

کانی‌شناسی رسی پالتوسول‌های لسی اوایل پلیستوسن و مقایسه آن با خاک‌های لسی مدرن

معصومه نجفی‌نیا^۱، فرهاد خرمالی^{۲*}، فرشاد کیانی^۳ و مجتبی بارانی مطلق^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۲- استاد گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۶ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۱۰/۰۳	
کلمات کلیدی: لس - خاک قدیمی، کانی‌های رسی، آب و هوای گذشته، ایران	رسوبات لسی شمال ایران، حاوی اطلاعات ارزشمندی از شرایط اقلیمی و محیطی گذشته منطقه می‌باشند. مطالعات سن‌یابی و رسوب‌شناسی گسترده‌ای بر روی لس‌های میانی و اواخر پلیستوسن در دهه‌های گذشته صورت گرفته است؛ ولی نیاز به مطالعه مقایسه‌ای در مورد رسوبات لسی قدیمی‌تر، ضروری است. از این رو، این پژوهش با هدف مطالعه کانی‌شناسی رسی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی پالتوسول‌های لسی اوایل پلیستوسن و مقایسه آن با خاک‌های لسی مدرن در مناطق آق‌بند، یلی بدراق و قره‌آغاچ استان گلستان انجام شد. پس از بررسی‌های کامل گزارش‌های خاک‌شناسی و تفسیر عکس‌های هوایی، در مجموع شش خاک‌رخ حفر و مطالعه گردید. پس از مشاهده‌های مقدماتی و صحرایی و تعیین افق‌ها برای هر پروفیل در منطقه، رده‌بندی خاک‌ها براساس سیستم‌های جهانی خاک صورت گرفت. سپس از هر یک از افق‌ها به مقدار کافی نمونه خاک برای انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی رس تهیه گردید. مقایسه نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی (نظیر رنگ، درصد آهک، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت آهن و ...) در خاک‌های لسی قدیمی و مقایسه آن با خاک‌های لسی مدرن، نشان‌دهنده این است که خاک‌های لسی قدیمی، چندین مرحله خاک‌سازی را گذرانده‌اند. یکی از شاخص‌های بررسی تغییر اقلیم گذشته در لس‌ها، کانی‌های رسی است. نتایج کانی‌شناسی رس نشان داد در خاک‌های لسی اوایل پلیستوسن، وجود رس‌های هوا دیده‌ای، مانند اسمکتیت در مقادیر بیش‌تر بیانگر شرایط مرطوب‌تر و مساعد هوا دیدگی در عصر بین‌یخچالی است و حضور رس‌های اولیه و بدون تحول مانند ایلیت و کلریت در خاک‌های لسی اواخر پلیستوسن، با اقلیم حال حاضر در منطقه مطابقت داشته، محیط خشک‌تر کنونی را تأیید می‌نماید.

* عهده دار مکاتبات

Email: fkhormali@gau.ac.ir

مقدمه

خاک‌ها، توده طبیعی با مورفولوژی واحد هستند که در نتیجه اثر متقابل اقلیم، موجودات زنده، مواد مادری، پستی و بلندی در طول زمان تشکیل گردیده‌اند (۲۱). از مهم‌ترین کاربردهای خاک استفاده از آن به عنوان پنجره‌ای رو به شرایط اقلیمی و محیطی گذشته از طریق خاک‌های قدیمی است. خاک‌های قدیمی مدفون، در شرایط محیطی گذشته تشکیل شده و تکامل یافته‌اند؛ ولی توسط رسوبات جوان‌تر، مانند لس‌ها، رسوبات انتقال یافته یخچالی و رسوبات آبرفتی دفن شده‌اند و به همین دلیل، به راحتی قابل شناسایی هستند (۲۷). خاک‌های قدیمی یا پالئوسول‌ها، خاک‌هایی هستند که در زمین نماهای مربوط به زمان گذشته تشکیل شده‌اند. این گونه خاک‌ها، ممکن است دفن شده یا در سطح خاک باقی مانده باشند (۴). رسوبات لسی شمال ایران، منعکس کننده چندین چرخه تغییر اقلیم و تکامل زمین نماها، برای دوره میانی تا انتهایی کواترنری هستند. تغییر اقلیم در ارتفاعات ایران و مناطق اطراف آن در اواسط و اواخر دوره کواترنری بسیار بحث برانگیز بوده و در گذشته بر اساس دوره‌های بارندگی و بین بارندگی یا یخچالی و بین یخچالی مورد بحث قرار گرفته است (۲۹). خاک‌های لسی قرمز رنگ پالئوسول در شمال ایران با نام رسوبات لسی قرمز رنگ اوایل پلیستوسن شناخته می‌شوند. نتایج حاصل از آزمایش‌های مغناطیسی بر روی لس‌های شمال ایران، بیانگر این مطلب است که قدمت آن‌ها بین ۲- ۱/۸ میلیون سال می‌باشد (۲۹). در راستای بازسازی شرایط دیرینه، یکی از ابزارهای مفید در مطالعه خاک‌های قدیمی، کانی‌شناسی این خاک‌هاست؛ زیرا وجود کانی مشخصی در خاک بازگوکننده شرایط محیطی دیرینه منطقه می‌باشد (۲). دیربازی است که نقش کلیدی کانی‌های رسی در رفتارهای فیزیکی و شیمیایی خاک شناخته شده و بی تردید پرسش‌هایی درباره منشأ و تکامل آن‌ها از اولویت‌های پژوهشی علوم خاک است. کانی‌های رسی، تحت تأثیر عوامل هواپدگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی در خاک تشکیل می‌شوند. بر این اساس کانی‌های رسی را به

سه گروه می‌توان تقسیم کرد: ۱- کانی‌های رسی موروثی؛ این گروه از کانی‌ها به طور مستقیم به صورت دست نخورده و بدون هیچ گونه تغییر ساختاری از مواد مادری به خاک اضافه می‌گردند. بیشتر کائولینیت مشاهده شده در خاک‌های ایران منشأ ارثی دارند؛ ۲- کانی‌های رسی تغییر یافته؛ این گروه با شرایط محیطی خود در تعادل نبوده و در اثر هواپدگی ملایم و دگرگونی به کانی‌های دیگر تبدیل می‌شوند. برای مثال اسمکتیت در نواحی مرطوب‌تر شمال غرب استان فارس از تغییر شکل میکا به وجود آمده است و ۳- کانی‌های رسی نوساخته؛ این گروه از کانی‌ها در اثر سنتز مواد تخریب شده از کانی‌های اولیه مختلف تشکیل می‌گردد. تشکیل پالیگورسکیت در شرایط گچ زیاد و اسمکتیت در شرایط زه کشی ضعیف، منشأ نوتشیکلی دارند (۱۴).

جاکوبز و ماسون (۱۰) در مطالعه مورفولوژیکی و خاک‌شناسی پارینه چندین خاک قدیمی مربوط به دوره هولوسن در منطقه نبراسکای ایالات متحده آمریکا دریافتند که این رسوبات نشان‌دهنده سه دوره رسوب‌گذاری و تشکیل خاک می‌باشند. کیانی و همکاران (۱۵) به منظور بررسی نوع، مقدار و خاستگاه کانی‌های رسی در تناوب لس - خاک قدیمی منطقه پاسنگ استان گلستان دریافتند که ایلیت، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، کوارتز و فلدسپارها از کانی‌های غالب در این خاک‌ها هستند. کوارتز و فلدسپار، کانی موجود در سیلت و اسمکتیت در رس ریز و رس درشت وجود دارند. خرمالی و کهل (۱۴) نیز، پس از مطالعه تغییرات مورفولوژیکی، فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژیکی خاک‌های مدرن و خاک‌های قدیمی در طول یک ردیف اقلیمی در شمال ایران بیان نمودند که مطالعات پیدایشی توأم خاک‌های مدرن و خاک‌های قدیمی برای داشتن تصویری واقعی‌تر از شرایط اقلیمی بهتر بوده و به نظر می‌رسد که بازسازی شرایط اقلیمی گذشته بر اساس خصوصیات خاک در این منطقه قابل انتظار است. توالی‌های لس - خاک قدیمی در شمال ایران، در برخی مناطق به صورت لکه‌ای، رسوبات

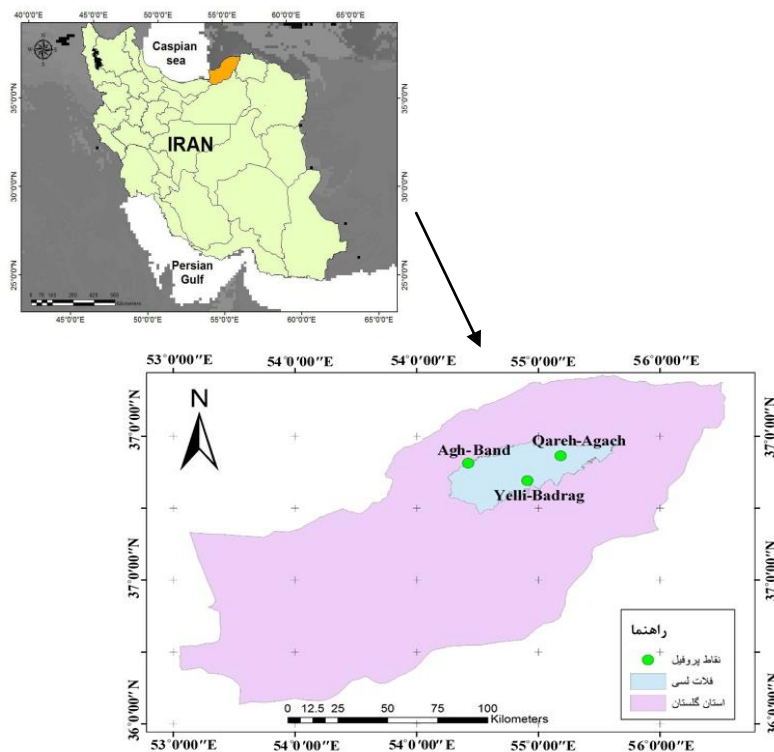
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در اقلیم گرم و خشک، در فلات لسی شرق گلستان در محدوده جغرافیایی بین جاده گنبد-داشلی برون از شرق تا کلاله-مراوه تپه از غرب و کوه‌های کپه‌داغ در شمال و گرگان‌رود در جنوب واقع شده است (شکل ۱). هم‌چنین اطلاعات عمومی خاک‌های لسی مدرن و قدیمی در جدول ۱ ارائه شده است.

پس از بررسی تفسیر عکس‌های هوایی در هر منطقه ۳ خاک‌رخ قدیمی برای مطالعه کانی‌شناسی انتخاب شد. به منظور مقایسه تغییرات پیدایشی و پدولوژیکی خاک‌ها در گذشته با شرایط موجود اقلیمی، تعداد ۳ خاک‌رخ مدرن (خاک‌هایی که در شرایط کنونی محیطی تشکیل شده‌اند) نیز در همان مناطق با مواد مادری لسی حفر و به صورت مشابه با خاک‌های قدیمی تشریح و نمونه‌برداری گردید.

قرمز رنگی را که به عنوان لس‌های پلیستوسن پایین شناخته می‌شوند، می‌پوشانند. مکانیسم تشکیل این رسوبات قرمز رنگ، هنوز به طور کامل شناخته شده نیست. رسوبات قرمز رنگ به احتمال زیاد قدیمی‌تر از رسوبات لسی تشریح شده در مطالعات قبلی هستند. شواهد رسوب‌شناسی نشان می‌دهد که این رسوبات قرمز رنگ گسترده، منشأ بادرفتی دارند. نتایج پالئومغناطیسی نیز، نشان می‌دهد که این رسوبات بین ۱/۸-۲/۴ میلیون سال قبل تجمع یافته‌اند.

به هر حال، عوارض پدوژنیک و آثار اقلیمی گذشته در این لس‌ها در شمال ایران هنوز به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. اهداف تحقیق حاضر عبارت است از: ۱- شناخت خصوصیات و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های لسی قرمز فلات لسی شرق استان گلستان؛ ۲- بررسی مورفولوژی، شناخت و نحوه تشکیل و تبدیل کانی-ها در خاک‌های این منطقه.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

Figure (1) The geographical location of the study area

جدول (۱) اطلاعات عمومی خاک‌های لسی مدرن و قدیمی مورد مطالعه
Table (1) General information of the studied modern and old loess-derived soils

رده‌بندی خاک Soil classification	رژیم حرارتی Temperature regime	رژیم رطوبتی Moisture regime	میانگین دمای سالانه Mean annual temperature (°C)	متوسط بارندگی Mean annual precipitation (mm)	منطقه Region
Typic Haploxeralfs (Calcic Luvisol)	Thermic	Dry Xeric	17.58	300	آق‌بند (خاک قدیمی) Agh-Band (Paleosol)
Typic Xerorthents (Calcaric Regosol)	Thermic	Dry Xeric	17.58	300	آق‌بند (خاک مدرن) Agh-Band (modern soil)
Calcic Haploxeralfs (Calcic Luvisol)	Thermic	Typic Xeric	16	400	یلی‌بدراق (خاک قدیمی) Yelli-Badrag (Paleosol)
Typic Haploxerepts (Calcaric Cambisol)	Thermic	Typic Xeric	16	400	یلی‌بدراق (خاک مدرن) Yelli-Badrag (modern soil)
Calcic Haploxeralfs (Calcic Luvisol)	Thermic	Dry Xeric	17	350	قره‌آغاچ (خاک قدیمی) Qareh-Agach (Paleosol)
Typic Xerorthents (Calcaric Regosol)	Thermic	Dry Xeric	17	350	قره‌آغاچ (خاک مدرن) Qareh-Agach (modern soil)

روش‌های آزمایشگاهی

(۱۹). هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود صورت پذیرفت (۲۵). کربن آلی خاک توسط دی کرومات پتاسیم در مجاورت اسیدسولفوریک غلیظ اکسیداسیون آن صورت گرفت؛ سپس توسط آمونیوم فرو سولفات نیم نرمال در مجاورت معرف فنانتروлін با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (۲۴). کربنات کلسیم معادل به روش خثی کردن مواد خثی‌شونده با سولفات نیم نرمال در مجاورت معرف ارتوفنانتروлін با روش تیتراسیون اندازه‌گیری گردید

بافت خاک، براساس قانون استوکس و باروش هیدرومتری بایکاس اندازه‌گیری شد (۵). برای به‌دست آوردن درصد رطوبت اشباع، مقداری از گل اشباع تهیه، توزین و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی-گراد آون گذاشته شد؛ پس از خشک شدن، نمونه مجدداً وزن و درصد رطوبت خاک در حالت اشباع محاسبه گردید. اسیدیته خاک در حالت گل اشباع و با استفاده از دستگاه pH متر دارای الکتروود شیشه‌ای اندازه‌گیری شد

ارائه شده است. تغییر رنگ افق‌ها در خاک‌های لسی مدرن، نسبت به افق‌های خاک‌های لسی قدیمی این مناطق به‌خوبی نشان‌دهنده تغییر شرایط تشکیل خاک می‌باشد. در خاک‌های قدیمی، همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، افق‌های آرجیلیک و کلسیک دیده می‌شود. تکامل این خاک‌های قدیمی، در مقایسه با خاک‌های مدرن مجاورشان از نظر پدوژنیک بیش‌تر است. رنگ خاک، یکی از خصوصیات بارز و انعکاس‌دهنده شرایط محیطی است که به نوع مواد مادری و مرحله هوادیدگی خاک بستگی دارد. آهن و منگنز در فعل و انفعالات اکسیداسیون احیا شرکت نموده؛ در ایجاد رنگ خاک مؤثر هستند. رنگ خاک و توزیع آن در مورد با مواد تشکیل‌دهنده خاک و فرآیند اکسیداسیون بوده؛ به‌طوری‌که در جدول‌های مورد نظر همیشه راهنمای خوبی در مورد مواد تشکیل‌دهنده و هم‌چنین فرم‌های اکسید شده یا احیا شده ترکیبات آهن خواهد بود. با فرض یکسان بودن مواد مادری - لس‌ها و خاک قدیمی، رنگ و به‌خصوص درجه قرمز شدن بازتاب شدت فرآیندهای خاک‌سازی و هوادیدگی می‌باشند. تغییر رنگ خاک‌های لسی جوان به رنگ زرد کم‌رنگ است؛ زیرا کم‌تر تحت تأثیر هوادیدگی قرار گرفته‌اند (۲۶). تغییرات رنگ، مشخص‌کننده این خاک قدیمی است و نشان‌دهنده شرایط محیطی مناسب‌تر از شرایط امروزی (دما و به‌خصوص بارندگی) است. طاهری و همکاران (۲۸) بر اساس نتایج مطالعه میکرومورفولوژی بیان نمودند که احتمالاً میزان متوسط سالیانه بارندگی در زمان تشکیل خاک‌های لسی اوایل پلیستوسن، ۸۰۰-۶۵۰ میلی‌متر بوده است. آزمایش بافت خاک نشان می‌دهد، سیلت، ذره غالب در خاک‌رخ‌های مدرن بوده که در بیش‌تر افق‌ها بیش از ۶۰ درصد ذرات را تشکیل می‌دهد. با توجه به منشأ بادرفتی رسوبات لسی، غالب بودن سیلت مورد تأیید بسیاری از پژوهشگران است و جزء خصوصیات اصلی این خاک‌ها می‌باشد که با نتایج ضیایی و همکاران (۳۲) مطابقت دارد. اما در خاک‌های

(۲۳). ظرفیت تبادل کاتیونی از روش جانشین کردن یون سدیم به جای کلیه کاتیون‌های قابل تبادل با استفاده از محلول استات سدیم (pH=۸/۲) و جدا نمودن یون‌های سدیم جانشین شده توسط محلول استات آمونیوم (pH=۷) و اندازه‌گیری میزان سدیم جمع‌آوری شده در محلول (معادل کلیه کاتیون‌های قابل تبادل) با دستگاه فلیم‌فوتومتر تعیین گردید (۷).

جداسازی بخش رس نمونه‌ها و شناسایی کانی‌های رسی

۲۰ گرم نمونه خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متری به منظور خالص‌سازی رس توزین شد. برای از بین بردن عوامل شیمیایی سیمان‌کننده و جداشدن ذرات رس از یکدیگر روش کیتریک و هوپ (۱۶) استفاده شد. سپس نمونه خاک به سیلندرهای ۱ لیتری منتقل گردید و با آب مقطر به حجم رسید. سوسپانسیون به‌دست آمده کاملاً هم زده شد و پس از گذشت مدت زمان حدود ۷ ساعت عمل سیفون کردن سوسپانسیون از عمق ۱۰ سانتی‌متری آن برای جدا کردن ذرات رس صورت پذیرفت. رس تفکیک شده، جداگانه توسط کلرید منیزیم و کلرید پتاسیم اشباع سازی شد. بخشی از نمونه‌های اشباع شده با منیزیم با گلیسرول نیز تیمار گردید. به منظور شناسایی کانی‌های رسی در نمونه‌ها، از دستگاه اشعه ایکس (XRD) مدل ADVANCE D8 (در زوایای بین ۲ تا ۳۰ درجه، ولتاژ ۴۰ کیلوولت و جریان ۳۰ میلی‌آمپر) استفاده گردید. برای مطالعه نیمه‌کمی کانی‌ها از سطح زیر منحنی پیک‌های رده اول کانی‌های یافته شده در تیمار منیزیم-گلیسرول به عنوان شدت پیک‌ها استفاده شد (۱۱). شدت پیک‌های به‌دست آمده به عنوان معیاری برای نشان دادن مقدار تقریبی هر نوع رس به کار رفت.

نتایج و بحث

آنالیزهای فیزیکوشیمیایی خاک‌رخ‌های مطالعاتی

خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی خاک‌های لسی قدیمی و مدرن، مورد مطالعه در جدول ۲

کم‌ترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی (۱۹ سانتی‌مول بر کیلوگرم) مربوط به افق C خاک مدرن در آق‌بند و بیش‌ترین مقدار آن (۴۸ سانتی‌مول بر کیلوگرم) مربوط به افق Btk₁ در خاک‌رخ قدیمی یلی‌بدراق است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز، تحت تأثیر مواد آلی و درصد کانی‌های رسی خاک است. ترکیب و مقدار کانی‌های رسی، نقش تعیین‌کننده در مقدار CEC دارند (۹). علت اصلی افزایش CEC، با توجه به نتایج کانی‌شناسی به‌دست آمده، میزان رس زیاد و غالب بودن کانی‌های با بار لایه‌ای بالا مانند اسمکتیت می‌باشد. کم‌تر بودن میزان ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های لسی مدرن در مقایسه با خاک‌های لسی قدیمی، به علت کم‌تر بودن میزان رس، ماده آلی و غالب بودن کانی‌های با بار لایه‌ای کم مانند ایلیت و کلریت می‌باشد.

فرم‌های آهن در ارتباط با فرآیندهای خاک‌سازی

نتایج حاصل از بررسی شکل‌های مختلف آهن در جدول ۳ آمده است. یکی از روش‌های مقایسه‌ای برای آگاهی از چگونگی تکامل خاک‌رخ‌ها، استفاده از شاخص آهن پیوند داده شده با اگزالات و دی‌تیونات و مقایسه‌ای آن‌ها با یکدیگر است. اگزالات، آهن بی‌شکل و آهن پیوند داده با مواد آلی و دی‌تیونات، آهن بلوری، آهن بی‌شکل و آهن ترکیب شده با مواد آلی را دریافت می‌کند و تفاوت این دو، میزان آهن بلوری را نشان می‌دهد که می‌تواند به عنوان شاخصی برای درک بیش‌تر فرآیندهای پدورژنیکی و هوازدهی خاک‌ها به کار رود (۱۴). بلوم و شوارتمن (۶) از نسبت آهن قابل دریافت با دی‌تیونات، به درصد رس برای نشان دادن تفاوت انتقال آهن رس‌دار یا بدون آن، در افق‌های مختلف استفاده کردند. مقدار آهن پدورژنیکی در افق‌های متکامل خاک‌های قدیمی بیش‌تر از افق‌های خاک‌های مدرن می‌باشد. مقدار آهن دی‌تیوناتی (Fed) در شرایط زهکشی ضعیف، کاهش و حرکت مواد و از دست رفتن آهن از خاک‌رخ، کم است.

قدیمی، ذرات رس بیش‌ترین مقدار را دارند. به صورت میانگین، حدود ۵۰-۳۰ درصد رس در افق‌های مختلف مشاهده شد. مقدار رس به صورت چشم‌گیری در خاک‌های قدیمی در مقایسه با خاک‌های مدرن افزایش یافته است و این مسأله می‌تواند به دلیل هوازدهی و یا انتقال رس به افق‌های تحتانی باشد. موس (۲۰) نیز، افزایش میزان رس در توالی‌های لس-خاک قدیمی را نتیجه انتقال رس و هوازدهی، به‌خصوص در بخش خاک‌های قدیمی می‌داند. تمامی نمونه‌های خاک قدیمی، دارای مقدار رس بیش‌تری، نسبت به مواد مادری خود می‌باشند که این موضوع تأییدکننده شرایط اقلیمی مساعد برای انجام فرآیندهای خاک‌سازی و تکامل بیش‌تر خاک قدیمی نسبت به مواد آن‌ها می‌باشد که با نتایج طاهری و همکاران (۲۸) مطابقت دارد. یکی دیگر از ویژگی‌های معمول خاک‌های لسی، وجود کربنات کلسیم است که مقدار آن ۱۵-۱۰ درصد و تا ۴۰ درصد هم می‌رسد. مقدار کربنات کلسیم معادل در افق‌های مختلف متفاوت بوده که شرایط اقلیمی را نشان می‌دهد. با تکامل افق‌ها و شست‌شو و انتقال کربنات‌ها این مقدار کاهش، و در افق‌های تجمعی افزایش می‌یابد، تا جایی که افق‌های Bkkm در خاک‌رخ قدیمی قره‌آغاج با ۳۶/۵ درصد و Bkmb در خاک‌رخ قدیمی یلی‌بدراق با ۳۲ درصد کربنات تشکیل شده است؛ به عبارت دیگر، کاهش میزان کربنات کلسیم نشان‌دهنده افزایش رطوبت و افزایش بارندگی در زمان تشکیل و تکامل افق‌ها است که با نتایج ضیایی و همکاران (۳۲) هماهنگی دارد. در مقابل، خاک‌های مدرن به جزء قره‌آغاج، مقدار کربنات‌ها از سطح به عمق به‌طور عمومی افزایش کمی دارد که آن نشان‌دهنده حضور کربنات در مواد مادری یا به عبارت دیگر، آهنکی بودن مواد مادری و هم‌چنین شست‌شوی کربنات از افق‌های سطحی و تجمع آن در افق‌های زیرسطحی است. مقایسه ظرفیت تبادل کاتیونی بین نمونه خاک‌های مدرن و نمونه خاک‌های قدیمی نشان‌دهنده بالاتر بودن مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک قدیمی می‌باشد.

جدول (۲) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه
Table (2) Physical and chemical properties of the studied profiles

کربنات کلسیم معادل CCE (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (Cmolc Kg ⁻¹)	کربن آلی OC (%)	رطوبت اشباع SP (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	رنگ مرطوب Color (Moist)	عمق Depth (cm)	افق Horizon	منطقه
												Region
												آق بند (Agh Band)
												خاک قدیمی Paleosol
												خاک مدرن Modern soil
9.75	39	0.66	58	1.38	7.15	31	33	36	5YR5/6	0-10	Ay	
8	39	0.78	54	2.29	7.30	33	35	32	5YR6/4	10-30	ABkg	
5.5	42	0.58	57	2.26	6.99	29	41	30	5YR5/8	30-65	Btkg ₁	
3.5	38	0.39	59	1.89	6.88	29	33	38	5YR5/6	65-110	Btkg ₂	
4.5	21	0.78	53	2.50	6.99	30	60	10	10YR6/3	0-10	A	
7.5	19	0.74	47	2.55	7.19	20	65	15	10YR7/4	> 10	C	
7.5	49	1.20	39	1.19	8	21	43	36	10YR5/8	0-15	A	
8.5	47	0.74	48	0.45	8.1	29	25	46	7.5YR4/6	15-35	AB	
10	48	0.74	49	0.63	8.7	27	35	38	5YR4/5	35-110	Btk ₁	
13.5	47	0.58	60	0.92	8.15	21	29	50	5YR4/4	110-190	Btk ₂	
20.5	43	0.37	61	1.31	8.23	17	31	52	5YR5/4	190-240	Bkk	
10	47	0.62	63	1.70	8	25	25	50	5YR5/6	240-340	Btkb	
12	47	0.54	65	0.31	8.04	25	25	50	5YR5/4	340-480	Btkgb	
32	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR5/6	> 480	Bkmb	
8	36	1.36	44	1.12	7.96	21	63	16	10YR3/4	0-10	A	
19.5	30	0.66	41	0.60	8.12	22	66	12	10YR6/4	10-35	Bw	
23.5	26	0.39	41	0.72	7.73	19	65	16	10YR7/3	> 35	C	
21.5	43	0.46	38	0.71	7.91	41	43	16	10YR6/4	0-14	A	
20	42	0.46	59	0.64	7.86	37	31	32	5YR5/4	14-40	Btkg ₁	
15.5	39	0.50	55	2.76	7.84	31	27	42	7.5YR5/6	40-130	Btkg ₂	
25	45	0.15	61	0.51	7.83	21	29	50	5YR4/6	130-190	Btkg ₃	
25.5	43	0.15	63	0.57	7.72	23	31	46	7.5YR5/6	190-230	Btkg ₄₁	
25.5	42	0.11	62	0.39	7.87	25	31	44	7.5YR5/6	230-250	Btkg ₄₂	
36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR5/6	> 250	Bkkm	
32.5	33	1.62	50	1.40	7.83	20	66	14	10YR3/3	0-10	A	
15	30	0.83	49	0.77	7.68	16	68	16	10YR6/4	> 10	C	
												قره آغاج (Ghare Aghach)
												خاک قدیمی Paleosol
												خاک مدرن Modern soil

می‌دهد ایلیت کانی غالب، در نمونه‌های خاک قدیمی و نمونه‌های خاک مدرن در هر سه منطقه می‌باشد. از آن‌جا که ایلیت قسمت عمده مواد مادری لسی در مناطق مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد، حضور آن‌ها در خاک، عمدتاً منشأ ارثی دارد. مطالعات کانی‌شناسی رسوبات لسی در دیگر مناطق استان گلستان (۱۴) نیز، نشان می‌دهد که ایلیت کانی اصلی در این رسوبات است. کلریت در تمام نمونه‌ها تشخیص داده شد. ایلیت و کلریت دو کانی غالب مشاهده شده در مناطق گرم و خشک می‌باشند که تشکیل خاک در این مناطق با سرعت کم‌تری انجام می‌شود (۸ و ۳۱). بنابراین حضور آن‌ها در خاک، عمدتاً به دلیل وجودشان در مواد مادری است.

مقدار کلریت در خاک‌های مدرن هر سه منطقه در مقایسه با خاک‌های قدیمی همان منطقه، افزایش پیدا کرده است. این امر به دلیل تغییر شرایط اقلیمی و هوازدهگی این کانی در خاک‌های قدیمی است (۲۲). الماسی و همکاران (۱) کلریت را در بادرفت‌ها تشخیص داده و یک روند کاهش در اثر هوازدهگی برای آن متصور شدند. اگر کلریت از نوع آهن‌دار باشد، با تمار حرارتی از بین می‌رود. با توجه به اینکه پیک ۷ نانومتر در تیمارهای حرارتی نیز وجود دارد، به نظر نمی‌رسد که از نوع آهن‌دار باشد.

به جز خاک قدیمی قره‌آغاچ، در سایر مناطق مقدار کائولینیت خاک‌های مدرن اندکی بیش‌تر از خاک قدیمی است. کائولینیت هم مانند ایلیت منشأ ارثی دارد؛ زیرا، تشکیل کائولینیت به صورت خاک‌ساز، نیازمند شرایط اسیدی، فعالیت سیلیس کم و اندک بودن کاتیون‌های قلیایی است. نبود این شرایط در منطقه مورد مطالعه نیز، تأییدی بر منشأ توارثی کائولینیت در این خاک‌ها می‌باشد که با مطالعات کاویانی و همکاران (۱۲) مطابقت دارد.

به‌طور کلی در خاک‌هایی که دارای کانی‌های قابل هوازدهگی آهن‌دار هستند، با افزایش هوازدهگی و سن خاک، درصد آهن پدوژنیک نیز، افزایش می‌یابد. کیانی و همکاران (۱۴) بیان کردند که میزان آهن بلوری در افق‌های سطحی و خاک‌های مدفون، دارای بیش‌ترین مقدار است که وجود هوازدهگی را در افق‌های سطحی نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار رس در خاک‌های قدیمی، آهن پدوژنیک افزایش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین دلایل آن شرایط مساعد خاک‌سازی در گذشته و تشکیل آهن پدوژنیک در این خاک‌هاست. از شاخص‌های تکامل خاک، نسبت آهن به دست آمده از اگزالات به آهن به دست آمده از دی‌تیونات (Feo/Fed) می‌باشد که نشانگر مقدار تکامل و گذشت زمان در خاک و کاهش این نسبت نشانگر افزایش تکامل است (۱۷). توزیع نسبی آهن آمورف به پدوژنیک در جدول ۳ نمایش داده شده است. در افق‌های متکامل قدیمی (Bk و Bt) این نسبت کاهش می‌یابد و در افق‌های C و A خاک‌های مدرن، در مقایسه با افق‌های B خاک‌های قدیمی مقادیر بیش‌تری را مشاهده می‌کنیم. علت افزایش این نسبت در برخی از افق‌های خاک مدرن، به علت زهکشی ضعیف می‌باشد (۱۸). از عدد $0/35$ به عنوان نقطه جدا کننده بین زه‌کشی خوب و زه‌کشی فقیر ($>0/35$) استفاده می‌شود. مقدار $Feo/Fed < 0/35$ را برای خاک‌های با زه‌کشی خوب و قدیمی، و $Feo/Fed > 0/35$ را برای خاک‌های جوان با زه‌کشی ضعیف‌تر در نظر گرفته‌اند. مطالعات انجام گرفته بر روی خاک‌های این مناطق نشان می‌دهد که در هیچ یک از افق‌های هر سه منطقه این نسبت از $0/35$ بیش‌تر نشده و حاکی از زه‌کشی مناسب خاک‌ها است. نسبت‌های تقریباً یک‌نواخت آهن دی‌تیونات و رس، غالب بودن تجمع هم‌زمان رس و اکسیدهای آهن را نشان می‌دهد (۳).

کانی‌شناسی رسی خاک‌ها

نتایج کانی‌شناسی مناطق مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. کانی‌شناسی بخش رس نشان

جدول (۳) فرم‌های مختلف آهن در مناطق مورد مطالعه
 Table (3) Different forms of iron in the studied sections

Fe _d -Fe _o	Fe _d /clay	Fe _o /Fe _d	Fe _d	Fe _o	عمق Depth (cm)	افق Horizon	منطقه Region
		%					
1.86	0.05	0.01	1.88	0.02	0-10	Ay	(Agh-Band) آغ‌بند قدیمی (Paleosol)
1.61	0.05	0.01	1.64	0.03	10-30	ABkg	
1.87	0.06	0.01	1.90	0.03	30-65	Btkg ₁	
1.12	0.03	0.01	1.14	0.02	65-110	Btkg ₂	
0.72	0.07	0.01	0.73	0.01	0-10	A	مدرن Modern
0.77	0.05	0.02	0.79	0.02	>10	C	
0.92	0.02	0.04	0.96	0.04	0-15	A	(Yelli-Badrug) یلی‌بدرغ قدیمی (Paleosol)
1.14	0.02	0.02	1.19	0.03	15-35	AB	
1.08	0.03	0.02	1.11	0.03	35-110	Btk ₁	
0.99	0.02	0.02	1.02	0.03	110-190	Btk ₂	
0.95	0.02	0.03	0.98	0.03	190-240	Bkk	
1.22	0.02	0.02	1.25	0.03	240-340	Btkb	
1.10	0.02	0.01	1.12	0.02	340-480	Btkgb	
-	-	-	-	-	>480	Bkmb	
0.73	0.05	0.05	0.75	0.04	0-10	A	مدرن Modern
0.76	0.06	0.03	0.79	0.03	10-35	Bw	
0.61	0.04	0.05	0.64	0.03	>35	C	
0.64	0.04	0.04	0.67	0.03	0-14	A	(Qareh-Agach) قره‌آغاج قدیمی (Paleosol)
0.91	0.03	0.03	0.94	0.03	14-40	Btkg ₁	
0.86	0.02	0.04	0.90	0.04	40-130	Btkg ₂	
1.33	0.03	0.02	1.36	0.03	130-190	Btkg ₃	
0.91	0.02	0.04	0.95	0.04	190-230	Btkg ₄₁	
1.03	0.02	0.02	1.05	0.02	230-250	Btkg ₄₂	
-	-	-	-	-	>250	Bkkm	
0.82	0.06	0.02	0.84	0.02	0-10	A	مدرن Modern
0.76	0.05	0.01	0.77	0.01	>10	C	

Fe_o: آهن پیوند داده شده با اگزالات، Fed: آهن پیوند داده شده با دی‌تیونات.

Fe_o: Iron linked with the oxalate, Fed: Iron linked with dithionite.

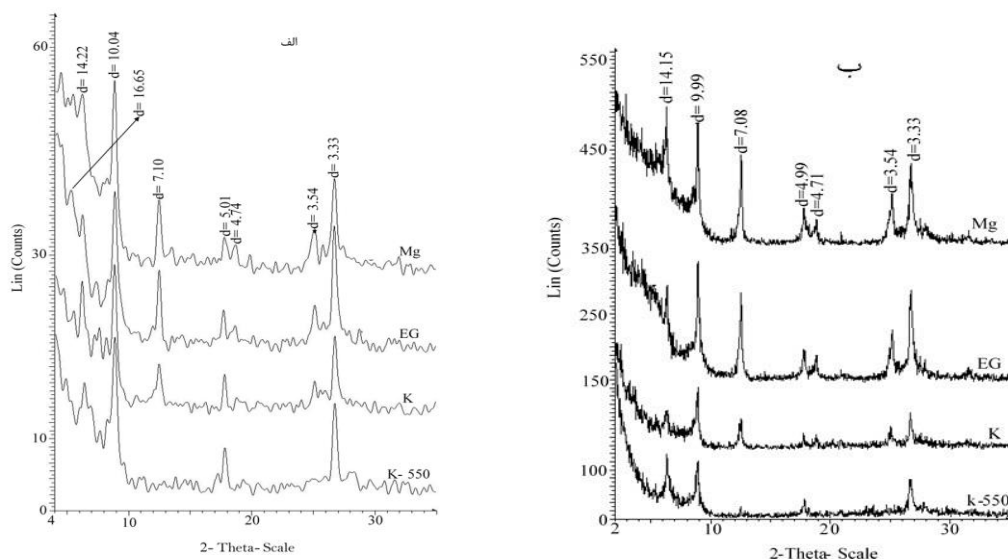
جدول (۴) آنالیز نیمه کمی کانی‌های رسی در خاک‌های مورد مطالعه

Table(4) Semiquantitative analysis of clay minerals in the studied soils

کائولینیت	ورمی کولیت	اسمکتیت	ایلیت	کلریت	عمق (cm)	افق	منطقه
+	-	++	++++	++	0-10	Ay	خاک قدیمی
+	+	+++	++++	+	30-65	Btkg ₁	آق‌بند
++	-	+	++++	+++	0-10	A	خاک مدرن
+	-	+	++++	+++	>10	C	آق‌بند
+	-	+++	+++	+	15-35	AB	خاک قدیمی
+	-	++++	+++	+	35-110	Btk ₁	یلی‌بدراق
++	+	+	+++	++	10-35	A	خاک مدرن
+	-	++	+++	++	>35	C	یلی‌بدراق
++	+	+++	+++	++	0-14	A	خاک قدیمی
+	-	+++	+++	++	40-130	Btkg ₂	قره‌آغاچ
+	-	-	+++	++	0-10	A	خاک مدرن قره‌آغاچ

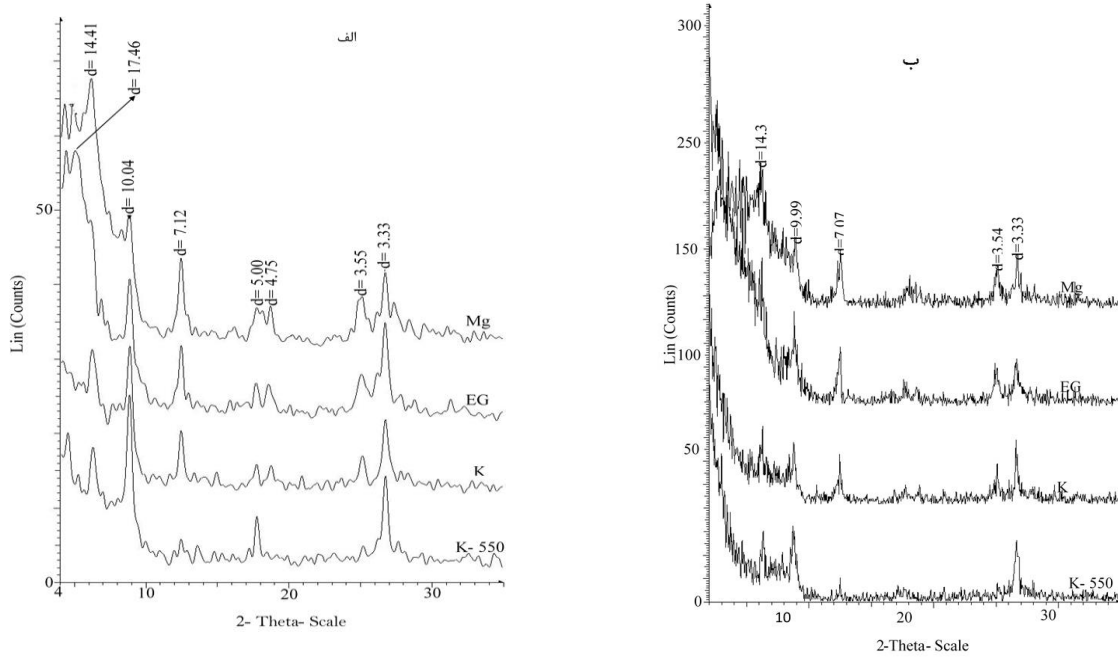
-: ندارد، +: کم‌تر از ۱۰ درصد، ++: ۱۰-۲۵ درصد، +++: ۲۵-۵۰ درصد، ++++: بیش‌تر از ۵۰ درصد.

:- not present, +: >10 %, ++: 10-25%, +++: 25-50%, ++++: >50%.



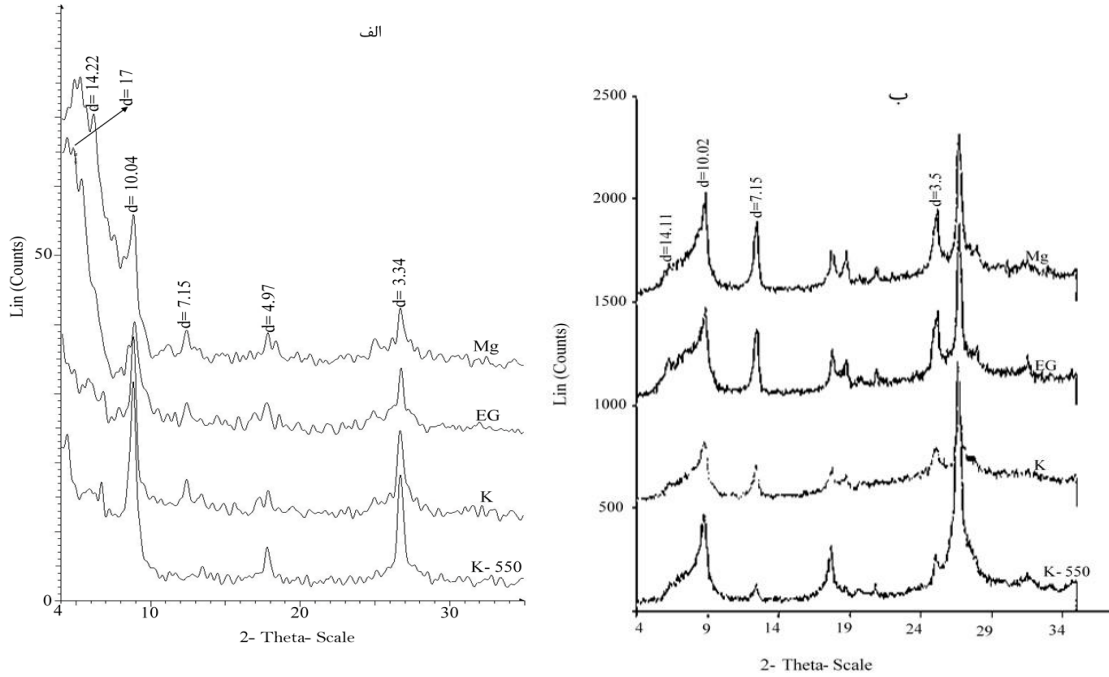
شکل (۲) پراش نگاشت پرتو ایکس در بخش رس خاک قدیمی و مدرن آق‌بند. الف) افق Ay خاک قدیمی و ب) افق A خاک مدرن

Figure (2) X-ray diffraction of the old and modern clay section in Agh-Band region. A) Paleosol horizon Ay and B) modern soil horizon A



شکل (۳) پراش نگاشت پرتو ایکس در بخش رس خاک قدیمی و مدرن یلی بدرآق. الف) افق Btk₁ خاک قدیمی و ب) Bk₁ خاک مدرن

Figure (3) X-ray diffraction of the old and modern clay section in Yelli-Badrag region. A) Paleosol horizon Btk₁ and B) modern soil horizon Bk₁.



شکل (۴) پراش نگاشت پرتو ایکس در بخش رس خاک قدیمی و مدرن قره آغاچ. الف) افق A خاک قدیمی و ب) A خاک مدرن
Figure (4) X-ray diffraction of the old and modern clay section in Qareh-Agach region. A) Paleosol horizon A and B) modern soil horizon A

می‌دهد. به طور کلی می‌توان این چنین بیان کرد که آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی، مورفولوژیکی و کانی‌شناسی هم‌دیگر را تأیید می‌کنند. تمامی نمونه‌های خاک قدیمی، رس بیش‌تری نسبت به خاک‌های لسی مدرن اواخر پلیستوسن داشته که مؤید شرایط اقلیمی مساعد برای انجام فرآیندهای خاک‌سازی و تکامل بیش‌تر خاک قدیمی، نسبت به مواد مادری است. کاهش مقدار بارندگی سالیانه حال حاضر منطقه در مقایسه با اقلیم گذشته، سبب کاهش کانی‌اسمکتیت و افزایش کانی‌کلریت شده است؛ بنابراین حضور فراوان اسمکتیت در خاک‌های قدیمی را نمی‌توان به شرایط کنونی حال حاضر منطقه نسبت داد. وجود این کانی در خاک‌های قدیمی می‌تواند به دلیل شرایط اقلیمی مرطوب گذشته و هم‌چنین هوازگی کانی‌کلریت باشد؛ از این رو مطالعه دقیق‌تر کانی‌های رسی به عنوان کلید تمامی رفتارهای خاک و شواهد تغییر اقلیم گذشته در مناطق مختلف فلات شرقی گلستان می‌تواند در جهت تکمیل مطالعات خاک‌های پالئوسول بسیار مفید باشد.

سپاس‌گزاری

این مقاله بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد که در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گردیده است. بر خود لازم می‌دانم مراتب تشکر صمیمانه خود را از مسئولان آزمایشگاه گروه خاکشناسی و هم‌چنین دوستان گرامی آقایان دکتر شهریار، مهندس غفارپور و خانم دکتر کاویانی که بنده را در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایم.

اسمکتیت با مقادیر کم در افق‌های خاک‌های مدرن هر سه منطقه مشاهده شد. میزان اسمکتیت به طور چشمگیری در افق‌های Bt خاک‌های قدیمی افزایش یافته است. این امر می‌تواند به دلیل تغییر در شرایط اقلیم کنونی نسبت به گذشته باشد. مطالعه شاخص میکرومورفولوژی تکامل خاک که توسط طاهری و همکاران (۲۸) صورت گرفت، نشان می‌دهد که خاک‌های قدیمی لسی قرمز رنگ، در محیطی با متوسط بارندگی سالانه ۴۵۰-۶۵۰ میلی‌متر به وجود آمده‌اند که نشان‌دهنده اقلیم مرطوب‌تر زمان تشکیل آن‌ها، نسبت به لس‌های اواخر پلیستوسن و خاک‌های مدرن می‌باشد. بنابراین، حضور اسمکتیت در خاک‌های قدیمی، را نمی‌توان به شرایط کنونی حال حاضر منطقه نسبت داد. وجود این کانی در خاک‌های قدیمی می‌تواند در شرایط اقلیمی مرطوب گذشته و ناشی از هوازگی کانی‌کلریت باشد. با توجه به پیشرفت هوازگی در خاک قدیمی، منشأ پدورژنیک را می‌توان در کانی‌اسمکتیت انتظار داشت. الماسی و همکاران (۱) تشکیل اسمکتیت را در لس‌ها تأیید کرده‌اند. به عقیده آن‌ها هوازگی و اکسایش کلریت و تخریب فلدسپارها نقش مهمی در تشکیل آن دارد.

نتیجه‌گیری

وجود خاک‌های لسی مدرن و قدیمی به طور هم‌زمان در مناطق مورد مطالعه، نشان‌دهنده تحولات کلی شرایط جغرافیایی و آب و هوایی در طول دوره پلیستوسن است که موجب شده است خصوصیات این لایه‌ها تغییر کرده، در نهایت، اثرات شرایط بالا در زمان‌های مختلف، خاکی را بر جا گذاشته که ترکیبی از شواهد اقلیمی و خاک‌سازی متناوب را در خود نشان

منابع

1. Almasi, A., Pashaei, A., Jalalian, A., and Ayoubi, S. 2004. Investigation on composition and volution of minerals in the loess deposits and plaeosols of Ghapanarea, Golestan Province, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 3: 10-20. (In Persian)
2. Ayoubi, S., Jalalian, A., Eghbal, M.K., and Khademi, H. 2002. Identification and genesis of clay mineral in two paleosol from sepahanshahr (Isfahan) and EmamGheis (Charmahal-Bakhtiari). Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 10: 157-178.
3. Bech, J., Rustullet, J., Garrigo, F.J., and Tobias, R. 1997. The iron of some red Mediterranean soils from northeast spain and its pedogenicsighnificance. Catena, 28: 211-229.
4. Birkeland, P.W. 1984. Soils and Geomorphology. Oxford University Press, New York.
5. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54: 464-465.
6. Blum H.P., Schwertman U., Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe and Mn oxides. 1969. Soil Soil Science Society of America, Proceedings, 33: 438-44.
7. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp: 891-901.
8. Fanning D.S., Keramidas V.S., El-Desoky M.A. 1989. Micas. In: Dixon, J.B., Weed, S.B. 1989, Minerals in Soil Environments, 2nd ed., Soil Science Society of America.
9. Gunal, H., and Ransom, M. D. 2006, b. Genesis and micromorphology of loess-derived soils from central Kansas. Catena, 65: 222-236.
10. Jacobs, P.M., and Mason, J.A. 2004. Paleopedology of soils in thick Holocene loess, Nebraska, USA. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21: 54-70.
11. Johns, W.D., Grim, R.E., and Bradley, W.F. 1954. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. Journal of Sedimentary Petrology, 24: 242-251.
12. Kaviani, N., Khormali, F., Masihabadi, H., and Tazikeh, H. 2014. Micromorphology and clay mineralogy of loess-derived soils of natural and cultivated land uses along a climosequence in Golestan Province. Journal of Water and Soil Conservation, 21(2): 31-58.
13. Khormali, F., and Abtahi, A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. Clay Minerals, 38: 511-527.
14. Khormali. F., Kehl M. 2011. Micromorphology and development of loess-derived surface and buried soils along a precipitation gradient in Northern Iran, Quaternary International, 123- 234: 109.

15. Kiani, F., Jalalian, A., Pashae, A., and Khademi, H. 2006. Clay minerals in soil-loess sequences in asang area, Golestan province. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 2: 395-412.
16. Kittrick, J.A., and Hope, E.W. 1963. A procedure for particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96: 312-325.
17. Mahaney, W.C., Hancock, R.G.V., and Sanmugadas, K. 1991. Extractable Fe-Al and geochemistry of late Pleistocene Paleosol in the Dalijia Shan, Western China. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 6: 75-82.
18. Mckeague, J.A., and Day, J.H. 1966. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 46: 13-22.
19. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A.L. (Ed.): *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp: 199-224.
20. Muhs, D.R. 2013. The geologic records of dust in the Quaternary. *Aeolian Research*, 9: 3-48.
21. Mulders, M.A. 1987. *Remote sensing in soil science*, Agriculture University of Wageningen, Elsevier Publication, 9:3-48.
22. Najafinia, M., Khormali, F., Kiani, F., Baranimotlagh, M. 2017. Comparison of the clay micromorphology of the early Pleistocene paleosols with modern loess-derived soils. *International Conference on Loess Research*, pp: 80.
23. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: *Methods of Soil Analysis. Part II*. Page, A.L. (Ed.). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 181-197.
24. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, In: Buxton, D.R. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. SSSA, Madison, WI, USA. pp: 539-579.
25. Page, M.C., Sparks, D. L., Noll, M.R., and Hendricks, G.J. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy Middle Atlantic Coastal Plain soils. *Soil Science Society of America*, 51: 1460-1465.
26. Pashaei, A. 1997. Study of physico-chemical characteristics and the source of loess deposits in Gorgan plain region. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 23-24: 67-68.
27. Schaetzl, R.J., and Anderson, S. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, 833p.
28. Taheri, M., Khormali, F., Wang, X., Amini, A., Wei, H., Kehl, M., Frechen, M., Chen, F. 2017. Micromorphology of the lower Pleistocene loess in the Iranian Loess Plateau and its paleoclimatic implications. *Quaternary International*, 429: 31-40.

29. Wang, X., Wei, H., Khormali, F., Taheri, M., Kehl, M., Frechen, M., Lauer, M., Chen, M. 2017. Grain-size distribution of Pleistocene loess deposits in northern Iran and its palaeoclimatic implications. *Quaternary International*, 429: 41-51.
30. Wang, X., Wei, H., Taheri, M., Khormali, F., Danukalova. G., Chen, F. 2016. Early Pleistocene climate in western arid central Asia inferred from loess-palaeosol sequences. *Scientific Reports*, 1-9.
31. Wilson M.J. 1999. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and 642 future perspectives. *Clay Minerals*, 34: 7-24.
32. Ziyae, A., Pashaei, A., Khormali, F., and Roshani, M.R. 2013. Some physico-chemical, clay mineralogical and micromorphological characteristics of loess-paleosols sequences indicators of climate change in south of Gorgan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(1): 1-27.