



## کانی‌شناسی رس خاک‌های با مواد مادری گوناگون در پهنه‌ی بینالود، غرب مشهد

اکبر حسنی نکو<sup>۱</sup>، علیرضا کریمی<sup>۲\*</sup>، غلامحسین حق‌نیا<sup>۱</sup>، محمدحسین محمودی قرایی<sup>۲</sup>

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۰/۸/۱۰، نسخه نهایی: ۹۰/۱۲/۷)

**چکیده:** هدف از این پژوهش کانی‌شناسی خاک‌های با مواد مادری متفاوت پهنه‌ی بینالود غرب مشهد است. بدین منظور، دو خاکرخ در موقعیت قله شیب هر یک از سنگ‌های گرانیتی، آذرین آبر بازی و دگرگونی (متابازیت و شیست) حفر و پس از تشریح، از افق‌های ژنتیکی آنها نمونه‌برداری شد. بخش رس افق‌های گوناگون این خاک‌ها به روش پراش پرتو ایکس بررسی شدند. کانی‌های کلریت، اسمکتیت، میکا، آمفیبول و کانی‌های مختلط کلریت/اسمکتیت و کلریت/میکا از مهم‌ترین کانی‌های موجود در خاکرخ‌های مورد بررسی هستند. کلریت در خاکرخ آبر بازی و ماده‌ی مادری خاکرخ دگرگونی، غالباً از نوع غنی از منیزیم و در خاکرخ گرانیتی غنی از آهن است. بیشترین مقدار کانی آمفیبول در خاکرخ آبر بازی و به مقدار کمتر در خاکرخ دگرگون وجود دارد. میکا در افق سطحی خاکرخ آبر بازی به احتمال زیاد خاستگاه بادرستی دارد. به دلیل هوادیدگی بیشتر سنگ‌های آبر بازی، کانی‌های مختلط کلریت/میکا، کلریت/اسمکتیت و اسمکتیت/میکا در این خاکرخ بیشتر مشاهده شدند.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌های رسی؛ پدیدتیت؛ گرانیت؛ مواد مادری؛ مشهد.

### مقدمه

کانی‌های رسی یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده‌ی خاک‌ها هستند که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مهم خاک را کنترل می‌کنند. نوع کانی‌های رسی موجود در خاک، بیانگر مرحله‌ی تکاملی خاک، شدت فرایندهای خاک‌سازی و نوع مواد مادری است [۱]. این مواد با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصر بفرد خود، جزء فعال خاک به‌شمار می‌آیند و بدون شناسایی آنها نمی‌توان در مورد مسائل تغذیه‌ای گیاه، فرسایش و حفاظت خاک، ویژگی‌های مکانیکی و مهندسی و فرایندهای تشکیل خاک اظهار نظر کرد [۲].

مواد مادری، اقلیم و شرایط محیطی، از عوامل موثر بر نوع و مقدار کانی‌های رسی موجود در خاک‌های مناطق گوناگونند [۳] که در این میان مواد مادری به دلیل اختلاف کانی‌های موجود در ساختار سنگ‌ها و اختلاف مقاومت آنها

نسبت به هوادیدگی، نقش کلیدی در ترکیب کانی‌شناسی خاک‌ها دارند [۴]. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل سرعت کم فرایندهای هوادیدگی، نقش مواد مادری در ویژگی‌های خاک‌ها آشکارتر است [۵].

دیکسون و یانگ [۶] سه خاستگاه اصلی را برای کانی‌های خاک در نظر گرفتند که عبارتند از به ارث رسیدن از مواد مادری، نوتشکیلی از محلول خاک و هوادیدگی و تبدیل کانی‌ها به یکدیگر. اوجی و باقرنژاد [۷] در بررسی‌های خود از خاک‌های جلگه‌های مرتفع استان فارس، نتیجه گرفتند که مهم‌ترین فرآیند تشکیل کانی‌های رسی در خاک‌های مناطق خشک، به ارث رسیدن آنها از مواد مادری و تبدیل کانی‌های اولیه به ثانویه است. بررسی کانی‌های رسی خاک‌های گچی شرق اصفهان نیز نشان داد که مواد مادری خاستگاه اصلی کانی‌های کلریت، کائولینیت، میکا و کوارتز در این خاک‌ها

گرمایی خاک در منطقه‌ی مورد نظر براساس بررسی صاحب‌جمع [۱۵] به‌ترتیب اریدیک در مرز زیریک و مزیک است.

با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی [۱۶] و بازدیدهای صحرایی، نخست سه نوع مواد مادری متفاوت شامل آذرین آبربازی (Ub)، گرانیت (Gr) و دگرگون (Me) انتخاب شدند. دوخاکرخ در بخش قله‌ی شیب (بخش پایدار شیب) هر یک از مواد مادری گفته شده حفر شد (شکل ۱) و پس از تشریح براساس کلید رده‌بندی خاک [۱۷] از افق‌ها و لایه‌های خاکرخ‌ها نمونه‌برداری انجام گرفت. بخش‌های پایدار که موقعیت قله‌ی شیب‌اند به این دلیل انتخاب شدند که اطمینان حاصل شود که مواد مادری، درجا بوده و مواد دیگری از راه‌های گوناگون به آن اضافه نشده‌اند.

ماده‌ی مادری در خاکرخ‌های آبربازی (Ub1 و Ub2)، پریدوتیت است که سنگ‌های سرشار از کانی‌های فرومنیزیم مانند الیوپن هستند. مواد مادری گرانیتی در خاک‌های اطراف مشهد شامل لوکوگرانیت، دیوریت و پگماتیت‌ها است. خاکرخ‌های Gr1 و Gr2 در بخش لوکوگرانیت حفر و بررسی شدند [۱۶]. خاکرخ‌های Me1 و Me2 روی مواد مادری متبازیت و شیست قرار دارند. ماده‌ی مادری خاکرخ Me1، متبازیت است که مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و پلوتونیک‌ی بازی دگرگون‌شده هستند [۱۸] که در اطراف مشهد از نوع تولیتی و سری پتاسیم‌پایین هستند [۱۹]. همچنین ماده‌ی مادری خاکرخ Me2 از نوع گارنت‌استارولیت شیست است.

#### روش بررسی

نمونه‌های خاک برداشت شده، پس از خشک شدن در هوا، کوبیده شده و برای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، بخش عبوریافته از الک ۲ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. بافت خاک به روش پیپت، کربنات کلسیم معادل با استفاده از روش عیارسنجی برگشتی، pH خاک در نسبت ۲:۱ کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، مواد آلی با استفاده از روش والکلی- بلک، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از روش استات آمونیوم و گچ نمونه‌ها بر اساس کاهش وزن در اثر خارج شدن آب تبلور در اثر گرما اندازه‌گیری شد [۲۰].

با توجه به ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیکوشیمیایی، خاکرخ‌های آبربازی Ub2، گرانیتی Gr1 و Me1 دگرگون برای

هستند [۸،۹]. ابطحی و صلحی [۱۰] نیز در بررسی کانی‌شناسی خاک‌های باجگاه شیراز نشان دادند که باتوجه به وجود کانی پالیگورسکیت در سنگ مادری، بدون شک یکی از مهم‌ترین منابع وجود این کانی در خاک‌های این منطقه توارثی است.

خاک‌های درجا خاک‌هایی هستند که از هوادیدگی درجای سنگ‌ها تشکیل می‌شوند و از نظر شرایط تشکیل در مقابل خاک‌های منتقل‌شده به‌وسیله عوامل گوناگون قرار می‌گیرند [۱۱]. خاک‌های درجا به دلیل چگونگی تشکیل، برای بررسی تغییر و شکل‌گیری کانی‌های رسی در اثر فرآیندهای خاک‌سازی مناسب هستند. طی تشکیل خاک‌های درجا، به‌مرور زمان، مرز هوادیدگی به سمت عمق حرکت کرده و باعث افزایش ضخامت خاک می‌شود [۱۲]. انواع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی، ماده‌ی مادری خاک‌های درجا هستند که بررسی تغییرات کانی‌شناسی این سنگ‌ها از سنگ هواندیده تا افق‌های سطحی خاک‌ها، می‌تواند سبب افزایش دانش ما از تغییر و شکل‌گیری‌های کانی‌های رس در سنگ و خاک شود.

پهنه بینالود با مواد مادری گوناگون شامل آذرین، رسوبی و دگرگونی است که در جنوب و جنوب غربی مشهد قرار دارد [۱۳]. با وجود تنوع زمین‌شناسی منطقه از یک سو و اهمیت این منطقه از جنبه‌های کشاورزی و زیست‌محیطی از سوی دیگر، اطلاعات کافی از ویژگی‌های خاک‌های این منطقه، و به‌ویژه کانی‌شناسی آنها، موجود نیست. این پژوهش با اهداف ۱- مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی خاک‌های با مواد مادری آذرین فوق بازی (پریدوتیت)، آذرین اسیدی (گرانیت) و دگرگونی (متبازیت و شیست) و ۲- شناسایی انواع کانی‌های رسی و تغییرات آنها در مواد مادری و در خاک‌های گوناگون در پهنه‌ی بینالود انجام شد.

#### ناحیه‌ی مورد بررسی و نمونه‌برداری

منطقه‌ی مورد بررسی بخشی از پهنه‌ی بینالود است که بین عرض‌های شمالی ۱۰' ۱۰" تا ۳۶' ۲۴" ۴۷" و طول‌های شرقی ۱۹' ۲۱" ۵۹" تا ۳۵' ۵۲" ۵۹" قرار دارد. این منطقه‌ی به‌صورت یک نوار از ارتفاعات غرب مشهد قرار دارد که از شمال به طرقله و شاندیز، از جنوب به روستاهای خلج و ده‌غیبی محدود می‌شود (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۲۰۰ متر و میانگین بارندگی و دمای سالانه به‌ترتیب ۲۶۰ میلی‌متر و ۱۳/۷ درجه‌ی سانتیگراد است. رژیم رطوبتی و

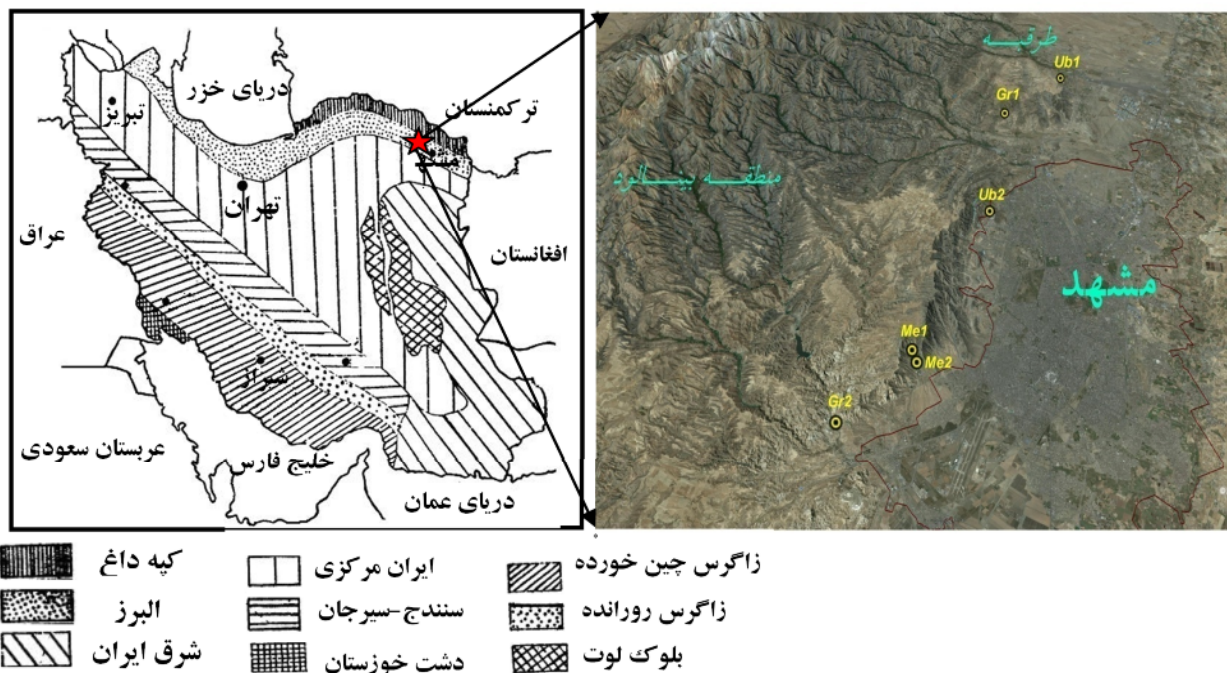
دریافت می‌شود که هوادیدگی کم در منطقه، باعث شده است که خاک‌های تشکیل‌شده ضخامت کمی داشته باشند؛ به‌طوری‌که ضخامت بیشینه‌ی بخش فعال خاک با ۴۰ سانتی‌متر به خاکرخ Ub1 وابسته است. هوادیدگی کم در بخش عمقی خاکرخ‌ها باعث شد که سنگ‌ها بدون از دست دادن شکل ظاهری، هوادیده شوند که با نام کلی ساپرولیت شناخته شده و با علامت Cr نشان داده شده‌اند. این هوادیدگی که در خاک‌های درجا به طور معمول از سطح به عمق کم می‌شود [۲۳] باعث شده که در بیشتر خاکرخ‌ها غیر از Gr1 درصد شن از سطح به عمق افزایش یابد؛ به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار شن در افق Cr خاکرخ Me2 به ۸۴٫۷ درصد می‌رسد. نکته قابل توجه، وجود مقدار زیاد گچ و کربنات‌ها در خاک‌های مورد بررسی است (جدول ۱). با توجه به ترکیب مواد مادری خاک‌ها، وجود مقدار زیاد این مواد، به‌ویژه گچ را نمی‌توان به هوادیدگی مواد مادری نسبت داد. کریمی و همکاران [۲۴] رسوب‌های لسی در مجاورت منطقه‌ی مورد بررسی در جنوب مشهد را شناسایی و خاستگاه این رسوب‌ها را مارن‌های گچی در جنوب‌شرق مشهد گزارش کردند. بنابراین، وجود مقدار زیاد گچ و کربنات‌ها در خاکرخ‌های مورد بررسی قابل توجیه است.

بررسی‌های کانی‌شناسی انتخاب شدند. جزء رس با روش کیتریک و هوپ [۲۱] از اجزای دیگر خاک تفکیک شد. گچ موجود در نمونه‌ها با شستشوی متوالی با آب مقطر، حذف شد. کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آهن آزاد، به‌عنوان مواد سیمان‌کننده و همآوری‌کننده ذرات رس به‌ترتیب با بافر اسید استیک-استات سدیم (pH = ۵)، آب اکسیژنه ۳۰ درصد و بافر سترات - بی‌کربنات - دی‌تیونات سدیم (pH = ۷٫۳) حذف شدند [۲۲]. رس با ته‌نشینی ذرات در استوانه‌های ۱ لیتری جدا شد. از رس‌های جدا شده‌ی هر افق، دو نمونه به‌ترتیب با پتاسیم و منیزیم اشباع شدند [۲۰] و سپس روی اسلایدهای شیشه‌ای به‌صورت یکنواخت گسترده کردیم. برای هر نمونه چهار تیمار شامل اشباع از پتاسیم، اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، اشباع با منیزیم و اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، با پراش‌سنج پرتو ایکس مدل D5000 Siemens و آند مس (طول موج پرتو ایکس ۱٫۵۴ آنگستروم) در گروه علوم خاک دانشگاه تهران مورد آنالیز قرار گرفتند.

#### بحث و بررسی

#### ویژگی‌های خاک‌ها

جدول ۱ برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. از اطلاعات این جدول



شکل ۱. زون‌های زمین‌شناسی ایران [۱۴] و موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در ایران؛ محل خاکرخ‌های مورد بررسی در اطراف مشهد (Ub): خاکرخ آذرین آبریزی، Gr: خاکرخ گرانیتی و Me: خاکرخ دگرگون).

جدول ۱ برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیکی‌شیمیایی خاک‌ها. خاک‌ریزی Ub، خاک‌ریزیت Gr و خاک‌ریز دگرگون Me.

CEC Cmol(+) kg-1	pH 1:2 (Soil:CaCl2 0.01m)	کربنات کلسیم معادل گچ		رس سیلت شن	عمق	افق	خاک‌ریز	نوع مواد مادری
		%	Cm					
۱۷,۱	۷,۵	۷,۲	۲۲,۶	۲۴,۰	۶۱,۵	۱۴,۵	۰-۱۵	A
۱۵,۳	۷,۶	۷,۱	۲۵,۶	۳۶,۰	۵۲,۰	۱۲	۱۵-۴۰	Bk
-	-	-	-	-	-	-	۴۰+	R
۱۴,۹	۷,۳	۵,۰	۱۸,۱	۴۰,۰	۵۲,۰	۸,۰	۰-۲۰	A
۳۵,۹	۷,۶	۲۹,۴	۲۰,۹	۳۰,۷	۵۹,۵	۹,۰	۲۰-۸۰	C
۱۸,۶	۷,۷	۲۲,۰	۱۹,۱	۷۲,۵	۲۲,۵	۵,۰	۸۰+	Cry
۱۳,۷	۷,۳	۲	۱۳,۶	۶۵,۵	۳۰,۵	۴,۰	۰-۱۰	A1
۱۲,۶	۷,۴	۵,۶	۱۵,۱	۶۸,۵	۲۷,۳	۴,۲	۱۰-۲۵	A2
۱۵,۱	۷,۶	۷,۰	۱۶,۸	۷۲,۹	۲۲,۵	۴,۶	۲۵-۳۵	Bw
۱۹,۲	۷,۴	۸,۳	۱۸,۶	۶۷,۴	۲۴,۰	۸,۶	۳۵-۶۰	Ck
۲۱,۸	۷,۵	۱۳,۷	۱۷,۸	۶۳,۵	۲۶,۵	۱۰,۰	۶۰+	Cr
۱۴,۶	۷,۵	۵,۱	۲۱,۱	۴۰,۳	۴۹,۸	۹,۹	۰-۱۵	A
۱۱,۴	۷,۶	۴,۳	۱۹,۹	۵۰,۲	۴۰,۶	۹,۲	۱۵-۳۰	Bw
۹,۰	۷,۷	۲,۷	۱۱,۱	۸۲,۶	۱۴,۶	۲,۸	۳۰-۶۰	Cr
۱۲,۷	۷,۴	۴,۱	۲۳,۱	۴۵,۱	۴۷,۳	۷,۶	۰-۱۰	A
۱۵,۷	۷,۵	۴,۶	۲۲,۱	۴۱,۸	۴۷,۲	۱۱,۰	۱۰-۲۰	Bw
-	-	-	-	-	-	-	۲۰+	R
۸,۴	۷,۶	۱,۰	۲۵	۶۵,۸	۳۰,۶	۳,۶	۰-۵	A
۷,۸	۷,۷	۲,۹	۲۵,۱	۸۴,۷	۵,۲	۱۰,۰	۵+	Cr

فوق بازی (پریدوتیت)

گرانیت (لوک‌گرانیت)

دگرگون

در این افق باشد که در بخش بعدی آورده بررسی خواهیم کرد.

#### کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها

##### خاک‌ریز Ub2

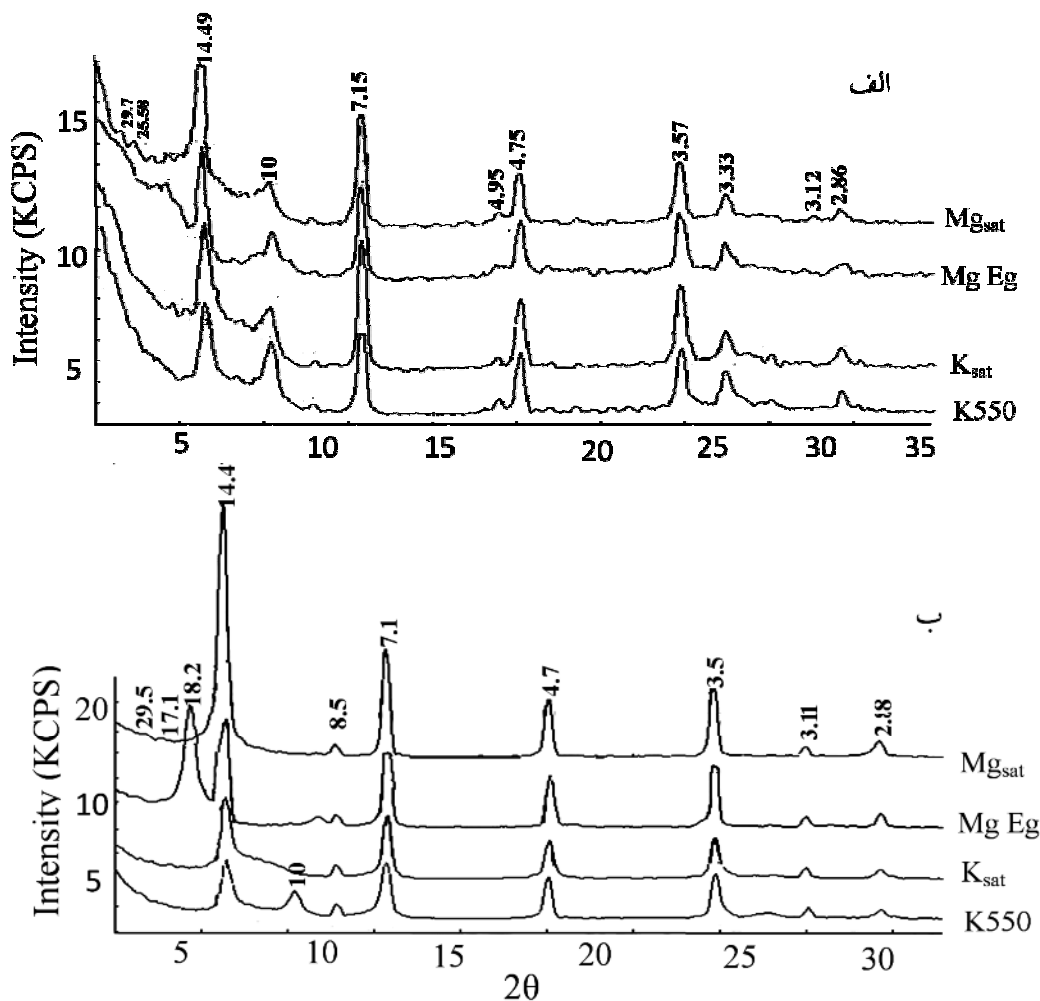
خاک‌ریز Ub2 با ماده‌ی مادری پریدوتیت، دارای سه افق A، C و Cry است (جدول ۱). پراش‌نگاشت‌های بخش رس افق‌های A و Cry این خاک‌ریز در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. به دلیل تشابه پراش‌نگاشت‌های افق‌های C و Cry، فقط پراش‌نگاشت افق Cry آورده شده است. در پراش‌نگاشت افق Cry (شکل ۲-ب) قله‌ی ۱۴/۴ آنگستروم در تیمار اشباع با منیزیم (Mg<sub>sat</sub>) می‌تواند مربوط به کانی‌های کلریت، ورمیکولیت و اسمکتیت باشد. تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول (Mg Eg)، باعث تغییر مکان بخشی از این قله به ۱۸/۲ آنگستروم شده است؛ به همین دلیل، وجود قله‌های ۱۴/۴ و ۱۸/۲ آنگستروم در این تیمار، به ترتیب نشان‌دهنده‌ی کلریت و اسمکتیت‌اند. قله‌های

رس در خاک‌ریزها کم است و از ۲/۸ درصد در خاک‌ریز Gr2 تا ۱۴/۵ درصد در خاک‌ریز Ub1 متغیر است. خاک‌ریزهای آب‌ریزی (Ub1 و Ub2) دارای رس و سیلت بیشتری نسبت به خاک‌های دیگرند. این تفاوت می‌تواند به دلیل قابلیت هوادهی بیشتر پریدوتیت نسبت به متابازیت و گرانیت باشد. میزان رس و نوع آن از عوامل اصلی تعیین‌کننده‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک‌اند. بیشترین و کمترین مقدار CEC به ترتیب در افق C خاک‌ریز Ub2 با مقدار ۳۵/۹ سانتی‌مول (+) بر کیلوگرم و افق Cr خاک‌ریز Me1 با مقدار ۷/۸ سانتی‌مول (+) بر کیلوگرم تغییر می‌کند. رابطه‌ی معنی‌داری بین CEC و درصد رس خاک‌ها مشاهده نشد و نشان می‌دهد بیش از آن که مقدار رس تعیین‌کننده‌ی مقدار CEC باشد، نوع رس است که مقدار این ویژگی را کنترل می‌کند. وجود مقدار زیاد کانی اسمکتیت در افق C خاک‌ریز Ub2 می‌تواند توجیه‌کننده‌ی مقدار زیاد CEC

نه کلریت غنی از آهن باشد. در این‌گونه موارد، یکی از راه‌های تشخیص وجود کائولینیت در نمونه‌های که دارای کلریت هستند، استفاده از رده‌ی سوم کائولینیت، یعنی قله‌ی ۲/۳۸ آنگستروم است. نبودن این قله در نمونه‌ها، نشان‌دهنده‌ی نبودن کائولینیت در این افق است. نبودن کائولینیت، دور از انتظار نیست؛ زیرا این کانی یا از مواد مادری به ارث می‌رسد یا در شرایط هوازدگی شدید مانند خاک‌های اولتی‌سول و اکسی‌سول، به‌صورت خاکزا تشکیل می‌شوند. در تیمار  $K_{550}$ ، لایه‌های اسمکتیت به یکدیگر نزدیک شده و قله‌ی ۱۸/۲ آنگستروم حذف و قله‌ی ۱۰ آنگستروم تولید شده است. وجود قله‌های ۸/۵ و ۳/۱۲ آنگستروم و حفظ آن در همه‌ی تیمارها، وجود کانی آمفیبول در بخش رس را تایید می‌کند.

۷/۱، ۴/۷۵، ۳/۵ و ۲/۸۵ آنگستروم، به‌ترتیب رده‌های دوم، سوم، چهارم و پنجم کلریت هستند. کاهش کم شدت قله ۷/۱ پس از تیمار اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ( $K_{550}$ ) و وجود قله‌ی رده پنجم کلریت (۲/۸۵ آنگستروم)، نشان‌دهنده‌ی کلریت غنی از منیزیم است. بخشی از کاهش شدت قله‌ی ۷/۱ آنگستروم، دلیلی بر وجود مقداری کلریت غنی از آهن است.

قله‌های ۷/۱ و ۳/۵۷ آنگستروم ممکن است به رده‌های اول و دوم کانی کائولینیت وابسته باشند که با رده‌های دوم و چهارم کلریت هم‌پوشی دارند و به همین دلیل، شناسایی کائولینیت را با مشکل مواجه می‌کنند. قله‌ی رده‌ی اول کائولینیت (۷/۱ آنگستروم)، در تیمار  $K_{550}$  حذف می‌شود. کاهش شدت این قله در تیمار گفته شده ممکن است به‌دلیل وجود کائولینیت



شکل ۲ پراش‌نگاشت‌های رس در خاکرخ فوق‌بازی Ub2، الف) افق A، ب) افق Cry، Mgsat نمونه اشباع با منیزیم، Mg Eg نمونه اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، Ksat و K550 به‌ترتیب نمونه‌های اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، اعداد بر روی قله پراش‌نگاشت‌ها، بر حسب آنگستروم می‌باشند.

مونیر [۳۱]، و مونیر و همکاران [۳۲] هوايدگى سنگ‌هاى آذرين بازي و آبربازي، باعث تشكيل كانى‌هاى رسى هشت- وجهى سه‌گانه مانند كلريت و اسمكتيت غنى از منيزيم و تا حد كمترى كلريت غنى از آهن مى‌شوند.

با توجه به موارد گفته شده، دگرگونى كم مواد مادري خاكرخ  $Ub_2$  و هوايدگى در طول زمان، كه در اين منطقه حالت عمومى دارد، باعث تشكيل كلريت و اسمكتيت در مواد مادري شده است و در نتيجه اين دو كانى از مواد مادري به ارث رسيده‌اند. اسمكتيت از هوايدگى كلريت نيز به وجود مى‌آيد كه فرآيند اصلى در اين تغيير و تبديل، اكسايش آهن دوظرفيتى در لايه‌ى هشت وجهى بوده است كه موجب ضعيف شدن پيوندهاى بين‌لايه‌اى شده و باعث خروج آهن و منيزيم يا هيدروكسيل‌ها از بين لايه‌هاى كلريت شده و منجر به تبديل آن به اسمكتيت مى‌شود [۳۳].

كرچاك و همكاران [۲۵] براين باورند كه اليوين به سادگى در اثر دگرسانى گرمابى به اسمكتيت تبديل مى‌شود و از سوي ديگر، در سنگ‌هاى آذرين آبربازي، مقدار منيزيم بيشتر از آهن است، در نتيجه، كلريت و اسمكتيت غالب از نوع غنى از منيزيم هستند. در تيمار  $K_{550}$  افق C (شكل ۲-ب)، قله‌هاى ۱۰ و ۳/۳ آنگستروم تشكيل شده است كه به دليل تشكيل كانى شبيه ميكا در اثر اين تيمار است. عدم تشكيل قله‌ى ۵ آنگستروم شاهدهى بر هشت‌وجهى سه‌گانه بودن اسمكتيت در اين افق است. شواهد گفته شده بيانگر اين است كه اسمكتيت موجود در افق‌هاى خاكرخ مورد بررسى، به احتمال زياد از نوع ساپونيت است. بررسى‌هاى مشابه به تشكيل ساپونيت در سنگ‌هاى آبربازي اشاره کرده‌اند [۳۵، ۳۴] همچنين، آمفيبول نيز از كانى‌هاى سيليكاتى دوزنجيره‌اى است كه از ماگما تشكيل شده است. البته آمفيبول طى فرآيند اوراليتى شدن نيز از پيروكسن تشكيل مى‌شود [۳۶].

كلريت يك كانى ناپايدار است و در شرايط مناسب هوايدگى به كانى‌هاى ديگر تبديل مى‌شود. گزارش‌هاى زيادى از تشكيل كانى مختلط كلريت/ورميكوليت وجود دارد [۳۷، ۲۷]. بر خلاف بيشتر بررسى‌ها، در افق A خاكرخ مورد بررسى، كلريت هوايدده شده و به كانى‌هاى مختلط كلريت/اسمكتيت و كلريت/ميكا تبديل شده است [۳۹، ۳۸]. از سوي ديگر، با توجه به تغيير شدت قله‌ها در پراش‌نگاشت افق A، وجود نانترونيت دور از ذهن نيست. به نظر ولده و مونير [۳۱] با افزايش

پراش‌نگاشت افق A (شكل ۲-الف)، چگونگى متفاوت كانى‌شناسى اين افق را نشان مى‌دهد كه هوايدگى بيشتر، به دليل وجود مواد آلى و رطوبت در حد مناسب، باعث شكل-گيرى كانى‌ها، به‌ويژه تشكيل كانى‌هاى مختلط، شده است. در اين افق، هر سه كانى گفته شده در افق C، يعنى كلريت، اسمكتيت و آمفيبول وجود دارند. وجود قله‌هاى ۱۰، ۴/۹۵ و ۳/۳ آنگستروم، به ترتيب رده‌هاى اول، دوم و سوم كانى ميكا هستند. قله‌ى ۲۵/۵۸ نيز به كانى مختلط منظم كلريت-ميكا وابسته است. قله ۲۹/۷ آنگستروم در تيمار  $Mg_{sat}$  كه با Mg Eg تا ۳۲ آنگستروم منبسط شده است، نشان‌دهنده‌ى وجود كانى‌هاى مختلط منظم كلريت-اسمكتيت است.

خاكرخ  $Ub_2$  از سنگ‌هاى آبربازي تشكيل شده است. روند تغييرات كانى‌شناسى از مواد مادري به سطح خاك نشان مى‌دهد كه هوايدگى كانى‌ها و تغيير و تبديل‌هاى آنها، عامل اصلى تفاوت در كانى‌شناسى در افق‌هاى اين خاكرخ است. سنگ‌هاى آبربازي مقادير زيادى كانى‌هاى فرومنيزيم مانند اليوين، پيروكسن و آمفيبول دارند [۲۵]. اين كانى‌ها در شرايط خاك بسيار ناپايدارند و به كانى‌هاى ثانويه تبديل مى‌شوند [۲۶-۲۸]. در اين ميان آمفيبول نسبت به اليوين و پيروكسن پايدارتر است و حتى در شرايط مرطوب بودن (بارندگى سالانه ۱۰۰۰ ميلي‌متر)، در خاك‌هاى حاصل از سنگ‌هاى آبربازي در بخش رس شناسايى شده است [۲۸، ۲۷]. لى و همكاران [۲۷] با بررسى كلريت در خاك‌هاى آبربازي كوه‌هاى شمال شرقى كاليفرنيا، دريافتند كه كلريت به ورميكوليت و ديگر كانى‌هاى مختلط كلريت/ورميكوليت منظم و نامنظم تبديل مى‌شود كه اين عمل با حذف ورقه‌ى هشت‌وجهى بين‌لايه‌اى انجام مى‌شود. آنها همچنين نشان دادند كه اسمكتيت كانى غالب در همه‌ى افق‌هاى خاك‌هاى بررسى شده است. بالمر و همكاران [۲۹] با بررسى ريخت‌شناسى، ژئوشيميايى و كانى‌شناسى خاك‌هاى آبربازي در جنوب شرقى بریتانیا، مقدار قابل توجهى كلريت و اسمكتيت در اين خاك‌ها گزارش کرده‌اند. به نظر كيبيرى و خليلى [۳۰] وجود كلريت در سنگ‌هاى آذرين اين منطقه، به دو صورت تشكيل اين كانى در سنگ‌هاى آذرين اين منطقه، به دو صورت ماتريكس كلريتى و كلريت حاصل از دگرسانى كانى‌هاى فرومنيزيم بوده است، و اين كانى در سنگ‌هاى مورد بررسى، در نتيجه‌ى تزريق محلول‌هاى شيميايى حاوى Mg، Fe و Al، در شرايط فيزيكوشيميايى مناسب تشكيل شده است. به نظر ولده و

خاک گرانیته جنوب مشهد نشان دادند که در سه نوع گرانیته موجود در این منطقه، هوادیدگی میکا سبب تشکیل کانی‌های اسمکتیت و کانی حد واسط میکا-اسمکتیت شده است.

غنی از آهن بودن کلریت، دلیلی دیگر بر تشکیل آن از بیوتیت است. نوک و کولین [۳۹] تشکیل کلریت از میکا را گزارش کرده‌اند. در افق‌های A و Bw به دلیل شرایط مناسبتر هوادیدگی، مقدار کمی از کانی‌های مختلط منظم کلریت/اسمکتیت و میکا/اسمکتیت تشکیل شده است.

#### خاکرخ Me1 (مواد مادری دگرگونی)

کانی‌شناسی خاکرخ دگرگونی نشان می‌دهد که در نمونه‌ی سنگ مادری این خاکرخ (شکل ۴-پ)، قله‌های ۱۴/۳، ۴/۷۵، ۷ و ۳/۵ در تیمارهای گوناگون نشان دهنده‌ی کانی کلریت هستند. به دلیل این که قله‌ی ۷/۱۵ در تیمار پتاسیم در اثر گرما تقریباً از بین رفته است و نیز قله‌ی رده پنجم کلریت (۲/۸۵) آنگستروم) در هیچ‌یک از تیمارها مشاهده نمی‌شود، کلریت موجود در این نمونه از نوع غنی از آهن [۴۴] است. با توجه به موارد گفته شده درباره‌ی تفسیر پراش‌نگاشت‌های خاکرخ Ub2، وجود کانی‌های اسمکتیت، میکا، آمفیبول و مقدار کمی کانی‌های مختلط وجود دارد.

در افق Bw خاکرخ دگرگون (۴-ب) کانی کلریت (قله‌ی ۱۴/۴)، اسمکتیت (قله‌ی ۱۸/۲ در تیمار اتیلن گلیکول)، میکا (قله‌ی ۱۰ آنگستروم) وجود دارند. نکته‌ی مهم این که در این خاکرخ، کانی آمفیبول وجود ندارد که احتمالاً به دلیل شرایط هوادیدگی بیشتر به کانی‌های دیگری تبدیل شده است. در پراش‌نگاشت این افق، در تیمار منیزیم، قله‌های بیشتر از ۱۴ آنگستروم حالت نامنظم و پله‌ای دارند که نشان‌دهنده‌ی وجود انواع کانی‌های مختلط منظم اسمکتیت/میکا و کلریت/میکا است. قله‌ی ۱۲ آنگستروم در تیمار پتاسیم با دمای بالا نیز نشان‌دهنده‌ی کانی مختلط نامنظم اسمکتیت/میکا است. پیدایش قله‌ی ۲/۸۵ و باقی‌ماندن بخشی از قله‌ی ۷/۱۵ آنگستروم در تیمار پتاسیم با گرما، نشان‌دهنده‌ی تشکیل مقداری کلریت غنی از منیزیم در این افق است. پراش‌نگاشت‌های وابسته به افق A، از نظر ترکیب تفاوت چندانی با افق Bw ندارد.

فریاد و هونیکس [۴۵] با بررسی کانی‌شناسی متابازیت‌های آلپ شرقی وجود کانی‌های الیوین، آمفیبول و برخی فلدسپات‌ها را گزارش کرده‌اند. بنابراین، کانی‌های کلریت و اسمکتیت در

هوادیدگی، اسمکتیت غنی از آهن هشت‌وجهی سه‌گانه به هشت‌وجهی دوگانه (نانترونیت) تبدیل می‌شود. افزایش شدت قله‌ی ۵ آنگستروم در تیمار پتاسیم با گرما (شکل ۲-الف)، نشان‌دهنده‌ی اسمکتیت هشت‌وجهی دوگانه است که به احتمال زیاد از نوع نانترونیت است، در حالی که در تیمار پتاسیم با گرما، پراش‌نگاشت افق C اثری از تشکیل قله‌ی ۵ آنگستروم نیست.

در ترکیب سنگ‌های آذرین آبربازی اثری از میکاها وجود ندارد ولی در افق A خاکرخ Ub2 میکا تشخیص داده شد (شکل ۲-الف). در بخش پیشین اضافه شدن مواد بادرفتی به خاک‌های مورد بررسی اثبات شد و با توجه به وجود میکا در خاستگاه مواد بادرفتی [۴۰]، امکان اضافه شدن میکا از طریق رسوب‌های بادرفتی دور از ذهن نیست. سانچزمارانون و همکاران [۴۱] وجود کانی‌های کوارتز، فلدسپار و میکا در خاک‌های حاصل از سنگ‌های آبربازی را به اضافه شدن مواد بادرفتی ربط داده‌اند.

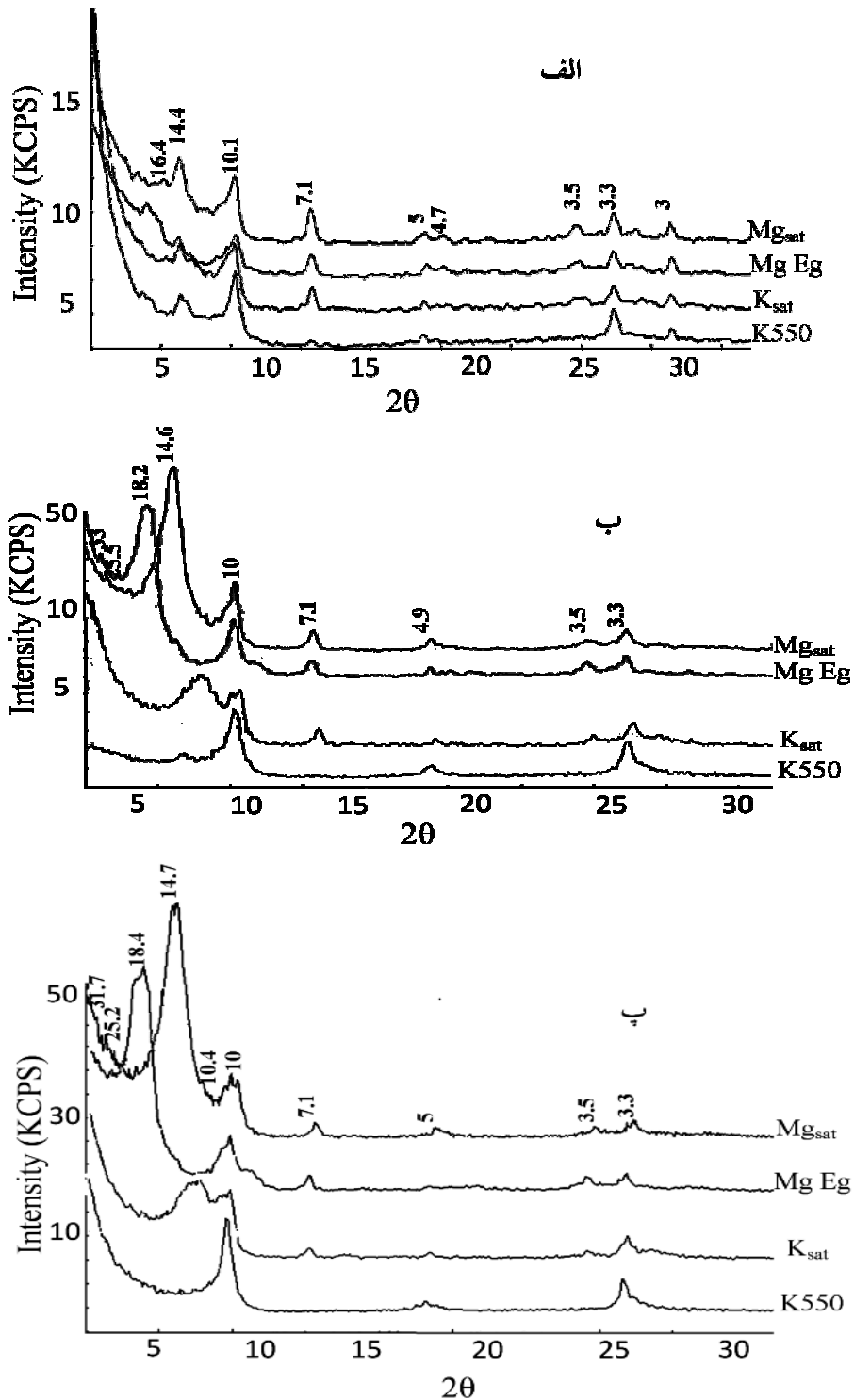
#### خاکرخ Gr1 (مواد مادری گرانیته)

کانی‌شناسی افق‌های خاکرخ Gr1 تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. به همین دلیل فقط پراش‌نگاشت‌های A، Bw و Ck مورد بررسی قرار می‌گیرند. پراش‌نگاشت هر سه افق (شکل ۳) نشان‌دهنده‌ی وجود کانی‌های کلریت، اسمکتیت، میکا، کوارتز (قله ۳/۳) و فلدسپار (قله ۳/۱۲) است. ترکیب کانی‌شناسی در تمامی افق‌های این خاکرخ مشابه است و اختلاف قابل ذکر بین افق‌ها، تفاوت در مقدار نسبی این کانی‌هاست. شدت کم قله‌ی ۱۴ آنگستروم نسبت به قله‌ی ۱۸/۲ آنگستروم در تیمار Mg Eg نشان دهنده‌ی مقدار نسبی بیشتر اسمکتیت نسبت به کلریت در مقایسه با خاکرخ‌های قبلی است. حذف قله‌ی ۷/۱۵ آنگستروم در تیمار K<sub>550</sub>، نشان‌دهنده‌ی کلریت غنی از آهن است.

میکا (موسکویت و بیوتیت)، فلدسپار و کوارتز سه کانی اصلی تشکیل‌دهنده‌ی گرانیته‌اند که بین این کانی‌ها، کانی بیوتیت، حساس‌ترین کانی به هوادیدگی است. هوادیدگی بیوتیت به دلیل اکسایش آهن موجود در آن عامل اصلی تشکیل مقادیر زیاد اسمکتیت است. بیزدوم و همکاران [۴۲] با بررسی ریخت‌شناسی و کانی‌شناسی بیوتیت‌های هوادیده دریافتند که این کانی‌ها به کانی‌های ثانویه اسمکتیت و ورمیکولیت تبدیل شده‌اند. کریمی [۴۳] با بررسی کانی‌های رسی در سه نوع

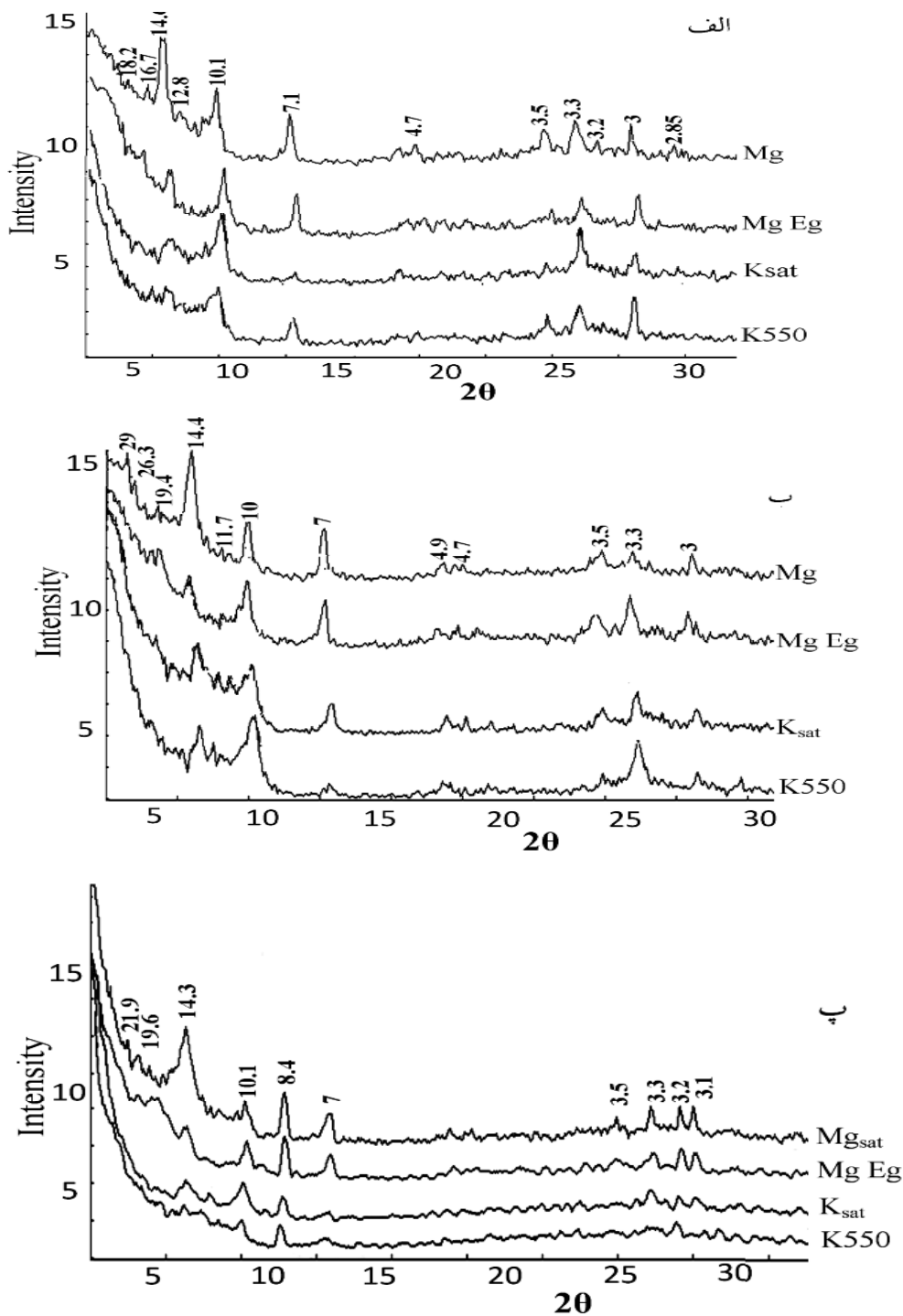
به صورت مخلوط با ورمیکولیت بوده‌اند، اما نبود اسمکتیت را در خاکرخ بررسی شده به عدم پایداری آن در شرایط اسیدی یا موقعیت یون آهن در شبکه‌ی کانی کلریت (حضور بیشتر آهن در ورقه هیدروکسید بین لایه‌ای) نسبت دادند.

زمان دگرگون سنگ اصلی تشکیل شده‌اند و مقدار کمی نیز طی تشکیل خاک از کانی‌های اولیه تشکیل شده است. رمضان‌پور و همکاران [۴۶] در بخش رس سنگ‌های دگرگونی فیلیت در ناحیه‌ی لاهیجان، میکا و کلریت را گزارش کردند که



شکل ۳ پراش‌نگاشت‌های رس خاکرخ گرانیتی (Gr1. الف) افق A1، ب) افق Bw، پ) افق C. Mgsat نمونه‌ی اشباع با منیزیم، Mg Eg نمونه‌ی اشباع با اتیلن گلیکول، Ksat و K550 به ترتیب، نمونه‌های اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد.





شکل ۴ پراش‌نگاشت‌های رس خاک‌رخ دگرگون (Mel، الف) افق A، ب) افق Bw و پ) لایه‌ی مادری Mgsat.R نمونه‌ی اشباع با منیزیم، Mg Eg نمونه‌ی اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، Ksat و K550 به‌ترتیب، نمونه‌های اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد.

خاکزا و در خاک تشکیل شده از سنگ آهک، توارثی و در خاک به‌وجود آمده از سنگ دگرگون گنیس، دارای هر دو خاستگاه توارثی و خاکزایی گزارش کرده‌اند. آنها همچنین نشان دادند که

نوروزی‌فرد و همکاران [۴] در بررسی کانی‌شناسی خاک‌های با مواد مادری گوناگون در چهارمحل و بختیاری، خاستگاه اسمکتیت را در خاک‌های حاصل از گرانیب و بازالت،

در خاکرخ Ub2 چون پریدوتیت نسبت به بقیه سنگ‌ها هوادیدگی بیشتری دارد از افق C به سمت افق A تغییرات بیشتری در کانی‌ها نسبت به دیگر خاکرخ‌ها مشاهده شد. در حالی که در دو خاکرخ دیگر، به‌ویژه در خاکرخ Gr1، تغییرات کانی‌شناسی از مواد مادری به خاک زیاد نیست. البته، به این نکته نیز باید توجه داشت که اقلیم خشک منطقه و هوادیدگی کم باعث شده است که تفاوت کانی‌شناسی خاک‌ها مشهود باشد.

کانی میکا در مواد مادری خاکرخ Ub2 وجود ندارد و وجود کانی میکا در افق سطحی به احتمال زیاد خاستگاه بادفرتی دارد. اما در دو خاکرخ دیگر چون در مواد مادری آنها میکا وجود دارد، این کانی در پراش‌نگاشت‌های همه افق‌ها شناسایی شد. کانی آمفیبول یک کانی اولیه است که در مواد مادری گرانیته نیز به مقدار کمتر نسبت به سنگ‌های آبریزی وجود دارد؛ این کانی یا در گرانیته‌های مورد بررسی وجود نداشته یا مقدار آن در حد تشخیص به‌روش پراش پرتو ایکس نبوده است. به‌همین دلیل در خاکرخ Gr1 این کانی وجود نداشت. اما، در خاکرخ‌های Ub2 و Me1 چون در مواد مادری آنها آمفیبول وجود دارد، در نمونه‌های بررسی شده آنها نیز این کانی مشاهده شد. نتایج کانی‌شناسی خاک‌های مورد بررسی همچنین نشان‌دهنده وجود کانی‌های کوارتز و فلدسپار در خاکرخ Gr1 بود. کانی‌های مخلوط مثل کلریت/میکا، کلریت/اسمکتیت و اسمکتیت/میکا در همه‌ی خاکرخ‌ها، و به‌ویژه در خاکرخ Ub2، مشاهده شد که نشان‌دهنده‌ی روند تبدیل کانی‌ها به یکدیگر است.

#### مراجع

- [۱] حجتی س.، خادمی ح.، "عوامل موثر در تشکیل و پراکنش پالیگورسکیت در برخی خاک‌های تشکیل‌شده بر روی رسوب‌های ترشیاری استان اصفهان"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱ (۱۳۸۹) ص ۲۸-۱۵.
- [۲] خرمالی ف.، قربانی ر.، "منشا و پراکنش کانی‌های رسی در خاک‌های سه منطقه اقلیمی شرق استان گلستان"، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۳ (۱۳۸۸) ص ۲۷-۳۸.
- [3] Brady N.C., Weil R.R., "The Nature and properties of soils", 12<sup>th</sup> edition, Prentice Hall, New York, (1998) 881 p.
- [۴] نوروزی‌فرد ف.، صالحی م.ج.، خادمی ح.، داوودیان دهکردی ع.ر.، "تشکیل، طبقه‌بندی و کانی‌شناسی خاک‌های

بیشترین مقدار اسمکتیت در خاک تشکیل شده روی ماده مادری گنیس و کمترین مقدار آن نیز در خاک حاصل از گرانیته دیده می‌شود. به نظر بارنهیسل و برچ [۴۷] و فنینگ [۴۸]، کانی‌های کلریت اولیه در خاک‌ها معمولاً از سنگ‌های با درجه‌ی کم یا متوسط دگرگونی یا سنگ‌های آذرین به ارث می‌رسند.

نکته دیگر، وجود آمفیبول در سنگ مادری (شکل ۴-پ) و تقریباً حذف آن در افق‌های A و Bw است که نشان‌دهنده‌ی هوادیدگی این کانی است. تشکیل قله‌ی ۲/۸ آنگستروم نشان می‌دهد که بخش زیادی از این کانی به کلریت تبدیل شده است. شارپ و باسک [۴۹] با بررسی روی برخی سنگ‌های سیلیکاتی در ایالت آریزونا، آمریکا، تبدیل آمفیبول به کلریت را گزارش کرده‌اند. وجود قله‌ی ۳/۱۲ آنگستروم که پس از حذف آمفیبول هنوز وجود دارد نشانی از وجود فلدسپار است که به مقدار کم در متابازیت‌ها وجود دارد.

#### برداشت

نتایج این بررسی به‌خوبی تفاوت کانی‌شناسی بخش رس خاک‌های با مواد مادری گوناگون را نشان داد. پریدوتیت، گرانیته، متابازیت و شیست به‌عنوان مواد مادری خاک‌های مورد بررسی، از نظر ترکیب متفاوتند. پریدوتیت به‌عنوان یک سنگ آبریزی، دارای مقدار کمی سیلیس و کانی‌های فرومنیزیم است در حالی که گرانیته، دارای سیلیس زیادی به صورت کوارتز، فلدسپار و میکا است. متابازیت نیز یک سنگ دگرگون است که از دگرگونی سنگ‌های آذرین بازی تشکیل شده است و از نظر ترکیب حدواسط دو سنگ دیگر است.

نتایج کانی‌شناسی خاکرخ‌های بررسی شده وجود کانی‌های کلریت، اسمکتیت و میکا را در هر سه خاکرخ تایید کردند. با وجود مشابه بودن این کانی‌ها در هر سه خاکرخ، آنها از نظر چگونگی تشکیل و ترکیب با یکدیگر تفاوت دارند. کانی کلریت در خاکرخ‌های Me1 و Ub2 در اثر هوادیدگی مواد مادری و حتی هنگام دگرگون شدن خفیف کانی‌های موجود در این خاکرخ‌ها تشکیل شده است، اما در خاکرخ Gr1، کانی کلریت از هوادیدگی و تبدیل کانی‌های دیگر به‌ویژه بیوتیت تشکیل شده است. به‌همین دلیل، کلریت در خاکرخ Gr1 غنی از آهن و در خاکرخ‌های Ub2 و Me1 غنی از منیزیم است. بنابراین، در خاک‌های بررسی شده نحوه‌ی تشکیل و نوع کلریت متفاوت است

- تشکیل شده از مواد مادری گوناگون در شمال استان چهار محال و بختیاری، نشریه آب و خاک، شماره ۲۴ (۱۳۸۹) ص ۶۴۷-۶۵۸.
- [5] Boul S. W., Southard R. J., Graham R.C., McDaniel P.A., "Soil Genesis and Classification", 5<sup>nd</sup> ed., Iowa State university press, Ames, (2003) 494 p.
- [6] Dixon J.C., Young R.W., "Character and origin of deep arenaceous weathering mantles on the Bega Batholith, Southeastern Australia", Catena 8 (1981) 97-109.
- [۷] اوجی م.ر.، باقرنژاد م.، "مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، مورفولوژیکی و کانی‌شناسی برخی از خاکهای جلگه های مرتفع استان فارس"، ششمین کنگره علوم خاک ایران، مشهد، (۱۳۸۶) ص ۵۸-۵۹.
- [8] Khademi H., Mermut A.R., "Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran", Clay Mineralogy 33 (1998) 561-578.
- [۹] کریمزاده ح.، جلالیان ا.، خادمی ح.، "مطالعه کانی‌های رسی خاک‌های گچی زمین‌ریخت‌های مختلف در منطقه شرق اصفهان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، (۱۳۸۳) ص ۹۲-۷۳.
- [۱۰] ابطحی ع.، صلحی م.، "تاثیر پستی و بلندی و زمان در تشکیل خاک با مواد مادری خیلی آهکی تحت شرایط نیمه‌خشک منطقه باجگاه"، سومین کنگره علوم خاک ایران، کرج، (۱۳۷۱) ص ۳۵-۲۵.
- [11] Fityus S.G., Smith D.W., "The development of a residual soil profile from a mudstone in a temperate climate", Engineering Geology 74 (2004) 39-56.
- [12] Shaetzel R., Anderson H., "Soils Genesis and Geomorphology", Cambridge University Press, New York, (2005) 816 p.
- [۱۳] درویش‌زاده ع.، "زمین‌شناسی ایران"، چاپ دوم، انتشارات امیرکبیر، (۱۳۸۲) ۹۰۲ ص.
- [14] Stöcklin, J., "Structural history and tectonics of Iran, a review", American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52 (1968) 1229-1258.
- [۱۵] صاحب‌جمع ع.ا.، "گزارش نهائی مطالعات تفصیلی دقیق خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق- استان خراسان"، نشریه فنی ۱۱۴۶، موسسه تحقیقات خاک و آب، (۱۳۸۱) ۶۲ ص.
- [۱۶] طاهری ج.، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد وزارت معادن و فلزات، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۳).
- [17] Soil Survey Staff. "Keys to Soil Taxonomy", 11<sup>th</sup> edition, USDA-NRCS, Washington DC, (2010) 338 p.
- [۱۸] عزیزی ح.، محجل م.، "دگرشکلی در تکتونیت‌های شمال باختر خوی"، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۱ (۱۳۸۶) ص ۶۵-۷۳.
- [۱۹] مظاهری س. ا.، کاهنی ش.، قورچی م.، "مطالعات ژئوشیمیایی متابازیت‌های اطراف مشهد و تعیین محیط تکتونیکی آنها"، یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، مشهد، (۱۳۸۶) ص ۵۴۸-۵۴۳.
- [20] USDA-NRCS. "Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report", No. 42. Version 3.0. Nebraska, (1996) 700 p.
- [21] Kittrick J., Hope E. W., "A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis", Soil Science Society of America Journal 37 (1963) 201-205.
- [22] Jackson M. L., "Soil Chemical Analysis Advanced Course", 2<sup>nd</sup> ed., 11<sup>th</sup> Printing, Published by the Author, Madison, WI, U.S.A. (1979) 991 p.
- [23] Rahardjo H., Aung K. K., Leong E. C., Rezaur R. B., "Characteristics of residual soils in Singapore as formed by weathering", Engineering Geology 73 (2004) 157-169.
- [24] Karimi A., Frechen M., Khademi H., Kehl M., Jalalian A., "Chronostratigraphy of loess deposits in northeast Iran", Quaternary International 234 (2011) 124-132.
- [25] Kierczak J., Neel C., Bril H., Puziewicz J., "Effect of mineralogy and pedoclimatic variations on Ni and Cr distribution in serpentine soils under temperate climate", Geoderma 142 (2007) 165-177.
- [26] Bonifacio E., Zanini E., Boero V., Franchini-Angela M., "Pedogenesis in a soil catena on serpentine in north-western Italy", Geoderma 75 (1997) 33-51.
- [27] Lee B. D., Sears S. K., Graham R. C., Amrhein C., Vali H., "Secondary mineral genesis from chlorite and serpentine in an ultramafic soil toposequence". Soil Science Society America Journal 67 (2003) 1309-1317.

- [39] Noack Y., Colin F., "Chlorites and chloritic mixed-layer minerals in profiles on ultrabasic rocks from Moyango (Ivory Coast) and Angiquinho (Brazil)", *Clay minerals* 21 (1986) 171-182.
- [۴۰] کریمی ع.، خادمی ح.، جلالیان ا.، "شناسایی خاک‌های لسی و تفکیک آنها از سایر خاک‌ها در جنوب شهر مشهد"، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۴ (۱۳۸۷) ص ۲۰۱-۱۸۵.
- [41] Sanchez-Maranon M., Gamiz E., Delgado G., Delgado R., "Mafic-ultramafic soils affected by silicic colluvium in the Sierra Nevada Mountains (southern Spain)", *Canadian Journal of Soil science* 79 (1999) 431-442.
- [42] Bisdom E.B.A., Stoops G., Delvigni J., Curmi P., Altemuller H.J., "Micromorphology of weathering biotite and its secondary products", *Pedology* 2 (1982) 225-252.
- [۴۳] کریمی ع.، "بررسی تکامل خاک‌ها و تعیین منشا و سن‌یابی رسوبات سیلتی در لندفرم‌های اطراف مشهد"، پایان‌نامه دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۸) ۱۴۸ ص.
- [44] Dixon J. B., Weed S. B., "Mineral in Soil Environments", 2<sup>nd</sup> ed., Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. (1991) 1243p.
- [45] Faryad S. W., Hoinkes G., "Complex growth textures in a polymetamorphic metabasite from the Kraubath Massif (eastern Alps)", *Journal of petrology* 45 (2004) 1441-1451.
- [۴۶] رمضان‌پور ح.، حسامی ر.، زنجانچی م.ع.، "کانی‌شناسی بخش رس و ژئوشیمی خاک‌های تشکیل‌شده از سنگ مادری دگرگون و آذرین‌قلیایی در ناحیه لاهیجان"، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره ۲ (۱۳۸۶) ص ۴۰۰-۳۸۳.
- [47] Barnhisel R. I., Bertsch P. M., "Chlorite and hydroxy interlayer vermiculite and smectite". In: Dixon J.B., and Weed S.B. (eds). "Minerals in soil environment", 2<sup>nd</sup> ed. SSSA. Book series. Madison. Wi., (1988) 1244 p.
- [48] Fanning D. S., "Soil Morphology, Genesis and Classification", John Wiley and Sons, New York, (1989) 369 P.
- [49] Sharp T. G., Buseck P. R., "Prograde versus retrograde chlorite-amphibole intergrowths in a calc-silicate rock", *American mineralogist* 73 (1988) 1292-1301.
- [28] Wilson M. J., "Clay mineralogical and related characteristics of geophagic materials", *Journal of Chemical Ecology* 29 (2004) 1525-1547.
- [29] Bulmer C. E., Lavkulich L. M., Schreier H. E., "Morphology, chemistry, and mineralogy of soils derived from serpentinite and tephra in southwestern British Columbia", *Soil Science* 154 (1992) 72-82.
- [۳۰] کبیری س.، خلیلی م.، "مینرال شیمی کلریت در پهنه‌های دگرسانی هیدروترمال منطقه‌ی قمصر، نخستین گردهمایی و همایش ملی بررسی دستاوردهای پژوهشگران علوم زمین ایران، تهران، (۱۳۸۹) ص ۵۲-۴۵.
- [31] Velde B., Meunier A., "The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks", Springer-Verlag, Berlin, (2008) 406 p.
- [32] Meunier A., Petit S., Cockel C. S., Albani A. E., Beaufort D., "The Fe-rich clay microsystems in basalt-Komatiite Lavas: Importance of Fe-smectites for pre-biotic molecule catalysis during the Hadean Eon", *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 40 (2010) 253-272.
- [33] Mehra O. P., Jackson M. L., "Iron oxide removal from soils and clays by a dithionate citrate system with sodium bicarbonate", *Clay Mineralogy* 7 (1960) 317-327.
- [34] Galan E., "Genesis of clay minerals. Handbook of Clay Science", Elsevier, Amsterdam, (2006) 1224 p.
- [35] Lessovaia S., Polekhovskiy Y., Pogozhev E., "Soil formation from ultrabasic rocks in bioclimatic conditions of mountainous tundra (the Polar Urals, Russia): Mineralogical aspects", 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Australia, (2010) 100-103.
- [36] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "An Introduction to the Rock-Forming Minerals", 17<sup>th</sup>, London, Ltd, (1991) 528p. 50, 181-238.
- [37] Graham R. C., Diallo M. M., Lund L. J., "Soils and mineral weathering on phyllite colluvium and serpentinite in northwestern California", *Soil Science Society America Journal* 54 (1990) 1682-1690.
- [38] Ho Ahn J., Peacor D. R., Coombs D.S., "Formation mechanisms of illite, chlorite and mixed-layer illite-chlorite in triassic volcanogenic sediments from the southland syncline, New Zealand", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 99 (1988) 82-89.