

**Identification and genesis of clay minerals in two
paleosols from Sepahanshahr(Isfahan) and
Emam_Gheis (Chahrmahal _Bakhtiari)**

Ayoubi, Sh.

Soil Science Dep., College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Jalalian, A., Eghbal, M.K., Khademi, H.

Soil Science Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Rouzitalab, M.H.

*Research, Education and Propagation Organization, Ministry of
Jaghade _Agriculture*

Key words: *Clay minerals, Paleosols, X-ray Diffraction, Infrared,
Electron microscope.*

Abstract: Existence and frequency of clay minerals is useful for reconstruction of paleoenvironment, because each mineral is formed and stabilized in special condition. The objective of this study was to identify clay minerals and their genesis in two paleosols from Isfahan and Charmahal-Bakhtiari. Through field observations and physico-chemical analysis, some horizons in these soils were selected for mineralogical studies. Soil and parent material samples were analyzed by XRD after necessary pretreatments. A few of samples were studied by scanning electron microscope and infrared spectrometer. The results indicate that mineralogical composition in surface horizon of Sepahanshahr profile is similar to parent material, whereas in the underlying paleohorizons palygorskite predominates. Lack of palygorskite in parent material on one hand and elongated shape of this mineral accompanied by calcite and gypsum in the paleohorizons on the other hand show that, it has formed pedogenically. In the soil surface of Emam_Gheis soil, the composition of clay minerals is also similar to parent material, but chlorite has been converted to vermiculite and subsequently to smectite, due to relatively high precipitation in this area. Presence of high amount of smectite in buried paleosol of Emam_Gheis probably indicates moister regime in the past.

پژوهشی

شناسائی و بررسی چگونگی تشکیل کانیهای رسی در دو پارینه خاک منطقه سپاهان شهر اصفهان و امام قیس چهار محال و بختیاری

شمس الله ایوبی، احمد جلالیان، مصطفی کریمیان اقبال، حسین خادمی

دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

محمد حسن روزیطلب

عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

(دریافت مقاله ۸۱/۲/۱۵ دریافت نسخه نهایی ۸۱/۷/۲۲)

چکیده: در بازسازی شرایط گذشته، کانی شناسی پارینه خاکها یکی از ابزارهای مفیدی است که شرایط محیطی گذشته را نشان می دهد. این کار پژوهشی برای شناسائی کانیهای رسی به روشهای مختلف و نحوه تشکیل این کانیه در دو پارینه خاک منطقه اصفهان و چهار محال و بختیاری انجام شده است. پس از مطالعات صحرایی و نمونه برداری از افقهای مختلف هر دو خاک، و انجام آنالیزهای فیزیکوشیمیائی، تعدادی از افقها برای انجام آنالیزهای کانی شناسی انتخاب شدند. نمونه هائی از مواد مادری و نمونه های خاک پس از آماده سازی و پیش تیمارهای لازم با پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی و پرتو فروسرخ مورد مطالعه واقع شدند. نتایج نشان می دهد که افق سطحی خاک منطقه سپاهان شهر، دارای ترکیبی مشابه با مواد مادری است و اثری از پالی گورسکیت در آن دیده نمی شود، در حالیکه بخش قابل توجهی از کانیه در افقهای قدیمی این خاک را پالی گورسکیت تشکیل می دهد. عدم وجود این کانی در مواد مادری، فرم کشیده آن و همراه بودن آن با کربنات، کلسیم، و گچ ثانویه، نشان دهنده منشا خاکزایی این کانی است. در نیمرخ امام قیس نیز در افقهای سطحی ترکیب کانیه به مواد مادری نزدیک است، ولی به علت بارندگی نسبتاً زیاد، در حال حاضر کلریت به ورمیکولیت و با شدت کمتری به اسمکتیت تبدیل شده است.

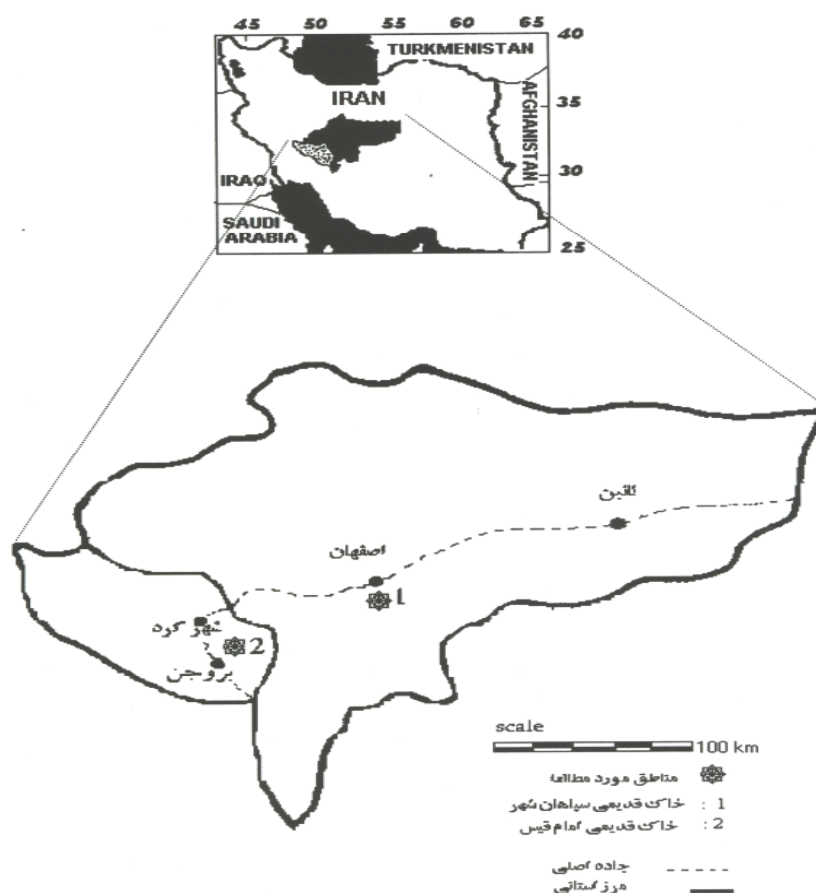
واژه های کلیدی: کانیهاس رسی، پارینه خاک، پراش پرتو ایکس، پرتو فروسرخ، میکروسکوپ الکترونی.

مقدمه

مطالعه شرایط اقلیم‌شناسی گذشته بر اساس شواهد مختلف نظیر پارینه خاکها (paleosol) نقش مهمی در برآورد نوسانهای آن در آینده و تصمیم‌گیریهای کشاورزی و زیست محیطی دارد. پارینه خاکها شامل خاکهایی است که در شرایط متفاوت از شرایط فعلی تشکیل شده، در رسوبهای جدیدتری مدفون شده‌اند، و یا در برابر تغییرات سطحی و شرایط خارجی ایستادگی کرده‌اند [۱]. خاک‌های مدفون شده بر حسب این که چه مدت تحت تاثیر چه نوع اکوسیستمی قرار گرفته‌اند، دارای درجات تکامل متفاوتی هستند.

در راستای بازسازی شرایط گذشته یکی از ابزارهای مفید در مطالعه پارینه خاکها کانی‌شناسی این خاکها است، زیرا وجود کانی مشخصی در خاک بازگوکننده شرایط محیطی گذشته منطقه است. هر کانی در شرایط شیمیایی خاص پایدار است و با توجه به حضور کانی می‌توان شرایط تشکیل آن را بازسازی کرد. پژوهشگران مختلفی با استفاده از کانی‌شناسی پارینه خاکها، شرایط گذشته را بازسازی کرده‌اند. هوگان و بیتی [۲] ضمن مطالعه پارینه خاکها مدفون در لس‌ها، با مطالعات پراش پرتو ایکس نشان دادند که افق‌های مدفون شده دارای کانیهای هوازده بیشتری نظیر مونت موریلونیت، ورمیکولایت و کائولینیت نسبت به لس بالائی هستند. میشل [۳] در بررسی کانی‌شناسی افق‌های مدفون شده قدیمی به این نتیجه رسید که افق آرچلیک قدیمی (Bt_b) نسبت به افق آرچلیک جوانتر (Bt) کائولینیت بیشتر واسمکتیت کمتری دارد، که این موضوع نشان‌دهنده این است که پارینه خاکها تحت تاثیر شرایط مرطوبتر و هوازدگی بیشتری قرار داشته‌اند. ترمکلدی و همکاران [۴] در پارینه خاکها ایندیانای آمریکا که در لس دفن شده‌اند، نشان دادند که در افق Bt مدفون شده نسبت به لایه لس، مقدار کائولینیت افزایش و مقدار اسمکتیت کاهش یافته است. سان جوری جو و همکاران [۵] در خاکزائیهای چندگانه اسپانیا، پارینه خاکها مدفون شده‌ای را مورد مطالعه قرار دادند که دارای کانیهای حد واسط اسمکتیت-کائولینیت و مقدار ناچیز گیبسیت بوده و در خاکهای جوانتری مدفون شده‌اند، و دارای مقدار گیبسیت و اکسی هیدروکسیدهای آهن نظیر ماگهمایت هستند. آنها ضمن مطالعه این روند، نشان دادند که خاکهای قدیمی‌تر

در شرایط خشک‌تری نسبت به خاکهای جوان، تکامل یافته‌اند. وانگ و همکاران [۶] با مطالعه پارینه خاکها تایوان نشان دادند که ناهمگونی ترکیب کانیها در نیمرخ پارینه خاک پنگو نشان‌دهنده شرایط خاکزایی چندگانه این خاکهاست. خادمی و مرموت [۷] در پارینه خاکهای منطقه اصفهان نشان دادند که پالی گورسکیت در شرایط قدیمی که فلات مرکزی ایران دارای لاگون‌هایی بوده است، تشکیل شده است. هدف از این مطالعه شناسایی کانیهای رسی دو پارینه خاک در منطقه سپاهان شهر اصفهان و امام قیس چهار محال و بختیاری جهت تفسیر شرایط خاکسازی و تشکیل کانیهای مختلف و بازسازی شرایط خاکسازی گذشته این دو منطقه است.



شکل ۱ موقعیت جغرافیائی خاکهای مورد مطالعه.

مواد مورد استفاده و روشهای کاری

پارینه خاکهای مورد مطالعه در دو منطقه اقلیمی متفاوت، شامل اصفهان و امام‌قیس چهارمحال و بختیاری روی لندفرمهای مختلف قرار گرفته‌اند. پارینه‌خاک مورد مطالعه در اصفهان در دامنه‌های جنوبی رشته کوه صفه اصفهان در ناحیه سپاهان‌شهر، با طول جغرافیایی $39^{\circ} 51'$ شرقی و عرض جغرافیایی $34^{\circ} 32'$ شمالی روی نهشت‌های مخروط افکنه قدیمی قرار گرفته و از نوع دفن نشده است و پارینه خاک مدفون شده منطقه امام‌قیس در نهشت‌های دشت قدیمی بریده شده با طول جغرافیایی $32^{\circ} 18'$ شرقی و عرض جغرافیایی $51^{\circ} 45'$ شمالی در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان بروجن قرار گرفته است (شکل ۱).

مواد مادری نهشت‌های مخروط افکنه سپاهان‌شهر شامل آهک‌های اوریتولین‌دار کرتاسه و شیل‌های ژوراسیک بوده و دشت قدیمی منطقه امام‌قیس از سازندهای دوره کرتاسه پائینی منشأ گرفته است. منطقه امام‌قیس چهارمحال و بختیاری در حال حاضر دارای میانگین بارندگی سالانه ۵۷۶ میلیمتر و میانگین دمای سالانه 10°C است و منطقه اصفهان دارای میانگین بارندگی سالانه ۹۵ میلیمتر و میانگین دمای سالانه 15°C است. در مطالعات صحرائی مقاطع مورد مطالعه بر اساس راهنمای تشریح نیمرخ USDA-NRCS [۸] تشریح شده و نمونه برداری از لایه‌های مختلف صورت گرفت. آنالیزهای فیزیکوشیمیائی انجام شده روی نمونه‌های خاک شامل تعیین بافت خاک به روش پیپت [۹]، PH گل اشباع، رسانندگی الکتریکی در عصاره اشباع، ظرفیت تبادل کاتیونی کل خاک به روش استات سدیم تنظیم شده در $\text{PH } 8.2$ [۱۰]، درصد آهک به روش تیتراسیون برگشتی، درصد گچ به روش حل کردن کامل گچ [۱۱] و مقدار کربن آلی به روش سوزاندن تر [۱۲] است.

از نیمرخهای مورد مطالعه بر اساس انقطاع سنگی و مشاهدات صحرائی دیگر و نتایج آزمایشگاهی، افق‌هایی به عنوان افق‌های شاهد برای انجام آنالیزهای پراش پرتو ایکس انتخاب شدند. پیش تیمارهای لازم جهت جداسازی اجزا شامل حذف آهک، مواد آلی و اکسیدهای آهن صورت گرفت [۱۳] و رس نمونه‌ها با یک مرکزگریز از رسوب جدا شد. مواد مادری سازندهای غالب در دو منطقه پس از خرد کردن با الک

۳۰۰ مش عبور داده شدند و پس از پیش تیمارهای لازم و تفکیک رس، با پرتو ایکس مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه‌های رس پس از اشباع با کلرور منیزیم و کلرور پتاسیم یک نرمال، برای رسیدن به جهت‌گیری سیلیکات‌های لایه‌ای، روی صفحات سرامیکی متخلخل بوسیله دستگاه مکش، رسوب داده شد و سپس با پراش سنج پرتو ایکس فیلیپس (pw-1830) و با لامپ مس مورد شناسایی قرار گرفتند. نمونه‌های رس حداکثر تا ۲۰ برابر با ۴۰ درجه با جریان ۴۰ میلی آمپر و ولتاژ ۴۰ کیلوولت و با سرعت ۲ درجه در دقیقه در معرض پرتو ایکس قرار گرفتند. پس از تیمار نمونه منیزیم دار با بخار اتیلن گلیکول در دمای 70°C به مدت ۲۴ ساعت، دوباره آنالیز شدند. نمونه‌های اشباع شده با پتاسیم پس از قرار دادن در بخار دی متیل سولفوکساید (DMSO) به مدت ۲۴ ساعت در دمای $75-80^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی گراد آنالیز شدند. در نهایت نمونه‌ها در دماهای 330°C و 550°C و هر بار پس از ۲ ساعت تیمار، در معرض تابش پرتو ایکس قرار داده شدند. مقادیر نسبی کانیهای مختلف بر اساس تعدیل شدت قله‌ها، و با استفاده از برنامه کامپیوتری چند تصویری^۱ برآورد شدند. نمونه‌های رس جهت شناسائی به وسیله پرتو فروسرخ با تهیه قرص به همراه برماید پتاسیم آماده شدند و با طیف‌سنج مدل پرکین ایمر در دامنه اعداد موجی ۲۵۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی‌متر مورد شناسائی قرار گرفتند. تعدادی از نمونه‌های رس و مواد مادری پس از قرار گرفتن روی پایه‌های آلومینیمی در پوششی از طلا با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل فیلیپس (XL30ESEM) مورد مطالعه قرار گرفتند.

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاکهای مورد مطالعه در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. چنانکه از ریخت‌شناختی خاکها نتیجه می‌شود، پارینه خاک سپاهان‌شهر شامل افق‌های چندگانه و غنی از آهک، گچ، و پوشش‌های رسی است که با لایه‌ای نسبتاً نازک (۱۵ سانتی‌متر) پوشیده شده است. پارینه خاک امام قیس شامل افق‌های توسعه یافته قدیمی (آرجیلیک دفن شده) است که در افق‌های آرجیلیک و کلسیک جوانتری دفن شده‌اند.

^۱-Multiplot

جدول ۱ برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک منطقه سپاهان شهر

افق	عمق سانت یمتر)	رنگ مرطوب	بافت ×	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	آهک ٪	گچ ٪	CE C cm ol/k g	pH	O. C % **	Ec dS /m
A	۰-۱۵	۱۰YR ۵/۴	SL	۱۱/۵	۲۸/۳	۶۰/۲	۴۷/۰	۱/۰	۱۴ ۱۰	۷/۵	۱/۵	۶/۷
2B k1	-۶۰ ۱۵	۷/۵YR ۴/۴	SCL	۳۲/۱	۱۵/۴	۵۲/۵	۵۲/۰	۱/۸	۱۹ ۱۳	۷/۸	۱/۵	۴/۹
2B k2	-۸۰ ۶۰	۷/۵YR ۵/۴	C	۵۰/۶	۸/۵	۴۰/۹	۶۳/۰	۳/۳	۱۰ ۱۵	۸/۳	۱/۵	۳/۴
2Bt ky1	-۱۱۵ ۸۰	۱۰YR ۵/۴	SC	۴۸/۲	۴/۱	۴۷/۷	۳۵/۰	۱/۰	۱۷ ۲۲	۷/۸	۱/۴ ۰	۳/۲
2Bt ky2	-۱۴۵ ۱۱۵	۷/۵YR ۶/۴	SC	۵۰/۲	۱/۵	۴۸/۳	۲۵/۰	۱/۰	۱۳ ۱۶	۸/۲	۰/۲	۳/۱
2Bt ky3	-۱۷۵ ۱۴۵	۷/۵YR ۵/۴	SC	۴۱/۳	۸/۵	۵۰/۲	۳۲/۰	۱/۰	۱۷ ۲۷	۸/۴	۰/۳	۴
2Bt ky4	-۲۱۰ ۱۷۵	۷/۵YR ۴/۴	C	۵۰/۸	۵/۴	۴۳/۸	۱۸/۰	۱/۰	۱۶ ۶۲	۸/۱	۰/۳	۳/۹
3Bt ky5	-۲۵۰ ۲۱۰	۱۰YR ۵/۴	C	۵۳/۸	۱۹/۷	۲۶/۵	۲۲/۰	۱/۰	۲۳ ۲۱	۸/۲	۰/۲	۳/۷
4Bt ky6	-۲۸۵ ۲۵۰	۱۰YR ۳/۶	SCL	۲۶/۹	۷/۹	۶۵/۲	۱۵/۰	۱/۰	۲۰ ۵۰	۸/۱	۰/۲	۵/۲
4Bt ky7	-۳۰۵ ۲۸۵	۱۰YR ۵/۴	SCL	۲۹/۰	۸/۰	۶۳/۰	۲۱/۰	۱/۰	۱۹ ۳۳	۸/۱	۰/۲	۵/۲
4B y	-۳۴۵ ۳۰۵	۱۰YR ۳/۵	SCL	۲۲/۰	۷/۳	۷۰/۷	۱۶/۰	۱/۰	۱۶ ۷۸	۸/۱	۰/۱	۴/۹
4Bt ky	-۳۶۵ ۳۴۵	۷/۵YR ۴/۳	SCL	۲۸/۰	۱۷/۷	۵۴/۳	۳۴/۰	۱/۰	۱۵ ۱۹	۷/۸	۰/۱	۳/۵
4Bt k	-۳۸۵ ۳۶۵	۷/۵YR ۴/۳	CL	۳۸/۰	۳۰/۸	۲۳/۱	۴۵/۰	۱/۳	۱۳ ۱۳	۸/۱	۰/۱	۳/۷

× علائم بافت خاک عبارتند از: SL، لومی شنی SCL، لومی رسی شنی C، رسی SC، رسی شنی

CL، لومی رسی SiL، لومی سیلتی L، لومی Si، سیلتی SiC، رسی سیلتی

××کربن آلی

کانی شناسی مواد مادری

قله‌های به دست آمده از پراش پرتو ایکس از رس نمونه‌های سنگ آهک و شیل منطقه اصفهان (شکل ۲ -الف و ب) حاکی از وجود ایلیت، کائولینیت، کلریت و کوارتز است. حضور کانیهای میکا، کلریت و کائولینیت در سازندهای بالا توسط پژوهشگران دیگر [۷ و ۱۴] نیز گزارش شده است. چنانکه نتایج پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد در نمونه‌های مواد مادری اصفهان اثری از پالی گورسکیت دیده نمی‌شود. این پدیده با

جدول ۲ برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه امام قیس

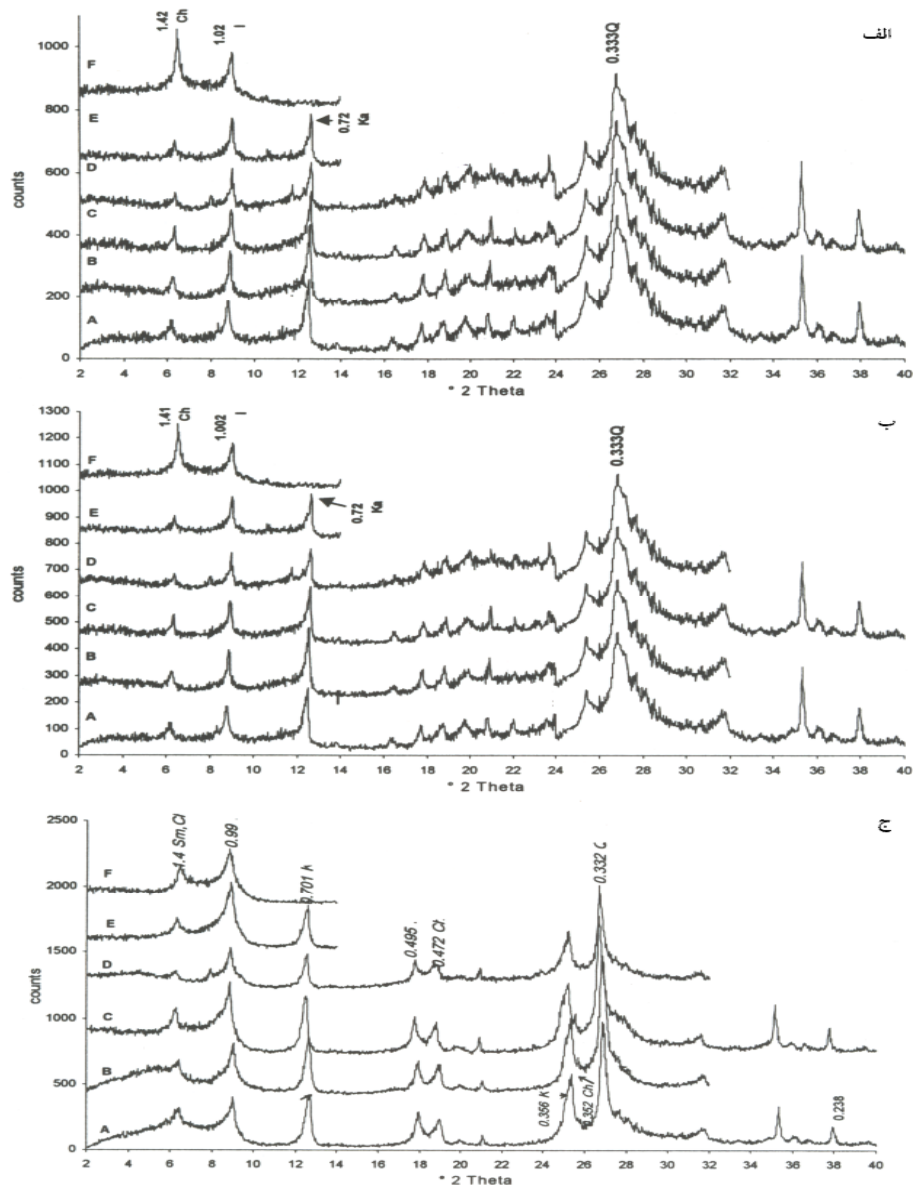
افق	عمق (سانتیمتر)	رنگ مرطوب	بافت ×	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	آهک ٪	۵ ٪	CEC Cmo l/kg	pH	O. C % **	Ec dS /m
A	۰-۱۵	۱۰ YR ۴/۳	SiL	۲۴/۴	۶۱/۳	۱۴/۳	۲۵/۰	-	۴۵/۷	۷/۷	۱/۶	۰/۴
Btk1	۱۵-۴۵	۱۰ YR ۴/۴	L	۲۱/۱	۴۵/۳	۳۳/۶	۲۷/۵	-	۴۲/۴	۷/۶	۱/۴	۰/۴
Btk2	۴۵-۸۵	۱۰ YR ۴/۵/۴	Si	۴۵/۰	۴۹/۱	۵/۹	۲۷/۵	-	۴۷/۴	۷/۹	۱/۰	۰/۴
Btk3	۸۵-۱۰۵	۱۰ YR ۴/۴	SiC	۴۹/۹	۴۴/۱	۶/۰	۷۷/۰	-	۳۹/۸	۷/۸	۱/۰	۰/۴
2Btkb	۱۰۵-۱۲۵	۲/۵ Y ۶/۳	SiC	۴۶/۰	۴۳/۰	۱۱/۰	۵۵/۰	-	۳۳/۵	۷/۹	۱/۰	۰/۵
2Btk1 b	۱۲۵-۱۷۵	۲/۵ Y ۵/۶	CL	۲۹/۲	۳۴/۵	۳۶/۶	۷۸/۵	-	۲۱/۸	۷/۷	۰/۸	۰/۴
2Btk2 b	۱۷۵-۲۲۵	۲/۵ Y ۷/۴	L	۱۹/۹	۳۳/۸	۴۶/۳	۸۳/۰	-	۲۸/۴	۷/۸	۰/۶	۰/۵
3Btk1 b	۲۲۵-۲۶۵	۱۰ YR ۷/۴	L	۲۱/۹	۴۳/۹	۳۴/۲	۷۷/۰	-	۲۴/۷	۷/۸	۰/۵	۰/۴
3Btk2 b	۲۶۵-۳۰۵	۷/۵ YR ۴/۴	L	۲۶/۹	۴۵/۹	۲۷/۲	۷۱/۰	-	۳۰/۳	۷/۸	۰/۵	۰/۳
3Btk3 b	۳۰۵-۳۷۵	۱۰ YR ۴/۴/۵	L	۲۶/۳	۴۶/۱	۲۷/۶	۶۶/۰	-	۲۸/۴	۷/۸	۰/۵	۰/۴
3Btk4 b	۳۷۵-۴۲۵	۷/۵ YR ۴/۴	SiC	۴۰/۵	۴۶/۲	۱۳/۳	۳۹/۵	-	۴۸/۷	۷/۸	۰/۵	۰/۴
4Bt1b	۴۲۵-۴۷۵	۵ YR ۴/۴	C	۴۷/۰	۳۳/۷	۱۹/۳	۳/۰	-	۶۵/۲	۷/۷	۰/۳	۰/۳
4Bt2b	۴۷۵-۵۲۵	۵ YR ۴/۴/۵	C	۵۱/۱	۳۷/۳	۱۱/۶	۲/۰	-	۶۰/۴	۷/۶	۰/۳	۰/۳
4Bt3b	۵۲۵-۵۸۵	۵ YR ۴/۶	SiC	۴۷/۵	۴۴/۵	۸/۰	۲/۰	-	۵۵/۷	۷/۴	۰/۳	۰/۳

× علائم بافت خاک عبارتند از: SL، لومی شنی SCL، لومی رسی شنی C، رسی SC، رسی شنی

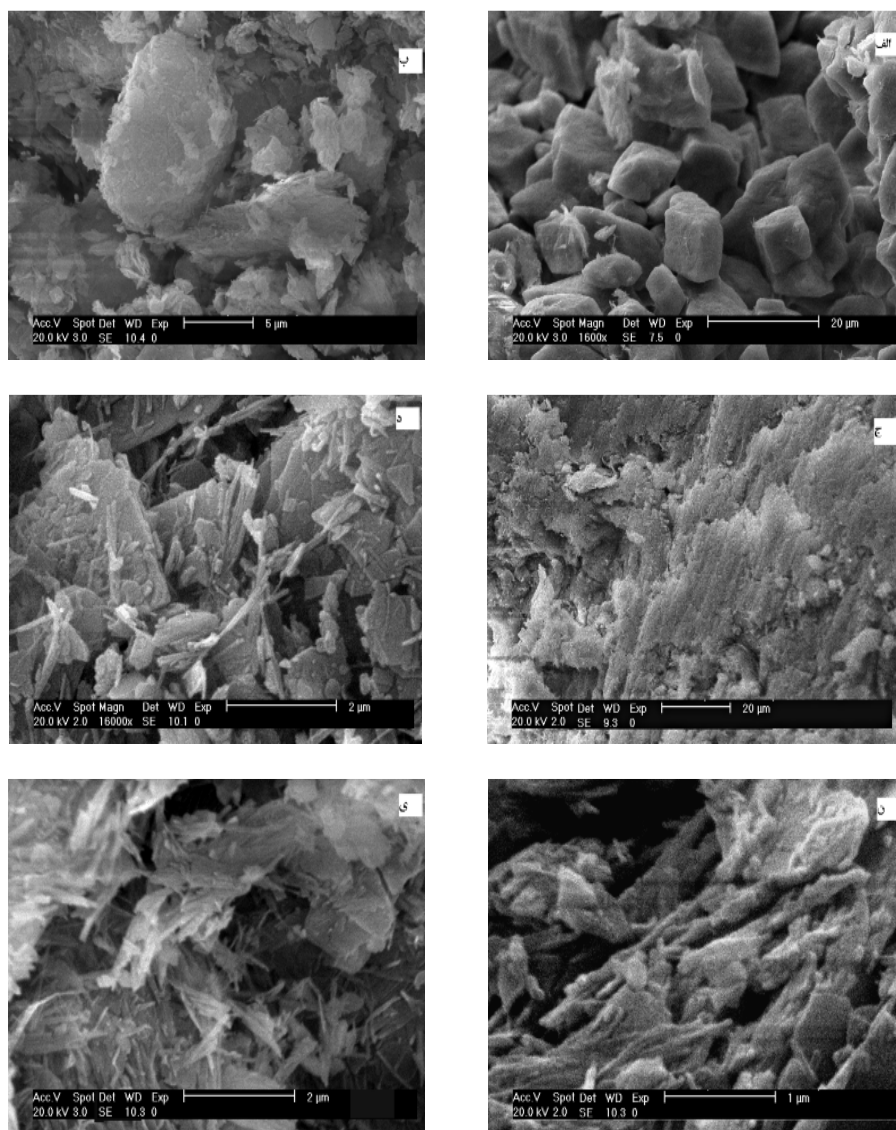
CL، لومی رسی SiL، لومی سیلتی L، لومی Si، سیلتی SiC، رسی سیلتی

××کربن آلی

مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی از مواد مادری (شکل ۳-الف) نیز تأیید می‌شود که عمده کانی تشکیل دهنده این مواد از آهک (حدود ۹۷ درصد) است. نتایج پراش پرتو ایکس از بخش رس آهک‌های کرتاسه پائینی منطقه امام قیس نشان دهنده حضور کانیهای میکا، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت و کوارتز است (شکل ۲-ج). حضور کانیهای بالا در سازند مزبور را پژوهشگران دیگر از ایران [۷]، اردن [۱۵]، مصر [۱۶] و عربستان [۱۷] نیز گزارش کرده‌اند.



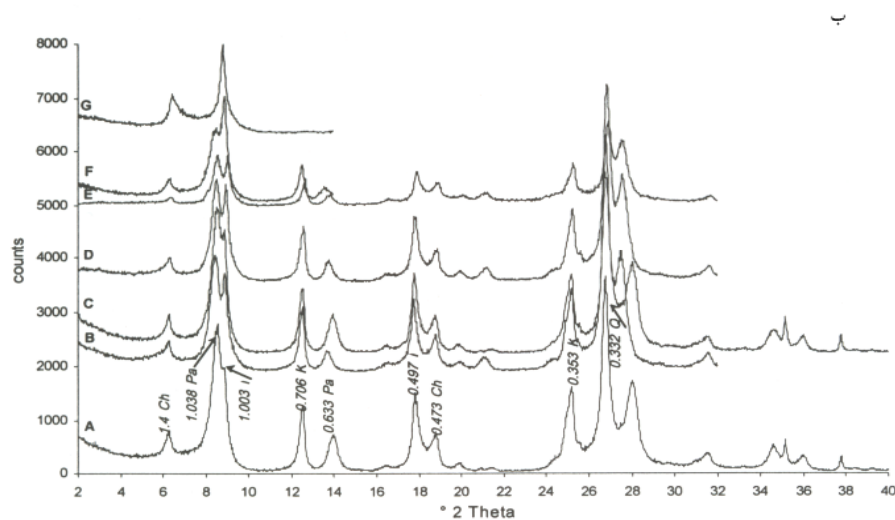
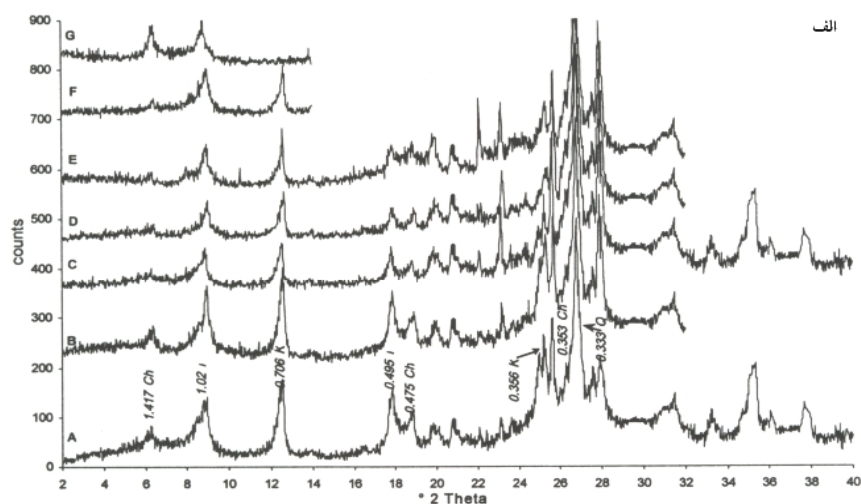
شکل ۲ پراش نگاشت پرتو ایکس در بخش رس سنگ آهک اورینتال دار کرتاسه منطقه سپاهان شهر (الف)، شیل های ژوراسیک منطقه سپاهان شهر (ب) و آهک کرتاسه منطقه امام قیس (ج) اعداد قله ها بر حسب نانومتر است. A نمونه اشباع با منیزیم، B نمونه اشباع شده با منیزیم و اتیلن گلیکول، C نمونه اشباع با پتاسیم، D نمونه اشباع شده با DMSO، E نمونه اشباع با پتاسیم و دمای 300°C ، F نمونه اشباع با پتاسیم و دمای 550°C (Q کوارتز، K کانولینیت، I ایلیت، Ch کلریت، Sm اسمگیت).



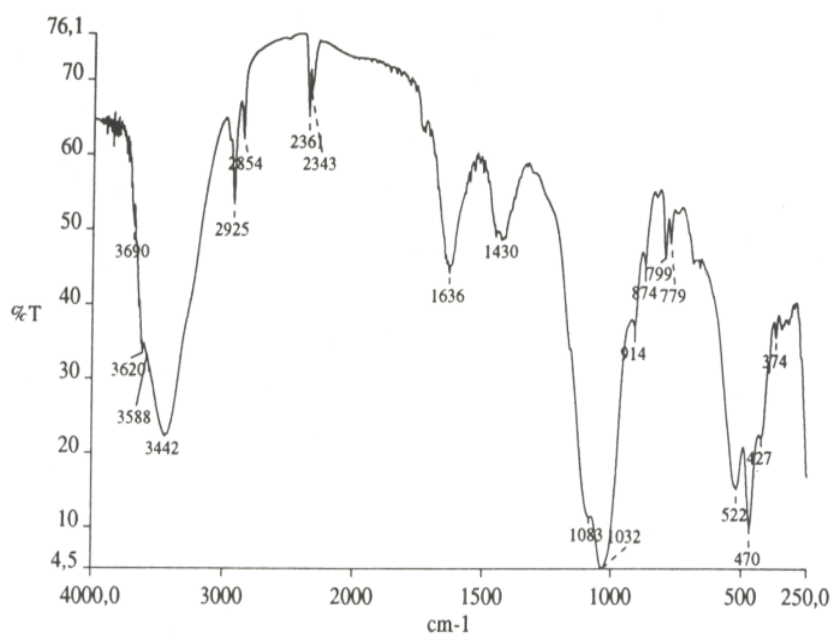
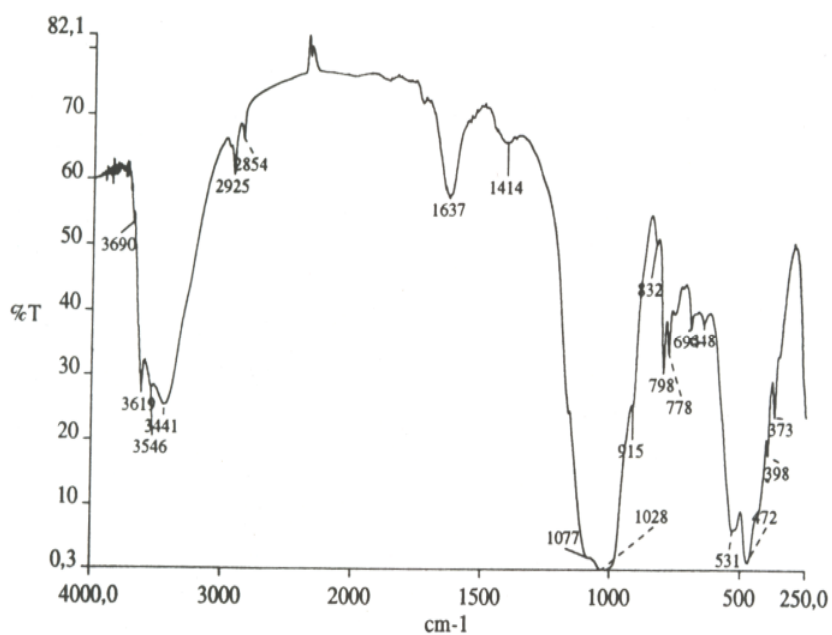
شکل ۳ میکروگرافهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) بلورهای کربنات در مواد مادری نیمرخ سپاهان شهر و عدم وجود الیاف پالیگورسکیت، (ب) بلورهای آهک ثانویه و الیاف پالیگورسکیت در افقهای تحتانی نیمرخ سپاهان شهر، (ج) بلورهای ثانویه در افقهای تحتانی نیمرخ سپاهان شهر، (د، ن، ی) الیاف کشیده پالیگورسکیت در افقهای زیرین نیمرخ سپاهان شهر

کانی شناسی پارینه خاک سپاهان شهر

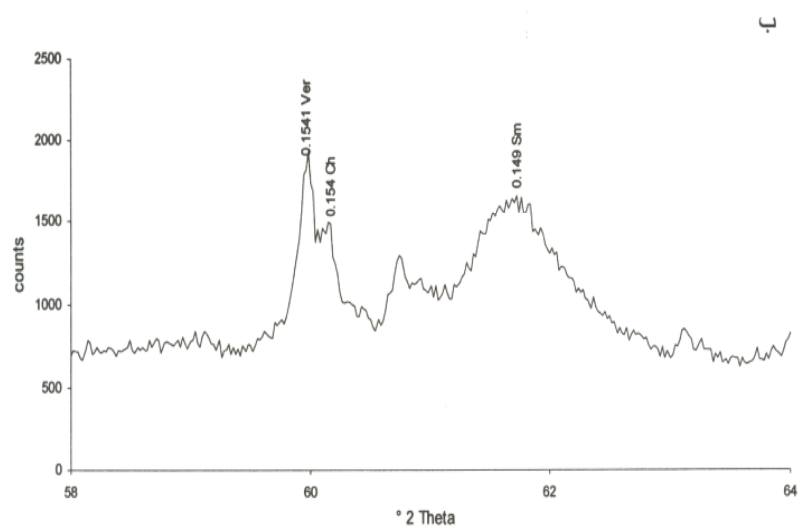
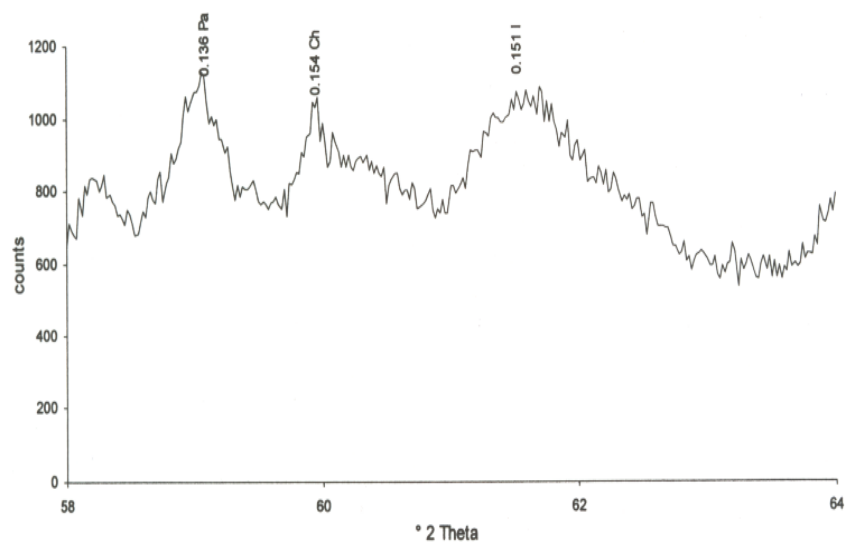
پراش نگاشت‌های به دست آمده از نمونه‌های خاک سپاهان شهر نشان می‌دهد که در افق سطحی (شکل ۴-الف) کانیه‌های کلریت، ایلیت، کائولینیت و کوآرتز دیده می‌شود و اثری از پالی گورسکیت نیست. لذا ترکیب کانیه‌های افق سطحی با مواد مادری همخوانی زیادی دارد. با توجه به بالاتر بودن شدت قله‌های زوج ($0/7$ و $0/356$ نانومتر) نسبت به فرد ($1/4$ و $0/47$ نانومتر) در پراش‌های پرتو ایکس این نیمرخ کلریت‌های این منطقه غنی از آهن هستند [۳ و ۱۸] (شکل ۴-الف و ب). شناسائی رس کلریت با استفاده از آنالیزهای پرتو فروسرخ بسیار مشکل به نظر می‌رسد [۹، ۱۹، ۲۰ و ۲۱]. در نمونه‌های مورد مطالعه مقادیر کمی کائولینیت وجود دارد که حضور همزمان، کلریت شناسائی آن را دچار مشکل می‌کند. هر چند تیمارهای DMSO (شکل ۴-الف و ب) تا حدودی کائولینیت‌هایی با تبلور خوب را تفکیک کرده است ولی حضور مقادیر زیاد پالی گورسکیت در این نمونه‌ها صحت این تیمار را نیز تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. تیمار DMSO توسط محققین مختلف [۲۲ و ۲۳] برای تفکیک کائولینیت از کلریت و همچنین تفکیک کائولینیت‌هایی با تبلور خوب و ضعیف از همدیگر مورد استفاده قرار گرفته است. این تیمار باعث افزایش فاصله صفحات کریستالی کائولینیت‌هایی با تبلور خوب از $0/7$ نانومتر به $1/126$ نانومتر می‌گردد و کائولینیت‌هایی با تبلور ضعیف در همان $0/7$ نانومتر باقی می‌مانند. در این خاک و شناسائی را با مشکل مواجه کرده است. حضور قله 238 نانومتر در پراش نگاشت‌های پرتو ایکس و همچنین بروز جذب پرتو فروسرخ در اعداد موجی 3690 و 3546 بر سانتی‌متر (شکل ۵-الف) حضور کائولینیت را تأیید می‌کند. با نتایج آنالیز حضور قله گسترده پالیگورسکیت در نزدیکی قله افزایش یافته کائولینیت این تفکیک پودری نمونه‌های رسی این نیمرخ در فاصله 20 (56 تا 64) در 20 معادل $59/94$ (فاصله صفحات کریستالی $=0/154$) نشان‌دهنده کلریت از نوع تری‌اکتاهدرال است (شکل ۶-الف). در افق‌های تحتانی، علاوه بر کانیه‌های مزبور مقادیر قابل توجهی از بخش رس را پالی گورسکیت تشکیل می‌دهد. اشکال لوله‌ای و فیبری به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی نیز



شکل ۴ پراش نگاشت‌های پرتو اشعه ایکس در بخش رس افق سطحی (A) و افق عمقی (4Btk) در نیمرخ شماره (۱) منطقه سپاهان شهر، (اعداد پیک‌ها بر حسب نانومتر است). A نمونه اشباع با منیزیم، B نمونه اشباع شده با منیزیم و اتیلن گلیکول، C نمونه اشباع با پتاسیم، D نمونه اشباع شده با پتاسیم و اتیلن گلیکول، E تیمار اشباع شده با DMSO، F نمونه اشباع با پتاسیم و دمای 300°C ، G نمونه اشباع با پتاسیم و دمای 550°C ، H کوارتز، Pa پالی‌گورسکایت، K کائولینیت، I ایلایت، Ch کلریت.



شکل ۵ طیف‌های پرتو فرو سرخ، (الف) افق 2B_{k2} نیمرخ سپاهان‌شهر، (ب) افق 3B_{tk2b} نیمرخ امام قیس.



شکل ۶ پراش نگاشت‌های پرتو ایکس رده 060 در بخش رس افق $2B_{tky2}$ (الف) نیمرخ سپاهان‌شهر و افق سطحی (A) نیمرخ امام قیس (ب)، (اعداد قله‌ها بر حسب نانومتر می‌باشد)، (I) ایابت، Ch کلریت، Sm اسمکتیت، Ver ورمیکولیت، Pa پالیگورسکیت).

وجود مقادیر قابل ملاحظه‌ای از پالی‌گورسکیت را در نمونه‌های خاک تأیید می‌کند (شکل ۳-د تا ی). نتایج آنالیزهای پرتو فروسرخ (شکل ۵-الف) نیز در اعداد موجی ۳۶۱۹، ۳۵۴۶ و ۱۶۳۷ بر سانتی‌متر (شکل ۵-الف) نشان‌دهنده حضور پالی‌گورسکیت می‌باشد. همچنین اعداد موجی ۳۴۴۱، ۱۴۱۴، ۱۰۷۷ و ۹۱۵ بر سانتی‌متر می‌دهد. اشکال لوله‌ای و فیبری به‌دست آمده از میکروسکوپ (شکل ۵-الف) نشان‌دهنده حضور ایات و اعداد موجی ۷۹۸ و ۷۷۸، نشان‌دهنده حضور کوارتز در نمونه‌هاست (شکل ۵-الف). هر چند مطالعات دیگر [۷] نشان می‌دهد شرایط اقلیمی گذشته در دوره پلیوستسین مرطوبتر و سردتر بوده است، ولی رطوبت موثر و شرایط هوازدگی در حدی نبوده است که بر روند تکاملی کانیها تأثیری داشته باشد. لذا همانطور که پژوهشگران دیگر [۲۴] نیز تأیید کرده‌اند کانی‌شناسی در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک بیشتر به وسیلهٔ مواد مادری کنترل می‌شود. بنابراین عمده کانیهای موجود در این خاک شامل ایلیت، کلریت و کوارتز از مواد مادری به ارث رسیده‌اند و تغییرات فاحشی را با عمق نشان نمی‌دهند (جدول ۳). ولی پالی‌گورسکیت تفسیر جداگانه ای را می‌طلبد.

افق سطحی این پارینه خاک، شامل رسوبات جوانی است که افقهای قدیمی را می‌پوشاند و ترکیبی مشابه با مواد مادری دارد و اثری از پالی‌گورسکیت در آن دیده می‌شود. عدم وجود کانی مزبور در نمونه‌های مواد مادری، مرفولوژی کشیده و بلند پالی‌گورسکیت در ریزنگاشت‌های الکترونی (شکل ۳-د تا ی) و تجمع هم مکان پالی‌گورسکیت با کربنات کلسیم (شکل ۳-ب) و حضور مقادیر قابل توجهی گچ ثانویه (شکل ۳-ج)، نشان‌دهندهٔ منشاء خاکساز پالی‌گورسکیت در افقهای قدیمی این خاک است. ارتباط نزدیکی بین حضور کریستالهای کلسیت و پالی‌گورسکیت وجود دارد که ناشی از شرایط مناسب برای پایداری این کانی است. چنان که پژوهشگران دیگر نیز تأکید کرده‌اند [۷]، فلات مرکزی ایران پس از جدا شدن از دریای تتیس در اواخر ترشیاری، از لاگون‌هایی مجزا پوشیده شده که به علت شرایط تبخیر و تشکیل گچ، نسبت بالای Mg/Ca و pH بالا [۲۵]، شرایط برای تشکیل پالی‌گورسکیت و سپولیت فراهم بوده است. اقلیم خشک فعلی نیز شرایط را همچنان برای پایداری

جدول ۳ ترکیب نیمه کمی برآورد شده از بخش رس بر اساس شدت قله‌های تعدیل

شده^x حاصل از پرتو ایکس در پارینه خاک سپاهان شهر

افق	عمق (سانتیمتر)	پالی گورسکیت	کلریت	ایلپیت	کائولینیت	کوارتز
A	۰-۱۵	ND**	+	+++++	++	+++
2Bk2	۶۰-۸۰	++++	+	+++++	++	++
2Btky2	۱۱۵-۱۴۵	++++	+	+++++	++	+++
2Btky4	۱۷۵-۲۱۰	++++	+	+++++	++	++
3Btky5	۲۱۰-۲۵۰	++++	+	+++++	++	+++
4Btky7	۲۸۵-۳۰۵	++++	+	+++++	++	+++
4By	۳۰۵-۳۴۵	++++	+	+++++	++	+++
4Btk	۳۶۵-۳۸۵	++++	+	+++++	++	+++

×Integrated Peak Intensity

** ND= شناسایی نشده است

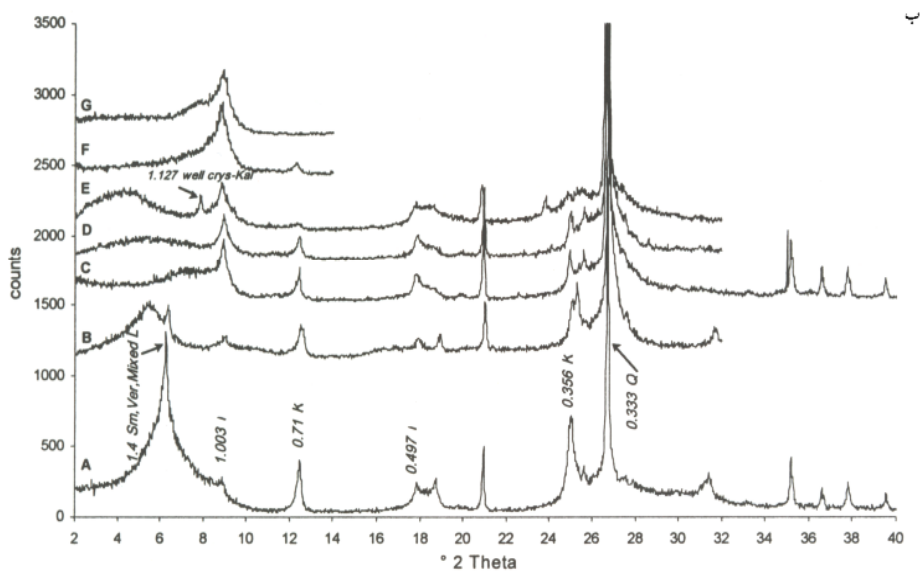
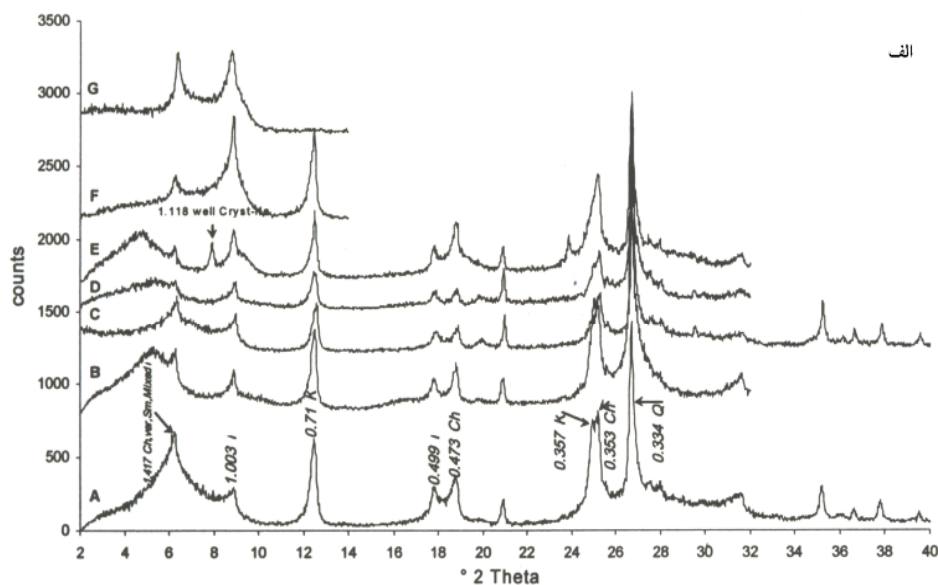
+++ ۱۰-۲۰ درصد ++ ۲۰-۳۰ درصد +++ ۳۰-۴۰ درصد +++ ۴۰-۶۰ درصد

++++ ۶۰-۷۰ درصد

پالی گورسکیت فراهم کرده است.

کانی شناسی پارینه خاک امام قیس

پراش نگاشت‌های بدست آمده از نمونه‌های پارینه خاک امام قیس تفاوت فاحشی را با پارینه خاک منطقه سپاهان شهر نشان می‌دهد. در افق سطحی این خاک علاوه بر کانیهای اسمکتیت، ورمیکولیت، ایلپیت، کائولینیت، کلریت و کوارتز کانیهای مختلط میکا-اسمکتیت دیده می‌شود (شکل ۷-الف). با افزایش عمق تغییرات عمده‌ای در درصد‌های نسبی کانیها اتفاق می‌افتد (جدول ۴). به عنوان نمونه درافق 4Btk3b در عمق ۵۲۵ سانتی‌متر کانی اسمکتیت نسبت به ورمیکولیت بازتاب بیشتری نشان می‌دهد و اثری از کلریت دیده نمی‌شود (جدول ۴). نتایج آنالیزهای پرتو فروسرخ در این نیمرخ نیز حضور برخی کانیها را تأیید می‌کند. به عنوان نمونه در افق 3Btk2b این نیمرخ اعداد موجی ۳۶۹۰ و ۳۶۲۰ حضور کائولینیت، اعداد موجی ۳۴۴۲، ۱۶۳۶ و ۱۰۸۳ وجود ایلپیت را تأیید می‌کند (شکل ۵-ب). اعداد موجی قله‌های اخیر کاملاً با قله‌های



شکل ۷ پراش نگاشت‌های پرتو ایکس در بخش رس افق سطحی (A) و افق عمقی (4B_{bb}) در نیمرخ امام قیس، (اعداد قله‌ها بر حسب نانومتر است). A نمونه اشباع با منیزیم، B نمونه اشباع شده با منیزیم و اتیلن گلیکول، C نمونه اشباع با پتاسیم، D نمونه اشباع شده با پتاسیم و اتیلن گلیکول، E تیمار اشباع شده با DMSO، F نمونه اشباع با پتاسیم و دمای ۳۰۰°C، G نمونه اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰°C (Q کوارتز، K کائولینیت، I ایلیت، Ch کلریت و Sm اسمگتیت).

جدول ۴ ترکیب نیمه کمی برآورد شده از بخش رس بر اساس شدت قله های تعدیل

شده^x حاصل از پرتو ایکس در پارینه خاک امام قیس

افق	عمق (سانتیمتر)	اسمکتیت	ورمیکولیت	ایلیت	کانولینیت	کلریت	کوارتز	کانیهای مختلط (میکار اسمکتیت)	کانیهای ۱ مختلط Ch با Sm و Ver	نسبت SM/I در I+Sm
A	۰-۱۵	+	++++	+++	+++	+++	++	++	ND*	۰/۴۳
Bt k2	۴۵-۸۵	+++	++++	+++	+++	++	++	++	ND	۰/۶۹
2B tk	-۱۲۵ ۱۰۵	++	++++	+++	+++	ND	+++	++	+	۱/۸۶
2B k2 b	-۲۲۵ ۱۷۵	+++	++++	+++	+++	ND	+++	++	+	۲/۴۵
3B tk 2b	-۳۰۵ ۲۶۵	++++	+++	+++	+++	ND	++	++	+	۲/۳۳
3B tk 4b	-۴۲۵ ۳۷۵	++++	+++	+++	+++	ND	++	++	+	۲/۴۵
4B t1 b	-۴۷۵ ۴۲۵	++++	++	+++	+++	ND	+++	++	+	۲/۴۵
4B t2 b	-۵۲۵ ۴۷۵	++++	++	+++	+++	ND	++	++	+	۲/۳۳
4B t3 b	-۵۸۵ ۵۲۵	++++	++	+++	+++	ND	++	++	+	۲/۲۳

×Integrated Peak Intensity

** ND= شناسایی نشده است

+ ۱۰- درصد ++ ۲۰-۱۰ درصد +++ ۳۰-۲۰ درصد ++++ ۴۰-۳۰ درصد +++++ ۶۰-۴۰ درصد

۱- منظور کانیهای مختلط کلریت-ورمیکولیت یا کلریت-اسمکتیت است. (Sm)، اسمکتیت، Ver، ورمیکولیت و Ch، کلریت)

۲- Sm/I- درصد نسبی اسمکتیت به ایلیت را در کانی مختلط اسمکتیت-ایلیت نشان می دهد (Sm، اسمکتیت، I، ایلیت)

اسمکتیت همپوشانی دارد. همانطور که پژوهشگران دیگر نشان داده اند آنالیزهای فروسرخ در شناسایی ترکیب شیمیایی سطحی کانیها کاربرد فراوان دارد [۱۸ و ۲۶]. مشاهدات این نیمرخ نشان می دهد که عدد موجی ۹۱۴ بر سانتی متر در اسمکتیت نشان دهنده فراوانی گروههای Al-Al-OH در سطح این کانی است [۲۱]. شناسایی ورمیکولیت و کانیهای مختلط شبیه شناسایی کلریت با پرتو فروسرخ به راحتی امکان پذیر نیست [۱۸، ۱۹ و ۲۱].

در این نیمرخ تیمار DMSO بویژه در افق‌هایی که فاقد کلریت است توانسته کائولینیت با تبلور خوب را از کائولینیت با تبلور ضعیف جدا کند. این شناسائی به واسطه افزایش فاصله صفحات بلوری کانی از ۰/۷ نانومتر به ۱/۱۲۶ نانومتر صورت می‌گیرد (شکل ۷-ب). توزیع کانیهای رسی در این نیمرخ در جدول ۳ ارائه شده است. کانیهای ایلیت، کائولینیت، کوارتز و رسهای مختلط تغییرات فاحشی را با عمق نشان نمی‌دهند. درحالی‌که کانیهای اسمکتیت، ورمیکولیت و کلریت تغییرات شدیدی را از خود نشان می‌دهند. در بخشهای فوقانی این خاک مقداری کلریت دیده می‌شود که از مواد مادری به ارث رسیده و چنانکه مشاهدات قله رده 060 نشان می‌دهد (شکل ۶-ب) کلریت موجود در این خاک از نوع تری اکتاهدرال است. در افق‌های فوقانی نیز ایلیت، کائولینیت و بخش عمده‌ای از اسمکتیت از مواد مادری به ارث رسیده است. در حالی‌که در مواد مادری اثری از ورمیکولیت دیده نمی‌شود لذا حضور مقدار زیادی ورمیکولیت در بخش سطحی نیمرخ نشان‌دهنده تشکیل خاکزای این کانی است. شرایط فعلی منطقه مورد مطالعه (نزولات ۵۰۰ میلی متر در سال) شرایط را برای هوازگی و تخریب کلریت و تشکیل ورمیکولیت فراهم می‌کند.

چنانکه شدت‌های نسبی قله‌های زوج و فرد کلریت موجود در افق سطحی نشان می‌دهد، کلریت‌های این منطقه مشابه منطقه اصفهان غنی از آهن‌اند. هوازگی Fe^{++} در کلریت غنی از آهن منجر به تخریب زودتر و شدیدتر کلریت شده و باعث می‌شود تا به راحتی به کانی مختلط کلریت-ورمیکولیت و در نهایت به ورمیکولیت تبدیل شود [۲۰، ۲۷ و ۲۸]. این روند در اعماق بیشتر خاک با شدت بیشتری صورت گرفته به طوری که اثری از کلریت دیده نمی‌شود و حتی ورمیکولیت نیز با عمق کاهش یافته و بر شدت اسمکتیت افزوده شده است به طوری که در افق‌ها آرچلیک مدفون شده به حداکثر خود می‌رسد. در دوره پلیستسین، همزمان با دوره های یخچالی در مناطق اروپا بر ایران دوره های سرد و مرطوب حکمفرما بوده است که شرایط مناسبتری برای هوازگی و تخریب کانیها فراهم بوده است. نتایج ژئوشیمیائی خاک مورد مطالعه [۲۹] نیز این شرایط را تأیید می‌کند که در شرایط مرطوب گذشته شرایط مناسبتری برای

تبدیل کانیهای اولیه به ورمیکولیت و سپس اسمکتیت فراهم بوده است. کاهش قابل توجه آهک با عمق در این نیمرخ نیز این مسئله را نشان می‌دهد (جدول ۲). نسبت Sm/I در کانیهای مختلط اسمکتیت - ایلیت (محاسبه شده به روش مرینگز) [۳۰] در جدول ۴ ارائه شده است. با افزایش عمق، نسبت اسمکتیت به ایلیت در این کانیها به مقدار قابل توجهی افزایش نشان می‌دهد که این روند نیز وجود شرایط با هوازدگی بیشتر در گذشته را تأیید می‌کند.

برداشت

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در منطقه اصفهان، پالیگورسکیت در گذشته و در شرایط لاگونی موجود در اواخر ترشیاری به علت شرایط شیمیائی مناسب از لحاظ pH و نسبت Mg/Ca تشکیل شده است. در حالیکه شرایط برای تغییر و تحول کانیهای دیگر نظیر ایلایت، کائولینیت و کلریت وجود نداشته و بیشتر از مواد مادری به ارث رسیده‌اند. مطالعات پژوهشگران دیگر نیز این نتیجه را تأیید می‌کند [۷]. در منطقه امام قیس چها محال و بختیاری نتایج کانی‌شناسی نشان می‌دهد که در حال حاضر شرایط برای تبدیل کانیهای اولیه نظیر کلریت به ورمیکولیت و اسمکتیت وجود دارد ولی مقادیر قابل توجهی اسمکتیت و عدم حضور کلریت در افق‌های مدفون شده نشان‌دهنده شرایط مرطوبتر گذشته در این منطقه است. لذا با توجه به مباحث انجام شده و نتایج حاصله می‌توان بر استفاده از کانی‌شناسی به عنوان ابزار و شاخص اقلیمی در علم دیرینه‌شناسی خاک تأکید نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از زحمات بی دریغ جناب آقای پروفیسور اوتنر، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم کشاورزی وین - اتریش، به خاطر پیشنهادات ارزنده و همکاریهای صمیمانه ایشان و تامین امکانات آزمایشگاهی برای انجام این کار پژوهشی تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

1. Rettallack G.J., *Soils of the past*. Unwin Hyman Pub, Boston (1990) p. 520.
2. Hogan G.D., Beatty M.T., *Soil. Sci. Soc. Am.Proc.* **27** (1963) 345-350.
3. Michel L., *Soil. Sci. Soc. Am. J.* **50** (1986) 981-987.
4. Tremcoldi W.A., Steinhard G.C, Freanmeier D.P., *Geoderma.* **63** (1994) 77-93.
5. Sanjurjo M.J.F., Corti G, Ugolini F.C., *Catena.* **43** (2001) 251-265.
6. Wang W.M., Yeh H.W., Chen P.Y, Wang M.K., *Clay and Clay Minerals.* **46** (1998) 1-9.
7. Khademi H., Mermut A.R., *Clay Minerals* **33** (1998) 561-578.
8. USDA-NRCS, *Defenition and abbreviation for soil descriptions*, Portland Oregon (1988) p. 14.
9. Day P.R., *Methods of soil analysis. (Part 1)*, American Society of Agronomy, Madison, WI (1965) pp. 545-567.
10. Chapman H.D., *Methods of soil analysis (Part2)*, American society of Agronomy, Madison, WI (1965) pp. 891-901.
۱۱. زرین کفش م. ، خاکشناسی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۷۲) ۳۴۲ صفحه.
12. Allison L.E., *Methods of soil analysis (Part2)*, Agronomy, Madison, WI (1965) pp. 1367-1378.
13. Kunze G.W., Dixon J.B., *Methods of soil analysis. (Part 1)*, 2'nd edition, Agronomy mong. no: 9 (1986) pp. 91-100.
۱۴. تومانیان ن.، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۴) ۲۱۹ صفحه.
15. Shadfán H., Dixon J., *Occurrence, genesis and uses. Developments in Sedimentology* 37, Elsevier, Amsterdam (1984) pp. 187-198.
16. Shadfán H., Hussen A.A., Alailly F., *Clay Miner.* **20** (1985) 405-413.
17. Shadfán H., Mashhady A.S., *Soil Sci. Soc. Am. J.* **49** (1985) 243-250.
18. Olphen H.V., Fripiat. J.J., *Data handbook for clay mineralogy and other non-metallic minerals*, Pergamon Press (1979) p. 346.
19. Farmer V.C., *The infrared spectra of minerals*, Mineralogical society, London (1964).

20. Murray H.H., Leininger R.K., *Clays Caly Miner.* **4** (1956) 340-347.
21. Russell J.D., *Infrared methods In. A handbook of determinative methods in clay mineralogy*, Chapman and Hall, New York (1987) p. 308.
22. Garcia S.G., Camazano M.S., *Clay and Clay Minerals* **7** (1968) 447-450.
23. Churchman G.J., *Clay and Clay Minerals* **38** (1990) 591-599.
24. Buol S.W., Hole F.D., McCracken R.J., *Soil genesis and classification*, Iowa State University, Press, Ames. (1989) p. 360.
25. Singer A., *Minerals in soil environments*, SSSA book series, no: 1, Soil Science Society of America Madison, WI (1989) pp:829-872.
26. Farmer V.C., Russell J.D., *Spectrochim. Acta* **20** (1964) 1149-1173.
27. Bain D.C., *Journal of soil science* **28** (1977) 144-164.
28. Butler J.R., *Geochim. Cosmochim. Acta.* **4** (1953) 157-178.

۲۹. ایوبی ش.ا.، جلالیان ا.، کریمیان اقبال م.، در حال انتشار.

30. Moore D.M., Roynolds R.C., *X-ray Diffraction and the identification and analysis of clay mineral*, 2nd. Edition, Oxford University Press (1997) p. 378.