

## مقایسه میکرومرفولوژی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی و عهد حاضر در منطقه جیرفت

صالح سنجری<sup>۱</sup>، محمدهادی فرپور<sup>۱\*</sup>، عیسی اسفندیارپور بروجنی<sup>۲</sup> و مصطفی کریمیان اقبال<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۱)

### چکیده

خاک‌های قدیمی اطلاعات با ارزشی را در ارتباط با شرایط اقلیمی گذشته منطقه در اختیار قرار می‌دهند. این خاک‌ها در ایران مرکزی گسترش قابل توجهی دارند. بررسی‌های میکرومرفولوژی و کانی‌شناسی رسی از جمله روش‌های مفید در شناسایی و تفسیر این خاک‌ها در راستای اقلیم‌شناسی گذشته می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور مقایسه میکرومرفولوژی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی و عهد حاضر در منطقه جیرفت انجام گرفت. پس از مطالعات صحرایی تعداد چهار خاکرخ (که روی سطوح مختلف ژئومرفیک شامل سطح پایدار پدیمت پوشیده، سطح پایدار و ناپایدار حد واسط پدیمت و دشت آبرفتی، و سطح پایدار دشت آبرفتی قرار گرفته بودند)، نمونه‌برداری شده و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، میکرومرفولوژی و کانی‌شناسی رسی روی آنها انجام گرفت. نتایج میکرومرفولوژیکی حاکی از وجود پوشش‌های رس در افق‌های آرچلیک خاک‌های قدیمی بودند. از سوی دیگر، پوشش‌های رس موجود در خاک‌های عهد حاضر، تنها در افق‌های ناتریک مشاهده گردید که به وجود مقادیر بالای سدیم در این خاک‌ها نسبت داده شد. به‌علاوه، کانی‌های رسی اسمکتیت، پالیگورسکیت، ایلیت، کلریت و کائولینیت در خاک‌های قدیمی تشخیص داده شدند؛ حال آن‌که در خاک‌های عهد حاضر، کانی کلریت مشاهده نگردید. وجود کانی پالیگورسکیت در خاک‌های مورد مطالعه به پایداری سطح ژئومرفیک بستگی داشت. نتایج تحقیق حاضر، وجود اقلیمی با رطوبت بیش‌تر از زمان کنونی را در زمان تشکیل خاک‌های قدیمی منطقه جیرفت به اثبات رساند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی رس، میکرومرفولوژی، خاک‌های قدیمی، اقلیم گذشته، جیرفت

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان

۳. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: farpoor@mail.uk.ac.ir

## مقدمه

شرایط امروزی زمین می‌تواند راهنمایی برای درک شرایط گذشته باشد. استفاده از خاک‌های قدیمی (Paleosols) که در شرایطی متفاوت از شرایط فعلی زمین‌نماهای (Landscapes) موجود در یک منطقه تشکیل شده‌اند (۳۵ و ۴۲)، می‌تواند به‌عنوان شاخصی مهم برای برآورد شرایط اقلیمی گذشته و فرآیندهای هوادیدگی انجام‌گرفته در طی این دوران، مد نظر قرار گیرد (۳۴). روحی (۳۵) برای اولین بار، خاک‌های قدیمی را به سه گروه مدفون‌شده (Buried)، باقی‌مانده (Residual) و ظاهرشده (Exhumed) تقسیم‌بندی نمود. خاک‌های قدیمی مدفون‌شده، بیان‌گر خاک‌هایی هستند که بعد از تشکیل و تکامل، توسط رسوبات جوان دفن شده‌اند. خاک‌های باقی‌مانده، نمایانگر خاک‌هایی قدیمی هستند که بر روی یک زمین‌نمای قدیمی توسعه یافته‌اند و بدون آن‌که توسط رسوبات جوان دفن شوند، روی زمین‌نمای مزبور به‌صورت پایدار برجا مانده‌اند. خاک‌های قدیمی ظاهرشده، نشان‌گر خاک‌هایی هستند که پس از تشکیل و تکامل، ابتدا در زیر لایه‌ای از رسوبات جوان دفن شده‌اند و سپس در اثر فرسایش، در سطح زمین ظاهر گردیده‌اند. نتلتون و همکاران (۳۲) بیان کردند که هرچند تشخیص انواع خاک‌های قدیمی، نیازمند مشاهدات صحرائی است؛ ولی در این میان، شناسایی خاک‌های قدیمی دفن‌شده، نسبت به انواع دیگر، آسان‌تر است؛ چراکه این خاک‌ها به‌ندرت تحت تأثیر شرایط فعلی قرار می‌گیرند و بنابراین به‌طور عمده، نشان‌دهنده شرایط اقلیمی اولیه (گذشته) هستند.

خاک‌های قدیمی، به‌طور عمده، دارای پدیده‌های (Pedofeatures) میکرومرفولوژیکی مختلف هستند که به نظر می‌رسد منشأ پدورژنیکی داشته باشند (۲۰). یکی از مهم‌ترین شواهد میکرومرفولوژیکی موجود در خاک‌های قدیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک، پوشش‌های رسی موجود روی خاکدانه‌ها و گاهی روی ذرات شن می‌باشد که به‌عنوان ابزاری مهم برای تفسیر شرایط اکولوژیکی گذشته، قابل استفاده است (۲۱ و ۴۱). گایل و گروسمن (۱۸) و ریتالاک (۳۴) اعتقاد دارند که حضور

افق‌های آرگیلیک (Argillic horizons) پیشرفته با پوسته‌های رسی قوی در خاک‌های مناطق خشک، وجود دوره‌های مرطوب‌تر را برای دوران گذشته این مناطق تداعی می‌کند. خرمالی و همکاران (۲۸) با مطالعه میکرومرفولوژیکی خاک‌های مناطق مرکزی ایران، افزایش مقدار رس و نسبت رس‌ریز به رس کل در خاک زیرین، نسبت به افق‌های سطحی و نیز مشاهده رس در مقاطع نازک را شواهدی دال بر تجمع رس معرفی کرده و اظهار داشتند که بارندگی کافی در شرایط اقلیمی مرطوب‌تر گذشته، موجب حرکت کربنات‌ها از خاک سطحی، شست‌وشوی متعاقب رس و تشکیل افق آرگیلیک در این مناطق شده است. خادمی و همکاران (۲۷) گزارش کردند که افق‌های تجمع رس در منطقه اصفهان در نتیجه اقلیم مرطوب‌تر گذشته (احتمالاً پلیستوسن) تشکیل شده‌اند.

نتایج تحقیق فرپور و همکاران (۳) در منطقه نوق رفسنجان نشان داد که افق Bt (آرگیلیک) موجود در این منطقه، در اثر اقلیم مرطوب‌تر گذشته تشکیل شده است و با افزایش نمک از سطوح اطراف به سطح پلایا (Playa) و سپس شست‌وشوی عمقی آن، این افق به صورت Btz (آرگیلیک و سالیک) در آمده است. سریواستاوا (۳۹) در نواحی خشک و نیمه‌خشک غرب آفریقا وجود پوشش‌های رسی را به حضور دوره‌های مرطوب‌تر اقلیمی در پلیستوسن و اوایل هولوسن مرتبط دانسته‌اند. یکی دیگر از مهم‌ترین پدیده‌های میکرومرفولوژیکی موجود در خاک‌های قدیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک، وجود شکل‌های مختلف آهک است (۲۱). هرچند که فاکتورهای نظیر اقلیم، آب‌های زیرزمینی و مواد مادری، تشکیل، رسوب و حل شدن مجدد آهک را کنترل می‌کنند؛ ولی این پدیده باز هم نقش مهمی در برآورد شرایط محیطی گذشته ایفا می‌کند (۲۱ و ۴۱). پدیده‌های میکرومرفولوژیکی مختلف آهک شامل پوشش (Coating)، هیپوکوتینگ (Hypocoating)، پرشدگی (Infilling) و نادول (Nodule) که توسط کورتی و فدروف (۸) تقسیم‌بندی شده‌اند، هر یک بازگوکننده شرایط خاصی از تشکیل خاک هستند. اقبال و ساتارد (۱۰) با مطالعه میکرومرفولوژیکی

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مطالعاتی

پژوهش حاضر در منطقه جیرفت، واقع در ۲۳۰ کیلومتری جنوب استان کرمان انجام گرفت (شکل ۱). از نظر موقعیت جغرافیایی، منطقه مطالعاتی در حد فاصل عرض‌های  $28^{\circ} 40'$  تا  $28^{\circ} 52' 6''$  شمالی و طول‌های شرقی  $57^{\circ} 30' 8''$  تا  $58^{\circ} 41' 27''$  واقع شده است. رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک در منطقه مورد مطالعه، به ترتیب، هایپرترمیک و اریدیک می‌باشند (۲). از منظر زمین‌شناسی، منطقه مطالعاتی، بخشی از حوضه ساختاری رسوبی ایران مرکزی محسوب می‌شود. قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی این دشت از شیست‌های سریسیتی همراه با تناوب فیلیت، ماسه‌سنگ دگرگونی و آمفیبولیت تشکیل شده‌اند. جوان‌ترین رسوبات، متعلق به دوره کواترنری می‌باشند که شامل رسوبات مخروط‌افکنه‌های جوان و قدیمی، تراس‌های رودخانه‌ای و نهشته‌های بادی و سیلابی هستند و به‌طور دگرشیب روی سازندهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. این رسوبات، نفوذپذیری بالایی دارند (۶).

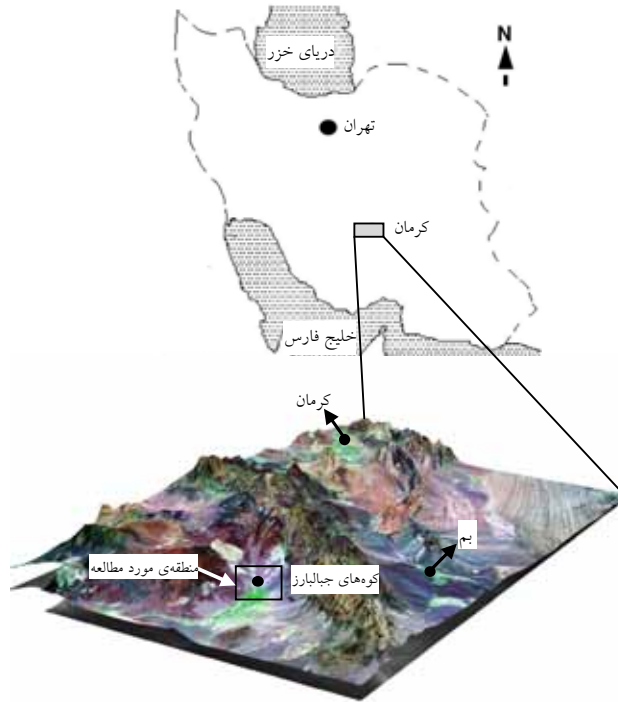
### مطالعات صحرائی

به منظور انجام این پژوهش، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل (Google Earth)، سطوح ده‌گانه ژئومرفیک موجود در منطقه، شامل رأس مخروط‌افکنه (Alluvial fan)؛ سطح ناپایدار مخروط‌افکنه؛ سطوح پایدار، نسبتاً پایدار و ناپایدار پدیمت پوشیده (Mantled pediment)؛ سطوح پایدار و ناپایدار حد واسط پدیمت و دشت آبرفتی (Alluvial plain)؛ سطوح پایدار و ناپایدار دشت آبرفتی؛ و سطح اراضی پست (Low land) شناسایی و تفکیک شدند. سپس، تعداد ۲۰ خاکرخ روی ده سطح ژئومرفیک مزبور، مورد مطالعه قرار گرفت. برای مقایسه خاک‌های قدیمی و عهد حاضر در منطقه، چهار خاکرخ، به‌عنوان شاهد (Representative pedons) انتخاب گردیدند (شکل ۲). خاکرخ اول و دوم، به ترتیب، روی سطح پایدار پدیمت پوشیده و سطح پایدار حد واسط پدیمت و

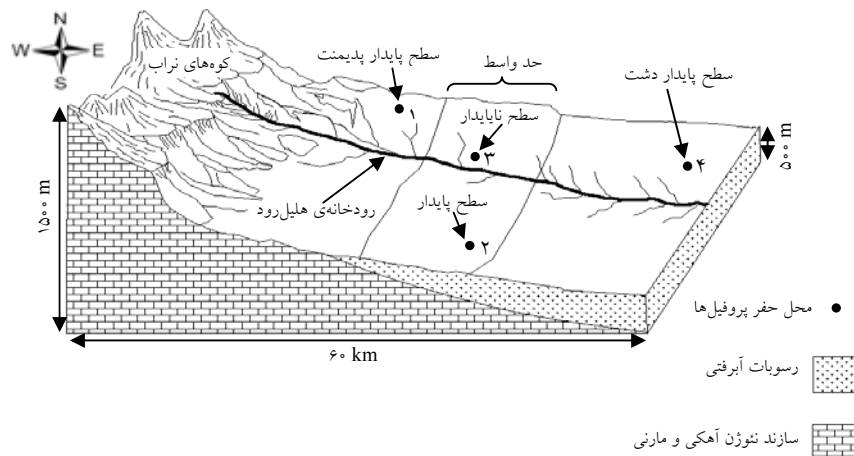
خاک‌های موجود روی مخروط‌افکنه‌های فرسایش‌یافته غرب بیابان مهاوی، علاوه بر تفسیر شرایط اقلیمی گذشته، توالی فرآیندهای خاک‌سازی (مانند تجمع آهک، رس و سیلیس) را بررسی کردند.

کانی‌شناسی رسی (Clay mineralogy)، یکی دیگر از ابزارهای مفید و مهم در ارتباط با شناسایی خاک‌های قدیمی محسوب می‌شود. به دیگر سخن، نوع و میزان کانی‌های رسی، بیانگر بسیاری از خصوصیات مربوط به تشکیل و تکامل خاک‌ها در زمان گذشته و اقلیم دیرینه آنها می‌باشد (۱۷). پیتز و همکاران (۳۳) با بررسی کانی‌شناسی رسی افق‌های مدفون خاک‌های امریکای شمالی به این نتیجه رسیدند که افق‌های آرچلیک قدیمی‌تر، نسبت به افق‌های آرچلیک جوان‌تر، از مقدار بیشتری کاتولینیت و میزان کم‌تری اسمکتیت برخوردار می‌باشند که این موضوع، نشان‌دهنده شرایط بسیار مرطوب‌تر و هوادیدگی بیش‌تر در خاک‌های قدیمی است. خادمی و مرموت (۲۴) دلیل تشکیل پالیگورسکیت در خاک‌های قدیمی اصفهان را وجود پ‌هاش و نسبت منیزیم به کلسیم بالا در حوضچه‌های بسته موجود در شرایط گذشته فلات مرکزی ایران دانسته‌اند. ایران‌نژاد پاریزی (۱) با مطالعه کانی‌های رسی خاک‌های قدیمی مخروط‌افکنه گیودری رفسنجان، وجود کانی‌های اسمکتیت، کلریت، پالیگورسکیت، ایلیت و کاتولینیت را در این خاک‌ها گزارش نمود. در هر حال، شناخت خاک‌های قدیمی و نحوه پیدایش آنها مبحثی از علوم خاک می‌باشد که در ایران، کم‌تر به آن توجه شده است.

بنابراین، پژوهش حاضر در راستای اهداف زیر، در منطقه جیرفت - استان کرمان - انجام پذیرفت: (۱) شناسایی خاک‌های قدیمی (۲) مقایسه خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی رسی و میکرومرفولوژی خاک‌های قدیمی و عهد حاضر در منطقه مطالعاتی (۳) تعیین ارتباط بین نحوه تشکیل خاک‌های قدیمی و سطوح مختلف ژئومرفیک موجود در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی در استان کرمان



شکل ۲. موقعیت خاک‌های شاهد در سطوح ژئومرفیک انتخاب شده

مورد مطالعه می‌باشد. پس از تشریح تمامی خاک‌ها (۲۰ خاک‌خ حفر شده) براساس راهنمای سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (۳۶)، از افق‌های ژنتیکی خاک‌های شاهد، نمونه‌برداری شد و به منظور تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید و خاک‌ها بر مبنای سامانه رده‌بندی

دشت آبرفتی قرار گرفته‌اند و به‌عنوان خاک قدیمی باقی‌مانده محسوب می‌شوند. خاک‌خ سوم روی سطح ناپایدار حد واسط پدیمنت و دشت آبرفتی قرار دارد و یک خاک قدیمی مدفون می‌باشد. خاک‌خ چهارم نیز روی سطح پایدار دشت آبرفتی قرار گرفته است که جزء خاک‌های عهد حاضر موجود در منطقه

باقی‌مانده است. هدایت الکتریکی در تمامی افق‌های این خاک، پایین (کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر) است. بررسی درصد نسبی ذرات خاک، افزایش درصد رس در زیر افق A از ۱۱/۲ درصد به ۱۵/۴ درصد را نشان می‌دهد که به همراه سایر خصوصیات مورد نیاز، مؤید تشکیل افق آرجیلیک (Btk) است. از آنجایی که امکان تشکیل افق آرجیلیک در اقلیم خشک زمان حال وجود ندارد؛ بنابراین، حضور افق مزبور در این شکل اراضی، نشان‌دهنده وجود رطوبت قابل دسترس مناسب در دوران گذشته می‌باشد و در نتیجه، خاک موجود در سطح پایدار پدیمت پوشیده، یک خاک قدیمی محسوب می‌شود. از طرفی، در سال‌های اخیر، منطقه جیرفت به‌عنوان یک منطقه باستانی مورد توجه قرار گرفته است. اگر چه احتمالاً تشکیل افق آرجیلیک بسیار قدیمی‌تر از شواهد یافته شده از تمدن بشر است، ولی وجود آثار باستانی شناخته شده در جیرفت، خود نشان‌دهنده وجود شرایط مرطوب‌تر گذشته این منطقه است (۵). به علاوه، در منطقه مورد مطالعه، مخروط‌افکنه‌های زیادی وجود دارند که در نتیجه بارندگی و رسوبات به‌جا مانده از کوه‌های جبال‌بارز به وجود آمده‌اند؛ بنابراین، با توجه به اقلیم خشک حاکم بر منطقه می‌توان تا حدودی به شرایط مرطوب‌تر گذشته پی برد (۴). حضور توأمان افق‌های آرجیلیک، کلسیک و جیپسیک در این خاکرخ، باعث شده است که براساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۰)، این خاک تا سطح زیرگروه، به صورت کلسیک آرجی‌جیپسیدز (Calcic Argigypsid) رده‌بندی شود (جدول ۱).

خاکرخ دوم روی سطح پایدار حد واسط پدیمت و دشت آبرفتی حفر شده است و یک خاک قدیمی باقی‌مانده می‌باشد. به‌علت بافت درشت و شست‌وشوی زیاد، هدایت الکتریکی و مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) در این خاکرخ کم بوده و کربنات کلسیم ثانویه در این خاکرخ به‌صورت توده‌های نرم تجمع یافته است. انحلال کربنات‌ها از افق بالایی و رسوب آنها در افق‌های پایین‌تر، شرایط مناسبی را برای خروج ذرات رس از افق‌های بالاتر و هم‌آوری (Flocculation)

آمریکایی (۳۸)، طبقه‌بندی گردیدند. به‌علاوه، برای انجام مطالعات میکرومرفولوژی خاک، از تمامی افق‌های ژنتیکی خاکرخ‌های شاهد، کلوخه‌هایی دست‌نخورده برداشت شد.

### تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های برداشت‌شده، ابتدا هواخشک شدند و سپس کوبیده شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند تا بتوان تجزیه‌های معمول فیزیکی و شیمیایی را بر روی آنها انجام داد. به منظور انجام مطالعات میکرومرفولوژی، کلوخه‌های دست‌نخورده با استفاده از رزین سه‌جزئی وستاپول (Vestapool) و تحت مکش، تلقیح و در شرایط هوای آزاد سخت و خشک شدند. در نهایت تفسیر مقاطع نازک تهیه‌شده، توسط میکروسکوپ پلاریزان مدل الیمپوس-BH2 در دو حالت نور پلاریزه صفحه‌ای (PPL) و متقاطع (XPL) براساس راهنمای استوپس (۴۰) صورت پذیرفت و از قسمت‌های مورد نظر عکس‌برداری گردید. هم‌چنین، مطالعات کانی‌شناسی رس، روی افق‌های Btk و Btn مربوط به چهار خاکرخ شاهد انجام شد. برای این منظور از روش جکسون (۱۹) و کیتیک و هوپ (۲۹) استفاده شد. برای تعیین نوع کانی‌های رسی از دستگاه پراش پرتو ایکس مدل بروکر با زاویه ۲۰ بین صفر تا ۴۰ درجه، ولتاژ ۴۰ کیلوولت و آمپراژ ۳۰ میلی‌آمپر، موجود در مرکز پیشرفته علوم محیطی کرمان، استفاده شد و چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول و اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد برای هر یک از نمونه‌ها مورد تجزیه قرار گرفت و در نهایت، نمودارهای پراش پرتو ایکس مربوطه تهیه شد.

### نتایج و بحث

#### خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مرفولوژیکی خاک‌ها

جدول ۱، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های شاهد را نشان می‌دهد. خاکرخ شماره یک روی سطح پایدار پدیمت پوشیده قرار دارد که به‌عنوان یک خاک قدیمی



کاتیون‌های غالب در اقلیم‌های خشک می‌باشد، افق ناتریک (Btn) در خاک عهد حاضر تشکیل گردیده است (جدول ۱). به‌طور کلی، وجود افق‌های مشخصه کلسیک، آرجیلیک و ناتریک در این خاکرخ، حاکی از تکامل و تنوع خاکزایی آن می‌باشد. نظر به این که خاک‌رویی، دارای تکامل خاکرخی می‌باشد؛ براساس اصول بیان شده در کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۰)، خاک زیرین به‌صورت یک خاک مدفون طبقه‌بندی نمی‌گردد و بنابراین، رده‌بندی کلی این خاکرخ به‌صورت تیپیک ناترارجیدز (Typic Natrargids) می‌باشد (جدول ۱). خاکرخ شاهد چهارم، از جمله خاک‌های عهد حاضر می‌باشد که در سطح ژئومرفیک پایدار دشت آبرفتی قرار دارد. پوشش گیاهی این منطقه، درخت گز می‌باشد که دارای تحمل زیادی نسبت به شوری است. هدایت الکتریکی لایه سطحی این خاکرخ، زیاد است (جدول ۱) و مجدداً در عمق ۵۵ سانتی‌متری، افزایش می‌یابد. زیادی هدایت الکتریکی در سطح این خاک را می‌توان به افزایش نمک از سطح فوقانی نسبت داد. درحالی‌که شوری خاک در عمق ۵۵ سانتی‌متری را می‌توان به سفره آب زیرزمینی شور منطقه مربوط دانست. با توجه به شوری زیاد و سهم بالای سدیم از کاتیون‌های تبادلی، مقدار نسبت جذبی سدیم (SAR) در تمامی افق‌ها از ۱۳ بیش‌تر می‌باشد (جدول ۱). زیادی سدیم در این افق باعث دیسپرس شدن رس و تشکیل افق ناتریک گردیده است (۲۸). تجمع مقادیر زیاد یون سدیم در خاک‌های عهد حاضر، خود دلیلی بر اقلیم خشک حاکم بر زمان تشکیل این خاک‌ها می‌باشد. به‌طور کلی، این خاک به‌دلیل دارا بودن افق‌های مشخصه اکریک و ناتریک، بر اساس کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۰) به‌صورت تیپیک ناترارجیدز طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۱).

#### میکرومرفولوژی خاک‌ها

از مهم‌ترین پدیده‌های خاک‌سازی در افق‌های متکامل، وجود پوشش‌های رسی قوی با بی‌رفرنزانس (b-referengence) واضح می‌باشد (۳۷) که در منطقه مورد مطالعه، به‌طور عمده در اطراف

این ذرات در ناحیه‌ای که رس تجمع یافته است، فراهم می‌کند. به عبارت دیگر، بارندگی کافی در دوران مرطوب‌تر گذشته، باعث خروج کربنات‌ها از افق‌های بالایی و تشکیل افق Bk و به دنبال آن، انتقال رس و تشکیل افق آرجیلیک (Btk) شده است (۲۷). افزایش مجدد آهک در دوره‌های خشک کنونی، تشکیل افق Bk را در عمق ۴۰ سانتی‌متری باعث گردیده است. بافت این خاک، شنی لومی و لومی شنی است. به‌طور کلی، این خاک، دارای تکامل و تنوع خاکزایی است و دارای افق‌های مشخصه سطحی اکریک و زیرسطحی کلسیک و آرجیلیک می‌باشد. در نتیجه، براساس کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۰)، به‌صورت تیپیک کلسی‌آرجیدز (Typic Calciargids) رده‌بندی می‌شود (جدول ۱).

خاک قدیمی خاکرخ سوم که بر روی سطح ناپایدار حد واسط پدیمنت و دشت آبرفتی حفر گردیده، توسط خاک‌های عهد حاضر مدفون شده است. این خاک نیز مشابه خاک‌های قدیمی قبل، دارای هدایت الکتریکی اندک (بین ۱/۳ تا ۲ دسی‌زیمنس بر متر) می‌باشد و میزان نسبت جذب سدیم آن نیز پایین است. به‌نظر می‌رسد که در این خاک، ابتدا در اثر انحلال کربنات‌ها از افق‌های بالایی، افق Bk تشکیل شده است و به دنبال آن، به‌واسطه انتقال ذرات رس، تشکیل افق Btk در نتیجه اقلیم مرطوب‌تر گذشته اتفاق افتاده است. در هر حال، خاک عهد حاضر موجود بر روی خاک قدیمی زیرین، از میزان شوری، نسبت جذبی سدیم و درصد رس بیشتری برخوردار می‌باشد (جدول ۱) و بافت سنگین‌تری را به خود اختصاص داده است. در واقع، نزدیکی محل این خاکرخ به بستر رودخانه از یک سو، و نهشته شدن رسوبات ریزبافت در نتیجه خشکی اقلیم و به تبع آن، تغییر رژیم رطوبتی رودخانه از سوی دیگر، منجر به تشکیل خاک با بافت سنگین‌تر در عهد حاضر گردیده است. بالا بودن درصد رس در این خاک، منجر به کاهش نفوذ آب و ضعیف شدن زه‌کشی گردیده و بنابراین، افزایش مقادیر شوری و نسبت جذبی سدیم را موجب شده است. برخلاف کمی رطوبت در زمان حال، به‌دلیل وجود سدیم تبادلی که از

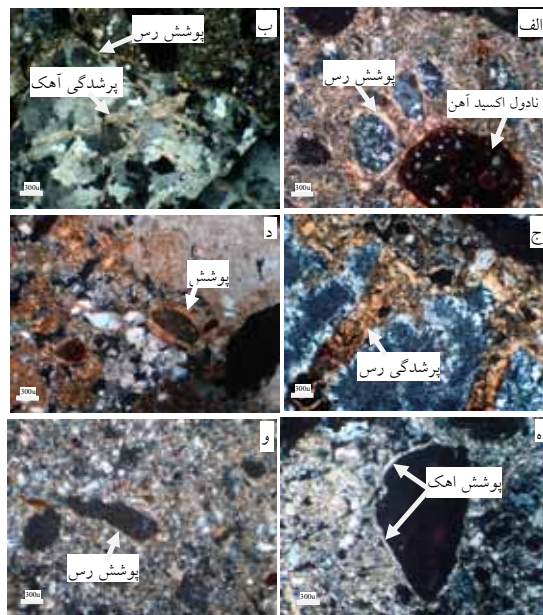
ذرات اولیه موجود در افق Btk خاکرخ اول (شکل ۳ الف) قابل مشاهده بود. مرفولوژی پوشش رسی در افق مزبور، مؤید این است که تجمع رس، حاصل از شست و شوی افق بالادست (Illuviation) می باشد. همان طور که منابع مختلف نیز تأکید کرده اند، عامل مهم در انتقال رس، حذف و انتقال مواد هم آوری کننده ذرات می باشد (۲۶ و ۳۷). به نظر می رسد که به دلیل فراوانی رطوبت قابل استفاده در اقلیم گذشته منطقه، ابتدا عوامل هم آوری کننده، مانند کاتیون های بازی، کربنات ها و گچ در اثر آبتشویی از خاکرخ خاک خارج گردیده اند و سپس امکان دیسپرس شدن ذرات رس و حرکت آن به صورت سوسپانسیون به پایین خاکرخ و بنابراین پوشش بر روی ذرات اولیه و خاکدانه ها فراهم شده است (۱۱، ۱۵، ۱۸ و ۲۶). از طرفی، وجود دوره های خشکی، پس از انتقال رس در منطقه، به عنوان عامل اصلی در رسوب ذرات رس شست و شو یافته به حساب می آید (۱۶ و ۳۱). خادمی و مرموت نیز طی بررسی های میکرومرفولوژی، تشکیل پوسته های رسی در خاک های اریدی سول (Aridisols) منطقه اصفهان را به شرایط مرطوب دوره پلیستوسن نسبت داده اند (۲۵). به علاوه، وجود اقلیم مرطوب تر گذشته، برای رفسنجان (۳ و ۱۳) و نیز کویر لوت (۱۴) در استان کرمان گزارش گردیده است.

هم چنین، مشاهده نادول اکسید آهن (شکل ۳ الف) که به فاصله کمی از حفرات قرار دارد می تواند نشان گر این باشد که در فضای خلل و فرج، شرایط احیایی و در زمینه اصلی خاک (Groundmass)، شرایط اکسیدی حاکم بوده است؛ بنابراین، اکسیدهای محلول با حرکت به طرف زمینه خاک و برخورد با شرایط اکسید، به صورت نامحلول درآمده اند و به صورت نادول، رسوب و تجمع کرده اند. شواهد بالا نشان می دهند که خاک های این سطح، به طور متناوب در زمان هایی از سال با آب اشباع بوده اند و سپس حالت غیر اشباع داشته اند (۳۰ و ۴۳). در نتیجه، با توجه به شرایط خشک حاکم بر منطقه در زمان حال، می توان به وجود اقلیم مرطوب تر در گذشته و بنابراین تغییر اقلیم در طی زمان پی برد. وجود لایه بندی های مختلف در مطالعات

مقاطع نازک خاک های قدیمی، از دیگر پدیده های خاک سازی مهم در این گونه خاک ها به حساب می آید که در شناخت روند تکامل و وقوع فرآیندهای خاک سازی مهم در آنها کارگشا می باشد. به عنوان نمونه، مشاهده پوشش رس روی پرشدگی آهک در افق Btk1 خاکرخ دوم (شکل ۳ ب)، نشان دهنده این مطلب می باشد که فرآیند انتقال فیزیکی رس (Lessivage)، بعد از انتقال و رسوب کربنات ها رخ داده است. این ویژگی، باعث شده است که چنین خاکی را "چندتشدگی" (Polygentic soil) نامند؛ چراکه چندین دوره تکامل را در نتیجه تغییر شرایط آب و هوایی پشت سر گذاشته است (۹). به نظر می رسد که حل شدن کربنات ها از افق سطحی و رسوب آنها در افق های پایین تر، سبب ایجاد شرایط لازم برای حرکت ذرات رس از سطح خاک و هم آوری این ذرات در منطقه تجمع کربنات ها گردیده است (۲۵). (شکل ۳ ج) نیز پرشدگی رس را در خاک های قدیمی خاکرخ دوم نشان می دهد که این پدیده، تنها به اقلیم مرطوب تر گذشته نسبت داده می شود. مقطع نازک مربوط به افق 2Btk در خاکرخ سوم، نشان دهنده وجود پوشش های رسی قوی در این خاکرخ می باشد (شکل ۳ د). این نوع پدیده خاک ساز، همانند افق Btk خاکرخ اول (شکل ۳ الف)، به عنوان شاخصی از برآورد شرایط مرطوب تر دوران گذشته مد نظر قرار می گیرد. هم چنین (شکل ۳ ه) در خاکرخ سوم، وجود پوشش های کربناتی قوی در اطراف یک منفذ نوع ووگ (Vugh pore) را در خاک قدیمی مدفون نشان می دهد که در نتیجه رسوب مجدد کربنات های آبتشویی شده از افق های بالایی تشکیل یافته است (۲۲ و ۲۳).

پوشش رس موجود در اطراف منافذ ووگ (شکل ۳ و) مقطع نازک تهیه شده از خاکرخ چهارم (خاک عهد حاضر) که محل تجمع رسوبات ریزافت و شور می باشد، ویژه افق های ناتریک است که در اثر انتشار ذرات رس توسط یون سدیم، تشکیل شده است. بنابراین، حضور این گونه پوشش های رسی در خاک های عهد حاضر منطقه مطالعاتی، به دلیل نقش دیسپرس کننده سدیم است و به اقلیم گذشته نسبت داده





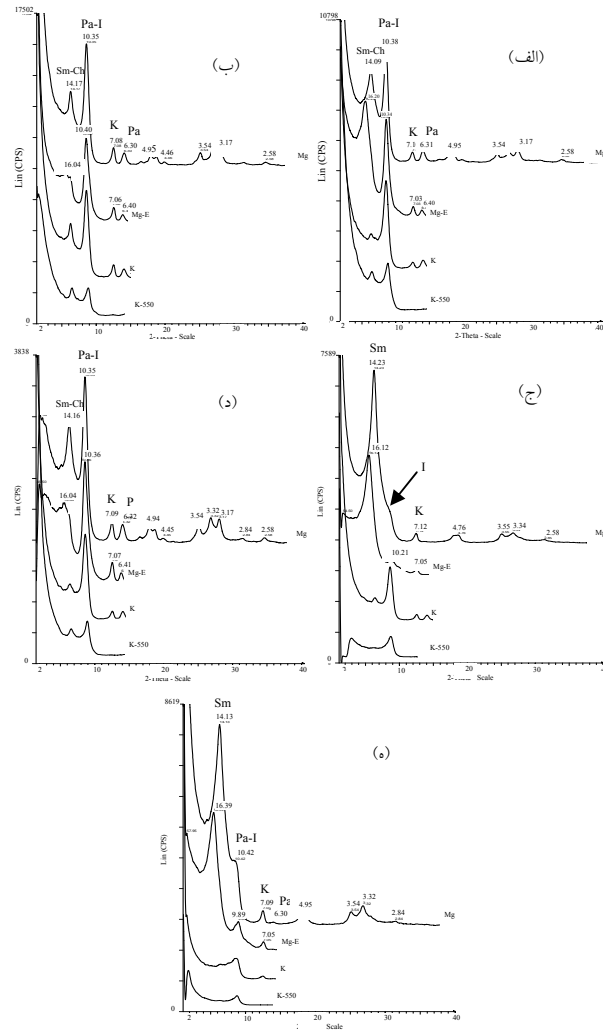
شکل ۳. الف) پوشش رس و نادول اکسید آهن در افق Btk خاکرخ اول (XPL)، ب) پرشدگی آهک و پوشش رس (پلی‌ژنتیک) در افق Btk1 خاکرخ دوم (XPL)، ج) پرشدگی رس در افق Btk1 خاکرخ دوم (XPL)، د) پوشش رس در افق 2Btk خاکرخ سوم (XPL)، ه) پوشش آهک در افق 2Btk خاکرخ سوم (XPL)، و) پوشش رس نازک در اطراف منفذ و وگ در افق Btk2 خاکرخ چهارم (XPL)

پالیگورسکیت در ته‌نشست‌های الیگومیوسن ایران مرکزی را گزارش نموده‌اند. نظر به اینکه در تحقیق حاضر مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی صورت پذیرفته است، بنابراین تشکیل درجای پالیگورسکیت را نیز در این موقعیت ژئومرفیک نمی‌توان از نظر دور داشت. به دلیل عدم وجود شرایط تشکیل کانی‌های کلریت، ایلیت و کائولینیت در خاک‌های منطقه، منشأ موروثی این کانی‌ها که توسط محققین بسیاری نیز در ایران مرکزی گزارش شده (۷ و ۱۴) می‌تواند لحاظ شود. خاک قدیمی واقع بر سطح پایدار حد واسط پدیمت و دشت آبرفتی (افق Btk1 خاکرخ دوم)، همانند خاکرخ اول، دارای کانی‌های اسمکتیت، پالیگورسکیت، ایلیت، کلریت و کائولینیت است (شکل ۴.ب). همان‌طور که در بحث خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ سوم اشاره شد، خاک واقع بر سطح ژئومرفیک ناپایدار حد واسط پدیمت و دشت آبرفتی، دارای دو خاک عهد حاضر و قدیمی می‌باشد. کانی‌شناسی رسی خاک عهد حاضر (افق Btk1 نشانگر کانی‌های اسمکتیت، ایلیت و کائولینیت

نمی‌شود. از سوی دیگر، وجود شوری و سدیم تبادلی بالا در این افق، مؤید نقش اقلیم خشک کنونی منطقه در تشکیل این نوع پوشش‌های رسی است. خرمالی و همکاران (۲۸) در مطالعه میکرومرفولوژیکی افق آرجیلیک موجود در خاک‌های شور و سدیمی استان فارس نیز به نتیجه مشابهی دست یافته‌اند.

#### کانی‌شناسی رسی خاک‌ها

شکل (۴ الف) نمودار پراش پرتو ایکس مربوط به افق Btk خاکرخ اول واقع بر سطح پایدار پدیمت پوشیده را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد کانی‌های رسی پالیگورسکیت، اسمکتیت، ایلیت، کلریت و کائولینیت در این خاک وجود دارند. وجود کانی پالیگورسکیت در خاک این سطح ژئومرفیک که متأثر از رسوبات الیگومیوسن می‌باشد، به افزایش این کانی از مواد مادری و سپس حفظ و پایداری آن در مجاورت بلورهای آهک در افق‌های کلسیک نسبت داده می‌شود (۱۲). (۲۴) نیز وجود مقادیر فراوان



شکل ۴. الف) نمودارهای پراش پرتو ایکس در افق Btk خاکرخ اول، ب) افق Btk1 خاکرخ دوم، ج) افق Btn1 خاکرخ سوم، د) افق 2Btk خاکرخ سوم، ه) افق Btn2 خاکرخ چهارم  
(Mg): اشباع با منیزیم، Mg-E: اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، K: اشباع با پتاسیم، K-550: اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد؛ Sm: اسمکتیت، I: ایلیت، K: کانولینیت، Pa: پالیگورسکیت، Ch: کلریت

افق Btn1 گردیده باشد. از سوی دیگر، کانی شناسی رسی خاک قدیمی دفن شده در این خاکرخ (شکل ۴. د)، مشابه خاک‌های قدیمی خاکرخ اول (افق Btk) و خاکرخ دوم (افق Btk1) می‌باشد. به دلیل دفن شدگی، از نفوذ رطوبت و بنابراین تبدیل کانی پالیگورسکیت به اسمکتیت در لایه قدیمی مدفون ممانعت به عمل آمده و بنابراین، پیک مربوط به کانی پالیگورسکیت

می‌باشد و مقدار نسبی کانی اسمکتیت در این خاک به حدی زیاد است که پیک کانی ایلیت را پوشانده است (شکل ۴. ج). به نظر می‌رسد که به دلیل رطوبت حاصل از سیلاب‌های رودخانه هلیل رود در این موقعیت ژئومرفیک (سطح ناپایدار)، کانی پالیگورسکیت به اسمکتیت تبدیل شده (منشأ تغییر شکل یافته) و بنابراین منجر به افزایش شدت پیک اسمکتیت در

اقلیم‌های خشک می‌باشد، مربوط است. ۲) مطالعه کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی منطقه مطالعاتی، نشان‌دهنده حضور کانی‌های اسمکتیت، پالیگورسکیت، کلریت، ایلیت و کائولینیت می‌باشد؛ درحالی‌که کانی‌های اسمکتیت، ایلیت و کائولینیت در خاک‌های عهد حاضر منطقه مشاهده گردیدند. از طرفی، وجود کانی پالیگورسکیت در منطقه مورد مطالعه، به پایداری سطح ژئومرفیک نسبت داده شد.

۳) همان‌گونه که سطوح ژئومرفیک در شناسایی نحوه تشکیل و تکامل خاک، نقش مهم و اساسی دارند؛ خاک‌های قدیمی نیز در شناسایی و تفکیک سطوح مختلف ژئومرفیک موجود در اشکال اراضی، نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. بنابراین، ارتباط متقابل موجود بین خاک و ژئومرفولوژی، مؤید اهمیت مطالعات خاک‌شناسی در ارتباط با ژئومرفولوژی و بالعکس است.

هم‌چنان دیده می‌شود. مطالعه کانی‌شناسی رسی خاک‌های عهد حاضر سطح پایدار دشت آبرفتی، نشان‌دهنده وجود کانی‌های اسمکتیت، ایلیت، پالیگورسکیت و کائولینیت می‌باشد (شکل ۵.۴). کانی اسمکتیت در این موقعیت ژئومرفیک، غالب است. به دلیل پایداری این سطح ژئومرفیک از یک سو، و بنابراین تأثیر کمتر رواناب از سوی دیگر، کانی پالیگورسکیت در این خاک، بر خلاف خاک عهد حاضر (خاکرخ سوم) دیده شد.

### نتیجه‌گیری

۱) وجود افق آرچلیک در خاک‌های قدیمی منطقه جیرفت، به اقلیم مرطوب‌تر گذشته نسبت داده می‌شود؛ درحالی‌که مشاهده رس زیاد و افق ناتریک موجود در خاک‌های عهد حاضر این منطقه، به حضور یون سدیم که از کاتیون‌های غالب در

### منابع مورد استفاده

۱. ایران‌نژاد پاریزی، م. ۱۳۸۸. مطالعه خاک‌های دیرینه و عهد حاضر مخروط‌افکنه گیودری رفسنجان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۰۹ ص.
۲. بنایی، م. ح. ۱۳۷۷. نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
۳. فرپور، م. ه.، م. کریمیان اقبال و ح. خادمی. ۱۳۸۲. نحوه تشکیل و میکرومورفولوژی اریدی‌سول‌های گچی و نمکی منطقه نوق رفسنجان در ارتباط با سطوح ژئومورفولوژی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۷(۳): ۷۱-۹۳.
۴. محمودی، ف. ۱۳۶۷. تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنری. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی ۲۰(۲۳): ۴۳-۴۵.
۵. معتمد، ا. ۱۳۷۰. بررسی منشأ ماسه‌های منطقه یزد- اردکان. نشریه بیابان. انتشارات مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، دانشگاه تهران، ۱۳۰:۱۷۰.
۶. نقشه زمین‌شناسی جیرفت. ۱۳۷۱. سازمان زمین‌شناسی کشور.
۷. نورایی، ک. ۱۳۸۸. نحوه تشکیل و رده‌بندی خاک‌های ردیف پستی و بلندی سیرج-کله شور در حوزه لوت. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
8. Courty, M. A. and N. Fedoroff. 1985. Micromorphology of recent and buried soils in a semi-arid region of northwestern India. *Geoderma* 35: 287-332.
9. Duchaufour, P. 1982. *Pedology*. George Allen and Unwin, London. 310 pp.
10. Eghbal, M. K. and R. J. Southard. 1993. Micromorphological evidence of polygenesis of three Aridisols, western Mojave Desert, California. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57: 1041-1050.
11. Eghbal, M. K. and R. J. Southard. 1993. Stratigraphy and genesis of Durorthids and Haplargids on dissected alluvial fans, western Mojave Desert, California. *Geoderma* 59: 151-174.

12. Farpoor, M. H., H. Khademi and M. K. Eghbal. 2002. Genesis and distribution palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surface. *Iran Agric. Res.* 21: 39-60.
13. Farpoor, M. H., H. Khademi, M. K. Eghbal and H. R. Krouse. 2004. Mode of gypsum deposition in southeastern Iranian soils as revealed by isotopic composition of crystallization water. *Geoderma* 121: 233-242.
14. Farpoor, M. H. and H. R. Krouse. 2008. Stable isotope geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of some soils and sediments in Loot Desert, central Iran. *Geoderma* 146: 283-290.
15. Fedoroff, N. and M. A. Courty. 1987. Mophology and distribution of textural features in arid and semi-arid regions. PP: 213-219. *In: Fedoroff N. Bresson L. M. and Courty M. A. (Eds.), Soil Micromorphology. Proceeding of the 7<sup>th</sup> Inter. Working meeting on soil micromorphology.*
16. Fedoroff, N., M. A. Courty and M. L. Thompson. 1990. Micromorphological evidence of paleoenvironmental change in Pliocene and Holocene paleosols. *In: Douglas, L.A.(Ed.), Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science. Developments in Soil Science Elsevier Pub.,* 716 pp.
17. Fernandez Sanjurjo, M. J., G. Corti and F. C. Ugolini. 2001. Chemical and mineralogical changes in a polygenetic soil of Galicia, NW Spain. *Catena* 43: 251-265.
18. Gile, L. H. and R. B. Grossman. 1968. Morphology of the argillic horizon in desert soils of southern New Mexico. *Soil Sci.* 106: 6- 15.
19. Jackson, M. L. 1975. *Soil Chemical Analysis-advanced Course.* Univ. of Wisconsin College of Agric., Dept of Soils Sci., Madison, WI.
20. Kemp, R. A. 1998. Role of micromorphology in paleoecological research. *Quat. Inter.* 51/52: 133-141.
21. Kemp, R. A. 1999. Soil micromorphology as a technique for reconstructing paleoenvironmental change. PP: 41-71. *In: Singh Vi A. S. and Derbyshire (Eds.), Paleoenvironmental Reconstruction in Arid Lands. Balkema Pub., Netherlands.*
22. Kemp, R. A., E. Derbyshire, F. H. Chen and H. Z. Ma. 1996. Paleoenvironmental significance of the S1 Paleosol on The Northeastern Margin of The Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau. *J. Quat. Sci.* 11: 95-106.
23. Kemp, R. A., P. S. Tomas, J. M. Sayago, E. Debyshire, M. King and L. Wagner. 2003. Micromorphology OSL dating of the basalt part of the loess-paleosol sequence at La Mesuda in Tucuman province, northwest Argentina. *Quat. Intl.* 106-107: 111-117.
24. Khademi, H. and A. R. Mermut. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous aridisols and associated sediments from central Iran. *Clay Mine.* 33: 561-578.
25. Khademi, H. and A. R. Mermut. 1999. Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in Iranian Aridisols. *Eur. J. Soil Sci.* 50: 207-216.
26. Khademi, H. and A. R. Mermut. 2003. Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous Aridisols from central Iran. *Catena* 54: 439-455.
27. Khademi, H., A. R. Mermut and H. R. Krouse. 1997. Isotopic composition of gypsum hydration water in selected landforms from central Iran. *Chem. Geol.* 138: 245-255.
28. Khormali, F., A. Abtahi, S. Mahmoodi and G. Stoops. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semi-arid regions of Southern Iran. *Catena* 776: 1-29.
29. Kittric, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis. *Soil Sci. Soc.* 96: 312-325.
30. McCarthy, P. J., I. P. Martini and D.A. Leckie. 1998. Use of micromorphology for paleoenvironmental interpretation of complex alluvial paleosols: an example from the Mill Creek Formation (Albian), southwestern Alberta, Canada. *Paleogeog. Paleoclim. Paleoecol.* 143:87-110.
31. McKeague, J. A. 1983. Clay skins and argillic horizons. *In: Bullock P. and C. P. Murphy (Eds.), Soil micromorphology, Vol. 2. Soil genesis. Proc. 6th Int. Work. Meet. Soil micromorphology, London. 17-21 Aug. 1081. AB Academic publishers, Bekhamsted, UK.*
32. Nettleton, W. D., B. R. Brasher, E. C. Benham and R. J. Ahrens. 1998. A classification system for buried paleosols. *Quat. Inte.* 51/52, 175-183.
33. Peter, M., M. Jacobs, E. Michael, B. Konen and B. Curry. 2009. Pedogenesis of a catena of the Farmdale-Sangamon Geosol complex in the north central United States. *Paleogeog. Paleoclim. Paleoecol.* 282: 119-132.
34. Retallack, G. J. 2001. *Soils of the past. An Introduction to Paleopedology.* Unwin Hyman Pub., Boston. 404 pp.
35. Ruhe, R. V. 1965. Quaternary and pleopedology. PP. 755-764. *In: Wright H. E. and Frey D. G. (Eds.), The Quaternary of the United States. Princeton University Press, Princeton, NJ.*
36. Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, E. C. Benham and W. D. Broderson. 2002. *Field book for describing and sampling soils.* National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture, Lincoln, Nebraska.
37. Scolt, M. H. and M. C. Rabehorst. 1991. Micromorphology of argillic horizon in an upland tidelmarsh catena. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55: 443-450.

38. Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11th ed., USDA.
39. Srivastava, P. M. 2001. Paleoclimatic implications of pedogenic carbonates in Holocene soils of the Genetic Plains, India Paleogeograph., Paleoclimatol., Paleoecol., 172: 207-222.
40. Stoops, G. 2003. Guideline for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. SSSA, Madison, WI.
41. Thompson, M. L. 1986. Morphology and mineralogy of pre-Wisconsinan paleosol in Iowa. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50: 981-987.
42. Yaalon, D. H. 1971. Soil forming processes in time and space. PP. 29-39. *In*: Yaalon D. H. (Ed.), Paleopedology Jerusalem. Israel University Press, Israel.
43. Zarate, M. A., R. A. Kemp and A. M. Blasi. 2002. Identification and differentiation of Pleistocene paleosols in northern Pampas of Buenos Aires, Argentina. J. South Amer. Earth Sci. 15: 303-313.