مطالعه کانی‌های رسی خاک‌های گچی زمین‌ریخت‌های مختلف در منطقه شرق اصفهان

حمیدرضا کریم‌زاده[۱]، احمد جلالیان[۲] و حسین خادمی[۲]

چکیده

کانی‌های رسی شایسته بررسی دقیقی هستند، زیرا در بسیاری از خاک‌ها نقشی مهمی بازی می‌کنند. شناسایی کانی‌های رسی پنج خاک گچی از زمین‌ریخت‌های مختلف در شرق اصفهان با استفاده از پراش اشعه ایکس [(X-ray diffraction (XRD] مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، خاکدانه‌ها و رسوب‌های فرسایش یافته بادی به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscopy) مشاهده و با اسپکتروفتومتری اشعه ایکس (Energy dispersive X-ray analyser) تجزیه گردید.

نتایج نشان می‌دهند که در همه نیم‌رخ‌های خاک، کانی‌های پالیگورسکیت، میکا، کائولینیت، کلریت و کوارتز و به مقدار ناچیز ورمی‌کولیت و کانی‌های مخلوط نامنظم وجود دارند. اسمکتیت در خاک‌های دشت دامنه‌ای و تراس قدیمی رودخانه شناسایی شد ولی در خاک‌های مخروط‌افکنه دیده نشد. احتمالاً کانی‌های کلریت، کائولینیت، میکا و کوارتز از مواد مادری به ارث رسیده‌اند. به‌نظر می‌رسد که کانی پالیگورسکیت در خاک‌های مخروط‌افکنه با عمق افزایش، در حالی که درخاک‌های تراس قدیمی رودخانه، با عمق کاهش می‌یابد. بخش زیادی از پالیگورسکیت موجود در خاک‌های مخروط‌افکنه در پایان دوره ترشیاری موقعی‌که منطقه توسط برکه‌های کم عمق و خیلی شور پوشیده بود به‌صورت خود تشکیل ایجاد گردیده است. منشأ پالیگورسکیت در خاک‌های تراس قدیمی ماهیتاً آواری می‌باشد و منشأ بادی پالیگورسکیت نیز محتمل است، زیرا که در افق‌های سطحی این خاک به مقدار زیاد شناسایی گردید. در خاک‌های تراس قدیمی، افزایش اسمکتیت با عمق در مقایسه با کاهش پالیگورسکیت، به خود تشکیل اسمکتیت از پالیگورسکیت نسبت داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌های رسی، اریدی سول‌های گچی، اشکال اراضی، فلات ایران مرکزی، پالیگورسکیت، اسمکتیت، خود تشکیل*

مقدمه

کانی‌ها در حدود ۵۰ درصد از حجم بیشتر خاک‌ها را تشکیل می‌دهند، آنها حمایت فیزیکی گیاه را به عهده دارند و آب و هوای مورد نیاز برای رشد مطلوب گیاهان را فراهم می‌کنند. هم‌چنین هوا دیده شدن کانی‌ها، عناصر غذایی گیاهان را آزاد می‌کند(۱۵). رس‌ها بخش فعال معدنی خاک‌ها را تشکیل

۱. استادیار مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. به ترتیب استاد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

می‌دهند که اغلب به‌صورت کلوئیدی و بلورین می‌باشند(۹). کانی‌های رسی خاک به‌علت دارا بودن سطح ویژه بالا و بار منفی نقش تعیین کننده‌ای در جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه دارند. شناسایی کمّی و کیفی و ترکیب ساختمانی آنها اطلاعات ارزشمندی از وضعیت جذب، تثبیت و رهاسازی کاتیون‌ها در اختیار ما قرار می‌دهد(۲).

ذرات معدنی از کانی‌های بسیاری تشکیل شده که پاره‌ای از آنها به طور مستقیم از مواد مادری به ارث رسیده و برخی دیگر در خاک ایجاد می‌شوند که خود شامل: تشکیل کانی از محلول خاک (خود تشکیل)(Authigenic formation) و تغییر شکل کانی‌های موجود به یک گونه جدید(دیاژنز)(Diagenesis) می‌باشند(۶). به نظر برادی نوع کانی تشکیل شده تحت تأثیر سه عامل اقلیم، شرایط محیطی و نوع مواد مادری تعیین می‌شود (۹). بیول و همکاران (۱۰) عواملی همچون غلظت و تعادل یونی در سیستم خاک، فرآورده انحلال (Solubility product) ترکیب‌های شیمیایی موجود، شرایط Eh-pH محیط و سرعت هوازدگی را در تشکیل کانی‌های خاک مؤثر می‌دانند.

اهمیت شناسایی کانی‌های رسی در تکامل خاک به حدی است که به اعتقاد برادی، نوع کانی‌های موجود در خاک بیانگر مرحله هوادیدگی خاک می‌باشد(۹). به طور کلی در نقاطی که مواد مادری یا محلول خاک دارای پتاسیم زیادی باشد، شرایط برای تشکیل میکای ریزدانه (ایلیت) مستعد است. وقتی مواد مادری دارای کاتیون‌های فلزی زیاد (به‌خصوص Mg) و یا شرایط زه‌کشی زمین محدود باشد، به‌طوری که کاتیون‌های فلزی نتواند آبشویی شوند، اسمکتیت‌ها تشکیل خواهند شد. بنابراین، میکای ریزدانه و اسمکتیت بیشتر در خاک‌های رده اریدی سولز (Aridisols) دیده می‌شوند(۹). پالیگورسکیت یک کانی رسی الیافی ۲:۱ است که در خاک‌ها و رسوب‌های بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک گسترش وسیعی دارد(۱۰). این کانی در محیط‌های دریایی (Marine environments)، محیط‌های هیدروترمال و در محیط‌های دریاچه‌ای قلیایی (Alkaline lacustrine) تشکیل می‌شود. پالیگورسکیت و سپیولیت در رسوبات دریایی به‌عنوان کانی‌های آواری (Detrial) به شمار نمی‌آیند بلکه از ته‌نشینی از محلول یا به‌وسیله تغییر شکل کانی‌ها تشکیل می‌شوند(۱۰).

فلات مرکزی ایران واقع در بین دو رشته کوه‌های البرز و زاگرس گودال وسیعی است که از رسوبات جوان پرشده است (۴). این فلات در دوران مزوزئیک به عنوان بخشی از دریای متلاطم قدیمی تتیس(Ancient Tethys seaway) محسوب می‌گردید(۱۴). در اواخر کرتاسه، این دریای متلاطم از اقیانوس جدا شد (۱۲). به طوری که شکل‌گرفتن اصلی فلات ایران به دوران سوم (ترشیاری)، به‌خصوص میوسن نسبت داده می‌شود. با کم شدن ارتباط دریای میوسن با دریای آزاد و پیشروی خشکی به مدخل دریای میوسن، دریاچه‌های کم عمق بین کوهی و برکه‌ها (لاگون‌ها) طی دوران سوم (ترشیاری) توسعه یافتند(۴). این مناطق کم عمق با شوری زیاد محیط مناسبی را از نظر شیمیایی برای تشکیل پالیگورسکیت و سپیولیت مهیا نموده است(۱۲).

تاکنون بررسی‌های نسبتاً زیادی در ارتباط با تعیین کانی‌های رسی خاک‌های مناطق خشک ایران انجام شده است. برای مثال، ابطحی و همکاران (۱) با بررسی خاک‌های باجگاه شیراز به این نتیجه رسیدند که با توجه به وجود کانی پالیگورسکیت در نمونه سنگ مادری، بدون شک یکی از منابع وجود کانی‌های الیافی در خاک‌های این منطقه توارثی است. هم‌چنین افزایش مقدار پالیگورسکیت از زمین‌های کوهستانی به طرف دشت را به تشکیل خاکساز پالیگورسکیت در این خاک‌ها نسبت دادند. خادمی(۳) با بررسی کانی‌های رسی خاک‌های رودشت اصفهان به این نتیجه رسید که نیم‌رخ‌های خاک با شرایط متفاوت شوری، قلیائیت و زه‌کشی، از نظر کیفی دارای کانی‌شناسی مشابهی بوده و از نظر کمّی فقط مقدار اسمکتیت با ضعیف‌تر شدن وضعیت زه‌کشی مقداری افزایش نشان می‌دهد که این مسئله می‌تواند احتمالاً دلیلی بر خود تشکیلی بخشی از این کانی در این خاک‌ها باشد.

اهداف این مطالعه عبارت‌اند از: ۱- شناسایی کیفی و نیمه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

کمّی کانی‌های رسی خاک‌های گچی منطقه شرق اصفهان و بررسی چگونگی پیدایش آنها و ۲- تعیین الگوی توزیع کانی‌های رسی در زمین‌ریخت‌های مختلف.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه و نمونه‌برداری

منطقه مورد بررسی در فلات مرکزی ایران در حوزه آبخیز زاینده‌رود و در زیر حوزه مرغاب واقع شده است. منطقه به‌وسیله یک اقلیم خشک(Dry climate) با درجه حرارت بالا توصیف می‌گردد. به‌طوری که میانگین دمای سالانه منطقه ۱۴/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین درجه حرارت تابستان و زمستان به ترتیب ۱۵/۸ و ۵/۸ درجه سانتی‌گراد، و میانگین بارندگی منطقه حدود ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

به‌طور کلی می‌توان چشم‌انداز منطقه شرق اصفهان را به عنوان یک سیستم کوه و دشت(Basin and range) در نظر گرفت. به‌طوری که منطقه مورد بررسی از نظر ژئومرفولوژی شامل سه واحد کوهستان، زمین‌های شیب‌دار پایکوهی و زمین‌های مسطح و تشتکی است. زمین‌ریخت‌های (اشکال اراضی) (Landform) غالب و مشخص این واحدها (به استثنای واحد کوهستان) به ترتیب از کوهستان به مرکز دشت عبارت اند از: پدیمنت‌های لخت و پوشیده، مخروط‌افکنه‌های پایکوهی، سطوح قدیمی فرسایش یافته، پلایا، دشت‌های آبرفتی (تراس‌های قدیم رودخانه‌ای) و تراس‌های (پادگانه) جدید رودخانه زاینده‌رود می‌باشند.

به‌منظور نیل به اهداف تحقیق بر اساس بررسی‌های صحرایی و مورفولوژیکی، پنج پروفیل خاک در زمین‌ریخت‌های غالب منطقه که طیف وسیعی از تغییرات خاک‌ها را نشان می‌دادند انتخاب گردید، که عبارت اند از: خاک‌های زمین‌های مخروط‌افکنه پایکوهی (A۱ و A۲)، تراس‌های قدیمی رودخانه زاینده‌رود (T۱ و T۲) و دشت دامنه‌ای واقع در زمین‌ریخت پلایایی (pp).

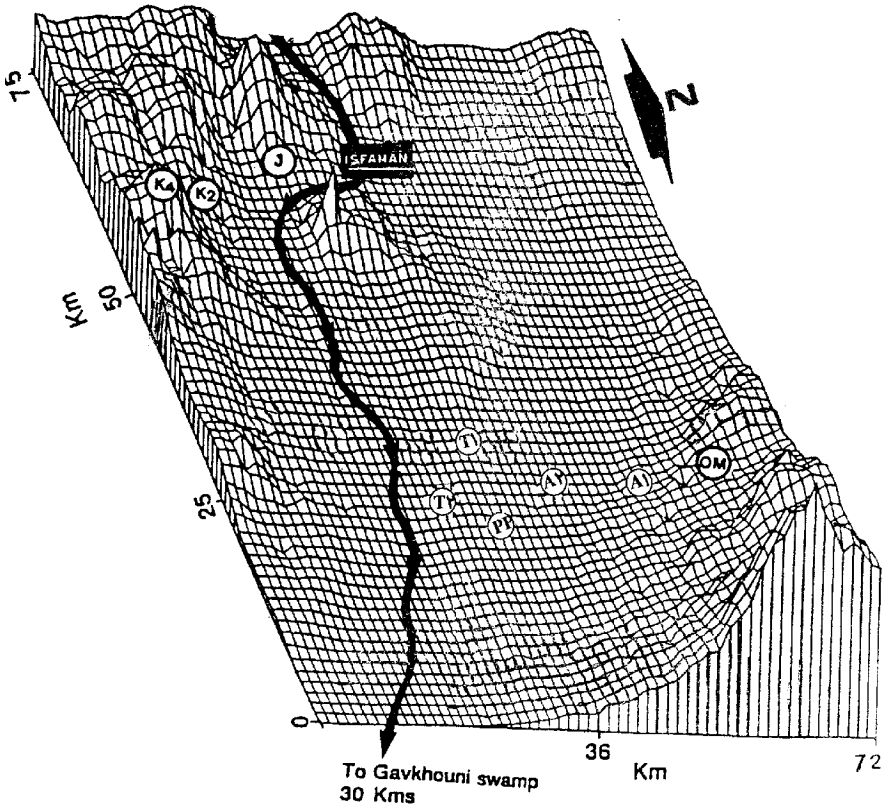
پروفیل‌های خاک واقع در مخروط افکنه پایکوهی شامل دو نیم‌رخ خاک به فاصله ۷ کیلومتری از یکدیگر به ترتیب بر شانه (A۱) و انتهای شیب (A۲) در منطقه زفره، پروفیل‌های خاک واقع در تراس‌های قدیمی رودخانه زاینده‌رود شامل دو نیم‌رخ خاک یکی در جنوب شرقی پایگاه شهید بابایی (T۱) و دیگری در ۳ کیلومتری شمال کارخانه اسپیرال (T۲) به فاصله ۵ کیلومتری جنوب شرقی نیم‌رخ (T۱)، و پروفیل واقع در دشت دامنه‌ای شامل یک نیم‌رخ خاک واقع در ۴ کیلومتری شمال غربی روستای سجزی می‌باشد(شکل ۱).

ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک‌های مورد بررسی تعیین و خاک‌ها بر اساس سیستم رده‌بندی امریکایی طبقه‌بندی شدند (۱۸). پس از تشریح نیم‌رخ‌های خاک از هر افق نمونه‌برداری (در مجموع ۲۶ نمونه) شد و برای تجزیه‌های مختلف به آزمایشگاه برده شد. شکل ۱ نمای کلی منطقه، محل حفر پروفیل‌های خاک و محل نمونه‌برداری از سنگ‌های سازندهای غالب منطقه را نشان می‌دهد.

مخروط‌افکنه‌های پایکوهی در حدواسط بین کوهستان و سطوح هموار و صاف پائین دست گسترش دارند و اغلب در پای دامنه کوهستان‌ها شامل آبرفت‌های ضخیمی هستند که به طرف قسمت‌های مرکزی حوضه رسوبی کشیده شده‌اند. این رسوبات آبرفتی شامل سنگ‌ریزه به مقدار زیاد است. از محل شکستگی شیب (Knick) به سمت اراضی مرکزی، شیب این اراضی کاهش، بافت خاک ریزتر، درصد سنگ‌ریزه کمتر و خاک متکامل‌تر می‌شود. دشت دامنه‌ای، کفه‌ای نسبتاً مسطح، بدون سنگ‌ریزه و با بافت سنگین است که عمدتاً تحت کشت محصولات آبی می‌باشد. این اراضی در بعضی قسمت‌ها تحت تأثیر شوری آب زیرزمینی یا املاح منتقله به‌وسیله روان آب ناشی از بارندگی مناطق بالادست قرار گرفته و به‌تدریج شور و سدیمی شده‌اند. تراس‌های قدیمی رودخانه زاینده‌رود تحت تأثیر مسیر قبلی این رودخانه به‌وجود آمده و این مسیر در گذشته بیشتر به طرف شمال منطقه قرار داشته است. این تراس‌ها در منطقه مورد بررسی شامل سطوح پهن و تقریباً مسطح، بدون سنگ‌ریزه و با بافت ریز می‌باشد که عموماً تحت تأثیر رسوبات بادی قرار دارند و در گذشته تحت تأثیر سطح

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



شکل۱. نمودار سه بعدی منطقه مورد مطالعه و موقعیت حفر پروفیل‌ها در مخروط افکنه پایکوهی(A۱ وA۲). دشت دامنه‌ای(PP) و تراس قدیمی رودخانه(T۱ و T۲) و موقعیت محل نمونه‌برداری از سنگ‌های سازندهای J، K2، K4 و OM . اقتباس از منبع(۱۲)

آب زیرزمینی بالا و شرایط غرقابی بوده است.

خاک‌های مخروط افکنه‌ای به‌خصوص در تحت‌الارض، به شدت گچی هستند (بیشتر از ۵۰ درصد در بعضی از افق‌ها). در تراس‌های قدیمی رودخانه‌ای، خاک‌های گچی در مکان‌هایی یافت می‌شود که آب زیرزمینی شور در نزدیک سطح خاک و یا متأثر از رسوبات بادی حاوی گچ است. خاک‌های گچی در دشت‌های دامنه‌ای فقط در مکان‌هایی یافت می‌شوند که آب زیرزمینی شور در نزدیکی سطح خاک باشد.

تعیین خصوصیات خاک‌ها

نمونه‌های خاک در سایه خشک و پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. گل اشباع از خاک‌ها تهیه، اسیدیته (pH) عصاره اشباع خاک به‌وسیله الکترود شیشه‌ای اندازه‌گیری و عصاره‌های خاک به‌وسیله پمپ مکش تهیه شد. کربن آلی به روش اکسیداسیون‌تر (۱۶) و مقادیر آهک به روش تیتراسیون برگشتی اسید کلریدریک با هیدروکسید سدیم اندازه‌گیری شد.

برای تعیین مقادیر گچ خاک‌ها، نخست خاک‌ها آبشویی شده و سپس یک گرم نمونه کاملاً آسیاب شده خاک به یک لیتر آب مقطر اضافه شد تا یک نسبت ۱:۱۰۰۰ خاک به آب تهیه شد. به منظور رسیدن به تعادل، مخلوط آب و خاک را به مدت ۲۴ ساعت با یک همزن الکتریکی تکان داده و سپس آن را عصاره‌گیری و هدایت الکتریکی عصاره جمع‌آوری شده با هدایت سنج الکتریکی قرائت گردید. با توجه به حلالیت محدود گچ در آب و استفاده از روابط هدایت الکتریکی محلول با مقدار گچ، مقدار گچ خاک‌ها اندازه‌گیری شد(۱۲). توزیع اندازه ذرات خاک (بافت) به روش پی‌پت تعیین گردید(۱۱).

تهیه نمونه جهت تجزیه‌های پراش اشعه ایکس (X-ray diffraction analysis).

کربنات‌ها و نمک‌های محلول، مواد آلی و اکسیدهای آهن نمونه‌ها به ترتیب با استات سدیم ۱ مولار (pH=۵)، آب اکسیژنه ۳۰ درصد و سیترات بی‌کربنات دی تیونات

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

(Dithionite citrate bicarbonate) حذف گردید. پس از حذف عوامل سیمان‌کننده، اجزای مختلف رس (ریز و درشت) و سیلت (ریز، متوسط و درشت) با دستگاه سانتریفوژ و عملیات ته‌نشینی و اجزای مختلف شن با روش الک مرطوب جدا گردید(۱۳).

به منظور تجزیه نیمه کمّی کانی‌های رسی و انجام مقایسه‌ای دقیق‌تر بین افق‌های پیدایشی یک نیم‌رخ و خاک‌ها با یکدیگر، مقداری از سوسپانسیون رس را در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک نموده و سپس آن را سائیده تا پودر یکنواختی به‌دست آید. سپس دو نمونه ۴۰ میلی‌گرمی از رس دقیقاً توزین گردید (۱۲).

آنالیزهای پراش اشعه ایکس

دو نمونه توزین شده از هر بخش رس را یکی با منیزیم و دیگری را با پتاسیم اشباع نموده و یک سوسپانسیون کاملاً یکنواخت به حجم یک سانتی‌متر مکعب تهیه و آن را به‌طور کامل بر روی یک لام شیشه‌ای ریخته و اجازه داده شد که در دمای اتاق برای تهیه یک نمونه آرایش گرفته (Oriented) خشک گردد. سپس نمونه‌های تیمار شده به طور جداگانه مورد تجزیه با اشعه ایکس قرار گرفتند.

لام‌های اشباع شده با منیزیم پس از تجزیه با اشعه ایکس برای اشباع با بخار اتیلن گلیکول، به مدت یک شبانه‌روز در خشک کن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و نمونه‌های اشباع شده با پتاسیم به ترتیب در دمای ۱۱۰ و ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت تحت تیمار حرارت قرار گرفتند. سپس نمونه‌های تیمار شده به‌وسیله دستگاه دیفراکتومتری اشعه ایکس مدل شیمادزو (X-ray diffractometer XD-610, Shemadzu) با استفاده از یک تک‌فام کننده(Monochromator) و تشعشع Cu-Kα تحت جریانی معادل ۴۰ میلی‌آمپر و ولتاژی برابر ۴۰ کیلوولت قرار گرفتند. برای بررسی نیمه کمی کانی‌ها از سطح زیر پیک استفاده گردید. برای انجام این کار نخست دو نمونه با درصدهای متفاوت کائولینیت، مونت‌موریلونیت و کوارتز خالص تهیه گردید و پس از تیمارهای لازم (مشابه نمونه‌های خاک) پیک آنها به‌وسیله اشعهٔ ایکس گرفته شد. هم‌بستگی هر کدام از کانی‌های خالص با پارامترهای مختلف پراش نگاشت‌های رسم شده به دست آمد که بیشترین هم‌بستگی درصد نسبی کانی‌ها با حاصل ضرب پارامترهای حداکثر نصف پهنای قله (پیک) کامل(Full width half maximum) و مقدار شمارش در واحد زمان (Intensity)(kilo count per second) یا شدت به دست آمد که با نتایج بررسی‌های دیگران مطابقت دارد(۲ و ۱۲). بنابراین، به منظور بررسی‌های نیمه کمّی ، از این پارامترها استفاده شد.

مطالعات میکروسکوپ الکترونی

تعدادی از خاکدانه‌های خاک (کلوخه) و ذرات رسوبات فرسایش یافته بادی در اندازه شن ریز با میکروسکوپ الکترونی روبشی(Scanning electron microscopy) مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های خشک شده بر روی پایه‌های آلومینیومی با چسب کربن نصب و سپس با لایه‌ای از طلا پوشش داده شدند. نمونه‌های تهیه شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل فیلیپس(Philips-XL30) با قدرت بزرگ‌نمایی ۱۲۰۰۰ مورد مطالعه قرار گرفتند. هم‌چنین نمونه‌ها به‌وسیله اسپکتروفتومتر اشعه ایکس (Energy dispersive X-ray analyser) نیز تحت آنالیزهای کیفی قرار گرفته و دیفراکتوگرام‌های مربوطه رسم گردید.

نتایج و بحث

توصیف خاک‌های منطقه

تشریح نیم‌رخ‌های خاک و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها مربوط به سه زمین‌ریخت مورد مطالعه، در جدول ۱ نشان داده شده است. نیم‌رخ A۱ واقع در شانه مخروط افکنه پایکوهی با بافت لوم رسی شنی و افق‌های مشخصه کلسیک و ژیپسیک، در گروه بزرگ تیپیک کلسی ژیپسیدز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

جدول۱. خصوصیات انتخاب شده پنج نیم‌رخ خاک از سه لندفرم متفاوت

افق	عمق cm	رنگ زمینه مرطوب	pH	EC dSm^{-1}	OC %	CaCO3 %	Gypsum %	Sand %	Silt %	Clay %
نیم‌رخ A۱ (مخروط افکنه پایکوهی)										
A	۰–۱۶	7.5YR4/4	۸/۱	۰/۹۵	۰/۳۱	۳۵/۵	۰/۰	۶۶	۱۲	۲۲
Bk	۱۶–۲۹	7.5YR4/6	۷/۹	۱/۹۰	۰/۱۱	۳۷/۵	۴/۴	۵۶	۱۴	۳۰
By	۲۹–۶۹	7.5YR3/4	۷/۷	۴/۰۵	۰/۰۳	۳۵/۵	۹/۴	۶۷	۱۲	۲۱
Byk	۶۹–۱۰۰	7.5YR3/4	۷/۷	۷/۵۸	۰/۰۳	۲۸/۵	۱۳/۵	۶۳	۶	۳۱
نیم‌رخ A ۲ (مخروط افکنه پایکوهی)										
A	۰–۲۲	10YR3/6	۷/۹	۱۳/۳۹	۰/۲۳	۳۶/۵	۰/۰	۷۴	۱۲	۱۴
Btk	۲۲–۴۰	7.5YR4/4	۷/۸	۵/۸۶	۰/۱۱	۳۷/۰	۱/۷	۷۴	۵	۲۱
Btky1	۴۰–۸۳	7.5YR4/4	۸/۰	۱۰/۷۱	۰/۰۳	۲۰/۵	۲۰/۶	۵۰	۲۲	۲۸
Btky2	۸۳–۱۳۰	7.5YR3.5/4	۸/۰	۱۰/۵۱	۰/۰۳	۱۶/۰	۵۳/۸	۶۶	۹	۲۵
Btky3	۱۳۰–۱۷۵	7.5YR4/5	۷/۷	۶/۳۶	۰/۰۱	۱۷/۰	۳۷/۹	۷۰	۵	۲۵
نیم‌رخ PP (دشت دامنه‌ای)										
Apzy	۰–۲۴	7.5YR3.5/4	۷/۶	۵۲/۶	۰/۵۵	۳۱/۰	۷/۴	۱۲	۳۲	۵۶
Bz	۲۴–۶۰	7.5YR4/4	۷/۸	۲۳/۶	۰/۱۹	۲۸/۰	۱/۹	۹	۳۳	۵۸
Bzy1	۶۰–۱۱۴	7.5YR4/4	۷/۹	۲۰/۵	۰/۰۹	۲۵/۵	۵/۴	۱۲	۴۷	۴۱
Bzy2	۱۱۴–۱۵۰	7.5YR4/4	۸/۰	۱۹/۸	۰/۰۶	۲۴/۰	۷/۴	۱۴	۵۰	۳۶
نیم‌رخ T ۱ (پادگانه قدیمی رودخانه زاینده رود)										
Czy	۰–۲۰	7.5YR4/6	۸/۳	۲۱۲/۴	۰/۳۸	۲۲/۰	۲۷/۰	۴۶	۴۴	۱۰
2Bzy	۲۰–۵۰	10YR3.5/6	۸/۴	۵۰/۰	۰/۰۹	۳۲/۵	۷/۲	۱۰	۳۶	۵۴
3Bwb	۵۰-۸۷	10YR4/5	۸/۳	۱۷/۰	۰/۰۹	۳۰/۰	۰/۳	۳	۴۵	۵۲
4Bgb	۸۷–۱۰۲	2.5Y3/2	۸/۴	۹/۳	۰/۷۵	۴۲/۰	۰/۳	۸	۴۹	۴۲
4Bwb1	۱۰۲–۱۴۲	10YR5/4	۸/۳	۸/۳	۰/۱۷	۴۳/۰	۱/۷	۶	۴۷	۴۷
4Bwb2	۱۴۲–۱۷۰	10YR5/4	۸/۳	۱۲/۰	۰/۰۱	۴۲/۵	۰/۰	۱۱	۴۷	۴۲
نیم‌رخ T ۲ (پادگانه قدیمی رودخانه زاینده رود)										
Bz1	۰–۱۸	2.5Y4/3.5	۸/۱	۲۳۸/۷	۰/۵۵	۳۹/۵	۰/۵	۱۳	۶۲	۲۵
Bz2	۱۸–۵۶	2.5Y4/4	۸/۴	۶۷/۷	۰/۳۲	۴۲/۵	۰/۰	۹	۶۳	۲۸
2Bz3	۵۶–۷۴	2.5Y4/2.5	۸/۲	۵۰/۴	۰/۶۲	۴۳/۰	۰/۰	۲	۵۰	۴۸
2Bzg	۷۴–۹۷	2.5Y3/2	۸/۳	۴۶/۳	۱/۴۵	۴۰/۰	۰/۲	۴	۴۴	۵۲
3Bz	۹۷–۱۲۰	2.5Y4/4	۸/۲	۴۱/۱	۰/۴۱	۲۴/۵	۲/۹	۱	۲۵	۷۴
4Bzg	۱۲۰–۱۴۶	2.5Y2.5/1	۸/۰	۳۸/۵	۱/۶۵	۳۰/۰	۰/۴	۳	۲۳	۷۴
4B′z	۱۴۶–۱۶۰	2.5Y4/3	۸/۰	۳۴/۲	۰/۶۱	۱۱/۵	۰/۰	۱	۲۶	۷۳

(Typic Calcigypsids) رده‌بندی می‌شود(۱۸). نیم‌رخ خاک A۲ واقع در انتهای شیب مخروط افکنه با بافت لوم رسی شنی وافق‌های مشخصه کلسیک، ژیپسیک و آرجیلیک، در گروه بزرگ کلسیک آرجی ژیپسیدز (Calcic Argigypsids) قرار می‌گیرد.

دشت دامنه‌ای (pp) دارای خاکی با رنگ قهوه‌ای تیره و بافت رسی تا لوم رسی سیلتی است. این خاک با افق‌های مشخصه سالیک و ژیپسیک در گروه بزرگ ژیپسیک هاپلوسالیدز (GypsicHaplosalids) قرار می‌گیرد. تشکیل افق‌های ژیپسیک و سالیک در قسمت‌های بالایی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

ایـن خـاک نتـیجه صـعود کاپـیلاری آب زیرزمینـی شـور و سدیمی و افزایش رسوبات بادی بر سطح می‌باشد.

خاک‌های واقع بر تراس قدیمی رودخانه‌ای (خاک‌های آبرفتی) با یک توسعه و تکامل کم، خاک‌های جوانی هستند. نیم‌رخ T۱ خاکی است که تحت تأثیر رسوبات بادی قرار گرفته و دارای خاکی عمیق با بافت رس سیلتی و افق‌های مشخصه سالیک، ژیپسیک وکمبیک می‌باشد که در گروه بزرگ ژیپسیک هاپلوسالیدز قرار می‌گیرد. افزایش رسوبات بادی حاوی املاح و گچ به سطح این خاک‌ها، سبب تشکیل افق‌های سالیک و ژیپسیک در قسمت‌های بالایی خاک گردیده است. تصویر۱ تصویر میکروگراف SEM ذرات گچ اضافه شده به سطح این خاک‌ها در اثر فرآیند فرسایش بادی را نشان می‌دهد.

سطح خاک نمیرخ T۲ فاقد هرگونه پوشش گیاهی و افق سطحی آن فرسایش یافته است. این نیم‌رخ دارای خاکی عمیق با بافت رس سیلتی تا رسی و افق مشخصه سالیک می‌باشد و در گروه بزرگ تیپیک هاپلوسالیدز قرار می‌گیرد. تشکیل افق سالیک در این خاک‌ها نتیجه صعود آب کاپیلاری حاصل از آب زیرزمینی شور و سدیمی به سطح و تبخیر آن است. در عمق ۸۷ سانتی‌متری نیم‌رخ T۱ و عمق‌های ۷۴ و ۱۲۰ سانتی‌متری نیم‌رخ T۲ یک لایه گلیی(Gley) دیده می‌شود که دارای رنگ متفاوتی از افق‌های مجاور (جدول ۱)، و نشان دهندهٔ شرایط ماندابی در گذشته است و به تاریخچهٔ پیشین خاک بر می‌گردد. هم‌چنین درصد مواد آلی و تا حدودی درصد رس در این عمق‌ها شکستگی بارزی را نشان می‌دهند که نشان دهنده وجود یک انقطاع سنگی در این لایه‌هاست. گیوی (۵) بیان می‌کند که در حد فاصل بین دوره یخچالی و بین یخچالی، به‌علت افزایش روانآب در نتیجه ذوب یخ‌ها و پایین بودن تبخیر، دریاچه گاوخونی فعلی در منطقه اصفهان گسترش زیادی یافت. در آن زمان، تراس‌های قدیمی رودخانه زاینده‌رود تحت تأثیر پدیده ماندابی(Hydromorphism) قرار داشتند.

تبخیـر آب زیرزمینـی شـور و انـتقال یـون‌هـای سولفات و کلسـیم توسـط روانآب از سازندهای گچی منطقه، باعث شد که گچ در خاک‌های این تراس‌ها رسوب کند. خادمی(۳) نیز معتقد اسـت که منطقه مورد مطالعه در ۱۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ سال پیش در زیـر آب دریاچه گاوخونی وجود داشت که بعداً آب دریاچه به طرف شرق عقب‌نشینی کرده است.

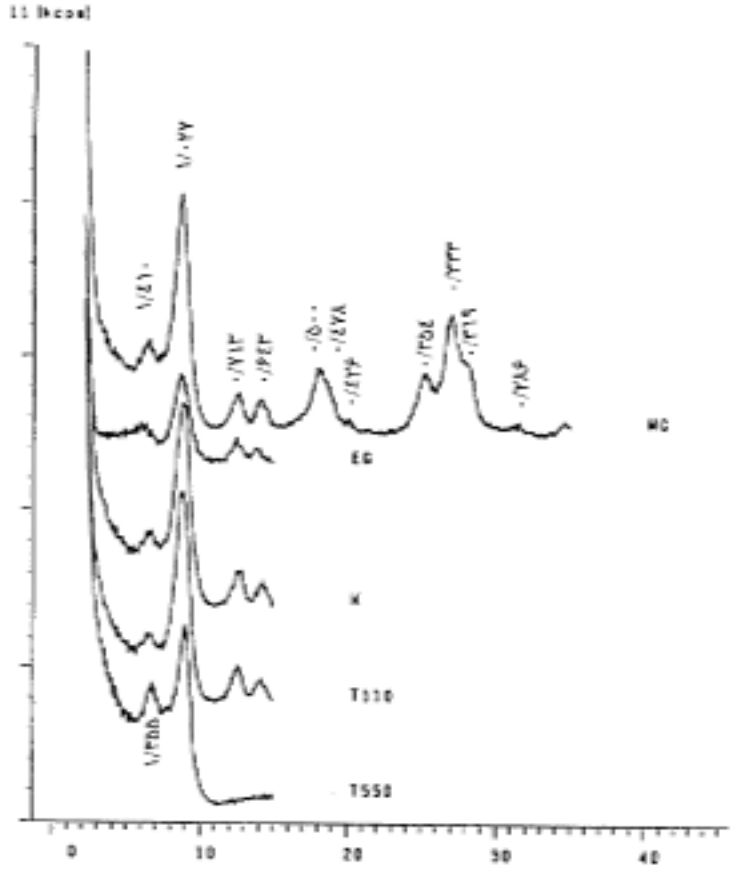
کانی‌های رسی خاک‌های مورد مطالعه

پـراش نگاشت‌های پرتوX (X-ray diffraction Patterns) ذرات رس خـاک شانه شیب مخروط‌افکنه پایکوهی (A۱) نشان دهنده وجـود کانی‌های غالب میکا و پالیگورسکیت در بخش رس ریز و مقادیـر کمتـری ورمـی‌کولـیت، کائولینـیت و کلریت به همراه مقادیـر بسـیار ناچیـزی از کانـی‌هـای مخلـوط نامـنظم (Randomly interstratified layers) کلـریت – ورمـی‌کولیت و فلدسـپار است (شکل ۲). در بخش رس درشت این خاک کانی مـیکا غالب می‌باشد (شکل ۳). مقایسه پراش نگاشت‌های بخش رس درشـت و بخـش رس ریـز این خاک نشان می‌دهد که هر چـه ذرات درشـت‌تـر مـی‌گـردند از مقدار کانی پالیگورسکیت کاسته و بر مقادیر کانی‌های کلریت و کائولینیت افزوده می‌گردد (مقایسـه شـکل‌هـای ۲ و ۳). ضـمن این‌که مقادیر قابل توجهی کوارتـز (قلـه ۰/۳۳۳ نانومتـر) نیـز در بخـش رس درشت دیده مـی‌شـود (شـکل ۳) کـه بـا یافته‌های دیگر محققان نیز مطابقت دارد(۲، ۳، و ۱۲). جـدول ۲ مقادیـر نـیمه کمّـی کانـی‌هـای فـوق‌الذکر را در بخش رس ریز و رس درشت افق‌های مختلف نشان می‌دهد.

در خـاک پایـه شـیب مخـروط‌افکـنه پایکوهـی (A۲)، پالیگورسـکیت بـه‌عـنوان کانـی رسـی غالب در لایه‌های عمقی خـاک می‌باشد. پالیگورسکیت به‌عنوان یک کانی رسی الیافی در بررسـی‌هـای پراش اشعه ایکس یک قله قوی در ناحیه ۱/۰۴ تا ۱/۰۵ نانومتـر دارد(۱۷). ضـخامت بلـور با تغییر رطوبت نسبی، اشـباع بـا کاتیون‌ها و یا افزایش مولکول‌های آلی تغییر نمی‌کند. گـرما دادن کانـی تا درجه حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد باعث متلاشی شدن کانـی می‌گردد(۱۷). در پراش نگاشـت‌های اشـعه ایکـس رس ریـزدانـه تمـامـی افق‌های نیم‌رخ‌های مورد مطالعه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



شکل۲. پراش نگاشت‌های پرتو X ذرات رس ریز افق Byk نیم‌رخ اول مخروط افکنه پایکوهی (A1)

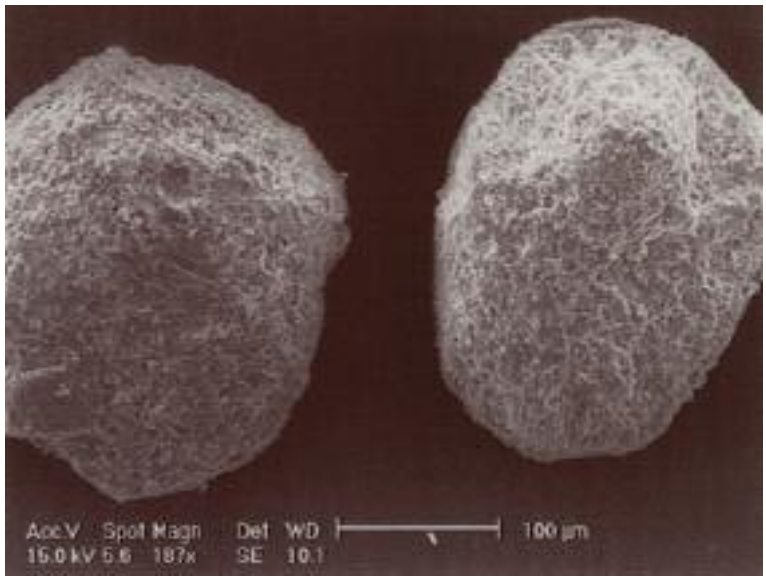
(شکل‌های ۲ ،۷ ، ۸ و ۹) به استثنای افق Apzy دشت دامنه‌ای و اکثر پراش نگاشت‌های رس درشت‌دانه افق‌های نیم‌رخ‌ها (برای مثال، شکل ٤)، در نمونه اشباع با منیزیم (MG) یک قله حدود ۱/۰۵ نانومتر دیده می‌شود که در نمونه تیمار شده با بخار اتیلن گلیکول (EG)، نمونه اشباع شده با پتاسیم (K) و پس از حرارت دادن نمونه به مدت ۲ ساعت در ۱۱۰ ° C (T۱۱۰) تغییری ننموده است ولی پس از حرارت دادن نمونه تا ۵۵۰ ° C (T550)، شدت این پیک کاهش یافته که دلیل بر متلاشی شدن این کانی است. البته پیک ۱/۰ نانومتر باقی مانده در تیمار حرارت ۵۵۰ ° C مربوط به رده اول کانی میکاست. هم‌چنین وجود قله رده دوم این کانی (۰/۶۴ نانومتر) در تیمار اشباع با منیزیم نیز تأییدی بر حضور پالیگورسکیت در این خاک‌ها می‌باشد.

با بررسی پراش نگاشت‌های افق دوم و پنجم نیم‌رخ A۲ مشخص می‌شود که مقدار پالیگورسکیت با عمق افزایش می‌یابد (جدول ۲). به‌طوری که در لایه پنجم، شدت قله ۱/۰۵ نانومتر در تیمار حرارت ۵۵۰ ° C که منجر به حذف پالیگورسکیت گردید تقریباً به کمتر از ۱۵ درصد شدت اولیه می‌رسد(شکل ٤). هم‌چنین در این پراش نگاشت قله‌های ۰/۵۳۹، ۰/۴۲۵ و ۰/۳۲۳ نانومتر مربوط به قله‌های رده‌های بعدی پالیگورسکیت دیده می‌شود که در هیچ‌کدام از پراش نگاشت‌های افق‌های دیگر نیم‌رخ‌های مورد بررسی مشخص نشده است. اینها همه نشان‌دهنده درصد زیاد این کانی در افق‌های عمقی خاک‌های مخروط‌افکنه پایکوهی می‌باشد.

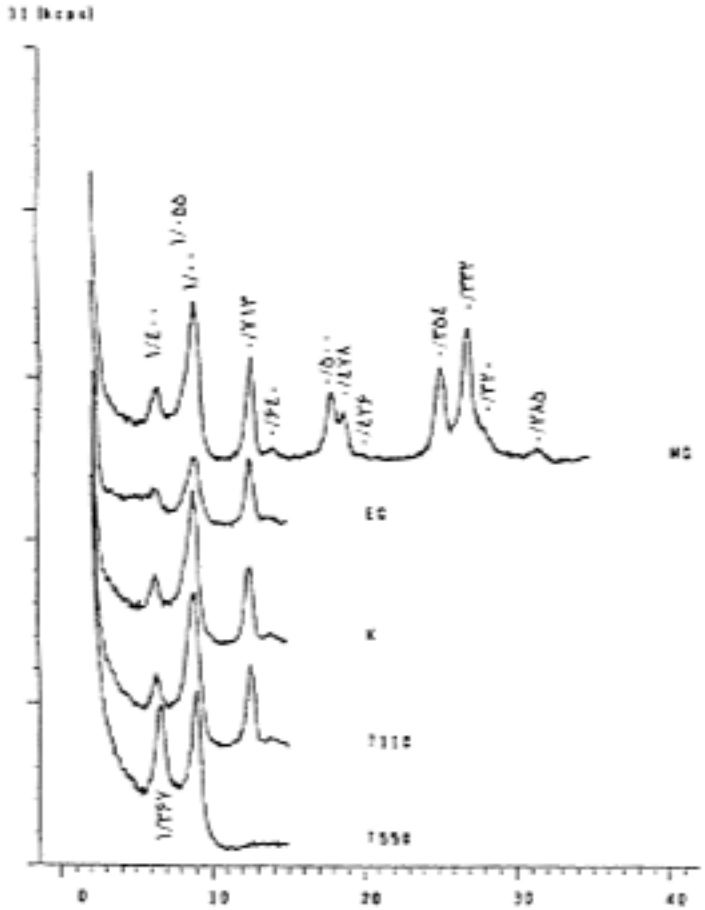
با توجه به توزیع یکنواخت کانی‌های رسی مانند ایلیت، کلریت و کائولینیت در خاک‌های مورد بررسی (جدول ۲)،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



تصویر۱. تصویر میکروگراف SEM از ذرات گچ در اندازه شن ریز که از سطوح قدیمی فرسایش یافته توسط باد حمل و به سطح خاک‌های تراس سیستم قدیم رودخانه زاینده‌رود اضافه شده است.



شکل۳. پراش نگاشت‌های پرتو X ذرات رس درشت افق Byk نیم‌رخ اول مخروط افکنه پایکوهی (A1)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

جدول ۲. مقادیر نسبی (نیمه کمی) کانی‌ها در بخش رس ریز و رس درشت خاک‌های انتخاب شده نیم‌رخ‌های مورد مطالعه از سه لندفرم متفاوت

افق	M	Pl	Sm	Vm	Ch	Ka	M-Sm	Ch-Vm, Ch-Sm	Q
نیم‌رخ A۱ (مخروط افکنه پایکوهی)									
رس ریز (μm ۰/۲>)									
Byk	XXXX**	XXX	-	tr	X	X	-	tr	_
رس درشت (μm ۲-۰/۲)									
A	XXXX	XX	-	tr	XX	XX	-	X	X
By	XXXX	X	-	tr	XX	XX	-	tr	XX
Byk	XXXX	XX	-	tr	XX	XX	-	tr	X
نیم‌رخ A۲ (مخروط افکنه پایکوهی)									
رس ریز (μm ۰/۲ >)									
Btk	XXXX	XX	-	X	X	X	-	X	X
رس درشت (μm ۲-۰/۲)									
A	XXX	X	-	X	XX	XX	-	tr	X
Btk	XXXX	X	-	X	XX	XX	-	X	X
Btky3	XXX	XXXXX	-	tr	X	X	-	tr	X
نیم‌رخ PP (دشت دامنه‌ای)									
رس ریز (μm ۰/۲ >)									
Apzy	XXX	-	XX	-	X	X	tr	X	-
Bz	XXX	X	XXX	X	X	X	tr	X	-
Bzy2	XXXX	XX	X	tr	X	X	-	X	-
رس درشت (μm ۲-۰/۲)									
Apzy	XXXX	-	-	tr	XX	XX	tr	X	X
Bz	XXX	-	-	X	XX	XX	-	X	X
Bzy2	XXXX	tr	X	tr	XX	XX	-	-	X
نیم‌رخ T۱ (پادگانه قدیمی رودخانه زاینده رود)									
رس ریز (μm ۰/۲ >)									
2Bzy	XXX	XXXX	X	-	X	X	X	tr	-
4Bgb	XXX	XXX	X	-	X	X	tr	X	tr
4Bwb2	XXXX	XX	XX	X	X	X	-	-	-
رس درشت (μm ۲-۰/۲)									
Czy	XXX	X	XX	-	XX	XX	tr	X	X
2Bzy	XXXX	X	-	tr	XX	XX	tr	tr	X
4Bgb	XXX	-	tr	-	X	XX	tr	X	X
4Bwb2	XXXX	-	X	tr	XX	XX	-	-	X
نیم‌رخ T۲ (پادگانه قدیمی رودخانه زاینده رود)									
رس ریز (μm ۰/۲ >)									
Bz1	XXX	XXXX	XX	X	tr	X	-	-	-
Bz2	XXX	XXX	XX	X	tr	X	-	-	-
2Bzg	XXX	XX	XXX	X	X	X	-	-	-
$4B'z$	XXX	XX	XXXX	X	tr	X	-	X	-
رس درشت (μm ۲-۰/۲)									
Bz1	XXX	-	-	X	XX	XX	-	tr	X
Bz2	XXX	-	X	X	XX	XX	-	tr	X
2Bzg	XXX	-	X	X	XX	XX	tr	X	X
	XXX	-	X	X	XX	XX	-	X	X

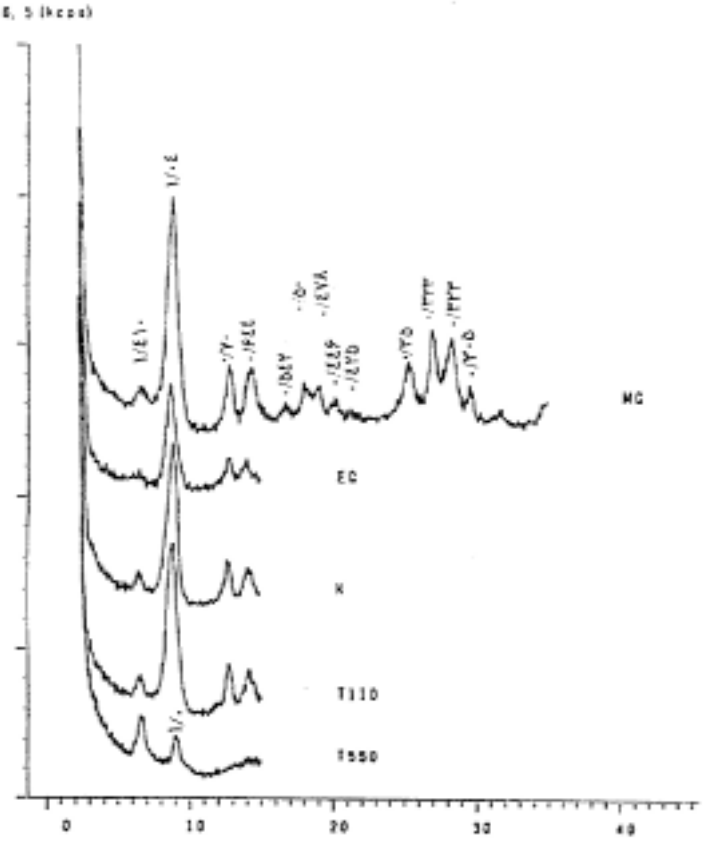
*: M= میکا ، Pl=پالیگورسکایت ، Sm=اسمکتیت، Vm=ورمی‌کولیت، Ch=کلریت ، Ka= کائولینیت ، M-Sm=کانی مختلط نامنظم میکا – اسمکتیت، Ch-Vm =کانی متخلط نامنظم کلریت– ورمی‌کولیت ، Ch-Sm=کانی مختلط نامنظم کلریت – اسمکتیت و Q=کوارتز.

**: کمیت‌های نسبی:

خیلی ناچیز= tr ، ۱۰-۵٪=X ، ۲۰-۱۰٪= XX ، ۳۵-۲۰٪=XXX ، ۵۰-۳۵٪= XXXX ، ۷۰-۵۰٪= XXXXX ، ۷۰٪ <=XXXXXX

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



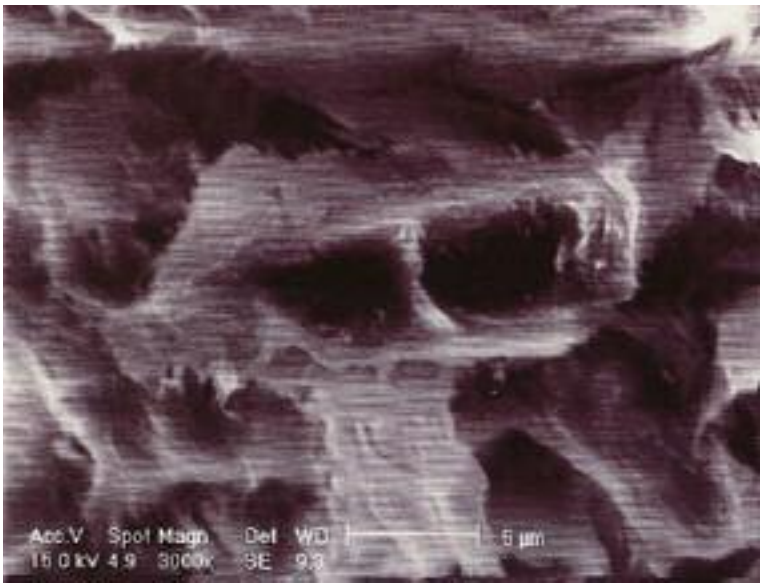
شکل ٤. پراش نگاشت‌های پرتو X ذرات رس درشت افق Btky3 نیم‌رخ دوم مخروط افکنه پایکوهی (A۲)

این کانی‌ها از مواد مادری، به ارث رسیده‌اند ولی پالیگورسکیت تفسیر جداگانه‌ای را می‌طلبد. زیرا اثری از این کانی در رسوبات جوان رویی (افق A) و مواد مادری خاک‌های منطقه دیده نمی‌شود. عدم وجود این کانی در نمونه مواد مادری، مرفولوژی کشیده و بلند فیبرهای پالیگورسکیت (تصویر۲) و تجمع مکان پالیگورسکیت با کربنات کلسیم (تصویر۳- الف) و حضور مقادیر قابل توجهی گچ ثانویه نشان‌دهنده منشأ خاکساز پالیگورسکیت در افق‌های قدیمی این خاک‌هاست. ارتباط نزدیکی بین حضور بلورهای کلسیت و پالیگورسکیت وجود دارد که ناشی از شرایط مناسب برای پایداری این کانی است. همان‌طور که محققین دیگر نیز تأکید کرده‌اند (۱۲) به علت شرایط تبخیر و تشکیل گچ، نسبت بالای Mg/Ca و pH بالا (۱۷) در گذشته شرایط برای تشکیل پالیگورسکیت فراهم بوده است. اقلیم خشک فعلی و همراهی آهک و گچ همراه رس، شرایط را همچنان برای پایداری پالیگورسکیت فراهم کرده است.

به‌طوری که در افق‌های عمقی نیم‌رخ A۲، رشته‌های (کلاف) کانی پالیگورسکیت به‌خوبی شکل‌گرفته و طویل هستند (تصویر۲). این در حالی است که در بخش رس افق‌های سطحی خاک‌های مخروط‌افکنه، خاک‌های تراس‌های قدیمی رودخانه و خاک‌های دشت دامنه‌ای کلاف‌ها کوتاه‌تر و شکسته می‌باشند (۱۲). با وجود این حقیقت که خاک‌های مورد بررسی آهکی و فقط کربنات‌های خاکساز در افق‌های عمقی خاک‌های مخروط‌افکنه‌ای یافت می‌شوند، به‌نظر می‌رسد که سیماهای خاکساز همچون کلکریت‌ها و کلیش‌ها (Calcretes and caliches) توسعه قشر آهکی را در جهتی هدایت می‌کند که به طور مرتب محیط برای تشکیل در جای پالیگورسکیت فراهم شود. تصویر۳- الف نشان می‌دهد که اسپارهای کلسیت (Calcite spars) به‌وسیله کلاف‌های پالیگورسکیت پوشیده شده‌اند و این

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



تصویر۲. تصویر میکروگراف SEM از توزیع رشته‌های پالیگورسکایت در افق Btky3 نیم‌رخ A۲ (مخروط افکنه پایکوهی)



(ب) **(الف)**

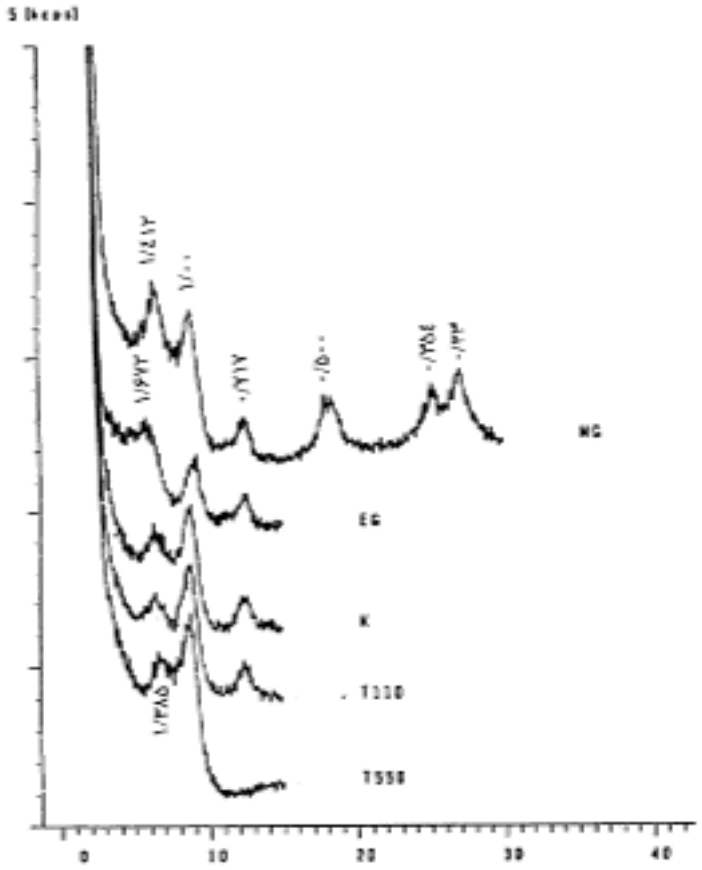
تصویر۳ . تصویرهای میکروگراف SEM به ترتیب از کربنات‌های خاکساز (الف) و گچ خاکساز (ب) مربوط به افق Btky3 نیم‌رخ A۲ (مخروط افکنه پایکوهی)

در حالی است که بلورهای در هم قفل شده و ورقه‌ای گچ با این کلاف‌ها پوشیده نشده‌اند (تصویر۳- ب). هم‌چنین به‌نظر می‌رسد هنگامی‌که کلاف‌های پالیگورسکیت با بلورهای آهک (کلسیت) همراه باشند بهتر حفاظت می‌شوند(۱۲). سینگر (۱۷) یکی از راه‌های تشکیل خاکساز پالیگورسکیت در خاک‌ها را در این ارتباط می‌داند.

در لایه‌های سطحی خاک دشت دامنه‌ای (PP) در بخش رس ریز دانه کانی‌های اسمکتیت و میکا غالب بوده و کانی‌های کلریت- اسمکتیت دیده می‌شود(شکل ۵). در بخش رس درشت دانه وجود مقادیر بیشتری از کانی‌های کلریت و کائولینیت به همراه کوارتز مشاهده می‌گردد. هم‌چنین در این بخش کانی‌های اسمکتیت و پالیگورسکیت حضور ندارند (جدول ۲). قله‌های حد واسط ۱/۰ تا ۱/۴ نانومتر پس از حرارت $550^{\circ}C$ می‌تواند مربوط به کانی‌های مخلوط نامنظم کلریت – اسمکتیت، کلریت- ورمی‌کولیت، کلریت – میکا، میکا – اسمکتیت و حتی رس‌های با هیدروکسید بین لایه‌ای باشد(۷). تشکیل کانی‌های مخلوط نامنظم کلریت- ورمی‌کولیت یا کلریت- اسمکتیت طبیعی به نظر می‌رسد. به‌طوری که در فرآیند هوادیدگی ممکن است لایه‌هایی از هیدروکسید بین لایه‌ای در روند تبدیل کلریت به ورمی‌کولیت یا اسمکتیت باقی مانده باشد که باعث تشکیل رس مختلط گردد(۷). انحراف قله ۱/۴ نانومتر به سمت چپ در تیمار اتیلن گلیکول (انبساط یافتن کانی) نشان‌دهندهٔ عدم وجود کانی کلریت – میکاست.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



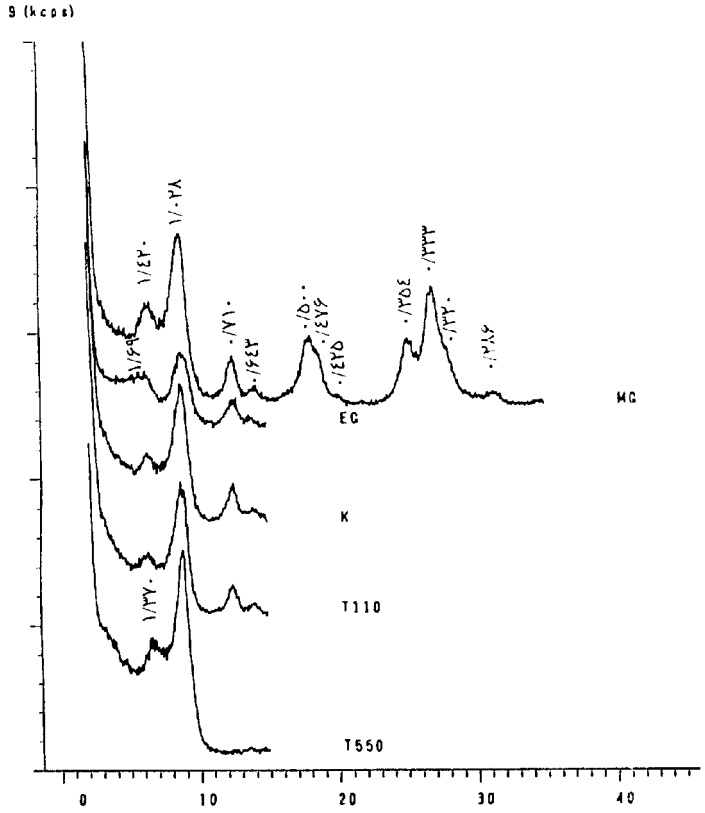
شکل ۵. پراش نگاشت‌های پرتو X ذرات رس ریز افق Bz نیم‌رخ دشت دامنه‌ای (pp)

هم‌چنین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه علی رغم شباهت قله‌های فوق به هیدروکسیدهای بین لایه‌ای از این کانی‌ها هیچ نامی برده نشده است. علت اصلی آن بالا بودن pH خاک‌هاست که برای تشکیل هیدروکسیدهای بین لایه‌ای مساعد نیست. از طرفی کلریت‌های غنی از آلومینیوم و یا کلریت پدوژنیکی عموماً همراه با کانی‌های ورمی‌کولیت یا هیدروکسیدهای بین لایه‌ای اسمکتیت (HIS) و ورمی‌کولیت (HIV) است و به عنوان یک فاز نسبتاً پایدار در خاک‌های به شدت هوازده همچون التی سول‌ها یافت می‌شوند (۷).

با مقایسه شدت قله‌های ۱/۰ و ۱/۴ نانومتر در بخش رس ریز لایه‌های سطحی و لایه‌های عمقی خاک دشت دامنه‌ای می‌توان به این نتیجه دست یافت که با افزایش عمق از مقدار کانی‌های ۱/۴ نانومتر کاسته و بر کانی‌هایی که دارای قله ۱/۰ تا ۱/۰۴ نانومتر می‌باشند افزوده شده است (شکل‌های ۵ و ٦). وجود قله ۱/۶۷ در تیمار EG مربوط به کانی اسمکتیت و باقی ماندن قله ۱/۴ نانومتر در تیمار C ° ۵۵۰ نشان‌دهنده کانی کلریت می‌باشد(شکل٦). از طرفی، پیک ۱/۰ نانومتر در تیمار C ° ۵۵۰ نشان دهنده میکا و افزایش شدت آن نشان‌دهنده تبدیل کانی‌های انبساط پذیر به میکاست و وجود قله ۰/۶۴ نانومتر در تیمار MG، وجود کانی پالیگورسکیت را در لایه‌های عمقی به اثبات می‌رساند(شکل ٦). بنابراین، آنچه مسلم است تقریباً مقادیر کانی‌های کلریت و میکا در طول نیم‌رخ خاک ثابت است (مقایسه شکل‌های ۵ و ٦) و از سطح به عمق از مقدار کانی‌های انبساط پذیر (اسمکتیت) کاسته و بر مقدار کانی پالیگورسکیت افزوده گردیده است. مقایسه قله‌های ۱/۰ و ۱/۴ نانومتر درشکل‌های ۵ و ٦ در دو تیمار اشباع با منیزیم و حرارت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



شکل ٦. پراش نگاشت‌های پرتو X ذرات رس ریز افق Bzy2 نیم‌رخ دشت دامنه‌ای (pp)

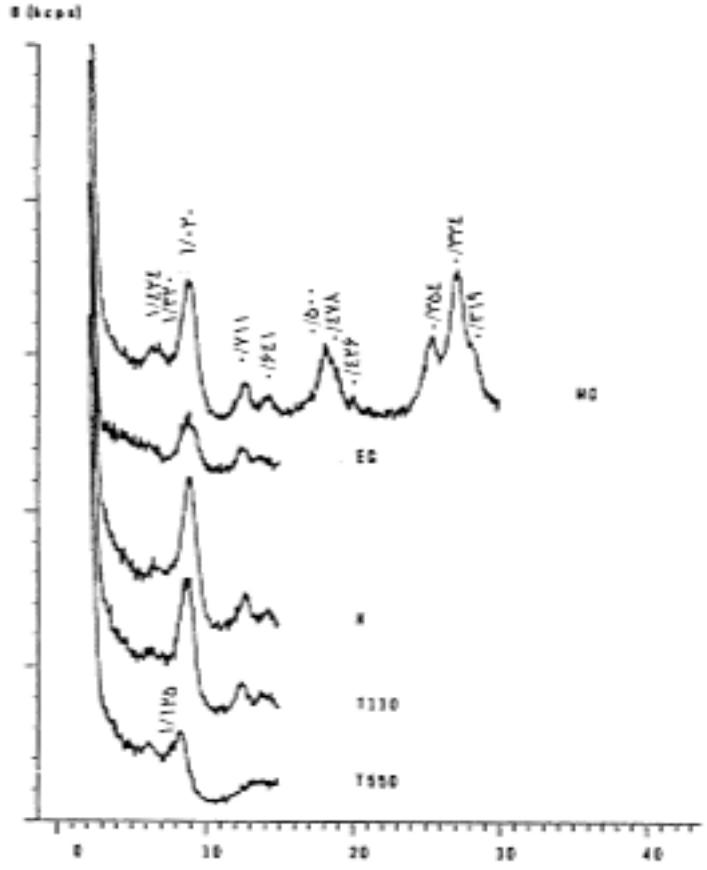
C ° ۵۵۰ نشـان می‌دهد که نسبت این دو قله در دو تیمار فوق در شکل ٦ تقریباً ثابت ولی در شکل ۸ از شدت قله ۱/۴ نانومتر کاسـته و بـر شـدت قلـه ۱/۰ نانومتـر افـزوده شـده اسـت کـه نشـان‌دهـنده تـبدیل کانی‌های انبساط پذیر به کانی ایلیت تحت ایـن تـیمار مـی‌باشـد. بنابراین افزایش اسمکتیت در سطح ثابت مـی‌گردد که با توجه به شرایط خاک که سطح آب زیرزمینی در گذشـته‌ای نـه چـندان دور بالا بوده و از سطح به عمق وضعیت زه‌کشـی خـاک ضـعیف‌تـر مـی‌باشـد، از عمـق بـه سطح تبدیل پالیگورسـکیت بـه اسمکتیت محتمل می‌باشد. با توجه به این‌که مقـدار پالیگورسـکیت در سطح کمتر از لایه‌های عمقی می‌باشد بـه اعـتقاد بسـیاری از محققـین پالیگورسـکیت در اثـر فـرآیند هوادیدگی به اسمکتیت تبدیل شده است (۸).

پراش نگاشت‌های بخش‌رس‌درشت نمونه‌های اشباع‌شده با پتاسیم در حرارت C ° ۵۵۰ نشان می‌دهند که شدت قله ۱/۴ نانومتر افزایش یافته است(شکل‌های ۳ و ٤). به عقیده بسیاری از محققین شدت قله رده اول کلریت در نمونه اشباع با پتاسیم و حرارت C ° ۵۵۰ افزایش می‌یابد(۷). افزایش شدت قله رده اول کلریت نشان دهنده تری اکتاهدرال بودن این کانی است که به اعتقاد برخی از محققین کلریت‌های دی‌اکتاهدرال که غنی از آهن نباشند، معمولاً افزایش شدت پیک رده اول را بعد از حرارت C ° ۵۵۰ نشان نمی‌دهند(۷).

پراش نگاشت‌های بخش رس لایه‌های سطحی خاک نیم‌رخ اول تراس قدیمی رودخانه‌ای (T1) نشان‌دهنده وجود کانی‌های غالب پالیگورسکیت و میکا در بخش رس ریز و مقادیر کمتر کانی‌های اسمکتیت، کلریت، کائولینیت و کانی مختلط نامنظم میکا- اسمکتیت است (شکل ۷). در بخش رس درشت این لایه‌ها کانی میکا غالب می‌باشد ومقدار کانی‌های کلریت و کائولینیت افزایش یافته است. شدت قله‌های مربوط به پالیگورسکیت در بخش رس ریز با افزایش عمق کاسته شده است. این رونـد هـم‌چـنین در بخـش رس درشـت نیـز دیـده

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



شکل۷. پراش نگاشت‌های پوتو X ذرات رسی ریز افق 2Bzy نیمرخ اول تراس قدیمی رودخانه (T1)

می‌شود (جدول ۲). علت این امر را می‌توان به افزایش رسوبات بادی شور و حاوی گچ به سطح این خاک و یا تبدیل پالیگورسکیت به اسمکتیت در لایه‌های عمقی خاک نسبت داد.

در قسمت شمال و شمال غرب تراس‌های قدیمی رودخانه‌ای، زمین‌ریخت سطوح قدیمی فرسایش یافته (فلات) (Plateau) گستردگی دارد. عموماً این زمین‌ها، بین مخروط‌افکنه‌های پایکوهی و تراس قدیمی رودخانه واقع شده‌اند. نیم‌رخ خاک این سطوح حاوی سنگ‌ریزه بسیار زیاد و به شدت گچی و پالیگورسکیت کانی غالب بخش رس در لایه‌های سطحی و عمقی خاک است(۱۲). متأسفانه در چند دهه اخیر، برداشت نادرست و زیاد گچ و تخریب لایه سطحی (سنگفرش بیابان) (Desert pavement) این اراضی سبب تشدید فرسایش بادی در منطقه و برداشت و حمل ذرات حاوی گچ و ترسیب آنها بر روی سطوح اراضی تراس قدیمی رودخانه شده است. بنابراین، افزایش پالیگورسکیت در سطح این خاک‌ها را می‌توان به اضافه شدن رسوبات بادی حاوی مقادیر زیاد پالیگورسکیت به سطح این خاک‌ها نسبت داد (تصویر۱). وجود پالیگورسکیت در بیشتر خاک‌های عربستان صعودی و به‌خصوص خاک‌های واقع در نواحی مرکزی و غربی این کشور، به انتقال این کانی‌ها از رسوبات ترشیاری توسط بادهای غربی نسبت داده شده است(۱۷).

در اغلب خاک‌ها و رسوبات، اسمکتیت و پالیگورسکیت همراه می‌باشند و این درحالی است که معمولاً اسمکتیت نسبت به پالیگورسکیت، آلومینیوم بیشتری دارد(۱۷). هم‌چنین مطالعات روابط پایداری و انرژی آزاد تشکیل کانی‌ها نشان می‌دهند که تشکیل پالیگورسکیت با افزایش در هر کدام از غلظت‌های Mg^{2+}، H_4SiO_4 و یا افزایش pH نسبت به اسمکتیت ترجیح داده می‌شود(۱۷). بنابراین، افزایش بخشی از

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

اسـمکتیت در مقایسه با کاهش پالیگورسکیت با عمق در نیم‌رخ اول تـراس قدیمـی (T۱) به تشکیل اسمکتیت از پالیگورسکیت نسـبت داده می‌شود که با نتایج محققان دیگر (۱۲و۱۷) مطابقت دارد.

نـیم‌رخ دوم تـراس سیسـتم قـدیم رودخانه‌ای (T۲) از نظر کیفـی دارای کانـی‌شناسی مشابهی با نیم‌رخ اول (T۱) بوده و از نظـر کمّـی مقدار اسمکتیت با ضعیف‌تر شدن وضعیت زهکشی خـاک (افـزایش عمق خاک) مقدار قابل توجهی افزایش و کانی پالیگورسـکیت کـاهش نشـان مـی‌دهـد کـه این مسئله می‌تواند احـتمالاً دلیلی بر خود تشکیلی بخشی از کانی اسمکتیت در این خـاک باشـد (شـکل‌هـای ۸ و۹). علاوه بر این، کانی کلریت در بخـش رس ریـز ایـن خاک‌ها بسیار ناچیز می‌باشد. به‌طوری که عمـلاً قلـه ۱/۴ نانومتـر در حـرارت $550^{\circ}C$ از بـین رفـته اسـت(شـکل۸). مقایسـه پـراش نگاشـت‌هـای رس ریز و رس درشـت لایـه‌هـای ایـن خـاک نشـان می‌دهد که مقادیر کلریت، کائولینیت به همراه کوارتز در بخش رس درشت افزایش یافته و در عـوض مقـدار قابـل توجهـی کانـی‌هـای اسـمکتیت، پالیگورسـکیت و فلدسـپارها کاهش یافته است. این نتایج نشان مـی‌دهـد که کانی‌های کائولینیت و کلریت عمدتاً در بخش رس درشت می‌باشد که با یافته‌های دیگران (۱، ۲، ۳، و ۱۲) مطابقت دارد.

مقایسه کانی‌های رسی در زمین‌ریخت‌های مختلف

کانـی پالیگورسـکیت در بخـش رس خـاک‌های عمقی مخروط افکنه و خاک‌های سطحی تراس قدیمی رودخانه غالب می‌باشد. بـه نظـر مـی‌رسـد کـه ایـن کانـی با افزایش عمق در خاک‌های مخـروط افکنه افزایش، در خاک‌های تراس قدیمی کاهش و در خـاک دشـت دامـنه‌ای کمـی افـزایش مـی‌یابـد که به ترتیب به تشـکیل خاکسـاز کانـی، افـزایش آن بـه سـطح خـاک به‌وسیله فـرآیندهای فرسـایش بـادی و هوادیدگـی پالیگورسکیت نسبت داده مـی‌شـود. کانـی‌هـای میکا، کلریت، کوارتز و کائولینیت در تمـام لایـه‌هـای نـیم‌رخ‌هـای خـاک‌هـای مـورد مطالعـه در زمـین‌ریخـت‌هـای مخـتلف یافت می‌شوند. حضور گسترده این کانـی‌هـا نشـان دهـنده فراوانـی زیـاد آنها در سنگ‌های رسوبی مـنطقه و پایـداری نسـبی در محـیط‌هـای خشک است که رژیم غالب منطقه است. کانی‌های قابل انبساط با تراکم بار لایه‌ای کم (اسـمکتیت) و بـار لایـه‌ای زیـاد (ورمـی‌کولـیت) معمـولاً در خـاک‌هـای مخروط افکنه‌ای موجود نیستند ولی در خاک دشت دامـنه‌ای بـا عمـق کـاهش در صـورتی که در خاک‌های تراس سیسـتم قـدیم رودخانـه‌ای با عمق افزایش نشان می‌دهند که به وضـعیت زه‌کشـی خاک‌ها نسبت داده می‌شود. کانی‌های مختلط نامـنظم کلـریت- ورمـی کولیت و کلریت – اسمکتیت به مقدار اندکی در تمامی نیم‌رخ‌ها (به‌خصوص دشت دامنه‌ای) تشخیص داده مـی‌شـود. در صـورتی کـه کانـی مخلـوط نامـنظم مـیکا- اسـمکتیت فقـط بـه مقـدار ناچیـز در خـاک‌های دشت دامـنه‌ای و نـیم‌رخ اول تـراس قدیمی (T۱) تشخیص داده شده است (جدول ۲).

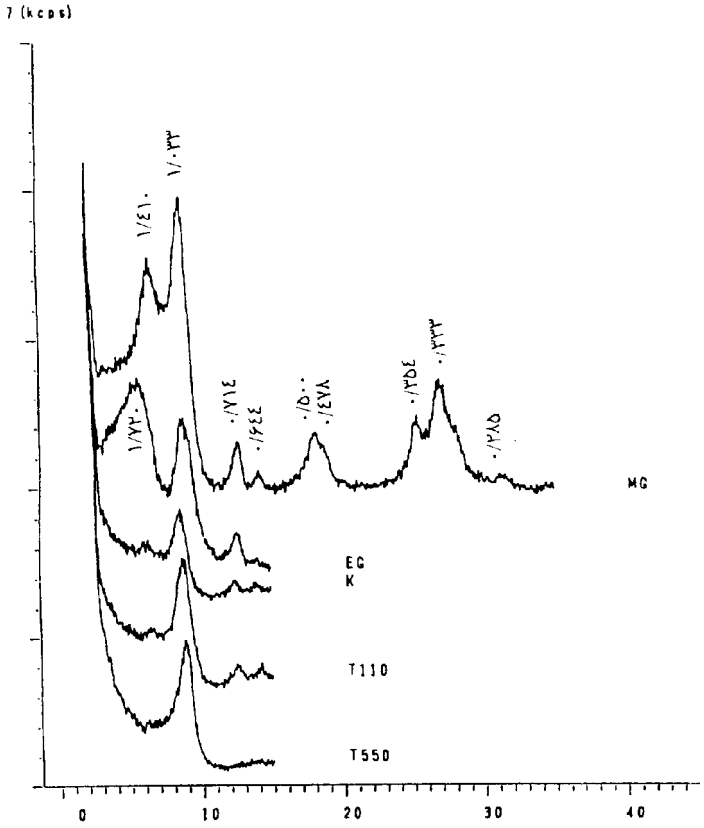
منشأ کانی‌های رسی خاک‌ها

خادمی(۱۲) سنگ‌های سازندهای غالب منطقه شامل سازند K4 (کرتاسه پائینی) متشکل از سنگ‌های آهکی خاکستری با فسیل‌های اوربیتولین و آمونیت(Orbitulina and ammonite)، K2 (کرتاسه پائینی) متشکل از کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز،J (ژوراسیک) متشکل از شیل با فسیل‌های آمونیتی و OM (الیگو- میوسن) متشکل از سنگ آهک با فسیل‌های فورآمینیفرا (Foraminiferal limestone) را کانی‌شناسی نمود و نتایج این پژوهش در جدول۳ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج کانی‌شناسی سازندهای زمین‌شناسی منطقه و نیم‌رخ‌های مورد مطالعه می‌توان به نتایج زیر دست یافت که:

کانی میکا به مقدار نسبتاً زیاد و کانی‌های کلریت، کائولینیت و کوارتز به مقدار کمتر در خاک‌ها و سنگ‌های منطقه وجود دارد. با توجه به این‌که کانی‌های کوارتز، میکا و کلریت اصولاً کانی‌های اولیه و از مواد مادری به ارث می‌رسند و تشکیل خاکسـاز کائولینیت در شرایـط گرم و مرطوب امکان‌پذیر است،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



شکل ۸ . پراش نگاشت‌های پرتو X ذرات رس ریز افق 2Bz1 نیم‌رخ دوم تراس قدیمی رودخانه (T۲)

جدول ۳. مقادیر نسبی کانی‌های رسی مختلف در بخش رس مواد فاقد آهک نمونه‌های سنگ سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه *
اقتباس از منبع (۱۲)

سازند	M	Pl	Sp	Ch	Ka	Sm	Q
K4	XXXXXX**	tr	-	X	X	-	X
K2***	XXXXXX	-	-	-	-	-	Tr
J	XXXX	tr	-	X	XXX	-	X
OM	XXX	XXXX	X	-	-	XX	-

* : M= میکا ، Pl=پالیگورسکایت ، Sp=سپیولیت ، Ch=کلریت ، Ka= کائولینیت ، Sm= اسمکتیت ، Q=کوارتز.

** : مقادیر نسبی : خیلی ناچیز= tr ، ۱۰-۵٪=X ، ۲۰-۱۰٪= XX ، ۳۵-۲۰٪=XXX ، ۵۰-۳۵٪= XXXX ، ۷۰-۵۰٪= XXXXX ، ٪۷۰ <=XXXXXX

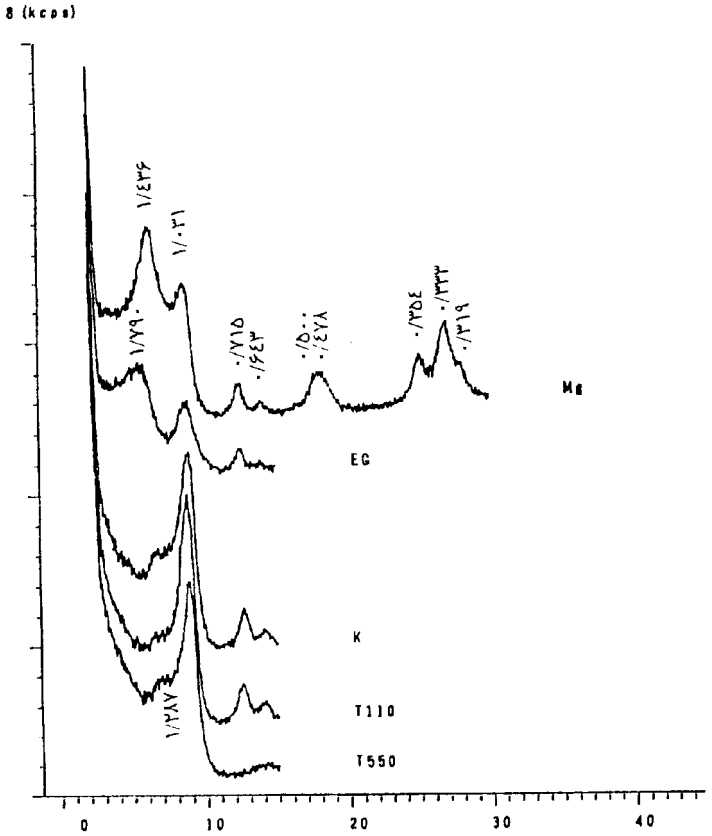
*** : تقریباً میکای خالص

بنابراین، وجود این کانی‌ها در خاک‌ها به مواد مادری نسبت داده می‌شود. از طرف دیگر، توزیع یکنواخت این کانی‌ها در زمین‌ریخت‌های مختلف و عدم تغییر در طول نیم‌رخ‌های خاک، خود نشان‌دهندهٔ منشأ توارثی این کانی‌هاست.

منشأ کانی‌های قابل انبساط مخصوصاً اسمکتیت در این خاک‌ها می‌تواند چندگانه باشد که عبارت اند از: ۱- با توجه به وجود مقدار قابل توجه اسمکتیت در سازندهای آهکی الیگو-میوسن می‌توان بخشی از اسمکتیت موجود در این خاک‌ها (تراس قدیمی رودخانه و دشت دامنه‌ای) را به ارث رسیده از مواد مادری دانست. ۲- با وجود مقادیر ناچیزی از کانی مختلط میکا- اسمکتیت در نیم‌رخ‌های PP و T۱ بخشی از اسمکتیت را به هوادیدگی میکا می‌توان نسبت داد. ۳- با توجه به این‌که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]



شکل ۹. پراش نگاشت‌های پرتو X ذرات رس درشت افق 3B′z نیم‌رخ دوم تراس قدیمی رودخانه (T۲)

مقدار این کانی با وضعیت زه‌کشی خاک‌ها در ارتباط می‌باشد، به‌طوری که در نیم‌رخ‌های T۱ و T۲ با افزایش عمق وضعیت زه‌کشی ضعیف و در اثر تبخیر آب زیرزمینی تغلیظ می‌گردد، تشکیل اسمکتیت به‌صورت اتوژنیک در این خاک‌ها پیشنهاد می‌شود. ۴- افزایش بخشی از اسمکتیت در مقایسه با کاهش پالیگورسکیت در نیم‌رخ‌های PP، T۱ و T۲ را می‌توان به تشکیل اسمکتیت حاصل از هوادیدگی پالیگورسکیت نسبت داد. منشأ چند گانه اسمکتیت به وضعیت متفاوت خاک‌ها بر زمین‌ریخت‌های مختلف و شرایط زه‌کشی خاک‌ها نسبت داده می‌شود.

در مورد منشأ کانی پالیگورسکیت در خاک‌های مورد مطالعه، با توجه به توزیع الگوی این کانی در زمین‌ریخت‌های مختلف و تغییرات آن از سطح به عمق در یک نیم‌رخ خاک می‌توان نتیجه‌گیری نمود که بخشی از پالیگورسکیت از مواد مادری به ارث رسیده است، زیرا در سازند آهکی الیگو- میوسن این کانی رسی موجود و غالب می‌باشد و بخشی از آن در خاک‌ها تشکیل شده است که در زیر به آن اشاره می‌شود:

۱. تشکیل خاکساز (پدوژنیک) این کانی می‌تواند به تاریخچه گذشته منطقه مرتبط باشد. در دوران کرتاسه، دریای عمیق تتیس فلات ایران را در بر گرفته و آب‌های عمیق محیط مناسبی برای تشکیل کانی‌های الیافی نبوده است (عدم حضور آشکار این کانی‌ها در سازندهای k4، k2 و J). حرکات کوهزایی اواخر کرتاسه سبب جدایی دریای تتیس از آب‌های آزاد گردید و در طول دوره ترشیاری دریاچه‌های شور و کم عمق فلات ایران را در برگرفته که از نظر شیمیایی محیط مناسبی برای تشکیل کانی‌های رسی سیلیکاتی الیافی بوده است. احتمالاً در اواخر دوره ترشیاری شرایط لاگونی در حوزه مورد مطالعه غالب گردید و به‌تدریج به‌وسیله مخروط‌افکنه‌های پایکوهی از اطراف احاطه شد. این شرایط سبب تشکیل گچ و افزایش نسبت $\frac{Mg}{Ca}$ گردید(۱۲). تحت چنین شرایط تبخیری، خود

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

تشکیلی پالیگورسکیت صورت گرفته است که بخش زیادی از پالیگورسکیت موجود در خاک‌های مخروط افکنه را شامل می‌شود. بدین ترتیب، همانند گچ بخش زیادی از پالیگورسکیت در این خاک‌ها منشأ پدوژنیک دارد.

۲. وجود مقادیر زیاد پالیگورسکیت در لایه‌های سطحی خاک تراس قدیمی (T1) به انتقال این کانی از سطوح قدیمی فرسایش یافته (فلات‌ها) به‌وسیله فرآیندهای فرسایش بادی نسبت داده می‌شود.

۳. با توجه به این‌که رسوبات تراس قدیمی رودخانه زاینده رود از نوع آبرفتی است و در طی سالیان متوالی از بخش‌های مختلف حوزه آبخیز رودخانه به این منطقه حمل شده‌اند و حوزه آبخیز رودخانه متشکل از رسوبات متنوعی است که بعضی از آنها شامل مقادیر زیادی پالیگورسکیت هستند(۱۲). بنابراین، قسمت اعظم پالیگورسکیت موجود در این خاک‌ها به انتقال آن توسط فرآیندهای آبرفتی از قسمت‌های بالادست حوزه نسبت داده می‌شود ودارای منشأ آواری است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری آزمایشگاه کانی‌شناسی رس گروه خاک‌شناسی و آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان، در انجام آنالیز نمونه‌ها تشکر می‌نماییم.

منابع مورد استفاده

۱. ابطحی، ع. و م. صلحی. ۱۳۷۱. تأثیر پستی و بلندی و زمان در تشکیل خاک با مواد مادری خیلی آهکی در تحت شرایط نیمه خشک منطقه باجگاه. گزیده مقالات ارائه شده در سومین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه تهران، کرج.

۲. ترابی گل سفیدی، ح.، م. کریمیان اقبال، ج. گیوی و ح. خادمی. ۱۳۸۰. مطالعه کانی‌های رسی در اراضی شالیکاری روی زمین‌ریخت‌های مختلف شرق گیلان. مجله علوم خاک و آب ۱۵ (۱): ۱۲۲-۱۳۹.

۳. خادمی موغاری، ح. ۱۳۶۸. مطالعه تکوین و شناسایی کانی‌های رسی خاک‌های منطقه رودشت اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

٤. قبادیان، ع. ا. ۱۳۶۹. *سیمای فلات ایران*. انتشارات دانشگاه شهید باهنر، کرمان.

۵. گیوی، ج. و ج. استوپز. ۱۳۷۸. آثاری از تغییر آب و هوای دیرینه در خاک‌های ایران. دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواسناشی کشور، تهران.

6. Allen, B. L. and B. F. Hajek. 1989. Mineral occurrence in soil environments. PP. 199-278. *In*: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), Minerals in Soil Environments. SSSA, Madison, WI.
7. Barnhisel, R. I. and P. M. Bertsch. 1989. Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite.PP. 729-788. *In*: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), Minerals in Soil Environments. Madison, WI.
8. Borchardt, C. 1989. Smectite.PP. 675-728. *In*: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), Minerals In Soil Environments. SSSA, Madison, WI.
9. Brady, N. C. 1990. The Nature and Properties of Soils. 10th ed., Macmillan Publishing Company.
10. Buol, S. W., F. D. Hole and R. J. Mccracken. 1989. Soil Genesis and Classification. 3th ed., Iowa State University Press Ames, Iowa 50010. 446 pp.
11. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-412. *In*: K. Arnold (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods. Madison, WI.
12. Khademi, H. and A. R. Mermut. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous aridisols and associated sediments from central Iran. Clay Minerals 33: 561-578.
13. Kittric, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. Soil Sci. 96: 319-325.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]

14. Krinsley, D. B. 1970. A Geomorphological and Paleoclimatological Study of the Playas of Iran. Geological survey, US Department of Interior. Washington D.C.
15. Moore, D. M. and R. C. Reynolds. 1989. X-ray Diffraction and The Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford, New York.
16. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter.PP. 539-577. *In*: A. L. Page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed., Agron. Monogr. No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
17. Singer, A. 1989. Palygorskite and sepiolite group minerals .PP. 829-872. *In*: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), Minerals in soil environments. SSSA, Madison, WI.
18. Soil Survey Staff. 1998. Keys to Soil Taxonomy. 6th ed., USDA, SCS, Washington D.C.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.7.3]