

## مطالعه ویژگی‌های کانی‌شناسی، میکرومورفولوژی و تغییر و تحول خاک‌های حاشیه پلایای بجستان

محمد قاسم زاده گنجه‌ای<sup>1</sup> - علیرضا کریمی<sup>2\*</sup> - علی زین الدینی<sup>3</sup> - رضا خراسانی<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1394/09/04

تاریخ پذیرش: 1394/12/10

### چکیده

پلایا از جمله شکل‌های اراضی مهم در مناطق بیابانی می‌باشد و سطح زیادی را در این مناطق به خود اختصاص داده است. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌ها، تغییر و تحول، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی خاک‌های حاشیه پلایای بجستان در شمال شرق ایران بود. برای این منظور پس از شناسایی زمین‌ریخت‌ها، در امتداد یک برش، 11 خاکرخ در سطوح ژئومورفیک مخروط افکنه حاشیه پلایا، اراضی حد واسط مخروط افکنه و کفه رسی و همچنین کفه رسی مطالعه شد. هدایت الکتریکی خاک‌ها از 0/9 در مخروط افکنه تا 36/7 دسی‌زیمنس بر متر در حاشیه کفه نمکی متغیر بود. بافت خاک در کفه رسی، لوم رسی با غالبیت سیلت بود. کانی‌های رسی خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب فراوانی شامل اسمکتیت، ایلیت، کلریت و پالیگورسکیت بودند. بر خلاف پلایاهای دیگر در ایران، پالیگورسکیت فراوانی کمتری داشت. افق Btkb قرمز رنگ، متکامل‌ترین افق در کل منطقه در مخروط افکنه بود که در زیر لایه‌های سنگریزه‌دار آبرفتی مدفون شده است. تجمع رس به صورت پوشش ذرات شن در مقطع نازک مشاهده شد. افق Bk، حداکثر تکامل در کفه رسی بود. پوشش رسی، کربنات‌های ثانویه اغلب به شکل نودول همراه با فرم‌های عدسی شکل گچ، پدوفیچرهای غالب خاک را تشکیل می‌دهند. وجود افق Bk در خاک‌های رویی و افق Btkb در بین توالی لایه‌های رسوبی، نشان دهنده توالی فرآیندهای خاک‌سازی، فرسایش و رسوب است. افق Btkb نشان دهنده یک دوره گرم و مرطوب‌تر و افق Bk نشان دهنده یک دوره نسبتاً مرطوب‌تر نسبت به زمان حاضر است. مورفولوژی خاک‌های مورد مطالعه، نشان دهنده مشابهت شرایط خاک‌سازی منطقه مورد مطالعه با شرق و مرکز ایران است.

واژه‌های کلیدی: تغییر و تحول خاک، پلایا، پوسته‌های رسی، ژئومورفولوژی، کانی‌شناسی رس

### مقدمه

است و زمین‌ریخت‌های منحصر بفردی مانند کفه رسی، ناحیه مرطوب و کفه نمکی در آن وجود دارند (10) که تحت تأثیر فرآیندهای مختلف در گذشته قرار گرفته‌اند؛ به همین دلیل دوره‌های مختلف تغییرات محیطی و اقلیمی را در خود ذخیره کرده‌اند (41). پلایاها از دیدگاه‌های گوناگون به ویژه رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شناسی زیست محیطی، شیمی آب‌های سطحی و زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار هستند (52).

ویژگی‌های خاک به موقعیت ژئومورفیک بسیار وابسته است و اگر در بررسی‌های تشکیل و طبقه‌بندی زمین‌نما مفاهیم ژئومورفولوژی لحاظ شود فرآیندهای تشکیل خاک بهتر درک می‌شوند. تغییر و تحول خاک و زمین‌ریخت‌ها با یکدیگر در ارتباط هستند، زیرا خاک‌ها در زمین‌ریخت‌ها تشکیل می‌شوند و عوامل مشترکی بر تغییرات آنها مؤثر هستند (46 و 34). بنابراین، خاک می‌تواند به عنوان شاخصی از ثبات یا پایداری زمین‌ریخت‌ها و تغییرات محیطی در گذشته باشند (17). علاوه بر اینکه مطالعه ژئومورفولوژی به درک فرآیندهای

پلایا یکی از زمین‌نماهای مهم مناطق خشک است که حدود یک درصد کل خشکی‌ها را پوشش می‌دهند و مورد علاقه و پژوهش خاک‌شناس‌ها و ژئومورفولوژیست‌ها می‌باشد. پلایا نواحی مسطح و بسته‌ای در پست‌ترین قسمت یک حوزه آبریز در مناطق خشک هستند که میزان تبخیر و تعرق در آنها از میزان نزولات جوی بیشتر

1- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو هیأت علمی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

2 و 4- دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (\* - نویسنده مسئول: Email: karimi-a@um.ac.ir)

3- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

خصوصیات خاک‌های مرکزی ایران را بررسی نمود و نتیجه گرفت که روابط معنی‌داری بین تغییرات اقلیم و میکرومورفولوژی وجود دارد. این روابط در خاک‌های استان فارس در جنوب ایران نیز مشاهده شد (27).

در ایران بخش زیادی از مناطق خشک را پلایاها تشکیل می‌دهند. کرینلی (31) برای اولین بار در یک مطالعه جامع، سیمای سطحی و مورفولوژی 60 پلایا در ایران را به منظور بررسی و تعیین پراکندگی، مورد مطالعه قرار داد. با وجود تعداد زیاد پلایا در ایران و با توجه به این که پلایاها و اراضی اطراف آن‌ها، از منابع مهم اطلاعاتی برای بررسی تغییر و تحول زمین‌ریخت‌ها و محیط گذشته هستند، کمتر به آنها توجه شده است. مطالعات انجام شده در مناطق خشک ایران حاکی از وجود دوره‌های مختلف رسوب‌گذاری و تشکیل خاک در اراضی مشرف به پلایاها و پلایاها هستند. یکی از پلایاهای مهم ایران پلایای بجستان در شمال شرق ایران واقع شده است و بزرگ‌ترین کفه رسی در بین پلایاهای ایران را دارد. که اطلاعاتی از خاک‌ها و تغییر و تحول آنها موجود نیست. هدف از این پژوهش (1) شناسایی خاک‌های غالب در امتداد یک زمین‌ریخت‌های یک برش از پلایا و حاشیه پلایای بجستان، (2) تعیین ویژگی‌های مورفولوژیکی، میکرومورفولوژیکی و کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه، (3) تعیین دوره‌های تغییر و تحول خاک‌ها و زمین‌ریخت‌های پلایا و حاشیه آن و (4) مقایسه تغییر و تحول خاک‌های منطقه با مناطق مشابه در ایران بود.

## مواد و روش‌ها

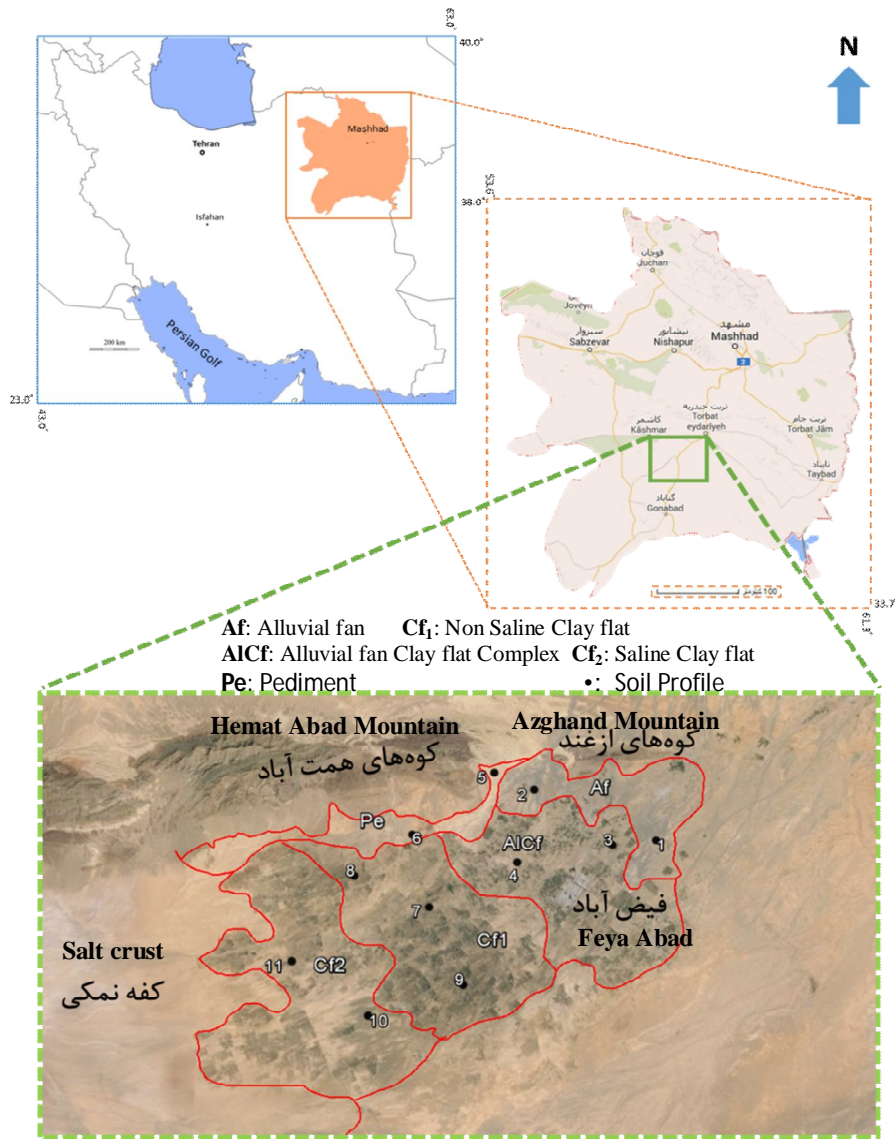
### موقعیت منطقه

منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب استان خراسان رضوی در محدوده 33° 58 تا 46° 58 طول شرقی و 34° 58 تا 35° عرض شمالی واقع شده است (شکل 1). وسعت منطقه مورد مطالعه 20 هزار هکتار است و شهر فیض‌آباد، در جنوب شرقی آن قرار دارد و از شمال به کوه‌های ازغند و همت آباد و از شرق به کفه نمکی محدود می‌شود. قدیمی‌ترین سازندهای موجود مربوط به دوره پرکامبرین است و شامل شیل، فیلیت و گنبد‌های نمکی می‌باشند. سازندهای دوران اول شامل آهک و دولومیت تیره رنگ است که در ارتفاعات شمالی منطقه گسترش دارند و سازندهای دوران دوم از ماسه سنگ و شیل (ژوراسیک)، گچ و آهک‌های هیپوریت‌دار (کرتاسه تحتانی) تشکیل شده است و در بلندی‌های جنوبی حوضه رخنمون دارند. سازندهای دوران سوم از مارن، کنگلومرا، ماسه و آندزیت تشکیل شده است و در ارتفاعات شمالی و جنوبی منطقه دیده می‌شوند (5).

خاک‌سازی کمک می‌کند، خاک‌شناسی نیز در بررسی فرآیندهای تشکیل و تکامل اشکال زمین مهم است (46).

مورفولوژی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی خاک‌ها و تناوب رسوبگذاری در زمین‌ریخت‌ها، از ویژگی‌هایی هستند که به خوبی بیان‌گر تغییر و تحولات خاک‌ها و در نتیجه زمین‌ریخت‌ها هستند. نه تنها پستی و بلندی توسط اثرگذاری بر روی پایداری ذرات یا توزیع آب سطحی به‌طور مستقیم بر روی فرآیندهای خاک‌سازی اثر می‌گذارند، بلکه تغییر در نوع سطح زمین، تغییرات در مواد مادری و تفاوت در سن خاک را می‌توانند نشان دهند (11). نقش توپوگرافی در پیدایش و تحول خاک اهمیت دارد و گاهی مجموعه شرایط ناشی از ویژگی‌ها و موقعیت زمین نما می‌تواند زمینه مناسب را برای تشکیل و تحول خاک‌ها فراهم آورد. تومانیان و همکاران (50)، در منطقه اصفهان نحوه تشکیل و تکامل خاک‌ها را در ارتباط با واحدهای فیزيوگرافی مورد مطالعه قرار دادند، نتایج نشان داد که افق‌های گچی در ارتباط با سطوح ژئومورفیک از توالی تکاملی متفاوتی به لحاظ میکرومورفولوژی برخوردارند. به این صورت که در مراحل اولیه تکامل، بلورهای گچی به صورت مجزا و یا به صورت خوشه‌های داخل خلل و فرج دیده می‌شوند. در بخش‌های وسط و پایین مخروط افکنه، گچ به‌صورت پوشش‌های داخلی یا پرشدگی مشاهده شد. بادیا و همکاران (2)، در مطالعات خود با بررسی خاک‌های مختلف بیان داشتند که شدت خاک‌سازی تا حد زیادی وابسته به خصوصیات ژئومورفیک است و خصوصیات این سطوح باعث تغییر درجه هوادهی، میزان شستشوی املاح محلول خاک، مراحل و فرآیندهای شست و شو و انتقال مواد، عمق تجمع املاح و نهایت عمق سولوم می‌گردد. تفاوت خاک‌ها به دلیل تفاوت در شرایط زه‌کشی، حمل مواد فرسایش یافته، شستشو، انتقال و رسوب مجدد مواد شیمیایی متحرک می‌باشد. حتی اختلاف کمی در ارتفاع ممکن است منجر به تفاوت در خصوصیات خاک و موقعیت هیدرولوژی شود، عامل شیب و ارتفاع سطوح ژئومورفولوژی از عوامل مهم و مؤثر بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها می‌باشند (51).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک انواع ویژگی‌های خاک ساخت کربناتی و گچی در مطالعات میکروسکوپی مشاهده می‌شود. کربنات کلسیم خاک‌ساخت در نتیجه فرآیندهای پیچیده‌ای از انحلال، انتقال، رسوب و تجمع مجدد کربنات‌هایی که یا در مواد مادری خاک‌ها حضور دارند و یا از منابع خارجی به خاک اضافه شده‌اند، در خاک به وجود می‌آیند (6). خادمی و همکاران (25)، گزارش کردند که افق‌های تجمع‌ی رس در منطقه اصفهان در نتیجه‌ی اقلیم مرطوب‌تر گذشته تشکیل شده‌اند. پوشش‌های رسی و کلسیتی متناوب در خاک‌های نیمه‌خشک اسپانیا به تغییرات اقلیمی در طول تشکیل خاک نسبت داده شده است (1). سنجری (44)، در تحقیقی، نقش تغییر اقلیم در



شکل 1- سطوح ژئومورفیک شناسایی شده به همراه موقعیت خاکرخها در منطقه مورد مطالعه  
Figure 1- Geomorphic surface and location of representative pedons in the study area

### ژئومورفولوژی منطقه و نمونه برداری

بر اساس تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای صحرایی زمین ریخت‌ها و سطوح ژئومورفیک منطقه شناسایی شدند. سطوح ژئومورفیک شناسایی شده از شرق به غرب منطقه شامل انتهای مخروط افکنه، اراضی حدواسط مخروط افکنه-کفه رسی و کفه رسی محدود می‌شود (شکل 1). انتهای مخروط افکنه شامل دو سطح ژئومورفیک است. سطح اول (Af1) توسط رسوبات با سنگریزه کم پوشیده شده است و سطح دوم (Af2) که خاک رویی آن از بین رفته و رسوبات درشت در

منطقه از نظر آب و هوایی دارای اقلیم خشک با زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. متوسط دمای سالانه 17/3 درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه 193 میلی‌متر است (42). بر اساس نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران با مقیاس 1:2500000 مؤسسه تحقیقات خاک و آب منطقه مورد مطالعه دارای رژیم رطوبتی اریدیک و از نظر تقسیمات فرعی اریدیک ضعیف و رژیم حرارتی خاک، ترمیک تعیین می‌گردد (4).

تلقیح نمونه‌ها توسط رزین پلی‌استر و استایرین در خلا صورت گرفت. قبل از تلقیح به 100 میلی‌لیتر مخلوط استایرین و رزین، 5 قطره سخت کننده اسید استئاریک و حدود سه قطره هم استات کبالت به عنوان کاتالیزور اضافه شد. نمونه‌ها پس از گذشت حدود یک ماه سخت و توسط دستگاه، برش داده شدند. سپس با پودرهای کاربراندوم با درجات مش متوسط و ریز (400 تا 1000) ضخامت نمونه‌ها به حدود 30 میکرومتر رسانده شدند. مقاطع با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه و تفسیر قرار گرفتند و در نهایت از مقاطع عکس برداری شد.

## نتایج و بحث

### توصیف خاک‌ها

جدول 1 برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و رده‌بندی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. هر چه از سمت مخروط افکنه به سمت کفه رسی پلایا نزدیک می‌شویم با کاهش شیب، بافت خاک سنگین‌تر می‌شود به نحوی که بافت از لوم شنی در خاک‌خ 1 به لوم رسی در خاک‌خ 11 می‌رسد. در همین امتداد، میزان سنگریزه سطحی نیز کاهش پیدا می‌کند و در کفه رسی مقدار سنگریزه به صفر می‌رسد. نیستانی و همکاران (38) و فرپور و همکاران (16) در مطالعه پلایاهای خیرآباد کرمان و سیرجان نشان دادند که سیلت بخش غالب بافت در کفه رسی است. به نظر می‌رسد که زیاد بودن سیلت به منشأ رسوبات بر می‌گردد. بیشتر پلایاها توسط رسوبات مارنی دوران سوم احاطه شده‌اند و سیلت بخش غالب آنها می‌باشد.

میزان کربنات کلسیم معادل در منطقه مورد مطالعه روند خاصی ندارد و از 11/2 تا 25/2 درصد متغیر است. دلیل تغییرات کم این کانی، از یک سو، وجود مواد مادری آهکی و از سوی دیگر حلالیت کم آن است که باعث می‌شوند انتقال به صورت محلول در منطقه کم باشد. در مقابل، گچ و املاح محلول، به دلیل حلالیت بیشتر به سادگی در منطقه منتقل می‌شوند و از سمت مخروط افکنه به سمت کفه رسی شور، به تدریج مقدار گچ و املاح محلول افزایش پیدا می‌کند. گچ به فرم پندانت<sup>1</sup> بود و مقدار آن در خاک‌خ 5 (پدیمنت) از 2/2 تا 6/4 درصد و در کفه رسی شور بین 1/8 تا 8/6 درصد متغیر بود. سنجری و فرپور (45)، در مطالعه‌ای بر روی پلایای رودبار جنوب، مشاهده کردند که هر چه از سمت مخروط افکنه به سمت پایین دست پلایا نزدیک می‌شویم، درصد سنگریزه کاهش، بافت خاک سنگین‌تر و مقادیر شوری و نسبت جذب سدیم افزایش می‌یابد. املاح به دلیل حلالیت زیاد به راحتی منتقل می‌شوند و توزیع آنها یک روند

سطح برجای مانده است. اراضی حد واسط مخروط افکنه - کفه رسی (Af-Cf) شامل تناوبی از لایه‌های آبرفتی سنگریزه‌دار و لایه‌های رسی سیلتی است.

کفه رسی با توجه به میزان هدایت الکتریکی و تکامل خاک‌خ (مشاهده افق کلسیک، ژپسیک و سالیک)، به دو سطح کفه رسی غیرشور (Cf1) و کفه رسی شور (Cf2) تقسیم گردید. کفه رسی غیرشور شامل خاک‌های تکامل یافته عمیق و بدون سنگریزه است که به دلیل شیب کم، رسوبات درشت به این سطوح نمی‌رسد و تنها رسوبات ریز بافت به این منطقه منتقل شده‌اند. کفه رسی شور به دلیل حرکت موینگی به طرف سطح خاک، شورتر می‌باشد. به طور معمول در یک توالی عمودی، تناوبی از انباشته‌های رسوبات رودخانه‌ای و بادی در محدوده کفه رسی شور قابل رؤیت می‌باشد. شکل 1 موقعیت منطقه و محل حفر خاک‌خ‌ها در سطوح مختلف ژئومورفولوژی را نشان می‌دهد.

بر اساس واحدهای مختلف ژئومورفیک شناسایی شده، تعداد 11 خاک‌خ انتخاب شد. پس از تشریح خاک‌خ‌ها از لایه‌های مختلف خاک‌خ‌ها نمونه برداری گردید. از سیستم رده‌بندی آمریکایی تا سطح فامیل (2014) برای طبقه‌بندی خاک‌ها استفاده شد (48). همچنین تعدادی نمونه دست نخورده به صورت کلوخه جهت مشاهدات میکرومورفولوژی برداشته شد و نمونه‌ها برای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی و نیز کانی شناسی رسی به آزمایشگاه منتقل گردید.

### مطالعات آزمایشگاهی

پس از هوا خشک کردن نمونه‌های خاک و عبور دادن آنها از الک 2 میلی‌متری، آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی بر روی آنها انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (8)، pH در گل اشباع با دستگاه pH سنج مدل Jenwey، هدایت الکتریکی در عصاره 5:1 خاک به آب توسط هدایت‌سنج الکتریکی مدل Jenwey، اندازه‌گیری کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون برگشتی (40)، گچ به روش ترسیب با استون (37)، ماده آلی به روش اکسایش تر (36) و سدیم محلول توسط دستگاه فلوئومتر مدل Jenwey اندازه‌گیری شد.

برای تعیین نوع کانی‌های رسی، 6 نمونه انتخاب شدند. برای حذف کربنات‌ها روش جکسون (23) و کیتریک و هوپ (30) ملاک عمل قرار گرفت. پس از جداسازی رس با سانتیفریوژ، نمونه‌ها به تفکیک توسط پتاسیم و منیزیم اشباع شدند و پس از آن در نمونه اشباع از منیزیم تیمار اتیلن گلیکول و در نمونه اشباع از پتاسیم، تیمار درجه حرارت 550 درجه سانتی‌گراد اعمال گردید. سپس توسط دستگاه پراش پرتو ایکس با لامپ مسی مدل Simenes D 5000 با ولتاژ 40 کیلو ولت و شدت جریان 30 میلی‌آمپر در زوایای بین 2 تا 40 درجه اسکن شد. نمونه‌های دست نخورده پس از هوا خشک شدن،

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه و طبقه بندی آنها

Table 1- Some physiochemical properties of representative pedons and its classification

افق Horizon	عمق Depth (Cm)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	سنگریزه Gravel (%)	بافت Texture	pH	ECe (dSm <sup>-1</sup> )	گچ Gypsum (%)	کربنات کلسیم معادل CCE (%)	کربن آلی خاک SOC (%)	نسبت جذب سدیم SAR	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )
1 خاک‌های شماره 1 Pedon 1: Fine loamy, mixed, superactive, thermic, Xeric Haplocalcids													
A	0-35	19	34	47	5	SL	7.7	2.9	-	14.6	0.23	6.3	25.2
Bk	35-80	20	36	44	8	SL	7.8	3.1	-	20.8	0.18	6.6	16.5
2Cb	80-110	13	38	49	65	LS	7.6	1.3	-	22.0	0.09	5.7	11.1
3Btk b	110-150	40	25.2	39	5	SL	7.7	2.2	-	25.2	0.11	4.5	13.2
2 خاک‌های شماره 2 Pedon 2: Coarse loamy, mixed, superactive, thermic, Xeric Torrifluvents													
A	0-30	17	31	52	10	L	7.6	1.3	-	14.2	0.21	4.9	17.9
2C	30-70	10	29	61	60	LS	7.9	2.2	-	18.0	0.09	5.6	8.5
3Btk b	70-100	19	24	57	30	SiL	7.8	1.9	-	19.4	0.08	5.4	12.4
4Cb	100-150	10	19	71	70	LS	7.7	1.1	-	16.2	0.09	6.4	8.5
3 خاک‌های شماره 3 Pedon 3: Coarse loamy, mixed, superactive, thermic, Xeric Haplocambids													
A	0-35	22	29	49	10	L	7.9	3.1	-	18.7	0.73	5.9	25.3
Bw	35-75	24	33	43	5	L	7.8	2.9	-	16.5	0.59	6.1	12.4
C	75-150	23	29	48	10	SL	7.8	2.5	-	15.3	0.45	5.6	17.9
4 خاک‌های شماره 4 Pedon 4: Fine loamy, mixed, superactive, thermic, Xeric Haplocambids													
A	0-30	17	40	43	-	SiC L	8.0	4.3	-	15.6	0.40	9.1	8.5
Bw1	30-70	19	32	49	5	SCL	8.1	3.4	-	14.1	0.13	8.8	15.1
Bw2	70-150	21	34	48	-	SCL	8.0	2.7	-	14.6	0.11	7.7	16.5
5 خاک‌های شماره 5 Pedon 5: Coarse loamy, mixed, superactive, thermic, Xeric Haplogypsis													
A	0-30	11	40	49	10	SL	7.8	3.1	2.5	16.3	0.19	10.5	6.51
By	30-80	13	42	45	5	SiL	7.6	4.3	6.4	19.3	0.17	9.9	9.8
C	80-150	14	36	50	20	SL	7.9	3.5	2.2	20.5	0.21	8.5	5.4
6 خاک‌های شماره 6 Pedon 6: Coarse loamy Over Sandy Skeletal, mixed, superactive, thermic, Xeric Torrifluvents													
A	0-20	10	22	68	70	LS	7.8	2.3	-	16.0	0.12	12.4	8.5
C	20-150	8	14	78	85	S	7.8	3.4	-	11.9	0.06	8.9	3.5
7 خاک‌های شماره 7 Pedon 7: Coarse loamy, mixed, superactive, thermic, Xeric Haplocalcids													
A	0-40	21	41	38	-	SCL	7.7	3.4	-	17.0	0.36	12.7	25.3
Bk	40-90	17	39	44	-	SL	7.8	4.3	-	23.6	0.19	8.5	12.6
Bw	90-150	11	40	49	-	SL	7.5	5.5	-	18.7	0.11	3.8	9.2
8 خاک‌های شماره 8 Pedon 8: Fine loamy, mixed, superactive, thermic, Xeric Haplocalcids													
A	0-35	19	35	46	-	L	8.2	0.9	-	23.0	0.41	11.2	25.3
Bk1	35-55	20	40	40	-	L	7.9	2.9	-	22.2	0.37	12.9	19.8
Bk2	55-80	21	32	47	-	SL	7.8	3.6	-	24.9	0.21	12.3	14.1
C	80-150	22	37	41	-	L	7.7	4.8	-	25.1	0.17	11.5	9.8
9 خاک‌های شماره 9 Pedon 9: Fine, mixed, superactive, thermic, Xeric Haplocalcids													
A	0-30	23	34	43	-	SL	7.7	5.9	-	14.9	0.27	10.3	24.3
Bk	30-60	25	36	39	-	CL	7.8	4.7	-	21.6	0.43	11.4	31.8
Bw	60-110	26	37	37	-	CL	7.9	2.6	-	14.2	0.14	10.6	19.2
C	110-150	22	36	42	-	SL	7.7	2.6	-	13.1	0.23	12.3	17
10 خاک‌های شماره 10 Pedon 10: Fine Silty, mixed, superactive, thermic, Xeric Haplogypsis													
A	0-35	15	48	37	-	SL	7.8	8.5	3.5	17.1	0.25	12.2	15.1
By	35-65	17	54	29	-	SiC L	7.6	6.6	8.6	18.8	0.08	11.7	12.4
C	65-150	19	49	32	-	L	7.7	5.7	6.1	18.0	0.11	12.2	16.5
11 خاک‌های شماره 11 Pedon 11: Fine loamy, mixed, active, thermic, Xeric Haplosalids													
Az	0-30	21	43	36	-	SiL	8.1	36.7	2.5	15.4	0.56	20.8	10.2
Bz1	30-70	21	42	37	-	L	8.0	34.6	1.2	17.7	0.33	16.3	11
Bz2	70-150	22	43	35	-	CL	7.9	31.2	0.6	18.2	0.10	13.1	9.6

دارند. حداکثر تکامل خاک تشکیل یک افق ژئوسپیک در این سطح است که در خاکرخ 5 دیده شد. گچ در این افق به صورت پندانت در زیر سنگریزه‌ها مشاهده شد. خاکرخ شماره 6 حاوی رسوبات درشت و دارای یک افق سطحی اکریک به ضخامت 20 سانتی‌متر بر روی افق C است. فرپور و همکاران (15) در مطالعه پندانت‌های گچی در خاک‌های جنوب شرقی ایران نشان دادند که در شرایط مرطوب‌تر از زمان حاضر تشکیل شده است. عمق و ضخامت زیاد افق تجمع گچ خاکرخ 5 دلیل دیگری بر تجمع گچ در شرایط مرطوب‌تر از زمان حاضر است.

خاکرخ‌های 7، 8 و 9 بر روی سطح ژئومورفیک کفه رسی غیرشور (Cf1) قرار دارند و همه این خاکرخ‌ها دارای افق Bk هستند. خاکرخ 8 دارای بیشترین تجمع کربنات کلسیم می‌باشد و در 80 سانتی‌متری به حداکثر مقدار خود یعنی 25 درصد می‌رسد. کربنات‌های ثانویه در این افق‌ها مشابه با خاکرخ‌های 1 و 2 به صورت توده‌های نرم می‌باشند. وجود افق Bk در کفه رسی که مسطح است نشان می‌دهد که این افق پس از تشکیل در دوره مرطوب‌تر، توسط رسوبات جوان‌تر، مدفون نشده است. در جنوب مشهد، افق‌های Bk تشکیل شده در دشت دامنه‌ای توسط رسوبات جوان‌تر دفن شده‌اند (24). خاکرخ‌های شماره 10 و 11 بر روی سطح ژئومورفیک کفه رسی شور (Cf2) قرار دارند. در این خاکرخ‌ها اثری از افق کلسیک نیست و افق By در خاکرخ 10، افق Bz در خاکرخ 11 مشاهده می‌شود. این سطح ژئومورفیک به دلیل قرار گرفتن در نزدیکی کفه نمکی که پست‌ترین بخش پلایا است، سفره آب زیرزمینی نزدیک به سطح است و املاح وارده شده از بخش‌ها بالایی، در اثر حرکت موئینگی باعث تشکیل افق‌های سالیک و ژئوسپیک می‌شوند. وجود املاح زیاد در این سطح، باعث تشکیل سطوح پف کرده نمکی شده‌اند.

#### میکرومورفولوژی

تجمع رس، کربنات‌ها و گچ سه ویژگی مهم پدوژنیک در خاک‌های مورد مطالعه است. مطالعه مقطع نازک در خاکرخ شماره 1 از افق 3Btkb در عمق 110-150 وجود پوشش‌های رسی به همراه پرشدگی و نودول‌های کربنات کلسیم را نشان می‌دهد (شکل 2-الف). همان‌گونه که در شکل 2-الف مشاهده می‌شود، در نتیجه حرکت و انتقال رس از افق‌های فوقانی به افق‌های تحتانی در نتیجه نفوذ آب، رس‌های منتقل شده روی ذرات شن را پوشش داده است. نودول‌های اکسید آهن را در افق 3Btkb خاکرخ شماره 1 نشان می‌دهد که اکسیدهای آهن زمینه خاک را اشباع کرده است و به همین دلیل از نوع ماتریکس نودول هستند (49) که می‌تواند نشانگر آن باشد که در زمان تشکیل این افق، شرایط هواپدیدی مناسب بوده

مشخص دارد. قابلیت هدایت الکتریکی در این خاک‌ها از 0/9 در مخروط افکنه تا 36/7 دسی زمینس بر متر در کفه رسی شور متغیر است که بستگی به موقعیت منطقه افزایش یا کاهش پیدا کرده است. در خاک‌های روی کفه رسی مقدار هدایت الکتریکی لایه سطحی بیشتر از بقیه لایه‌هاست که دلیل آن صعود موئینگی املاح به سمت بالا است. خاک‌های تشکیل شده در کفه نمکی پلایا دارای بیشترین میزان شوری و نسبت جذب سدیم می‌باشد. تغییرات SAR در طول برش روندی شبیه به آنچه EC دارد از خود نشان داد.

خاکرخ‌های شماره 1 و 2 به ترتیب بر روی سطوح ژئومورفیک Af1 و Af2 مخروط افکنه قرار گرفته‌اند. در این دو خاکرخ تناوبی از رسوبات آبرفتی با مقادیر سنگریزه از 5 تا 70 درصد وجود دارد. وجود توالی از لایه‌های با مقدار سنگریزه‌های متفاوت و افق‌های مشخصه، نشان‌دهنده توالی‌های رسوبگذاری و تشکیل خاک است. در هر دو خاکرخ بر اساس شواهد صحرائی و میکرومورفولوژیکی که در بخش‌های بعدی شرح داده خواهد شد، یک افق آرگیلیک-کلسیک (3Btkb) وجود دارد که رنگ آن قرمز است. وجود افق ترکیبی کلسیک و آرگیلیک نشان دهنده پلی‌ژنتیک بودن آن است. مشابه این افق در خاک‌های قدیمی بر روی مخروط افکنه یا پدیمت در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکز، شرق و شمال شرق ایران گزارش شده است (24، 25 و 27). در مناطق خشک جهان، وجود افق آرگیلیک نشان‌دهنده فرآیند تجمع رس در مناطق خشک در دوره‌های مرطوب‌تر گذشته و در نتیجه تشکیل افق آرگیلیک است (29). تشکیل افق‌های آرگیلیک در استان کرمان را به اقلیم‌های مرطوب ایران مرکزی نسبت داده‌اند (44 و 16). در افق‌های سطحی خاکرخ شماره 1 یک افق Bk وجود دارد. این افق تکامل کمتری نسبت به افق Btkb دارد. برای تشکیل افق کلسیک، حداقل 400 میلی‌متر بارندگی سالانه لازم است (47). با توجه به بارندگی حال حاضر (193 میلی‌متر) افق Bk در دوره‌های مرطوب‌تر گذشته تشکیل شده‌اند. در خاکرخ شماره 2 اثری از افق Bk دیده نمی‌شود که با توجه به مورفولوژی خاکرخ، و شواهد صحرائی، به نظر می‌رسد افق‌های سطحی توسط فرسایش از بین رفته است.

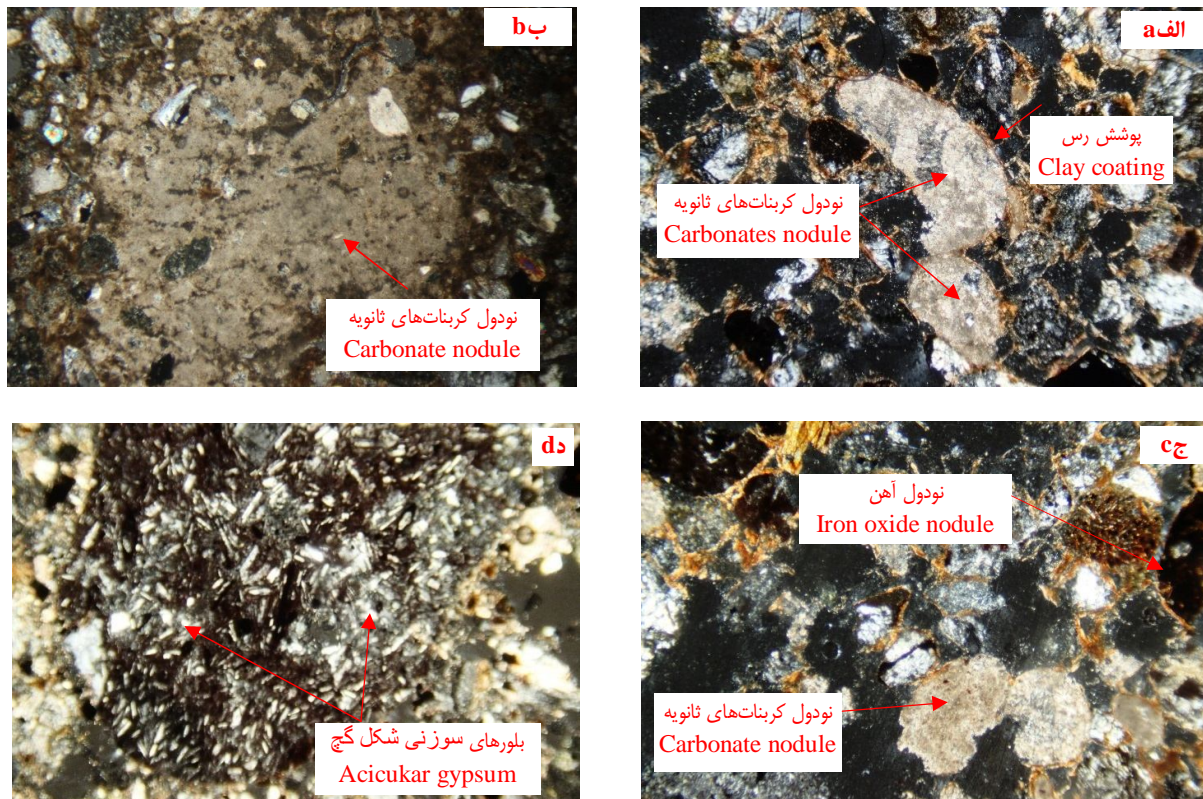
خاکرخ‌های شماره 3 و 4 که بر روی اراضی حد واسط مخروط افکنه و کفه رسی با شیب کمتر قرار دارند، و حداکثر دارای افق کمبیک (Bw) می‌باشند. خاکرخ 3 نزدیک مخروط افکنه و خاکرخ 4 نزدیک کفه رسی قرار دارد که از خاکرخ 3 به خاکرخ 4، مقدار سنگریزه و شن کاهش و مقدار سیلت افزایش پیدا می‌کند. در این خاکرخ‌ها به‌ویژه در خاکرخ 4، رسوبات به صورت لایه لایه با مرزبندی مشخص روی همدیگر قرار گرفته‌اند که نشان دهنده تغییرات متناوب در دوره‌های رسوبگذاری است.

خاکرخ‌های 5 و 6 در انتهای پدیمت حفر شده‌اند و تکامل کمی

منطقه را گزارش و آن را به اقلیم مرطوب گذشته (پلیستوسن) نسبت دادند.

وجود نودول‌های کربنات‌های ثانویه به همراه پوسته‌های رسی نشان دهنده پدوفیچرهای مرکب و پلی ژنتیک بودن خاک است و بیانگر آن است که چند دوره اقلیمی را پشت سر گذاشته است. در افق 3Btkb خاکرخ شماره 1 نودول کربنات‌ها، توسط پوسته رسی پوشش داده شده‌اند (شکل 2-الف). خادمی و مرموت (26)، در خاک‌های اصفهان واقع در ایران مرکزی ترکیب پدوفیچرهای رسی و پوشش کربنات در خاک‌های پلی ژنتیک را به دلیل تفاوت در شرایط آب و هوایی بیان کردند. یوسفی فرد و همکاران (53)، انتقال گچ و کربنات‌های ثانویه روی پوسته‌های رسی را نشان دهنده خشک‌تر شدن اقلیم در مراحل بعدی گزارش کردند.

است و باعث آزاد شدن آهن از کانی‌ها و اکسید شدن آنها و تجمع در زمینه خاک شده است. همین امر سبب رنگ قرمز در افق 3Btkb نیز شده است. معمولاً ابتدا املاح محلول‌تر مانند نمک‌ها و گچ و سپس کربنات‌ها منتقل شده‌اند و در نهایت انتقال رس‌ها صورت می‌گیرد (32). تحقیقات انجام شده بر روی افق آرچیلیک در اقلیم‌های خشک‌تر نشان داده است که مقادیر رس موجود در افق آرچیلیک نه تنها در اثر فرآیند تجمع، بلکه در نتیجه انبساط و انقباض یا هوادیدگی درجا همراه با رس‌های چپته یافته که اغلب ناشی از تنش‌های ایجاد شده در اثر انبساط و انقباض، تشکیل شده است (7 و 21). در شرایط زهکشی خوب، حرکت و انتقال رس‌ها در حضور کربنات‌ها صورت نمی‌گیرد و تنها موقعی این عمل انجام می‌شود که خاک کاملاً آهک-زدایی شده باشد (28). فرپور و همکاران (14)، در منطقه رفسنجان در ایران مرکزی تشکیل افق‌های آرچیلیک و پوسته‌های رسی در این



شکل 2- تصاویر مقاطع نازک (همه در حالت XPL)، الف) پوشش رسی و نودول کربنات‌های ثانویه در افق 3Btkb خاکرخ شماره 1، ب) نودول کربنات‌های ثانویه در افق Bk2 خاکرخ شماره 8 و د) اشکال سوزنی شکل گچ در افق By خاکرخ شماره 10

Figure 2- Thin sections of a) Clay coating and carbonates nodule in Btkhorizon, pedon 1, b) Carbonates nodule in Btkhorizon, pedon 1, c) Carbonates nodule iron oxides in Bk2 horizon, pedon 8, d) Needle form of gypsum in By horizon, pedon 10

دلیل اینکه در اثر اشباع شدن با تیمار اتیلن گلیکول به 16/7 آنگستروم رسیده است. این انبساط کم، نشان دهنده اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد می‌باشد. ظاهر شدن قله در 10/5 آنگستروم در تیمار پتاسیم تأییدی بر وجود اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد است. وجود قله‌های 14/4، 7/1، 4/7 و 3/5، نشان دهنده وجود کلریت در نمونه‌ها است و به دلیل اینکه قله 7/1 آنگستروم در تیمار پتاسیم و حرارت از بین رفته، کلریت غنی از آهن می‌باشد. حضور قله 2/3 آنگستروم که مربوط به ردم سوم تفرق کائولینیت است، تأییدی بر وجود این کانی می‌باشد. وجود قله 6/4 آنگستروم هم نشان دهنده وجود پالیگورسکیت در این افق است. پیک 28/1 نشان‌دهنده وجود اسمکتیت و کلریت به صورت مختلط است. در افق‌های دیگر نیز، کانی‌های شناسایی شده وجود دارند که به دلیل تفاوت در فرآیندهای خاک‌سازی و ژئومورفیک مقدار نسبی آنها متفاوت است.

در افق Bk خاکرخ اول که بافت آن سبک‌تر از افق 3Btkb است مقدار کوارتز آن کاهش پیدا کرده است (شکل 3-ب). در افق Bw خاکرخ شماره 4، اثری از وجود پالیگورسکیت مشاهده نمی‌شود و بر اساس شدت نسبی قله‌ها، مقدار اسمکتیت نسبت به میکا افزایش داشته است (شکل 3-ج)، که دلیل اصلی آن می‌تواند ریز شدن بافت خاک باشد. معمولاً میکا در بخش رس درشت قرار دارد (21)، به همین دلیل با فاصله از مخروط افکنه و ریز شدن بافت خاک، مقدار نسبی اسمکتیت افزایش پیدا می‌کند. این وضعیت در افق‌های Bk1 خاکرخ 8 و Bz1 خاکرخ 11 که در کفه رسی قرار دارند، شدت نسبی اسمکتیت نسبت به میکا بیشتر شده است. قله 6/4 آنگستروم که نشان دهنده حضور پالیگورسکیت، در همه افق‌ها بجز افق Bw خاکرخ شماره 4، مشاهده می‌شود. مطالعات متعدد نشان داده است که در مناطق خشک، پالیگورسکیت در افق‌های کلسیک و ژیبسیک به صورت نوتشکیلی از محلول خاک تشکیل می‌شوند، همچنین، مواد مادری به‌ویژه رسوبات دوران سوم نیز به‌عنوان منشأ آورای معرفی شده‌اند (22، 24، 25 و 33). خادمی و مرموت (25) بیان می‌کنند که در زمان تشکیل افق کلسیک و ژیبسیک نسبت Mg/Ca در محلول کاهش پیدا می‌کند و شرایط ژئوشیمیایی برای تشکیل پالیگورسکیت فراهم می‌شود. تشکیل این کانی در خاک‌های شور مناطق خشک نیز معمول است (35). با توجه به حضور پالیگورسکیت در افق‌های کلسیک، ژیبسیک و سالیک خاک‌های مورد مطالعه و حضور رسوبات دوران سوم در منطقه، احتمال منشأ دوگانه پالیگورسکیت در خاک‌ها وجود دارد. با این حال برای تشخیص سهم هر کدام، لازم است که مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شود.

مطالعه مقاطع نازک در خاکرخ شماره 1 از افق Bk در عمق 80-35 و خاکرخ شماره 8 از افق Bk2 در عمق 80-55 وجود نودول‌های کربناتی را نشان می‌دهد که زمینه خاک را اشباع کرده است و ذرات درشت خاک در آن به خوبی قابل مشاهده می‌باشد (شکل 2-ب و 2-ج). برخلاف نودول‌های کربنات در افق 3Btkb (شکل 2-الف) که مرز واضحی با زمینه خاک دارند، نودول‌های کربنات در افق Bk مرز منظمی با زمینه خاک ندارند.

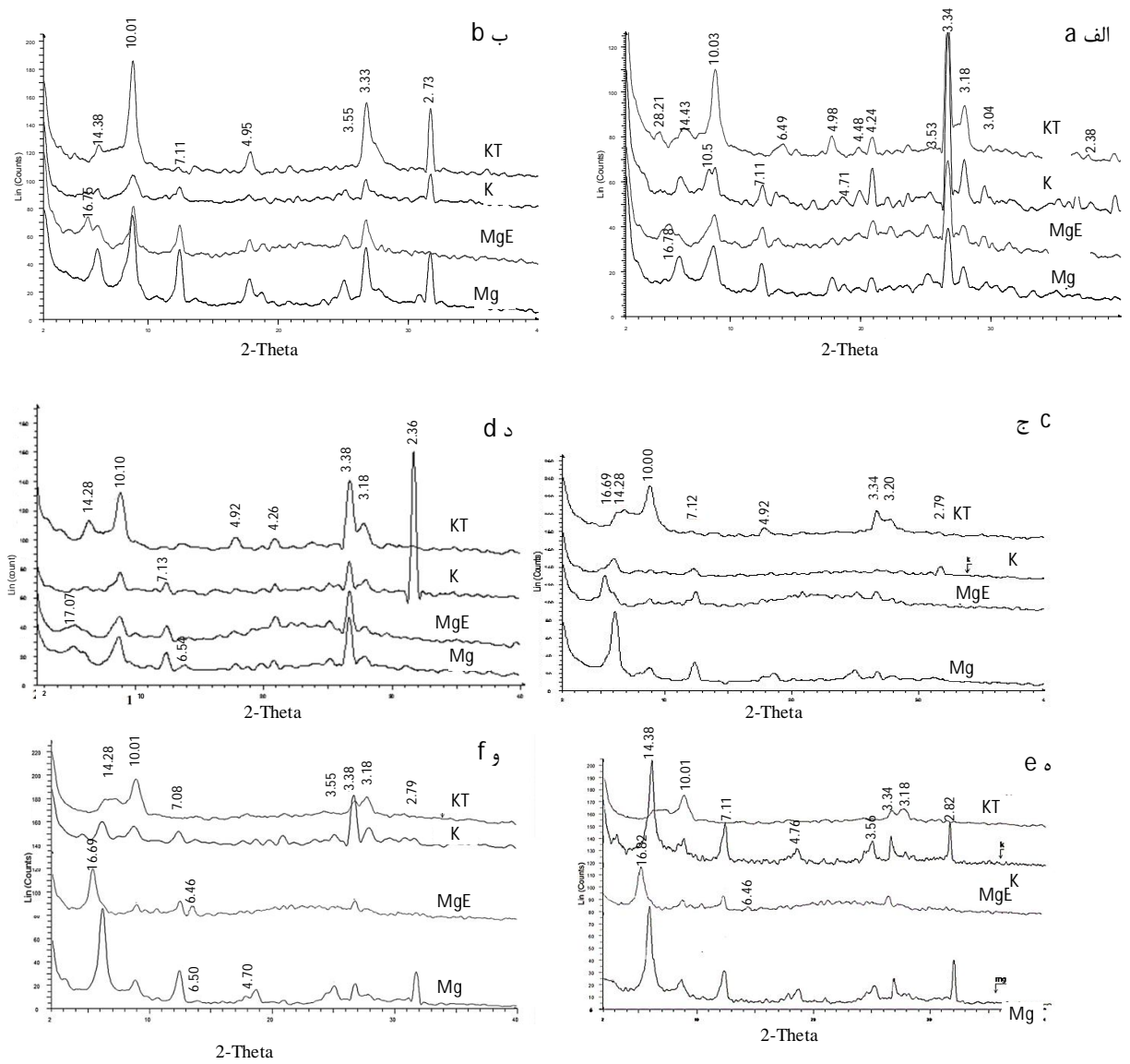
مطالعه مقطع نازک از افق By در عمق 65-35 خاکرخ شماره 10 وجود بلورهای سوزنی شکل گچ را نشان می‌دهد (شکل 2-د). به طور کلی دمای زیاد در مناطق پست، همراه با بافت ریز خاک و کمبود سنگریزه، از عوامل تأثیرگذار در تشکیل بلورهای گچ سوزنی و عدسی شکل می‌باشد (14). اولیایی و ابطاحی (39) بیان نمودند، فوق اشباع بودن محلول خاک از سولفات کلسیم در حفرات کوچک خاک به مدت طولانی، موجب رشد بلورهای عدسی شکل گچ می‌شود. فرپور و همکاران (14)، رابطه بین ماکرومورفولوژی و میکرومورفولوژی گچ پدوژنیک با موقعیت ژئومورفیک در منطقه رفسنجان را مطالعه و پندانه‌های درشت گچی، پندانه‌های متوسط تا ریز و گچ ریز بلورین را به ترتیب برای پدیمنت‌های سنگی، پدیمنت پوشیده و پلایا گزارش کردند.

#### کانی‌شناسی

نتایج حاصل از دستگاه پراش پرتو ایکس نشان دهنده وجود کانی‌های اسمکتیت، ایلیت، کلریت، کائولینیت و پالیگورسکیت در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک پالیگورسکیت، اسمکتیت، کلریت، ایلیت، کائولینیت و ورمی کولیت از کانی‌های رسی غالب هستند (27). دکرز و همکاران (13) بیان می‌کنند که کلریت، میکا، کوارتز و کائولینیت از پراکندگی زیادی در خاک‌های مناطق خشک ایران مرکزی برخوردار هستند.

شکل (8-الف)، نمودار پراش پرتو ایکس مربوط به افق Btk خاکرخ اول واقع بر سطح مخروط افکنه را نشان می‌دهد. وجود قله شدید 3/3 نشان دهنده وجود مقدار زیادی کوارتز در بخش رس است. قله 4/2 مربوط به کوارتز است و در مواردی که مقدار این کانی زیاد باشد در پراش نگاشت مشاهده می‌شود. وجود این مقدار زیاد کوارتز با توجه به شنی بودن بافت قابل توجیه است که مقدار زیادی از کوارتز در اثر ریز شدن به صورت فیزیکی در بخش رس وارد شده است. قله 10 آنگستروم در تیمار منیزیم، نشان‌دهنده وجود میکا می‌باشد. قله 14/4 آنگستروم وجود دارد که مربوط به کانی‌های 2:1 است و به





شکل 3- پراش نگاشت‌های رس. الف) افق 3Btkb خاکرخ شماره 1، ب) افق Bk خاکرخ شماره 1 ج) افق Bw1 خاکرخ شماره 4، د) افق By خاکرخ شماره 10، ه) افق Bk2 خاکرخ شماره 8، و) افق Bz1 خاکرخ شماره 11. اشباع با منیزیم، MgE: اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، K: اشباع با پتاسیم، KT: اشباع با پتاسیم و حرارت 550 درجه سانتی‌گراد

Figure 3- X-Ray diffractograms of the clay fraction, a) 3Btkb horizon of pedon 1, b) Bk horizon of pedon 1, c) Bw1 horizon of pedon 4, d) By horizon of pedon 10, e) Bk2 horizon of pedon 8, f) Bz1 horizon of pedon 11

ایران نیز گزارش شده است. در بیشتر رسوبات دوران سوم مناطق خشک ایران، به دلیل ایجاد شرایط مناسب، پالیگورسکیت فراوانی وجود دارد که این کانی به ویژه توسط باد در مناطق خشک پراکنده می‌شود (3 و 9). کریمی و همکاران (24) و خادمی و مرموت (25)،

به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که پالیگورسکیت مختص مناطق خشک و با بارندگی کمتر از 300 میلی‌متر است و در این شرایط پایدار می‌ماند، اما از سوی دیگر، وجود این کانی توسط صالحی و همکاران (43) و خرمالی و ابطحی (27) در شرایط نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب

نتایج کانی‌شناسی خاکرخ شماره 11 افق Bz واقع بر کفه رسی شور نشان دهنده کانی‌های رسی ایلیت، اسمکتیت، کائولینیت، کلریت و مقدار کمی پالیگورسکیت می‌باشند (شکل 3-و). همراهی کربنات‌ها و از سوی دیگر، واقع شدن در سطح پایدار و کمتر قرار گرفتن در معرض رطوبت ناشی از روان آب‌های فصلی، شرایط را برای تشکیل و پایداری پالیگورسکیت فراهم نموده است. همراه بودن و حفظ کانی پالیگورسکیت در اطراف بلورهای کربنات‌های ثانویه در افق‌های کلسیت توسط محققین مختلف در ایران مرکزی گزارش شده است (16، 25 و 43). شدت قله 16/6 آنگستروم در این پراش‌نگاشت نسبت به قله 10 آگسترم نسبت به سایر پراش‌نگاشت‌ها بیشتر شده است. انتقال رسوبات ریزتر به محدوده خاکرخ شماره 11 که نزدیک کفه نمکی قرار دارد، می‌تواند دلیل افزایش اسمکتیت در این خاک باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که یک خاک قدیمی دارای افق 3Btkb به صورت مدفون در مخروط افکنه وجود دارد که در بخشی از سطوح مخروط افکنه یک خاک با تکامل کمتر دارای یک افق Bk بر روی آن قرار گرفته است. در واحدهای حد واسط کفه رسی-مخروط افکنه و کفه رسی خاک‌های با تکامل کمتر دارای افق Bk و افق Bw تشکیل شده‌اند. به سمت کفه نمکی خاک‌ها شور شده و در آنها افق Bz قابل تشخیص بود. در پدیمت مجاور کفه رسی، خاک داری یک افق ضخیم By بود که گچ در آن به شکل پندانت وجود داشت. وجود پوسته‌های رسی در مقاطع نازک تأییدی بر وجود افق آرچیلیک و همرا بودن آن با کربنات‌های ثانویه نشان دهنده پلی‌ژنتیک بودن خاک‌ها بود. نودول‌های کربنات‌ها که توسط پوسته‌های رسی پوشش داده شده‌اند نشان دهنده یک دوره مرطوب پس از آن یک دوره خشک است. اسمکتیت، ایلیت، کلریت و پالیگورسکیت کانی‌های غالب در خاک‌های مورد مطالعه بودند. مدفون شدن افق 3Btkb در زیر لایه‌های آبرفتی در مخروط افکنه نشان می‌دهد که پس از یک دوره خاک‌سازی، رسوب‌گذاری مجدد باعث مدفون شدن این افق شده است. افق Bk در خاک رویی مخروط افکنه نشانه‌ای بر شرایط خاک‌سازی با شدت کمتر دارد. این شواهد نشان دهنده تناوب شرایط خاک‌سازی و رسوب در منطقه مورد مطالعه است. نتایج تحقیق نشان دهنده شرایط مشابه تغییر و تحول خاک‌ها منطقه مورد مطالعه با سایر مناطق خشک ایران بود.

منشأ پالیگورسکیت را در خاک‌های شمال شرق و مرکز ایران را ترکیبی از نوتشکیلی و به‌ارث رسیده از مواد مادری بیان کرده‌اند. در منطقه مورد مطالعه نیز پالیگورسکیت در افق‌های کلسیک، ژبسیک و سالیک وجود دارد که می‌تواند نشانه‌ای از نوتشکیلی این کانی باشد. با توجه به عدم حضور پالیگورسکیت در افق Bw خاکرخ 4 می‌توان گفت که منشأ مواد مادری در این خاک‌ها اهمیت کمتری دارد. البته باید در نظر داشت که عدم حضور قله پالیگورسکیت در پراش‌نگاشت پرتو ایکس، دلیلی بر عدم حضور این کانی نیست. کریمی و همکاران (24) نشان دادند که در این گونه نمونه‌ها، حضور یا عدم حضور پالیگورسکیت توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری باید تشخیص داده شود. کانی‌های اسمکتیت، کلریت، میکا و مقداری هم کائولینیت در خاکرخ چهارم (افق Bw) واقع بر سطح حد واسط مخروط افکنه و کفه رسی، مشاهده شدند. با توجه به ریزتر شدن بافت خاک، کاهش شدیدی در قله 3/3 مربوط به کوارتز و حذف قله 4/2 به دلیل کاهش کوارتز در بخش رس مشاهده می‌شود. همچنین، در این افق اسمکتیت و میکا مانند افق قبلی مشاهده می‌شود ولی اثری از کانی پالیگورسکیت نیست. همچنین، باقی ماندن کمی از قله 7 آنگستروم در تیمار پتاسیم و حرارت نشان دهنده وجود مقدار کمی کلریت غنی از منیزیم است (شکل 3-ج). نظر به قله 14/2 و با توجه به تغییر نکردن آن در کلیه تیمارها کانی کلریت در این افق وجود دارد، منشأ مواد مادری برای این کانی‌ها در خاک‌های منطقه، مورد انتظار است (12 و 45). نیستانی و فرپور (38) بیان کردند کانی اسمکتیت از جمله کانی‌هایی است که از تغییر شکل دیگر کانی‌ها مثل ایلیت در مناطقی که زهکشی مناسب دارند، تشکیل می‌شود.

در خاکرخ شماره 10 افق By، که بر سطح کفه رسی غیر شور واقع شده کانی‌های کوارتز، کلریت غنی از آهن و منیزیم، میکا، اسمکتیت و پالیگورسکیت مشاهده شدند (شکل 3-د). نظر به قله 14 آنگستروم، کانی اسمکتیت، کانی غالب در این سطح می‌باشد. کانی‌های اسمکتیت، ایلیت در خاکرخ شماره 8 (افق Bk2) واقع بر سطح کفه رسی غیر شور، مشاهده شدند (شکل 3-ه). در این افق قله 6/4 آنگستروم نشان دهنده پالیگورسکیت است. وجود قله‌های 10 و 14/2 نانومتر نشان دهنده وجود کانی میکا، کلریت و اسمکتیت است. وجود قله 14 در تیمار پتاسیم که در تیمار پتاسیم و حرارت به 10 آنگستروم رسیده می‌تواند نشان دهنده وجود اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد باشد. گارسیا و همکاران (19)، با مطالعه خاک‌های دارای منشأ آهکی، مارن، کنگلومرا نشان دادند که نوع کانی‌های رسی غالب این خاک‌ها اسمکتیت، ایلیت، اختلاط اسمکتیت و ایلیت، کائولینیت و مقدار کمی پالیگورسکیت و کلریت می‌باشد.

## منابع

- 1- Alionso P., Dorronsoro C., and Egido J.A. 2004. Carbonatation in paleosols formed on terraces of the Tormen river basin. *Geoderma*, 118:261-276.
- 2- Badia D., Martia C., Aznar J.A., and Leon J. 2013. Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environment. *Geoderma*, 193: 13-21.
- 3- Baghernejad M. 2000. Variation in soil clay minerals of semi-arid regions of Fars province, Iran. *Iranian Agricultural Research*, 19: 165- 180.
- 4- Banaee M.H. 2000. Mapsoilmoisture and temperatureregimesin Iran. Soil and Water resarch institute. Tehran. Iran.
- 5- Behrouzi A. 1987. Feiz-Abad geology map, 1:100,000 scale. National Geological Organization of Iran.
- 6- Blank R.R., and Fosberg M.A. 1990. Micromorphology and classification of secondary calcium carbonate accumulations that surround or occur on the underside of coarse fragments in Idaho (U.S.A.). In: Douglas (Ed.) *Soil Micromorphology: A basic and applied science. Developments in soil science 19*. Elsevier.
- 7- Bonifacio E., Falsone G., Simonov G., Sokolova T., and Tolpeshta I. 2009. Pedogenic processes and clay transformations in bisequal soils of the Southern Taiga zone. *Geoderma*, 149: 66-75.
- 8- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
- 9- Bouza P.J., Simon M., Aguilar J., Del Valle H., and Rostagno M. 2007. Fibrous- clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of northeastern Patagonia, Argentina. *Geoderma*, 139: 38-50.
- 10- Briere P.R. 2000. Playa, playa lake, sabkha: Proposed definitions for old terms. *Journal of Arid Environment*, 45:1-7.
- 11- Canton Y., Sole-Benet A., and Lazaro R. 2003. Soil-geomorphology relations in gypsiferous materials of the Teberans Desert (Almaria, SE Spain). *Geoderma*, 115: 193-222.
- 12- Chardot V., Echevarria G., Gury M., Massoura S., and Morel J.L. 2007. Nickel bioavailability in an ultramafic toposequence in the Vosges Mountains (France). *Plant and Soil*, 293:7-21.
- 13- Deckers J., Spaargaren O., and Nachtergaele F. 2001. Vertisols: genesis, properties and soils cape management for sustainable development. In: J.K. Syers, F.W.T. Penning de Vries and Phibion Nyamudeza. *The sustainable management of Bertisols*. CABIPublishing.
- 14- Farpoor M.H., Eghbal M.K., and Khademi H. 2003. Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous aridisols on different geomorphic surfaces in nough area, Rafsanjan. *Journal of science and Technology of Agriculture natural Resources*. 7:71-93. (In Persian with English abstract).
- 15- Farpoor M.H., Khademi H., Eghbal M.K., and Kroeus H.R. 2004. Mode of gypsum in south eastern Iran soils as revealed by isotopic composition of crystallization water. *Geoderma*, 121:233-242.
- 16- Farpoor M.H., and Irannejad M. 2013. Soil genesis and clay mineralogy on Aliabbas River Alluvial Fan, Kerman Province. *Arabian Journal of Geoscience*, 6:921-928.
- 17- Francis M. L., Fey M.V., Prinsloo H.B., Ellis F., Mills A.J., and Medinski T.V. 2007. Soils of Namaqualand: Compositions for aridity. *Jurnal of Arid Environment*, 70: 588-603.
- 18- Froghifar H. 2010. Evaluating the quality factors and their relationship to the evolution and diversity of soil by geostatistics in Tabriz plain, Ph.D Thesis, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Tabriz, 166P.
- 19- Garcia F.J.A., Martin M. M., and Galindo A.L. 2002. Clay mineralogy of the Tertiary sediments in the internal subbetic of Maloga Province Spain: Implications for geodynamic evolution. *Clay Miner*, 36:615-620.
- 20- Gerrard J. 1992. *Soil Geomorphology an Integration of Pedology and Geomorphology*. Chapman & Hall.
- 21- Gunal H., and Ransom M.D. 2006. Genesis and micromorphology of loess-derived soils from central Kansas. *Catena*, 65:222-236.
- 22- Hojati S., Khademi H., Faz Cano A., Ayoubi S., and Landi A. 2013. Factors affecting the occurrence of palygorskite in central Iranian soils developed on Tertiary sediments. *Pedosphere*, 23: 359-371
- 23- Jackson M.L. 1975. *Soil Chemical Analysis Advanced Course*, UnivWis College of Agric., Dept. Soils, Madison, WI. 894 pp.
- 24- Karimi A.R., Khademi H., and Jalalian A. 2008. Loess soils identify and distinguish from others oils in the southern city of Mashhad. *Journal of Scienceand Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12:185-201. (In Persian with English abstract).
- 25- Khademi H., and Mermut A. R. 1998. Source of palygorskite gypsiferous Aridisols and associated sediments from Central Iran. *Clay minerals*, 33:561-578.
- 26- Khormali F., and Abtahi A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semiarid soils of Fars Province, Southern Iran. *Clay minerals*, 38:511-527.
- 27- Khormali F., Abtahi A., Mahmoodi S., and Stoops G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena*, 53:273-301.

- 28- Khormali F., Abtahi A., and Stoops G. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars, Province, Southern Iran. *Geoderma*, 132:31- 46.
- 29- Khresat S. A., and Qudah E.A. 2006. Formation and properties of aridic soils Azraq Basin in northeastern Jordan. *Journal of Arid Environment*, 64:116-136.
- 30- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis. *Journal of American Soil Science Society*, 96:312-325.
- 31- Krinsley D. B. 1970. A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran, Geological Survey U.S. Department of Interior, Washington D.C, 486 pp.
- 32- Kuznetsova A., and Khokhlova O. 2015. Dynamic and genesis of calcic accumulation in soils and sediments of the Argentinean Pampa. *International Journal of Sediment Research*, 24: 110-124.
- 33- Lessovaia S., Dultz S., Polekhovskiy Y., Krupskaya V., Viganina M., and Melchakova L. 2012. Rock control of pedogenic clay mineral formation in a shallow soil from serpentinitic dunite in the Polar Urals, Russia. *Applied Clay Science*, 64: 4-11.
- 34- Minasny B., McBratney A.B., and Salvador-Blanes S. 2008. Quantitative models for pedogenesis- A review. *Geoderma*, 144:140-157.
- 35- Moazallahi M., and Farpoor M.H. 2012. Soil genesis and clay mineralogy along xeric-aridic climotoposequence in South Central Iran. *Journal of Agriculture Science Technology*, 14:683-696.
- 36- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total Carbon, Organic matter. In: A.L. Page et al. (Ed.), *Method of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed.*, Agron. Monograph No. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. 539-577.
- 37- Nelson R.E. 1982. Carbonate and Gypsum P. 181-196. In: A. L. Page et al. (Ed.), *Method of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed.*, Agron. Monograph No. 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
- 38- Neyestani M., and Farpoor M.H. 2014. Genesis, clay mineralogy and micromorphology of saline-gypsiferous soils in Kheirabad playa, Sirjan. *Research Journal of Khoshkboom*. 4: 65-78.
- 39- Owliaie H.R., Abtahi A., and Heck R.J. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on transect southwestern Iran. *Geoderma*, 134: 62-81.
- 40- Page S.E., Wust R.A.J., Wriess D., Rieley J.O., Shotyk W., and Limins S. 2004. A Record of Late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and implication for past, present and future carbon dynamics. *Journal of Quaternary Science*, 19: 625-635.
- 41- Peter M.J., Konen M.E., and Curry B.B. 2009. Pedogenesis of a catena of the Farmdale Sangamon geosol complex in the north central united states. *Palaeogeography*, 282:119-132.
- 42- Sahebjam A. 2000. Study of reconanction of soil survey and classification of Feizabad plain in Khorasan province. Soil and water institute. Tehran. Iran. (In Persian).
- 43- Salehi M.H., Khademi H., and Karimian Eghbal M. 2002. Genesis of clay minerals in soils from ChaharMehalBakhtiari Province, Iran. Book of Abstracts of the Conference on Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Region. September 2002. Cartagena, Spain.
- 44- Sanjari S., Farpoor M.H., Karimian Eghbal M., and Esfandiarpour Borojeni I. 2011. Genesis, micromorphology and clay mineralogy of soils located on different geomorphic surface in Jiroft area. *Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology)*, 25: 411-425.
- 45- Sanjari S., and Boromand N. 2014. Study of clay mineralogy of soils located on different geomorphic surfaces in Sardoeieh-Jiroft. *Journal of soil science*, 28: 209-219.
- 46- Shaetzel R., and Anderson P. 2005. *Soils genesis and geomorphology*, Cambridge University Press, New York.
- 47- Shankar N., and Achyuthan H. 2007. Genesis of calcic and petrocalcic horizons from Combatore, Tamil Nadu: Micromorphology and geochemical studies, *Quaternary International*, 175, 140-154.
- 48- Soil Survey Staff. 2014. *Soil Taxonomy: basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 12th ed.*, Washington D.C.
- 49- Stoops G. 2003. *Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. SSSA, Madison, WI. 182p.
- 50- Toomanian N., Jalalian A., and Karimian Eghbal M. 2001. Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. *Geoderma*, 99:199-224.
- 51- Tsubo M., Basnayak J., Fukai S., Sihathap V., Siyavong P., and Sipaseuth M.C. 2006. Toposequential effects on water balance and productivity in rainfed lowland rice ecosystem in Southern Laos. *Field Crops Research*, 97: 209-220.
- 52- Vedrine S., Strasser A., and Hug W. 2007. Oncoïd growth distribution controlled by sea level fluctuation and climate, 53:535-552.
- 53- Yousefifard M., Ayoubi Sh., Poch R., Jalalian A., Khademi H., and Khormali F. 2015. Clay transformation and pedogenic calcite formation on a lithosequence of igneous rocks in northwestern Iran. *Catena*, 133: 186-197.

## Investigation of Clay Mineralogy, Micromorphology and Evolution of Soils in Bajestan Playa

M. Ghasemzadeh Ganjehi<sup>1</sup>- A. Karimi<sup>2\*</sup>- A. Zeinadini<sup>3</sup>- R. Khorassani<sup>4</sup>

Received: 25-11-2015

Accepted: 29-02-2016

**Introduction:** Playa is one of the most important landscapes in arid regions which covers about 1% of the world's total land area. Study of playas is important from different points of view especially pedology, sedimentology, mineralogy, environmental geology, groundwater and surface water chemistry. More than 60 playas have been identified in Iran. Considering the fact that playas and surrounding landforms are important archive of landscape evolution and paleoenvironmental variations, it seems that less attention has been paid to them so far. Soils are known as indicators of the landscapes evolution. Previous studies in arid regions of Iran imply different periods of deposition and soil formation in playa and alluvial fans or pediments. Bajestan playa is one of the known playa in northeastern Iran, and the largest clay flat exists in this playa. There is no information on the soils and their evolution in Bajestan playa. The objective of this study were to 1) identify the soils in different landforms along a transect from alluvial fan to clay in Bajestan playa 2) determine the morphological, micromorphological and mineralogical characteristics of these soils 3) determine the periods of soil and landform evolution and 4) comparison of soils evolution of the study area to other arid regions of Iran.

**Materials and Methods:** The study area of approximately 20000 hectares is located in southeastern of Khorasan Razavi province. The climate of the study area is hot and dry with mean annual temperature and rainfall of 17.3 °C and 193 mm, respectively. Soil moisture regime is aridic with subdivisions of weak aridic and soil temperature regime is thermic. Firstly, landforms and geomorphic surfaces of the study area were recognized based on Google Earth images interpretations and field observations. Four main landforms were recognized in the study area. The landforms from north to the south of the study area were alluvial fan, intermediate alluvial fan- clay flat, pediment and clay flat. Considering the diversity of geomorphic units, 11 soil profiles were described and different soil layers and horizons were sampled. Undisturbed soil samples were taken micromorphological studies. Some horizons were selected for clay mineralogy analysis. The mineralogy of clay fraction was determined using X-ray diffraction method.

**Results and discussion:** All studied soils except the profiles in the pediment were classified in the Aridisols order. There were two geomorphic surfaces in alluvial fans. In the first geomorphic surface a soil with the Bk horizon buried a soil with red Btk horizon. In the second geomorphic surface, it seems that the erosion has been removed the overlying soil. The Bk horizon showed the maximum soil development in the clay flat and intermediate alluvial fan-clay flat landforms. Clay coating on sand in thin section was the evidence of clay illuviation in Btk horizon. Carbonate nodules associated with clay coating are the compound pedofeature in Btk horizon. These evidences reflect polygenetic nature of the soils and different period of climate change and soil formation. Smectite, mica, chlorite and palygorskite are the clay minerals in the studied soils. Similar to soils in arid regions of Iran, palygorskite was found in Bk, Bt and Bz horizons. The existence of Bk horizon in overlying soils, buried Btk horizon, removal of surface horizon in alluvial fan are the evidences of regressive and progressive of pedogenic processes in the study area. Btk horizon represents a warm and wetter and Bk horizon indicates a relatively wetter period in comparison to present time.

**Conclusion:** Btk was the most developed horizon in the study area that occurred as buried paleosol in alluvial fan. Bk, Bw, By and Bz were the common horizon in other landforms. Clay coating and red color of Btk horizon might seem as indicators of hot and humid conditions in the past, during the argillic horizon formation. Covered carbonate nodules with clay coating can also be mentioned as sign of a hot and wet period which is suitable for clay illuviation and weathering after a period of carbonate accumulation. The buried Btk horizon under alluvial layers in the alluvial fan indicates that after a pedogenic period, alluvial processes have been

1- Ph.D. Student of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Academic Member of Soil and Water Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran

2 and 4- Associate Professors of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(\* - Corresponding Author Email: karimi-a@um.ac.ir)

3- Assistant Professor of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

responsible in burying this horizon. Bk horizon in overlying soil of all landforms represents a less intense period of soil formation. The dominant clay minerals in the study area were Illite, chlorite, kaolinite, and palygorskite. The sequence of Bk and Btk horizons in this research and the occurrence of these soils in central, eastern and northeastern Iran imply the similar pedogenetic conditions in arid regions of Iran.

**Keywords:** Claycoating, Clay mineralogy, Geomorphology, Playa, Soil evolution