

## کانی‌های رسی در دو خاک قدیمی روی سطوح زمین‌ریخت شرق اصفهان

امید بیات<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا کریم زاده<sup>۲</sup>، حسین خادمی<sup>۱</sup>

۱. گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۰/۲۱، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۲۲)

**چکیده:** کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی اطلاعاتی درباره تغییرات اقلیمی کواترنر و شرایط محیطی گذشته در اختیار می‌گذارد. کانی‌های رسی در خاک‌های قدیمی یک مخروط آبرفتی در شرق اصفهان با روش پراش پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفت. خاک‌های قدیمی مورد بررسی روی سطوح زمین‌ریخت قدیمی (Qf1، Qf2) قرار گرفته‌اند. سطح زمین‌ریخت Qf1 نسبت به سطح Qf2 قدیمی‌تر بوده و در موقعیت توپوگرافی بالاتری قرار گرفته است. نتایج بررسی کانی‌شناسی نشان می‌دهد که خاک قدیمی روی سطح زمین‌ریخت Qf1 دارای غالبیت کانی اسمکتیت در افق آرجیلیک و پالیگورسکیت در افق کلسیک است. کالکریت موجود در خاک قدیمی سطح Qf1 در اقلیم نیمه خشک گذشته تشکیل شده است. به نظر می‌رسد که در دوره‌های مرطوبتر فرایندهای انتقال و افزایش کربنات‌ها و کاهش تخلخل سبب افزایش فعالیت یونی و تشکیل اسمکتیت‌های خاکساز در کالکریت شده است. طی دوره‌های خشک‌تر بعدی انتقال و تشکیل در جای کانی پالیگورسکیت رخ داده و وجود بلورهای کلسیت سبب حفاظت فیبرهای پالیگورسکیت شده است. مقایسه‌ی افق‌های آرجیلیک در سطوح زمین‌ریخت نشانگر غالبیت کانی‌های اسمکتیت و پالیگورسکیت به ترتیب در خاک‌های قدیمی سطوح زمین‌ریخت Qf1 و Qf2 است. با توجه به مواد مادری و زمین‌سازنی یکسان، این امر می‌تواند ناشی از هوادیدگی بیشتر در خاک سطح Qf1 و تشکیل و حفاظت بیشتر پالیگورسکیت در افق‌های آرجیلیک-کلسیک (Btk) خاک سطح زمین‌ریخت Qf2 باشد. در مجموع استفاده از کانی‌شناسی رسی افق‌های کلسیک، کالکریت‌ها و افق‌های آرجیلیک به‌عنوان ابزاری مفید در پژوهش‌های زمین‌ریخت-شناسی و شناسائی سطوح زمین‌ریخت پیشنهاد می‌شوند.

**واژه‌های کلیدی:** مخروط آبرفتی؛ کانی‌های رسی خاکساز؛ کربنات‌های خاکساز؛ اقلیم گذشته؛ ایران مرکزی.

### مقدمه

شاخصی از شرایط اقلیمی گذشته به‌کار رود [۲،۱]. نوع کانی-های رسی تشکیل شده در رسوب‌های دوره‌های اقلیمی یخچالی و بین یخچالی متفاوت است. در دوره‌های سرد یخچالی هوادیدگی فیزیکی در خاستگاه‌های با هیدرولیز اندک رسوب‌ها همراه بوده در حالی که در دوره‌های گرم و مرطوب با غالب شدن فرآیندهای هیدرولیز، کانی‌های رسی تشکیل می-شوند. بایستی در نظر داشت که شواهد کانی‌های رسی تنها برای عرض‌های جغرافیایی متوسط کاربرد دارند چون در

کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی اطلاعاتی از تغییرات اقلیمی کواترنر [۳-۱] و شرایط محیطی گذشته [۵،۴] تهیه می‌کند. ذرات در اندازه‌ی رس فعال‌ترین بخش از مواد معدنی خاک‌ها و رسوب‌های را تشکیل می‌دهند و هر کانی رسی در شرایط محیطی و ژئوشیمیایی خاص پایدار است، بنابراین شواهد شرایط محیطی هنگام تشکیل خاک‌ها و رسوب‌ها در بخش رس حفظ شده و کانی‌شناسی رس می‌تواند به‌عنوان

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۲۶۳۱۷۶۴ (۰۳۱۱)، نامبر: ۳۹۱۲۸۴۰ (۰۳۱۱)، پست الکترونیکی: [omid\\_bayat@ag.iut.ac.ir](mailto:omid_bayat@ag.iut.ac.ir)

بررسی کانی‌های رسی در زمین‌سان‌های گچی شرق اصفهان ارتباط شدیدی بین تغییرات در کانی‌های رسی و نوع زمین‌سان گزارش کرده‌اند [۱۲]. بوزا و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی کانی‌های رسی زمین‌سان‌های مناطق خشک آرژانتین بیان کردند که بررسی روابط خاک - زمین‌ریخت‌شناسی فرصتی برای شناخت فرآیندهای تشکیل کانی‌های رسی در خاک‌ها را فراهم می‌کند [۱۳]. در مجموع کانی‌شناسی رسی افق‌های آرجیلیک، افق‌های انباشت کربنات‌ها و کالکریت‌های پدوژنیک مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است ولی بررسی‌های محدودی درباره‌ی روابط بین سطوح زمین‌ریختی و تکامل کانی‌شناسی خاک‌های آن‌ها انجام شده است.

منطقه‌ی اصفهان به‌عنوان قطب کشاورزی و صنعتی ایران دارای اهمیت بوده و منطقه‌ی شرق اصفهان به‌عنوان یکی از کانون‌های بحران زیست محیطی کشور مطرح است، ولی تاکنون بررسی‌های کمی درباره‌ی زمین‌شناسی کواترنر، زمین‌ریخت‌شناسی و خاک‌شناسی این مناطق انجام شده و اطلاعات اندکی درباره‌ی چگونگی شکل‌گیری اراضی این مناطق وجود دارد.

این پژوهش بر اساس هدف‌های زیر پایه‌گذاری شده است

۱. شناسایی سطوح زمین‌ریختی روی یک مخروط آبرفتی در شرق اصفهان
۲. بررسی و مقایسه‌ی کانی‌های رسی خاک‌های قدیمی مدفون و سطحی (رلیکت) روی سطوح زمین‌ریختی مورد بررسی
۳. بررسی اثرهای تغییرات اقلیمی بر تشکیل کانی‌های رسی در کربنات‌های خاکساز و کالکریت‌های موجود در خاک‌های قدیمی

#### روش بررسی

منطقه‌ی مورد بررسی در بخش شرقی دشت زاینده رود و در فاصله‌ی حدود ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر اصفهان قرار گرفته است (شکل ۱). گستره‌ی منطقه بین طول‌های جغرافیائی ۵۲° تا ۵۲°۳۰' شرقی و عرض‌های جغرافیائی ۳۲° تا ۳۲°۳۰' شمالی قرار گرفته است. اقلیم فعلی منطقه‌ی مورد بررسی خشک تا فراخشک است. میانگین سالانه دما در ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان در حدود ۱۶٫۲ درجه سانتیگراد و میانگین سالانه بارندگی حدود ۱۲۲٫۴ میلی‌متر است [۱۵].

چینه‌های غالب زمین‌شناختی منطقه‌ی مورد بررسی شامل شیل ژوراسیک، سنگ آهک و کنگلومرای کرتاسه است [۴]،

عرض‌های جغرافیائی بالا هوادیدگی پدوشیمیایی وجود ندارد و در عرض‌های پائین هم شرایط هیدرولیز شدید از ایجاد تغییرات قابل ثبت در کانی‌های رسی جلوگیری می‌کند [۶]. پریدریج (۲۰۰۱) حضور کانی‌های اسمکتیت، کانی‌های مخلوط و کائولینیت را نشانگر اقلیم گرم و مرطوب و فعال بودن فرآیندهای خاکزا نسبت به دوره‌های سرد و خشک رسوب-گذاری لس همراه با فراوانی هیدرومیکا در منطقه‌ی اوکراین بیان کرده است [۲]. برونگر و همکاران (۱۹۹۸) کانی‌های رسی در خاک‌های قدیمی تاجیکستان را به‌عنوان شاخص تغییرات اقلیمی کواترنر در آسیای مرکزی بررسی کردند و از همسانی کانی‌شناختی خاک‌های هولوسن و خاک‌های قدیمی مدفون پلیستوسن نتیجه گرفتند که اقلیم بین یخچالی اواسط پلیستوسن با اقلیم هولوسن در آسیای مرکزی همسان بوده است [۱]. در بررسی دیگر حضور کانی‌های اسمکتیت و هماتیت و غیبت کانی‌های پالیگورسکیت و سیپولیت در کالکریت‌های جنوب شرق اسپانیا به حاکمیت اقلیم نیمه خشک در زمان تشکیل آن‌ها نسبت داده شده است [۳]. خادمی و مرموت (۱۹۹۷) تشکیل کانی پالیگورسکیت را به شرایط لاگونی در فلات مرکزی ایران همراه با محیط رسوب‌گذاری گچ نسبت دادند [۴].

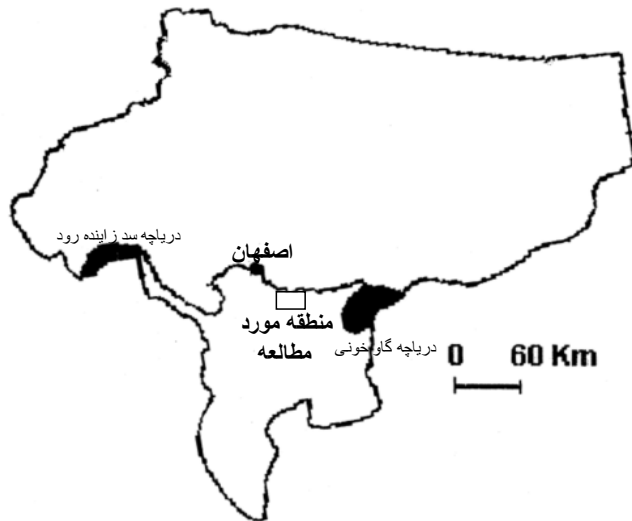
ایوبی و همکاران (۱۳۸۲) با بررسی خاک‌های قدیمی سپاهان شهر اصفهان خاستگاه خاکساز برای کانی پالیگورسکایت در خاک‌های این منطقه را پیشنهاد کردند [۷]. کانی‌شناسی خاک‌های قدیمی رسوب‌های لسی استان گلستان نشان داد که فرآیندهای هوادیدگی به‌صورت تبدیل کانی کلریت به اسمکتیت در دوران گرم و مرطوب گذشته انجام شده است [۸]. سطح زمین‌ریختی<sup>۱</sup> عنصر قابل نقشه‌برداری زمین‌ناماست که طی زمان مشخصی تشکیل شده و دارای الگوهای توپوگرافی، ویژگی‌های هوادیدگی و تکامل خاکزایی مشخص است [۹، ۱۰]. بررسی کانی‌شناسی خاک‌ها در سطوح زمین‌ریختی می‌تواند اطلاعاتی درباره‌ی نحوه‌ی تشکیل و تکوین زمین‌سان<sup>۲</sup> ارائه کند. فرپور (۱۳۸۱) با بررسی سطوح زمین‌ریختی منطقه‌ی رفسنجان دریافت که سطوح زمین‌ریختی پائین دست به‌علت رطوبت زیاد و سطح بالای آب زیرزمینی حاوی اسمکتیت بیشتری هستند [۱۱]. کریم‌زاده و همکاران (۱۳۸۴) پس از

1 - Geomorphic surface

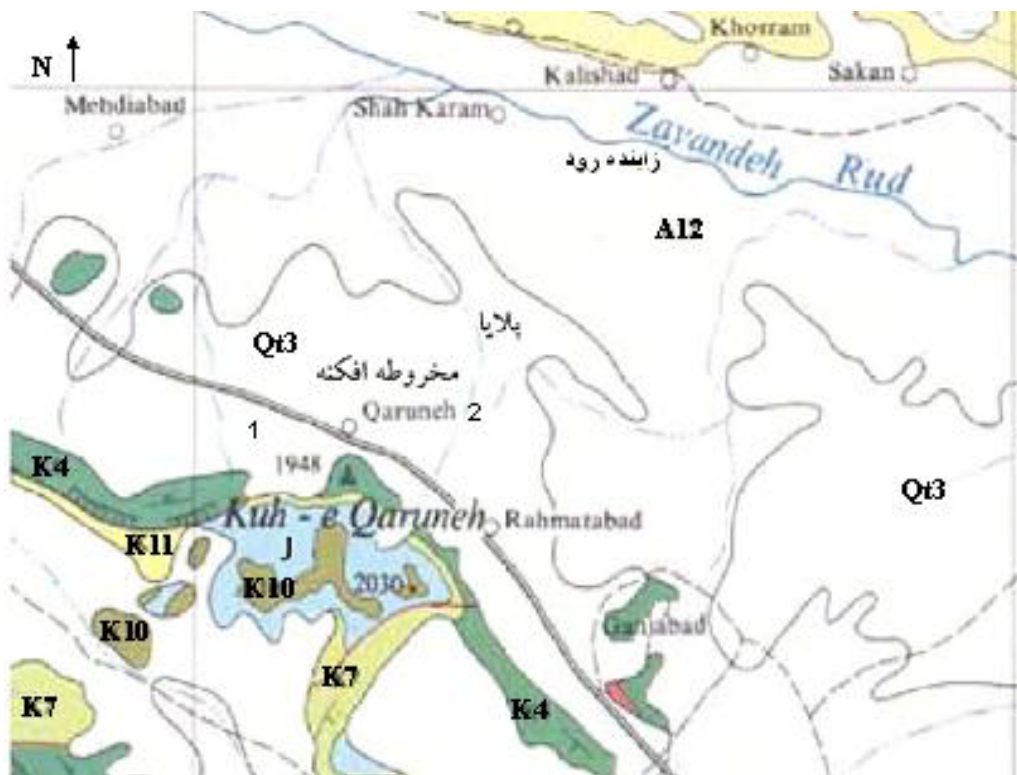
2 - Landform

[۱۴] و به‌عنوان خاستگاه آهک برای خاک‌های منطقه‌ی مورد بررسی مطرح هستند [۱۵]. رسوب‌های کواترنر منطقه بیشتر شامل رسوب‌های آبرفتی و تپخیری و تا حدودی رسوب‌های بادی هستند [۱۲].

ولی بیشتر سطح منطقه مورد بررسی با رسوبات کواترنر پوشیده شده است (شکل ۲) [۱۴]. آهک‌های کرتاسه شامل آهک‌های ماسه‌ای، آهک‌های حاوی اگروژیرا، آهک‌های زرد و قهوه‌ای، آهک‌های اوربیتولین‌دار و آهک‌های قهوه‌ای حاوی آمونیت و گاستروئید است. این آهک‌ها دارای گسترش نسبتاً زیاد بوده



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در استان اصفهان.



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰). A و Q رسوب‌های کواترنر، J شیل‌های ژوراسیک، K سنگ آهک‌های کرتاسه ۱ محل حفر بدون شماره ۱، ۲ محل حفر بدون شماره ۲.

شدند. اسلایدهای تهیه شده‌ی تحت تیمارهای مختلف با پراش سنچ پرتو ایکس مدل شیمادزو<sup>۳</sup> با استفاده از تک فام کننده<sup>۴</sup> و تابش  $Cu-\alpha$  با جریان ۴۰ میلی آمپر و ولتاژ ۴۰ میلی ولت قرار گرفتند. شناسائی کانی‌های رسی بر اساس روش‌های استاندارد انجام شد [۱۹]. برای بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۵</sup> کلوخه‌های دست نخورده‌ی خشک روی پایه‌های آلومینیومی با چسب کربن نصب و سپس با لایه‌ای از طلا پوشش داده شدند و با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل فیلیپس<sup>۶</sup> مورد بررسی قرار گرفتند.

### بحث و بررسی

#### توصیف سطوح زمین‌ریخت و خاک‌ها

در منطقه‌ی مورد بررسی، مخروط‌های آبرفتی قدیمی و جدید گسترش دارند. مخروط‌های آبرفتی قدیمی در کنار کوهستان و بالا دست مخروط‌های آبرفتی جدیدتر قرار گرفته‌اند (شکل ۳). نامگذاری سطوح زمین‌ریختی با توجه به محیط مخروط آبرفتی و سن نسبی به نام‌های Qf1، Qf2 و Qf3 برای سطوح، به ترتیب از قدیم به جدید انجام شد. تعیین سن نسبی سطوح زمین‌ریختی با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی صورت گرفت [۹،۱۰]. سطح زمین‌ریختی Qf1 منطبق با نسل مخروط‌های آبرفتی قدیمی، شدیداً بریده و دارای خاک قدیمی بسیار متکامل مدفون است در حالی که سطوح Qf2 و Qf3 منطبق با نسل جدید مخروط آبرفتی به ترتیب با خاک‌های نسبتاً تکامل یافته و جوان هستند.

نیمرخ شماره ۱ یک خاک قدیمی مدفون است که در سطح زمین‌ریختی مخروط‌های آبرفتی قدیمی (Qf1) و در نزدیکی جبهه‌ی کوهستان و در ارتفاع ۱۶۰۵ متری از سطح دریا تشکیل شده است. به‌طور کلی این نیمرخ از دو بخش اصلی رسوب‌های جدید شامل افق‌های A، C و یک افق پدوکمپلکس<sup>۷</sup> قدیمی (ترکیب افق‌های انباشت کربنات و افق-های انباشت رس Btk) تشکیل شده است. افق‌های انباشت رس دارای مقادیر ۳۴ تا ۵۶ درصد رس همراه با ساختمان مکعبی زاویه‌دار متوسط تا درشت با درجه ی وضوح بسیار شدید و استحکام خشک زیادند. نکته‌ی قابل توجه در مورد این افق‌ها جوشش بسیار کم آن‌ها با اسید کلریدریک است که این

سطوح زمین‌ریختی منطقه‌ی مورد بررسی با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی پانکروماتیک با مقیاس ۱/۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه-های توپوگرافی و بازدیدهای مکرر میدانی مورد شناسائی قرار گرفتند. پس از شناسائی سطوح زمین‌ریختی با استفاده از روش‌های زمین ریخت‌شناسی و تکامل خاکزایی [۹] و کنترل واحدهای نقشه، خاکرخ‌های شاهد روی سطوح زمین‌ریختی حفر و بر اساس راهنمای حفاظت خاک آمریکا [۱۶] مورد بررسی گرفت. پس از آن نمونه‌برداری از افق‌های ژنتیکی انجام شد.

نمونه‌های خاک پس از خشک شدن در سایه، کوبیده شده و از الک ۲ میلیمتری (مش ۱۰) عبور داده شد و مقدار سنگریزه‌ها به روش حجمی تعیین شدند. پس از تهیه‌ی گل اشباع، اسیدیته در گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر مدل ۶۲۰ مترام در گل اشباع تعیین شد. رسانندگی الکتریکی پس از استخراج عصاره‌ی اشباع، با استفاده از هدایت‌سنج در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری و تصحیحات لازم برای دمای  $25^{\circ}C$  انجام شد. اندازه‌گیری کربنات کلسیم به روش عیارسنجی برگشتی تعیین شد [۱۷]. توزیع اندازه‌ی ذرات پس از حذف مواد آلی و یون‌های محلول با روش پیپت انجام شد [۱۷]. افق‌های انباشت رس، گرهک‌های آهکی و نمونه کالکریت برای آنالیزهای کانی‌شناسی انتخاب شدند. برای این منظور چهار مرحله‌ی کلی شامل تیمار نمونه‌ها پیش از جداسازی اجزای ذرات، جداسازی ذرات، تیمار اجزای جداسازی شده و آنالیز نمونه‌ها با پرتو ایکس انجام شد. از روش کیتیک و هوپ [۱۸] در تیمارهای اولیه نمونه‌ها استفاده شد. پس از انجام تیمارهای اولیه اجزای شن با الک مش ۳۰۰ جدا شدند. جداسازی اجزای رس و سیلت با مرکز گریز انجام شد. نمونه‌های رس خالص در دمای ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد خشک و آسیاب شده و از هر نمونه دو نمونه ۴۰ میلی گرمی توزین و یکی با مینزیم و دیگری با پتاسیم اشباع شدند. پس از اشباع نمونه‌ها، سوسپانسیون کاملاً یکنواخت تهیه و روی لام قرار گرفت و در دمای آزمایشگاه خشک شدند. اسلایدهای اشباع شده با مینزیم پس از قرائت با پرتو ایکس برای اشباع با اتیلن گلیکول در دسیکاتور حاوی بخار اتیلن گلیکول در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. اسلایدهای اشباع شده با پتاسیم تحت تیمار گرمایی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفته و با پرتو ایکس آنالیز

3 - X-ray Diffractometer XD-610, Shemadzu

4 - Monochromator

5 - Scanning Electronic Microscope (SEM)

6 - Philips

7 - Pedocomplex

سیمانی شده بوسیله‌ی آهک بوده و حاوی ۸۱ تا ۹۲ درصد کربنات هستند. در بخش پائینی نیمرخ، افق انباشت کربنات‌ها با ریخت‌شناسی پیشرفته به‌شکل سیمانی و حالت پتروکلسیک مشاهده می‌شود. این افق حاوی حدود ۸۳ درصد کربنات و ۱۴ درصد رس است. نکته‌ی قابل توجه در این نیمرخ عدم وجود سنگریزه در افق‌های زیرین است که می‌تواند ناشی از حذف سنگریزه‌ها در اثر فرآیندهای زمین‌ریخت‌شناسی خاک باشد (جدول ۱).

امر در مورد نیمرخ خاک منطقه با اقلیم خشک و مواد مادری آهکی دارای اهمیت است و در واقع به‌نظر می‌رسد اقلیم گذشته منطقه در تکامل این خاک نقش بسیار مهمی داشته است. به‌نظر می‌رسد رطوبت موثر بیشتر گذشته نسبت به شرایط فعلی سبب فرآیندهای خاک‌زایی شده است. پژوهشگران دیگر هم به تغییرات اقلیمی گذشته در منطقه‌ی شرق اصفهان اشاره کرده‌اند [۷، ۱۲، ۱۵]. افق‌های انباشت کربنات به شکل سخت دانه‌های آهکی با قطر چندین سانتیمتر و در برخی موارد



شکل ۳ تصویر واقعی (الف) و مقطع نمادین (ب) مخروط آبرفتی مورد بررسی (Qf1 مخروط آبرفتی قدیمی و Qf2 مخروط آبرفتی جدید).

جدول ۱ ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیکوشیمیایی خاک‌ها در سطوح زمین‌ریخت مورد بررسی.

افق	ضخامت (سانتیمتر)	رنگ مانسل (خشک)	وضعیت پوسته‌های رسی	وضعیت آهک ثانویه	درصد سنگریزه	pH گل اشباع	ECe dS/m	درصد مواد آلی	درصد آهک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس
Thapto Alfic Torriorthents Qf1 سطح												
A	۰-۲۵	10YR6/4	-	Evd	۴۱	۸،۰	۴،۷	۰،۴۹	۴۱،۴	۵۴،۱	۲۱،۲	۲۴،۷
C	۲۵-۴۲	10YR6/3	-	EsD	۵۷	۸،۳	۱۲،۶	۰،۰۹	۲۹،۵	۶۰،۳	۱۵،۹	۲۳،۸
2Bkb	۴۲-۸۰	7.5YR6/4	-	evc 2 i sc	۰	۷،۴	۸،۸	۰،۱۸	۷۱،۸	۱۸،۷	۵۹،۷	۲۱،۶
3Btb	۸۰-۸۳	7.5YR5/4	2 n pf	Emd	۰	۷،۵	۵،۹	۰،۲۶	۴۳،۵	۲۶،۸	۱۹،۴	۵۳،۸
4Bkb	۸۳-۸۶	10YR6/4	-	evc 2 i sc	۰	۷،۵	۳،۳	۰،۰۷	۹۲،۶	۱۶،۳	۵۸،۶	۲۵،۱
5Bkb	۱۰۲-۱۰۷	10YR5/4	-	evc 2 i sc	۰	۷،۶	۳،۴	۰،۰۶	۸۱،۶	۱۲،۹	۶۳،۳	۲۳،۸
6Btb	۱۰۷-۱۱۲	7.5YR5/4	2 mk pf & po	emd	۰	۷،۵	۸،۹	۰،۴۵	۲۸،۶	۸،۷	۳۵،۰	۵۶،۳
7Btb	۱۲۰-۱۲۵	7.5YR6/3	1 mk pf & po	emd	۰	۷،۵	۹،۵	۰،۲۹	۳۵،۹	۹،۷	۵۶،۱	۳۴،۲
8Bkmb	۱۲۵+	10YR6/4	-	ev m 3i sc	۰	۷،۵	۸،۷	۰،۰۷	۸۲،۶	۲۷،۴	۵۸،۷	۱۳،۹
Typic Calcargids Qf2 سطح												
A	۰-۱۷	10YR6/3	-	EsD	۴۶	۷،۶	۵،۲	۰،۰۸	۳۱،۲	۷۳،۰	۱۴،۶	۱۲،۴
Btk	۱۷-۴۸	7.5YR4/6	1 n pf	es f 2 esc rsm	۵۹	۷،۳	۹،۴	۰،۱۵	۲۷،۲	۴۸،۶	۲۰،۵	۳۰،۹
C1	۴۸-۷۳	7.5YR5/4	-	EsD	۶۰	۷،۴	۱۰،۲	۰،۰۸	۲۹،۶	۶۳،۲	۱۱،۹	۲۴،۸
2Btk	۷۳-۱۲۵	5YR4/4	2 n po & pf	es f 2 esc rsm	۵۹	۷،۴	۵،۴	۰،۱۸	۳۱،۶	۳۴،۴	۲۴،۴	۴۱،۱
3C	+۱۲۵	7.5YR5/4	-	EsD	۵۷	۷،۳	۴،۸	۰،۰۷	۲۵،۴	۵۶،۳	۱۵،۲	۲۸،۵

(۱۹۸۵) را نشان می‌دهد و مشخص است که کربنات‌ها در خاک قدیمی مدفون به سمت تشکیل کالکریت‌های خاکزا تکامل یافته‌اند.

#### کانی‌شناسی رسی

##### کانی‌شناسی رسی مواد مادری

مواد مادری خاک‌های منطقه‌ی مورد بررسی از سازندهای کرتاسه (واحدهای K4، K7، و K10 در نقشه زمین‌شناسی، شکل ۲) و شیل‌های ژوراسیک سرچشمه گرفته است. کانی‌شناسی این سازندها نشان می‌دهد که سازندهای کرتاسه حاوی حدود ۷۰ درصد میکا و بین ۲ تا ۵ درصد کلریت و کائولینیت و شیل‌های ژوراسیک حاوی ۳۵ تا ۵۰ درصد میکا، ۲۰ تا ۳۵ درصد کائولینیت و مقادیر جزئی کلریت هستند [۴]. ایوبی و همکاران (۱۳۸۱) با بررسی بخش رس نمونه‌های سنگ آهک اوریتالین‌دار، ماسه سنگ، کنگلومرا و شیل منطقه‌ی اصفهان کانی‌های ایلابیت، کائولینیت، کلریت و کوارتز را به‌عنوان کانی‌های موجود در این سازندها گزارش کردند [۷].

##### کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی مدفون (Qf1)

شکل ۴- الف پراش نگاشت بخش رس افق کلسیک (2Bkb) در خاک قدیمی سطح زمین‌ریختی Qf1 را نشان می‌دهد. حضور قله‌ی ۱۴/۲ آنگستروم در تیمار اشباع با منیزیم نشانگر حضور کانی‌های رسی ۲:۱ مانند کلریت و اسمکتیت است. پراش حاصل از تیمار این نمونه با بخار اتیلن گلیکول نشانگر انبساط کانی و ایجاد قله‌ی ۱۶/۸ آنگستروم است که تأیید کننده‌ی حضور کانی اسمکتیت است. کریم‌زاده و همکاران (۱۳۸۴) نیز وجود قله‌ی ۱۶/۹ آنگستروم را در اثر انبساط با بخار اتیلن گلیکول در خاک‌های دشت دامنه‌ای شرق اصفهان گزارش و آن را ناشی از کانی اسمکتیت دانسته‌اند. جانسون و مک براید (۱۹۸۹) معتقدند اگر انبساط کانی بین ۱۶-۱۷ آنگستروم باشد، نشانگر وجود کانی اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد است که از انبساط بیشتر (۱۷-۱۸ Å) جلوگیری می‌کند [۲۲].

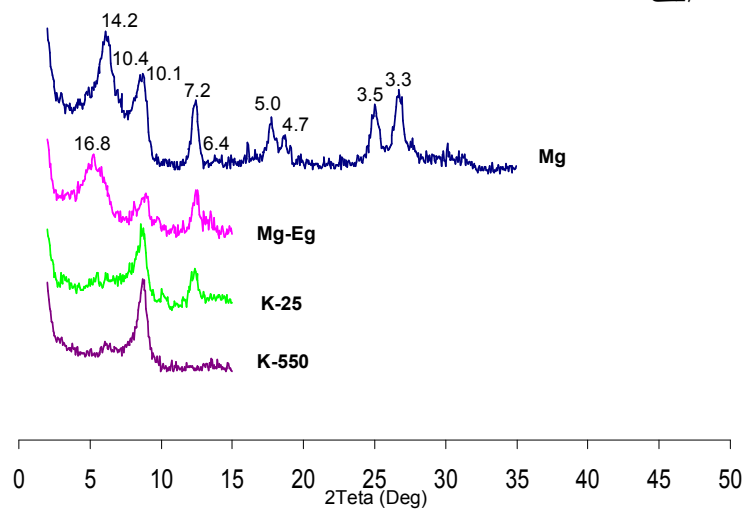
نیمرخ شماره‌ی ۲ روی مخروط آبرفتی جدیدتر و سطح زمین‌ریختی (Qf2) در ارتفاع ۱۵۹۴ متر واقع شده است (شکل ۳). این نیمرخ دارای توالی افق‌های انباشت رس و کربنات به-صورت توام، و افق‌های C ناشی از رسوبگذاری سیلابی در محیط مخروط آبرفتی است. افق Btk محل انباشت رس‌های سیلیکاتی همراه با پوسته‌های رسی و انباشت آهک به شکل پودر روی سطح خاکدانه‌هاست. افق 2Btk زیر افق C با ضخامت زیاد در حدود ۵۵ سانتیمتر، ساختمان مکعبی زاویه‌دار با درجه‌ی آشکار شدید و شواهدی از انباشت رس به‌صورت پوشش‌های رسی و مقادیر رس در حدود ۴۱ درصد و انباشت آهک به‌صورت پودر و در حدود ۳۲ درصد است. افق C ناشی از انباشت سنگریزه‌ها، فاقد شواهد خاکزایی و دارای پایداری خشک و کمی سخت و رنگ خشک روشن است که نتیجه‌ی رسوب‌گذاری طی دوره‌های ناپایدار زمین‌سان است (جدول ۱). خاک سطح زمین‌ریختی Qf3 فاقد تکامل خاکزایی بوده و بنابراین مورد بررسی و آنالیز کانی‌شناسی قرار نگرفت.

به‌طور کلی ریخت‌شناسی و ضخامت کربنات ماتریس خاک با افزایش سن تغییر می‌کند [۲۰]. گایل و همکاران در سال ۱۹۶۶ با بررسی ریخت‌شناسی برای خاک‌های آهکی مناطق خشک چگونگی شکل‌گیری آن‌ها را ارائه و چهار مرحله‌ی ریخت‌شناسی در مواد مادری سنگریزه‌دار و فاقد سنگریزه پیشنهاد کردند [۲۱]. ماشتی در سال ۱۹۸۵ با تکمیل این توالی، مراحل پنجم و ششم را به آن اضافه کرد. در مدل ماشتی مراحل اول تا سوم به نام خاک‌های کلسیک و مراحل چهارم تا ششم به‌عنوان کالکریت خاکزا نامیده شدند [۲۰]. با توجه به ریخت‌شناسی مشخص کربنات‌های خاکزا در خاک‌های مورد بررسی، در این پژوهش ریخت‌شناسی کربنات‌ها به‌عنوان شاخص سن نسبی استفاده شد. ریخت‌شناسی و عمق انباشت کربنات‌های خاکزا وابسته به زمان بوده و برای ارزیابی سن نسبی سطوح زمین‌ریختی به‌کار می‌روند [۲۱، ۲۰]. جدول ۲ ریخت‌شناسی کربنات‌های مورد بررسی بر مبنای مدل ماشتی

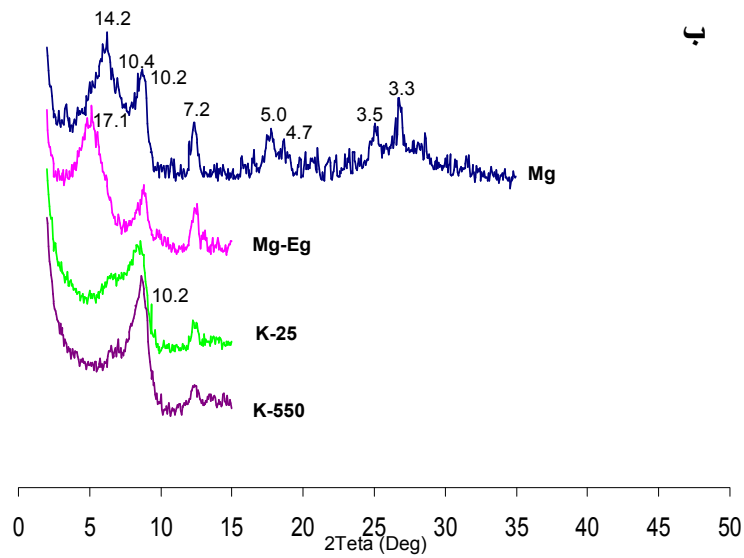
جدول ۲. ریخت‌شناسی کربنات‌های خاکزا در سطوح زمین‌ریخت.

سطح ژئومرفیک	مرحله تکاملی (مدل ماشتی ۱۹۸۵)	درصد کربنات	تفسیر
Qf1	III, IV	۹۳-۷۲	Calcic Soils – Pedogenic Calcretes
Qf2	I, II	۳۱-۲۷	Calcic Soils
Qf3	—	۳۹-۲۹	—

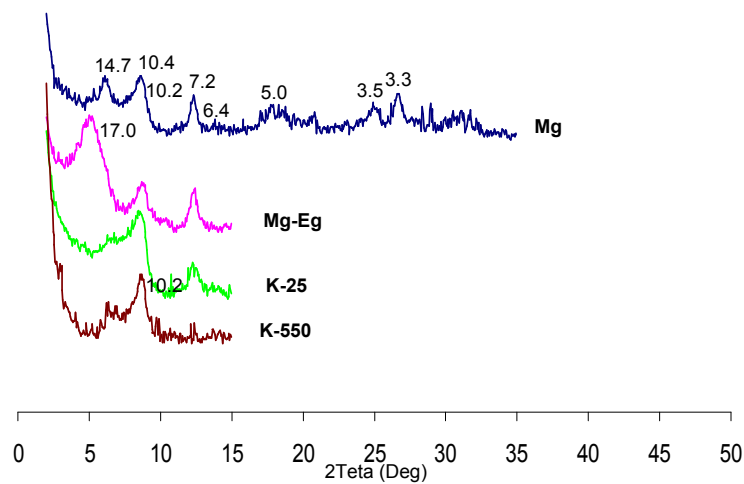
الف



ب



پ



شکل ۴ پراش نگاشت بخش رس (الف) افق‌های کلسیک (Bkb)، (ب) آرچیلیک (Btb) و (پ) کالکریت (Bkmb) خاک سطح زمین‌ریخت Qf1.

همچنین به نظر می‌رسد که وجود قله‌ی ضعیف ۱۴/۲ آنگستروم و قله‌ی شدید ۷ و ۴/۷ آنگستروم در تیمار اشباع از منیزیم و قله‌ی ۷ آنگستروم در تیمار ۵۵۰ درجه دلالت بر وجود کلریت غنی از آهن داشته باشد [۳۰،۲۶]. کلریت‌های غنی از آهن توسط ایوبی و همکاران [۷] از آرچلیک‌های قدیمی منطقه‌ی امام قیس و کیانی و همکاران [۸] از خاک‌های قدیمی استان گلستان گزارش شده است. فراوانی آهن فریک در این کلریت‌ها می‌تواند سبب افزایش حساسیت آن‌ها به فرایندهای هوازدگی و تسریع تغییر شکل آن‌ها شود [۲۶]. در این افق قله‌ی ۱۴/۲ و قله‌ی شدید ۱۷/۱ آنگستروم دلالت بر وجود مقدار نسبتاً زیاد کانی اسمکتیت دارد همچنین قله‌های ۱۰/۳۶ و ۶/۴ آنگستروم در تیمار اشباع از منیزیم می‌تواند دلالت بر وجود پالیگورسکیت باشد. علاوه بر این قله‌ی ۱۰ تا ۱۴ آنگستروم در تیمار اشباع با پتاسیم می‌تواند نشانه‌ی حضور کانی‌های مختلط میکا-اسمکتیت باشد.

در بخش پائینی نیمرخ خاک قدیمی مدفون، انباشت کربنات‌ها ریخت‌شناختی پیشرفته مشاهده می‌شود، و بنا بر مدل پیشنهاد شده توسط ماستی (۱۹۸۵) این افق به‌عنوان کالکریت خاکزا شناخته می‌شود. کالکریت مورد بررسی حاوی حدود ۸۳ درصد کربنات است که با کالکریت‌های شمال شرق اسپانیا همخوانی دارند [۲۷]. گودی با آنالیز ۳۰۰ نمونه کالکریت از تمام دنیا میانگین ۸۰ درصد را به‌عنوان مقادیر کربنات برای کالکریت‌های دنیا گزارش کرده است [۲۸].

شکل ۴-پ پراش نگاشت کانی‌های رسی افق پتروکلسیک (کالکریت خاکزا) را نشان می‌دهد و دلالت بر حضور کانی‌های کلریت، ایلیت، کائولینیت، اسمکتیت و پالیگورسکیت دارد. به اعتقاد بوزا و همکاران (۲۰۰۷)، کانی‌شناسی کالکریت‌ها به سن آن‌ها بستگی دارد و با تکامل کالکریت‌ها، تغییرات کانی‌های رسی آن‌ها به سمت تشکیل سپیولیت است. در کالکریت مورد بررسی اثری از سپیولیت مشاهده نشد. به نظر می‌رسد که تکامل میانگین این کالکریت و ناپایداری زیاد سپیولیت [۲۷] از عوامل عدم وجود سپیولیت در کالکریت مورد بررسی باشد. محیط‌های کالکریت معمولاً به عنوان محیط‌های تشکیل پالیگورسکیت شناخته می‌شوند [۲۷،۲۶،۴] ولی در افق مورد بررسی مقدار کانی اسمکتیت هم قابل توجه است (شکل ۴-ب). همراهی کانی‌های پالیگورسکیت و اسمکتیت در افق‌های انباشت کربنات‌ها توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است [۳۰،۱۳،۳]. حضور کانی اسمکتیت در افق‌های انباشت

وجود قله‌ی دو شاخه در ناحیه‌ی ۱۰ آنگستروم (۱۰/۱ و ۱۰/۴) دلالت بر حضور کانی‌های ایلیت (۱۰/۱) و پالیگورسکیت (۱۰/۴) است. قله‌ی ۶/۴ آنگستروم نیز تأیید مجدد حضور پالیگورسکیت است. علاوه بر این در تیمار اشباع با پتاسیم در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قله‌ی دو شاخه‌ی مربوط به ایلیت و پالیگورسکیت در ناحیه‌ی ۱۰ آنگستروم مشاهده می‌شود که پس از تیمار گرمایی ۵۵۰ درجه سانتیگراد به قله‌ی تک شاخه تبدیل می‌شود که ناشی از تخریب کانی پالیگورسکیت در این تیمار گرمایی است. افزایش شدت این قله با دما در تیمار اشباع با پتاسیم نتیجه جایگزینی K به جای Ca و Mg و تبخیر آب هیدراته این کاتیون‌هاست [۲۳]. قله‌ی نسبتاً شدید ۷/۲ آنگستروم در تیمار منیزیم و پتاسیم و حذف آن در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد نشانگر وجود کانی کائولینیت است. قله‌ی ۴/۲ آنگستروم نیز ناشی از حضور کانی کوارتز در بخش رسی کربنات‌های مورد بررسی است. قله‌های ۵/۰، ۴/۷، ۳/۵ و ۳/۳ ناشی از رده‌های دیگر کانی‌های ایلیت و کلریت است. در مجموع، بررسی پراش نگاشت این افق دلالت بر حضور کانی‌های کلریت، اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، پالیگورسکیت و کوارتز است. با توجه به مواد مادری و شرایط محیطی خاک‌های مورد بررسی، می‌توان کانی‌های کلریت، ایلیت، کائولینیت و کوارتز را به اثر رسیده از مواد مادری دانست. به اثر رسیدن کانی‌های میکائی (ایلیت و کلریت) از مواد مادری در خاک‌های جنوب ایران هم گزارش شده است [۲۴]. با توجه به عدم حضور کانی‌های اسمکتیت و پالیگورسکیت در مواد مادری، به نظر می‌رسد که تشکیل این کانی‌ها به‌صورت خاکزا و در اثر واکنش‌های خاک‌زمین‌شیمیایی<sup>۸</sup> انجام شده است. همراهی کانی پالیگورسکایت و افق‌های کلسیک از سوی پژوهشگران مختلف در خاک‌های ایالات متحده [۲۵]، مرکز [۳۰،۲۶،۴] و جنوب [۲۴] ایران گزارش شده است. ساز و کارهای رسوب کربنات کلسیم و افزایش نسبت منیزیم به کلسیم در محلول خاک همراه با pH مناسب ایجاد شده به‌وسیله‌ی کربنات‌ها برای تشکیل پالیگورسکیت و نیز انتقال پالیگورسکیت همراه با آهک در زمان تشکیل افق کلسیک، به‌عنوان علل غنی شدن افق‌های کلسیک از پالیگورسکیت بیان شده است [۳۰،۲۶،۲۴،۱۳،۴].

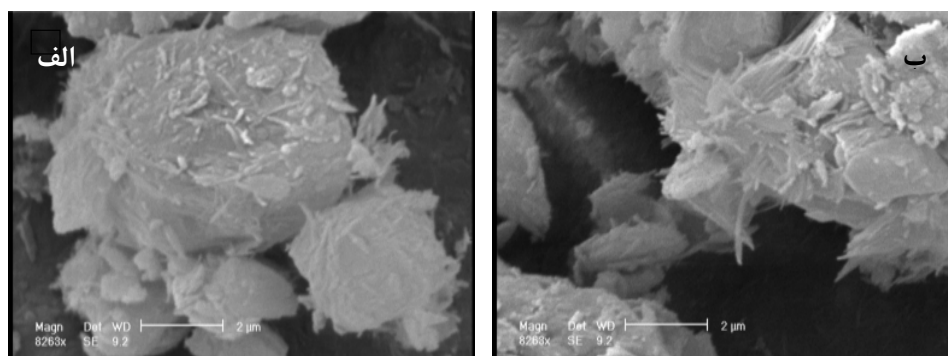
بررسی پراش نگاشت افق آرچلیک قدیمی (شکل ۴-ب) نشانگر وجود کانی‌های ایلیت، کائولینیت، کلریت است.



یون‌های  $K^+$  و  $Mg^{2+}$  صورت گرفته و اسمکتیت تشکیل می‌شود [۱۳]. ایلیت به‌عنوان خاستگاه اسمکتیت از خاک‌های ایران [۲۴]، تاجیکستان [۱]، اوکراین [۲] و آرژانتین [۱۳] گزارش شدند. شکل ۵ ریز نگاشت وابسته به این افق را نشان می‌دهد و چنانکه دیده می‌شود فیبرهای پالیگورسکیت به صورت شکسته و موازی روی بلورهای کلسیت در کالکریت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. قرار گرفتن فیبرهای پالیگورسکیت به صورت شکسته و موازی روی ذرات دیگر به خاستگاه آواری این کانی نسبت داده شد [۱۳]. در واقع با توجه به آنکه رس‌های فیبری دارای بیشترین پتانسیل برای انتقال هستند [۳۳]، انتقال این کانی در نیمرخ خاک به راحتی امکان‌پذیر بوده و این فرآیند از خاک‌های مرکز و جنوب ایران [۲۴، ۲۶] و شمال شرق اسپانیا [۲۸] گزارش شده است.

با توجه به آنکه کالکریت‌ها در اقلیمی با بارندگی سالانه حدود ۴۰۰-۶۰۰ میلیمتر و همراه با خشکی فصلی تشکیل می‌شوند [۵] و کانی پالیگورسکیت در مقادیر بارندگی سالانه کمتر از ۳۰۰ میلیمتر پایدار است [۳۳]، به نظر می‌رسد که تشکیل بلورهای کلسیت در بارندگی زیاد گذشته انجام شده است (مقادیر ایزوتوپی اکسیژن هم تائید کننده‌ی این موضوع است) و پس از آن در دوره‌های اقلیمی خشکتر انتقال کانی پالیگورسکیت و انباشت آن‌ها روی ذرات کلسیت انجام شده است. بلورهای کلسیت با ایجاد شرایط مناسب می‌توانند سبب حفاظت ذرات پالیگورسکیت شوند [۱۲، ۲۶]. علاوه بر این، در محیط کالکریت‌ها کاهش فعالیت آلومنیوم می‌تواند سبب ناپایداری اسمکتیت و تغییر شکل آن به پالیگورسکیت شود [۱۳]. به طور کلی به نظر می‌رسد کانی پالیگورسکیت در کالکریت مورد بررسی دارای خاستگاه دوگانه، انتقال و تغییر شکل از اسمکتیت، است.

کربنات‌های خاکزا بیشتر به هوادیدگی پالیگورسکیت [۳۰] و تغییر شکل از ایلیت [۱۳] نسبت داده شد. بنا بر نظر صالحی و همکاران (۱۳۸۲)، فعالیت اندک منیزیم و اسیدیته کمتر از ۷/۷ در افق‌های انباشت کربنات‌ها می‌تواند سبب ناپایداری پالیگورسکیت و تشکیل اسمکتیت شود که این امر در مورد کالکریت مورد بررسی نیز می‌تواند صادق باشد [۳۰]. تاندون و کومار (۱۹۹۹) معتقدند که کالکریت‌های غنی از اسمکتیت در شرایط مرطوب‌تر نسبت به کالکریت‌های حاوی پالیگورسکیت تشکیل می‌شوند [۵]. با توجه به ریخت‌شناسی پیشرفته‌ی کربنات‌ها در افق پتروکلسیک (جدول ۲) و مقادیر ایزوتوپی (نشان داده نشده)، مشخص است که این افق در شرایط محیطی مرطوب‌تر نسبت به افق کلسیک تشکیل شده به طوری که به نظر می‌رسد، افزایش مقدار اسمکتیت در کالکریت‌ها با کاهش مقادیر ایزوتوپی اکسیژن همراه بوده و این شرایط محیطی در کانی‌شناسی رس حفظ شده است. حضور اسمکتیت خاکزا در کالکریت‌های جنوب اسپانیا هم ناشی از حاکمیت اقلیم نیمه‌خشک در زمان تشکیل آن‌ها تفسیر شده است [۳]. وارگا و همکاران (۲۰۰۲) تشکیل اسمکتیت خاکزا در کالکریت‌های جنوب مجارستان را نشانگر خاکزایش این کالکریت‌ها در شرایط نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب می‌دانند [۳۱]. بررسی پراش نگاشت پرتو ایکس تیمار اشباع با منیزیم و تیمار اشباع شده با بخار اتیلن گلیکول در کالکریت مورد بررسی (شکل ۴-پ) نشان‌دهنده‌ی وجود قله‌ی پلکانی است که نشانگر وجود اسمکتیت با بار مخلوط است. این امر نتیجه‌ی خارج شدن مقداری از پتاسیم از لایه‌های رس ایلیت بوده است [۳۲]. با توجه به این موضوع و فراوانی ایلیت در مواد مادری و خاک‌های مورد بررسی ایلیت می‌توان را به‌عنوان کانی خاستگاه اسمکتیت در خاک‌های مورد بررسی دانست. لازم به یادآوری است که در فعالیت اندک یون پتاسیم، کانی ایلیت ناپایدار شده و تبادل



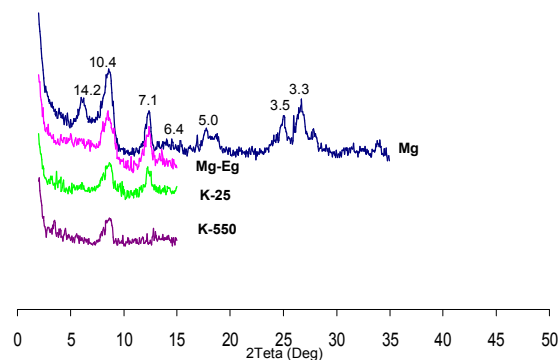
شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از بلورهای کلسیت و فیبرهای پالیگورسکایت در کالکریت مورد مطالعه.

در مورد تشکیل اسمکتیت، خاکزا با توجه به ریخت‌شناسی و مقادیر بالای کربنات در کالکریت مورد بررسی، به نظر می‌رسد که افزایش کربنات‌ها با کاهش تخلخل و افزایش فعالیت یونی در زمان انباشت کربنات‌ها سبب تسریع در تشکیل آن شده است. ساز و کار مشابه توسط سانچو و همکاران (۱۹۹۲) برای تشکیل اسمکتیت در کالکریت‌ها اشاره شده است. همچنین ذرات سیلت و شن موجود به‌عنوان خاستگاه یون‌های آلومنیوم و سیلیسیم دارای اهمیت است. مونگر و داگرتی (۱۹۹۱) معتقدند که فشار ایجاد شده بر اثر بلوری شدن کلسیت می‌تواند سبب انحلال بیشتر ذرات سیلت و شن و آزاد شدن یون‌های سیلیسیم و آلومنیوم شود که این در نتیجه‌ی در تشکیل کانی‌های رسی در کالکریت‌ها دارای اهمیت است [۲۵]. در مجموع به نظر می‌رسد که مدفون شدن این خاک قدیمی و اقلیم خشک فعلی مانع از شکل‌گیری کانی‌ها و حفظ علائم اقلیمی گذشته در آن‌ها شده است.

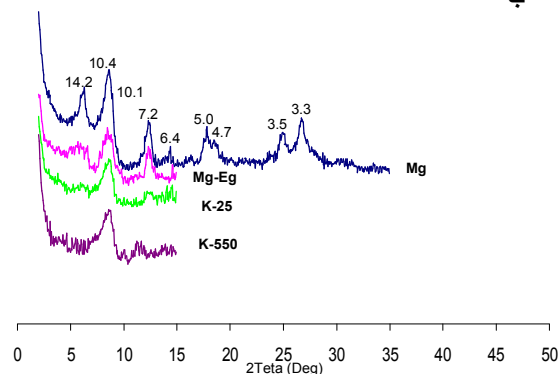
#### خاک قدیمی رلیکت (Qf2)

شکل ۶ پراش نگاشت افق‌های Btk و 2Btk را نشان می‌دهد. افق Btk (شکل ۶-الف) با قله‌ی قوی در ناحیه ۱۰ آنگستروم به ایلیت و پالیگورسکیت مربوط است. وجود قله‌های ضعیف

#### الف



#### ب



شکل ۶ پراش نگاشت بخش رس (الف) Btk و (ب) 2Btk خاک سطح زمین ریخت Qf2.

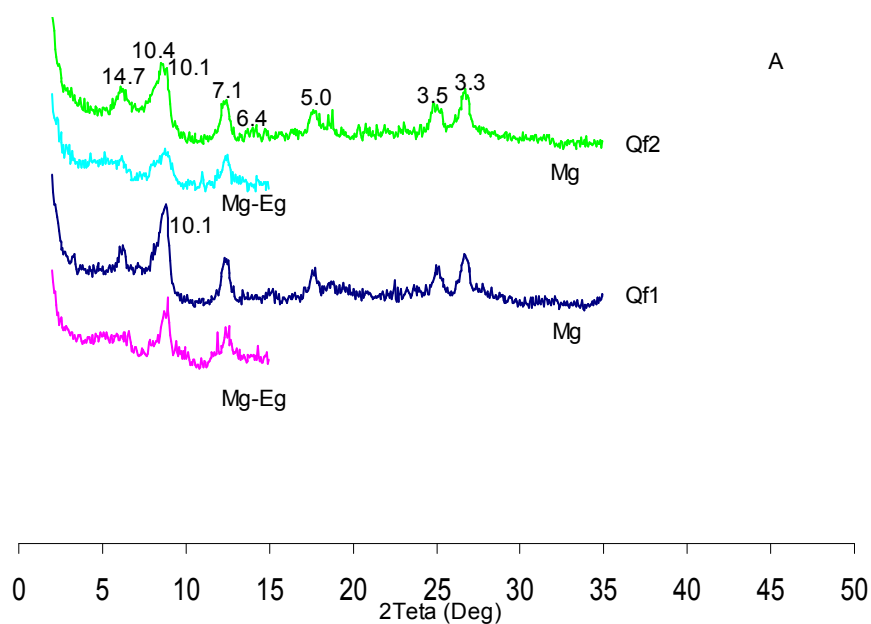
## کانی‌شناسی رسی افق‌های سطحی

شکل ۷ پراش نگاشت مقایسه‌ای افق‌های سطحی (A) خاک-های سطوح زمین‌ریختی مورد بررسی را نشان می‌دهد. چنانکه مشخص است در سطح زمین‌ریختی Qf1 کانی‌های کلریت، ایلیت، کائولینیت و کوارتز کانی‌های غالب هستند. در مجموع ترکیب کانی‌شناسی این افق مشابه با مواد مادری است و با توجه به عدم وجود شرایط مناسب برای نوتشکیلی این کانی‌ها در مناطق خشک، از مواد مادری به ارث رسیده‌اند. همسانی کانی‌شناسی افق‌های سطحی و مواد مادری توسط ایوبی و همکاران [۷]، کریم‌زاده و همکاران [۱۲] و خادمی و مرموت [۲۶] از منطقه‌ی اصفهان گزارش شده است. بررسی پراش نگاشت افق سطحی خاک سطح زمین‌ریختی Qf2 علاوه بر کانی‌های کلریت، ایلیت، کائولینیت و کوارتز نشانگر وجود قله‌ی دو شاخه در منطقه ۱۰ آنگستروم است که به نظر می‌رسد به کانی‌های ایلیت و پالیگورسکیت وابسته است. با توجه به اینکه تشکیل کانی پالیگورسکیت خاکزا نیازمند به شرایط خاص است و انباشت هم مکان این کانی معمولاً با افق‌های انباشت کربنات‌ها و گچ خاکساز در مناطق خشک مشاهده می‌شود [۱۲، ۱۳]، بنابراین به نظر می‌رسد که این کانی دارای خاستگاه آواری باشد. افق‌های حاوی پالیگورسکیت در سطح زمین‌ریختی Qf1 مشرف بر سطح زمین ریختی Qf2 بوده و می‌تواند به عنوان خاستگاه‌های انتقال پالیگورسکیت به وسیله‌ی رواناب

باشند. علاوه بر این موقعیت این سطح زمین‌ریختی به نحوی است که در ارتفاع کمتر و موقعیت نزدیکتر به مناطق پلائیاست قرار گرفته است (شکل ۲) و بنابراین فرآیند انتقال پالیگورسکیت به وسیله‌ی باد می‌تواند مهم بوده باشد. کریم‌زاده (۱۳۸۱) با آنالیز کانی‌شناسی رسوب‌های بادی منطقه‌ی شرق اصفهان پالیگورسکیت را به‌عنوان کانی غالب در این رسوب‌ها گزارش کرده است. افزایش پالیگورسکیت به افق‌های سطحی خاک‌های تراس قدیمی رودخانه زاینده رود اثر فرآیندهای باد در منطقه‌ی شرق اصفهان گزارش شده است [۱۵].

## برداشت

در مجموع بنظر می‌رسد که طی دوره‌های ناپایداری زمین‌نما (Landscape)، فرآیندهای فرسایش، انتقال مواد مادری از حوضه‌ی آبخیز به محیط مخروط آبرفتی، تشکیل مواد مادری خاک‌ها و انباشت سنگریزه‌ها صورت گرفته است و سپس در دوره‌های پایداری زمین‌نما فرآیندهای هوادیدگی ژئوشیمیایی و خاکزایی سبب شستشوی آهک و آبشویی ذرات ریز از افق‌های فوقانی و ایجاد افق‌های انباشت رس و آهک در خاک‌ها شده است. اغلب پژوهشگران این تغییرات در فازهای زمین جنبشی (Geodynamic) حاصل از زمین‌نما را به تغییرات اقلیمی وابسته دانسته‌اند [۱۰].



شکل ۷ پراش نگاشت افق‌های سطحی (افق A) در خاک‌های سطوح زمین‌ریخت Qf1 و Qf2.

قبلی کانی‌شناسی در زمین‌سان‌های شرق اصفهان [۲۶،۱۲] کانی‌های انبساط پذیر را فقط در خاک‌های فلات‌ها و دشت‌های آبرفتی نشان داده بود در حالی‌که این پژوهش برای اولین بار حضور این کانی‌ها را در خاک‌های مخروط آبرفتی شرق اصفهان اثبات می‌کند.

در مجموع استفاده از کانی‌شناسی رسی افق‌های کلسیک، کالکریت‌ها و افق‌های آرجیلیک به عنوان ابزاری ساز و کار در پژوهش‌های زمین ریخت‌شناسی و شناسایی سطوح زمین-ریختی پیشنهاد می‌شوند.

#### قدردانی

بدینوسیله از زحمات آقای دکتر علیرضا کریمی کاروبه جهت همکاری در آنالیزهای کانی‌شناسی و بازخوانی این مقاله صمیمانه تشکر می‌کنیم. همچنین از مساعدت آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان قدردانی می‌شود.

#### مراجع

[1] 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* 134 (1998) 19-34.

[2] Perederij, V.I., "Clay mineral composition and paleoclimatic interpretation of the Pleistocene deposits of Ukraine", *Quaternary International*. 76/77 (2001) 113-121.

[3] Jimenez-Espinosa R., Jimenez-Millan. J., "Calcrete development in Mediterranean colluvial carbonate system from SE Spain", *Journal of Arid Environments*. 53 (2003) 479-489.

[4] Khademi H., Mermut A.R., "Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran", *Clay Minerals*. 33 (1998) 561-578.

[5] Tandon, S.K., Kumar, S., "Semi - arid / arid zone calcretes: A review", In: Singhvi, A.K., Derbyshire, E. (Eds.), *Paleoenvironmental Reconstruction in Arid Lands*, A.A. Balkema. Amsterdam (1999) 109-152.

[۶] احمدی ح.، فیض نیا س.، "سازندهای دوره کواترنر"، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۷۸) ۵۵۷ صفحه .

[۷] ایوبی ش.، جلالیان ا.، کریمیان اقبال م.، خادمی ح.، روزیطلب م. ح.، "شناسایی و بررسی چگونگی تشکیل کانی‌های رسی در دو پارینه خاک منطقه سپاهانشهر اصفهان و امام قیس

بخش عمقی خاک قدیمی مدفون (سطح Qf1) از توالی افق‌های آرجیلیک (افق‌های انباشت رس‌های سیلیکاتی) و افق‌های کلسیک (افق‌های انباشت کربنات‌های ثانویه) تشکیل شده است. مقایسه‌ی پراش نگاشت‌های افق‌های آرجیلیک و کلسیک در این نیمرخ نشانگر افزایش شدت قله‌ی اسمکتیت نسبت به پالیگورسکیت در افق‌های آرجیلیک قدیمی دارد. افق‌های آرجیلیک در شرایط مرطوب‌تر نسبت به افق‌های کلسیک تشکیل می‌شوند و افزایش مقدار اسمکتیت می‌تواند نشانگر تغییر شرایط ژئوشیمی خاک باشد. افزایش مقدار اسمکتیت در افق‌های آرجیلیک به هوادیدگی بیشتر و یا انتقال رس طی اقلیم مرطوب‌تر گذشته نسبت داده شده است [۲۶،۶] به نظر می‌رسد که شدت هوادیدگی روی مواد مادری (کائولینیت، ایلیت و کلریت) در گذشته سبب ورود آلومنیوم به محیط همراه با فعالیت بالای سیلیس و pH مناسب ایجاد شده به‌وسیله کربنات‌ها، سبب مهیا شدن شرایط مناسب برای تشکیل اسمکتیت شده است و با کاهش فرایندهای هوادیدگی و فعالیت آلومنیوم و افزایش فعالیت منیزیم، شرایط برای تشکیل پالیگورسکیت مهیا شده است. تشکیل کالکریت مورد بررسی در اقلیم نیمه خشک گذشته با مقادیر بارندگی سالانه ۴۰۰-۶۰۰ میلیمتر و خشکی فصلی انجام شده است. به‌نظر می‌رسد فرایندهای انتقال کربنات‌ها و کاهش تداخل سبب افزایش فعالیت یونی و تشکیل اسمکتیت‌های خاکزا در این افق شده است. طی دوره‌های خشک‌تر بعدی انتقال و تشکیل درجای کانی پالیگورسکیت رخ داده است و وجود بلورهای کلسیت سبب حفاظت فیبرهای پالیگورسکایت شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت کانی پالیگورسکیت در کالکریت مورد بررسی دارای خاستگاه دوگانه (انتقال از افق‌های فوقانی و تغییر شکل از اسمکتیت) است. افق‌های خاک قدیمی رلیکت واقع در سطح زمین‌ریخت Qf2 از قرارگیری پی در پی افق‌های کلسیک-آرجیلیک (افق Btk) و مواد مادری (افق C) تشکیل شده است. مقایسه‌ی افق‌های آرجیلیک در خاک قدیمی سطح زمین‌ریخت Qf1 و خاک قدیمی سطح زمین‌ریخت Qf2 نشانگر غالبیت اسمکتیت در آرجیلیک‌های سطح Qf1 و پالیگورسکیت در آرجیلیک‌های سطح Qf2 دارد و با توجه به مواد مادری و زمین‌سان یکسان، این امر می‌تواند ناشی از هوادیدگی بیشتر در خاک سطح Qf1 و تشکیل و حفاظت بیشتر پالیگورسکیت در افق‌های Btk خاک سطح زمین‌ریخت Qf2 باشد. بررسی‌های

- [19] Dixon J. B., weed S. B., Kittrick J. A., Milford M. H., White J. L., (Eds.), *"Minerals in Soil Environments"*, Soil Science Society of America, Madison, (1977) 948p.
- [20] Machtee M.N., *"Calcic soils of the southwestern United States"* In: Weide, D. I., Faber, M. L. (Eds.), *Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States*, Geological Society of America Special Paper 203, Madison (1985) 1-21.
- [21] Gile H., Peterson F. F., Grossman. R. B., *"Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils"*, Soil Science 10 (1966) 347-360.
- [22] Johnson M. C., McBride M. B., *"Mineralogical and chemical characteristics of Adrionack spodosols, evidence for para- and non crystalline aluminosilicate minerals"*, Soil Science Society of America Journal 53 (1989) 482-490.
- [23] Fanning D. S., Keramidas V. Z., *"Micas"*, In: Dixon J.B., Weed S. B., Kittrick J. A., Milford M. H., White J. L., (Eds.), *Minerals in Soil Environments*, Soil Science Society of America, Madison, (1977) 195-258p.
- [24] Owliaie H.R., Abtahi A., Heck R.J., *"Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran"*, Geoderma 134 (2005) 62-81.
- [25] Monger H.C., Daugherty L.A., *"Neoformation of palygorskite in a southern New Mexico Aridisols"*, Soil Science Society of America Journal 55 (1991) 1646-1650.
- [26] Khademi H., Mermut A.R., *"Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonate and associated palygorskite in Iranian Aridisols"*, European Journal of Soil Science 50 (1999) 207-216.
- [27] Barnhisel R. I., *"Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite"*, In: Dixon J.B., Weed S. B., Kittrick J. A., Milford M. H., White J. L., (Eds.), *Minerals in Soil Environments*, Soil Science Society of America, Madison, (1977) 331-356p.
- [28] Sancho C., Mehlandes A., Signes M., Batisda J., *"Chemical and mineralogical characteristics of Pleistocene caliche deposits from the central Ebro basin, NE Spain"*, Clay Minerals 27 (1992) 293-308.
- [29] Goudie A. S., *"Duricrusts in Tropical and Subtropical Landscapes"*, Clarendon Press, Oxford (1973) 174p.
- چهارمحال و بختیاری، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران ۲ (۱۳۸۱) ص ۱۵۷-۱۷۸.
- [۸] کیانی ف.، جلالیان ا.، پاشائی ع.، خادمی ح.، *"بررسی کانی-های رسی در دنباله پارینه خاک-بادرفت منطقه پاسنگ استان گلستان"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران ۲ (۱۳۸۵) ص ۳۹۵-۴۱۲.
- [9] Christenson G.E., Purcell C., *"Correlation and age of Quaternary alluvial fan sequences. Basin and Range province. southwestern United States"*, In: Weide, D.I., Faber, M. L., (Eds.), *Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States*, Geological Society of America Special Paper 203, Boulder (1985) 115-121.
- [10] Schaetzl T.J., Anderson P., *"Soils Genesis and Geomorphology"*, Cambridge University Press, Cambridge (2005) 817p.
- [۱۱] فرپور م.، *"رابطه بین ژئومرفولوژی و تکامل خاک‌های گچی در منطقه رفسنجان"*، رساله دکتری خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۸۱) ۲۲۶ صفحه.
- [۱۲] کریم زاده ح.، جلالیان ا.، خادمی ح.، *"مطالعه کانی‌های رسی خاک‌های گچی زمین‌ریخت‌های مختلف در منطقه شرق اصفهان"*، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸ (۱۳۸۳) ص ۷۳-۹۳.
- [13] Bouza P.J., Simon M., Aguilar J., Valle H., Rostage M., *"Fibrous-clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of northeastern Patagonia, Argentina"*, Geoderma 139 (2007) 38-50.
- [14] Zahedi M., *"Explanatory text of the Isfahan quadrangle map 1:250000"*, Geological Survey of Iran (1976) 49p.
- [۱۵] کریم‌زاده ح.، *"چگونگی تکوین و تکامل در خاک‌ها و لندفرم‌های مختلف و منشاء یابی رسوبات فرسایش یافته بادی در منطقه شرق اصفهان"*، رساله دکتری خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۸۱) ۴۴۶ صفحه.
- [16] SCS-USDA., *"Definition and Abbreviations for Soil Description"*. United State Department of Agriculture, Oregon, (1979) 16p.
- [17] USDA-NRCS., *"Soil Survey Laboratory Methods Manual"*, Soil Survey Investigations Report, No. 42. Version 3.0, Lincoln (1996) 693 p.
- [18] Kittrik J. A., Hope E. W., *"A procedure for particle size separations of soils for X-Ray diffraction"*, Soil Science Society of America Proceeding 35 (1971) 621-626.

Kittrick J. A., Milford M. H., White J. L., (Eds.), Minerals in Soil Environments, Soil Science Society of America, Madison, (1977) 290-330p.

[33] Johnson, W. M., "The Argids", In: Kimble J. M., Nettelton W. D., (Eds.), Proceeding of the Fourth International Soil Correlation Meeting, Characterization, Classification and Utilization of Aridisols, USDA, Lincoln (1990) 15-20.

[34] Watts N.L., "Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (southern Africa): mineralogy, genesis and diagenesis", Sedimentology 27 (1980) 661-686.

[۳۰] صالحی م. ح.، خادمی ح.، کریمیان اقبال م.، "شناسائی و نحوه تشکیل کانی‌های رسی در خاکهای منطقه فرخ شهر، استان چهارمحال و بختیاری"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۷ (۱۳۸۲) ۷۳-۹۰.

[31] Varga A, szakmang G., Rraucsik, B., "Micromorphology and mineralogy of the Eocene calcrete gravel from the Mecsek mountains (S Hungary)", Acta Geologica Hongarica 54 (2002) 287-299.

[32] Borchardt C., "Montmorillonite and other smectite minerals", In: Dixon J.B., Weed S. B.,