

تکامل ژنتیکی خاک‌های جنگلی ارسباران در امتداد یک نیمرخ ارتفاعی زیر حوضه کلیبرچای سفلی

حسین رضائی^{۱*}، علی اصغر جعفرزاده^۲، احمد علیجانپور^۳، فرزین شهبازی^۴، خلیل ولیزاده کامران^۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۲۴

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

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

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۵- استادیار، گروه GIS و سنجش از دور، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir

چکیده

خاک محیطی پویا است لذا بسیاری از تصمیم‌گیری‌های محیطی مرتبط با خاک تحت تأثیر تکامل آن قرار می‌گیرد. با توجه به ضرورت بررسی تشکیل و تکامل خاک، مطالعه حاضر در امتداد یک نیمرخ ارتفاعی از زیرحوضه کلیبرچای سفلی در جنگل‌های ارسباران در قالب بررسی‌های مرفولوژیکی، میکرومرفولوژیکی، تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، رده-بندی خاک و محاسبه شاخص تکامل خاک هاردن بر روی ۸ خاکرخ شاهد انجام شد. نتایج بیان‌گر حضور چهار رده خاک انتی‌سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول و آلفی‌سول در نتیجه روی‌دادن فرآیندهای خاک‌ساختی هوادیدگی، تجمع بقایا و هوموسی شدن، آب‌شویی و تجمع آهک و رس در نیمرخ ارتفاعی مطالعه شده می‌باشد که در دو طبقه ارتفاعی با خانواده‌های مختلف تکرار شده‌اند. مشاهده افزایش هوادیدگی، توسعه عمقی، ریز شدن بافت، تغییر در شدت و تنوع نمودهای خاک‌ساختی همچون پوشش‌های رسی، نمودهای کربناتی، بقایای آلی، فضولات جانوری و ویژگی‌های میکرومرفولوژیک منتج از آن‌ها با کاهش ارتفاع و نیز محاسبه شاخص هاردن بیان‌گر متکامل‌تر بودن خاک‌های انتی-سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول در ارتفاعات پایین نسبت به خاک هم‌رده خود در ارتفاعات بالا است، اما وضعیت معکوس تکامل آلفی‌سول‌ها در نتیجه نقش پوشش گیاهی در تثبیت، توسعه و تکامل این خاک‌ها تحت نامساعدترین شرایط توپوگرافیکی منطقه در ارتفاعات بالا می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که در مقیاس مورد مطالعه ارتفاع فاکتور اصلی تشکیل خاک‌ها نبوده، اما می‌توان آن را به‌عنوان اصلی‌ترین فاکتور مؤثر بر میزان تکامل خاک‌ها شناخت. در کنار یافته‌های اصلی، نتایج نشان داد که تمایز یافتگی افق‌های مختلف مفهومی متفاوت از تکامل خاک را ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، ارسباران، تکامل خاک، جنگل، میکرومرفولوژی

Genetically Evolution of Arasbaran Forests Soils along Altitudinal Transects of Kaleybar Chai Sofla Sub-Basin

H Rezaei^{1*}, AA Jsfarzadeh², A Alijanpour³, F Shahbazi⁴, Kh Valizadeh Kamran⁵

Received: 24 April 2016 Accepted: 14 August 2016

1- Ph.D Student, Soil Science Department, Faculty of Agric., University of Tabriz, Iran

2- Prof., Soil Science Dept., Faculty of Agric., University of Tabriz, Iran

3- Assoc. Prof., Dept. of Forestry, College of Natural Resources, Urmia University, Iran

4- Assoc. Prof., Soil Science Dept., Faculty of Agric., University of Tabriz, Iran

5- Assist. Prof., GIS and Remote Sensing Dept., Geography and Planning College, University of Tabriz, Iran

* Corresponding Author, E-mail: hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir

Abstract

The large numbers of environmental management decisions associated with soil are influenced by its evolution because soil is a dynamic environment. Based on necessity of soil genesis and evolution assessments, this research work was carried out along an altitudinal transects of Kaleybar Chai Sofla sub-basin in Arasbaran forests and completed by soil morphological and micromorphological studies, physical and chemical analyses, soil classification and calculation of Harden index in eight control profiles. Results revealed the presence of four soil orders of Entisols, Inceptisols, Mollisols and Alfisols in two replications with different families in two elevation parts along altitudinal transects, due to various soil forming processes such as weathering, littering and humification, calcification and lessivage. Observation of weathering rate increasing, soil profile thickness development, differences in variety and intensity of pedofeatures such as clay coating, calcitic pedofeatures, organic residues, excrements and derived micromorphological properties by decreasing of elevation and also calculation of Harden index revealed the presence of more developed Entisols, Inceptisols, Mollisols in lower elevation in comparison to the same orders in the upper one. But the inverse condition of Alfisols evolution was related to the role of vegetation in soil stabilization, development and evolution in unsuitable topographic condition of upper parts of the study area. Therefore, it seems that elevation is not the main soil forming factor in the studied scale, but it can be identified as a main effective factor in soil evolution. Besides main findings, results showed that different horizon distinction revealed different concepts from soil evolution.

Keywords: Arasbaran, Elevation, Forest, Micromorphology, Soil evolution

مقدمه

مرتبط با جنگل امری ضروری می‌باشد (ساریخانی ۱۳۷۰). همچنین ویژگی‌های خاک و کاربرد آن در عرصه‌های کشاورزی، منابع طبیعی، مهندسی و... تحت تأثیر میزان تکامل آن است (شاتزل و آندرسون ۲۰۰۵). از این رو مطالعه و بررسی سیر تکاملی خاک موجب

خاک به‌عنوان یکی از اجزای بسیار مهم اکوسیستم جنگلی جایگاه ویژه‌ای در توسعه پایدار آن دارد (سان ۱۹۶۰). بررسی انواع خاک‌های جنگلی به جهت ارتباط مستقیم آن با تصمیم‌گیری‌های مدیریتی

می‌گردد تا با نگاهی به گذشته آن و پیش‌بینی تغییرات پیش روی، استفاده شایسته و مناسب‌تری از این منبع طبیعی به‌عمل آید. توجه به رده‌بندی خاک و بررسی شاخص‌های تکامل آن که حاصل جمع‌بندی ویژگی‌های مختلف خاک می‌باشند یکی از بهترین راهکارها در جهت تهیه داده‌های پایه به‌منظور طرح‌ریزی مدیریت‌های مختلف نواحی جنگلی برمبنای خاک و نیز معیاری برای سنجش تأثیر فاکتورهای خاک‌ساختی بر خاک اولیه تحت شرایط محیطی مختلف می‌باشد. در بررسی سیر تکاملی خاک شاخص‌های مرفولوژیکی و ویژگی‌های میکرومرفولوژیکی به‌دلیل ماهیت خاص خود دارای اهمیت بالایی هستند. از بین شاخص‌های مختلف تکامل خاک شاخص هاردن (۱۹۸۲) جامع‌ترین شاخص مرفولوژیکی می‌باشد که مقیاس دقیقی از تحولات خاک-ها تحت تأثیر عوامل محیطی ارائه نموده و امکان مقایسه خاک‌ها را فراهم می‌سازد (هوگلدن و آون هوگلدن ۲۰۰۸). میکرومرفولوژی نیز ابزاری دقیق برای بررسی تکامل، رده‌بندی و مدیریت خاک است (استوپس ۲۰۰۳). لذا تلفیق این دو روش مطالعه اطلاعاتی دقیق در ارتباط با تشکیل خاک‌ها ارائه و چشم‌اندازی برای مدیریت‌های آتی خاک ترسیم خواهد نمود، چرا که خاک یک محیط پویا بوده و میزان و مسیر تکامل آن کلیه فعالیت‌های مرتبط را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

تحولات خاک تحت تأثیر فاکتورهای خاک‌سازی اقلیم، مواد مادری، پستی و بلندی، ارگانسیم‌ها و زمان می‌باشد که این مجموعه تحت عنوان شرایط محیطی مختلف تجلی پیدا نموده و در تشکیل و تکامل انواع خاک‌ها با درجه توسعه یافتگی متفاوت ایفای نقش می‌کنند (ینی ۲۰۱۱). در مطالعات انجام یافته در مقیاس زیرحوضه توپوگرافی و پوشش گیاهی به‌عنوان اصلی-ترین عوامل مؤثر در تحولات خاک‌ها می‌باشند (ویلسون و گالنت ۲۰۰۰). توده‌های جنگلی مختلف با ویژگی‌های متفاوت خود نقش قابل توجهی در بروز ویژگی‌های خاک‌های هر منطقه داشته و منجر به تشکیل

و تکامل انواع خاک‌ها با ویژگی‌های متفاوت می‌گردند (بورگس و همکاران ۱۹۹۳، بینکلی و همکاران ۲۰۰۴، ژانگ و همکاران ۲۰۰۷، بینکلی و فیشر ۲۰۱۳). شعبانیان و همکاران (۱۳۸۹) از مقایسه خاک تحت گونه‌های جنگلی سوزنی‌برگ و پهن‌برگ نتیجه گرفتند که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تأثیر گونه‌های گیاهی می‌باشد. لذا از آنجایی که تکامل و تشکیل خاک‌های مختلف حاصل تغییر در ویژگی‌های مذکور می‌باشد می‌توان استدلال نمود که نوع پوشش گیاهی یکی از فاکتورهای اصلی دخیل در تکامل خاک‌ها است. در تأیید این امر عباسی (۱۳۸۱) تغییرات نوع خاک با نوع پوشش گیاهی و تأثیرپذیری مراحل تکاملی خاک از نوع گونه گیاهی مستقر در آن را در جنگل‌های واز شمال ایران مورد بررسی قرار داد و ارتباط بین این دو را امری محرز بیان نمود. توپوگرافی دیگر فاکتور خاک-سازی است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق سه عامل ارتفاع، زهکشی طبیعی و شیب (درصد، جهت، طول) نقش مهمی در تغییر ویژگی‌ها، تشکیل و تکامل خاک دارد (جیانگ و دلن ۲۰۰۴). گراچوا (۲۰۱۱) بیان می‌کند که فرآیندهای وابسته به توپوگرافی یک نقش اساسی در افزایش تنوع خاک در نواحی کوهستانی بر عهده دارند. توپوگرافی موجب تغییر در عمق خاک و میزان آب آن شده و این ویژگی‌ها شرایط تکامل خاک‌ها را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و آن‌ها را در گروه‌های مختلف خاک رده‌بندی می‌کند به‌نحوی که عموماً با کاهش ارتفاع و متناسب با شرایط شیب تکامل خاک‌ها افزایش می‌یابد (بادیا و همکاران ۲۰۱۳). زارعیان و باقرنژاد (۱۳۷۹) و آزادی و ابطی (۱۳۹۴) نیز در بررسی نقش توپوگرافی در تحول خاک‌ها به این نتیجه دست یافتند که خاک‌های جوان و فاقد تکامل در اراضی مرتفع و خاک‌های تکامل یافته‌تر در اراضی کم‌ارتفاع دیده می‌شوند. صالحی و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی ارتباط خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی تغییرات آن‌ها را به‌طور هم‌زمان مدنظر قرار دادند و مشاهده کردند که

تحقیق حاضر ضمن شناسایی خاک‌های بخشی از این منطقه به‌منظور استفاده در تحقیقات بعدی و تصمیمات مدیریتی به‌عنوان اطلاعات پایه با مدنظر قرار دادن توپوگرافی و پوشش گیاهی و مطالعه نقش آن‌ها به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای خاک‌سازی مطرح در مقیاس مطالعه شده به بررسی تحولات تشکیل و تکامل خاک‌های مورد مطالعه پرداخته تا با مشخص نمودن سیر تکاملی آن‌ها انجام سایر فعالیت‌های مرتبط با خاک در این ناحیه تسهیل گردد. همچنین خاک‌های جنگلی به‌دلیل بکر بودن یکی از بهترین گزینه‌ها در راستای مطالعات پایه تشکیل و تکامل خاک می‌باشند، لذا به منظور یافتن ابعاد جدیدی از جنبه تکامل خاک، این تحقیق در منطقه برای نخستین بار انجام گرفت.

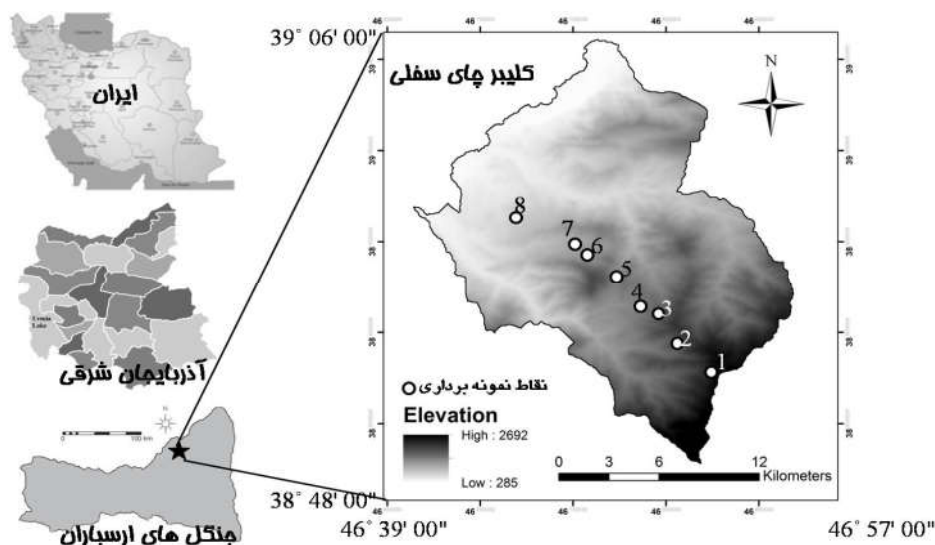
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه در امتداد یک نیمرخ ارتفاعی از اراضی کوهستانی و جنگلی زیر حوضه کلیبرچای سفلی جنگل‌های ارسباران واقع در حوضه استحفاظی شهرستان کلیبر در استان آذربایجان شرقی انجام شد (شکل ۱).

در جنگل‌های خیرود کنار در مناطق هموار و جلگه‌ای تغییرات جوامع گیاهی با تغییر ویژگی‌های خاک‌ها در ارتباط مستقیم هستند ولی در مناطق کوهستانی عواملی مانند ارتفاع از سطح دریا و وضعیت شیب از عوامل بسیار مهمی می‌باشند که شرایط بسیار پیچیده‌ای را در ارتباط با زیست گیاه و تغییر ویژگی‌های خاک‌ها ایجاد می‌نمایند.

با توجه به وسعت ایران و نیمه‌خشک بودن بیشتر نقاط آن بدیهی است سطح محدود جنگل‌های موجود عاملی سرنوشت‌ساز در کلیه زمینه‌ها اعم از کشاورزی، صنعت، محیط زیست و... می‌باشد. علی‌رغم نقش‌های مهم یاد شده، خاک‌های مناطق جنگلی ایران به‌عنوان بخشی از اکوسیستم جنگلی در مقایسه با خاک‌های فلات مرکزی خشک و نیمه‌خشک کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و در این بین رویشگاه جنگلی ارسباران با وجود ثبت جهانی به‌عنوان ذخیره‌گاه بیوسفر کمتر مورد توجه قرار گرفته و تنها مطالعاتی در خصوص پوشش گیاهی آن انجام شده است. لذا بررسی خاک‌های این ناحیه به‌منظور تکمیل اطلاعات اکولوژیکی آن امری ضروری است. در این راستا



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه DEM منطقه مورد مطالعه.

رده‌بندی و تکامل خاک‌ها

با استفاده از نتایج مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، رده‌بندی خاک‌ها تا سطح خانواده صورت گرفت (بی‌نام ۲۰۱۴). جهت بررسی وضعیت تکامل خاک‌های منطقه شاخص مرفولوژیکی هاردن انتخاب گردید. براساس این شاخص ویژگی‌های مرفولوژیکی افق‌های خاک از قبیل کلاس بافتی، شکل‌پذیری و چسبندگی، نوع و درجه توسعه ساختمان، پایداری خشک و مرطوب، پوشش‌های رسی، تیره رنگ شدن، روشن شدن رنگ و اسیدیته خاک، که هر یک ناشی از روی‌دادن فرآیندی خاص در خاک می‌باشند، با افق C مقایسه و به‌صورت کمی در آمده و پس از نرمال‌سازی شاخص افق تعیین و در نهایت بر مبنای ضخامت هر افق شاخص تکامل خاکرخ تعیین گردید (هاردن ۱۹۸۲، هاردن و تیلور ۱۹۸۳).

مطالعات میکرومرفولوژیکی

در این بخش نمونه‌های خاک دست‌نخورده که طی مطالعات صحرایی تهیه شده بودند مطابق با روش استاندارد ارائه شده توسط مورفی (۱۹۸۶) هوا خشک، تلقیح، سفت، بریده و سابیده شدند تا مقاطع نازک جهت انجام مطالعات میکرومرفولوژیک آماده گردند. مقاطع نازک تهیه شده با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان نوع *Hund* و تحت نورهای پلاریزه ساده و متقاطع براساس نظام واژگان ارائه شده توسط بولاک و همکاران (۱۹۸۵)، استوپس (۲۰۰۳) و استوپس و همکاران (۲۰۱۰) تشریح و مطالعه شدند.

نتایج و بحث

شرایط محیطی و ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک‌های منطقه

ویژگی‌های خاک‌های موجود در یک منطقه همواره در ارتباط با زمین‌نما بوده که جدول ۱ بیان‌گر خلاصه‌ای از شرایط محیطی موجود در منطقه مورد مطالعه به‌همراه موقعیت مکانی خاکرخ‌های شاهد است. عموماً در یک زمین‌نما با افزایش ارتفاع درصد شیب اراضی افزایش می‌یابد (خیام ۱۳۸۹) که این شرایط در

طبق آمار هواشناسی متوسط دمای هوای سالیانه منطقه ۱۲/۵۴ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالیانه آن ۴۰۷/۱۳ میلی‌متر بوده و براساس روش آمبرژه منطقه دارای اقلیم مدیترانه‌ای نیمه‌مرطوب معتدل است (بی‌نام ۱۳۹۲) و خاک‌های منطقه به‌ترتیب دارای رژیم‌های حرارتی و رطوبتی مزیک و زریک می‌باشند (بنائی ۱۳۷۷). از نظر موقعیت زمین‌شناختی کلیبرچای در زون البرز زیرزون البرز غربی و آذربایجان قرار گرفته و فعالیت‌های تشکیل آن متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی است که در اثر حرکات شدید کوهزایی آلپی به‌وجود آمده و شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین-رسوبی است (بی‌نام ۱۳۸۴). پوشش‌های گیاهی چوبی غالب در محدوده مورد مطالعه شامل بلوط، ممرز، افرا، گردو، زغال اخته، سیاه‌تلو و انار می‌باشند که تحت توده‌های جنگلی عمده بلوط و ممرز دیده می‌شوند (بی‌نام ۱۳۸۲).

مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری

پس از مطالعات اولیه توسط نقشه‌های پایه و عملیات جنگل‌گردشی، ۳۰ خاکرخ در ترازهای مختلف ارتفاعی و با استناد به نقاط نمونه‌برداری تعیین‌شده از قبل بر روی نقشه منطقه و با نوابری نقاط در عرصه میدانی با استفاده از دستگاه GPS، در نقطه مورد نظر براساس اصول استاندارد حفر و با توجه به شباهت-های موجود تعداد ۸ خاکرخ به‌عنوان شاهد جهت بررسی تشکیل و تکامل خاک در سطوح مختلف از امتداد نیمرخ ارتفاعی انتخاب و پس از تشریح (شوئنبرگر و همکاران ۲۰۱۲) نمونه‌های خاک دست-خورده و دست‌نخورده از هر افق یا لایه به‌منظور انجام آزمایش‌های مختلف تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند.

تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی

پس از آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها، اندازه ذرات و بافت خاک، اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، آهک و گچ با استفاده از روش‌های استاندارد جهت نیل به اهداف مطالعه تعیین شدند (بی‌نام ۱۳۸۷).

جدول ۱- خلاصه‌ای از مشخصات محیطی منطقه مورد مطالعه خاکرخ‌های شاهد.

شماره خاکرخ	ارتفاع از سطح دریا (m)	شیب (%)	تیپ جنگلی
۱	۲۱۴۲	۴۸/۳۶	بلوط سیاه
۲	۱۸۸۴	۳۸/۴۴	بلوط سیاه
۳	۱۵۹۸	۴۴/۵۸	بلوط سیاه-ممرز
۴	۱۵۰۸	۶۵/۶۵	ممرز
۵	۱۳۴۴	۱۸/۵۴	ممرز-بلوط سفید
۶	۱۲۳۲	۵۱/۱۵	بلوط سفید-ممرز
۷	۱۱۵۰	۲۰/۷۹	بلوط سفید-ممرز
۸	۶۹۷	۱۰/۳۵	بلوط سفید

منطقه مورد مطالعه نیز برقرار است. همچنین ارتفاع، پراکنش و توزیع انواع پوشش گیاهی را با پدید آوردن شرایط اکولوژیک مختلف تحت کنترل خود دارد (لومولینو ۲۰۰۱) که تغییر و به‌وجود آمدن ۶ تیپ جنگلی در امتداد نیمرخ ارتفاعی مورد مطالعه نیز مؤید این امر است (جدول ۱).

تشکیل خاک‌های مختلف که به‌واسطه تغییر در ویژگی‌های خاک ناشی از اثر فاکتورهای خاکساختی در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما است بازتابی از شرایط محیطی حاکم بر هر منطقه می‌باشد. توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های شاهد.

خصوصیت خاک	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
شن (%)	۱۲/۵	۸۲/۵	۳۸/۹	۱۷/۰۲	۰/۴۳
سیلت (%)	۱۲/۵	۵۰	۲۹	۸/۹۵	۰/۳
رس (%)	۵	۶۰	۳۲	۱۶/۰۴	۰/۵
اسیدیته	۶/۱۲	۷/۶	۷/۱۴	۰/۴۳	۰/۰۶
هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	۰/۲۲	۱/۶۵	۰/۵۹	۰/۳۲	۰/۵۴
کربن آلی (%)	۱/۴۶	۱۶/۲۶	۵/۰۳	۳/۱۶	۰/۶۳
ظرفیت تبادل کاتیونی ($\text{meq } 100\text{g soil}^{-1}$)	۱۳/۰۳	۳۸/۲۱	۲۴/۰۸	۵/۵۲	۰/۲۳
آهک (%)	۰/۵	۷۵/۵	۱۶/۶۲	۲۰/۹۶	۱/۲۶
گچ (%)	-	-	ناچیز	-	-

به‌طور کلی نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی نشان می‌دهد با کاهش ارتفاع به‌دلیل پدید آمدن شرایط مناسب برای هوادیدگی، کانی‌های اولیه هوادیده شده و بر میزان رس خاک افزوده شده و بافت خاک ریزتر می‌شود که امیری‌نژاد و باقرنژاد (۱۳۷۶) نیز چنین نتیجه‌ای را تحت تأثیر توپوگرافی گزارش نموده‌اند. خاک‌های منطقه فاقد شوری بوده (dS m^{-1} ۱/۶۵-۰/۲۲) و در محدوده اسیدیته خنثی (۶/۱۲-۷/۶) قرار دارند و معنی‌دار نبودن اختلاف این ویژگی‌ها در ارتفاعات مختلف نشان می‌دهد که آن‌ها کمتر تحت تأثیر فاکتورهای توپوگرافی و پوشش گیاهی بوده و مشابه

با یافته‌های آزادی و ابطحی (۱۳۹۴) می‌توان بیان نمود که تغییرات این فاکتورها عمدتاً توسط ماهیت مواد مادری کنترل می‌شود. خاک‌های تحت بررسی دارای مقادیر بالایی از کربن آلی بوده که مقدار آن از سطح به عمق در تمامی خاکرخ‌ها کاهش می‌یابد و علت آن بقایای گیاهی ناشی از لاشبرگ‌های ریخته شده از درختان است. بررسی تغییرات میزان کربن آلی در امتداد نیمرخ ارتفاعی نیز مقادیر متفاوت آن را نشان می‌دهد که می‌تواند به‌علت تفاوت در تیپ جنگلی، ریزاقلیم، فعالیت میکروبی و سایر شرایط محیطی باشد (توری‌یاما و همکاران ۲۰۱۵). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک عمدتاً

تحت تأثیر میزان رس و ماده آلی خاک قرار دارد (بوهن و همکاران ۲۰۰۱)، لذا با توجه به پیچیدگی ارتباط بین فاکتورهای یاد شده نمی‌توان روند خاصی را برای تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی با تغییرات ارتفاع در مقیاس مطالعه شده یافت. میزان گچ خاک در سرتاسر نیمرخ ارتفاعی مطالعه شده ناچیز برآورد شد، اما افزایش میزان آهک با کاهش ارتفاع که همراه با کاهش شیب نیز می‌باشد در تطابق با مطالعه زارعیان و باقرنژاد (۱۳۷۹) و زارعیان (۱۳۸۲) مشهود است.

رده‌بندی و تکامل خاک

صرف‌نظر از بررسی جزئیات تغییرات ویژگی‌های خاک در امتداد نیمرخ ارتفاعی که به‌طور کلی در بخش قبل بیان شد، مطالعه تشکیل و تکامل انواع خاک‌ها در منطقه که خود نتیجه تغییرات در ویژگی‌های خاک‌ها می‌باشد به‌عنوان هدف اصلی تحقیق به‌طور دقیق انجام گردید. با توجه به نتایج رده‌بندی خاک ارائه شده بر

مبنای مطالعات مرفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی، چهار رده خاک انتی‌سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول و آلفی-سول با خانواده‌های مختلف و با میزان تکامل متفاوت در امتداد نیمرخ ارتفاعی در محدوده مورد مطالعه مشاهده شدند. تعیین شاخص تکامل خاک هاردن برای خاک‌های مطالعه شده افزایش میزان تکامل را از سمت انتی‌سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول به آلفی‌سول نشان داد (جدول ۳). نکته حائز اهمیت در توزیع مکانی این خاک‌ها در امتداد نیمرخ ارتفاعی تکرار توالی آن‌ها در دو طبقه ارتفاعی می‌باشد. به‌عبارتی می‌توان ارتفاع ۱۴۰۰ متر را به‌عنوان فصل جداکننده توالی خاک‌ها دید که هر چهار رده خاکی در هر دو طبقه ارتفاعی بالا و پایین‌تر از این فصل مشترک حضور دارند. لیکن صرف‌نظر از تشکیل و حضور این خاک‌ها در هر دو بخش فوقانی و تحتانی ارتفاع ۱۴۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه، میزان تکامل آن‌ها متفاوت می‌باشد.

جدول ۳- توزیع افق‌ها و لایه‌های خاک، رده‌بندی و شاخص تکامل هاردن خاک‌های مطالعه شده.

شماره خاکرخ شاهد	توزیع افق‌ها و لایه‌های خاک	خانواده خاک (سیستم آمریکایی ۲۰۱۴)	شاخص هاردن
۱	A-Bw-C	Loamy, mixed, superactive, nonacid, mesic, Lithic Xerorthents	۳/۹۷
۲	A1-A2-Bw1-Bw2-C	Fine-loamy, mixed, superactive, mesic, Typic Haploxerolls	۷/۵۱
۳	Oe-A1-A2-Bw-C	Coarse-silty, mixed, superactive, mesic, Typic Haploxerepts	۶/۳۱
۴	Oa-A1-A2-Bt1-Bt2-C	Fine, mixed, active, mesic, Typic Haploxeralfs	۲۴/۰۳
۵	A1-A2-Bw-C1-C2-C3	Fine-silty, mixed, superactive, calcareous, mesic, Typic Xerorthents	۴/۶۱
۶	Oa-A-Bt-Btk-C	Fine, mixed, active, mesic, Typic Calcixereps	۷/۶
۷	A1-A2-Bk-Btk-C	Fine, mixed, active, mesic, Calcic Haploxeralfs	۱۴/۰۴
۸	A1-Bt1-Bt2-Btk-C	Fine, mixed, active, mesic, Typic Calcixerolls	۱۱/۲۴

بررسی تکامل خاک‌های منطقه با استفاده از شاخص هاردن خاک‌های رده انتی‌سول را در موقعیت خاکرخ‌های ۱ و ۵ به‌واسطه کمترین مقدار شاخص مربوطه به‌عنوان تکامل نیافته‌ترین خاک‌های موجود در منطقه معرفی نمود که این خاک‌ها به‌واسطه عدم وجود افق مشخصه خاصی قابل شناسایی‌اند. عموماً تشکیل این خاک‌ها تحت شرایط محیطی نامناسب می‌باشد که

این شرایط از انجام فرآیند خاک‌ساختی ویژه ممانعت به‌عمل آورده و تنها تخریب فیزیکی و جزئی توسعه ساختمان و تحولات شیمیایی در آن‌ها روی می‌دهد. لذا این خاک‌ها تمایز چندانی از ماده مادری خود نیافته‌اند که مقدار پایین شاخص تکامل خاک هاردن در این خاک‌ها نیز مؤید همین نکته است (جدول ۳). در موقعیت خاکرخ ۱ ارتفاع بالا منجر به شرایط ریزاقلیمی محدود-

است که در خاکرخ ۵ به دلیل افزایش سرعت هوا دیدگی و بهبود شرایط آن نسبت به خاکرخ ۱ ذرات ریزتر افزایش یافته و باعث کاهش این نسبت شده است، به نحوی که منجر به الگوی پراکنش پورفیریک در خاکرخ ۱ ولی پورفیریک-مونیک ریز در خاکرخ ۵ شده است (شکل-های ۲- الف و ب).

دومین گروه از خاک‌های موجود در منطقه که با توجه به نتایج جدول ۳ تکامل بیشتری نسبت به گروه قبلی از خود نشان می‌دهند اینسپتی‌سول‌ها هستند، لیکن به دلیل عدم وجود فرآیندهای خاک‌ساختی بارز و متنوع در این گروه نیز توسعه خاک به صورت جزئی صورت گرفته است. وجود ارتفاع و شیب تند در موقعیت خاکرخ ۳ موجب شده تا تنها فرآیندهای خاک‌ساختی ابتدایی همچون هوا دیدگی، تشکیل ساختمان و تجمع بقایای آلی روی دهد و توسعه خاک محدود به تشکیل افق‌های مشخصه کمبیک (شکل ۲- پ) شده است (بیول و همکاران ۲۰۱۱). نقش شیب در این موقعیت از زمین‌نما به حدی بوده که حتی از اثر تیپ جنگلی مخلوط در توسعه خاک کاسته و کم‌تحول یافته‌ترین و تیبیک‌ترین فرم از این رده خاکی در این موقعیت تشکیل شده است. حضور گروه دیگری از این خاک‌ها در ارتفاعات پایین‌تر توصیف دیگری از این خاک‌ها با توسعه یافتگی بیشتر با توجه به شاخص تکامل خاک هاردن به دست آمده در موقعیت خاکرخ ۶ دارد. مشاهده نمودهای خاک‌ساختی ناشی از تخلیه، پرشدگی‌ها و پوشش‌های آهکی در برش‌های نازک افق‌های مختلف خاکرخ ۶ بیانگر این نکته است که همراه با فرآیندهای خاک‌ساختی روی داده در خاکرخ ۳ آهکی شدن منجر به تشکیل افق مشخصه کلسیک در این موقعیت از زمین‌نما شده است (شکل ۲- ت). روی دادن چنین فرآیندی در خاکرخ ۶ متأثر از فرآیندهای زمین‌شناسی (فیش و همکاران ۱۹۷۲) و در ادامه انحلال، انتقال و رسوب مجدد (روستاد و آرناد ۱۹۸۶) آهک به شکل ثانویه است. با توجه به یکسانی تیپ جنگلی از نظر خلوص نقش تیپ جنگل در ایجاد

کننده‌ای شده که از توسعه خاک جلوگیری به عمل آورده و از سوی دیگر چون ارتفاعات عموماً همراه با شیب‌های تند می‌باشند تثبیت و توسعه عمقی خاک نیز مختل شده است. به وجود آمدن شرایط اکولوژیکی خاص و محدود برای پوشش‌های گیاهی به علت ارتفاع بالا نیز عاملی است که به همراه موارد قبلی از توسعه خاک به واسطه نقش پوشش گیاهی کاسته است (بیول و همکاران ۲۰۱۱).

دومین گروه از خاک‌های انتی‌سول در ارتفاع پایین‌تر از امتداد نیمرخ ارتفاعی مطالعه شده در محدوده خاکرخ ۵ مشاهده گردید که در این موقعیت به دلیل بهبود شرایط محیطی همچون تعدیل ریزاقلیم ناشی از تغییر ارتفاع، کاهش شیب و مخلوط شدن تیپ جنگلی توسعه و تکامل خاک نسبت به خاکرخ ۱ افزایش یافته و محدودیت عمقی برای خاک از بین رفته هر چند توسعه عمقی آن عمدتاً به صورت افق C بوده و تمایز چندانی بین افق‌های خاکرخ صورت نگرفته است که علت آن نیز ممکن است غیرمتحرک شدن مواد خاکی در اثر حضور مقدار بسیار بالای کربنات‌ها در ماده مادری باشد (بیول و همکاران ۲۰۱۱). مطالعه دقیق تکامل این خاک‌ها با استفاده از مطالعات میکرومرفولوژیک عدم تکامل آن‌ها به دلیل مشاهده نشدن نمودهای خاک‌ساختی خاص را بیان می‌کند به نحوی که به غیر از زمینه خاک تنها می‌توان اشکالی از بقایای گیاهی تخریب نشده را در برش‌های نازک افق‌های سطحی‌تر مشاهده نمود. بررسی ویژگی‌های میکروسکوپی خاک‌های مذکور حکایت از ریزساختارهای کروی در افق‌های سطحی و مکعبی در افق‌های زیرسطحی و منافذی چندان توسعه نیافته همچون انواع بسته‌شده ساده و مرکب دارد. مشاهده بی‌فابریک کریستالیتیک در خاکرخ ۱ به دلیل حضور کانی‌های کریستالیت اولیه زیاد و در خاکرخ ۵ به دلیل حضور مقدار بالای آهک ریز نیز تأییدکننده تکامل کم این خاک‌ها می‌باشد (هونوراتو و نونز ۱۹۸۲). اما نکته متمایزکننده این دو خاک در نسبت ذرات ریز به درشت

ریزساختار خاک‌های ۳ و ۶ در افق‌های سطحی کروی و در افق‌های زیرین متمایل به مکعبی بوده و منافذ آنها عمدتاً از نوع بسته‌شده در افق‌های سطحی و کانالی در افق‌های زیرین است (شکل ۲- ث) که عموماً در نتیجه حضور پوشش گیاهی جنگلی حاصل شده‌اند (استوپس ۲۰۰۳).

بررسی برش‌های نازک مربوط به خاک‌های ۲ و ۸، حضور بی‌فابریک تفکیک نشده، ریزساختار کروی قوی، فراوانی بیشتر منافذ توسعه یافته همچون کانال‌ها در کنار حفرات بسته و صور مرتبط با فعالیت ریزجانداران خاک در افق‌های سطحی نشان از حضور مقدار ماده آلی به‌همراه فعالیت میکروبی بالا در خاک دارد که به‌همراه نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی بیانگر تشکیل افق مشخصه مالیک در این خاک‌ها می‌باشد (شکل‌های ۲- ج و چ) (لاماند و همکاران ۲۰۰۳، استوپس و همکاران ۲۰۱۰، لیاقت و خرمالی ۱۳۹۰). بر اساس این نتایج مالی‌سول‌ها که تشکیل آن‌ها متأثر از حضور ماده آلی کافی و مخلوط شدن آن با بخش معدنی خاک طی فرآیندهای تجمع بقایای آلی و هوموسی شدن است (بیول و همکاران ۲۰۱۱) سومین رده خاک هستند که در منطقه مشاهده می‌شوند و شاخص تکامل خاک هاردن این رده از خاک‌های منطقه تکامل بیشتر آن را نسبت به دو گروه قبلی تأیید می‌کند (جدول ۳). با پیشروی از حاشیه جنگل به بخش‌های درونی معمولاً بر تراکم درختان جنگلی افزوده می‌شود و این موجب شده تا در موقعیت خاک‌های ۲ نسبت به ۱ بر تراکم درختان جنگلی افزوده گردد و به تبع آن بقایای گیاهی حاصل از آن‌ها زیاد شده و موجب حضور افق‌های مرتبط با مقادیر بالای ماده آلی شده است. تشکیل این خاک‌ها عموماً مستقل از توپوگرافی بوده و ماده آلی ناشی از پوشش گیاهی اصلی‌ترین فاکتور دخیل در ایجاد این خاک‌ها می‌باشد (فنتون ۱۹۸۳). پیدایش این نوع خاک در ارتفاعات فوقانی منطقه مورد بررسی بسیار محدود بوده و با حضور افق‌های

تفاوت بین این دو موقعیت از نظر تکامل خاک چندان اساسی به‌نظر نمی‌رسد اما باید توجه داشت افزایش تراکم پوشش گیاهی به‌واسطه کاهش ارتفاع و بهبود شرایط اکولوژیک بی‌شک اثرات خود را بر توسعه این خاک‌ها داشته است. بالا بودن میزان تنفس ریشه در حجم و تولید گاز دی‌اکسید کربن و کمک به تشکیل آهک ثانویه و افق کلسیک از آن جمله است (سگال و استوپس ۱۹۷۲). همچنین از آنجایی که بسیاری از فرآیندهای خاک‌ساختی تحت تأثیر حضور رطوبت در خاک هستند تراکم کمتر درختان جنگلی در موقعیت خاک‌های ۳ نسبت به ۶ موجب دریافت انرژی خورشیدی بیشتر و در نتیجه کاهش رطوبت خاک و در امتداد آن محدود شدن فرآیندهای خاک‌ساختی و تکامل کمتر خاک در موقعیت خاک‌های ۳ نسبت به ۶ شده است (هال ۱۹۸۳). هرچند درصد شیب اراضی خاک‌های ۶ بالا بوده است به‌نظر می‌رسد با توجه به نسبت کم ذرات درشت به ریز مشاهده شده در مقاطع میکروسکوپی کاهش ارتفاع موجب ریز شدن بافت خاک به‌واسطه هوادیدگی بیشتر شده و ریشه‌ها مسیر حرکت رس به‌سمت پایین و تشکیل پوشش‌های رسی به مقدار جزئی را فراهم نموده‌اند، لیکن شستشو و تغییرات میزان رس در افق‌های متوالی به‌حدی نبوده که تکامل سیر صعودی یافته و افق آرگیلیک تشکیل شود و میزان بالای رس در خاک‌های ۶ می‌تواند ناشی از مواد مادری باشد (وو و چن ۲۰۰۵). علاوه بر موارد ذکر شده بی‌فابریک لکه‌ای به‌همراه کریستالیتیک در بررسی میکروسکوپی خاک‌های ۶ نیز تکامل یافتگی بیشتر آن نسبت به خاک‌های ۳ را بیان می‌کند. تشکیل بی‌فابریک لکه‌ای در خاک‌های ۶ در نتیجه آب‌شویی بخشی از آهک به افق‌های زیرین و خاصیت الگوی رنگ‌های تداخلی^۱ رس ایجاد شده است (فیتزپاتریک ۱۹۹۳) و بی‌فابریک کریستالیتیک نیز به‌دلیل حضور آهک می‌باشد (بولاک و همکاران ۱۹۸۵).

مالیک و کمبیک تنها نوع تیبیک آن قابل شناسایی است. براساس گزارش آیدینالپ (۲۰۰۳) میزان تکامل و تحول خاک‌های مالی‌سول صرف‌نظر از حضور ماده آلی تحت تأثیر دما، رطوبت و فعالیت میکروبی می‌باشد. مشاهده صور بقایا و فضولات جانوری با فراوانی بیشتر در برش‌های نازک خاکرخ ۸ وضعیت بهینه شرایط محیطی این خاکرخ و بالا بودن فعالیت میکروبی آن را نشان می‌دهد (نائل و همکاران ۲۰۰۴) که این امر به‌عنوان محرکی برای انتقال آهک عمل کرده (اگلی و همکاران ۲۰۰۸) و منجر به تشکیل افق‌های آرچیلیک و کلسیک در کنار مالیک شده که این امر می‌تواند دلیل تکامل یافتگی بیشتر این خاک در ارتفاعات پایین‌تر باشد و تأیید کننده نتایج حاصل از مقایسه شاخص تکامل هاردن برای موقعیت‌های ارتفاعی بالا و پایین خاک‌های مالی‌سل مطالعه شده است (شکل ۲- ح).

براساس نتایج به‌دست آمده آلفی‌سول‌ها متکامل-ترین خاک‌های موجود در منطقه می‌باشند که جدول ۳ وضعیت تکاملی این رده نسبت به رده‌های خاکی دیگر مشاهده شده در منطقه را نشان می‌دهد. مهم‌ترین فرآیند خاک‌ساختی مطرح در تشکیل این خاک‌ها انتقال و تجمع رس است که منجر به تشکیل افق آرچیلیک شده است (بیول و همکاران ۲۰۱۱). مشاهدات صحرایی، نتایج تجزیه‌های فیزیکی- شیمیایی و نیز مشاهدات میکروسکوپی همچون رویت بی‌فابریک خطی^۲ و پوشش‌های رسی در حفرات و بر روی ذرات اولیه خاکرخ‌های مربوطه (شکل ۲- خ)، روی دادن این فرآیند و تشکیل افق آرچیلیک و آلفی‌سول‌ها در هر دو موقعیت ارتفاعات بالا و پایین در خاکرخ‌های ۴ و ۷ را تأیید می‌کنند که صور مذکور نشان‌دهنده پایداری این اراضی است (خرمالی و همکاران ۲۰۰۶). وجود ریزساختار کروی در افق‌های سطحی به دلیل حضور پوشش گیاهی و فعالیت میکروبی خوب و نیز ریزساختار

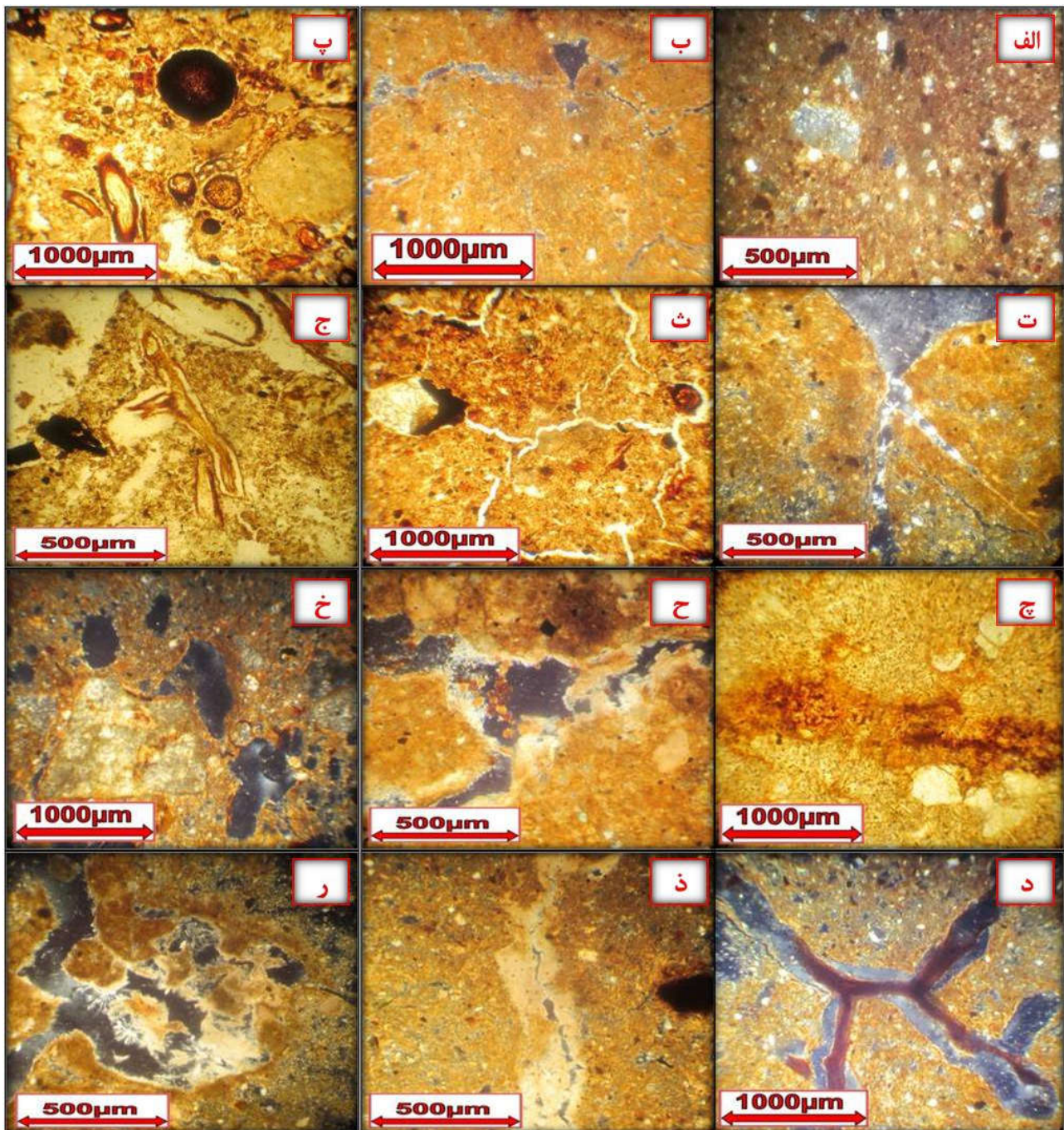
مکعبی بدون زاویه در افق‌های زیرسطحی خاکرخ‌های ۴ و ۷ نیز نشانه‌ای دیگر از تکامل خوب این خاک‌ها است (استوپس ۲۰۱۰، لیاقت و خرمالی ۱۳۹۰). با توجه به شیب بالا در موقعیت خاکرخ ۴ (جدول ۱) انتظار بر این است که خاک تحت اثر ثقل و رواناب سطحی شسته شده و خاک‌های جوان در این نواحی پدیدار شوند (قوت ۱۹۹۱) اما نتایج مطالعه بیانگر حالت استثنای تکامل بالای خاک در شیب‌های تند می‌باشد که این حالت در مطالعات اولسن و همکاران (۲۰۰۵) و ویلسون و همکاران (۲۰۱۰) نیز دیده شده است. علت چنین وضعیتی را می‌توان کاهش اثر منفی شیب در تکامل خاک‌ها به‌واسطه حضور پوشش گیاهی دانست (فنینگ و فنینگ ۱۹۸۹). ریشه‌های گیاهان موجب تثبیت و تکامل خاک در نواحی با شیب تند می‌شوند (نیامبان و موا ۲۰۱۱) که در موقعیت خاکرخ ۴، تیپ جنگلی ممرز به عنوان گونه پیشرو در ناحیه ارسباران با توجه به ماهیت سیستم ریشه‌ای و توانایی‌های اکولوژیک خود برای استقرار در نواحی سخت از جمله شیب‌های تند نقش مثبتی در تکامل خاک در نواحی شیب‌دار داشته است (بلندیان ۱۳۷۸). ریشه‌ها ضمن ایفای نقش در تثبیت و توسعه عمقی خاک‌ها در تکامل و تمایز افق‌های خاک نیز نقش دارند. لیفورد و ویلسون (۱۹۶۴) بیان می‌کنند که ارتباط نزدیکی بین توزیع و توسعه ریشه‌های درختی با توسعه افق آرچیلیک وجود دارد. مشاهده پوشش‌های رسی در حفرات ناشی از توسعه ریشه در برش‌های نازک مربوطه مشابه با یافته‌های بلاژیوسکی و همکاران (۲۰۰۵) نقش پوشش گیاهی در تکامل افق آرچیلیک را بیان می‌کند (شکل ۲- د). 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). در آلفی‌سول‌های تشکیل شده در

حاصل مشاهدات میکرومرفولوژیک و شاخص تکامل خاک هاردن بوده تطابق کامل آن با منطق رده‌بندی خاک را نشان می‌دهد (بیول و همکاران ۲۰۱۱) به‌نحوی- که پیش‌تر نیز ذکر شد خاک‌ها از سمت انتی‌سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول به‌سمت آلفی‌سول تکامل بیشتری حاصل کرده‌اند.

با توجه به رویت رده‌های خاکی مشابه در ارتفاعات متفاوت چنین به‌نظر می‌رسد که ارتفاع در مقیاس مورد مطالعه نقش اساسی در تشکیل یک نوع خاک نداشته اما با توجه به مقادیر تکامل متفاوت خاک‌های موجود در یک رده در ارتفاعات متفاوت کاملاً مشخص می‌گردد که این فاکتور نقش بارزی در توسعه و تکامل یافتگی خاک‌ها داشته است. حضور یک رده خاک با خانواده‌های متفاوت در دو ارتفاع مختلف و بررسی میزان تکامل آن‌ها نشان می‌دهد که به‌طورکلی با افزایش ارتفاع از میزان تکامل خاک کاسته می‌شود. حالت استتتا در خاک‌های آلفی‌سل منطقه را می‌توان به تیپ جنگلی مستقر بر روی این خاک‌ها و شرایط اکولوژیک ربط داد که با ایجاد شرایط رطوبی خاص این وضعیت را پدید آورده است. پستی و بلندی نقش بسیار مهمی در روی دادن بسیاری از فرآیندهای خاک‌ساختی دارد (بوخم و همکاران ۲۰۱۴) لذا صرف‌نظر از روی- دادن یک فرآیند خاک‌ساختی در منطقه که منجر به تشکیل یک نوع خاک می‌گردد میزان و شدت روی دادن آن تحت تأثیر ارتفاع موجب مقادیر متفاوت تکامل خاک-ها شده است. اگرچه ظاهراً با توجه به توزیع انواع خاک‌ها و تیپ‌های جنگلی چنین استنباط می‌شود که تیپ جنگل نقشی در تشکیل یا تکامل یک نوع خاک ندارد اما کاملاً مشهود است که کیفیت آن اثر بسیار بزرگی در تکامل یافتگی خاک‌ها داشته است. در نهایت نتیجه‌گیری می‌شود که در منطقه مورد مطالعه فاکتور پستی و بلندی از طریق اهرم ارتفاع عموماً بر شکل و میزان شیب اثر گذاشته و با کنترل شرایط اکولوژیک محیط هم‌چون ریزاقلیم و پوشش گیاهی تکامل خاک‌ها را تحت تأثیر خود قرار داده است.

ارتفاعات پایین که خاک‌رخ ۷ نمونه‌ای از آن‌ها می‌باشد مشاهده دو بی‌فابریک کریستالینیک و لکه‌ای درکنار هم در برش‌های نازک مربوطه نشان‌دهنده روی دادن فرآیند آهکی شدن در کنار نقل و انتقال رس می‌باشد که منجر به تشکیل هر دو افق آرچیلیک و کلسیک در این خاک‌رخ شده است. روی دادن فرآیند آهکی شدن و تشکیل افق کلسیک و مشاهده پرشدگی‌ها و پوشش‌های آهکی، به‌خصوص نموده‌های پوششی به شکل بلورهای سوزنی شکل به‌دلیل مقدار بالای ماده آلی در خاک‌رخ ۷ (شکل‌های ۲- و ۳)، نشان از تمایز بیشتر افق‌های این خاک‌رخ در مقایسه با خاک‌رخ ۴ دارد که این نتیجه توسط بژدک و همکاران (۱۹۹۷) نیز گزارش شده‌است. لیکن ضخامت کمتر افق آرچیلیک و پوشش‌های رسی مشاهده شده در برش‌های نازک آن تکامل کمتر این خاک‌رخ در مقایسه با خاک‌رخ هم‌رده خود یعنی خاک‌رخ ۴ را نشان می‌دهد که مقایسه شاخص تکامل خاک هاردن (جدول ۳) برای این دو خاک‌رخ نیز مؤید این امر است (هایکینز و فرانزن ۲۰۰۳). عموماً مقدار بالای آهک در خاک‌رخ از پیشروی فرآیندهای خاک‌ساختی ممانعت به-عمل آورده (عباسی‌کلو و همکاران ۱۳۹۳) و در خاک‌رخ ۷ افزایش مقدار آهک به‌دلیل دارا بودن کلسیم موجب فلوکوله کردن ذرات رس شده و به‌این ترتیب از شستشو و انتقال رس‌ها جلوگیری نموده و در نتیجه مانع تکامل افق آرچیلیک شده است (الیوت و دورهان ۲۰۰۹). لذا از مقایسه دو خاک‌رخ ۴ و ۷ مشابه با یافته-های عباسی‌کلو و همکاران (۱۳۹۳) می‌توان به این نتیجه دست یافت که تکامل خاک مفهومی جدا از تمایز یافتگی افق‌های خاک‌رخ است.

به‌طورکلی با توجه به نتایج حاصله هوادیدگی، تشکیل ساختمان، تجمع بقایای آلی، هوموسی شدن، شستشو و تجمع آهک و رس فرآیندهای خاک‌سازی فعال در منطقه مورد مطالعه بوده و منجر به تشکیل خاک‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول و آلفی-سول شده‌اند. ترتیب تکاملی خاک‌های مشاهده شده که



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی خاک‌های مطالعه شده: الف- الگوی پراکنش ارتباطی پورفیریک، خاکرخ ۱، افق Bw، (XPL)، ب- الگوی پراکنش ارتباطی مونیک، خاکرخ ۵، افق Bw، (XPL)، پ- بقایای گیاهی سالم، خاکرخ ۳، افق A1، (PPL)، ت- پرشدگی بلورهای آهک درون کانال، خاکرخ ۶، افق Btk، (XPL)، ث- منافذ کانالی و ریزساختار مکعبی، خاکرخ ۶، افق Bt، (PPL)، ج- بقایای گیاهی در حال تجزیه، خاکرخ ۲، افق A1، (PPL)، چ- بقایای آلی کاملاً تجزیه شده، خاکرخ ۸، افق Bt، (PPL)، ح- صور فضولات جانوری به همراه بلورهای آهک و پوشش رس و آهک، خاکرخ ۸، افق Btk، (XPL)، خ- پوشش رس در اطراف منافذ و ذرات اولیه، خاکرخ ۴، افق Bt1، (XPL)، د- پوشش رس در کانال‌های توسعه یافته توسط ریشه‌ها، خاکرخ ۴، افق Bt2، (XPL)، ذ- پرشدگی آهک درون کانال، خاکرخ ۷، افق Bk، (XPL)، ر- پوشش رس و بلورهای سوزنی شکل آهک، خاکرخ ۷، افق Btk، (XPL).

نتیجه‌گیری کلی

خاک‌های منطقه مورد مطالعه شامل چهار رده انتی‌سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول و آلفی‌سول هستند که با درجات تکامل مختلف در امتداد یک نیمرخ ارتفاع حضور دارند. در مقیاس مورد مطالعه ارتفاع نقشی مستقیم و غالب در تشکیل یک نوع بخصوص از خاک‌ها نداشته، اما میزان تکامل هر چهار رده خاکی تحت تأثیر آن می‌باشد به نحوی که در سه نوع خاک انتی‌سول، اینسپتی‌سول و مالی‌سول با افزایش ارتفاع که همراه با افزایش شیب اراضی نیز می‌باشد به‌طورکلی از میزان تکامل خاک کاسته می‌شود اما در خاک آلفی‌سول علت وضعیت معکوس را می‌توان در نقش پوشش گیاهی مستقر بر روی آن دید که با ایجاد شرایط اکولوژیک ویژه امکان توسعه بیشتر این خاک در ارتفاعات و شیب‌های نامناسب را فراهم نموده است. مطالعه انواع نموده‌های ناشی از فرآیندهای خاک‌ساختی مختلف بیان می‌کند که در تشکیل خاک‌ها تمامی فاکتورهای خاک-

ساختی دخیل‌اند، اما در شدت گرفتن فرآیندی خاص یک فاکتور نقش غالب را داشته که در منطقه مورد مطالعه ارتفاع به عنوان بخشی از فاکتور توپوگرافی با نقش مستقیم خود و اثرات غیرمستقیم همچون کنترل ریزاقلیم و توزیع تیپ جنگل مهم‌ترین فاکتور می‌باشد هرچند نباید نقش پوشش گیاهی در کاهش اثرات منفی ناشی از توپوگرافی در توسعه خاک‌ها را نادیده گرفت.

تنوع فرآیندهای خاک‌ساختی روی داده که منجر به تمایز بیشتر و تشکیل انواع افق‌های خاک می‌شود لزوماً به معنی تکامل یافتگی و سن بیشتر خاک نیست از این‌رو در بررسی تشکیل و تکامل خاک‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی براساس تحولات و توسعه خاک استفاده از روش‌های میکرومرفولوژیکی، مینرالوژیکی و برآورد شاخص‌های ویژه تکامل خاک در کنار مطالعات صحرایی و رده‌بندی خاک توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

- آزادی ا و ابطحی سع، ۱۳۹۴. ویژگی‌های پیدایشی و کانی‌شناسی خاک‌ها تحت تأثیر توپوگرافی و سطح آب زیرزمینی و ارزیابی تناسب اراضی منطقه کافتار استان فارس. فصل‌نامه انسان و محیط زیست، شماره ۳۳، صفحه‌های ۵۷ تا ۷۷.
- امیری‌نژاد عا و باقرنژاد م، ۱۳۷۶. اثرات توپوگرافی بر روی تشکیل و تکامل خاک‌های منطقه کرمانشاه. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۸، شماره ۳، صفحه‌های ۹۹ تا ۱۱۱.
- بلندیان ه، ۱۳۷۸. شناخت جنگل. انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.
- بنایی مح، ۱۳۷۷. نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران، وزارت کشاورزی، تهران.
- بی‌نام، ۱۳۸۲. طرح صیانت از جنگل‌های ارسباران شمالی (جمع‌بندی مطالعات جنگل‌های ارسباران شمالی). اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز.
- بی‌نام، ۱۳۸۴. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سری ۵۳۶۷. وزارت صنایع و معادن ایران، تهران.
- بی‌نام، ۱۳۸۷. دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های آب و خاک. مؤسسه تحقیقات آب و خاک، نشریه شماره ۴۶۷.
- بی‌نام، ۱۳۹۲. آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کلیبر. سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران، اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، تبریز.
- خیام م، ۱۳۸۹. مبانی ژئومرفولوژی- اشکال و ناهمواری‌های زمین (ترجمه). انتشارات مینا، تهران.
- زارعیان غر و باقرنژاد م، ۱۳۷۹. اثر توپوگرافی در تکامل خاک و تنوع کانی‌های رسی منطقه بیضاء استان فارس. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۴، شماره ۱، صفحه‌های ۴۶ تا ۵۶.
- زارعیان غر، ۱۳۸۲. تشکیل و طبقه‌بندی خاک و ارزیابی تناسب اراضی دراگون استان فارس. صفحه‌های ۲۰۰ تا ۲۰۱، مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، ۵-۱ فروردین ماه، دانشگاه گیلان، رشت.
- ساریخانی ن، ۱۳۷۰. بهره‌برداری جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

- شعبانیان ن، حیدری م و زینی‌وندزاده م، ۱۳۸۹. اثر جنگل‌کاری با گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بر تنوع گونه‌های گیاهی و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: جنگل‌کاری دوشان سنندج). فصل‌نامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۸، شماره ۳، صفحه‌های ۴۳۷ تا ۴۴۶.
- صالحی ع، زرین کفش م، زاهدی امیری ق و مروی مهاجر مر، ۱۳۸۴. بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در ارتباط با گروه‌های اکولوژیک درختی در سری نم‌خانه جنگل خیرودکنار. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۳، صفحه‌های ۵۶۷ تا ۵۷۸.
- عباسی‌کلو آ، جعفرزاده ع، کریمیان اقبال م، اوستان ش و جهانگیری ا، ۱۳۹۳. تأثیر سطوح مختلف ژئومرفولوژیک بر تکامل خاک‌ها با استفاده از تغییرات پدوژنیک و شکل‌های مختلف آهن در منطقه مرند، آذربایجان شرقی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۱، صفحه‌های ۸۵ تا ۱۰۱.
- عباسی ح. ۱۳۸۱. تشکیل و طبقه‌بندی خاک در ارتباط با پوشش گیاهی در قسمتی از بوم‌سازگان جنگلی شمال کشور، مطالعه موردی: جنگل تحقیقاتی وان. فصل‌نامه پژوهش و سازندگی، جلد ۱۵، شماره ۱، صفحه‌های ۹۶ تا ۱۰۲.
- 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.
- Anonymous, 2014. Keys to Soil Taxonomy (12th ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Survey Staff, Washington, DC.
- Aydinalp C, 2003. Some important properties and classification of Mollisols in north western Turkey. *Journal of Central European Agriculture* 4(3): 221-224.
- Badia D, Marti C, Aznar JM and Leon J, 2013. Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environments. *Geoderma* 193: 13-21.
- Becze Deak J, Langhor R and Verrechia EP, 1997. Small scale secondary CaCO₃ accumulations in selected sections of the European loess belt. *Geoderma* 76: 221-252.
- Bockheim JG, Gennadiyev AN, Hartemink AE and Brevik EC, 2014. Soil-forming factors and Soil Taxonomy. *Geoderma* 226-227: 231-237.
- 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.
- Bohn HL, Myer RA and O'Connor GA, 2001. *Soil Chemistry*. John Wiley and Sons, New York.
- Binkley D, Kaye J, Barry M and Ryan MG, 2004. First rotation changes in soil carbon and nitrogen in a Eucalyptus plantation in Hawaii. *Soil Science Society of American Journal* 68(5): 1713-1719.
- Binkley D and Fisher RF, 2013. *Ecology and Management of Forest Soil*. John Wiley and Sons, New York.
- Bullock P, Fedoroff N, Jongerijs A, Stoops G and Tursina T, 1985. *Handbook for Thin Section Description*. Waine Research, England.
- Buol SW, Southard RJ, Graham RC and McDaniel PA, 2011. *Soil Genesis and Classification*. Wiley, Oxford, UK.
- Burgess TI, Malajczuk N and Grove TS, 1993. The ability of 16 ectomycorrhizal fungi to increase growth and phosphorus uptake of *Eucalyptus globulus* Labill. and *E. diversicolor* F. Muell. *Plant and Soil* 153(2): 155-164.
- 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.
- Fanning DS and Fanning MCB, 1989. *Soil: Morphology, Genesis, and Classification*. John Wiley and Sons, New York.
- Fenton TE, 1983. Mollisols. Pp. 125-163. In: Wilding LP, Smeck NE and Hall GF (eds). *Pedogenesis and Soil Taxonomy, II. The soil orders*. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands.

- Fisher WL, McGowen JH, Brown LF and Groat GG, 1972. Environmental Geologic Atlas of the Texas Coastal Zone-Galveston-Houston Area. Bureau of Economic Geology, University of Texas, Austin, U.S.A.
- Fitzpatrick EA, 1993. Soil Microscopy and Micromorphology. John Wiley and Sons, Chichester.
- Foth, HD, 1991. Fundamentals of Soil Science. Wiley, New York.
- Gracheva R, 2011. Formation of soil diversity in the mountainous tropics and subtropics: rocks, time and erosion. *Geomorphology* 135(3-4): 224-231.
- Hall GF, 1983. Pedology and Geomorphology. Pp. 117-140. In: Wilding LP, Smeck NE and Hall GF (eds). *Pedogenesis and Soil Taxonomy, I. Concept and Interaction*. Elsevier science, New York.
- Harden JW, 1982. A quantitative index of soil development from field description: examples from a chronosequence in central California. *Geoderma* 28: 1-28.
- Harden JW and Taylor EM, 1983. A quantitative comparison of soil development in four climatic regimes. *Quaternary Research* 20: 342-359.
- Haugland JE and Owen Haugland BS, 2008. Cryogenic disturbance and pedogenic lag effects as determined by the profile developmental index: The styggedalsbreen glacier chronosequence, Norway. *Geomorphology* 96(1): 212-220.
- Honorato PR and Nunez MR, 1982. Micromorphology of entisols and inceptisols of Santiago bassin (Chile). *AGRIS Since* 7(2): 89-93.
- Hopkins DG and Franzen DW, 2003. Argillic horizons in stratified drift: Luverne end Moraine, Eastern North Dakota. *Soil Science Society of America journal* 67(6): 1790-1796.
- Jenny H, 2011. *Factors of Soil Formation-A System of Quantitative Pedology*. Dover, New York.
- Jiang P and Thelen KD, 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a northcentral corn-Soybean cropping system. *Agronomy Journal* 96(1): 252-258.
- Khormali F, Abtahi A and Stoops G. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma* 132: 31-46.
- Lamande M, Hallaire V and Curmi P, 2003. Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. *Catena* 54: 637-649.
- Lomolino MV, 2001. Elevation gradients of species density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10: 3-13.
- Lyford WH and Wilson BF, 1964. Development of the root system of *Acer Rubrum* L. *Harvard Forest Paper* 10: 1-17.
- Murphy CP, 1986. *Thin Section Preparation of Soils and Sediments*. A and B Academic, Berkhamsted, England.
- Nael M, Khademi H and Hajabbasi MA, 2004. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. *Applied Soil Ecology* 27: 221-232.
- Nyambane OS and Mwea SK, 2011. Root tensile strength of 3 typical plant species and their contribution to soil shear strength; a case study: Sasumua Backslope, Nyandarua District, Kenya. *Journal of Civil Engineering Research and Practice* 8(1): 57-73.
- Olson KR, Jones RL and Lang JM, 2005. Soil formation at Millstone Bluff and Johnson Ridge in southern Illinois. *Soil Science* 170: 457-468.
- Rostad HPW, Arnaud RJSt, 1968. The Nature of carbonates minerals in two saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soil Science* 50: 65-70.
- Schaetzl R and Anderson S, 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University, Cambridge, England.
- Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham EC and Soil Survey Staff, 2012. *Field book for describing and sampling soils, Version 3.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Seghal JL and Stoops G, 1972. Pedogenic calcite accumulation in arid and semiarid regions of the Indo Genetic plain of Erstwhile Punjab, Their morphology and origin. *Geoderma* 8: 59-72
- Sonn SW, 1960. *The Influence of Forest on Soils*. Gustav Fischer Verlag Jena, Germany.
- Stoops G, 2003. *Guidelines for analysis and description of soil and regolit 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.

- Toriyama J, Hak M, Imayaa A, Hiraia K and Kiyono Y, 2015. Effects of forest type and environmental factors on the soil organic carbon pool and its density fractions in a seasonally dry tropical forest. *Forest Ecology and Management* 335: 147-155.
- Wilson JP and Gallant JC, 2000. *Terrain Analysis (Principles and Applications)*. John Wiley and Sons, New York.
- Wilson MA, Indorante SJ, Lee BD, Follmer L, Williams DR, Fitch BC, McCauley WM, Bathgate JD, Grimley DA and Kleinschmidt K, 2010. Location and expression of fragic soil properties in a loess-covered landscape, southern Illinois, USA. *Geoderma* 154(3-4): 529-543.
- Wu SP and Chen ZS, 2005. Characteristics and genesis of Inceptisols with placic horizons in the subalpine forest soils of Taiwan. *Geoderma* 125: 331-341.
- 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.
- Zhang H, Zhang GL and Zhao YG, 2007. Chemical degradation of Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China. *Soil and Tillage Research* 93(1): 109-116.