

مقاله پژوهشی

تکامل خاک در سطوح مختلف ژئومورفیک یک نیمرخ ارتفاعی-اقلیمی در جنوب شرق اردبیل

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

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۱

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

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

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

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

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی afshin_mo55@yahoo.com

چکیده

تکامل خاک حاصل ترکیبی از فرآیندهای ژئومورفولوژیک و پدولوژیک است. در این مطالعه، تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک و نیز تکامل خاک در سطوح مختلف ژئومورفیک شامل دشت سر انتهایی، دشت سر فرسایشی، سطوح شیبدار، سطوح هموار، هورست، نهشته دریاچه، مخروطه افکنه، خط‌الراس و سیرک در یک نیمرخ ارتفاعی-اقلیمی در جنوب شرق اردبیل، بررسی گردید. بدین منظور، مطالعات صحرایی و آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی رس بر روی خاکهای نمونه برداری شده از ۱۲ خاکرخ در منطقه انجام گرفت. نتایج نشان داد که تفاوت شدت هوازدگی و نوع فرآیندهای خاک‌سازی در سطوح مختلف ژئومورفیک، تأثیر زیادی بر ویژگی‌ها و تکامل خاک‌های منطقه شامل رده‌های ورتی‌سول‌ها، مالی‌سول‌ها، اینسپتی‌سول‌ها و انتی‌سول‌ها داشته است. اسمکتیت، رومی‌کولیت، کائولینیت و ایلیت به ترتیب کانی‌های اصلی رس خاک‌های تکامل یافته را تشکیل می‌دادند. مقدار نسبی اسمکتیت از ۷۸/۵ درصد در دشت سر انتهایی تا ۱۲/۳ درصد در خاک‌های خط‌الراس متغیر بود. همچنین، مقایسه آماری فاصله اطمینان میانگین آهن بلورین (Fe_d-Fe_o) به روش بوت استراپ نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سطوح ژئومورفیک از لحاظ تکامل خاک وجود داشت. بیشترین مقدار آهن بلورین با میانگین ۶/۳۷۲ گرم بر کیلوگرم در دشت سر انتهایی با خاک ورتی‌سول و کمترین آن با میانگین ۰/۹۱۳ گرم بر کیلوگرم در مخروطه افکنه با خاک انتی‌سول مشاهده شد. بر اساس آزمون همبستگی اسپیرمن، آهن بلورین با رس، کربنات کلسیم معادل، اسیدیته و ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه مستقیم، اما با شن و کربن آلی رابطه معکوس داشت.

واژه‌های کلیدی: آهن بلورین، خاکرخ، ژئومورفولوژی، فرآیندهای خاک‌سازی، کانی‌های رس

Study of Soil Evolution at Different Geomorphic Surfaces of an Elevation-Climatic Profile in Southeast of Ardabil

A Mohammadi^{1*}, AA Jafarzadeh², S Oustan³, F Shahbazi⁴

¹ Ph.D student, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Prof, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Prof, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

⁴ Assoc. Prof, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding Author Email: afshin_mo55@yahoo.com

Abstract

Soil evolution is a combination of geomorphological and pedological processes. In this study, the spatial variation of soil characteristics as well as soil evolution were investigated in different geomorphic surfaces including ependage pediment, erosion pediment, slope surfaces, smooth surfaces, horst, lake deposits, alluvial fan, mountain ridge and cirque in a elevation-climatic profile located in Southeast of Ardabil. For this, field studies and physicochemical as well as clay mineralogical analyses were performed on the samples taken from 12 profiles. The results showed that weathering rate and type of soil forming processes had significant effects on properties and evolution of the identified soils (Vertisols, Mollisols, Inceptisols, and Entisols orders) in different geomorphic surfaces. Smectite, vermiculite, kaolinite, and illite were the major clay minerals of the evolved soils. The relative amount of smectite varied from 78.5% at the ependage pediment to 12.3% at the mountain ridge. Also, statistical comparison of the mean confidence interval for the crystalline iron (Fed-Feo) by Bootstrap method showed a significant difference between geomorphic surfaces in terms of soil evolution. The highest amount of crystalline iron with an average of 6.372 g kg^{-1} was observed in vertisols of the ependage pediment, while the lowest one with an average of 0.913 g kg^{-1} was found in Entisols of the alluvial fan. According to Spearman correlation test, crystalline iron had a direct relationship with clay percentage, calcium carbonate equivalent, pH and cation exchange capacity, but inversely related to sand and organic carbon.

Keywords: Clay minerals, Crystalline iron, Geomorphology, Soil forming processes, Soil profile

مقدمه

اظهارداشتند که سطوح ژئومورفیک در شناسایی نحوه تشکیل و تکامل خاک، نقش مهم و اساسی داشته و نیز خاک‌های قدیمی در شناسایی و تفکیک سطوح مختلف ژئومورفیک موجود در لندفرم‌ها، نقش تعیین کننده‌ای دارند. بنابراین، ارتباط متقابل موجود بین خاک و ژئومورفولوژی، مؤید اهمیت مطالعات خاک‌شناسی و ژئومورفولوژی است. برای بیان درجه تکامل خاک معمولاً از برخی شاخص‌های میکرومورفولوژیکی، آزمایشگاهی، مورفولوژی و صحرایی استفاده می‌شود. کانی‌های رس نیز یکی از شاخص‌های آزمایشگاهی محسوب می‌شود که در ارزیابی فرایندهای پدورژنیکی و تعیین درجه توسعه و تکامل خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (شیتزل و اندرسون ۲۰۰۵). میزان توسعه کانی-های رس با زمان به صورت خطی نیست (شولز ۲۰۰۲) و نوع کانی‌های رس ایجاد شده در خاک تابع عواملی

ژئومورفولوژی درباره آرایش و تفکیک شکل‌های زمین و فرآیندهایی که آنها را شکل داده یا در حال شکل‌دادن است بحث می‌کند (کرونبرگ و همکاران ۱۹۹۷). علیرغم اینکه در یک نگاه ساده، یک زمین‌نمای معین کاملاً یکنواخت به نظر می‌رسد ولی این احتمال وجود دارد که دارای تاریخچه ژئومورفیک پیچیده‌ای باشد و به دلیل تفاوت‌هایی که در زمان صفر تشکیل خاک در هر لندفرم وجود دارد، خاک‌های متفاوتی روی این زمین‌نما دیده شود (بیول و همکاران ۲۰۰۳). لذا در مطالعه تشکیل و توزیع خاک‌ها اگر سطوح ژئومورفیک در نظر گرفته شود درک بهتری نسبت به فرآیندهای خاک‌سازی وجود خواهد داشت تا اینکه خاک به تنهایی در سطح پدان‌ها یا خاکرخ‌های مجزا یا واحدهای طبقه‌بندی بررسی شود (فرپور ۱۹۹۵). سنجرى و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی خاک‌های قدیمی و نوپای موجود در منطقه جیرفت

توانستند تکامل خاک را پس از خشک شدن دریاچه ارومیه که منجر به بیرون آمدن تدریجی خاک از آب شده بود ارائه دهند. آن‌ها دریافته‌اند که با افزایش فاصله از ساحل شرقی دریاچه ارومیه مقدار آهن بلورین افزایش یافته است. عباسی‌کلو (۲۰۱۳) با بررسی تأثیر سطوح مختلف ژئومورفولوژیک بر تکامل خاک‌ها از تغییرات پدوژنیک و شکل‌های مختلف آهن در منطقه مرند واقع در استان آذربایجان شرقی استفاده‌نموده و گزارش کردند که تغییرات مربوط به شکل‌های مختلف آهن تابع واحدهای ژئومورفولوژیک بوده و از واحد کوه به دشت آبرفتی افزایش می‌یابد ولی تغییرات مقادیر Fe_o و Fe_d درون هر واحد وابسته به پایداری سطح ژئومورفولوژیک می‌باشد و به‌طور کلی قضاوت در مورد تکامل خاک بر اساس توزیع شکل‌های مختلف آهن درک بهتری از خاک و شرایط خاک سازی حاکم بر آنها را ارائه می‌دهد. وحیدی و همکاران (۲۰۱۲b) باتوجه به ارتباط بین سن خاک با شکل‌های مختلف آهن اظهار داشتند که افزایش اکسیدهای آهن- بلوری و کاهش اکسیدهای آهن غیربلوری و پیوند یافته به مواد آلی، در دشت‌سر در مقایسه با دشت سیلابی نشان دهنده تکامل بیشتر خاک‌ها است که این موضوع با مقدار زیاد رس، عمق سالوم و مقدار نسبی رس کائولینیت تأیید می‌گردد. همچنین مشاهدات کانی شناسی در این تحقیق نشان داد که لندفرم‌های متفاوت بر نوع کانی‌های رس تأثیر چندانی نداشته ولی بر مقدار نسبی کانی‌های رس مؤثر بوده است. با توجه به بررسی منابع انجام گرفته که مؤید تأثیر واحدهای مختلف ژئومورفیک بر شاخص‌های مختلف آهن و متعاقباً درجه تکامل خاک‌ها می‌باشد، این تحقیق به‌طور کلی برای نیل به دو هدف زیر انجام گرفت: (۱) شناسایی سطوح مختلف ژئومورفیک و یافتن ارتباط بین ویژگی‌ها و نوع خاک با آن‌ها (۲) بررسی تکامل خاک در ارتباط با سطوح مختلف ژئومورفیک به همراه شناسایی فرآیندهای خاک‌سازی مهم در هر سطح انجام گرفت.

همچون اقلیم، شرایط و ویژگی‌های خاک و نوع مواد مادری است و فرآیندهایی همانند سرعت هودیدگی، آبشویی، زهکشی، وضعیت اکسایش و کاهش و تعادلات یونی سیستم خاک نقش مهمی در تشکیل کانی‌های خاک دارند (ماری ۱۹۹۹، ریگی و همکاران ۱۹۹۹). به‌طور کلی، در مراحل اولیه هودیدگی و توسعه خاک، حضور گسترده کانی‌های توارثی، گروه میکا، کلرایت منیزیم‌دار و فقدان ورمیکولایت نشان‌دهنده مراحل اولیه هودیدگی است (تیمسون و همکاران ۱۹۹۶) و با افزایش توسعه خاک تحت تأثیر فاکتورها و طی فرآیندهای خاکسازی کانی‌های رس توسعه می‌یابند. شکل‌های مختلف آهن یکی دیگر از شاخص‌های مهم آزمایشگاهی در ارزیابی و تعیین درجه تکامل خاک‌ها می‌باشد. در طی فرآیند هودیدگی شیمیایی، آهن از مواد مادری حاوی این عنصر آزاد شده و به عنوان آهن پدوژنیک به شکل‌های متفاوت اکسید، هیدروکسید و یا اکسی هیدروکسید با ساختار بلوری و یا بدون ساختار بلوری در خاک رسوب می‌کند. کاستانتینی و همکاران (۲۰۰۶) ثابت‌کردند که افزایش آهن آزاد (Fe_d) نتیجه افزایش هودیدگی و سن خاک‌ها است. بنابراین مقدار و توزیع آهن استخراج شده با اگزالات (Fe_o) و دی‌تیونات (Fe_d) و به ترتیب $Fe_o - Fe_d$ که معیاری از مقدار ترکیبات بلورین آهن و درجه بلوری اکسیدهای آهن هستند می‌توانند نشان‌دهنده درجه تکامل خاک باشند. یوسفی‌فرد و همکاران (۲۰۱۳) در شمال غرب کشور نیز جهت بررسی شاخص‌های هودیدگی متفاوت که فرمول شیمیایی آنها بر اساس نسبت اکسیدهای متحرک ($CaO, MgO, Na_2O, SiO_2, K_2O$) به اکسیدهای نامتحرک (Al_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3) می‌باشد از ضریب همبستگی شاخص‌ها با ویژگی‌های خاک (درصد رس، آهن پدوژنیک و جرم مخصوص ظاهری) استفاده نمودند. شهبازی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و تکنیک داده‌کاوی نقشه-های رقومی آهن بلوری و برخی شاخص‌های مرتبط با آهن را در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه تهیه و به‌خوبی

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

این تحقیق در زیر واحد ژئومورفیک تالش واقع در شرق استان اردبیل بر روی یک نیمرخ ارتفاعی-اقلیمی و با موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 55'$ تا $38^{\circ} 1'$ عرض شمالی و $48^{\circ} 27'$ تا $48^{\circ} 38'$ طول شرقی انجام گرفته است (شکل ۱). ارتفاع منطقه از ۱۸۰۵ تا ۳۱۹۰ متر متغیر بوده و تغییرات ارتفاعی شدید در فاصله مکانی کم منجر به تنوع اقلیمی شده است. متوسط بارندگی و درجه حرارت سالیانه در اراضی پای کوهی به ترتیب $274/69$ میلی متر و $9/8$ درجه سلسیوس و در مناطق مرتفع $434/4$ میلی متر و $4/4$ درجه سلسیوس می باشد (بی نام ۲۰۱۸). با توجه به داده‌های اقلیمی با افزایش ارتفاع رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب از زریک و مزیک به آکوئیک و فریجید تغییر می‌یابد که با نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران (بنائی ۱۹۹۸) مطابقت دارد. از نظر زمین-شناسی نیز محدوده مورد مطالعه دارای سنگ‌های آندزیت مربوط به دوره ائوسن به همراه مخروطه افکنه-های مربوط به دوره کواترنری است (اسدیان ۲۰۰۸).

مطالعات صحرائی

پس از بررسی نقشه توپوگرافی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرائی، در واحد کوهستان به‌عنوان یک زمین‌نما، سه واحد شکلی منظر پای کوه، دامنه کوه و بالای کوه و ۱۰ سطح ژئومورفیک شناسایی و تفکیک شد (جدول ۱). سطوح ژئومورفیک انعکاسی از تعادل بین عملکرد نیروها (گسل، برفساب، فرسایش و...) و اطلاعات سطوح مانند ارتفاع، ضخامت رسوبات، شیب، موقعیت شیب، جنس مواد و وضعیت رطوبتی می‌باشد و دارای بالاترین درجه همگنی است. به‌منظور بررسی تغییرات خاک، ۱۲ خاکرخ در سطوح مختلف تفکیک شده حفر و پس از تشریح بر اساس راهنمای تشریح خاکرخ

خاک (بی نام ۲۰۱۷) مطابق با معیارهای طبقه‌بندی آمریکایی (بی نام ۲۰۱۴) رده‌بندی گردیدند. نمونه‌های برگرفته از خاکرخ‌ها جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند.

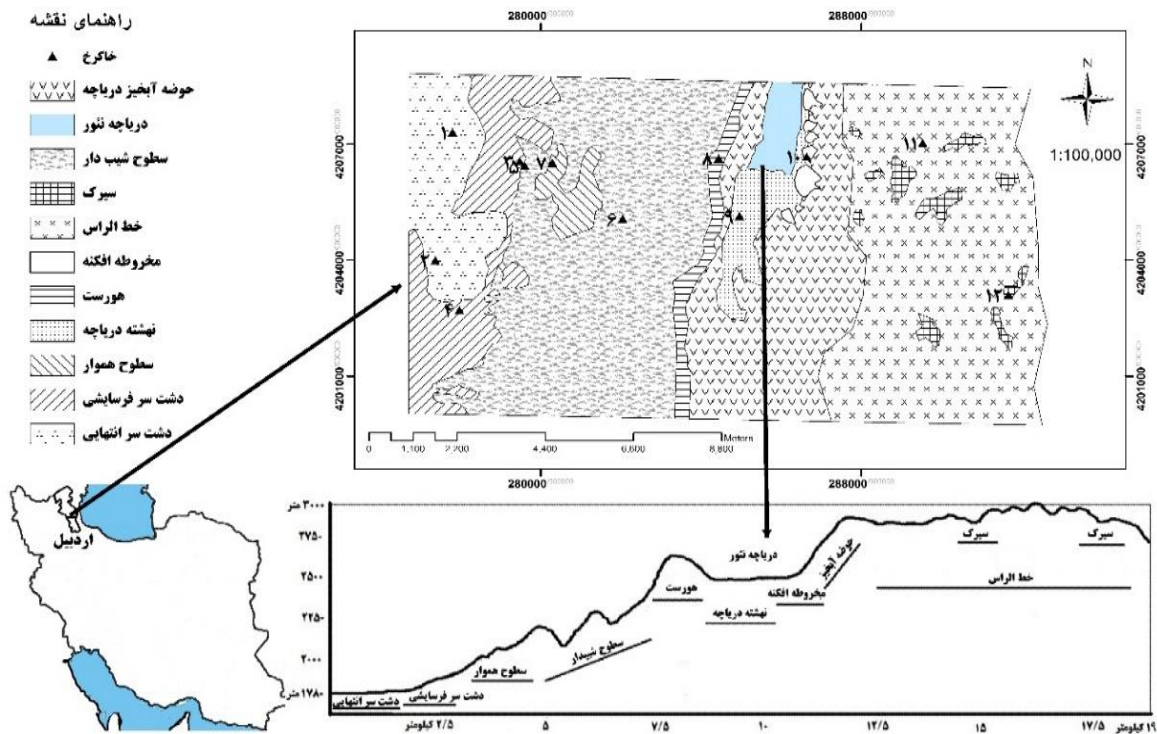
مطالعات آزمایشگاهی

توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر ۱۹۸۶)، اسیدیته گل اشباع و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع توسط دستگاه‌های PH متر، و هدایت سنج الکتریکی (بیچ و همکاران ۱۹۸۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (چپمن ۱۹۶۵) و کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون برگشتی (ریچاردز ۱۹۵۴) و کربن آلی به روش والکی و بلک اصلاح شده (نلسون و سامرز ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. ترکیبات بی‌شکل و آلی آهن (Fe_0) با استفاده از استخراج کننده اگزالات آمونیوم اسیدی (مک کیگو و دی ۱۹۶۶) و اکسیدهای آهن پدوژنیک (Fe_d) توسط استخراج کننده سیترات بی‌کربنات دی-تیونات (مهر و جکسن ۱۹۶۰) تعیین گردید. خالص سازی رس (کیتیک و هوپ ۱۹۶۳، جکسون ۱۹۷۵) و شناسایی کانی‌های رس با استفاده از دستگاه پراش پرتوایکس زیمنس مدل D5000 بر روی تعدادی از نمونه‌های افق‌های سطحی و زیرسطحی انجام گرفت. درصد نسبی کانی‌های رس از محاسبه سطح زیر-منحنی پیک‌های حاصل از XRD در تیمار اتیلن گلیکول توسط نرم‌افزار اوریجین پرو^۱ ۲۰۱۸ به‌دست آمد. در نهایت تحلیل آماری نتایج آزمایشگاهی به روش همبستگی اسپیرمن (روش‌ناپارامتری) و فاصله اطمینان بوت استراپ توسط نرم‌افزار SPSS 22 انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در سطوح ژئومورفیک

سطوح دشت‌سر انتهایی و هموار با مقدار اسیدیته $7/8$ و سیرک با اسیدیته $6/5$ دارای بیشترین و کمترین مقدار میانگین می‌باشند (جدول ۲). مطابق جدول ۳ بیشترین رابطه



شکل ۱- موقعیت خاکرخها و نیمرخ ارتفاعی سطوح ژئومورفیک در منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱- سطوح ژئومورفیک منطقه مطالعاتی.

زمین‌ما	منظر	سطوح ژئومورفیک	شماره خاکرخ	شیب متوسط (درصد)	ارتفاع نقطه مطالعاتی (متر از سطح دریای آزاد)
مورفولوژی	پای کوه ^۱ (با سطح مقعر از خط-کنیک شروع شده و با شیب ملایمی به آبراهه ختم می‌شود).	دشت سر انتهایی	۱	۴	۱۸۰۵
	دامنه کوه ^۲ (سطوح طولانی با شیب پیچیده و قابل توجه از خطکنیک شروع و به قله کوه ختم می‌شود)	دشت سر فرسایشی	۳	۱۲	۱۹۴۲
		سطوح شیبدار	۵	۲۶	۱۹۸۲
	بالای کوه ^۴ (مرتفع‌ترین قسمت کوهستان با شیب نسبتاً هموار)	سطوح هموار	۷	۲	۲۰۷۴
		هورست ^۳	۸	۷	۲۶۲۴
		نهشته دریاچه	۹	۲	۲۴۹۰
		مخروطه افکنه	۱۰	۲	۲۴۹۲
		خط الراس	۱۱	۲	۲۸۰۷
		سیرک ^۵	۱۲	۲	۲۸۳۰

مناطق خشک و نیمه خشک تأثیر قابل توجهی بر اسیدیته، جذب و تبادل کاتیون‌ها و آنیون‌ها، ساختمان و

معنی دار اسیدیته با کربنات کلسیم معادل است ($r=0.705$) و $(p < 0.01)$. کربنات‌ها از اجزاء متداول خاک‌ها است و در

⁴ Mountaintop
⁵ Cirque

¹ Mountainbase
² Mountainflank
³ Horst

نفوذپذیری خاک دارد (ریحانی تبار ۲۰۱۱). بیشترین مقدار کربنات کلسیم معادل با میانگین ۳۹ درصد در دشت سر فرسایشی مشاهده شد. براساس فاصله اطمینان میانگین کربنات کلسیم معادل به روش بوت استراپ، دشت سر فرسایشی با سطوح هموار در یک گروه قرار دارد و با دشت سر انتهایی، دامنه، هورست، نهشته دریاچه، مخروطه افکنه، سیرک و خطالراس دارای اختلاف معنی داری است (جدول ۲). به دلیل بازیگ بودن سنگ‌های آندزیت منطقی است که خاک‌های حاصله از آن دارای درصد آهک بالایی باشند اما در سطوح ژئومورفیک سیرک و خطالراس، مقدار کربنات کلسیم معادل و اسیدیته به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سایر سطوح است. احتمالاً در سیرک به دلیل رژیم رطوبتی آکوئیک، فرآیند آبشویی^۱ کربنات کلسیم سریعتر از تجمع و تشکیل آهک ثانویه^۲ صورت گرفته است. از طرفی کاهش اسیدیته در خاک‌های آهکی در نتیجه اشباع خاک به انحلال املاح و آزادسازی یون‌ها نیز نسبت داده می‌شود (اولیایی ۲۰۱۲). در خطالراس نیز به دلیل هوادیدگی کمتر ناشی از رژیم حرارتی فریجید و پوشش گیاهی کم، کربنات کلسیم معادل و اسیدیته کمتری مشاهده شد. تأثیر سطوح ژئومورفیک بر هدایت الکتریکی هر چند معنی دار بود ولی تغییرات بین سطوح ناچیز می‌باشد. مقایسه تغییرات کربن آلی در سطوح ژئومورفیک منطقه بیانگر میانگین کربن آلی بسیار زیاد خاک‌های سیرک (۸ درصد) و نهشته دریاچه (۶/۳ درصد) در مقایسه با سایر سطوح است و این اختلاف را می‌توان به اکسایش کمتر بقایای گیاهی ناشی از رژیم رطوبتی آکوئیک و شرایط دمایی پایین نسبت داد که فرآیند انباشتگی مواد آلی^۳ را میسر ساخته است. از طرف دیگر نهشته دریاچه داخل یک چاله فرو افتاده و سیرک یک حفره فرسایش یافته در اثر عوامل زمین ساز است. بنابراین، افزایش ماده آلی تحت تأثیر پدیده‌های زمین‌سازی و خاک‌سازی است. از فاکتورهای مختلف مؤثر بر مقدار کربن آلی خاک می‌توان به اقلیم (دمای پایین)، رژیم رطوبتی آکوئیک، نوع پوشش گیاهی (چمنی) و همچنین سطوح ژئومورفیک در

بالا بودن کربن آلی در خاک‌های سیرک و نهشته دریاچه اشاره کرد. بر اساس تجزیه واریانس مقدار ماده آلی، مقدار F بین گروه‌ها معنی دار نبوده، لذا بین میانگین گروه‌ها اختلاف واقعی وجود نداشت (p-value= ۰/۲۲۳ و $F(۸,۳۸)=۱/۴۱۱$). نتایج جدول ضریب همبستگی نشان داد رابطه معنی داری بین ماده آلی خاک از یک سو و ذرات شن، سیلت و رس از سوی دیگر وجود ندارد و به نظر می‌رسد که بافت خاک نقشی مؤثری در حفظ ماده آلی خاک‌های منطقه ندارد. بیشترین مقدار شن و کمترین مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در مخروطه افکنه مشاهده و درصد نسبی ذرات شن در تمامی خاک‌ها بیشتر از رس و سیلت است. دشت سر انتهایی و نهشته دریاچه با میانگین $۳۲/۸ \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی را دارند. فاصله اطمینان میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های دشت سر انتهایی با خواص ورتیک کم بوده و با نهشته دریاچه و سیرک در یک گروه قرار دارد اما در نهشته دریاچه، ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های نوسان زیادی است و به همین دلیل فاصله اطمینان آن بیشتر است و به جز مخروطه افکنه با بقیه سطوح ژئومورفیک هم گروه است (جدول ۲). تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی در سطوح ژئومورفیک منطقه تحت تأثیر مقدار رس خاک‌ها است (جدول ۳). عدم همبستگی ظرفیت تبادل کاتیونی با ماده آلی و اسیدیته بیانگر این نکته است که منشأ اصلی و عمده بارهای موجود در خاک‌های منطقه به غیر از خاک‌های سیرک از نوع بارهای دائمی است.

به طور کلی، نتایج نشان داد میانگین ویژگی‌های خاک به طور معنی داری با تغییر سطوح ژئومورفیک تغییر کرده‌اند و این امر بیانگر اهمیت مطالعات خاک-ژئومورفولوژی است. در سطوح ژئومورفیک حوضه آبخیز دریاچه نئور به دلیل تغییرات ناگهانی ارتفاع و شیب، تنوع شکل‌های مختلف فرسایش، حضور رخنمون‌های سنگی و عدم یکنواختی محیطی، مطالعه خاکشناسی انجام نشد.

رده‌بندی خاک‌ها در سطوح ژئومورفیک

³ Paludizatio

² Calcification

¹ Leaching

رده‌بندی خاک‌های منطقه براساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (بی‌نام ۲۰۱۴) به شرح جدول (۴) تعیین گردید. در خاک‌های شماره ۱ و ۲ واقع در سطح ژئومورفیک دشت سر انتهایی حضور اپی‌پدون مالیک و افق‌های زیرسطحی کلسیک با مقادیر زیاد رس و بروز ویژگی‌های ریخت‌شناسی اسلیکن‌ساید، ساختمان گوه ای شکل و درز و شکاف‌هایی عریض و عمیق که به‌طور متناوب باز و بسته می‌شوند باعث گردید خاک‌ها در رده ورتی‌سول و زیر گروه تیبیک کلسی زرت^۱ قرار گیرند.

درهم آمیختگی، انحلال شیمیایی، انتقال و تجمع کربنات کلسیم ثانویه و رنگین‌شدن (رها سازی آهن و اکسایش و آگیری متوالی آن) از جمله فرآیندهای ژنتیکی غالب در این خاک‌ها است. دشت سر فرسایشی نسبت به دشت سر انتهایی دارای شیب بیشتر، ضخامت رسوبات کمتر و فرآیندهای خاک‌سازی متفاوتی است و در رده مالی سول قرار دارد. در سطح دشت سر فرسایشی علی‌رغم ضخامت و افق- بندی بیشتر خاک‌ها^۳ نسبت به خاک‌ها^۴ که مؤید تکامل

نسبتاً زیاده‌تر آن می‌باشد (هول ۱۹۶۱)، اما هر دو خاک‌ها در رده مالی‌سول و زیرگروه تیبیک کلسی زرت^۲ قرار دارند. در مطالعه ژئومورفیک خاک، مرزهای خاک لزوماً منطبق با سطوح ژئومورفیک نمی‌باشد (روه ۱۹۷۵). اما به دلیل عملکرد یکسان فاکتورها و فرآیندهای خاک‌سازی در سطوح ژئومورفیک بالاترین درجه همگنی انتظار می‌رود (سیف و محمدی ۲۰۱۰). دومین گروه از خاک‌های مالی‌سول در سطوح ژئومورفیک سطوح شیبدار مشاهده شد. خاک‌های ۵ و ۶ واقع در سطوح شیبدار بترتیب با افق‌بندی A-R و ACr-R جزء مالی‌سول‌های هاپلوئید یا ساده^۳ محسوب می‌شوند. سومین گروه از خاک‌های مالی سول در سطح ژئومورفیک هموار قرار دارد. در خاک‌ها^۷ به دلیل بهبود شرایط محیطی ناشی از کاهش شیب، توسعه عمقی خاک نسبت به خاک‌های

جدول ۲- مقایسه فاصله اطمینان میانگین ویژگی‌های خاک به روش بوت استرپ در سطوح ژئومورفیک.

ویژگی‌های خاک							سطوح ژئومورفیک	
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	CEC (cmolc kg ⁻¹)	OC (%)	CCE (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)	
۴۱/۶ ^d	۲۰/۵ ^{bc}	۳۷/۸ ^a	۳۲/۸ ^a	۰/۶۶	۳۲/۴ ^{bc}	۷/۸ ^{ab}	۰/۴۸ ^a	دشت سر انتهایی
۵۴/۵ ^{bc}	۲۴/۹ ^{ab}	۲۰/۶ ^d	۲۳/۴ ^{bc}	۰/۶۲	۳۹ ^a	۷/۷ ^{abc}	۰/۳۳ ^c	دشت سر فرسایشی
۵۶/۷ ^{bc}	۱۸/۱ ^c	۲۵/۱ ^c	۲۵/۱ ^b	۱/۷	۳۱ ^b	۷/۴ ^{cd}	۰/۴۸ ^a	سطوح شیبدار
۶۰/۵ ^c	۱۷/۷ ^c	۲۱/۸ ^{cd}	۲۱/۶ ^{bc}	۰/۵	۳۳/۷ ^{ab}	۷/۸ ^a	۰/۳۷ ^b	سطوح هموار
۷۱/۶ ^{bc}	۱۴/۶ ^{cd}	۱۳/۷ ^{cd}	۱۷/۸ ^{bc}	۰/۸۶	۳۲/۳ ^b	۷/۲ ^d	۰/۵۰ ^a	هورست
۵۱/۳ ^{bcd}	۲۱/۳ ^{abcd}	۲۷/۳ ^{abcd}	۳۲/۸ ^{abc}	۶/۳	۲۵/۱ ^{bc}	۷/۴ ^{bcd}	۰/۳۴ ^{bcd}	نهشته دریاچه
۸۶ ^a	۷/۸ ^d	۶/۱ ^e	۱۱/۲ ^d	۰/۶۸	۲۹/۱ ^c	۷/۶ ^{abc}	۰/۴۳ ^{ab}	مخروطه افکنه
۵۳/۹ ^b	۲۶/۹ ^a	۱۹/۴ ^d	۱۹/۹ ^c	۰/۴	۱۲/۱ ^d	۶/۷ ^e	۰/۲۵ ^d	خط‌الراس
۶۰/۹ ^{bc}	۲۲/۴ ^{abc}	۱۶/۶ ^d	۲۹/۸ ^{abc}	۸	۱۱/۴ ^d	۶/۵ ^e	۰/۲۹ ^{cd}	سیرک

فاصله اطمینان ۹۵ درصدی بوت استرپ

³ Lithic Haploxerolls² Typic Calcixerolls¹ Typic Calcixererts

جدول ۳- ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک.

	EC	pH	CCE	OC	CEC	Clay	Silt	Sand
EC	۱							
pH	-۰/۳۳۶*	۱						
CCE	-۰/۲۴۵	-۰/۷۰۵**	۱					
OC	-۰/۰۰۲	-۰/۳۴۵*	-۰/۳۱۳*	۱				
CEC	-۰/۰۲۵	-۰/۲۳۷	-۰/۱۵۷	-۰/۲۲۳	۱			
Clay	-۰/۲۳۴	-۰/۳۹۷**	-۰/۳۶۶*	-۰/۰۱۹	-۰/۷۸۹**	۱		
Silt	-۰/۶۴۴**	-۰/۱۶۷	-۰/۰۷۹	-۰/۰۱۹	-۰/۴۱۱**	-۰/۳۱۰*	۱	
Sand	-۰/۰۰۹	-۰/۲۳۸	-۰/۲۵۷	-۰/۰۳۰	-۰/۷۴۴**	-۰/۸۹۴**	-۰/۵۹۱**	۱

** و * به ترتیب نشان دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ است.

حدود ۸۰ متر بیشتر از شرایط کنونی و وسعت آن نیز تقریباً ۲/۵ برابر شرایط فعلی بوده است که با کاهش سطح آب، نهشته‌های رس، سیلت و شن در نواحی پیرامونی دریاچه تشکیل و به علت غیرقابل نفوذ بودن لایه‌های زیرین معمولاً در طول سال اشباع از آب می‌باشند (صمدزاده ۲۰۰۸). اقلیم سرد با شرایط رطوبتی خیس و نداشتن فرصت کافی برای دگرگونی خاک از مواد مادری، تکامل ناچیز انتی‌سول را در این سطح ژئومورفیک توجیه می‌کند. گلی‌شدن، خروج اکسیدهای آهن از کانی و توزیع آن، تجمع مواد آلی و هوموسی‌شدن از فرآیندهای ژنتیکی مهم در این خاکرخ می‌باشد. در مرز بلافصل ارتفاعات با نهشته دریاچه، مخروطه افکنه‌های کوچک با خاک‌های انتی‌سول بر روی نهشته‌های دریاچه‌ای شکل گرفته‌اند. عامل اصلی پیدایش و شکل‌گیری واریزه‌ها و مخروط افکنه‌ها در درجه اول گسل نئور است و درجه بعدی نوسان درجه حرارت، عامل فرسایش، شیب و شرایط توپوگرافی است (مددی و همکاران ۲۰۰۴). خاک‌های تکامل نیافته و عمدتاً سنگریزه-دار با انقطاع‌های متوالی و قرارگیری این شکل‌ها بر روی نهشته‌های دریاچه‌ای قدیمی‌تر از خود حکایت از سن جوان مخروطه افکنه‌های حوضه دارد. رده‌بندی خاکرخ شماره ۱۰ مخروطه افکنه تا سطح زیرگروه به صورت تیپیک کرای

سطوح شیب‌دار افزایش یافته و تمایز خوبی بین افق‌ها وجود دارد و تجمع آهک ثانویه به‌عنوان فرآیند ژنتیکی غالب در این خاکرخ می‌باشد. مالی‌سول‌های سطوح هموار در زیرگروه تیپیک کلسی زرال^۱ قرار دارند. چهارمین گروه از خاک‌های مالی‌سول در خاکرخ ۸ و در سطح ژئومورفیک هورست مشاهده شد. رده‌بندی آن تا سطح زیرگروه به صورت زیریک کلسی کرایال^۲ می‌باشد. تغییر رژیم حرارتی خاک از مزیک به فریجید باعث تمایز آن در سطح زیررده از مالی‌سول‌های واقع در سطوح ارتفاعی پایین‌تر شده است. فرآیندهای خاک‌سازی غالب آن تشکیل ساختمان با درجه پایداری کم و تجمع آهک به صورت پندانت می‌باشد. نتایج نشان داد اپی‌پدون مالیک و رده مالی‌سول محدوده وسیعی از سطوح ژئومورفیک منطقه با شیب‌های مختلف را تشکیل داده است. خاکرخ شماره ۹ واقع در سطح نهشته دریاچه با افق سطحی هیستیک و بدون تکامل پروفیلی در رده انتی‌سول و زیر رده تیپیک کرای اکوننت^۳ قرار دارد. این نهشته در پیرامون دریاچه نئور که به دریاچه تکتونیک معروف است (عابدینی ۲۰۱۷) در بخش گرابن^۴ یا چاله فروافتاده بین گسل‌ها جای گرفته است. با در نظر گرفتن ارتفاع کنونی سطح دریاچه و مقایسه آن با خط ساحلی دیرینه ملاحظه می‌شود که در دوره‌های سرد گذشته سطح دریاچه در

^۳ Typic Cryaquents^۴ Graben^۱ Typic Calcixerolls^۲ Xeric Calcixerolls

دارد. در اثر فرآیند برفساز یا نیواسیون^۳ (سلبی ۱۹۸۵) حفره‌های مدور و هلالی شکل ایجاد می‌شود. این حفره‌های برفی بر اثر گذشت زمان به اندازه کافی بزرگ شده و سیرک را بوجود آورده‌اند (عابدینی ۲۰۱۷). رده‌بندی خاکرخ ۱۲ واقع در سطح سیرک با اپی‌پدون هیستیک و شرایط رطوبتی آکوئیک تا زیرگروه بصورت هیستیک کرای اکوایت^۴ است. تکامل خاک در این منطقه تحت تأثیر شرایط رطوبتی اکوئیک ناشی از ذوب برف در سطح سیرک می‌باشد. گلی‌شدن، خروج اکسیدهای آهن از کانی و توزیع آن، تجمع مواد آلی و هوموسی شدن از فرآیندهای ژنتیکی مهم در این خاکرخ می‌باشد. نتایج رده‌بندی نشان داد که تنوع در سطوح ژئومورفیک و تغییرات شدت هوادیدگی و نوع فرآیندهای موثر در تکامل خاک در سطوح مختلف ژئومورفیک تغییر قابل توجهی در رده‌بندی خاک‌ها ایجاد کرده است

اورتنت^۱ است. خاک‌های اینسپتی‌سول غیرتوسعه یافته در سطوح ژئومورفیک خط‌الراس گسترش دارند. از نظر رده-بندی خاکرخ شماره ۱۱ خط‌الراس با افق‌های مشخصه اکریک و کمبیک در زیرگروه زیریک هاپلوکرایت^۲ قرار دارد. خاک‌های خط‌الراس نابالغ و توسعه نیافته‌اند. اپی‌پدون اکریک این خاکرخ تمامی ویژگی‌های افق مالیک بغیر از درصد کربن آلی را دارا است و به‌نظر می‌رسد شرایط آب و هوایی سرد، فصل رشد کوتاه گیاهان و چرای مفرط دام باعث کاهش مقدار ماده آلی خاک شده باشد. افق‌های زیرسطحی نیز علیرغم دارا بودن کربنات کلسیم ثانویه فاقد همه ویژگی‌های لازم افق کلسیک می‌باشند. دومین گروه از خاک‌های اینسپتی‌سول در ارتفاع ۲۸۳۰ متری از سطح دریا و در محدوده سطوح ژئومورفیک سیرک مشاهده گردید. در این ارتفاع برف به صورت یخ‌برف نقش بسزایی در فرسایش سطوح به‌عهد

جدول ۴- رده‌بندی خاک‌های منطقه بر اساس سامانه آمریکایی.

سطح ژئومورفیک	شماره خاکرخ	عمق خاکرخ (cm)	توزیع افق‌ها و لایه‌های خاک	آمریکایی (USDA, 2014)
دشت‌سر انتهایی	۱	۱۵۰	Ap-Bk-Bkss1-Bkss2-Bk'	Typic Calcixererts
	۲	۱۵۰	Ap-Bkss1-Bkss2-Bkss3	Typic Calcixererts
دشت‌سر فرسایشی	۳	۱۵۰	Ap-Bk1-Bk2-Bk3-Bk4	Typic Calcixerolls
	۴	۸۰	Ap-Bk-Cr-R	Typic Calcixerolls
سطوح شیبدار	۵	۲۰	A-R	Lithic Haploxerolls
	۶	۲۵	ACr-R	Lithic Haploxerolls
سطوح هموار	۷	۱۵۰	Ap-Bk1-Bk2-Bk3	Typic Calcixerolls
هورست	۸	۱۵۰	A-Bk1-Bk2-Cr	Xeric Calcicryolls
نهشته دریاچه	۹	۱۵۰	Oi-Cg-2Cg1-2Cg2-2Cg3	Typic Cryaquents
مخروطه افکنه	۱۰	۱۵۰	A-C-2C-3C	Typic Cryorthents
خط‌الراس	۱۱	۱۴۰	A-Bw-Bk-Crt	Xeric Haplocryepts
سیرک	۱۲	۱۵۰	Oi-Ag-Bg1-Bg2	Histic Cryaquepts

همکاران (۱۹۹۹) اظهار نموده‌اند که در ورتی‌سول‌ها یا باید اسمکتیت‌ها غالب و یا به مقدار کافی وجود داشته باشند تا بتوانند خاصیت انقباض و انبساط ایجاد کنند. به‌طور کلی در منظر پای کوه و دامنه کوه با سطوح ژئومورفیک دشت-سر انتهایی، دشت‌سر فرسایشی و سطوح شیبدار، به‌دلیل

رابطه سطوح ژئومورفیک با کانی‌های خاک

نتایج کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۵ و شکل ۲ گزارش شده است. در خاک‌های ورتی‌سول دشت‌سر انتهایی اسمکتیت به عنوان کانی غالب و ورمی‌کولیت، کائولینیت و ایلیت به عنوان کانی همراه دیده می‌شوند. اسواران و

³ Nivation

⁴ Histic Cryaquepts

¹ Typic Cryorthents

² Xeric Haplocryepts

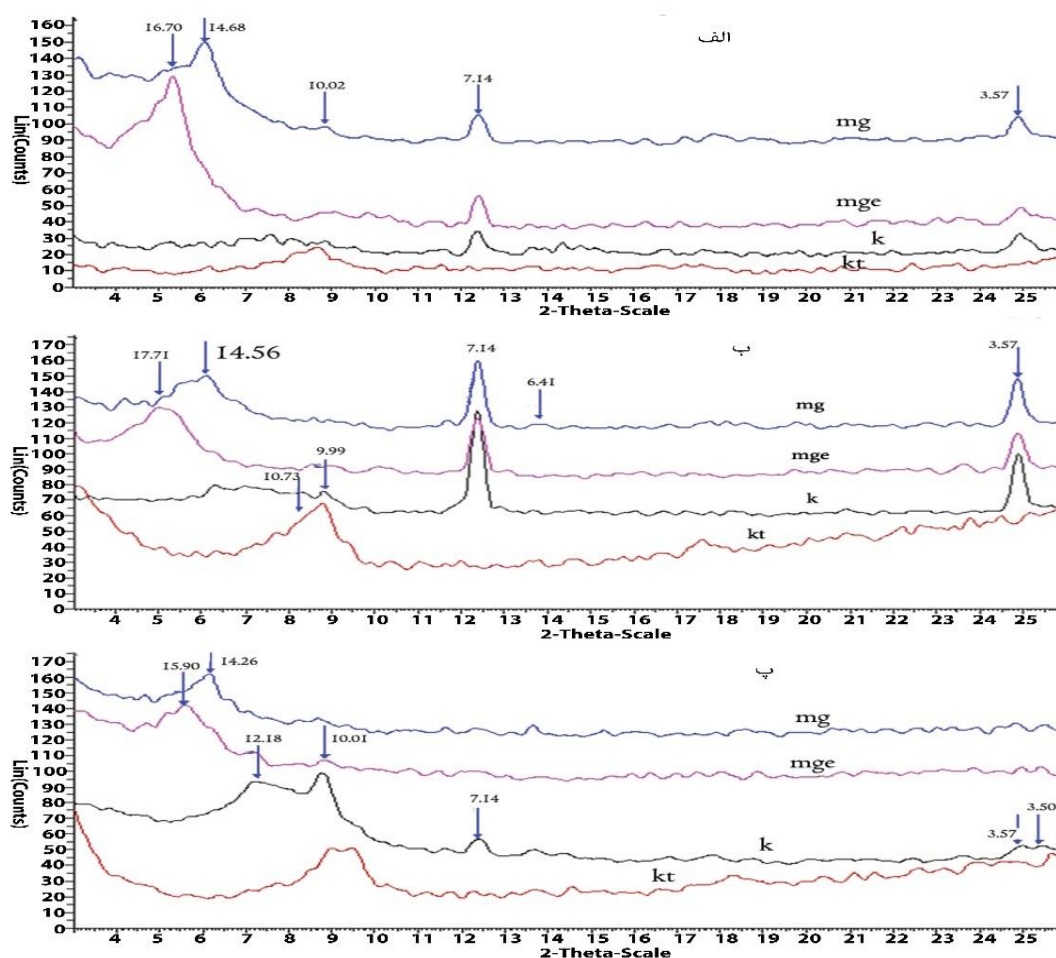
سیرک، شرایط آکوئیک و حضور فرآیند گلی شدن علاوه بر تغییرات مورفولوژیک باعث کاهش قابل ملاحظه ایلیت و افزایش ورمی کولیت شده است. بر اساس نظریه خرمالی و ابطی (۲۰۰۳) با هوادیدگی میکا چنانچه شرایط محیط اسیدی باشد ورمی کولیت به دست آمده پایدار مانده و در غیر این صورت به اسمکتیت تبدیل می شود. به همین دلیل، در سطوح خط الراس و سیرک با pH نسبتاً اسیدی و مقادیر ناچیز آهک، ورمی کولیت پایدار بوده و مقدار آن افزایش یافته است. با توجه به نبود شرایط لازم برای تشکیل کانی کائولینیت، به نظر می رسد منشاء موروثی عامل اصلی تشکیل این کانی در خاک های منطقه باشد. نتایج کانی شناسی بخش رس نمونه ها نشان داد که در منطقه مطالعاتی با مواد مادری مشابه، کمیت و نوع کانی های رس متأثر از سطوح ژئومورفیک است.

هوادیدگی و تکامل بیشتر، اسمکتیت کانی غالب است. عجمی و خرمالی (۲۰۰۹) مواد مادری و تغییر شکل سایر کانی ها را دو منشاء اصلی برای حضور کانی اسمکتیت گزارش کردند. وجود مقادیر متفاوت اسمکتیت در سطوح مختلف ژئومورفیک و همچنین نسبت معکوس میان مقادیر نسبی کانی های اسمکتیت و ایلیت می تواند بیانگر پدوژنیک بودن اسمکتیت تحت فرآیند پتاسیم زدایی ایلیت باشد. اما در منظر دامنه و بالای کوه با سطوح ژئومورفیک هموار، هورست، مخروطه افکنه و خط الراس، مقدار نسبی کانی ایلیت به طور محسوسی افزایش یافته است. پژوهشگران وجود ایلیت بیشتر را دلیلی بر جوانی و مراحل اولیه هوادیدگی و تکامل خاک می دانند (وحیدی و همکاران ۲۰۱۲a، بیات و همکاران ۲۰۱۱، عباسی کلو ۲۰۱۳). فراوانی کانی اسمکتیت در واحد مخروطه افکنه با خاک های تحول نیافته، نارس و با مقادیر کم رس نشان دهنده منشاء آواری آن ها است. در سطوح ژئومورفیک

جدول ۵- درصد نسبی کانی های رس در افق های مورد مطالعه.

سطح ژئومورفیک	خاکرخ	افق	رس (%)	توالی فراوانی کانی ها	کلریت (ch)	ایلیت (I)	اسمکتیت (sm)	ورمی کولیت (ve)	کائولینیت (ka)
دشت سر انتهایی	۱	Bk	۳۸/۹	Sm > Ka > I	-	۷/۷	۷۸/۵	-	۱۳/۸
		Bkss1	۴۱/۲	Sm > Ve > ka	-	-	۴۶/۵	۳۱/۸	۲۱/۷
دشت سر فرسایشی	۳	Bk1	۲۱/۴	Sm > Ve > ka	-	-	۶۱/۹	۲۵/۲	۱۲/۹
		Bk2	۲۲/۶	Sm > I > Ka > Ve	-	۱۵	۶۲	۸/۸	۱۴
سطوح شیب دار	۵	A	۲۶/۳	Sm > Ka > Ve	-	-	۴۹	۱۷	۳۴
سطوح هموار	۷	Bk1	۲۳/۹	I > Sm > Ka > Ch	۹/۲	۴۳/۴	۲۵/۱	-	۲۲/۳
هورست	۸	Bk1	۱۱/۵	Sm > I > Ka	-	۳۷	۴۸/۴	-	۱۴/۶
مخروطه افکنه	۱۰	C	۴/۹	Sm > I > Ka	-	۲۴/۶	۶۸/۷	-	۶/۷
خط الراس	۱۱	Bw1	۱۹/۸	I > Ve > Ka > Sm	-	۴۷/۳	۱۲/۳	۲۵/۵	۱۴/۹
		Bw2	۱۸/۸	I > Ve > Ch	۷/۴	۴۷/۸	-	۴۴/۸	-
سیرک	۱۲	Ag	۲۲/۳	Ve > Sm > I > Ka	-	۱۲/۵	۲۲/۸	۵۸	۶/۷

- مشاهده نشد



شکل ۲-دیفراکتوگرام های پراش پرتو ایکس برخی نمونه های رس خاکرخ های مطالعه شده. الف) افق Bk خاکرخ ۱، ب) افق A خاکرخ ۵، پ) افق Ag خاکرخ ۱۲.

رابطه سطوح ژئومورفیک با تکامل خاک

شکل‌ها و نسبت‌های مختلف آهن علاوه بر اینکه معیاری از وضعیت اکسایش-کاهش خاک محسوب می‌شوند بلکه به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در تعیین درجه توسعه و تکامل خاک تحت تأثیر فرایندهای خاک‌سازی و هوازدگی نیز می‌باشد. نتایج نشان داد که میانگین ترکیبات بلورین آهن ($Fe_d - Fe_o$) در دشت‌سر انتهایی ۷ برابر مخروطه افکنه است (جدول ۶). مقادیر کم غلظت شکل‌های آهن بلورین در مخروطه افکنه بیانگر مراحل اولیه هوازدگی و تکامل خاک است که در آن آزادسازی آهن غیر بلورین از کانی‌ها از میزان تشکیل بلور بیشتر است ولی با افزایش سن و تکامل خاک در دشت‌سر انتهایی مقدار آهن بلورین افزایش یافته است. کاهش نسبت Fe_o/Fe_d از سطوح ژئومورفیک سیرک و نهشته دریاچه به سمت دشت‌سر

انتهایی نشان دهنده تبدیل اکسیدهای آهن غیر بلورین به اکسیدهای آهن بلورین است. رژیم رطوبتی آکوئیک تغییرات زیادی را در شکل‌های مختلف آهن منجر شد. دلیل این موضوع احیای دوره‌ای خاک، افزایش ماده آلی و مناسب نبود شرایط تبلور می‌باشد. فاصله اطمینان بوت استرپ برای مقادیر میانگین شکل‌های مختلف آهن نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سطوح ژئومورفیک از لحاظ تکامل خاک وجود دارد. بیشترین مقدار آهن بلورین ($Fe_d - Fe_o$) با میانگین 6372 mg kg^{-1} در دشت‌سر انتهایی مشاهده شد که با سطوح هموار در یک گروه قرار دارد و با دشت‌سر فرسایشی، سطوح شیبدار، هورست، نهشته دریاچه، مخروطه افکنه، خط‌الراس و سیرک دارای اختلاف معنی‌داری است. کمترین مقدار آهن بلورین 913 mg kg^{-1} در مخروطه افکنه مشاهده شد. علی‌رغم بالاتر بودن میانگین

کربنات کلسیم معادل، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی دارای همبستگی مثبت و با مقادیر شن و ماده آلی دارای همبستگی منفی است. حضور ماده آلی سبب می‌شود اکسیدهای آهن نتوانند به صورت آزاد در خاک حضور داشته باشند و توسط گروه‌های عامل موجود در ماده آلی به صورت غیر بلورین نگهداری می‌شوند.

آهن بلورین در خاک آکوئیک سیرک نسبت به مخروطه افکنه با انقطاع لیتولوژیکی به دلیل نوسان زیاد آهن بلورین در این خاکرخ‌ها و فاصله اطمینان میانگین بیشتر از لحاظ آماری بین این دو سطح ژئومورفیک اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و در یک گروه قرار دارند. مطابق جدول ۷ مقادیر آهن بلورین با درصد رس، اسیدیته،

جدول ۶- مقایسه فاصله اطمینان میانگین شکل‌های مختلف آهن به روش بوت استرپ در سطوح ژئومورفیک.

ویژگی‌های خاک				سطوح ژئومورفیک
Fe _o / Fe _d	Fe _d - Fe _o (mg kg ⁻¹)	Fe _o (mg kg ⁻¹)	Fe _d (mg kg ⁻¹)	
۰/۱۸۳ ^e	۶۳۷۲ ^a	۱۳۸۸ ^d	۷۷۶۰ ^a	دشت‌سر انتهایی
۰/۲۴۱ ^d	۴۳۸۶ ^{bc}	۱۳۴۷ ^d	۵۷۳۳ ^{bc}	دشت‌سر فرسایشی
۰/۲۸۶ ^{cd}	۴۸۷۹ ^b	۱۹۷۰ ^{ac}	۶۸۴۹ ^{ab}	سطوح شیب‌دار
۰/۲۳۰ ^{cde}	۵۴۸۹ ^{ab}	۱۶۱۴ ^{acd}	۷۱۰۳ ^{ab}	سطوح هموار
۰/۲۵۳ ^{cde}	۲۷۶۹ ^{cde}	۱۰۲۰ ^{bcde}	۳۷۸۹ ^{cd}	هورست
۰/۶۰۸ ^a	۱۸۴۶ ^{def}	۲۴۵۵ ^a	۴۳۰۲ ^{cd}	نهشته دریاچه
۰/۳۴۱ ^{bc}	۹۱۳ ^f	۴۵۷ ^e	۱۳۷۱ ^e	مخروطه افکنه
۰/۲۸۴ ^{cd}	۳۰۸۲ ^{cd}	۱۲۳۹ ^{bd}	۴۳۲۱ ^{cd}	خط‌الراس
۰/۶۳۹ ^{ab}	۱۵۳۶ ^{ef}	۲۰۱۶ ^{ab}	۳۳۰۲ ^d	سیرک

فاصله اطمینان ۹۵ درصدی بوت استرپ

جدول ۷- ضریب همبستگی اسپیرمن بین شکل‌های مختلف آهن با برخی ویژگی‌های خاک.

	Clay	Silt	Sand	pH	CCE	EC	OC	CEC
Fe _d	۰/۸۴۹ ^{**}	۰/۱۶۳	-۰/۶۶۵ ^{**}	۰/۴۸۸ ^{**}	۰/۴۱۶ ^{**}	۰/۲۲۸	-۰/۰۲۸	۰/۶۷۰ ^{**}
Fe _o	۰/۴۴۸ ^{**}	۰/۳۳۷ [*]	-۰/۴۰۳ ^{**}	-۰/۰۴۵	۰/۰۳۶	-۰/۲۰۴	۰/۳۹۳ ^{**}	۰/۵۶۶ ^{**}
Fe _d -Fe _o	۰/۷۹۰ ^{**}	۰/۱۴۳	-۰/۶۳۵ ^{**}	۰/۵۲۹ ^{**}	۰/۴۷۵ ^{**}	۰/۲۵۱	-۰/۱۸۱	۰/۵۳۸ ^{**}
Fe _o /Fe _d	-۰/۴۱۳ ^{**}	۰/۰۲۶	۰/۳۰۸ [*]	-۰/۴۲۱ ^{**}	-۰/۳۸۹ ^{**}	-۰/۳۰۶ [*]	۰/۳۲۷ [*]	-۰/۱۷۸

** و * به ترتیب نشان دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ است.

مخروطه افکنه مقدار آهن بلورین (Fe_d-Fe_o) کمتر از سایر سطوح ژئومورفیک بوده و نشان دهنده ناپایداری، هوادیدگی و تکامل کمتر آن است. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که سطوح ژئومورفیک متفاوت، باعث شکل‌گیری فرآیندهای پدوژنیک متفاوتی شده و در نتیجه خاک‌های متنوعی را ایجاد می‌نمایند. به عبارت دیگر، توسعه و تکامل خاک-های منطقه بازتابی از اثر ترکیبی فاکتورها و فرآیندهای خاک‌سازی و ژئومورفولوژیک است که هیچکدام به‌طور مستقل عمل نمی‌کنند. تغییرات اقلیمی، شیب کمپلکس، رژیم‌های رطوبتی و فرآیندهای ژئومورفیک فرسایش

نتیجه‌گیری کلی

خاک‌های مورد مطالعه در چهار رده ورتی‌سول، مالی-سول، اینسپتی‌سول و انتی‌سول قرار دارند. در نیمرخ ارتفاعی-اقلیمی هر چه از دشت‌سر انتهایی در موقعیت پایین نیمرخ با اقلیم گرم و خشک‌تر به سمت خط‌الراس در بالای کوهستان با اقلیم سرد و مرطوب‌تر پیش می‌رویم ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، نوع و فراوانی کانی‌ها، رده-بندی، توزیع شکل‌های مختلف آهن و در نتیجه تکامل خاک‌ها بطور منظم تغییر نکرده و نشان می‌دهد که روند تغییرات بطور کامل تابع ارتفاع و اقلیم نمی‌باشد. در

فرآیندهای موثر در تشکیل و تکامل خاک، ویژگی‌های خاک در بستر سطوح ژئومورفیک و فرآیندهایی که سطح زمین را شکل می‌دهد مورد مطالعه قرار گیرند.

آبی-یخچالی، رسوبگذاری، حرکات تکتونیکی (گسل) و جریان‌های سطحی اثرات قابل ملاحظه‌ای بر پوسته زمین گذاشته‌اند و با توجه به تأثیر زمین‌نما بر فرآیندهای خاک‌سازی، ضروری است به‌منظور مطالعه خاک و

منابع مورد استفاده

- Abasi Kalo G, 2013. Soil development at various geomorphologic units and surfaces based on some indices in Marand Region. PhD Thesis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, IRAN. (In Persian with English abstract)
- Abedini M, 2017. Analysis of hydrogeomorphology of the Neor Lake in Ardabil for land use planning. *Hydrogeomorphology* 1(1):111-130. (In Persian with English abstract)
- Ajami M and Khormali F, 2009. Clay mineralogy as an evidence of land degradation on loess hillslopes. *Journal of Water and Soil Conservation* 16(2): 61-84. (In Persian with English abstract)
- Anonymous, 2014. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff, Washington, DC.
- Anonymous, 2017. Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook no.18
- Anonymous, 2018. Climatic Data. I.R. of Iran Meteorological Organization (IRIMO). Meteorological Administration of Ardabil Province
- Asadian O, 2008. Geological Map of Iran 1:100,000 series sheet Khalkhal-Rezvanshahr. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran
- Banaei MH, 1998. Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran. Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture, Iran.
- Bayat A, Karimzadeh HR and Khademi H, 2011. Clay minerals in two paleosols on geomorphic surfaces in eastern Isfahan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 19(1): 45-58. (In Persian with English abstract)
- Buol SW, Hole FD and McCrachen RJ, 2003. Soil Genesis and Classification. Iowa State University Press, Ames.
- Chapman HD, 1965. Cation exchange capacity. Pp. 891-901. In: Black CA, (ed). *Methods of Soil Analysis*, American Society of Agronomy, Madison.
- Costantini EAC, Lessovaia S and Vodyanitskii Yu, 2006. Using the analysis of iron and iron oxides in paleosols for the assessment of present and past pedogenesis. *Quaternary International*. 156-157: 200-211.
- Eswaran H, Beinorth FH, Reich PF and Quandt LA, 1999. Vertisols: Their Properties, Classification, Distribution and Management. Guy D. Smith Memorial Slide Collection, USDA.
- Farpoor MH, 1995. Soil geomorphological relationships in godar kabk area of Cheharmahal bakhtiari province.iran. MSc Thesis, Isfahan University of Technology. (In Persian with English abstract)
- Gee GW and Bauder JW, 1986. Particle-size Analysis. Pp. 383-411. In: Klute A, (ed), *Methods of Soil Analysis. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Hole FD, 1961. A classification of pedoturbations and some other processes and factors of soil formation in relation to isotropism and anisotropism. *Soil Science* 91:375-77.
- Jackson ML, 1975. Soil Chemical Analysis-advanced course. University of Wisconsin, College of Agriculture, Department of Soils, Madison, WI
- Kittrick JA and Hope EW, 1963. A procedure for particle size separation of soils for x-ray diffraction analysis. *Soil Science* 96(5): 319-325.
- Khormali F and Abtahi A, 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals* 38: 511-527.
- Kroonenberg SB, Rusakov GV and Svitoch AA, 1997. The wandering Volga delta: A response to rapid Caspian sea-level change. *Sedimentary Geology*, 107: 189-209.
- Madadi A, Rezaei Moghadam MH and Rajaei AH, 2004. A study on the geomorphological evolution of Neor Lake, north-west Iran, Ardabil area. *Geographical Reserch*. 19(3): 92-103
- McKeague JA and Day JH, 1966. Dithionate and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Canadian Journal of Soil Science* 46:13-23.
- Mehra OP and Jackson ML, 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*. 7: 317-327.
- Murray HH, 1999. Applied clay mineralogy today and tomorrow. *Clay Minerals* 34: 39-49.
- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 539-577. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds.), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison.

- Owliaie HR, 2012. Study of chemical forms of Fe and Mn in soils of a catena, Yasouj region. *Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 62: 217-226. (In Persian with English abstract)
- Page MC, Sparks DL, Noll MR and Henndricks GJ, 1987. Kinetics and mechanism of potassium release from sandy Middle Atlantic Coastal Plain soils. *Soil Science Society of America Journal* 51: 401-408.
- Righi D, Huber K and Keller C, 1999. Clay formation and podzol development from postglacial moraines in Switzerland. *Clay Minerals* 34(2): 319-332.
- Richards LA, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Handbook 60 USDA. Washington, DC.
- Reyhani Tabar A, 2011. An evaluation of the reactivity characteristics of carbonates in some selected soils of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 41(2): 201-209. (In Persian with English abstract)
- Ruhe RV, 1975. *Geomorphology, Geomorphic Processes and Surficial Geology*, Boston: Houghton Mifflin.
- Sanjari S, Farpoor MH, Eghbal MK and Esfandiarpour I, 2012. Micromorphology and clay mineralogy comparison of paleosols and modern soils in Jiroft area. *Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)-Isfahan University of Technology* 15(58): 173-185.
- Safe A and Mohammadi M, 2010. Identification and separation of formic units at Gavkhoni Plain. *Arid Regions Geographic Studies* 1(1):17-34
- Samadzadeh R, 2008. A study of climatic changes of late quaternary with using geomorphological evidence in Neor basin. *Science and Research Journal Management System* 4(16): 19-37. (In Persian with English abstract)
- Selby MJ, 1985. *Earths Changing Surface: An Introduction to Geomorphology*. Oxford University Press (Clarendon). London/New York
- Schaetzl RJ and Anderson Sh, 2005. *Soils Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press.
- Schulze DG, 2002. An introduction to soil mineralogy. Pp. 1-34. In: Dixon JB and Schulz DG, (eds.), *Soil Mineralogy with Environmental Applications*, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Shahbazi F, McBratney AB, Malone B, Oustan S and Minasny B, 2019. Retrospective monitoring of the spatial variability of crystalline iron in soil of the east shore of Urmia lake, Iran using remotely sensed data and digital maps. *Geoderma*, 337: 1196-1207
- Timpson ME, Lee SY, Ammons JT and Foss JE, 1996. Mineralogical investigation of soils formed in calcareous gravelly alluvial, eastern Crete, Greece. *Soil Science Society of America Journal* 60:299-308.
- Vahidi MJ, Jafarzadeh AA, Oustan S and Shahbazi F, 2012a. Effect of land use on physical, chemical and mineralogical properties of soils in Southern Ahar. *Water and Soil Science-University of Tabriz* 22(1):33-48. (In Persian with English abstract)
- Vahidi MJ, Jafarzadeh AA, Oustan S and Shahbazi F, 2012b. Two physiographic units impact on origin and distribution of extractable iron oxide forms in some soils of southern Ahar. *Water and Soil Science-University of Tabriz* 22(2):121-135. (In Persian with English abstract)
- Yousefifard M, Ayoubi S and Jalalian A, 2013. Weathering intensity and investigation of weathering indices in some soils developed on igneous rocks in West-north of Iran. *Water and Soil* 27(2): 266-281. (In Persian with English abstract)