



تأثیر جهت‌های شیب متفاوت بر برخی ویژگی‌ها و تکامل خاک‌های جنگلی (مطالعه موردی: رستم‌آباد، استان گیلان)

مسلم زرینی بهادر^{۱*} - کمال نبی‌اللهی^۲ - مهدی نوروزی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۶

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی تأثیر جهت‌های متفاوت شیب بر پیدایش و ویژگی‌های خاک، در خاک‌های جنگلی منطقه رستم‌آباد شمالی در استان گیلان انجام شده است. پنج خاکرخ در دامنه جنوبی تپه با پوشش جنگلی انجیلی - بلوط و پنج خاکرخ در دامنه شمالی تپه با همان پوشش جنگلی با شیب برابر ۴۰ درصد و مواد مادری مشابه آندزیت بازالتی حفر شد. نتایج حاصل از آزمون‌های تجزیه واریانس چند متغیره (MANOVA) و T^2 هتلینگ اختلاف کلی خصوصیات خاک را بین دو جهت شیب متفاوت نشان داد. نتایج آزمون t نشان داد مقدار pH، شن، نسبت شن به رس و فسفر قابل دسترس در شیب جنوبی بیشتر از شیب شمالی بوده است. مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در شیب شمالی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شیب جنوبی می‌باشد. مطالعات میکرومورفولوژیکی نشان داد که فعالیت بیولوژیکی قوی‌تر در شیب شمالی نسبت به شیب جنوبی وجود دارد. بیشتر بودن تجمع رس درون حفرات، قطعات پوشش رسی (پاپیول)، حفرات چمبر، نودول‌ها و ریزلایه‌های اکسید آهن - منگنز در شیب شمالی، و بقایای سنگی بیشتر در شیب جنوبی، همگی از دلایل هوادیدگی بیشتر خاک در شیب شمالی نسبت به شیب جنوبی می‌باشد. بطور کلی شیب جنوبی، دارای خاک‌های با تحول کمتر (انتی سول) و شیب شمالی دارای خاک‌های با تکامل بیشتر (آلفی سول) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیولوژی خاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، میکرومورفولوژی خاک، نودول‌های اکسید آهن - منگنز

مقدمه

به خاک است (۲۵). در مطالعه‌ای توسط بگیوم و همکاران با عنوان تأثیر جهت شیب بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک تفاوت معناداری در اکثر خصوصیات خاک از جمله رطوبت، دما، تنوع و فراوانی جانداران، مقدار مواد آلی، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و پ هاش در دو جهت متفاوت شیب مشاهده شد. در خاک‌های با شیب روبه شمال مقدار کربن آلی، رطوبت، تنوع و فراوانی جانوران خاک بالاتر و پ هاش و دمای کمتری مشاهده گردید. تغییرات ناشی از جهت شیب به واسطه تغییر در ریزاقلیم ایجاد شده است، که باعث تفاوت در تنوع و فراوانی جانوران، رطوبت خاک، دما و تغییرات مواد آلی شده است و در نهایت بر حاصلخیزی و کیفیت خاک تأثیر گذاشته است (۲).

در نواحی مدیترانه‌ای شیب‌های رو به جنوب تشعشعات خورشیدی بالاتری دریافت می‌کند که بر دمای خاک، رطوبت خاک، عناصر غذایی، و فرایندهای خاکدانه سازی تأثیر می‌گذارد که بر نوع پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد. در مقابل شیب‌های رو به شمال به‌طور کلی تشعشعات خورشیدی کمتری دریافت می‌کند و در نتیجه نرخ تبخیر و

تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک به‌طور معنی‌داری توسط بعضی عوامل محیطی مانند اقلیم، ویژگی‌های زمین نما از جمله موقعیت زمین نما، توپوگرافی، درجه و تکامل شیب، مواد مادری، و پوشش گیاهی کنترل می‌شود (۱۱، ۳۰ و ۳۴). توپوگرافی در اکوسیستم‌های جنگلی با تغییر در الگوی بارش بر روی ریزاقلیم‌های محلی، دما و رطوبت نسبی تأثیرگذار است (۴۸ و ۴۹) و به‌طور معنی‌داری بر بافت و مواد آلی خاک، فعالیت جمعیت‌های میکروبی، پویایی و اکولوژی میکروبیوتای خاک تأثیر می‌گذارد (۴۳). تغییرات در زیتوده میکروبی وابسته به ترکیب رطوبت خاک، دما، فعالیت ریشه و بازگشت مواد آلی

۱- دانشجوی دکترای خاکشناسی (پیدایش، رده‌بندی و ارزیابی خاک)، دانشگاه شهرکرد

(*) نویسنده مسئول: (Email: moslem.zarini@ymail.com)

۲- استادیار خاکشناسی (پیدایش، رده‌بندی و ارزیابی خاک)، دانشگاه کردستان

۳- دانشجوی دکتری خاکشناسی (پیدایش، رده‌بندی و ارزیابی خاک)، دانشگاه تبریز

خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک بایستی با تشریح مقاطع نازک خاک کار را شروع کرد، و برای تشریح مقاطع نازک خاک بایستی از فابریک خاک صحبت به میان آورد که عبارت از سازماندهی، طرز قرار گرفتن و طرز عمل اجزاء تشکیل دهنده خاک نسبت به همدیگر است. هدف از مطالعات میکرومورفولوژی خاک، شناسایی اجزای مختلف تشکیل دهنده خاک و همچنین شناسایی روابط بین این اجزاء و یا به عبارت دیگر طرز قرار گرفتن ذرات خاک نسبت به هم در فضا و در طول زمان است (۴۲). به طور مثال با تشریح اجزای معدنی درشت خاک به منشأ خاک (جنس سنگ مادر)، میزان تخریب در مواد مادری، فرایندهای پدوژنیک در خاک چه مربوط به حال و چه گذشته و حتی به ذخیره بالقوه عناصر غذایی در خاک می‌توان پی برد. خرمالی و شمسی (۲۰) با مطالعه جنگل‌های طبیعی و مصنوعی تحت پوشش جنگلی بلوط حوزه قهان در استان گلستان به این نتیجه رسیدند که خاک‌های جنگل طبیعی دارای تحول بهتر بوده که این عامل به نوع مواد مادری آن‌ها (لُس) مربوط می‌شود. مطالعات میکرومورفولوژیک آن‌ها ریز ساختمان دانه‌ای و متخلخل، حفرات کانال و پوسته رسی را در این خاک‌ها نشان داد. مطالعات فراوانی بر روی خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک‌های جنگلی و مرتعی انجام گرفته است که در این میان می‌توان به مطالعات بیرکلند (۳) اشاره کرد که شش خصوصیت خاک شامل احیا شدن، روشنایی رنگ (ولیو)، بافت کل، پوسته‌های رسی، ساختمان خاک و رنگ ماتل در طول خاکرخ را به عنوان شاخص‌های تکامل خاک ارزیابی کرده است. همچنین دیویدسون و همکاران (۱۳)، با استفاده از تکنیک‌های میکرومورفولوژی به مطالعه اثر جانوران خاک بر روی خصوصیات خاک در پوشش علفزار پرداختند. آنان ۸ نوع عوارض فضولات جانوری را گزارش نموده و بیان داشتند که اغلب این فضولات مربوط به کرم خاکی است در حالی که فضولات کنه خاکی به مقدار کم و تنها در افق‌های سطحی خاک مشاهده گردید.

از آنجایی که پژوهش در زمینه خاک‌های اراضی جنگلی شمال ایران یک ضرورت بسیار مهم به‌خصوص برای برنامه‌ریزی‌های آینده محسوب می‌شود، تحقیق حاضر به منظور مطالعه تأثیر جهت شیب بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکرومورفولوژیکی خاک و در کل تأثیر بر پیدایش خاک‌های متفاوت در منطقه رستم آباد شمالی در استان گیلان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تشریح منطقه مورد مطالعه

این مطالعه روی دو جهت شیب متفاوت شمالی و جنوبی با پوشش جنگلی انجیلی-بلوط از حوزه رشته رود رستم آباد شمالی انجام شد. درختان انجیلی، درختی برگ ریز با نام علمی *Parrotia*

تعرق کمتری نسبت به شیب جنوبی دارد (۲۳، ۲۷ و ۳۴). در مطالعه تأثیر جهت شیب بر خصوصیات خاک بایستی به تأثیر مستقیم جهت شیب بر مقدار ذخیره و نگهداشت آب در خاک اشاره نمود به طوری که در مطالعه جری آمده است (۱۶) که در شیب شمالی نسبت به شیب جنوبی مقدار ۲۵ درصد نگه داشت آب بیشتر بوده است که این اثر جهت شیب در نگه داشتن آب در خاک در شیب شمالی باعث افزایش ضخامت و عمق خاک در منطقه‌ای با خاک‌های جنگلی در منطقه‌ای بویس آیداهو امریکا شده است و در نهایت باعث افزایش تخلخل خاک، افزایش مقدار ماده آلی و افزایش مقدار سیلت در شیب شمالی نسبت به شیب جنوبی شده است. البته نگهداشت آب در خاک در درجه اول به بافت خاک، و همچنین مقدار دریافت انرژی خورشیدی بستگی دارد. در مطالعه‌ای دیگر تأثیرات آنی جهت شیب باعث ذوب برف و افزایش تبخیر و تعرق شده است که باعث تأثیرات مهم‌تر، از جمله تأثیر بر مقدار عمق خاک و نوع پوشش گیاهی و نهایتاً نگهداشت آب شده است (۷). همچنین تأثیر جهت‌های شیب متفاوت بر عمق خاک (۲۱، ۴۰ و ۴۶) و تأثیر جهت‌های شیب متفاوت بر هدایت هیدرولیکی متفاوت آب در خاک (۹) اثبات شده است. در مطالعه‌ای دیگر بر روی خاک‌های لُسی در چین در دو جهت متفاوت شمالی و جنوبی تفاوت در خصوصیات شیمیایی و میکروبیولوژیکی نشان داده است که به مقدار زیادی تفاوت در این ویژگی‌های خاک متأثر از بارش و دمای متفاوت هستند. همچنین این مطالعات نشان داده است که مقدار فسفر قابل دسترس در شیب جنوبی به طور معنی داری بیشتر از شیب شمالی بوده است، اما نیتروژن کل و مقدار کربن آلی در شیب شمالی بیشتر از شیب جنوبی بوده است (۵۰). تجمع مواد آلی خاک در شیب‌های رو به شمال ناشی از کاهش تجزیه مواد آلی و همچنین افزایش تولید اولیه مواد آلی بوده است. همچنین جهت شیب به طور معنی داری بر مقدار میانگین بارش و دمای سالانه، دما و رطوبت خاک، مواد آلی خاک، معدنی شدن نیتروژن، آمونیوم قابل عصاره گیری، دنیتریفیکاسیون، و فعالیت‌های میکروبی تأثیرگذار بوده است (۱۷). در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شده است که در شیب‌های جنوبی که گرم‌تر هستند با افزایش میزان تجزیه مواد آلی مقدار تولید CO_2 افزایش یافته است (۲۲). در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد که میانگین دمای سالانه در شیب‌های جنوبی بیشتر از شیب‌های شمالی است و میانگین بارش سالانه در شیب‌های شمالی بیشتر از شیب‌های جنوبی است. همچنین در این مطالعه تأثیر جهت شیب روی بیومس برگی در نواحی کوهستانی ژاپن نشان داده شده است که مقدار بیومس برگی در شیب‌های رو به شمال بیشتر از شیب‌های روبه جنوب بوده است (۴۵).

میکرومورفولوژی ابزار مهمی برای بررسی تکامل خاک، طبقه‌بندی و مدیریت آن محسوب می‌شود. به منظور بررسی

آبرفتی و بادرفتی دیده می‌شود که نهشته‌های آبرفتی جدیدتر بوده و به تراس‌های رودخانه‌ای معروف است (۱۲). از آنجایی که هر دو جهت شیب مورد مقایسه، دارای شرایط مشابهی از لحاظ اقلیم، درصد شیب، ارتفاع از سطح دریا، و مواد مادری می‌باشند، بنابراین جهات متفاوت شیب می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل تمایز خاک‌های این ناحیه باشد.

نمونه‌برداری

پس از مشخص نمودن دامنه‌های شمالی و جنوبی در منطقه روی جهت‌های شیب متفاوت به صورت منظم در پنج نقطه (تکرار) اقدام به حفر خاکرخ گردید، به این صورت که ۴ خاکرخ در ۴ رأس مربع به ابعاد ۱۲۰ متر و یک خاکرخ در مرکز مربع مورد نظر حفر شد (شکل ۱). اطلاعات مورفولوژی خاکرخ‌های مرکزی در دو جهت شیب بر اساس کتاب تشریح خاکرخ (۳۹) تهیه شد. جدول ۱ خصوصیات مورفولوژیکی خاکرخ‌های مرکزی را در هر دو جهت متفاوت شیب نشان می‌دهد. خاک‌های منطقه در شیب جنوبی در گروه بزرگ Udorthents، و در شیب شمالی در گروه بزرگ Hapludalfs طبقه بندی شدند (۴۱).

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

نمونه‌برداری از افق‌های مشخصه در تمام خاکرخ‌ها انجام شد و پس از هواخشک شدن، آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر (۱۵)، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه (۸)، pH، به نسبت ۱:۱ آب به خاک (۴۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات آمونیوم در pH=۷ (۴۳)، مقدار کربن آلی (OC) خاک با استفاده از روش والکلی و بلک (۳۳)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۵) و مقدار فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن (۲۶) اندازه‌گیری شد.

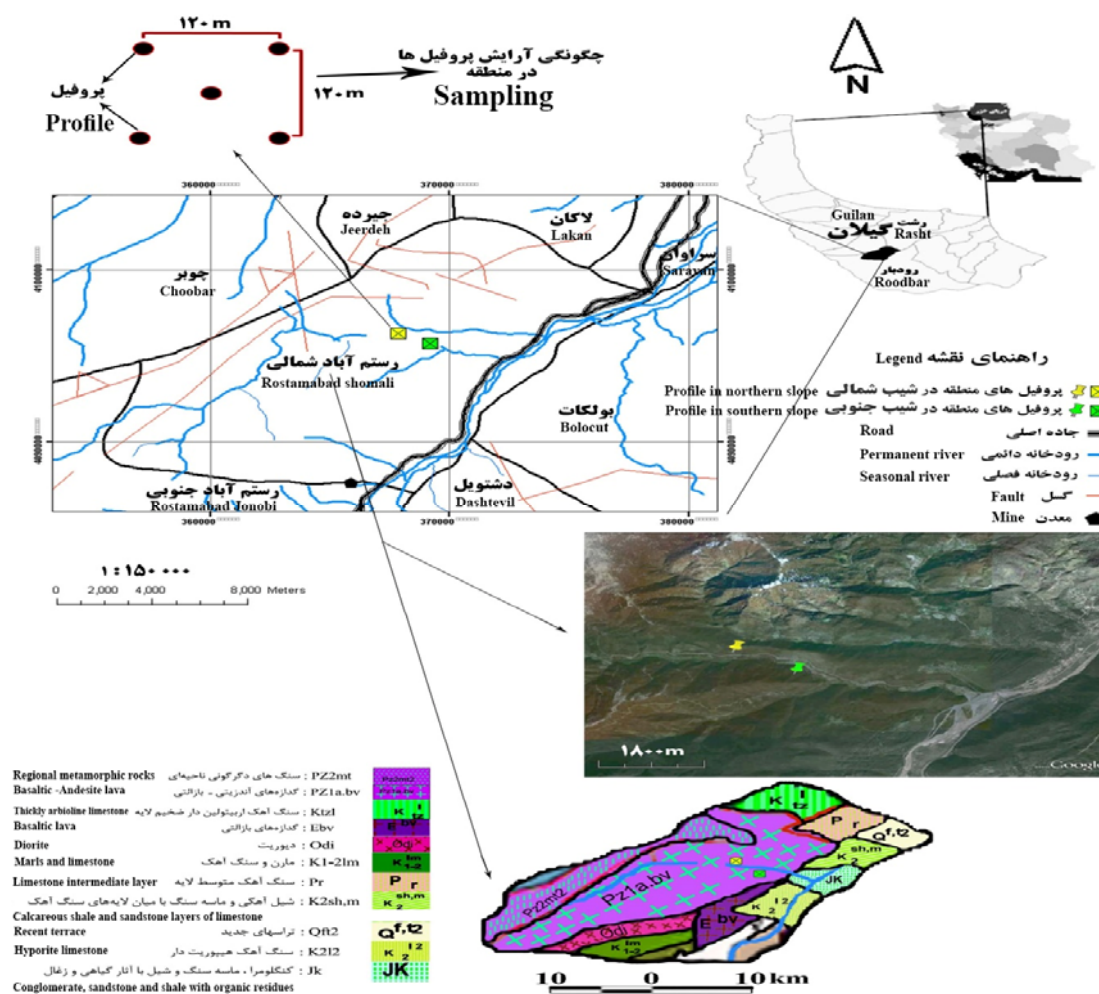
مطالعات میکرومورفولوژی

به منظور مطالعات میکرومورفولوژی، نمونه‌های دست نخورده بصورت کلوخه‌های بزرگ (با مشخص نمودن جهت‌های آن‌ها) برداشته شد. از روش ارایه شده توسط مورفی (۳۲) برای تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی استفاده شد. بررسی میکرومورفولوژیکی خاک‌ها در مقاطع نازک با میکروسکوپ پولاریزان در دو حالت نور پولاریزه عادی (PPL) و نور پولاریزه متقاطع (XPL) صورت گرفت. از راهنمای تشریح میکرومورفولوژیکی بولاک و همکاران (۸) و استوپس (۴۳) برای تشریح مقاطع استفاده شد.

persica از تیره Hamamelidaceae بوده که در مناطق کم ارتفاع جنگل‌های شمال حداکثر تا ارتفاع ۱۵۰۰ متر دیده می‌شود که به نام‌های مختلف از قبیل انجیلی، آسوندار و دمیرآجایی نیز شناخته می‌شود (۱۸). این گونه جنگلی به دلیل داشتن چوب بسیار سخت "چوب آهن" یا Iron wood نامیده می‌شود. به راحتی زادآوری می‌کند و به صورت دانه زاد، شاخه زاد و پاجوش گسترش می‌یابد. خاستگاه رویشی آن جنگل‌های هیرکانی شمال ایران بوده که به واسطه مصون ماندن از یخبندان دوره سوم زمین شناسی برجامانده و در سایر نقاط در اثر یخبندان عمومی زمین از بین رفته است و بومی ایران است. این گونه بیشتر در نواحی جلگه‌ای و نواحی میان‌بند جنگلی دیده می‌شود البته شرایط مطلوب برای رشد درخت محیط‌های مرطوب و دور از سرمای شدید، در خاک‌های غنی و اسیدی است. از لحاظ سیستم ریشه‌ای دارای ریشه‌های افشان می‌باشد (۳۷).

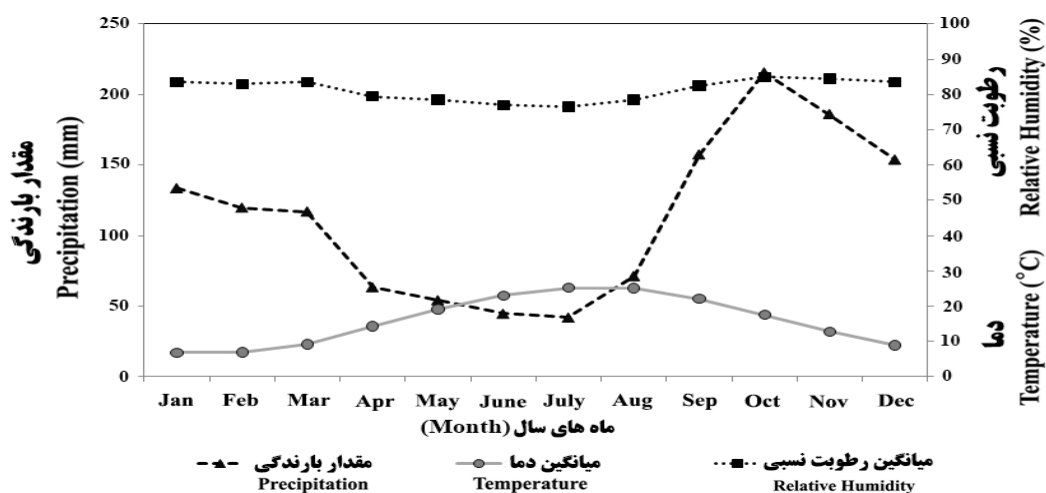
گونه بلوط با نام علمی *Quercus castaneifolia* از مهم‌ترین گونه‌های صنعتی است که خاص شمال ایران (منطقه خزری) است. به‌طوری که ۶/۶ درصد از سطح جنگل‌های شمال و از لحاظ حجم تقریباً ۸/۰۱ درصد از حجم چوبی و از لحاظ تعداد ۷/۶۵ درصد درختان جنگل‌های شمال را به خود اختصاص می‌دهد (۳۶). این گونه به دلیل داشتن دامنه اکولوژیک گسترده و سازگاری مناسب با شرایط اقلیمی و خاکی بسیاری از مناطق خزری و همچنین با توجه به ارزش بالایی اقتصادی و زیست محیطی آن به عنوان یکی از بهترین گونه‌های بومی برای احیای مناطق مخروبه محسوب می‌شود (۳۶).

محدوده مورد مطالعه با وسعت تقریبی ۱۴۰۰۰ مترمربع برای هر جهت شیب، در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان رشت قرار دارد. دامنه با شیب جنوبی با ارتفاع متوسط ۲۴۰ متر از سطح دریا در طول جغرافیایی ۳۶۹۲۰۵ تا ۳۶۹۳۲۵ مترشرقی و عرض جغرافیایی ۴۰۹۵۸۳۰ تا ۴۰۹۵۹۵۰ متر شمالی (در سیستم UTM) و دامنه با شیب شمالی با ارتفاع متوسط ۲۴۰ متر از سطح دریا در طول جغرافیایی ۳۶۷۸۰۵ تا ۳۶۷۹۲۵ متر و عرض جغرافیایی ۴۰۹۶۲۰۵ تا ۴۰۹۶۳۲۵ متر (در سیستم UTM) قرار دارد (شکل ۱). واحد فیزیوگرافی منطقه کوهستان، و شیب متوسط در هر دو منطقه حدود ۴۰ درصد بوده است. اطلاعات اقلیمی منطقه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه سینوپتیک رشت) دریافت شد (شکل ۲). بر این اساس میانگین مقدار بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۱۳۵۹ میلی‌متر و ۱۶ درجه سلسیوس است. میانگین رطوبت نسبی نیز ۸۱/۳ درصد بوده است. منطقه مورد مطالعه دارای رژیم رطوبتی یودیک و رژیم حرارتی گرمیک می‌باشد. مواد مادری خاک‌های منطقه رستم آباد شمالی از سنگ‌های ولکانیکی از جنس آندزیت بازالتی تشکیل شده است که سن سازندهای زمین شناسی منطقه مربوط به دوران سوم زمین شناسی (ترشیاری) می‌باشد. در بخش‌هایی از منطقه نهشته‌های



شکل ۱- موقعیت و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در رستم آباد شمالی استان گیلان

Figure 1- Location and geology map of the study area in Northern Rostam Aabad regions in Guilan Province



شکل ۲- اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه شامل میانگین دما، مقدار بارندگی و میانگین رطوبت نسبی

Figure 2- Climate information of study area contains temperature mean, precipitation content and relative humidity mean

جدول ۱- اطلاعات مورفولوژیکی خاکرخی مرکزی در جهت های شمالی و جنوبی

Table 1- Morphological information of central soil profile in northern and southern aspects

Table 1 Morphological information of central soil profile in northern and southern aspects										
افق Horizon	عمق Depth (cm)	بانداری ^۱ Boundary	رنگ خاک		ساختمان ^۲ Structure	بافت ^۳ Texture	پایداری ^۴ Consistence		پوسته رسی ^۵ Clay coating	ریشه ^۶ Root
			Soil color				مرطوب Moist	خیس Wet		
			خشک Dry							
خاکرخ مرکزی در جهت شیب شمالی، گروه بزرگ Hapludalfs										
Central soil profile in northern aspect, great group Hapludalfs										
A	0-15	gs	7.5YR5/3	7.5YR4/3	3cgr	CL	fr	ss/ps	-	3f
AB	15-40	cs	7.5YR6/3	7.5YR4/2	2msbk	CL	fi	ss/p	-	2f
Bt	40-90	cw	7.5YR4/4	7.5YR3/2	2sbk	C	vfi	s/p	2mk	-
C	+90	-	-	-	m	-	-	-	-	-
خاکرخ مرکزی در جهت شیب جنوبی، گروه بزرگ Udorthents										
Central soil profile in southern aspect, great group Udorthents										
A	0-20	aw	10YR6/5	10YR4/3	3cgr	L	fr	ss/ps	-	3m
Cr	20-45	gw	10YR5/4	10YR4/3	m		fr-fi	ss/ps	-	-
R	+45	-	-	-	-	-	-	-	-	-

^۱ -a ناگهانی، c- مشخص، g- تدریجی، w= موجی، s- صاف؛ ^۲ -نسبتاً قوی؛ ^۳ -قوی، c- درشت، f-ریز، m- متوسط؛ gr- دانه‌ای، abk- مکعبی گوشه‌دار، sbk- مکعبی لبه مدور، m- توده‌ای. ^۴ -CL- لوم رسی، C- رسی، L- لومی، ^۵ -fr- شکننده، fi- سفت؛ vfi- خیلی سفت، ss- کمی چسبنده، s- چسبنده، ps- کمی شکل‌پذیر، p- شکل‌پذیر. ^۶ -

نسبتاً زیاد، mk- نسبتاً ضخیم، ^۲ -معمول، ^۳ -زیاد، f-ریز، m- متوسط

gr-granular, abk-^۱a-abrupt, c-clear, g-gradual, w-wavy, s-smooth, ^۲ 2- moderately strong 3-strong, c-coarse, f-fine, m-medium angular blocky, sbk-subangular blocky, m- massive. ^۳ cl-clay loam, c-clay, L-loam, ^۴ fr-fragile, fi-firm, vfi-very firm, ss- slightly sticky, ps- slightly plastic, p-plastic, ^۵ 2- moderately high, mk- moderately thick, ^۶ 2-medium, 3- high, f-fine, m-medium

نتایج

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ مرکزی در جهت شیب شمالی و جنوبی در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که به علت شیب‌دار بودن منطقه خاک‌ها دارای عمق زیادی نیستند که البته این وضعیت در خاکرخ شیب جنوبی به‌خوبی مشهود است. مقدار رس در خاکرخ شیب شمالی بیشتر از شیب جنوبی بوده و بیشترین مقدار آن نیز در افق Bt است. درصد تخلخل در دو جهت شیب به علت پوشش جنگلی منطقه تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد. مقدار جرم مخصوص ظاهری در کل خاکرخ در دو جهت شیب با افزایش عمق افزایش می‌یابد. مقدار pH در خاکرخ جهت جنوبی در افق سطحی بالاتر از جهت شمالی است. مقدار کربن آلی و نیتروژن با افزایش عمق کاهش می‌یابد و در خاکرخ جهت شمالی بیشتر از خاکرخ جنوبی بوده است. مقدار فسفر قابل دسترس نیز یک روند کاهشی را با افزایش عمق در هر دو جهت شیب نشان می‌دهد. مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی نیز در خاکرخ جهت شمالی اندکی بیشتر از خاکرخ جهت جنوبی است (جدول‌های ۲ و ۳).

مطالعات آماری

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی چند مشاهده‌ای با پنج تکرار اجرا شده است. تعداد ۳۴ نمونه خاک در دو جهت شیب از کل نیمرخ ها جمع آوری شد و تمام نمونه‌ها مورد آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. از آنجایی که تنها دو گروه (جهت شیب) در تجزیه واریانس مورد مقایسه قرار می‌گیرند، آزمون F و t معادل خواهند بود. در ابتدا به منظور مقایسه کلی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، با ارتکاب حداقل اشتباه نوع I از روش‌های آماری چند متغیره (MANOVA) مانند آزمون T^2 هتلینگ (که در واقع حالت بسط یافته آزمون t است) استفاده شد. روش T^2 هتلینگ در واقع چند جامعه را از نظر چند صفت بررسی می‌کند. شرط انجام این روش این است که داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند. بنابراین نرمال سازی داده‌ها انجام شد. در ادامه دو جهت متفاوت شیب از لحاظ تک تک صفات، مورد بررسی قرار گرفتند و صفاتی که بیشترین نقش را در ایجاد اختلاف معنی‌دار بین دو جهت شیب دارا بودند و صفاتی که جهت شیب تأثیر بیشتری روی آنها داشته است تعیین شدند. تجزیه‌های آماری پس از جمع آوری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ مرکزی در جهت شیب شمالی

Table 2- Physical and chemical characteristics of central soil profile in northern aspects

Physical characteristics خصوصیات فیزیکی							
افق Horizon	عمق Depth (cm)	شن Sand	سیلت Silt (%)	رس Clay	تخلخل Porosity (%)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g.cm ⁻³)	جرم مخصوص حقیقی Partial density
A	0-15	32.3	35.46	32.24	35.43	1.21	2.23
AB	15-40	27.93	36.57	35.5	31.86	1.36	2.26
Bt	40-90	28.1	24.82	47.08	38.56	1.47	2.24
C	+90	-	-	-	-	-	-
Chemical characteristics خصوصیات شیمیایی							
افق Horizon	عمق Depth (cm)	pH	کربن آلی OC	نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Ava P (mg.kg ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (Cmol.kg ⁻¹)	
A	0-15	6.09	5.148	0.27	2.29	37.19	
AB	15-40	5.95	2.788	0.181	1.25	33.92	
Bt	40-90	5.66	1.053	0.081	0.95	35.87	
C	+90	-	-	-	-	-	

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ مرکزی در جهت شیب جنوبی

Table 3- Physical and chemical characteristics of central soil profile in southern aspects

Physical characteristicsخصوصیات فیزیکی							
افق Horizon	عمق Depth (cm)	شن	سیلت	رس	تخلخل	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی
		Sand	Silt	Clay	Porosity	Bulk density	Partial density
		(%)				(%)	(g.cm ⁻³)
A	0-20	43.66	31.3	25.04	34.55	1.25	2.24
Cr	20-45	54.5	23.35	22.15	36.5	1.45	2.27
R	+45	-	-	-	-	-	-
Chemical characteristicsخصوصیات شیمیایی							
افق Horizon	عمق Depth (cm)	pH	کربن آلی	نیترژن کل	فسفر قابل دسترس	ظرفیت تبادل کاتیونی	
			OC	Total N	Ava P	CEC	
			(%)				(mg.kg ⁻¹)
A	0-20	6.29	2.65	0.195	3.65	25.20	
Cr	20-45	5.95	0.2	0.04	0.8	18.12	
R	+45	-	-	-	-	-	

ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری بین خاک‌های دو جهت شیب متفاوت وجود دارد (ستون $Pr > F$ در جدول ۴ این امر را نشان می‌دهد). کمیت‌های مربوط به این آزمون عبارتند از:

$$T^2 = +34/28823614 \quad F = + 8/0678$$

برای اطمینان از وجود تفاوت‌ها در دو جهت شیب متفاوت از آزمون تجزیه واریانس چند متغیره آماری و T^2 هتلینگ استفاده شد. این آزمون‌ها به منظور بررسی اختلاف کلی بین دو جهت شیب متفاوت از لحاظ تمامی ویژگی‌های خاک انجام شد. این تجزیه‌ها نشان دادند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ از نظر مجموعه

جدول ۴- تجزیه واریانس چندمتغیره بین دو جهت شیب متفاوت از لحاظ کلیه خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک‌ها

Table 4- Multivariable analysis of variance between different aspects contact with measured ofentire properties

Statistical test	Value	F	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lammda	0.02833806	8.0678	17	4	0.0281
Pillai's Trace	0.97166194	8.0678	17	4	0.0281
Hottelling-Lawley Trace	34.28823614	8.0678	17	4	0.0281
Roy's Greatest Root	34.28823614	8.0678	17	4	0.0281

به منظور بررسی شفاف‌تر اختلاف بین دو جهت شیب متفاوت، مقایسه میانگین برای تک تک صفات انجام شد و نتایج آزمون t برای مقایسه خصوصیات اندازه‌گیری شده در کل خاکرخ، در جدول ۵ ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد اختلاف میانگین‌ها در دو جهت شیب متفاوت از لحاظ pH، درصد رس، نسبت شن به رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در سطح احتمال ۰/۰۱ و برای درصد شن، درصد تخلخل و فسفر قابل جذب در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود (جدول ۵). در حالی که برای جرم مخصوص ظاهری، درصد کربن آلی، درصد

نیتروژن کل و درصد سیلت اختلاف معنی‌داری در کل خاکرخ مشاهده نشد (جدول ۵). علامت منفی مقادیر t برای برخی از خصوصیات نشانگر میانگین بیشتر آن خصوصیات در جهت شیب شمالی نسبت به جهت شیب جنوبی است و علامت مثبت مقادیر t حالت عکس را نشان می‌دهد. نتایج آزمون t همچنین نشان داد که مقدار pH، درصد شن، نسبت شن به رس و فسفر قابل جذب در شیب جنوبی بیشتر از شیب شمالی بود در حالی که درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در شیب شمالی بیشتر از شیب جنوبی بود (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج آزمون t برای مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو جهت متفاوت شیب
Table 5- Results of t test to comparison soil physical and chemical characteristics in two different aspects

ردیف	ویژگی اندازه‌گیری شده Characteristics measured	میانگین Mean		واریانس Variance		t	حدود اطمینان برای اختلاف میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ confidence intervals of mean differences for 0.05 significant level
		شیب شمالی Northern slope	شیب جنوبی Southern slope	شیب شمالی Northern slope	شیب جنوبی Southern slope		
1	درصد شن Sand (%)	35.72	44.9	68.44	39.48	2.592*	9.1733±7.381
2	درصد سیلت Silt (%)	27.66	31.185	72.32	2.89	1.435 ^{ns}	3.519±1.133
3	درصد رس Clay (%)	36.54	24.1	40.27	3.169	-4.400**	-۱۲/۴۴۰ ± 5.897
4	نسبت شن به رس Sand/Silt	0.986	2.081	0.134	1.262	3.479**	1.0963±0.656
5	درصد تخلخل Porosity (%)	31.98	35.23	8.5302	4.5974	2.615*	3.2445±2.588
6	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	1.23	1.28	0.0063	0.0014	1.741 ^{ns}	0.0558±0.0067
7	جرم مخصوص حقیقی Partial density	2.25	2.24	0.0018	0.0012	1.11 ^{ns}	0.0348±0.0019
8	pH	5.73	6.27	0.0545	0.0267	5.433**	0.5347±0.205
9	درصد کربن آلی OC (%)	2.921	2.421	2.369	3.276	1.053 ^{ns}	0.7835±0.552
10	درصد نیتروژن کل Total N (%)	0.184	0.19	0.0071	0.0779	1.202 ^{ns}	0.04554±0.008
11	فسفر قابل جذب Ava P	1.414	2.754	0.4074	1.5896	2.657*	1.34±1.177
12	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	35.376	31.685	2.26	8.32	-3.991**	-3.6903±1.928

*، ** و ^{ns} به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و اختلاف غیر معنی‌دار را نشان می‌دهند.
***، ns significant difference in 1% and 5% and nonsignificance difference respectively

مطالعات میکرومورفولوژیکی در خاکرخ‌های دو جهت شیب شمالی و جنوبی نشان داد که خاکدانه‌ها از دانه‌ای قوی (در افق‌های سطحی A) تا مکعبی بدون گوشه متوسط (در افق B) است (شکل‌های ۳-ت، ۳-ج و ۴-ح) و دارای درجه وضوح بالایی است. در افق‌های زیر سطحی خاکدانه‌ها عمدتاً تشکیل نشده و یا از درجه

وضوح پایینی برخوردارند. بقایای ریشه همراه با فضولات داخل آن‌ها در اکثر افق‌های سطحی (افق A) شیب شمالی مشاهده شد (شکل ۴-الف و ۴-ب). حفرات کانال، چمبر و واگ به وفور در هر دو جهت شیب (در اکثر افق‌ها) مشاهده شدند (شکل‌های ۳-ت، ۳-د، ۴-ج و ۴-ح). بقایای ریشه (هم به صورت مقطع طولی و هم به صورت

برای جرم مخصوص ظاهری خاک در خاک‌رخی‌های خاک در دو جهت شیب متفاوت اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. البته با افزایش عمق خاک از سطح به لایه‌های پایین‌تر جرم مخصوص ظاهری به واسطه ی کاهش مواد آلی افزایش یافته است. ظرفیت تبادل کاتیونی در شیب شمالی بیشتر از شیب جنوبی بود. دو عامل رس و ماده آلی نقش مهمی در ظرفیت تبادل کاتیونی دارد. تغییرات و ذخیره ماده آلی خاک در هر زمان به مقدار و سرعت ورود آن به خاک بستگی داشته که از طریق بخش‌های هوایی و زیرزمینی پوشش گیاهی تأمین می‌شود که در شیب‌های شمالی نسبت به شیب‌های جنوبی بیشتر است (۵۰). مقدار کربن آلی و نیتروژن کل هم در افق A و هم در کل خاک‌رخی در دو جهت شیب اختلاف معنی‌داری را نشان نداد که این امر می‌تواند به علت پوشش جنگلی یکسان (پوشش جنگلی مخلوط بلوط-انجیلی) در منطقه باشد. البته مقدار کربن آلی در افق‌های سطحی شیب شمالی بیشتر از شیب جنوبی می‌باشد ولی بطور کلی در کل خاک‌رخی (در کلیه افق‌ها) این اختلافات از نظر آماری معنی‌دار نشده است. همچنین مقدار کربن آلی از افق‌های سطحی به افق‌های زیری کاهش یافته است. این امر نشان می‌دهد که انباشته شدن ماده آلی به خاک دارای یک حالت تعادلی است (۳۸). هرچند مقدار کربن آلی تفاوت معنی‌داری را بین دو جهت شیب نشان نداد اما مقدار رس بیشتر در شیب شمالی نسبت به شیب جنوبی باعث افزایش مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی شده است. هاگن-تورن و همکاران (۱۹) نیز در مطالعه خود اختلاف معنی‌داری در عناصر کربن و نیتروژن در جهت‌های شیب متفاوت مشاهده نکردند که این عامل را به بارندگی بالا در منطقه نسبت دادند. تغییرات نیتروژن کل به مقدار زیادی در ارتباط با تغییرات ماده آلی می‌باشد. عناصر غذایی آزاد شده از تجزیه لاشبرگ برای تولید پیوسته اکوسیستم مهم می‌باشند (۳۵). مقدار فسفر در شیب جنوبی هم در افق سطحی و هم در کل خاک‌رخی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شیب شمالی است. فیشر و بینکلی (۱۳) گزارش کردند، افزایش pH خاک می‌تواند موجب افزایش فسفر قابل جذب خاک شود و در pHهای نزدیک به خنثی مقدار آن بیشتر از pHهای اسیدی‌تر است.

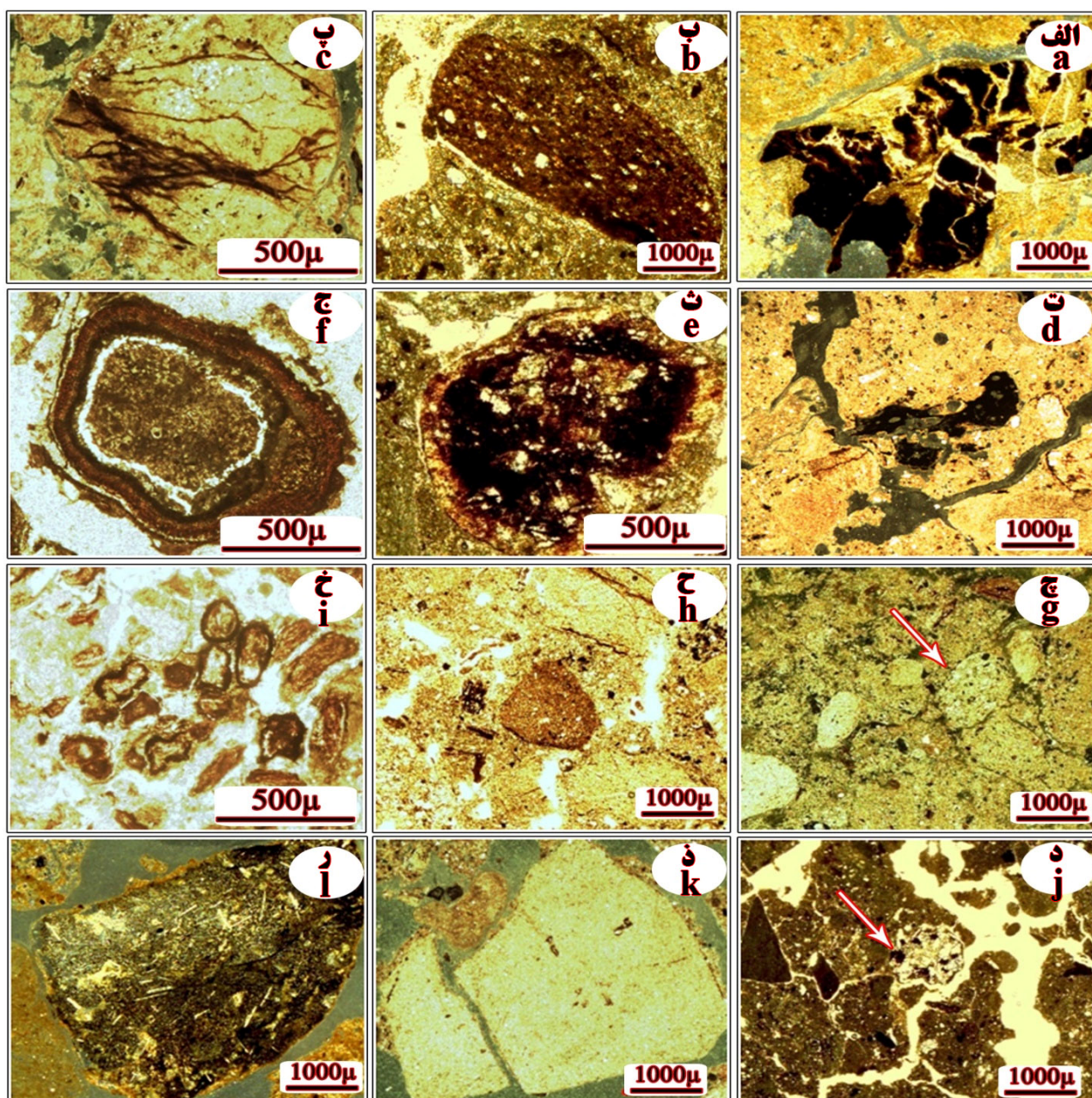
نتایج مطالعات میکرومورفولوژیکی نیز نشان داد که حفرات کانال، چمبر و واگ به مقدار فراوانی در هر دو جهت شیب مشاهده شد. بخشی از حفرات چمبر را می‌توان به فعالیت فون خاک (سوسک‌های فضولات خوار و هزارپا) نسبت داد (۲۴)، که به مقدار فراوانی در هنگام نمونه‌برداری مشاهده شدند. مطالعات میکرومورفولوژیکی افق‌های سطحی خاک‌رخی‌ها نشان داد که خاکدانه‌ها از دانه‌ای قوی تا مکعبی بدون گوشه متوسط است. درجه وضوح بالای خاکدانه‌ها ناشی از طبیعی بودن منطقه جنگلی، دور بودن از مسیر راه‌ها و شیب زیاد منطقه است که مانع عبور و مرور و تخریب ساختمان و خاکدانه‌ها می‌شود.

مقطع عرضی و اندام‌های گیاهی در هر دو جهت شیب مشاهده شدند (شکل‌های ۳-ج، ۳-خ و ۴-ت). مواد آلی بی شکل (آمورف) تک قطعه و چند قطعه و سودومورف‌های آلی به وفور در هر دو جهت شیب مشاهده شدند (شکل ۳-الف). پیگمانت‌های آلی نیز در افق‌های سطحی و زیر سطحی در هر دو جهت شیب مشاهده شد (شکل ۳-د). در شیب شمالی فضولات بیضوی و کروی جانوران خاک درون بقایای ریشه مشاهده شد که رنگ این فضولات قهوه‌ای مایل به قرمز بود (شکل ۴-ب). در افق‌های تحتانی تعدادی خاک‌رخی‌ها در شیب شمالی بی فابریک گرانواستریت مشاهده شد (شکل ۴-ج). بقایای سنگی (لیتورلیت) به وفور در شیب جنوبی مشاهده شد (شکل‌های ۳-ب، ۳-پ و ۳-ذ). بخشی از آن‌ها دارای هوادیدگی اندک بوده (شکل ۳-ذ) و برخی نیز دارای الگوی هوادیدگی نقطه‌ای بود (شکل ۳-ب). رگه‌های اکسید آهن و منگنز در آن به خوبی نمایان بود (شکل ۳-پ). قطعات کانی فلدسپار سوزنی در افق‌های زیرسطحی هر دو جهت شیب مشاهده شد (شکل‌های ۳-ر و ۴-ث). همچنین کانی‌های دیگری از جمله پیروکسن (شکل ۴-ذ) و کوارتز (شکل ۴-ر) در افق زیرسطحی شیب شمالی مشاهده شد که دارای هوادیدگی شدید بود.

همچنین عوارض بافتی از جمله کوتینگ‌های رس در دیواره حفرات (شکل ۴-ج) و پوشش رسی تورق یافته (پاپیول) (شکل ۴-خ) به وفور در افق Bt جهت شیب شمالی مشاهده شد. در جهت شیب جنوبی این عوارض مشاهده نشد یا خیلی ضعیف بود. اشکال آهن و منگنز به صورت نودول‌های اکسید آهن و منگنز در هر دو جهت شیب مشاهده شد (شکل‌های ۳-ث، ۳-ح و ۴-پ). همچنین سوپرایمپوزهای آهن و منگنز در اطراف حفرات کانال (شکل ۴-ح) و ریزلایه (میکرولمینیشن) های آهن و منگنز که با رس مخلوط شده بودند (شکل ۴-د) از سایر اشکال آهن و منگنز بودند.

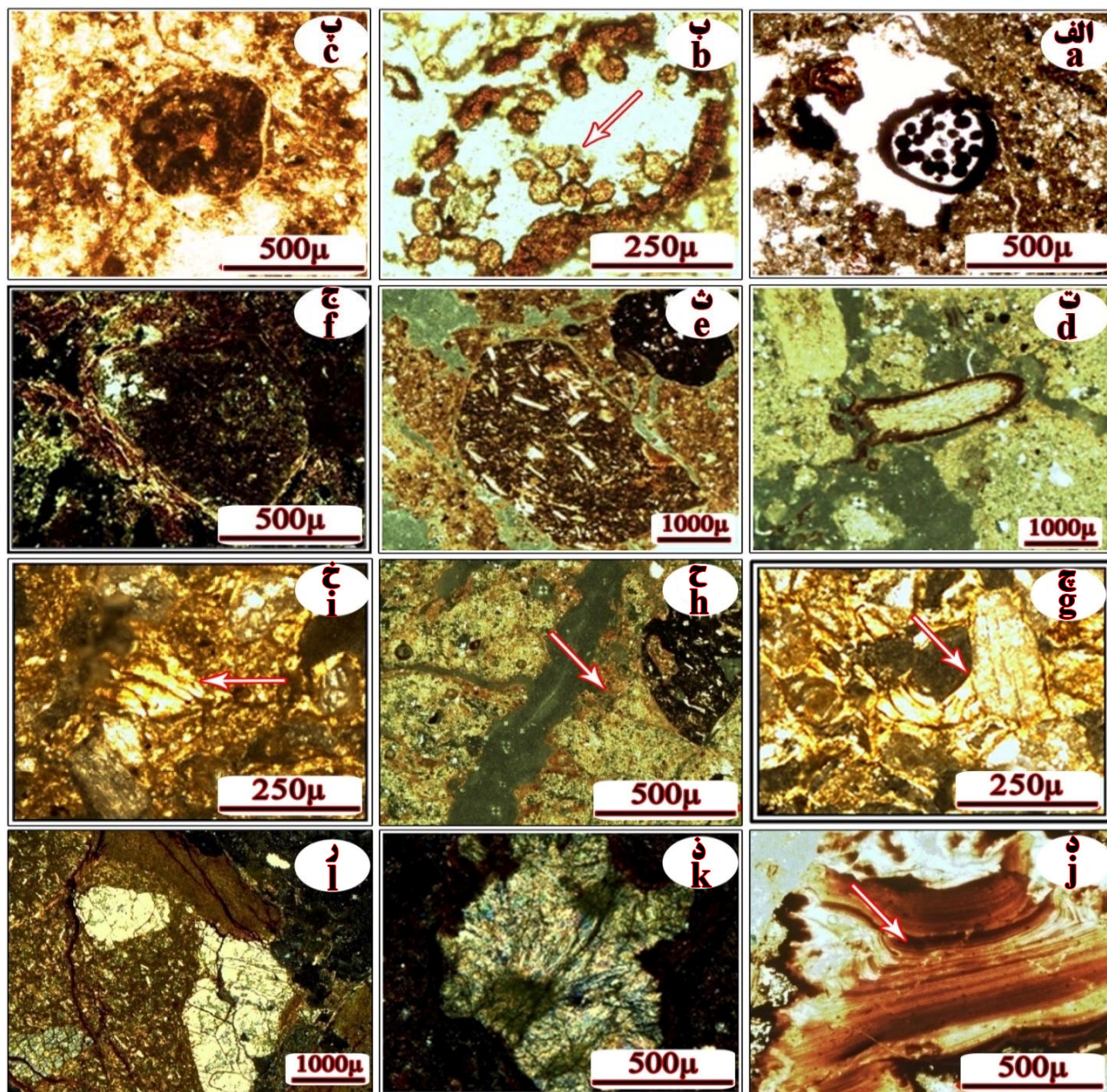
بحث

مقدار pH خاک هم در افق A و هم در کل خاک‌رخی در شیب جنوبی بیشتر از شیب شمالی بود. مقدار رس در شیب شمالی هم در افق سطحی و هم در کل خاک‌رخی به‌طور معنی‌داری از شیب جنوبی بیشتر است که ناشی از نگه‌داشت بیشتر آب در خاک در شیب‌های شمالی نسبت به جنوبی و تبخیر کمتر آب از سطح خاک به واسطه دمای کمتر در خاک‌های شیب‌های شمالی و در نهایت شرایط مساعدتر برای میکروارگانیسم‌های خاک و تجزیه و تخریب کانی‌های خاک می‌باشد. معمولاً نسبت شن به رس، معیاری برای تعیین تکامل خاک می‌باشد و این نسبت با تکامل خاک کاهش پیدا می‌کند. این نسبت در افق سطحی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ولی در کل خاک‌رخی، در شیب جنوبی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شیب شمالی بود.



شکل ۳- عوارض میکرومورفولوژیکی خاک در جهت شیب جنوبی، الف- سودومورفهای آلی روی خاکدانه در افق A (XPL)، ب- بقایای سنگی (لیتورلیکت) با الگوی هواپدیدی نقطه‌ای در افق A (PPL)، پ- بقایای سنگی که دارای رگه‌های اکسید آهن و منگنز است در افق A (XPL)، ت- سودومورفهای آلی و حفرات از نوع کانال و چمبر در افق A (XPL)، ث- نودول اکسید آهن و منگنز با مرز مشخص در افق A (PPL)، ج- مقطع عرضی ریشه در افق A (PPL)، چ- خاکدانه‌های مکعبی بدون زاویه در افق A (XPL)، ح- نودول اکسید آهن و منگنز در افق A (PPL)، خ- بقایای اندام گیاهی (ریشه) در افق A (PPL)، د- پیگمانت‌های آلی و حفرات کانال و چمبر در افق A (PPL)، ذ- بقایای سنگی در افق Cr (XPL) و ر- قطعه کانی فلدسپار در افق Cr (XPL).

Figure 3- micromorphological pedofeatures in southern slope, a-organic pseudomorph on aggregate in A horizon(xpl), b-lithorelict with dotted weathering in A horizon(ppl),c- lithorelict that have Fe and Mn Oxide veins in A horizon(xpl), d- organic pseudomorph and channel and chamber voids in A horizon(xpl), e-Fe-Mn nodule with sharp boundary in A horizon(ppl), f-Cross-section of root in A horizon(ppl), g- subangular aggregate in A horizon(xpl), h- Fe and Mn nodule in A horizon(ppl), i- root plant remnant in A horizon(ppl), j- organic pigments and channel and chamber voids in A horizon (ppl), k- lithorelict in Cr horizon(xpl) and l-feldspar lithorelict in Cr horizon(xpl)



شکل ۴- عوارض میکرومورفولوژیکی خاک در شیب شمالی، الف- بقایای ریشه و فضولات جانوران خاکزید در افق A (PPL)، ب- بقایای ریشه و فضولات جانوران خاکزی احتمالاً مربوط به کنه‌های خاکی در افق A (PPL)، پ- نودول اکسید آهن و منگنز در افق A (PPL)، ت- مقطع طولی ریشه در افق A (XPL)، ث- کانی فلدسپار سوزنی در افق AB (XPL)، ج- بی فابریک گرانواستریت در افق Bt (XPL)، چ- کوتینگ هلالی اطراف حفره واگ در افق Bt (XPL)، ح- آهن و منگنز سوپر ایمپوز شده روی دیواره حفره کانال در افق Bt (XPL)، خ- پوشش رسی تورق یافته (پاپیول) در افق Bt (XPL)، د- ریزلایه‌های (میکرولمینیشن) آهن و منگنز همراه با رس در افق Bt (XPL)، ذ- قطعه کانی پیروکسن در حال تجزیه در افق Cr (XPL) و ر- کانی کوارتز با الگوی هواپدگی نامنظم در افق Cr (XPL).

Figure 4- micromorphological pedofeatures in northern slope, a- root residual with excrement inside in A horizon (ppl), b- root remnants with excremental pedofeature probably by oribatid mites in A horizon (ppl), c- Fe and Mn oxide nodules in A horizon (ppl), d- Longitudinal section of root in A horizon (xpl), e- Feldspar needle mineral in AB horizon (xpl), f- gnostriated b-fabric in Bt horizon (xpl), g- microlaminated clay coating as crescent around a vugh in Bt horizon (xpl), h- superimposed Fe and Mn on channel void wall in Bt horizon (ppl), i- fragment clay coating (papule) in Bt horizon (xpl), j- Fe and Mn microlaminated with clay in Bt horizon (xpl), k- lithorelict of weathering pyroxene in Cr horizon (xpl) and l- Quartz mineral with irregular weathering in Cr horizon (xpl).

در افق‌های سطحی بقایای بافت‌های گیاهی از جمله ریشه به صورت نامنظم در داخل حفره‌ها و متن خاک در هر دو جهت شیب مشاهده شدند که نشان‌دهنده تجمع موادآلی و کم بودن سرعت تجزیه آن‌ها به خصوص در شیب شمالی است. بارزترین عوارض میکرومورفولوژی که در اکثر افق‌های سطحی شیب شمالی مشاهده شد، بقایای ریشه همراه با فضولات داخل آن‌ها بود که نشان از فعالیت بیولوژی قوی‌تر در شیب شمالی در مقایسه با شیب جنوبی بود. از عوارض میکرومورفولوژیکی مهمی که در شیب شمالی دیده می‌شود، تجمع رس درون حفرات است. اکثر افق‌های زیر سطحی شیب شمالی اغلب خاک‌رخ‌ها آثاری از تجمع رس به صورت پوسته‌های رسی در اطراف حفرات واگ دارند و یا به صورت پرشدگی درون حفرات کانال با ضخامت قابل توجه و آثار نوری مشخص، دیده می‌شود که تمام پوسته‌های رسی و پرشدگی درون حفرات کانال به رنگ قرمز زرد با خطوط خاموشی قوی و پیوسته و به حالت ریز لایه و مرز واضح با متن خاک هستند، که همگی نشان دهنده آب‌سویی و مهاجرت رس به صورت مواد معلق در آب است و تأیید می‌کند که این رس‌ها ایلوویال هستند (۳۱). در افق‌های زیر سطحی خاک‌رخ‌ها در شیب شمالی قطعات پوشش رسی، معادل پایپول بروئر (۶) مشاهده شدند، که از دیدگاه بروئر گلابیول‌هایی از رس‌های معدنی به صورت غالب با فابریک ممتد و یا فابریک ورقه‌ای هستند، که دارای مرز خارجی واضح و به طور معمول بیشتر آن‌ها دوکی با ابعاد مساوی و برخی اوقات گرد می‌باشند (۶). پایپول‌ها را گال‌های رسی می‌نامند که بخش‌های پهن، تا حدودی گرد و بدون زاویه می‌باشند و در طبقه بندی مینرالوژی گلابیول‌ها از نوع آرچیلیکی می‌باشند (۲۴). علت تشکیل این عوارض را می‌توان به فعالیت بیولوژیکی موجود در خاک و یا فشار ناشی از ریشه گیاهان دانست (۲۴). نودول‌های اکسید آهن و منگنز به مقدار فراوان در هر دو نوع پوشش گیاهی مشاهده شد. اگر نودول توسط اکسید آهن غالب باشد، آنها کرومای بالاتر (بیشتر به رنگ متمایل به قرمز، متمایل به زرد یا متمایل به قهوه‌ای) از محیط اطراف داشته و اگر هم اکسیدهای منگنز غالب باشند، با ولیو و کرومای پایین‌تر (به رنگ تیره تر یا سیاه) مشاهده می‌شوند (۲۸). به نظر می‌رسد اکثر نودول‌های مشاهده شده شامل هر دو نوع اکسید آهن و منگنز بود.

دلیل تشکیل بی فابریک گرانواستریتد که در افق‌های تحتانی برخی از خاک‌رخ‌های شیب شمالی مشاهده شد این است که در افق A

منابع

مواد هوموسی باعث پوشیده شدن بیرفرنژانس رس می‌گردند، اما هنگامی که ذرات رس حرکت کرده و به صورت تعلیق به عمق می‌رسند از مواد معلق موجود خارج شده و به صورت نوارها و دومین‌هایی در اطراف دانه‌های شن و ذرات معدنی قرار گرفته و تشکیل بی فابریک گرانواستریتد را می‌دهد (۲۹). هم‌چنین هنگامی که ذرات معدنی موجود در متن خاک در برابر هوادیدگی مقاوم هستند مانند کوارتز و فلدسپار ذرات رس در اطراف این ذرات جهت‌گیری کرده و بی فابریک گرانواستریتد را تشکیل می‌دهند (۱۰).

بقایای سنگی (لینتورلیکت) عارضه دیگری است که بیان‌کننده شروع فرایند هوادیدگی سنگ بستر و شروع فرایند پیدایش خاک است که در شیب جنوبی بیشتر مشاهده شد و در شیب شمالی این عارضه کمتر رؤیت شد که بیانگر گذر از این مرحله در شیب شمالی است و سبب اکسیداسیون بیشتر آهن و منگنز در محل شکستگی‌های بقایای سنگی شده‌است. البته هوادیدگی نقطه‌ای در برخی موارد در شیب جنوبی مشاهده شد ولی اکثر بقایای سنگی فاقد شواهد هوادیدگی بودند. شواهد هوادیدگی به‌خوبی در بقایای سنگی شیب شمالی مشاهده شد. در بقایای سنگی خاک هر دو نوع پوشش جنگلی، رگه‌های آهن و منگنز به‌خوبی نمایان است که می‌توان آن را به منشأ مواد مادری آن‌ها نسبت داد. از عوارض دیگر مشاهده شده در خاک‌رخ‌های هر دو جهت شیب، عوارض آمورف هستند که شامل عوارض آمورف تک شکلی و چند شکلی است که منشأ تشکیل این عوارض را می‌توان به تجزیه بقایای گیاهی مرتبط دانست (۱).

نتایج این پژوهش نشان داد که جهت‌های شیب متفاوت اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های خاک دارند. خاک‌های موجود در شیب جنوبی، خاک‌های با تحول کمتر (انتی سول) و خاک‌های تشکیل یافته در شیب شمالی، خاک‌های با تکامل بیشتر (الفی سول) بودند. در شیب شمالی به واسطه نگه داشت بیشتر آب در خاک نسبت به شیب جنوبی و هم‌چنین میانگین کمتر دمای خاک در شیب شمالی نسبت به شیب جنوبی سبب افزایش ضخامت و عمق خاک شده است. تنوع و فراوانی جانداران خاک (از جمله انواع باکتری‌ها، قارچ‌ها، کرم‌های خاکی، انواع حشرات و بندپایان) در شیب شمالی نیز سبب هوادیدگی بیشتر سنگ بستر، و در نتیجه افزایش مقدار رس‌ها و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شده که نهایتاً سبب تکامل بیشتر خاک در شیب شمالی نسبت به شیب جنوبی شده است.

- 1- Bardy M., and Fritsch E. 2008. Micromorphology and spectroscopic characteristics of organic matter in waterlogged podzols of the upper Amazon basin. *Geoderma*, 145:222-230.
- 2- Begum F., Bajracharya R., Sharma S., and Sitaula B.K. 2010. Influence of slope aspect on soil physico-chemical

- and biological properties in the mid hills of central Nepal. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17(5): 438 - 443
- 3- Birkeland P.W. 1999. *Soils and Geomorphology*. 3rd ed. Oxford University Press, New York.
- 4- Blake G.R., and Hartge K.H. 1986. Bulk density, In: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis*, 2nd ed. Part 1- Physical and mineralogical methods, Agronomy Monograph. ASA and SSSA, Madison, WI. 9:363-375.
- 5- Bremner J.M. 1996. Nitrogen-total. In: *Methods of soil analysis*, Part 3- chemical methods. Agronomy Monograph. (Eds. Sparks DL), ASA and SSSA, Madison, WI. 9:1085-1121.
- 6- Brewer R., and Sleeman J.R. 1964. Glaebules: their definition, classification and interpretation. *European Journal of Soil Science*, 15: 66-78.
- 7- Broxton P.D., Troch P.A., and Lyon S.W. 2009. On the role of aspect to quantify water transit times in small mountainous catchments. *Water Resources Research*, 45: W08427, doi:10.1029/2008WR007438.
- 8- Bullock P., Fedoroff N., Jongerius A., Stoops G., and Tursina T. 1986. *Handbook for Soil Thin Section Description*, Waine Research Publishers, Wolverhalpton. p.182.
- 9- Casanova M., Messing I., and Joel A. 2000. Influence of aspect and slope gradient on hydraulic conductivity measured by tension infiltrometer. *Hydrological Processes*, 14(1):155-164.
- 10- Castorena C., and Sanchez P. 2007. Clay coating formation in tepetates from Texcoco, Mexico. *Catena*, 71:411-424.
- 11- Chen Z.S., Hsieh C.F., Jiang F.Y., Hsieh T.H., and Sun I.F. 1997. Relationship of soil properties totopography and vegetationin a subtropical rain forest in southern Taiwan, *Plant Ecology*. 132:229-241.
- 12- Darvish zadeh. A. 1992. *Iran geology*. Amir Kabir publication, Tehran.(in Persian)
- 13- Davidson A.D. 2002. Impact of fauna on an upland grassland soil as determined by micromorphological analysis. *Geoderma*, 20:133-143.
- 14- Fisher R.F., and Binkley D. 2000. *Ecology and management of forest soils*. 3rd ed. John Wiley & Sons. New York. p.489.
- 15- Gee G.W. 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J. H. and Topp, G.C. (Eds.), *Methods of soil analysis*, Part 4- Physical methods. Monograph. ASA and SSSA, Madison, WI. 9:255-293.
- 16- Geroy I.J., Gribb M.M., Marshall H.P., Chandler D.G., Benner S.G., and Mc Namara J.P. 2011. Aspect influences on soil water retention and storage. *Hydrology journal. Process*, 25: 3836-3842.
- 17- Griffiths R.P., Madrich M., and Swanson A. 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest and Ecology Management*, 257:1-7.
- 18- Habibi Bibalani G., and majnonian B. 2005. Increased Stability of Landslide prone Slopes from Iron-wood Trees (*Parrotia persica*). *Environmental Sciences*, 8:21-28. (in Persian)
- 19- Hagen-Thorn A., Callesen I., Armolaitis K., and Nihlgard B. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantation on former agricultural land. *Forest and Ecology Management*. 195:373-384.
- 20- Khormali F., and Shamsi S. 2009. Micromorphology and quality attributes of the loess derived soils affected by land use change: a case study in Ghapan watershed, northern Iran. *Journal of Mountain Science*. 6:197-204.
- 21- Khumalo G., Holechek J., Thomas M., and Molinar F. 2008. Soil depth and climatic effects on desert vegetation dynamics. *Rangeland Ecology and Management*, 61:269-274.
- 22- Kirschbaum M.U.F. 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic storage. *Soil Biol. Biochem*, 27: 753-760.
- 23- Klemmedson J.O., and Wienhold B.J. 1992. Aspect and species influences on nitrogen andphosphorus in Arizona chaparral soil-plantsystem. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 6:105-116.
- 24- Kooistria M.J., and Pulleman M.M. 2010. Features related to faunal activity. In: *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*. Stoops, G. Marcelino V. Mees F. (Eds.). Elsevier's Science and Technology. Oxford, UK.p.109-127.
- 25- Kramer S., and Green D.M. 2000. Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland, *Soil Biol. Biochem*. 32:179-188.
- 26- Kuo S. 1996. Phosphorus. In: *Methods of soil analysis*, Part 3- chemical methods. Agronomy Monograph. (Ed. DL Sparks), ASA and SSSA, Madison, WI, 9:869-920.
- 27- Kutiel P., and Lavee H. 1999. Effect of slope aspect on soil and vegetation properties along anaridity transect. *Israel Journal of Plant Sciences*, 47:169-178.
- 28- Lindbo D.L., Stolt M.H., and Vepraskas M.J. 2010. Redoximorphic Features. In: *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*. Stoops G. Marcelino V. and Mees F. (Eds.). Elsevier's Science and Technology, Oxford, UK. P.129-147.
- 29- Marcela I. 2007. Neighbor leaf-cutting ants and mound-building termites: comparative nest micromorphology. *Geoderma*. 141:224-234.

- 30- McKenzie N.J., and Ryan P.J. 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma*, 89:67-94.
- 31- Miura K., Araki Sh., and Kyuma K. 1988. Genesis of soils derived from various type of parent rock in southwestern Japan. I. Morphological and general characteristics. *Soil Science Plant Nutriet*, 34:1-16.
- 32- Murphy C.P. 1986. Thin Section Preparation of Soils and Sediments. A&B Academic Publ. Berkhamsted. p.149.
- 33- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbone, organic carbone, and organic matter. In: Sparks, D. L., (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 3- chemical methods*. Agronomy Monograph. ASA and SSSA, Madison, WI. 9:961-1010.
- 34- Olivero A.M., and Hix D.M. 1998. Influence of slope aspect and stand age on ground flora of southeastern Ohio forest ecosystems. *Plant Ecology*, 139:177-187.
- 35- Parsakhoo A., and Jalilvand H. 2009. Effects of iron wood (*Parrotia persica* C.A. Meyer) leaf litter on forest soil nutrients content. *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci*, 5:244-249.
- 36- Roohi moghaddam A., Hosaeni S., Ebrahimi M., Rahmani A., Tabari koochak A., and Saraee M. 2006. The effect of mixing rates on qualitative and quantitative characteristics of oak – zelkova plantation. *Pajouhesh & Sazandegi*, 77:155-168. (in Persian)
- 37- Sabeti H. 2008. Forests, trees and shrubs of Iran. Yazd university publication. (in Persian)
- 38- Sauer D., Schellmann G., and Stahr K. 2007. A soil chronosequence in the semi-arid environment of Patagonia (Argentina). *Catena*, 71:382-393.
- 39- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C. Field book for describing and sampling soils. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- 40- Smith T.J. 2010. Using soil moisture trends a cross topographic gradients to examine controls on semi-arid ecosystem dynamics. M.Sc. Thesis Boise State University. 193 pp.
- 41- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11nd ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- 42- Stoops G. 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. p.184.
- 43- Stotzky G. Soil as an environment for microbial life. 1997. In: J.D. Van Elsas J.T. Trevors .M.H. Wellington (Eds.), *Modern Soil Microbiology*, Marcel Dekker, New York. p. 1-20.
- 44- Sumner M.E., and Miller W.P. 1996. Cations exchange capacity and Exchange Coefficients. In: Sparks, D.L. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 3- chemical methods*. Agronomy Monograph. ASA and SSSA, Madison, WI. 9:1201-1230.
- 45- Tatsuhara S., and Kurashige H. 2001. Estimating foliage biomass in a natural deciduous broad-leaved forest area in a mountainous district. *Forest Ecol. Manage.* 152:141-148.
- 46- Tesfa TK., and Tarboton DG. Chandler DG. and Mc Namara JP. 2009. Modeling soil depth from topographic and land cover attributes. *Water Resources Research* 45: W10438, DOI: 10.1029/2008WR007474.
- 47- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: *Methods of soil analysis, Part 3- chemical methods*. Agronomy Monograph. (Ed. DL Sparks), ASA and SSSA, Madison, WI. 9:475-490.
- 48- Tsui C.C., Chen Z.S., and Hsieh C.F. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. 2004. *Geoderma*, 123:131-142.
- 49- Yimer F., Sting L., and Adeldadir A. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. 2006. *For. Ecol. Manage.* 232:90-99.
- 50- Zhang C., Sha X.A., Guobin B., Liu. C., and Changsheng Z. D. 2012. Effects of Slope Aspect on Soil Chemical and Microbial Properties during Natural Recovery on Abandoned Cropland in the Loess Plateau, China. *Advanced Materials Research*, 360:2422-2429.



Influence of Different Slope Aspects on Some Soil Properties and Forest Soils Evolution (Case Study: Rostam Abad Region, Guilan Province)

M. Zarinibahador¹ - K. Nabiollahi² - M. Norouzi³

Received: 16-01-2014

Accepted: 05-04-2015

Introduction: Spatial variation of soil properties is significantly influenced by numerous environmental factors such as landscape features, including position, topography, slope gradient and aspect, parent material, climate and vegetation. Soil properties vary spatially in south- and north-facing hill slopes. This factor (different slope aspects) can affect the distribution of soil organic matter, the presence or absence of a layer, pH, nutrient levels, soil mineralogical and micromorphological properties. Topographic factors such as the orientation of the hill slope and the steepness of the slope affect microclimate, vegetation establishment, water movement and erosion. Aspect and slope control the movement of water and materials in a hill slope and contribute to differences in soil properties. Temperature, precipitation and climate vary with elevation and influence pedogenic processes. Accelerated rates of weathering and soil development were found to occur in soils on south-facing slopes. Slopes with a south aspect are dominated by stone and bare soil patches, while slopes with a north aspect are dominated by biotic components. Northern slopes have higher productivity and species diversity compared to Southern slopes. Slope aspect has a significant effect on the composition, species richness, structure and density of plant communities, differed significantly between North- and South- facing slopes.

Materials and Methods: In the present study, the effects of two slope aspects on some soil properties and soil evolution was investigated in Northern Rostam Abad region in the Guilan Province. Five profiles in Southern hill slope (South-facing hill slopes) and five profiles in Northern hill slopes (North-facing hill slopes) with 40% slope and same parent material (basaltic andesite) and same plant cover were dug. The elevation of two slope aspects was 240 meters from the sea level. Average annual temperatures and precipitation are 16 degrees centigrade and 1359 mm, respectively. Thus, the soil moisture and temperature regimes are udic and thermic, respectively. The physical and chemical analysis were carried out on soil samples including particle size distribution, bulk density, pH, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and cation exchange capacity. This study was done in a completely randomized design several observational with five replications. The total of 34 soil samples were collected in the two slope aspect of the profile and all samples were tested and statistical analyzed. For the micromorphological study, thin sections were prepared from undisturbed samples. The samples were impregnated with polyester resin and later sectioned. The thin sections were prepared and analyzed in petrographic microscope equipped with polarized light.

Results and Discussion: The results of multivariable analysis of variance (MANOVA) and Hotelling's T2 showed that there is significant difference in soil properties between two hill slopes ($p \leq 0.01$). Also, the results of t-test showed the values of pH, content of sand, sand to clay ratio and available phosphorus significantly was higher in Southern hill slope in comparison with Northern hill slope ($p \leq 0.01$). Whereas, clay content and cation exchange capacity significantly were higher in Northern hill slope in comparison with Southern hill slope ($p \leq 0.05$). Also observed micromorphological studies showed biological activity was stronger in Northern hill slope in comparison with Southern hill slope. Properties observed in thin sections of Northern slope aspect include fungal hyphae, spherical and ellipsoid excrement of microorganisms in root residual (related to oribatid mites) which indicated stronger biology in Northern slope aspect soils as compared to Southern slope aspect soils. Also, more accumulation* of clay inside voids, nodules, fragmented coating of well-oriented, micro laminated, reddish-brown clay, chamber voids in Northern slope soils toward Southern slope soils were observed. B-fabric observed in Northern hill slope soils is stipple speckled in surface horizons and in subsurface horizons is grano-striated and stipple speckled and b-fabric observed in Southern hill slopes soils in surface horizons and subsurface horizons is stipple speckled.

Conclusion: Higher content of clay, Cation exchange capacity, Accumulation of clay in pores, Fragments of

1 - PhD Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University

(*-Corresponding Author Email: moslem.zarini@ymail.com)

2- Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Kordestan University

3- PhD Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Tabriz University

clay coating (papule), chamber pores, Fe/Mn oxide nodule and micro-laminations in Northern hill slope and higher values of pH, higher content of sand, sand to clay ratio and available phosphorous, lithorelict in Southern hill slope showed that weathering was higher in Northern hill slope in comparison with Southern hill slope. Generally, Southern hill slope had less developed soils (Entisols and Udorthents great group) and Northern hill slope had high developed soils (Alfisols and Hapludalfs great group.)

Keywords: Slope aspect, Soil evolution, Soil micromorphology, Fe/Mn oxide nodules