

Clay minerals in soil-loess sequences in Pasang area, Golestan province

F. Kiani¹, A. Jalalian¹, A. Pashae², H. Khademi¹

1- Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- College of Agriculture, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources
Sciences, Gorgan. Iran.

(Received:9/11/2005, received in revised form:27/8/2006)

Abstract: Loess/soil sequences have been proven to be excellent paleoclimate indicators. Large areas of northern Iran are covered by loess deposits which provide a good condition to carry out research on paleoclimate, paleosols and discontinuities. The objectives of this research were to identify clay minerals of soil-loess sequences, to determine the role of climate change in clay mineral transformation and to estimate the relative ages of soil development based on archaeological information. Samples were analyzed by X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The results showed that kaolinite, illite, quartz and feldspar were dominant in the fine clay, coarse clay and silt fractions. The type and the quantity of clay minerals in soils are highly correlated with parent material. Semiquantitative estimation indicated that different clay minerals are quantitatively different in the profiles. This may be due to different weathering rates caused by cool/dry and wet/warm periods. A high degree of chlorite to smectite transformation was observed in deep soil horizon (130–170 cm) where a developed horizon was buried. Differences between soil layers development were confirmed by comparison of oxalate and dithionite extractable Fe.

Keywords: *Loess, Clay minerals, paleoclimate, soil development.*



بررسی کانیهای رسی در دنباله پارینه خاک - بادرفت منطقه پاسنگ استان گلستان

فرشاد کیانی^۱، احمد جلالیان^۱، عباس پاشایی^۲، حسین خادمی^۱

۱ - دانشگاه صنعتی اصفهان، گروه خاکشناسی

۲ - دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه خاکشناسی

(دریافت مقاله ۱۳۸۴/۸/۱۸، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۵/۶/۵)

چکیده: دنباله پارینه خاک-بادرفت (Soil-Loess)، منبعی سرشار از اطلاعات مربوط به آب و هوای گذشته است. کشور ایران با قرار گرفتن بر کمربند بادرفتی کشورهای آسیای میانه، دارای ضخامت زیادی از این خاکهاست. شاخصهایی برای بررسی تغییر اقلیم گذشته در بادرفتها وجود دارند و یکی از آنها کانیهای رسی است. به منظور بررسی نوع، مقدار و خاستگاه کانیهای رسی، خاکرخیایی در اراضی بادرفتی استان گلستان حفر شدند که پس از مطالعات اولیه، چند نمونه سیلت، ریز رس و درشت رس برای بررسی به روش پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی انتخاب شدند. نتایج نشان داد که ایلیت، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، کوارتز، و فلدسپارها از کانیهای غالب در این خاکها هستند. ایلیت، کلریت و کائولینیت در هر سه نمونه یاد شده دیده می‌شوند، کوارتز و فلدسپار کانی موجود در سیلت، و اسمکتیت در ریز رس و درشت رس وجود دارند. گرچه مقدار و نوع کانیهای رسی در خاکها وابستگی زیادی به مواد مادری (ته‌نشستهای بادرفتی) دارند، ولی تفاوتیایی نیز در مقادیر کانیها در طول خاکرخها دیده می‌شوند. با توجه به مطالعات نیمه کمی چنین استنباط می‌شود که گرچه اسمکتیت در این خاکها وجود دارد ولی هوازدگی منجر به تبدیل کانی کلریت به اسمکتیت شده است. بیشترین تبدیل در پارینه خاک مدفون در عمق ۱۳۰ تا ۱۷۰ سانتیمتری مربوط به دوران گرم و مرطوب گذشته دیده می‌شود؛ جایی که هوازدگی روند سریعتری را دنبال کرده است. تفاوت در میزان هوازدگی با اندازه‌گیری آهن قابل استخراج با اگزالات و دایتیونیت به اثبات رسیده است.

واژه‌های کلیدی: بادرفت، کانیهای رسی، تکامل خاک، آب و هوای گذشته، استان گلستان.

مقدمه

بادرفتها، خاکهای حاصلخیزی هستند که نزدیک به ۱۰ درصد کره زمین را پوشانده‌اند. این خاکها از ته نشستهای بادی به رنگ کرم-قهوه‌ای است و شامل ترکیبهای آهک، مقادیر زیادی میکا، فلدسپار و کوارتز هستند [۱]. تثبیت شواهدی از اقلیم گذشته در بادرفتها از سالیان دور شناخته شده است. در سال ۱۸۹۰ هاردکاستل برای اولین بار ارتباط بین بادرفت و اقلیم را بیان کرد [۲]. لیو تانگ شن با بررسی لایه‌بندی بادرفتهای چین، نقش و زمان پدیده‌های اقلیمی را شبیه‌سازی کرد [۳]. در همین زمینه کوکلا در مورد دنباله خاک و بادرفت در اروپا و رابطه آن با اقلیم در پلیستوسن مقاله‌ای ارائه کرده است [۴].

تغییر اقلیم موجب تغییر در کانیهای رسی می‌شود [۵]. کانیهای رسی در حدود ۴۰ درصد کل کانیهای خاک را در بر می‌گیرند. مطالعات این نوع کانیها از چند جنبه قابل توجه است. این کانیها در برابر هوازدگی شیمیائی حساسند، در عملیات عمرانی تاثیرگذار و تعیین کننده چگونگی حاصلخیزی خاک هستند. اهمیت شناسایی کانیهای رسی در تکامل خاک به حدی است که به اعتقاد بردی (۱۹۹۰) نوع کانیهای موجود در خاک بیانگر مراحل هوازدگی خاک است [۶].

مطالعات زیادی روی کانیهای رسی در دنباله پارینه خاک- بادرفت در دنیا صورت گرفته است. فرارو و همکاران (۲۰۰۴) در ایتالیا، برونگر و همکاران (۱۹۹۸) و برونگر (۲۰۰۳) در تاجیکستان، دورن و همکاران (۱۹۹۹) در کرواسی، کاستیچ و پروتیچ (۲۰۰۰) در صربستان، پردریچ (۲۰۰۱) در اکراین، اگلی و همکاران (۲۰۰۳) در سوئیس، آید و آید (۲۰۰۳) در آمریکا، نتلتون و چادویک (۱۹۹۶) در یمن، ژومیونگ یو (۲۰۰۳)، ژیفی لیو و همکاران (۲۰۰۳)، و تامبورینی و همکاران (۲۰۰۳) در چین به بررسی تغییر کانیهای رسی در دنباله پارینه خاک- بادرفت پرداخته‌اند [۷ تا ۱۸]. یک نتیجه کلی از این بررسیها به این صورت است که بادرفتها در دورانهای یخچالی به جا گذاشته شده و پارینه خاکها به دورانهای بین یخچالی مربوط می‌شوند. شدت هوازدگی در دورانهای بین یخچالی در اراضی اروپا از روند بیشتری نسبت به مناطق مشابه آسیائی برخوردارند، بنابر این تفاوت در کانیهای رسی بین بادرفت و خاکهای قدیمی چشمگیر است [۱۳].

در ایران نیز مطالعاتی انجام گرفته است. باربیر (۱۹۶۰) با مطالعه بادرفتهای سپیدرود، آنها را متعلق به دوره هولوسن [۱۹]، و الرز (۱۹۷۱) بادرفتهای نکا و سپیدرود را مربوط به دوران یخچالی و پارینه خاکهای بین آنها را وابسته به دوران بین یخچالی می‌داند [۲۰]. لطیف

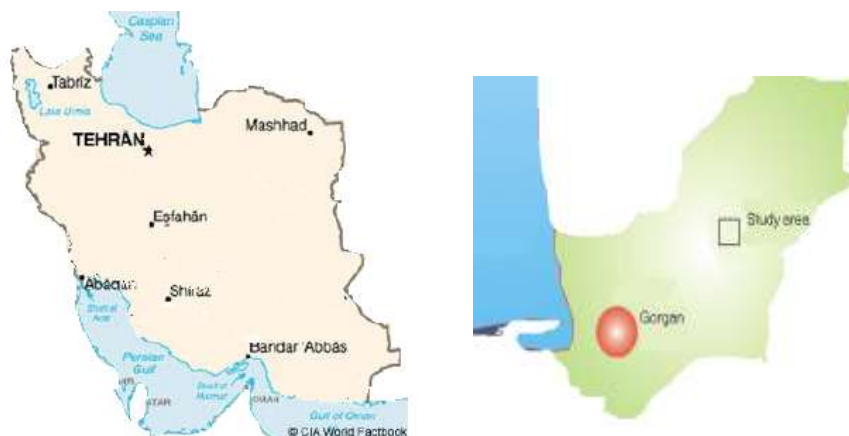
(۱۹۸۸) نیز با بررسی بادرفتهای منطقه نوده به نتایج مشابهی رسیده است [۲۱]. پاشایی (۱۳۷۵) ویژگیهای فیزیکی شیمیایی و خاستگاه بادرفتهای شمال کشور را مورد بررسی قرار داده است. بر اساس این بررسیها، خاستگاه تهنشستهای مناطق پست دریای خزر بادرفتی است [۲۲]. اخروی و امینی (۲۰۰۰) پراکنش و ویژگیهای بادرفتها و محل برداشت و انتقال ذرات را مطالعه کرده‌اند. آنها کشورهای شمال ایران را خاستگاه ذرات بادرفتی دانسته و نوع تهنشستهای بادرفتی ایران را همانند تهنشستهای ازبکستان می‌دانند [۲۳]. محمدی (۲۰۰۲) کانیه‌های رسی را در ردیف‌های ارضی- اقلیمی روی اراضی بادرفتی بررسی کرده است. اسمکتیت با دو خاستگاه خاکساخت و موروثی دارای بیشترین مقدار در بخشهای پایین شیب گزارش شده است [۲۴]. کهل و همکاران (۲۰۰۵) در دو بررسی جداگانه دنباله خاک قدیمی- بادرفت در جنوب و شمال کشور را مورد مطالعه قرار داده‌اند. بر اساس این مطالعات، بادرفتهای جنوب ایران عمری ۳۰ هزار ساله دارند و سه دوره متفاوت اقلیمی مربوط به هولوسن در بادرفتهای حوزه پرسپولیس تشخیص داده شدند. این محققین در شمال کشور، بادرفتهای سه منطقه نکا، نوده، و آق بند را مطالعه کرده و سن تقریبی آنها را با روش لیانی (Luminescence) ارزیابی کرده‌اند [۲۵ و ۲۶]. الماسی و همکاران (۱۳۸۴) نیز به بررسی کانیه‌های رسی در بادرفت و خاکهای قدیمی منطقه قپان استان گلستان پرداختند، و تشکیل پالیگورسکیت و اسمکتیت در اثر تغییر در شدت هوازگی را در آنها دیده‌اند [۲۷].

به طور کلی اهدافی که در این بررسیها دنبال می‌شوند عبارتند از تعیین نوع، مقدار نسبی، و تغییرات کانیه‌های رسی خاک در ریز رس، درشت رس، و سیلت در لایه‌های مختلف بادرفت، و پارینه خاک در منطقه پاسنگ استان گلستان. نتایج به دست آمده می‌تواند شناختی از اقلیم گذشته، روند هوازگی و اثر آن بر کانیه‌های رسی ارائه دهد.

روش مطالعه

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز پاسنگ بین طولهای جغرافیائی ۵۵°۲۹' تا ۵۵°۴۱' شرقی و عرضهای ۳۷°۱۶' تا ۳۷°۱۸' شمالی با مساحت ۲۸۶۹ هکتار در ۲۰ کیلومتری شرق مینودشت قرار دارد (نقشه ۱). ارتفاع متوسط این حوزه ۷۰۵ متر از سطح دریاست. مقدار بارندگی در آن ۷۶۳ میلیمتر در سال و دمای میانگین سالانه ۱۶ درجه سانتیگراد است. از نظر زمین‌شناسی و مطالعات میدانی، این حوزه روی تهنشستهای بادرفتی قرار دارد. با حفر ۱۰ خاکرخ در این اراضی، نمونه‌برداری‌هایی از آنها برای بررسی کانیه‌های رسی صورت گرفت.



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه.

بررسیهای آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک در سایه خشک و پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. عصاره اسیدی گل اشباع تهیه شده از این خاکها، با یک الکتروود شیشه‌ای اندازه‌گیری و عصاره‌های خاک با یک پمپ مکیده شدند [۲۸]. کربن آلی به روش والکلی بلک [۲۹] و مقادیر آهک به روش عیارسنجی برگشتی اسید کلریدریک با هیدروکسید سدیم اندازه‌گیری [۳۰]، و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش اشباع با استات سدیم و تعویض با استات آمونیم برآورد شدند [۳۱]. آهن خاکساخت (پدوژنیک) با دو عصاره‌گیر دایتیونیت-سیترات-بیکربنات و اگزالات اندازه‌گیری [۳۲]، و توزیع اندازه ذرات خاک به روش پی پت تعیین شد [۳۳]. آماده سازی نمونه‌ها برای تجزیه کانیهای رسی به روش کیتریک و هوپ (۱۹۷۵) به این صورت بود که، کربناتها و نمک‌های محلول، مواد آلی، و اکسیدهای آهن آنها به ترتیب با استات سدیم ۱ مولار با اسیدیته ۵، آب اکسیژنه ۳۰ درصد و سیترات بی‌کربنات دایتیونیت، حذف شدند. پس از حذف عوامل سیمان کننده، اجزای مختلف رس (ریز و درشت) و سیلت با مرکز گریز و ته‌نشینی، اجزای مختلف شن با استفاده از الک مرطوب جدا شدند [۳۴].

به منظور تجزیه نیمه کمی کانی‌های رسی و مقایسه‌های دقیق‌تر بین افق‌های پیدایشی یک خاکرخ، مقداری از محلول رس را در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک کرده تا با سائیدن آن پودر یکنواختی به دست آید. سپس با انتخاب دو نمونه ۴۰ میلی گرمی از رس یکی را با منیزیم و دیگری را با پتاسیم اشباع کرده و یک سوسپانسیون کاملاً یکنواخت به حجم یک سانتیمتر مکعب تهیه و با قرار دادن آن روی یک لام برای تهیه یک نمونه آرایش

یافته، به سوسپانسیون فرصت داده شد تا در دمای اتاق خشک شود. سپس نمونه‌های تیمار شده جداگانه با پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های اشباع شده با منیزیم پس از تجزیه با پرتو ایکس، برای اشباع با بخار اتیلن گلیکول، به مدت یک شبانه روز در خشک کن در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته و نمونه‌های اشباع شده با پتاسیم به ترتیب در دمای ۱۱۰ و ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت تیمار گرمایی شدند. سپس نمونه‌های تیمار شده به وسیله دستگاه یک پراش سنج پرتو ایکس مدل شیمادزو با استفاده از یک تک فام ساز و تابش $\text{Cu-K}\alpha$ زیر اثر جریانی به شدت ۴۰ میلی آمپر و ولتاژ ۴۰ کیلو ولت تجزیه شدند. برای بررسی نیمه کمی کانی‌ها از سطح زیر قله استفاده شد [۳۵].

برای بررسی دقیقتر، نمونه‌هایی خشک شده را با چسب کربن روی پایه‌های آلومینیومی نصب کرده و سپس با لایه‌ای از طلا پوشش داده شدند. این نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل فیلیپس و نیز به وسیله طیف سنجی پرتو ایکس مورد بررسی کمی قرار گرفتند.

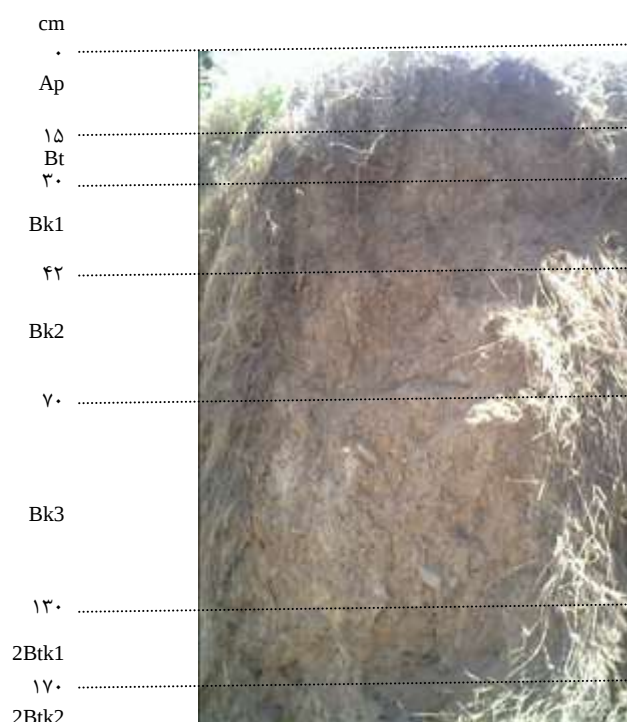
بررسی‌های انجام شده

۱- توصیف خاک منطقه

از خاک‌های بررسی شده، برخی از سرشته‌های فیزیکی یک خاک‌رخ به عنوان شاهد در جدول ۱ درج شده‌اند. تبدیل کاربری اراضی از جنگل به زمین کشاورزی موجب کاهش ضخامت انباشت مواد آلی و تبدیل افق سطحی مالیک به اکریک شده است. در این خاک‌رخ، وجود شواهدی مبنی بر انباشت رس و آهک موجب تشکیل افق‌های سرشتی عمقی آرجیلیک و کلسیک را در پارینه خاک شده است. به نظر می‌رسد پس از آخرین دوره رسوبگذاری، هوازدگی موجب شده تا آهک تا عمق ۳۰ سانتیمتری شسته شده و با ایجاد این شرایط، ذرات رس منتقل شده از افق بالایی در این مکان (۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر) انباشته شوند (افق Bt). بنابراین با توجه به رژیم‌های گرمایی و رطوبتی مزیک و زریک این خاک‌ها در رده بندی آمریکایی (۱۹۹۹) جزء گروه بزرگ کلسیک هاپلو زرالفز قرار می‌گیرند. در این خاک‌رخ‌ها آثاری از پوسته‌های حلزونی، سخت دانه های آهکی و بادرفتی دیده می‌شوند. وجود این آثار و نیز عدم لایه بندی مشخص، نظریه پاشایی (۱۳۷۵)، و اخروی و امینی (۲۰۰۱) مبنی بر انتقال این ذرات به وسیله باد در زمانهای گذشته را قوت می‌بخشد [۲۲ و ۲۳]. هنگام مطالعه خاک‌رخ‌های خاک، شواهدی مبنی بر وجود بریدگی خاک مشاهده می‌شود. از جدول ۱ پیداست که، در عمق ۱۳۰ سانتیمتری یک خاک متفاوت و مکملی با مواد آلی بالا با ته‌نشست‌های بادرفتی جدید حاوی آهک، پوشانده شده است (شکل ۲).

جدول ۱ سرشتیهای انتخاب شده خاکرخ شاهد.

افق	عمق cm	رنگ زمینه مرطوب	pH	OC %	CaCO ₃ %	CEC Cmol ₍₊₎ /kg	Sand %	Silt %	Clay %
Ap	۱۵-۰	۴/۴YR۱۰	۴/۷	۹۸/۲	۱۶	۶/۷	۳۳	۵۸	۹
Bt	۳۰-۱۵	۶/۵YR۱۰	۴/۷	۶۳/۲	۲/۱۵	۴/۷	۳۴	۵۲	۱۴
Bk _۱	۴۲-۳۰	۶/۵YR۵/۷	۶/۷	۳۱/۱	۱۸	۴/۷	۲۸	۶۱	۱۱
Bk _۲	۷۰-۴۲	۶/۵YR۵/۷	۶/۷	۴۹/۱	۶/۱۷	۵/۷	۲۰	۷۰	۱۰
Bk _۳	۱۳۰-۷۰	۶/۵YR۵/۷	۵/۷	۳۷/۱	۷/۱۹	۵/۷	۱۴	۷۵	۱۱
۲Btk _۱	۱۷۰-۱۳۰	۴/۵YR۵/۷	۶/۷	۱/۲	۲۵	۶/۷	۱۷	۶۶	۱۷
۲Btk _۲	+۱۷۰	۴/۵YR۵/۷	۴/۷	۶۸/۲	۲۷	۶/۷	۱۷	۶۵	۱۸



شکل ۲ تصویر خاکرخ مورد مطالعه در منطقه پاسنگ.

نتایج بررسی آهن خاکساخت، مواد آلی، درصد اجزای ذرات، و درصد آهک این مطلب را ثابت می‌کند. با بررسی وجود پوسته‌های رسی و آهک خاکساخت به صورت رشته‌ای و انباشت و نسبت ریز رس به رس کل و مقایسه افقها، می‌توان فرضیه‌ای در تشکیل و تکامل این پارینه

خاک به این صورت بیان داشت که در دورانه‌های گذشته شرایط رطوبتی باعث ایجاد یک خاک مکمل با افق‌های انباشت رس و آهک (آرجیلیک و کلسیک) شده است. در یک دوره با شرایط اقلیمی نامتعادل، یک فرآیند رسوبگذار باعث ته‌نشست ذرات بادرستی انباشته از آهک روی خاک قبلی شده است. وجود این برش در خاک‌های بادرستی استان گلستان که به دنباله پارینه خاک- بادرست تعبیر می‌شود، توسط پاشایی (۱۳۷۵)، اخروی و امینی (۲۰۰۱) کهل و همکاران (۲۰۰۵) و الماسی (۱۳۸۴) گزارش شده است [۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۷].

۲- بررسی کانیهای رسی در خاکها

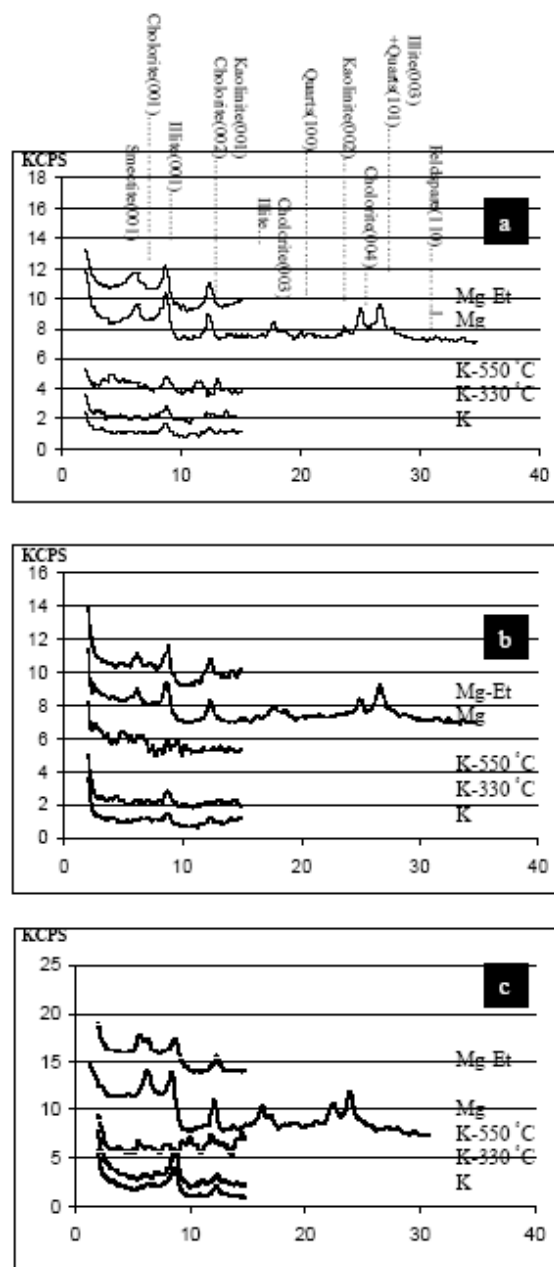
کانیهای شناسایی شده از تجزیه و تحلیل پراش نگاشتها (شکل ۳) به شرح زیرند: در پراش نگاشتهای بخش ریز رس و درشت رس، قله ۰/۷ نانومتر دیده شد که در تیمار اتیلن گلیکول و پتاسیم با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد تغییری نکرده است ولی با تیمار پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌رود. این قله که در تمام نمونه‌ها دیده می‌شود نشانگر کانی کائولینیت است. قله صفحه دوم و سوم این کانی در ۰/۳۵ و ۰/۲۳ نانومتر نیز دیده می‌شود. با توجه به عدم وجود شرایط اقلیمی گرم و مرطوب در منطقه و نیز میزان اسیدیته خاکهای مورد مطالعه، انتظار تشکیل کائولینیت نبود و به نظر می‌رسد این کانی از مواد مادری به ارث رسیده باشد. این کانی در اکثر مطالعات انجام شده روی بادرشتهای شناسایی شده است. بنا بر گزارش اخروی و امینی (۲۰۰۱)، ۱۰ تا ۱۵ درصد کانیهای رسی در بادرشتهای شمال کشور را کائولینیت تشکیل داده است [۲۳]. الماسی و همکاران (۱۳۸۴) نیز این کانی را در بادرشتهای منطقه قپان استان گلستان شناسایی کرده‌اند [۲۷].

در پراش نگاشتهای نمونه‌های اشباع با منیزیم، قله ۱ نانومتر که در اثر تیمارهای اتیلن گلیکول و تیمار پتاسیم با دمای ۵۵۰°C تغییری نمی‌کند، کانی ایلیت را نشان می‌دهد. دو قله ۰/۵ و ۰/۳۳ نانومتر مربوط به صفحات دوم و سوم ایلیت هم مشاهده می‌شود. اخروی و امینی (۲۰۰۱) معتقدند که این کانی ۴۰ تا ۶۵ درصد وزنی کانیهای رسی بادرشتهای را فرا گرفته است [۲۳]. با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، امکان تبدیل ایلیت به اسمکتیت در اثر آبشویی و هوازگی افق سطحی وجود دارد. در خاک فوقانی، به ارث رسیدن ایلیت از مواد مادری بادرستی و نیز تبدیل این کانی به اسمکتیت در شرایط آب و هوایی کنونی محتمل است. الماسی و همکاران (۱۳۸۴) نیز با بررسی پارینه خاک- بادرست، به این نتیجه رسیدند که ایلیت در مواد مادری این خاکها وجود داشته است و در خاکهای قدیمی از مقدار آن کاسته می‌شود [۲۷].

وجود قله ۱/۴۴ نانومتر در تیمار منیزیم و پایداری این قله در تیمار اتیلن گلیکول نشانگر وجود کانی کلریت است. وجود جا به جایی در قله کلریت در طول تیمار با اتیلن گلیکول و حالت دنداندار و پهن در این منطقه به دلیل وجود کانیهای حد واسط کلریت- اسمکتیت یا

کلریت-ورمیکولیت است. گیلکز و همکاران (۱۹۷۲) به این نتیجه رسیدند که تشکیل ورمیکولیت از کلریت با اکسایش اولیه آهن فرو، سپس ناپدید شدن آهن فریک و منیزیم از ورقه هیدروکسیدی کلریت همراه است، این ساز و کار در خاکهای حاوی آهن زیاد روی می‌دهد [۳۶]. بنا به گزارش بیول (۱۹۹۱) هرچه نسبت آهن به منیزیم در کلریت بالا رود حساسیت این کانی نسبت به هوازدهی بیشتر می‌شود [۳۷]. با بررسی پراش نگاشته‌ها مشاهده می‌شود که شدت قله ۱/۴۴ نانومتر با تیمار پتاسیم و دمای 550°C افزایش یافته که شکل هشت وجهی سه‌تایی این کانی را ثابت می‌کند. به نظر می‌رسد که به دلیل شدید بودن قله‌های (۰۰۲) و (۰۰۴) نسبت به قله‌های (۰۰۱) و (۰۰۳)، کلریت غنی از آهن در این خاکها وجود داشته باشد. بر اساس تحقیقات اخروی و امینی (۲۰۰۱) ۳۵ تا ۴۰ درصد وزنی کانیهای رسی بادرستی شمال کشور متشکل از این کانی است. محمدی (۲۰۰۲) تغییری در میزان کلریت در اثر پستی و بلندی و اقلیم در بادرستها مشاهده نکرده است. الماسی و همکاران (۱۳۸۴) کلریت را در بادرستها تشخیص داده و یک روند کاهشی در اثر هوازدهی برای آن متصور است [۲۷].

در تفسیر پراش نگاشته‌ها، یک قله در ۱/۴۲ نانومتر در تیمار منیزیم وجود داشت که با تیمار اتیلن گلیکول به ۱/۵۸ تا ۱/۶۵ نانومتر تغییر مکان داد که بیانگر وجود کانی اسمکتیت به همراه کانیهای مخلوط اسمکتیت-کلریت است. گرچه در برخی خاکرخیهای مورد مطالعه الماسی و همکاران (۱۳۸۴)، این کانی در مواد مادری یافت نشد [۲۷]، با این حال اخروی و امینی (۲۰۰۱) ۲۵ تا ۴۰ درصد وزنی را در بادرستها برای این کانی در نظر گرفته‌اند [۲۳]. به عقیده جانسون و همکاران (۱۹۸۹) اگر این انبساط بین ۱/۶ تا ۱/۷ نانومتر صورت گیرد، نشان دهنده وجود اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد است که از انبساط لایه‌های رس تا حدود ۱/۷ تا ۱/۸ نانومتر و بیشتر جلوگیری می‌کند [۳۸]. بنابراین می‌توان گفت که اسمکتیت‌های این منطقه دارای بار لایه‌ای زیاد بوده و از کلریت حاصل شده‌اند. در قله‌های مربوط به ریز رس، این مورد به وضوح دیده شد که دلیل آن اندازه کانی اسمکتیت است که در بخش ریز رس دیده می‌شود. در طول خاکرخ میزان اسمکتیت متغیر است، به طوری که در افقهای سطحی این میزان بیشتر و در اعماق کمتر است. در خاک مدفون میزان اسمکتیت بیشتری وجود دارد. با توجه به پیشرفت هوازدهی در خاک مدفون شده خاستگاه خاکساخت را می‌توان در کانی اسمکتیت انتظار داشت. الماسی و همکاران (۱۳۸۴) و محمدی (۲۰۰۲) این تشکیل را در بادرستها تایید کرده‌اند [۲۴] و [۲۷]. به نظر می‌رسد هوازدهی و اکسایش کلریت و تخریب فلدسپارها نقش مهمی در تشکیل اسمکتیت دارد.



شکل ۳. پراش نگاشت ذرات رس ریز a. عمق ۳۰-۱۰ سانتیمتر b. عمق ۱۰۰-۱۳۰ سانتیمتر c. عمق ۱۳۰-۱۷۰ سانتیمتر.

۳- بررسی نیمه کمی مقدار کانیهای رسی

نتایج به دست آمده از پراش نگاشتها نشان می‌دهد که این خاکها حاوی کانیهای ایلیت، کائولینیت، کلریت، کوارتز، و فلدسپار و در بعضی مناطق اسمکتیت با مقادیر مختلف در اجزای ریز رس، درشت رس و سیلت هستند (جدول ۲). سهم بیشتر کانیهای بادرفتی مربوط به کانیهای ایلیت و کلریت است. نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی پرتو ایکس نتایج بالا را تایید می‌کند (شکل ۴). در بخش ریز رس، ایلیت، کلریت، کائولینیت، و اسمکتیت دیده شد و پراش نگاشتها وجود کوارتز و فلدسپارها را نشان نمی‌دهند. در بخش درشت رس نیز ایلیت و کلریت که کانی غالباند، کائولینیت وجود دارد و اسمکتیت فقط در افقهای سطحی دیده می‌شود. ولی نشانی از کوارتز و فلدسپارها در این بخش نیز وجود ندارد. در بخش سیلت، با تاکید دوباره بر وجود کانیهای ایلیت، کلریت، و کائولینیت قله‌های مربوط به کوارتز و فلدسپارها نیز دیده شد و در مقابل اثری از اسمکتیت نیست. نمچ و همکاران (۲۰۰۰) و کاستیچ و پروتیچ (۲۰۰۰) در صربستان به بررسی نوع کانیها بر اساس اندازه ذرات پرداخته و نتایج مشابهی ارائه داده‌اند [۱۰ و ۳۹]. بررسی نیمه کمی عناصر نشان می‌دهد مقادیر کانیها در افقهای سطحی و عمیق و در بخشهای مختلف، اندازه ذرات متفاوت است. مقدار ایلیت در بخش رس ریز و درشت رس در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بوده و در بخش سیلت تا ۶۰ درصد نیز می‌رسد. این کانی در بخش خاک قدیمی و بادرفت تفاوت چندانی نشان نمی‌دهد. برونگر (۱۹۹۸) نیز تفاوت آشکاری در میزان ایلیت بادرفتهای تاجیکستان مشاهده نکرده است [۸]. اندازه ذرات کلریت در بخشهای مختلف تقریباً روند یکسانی داشته ولی در اعماق خاخرخ و در بخش بادرفت مقدار بیشتری دارد. نتایج مشابه توسط فرارو و همکاران (۲۰۰۴) در ایتالیا، اگلی و همکاران (۲۰۰۱) در سوئیس، گلیسکو و آرنولد (۲۰۰۳) در بادرفتهای سوئد و ژیفی لیو و همکاران (۲۰۰۳) در بادرفتهای چین به دست آمده است [۷، ۱۲، ۱۷، ۴۰]. الماسی نیز روند مشابهی در بادرفتهای منطقه قپان استان گلستان به دست آورده است [۲۷]. کائولینیت در سه بخش رس ریز و درشت و سیلت و نیز اعماق مختلف روند یکسانی دنبال می‌کند. برونگر (۱۹۹۸) در بادرفتهای تاجیکستان و محمدی (۲۰۰۲) و الماسی (۱۳۸۴) در استان گلستان به نتایج مشابهی رسیده‌اند [۲۴ و ۲۷]. اسمکتیت فقط در بخش ریز رس و درشت رس دیده شد و مقدار آن نسبت به بخش بادرفت در افقهای مکمل سطحی و خاک قدیمی بیشتر است. گرچه خاستگاه متفاوتی برای این کانی در مراجع آمده است ولی پیدایش و افزایش این کانی در خاک قدیمی نسبت به بادرفت در اکثر منابع موجود است. گلیسکو و آرنولد (۲۰۰۳) در خاکهای قدیمی مدفون چین، برونگر (۱۹۹۸) در بادرفتهای تاجیکستان، پردریچ (۲۰۰۱) در اکراین، اگلی و همکاران (۲۰۰۱) در آلپ و در ایران الماسی (۱۳۸۴) و محمدی (۲۰۰۲) افزایش

اسمکتیت در افقهای مکمل در خاکهای بادرفتی در شمال کشور را گزارش کرده‌اند [۸، ۱۱، ۱۲، ۲۴، ۲۷، ۴۰]. کوارتز و فلدسپارها در بخش سیلت دیده شدند و مقدار آن در افقهای عمقی بیشتر است که با نتایج نمج و همکاران (۲۰۰۰) همخوانی دارد [۳۹].

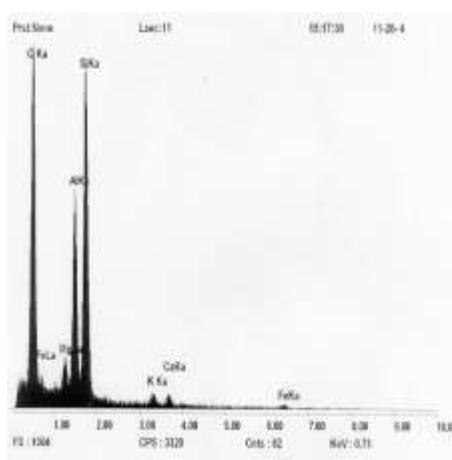
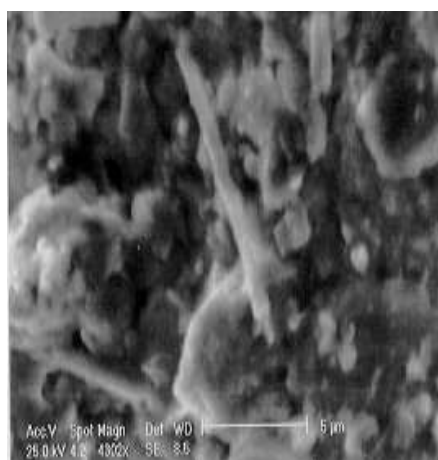
جدول ۲ نتایج بررسی نیمه کمی کانیهای رسی مورد مطالعه.

Fl	Q	Sm	Ka	Ch	Il	(سانتیمتر) عمق
(میکرون > ۲/۰) ریز رس						
tr	tr	XXX	XX	XXX	XXX	۱۰-۳۰
tr	tr	XX	XX	XXXX	XXX	۱۲۰-۱۰۰
tr	tr	XXX	XX	XXX	XXX	۱۵۰-۱۷۰
(۲ میکرون - ۲/۰) درشت رس						
tr	tr	XXX	XX	XXX	XXX	۱۰-۳۰
tr	tr	tr	XX	XXXX	XXX	۱۲۰-۱۰۰
Tr	tr	XXX	XX	XXX	XXX	۱۵۰-۱۷۰
سیلت (۲-۵۰ میکرون)						
X	X	tr	XX	XX	XXXX	۱۰-۳۰
XX	XXX	tr	XX	XXX	XXX	۱۲۰-۱۰۰
X	XX	tr	XX	XXX	XXX	۱۵۰-۱۷۰

Il=یلیت، Ch=کلریت، Ka=کائولینیت، Sm=اسمکتیت، Q=کوارتز، Fl=فلدسپار

Tr=>۵٪، X=۵-۱۰٪، XX=۱۰-۳۵٪، XXX=۳۵-۵۰٪، XXXX=۵۰-۷۰٪، XXXXX=۷۰٪

>



شکل ۴ تصویر ریز نگاشت SEM و طیف نگاشت پرتو ایکس مربوط به عمق ۱۲۰-۱۰۰ سانتیمتر.

۴- بررسی اشکال مختلف آهن

یکی از روشهای مقایسه‌ای برای آگاهی از چگونگی تکامل نیمرخی خاک، استفاده از شاخص آهن دریافت شده با اگزالات و دایتیونیت و مقایسه آنها با یکدیگر است. اگزالات، آهن بی‌شکل و آهن پیوند داده با مواد آلی، دایتیونیت، 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 هوازدهی خاکها به کار رود. بلوم و شوارتمن (۱۹۷۹) از نسبت آهن قابل دریافت با دایتیونیت، به درصد رس برای نشان دادن تفاوت انتقال آهن رس‌دار یا بدون آن، در افقهای مختلف استفاده کردند [۴۱]. نتایج حاصل از بررسی شکلهای مختلف آهن در جدول ۳ آمده‌اند. چنانکه از نتایج بر می‌آید میزان آهن دریافت شده با اگزالات در افق سطحی بیشترین مقدار را داشت و سپس یک کاهش در افق Bt تا عمق ۳۰ سانتیمتری دیده شد و دوباره این مقدار تا افق مدفون افزایش می‌یابد. میزان آهن دریافت شده با دایتیونیت در افقهای سطحی بیشترین مقدار و سپس از عمق ۳۰ سانتیمتری کاهش می‌یابد و یک افزایش در افق خاک مدفون دیده می‌شود. میزان آهن دریافت شده با اگزالات به دایتیونیت در افق سطحی ۰/۰۹۲ بوده و در افق Bt یک کاهش نشان داده و سپس دوباره افزایش می‌یابد. در افق اول خاک مدفون، میزان این نسبت دارای بیشترین مقدار است. میزان آهن بلوری به عنوان شاخص هوازدهی در افقهای سطحی بیشترین مقدار را نشان داده و سپس با افزایش عمق کاهش می‌یابد. افقهای مدفون دارای مقادیر بالایی از آهن بلوری شکل هستند. نتایج مشابهی توسط رمضانپور (۱۳۸۱) و ترابی (۱۳۷۳) نیز به دست آمده‌اند [۴۲ و ۴۳].

جدول ۳ فرمهای مختلف آهن قابل دریافت.

افق	عمق cm	Fe _o (%)	Fe _D (%)	Fe _o /Fe _D	Fe _D /clay	Fe _D -Fe _o (%)
Ap	۰-۱۵	۰/۰۸۶	۰/۹۳	۰/۰۹۲	۰/۱۰۳	۰/۸۴۳
B _t	۱۵-۳۰	۰/۰۷۵	۰/۹۲	۰/۰۸۱	۰/۰۶۹	۰/۸۳۰
B _{k1}	۳۰-۴۲	۰/۰۸۱	۰/۷۷	۰/۱۰۵	۰/۰۷۰	۰/۶۸۹
B _{k2}	۴۲-۷۰	۰/۰۷۹	۰/۷۷	۰/۱۰۲	۰/۰۷۷	۰/۶۹۱
B _{k3}	۷۰-۱۳۰	۰/۰۷۹	۰/۷۶	۰/۱۰۳	۰/۰۶۹	۰/۶۸۱
۲B _{k1}	۱۳۰-۱۷۰	۰/۰۷۲	۰/۵۱	۰/۱۴۱	۰/۰۳۹	۰/۴۳۸

$^{20}\text{B}_{\text{tkv}}$	$^{170+}$	۰/۰۹۵	۰/۷۸	۰/۱۲۱	۰/۰۶۰	۰/۶۸۵
------------------------------	-----------	-------	------	-------	-------	-------

FeO = آهن دریافت شده با گزالات، FeD = آهن دریافت شده با دایتریونیت

بحث و برداشت

گرچه در شمال ایران، بادرفتها از رودخانه ارس در آذربایجان شرقی تا رودخانه اترک در استان گلستان و شمال خراسان پراکنده شده‌اند (بوش و همکاران ۱۹۹۰) [۴۴]، ولی بادرفتها به همین مناطق محدود نمی‌شوند. کهل و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی بادرفتهای منطقه فارس، آنها را از لحاظ ویژگیها، همسان با بادرفتهای اسپانیا می‌دانند [۲۶]. وجود بریدگی در بادرفتها و دنباله پارینه خاک-بادرفت در ایران توسط الرز (۱۹۷۱)، لطیف (۱۹۸۸) کهل و همکاران (۲۰۰۵) در شمال و جنوب کشور (استان گلستان و فارس)، پاشایی (۱۳۷۵) و الماسی (۱۳۸۴) مشاهده شده است [۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۵ و ۲۷]. نظریه عمومی بر این نکته استوار است که بادرفتهای مربوط به دوران یخچالی و پارینه خاکها متأثر از دوران بین یخچالی هستند. مطالعات اندکی در مورد خاستگاه بادرفتهای ایران انجام شده است. اخروی و امینی (۲۰۰۱) معتقدند که بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، روند تغییرات عناصر کمیاب و دانه‌بندی ذرات، بادرفتها از سنگهای گرانیتی و گرانودیوریتی ایجاد شده‌اند. این سنگها در دوران یخچالی هوادیده و آسیاب شده و در زمانهایی با اقلیم سرد و خشک و با پوشش استپی کم تراکم به وسیله باد منتقل شده‌اند و مکان برداشت این بادرفتهای کشورهای شمالی ایران، به خصوص صحرای قاراقوم بوده است. به همین دلیل بادرفتهای ایران شباهت زیادی به بادرفتهای ازبکستان و تاجیکستان دارد [۲۳]. بر اساس مطالعات پاشایی (۱۳۷۶) خاستگاه بادرفتها، ته نشستهای سیلابی و تپه ماسه‌های فرورفتگیهای دریای مازندران است. این ته‌نشستها با عقب نشینی دریای مازندران به جا گذاشته شده و با جریانهای باد غالب منتقل شده‌اند [۲۲].

با توجه به منابع ذکر شده به نظر می‌رسد چگونگی تکوین و تکامل این خاک به این گونه باشد که ته‌نشستهای بادرفتی در گستره گسترده‌ای از منطقه، در دوره‌های سرد و خشک به جا گذاشته شده‌اند. بریدگی این دوره‌ها با ظهور اقلیم مرطوب باعث شد تا فرایندهای خاکساز، رد پای از خود در نهشته‌های بادرفتی به جا بگذارند. در دوره‌های گذشته وجود اقلیم مرطوب باعث انتقال و تجمع آهک و ذرات رس موجود در بادرفتها شده که منجر به ایجاد افقهای کلسیک و آرجیلیک پیشرفته می‌شود (۱۷۰-۱۳۰ سانتیمتر). به نظر می‌رسد خاک سطحی فرسایش یافته و در این زمان یک دوره رسوبگذاری ذرات بادرفت رخ داد که باعث پوشیده شدن منطقه ته‌نشستهای بادرفتی تکامل نیافته و انباشته از آهک و صدفهای دریایی می‌شود.

اقلیم حاکم بر این خاکها از دوران رسوبگذاری تا کنون موجب یک لایه ته‌نشست ذرات رس (آرجیلیک) از ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری و افقهای انباشته از آهک (کلسیک) از ۳۰ سانتیمتری تا لایه مدفون شده است. به نظر می‌رسد انتقال رس با خروج آهک از این افق همراه بوده است. این افقها در نتیجه هوازگی ایجاد شد که نتایج مربوط به آهن قابل دریافت با اگزالات و دایتیونیت هم آنرا اثبات می‌کند. میزان آهن بلوری در افقهای سطحی و خاک مدفون دارای بیشترین مقدار است که وجود هوازگی را در افقهای سطحی نشان داده و نیز نظریه بیان شده را تحکیم می‌بخشد. نتایج کانی‌شناسی با استفاده از پراش نگاشتهای پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی پرتو ایکس نشان دادند که در این خاکها کانیهای رسی، بیشتر متأثر از مواد مادری یا همان ته‌نشستهای بادرفتی هستند و نقش موروثی آنها بیشتر از تغییر و تبدیل در اثر هوازگی است. برونگر (۲۰۰۳) در تاجیکستان و تابورینی و همکاران (۲۰۰۳) در چین نتایج مشابهی گزارش کردند و عقیده دارند بیشترین تفاوت کانیهای رسی در دو حالت پارینه خاک و بادرفت در اروپا در مقایسه با آسیا بیشتر است [۱۳ و ۱۸]. کانیهای غالب در منطقه مورد مطالعه بیشتر ایلیت، کلریت، کائولینیت در سه بخش ریز رس، درشت رس، و سیلت بوده و کواتز، فلدسپار و اسمکتیت بر اساس اندازه ذرات و شرایط غالب بر خاک بروز می‌کنند. وجود کواتز و فلدسپارها در سیلت و عدم وجود آنها در اجزای رسی به دلیل اندازه درشت این کانیهاست. در مقابل اسمکتیت‌ها به دلیل اندازه کوچک‌تر در بخش رس دیده می‌شوند. وجود کانی اسمکتیت در افقهای هوازده و قدیمی مدفون و روند کاهشی نسبت به کانی کلریت این نظریه را مطرح می‌سازد که در اثر هوازگی، کلریت به اسمکتیت تبدیل شده است. این تبدیل در عمق بیش از ۱۳۰ سانتیمتر مربوط به اقلیم مرطوب گذشته بیشتر مشاهده می‌شود. فرارو و همکاران (۲۰۰۴) در فرانسه، اگلی و همکاران در سوئیس، گیبادرفتکو و ارنولد (۲۰۰۳) در چین، افزایش اسمکتیت در اثر تبدیل از کلریت در پارینه خاکها را گزارش کرده‌اند [۷، ۱۲ و ۴۰]. هوازگی روی کائولینیت و ایلیت تاثیر زیادی نداشته است. ممکن است مقداری از ایلیت به اسمکتیت تبدیل شده باشد ولی به دلیل وجود مقدار زیادی از این کانی در بادرفتها، قابل ردیابی نیست. گرچه مطالعات محمدی (۲۰۰۲) در ایران، برونگر (۱۹۹۸) در تاجیکستان، پردریچ (۲۰۰۱) در اکراین، آید و آید (۲۰۰۳) در میسوری آمریکا، افزایش اسمکتیت در پارینه خاکها نسبت به بادرفت گزارش کرده‌اند ولی خاستگاه اسمکتیت را هوازگی ایلیت یا میکا می‌دانند [۸، ۱۱، ۱۴، ۲۴]. الماسی (۱۳۸۴) پالیگورسکیت ایجاد شده

به صورت درجا را در بادرفتهای منطقه قپان استان گلستان تشخیص داده بود که در مطالعه اخیر دیده نشد.

مراجع

- [1] Sun J., "Provenance of loess material and formation of loess deposits on the Chinese loess plateau", *Earth and planetary science letters* 203 (2002) 845-854.
- [2] Hardcastle J., "On the Timaru loess as a climatic register", *Trans. Proc. N. Z. Inst.* 23 (1890) 324-332.
- [3] Liu, Chang T., "The 'Huangtu'(loess) of China", In: *Rept. 6th INQUA Congress Warsaw* 4 (1964) 503-524.
- [4] Kukla J., "Loess stratigraphy in Central Europe", In: K.W. Butzer and G.L.I. Isaac, Editors, *After the Australopithecines*, Mouton, Hague (1975) 99-188.
- [5] Bourne W.C., Whiteside E.P., "A study of the morphology and pedogenesis of a medial chernozem developed in loess", *Soil Sci. Soc. Am. J* 44(1962) 159-167.
- [6] Brady N., "The nature and properties of soils", 10th edition, Macmillan Publishing Company, (1990) 570 p.
- [7] Ferraro F., Terhorst B., Ottner F., Cremaschi M., "Val Sorda: An upper Pleistocene loess-paleosol sequence in northeastern Italy", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(2004) 30-47.
- [8] Bronger A., Winter R., Sedov S., "Weathering and clay mineral formation in two Holocene soils and in buried paleosols in Tadjikistan: towards a Quaternary paleoclimatic record in Central Asia", *Catena* 34(1998)19-34.
- [9] Durn G., Ottner F., Slovenec D., "Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia", *Geoderma* 91(1999)125-150.
- [10] Kostic N., Protic N., "Pedology and mineralogy of loess profiles Kapela-Batajnica and Stalac', Serbia", *Catena* 41(2000)217-227.
- [11] Predrij V. I., "Clay mineral composition and palaeoclimatic interpretation of the Pleistocene deposits of Ukraine", *Quaternary International* 76/77 (2001) 113-121.
- [12] Egli M., Mirabella A., Fitze P., "Clay mineral formation in soils of two different chronosequences in the Swiss Alps", *Geoderma* 104(2001)145-175.
- [13] Bronger A., "Correlation of loess-paleosol sequences in East and Central Asia with SE Central Europe: towards a continental Quaternary pedostratigraphy and paleoclimatic history", *Quaternary International* 106-107 (2003) 11-31.
- [14] Aide M., Aide C.S., "Assessing Soil Genesis by Rare-Earth Elemental Analysis", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67(2003)1470-1476.
- [15] Nettleton W.D., Chadwick O.A., "Late Quaternary, redeposited loess-soil developmental sequences, South Yemen", *Geoderma*, 70(1996) 21-36.
- [16] Xiu Ming Liu., Rolph T., Zhisheng An., Hesse P., "Paleoclimatic significance of magnetic properties on the Red Clay underlying the loess and

paleosols in China", Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 199 (2003) 153-166.

[17] Zhifei Liu., Trentesaux A., Clemens C., Colin C., Pinxian Wang., Baoqi Huang., Boulay S., "Clay mineral assemblages in the northern South China Sea: implications for East Asian monsoon evolution over the past 2 million years", Marine Geology 201 (2003) 133-146.

[18] Tamburini F., Adatte T., Follmi T., Bernasconi S. M., Steinmann P., "Investigating the history of East Asian monsoon and climate during the last glacial-interglacial period (0-140 000 years): mineralogy and geochemistry of ODP Sites 1143 and 1144, South China Sea", Marine Geology 201 (2003) 147-168.

[19] Barbier R., "Decouverte de loess et dune ancienne valee remblaye dans le cours inferieur du Sefid-roud, versant nord de Elborz, Iran", Acad. Sc. Paris 250(1960)1097-1098.

[20] Ehlers E., "Sudkaspisches tiefland und kaspisches Meer. Beitrage zu ihrer Entwicklungsgeschichte im Jung-und Postpleistozan", Tubinger Geog. 44(1971)184 p.

[21] Lateef F., "Distribution, provenance, age and paleoclimatic records of the loess in central north Iran", Internat. symp on Loess, proc. NewZeland, (1998) 93-101.

[۲۲] پاشائی ع., "بررسی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی و چگونگی خاستگاه رسوبهای بادرفتی در منطقه گرگان و دشت", مجله علوم زمین، شماره ۲۳ و ۲۴ (۱۳۷۵) صفحه ۶۷ تا ۷۸.

[23] Okhravi A., Amini R., "Characteristics and provenance of the loess deposits of the Gharatikan watershed in Northeast Iran", Global and Planetary Change (2001) 11-22.

[24] Mohamadi M. H., "The effect of climate and topography on clay mineralogy on two toposequence in the north of Iran", E-MRS Spring Meeting proc. Netherlands, (2002) 12.

[25] Kehl M., Sarvati R., Ahmadi H., Frechen M., Skowronek A., "On loess deposit of northern Iran", Territory, 1(2005)1-12.

[26] Kehl M., Frechen M., Skowronek A., "Paleosols derived from loess and loess-like sediments in the Basin of Persepolis, Southern Iran", Quaternary International 140/141 (2005) 135-149.

[۲۷] الماسی ع., پاشائی اول ع., جلالیان ا., ایوبی ش., "بررسی ترکیب کانیهایی رسی و تحول آنها در ته نشستها بادرفتی و پارینه خاکهای منطقه قپان استان گلستان", مجله دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (در دست چاپ).

[28] Soil Survey Staff ., "Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples", USDA- SCS soil survey Invest. Rep. I. U. S. government Printing Office, Washington DC, 68(1984) .

[29] Walkley A., Black I A., "An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis", Experimental soil science 79 (1934) 459-465.

- [30] Ozkan A.I., Ross G.I., "*Ferruginous beidellite in Turkish soils*", Soil Sci. Soc. Am. J 43(1979) 1242- 1248.
- [31] Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R., "*Methods of soil analysis*", In II. Chemical and mineralogical properties. SSSA, Pub, Mad (1992) 1159 p.
- [32] Soil Survey laboratory methods., "*Procedure for collecting soil samples*", U.S. Soil survey investigation Rep, U.S. Government printing office, Washington Dc 1(1984) 68p.
- [33] Day P.R., "*Particle fractionation and particle-size analysis*", In: C.A. Black (ed), Methods of soil analysis, part I. Agr. Am. Soc, Agron. Mad. WI (1965).
- [34] Kittrick J., Hope E.W., "*Aprocedure for particle size separation of soils for x-ray diffraction analysis*", Soil Sci. 96 (1963) 319 - 325.
- [۳۵] کریمزاده ح., جلالیان ا., خادمی ح., "مطالعه کانی‌های رسی خاکهای گچی زمین ریخت‌های مختلف در منطقه شرق اصفهان", مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی, شماره ۱, (۱۳۸۳) صفحه ۷۳ تا ۹۳.
- [36] Gilkes R. J., Little I. P., "*Weathering of chlorite and some association of trace elements in Permian phyllites in southeastern Queensland*", Geoderma 7 (1972) 233-247.
- [37] Buol S. W., Hole F. D., McCracken N., "*Soil genesis and classification*", Iowa State University Press, Ames, 360 p (1989).
- [38] Johnson M. G., McBride M. B., "*Mineralogical and chemical characteristics of Adirondack spodosols evidence for para- and noncrystallin aluminosilicate minerals*", Soil Sci. Soc. Am. J 53 (1989) 482-490.
- [39] Nemezc E., Pecs M., Hartanyi Z., Horvath T., "*The origin of the silt size quartz grains and minerals in loess*", Quaternary International 68/71 (2000) 199-208.
- [40] Gylesjo S., Arnold M., "*Mineralogy records from Lingtai, Chinese loess plateau*", Geophysical Research Abstracts, European Geophysical Society 5(2003) 10448.
- [41] Blume H. P., Schwertman U., "*Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe and Mn oxides*", Soil Sci. Soc Am. Proc, 33 (1969) 438-444.
- [۴۲] ترابی گل سفیدی ح., "بررسی چگونگی تکوین و تکامل خاکهای حاشیه رودخانه سفیدرود در گیلان مرکزی", پایان نامه کارشناسی ارشد, دانشگاه صنعتی اصفهان. (۱۳۷۳)
- [۴۳] رمضانپور ح., جلالیان ا., "تغییرات خاکها در ردیف ارزیابی اراضی-زمانی در دو منطقه اقلیمی در زاگرس مرکزی", مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی, شماره ۱ (۱۳۸۱) صفحه ۱۳۷ تا ۱۴۱.
- [44] Busche D., Grunert J., Sarvati R., "*Iran Geomorphologie*", Tubinger Atlas des Vorderen Orients(TAVO) AIII 3.