجام شدند. این شاخص‌ها بر اساس نمونه‌های میکرومرفولوژیک از قبیل ریزساختار، بی‌فابریک، پوشش، ندول و درجه تغییر و تحول ذرات معدنی با استفاده از جدول مربوطه (ماگالدی ۲۰۰۰ و خرماالی ۲۰۰۳) محاسبه می‌شوند. در این روش به هر یک از پارامترهای میکرومرفولوژیک از نظر کیفی و کمی، وزنی اختصاص داده شده و سپس با در نظر گرفتن محدوده‌ای از مقدار تجمعی شاخص مذکور (خرماالی ۲۰۰۳) درجه توسعه خاک‌ها تعیین می‌شود. در خاک‌های مورد مطالعه برخی مشخصه‌ها مانند بی‌فابریک به صورت چند نوعی بوده که در این صورت مقدار متوسط وزنی آنها، بر مبنای سطح اشغال شده (%) به وسیله رابطه ۲ محاسبه گشت.

¹ Clay accumulation index (CAI)

[۲]

برای بی‌فابریک‌ها در مقطع نازک، i شمارنده برای بی-فابریک‌های دیده شده، n تعداد بی‌فابریک‌ها، a سطح اشغال‌شده به‌وسیله هر بی‌فابریک و A سطح کل مقطع می‌باشد.

$$\overline{b - FabricRating} = \frac{\sum_{i=1}^n b - FabricRating \cdot a}{A}$$

در این رابطه b -fabricRating: وزن هر بی-فابریک، $\overline{b$ -fabricRating: متوسط وزنی محاسباتی

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های مورد مطالعه.

شماره خاکرخ	افق	عمق (cm)	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	کلاس بافت	pH	ECe (dS m ⁻¹)	CEC (Cmol ⁺ kg ⁻¹)	CCE (%)
	A	۰-۱۸	۵۵/۵	۶/۸	۳۷/۷	C	۸/۱۶	۲۷/۹	۱۶/۸	۱۴/۸
	Bw1	۱۸-۲۸	۵۷/۵	۰	۴۲/۵	SiC	۸/۴۵	۲۵/۹	-	۲۰/۵
	Bw2	۲۸-۴۸	۴۰	۱۰	۵۰	SiC-SiCL	۸/۶۲	۱۷	۱۷/۸	۲۵
۱	Bw3	۴۸-۹۲	۳۷/۵	۵/۳	۵۷/۵	SiCL	۸/۴۷	۱۵/۲	-	۲۶/۵
	Btn	۹۲-۱۱۳	۴۷/۵	۱۰	۴۲/۵	SiC	۸/۴۵	۱۳	۲۴/۲	۱۹/۷
	BC	۱۱۳-۱۳۰	۲۰	۵۲/۵	۲۷/۵	SCL-SL	۸/۶	۱۱/۸	-	۲۶/۳
	C	۱۳۰-۱۶۰	۲۲/۵	۲۶	۵۱/۵	SiL	۸/۳۶	۱۲	۱۸	۳۰/۲
۲	Ap	۰-۳۰	۱۶	۳۲	۵۲	SiL	۷/۸	۰/۷۳	۱۸	۱/۸
	Btk1	۳۰-۶۵	۴۶	۱۸	۳۶	C	۷/۶	۰/۶۶	۲۶	۸/۸
	Btk2	۶۵-۹۰	۳۱	۳۲	۳۷	CL	۷/۷۴	۰/۵۹	۲۱	۱۷/۳
	Btk3	۹۰-۱۰۵	۱۸	۵۵	۲۷	SL	۸/۱۸	۰/۴۹	۱۸/۳	۱۰/۸
	Btk4	۱۰۵-۱۲۲	۱۲	۴۹	۳۹	L	۷/۷	۰/۴۸	۱۷	۹/۳
	C	۱۲۲-۱۴۲	۷	۸۷	۶	S	۷/۸	۰/۳۱	۱۰/۲	۳/۳
	A	۰-۲۵	۴۱	۱۳	۴۶	SiC	۶/۳۸	۱/۳	-	۱۲/۷
	Bt1	۲۵-۵۰	۵۰	۸	۴۲	SiC	۶/۱۱	۰/۷۴	۲۸	۱۱/۳
۳	Bt2	۵۰-۸۰	۵۱	۱۱	۳۸	C	۵/۶	۰/۴۴	-	۱۳/۲
	Bt3	۸۰-۱۰۰	۵۴	۹	۳۷	C	۵/۸۳	۰/۳۸	۳۵	۱۵/۷
	C	۱۰۰-۱۴۰	۴۶	۱۳	۴۱	SiC/C	۶/۱۱	۰/۵۴	-	۱۵/۷
	Oa	۰-۶	۲۲/۵	۵۰	۲۷/۵	SCL	۷/۱۵	۱/۵۲	۲۵/۹۴	۳/۷۵
	A1	۶-۲۰	۳۰	۴۷/۵	۲۲/۵	SCL	۷/۲	۰/۷۶	۲۱/۵۵	۴
	A2	۲۰-۳۶	۳۲/۵	۴۵	۲۲/۵	SCL	۶/۶۳	۰/۴۸	۲۱/۹۷	۳/۷۵
۴	Bt1	۳۶-۵۵	۴۲/۵	۳۷/۵	۲۰	C	۶/۹	۰/۴۹	۲۶/۱۴	۴/۲۵
	Bt2	۵۵-۱۰۰	۵۲/۵	۳۲/۵	۱۵	C	۷/۵۸	۰/۵۳	۲۶/۵۵	۷/۵
	C	۱۰۰-۱۳۲	۳۷/۵	۳۷/۵	۲۵	CL	۷/۵	۰/۳۳	۲۱/۰۷	۱۵/۷۵

نتایج و بحث

دورهان (۲۰۰۹). تشکیل این افق تحت شرایط محیطی و طی فرآیندهای خاک‌سازی متفاوت می‌تواند روی دهد که منجر به تشکیل انواع خاک‌های دارای این افق

تشکیل افق آرجیلیک به‌واسطه تجمع رس یکی از ملاک‌های تکامل خاک معرفی شده است (الیوت و

مشخصه می‌گردد. هرچند خاک‌های مطالعه شده در فرآیند نقل و انتقال رس دارای وجه مشترکی می‌باشند لیکن روی دادن سایر فرآیندهای همراه موجب مسیر و میزان تکامل متفاوتی برای هر یک شده است.

برقراری شرایط رطوبتی اریدیک در دشت تبریز موجب تکامل خاک‌های اریدی‌سول در این ناحیه شده که طبقه‌بندی خاکرخ شاهد مربوطه حضور خاک‌های *Xeric Natrargids* را برای این ناحیه تأیید نمود. مشاهده افق مشخصه ناتریک در خاکرخ مربوطه که حاصل تجمع رس و سدیم بالا می‌باشد بیان‌گر روی دادن دو فرآیند *Solonization* و *Lessivage* در این ناحیه است. از آنجایی‌که تشکیل افق آرچیلیک و روی دادن فرآیند مربوطه مستلزم حضور رطوبت بالا می‌باشد با توجه به شرایط اقلیمی فعلی تشکیل این افق را می‌توان مربوط به اقلیم گذشته دانست (بوخم و هارتمینگ ۲۰۱۳، عبدالخالق ابراهیم ۲۰۱۱) که با گذر زمان با افزایش خشکی و تشدید شرایط حاصل از آن حرکت کاپیلاری رو به بالا برخلاف شستشو نقش اصلی را عهده‌دار شده و موجب گردیده تا سدیم موجود در آب زیرزمینی با صعود در افق‌های خاک تجمع نموده و افق ناتریک از ادامه فرآیند اولیه تشکیل افق آرچیلیک مربوط به دوران‌های گذشته حاصل شود.

خاکرخ شاهد دوم که در منطقه مراغه واقع شده و دارای افق مشخصه آرچیلیک است به‌عنوان *Calcic Haploxeralfs* شناسایی شد. در کنار افق مشخصه آرچیلیک حضور افق مشخصه کلسیک نشان-دهنده روی دادن فرآیند آهکی شدن در منطقه می‌باشد. با توجه به ماهیت روی دادن فرآیندهای تشکیل افق‌های آرچیلیک و کلسیک تشکیل هم‌زمان آنها بعید به نظر می‌رسد (یوفنار ۲۰۰۷ و گونل ۲۰۰۶) لذا روند تشکیل این دو افق چنین است که ابتدا کربنات کلسیم شستشو یافته و سپس رس متحرک شده و فرآیند ایلوویژن در افق تجمع رس صورت گرفته است. اما در شرایط خشک

همچون وضعیت منطقه مورد مطالعه حضور توأم کربنات کلسیم و رس در یک افق نشان دهنده این است که بعد از شستشو و تجمع رس، اقلیم تغییر کرده و خشک شدن اقلیم انباشت مجدد کربنات کلسیم را در پی داشته که حضور پوشش‌های آهکی بر روی پوشش‌های رسی مؤید این مطلب است. در این خصوص گونل و همکاران (۲۰۰۶) و منافی (۱۳۹۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و تشکیل افق‌های مرکب کلسیک-آرچیلیک را که نشانه‌ای از پلی‌ژنر بودن خاک است را نتیجه تغییر اقلیم از مرطوب به خشک می‌دانند.

خاکرخ شاهد واقع در ناحیه ارسباران با حضور افق مشخصه آرچیلیک به‌عنوان *Typic Haploxeralfs* شناسایی شده است. مطابق با شواهد گزارش شده از مطالعات صحرایی و نتایج آزمایشگاهی، انتقال و تجمع رس فرآیند غالب این خاکرخ می‌باشد. حضور رطوبت کافی در این ناحیه به دلیل تراکم بالای پوشش گیاهی و حفظ رطوبت خاک و همچنین وجود کانال‌های ناشی از ریشه گیاهان شستشوی رس و تشکیل افق آرچیلیک را تسریع نموده است. ریشه‌ها ضمن ایفای نقش در تثبیت و توسعه عمقی خاک‌ها در تکامل و تمایز افق‌های خاک نیز نقش دارند. طبق نظر لیفورد و ویلسون (۱۹۶۴) ارتباط نزدیکی بین توزیع و توسعه ریشه‌های درختی با توسعه افق آرچیلیک وجود دارد. مشاهده پوشش‌های رسی در حفرات ناشی از ریشه در برش‌های نازک مربوطه مشابه با یافته‌های بلاژیوسکی و همکاران (۲۰۰۵) نقش پوشش گیاهی در تکامل افق آرچیلیک را بیان می‌کند. تراکم بالای پوشش گیاهی در این ناحیه از میزان تابش خورشید به سطح زمین کاسته و موجب حفظ رطوبت خاک شده و همگام با توسعه ریشه‌های خود نفوذ آب به خاک را افزایش و منجر به فرآیندهای تشکیل افق آرچیلیک شده است (یانگ و هامر ۲۰۰۰، لیاقت و خرمالی ۱۳۹۰).

جدول ۴- درجه توسعه‌یافتگی افق‌ها در ۴ پروفیل مورد مطالعه بر اساس شاخص MISODI.

شماره خاکرخ	طبقه‌بندی افق‌ها	وزن کل	مقدار شاخص						وزن محاسباتی مشخصه‌های میکرومورفولوژیک					
			ریزساختار	بی فابریک	پوشش رسی	ندول‌ها	درجه هوازدگی	اندازه	سطح (%)	اندازه	سطح (%)	کلاس	درجه هوازدگی	
۱	Moderatly Developed	۱۳	مکعبی زاویه‌دار	۴	لکه‌ای	۱	≤۲۰	<۵	۲	<۵۰	۲۰	۳	Class3	۳
۲	Moderatly Developed	۱۵	مکعبی بدون زاویه	۴	لکه‌ای و کریستال پتیک	۲	۳۰-۷۰	<۵	۳	۲۰۰	<۱۵	۳	Class3	۳
۳	Well Developed	۱۷	مکعبی بدون زاویه	۴	لکه‌ای و نواری	۳	۲۰-۵۰	۵-۱۰	۴	۵۰-۵۰۰	<۱۵	۳	Class3	۳
۴	Well Developed	۱۷	مکعبی زاویه‌دار	۴	لکه‌ای و نواری	۳	۲۰-۵۰	۵-۱۰	۴	۲۰۰	۱۰	۳	Class3	۳

جدول ۵- درجه توسعه‌یافتگی افق‌ها در ۴ خاکرخ مورد مطالعه بر اساس شاخص MISECA.

شماره خاکرخ	طبقه‌بندی افق‌ها	وزن کل	مقدار شاخص						وزن محاسباتی مشخصه‌های میکرومورفولوژیک						
			ریزساختار	بی فابریک	پوشش رسی	ناحیه تخلیه	اکسیدهای Fe/Mn	درجه هوازدگی	اندازه	سطح (%)	سطح (%)	سطح (%)	کلاس	درجه هوازدگی	
۱	Moderatly Developed	۱۱	مکعبی بدون زاویه با تمایز ضعیف	۲	لکه‌ای	۳	≤۲۰	<۵	۱	<۵	۰	>۵	۲	Class3	۳
۲	Moderatly Developed	۱۴	مکعبی بدون زاویه	۳	لکه‌ای و کریستالیتیک	۲	۳۰-۷۰	<۵	۳	۵-۲۰	۱	>۵	۲	Class3	۳
۳	Moderatly Developed	۱۴	مکعبی بدون زاویه	۳	لکه‌ای و نواری	۳	۲۰-۵۰	۵-۱۰	۴	<۵	۰	۲-۵	۱	Class3	۳
۴	Well Developed	۱۷	مکعبی زاویه‌دار با تمایز متوسط	۳	لکه‌ای و نواری	۳	۲۰-۵۰	۵-۱۰	۴	۲۰-۵۰	۲	>۵	۲	Class3	۳

خاکرخ‌ها و همچنین مشاهده پوشش‌های رسی در مشاهدات صحرائی و همچنین مقاطع نازک، افق‌های زیرین این خاکرخ‌ها همه ویژگی‌های لازم جهت افق آرجیلیک (بی‌نام ۲۰۱۴) را دارند. بنابراین می‌توان اظهار داشت که در این خاکرخ‌ها شرایط پایداری سطح حکم

مطالعات صحرائی حضور پوشش‌های رس به- صورت پوسته‌هایی در سطوح خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتنی را نشان داد و مشاهدات میکرومورفولوژیکی نیز حضور پوشش‌های رسی در اعماق این خاکرخ‌ها را تایید کرد. با توجه به افزایش مقدار رس در طول

میکرومورفولوژیک این عوارض را واضح نشان می‌دهد (شکل ۱، ا، ب).

براساس مشاهدات میکروسکوپی مقاطع نازک، عوارض خاکساز مشاهده شده در این خاکها شامل تجمعات کربنات کلسیم و پوشش‌های رسی می‌باشند. اندازه و فراوانی بلورهای ریز آهک از رژیم رطوبتی اریدیک به زیرک افزایش می‌یابد و دوباره در منطقه‌ای با رژیم رطوبتی یودیک کاهش می‌یابد (لیاقت و خرمالی ۱۳۹۰) و پوشش‌های رسی در این خاکها به صورت پوشش‌هایی در سطوح منافذ و خاکدانه‌ها و به ضخامت ۷۰-۱۰ میکرومتر مشاهده گردیدند (شکل ۱). علاوه بر این، پوسته‌های رسی در داخل توده زمینه خاک نیز حضور دارند. مشاهده پوشش‌های رسی در مقاطع نازک بیانگر نتایج مرفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی مبنی بر حضور افق‌های آرچیلیک در این خاکها می‌باشد.

فرما بوده است که همراه با سایر شرایط مساعد جهت آبشویی رس، منجر به تشکیل افق‌های آرچیلیک در این خاکها شده است.

در جدول ۶ خلاصه‌ای از ویژگی‌های میکرومورفیک خاکرخ‌های مورد مطالعه ارائه شده است. براساس مشاهدات میکروسکوپی منافذ موجود در خاک های مورد مطالعه عمدتاً شامل حفرات بسته، کانال‌ها و منافذ صفحه‌ای ریز می‌باشند. خاکدانه های موجود در این خاک ها عمدتاً شامل خاکدانه‌های مکعبی بدون زاویه و مکعبی زاویه دار می‌باشند. بی فابریک خاک‌های مورد مطالعه عمدتاً از نوع کریستالی و لکه‌ای می‌باشد (شکل ۱، ج، د). کربنات کلسیم می‌تواند به صورت بلورهای ریز پراکنده در فابریک خاک و یا پوشش‌هایی در دیواره منافذ یا ذرات دیده شوند که مطالعات

جدول ۶- برخی از ویژگی‌های میکرومورفولوژیک افق‌های مدنظر در خاکرخ‌های مورد مطالعه.

افق/خاکرخ	منافذ	ساختمان	c/f	پراکنش ارتباطی	الگوی ارتباطی	عوارض خاکساز
افق Btk1 خاکرخ ۱	CdP, Chn	Sb	0/10	Mo, Ch	Ss	پوشش‌های آهک و رس
افق Btk2 خاکرخ ۲	CdP, Chn, Pn	Sb	2/8	Po	Ss, Cr	نودول‌های آهکی، پوشش رسی
افق Btk3 خاکرخ ۳	Chn, Cdp	Sb	1/9	Mo, Po	Ss, Cr	پوشش رسی
افق Btk4 خاکرخ ۴	Pn, Chn	Ab	2/8	Po	Ss, Msp	تشکیل نودول و پوشش‌های رسی

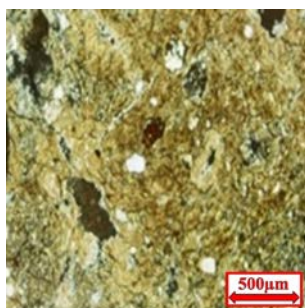
حروف اختصاری:

حفرات: Cdp؛ حفرات بسته مرکب، Chn؛ کانال‌ها، Pn؛ حفرات صفحه‌ای، Vu؛ وگ

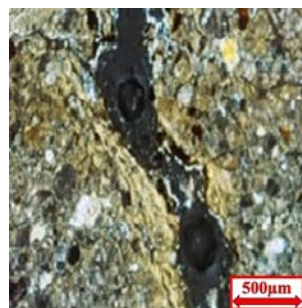
ساختمان؛ Ab؛ مکعبی زاویه‌دار، Sb؛ مکعبی بدون زاویه،

الگوی پراکنش ارتباطی؛ Mo؛ مونیک ریز، Ch؛ چیتونیک، Po؛ پورفیری

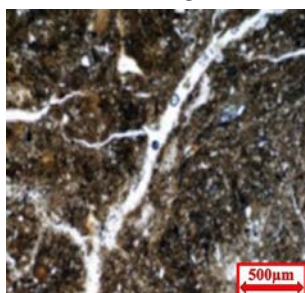
بی فابریک؛ Cr؛ کریستالیتی، Ss؛ لکه‌ای ساده، Msp؛ خطی متقاطع



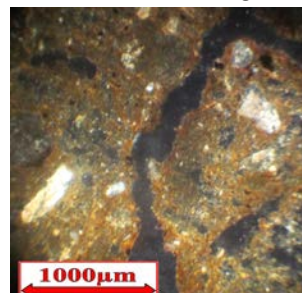
ب: پوشش رس و آهک در اطراف منافذ افق Btk خاکرخ شاهد مراغه (XPL)



الف: پوشش جزئی رسی در اطراف کانال افق Btn خاکرخ شاهد منطقه دشت تبریز (XPL)



د: پوشش‌های رسی بر روی سطوح دیواره منافذ صفحه ای و کانال‌ها افق Bt خاک جنگلی آمل (PPL)



ج: پوشش رسی در اطراف کانال افق Bt خاکرخ شاهد منطقه ارسباران (XPL)

شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی خاک‌های مطالعه شده.

جدول ۷- میزان تکامل خاکرخ‌های مطالعه شده براساس روش‌های مختلف.

MISECA	MISODI	CAI	شماره خاکرخ
۱۲	۱۴	۵۲۵	۱
۱۴	۱۵	۱۳۶۵	۲
۱۴	۱۷	۸۲۰	۳
۱۷	۱۷	۱۰۰	۴

رده‌بندی نشان می‌دهد که در خاک‌های مراغه و کلیبر با مقدار بالاتر در سطح رده، در خاک‌های تبریز در سطح زیررده و در خاک‌های آمل در حد گروه‌بزرگ نمایان شده است. اما به‌نظر می‌رسد مقادیر به‌دست آمده از این شاخص در تطابق با واقعیت تکامل خاک‌های مطالعه شده نبوده و در کنار آن، مطالعات میکرومورفولوژیک و شاخص‌های مربوطه توصیف دیگری از ترتیب تکاملی خاک‌های این نواحی دارند که در جداول (۴، ۵ و ۷) نشان داده شده است. به‌نظر می‌رسد که این شاخص‌ها توصیف منطقی‌تری از ترتیب تکاملی خاک‌های مطالعه

مقایسه میزان تکامل خاک‌ها با استفاده از شاخص‌های CAI و MISODI و MISECA صورت گرفت که نتایج آنها در جدول ۷ نشان داده شده است. مطابق این جدول و شاخص CAI؛ ترتیب تکاملی در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب در خاک‌های مراغه، کلیبر، تبریز و آمل مشاهده گردید. این شاخص صرفاً میزان تغییر رس و نقل و انتقال آن‌را در افق‌های مختلف مدنظر قرار داده و آن با سطح رده‌بندی خاک نیز بارز می‌باشد، به‌نحوی که هر چه میزان شاخص بالاتر باشد افق آرچلیک خود را در کاتاگوری بالاتری از سیستم

شده دارند. علت این وضعیت را می‌توان در دقیق بودن ملاک‌ها و معیارهای ارزیابی شاخص‌ها دانست که صرف‌نظر از مقدار کمی نقل و انتقال رس سایر ویژگی‌های مرتبط با تکامل خاک و تغییرات ناشی از نقل و انتقال رس را نیز مدنظر قرار می‌دهند.

شرایط محیطی حاکم بر منطقه جنگلی آمل حضور رطوبت کافی موجب شده که در ارزیابی شاخص‌ها هوادیدگی بالاترین مقدار را به خود اختصاص دهد و میزان c/f کوچک این واحد ناشی از این موضوع می‌باشد. وجود ریزساختار مکعبی زاویه‌دار به واسطه انقباض و انبساط خاکدانه‌ها که ناشی از حضور مقدار بالای رس و نفوذ ریشه می‌باشد نیز حکایت از تکامل‌یافتگی بالای این خاکرخ دارد. مشاهده واضح بی‌فابریک لکه‌ای و خطی در این منطقه خود گویای نقل و انتقال رس و پایایی اراضی آنها می‌باشد. نمودهای خاکساختی پوشش رسی در اطراف منافذ و نیز قطعات اولیه حکایت از شدت بالای فرآیند انتقال رس دارد. همچنین پوشش‌های آهکی در اثر انتقال و رسوب و نیز ندول‌ها و پوشش‌های آهن و منگنز حکایت از رطوبت بالایی دارد که در نقل و انتقال رس نیز دخیل بوده است.

خاک‌های منطقه جنگلی کلبر نیز از نظر ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی و شاخص‌های مربوطه شبیه خاک‌های آمل بوده و دارای تکامل خاکی خوبی هستند، اما با توجه به اینکه شاخص MISECA مختص ارزیابی خاک‌های آهکی است، لذا در این منطقه به دلیل کم بودن آهک؛ این شاخص ارزیابی خوبی از تکامل و توسعه خاک نداشته و با توجه به جداول ۴ و ۵ درجه توسعه‌یافتگی در این شاخص نزول پیدا کرده و خاک را در حد تکامل متوسط نشان داده است که از واقعیت کمی دور می‌باشد.

خاک‌ها در منطقه زراعی مراغه با توجه به شاخص‌های مربوطه دارای تکامل پروفیلی در حد متوسط می‌باشند. در این منطقه به دلیل حضور آهک،

شستشوی رس کندتر صورت گرفته، یعنی ابتدا می‌بایستی آهک متحرک شده و به سمت پایین شستشو یابد، تا به دنبال آن رس نیز آزاد شده و انتقال یابد اما به دلیل زراعی بودن منطقه منافذ آن در بیشتر موارد کانال‌های ریز و صفحه‌ای بوده و از آهک و رس پر شده‌اند. رس و آهک موجود باعث ایجاد بی‌فابریک لکه‌ای و کریستالیتیک در متن خاک گردیده و به دلیل آهکی بودن، هر دو شاخص میکرومورفولوژیکی در این منطقه محدوده نزدیک به همی را برآورد کرده و درجه تکاملی خاک را در حد متوسط نشان دادند.

در پروفیل مربوط به دشت تبریز علی‌رغم برقراری شرایط تجمع رس در افق ناتریک مطالعات میکروسکوپی حضور نمودهای خاکساختی ناشی از نقل و انتقال و تجمع رس را کمتر نشان دادند که علت آن را می‌توان در خشک‌شدن اقلیم و از بین رفتن پوشش‌های رس در اثر انبساط ناشی از خشک شدن اقلیم و نیز نقش سدیم در دیسپرس کردن رس دانست و مشاهده الگوی پراکنش ارتباطی پورفیریک و نیز بی‌فابریک لکه‌ای نیز مؤید این امر می‌باشد هرچند بی‌فابریک خطی ناشی از افق آرچیلک نیز به مقدار بسیار جزئی در مقطع نازک مربوطه قابل رؤیت بود. بنابراین در ارزیابی شاخص‌ها کمترین حد در بین چهار خاکرخ را به خود اختصاص داده و درجه تکاملی خاک در این منطقه در حد متوسط می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

چهار خاکرخ انتخاب شده شامل سه رده اریدی-سول، آلفی‌سول و مالی‌سول با درجات تکاملی مختلفی هستند. مقایسه‌ی خاک‌های مطالعه شده با شاخص‌های مربوطه بیان‌گر تکامل بیشتر در خاک‌هایی با تمرکز بر روی شستشو و تجمع رس می‌باشد که در آنها نقل و انتقال رس با سایر املاح و مواد صورت نگرفته است. در خاک‌هایی که چندین فرآیند به صورت همراه صورت گرفته تمایز و تنوع افق‌ها در مقایسه با تکامل خاک

خاک‌های دارای افق آرجلیک طراحی شده‌اند، لیکن نتایج، تفاوت این شاخص‌ها در مقایسه خاک‌های مختلف را نشان دادند که علت آن را می‌توان در جزئیات و اجزای هریک از این شاخص‌ها مشاهده نمود. اما با توجه به واقعیت‌های موجود شاخص‌های میکرومرفولوژیکی بر اساس ماهیت دقت بالایی در ارائه پاسخ صحیح دارند.

بنابراین توصیه می‌شود که قبل از استفاده از هر شاخص برای بررسی تکامل خاک‌های آن منطقه شاخص مورد نظر را مورد بررسی قرار داد و از شاخص‌های مختلف، شاخصی را که تطابق بیشتری دارد انتخاب نمود. همچنین در صورت فراهمی امکان مطالعات میکرومرفولوژیک بهره‌گیری از آن‌ها ضمن برآوردهای کمی از طریق شاخص‌های مربوطه نشان‌گر خوبی برای بررسی و مقایسه وضعیت تکامل خاک‌های مختلف خواهد بود.

بیشتر بوده و این مبین این نکته است که تمایز یافتگی افق‌ها مفهومی متفاوت از تکامل یافتگی خاک است. این موضوع یکی از ایرادات شاخص‌هایی از تکامل خاک است که تنها یک بعد و یک فاکتور از خاک را ملاک تکامل قرار می‌دهند که این امر بخصوص در شاخص تجمع رس بارزتر می‌باشد. در شاخص‌های میکرومرفولوژیکی بر میزان دقت کار افزوده شده و اثر فرآیندهای همراه غیر از فرآیند نقل و انتقال رس بر روی معیارهای ارزیابی تکامل خاک در نظر گرفته شده است. استفاده از شاخص‌های تکامل خاک بایستی با دقت بیشتری همراه باشد، چرا که وجود معایب و مزایای هریک از این شاخص‌ها نتایج حاصل از آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. با توجه به اینکه هر یک از شاخص‌ها برای شرایط محیطی و خاک به‌خصوصی طراحی شده‌اند، لذا نتایج حاصل از آنها برای مقایسه خاک‌های مختلف متفاوت خواهد بود اگرچه احتمالاً نتایج تخمینی همسوی درستی به همراه داشته باشند. هرچند شاخص‌های به‌کار رفته در تحقیق حاضر برای

منابع مورد استفاده

- امینی جهرمی ح، ناصری می، خرمالی ف و موحدی نائینی س.ع. ۱۳۸۸. تغییر در خواص و مشخصات خاک ناشی از موقعیت‌های مختلف اجزاء زمین نما در خاک‌های با مواد مادری لسی در دو اقلیم متفاوت در استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۱۷.
- راهب عر و حیدری ا. ۱۳۹۳. استفاده از آنالیز تصویر در مطالعه میکرومرفولوژی برخی از خاک‌های دارای شرایط اکویک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۳، صفحه‌های ۱۲۳ تا ۱۴۳.
- فروغی فرح، ۱۳۸۹. ارزیابی فاکتورهای کیفیت و روابط آن‌ها با تکامل و تنوع خاک در دشت تبریز با استفاده از زمین آمار. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
- لیاقت م و خرمالی ف، ۱۳۹۰. میکرومرفولوژی تکامل برخی خاک‌های لسی غرب استان گلستان در یک توالی اقلیم- توپوگرافی- پوشش گیاهی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۸، شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۳۲.
- ممتاز ح، ۱۳۸۸. بررسی خواص پدومورفولوژیک، مینرالوژیک و فیزیکی- شیمیایی در ردیف‌های مختلف توپوگرافی خاک‌های شالیزاری منطقه آمل و ارزیابی تناسب اراضی برای برنج و دانه‌های روغنی. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
- منافی ش، ۱۳۹۴. تشکیل و مورفولوژی افق‌های آرژیلیک در برخی از خاک‌های نیمه خشک غرب دریاچه ارومیه. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ۵، شماره ۳، صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۶۰.

موسوی سب، ۱۳۸۹. بررسی اثرات مدیریت خاک-کود سبز بر خواص میکرومورفولوژیک، فیزیکی، شیمیایی و قابلیت تولی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

- Abdelkhalik Ibrahim MA, 2011. Argillic horizons and clay-sized particles – an alternative interpretation of their dynamics in sola development and across catenas. Ph.D. Thesis, Iowa State University, 127p.
- Anonymous, 2014. Keys to Soil Taxonomy (12th ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Survey Staff, Washington, DC.
- Birkeland P, Burke RM and Benedict JB, 1989. Pedogenic gradients for iron and aluminum accumulation and phosphorus depletion in arctic and alpine soils as a function of time and climate. *Quaternary Research* 32: 193-204.
- Blazejewski GA, Stolt MH, Gold AJ and Groffman PM, 2005. Macro-and micromorphology of subsurface carbon in riparian zone soils. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1320-1329.
- Bockheim JG and Hartemink AE, 2013. Distribution and classification of soils with clay-enriched horizons in the USA. *Geoderma* 209-210: 153-160.
- Bullock P, Federoff N, Jongerius A, Stoops G, Tursina T and Babel U, 1985. Handbook for Soil Thin Section Description. Waine Research Publications, Wolverhampton, UK.
- Dahms D, Favilli F, Krebs R and Egli M, 2012. Soil weathering and accumulation rates of oxalate-extractable phases derived from alpine chronosequences of up to 1 Ma in age. *Geomorphology* 151-152: 99-113.
- Dethier DP, Birkeland PW and McCarth JA, 2012. Using the accumulation of CBD-extractable iron and clay content to estimate soil age on stable surfaces and nearby slopes, Front Range, Colorado. *Geomorphology* 173-174: 17-29.
- Egli M, Merkli Ch, Sartori G, Mirabella A and Plotze M, 2008. Weathering, mineralogical evolution and soil organic matter along a Holocene soil toposequence developed on carbonate-rich materials. *Geomorphology* 97: 675-696.
- Elliott PE and Dorhan PJ, 2009. Clay accumulation and argillic - horizon development as influenced by aeolian vs. local parent material on quartzite and limestone-derived alluvial fans. *Geoderma* 151: 98-108.
- Ferrari GA and Magaldi D, 1983. Significato ed applicazioni della paleopedologia nella stratigrafia del Quaternario. *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Verona* 10: 315-340.
- Gunal H, and Ransom MD, 2006. Genesis and micromorphology of loess-derived soils from central Kansas. *Catena*, 65: 222-236.
- 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.
- Jenny H, 2011. Factors of Soil Formation-A System of Quantitative Pedology. Dover Inc, New York.
- Jiang S, Kang Y and Sun Z, 2008. A digital image method for analysis of soil pores. Pp. 1029-1038. The Second IFIP International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. 18-20 October, Beijing, China.
- Khademi H and Mermut AR, 2003. Micromorphology and classification of argids and associated gypsiferous aridisols from central Iran. *Catena* 54: 439-455.
- Khormali F, Abtahi A, Mahmoodi S and Stoops G, 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena* 53: 273-301.
- Levine ER and Ciolkosz EJ, 1983. Soil development in till of various ages in northeast Pennsylvania. *Quaternary International* 19: 85-99.
- Lyford WH and Wilson BF, 1964. Development of the root system of *Acer Rubrum* L. *Harvard Forest Paper* 10: 1-17.
- Magaldi D and Tallini M, 2000. A micromorphological index of soil development for Quaternary geology research. *Catena* 41: 261-276.
- Rasa K, Eickhorst T, Tippkötter R and Yli-Halla M, 2012. Structure and pore system in differently managed clayey surface soil as described by micromorphology and image analysis. *Geoderma* 173-174: 10-18.
- Retallack GJ, 1990. *Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology*. Springer, Netherlands.
- Rezaei H, Jafarzadeh AA, Alijanpour A, Shahbazi F and Valizadeh Kamran kh, 2015. Effect of slope position on soil properties and types along an elevation gradient of Arasbaran forest, Iran. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology* 5(6): 449-456.

- Schaetzl RJ and Anderson S. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, UK.
- Singh LP, Parkash B and Singhvi AK, 1998. Evolution of the Lower Gangetic Plain landforms and soils in West Bengal, India. *Catena* 33: 75-104.
- Sharif Hossain Khan Md, Parkash B and Kumar S, 2005. Soil-Landform development of fold belt along east coast of Bangladesh. *Geomorphology* 71: 310-327.
- Stoops G, 2003. *Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Section*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Stoops G, Marcelino V and Mees F, 2010. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier's Science and Technology, Oxford, UK.
- 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.
- Tovey NK, 1995. Techniques to examine microfabric and partial interaction of collapsible soils. Pp. 65-92. In: Derbyshire E, Dijkstra T and Smalley IS (eds.), *Soils with Collapsible Fabric NATO ASI Series*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Ufnar DF, 2007. Clay coatings from a modern soil chronosequence: A tool for estimating the relative age of well drained paleosols. *Geoderma* 141: 181-200.
- Young FJ and Hammer RD, 2000. Soil-landform relationships on a loess-mantled upland landscape in Missouri. *Soil Science Society of America Journal* 64(4): 1443-1454.