

بررسی تنوع و تکامل خاک در سطوح مختلف ارتفاعی دامنه غربی کوهستان تالش

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

تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۴

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

تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک تابع عوامل محیطی مانند اقلیم، توپوگرافی، ماده مادری و پوشش گیاهی است. توپوگرافی از طریق سه عامل ارتفاع، زهکش طبیعی و شیب باعث تفاوت‌های معنی‌دار در ویژگی‌های خاک می‌شود. این تحقیق به منظور بررسی اثر ارتفاع بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، نوع و فراوانی کانی‌های رس و در نهایت میزان تکامل خاک‌های یک نیمرخ ارتفاعی واقع در کوهستان تالش در استان اردبیل انجام گرفت. تعداد ۵ خاکرخ در سطوح پایدار حفر و پس از مطالعات صحرایی، آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی رس بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که در سطوح مختلف ارتفاعی، شدت هوازدگی و نوع فرایندهای خاک سازی متفاوت بوده و تأثیر شدیدی بر برخی ویژگی‌های خاک از جمله مقدار رس، شکل‌های مختلف آهن، کانی‌ها و رده‌بندی خاک دارد. با کاهش ارتفاع، از میزان کانی ایلیت کاسته شده، ولی بر مقدار کانی اسمکتیت افزوده می‌شود که این امر دلیلی بر هوازدگی و تکامل خاک می‌باشد. نتایج نشان داد که اراضی مرتفع دارای خاک‌های اینسپتی‌سول با درجه تکامل کم بوده ولی اراضی پایکوهی دارای خاک‌های تکامل یافته تر ورتی‌سول و مالی‌سول هستند. علاوه بر این، در نیمرخ ارتفاعی مورد مطالعه با کاهش ارتفاع، اقلیم گرمتر می‌شود و به تبع آن شدت فرایندهای خاک‌ساز افزایش می‌یابد. افزایش مقدار آهن بلورین (Fe_t-Fe_o)، به عنوان شاخص تکامل خاک، از ۲۳۰۳/۹ میلی گرم بر کیلوگرم در قله کوه تا ۷۵۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پای کوه این روند تکاملی را به خوبی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: توپوگرافی، شکل‌های آهن، کانی‌شناسی رس، نیمرخ ارتفاعی، ویژگی‌های خاک

Study of Soil Diversity and Evolution in Different Elevation Surfaces of Western Hillside of Talesh Mountain

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

Received: June 25, 2019

Accepted: June 25, 2019

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

²Prof, Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³Prof, Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

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

*Corresponding Author Email: afshin_mo55@yahoo.com

Abstract

Spatial variability of the soil properties is related to the environmental factors such as climate, topography, parent material and vegetation. Topography causes significant differences in soil properties through the three factors of elevation, natural drainage and slope. This research was carried out to investigate the effect of elevation on some physical and chemical characteristics, type and content of the clay minerals, and finally on the evolution of soils of an elevation profile in Talesh Mountain in Ardabil province. Following excavation and description of five profiles on non-eroded surfaces, physical, chemical and clay mineralogy experiments were performed on the samples. The results showed that weathering intensity and type of pedological processes were different and had a significant effect on some soil characteristics such as clay content, different forms of iron, minerals and soil classification at the different surfaces of elevation. With decreasing the altitude, the amount of illite minerals was reduced but the amount of smectite minerals has increased, which is a reason for the improved weathering and evolution of the soils. The results show that toeslope lands have evolved soils of Vertisols and Mollisols, but highlands have Inceptisols with low degree of evolution. Addition, in the studied elevation profile, as the altitude decreases, the climate becomes warmer and consequently the intensity of pedogenic processes increases. The increase in the amount of crystalline iron (Fe_4-Fe_6), as an indicator of soil evolution, from 2303.9 $mg\ kg^{-1}$ at the topslope to 7558 $mg\ kg^{-1}$ at the toeslope of the mountain illustrates this evolutionary trend.

Keywords: Clay Mineralogy, Elevation profile, Iron forms, Soil properties, Topography

مقدمه

بارندگی و آبشویی کاهش می‌یابد. آنان همچنین نشان دادند که با افزایش ارتفاع، CEC خاک‌های سطحی مرتباً افزایش یافته‌است که این موضوع را به اثرات توام مقدار رس و کانی-شناسی آن بر CEC نسبت دادند. افزایش ارتفاع در مقیاس منطقه ای به‌طور مستقیم با مقدار بارش و دما (گریتنس و بیمن ۲۰۰۶) و به‌طور غیر مستقیم با تشکیل خاک مرتبط است (مولر و اوبرلاند ۱۹۷۸). در مناطق کوهستانی اقلیم متأثر از تغییرات ارتفاعی است (رحمانی و همکاران ۲۰۱۳). این تغییرات به‌طور چشمگیری بر فرایندهای خاک‌سازی و ویژگی‌های خاک به‌واسطه اثر بر نوع و شدت فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک و همچنین نوع و ترکیب گونه‌های گیاهی تأثیر می‌گذارد (هاچینز ۱۹۷۶). نتایج تحقیقات رضاپور و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که شاخص‌های اقلیمی تغییرات قابل توجهی را در فرایندهای خاک

تشکیل خاک فرایند طبیعی پیچیده‌ای است که هر خاک طی آن از مراحل مختلفی عبور نموده، به‌طوری که جهت، مدت و شدت تشکیل خاک به‌وسیله مجموعه به‌هم پیوسته‌ای از فاکتورهای خاک‌سازی در هر نقطه مشخصی تعیین می‌شود (رود ۱۹۸۴). توپوگرافی به‌عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در تشکیل و تکامل خاک از طریق سه عامل ارتفاع، زهکش طبیعی و شیب (درصد، شکل، موقعیت، جهت، طول) بر نفوذ و حرکت آب در خاک، دمای خاک، زهکشی خاک، رژیم رطوبتی، پتانسیل ردآکس، محیط یونی و تبدیل کانی‌های رس به انواع مختلف مؤثر است (بایوردی ۱۹۹۹). دالگران و همکاران (۱۹۹۷) در خاک‌های منطقه کالیفرنیا نشان دادند که در طول یک ترانسکت با افزایش ارتفاع مقدار pH و درصد اشباع بازی خاک‌ها در نتیجه افزایش

که در بررسی میزان توسعه و تکامل خاک دارای اهمیت زیادی هستند آهن کل یا ساختمانی (Fe_t)، آهن پدوژنیک یا آزاد (Fe_d) و آهن بی‌شکل یا فعال (Fe_o) می‌باشند. کاستانتینی و همکاران (۲۰۰۶) ثابت کردند که افزایش در آهن کل و آهن آزاد نتیجه غیرقابل انکار افزایش سن و تکامل خاک‌هاست. برخی از پژوهشگران (تورنت و همکاران ۱۹۸۰) اعتقاد دارند با توجه به این که در طول هوادیدگی مواد مادری حاوی کانی آهن، این عنصر آزاد می‌شود و در خاک به صورت اکسید، هیدروکسید و یا اکسی هیدروکسید آهن، مجدداً رسوب می‌کند، لذا مقدار و توزیع آهن استخراج شده با اگزالات (Fe_o) و دی‌تیونات (Fe_d) و همچنین مقایسه این دو نوع آهن با یکدیگر، می‌تواند نشان دهنده درجه تکامل خاک باشد. بنابراین تفاضل بین آهن آزاد و آهن بی‌شکل ($Fe_t - Fe_o$) معیاری از مقدار ترکیبات بلورین آهن می‌باشد. نسبت آهن بی‌شکل به آهن آزاد (Fe_o/Fe_d) معیاری از درجه تبلور اکسیدهای آهن و $[(Fe_t - Fe_o)/Fe_d]$ بیانگر نسبت آهن بلورین است (بیرکلند ۱۹۹۹، دولوی و برا ۲۰۰۱). وحیدی و همکاران (۲۰۱۲b) با توجه به ارتباط بین سن خاک با شکل‌های مختلف آهن اظهار داشتند که افزایش اکسیدهای آهن بلورین و کاهش اکسیدهای آهن غیربلورین و پیوند یافته به مواد آلی، نشان دهنده تکامل بیشتر خاک‌ها است که این موضوع با نوع واحد از لحاظ زمین ریخت‌شناسی، درصد رس، عمق سالوم و مقدار نسبی رس کائولینیت تأیید می‌گردد. علمداری و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه توزیع اکسیدهای آهن در ترانسکتی از دشت تبریز نیز گزارش کردند که در همه خاک‌ها مقادیر بیشتر Fe_d در مقایسه با مقادیر Fe_o نشان‌دهنده حضور بخش اعظم آهن در شکل بلورین آن است. شهبازی و همکاران (۲۰۱۹) ضمن تهیه نقشه‌های رقومی شکل‌ها و شاخص‌های مختلف آهن در ساحل شرقی دریاچه ارومیه با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی و تصاویر ماهواره‌ای رابطه معنی‌داری را بین خشک شدن دریاچه ارومیه طی ۲۰ سال اخیر با شکل‌ها و شاخص‌های مختلف آهن گزارش کردند، به‌طوری که با افزایش فاصله از خط ساحلی میزان آهن بلورین افزایش یافته‌است و این امر نشان‌دهنده افزایش درجه تکاملی خاک می‌باشد. هدف کلی این تحقیق بررسی اثر ارتفاع بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و همچنین نوع کانی‌های

سازی، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، نوع کانی‌های رس و توسعه و تکامل خاک‌ها ایجاد کرده‌است، به‌طوری که مناطق سرد و مرطوب استان آذربایجان غربی مشتمل بر شهرستان‌های سردشت و پیرانشهر نسبت به مناطق خشک آن مانند شهرستان‌های خوی و سلماس دارای مقادیر بیشتر ماده آلی، CEC، شاخص تجمع رس، آهن پدوژنیک و بلورین، شاخص تجمع اکسیدهای آهن، پتاسیم تبدالی و نسبت اسمکتیت/ (کلریت + ایلیت) بوده، ولی برعکس دارای مقدار کمتر کربنات کلسیم، pH، هدایت الکتریکی، نسبت آهن فعال و پتاسیم غیرتبدالی می‌باشد.

برای بیان درجه تکامل خاک معمولاً از شاخص‌هایی مانند ریخت‌شناسی، آزمایشگاهی، میکرومورفولوژیکی، نسبت کانی‌های مقاوم به کانی‌های قابل هوادیدگی و شکل‌های مختلف آهن استفاده می‌شود. منشا و فراوانی کانی‌های رس به عنوان قسمتی از تشکیل خاک و در تعیین تکامل خاک مهم است که می‌تواند معیار دقیقی از مراحل هوادیدگی و شدت فرایندهای خاک‌سازی باشد. نوع کانی تشکیل شده در خاک را می‌توان متأثر از سه عامل اقلیم، شرایط محیطی و نوع ماده مادری دانست که با گذشت زمان و پیشرفت هوادیدگی، خاک‌ها تکامل یافته و ترکیب کانی‌های آنها در جزء رس تغییر می‌کند (برادی ۱۹۹۰). موسوی و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعات خود در منطقه آغاچاری و قلعه خواجه نشان‌دادند که در خاک‌های انتخاب شده، هرچه از سمت قلعه به طرف پای شیب نزدیک می‌شویم، از میزان کانی‌های اولیه مانند میکا کاسته شده و بر کانی اسمکتیت افزوده می‌شود که بیانگر تکامل خاک می‌باشد. بر اساس گزارش شولز (۲۰۰۲) اکسیدهای آهن یکی از عوامل مهمی است که در ارزیابی فرایندهای خاک‌سازی و تعیین درجه توسعه و تکامل خاک گسترش زیادی پیدا کرده‌است. بیوتیت، الیوین، آمفیبول، پیروکسن و پیریت به عنوان مهم‌ترین کانی‌های اولیه حاوی آهن می‌باشند که از لحاظ ترمودینامیکی ناپایدار هستند و در فرایند هوادیدگی آهن آزاد می‌کنند. تغییرات نوع و میزان اکسیدهای آهن تابع نوع مواد مادری، وضعیت زهکشی، مقدار و نوع مواد آلی، درجه هوادیدگی، اسیدیته و فرایندهای خاک‌سازی است (کمپف و همکاران ۱۹۹۹). مهم‌ترین شکل‌های آهن

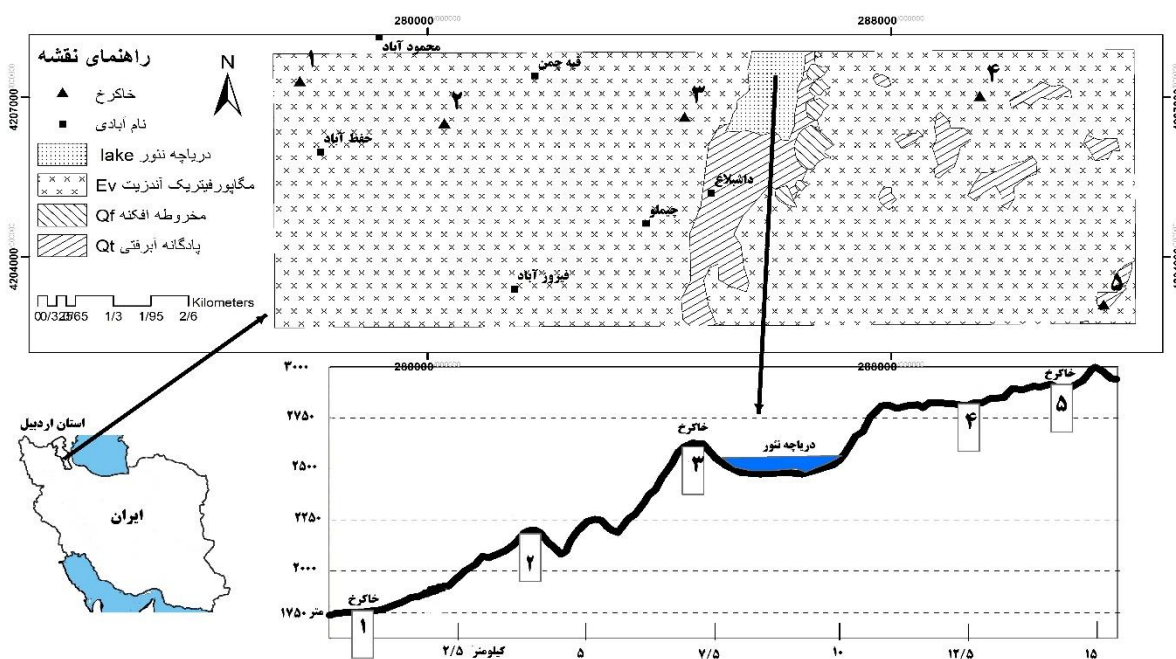
حدود ۳۴۰ هکتار و در ارتفاع ۲۴۸۰ متری قرار دارد. ارتفاع منطقه از سطح دریا از ۱۸۰۵ متر تا ۳۱۹۰ متر متغیر می‌باشد. طول ترانسکت (زمین) مطالعاتی ۱۶ کیلومتر می‌باشد. تغییرات ارتفاعی در فاصله کم منجر به تغییرات اقلیمی شده‌است. متوسط بارندگی و درجه حرارت سالیانه در اراضی پایکوهی به ترتیب ۲۷۴/۶۹ میلی‌متر و ۹/۸ درجه سلسیوس و در اراضی مرتفع ۴۳۴/۴ میلی‌متر و ۴/۴ درجه سلسیوس می‌باشد (سازمان هواشناسی ۲۰۱۸). با افزایش ارتفاع رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب از زریک و مزیک به اکونیک و فریجید تغییر می‌یابد (بنائی ۱۹۹۸). کوهستانی بودن، شیب کمپلکس، پوشش غنی گیاهان مرتعی، سنگ‌های آندزیتی مربوط به دوره ائوسن از ویژگی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

رسی در طول نیمرخ ارتفاعی دامنه غربی کوهستان تالش با استفاده از ۵ خاکرخ شاهد می‌باشد. علاوه بر این با استفاده از شکل‌ها و شاخص‌های مختلف آهن نیز تکامل خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در دامنه غربی کوهستان تالش واقع در شرق استان اردبیل و با موقعیت جغرافیایی ۳۷° ۵۵' تا ۳۸° ۱' عرض شمالی و ۴۸° ۲۷' تا ۴۸° ۳۸' طول شرقی انجام گرفته‌است (شکل ۱). در داخل محدوده مطالعاتی، دریاچه نئور به‌عنوان بزرگترین پهنه آب شیرین طبیعی استان اردبیل با مساحتی



شکل ۱- موقعیت منطقه و خاکرخ‌های مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی

افق‌های مشخصه مطابق با معیارهای طبقه بندی جامع خاک (۲۰۱۴) بررسی و خاکرخ‌ها نیز بر این مبنا رده‌بندی گردید که نتایج آن در جدول ۱ گزارش شده‌است. توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر ۱۹۸۶)، اسیدیته گل اشباع توسط دستگاه‌های pH متر، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (چپمن ۱۹۶۵)، و کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون برگشتی اسید کلریدریک (ریچاردز ۱۹۵۴) و کربن آلی به روش والکی و بلک اصلاح شده (نلسون و سامرز ۱۹۸۲) اندازه‌گیری

مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی

پس از بررسی نقشه توپوگرافی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تصاویر حاصل از گوگل ارث، و بازدیدهای صحرائی، در نهایت تعداد ۵ خاکرخ در سطوح پایدار یک نیمرخ ارتفاعی با شیب بسیار کم (۸-۱ درصد) و بدون آثار فرسایش و با ماده مادری یکسان انتخاب و حفر گردید (شکل ۱). نمونه‌های برگرفته از خاکرخ‌ها جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل و پس از آنالیز آن‌ها

نشان داد ارتفاع با مقادیر سیلت رابطه مستقیم و با مقدار رس رابطه معکوس داشت (جدول ۲). الگوی توزیع کربنات کلسیم معادل (CCE) در خاکرخ‌های مختلف مشابه pH است، به عبارت دیگر، مقادیر این دو ویژگی با ارتفاع دارای همبستگی معکوس و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد. همچنین بین pH و کربنات کلسیم همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۲). به دلیل بازیگ بودن سنگهای آندزیت منطقی است که خاک‌های حاصله از آن دارای درصد آهک بالایی باشند. منشأ کلسیم در این خاکرخ‌ها، هوادیدگی درجای سیلیکات‌های موجود در سنگ آندزیت مانند فلدسپارها، آمفیبول و پیروکسن‌های کلسیم‌دار می‌باشد (یوسفی فرد و همکاران ۲۰۱۲). خاکرخ‌های ۱، ۲ و ۳ در مقایسه با خاکرخ‌های ۴ و ۵ دارای افق کلسیک و کربنات کلسیم معادل بیشتر هستند. احتمالاً در خاکرخ ۴ به دلیل هوادیدگی کمتر ناشی از رژیم حرارتی فریجید (اقلیم سردتر) و پوشش گیاهی کمتر (کاهش غلظت دی اکسید کربن)، و در خاکرخ ۵ به دلیل هوادیدگی کمتر ناشی از رژیم حرارتی فریجید و همچنین رژیم رطوبتی آکوئیک، آبشویی کربنات کلسیم و نمک‌ها در فصول پرآب ناشی از ذوب برف سریع‌تر از تجمع آنها صورت گرفته و از علل مقادیر کمتر آهک در این خاک‌ها است. با افزایش ارتفاع روند منظمی در توزیع کربن آلی مشاهده نگردید و مقدار کربن آلی افق‌های خاک بین ۱/۵ - ۰/۳۹ درصد متغییر است، اما در خاکرخ ۵ با رژیم رطوبتی آکوئیک به دلیل اکسایش کمتر بقایای گیاهی که در شرایط دمایی پایین و تهویه کم رخ می‌دهد مقدار آن ۲۷/۳ درصد می‌باشد. مقدار کربن آلی موجود در خاک، حاصل تعادل بین ورودی مواد آلی به خاک و هدر رفت آنها در نتیجه فرایندهای مختلف می‌باشد (رضائی و همکاران ۲۰۱۵). از عوامل مختلف مؤثر بر مقدار کربن آلی خاک اعم از نوع مواد مادری، اقلیم، پوشش گیاهی، توپوگرافی، بافت خاک و فعالیت‌های مدیریتی (بوی و آلبرکت ۲۰۰۴، کیدو ۲۰۰۲) می‌توان به نقش شکل اراضی، دمای پایین، رژیم رطوبتی آکوئیک و تراکم زیاد پوشش چمنی در بالا بودن کربن آلی و تشکیل افق آلی هیستیک در خاکرخ ۵ اشاره نمود. موادآلی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و حتی بیولوژیکی خاک را تحت

شد. ترکیبات بی‌شکل آهن (Fe_e) با استفاده از استخراج کننده اگزالات آمونیم اسیدی (مک‌کیگو و دی ۱۹۶۶) و اکسیدهای آهن پدوژنیک (Fe_d) توسط استخراج کننده سیترات بی‌کربنات دی تیونیت (مهر و جکسن ۱۹۶۰) تعیین گردید. خالص‌سازی رس به روش کیتریک و هوپ (۱۹۶۳) و جکسون (۱۹۷۵) بر روی تعدادی از نمونه‌های افق‌های سطحی و زیرسطحی که دارای مقادیر زیادتر رس و ظرفیت تبادل کاتیونی بودند انجام گردید. بدین منظور تیمارهای لازم از جمله حذف کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آهن از ذرات خاک انجام شد. پس از حذف عوامل شیمیایی سیمان‌کننده و تفکیک رس به روش ترسیب، چهار تیمار جداگانه شامل اشباع با منیزیم، اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول و اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تهیه گردید. برای تعیین نوع کانی‌های رس از دستگاه پراش پرتو ایکس زیمنس مدل D5000 استفاده شد. درصد نسبی کانی‌های رس از محاسبه سطح زیر منحنی پیک‌های حاصل از XRD در تیمار - اتیلن گلیکول توسط نرم افزار اورجین پرو^۱ ۲۰۱۸ به دست آمد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از روش همبستگی اسپیرمن (یک روش ناپارامتری) استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر ارتفاع بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌است. عمق خاک در تمامی خاکرخ‌های مورد مطالعه بیش از ۱۴۰ سانتی‌متر بوده و بیانگر پایداری خاکرخ‌ها و پیشی گرفتن میزان تشکیل خاک نسبت به فرسایش است (رضائی و همکاران ۲۰۱۵). در منطقه کوهستانی همان طوری که انتظار می‌رفت درصد نسبی ذرات شن در همه افق‌ها بیشتر از رس و سیلت بود (شکل ۲). زیرا با افزایش ارتفاع و کاهش درجه حرارت در منطقه مطالعاتی خاک کمتر تکامل یافته و فرصت کافی برای تبدیل ذرات درشت به ذرات ریزتر را نداشته است. طبق نظر بیول و همکاران (۲۰۰۳) هنگامی که سیستم خاک تا مرحله یخ زدن آب، سرد می‌شود همه واکنش‌های شیمیایی که آب در آن دخالت دارد متوقف می‌گردد، بنابراین ذرات بوسيله واکنش‌های فیزیکی (یخبندان) خرد می‌شود. نتایج

¹ OriginPro 2018

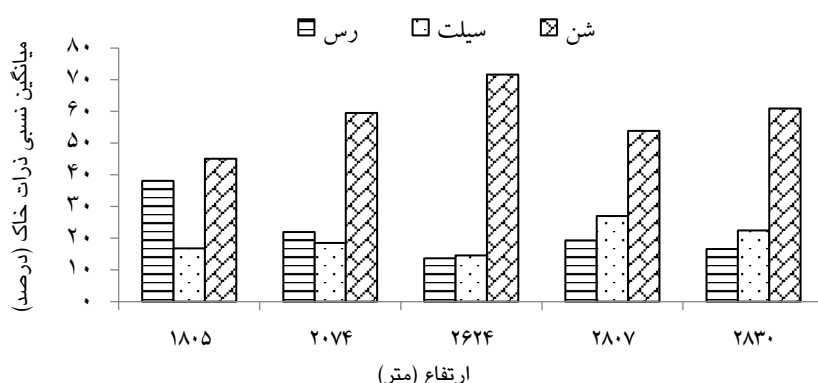
شد (رابطه ۱). ضریب همبستگی ضعیف (۰/۳۷۱-) بین ارتفاع و ظرفیت تبادل کاتیونی مربوط به ماده آلی افق سطحی خاکرخ ۵ می باشد که باعث افزایش بسیار زیاد ظرفیت تبادل کاتیونی افق ۰ نسبت به افق های دیگر شده است

تأثیر قرار می دهد (بالداک و نلسون ۲۰۰۰، گریفین ۲۰۰۸). در خاکرخ ۴ به دلیل فقر ماده آلی اپی پدون سطحی فاقد همه ویژگی های افق مالیک می باشد. برخلاف کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی، با افزایش ارتفاع روند منظمی در توزیع مقدار درصد رس مشاهده

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی - شیمیایی خاکرخ های مورد مطالعه

| Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | CEC (cmol _c kg ⁻¹) | OC (%) | CCE (%) | pH | Structure | Color (moist) | Depth (cm) | Horizon |
|-------------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------------|--------|---------|-----|-----------|---------------|------------|---------|
| خاکرخ ۱ (ارتفاع ۱۸۰۵): Typic Calcixererts | | | | | | | | | | |
| ۴۴/۳ | ۱۶/۹ | ۳۸/۷ | ۳۳/۶ | ۱/۵۶ | ۳۶/۰۱ | ۷/۵ | 2mgr | 7.5YR3/2 | ۲۴-۰ | Ap |
| ۴۱/۲ | ۱۹/۹ | ۳۸/۹ | ۳۴/۹ | ۱/۱۷ | ۳۰/۹ | ۷/۵ | 2mgr | 7.5YR3/3 | ۴۵-۲۴ | Bk |
| ۴۴/۳ | ۱۴/۴ | ۴۱/۲ | ۳۳/۳ | ۰/۵۸۵ | ۲۵/۴ | ۷/۷ | 2fsbk | 7.5YR3/3 | ۶۷-۴۵ | Bkss1 |
| ۴۴/۳ | ۱۶/۹ | ۳۸/۷ | ۳۸/۲ | ۰/۳۹ | ۳۲/۹ | ۷/۷ | 2fsbk | 7.5YR3/3 | ۹۰-۶۷ | Bkss2 |
| ۴۹/۲ | ۱۶/۹ | ۳۳/۸ | ۳۶/۱ | ۰/۳۹ | ۳۲/۷ | ۷/۹ | 2fsbk | 7.5YR3/3 | ۱۵۰-۹۰ | Bk' |
| خاکرخ ۲ (ارتفاع ۲۰۷۴): Typic Calcixerolls | | | | | | | | | | |
| ۵۶/۷ | ۲۱/۸ | ۲۱/۴ | ۲۲/۶ | ۰/۷۸ | ۳۲/۱ | ۷/۸ | 2fsbk | 7.5YR3/3 | ۳۰-۰ | Ap |
| ۵۶/۷ | ۱۹/۳ | ۲۳/۹ | ۲۰/۹ | ۰/۵۸ | ۳۱/۱ | ۷/۷ | 2fsbk | 7.5YR3/3 | ۸۴-۳۰ | Bk1 |
| ۶۲/۴ | ۱۴/۴ | ۲۳/۱ | ۲۲/۸ | ۰/۳۹ | ۳۱/۱ | ۷/۸ | 2fsbk | 7.5YR3/4 | ۱۳۲-۸۴ | Bk2 |
| ۶۶/۲ | ۱۵ | ۱۸/۸ | ۲۰ | ۰/۱۹ | ۴۰/۷ | ۷/۹ | 1fsbk | 7.5YR4/3 | ۱۵۰-۱۳۲ | Bk3 |
| خاکرخ ۳ (ارتفاع ۳۶۲۴): Xeric Calcicryolls | | | | | | | | | | |
| ۵۴/۲ | ۲۱/۸ | ۲۳/۹ | ۲۵/۴ | ۱/۱۷ | ۳۱/۷ | ۷/۳ | 2mgr | 7.5YR3/3 | ۳۶-۰ | A |
| ۷۶/۵ | ۱۲ | ۱۱/۵ | ۱۵/۵ | ۰/۹۷ | ۳۲/۷ | ۷/۲ | 1fsbk | 7.5YR3/4 | ۵۹-۳۶ | Bk1 |
| ۷۷/۹ | ۱۲ | ۱۰ | ۱۵/۷ | ۰/۷۸ | ۳۱/۱ | ۷/۲ | 1vfbk | 7.5YR3/4 | ۱۰۵-۵۹ | Bk2 |
| ۷۷/۹ | ۱۲/۷ | ۹/۴ | ۱۴/۸ | ۰/۵۳ | ۳۳/۸ | ۷/۲ | sg | 7.5YR3/4 | ۱۵۰-۱۰۵ | Cr |
| خاکرخ ۴ (ارتفاع ۲۸۰۷): Xeric Haplocryepts | | | | | | | | | | |
| ۵۴/۲ | ۲۶ | ۱۹/۸ | ۱۸/۶ | ۰/۴۶ | ۱۲/۹ | ۶/۵ | 1fgr | 7.5YR3/3 | ۳۰-۰ | A |
| ۵۴/۲ | ۲۶ | ۱۹/۸ | ۱۹/۳ | ۰/۳۹ | ۱۱/۱ | ۶/۶ | 2fabk | 7.5YR3/4 | ۵۰-۳۰ | Bw1 |
| ۵۲/۷ | ۲۸/۴ | ۱۸/۸ | ۲۰ | ۰/۳۹ | ۱۱/۵ | ۶/۷ | 2fabk | 7.5YR3/4 | ۹۰-۵۰ | Bw2 |
| ۵۶/۶ | ۲۶ | ۱۸/۷ | ۲۰/۹ | ۰/۳۹ | ۱۲/۳ | ۶/۸ | 2fabk | 7.5YR3/4 | ۱۰۶-۹۰ | Bw3 |
| ۵۱/۷ | ۲۸/۴ | ۱۹/۸ | ۲۰/۶ | ۰/۳۹ | ۱۲/۳ | ۶/۸ | 2fabk | 7.5YR3/4 | ۱۴۰-۱۰۶ | Bw4 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | >۱۴۰ | Crt |
| خاکرخ ۵ (ارتفاع ۲۸۳۰): Histic Cryaquepts | | | | | | | | | | |
| ۶۳ | ۲۷ | ۱۰ | ۵۰/۳ | ۲۷/۳ | ۸/۷ | ۶/۴ | 2fgr | 7.5YR3/2 | ۳۲-۰ | Oi |
| ۵۱/۷ | ۲۶ | ۲۲/۳ | ۲۷/۹ | ۲/۳ | ۱۱/۱ | ۶/۴ | 2mgr | 7.5YR3/2 | ۸۰-۳۲ | Ag |
| ۶۵/۴ | ۱۸/۱ | ۱۶/۵ | ۲۱/۲ | ۱/۳ | ۱۲/۵ | ۶/۶ | 1fgr | 7.5YR3/3 | ۱۱۰-۸۰ | Bg1 |
| ۶۳/۸ | ۱۸/۶ | ۱۷/۶ | ۱۹/۸ | ۱ | ۱۳/۴ | ۶/۶ | 1fgr | 7.5YR3/3 | ۱۵۰-۱۱۰ | Bg2 |

راهنمای جدول: OC: کربن آلی، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، pH: واکنش خاک، CCE: کربنات کلسیم معادل، Structure: ساختمان، 1: ضعیف، 2: متوسط، f: ریز، vf: خیلی ریز، m: متوسط، gf: دانه ای، sbk: مکعبی لبه مدور، abk: مکعبی گوشه دار، Color moist: رنگ مرطوب، Sand: شن، Silt: سیلت، Clay: رس، Horizon: افق



شکل ۲- میانگین درصد نسبی ذرات خاک در سطوح مختلف ارتفاعی

$$CEC = 0.4858 \text{ Clay} + 14.142 \quad r = 0.528 \quad p < 0.01 \quad [۱]$$

عدم همبستگی ظرفیت تبادل کاتیونی با ماده آلی و pH بیانگر این نکته است که منشاء اصلی و عمده بارهای موجود در خاک‌های منطقه به غیر از افق هیستیک خاکرخ ۵ از نوع بارهای دائمی است.

نتایج تحقیقات سیبولد و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی خاک تحت تأثیر مقدار و نوع رس، ماده آلی، درجه هوموسی شدن و pH خاک تغییر می‌کند. در این تحقیق، رابطه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مورد مطالعه با درصد رس خاک مثبت و معنی‌دار بود (رابطه ۱).

جدول ۲- ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک

| ارتفاع | Clay | Silt | Sand | pH | CCE | OC | CEC |
|-------------------|----------|----------|----------|---------|--------|-------|-----|
| ارتفاع ۱ | | | | | | | |
| Clay | ۱ | | | | | | |
| Silt | ۰/۰۰۲ | ۱ | | | | | |
| Sand | -۰/۸۴۳** | -۰/۳۴۴ | ۱ | | | | |
| pH | ۰/۵۲۷* | -۰/۵۱۱* | -۰/۱۴۷ | ۱ | | | |
| CaCO ₃ | ۰/۱۳۶ | -۰/۷۱۹** | ۰/۲۱۶ | ۰/۷۸۷** | ۱ | | |
| OC | -۰/۰۶۴ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۳۵ | -۰/۲۸۸ | -۰/۲۵۵ | ۱ | |
| CEC | -۰/۶۴۵** | ۰/۱۴۵ | -۰/۶۳۹** | ۰/۲۶۳ | -۰/۰۸۲ | ۰/۲۷۶ | ۱ |

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

تأثیر ارتفاع بر رده بندی خاک‌ها

بر اساس طبقه‌بندی جامع، سه رده ورتی‌سول، مالی-سول و اینسپتی‌سول بر اساس طیفه‌بندی جامع، سه رده ورتی‌سول، مالی-سول و اینسپتی‌سول در محدوده مطالعاتی تشخیص داده شد (جدول ۱). وجود تغییرات نسبتاً زیاد در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و همچنین نوع خاک‌های مطالعه شده که دارای مواد مادری یکسان می‌باشند، بیانگر تأثیر عوامل خاک‌ساز به-ویژه توپوگرافی (ارتفاع و زهکش طبیعی) منطقه است. با افزایش

ارتفاع به ترتیب رده‌های ورتی‌سول، مالی‌سول، و اینسپتی‌سول مشاهده گردید که این امر نتیجه تأثیر غیرمستقیم ارتفاع بر دما و بارندگی و متعاقباً بر نوع و مقدار فرایندهای خاکساز می-باشد. در خاکرخ ۱ که در ارتفاع ۱۸۰۵ متری از سطح دریا واقع شده است حضور اپی‌پدون مالیک با افق‌های زیر سطحی کلسیک، درصد زیاد رس، شکاف‌ها و اسلیکن سایید باعث گردید تا خاک در رده ورتی‌سول قرار گیرد. خاکرخ‌های ۲ و ۳ به ترتیب

مشاهده نگردید. زیرا در مناطق خشک و نیمه خشک شرایط برای تشکیل پدوژنیک کائولینیت مهیا نبوده و در صورت حضور این کانی حتماً کانی دارای منشأ لیتوژنیک می باشد (رضائی و همکاران ۲۰۱۵). بیول و همکاران (۲۰۰۳) معتقد است تا زمانی که خاک حاوی گچ، آهک یا افق کلسیک و جیسیک می باشد امکان تبدیل کانی های سیلیکاتی به کانی های مقاوم وجود ندارد. به استثنای کائولینیت که مقادیر آن نسبتاً ثابت می باشد، کانی های ایلیت و اسمکتیت در خاکرخی های مختلف تغییرات زیادی یافته اند که حاکی از فعالیت بالای فرایندهای خاک سازی ناشی از ارتفاع است. در اراضی مرتفع با خاک های اینسپتی سول حداکثر ایلیت و حداقل اسمکتیت و در پایکوه با خاک ورتی سول و میزان بالای رس و ظرفیت تبادل کاتیونی حداکثر میزان اسمکتیت مشاهده گردید. همبستگی معکوس میان مقادیر نسبی این دو کانی حاکی از تقویت فرضیه تغییر شکل ایلیت به اسمکتیت تحت فرایند پتاسیم زدایی و پدوژنیک بودن اسمکتیت است. پژوهشگران وجود ایلیت بیشتر را دلیلی بر جوانی و مراحل اولیه تکامل خاک می دانند (وحیدی و همکاران ۲۰۱۲، عباسی و همکاران ۲۰۱۳). در خاکرخی ۵ مقادیر ایلیت و اسمکتیت به میزان زیادی تحت تأثیر رژیم رطوبتی منطقه قرار گرفته است. شرایط آکوئیک و حضور فرآیند گلی شدن علاوه بر تغییرات مورفولوژیکی باعث افزایش قابل ملاحظه اسمکتیت و کاهش ایلیت نسبت به خاکرخی های مجاور و روند عمومی تغییرات کانی-ها در طول نیمرخ مطالعاتی شده است. تخلیه پتاسیم از خاک را می توان به رطوبت بیشتر خاکرخی ۵ مرتبط دانست که در اثر آن خاکها از یک سو در اثر شستشو بخشی از پتاسیم خود را از دست داده اند و از سوی دیگر نیز به واسطه رشد گیاهان در این خاکها پتاسیم خاک از ساختار کانی ها حذف شده است. کانی ورمی کولیت را نیز مرحله حد واسط تبدیل ایلیت به اسمکتیت می دانند و از لحاظ بار نیز بینابین اسمکتیت و میکا قرار دارد (تامپسون و یوکرانشیک ۲۰۰۲).

در سطوح ارتفاعی ۲۰۷۴ و ۲۶۲۴ متری به عنوان رده مالی سول طبقه بندی شدند. با افزایش ارتفاع رژیم حرارتی خاک از مزیک به فریجید تغییر یافته و این امر باعث تفکیک این دو خاکرخی در سطح زیر رده گردید (جدول ۱). درهم آمیختگی، انحلال شیمیایی، انتقال و تجمع کربنات کلسیم ثانویه به صورت رشته-ای، توده های نرم و سخت و رنگین شدن (رها شدن آهن و اکسایش و آگیری متوالی آن) از جمله فرایندهای ژنتیکی غالب می باشد که در خاکرخی های ۲ و ۳ اتفاق افتاده است. در خاکرخی ۴ واقع در ارتفاع ۲۸۰۷ متری حضور اپی پدون اکریک و افق زیر-سطحی کمبیک باعث گردید تا خاک در رده انسپتی سول قرارگیرد. اپی پدون سطحی اکریک تمامی ویژگی های افق مالیک بغیر از درصد کربن آلی را دارا است. به نظر می رسد شرایط آب و هوایی سرد و دوام برف تا نیمی از سال و فصل رشد کوتاه گیاهان و چرای مفرط دام باعث کاهش مقدار ماده آلی خاک شده است. افق های زیرسطحی علی رغم دارا بودن کربنات کلسیم ثانویه فاقد ویژگی های لازم برای دارا بودن افق کلسیک می باشند. خاکرخی ۵ نیز که در ارتفاع ۲۸۳۰ متری از سطح دریا حفر شده بود دارای وضعیت خیس بوده است. توپوگرافی خاص منطقه، زهکشی ضعیف، وجود چشمه ها و آب های سطحی ناشی از ذوب برف شرایط لازم برای ایجاد رژیم رطوبتی آکوئیک را فراهم نموده است. گلی شدن، خروج اکسیدهای آهن از کانی و توزیع آن، تجمع مواد آلی و هوموسی شدن از فرایندهای ژنتیکی مهم در این خاکرخی می باشد. به علت دارا بودن اپی پدون سطحی هیستیک و رژیم رطوبتی آکوئیک رده بندی آن تا سطح زیرگروه به صورت هیستیک کرای اکوئپت^۱ می باشد که بیانگر تأثیر رژیم های رطوبتی و حرارتی با نوع زیرگروه های خاک می باشد.

تأثیر ارتفاع بر نوع کانی های رس خاک

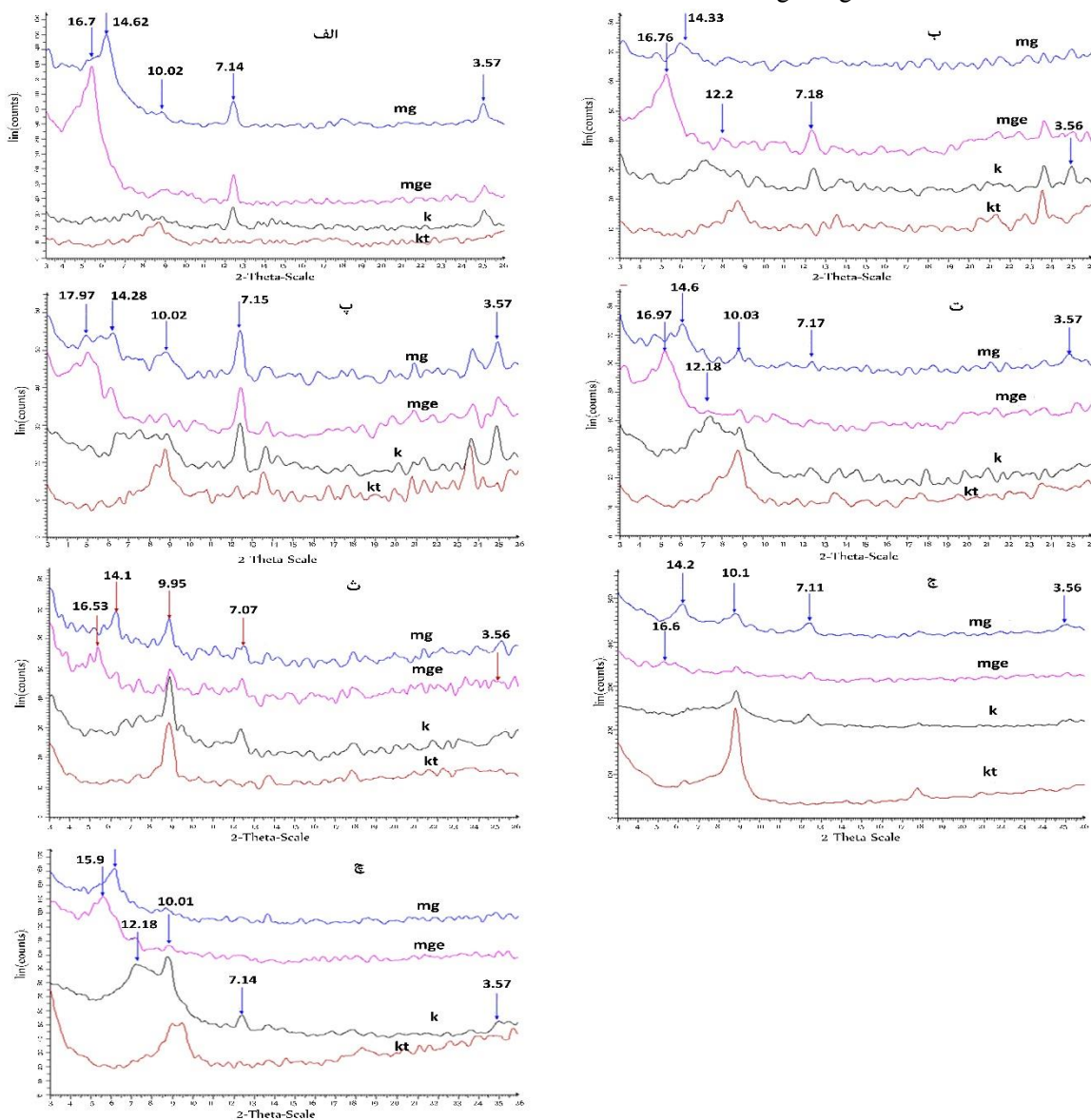
نتایج کانی شناسی خاک های مورد مطالعه در جدول ۳ و شکل ۳ گزارش شده است. بر این اساس اسمکتیت، ایلیت و کائولینیت اجزای اصلی ترکیب کانی های رس منطقه را تشکیل می دهند. در سطوح مختلف ارتفاعی تغییرات منظمی در توزیع کائولینیت

¹ Histic Cryaquepts

جدول ۳- درصد نسبی کانی‌های رس در افق‌های مورد مطالعه

| سطوح ارتفاعی (متر) | خاکرخ | افق* | ترتیب فراوانی کانی‌ها | کلریت (Ch) | ابلیت (I) | اسمکتیت (Sm) | ورمی‌کولیت (ve) | کائولینیت (Ka) |
|--------------------|-------|-------|-----------------------|------------|-----------|--------------|-----------------|----------------|
| ۱۸۰۵ | ۱ | Bk | Sm>Ka>I | - | ۷/۷ | ۷۸/۵ | - | ۱۳/۸ |
| | | Bkss1 | Sm>Ve>ka | - | - | ۴۶/۵ | ۳۱/۸ | ۲۱/۷ |
| ۲۰۷۴ | ۲ | Bk1 | I>Sm>Ka>Ch | ۹/۲ | ۴۳/۴ | ۲۵/۱ | - | ۲۲/۳ |
| ۲۶۲۴ | ۳ | Bk1 | Sm>I>Ka | - | ۳۷ | ۴۸/۴ | - | ۱۴/۶ |
| ۲۸۰۷ | ۴ | Bw1 | I>Ve>Ka>Sm | - | ۴۷/۳ | ۱۲/۳ | ۲۵/۵ | ۱۴/۹ |
| | | Bw2 | I>Ve>Ch | ۷/۴ | ۴۷/۸ | - | ۴۴/۸ | - |
| ۲۸۳۰ | ۵ | Ag | Ve>Sm>I>Ka | - | ۱۲/۵ | ۲۲/۸ | ۵۸ | ۶/۷ |

* حروف بر اساس راهنمای تشریح خاکرخ خاک (Soil Survey Staff, 2014)

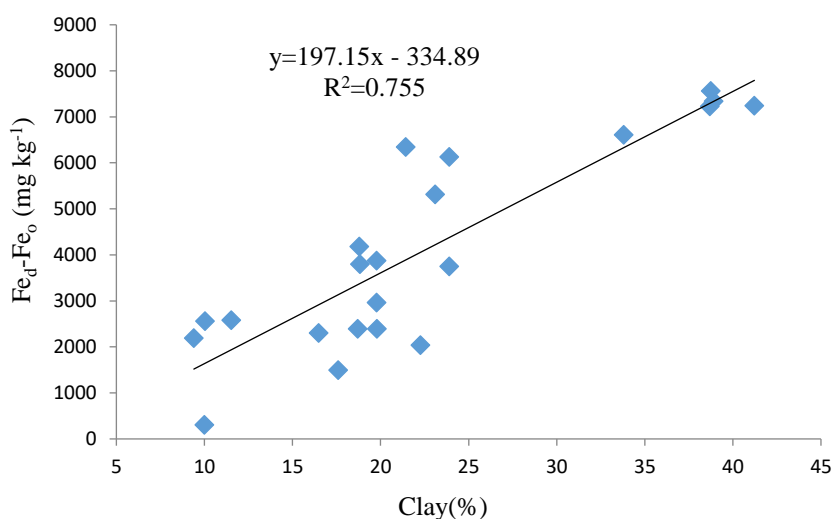


شکل ۳- دیفرکتوگرام‌های پراش پرتو ایکس برخی نمونه‌های رس خاکرخ‌های مطالعه شده: الف) افق Bk خاکرخ ۱، ب) افق Bkss1 خاکرخ ۱، پ) افق Bk1 خاکرخ ۲، ت) افق Bk1 خاکرخ ۳، ث) افق Bw1 خاکرخ ۴، ج) افق Bw2 خاکرخ ۴، چ) افق Ag خاکرخ ۵

تأثیر ارتفاع بر تکامل خاک

شکل‌های مختلف آهن یکی از فاکتورهای مهم در تعیین درجه توسعه و تکامل خاک تحت تأثیر فرایندهای خاکسازي و هوايدگي است. مطابق جداول ۴ و ۵ اکسيدهای آهن پدوژنيک و بی شکل ارتباط نزدیکی با ارتفاع و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مطالعاتی نشان دادند. خاکرخ ۱ در ارتفاع ۱۸۰۵ متری با رده خاک ورتی‌سول دارای مقادیر زیاد رس، کانی اسمکتیت و آهن پدوژنيک می‌باشد ولی خاکرخ ۵ که در ارتفاع ۲۸۳۰ متری واقع شده‌است به‌عنوان رده خاک اینسپتی‌سول دارای مقادیر کم رس و آهن پدوژنيک می‌باشد. در خاکرخ ۵ شرایط هیدرومورفیک و حضور افق سطحی هیستیک با مقدار زیاد ماده آلی تفاوت چشمگیری بر غلظت و نسبت میان شکل‌ها و شاخص‌های آهن در مقایسه با عامل ارتفاع ایجاد کرده‌است. مقدار و توزیع Fe_d-Fe_o و Fe_o/Fe_d تحت شرایط آکوئیک منطقه علاوه بر pH پائین و شرایط احیایی مربوط به هوايدگي کمتر در سطح کانی و همچنین تأخیر در تبلور اکسيدهای آهن در حضور ماده آلی است که باعث شده است تا اکسيدهای آهن نتوانند به‌صورت آزاد در خاک حضور

داشته باشند بلکه به‌وسیله گروه‌های عامل موجود در ماده آلی نگهداری شوند (شوارتزمن و تایلور ۱۹۸۹). نتایج نشان داد که بین Fe_d-Fe_o و Fe_o/Fe_d با ارتفاع یک همبستگی مثبت و منفی به‌ترتیب وجود دارد که دلیل آن وابستگی بالای Fe_d به مقدار رس می‌باشد (شکل ۴ و جدول ۵). این روند افزایش Fe_o/Fe_d و کاهش Fe_d-Fe_o با ارتفاع بیانگر مراحل اولیه هوايدگي و توسعه خاک‌ها است که در آن آزاد سازی آهن از کانی‌های خاک از میزان تشکیل آهن بلوری بیشتر است. با کاهش ارتفاع و افزایش سن و درجه تکامل خاک، میزان ترکیبات پدوژنيک بلورین آهن بیشتر شده و نسبت (Fe_o/Fe_d) که معیاری از اکسيدهای آهن فعال است کاهش یافته است (الن ۲۰۰۵). مقدار این نسبت با افزایش سن خاک و تکامل آن از ۰/۸۵ تا ۰/۱۳ کاهش یافته و می‌تواند شاخص معتبری برای نشان دادن بلوغ خاک باشد. با مقایسه جداول درصد نسبی کانی‌های رس و شکل‌های مختلف آهن مشخص گردید که افزایش ایلیت با کاهش Fe_d و درصد رس همراه است و صحت فرضیه تشکیل اکسيدهای آهن پدوژنيک و رس در نتیجه هوايدگي ایلیت را تأیید می‌کند.



شکل ۴- همبستگی بین آهن پدوژنيک و درصد رس خاک‌های مطالعه شده ($P \leq 0.001$)

جدول ۴- مقدار شکل‌های مختلف آهن در افق‌های خاکرخ‌ها

| Fe _d / Fe _o | Fe _d - Fe _o (mg kg ⁻¹) | Fe _d (mg kg ⁻¹) | Fe _o (mg kg ⁻¹) | عمق (cm) | افق* |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|-------|
| ۰/۱۶۱۴۸ | ۷۲۲۷/۲ | ۸۶۱۹ | ۱۳۹۱/۸ | ۲۴-۰ | Ap |
| ۰/۱۵۱۶۵ | ۷۳۳۵/۶ | ۸۶۴۷ | ۱۳۱۱/۴ | ۴۵-۲۴ | Bk |
| ۰/۱۳۹۷۶ | ۷۲۳۷/۹ | ۸۴۱۳/۹ | ۱۱۷۶ | ۶۷-۴۵ | Bkss1 |
| ۰/۱۴۸۲۹ | ۷۵۵۸ | ۸۸۷۴ | ۱۳۱۶ | ۹۰-۶۷ | Bkss2 |
| ۰/۱۵۰۱۴ | ۶۶۰۵/۴ | ۷۷۷۲/۴ | ۱۱۶۷ | ۱۵۰-۹۰ | Bk' |
| ۰/۱۵۹۲۵ | ۶۳۴۰/۵ | ۷۵۴۱/۵ | ۱۲۰۱ | ۳۰-۰ | Ap |
| ۰/۱۳۱۰۷ | ۶۱۲۵/۲ | ۷۰۴۹/۲ | ۹۲۴ | ۸۴-۳۰ | Bk1 |
| ۰/۳۰۹۳۹ | ۵۳۱۲/۵ | ۷۶۹۲/۵ | ۲۳۸۰ | ۱۳۲-۸۴ | Bk3 |
| ۰/۳۱۸۶۳ | ۴۱۷۸/۴ | ۶۱۳۲/۴ | ۱۹۵۴ | ۱۵۰-۱۳۲ | Bk4 |
| ۰/۳۲۹۳۰ | ۳۷۴۵/۵ | ۵۵۸۴/۵ | ۱۸۳۹ | ۲۶-۰ | A |
| ۰/۱۹۹۰۸ | ۲۵۸۲/۸ | ۳۲۲۴/۸ | ۶۴۲ | ۵۹-۲۶ | Bk1 |
| ۰/۱۱۶۰۱ | ۲۵۶۰/۳ | ۲۸۹۶/۳ | ۳۳۶ | ۱۰۵-۵۹ | Bk2 |
| ۰/۳۶۶۰۳ | ۲۱۸۷/۵ | ۳۴۵۰/۵ | ۱۲۶۳ | ۱۵۰-۱۰۵ | Cr |
| ۰/۲۹۹۹۰ | ۳۸۷۲/۸ | ۵۵۳۱/۸ | ۱۶۵۹ | ۳۰-۰ | A |
| ۰/۳۶۶۲۴ | ۲۹۶۰/۷ | ۴۶۷۱/۷ | ۱۷۱۱ | ۵۰-۳۰ | Bw1 |
| ۰/۲۰۹۵۶ | ۳۷۹۷/۱ | ۴۸۰۵/۱ | ۱۰۰۷ | ۹۰-۵۰ | Bw2 |
| ۰/۳۲۰۰۳ | ۲۳۹۲/۴ | ۳۵۱۸/۴ | ۱۱۳۶ | ۱۰۶-۹۰ | Bw3 |
| ۰/۲۲۵۱۲ | ۲۳۸۷/۷ | ۳۰۸۲/۷ | ۶۹۴ | ۱۴۰-۱۰۶ | Bw4 |
| - | - | - | - | >۱۴۰ | Crt |
| ۰/۸۵۸۳۱ | ۳۰۸/۲ | ۲۱۷۵/۲ | ۱۸۶۷ | ۳۲-۰ | Oi |
| ۰/۷۰۶۴۶ | ۲۰۴۰/۴ | ۳۵۴۴/۴ | ۲۵۰۴ | ۸۰-۳۲ | Ag |
| ۰/۳۹۸۱۳ | ۲۳۰۳/۹ | ۳۸۳۷/۹ | ۱۵۲۴ | ۱۱۰-۸۰ | Bg1 |
| ۰/۵۹۲۱۰ | ۱۴۹۴/۲ | ۳۶۶۳/۲ | ۲۱۶۹ | ۱۵۰-۱۱۰ | Bg2 |

*حروف بر اساس راهنمای تشریح خاکرخ خاک (Soil Survey Staff, 2014)

جدول ۵- ضریب همبستگی بین شکل‌های مختلف آهن و برخی ویژگی‌های خاک و ارتفاع

| | ارتفاع | Clay | Silt | Sand | pH | CCE | OC | CEC | Fe _d | Fe _o | Fe _d -Fe _o |
|----------------------------------|----------|---------|--------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| Fe _d | -۰/۷۸۸** | ۰/۸۵۷** | -۰/۲۰۳ | -۰/۶۳۰** | -۰/۶۷۷** | ۰/۳۸۱ | -۰/۱۶۷ | -۰/۵۴۰** | ۱ | | |
| Fe _o | ۰/۲۵۷ | ۰/۰۵۰ | ۰/۱۰۸ | -۰/۰۰۲ | -۰/۲۱۱ | -۰/۱۷۰ | ۰/۲۲۰ | ۰/۲۶۳ | ۰/۱۴۶ | ۱ | |
| Fe _d -Fe _o | -۰/۹۰۳** | ۰/۸۰۸** | -۰/۲۵۷ | -۰/۵۸۹** | -۰/۷۵۲** | ۰/۴۵۷* | -۰/۲۸۷ | ۰/۴۱۸ | ۰/۹۱۳** | -۰/۱۸۲ | ۱ |
| Fe _o /Fe _d | -۰/۷۷۲** | -۰/۴۶۴* | ۰/۳۸۱ | ۰/۲۴۰ | -۰/۶۴۱** | -۰/۴۵۸** | ۰/۲۴۶** | -۰/۱۱۵ | -۰/۴۹۹* | ۰/۶۸۳** | -۰/۷۵۸** |

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

نتیجه گیری کلی

بندی خاک‌ها ایجاد کرده است. مجموعه این تغییرات باعث ایجاد خاک‌هایی با درجات مختلف توسعه و تکامل در یک ردیف ارتفاعی شده است. بنابراین می‌توان اذعان داشت که تکامل خاک علاوه بر درجه هوادیدگی از لحاظ شیمیایی و حضور کانی‌ها و شکل‌های مختلف آهن، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ریخت-شناسی خاک مانند ضخامت سالوم و افق‌های خاک، درصد رس و غیره را نیز شامل می‌گردد و بدین ترتیب امکان مقایسه بهتری بین تکامل خاک‌های مختلف فراهم خواهد شد.

توجه به ماهیت خاک‌ها و بررسی عوامل موثر در تکامل خاک‌ها پیش شرط هر گونه مداخله هدفمند برای افزایش بهره‌وری در مدیریت پایدار خاک می‌باشد. در منطقه کوهستانی به-دلیل تغییرات زیاد پستی و بلندی، شرایط اقلیمی بسیار متغییر است. افزایش ارتفاع در مقیاس منطقه ای به‌طور مستقیم با مقدار بارش و دما و به‌طور غیرمستقیم با تشکیل خاک مرتبط است. نتایج نشان داد با تغییر ارتفاع، شدت هوادیدگی و نوع فرایندهای خاکسازی تغییر یافته و این عمل تأثیر شدیدی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی، شکل‌های مختلف آهن و رده

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)
- Alamdari P, Jafarzadeh AA, Oustan Sh and Toomanian N, 2010. Iron oxide forms and distribution in a transect of Dasht-e-Tabriz soils, Northwest Iran. Food, Agriculture and Environment Journal, 8(3&4): 976-979.
- Allen CE, 2005. Physical and chemical characteristics of soil forming on Boulder Tops, Kärkevagge, Sweden. Soil Science Society of America Journal. 69: 148-158.
- Anonymous, 2018. Climatic Data. I.r. of Iran Meteorological Organization (IRIMO). Meteorological administration of Ardabil province
- Baldock JA and Nelson PL, 2000. Soil organic matter. Pp. 25 -71. In: Malcomner E. Sumner, Handbook of soil science.
- Banaei MH, 1998. Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran. Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture, Iran.
- Birkeland PW, 1999. Soils and Geomorphology. 3rd ed, Oxford University Press, New York
- Boye A, and Albrecht A, 2004. Soil erodibility control and soil carbon losses under short-term tree fallows in western Kenya. Bull Réseau Eros 23: 123-143
- Brady NC, 1990. The Nature and Properties of Soils, 10nd ed, McMillan Publishing Company.
- Buol SW, Hole FD and Mc Crachen RJ, 2003. Soil Genesis and Classification. Iowa State University Press, Ames.
- Bybordi M, 1999. Soil Genesis and Classification. 8th ed. Tehran University Publications. (In Persian with English abstract)
- 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 (TEM, geochemistry and iron forms) for the assessment of present and past pedogenesis. Quaternary International 156-157: 200-211.
- Dahlgren RA, Boettinger JL, Huntington GL and Amundson RG, 1997. Soil development along an elevational transect in the western Sierra Nevada, California. Geoderma 78: 207-236
- Dolui AK and Bera R, 2001. Relation between iron forms and pedogenic processes in some alfisols of Orissa, India. Agrochimica 45(5): 161-170.
- Gee GW and Bauder JW, 1986. Particle-size Analysis. Pp. 383-411. In: Klute A, (ed). Methods of Soil Analysis. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph 9 (2ed). American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Griffin TS, 2008. Nitrogen availability. Pp. 613-646. In: Schepers JS, Raun WR (eds). Nitrogen in Agricultural Systems. Agronomy Monograph 49. American Society of Agronomy, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Grytnes JA and Beaman JH, 2006. Elevation species richness patterns for vascular plants on Mount Kinabalu, Borneo. Biogeography 33: 1838-1849.

- Hutchins RL, Hill JD and White EH, 1976. The influence of soil and microclimate on vegetation of forested slopes in eastern Kentucky. *Soil Sci* 121: 234-241.
- Jackson ML, 1975. Soil Chemical Analysis-advanced course. University of Wisconsin, College of Agriculture, Department of Soils, Madison, WI
- Kämpf N, Scheinost AC and Schulze DG, 1999. Oxide Minerals. Pp. F125 – F168. In: Sumner ME(ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kittrick JA and Hope EW, 1963. A procedure for particle size separation of soils for x-ray diffraction analysis. *Soil Sci* 96(5): 319-325.
- McKeague JA and Day JH, 1966. Dithionate and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils *Can. Soil Sci* 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.
- Mousavi MH, Mehdizadeh Shahri H and Ghorbani H, 2009. Mineralogy of soils formed on Aghajary formation in Masjed Soleyman and Burge Khajoo province. *Journal Science Islamic Azad University*. 77: 151-172. (In Persian with English abstract)
- Muller RA and Oberlande TM, 1978. *Physical Geography Today. A Portrait of a Planet*, Random House, New York.
- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 539-577. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR, *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*.
- Quideau SA, 2002. Organic matter accumulation. Pp. 1172-1175. In: Rattan L (2ed), *Encyclopedia of Soil Science*. University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Rahmani S, Ebrahimi A and Davoudian A, 2013. Generating a vegetation map in mountainous region of Sabzkouh using a digital elevation model. *Journal of Range and Watershed Management* 66(1): 89-109. (In Persian with English abstract)
- Rezapour S, 2011. Study of climatic effects on soil genesis and clay mineralogy in the Western Azerbaijan Province. PhD Thesis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, IRAN. (In Persian with English abstract)
- Rezaei H, Jafarzadeh AA, Alijanpour A, Shahbay F and Kamran V, 2015. Effect of slope position on soil properties and types along an elevation gradient of Arasbaran Forest, Iran. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information* 5(6): 449-456
- Richards LA, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Handbook 60 USDA, US Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Rode AA, 1984. *Genesis of Soils and Present-Day Processes of Soil Formation*, Moscow, Nauka.
- 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.
- Schwartzman U and Taylor RM, 1989. Iron oxides. Pp. 379-438. In: Dixon JB and Weed SB (eds). *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America. Madison, USA.
- Seybold CA, Grossman RB and Reinsch TG, 2005. Predicting cation exchange capacity for soil survey using linear models. *Soil Science Society of America Journal*. 69: 856-86.
- Shahbazi F, McBratney A, Malone B, Oustan Sh and Minasny B, 2019. Retrospective monitoring of the spatial variability of crystalline iron in soils of the east shore of Urmia Lake, Iran using remotely sensed data and digital maps. *Geoderma* 337: 1196-1207.
- Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service
- Torrent J, Schwertmann U and Schulze DG, 1980. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. *Geoderma* 23: 191-208.
- Thompson ML and Ukrainczyk L, 2002. Micas. Pp. 431-461. In: Dixon JB and Schulze D, (eds). *Soil Mineralogy with Environmental Applications*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Vahidi MJ, Jafarzadeh AA, Oustan Sh, 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 SH 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, 2012. Evolution of soils developed on some igneous rocks in semi-arid region in North-east of Iran. PhD Thesis. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran