

شناسایی و مطالعه کانی‌های رس در یک توالی لس-پالئوسول (مطالعه موردی: منطقه نکا)

بهزاد امیری^۱، محمد امیر دلاور*^۲، پریسا علمداری^۳، آرمان نادری^۴

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان

۲-دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۳-استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۴-دانشجوی دکتری، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amir-delavar@znu.ac.ir

چکیده

توالی‌های لس-پالئوسول منابع ارزشمندی در خصوص کسب اطلاعات مربوط به محیط و آب و هوای گذشته هستند، از طرفی مطالعه کانی‌های رسی شاخص مناسبی برای بررسی تغییرات اقلیم در شرایط گذشته است. هدف از انجام این پژوهش مطالعه شاخص‌های تکاملی و ویژگی‌های کانی‌شناسی به روش پراش پرتو ایکس و طیف‌بینی مادون قرمز در یک توالی لس-پالئوسول در منطقه نکا استان مازندران است. برای این منظور پس از انتخاب یک مقطع از خاک-های دارای توالی لس-پالئوسول نمونه‌های خاک دست‌خورده و دست‌نخورده از ۱۳ لایه شناسایی شده، برای انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی جمع‌آوری گردید. بر اساس نتایج مقطع مطالعه شده چهار مرحله خاک-سازی را سپری کرده است. نتایج کانی‌شناسی نشان داد در پالئوسول‌ها حضور کانی‌های اسمکتیت، ورمی‌کولیت و کانی‌های مختلط اسمکتیت-ایلیت بیان‌گر شرایط مرطوب‌تر و مساعدتر هواپدیدگی در دوران بین یخچالی (اقلیم گرم‌تر) است. حضور رس‌های اولیه و بدون تکامل در پوشش لس مؤید شرایط سرد و خشک یخچالی است. نتایج اندازه‌گیری شکل‌های مختلف آهن و منگنز نشان داد که در مراحل اولیه هواپدیدگی و تکامل خاک آزادسازی آهن غیربلوری (فعال) از مقدار تشکیل آهن بلوری (پدوژنیک) در کانی‌های خاک کمتر بوده و در نتیجه منجر به افزایش نسبت آهن غیربلوری نسبت به آهن بلوری شده است. با افزایش سن و درجه تکامل خاک، مقدار آهن پدوژنیک بیشتر شده و این نسبت کاهش یافته است. کانی‌شناسی به روش طیف‌بینی مادون قرمز حضور کائولینیت را در افق‌های قدیمی تأیید کرد.

واژه‌های کلیدی: لس-پالئوسول، آهن پدوژنیک، اقلیم گذشته، شاخص‌های تکاملی

Characterizing and Study of Clay Minerals in a Loess- Paleosol Sequence, (Case Study: Neka Area)

Behzad Amiri¹, Mohammad Amir Delavar^{2*}, Parisa Alamdari³, Arman Naderi⁴

Received: Accepted:

Ms.C Student, Department of Soil Science, Univ. of Zanjan

Assoc. Prof, Department of Soil Science, Univ. of Zanjan

Assist Prof, Department of Soil Science, Univ. of Zanjan

Ph.D student, Department of Soil Science, Univ. of Zanjan

* Corresponding Author; Email: amir-delavar@znu.ac.ir

Abstract

Loess-paleosol sequence is a valuable information source related to previous climate of the environment. Studying clay minerals is a suitable index for evaluation of climate change in previous conditions. The aim of this study was to study the evolutionary and mineralogical indices according to Infrared Spectrum Transformation and analyzing X-ray Diffraction in a loess-paleosol sequence in Neka region, Mazandaran Province. For this purpose, a transect was selected and were conducted. Disturbed and undisturbed soil samples from 13 identified horizons and layers were selected for physical, chemical and mineralogical analysis. Results showed that studied soil experienced four soil formation stages. Mineralogy results showed that in paleosol, presence of weathered minerals like smectite, vermiculite and mixed minerals including smectite-illite represent moister and weathering-favorable conditions during interglacial period. Presence of primary clays and without evolution as loess covers represents glacial arid and cold conditions. Results of investigations indicated that at initial stages of soil weathering and development, it is possible to releasing non-crystalline (active) iron from soil minerals being more than crystalline (pedogenic) iron and cause increasing Fe_o/Fe_d ratio, while by increasing soil age and degree of evolution, pedogenic iron increases and reduces the ratio. Mineralogy using infrared spectroscopy confirmed presence of kaolinite in old horizons.

Keywords: Loess-paleosol, Pedogenic iron, Previous climate, Evolutionary index

مقدمه

و تکامل، توسط رسوبات جوان مدفون شده‌اند و یا بر روی یک زمین‌نمای قدیمی به صورت پایدار برجا مانده-اند. با بررسی پالئوسول‌ها می‌توان به چگونگی شرایط محیط هوادیدگی و وضعیت آب و هوا در دوران گذشته پی برد (مک‌کارتی و ریتالاک ۲۰۰۱). پالئوسول‌ها به سه گروه مدفون‌شده^۱، باقی‌مانده^۲ و ظاهرشده^۳ تقسیم‌بندی

خاک متأثر از اقلیم و فعالیت موجودات زنده است که بر روی مواد مادری تشکیل می‌گردد، پستی و بلندی‌ها مشخصات آن را تغییر داده و زمان، سن فعالیت فرآیندهای خاک‌سازی را مشخص می‌سازد (سرتینی و اسکالنج ۲۰۰۶). خاک‌های قدیمی یا پالئوسول‌ها (معادل فارسی پارینه خاک)، بعد از تشکیل

2 Buried

3 Residual

4 Exhumed

1 Paleosol

پالی‌گورسکیت و سپیولیت در بخش کانی‌شناسی نشان‌دهنده وجود اقلیم قدیمی خشک در این منطقه بوده است.

طیف‌بینی مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی تکنیک مناسبی برای شناسایی ترکیبات معدنی و کانی‌های دارای باندهای جذبی خوب از قبیل سیلیکات‌های ورقه‌ای ۱:۱ در مقایسه با انواع ۲:۱ است (روسل و همکاران ۲۰۰۶، اومابادی و همکاران ۲۰۱۳). طیف‌بینی به‌روش تبدیل فوریر پرتو مادون قرمز^۱ یک تکنیک کارا در شناسایی ترکیبات کانی‌شناسی خاک است (فارمر و راسل ۱۹۶۴). استفاده از این تکنیک به‌عنوان یک ابزار ایده‌آل، برای تعیین ساختار و شناسایی کوارتز در نمونه‌های طبیعی (سایکیا و همکاران ۲۰۰۸)، مواد آلی (آرتز و همکاران ۲۰۰۸)، کربنات‌ها (جی و همکاران ۲۰۰۹)، کانی‌های رس (مادجووا ۲۰۰۳)، کانی‌های اولیه در ساختار سنگ‌ها (راویسانکار ۲۰۰۹)، حضور کائولینیت (سایکیا و پارتاساراتی ۲۰۱۰) و بسیاری از خصوصیات خاک گزارش شده است.

یکی از شاخص‌های مهم درجه تکامل خاک‌ها درجه بلوری شدن^۲ آهن آزاد است. هوادیدگی کانی‌ها باعث آزاد شدن آهن از کانی‌های اولیه شده و تفاوت در مقادیر آن نشان‌دهنده تکامل خاک است (دیتز و همکاران ۲۰۱۲). با اندازه‌گیری شکل‌های مختلف آهن می‌توان تا حدود زیادی به سن نسبی خاک‌ها پی برد. مقادیر آهن و منگنز و عمقی که در آن این عناصر وجود دارد برای تعیین درجه تکامل پالئوسول‌ها مناسب است (ایونس ۱۹۸۲). درجه و نسبت تبلور اکسیدهای آهن (Fe_o/Fe_a) تحت تأثیر فرآیندهای پدوژنیکی و میزان توسعه و سن نسبی خاک‌ها تغییر می‌کند (مانچ و اتو ۱۹۸۳).

دیتز و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی تحت عنوان استفاده از ترکیب آهن قابل استخراج با سیترات دی تیونات و مقادیر در صد رس برای تخمین سن خاک‌های تشکیل شده بر روی سطوح پایدار در کلرادو نتیجه

می‌شوند (روحی ۱۹۶۵). برخی از مناطق نادر به‌طور پیوسته دارای توالی‌های لس-پالئوسول هستند که سن آن‌ها به دوره پلیستوسن برمی‌گردد (مارکوویچ و همکاران ۲۰۱۱). تحقیقات متعددی در زمینه مطالعه پالئوسول‌ها در سطوح مختلف ژئومورفیک شامل رسوبات دریاچه‌ای (رمضانی و همکاران ۲۰۰۸، دجمالی و همکاران ۲۰۰۸)، واریزه‌های یخچالی (کوهل ۲۰۰۸)، رسوبات آبرفتی (ویتا-فنزلی ۱۹۶۸)، واحدهای مخروط-افکنه آبرفتی و دامنه‌ای (ریگارد و همکاران ۲۰۰۶) و اخیراً توالی‌های لس (کهل و همکاران ۲۰۰۵a، ۲۰۰۵b) انجام شده و نتایج آن‌ها همگی بیان‌گر تشکیل پالئوسول‌ها در دوره‌های گرم و مرطوبی چون هولوسن، پلیستوسن و دوران بین یخبندان است که ویژگی‌های خاک آن‌ها با اقلیم کنونی کاملاً متفاوت است. تشکیل لس‌ها مربوط به شرایط بیابانی، به‌ویژه در بخش‌های مرکزی بیابان‌های آسیا است، این مواد هوادیده به‌سمت رشته کوه‌های مجاور انتقال و تجمع یافته‌اند (اسمالی و همکاران ۲۰۰۹). جیونگ و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه ویژگی‌های خاک‌ها در مقطعی از توالی لس-پالئوسول با شرایط اقلیمی متفاوت در فلات‌های چین گزارش کردند که بخش رس در ترکیبات لسی کمتر از خاک‌های پالئوسول است و عمده تغییرات مربوط به کانی‌شناسی بخش رس است. آنان گزارش کردند که مقدار کانی‌های انبساط‌پذیر به‌دلیل هوادیدگی بیوتیت، کلریت و ایلیت با عمق افزایش یافته، اما کائولینیت تغییر چندانی ندارد. ایز و میدوز (۲۰۱۴) در بررسی توالی‌های لس-پالئوسول در جنوب آفریقا تفاوت‌های قابل توجهی در ویژگی‌های کانی‌شناسی پالئوسول و رسوبات لسی نهشته شده بر آن‌ها مشاهده کردند. این محققان بیان کردند که خاک‌های پالئوسول با سن میوسن دارای کانی‌های هالوسیت، کلریت، و کائولینیت در ترکیب کانی‌شناسی بخش رس هستند و منابع رس آن‌ها منشاء پدوژنی و یا از مواد مادری انتقالی است. آنان گزارش کردند که آلفان و ایموگلیت در پالئوسول‌های با سن اوایل پلیستوسن به ترکیبات رسوبات رودخانه‌ای جوان شبیه بوده ولی حضور

¹ Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR

² Degree of crystallinity

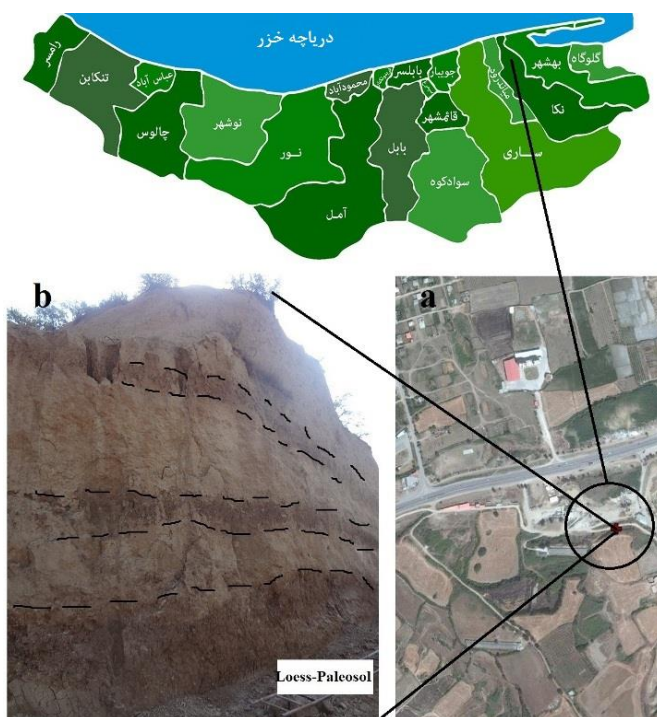
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه

مقطع مطالعه شده با مختصات عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۴ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۹ دقیقه و ۶۵ ثانیه شرقی مجاور جاده ساری-گرگان واقع در روستای چاله‌پور از توابع شهرستان نکا یک پالئوسول مدفون شده است (شکل ۱). با توجه به نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ساری مواد مادری مقطع مطالعه شده متشکل از نهشته‌های آهکی مربوط به دوران پالئوسن (Pe) است، و مواد مادری نهشته‌های بادرفتی مربوط به دوره کواترنری (Qt) است (کبیرنیا و همکاران ۱۳۸۲). منطقه ساری در حال حاضر دارای میانگین بارندگی سالانه ۶۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سلسیوس است. خاک‌های منطقه دارای رژیم رطوبتی یودیک و رژیم حرارتی ترمیک هستند (بنائی ۱۳۷۷).

گرفتند که مقادیر آهن پدوژنیک (Fed) و درصد رس خاک در افق‌های مطالعه شده با افزایش سن خاک بیشتر شده است. رضاپور و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی شکل‌های مختلف اکسیدهای آهن و توزیع آن‌ها بر روی واحدهای فیزیوگرافی متفاوت در خاک‌های آهکی شمال غرب ایران گزارش کردند که در واحد فلات با شرایط ژئومرفولوژیکی پایدار و هوادیدگی در جای خاک‌ها مقادیر آهن پدوژنیک بیشتر شده و نسبت Fe_o/Fe_d به کمترین مقدار خود رسیده است.

هدف از این پژوهش تعیین ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی پالئوسول‌ها و شناسایی کانی‌های رسی به‌وسیله تکنیک‌های پراش پرتو ایکس و طیف‌بینی مادون قرمز و نیز مقایسه روند تکاملی آن‌ها با استفاده از شاخص‌های تکاملی آهن و منگنز است.



شکل ۱- (a) موقعیت جغرافیایی مقطع مورد مطالعه (برگرفته از گوگل ارث، ۲۰۱۵)، (b) مقطع عرضی مطالعه شده.

مطالعات صحرایی و تجزیه آزمایشگاهی

تکمیلی اسید کلریدریک بر روی نمونه‌ها انجام شد (دکنیک و همکاران ۱۹۷۹). دیفراکتوگرام‌های مربوطه با استفاده از دستگاه پراش‌سنج پرتو ایکس مدل Bruker D8 Advance با توقف زمانی ۰/۲ ثانیه و در زوایای 2θ بین ۲ تا ۳۵ درجه و با کاتد مسی با منبع Cu-ka در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و شدت جریان ۴۰ میلی‌آمپر مورد مطالعه قرار گرفتند. از عوارض پوشش‌های رسی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (VEGA\TESCAN-LMU) عکس‌برداری انجام شد. برای انجام مطالعه طیف‌بینی مادون قرمز با استفاده از دستگاه Perkin Elmer 65 انجام شد. طیف مادون قرمز در نمونه‌ها در طول موج ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی-متر ثبت شد (سامانیان و همکاران ۲۰۱۳).

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی

مقطع مطالعه شده واقع در تپه‌های مرتفع اطراف شهرستان ساری بر روی نهشته‌های بادرفتی این مناطق قرار گرفته است. منطقه دارای شیب اصلی بین ۸ تا ۱۲ درصد و ارتفاع متوسط ۸۳ متر از سطح دریا است. کاربری اراضی در حال حاضر پوشش جنگلی پهن برگ است. رسوبات لسی سفید رنگ (10YR8/3) با ضخامت بیش از دو متر پوشش سطحی را روی این خاک‌ها تشکیل داده است (شکل ۲a). رده‌بندی خاک بر اساس سیستم کلید طبقه‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) تیپیک اوتریودیت^۲ است.

بر اساس نتایج مورفولوژیکی و مشاهده‌های صحرایی مقطع مطالعه شده دارای چهار مرحله خاک‌سازی متفاوت است. تغییرات بافت خاک نشان‌دهنده افزایش رس در افق‌های آرچلیک بود و در افق 7Btkb1 به بیشترین مقدار ۵۹ درصد رسید (شکل ۲a، ۲b). بر

برای انجام مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری از افق‌های شناسایی شده در مقطع ابتدا پس از تازه کردن افق‌ها و لایه‌های مختلف بر اساس عوارض مورفولوژیکی از هم دیگر تفکیک شدند. ویژگی‌های مورفولوژیکی از قبیل رنگ خاک، ساختمان خاک، تجمع عوارض پدوژنیک، حد و مرز افق‌ها و ضخامت آن‌ها در مقطع مورد نظر مطابق با روش استاندارد (شوینبرگر و همکاران ۲۰۱۲) ثبت و نمونه‌های خاک دست‌خورده (تعداد سیزده نمونه) در سه تکرار (جمعاً ۳۹ نمونه) و

دست‌خورده از افق‌ها و لایه‌های خاک جمع‌آوری گردید، نمونه‌های خاک پس از خشک شدن، کوبیده شده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری به منظور اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی به آزمایشگاه ارسال گردید. بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر ۱۹۸۶)، pH عصاره اشباع خاک با دستگاه پهاش سنج مدل Jenway (کارتر و گرگوریچ ۲۰۰۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و بخش رس (باور و هتچر ۱۹۶۶)، مقادیر کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون (نلسون ۱۹۸۲)، مقادیر کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. آهن و منگنز پدوژنیک (آزاد) با سیترات دی‌تیونات بی‌کربنات (مهر و جکسون ۱۹۶۰) استخراج گردید. آهن و منگنز بی‌شکل (فعال) با استفاده از محلول اگسالات آمونیوم در اسید اگسالیک و در pH معادل سه در تاریکی استخراج گردید. عصاره‌های حاوی آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Varian-Specter AA.20) اندازه‌گیری و شکل‌های مختلف آهن و منگنز در خاک محاسبه شد (استوکی و همکاران ۲۰۱۲). با تلفیق نتایج آزمایشگاهی و مطالعات مورفولوژیکی مقطع مورد مطالعه بر اساس آخرین کلید سیستم جامع طبقه‌بندی بندی خاک‌ها (سویل سوروی استف، ۲۰۱۴) طبقه‌بندی شد.

برای آماده‌سازی نمونه‌های رس، از روش کیتریک و هوپ (۱۹۶۳) استفاده شد. برای تشخیص حضور دو کانی کلریت و کائولینیت از یکدیگر، تیمار

¹ Wave number

² Typic Eutrudites

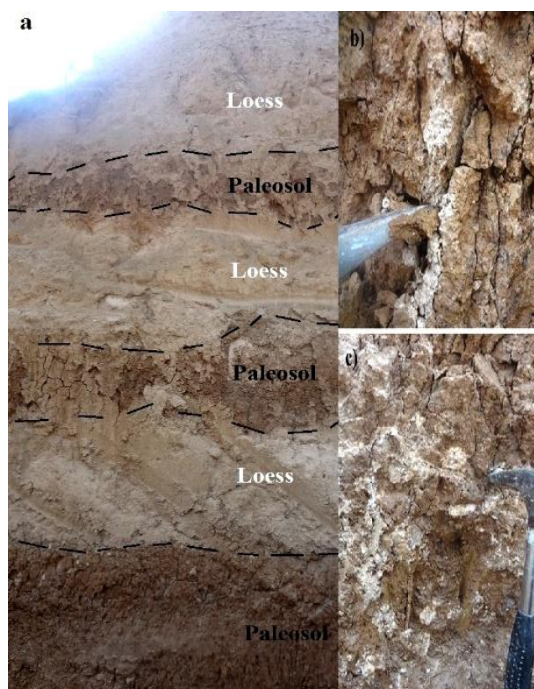
بود (شکل ۳a). تغییرات درصد اندازه ذرات معدنی کوچکتر از ۲ میلی‌متر خاک نشان داد که درصد رس در افق‌های آرچلیک قدیمی به صورت تناوبی نسبت به افق‌های بین آن‌ها افزایش یافته است (شکل ۳b). نتایج ظرفیت تبادل کاتیونی بخش خاک و بخش رس در افق‌های آرچلیک به‌خصوص افق 7Btkb1 مؤید حضور کانی‌های انبساط‌پذیر در این افق است (شکل ۳c).

اگر چه ظرفیت تبادل کاتیونی برای توالی‌های لس-پالئوسول به ندرت کاربرد دارد، ولی بر اساس نتایج تحقیقات مختلف پیشنهاد شده است که ظرفیت تبادل کاتیونی با شاخص‌های هوادیدگی، مقادیر بارندگی، پذیرفتاری مغناطیسی و نسبت عناصر روبدیم، کلسیم و استرانسیم در ارتباط است (بوخارست و همکاران ۲۰۰۹، بابک و همکاران ۲۰۱۱). حضور تجمع پوسته-های رسی بر روی دیواره خاکدانه‌ها و ذرات شن با تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی اثبات شد (شکل ۴). در نتیجه حرکت و انتقال رس از افق‌های فوقانی به افق‌های زیرین پوشش‌های رسی روی دیواره ذرات درشت‌تر و دیواره حفرات خاک را پوشانده و قرمزتر بودن رنگ خاک به خصوص در افق‌های آرچلیک نشان دهنده آزاد شدن آهن و اکسید شدن آن‌ها و تجمع در زمینه خاک و بروز رنگ قرمز است که موید شرایط هوادیدگی مناسب‌تر است.

شاخص‌های ژنتیکی

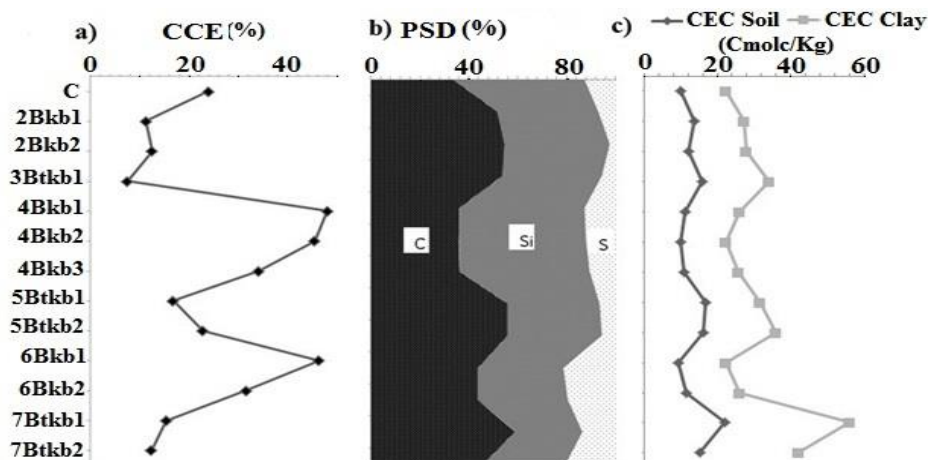
تغییرات شیمیایی شکل‌های مختلف آهن و منگنز با تغییرات عمق در مقطع مطالعه شده در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار آهن پدوژنیک (Fed) استخراج شده به‌وسیله سیترات-بی‌کربنات-دی‌تیونات از سطح خاک تا افق 3Btkb1 افزایش یافته و مجدداً در افق‌های 4Bkb1، 4Bkb2 و 4Bkb3 روند کاهشی و در افق 6Bkb2 به حداقل مقدار خود (۰/۴۱ درصد) در این افق رسیده است.

اساس این نتایج بافت خاک افق‌های شناسایی شده در کلاس ریزبافت (SiCL) و خیلی ریزبافت (C) بوده و مقادیر رس از ۳۱ تا ۶۰ درصد، سیلت از ۲۸ تا ۵۹ درصد و شن از ۴ تا ۲۰ درصد متغیر بود. در زیر این نهشته‌ها، خاک‌های تکامل یافته ضخیمی با توالی‌های مختلف لس-پالئوسول وجود دارد. ساختمان‌های قوی و پوشش‌های واضح تجمع رس بر روی خاکدانه‌ها به همراه تجمعات ثانویه آهک در افق آرچلیک 5Btkb1 با رنگ 5YR 5/6 در مقطع وجود دارد (شکل ۲c).

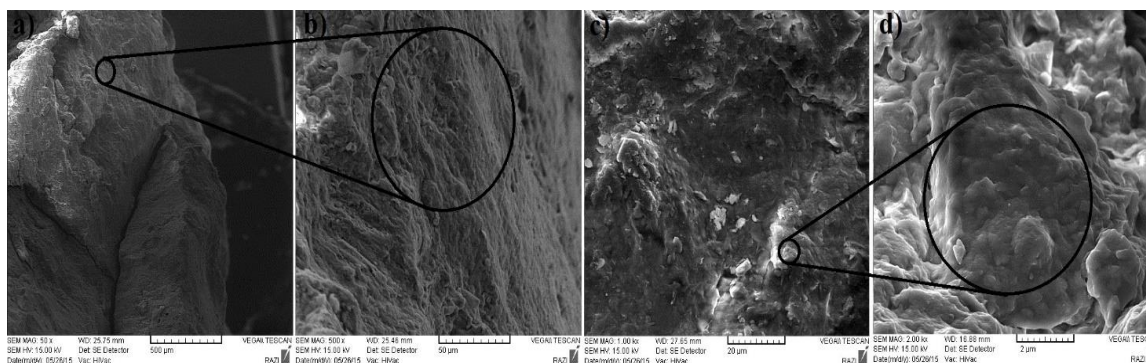


شکل ۲- (a) توالی لس-پالئوسول مقطع مطالعه شده (b) افق آرچلیک و پوشش‌های رسی افق 7Btkb1 (c) تجمع ثانویه آهک در افق 5Btkb1

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک روئین از ۱۰ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک در افق C تا ۲۱/۹۷ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک در افق 7Btkb1 متغیر بود. مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی بخش رس در خاک‌های مدفون از کمترین مقدار یعنی ۲۲/۱۸ سانتی‌مول بر کیلوگرم رس در توالی لس اول تا بالاترین مقدار یعنی ۵۶/۰۶ سانتی‌مول بر کیلوگرم رس در افق آرچلیک 7Btkb1 متغیر



شکل ۳- (a) تغییرات مقادیر آهن بر حسب درصد کربنات کلسیم معادل، (b) تغییرات درصد اندازه ذرات معدنی کوچکتر از ۲ میلی‌متر و (c) ظرفیت تبادل کاتیونی بخش خاک و بخش رس.



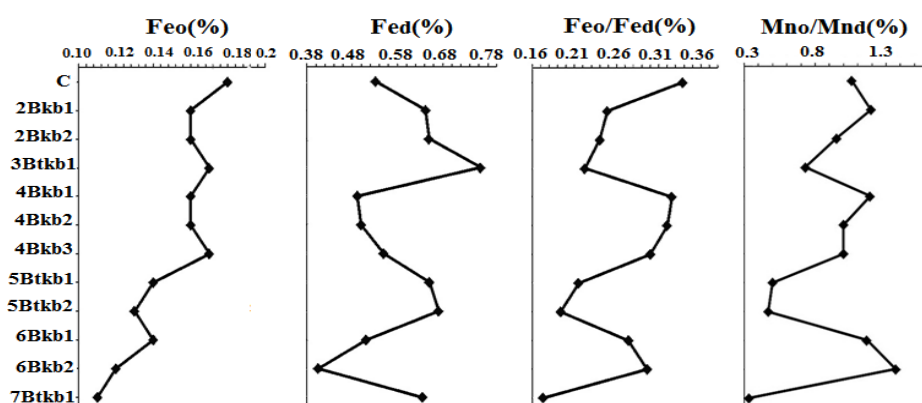
شکل ۴- تجمع پوسته‌های رسی در افق 7Btkb1 در بزرگنمایی‌های (a) ۵۰ برابر، (b) ۵۰۰ برابر، (c) ۱۰۰۰ برابر و (d) ۲۰۰۰ برابر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی.

تکامل خاک، مقدار آهن پدوژنیک بیشتر می‌شود. نسبت Fe_o/Fe_d در خاک‌ها بیان‌گر عواملی چون شرایط اکسایش-کاهش، شرایط تکاملی خاک و درجه هواپدیدی خاک‌ها است (لو و همکاران ۲۰۱۲). نسبت Fe_o/Fe_d به‌طور معمول در افق‌های آرچلیک کمتر از افق‌های لسی بوده و در افق 7Btkb1 به کمترین مقدار ۰/۱۷ درصد رسیده است. بر اساس نظر اسکارسیگلیا و همکاران (۲۰۱۱) این شاخص که بیان‌گر نسبت آهن بی‌شکل به آهن بلورین است، شاخص مفیدی برای مقایسه تکامل خاک‌ها بوده و با افزایش تکامل خاک کاهش می‌یابد. این

مقدار آهن پدوژنیک در افق‌های 3Btkb1 و 7Btkb1 دارای بیشترین مقدار است. روند تغییرات آهن بی‌شکل (Fe_o) استخراج شده به وسیله اگسالات عکس روند تغییرات آهن پدوژنیک بود. بیشترین مقدار آهن بی‌شکل در سطح ۰/۱۸ درصد و کمترین مقدار آن ۰/۱۱ درصد در افق‌های آرچلیک زیرین 7Btkb1 و 7Btkb2 اندازه‌گیری شد. در مراحل اولیه هواپدیدی آزادسازی آهن بی‌شکل از کانی‌های خاک از مقدار تشکیل آهن پدوژنیک بیشتر بوده و سبب افزایش نسبت Fe_o/Fe_d می‌شود، ولی با افزایش سن و افزایش درجه

بی‌شکل (Mn_o) استخراج شده به وسیله اگسالات روند تغییرات مشابه آهن بی‌شکل بوده و در افق 6Bkb1 بیش‌ترین مقدار معادل ۰/۰۲۳ در صد بود. شاخص Mn_o/Mn_d همانند شاخص Fe_o/Fe_d بیان‌گر تغییرات تکامل خاک است. این شاخص در افق منتخب در افق-های 6Bkb2 (۱/۳۷ درصد) و در افق 4Bkb1 (۱/۱۹ درصد) بیش‌ترین مقادیر را داشته و در افق‌های آرجلیک 7Btkb1 (۰/۳۳ درصد)، 5Btkb2 (۰/۴۷ درصد) و 3Btkb1 (۰/۷۳ درصد) به کم‌ترین مقادیر خود رسیده که بیان‌گر تکامل بالای خاک در این افق‌ها است.

شاخص توسط بسیاری از پژوهشگران به‌عنوان یک شاخص مناسب در مطالعات توالی زمانی خاک‌ها و تعیین سن آن‌ها به‌کار رفته است (واگنر و همکاران ۲۰۰۷، لایر و همکاران ۲۰۰۹). تسای و همکاران (۲۰۰۷) و اورتیز و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیقات خود میزان نسبت Fe_o/Fe_d را در افق‌های آرجلیک کمتر از سایر افق‌های سطحی و زیرسطحی گزارش کردند. مقادیر اندازه‌گیری شده منگنز پدوژنیک (Mn_d) استخراج شده به‌وسیله سیترات-بی‌کربنات-دی‌تیونات تغییراتی بسیار مشابه با آهن پدوژنیک دارد. کمترین مقدار آن در افق-های 2Bkb1، 4Bkb1 و 6Bkb1 به‌ترتیب با ۰/۱۷، ۰/۱۶ و ۰/۱۹ درصد اندازه‌گیری شد. در مورد منگنز



شکل ۵- نتایج تجزیه شیمیایی شکل‌های مختلف آهن و منگنز در مقطع مطالعه شده.

مسکویت، کلسیت و کلینوکلر^۱ است. بر این اساس افق C دارای ۴۱ درصد کوارتز، ۲۴ درصد آلپیت، ۱۹ درصد بیوتیت و ۱۶ درصد کلینوکلر بود. افق 5Btkb1 دارای ۶۳ درصد کوارتز، ۲۹ درصد کلسیت، ۲ درصد بیوتیت و ۶ درصد کلینوکلر بود. در افق 7Btkb1، ۱۷ درصد کوارتز، ۳۹ درصد کلسیت، ۱۵ درصد آلپیت، ۲۸ درصد مسکویت و ۱۱ درصد کلینوکلر وجود داشت.

کلینوکلر از نوع کلریت‌های تری اکتا هدرال است که دارای مقادیر فراوانی منیزیم است. بیشتر کلریت‌های

اولیایی و رضایی (۱۳۹۳) در تحقیقی نتیجه گرفتند که سرعت رها شدن آهن و منگنز غیربلورین از کانی‌ها در مراحل اولیه هوادیدگی و تکامل خاک، بیش‌تر از شدت فرآیند تشکیل آهن و منگنز بلوری است ولی با افزایش سن و تکامل خاک مقادیر آهن و منگنز پدوژنیک بیش‌تر شده و نسبت Mn_o/Mn_d و Fe_o/Fe_d کاهش می‌یابند.

کانی‌شناسی

نتایج کانی‌شناسی بخش شن حاکی از آن است که عمده کانی‌های موجود شمال کوارتز، آلپیت، بیوتیت،

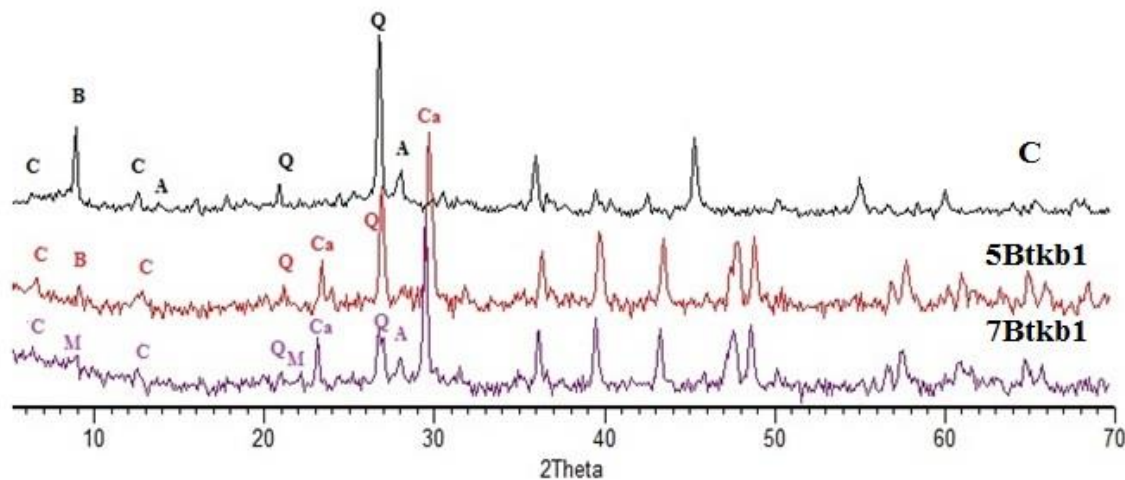
¹ Clinochlore

افزایش آستانه ۱۰ آنگستروم و کاهش آستانه ۱۴ آنگستروم در تیمار پتاسیم نشان‌دهنده حضور کانی ورمیکولیت است. تغییرات جزئی در این روند در افق-های زیرین نیز وجود دارد. در افق 3Btkb1 مقادیر کانی کلریت ناچیز بوده و در افق 4Bkb1 مقادیر این کانی به یک‌باره افزایش یافته است، در این افق بدلیل حضور آستانه ۷ آنگستروم و کاهش جزئی رده‌های فرد، احتمالاً کلریت از نوع کلریت آهن‌دار است. مشابه همین روند در افق 6Bkb2 نیز وجود دارد. به‌طور عمومی شدت آستانه‌های زوج کانی کلریت با افزایش عمق نسبت به آستانه‌های فرد افزایش نشان داده است. این افزایش بیان‌گر کاهش مقدار آهن در کانی کلریت است، به نوعی که با افزایش تکامل خاک نوع کلریت از آهن‌دار به آلومینیوم‌دار تغییر کرده است. مقدار کانی اسمکتیت (قابل انبساط) با توجه به آستانه ۱۷ آنگستروم، در افق 7Btkb1 به بیشترین مقدار خود رسیده است. از سوی دیگر فواصل پشته مانند در میان آستانه‌های ۱۰ و ۱۴ آنگستروم بیانگر حضور کانی مخلوط ایلیت-اسمکتیت است که در افق‌های 5Btkb1 به مقدار خیلی ناچیز وجود دارد و در افق 7Btkb1 به بیشینه مقدار خود رسیده است.

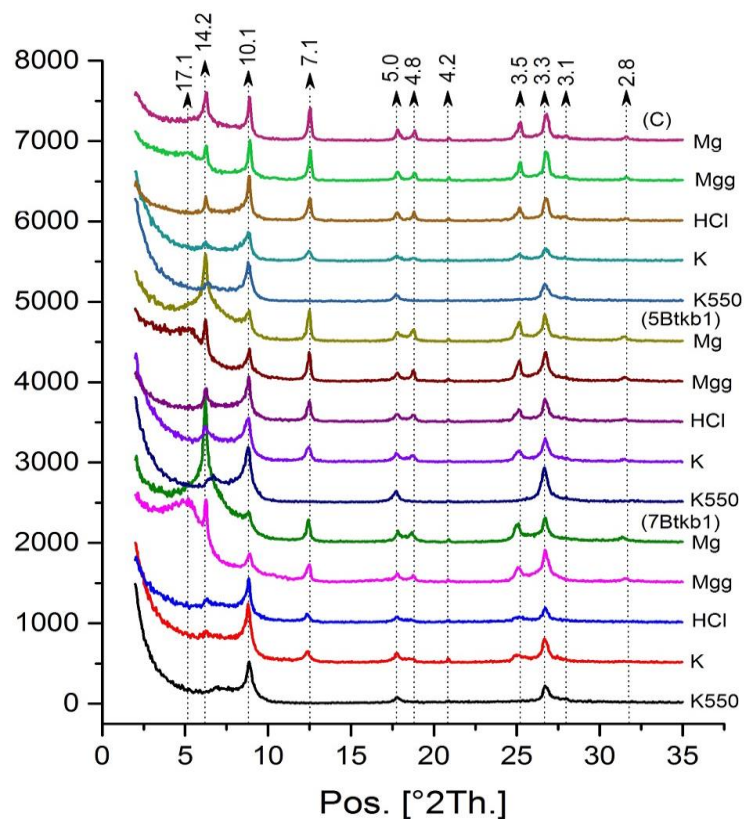
پریدریج (۲۰۰۱) حضور کانی‌های اسمکتیت، کانی‌های مخلوط و کائولینیت را نشان‌گر اقلیم گرم و-مرطوب و فعال بودن فرآیندهای خاک‌زا نسبت به دوره-های سرد و خشک و رسوب‌گذاری لس همراه با فراوانی کانی‌های هیدرومیکا در منطقه اوکراین بیان کرد. پایداری بخشی از آستانه ۱۴ آنگستروم و وجود آستانه ۴/۸ آنگستروم در تیمار حرارتی دلیلی بر حضور کلریت در نمونه است، ولی کاهش شدت آستانه ۱۴/۴ آنگستروم در تیمار ۵۵۰ درجه سلسیوس و پیدایش فاصله پشته مانند بین آستانه‌های ۱۰ و ۱۴ آنگستروم در این تیمار وجود کانی مختلط نامنظم کلریت-ورمیکولیت را تایید می‌کند (گراهام و همکاران ۱۹۹۰).

که به صورت کانی اولیه در محیط خاک یافت می‌شوند به طور عمده از کلریت‌های تری اکتاهدراال هستند. با توجه به سری باوون (۱۹۷۸) مسکوویت یک میکای دی-اکتاهدراال آلومینیوم‌دار بوده که مقاومت هواپدیدی آن نسبت به بیوتیت که یک میکای تری‌اکتاهدراال غنی از آهن است، بیشتر است. در افق 7Btkb1 وجود مسکوویت در بخش شن بیان‌گر حذف کانی‌های با مقاومت پایین‌تر نشان از شدت هواپدیدی بالا یا زمان کافی برای هواپدیدی در این افق است. در افق بالایی همین مقطع بخش بیوتیت با مقاومت کمتر از ساختار خاک حذف نشده و جوان‌تر بودن این افق را نسبت به افق‌های زیرین خاک نشان می‌دهد. حذف بیوتیت ممکن است به سبب هواپدیدی بیشتر در افق‌های انتهایی یا متفاوت بودن جنس نهشته‌ها در زمان رسوب‌گذاری باشد. کاهش شدید مقدار کوارتز در افق 7Btkb1 احتمالاً بیان‌گر شدت هواپدیدی بالا یا زمان کافی برای هواپدیدی در این افق است. وجود کلسیت در افق‌های 5Btkb1 و 7Btkb1 و عدم وجود آن در لایه C احتمالاً به دلیل آبشویی و تشکیل کربنات ثانویه از افق‌های آرچلیک بالایی به طرف افق‌های لس‌های پایین است (شکل ۶).

میتچل (۱۹۸۶) در بررسی کانی‌شناسی بخش رس در افق‌های مدفون‌شده خاک‌های قدیمی نتیجه گرفت که افق آرچلیک مدفون‌شده (Btb) نسبت به افق آرچلیک جوان‌تر (Bt) دارای مقادیر بیشتری کانی کائولینیت و مقادیر اسمکتیت کمتری است. وی گزارش کرد تغییرات این کانی‌ها شاهدهی بر آن است که پالئوسول‌ها تحت تأثیر شرایط مرطوب‌تر و هواپدیدی بیشتری قرار داشته‌اند. وجود آستانه ضعیف در ناحیه ۱۷ آنگستروم در تیمار اتیلن‌گلیکول نشان‌دهنده حضور کانی‌های اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد است، از طرفی کم بودن شدت این آستانه ممکن است به هواپدیدی ورقه-های کانی کلریت نیز مرتبط باشد که با نفوذ بخار اتیلن-گلیکول در بین ورقه‌های این کانی انبساط یافته است.



شکل ۶- پراش نگاشت های پرتو ایکس مربوط به بخش شن سه افق لسی، 5Btkb1 و 7Btkb1 (A: آلبیت، B: بیوتیت، C: کلینوکلر، Ca: کلسیت، M: مسکوویت، Q: کوارتز).



شکل ۷- پراش نگاشت های پرتو ایکس بخش رس خاک در افق C، 5Btkb1 و 7Btkb1 (Mg): تیمار منیزیم، Mg+G: تیمار منیزیم اتیلن گلیکول، K: تیمار پتاسیم، HCl: تیمار هیدروکلریک اسید، K550: تیمار پتاسیم در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس).

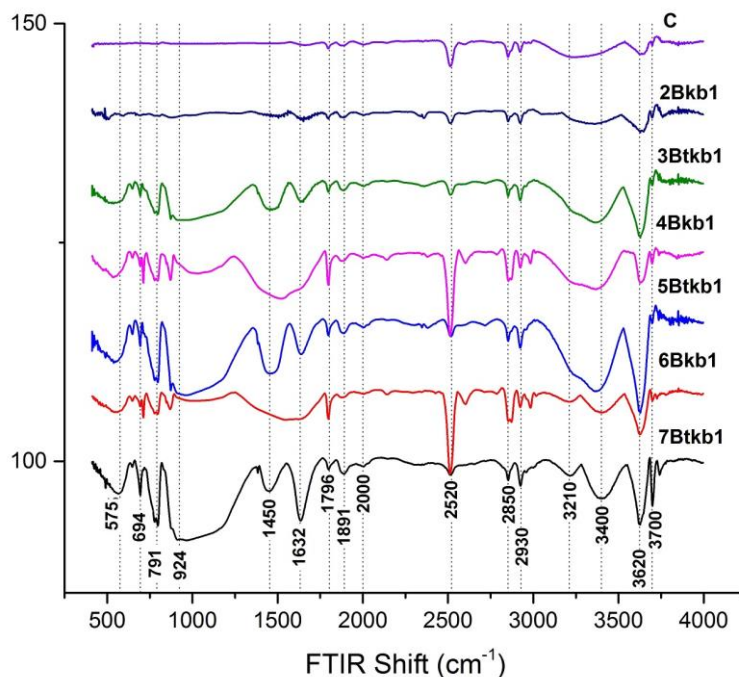
نتایج کانی‌شناسی با پرتو مادون قرمز

نتایج طیفی تبدیل فوریر پرتو مادون قرمز افق منتخب در شکل ۸ نشان داده شده است. کانی‌های کلسیت، کائولینیت، اسمکتیت، ایلیت و کوارتز در افق‌های این افق شناسایی شد. پیک‌های کلسیت ۲۵۲۰ بر سانتی-متر از افق C تا 3Btkb1 کاهش یافته و در افق 4Bkb2 مجدداً افزایش یافته که بیانگر حضور آهک به مقدار فراوان در افق‌های لسی و کاهش آن در افق‌های آرچلیک است. پیک ۲۵۱۲ بر سانتی-متر در افق 5Btkb1 کاهش، در افق 6Bkb1 افزایش و در افق 7Btkb1 مجدد کاهش یافته است. کانی اسمکتیت افق‌های 3Btkb1، 5Btkb1 و 7Btkb1 مقادیر جذب بالایی در پیک ۳۴۰۰ بر سانتی-متر داشته و پیک‌های ۳۶۲۰ تا ۳۷۰۰ بر سانتی-متر مؤید حضور این فراوان این کانی است (دنگ و همکاران ۲۰۰۶). خصوصیات جذبی کائولینیت با پیک‌های (۳۶۹۶ تا ۳۷۰۰) در تمانی افق‌ها به‌ویژه در افق‌های 3Btkb1 و 7btkb1 مقادیر جذب بالایی را نشان داد (اسپنس و کلر ۲۰۱۲). پیک‌ها ۱۶۳۰ مربوط به کانی ایلیت به وضوح در افق‌های 3Btkb1، 5Btkb1 و 7Btkb1 مشاهده شد. اومابادی و همکاران (۲۰۱۳) و نایاک و سینگ (۲۰۰۷) نیز حضور این پیک‌ها را مرتبط با وجود کانی ایلیت گزارش کردند. پیک ۷۹۱ بر سانتی-متر متعلق به شکل انبساطی Al-O و مؤید وجود آلبیت و مونت‌موریلونیت است که پراش نگاشت-های پرتو ایکس بخش شن و رس شاهدهی بر این نتیجه است (سوگاما و همکاران ۲۰۱۰). کوارتز یک کانی غیررسی است و به‌صورت متداول و ثابت در همه افق-ها مشاهده شد، باندهای Si-O یک باند قوی در ساختار سیلیکات است که به آسانی با طیف مادون قرمز از بقیه کانی‌ها تشخیص داده می‌شود (مانوهاران و همکاران ۲۰۱۲). وجود پیک‌های ۶۹۴ و ۱۸۹۱ بر سانتی-متر نمایانگر وجود کوارتز در همه افق‌ها و وجود پیک‌های ۲۸۵۰ و ۲۹۳۰ بر سانتی-متر مؤید حضور کربن آلی در افق‌ها بود که بیشترین مقدار جذب در افق 3Btkb1

مشاهده شد. با توجه به نتایج طیفی تبدیل فوریر پرتو مادون قرمز، به دلیل ضعیف بودن شرایط هوازگی و احتمالاً زمان ناکافی، میزان کانی‌های اولیه کلسیت، کوارتز، آلبیت و ایلیت در افق‌های لسی بیشتر از افق‌های آرچلیک بود. از سوی دیگر خصوصیات جذبی مربوط به کانی‌های کائولینیت و اسمکتیت در افق‌های آرچلیک بیشتر دیده شد که با توجه به شاخص‌های تکاملی محاسبه شده، تکامل خاک در این افق‌ها بالاتر بوده و در گذشته زمان و شرایط هوازگی مناسب‌تری برای هوازگی کانی‌های اولیه و تبدیل به کانی‌های ثانویه و خروج یون‌های مانند آهن بیشتر بوده است. نتایج نشان داد که تغییرات نوع کانی‌های موجود و شاخص‌های تکاملی در افق‌های مقطع مورد مطالعه به صورت تناوبی تغییر کرده است و نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی در گذشته به صورت تناوبی بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

وجود لایه‌های متناوب لس-پالئوسول در توالی مورد مطالعه نشان‌دهنده تحولات شرایط آب و هوایی در طول دوره پلیستوسن است که موجب شده بیشتر خصوصیات این افق‌ها تغییر کرده باشد. به‌طور کلی می‌توان این‌گونه بیان کرد که آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، مورفولوژیکی، کانی‌شناسی و طیف‌بینی مادون‌قرمز افق مورد مطالعه همپوشانی چشم‌گیری با یکدیگر داشتند. وجود رنگ‌های تیره‌تر در افق‌های آرچلیک (پالئوسول‌ها) نسبت به افق‌های لس و نیز افزایش چشم‌گیر مقادیر در صد رس در پالئوسول‌ها بیانگر مساعد بودن شرایط هوازگی و در نتیجه خاک سازی بیشتر در زمان گسترش پالئوسول است. بالا بودن درصد سیلت در لس‌ها در مقایسه با پالئوسول‌ها، بالا بودن نسبت MnO/Mn_d و Fe_o/Fe_d و حضور رس‌های اولیه و بدون تحول در لس‌ها نمایانگر آن است که تکامل محدود این خاک‌ها احتمالاً به‌علت نامساعد بودن شرایط اقلیمی در گذشته باشد.



شکل ۸- طیف مادون قرمز لایه های مختلف خاک در مقطع مطالعه شده.

منابع مورد استفاده

اولیایی ح ر و رضایی س، ۱۳۹۳. مطالعه اثر پستی و بلندی و کاربری بر پیدایش، شکل‌های شیمیایی آهن و منگنز و کانی‌شناسی رس خاک‌های دشت غربی یاسوج. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۱ شماره ۲، صفحه ۱ تا ۲۸.
بنائی م ح، ۱۳۷۷. نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
کبیرنیا ا ر، اسدی ا، خان‌نظر ن، وکیلی ف، بهرمند م، معصومی رو و قمیشی ا، ۱۳۸۲. ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ ساری، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

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. JFAE 8(3&4): 976-979.

Artz RR, Chapman SJ, Robertson AJ, Potts JM, Laggoun-Défarge F, Gogo S, Disnar JR and Francez AJ, 2008. FTIR spectroscopy can be used as a screening tool for organic matter quality in regenerating cutover peatlands. Soil Biology and Biochemistry 40(2): 515-527.

Bábek O, Chlachula J and Grygar TM, 2011. Non-magnetic indicators of pedogenesis related to loess magnetic enhancement and depletion: examples from the Czech Republic and southern Siberia. Quaternary Science Reviews. 30:7. 967-979.

Bokhorst MP, Beets CJ, Marković SB, Gerasimenko NP, Matviishina ZN and Frechen M, 2009. Pedo-chemical climate proxies in Late Pleistocene Serbian-Ukrainian loess sequences. Quaternary International. 198:1. 113-123.

Bowen DQ, 1978. Quaternary Geology: A Stratigraphic Framework for Multidisciplinary Work. New York, Pergamon Press.

Bower CA and Hatcher JT, 1966. Simultaneous determination of surface area and cation exchange capacity. Soil Science Society of America Journal, 30: 525-527.

Carter MR and Gregorich EG, 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis (2th ed.). Canadian Society of Soil Science 12-24.

Certini G and Scalenghe R, 2006. Soils: Basic Concepts and Future Challenges. Cambridge University Press, New York.

De Coninck F, Van Ranst E, Springer ME, Tavernier R and Pahaut P, 1979. Mineralogy and formation of some soils of the Belgian Ardennes. Pedologie, 1, pp.25-69.

Deng Y, Dixon JB, White GN, Loeppert RH and Juo AS, 2006. Bonding between polyacrylamide and smectite. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 281(1), pp.82-91.

- Dethier DP, Birkeland PW and McCarth JA, 2012. Using the accumulation of CBD-extractable iron and clay content to estimate soil age on stable surfaces and nearby slopes, Front Range, Colorado. *Geomorphology* 173:174: 17-29.
- Djamali M, de Beaulieu JL, Shah-hosseini M, Andrieu-Ponel V, Ponel P, Amini A, Akhani H, Leroy SA, Stevens L, Evans LJ, 1982. Dating methods of pleistocene deposits and their problems: VII. Paleosols. *Geoscience Canada*, 9(3).
- Eze PN and Meadows ME, 2014. Mineralogy and micromorphology of a late Neogene paleosol sequence at Langebaanweg, South Africa: Inference of paleoclimates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 409: 205-216.
- Farmer VT and Russell JD, 1964. The infra-red spectra of layer silicates. *Spectrochimica Acta*, 20(7): 1149-1173.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W, 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and mineralogical methods*. 2nd ed. Agronomy. 9: 383- 411.
- Graham RC, Diallo MM and Lund LJ, 1990b. Soils and mineral weathering on phyllite colluvium and serpentine in northwestern California. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54(6): 1682–1690.
- Jeong GY, Hillier S and Kemp RA, 2011. Changes in mineralogy of loess–paleosol sections across the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Research*, 75(1): 245-255.
- Ji J, Ge Y, Balsam W, Damuth JE and Chen J, 2009. Rapid identification of dolomite using a Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR): A fast method for identifying Heinrich events in IODP Site U1308. *Marine Geology*, 258(1): 60-68.
- Kehl M, Frechen M and Skowronek A, 2005a. Paleosols derived from loess and loess-like sediments in the Basin of Persepolis, Southern Iran. In: *Quat. Int.* 140: 135–149.
- Kehl M, Sarvati R, Ahmadi H, Frechen M and Skowronek A, 2005b. Loess paleosol-sequences along a climatic gradient in Northern Iran. *Eiszeitalter u. Gegenwart*. 55: 149–173.
- Kittrick JA and Hope EW, 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction Analysis. *Soil Science*. 96(5): 319-325.
- Kuhle M, 2008. The Pleistocene Glaciation (LGP and pre-LGP, pre-LGM) of SE Iranian mountains exemplified by the Kuh-i-Jupar, Kuh-i-Lalezar and Kuh-i-Hezar Massifs in the Zagros. *Polarforschung*. 77(2-3): 71–88.
- Lair GJ, Zehetner F, Hrachowitz M, Franz N, Maringer FJ and Gerzabek MH, 2009. Dating of soil layers in a young flood plain using iron oxide crystallinity. *Quaternary Geochronol.* 4:260-266.
- Lu SG, Chen DJ, Wang SY and Liu YD, 2012. Rock magnetism investigation of highly magnetic soil developed on calcareous rock in Yun-Gui Plateau, China: Evidence for pedogenic magnetic minerals. *Journal of Applied Geophysics*, 77: 39-50.
- Madejová J, 2003. FTIR techniques in clay mineral studies. *Vibrational spectroscopy*, 31(1): 1-10.
- Mahaney WC, Dohm J, Kapran B, Hancock RGV and Milner MW, 2009. Secondary Fe and Al in Antarctic paleosols: Correlation to Mars with prospect for the presence of life. *Icarus* 203: 320–330.
- Manoharan C, Sutharsan P, Dhanapandian S and Venkatachalapathy R, 2012. Spectroscopic thermal analysis of red clay for industrial applications from Tamilnadu, India. *J. Mol. Struct.* 1027: 99–103.
- Marković SB, Hambach U, Stevens T, Kukla GJ, Heller F, McCoy WD, Oches EA, Buggle B, Zöller L, 2011. The last million years recorded at the Stari Slankamen (Northern Serbia) loess-palaeosol sequence: revised chronostratigraphy and long-term environmental trends. *Quaternary Science Reviews*. ;30(9):1142-1154.
- McCarthy PJ, Retallack GJ, 2001. *Soils of the Past. An Introduction to Paleopedology*, Oxford: Blackwell Science. 404pp.
- Mehra OP and Jackson ML, 1960. Iron oxides removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals* 7: 317–327.
- Mitchell AA, 1986. The petrology, mineralogy and geochemistry of the Main zone of the Bushveld Complex at Rustenburg Platinum Mines, Union Section.
- Munch JC and Ottow JCG, 1983. Reductive transformation mechanism of ferric oxides in hydromorphic soils. *Environ. Biogeochem. Ecol. Bull.* 35: 383-394.
- Nayak PS and Singh BK, 2007. Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR. *Science*. 30(3): 235–238.
- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 539-579.
- Nelson RE, 1982. Carbonate and gypsum. In: Page, A.L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 181-197.
- Ortiz I, Simon M, Dorronsoro C, Martin F, and Garcia I, 2002. Soil evolution over the Quaternary period in a Mediterranean climate (SE Spain). *Catena*, 48(3): 131-148.
- Oumabady AC N, Rajendran M and Selvaraju R, 2013. FT-IR spectral studies on polluted soils from industrial area at Karaikal, Puducherry State, South India. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, 110: 46-54.

- Perederij VI, 2001. Clay mineral composition and palaeoclimatic interpretation of the Pleistocene deposits of Ukraine. *Quaternary International*. 76: 113-121.
- Pope R, Wilkinson K, Skourtsos E, Triantaphyllou M and Ferrier G, 2008. Clarifying stages of alluvial fan evolution along the Sfakian piedmont, Southern Crete: New evidence from analysis *Adv. Soil Science* 1: 172-200.
- Ramezani E, Mohadjer MR, Knapp HD, Ahmadi H and Joosten H, 2008. The late-Holocene vegetation history of the Central Caspian (Hyrceanian) forests of northern Iran. In: *The Holocene*. 18(2): 307-321.
- Ravisankar R, 2009. Application of Spectroscopic techniques for the identification of minerals from beach rocks of Tamilnadu. *EARFAM*, 19, p.272.
- Regard V, Bellier O, Braucher R, Gasse F, Bourles D, Mercier J, Thomas JC, Abbassi MR, Shabanian E and Soleymani S, 2006. Be-10 dating of alluvial deposits from Southeastern Iran (the Hormoz Strait area). In: *Palaeogeogr, Palaeoclimat, Palaeoecol*. 242: 36-53.
- Rezapour S, Jafarzadeh AA, Samadi A and Oustan S, 2009. Distribution of iron oxides forms on a transect of calcareous soils, north-west of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 56(2): 165-182.
- Rossel RV, Walvoort DJJ, McBratney AB, Janik LJ and Skjemstad JO, 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131(1): 59-75.
- Ruhe RV, 1965. Quaternary and pleopedology, The Quaternary of the United States. In: Wright HE and Frey DG (eds), Princeton University Press, Princeton, NJ. 755-764.
- Saikia BJ and Parthasarathy G, 2010. Fourier transform infrared spectroscopic characterization of kaolinite from Assam and Meghalaya, Northeastern India. *Journal of Modern Physics*, 1(04): 206.
- Saikia BJ, Parthasarathy G and Sarmah NC, 2008. Fourier transform infrared spectroscopic estimation of crystallinity in SiO₂ based rocks. *Bulletin of Materials Science*, 31(5): 775-779.
- Samanian K, Abbasi Z and Kaldareh AI, 2013. Archaeometrical study of the used materials in Qajar easel painting using XRD, XRF, PLM and FTIR techniques: a case study of " Egyptian girl" tablout. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 13(2): 159-179.
- Scarciglia F, Tuccimei P, Vacca A, Barca D, Pulice I, Salzano R and Soligo M, 2011. Soil genesis, morphodynamic processes and chronological implications in two soil transects of SE Sardinia, Italy: Traditional pedological study coupled with laser ablation ICP-MS and radionuclide analyses. *Geoderma*, 162(1), pp.39-64.
- Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham EC and Broderson WD, 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0 Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 228.
- Smalley I, O'HaraDhand K, Wint J, Machalett B, Jary Z and Jefferson I, 2009. Rivers and loess: The significance of long river transportation in the complex event-sequence approach to loess deposit formation. *Quaternary International*, 198(1): 7-18.
- Soil Survey Staff, 2014. Keys to Soil Taxonomy, United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, Twelfth Edition, 359pp.
- Spence A and Kelleher BP, 2012. FT-IR Spectroscopic Analysis of Kaolinite-Microbial Interactions, *Vibrational Spectroscopy*, 61:151-155.
- Stucki JW, Goodman BA and Schwertmann U, 2012. Iron in soils and clay minerals (Vol. 217). Springer Science & Business Media.
- Sugama T, Ecker L and Butcher T, 2010. Carbonation of rock minerals by supercritical carbon dioxide at 250 C. Technical report Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, 11, pp. 973-5000.
- Tsai CC, Tsai H, Hseu ZY and Chen ZS, 2007. Soil genesis along a chronosequence on marine terraces in eastern Taiwan. *Catena*, 71(3): 394-405.
- Vita-Finzi C, 1968. Late Quaternary alluvial chronology of Iran. *Geologische Rundschau*, 58(2), pp.951-973.
- Wagner S, Costantini EAC, Sauer D and Stahr K, 2007. Soil genesis in a marine terrace sequence of Sicily, Italy. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(2): 247-260.