

شواهد صحرایی، سنگ‌شناسی و شیمی کانی‌های توده‌های نفوذی غنی از تیتانیم شمال غرب ایران

منیژه اسدپور^{۱*}، ثریا هویس^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

۲- گروه علوم زمین و محیط زیست، دانشگاه LM مونیخ، آلمان

(دریافت مقاله: ۹۹/۶/۸، نسخه نهایی: ۹۹/۹/۳)

چکیده: توده‌های نفوذی لایه‌ای با کانه‌زایی اکسید Fe-Ti در شمال غرب دریاچه ارومیه در بخش‌های مختلفی برونزد دارند. این توده‌ها در دورترین بخش شمال غرب پهنه سندنجان سیرجان با سن پرمین از نوع مافیک-فرامافیک لایه‌ای هستند و درون سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین قرار دارند. در این پژوهش، یافته‌های بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و شیمی کانی‌های دو توده مهم و بزرگ غازان (GKMUC) و قره آغاج (GhMUC) باهم مقایسه شده‌اند. بخش فرامافیک هر دو توده توسط بخش مافیک دربرگرفته شده و بخش لبه‌ای آن‌ها توسط گابروهای غیر لایه‌ای احاطه گردیده است. مافیک‌ها در GKMUC بیشترنوریتی و در GhMUC گابرویی هستند. در GKMUC، انباشت‌های سنگ خالص سیل‌مانندی از ایلمنیت و تیتانومگنتیت وجود دارند که در GhMUC دیده نشدند. فازهای غنی از اکسیدهای Fe-Ti±AP در GhMUC فقط در بخش فرامافیک (شامل دونیت، ورلیت و کمی کلینوپیروکسنیت) وجود دارند، در صورتی که فازهای غنی از اکسیدهای Fe-Ti بدون آپاتیت در GKMUC در بخش‌های خالص کومولایی، در فرامافیک‌ها (شامل ورلیت، پیروکسنیت و کمی دونیت) و مقداری نیز در بخش مافیک و حتی آنورتوزیتی شکل گرفته‌اند. اسپینل‌های GKMUC نسبت به GhMUC ماهیت هرسینیتی بیشتری دارند. این تفاوت‌ها نشانگر مسیرهای تبلور متفاوت و به احتمال بسیار خاستگاه متفاوت اکسیدهای Fe-Ti این توده‌هاست.

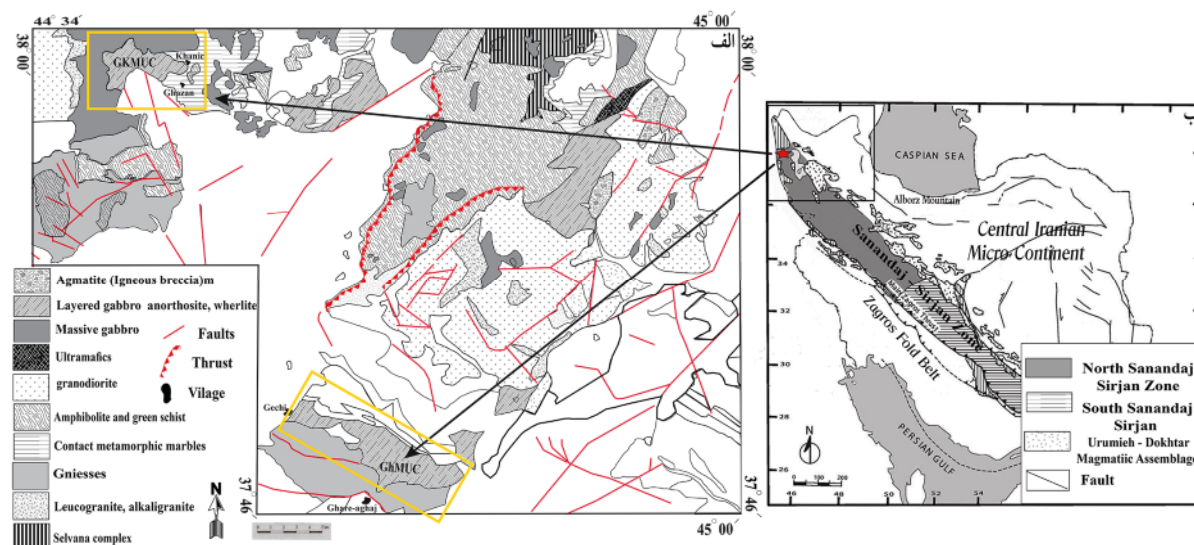
واژه‌های کلیدی: توده‌های نفوذی؛ تیتانیم؛ شیمی کانی؛ توده غازان؛ توده قره آغاج.

مقدمه

مافیک-فرامافیک لایه‌ای دیده می‌شوند. مهمترین آن‌ها با بیشترین ذخایر اکسید Fe-Ti، توده‌های نفوذی غازان (GKMUC) و قره آغاج (GhMUC) هستند که به ترتیب بین طول‌های جغرافیایی ۳۸° ۴۴' تا ۴۰° ۴۰' و ۴۳° ۴۳' تا ۴۴° ۵۰' و عرض‌های جغرافیایی ۳۷° ۵۸' تا ۳۷° ۰۰' و ۳۷° ۴۶' تا ۴۰° ۴۰' قرار دارند (شکل ۱). این توده‌ها بخشی از نفوذی‌های اوایل پرمین شمال غرب پهنه سندنجان - سیرجان هستند [۶]. هر دو توده لایه‌ای هستند و از دو واحد مافیک و فرامافیک تشکیل شده‌اند. آن‌ها از نظر حجمی از نفوذی‌های لایه‌ای شناخته شده‌ای مانند بوشولد در آفریقای جنوبی [۷، ۶]،

کانه‌سازی ذخایر اکسیدی آهن و تیتان به طور معمول با نفوذی‌های لایه‌ای مافیک-فرامافیک و یا مجموعه‌های آنورتوزیتی همراه بوده [۱-۳]، که اغلب به صورت رگه، عدسی و یا بخش‌های محصور شده هستند [۴، ۵]. به دلیل پتانسیل کانه‌زایی تیتانیم، این نفوذی‌ها اهمیت بسیاری دارند بطوریکه بررسی و مقایسه انواع آن‌ها امروزه یک موضوع مهم و بحث برانگیز است.

در شمال غرب دریاچه ارومیه، ذخایر قابل توجهی از اکسیدهای Fe-Ti وجود دارند که بصورت توده‌های نفوذی



شکل ۱ الف) نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه شمال غرب دریاچه ارومیه، برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سرو [۸]، ب) جایگاه منطقه مورد بررسی در نقشه پهنه‌بندی ساختاری ایران [۹].

بر اساس یافته‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و شیمی کانی‌ها شناسایی و مقایسه شده‌اند و همسانی‌ها و تفاوت‌های آن‌ها بررسی گردیده است.

زمین‌شناسی

مجموعه نفوذی مافیک - فرامافیک لایه‌ای GhMUC، توده به نسبت کوچکی به شکل یک بیضی با وسعت حدود ۱۴ کیلومتر مربع (شکل ۱) است که روند عمومی تقریباً شمال غربی- جنوب شرقی دارد. شیب ساختاری آن حدود ۶۰ درجه به سمت شمال شرقی است. این توده در میان سنگ‌های دگرگونی مجموعه گنیسی و مجموعه آمفیبولیتی وابسته به پرکامبرین جای دارد [۱]. همبری سنگ‌های مافیک با سنگ‌های وابسته به پرکامبرین اغلب گسله است. در بخش شمالی و شرقی توده، توالی رسوبی پرمین دیده می‌شود که به طور دگرشیب و گسله بر آنها قرار دارد (شکل ۱). سن این توده را اسدپور و همکاران [۱۴] براساس سن‌سنجی توده‌های پیرامون پرمین برآورد کرده‌اند. بخش عمده GhMUC در یک پهنه برشی جایگزین شده است.

توده GKMUC نیز یک مجموعه مافیک - فرامافیک لایه-ای به شکل بیضی، با وسعت حدود ۱۲ کیلومتر مربع و با روند تقریبی شمالی- جنوبی بوده که شیب ساختاری آن حدود ۷۰ درجه به سمت شمال غرب است. این توده در ۲۷ کیلومتری شمال غربی توده GhMUC (شکل ۱) در سنگ‌های دگرگونی وابسته به پرکامبرین شامل شیست، گنیس و آمفیبولیت و

ست ایل در کانادا [۱۰]، بیکرایم- سوکندل در نروژ و اسکارگارد در گرینلند [۱۱] کوچک‌تر هستند. ویژگی مشخص هر دو توده، کانه‌زایی اکسید Fe-Ti است. علیپور و همکاران [۱۲] معتقدند که حجم و مقدار کانه‌زایی در GKMUC کمتر از GhMUC است. تاکنون پژوهشی پیرامون بررسی و مقایسه انواع نفوذی‌های غنی از اکسیدهای Fe-Ti در این منطقه انجام نشده است. که در این پژوهش، تفاوت‌ها و همسانی‌های بین توده‌های کانه‌زایی شده این منطقه ارزیابی می‌شود. میرمحمدی و همکاران [۷] GhMUC را یک توده متمایز با ترکیب شیمیایی غیرعادی دانسته و آن را نوع جدیدی از سنگ‌های غنی از Fe-Ti-P (FTP) معرفی کرده‌اند که ناشی از جدایش بلوری ماگمای فروبازالتی غنی از عنصر P در عمق است. آن‌ها در یک سامانه باز همراه با و یا بدون عملکرد فرآیند ناآمیختگی مایعات، تشکیل سنگ‌های دگرگونه FTP توده GhMUC را ممکن دانسته‌اند. این پژوهشگران بخش مافیک و فرامافیک توده را هم‌ماگما تشخیص نداده‌اند. علیپور و همکاران [۱۲]، معتقدند که دو توده GKMUC و GhMUC مشابه هستند. به نظر اسدپور و هویس [۱۳]، همه واحدهای سنگی مجموعه GKMUC از یک ماگمای مادر فروبازالتی تشکیل شده‌اند، ولی در تشکیل بخش‌های کانه‌زایی شده، هر دو فرآیند غنی‌شدگی از Fe-Ti در مذاب‌های باقیمانده برآمده از ماگمای مادر بازالتی و تزریق یک سیال غنی از Fe-Ti مزوج نشده به درون بخش مافیک - فرامافیک سهم داشته‌اند. در این پژوهش این توده‌ها

توده را تشکیل می‌دهند. بخش گابروی غیر لایه‌ای هر دو توده شامل سنگ‌هایی با دانه‌های تقریباً هم اندازه ریز تا متوسط است. این گابروها با بافت غالب برابر دانه بیشترین بخش مافیک در هر دو توده را تشکیل داده‌اند. بندرت همبری مشخصی از این بخش با بخش گابروهای لایه‌ای دیده می‌شود. این همبری در برخی رخنمون‌ها همبری نامنظم و در برخی دیگر تیز است. اکسید Fe-Ti بصورت بخش‌های بین بلوری در انواع سنگ‌های مافیک فقط در GKMUC دیده شده ولی در بخش مافیک توده GhMUC کانه‌زایی صورت نگرفته است. بخش فرامافیک هر دو توده با بخش مافیک لایه‌ای در بر گرفته شده است. این بخش در توده GKMUC حدود ۱۵ درصد و در توده GhMUC حدود ۲۰ درصد از حجم کل را تشکیل می‌دهد. لوکوگابرو و آنورتوزیت در هر دو توده به صورت لایه‌های روشن منظم، گاهی غیر منظم و عدسی شکل (شکل‌های ۲ الف و ب)، در بالای گابروهای لایه‌ای و یا درون بخش گابروهای درشت دانه دیده می‌شوند. لایه‌های آنورتوزیت از چند سانتی‌متر تا چند ده متر ضخامت دارند و به تناوب بارها تکرار شده‌اند. لوکوگابروها و سپس پگماتیت گابروها آخرین لایه‌های هر دو مجموعه هستند که بر واحدهای پیشین قرار دارند. در توده GKMUC، بخش‌های خالصی از انباشت سنگ ایلمنیت و تیتانومگنتیت به صورت سیل مانند نزدیک فرامافیک‌ها وجود دارند که بخش‌های کنده شده از آن‌ها به صورت قطعه‌های بزرگ و کوچک پراکنده با قطر تا یک متر در پایین ارتفاع‌ها و دره‌ها دیده می‌شود (شکل ۲ پ)، ولی این بخش در توده GhMUC وجود ندارند. افزون بر آن، در آبراهه‌های GKMUC اکسیدهای Fe-Ti پلاسی بیشتر از منطقه توده GhMUC وجود دارد. بخش فرامافیک هر دو توده به صورت مجموعه‌ای از لایه‌های سیل مانند و موازی (شکل‌های ۲ ت و ث) یا غیر موازی (شکل ۲ ج) با رخنمون محدود هستند که گاهی در تناوب با بخش گابروهای لایه‌ای با همبری از نوع هم-شیب و تیز قرار دارند. عمده سنگ‌های فرامافیک GhMUC را ورلیت و دونیت تشکیل می‌دهد؛ پیروکسنیت به مقدار کمتر و اغلب به صورت لایه‌های نازک چندسانتی‌متری موضعی در بین دونیت و ورلیت‌ها یافت می‌شود. این در حالی است که عمده سنگ‌های فرامافیک GKMUC را ورلیت و پیروکسنیت تشکیل می‌دهد و بمقدار کمتر دونیت به صورت لایه‌های نازک در حد میلی‌متری تا چند سانتی‌متر در بین آن‌ها قرار دارد. بخش فرامافیک در هر دو توده با کانه‌زایی Fe-Ti همراه است.

آهک‌های دگرگون شده پالئوزوئیک [۷-۱۳] قرار دارد. جز بخش جنوبی آن که با سنگ‌های آتشفشانی کواترنری پوشانده شده، سایر بخش‌ها با گابروهای غیر لایه‌ای هم‌سن پرمین در برگرفته شده است [۱۴]. در سال‌های اخیر، با سن‌سنجی به روش U-Pb بر دانه‌های زیرکن گابروهای توده GKMUC سن حدود ۳۰۰ میلیون سال تعیین شده که به فعالیت‌های تنوره گشته‌ای نسبت داده شده است [۱۴]. شدت پهنه برشی در منطقه GKMUC نسبت به GhMUC کمتر است. در سراسر توده‌های GKMUC و GhMUC، مرز تدریجی بین بخش مافیک و فرامافیک دیده نشد. دایک‌های سفید فلدسپاتی تا کوارتز - فلدسپات در هر دو منطقه در بخش مافیک قابل مشاهده است، ولی در بخش فرامافیک اثری از این دایک‌ها دیده نشد.

روش بررسی

طی بازدیدهای صحرایی نمونه از انواع مختلف سنگ‌های توده-های GKMUC و GhMUC، به ترتیب حدود ۵۰ و ۴۰ برداشت گردید. از نمونه‌های جمع‌آوری شده، تعداد ۷۰ مقطع نازک تهیه شد. پس از بررسی دقیق مقاطع نازک، ۲۶ نمونه از GKMUC برای تجزیه نقطه‌ای کانی‌های سازنده سنگ‌های مختلف انتخاب شدند. تجزیه کمی کانیایی با ریزپردازشگر الکترونی کامیکا مدل CAMECA SX-100 با ولتاژ ۱۲ kv و شدت جریان ۱۰ nA در آزمایشگاه ریزپردازش الکترونی دانشگاه لودویگ ماکسیمیلیان (LMU)، شهر مونیخ در آلمان انجام گردید. برای توده GhMUC، از داده‌های ریز پردازشی مرجع [۷، ۱۵] به دست آمده از دستگاه کامیکا مدل SX-100 در موسسه کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی دانشگاه هامبورگ آلمان استفاده شده که نتایج تعدادی از این آزمایشات در جدول‌های ۱ تا ۴ آورده شده است.

نتایج و بحث

بررسی‌های صحرایی

هر دو توده GhMUC و GKMUC از سنگ‌های مافیک و فرامافیک لایه‌ای تشکیل شده‌اند. بخش مافیک هر دو توده شامل دو قسمت گابروهای لایه‌ای و گابروهای غیر لایه‌ای است. بخش‌های لایه‌ای هر دو توده با بخش گابروهای غیر لایه‌ای دربرگرفته شده‌اند (شکل ۱). از نظر سنگ‌شناسی، به ترتیب گابروی ریز تا متوسط بلور، پگماتیت گابرو، لوکوگابرو و آنورتوزیت فراوان‌ترین سنگ‌های بخش گابروهای لایه‌ای هر دو



شکل ۲ الف) تناوب لایه‌های مافیک و فرامافیک در GKMUC، ب) تناوب لایه‌های مافیک و فرامافیک در GhMUC، پ) تصویری از یک نمونه خالص کانه‌زایی شده از اکسید Fe-Ti، ت) همبری لوکوگابرو با بخش‌های کانه‌زایی شده GKMUC، ث) همبری لوکوگابرو با بخش‌های کانه‌زایی شده GKMUC، ج) رخنمون همبری بخش‌های مافیک و فرامافیک توده GKMUC.

سنگ‌نگاری

توده GhMUC

پلاژیوکلازهای با ماکل آلبیتی و اندازه تا چند سانتی‌متر تشکیل شده است. پلاژیوکلازها بیشتر به سریسیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند. ریزگابروها در رخنمون‌های محدودی افزون بر حالت غیرلایه‌ای، حالت جهت یافته و لایه لایه نیز دارند که به احتمال بسیار ناشی از شدت بالای میلونیتی‌شدن در این منطقه است. همبری کانی‌شناسی آن‌ها درست مشابه ریزگابروهای غیر لایه‌ای توده GKMUC است. تفاوت ریزگابروهای غیرلایه‌ای با گابروهای لایه‌ای در این توده، تنها از نظر بافت است که به صورت تفکیک کانی‌های روشن و تیره در این سنگ‌ها دیده می‌شود. بافت غالب ریزگابروها دانه‌ای نیمه خود ریخت است. پلاژیوکلازها کانی عمده و اصلی بوده که بیشتر دارای ماکل آلبیتی و بدون منطقه‌بندی هستند. برخی بلورها سالم بوده ولی بیشتر سوسوریتی شده هستند. پیروکسن دومین کانی اصلی در ریزگابروهاست که از نوع کلینوپیروکسن با ترکیب دیوپسید-اوژیت است. این کانی از بلورهای کاملاً سالم تا بلورهای کاملاً تبدیل شده به آمفیبول تشکیل شده‌اند. عمده‌ترین کانی کدر در ریزگابروها ایلمنیت است که به صورت بی‌شکل فضای بین کانی‌های دیگر را پر کرده و تا ۷ درصد مقاطع را تشکیل می‌دهد [۱۵،۷].

عمده فرامافیک‌ها در GhMUC را ورلیت و دونیت و کمی پیروکسنیت تشکیل می‌دهند. بافت این سنگ‌ها دانه‌ای دانه‌ریز تا دانه‌متوسط است که در آن بلورهای سیلیکاتی با اکسیدهای Fe-Ti دربر گرفته شده‌اند (شکل‌های ۳ الف تا ج). اولیوین فراوان‌ترین فاز انباشتی اولیه در این سنگ‌ها بوده و مقدار آن در انواع مختلف فرامافیک‌ها از مقادیر جزئی در پیروکسنیت تا

در GhMUC، بیشترین حجم توده را سنگ‌های مافیک لایه‌ای و غیرلایه‌ای شامل می‌شوند که حجم بخش غیرلایه‌ای بیشتر از بخش لایه‌ای است. سنگ‌های مافیک اغلب مجموعه کانیاپی ساده‌ای دارند؛ کانی‌های اصلی آن‌ها شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و ایلمنیت و کانی‌های فرعی اپیدوت، اسفن، بیوتیت و آپاتیت هستند. اندازه کانی‌ها از دانه‌ریز تا دانه‌متوسط و درشت متغیر است. بلورهای پلاژیوکلاز در گابروهای دانه متوسط تا دانه درشت بیشتر نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل هستند و اندازه آن‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر تا ۲ سانتی‌متر است. این کانی‌ها اغلب دارای ماکل آلبیتی و بدون منطقه‌بندی هستند. بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز به سریسیت تجزیه شده‌اند. دگرسانی در گابروهای دانه متوسط به نسبت کمتر از انواع دانه درشت است. پیروکسن‌ها بیشتر کلینوپیروکسن و از نوع دیوپسید و اوژیت هستند. این کانی بیشتر به صورت بلورهای بی‌شکل و گاهی نیمه شکل‌دار یافت می‌شود و اغلب در اثر افزایش سیال‌های آبدار و اورالیتی شدن ناشی از دگرسانی، به هورنبلند و ترمولیت - اکتینولیت تبدیل شده‌اند. مقدار کانی‌های اکسید Fe-Ti در گابروهای غیرلایه‌ای از صفر تا ۸ درصد متغیر است و بیشتر به صورت بی‌شکل فضای بین کانی‌ها را پر می‌کنند. گاهی بافت تاج خروسی شامل هورنبلند پیرامون پلاژیوکلاز و پیروکسن‌ها و در محل تماس با کانی‌های اکسید Fe-Ti دیده می‌شود، که نشان دهنده واکنش مایع بین بلوری با سیلیکات‌هاست. آنورتوزیت در این سنگ‌ها بیشتر از کانی‌های درشت

این کانی‌ها بی‌شکل هستند و بین بلورهای سیلیکاتی را پر کرده و یا به‌صورت قطرک‌های کوچک در کانی‌های بزرگتر دیده می‌شوند (شکل ۳).

GKMUC توده

سنگ‌های مافیک در توده GKMUC، گابروهای غیر لایه‌ای با بافت غالب دانه‌ای نیمه خود ریخت ریز تا متوسط بلور هستند. کانی‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، ارتوپیروکسن همراه با مقداری آمفیبول بیشترین حجم کانی‌ها را تشکیل می‌دهند. زیرکن، آپاتیت و کانی‌های کدر به عنوان کانی‌های فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. پلاژیوکلازها به صورت دانه‌های تقریباً هم‌اندازه شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و بدون منطقه‌بندی هستند. این کانی‌ها بیشتر دارای ماکل آلبیتی هستند و در مقاطع مختلف ترکیب آندزین تا لابرادوریت دارند. آن‌ها در برخی نمونه‌ها، تا حد بسیاری سوسوریتی و کلریتی شده‌اند. بلورهای پیروکسن به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار تقریباً هم‌اندازه هستند. این کانی‌ها به دو صورت ارتو و کلینوپیروکسن در گابروهای غیر لایه‌ای دیده می‌شوند. کانه‌زایی بیشتر از نوع ایلمنیت و کمی مگنتیت است که به صورت کانی فرعی و بی‌شکل بین کانی‌های سیلیکاتی قرار دارند و مقدار آن‌ها کمتر از ۱٪ است. در بخش گابروهای غیر لایه‌ای، بخش‌های غنی از آپاتیت (۵-۸ درصد مودال) وجود دارد. این آپاتیت‌ها به شکل دانه‌های منشوری طویل شکل‌دار تا بی‌شکل با طول تقریبی ۱۰۰ تا ۳۵۰ میکرومتر هستند. کانه‌زایی اکسید Fe-Ti در این بخش بیشتر از بخش مافیک بدون آپاتیت است.

۷۰ درصد در دونیت‌ها متفاوت است. در بیشتر موارد، اولیوین به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هم‌اندازه تا کشیده دیده می‌شود. اولیوین‌ها در برخی نمونه‌ها، سالم بوده و بلورها بیشتر شکل‌دار هستند (شکل‌های ۳ الف و ب)، در حالیکه در برخی دیگر کاملاً به سرپانتین تبدیل شده‌اند (شکل ۳ ج). پیروکسن اغلب نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل و از نوع کلینوپيروکسن است که از مقادیر جزئی در دونیت‌ها تا بیش از ۹۰ درصد در پیروکسنیت‌ها متغیر است [۱۵،۷]. کانی‌های کلینوپيروکسن دربردارنده میانبارهای فراوان سوزنی شکل از ایلمنیت موازی با سطوح برگوارگی کلینوپيروکسن‌ها هستند (شکل‌های ۳ پ، ت). پلاژیوکلاز به مقدار بسیار ناچیز به شکل قطعه‌های نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل و نامنظم یافت می‌شود که دارای ماکل آلبیتی و یا بدون ماکل هستند (شکل ۳ پ). هورنبلند اغلب به صورت لبه واکنشی پیرامون بلورهای اولیوین و کلینوپيروکسن کنار اکسیدهای Fe-Ti تشکیل شده است (شکل ۳ پ). اسپینل هرسنیتی با ترکیب ۷۷٫۷ تا ۷۹٫۳ درصد اسپینل و ۱۹٫۹ تا ۲۶٫۴ درصد هرسنیت است [۱۵]. آپاتیت در برخی از فرامافیک‌های GhMUC دیده نمی‌شود (شکل‌های ۳ الف، ث)، ولی در تعدادی دیگر از نمونه‌ها (تا ۱۰٪) وجود دارد (شکل‌های ۳ ب، ت). در این نمونه‌ها، آپاتیت به شکل منشوری و طولیل شکل‌دار تا بی‌شکل بوده که هم به صورت بلورهای درشت بین بلوری و هم به صورت میانبار درون کانی‌های سیلیکاتی قابل مشاهده است (شکل ۳ ت). اکسید Fe-Ti بیشتر از نوع ایلمنیت و بمقدار کمتر از نوع تیتانومگنیت بوده و مقدار آن در مجموع از ۱۰ تا ۳۰ درصد متغیر است [۱۵،۷].

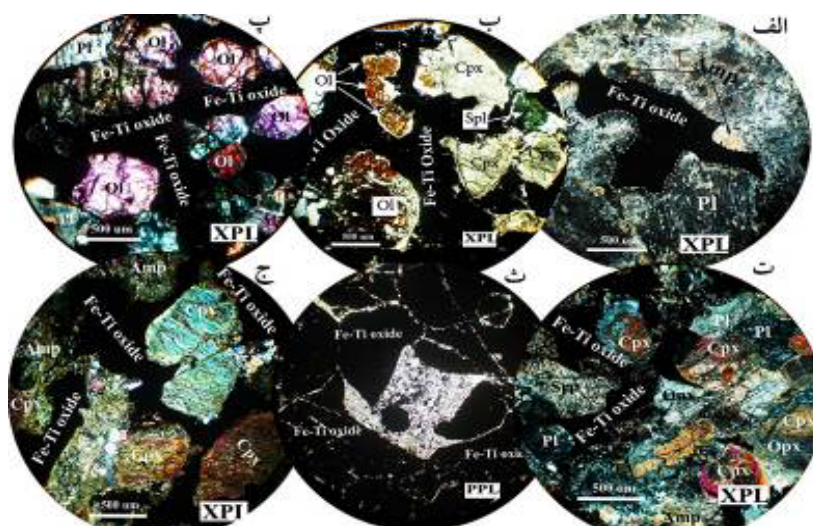


شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از انواع سنگ‌های فرامافیک GhMUC: الف) دونیت کانه‌زایی شده، ب) ورلیت آپاتیت‌دار کانه‌زایی شده، پ) نمونه مافیک کانه‌زایی شده همراه با لبه واکنشی از هورنبلند، ت) نمونه ورلیت آپاتیت‌دار کانی‌زایی شده، ث) نمونه دونیت کانه‌زایی شده، و ج) نمونه سربانتینیت کانی‌زایی شده. Plg: پلاژیوکلاز، Hor: هورنبلند، Spl: اسپینل، Ol: الیون، Opx: ارتوپیروکسن، Cpx: پروکسن [۱۶].

بافت انباشتی دارند که در آن کانی‌هایی چون ارتو و کلینو پیروکسن، اولیوین و پلاژیوکلاز با اکسیدهای Fe-Ti بین بلوری دربرگرفته شده‌اند (شکل‌های ۴ ب، پ و ج). فرامافیک‌های GKMUC از نوع بدون آپاتیت هستند. هورنبلند قهوه‌ای فراوان‌ترین کانی فرعی است که در بیشتر نمونه‌ها بصورت لبه واکنشی پیرامون کانی‌های سیلیکاتی و اکسیدهای Fe-Ti دیده می‌شود. مقداری بیوتیت و اسپینل هرسنیتی نیز به عنوان کانی فرعی وجود دارد (شکل ۴ ب). در این توده، گستره تغییرات اسپینل ۳۷/۴ تا ۴۹/۹ و برای هرسنیت ۴۹/۷ تا ۶۲/۲ درصد است. پیروکسنیت‌ها دارای بلورهای کلینوپيروکسن، ارتوپيروکسن، آمفیبول و مقدار بسیاری کانی‌های تیتانومنیستیت هستند. مقدار کمی پلاژیوکلاز به شکل قطعه‌های نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل در اندازه‌های ۱ تا ۳ میلی‌متر در این سنگ‌ها وجود دارد. در ورلیت‌ها، اولیوین به صورت کانی‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار کوچک و اغلب بلورهای هم اندازه دیده می‌شود که مقداری سرپانتینیزه شده‌اند. در برخی قسمت‌ها، مقدار اولیوین به حدی است که می‌توان آنرا یک دونیت نامید. سیل‌ها (آذرین لایه‌ها) و یا رگه‌های خالص و غنی از اکسید Fe-Ti کنار فرامافیک‌ها تقریباً فقط از بلورهای تیتانومگنتیت و ایلمنیت بیشتر شکل‌دار تشکیل شده‌اند (شکل ۴ ث).

بر اساس مقدار و نوع کانی‌ها در بخش گابروهای لایه‌ای توده GKMUC، تنوعی از سنگ‌های ملا گابرو تا آنورتوزیت دیده می‌شود. این بخش دارای ترکیب کانی‌شناسی ساده‌ای شامل پلاژیوکلاز، کلینوپيروکسن (دیوپسید و اوژیت) و ارتوپيروکسن بوده و اندازه دانه‌ها متوسط تا درشت است. پلاژیوکلازها بدون منطقه‌بندی هستند و ماکل آلبدیتی دارند و اغلب به شکل قطعه‌های نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل در اندازه‌های ۱ تا ۳ میلی‌متر دیده می‌شوند. کلینوپيروکسن‌ها بیشتر اورالیتی شده‌اند و در برخی نمونه‌ها، سوزن‌های ریزی از ایلمنیت در سطوح برگواگی پیروکس‌ها وجود دارد. لبه واکنشی دارای هورنبلند در محل تماس اکسیدهای Fe-Ti با پلاژیوکلاز و پیروکسن در برخی نمونه‌ها دیده می‌شود (شکل ۴ پ). پگماتیت گابروها دارای بلورهای درشت پیروکسن، آمفیبول و پلاژیوکلاز هستند. در این سنگ‌ها، پیروکسن‌ها بیشتر به آمفیبول تبدیل شده‌اند. کانی فرعی اسفن است و کانی‌های ثانویه شامل آمفیبول، زوئیزیت، کلریت و اپیدوت هستند. در این سنگ‌ها، کمی کانه‌زایی اکسید Fe-Ti صورت گرفته است که به صورت بلورهای بی‌شکل چند سانتی‌متری در بین دانه‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن قرار دارند (شکل‌های ۴ الف، ت).

بخش فرامافیک این توده شامل ورلیت، پیروکسنیت و کمی دونیت است که اغلب دانه متوسط تا دانه ریز هستند و بیشتر



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های GKMUC: الف) آنورتوزیت کانی‌زایی شده، ب) نمونه ورلیت کانه زایی شده، پ) نمونه‌های دونیت پلاژیوکلازدار کانه‌زایی شده، ت) نمونه گابروی کانی‌زایی شده دارای ارتوپيروکسن، ث) انباشت سنگ خالص اکسید Fe-Ti، و ج) نمونه پیروکسنیت کانه زایی شده. نشانه‌های اختصاری مانند شکل ۳ است.

در درون تیتانومگنتیت نیز دیده می‌شود.

شیمی کانی‌ها

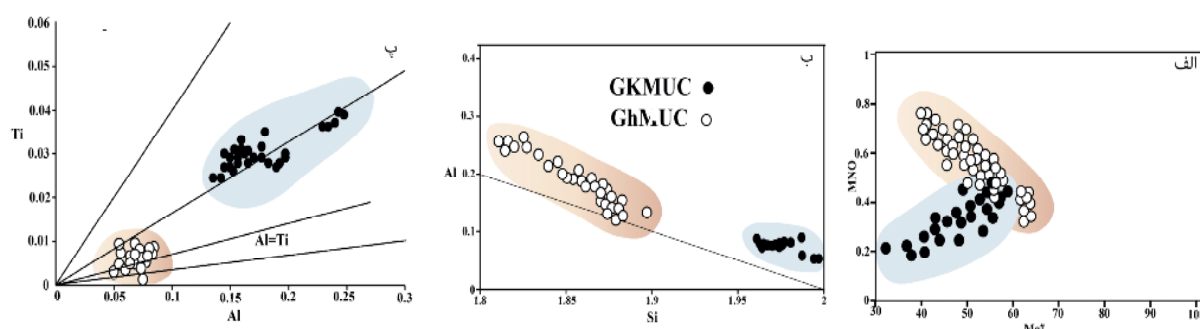
نتایج تجزیه‌های ریز پردازشی اولیوین در نقاط انتخابی از دو توده GKMUC و GhMUC در جدول ۱ آورده شده است. درصد فورستریت اولیوین در توده GKMUC از Fo₄₀ تا Fo₅₀ متغیر است. فورستریت اولیوین در سنگ‌های فرامافیک فقیر از آپاتیت GhMUC، دارای مقدار Fo₆₀ تا Fo₆₃ و در نمونه‌های غنی از آپاتیت دارای Fo₄₀ تا Fo₅₈ هستند [۱۵،۷]. فرامافیک‌های GKMUC از نوع بدون آپاتیت هستند، ولی مقدار Fo آن‌ها کمتر از انواع فرامافیک بدون آپاتیت و آپاتیت‌دار توده GhMUC است. مقدار MnO در اولیوین‌های توده GKMUC از ۰/۳۳ تا ۰/۴۷ و در توده GhMUC از ۰/۴ تا ۰/۸۵ درصد متغیر است. گستره تغییرات Mg[#] در اولیوین‌های توده GKMUC از حدود ۵۰ تا ۵۷ درصد متغیر بوده، در حالیکه در فرامافیک‌های توده GhMUC این گستره ۵۰ تا ۶۲ درصد است. براساس شکل ۵ الف، مقدار MnO در اولیوین‌های توده GhMUC بیشتر از توده GKMUC است.

ایلمنیت و تیتانومگنتیت در بخش فرامافیک هر دو توده اغلب به سه شکل و سه نسل متفاوت دیده می‌شود: (۱) میانبارهای کوچک تقریباً کروی درون کانی‌های سیلیکاتی، (۲) فاز بین کومه‌ای بین فازهای کانی‌های سیلیکاتی و (۳) رگچه‌های کوچک درون کانی‌های سیلیکاتی (شکل‌های ۳ و ۴). درصد اکسیدهای نسل اول و سوم در توده GKMUC نسبت به نوع دوم کمتر است. در این توده، مقدار اکسیدهای Fe-Ti در فرامافیک‌ها ۲۵-۳۰ درصد است، در حالی که در بخش تقریباً خالص مقدار آن به بیش از ۹۰ درصد می‌رسد. کانی‌های ایلمنیت، بیشتر به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل در اندازه تا ۴-۲ میلی‌متر بین کانی‌های سیلیکاتی دیگر قرار دارند. در فرامافیک‌های کانه‌زایی شده، ایلمنیت‌ها بصورت دانه‌های مجزا در کنار تیتانومگنتیت‌ها وجود دارند. همچنین، مگنتیت‌های رگچه‌ای تاخیری در آن‌ها بیشتر از نمونه‌های با کانه‌زایی خالص است. تیغه‌های ایلمنیت ترکیبی تقریباً مشابه با بلورهای ایلمنیت مجزا دارند. در نمونه‌های خالص کانه‌زایی شده، ایلمنیت افزون بر بافت دانه‌ای به صورت تیغه‌های نازکی

جدول ۱ نتایج تجزیه ریز پردازشی کانی‌های اولیوین نمونه‌های انتخابی (برحسب درصد وزنی).

توده نمونه	GhMUC*					GKMUC							
	TM62	TM16	TM134	TM138	TM147	2A58	2A59	2A61	2A62	2A08	2A10	2A18	2A30
SiO ₂	۲۵/۹۱	۲۵/۸۴	۲۴/۶۸	۲۴/۳۷	۲۲/۷۹	۲۵/۴۹	۲۶/۰۱	۲۵/۹۹	۲۶/۷۸	۲۶/۰۷	۲۳/۴۲	۲۶/۰۲	۲۵/۴۱
TiO ₂	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۰
Al ₂ O ₃	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۱۳	۱/۲۸	۰/۱۸	۰/۳۸
Cr ₂ O ₃	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴
FeO	۳۳/۰۶	۳۳/۹۹	۴۰/۰۱	۴۰/۲۵	۴۱/۹۵	۵۹/۳۵	۳۷/۰۰	۳۸/۹۳	۳۴/۸۹	۳۵/۸۹	۴۰/۱۳	۳۶/۹۹	۳۶/۹۸
MnO	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۴۴	۰/۴۰	۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۴۴
MgO	۳۱/۲۶	۳۰/۳۸	۲۵/۵۸	۲۵/۱۵	۲۳/۳۷	۲۷/۰۲	۲۶/۸۹	۲۳/۹۵	۲۷/۹۸	۲۶/۹۶	۲۳/۰۱	۲۵/۹۶	۲۵/۸۵
CaO	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۴۰	۰/۲۲	۰/۵۹	۰/۸۶	۰/۳۸	۰/۳۶
مجموع	۱۰۰/۷	۱۰۰/۷۶	۱۰۱/۰۲	۱۰۰/۴۸	۹۹/۸۹	۹۹/۰۳	۱۰۰/۶۵	۱۰۰/۰۳	۱۰۰/۵۷	۱۰۰/۱۶	۹۹/۱۷	۱۰۰/۱۳	۹۹/۴۵
Si	۰/۹۸۱	۰/۹۸۳	۰/۹۸۹	۰/۹۷۸	۰/۹۷۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۷	۱/۰۱	۱/۰۰
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe(ii)	۰/۷۵۵	۰/۷۷۹	۰/۹۱۹	۰/۹۵۸	۱/۰۱۶	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۸۰	۰/۸۴	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۸۷
Mn	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Mg	۱/۲۷۲	۱/۲۴۲	۱/۰۷۷	۱/۰۶۷	۱/۰۰۹	۱/۱۴	۱/۱۲	۱/۰۱	۱/۱۵	۱/۱۲	۱/۰۰	۱/۰۹	۱/۰۹
Ca	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱
مجموع	۳/۰۱۹	۳/۰۱۷	۳/۰۲۰	۳/۰۲۱	۳/۰۲۱	۳/۰۰	۳/۰۰۰	۲/۹۹	۲/۹۹	۳/۰۱	۳/۰۳	۳/۰۰	۳/۰۰
تعداد O	۶	۹	۷	۶	۵	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Fo	۶۲/۴۸	۶۱/۱۲	۵۳/۵۳	۵۲/۳۰	۴۹/۴۴	۵۷/۲۱	۵۶/۱۷	۵۲/۰۱	۵۸/۵۴	۵۶/۸۹	۵۰/۲۷	۵۵/۲۲	۵۵/۱۸
Fa	۳۷/۰۸	۳۸/۳۴	۴۵/۶۸	۴۶/۹۶	۴۹/۷۸	۴۲/۲۶	۴۳/۳۵	۴۷/۴۲	۴۰/۹۴	۴۲/۴۹	۴۹/۱۷	۴۴/۱۲	۴۴/۲۸
Mg [#]	۶۲/۷۶	۶۱/۴۳	۵۳/۲۷	۵۲/۶۹	۴۹/۸۳	۵۷/۵۱	۵۶/۴۴	۵۲/۳۱	۵۸/۸۴	۵۷/۲۵	۵۰/۵۵	۵۵/۵۹	۵۵/۴۸

نمونه‌های برگرفته از مرجع [۷]



شکل ۵ الف) نمودار Al نسبت به Si [۱۷] که براساس آن، روند جدایش بلوری دو توده عکس هم است، ب) تغییرات MnO نسبت به Mg[#] [۱۸] که بر پایه آن، نمونه‌های هر دو توده در بالای خط اشباع قرار دارند، پ) نمودار تغییرات Ti نسبت به Al [۱۷]، که در آن نسبت Ti/Al در پیروکسن‌های GKMUC بیشتر از پیروکسن‌های GhMUC است.

حدود ۰٫۹۱ – ۰٫۸۲ wt% بوده و مقدار MgO حدود ۰٫۵۸ – ۲٫۳۸ wt% (حدود ۰٫۹۳ – ۰٫۵۸) و از MnO فقیرتر (حدود ۰٫۹۳ – ۰٫۵۸) است [۱۵، ۷]. در توده GKMUC، کانه‌های خالص اکسیدی دارای ترکیب حدود ۰٫۹۵ – ۰٫۹۲ wt% هستند و فرامافیک‌های کانه‌زایی شده ترکیب حدودی ۰٫۹۱ – ۰٫۹۰ wt% را دارند. مقدار MgO در کانه‌های خالص اکسیدی توده GKMUC حدود ۰٫۴۸ – ۰٫۱۹ wt% و در نمونه‌های فرامافیک کانه‌زایی شده، حدود ۰٫۸۷ – ۲٫۵ wt% است (شکل ۷). مقداری هماتیت به صورت برون رست در ایلمنیت وجود دارد، به طوری که مقدار آن در توده GhMUC، در گستره ۰٫۰۶۶ – ۰٫۰۸۹ wt% و در توده GKMUC در گستره ۰٫۰۸۹ – ۰٫۱۰ wt% است. مقدار TiO_۲ در سنگ‌های فرامافیک کانه‌زایی شده توده‌های GKMUC و GhMUC به ترتیب ۴۶ تا ۵۷٫۵ و ۴۹ تا ۵۳ درصد و مقدار FeO در آنها به ترتیب ۴۱ تا ۴۷ و ۴۵ تا ۴۶ درصد است. براساس شکل ۷، هر چه خلوص ایلمنیت بیشتر باشد، مقدار MgO کمتر و مقدار MnO آن بیشتر است. مقدار MgO در ایلمنیت می‌تواند معیاری برای درجه جدایش یافتگی سنگ‌های آذرین با خاستگاه یکسان در یک مجموعه باشد، زیرا مقدار آن وابسته به دما و مقدار MgO ماگمای مادر بازالتی است که از آن متبلور شده است [۱۹]. در GhMUC، نمونه‌های فرامافیک دارای اکسیدهای Fe-Ti بدون آپاتیت مقدار بیشتری دارند و مشابه نمونه‌های فرامافیک کانه‌زایی شده GKMUC هستند که آپاتیت ندارند.

مگنتیت: در توده GhMUC مگنتیت تنها در فرامافیک‌ها (۱۳-۲ درصد حجمی) دیده می‌شود و در انواع مافیک یافت نشده است [۱۵]. این در حالی است که در GKMUC، کانی مگنتیت را می‌توان در سنگ‌های مافیک (کمتر از ۱ درصد)، در

نمونه‌های فرامافیک بدون آپاتیت GhMUC عدد منیزیم بیشتری نسبت به نمونه‌های دارای آپاتیت آن دارند و روند جدایش بلوری بهتری را نشان می‌دهند. در توده GhMUC، رابطه MnO و Mg[#] معکوس بوده ولی در توده GKMUC، این رابطه مستقیم است. در نمودار Al نسبت به Si (شکل ۵ ب)، نمونه‌های هر دو توده GhMUC و GKMUC در بالای خط اشباع جایگاه چاروچی (Si+Al=2) قرار دارند، با این تفاوت که توده GKMUC نسبت به GhMUC مقدار Si بیشتر و Ti کمتری دارد. براساس نمودار Ti نسبت به Al (شکل ۵ پ)، در نمونه‌های مافیک و فرامافیک GKMUC مقدار Ti و Al بیشتر از نمونه‌های مافیک - فرامافیک توده GhMUC است. در توده GKMUC، گستره فلدسپارها از آنورتوکلاز تا آنورتیت متغیر است (جدول ۲ و شکل ۶ الف). گستره ترکیبی پلاژیوکلازهای توده GhMUC در حد آندزین تا بیتونیت است. ترکیب کلینوپیروکسن در انواع سنگ‌های GKMUC در گستره اوژیت تا دیوپسید و برای ارتوپیروکسن‌های آن در گستره کلینوانستاتیت تا پیژونیت قرار دارند (شکل ۶ ب). این در حالی است که در توده GhMUC، فقط کلینوپیروکسن دیده شد که منیزیم کمتری نیز دارند.

اکسیدهای Fe-Ti

ایلمنیت: بر اساس نتایج تجزیه نقطه‌ای، سنگ‌های مافیک در توده GhMUC ترکیب ۰٫۹۸ – ۰٫۹۶ wt% ایلمنیت را داشته و مقدار MgO پایین (کمتر از ۰٫۲ wt%) ولی MnO بالا (حدود ۱٫۶ – ۰٫۹۲ wt%) دارند. در توده GKMUC، ایلمنیت در مافیک‌ها ترکیب خالص و عضو انتهایی (حدود ۱٫۰۰ wt% – ۰٫۹۹) را دارد و مقدار MgO حدود ۰٫۱۳۸ – ۰٫۱۰۲ wt% است. ایلمنیت در فرامافیک‌های GhMUC دارای ترکیب

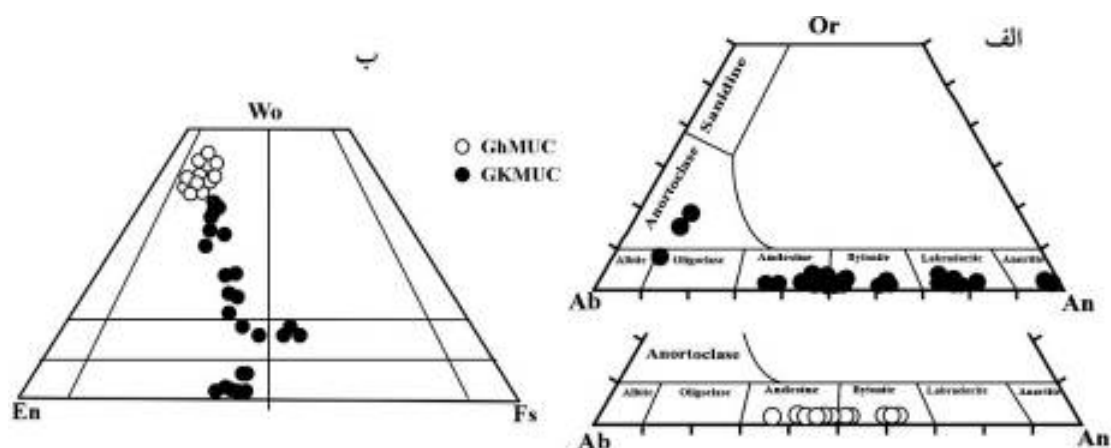
شبهه ماندنی را تشکیل می‌دهند. این نوع از دانه‌ها را می‌توان تیتانومگنتیت نامید که در نمونه‌های اکسیدی Fe-Ti تقریباً خالص بسیار دیده می‌شوند (شکل ۴ ث). سایر فرامافیک‌های GKMUC تیغه‌های تفکیک شده کمتری در دانه‌های مگنتیت دارند. در این نمونه‌ها، مگنتیت‌های رگچه‌ای تاخیری بیشتر از نمونه‌های خالص اکسیدهای Fe-Ti هستند.

سنگ‌های فرامافیک کانه‌زایی شده (۱۵-۴ درصد حجمی)، و در نمونه‌های کاملاً خالص اکسید Fe-Ti (۴۵-۳۰ درصد حجمی) مشاهده کرد. بلورهای مگنتیت اولیه در نمونه‌های فرامافیک GKMUC و GhMUC اغلب دارای تیغه‌های تفکیک شده ایلمنیت هستند که بیشتر موازی با هم هستند و گاهی دو مجموعه از این تیغه‌های موازی هم را قطع کرده و مجموعه

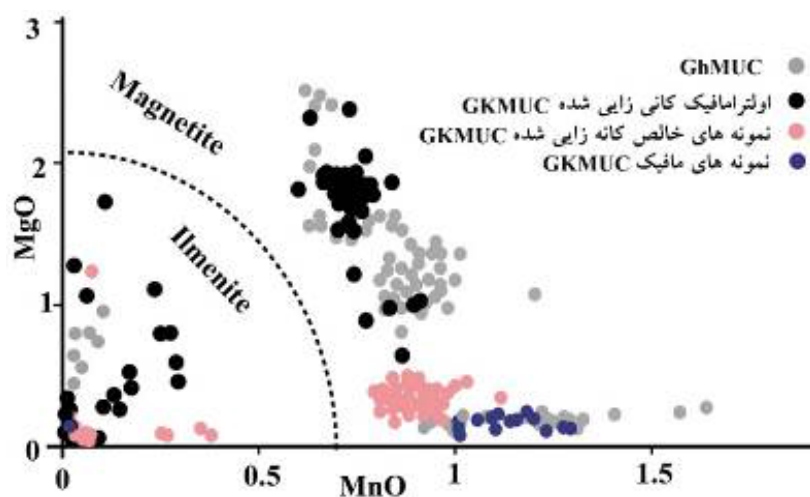
جدول ۲. نتایج تجزیه ریز پردازشی کانی‌های پیروکسن انتخابی.

توده	GhMUC*					GKMUC								
نمونه	BH14	TM48	TM147	TM65	TM134	241.2.2	241.2.2	0.21116	211.25	211.26	18. 1a1	16.2.1	11.4.1	
کانی	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Cpx	Cpx	Cpx	
SiO ₂	۴۸٫۷۹	۴۸٫۹۷	۵۰٫۱	۴۹٫۵۷	۴۸٫۸۸	۵۴٫۱۴	۵۴٫۱۴	۳۶٫۰۳	۳۷٫۴	۳۷٫۶۷	۵۱٫۱۸	۵۱٫۳۵	۵۱٫۰۹	
Al ₂ O ₃	۴٫۷۹	۵٫۲۵	۳٫۹۲	۴٫۵۶	۴٫۵۲	۱٫۷۶	۱٫۷۶	۰٫۳۰۱	۰٫۱۳	۰٫۱۳	۴٫۶۲	۴٫۳۱	۴٫۵۷	
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	
TiO ₂	۰٫۹۲	۰٫۷۵	۰٫۹۳	۱٫۲۴	۱٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۳	۰٫۰۱	۰٫۹۱	۱٫۰۳	۱٫۰۴	
MgO	۱۲٫۳۲	۱۲٫۲۲	۱۲٫۶۳	۱۲٫۹۸	۱۲٫۸	۱۶٫۸۸	۱۶٫۸۸	۲۴٫۴۲	۲۵٫۱۲	۲۵٫۵۶	۱۲٫۵۱۶	۱۲٫۳۱	۱۲٫۹۵	
FeO	۱۰٫۸۶	۱۲٫۶۷	۱۱٫۶۴	۹٫۶۳	۱۰٫۹۸	۲۳٫۹۲	۲۳٫۹۲	۳۷٫۱۲	۳۳٫۹۱	۳۳٫۷۹	۸٫۵۹۳	۹٫۴۶	۱۰٫۲۷	
MnO	۰٫۲۴	۰٫۲۹	۰٫۳۷	۰٫۲۱	۰٫۳	۰٫۶۸	۰٫۶۸	۰٫۳۹	۰٫۳۹۸	۰٫۴۲	۰٫۲۱۵	۰٫۳	۰٫۲۹	
CaO	۲۰٫۶۲	۲۰٫۱۵	۱۹٫۶۸	۲۰٫۶۶	۱۹٫۸۵	۲٫۶۳	۲٫۶۳	۰٫۵۹	۰٫۲۸	۰٫۲۹	۲۱٫۶۲	۲۰٫۶۲	۱۹٫۴	
Na ₂ O	۰٫۷	۰٫۵	۰٫۶۶	۰٫۶۳	۰٫۶۴	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۷۶۹	۰٫۸۵	۰٫۷۲۲	
K ₂ O	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳۵	۰٫۰۳۵	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	
NiO	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱۹	۰٫۰۴	۰٫۰۰	
مجموع	۹۹٫۳۵	۹۹٫۱۳	۹۹٫۹۶	۹۹٫۴۸	۹۹٫۰۳	۱۰۰٫۳۲	۱۰۰٫۳۲	۹۸٫۹۲	۹۷٫۳۱	۹۷٫۹۱	۱۰۰٫۴۵	۱۰۰٫۲۸	۱۰۰٫۳۵	
Si	۱٫۸۵۳	۱٫۸۸۶	۱٫۸۸۹	۱٫۸۶۶	۱٫۸۵۹	۲٫۰۳۹	۲٫۰۳۹	۱٫۴۳۵	۱٫۴۱۲	۱٫۴۳۶	۱٫۸۹۶	۱٫۹۱	۱٫۹	
Al	۰٫۲۴۱	۰٫۱۹۹	۰٫۱۷۴	۰٫۲۰۲	۰٫۲۰۳	۰٫۰۷۷	۰٫۰۷۷	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۶	۰٫۲۰۲	۰٫۱۸۹	۰٫۲	
Cr	۰٫۰۰۱	۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	
Ti	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۶	۰٫۰۳۵	۰٫۰۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۹	۰٫۰۲۹	
Mg	۰٫۶۹۸	۰٫۷۱۴	۰٫۷۱	۰٫۷۲۸	۰٫۷۲۶	۰٫۹۳۱	۰٫۹۳۱	۱٫۲۷۲	۱٫۴۵۳	۱٫۴۵۲	۰٫۶۹۱	۰٫۶۸۳	۰٫۷۱۸	
Fe ²⁺	۰٫۳۴۵	۰٫۳۲۷	۰٫۳۶۷	۰٫۳۰۳	۰٫۳۴۹	۰٫۷۴	۰٫۷۴	۰٫۲۱۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۲۵۵	۰٫۲۹۴	۰٫۳۱۹	
Fe ³⁺	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱٫۱۱۶	۱٫۱	۱٫۰۷۷	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	
Mn	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۱	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۳	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۹	
Ca	۰٫۸۳۹	۰٫۸۱۶	۰٫۷۹۵	۰٫۸۳۳	۰٫۸۰۹	۰٫۱۰۴	۰٫۱۰۴	۰٫۰۲۵	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۲	۰٫۸۵۸	۰٫۸۲۲	۰٫۷۷۲	
Na	۰٫۰۵۲	۰٫۰۳۷	۰٫۰۴۸	۰٫۰۴۶	۰٫۰۴۷	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۵	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۵۵	۰٫۰۶۲	۰٫۰۵۲	
K	۰٫۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰	
Ni	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	
تعداد O	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	
Σcation	۴٫۰۶۵	۴٫۰۱۳	۴٫۰۲۲	۴٫۰۲	۴٫۰۳۳	۳٫۹۳۱	۳٫۹۳۱	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۳٫۹۹۹	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	

× نمونه‌های برگرفته از مرجع [۷]



شکل ۶ الف) تغییرات ترکیبی فلدسپارها در نمودار Ab-An-Or که براساس آن، در GKMUC از آنورتوکلاز تا آنورتیت و در GhMUC از آندزین تا بیتونیت است، ب) تغییرات ترکیبی پیروکسن در نمودار مثلی Wo-En-Fs [۲۰] که با توجه به آن، در GKMUC ارتوپروکسن و کلینوپروکسن ولی در GhMUC، فقط کلینوپروکسن وجود دارد.



شکل ۷ نمودار MnO نسبت به MgO [۱۹] که براساس آن، ایلمنیت‌ها نسبت به مگنتیت‌ها مقادیر کمتری MnO و MgO دارند.

مگنتیت اغلب به صورت تیغه‌های ریزی در پیروکسن‌ها و یا بصورت بلورهای مجزا حضور دارند. این در حالی است که در نمونه‌های خالص ایلمنیت، هم به صورت بلورهای مجزا و هم بصورت تیغه‌هایی درون بلورهای مگنتیت تبلور یافته‌اند. چنان که در جدول‌های ۳ و ۴ و شکل ۷ دیده می‌شود، نمونه‌هایی ایلمنیت نسبت به برای هر دو توده نمونه‌های مگنتیت دارای مقادیر کمتری MnO هستند. نسبت ایلمنیت به مگنتیت در سنگ‌های فرامافیک کانه‌زایی شده GhMUC [۱۵] و GKMUC حدود ۴ به ۲، ولی در نمونه‌های خالص کانه‌زایی شده GKMUC این نسبت بیشتر و حدود ۵ به ۲ است. در شکل ۸ الف تعادل اکسیدهای $\text{TiO}_2\text{-Fe}^{2+}\text{-Fe}^{3+}$ در شرایط

بر اساس نتایج تجزیه ریز پردازشی، تیتانومگنتیت و مگنتیت‌های موجود در نمونه‌های اکسیدهای Fe-Ti خالص بیشتر از نوع نسل‌های اول و دوم و دارای Xusp پایین (wt%) ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۴ و Xmag بالایی (wt%) ۰/۹۹ تا ۰/۹۷ بوده، در صورتیکه این مقادیر در تیتانومگنتیت‌های نسل‌های اول و دوم در نمونه‌های GhMUC [۱۵] و نمونه‌های فرامافیکی کانه‌زایی شده GKMUC به ترتیب wt% ۰/۱۳-۰/۰۳ و wt% ۷۹/۹۳-۰/۰ هستند. بلورهای مگنتیتی که به صورت رگچه‌ای در شکستگی کانی‌های دیگر و یا در فضای بین بلوری تشکیل شده‌اند، دارای خلوص بالایی (Xmag حدود ۹۹٪) هستند. در فرامافیک‌های کانه‌زایی شده هر دو توده، ایلمنیت و

(Fe₃O₄) دیده می‌شوند، در حالیکه نمونه‌های تیتانومگنتیت فرامافیک کانه‌زایی شده دو توده به دلیل داشتن مقداری Ti در شبکه، موازی با و بالای خط محلول جامد بیش از ۶۰۰°C قرار دارند. در شکل ۸ ب، تغییر ترکیب نمونه‌های ایلمنیت در انواع سنگ‌های دو توده دیده می‌شود. براساس این شکل، نمونه‌های ایلمنیت در فرامافیک‌های غنی از اکسیدهای Fe-Ti از دو نوع با MgO بالا و با MgO پائین هستند. ایلمنیت‌ها در بقیه انواع سنگ‌های دو توده از نوع MgO پائین هستند.

دمایی متفاوت نشان داده شده است. چنان که دیده می‌شود، ترکیب متوسط ایلمنیت‌ها تقریباً دارای مقادیر مساوی از TiO₂ و FeO است و ایلمنیت فرامافیک کانه‌سازی شده برای هر دو توده و نزدیک خط فران ایلمنیت در شرایط محلول جامد در دمای بیش از ۸۰۰°C قرار دارد. نمونه‌های مگنتیت و تیتانومگنتیت همه انواع سنگی دو توده در گستره بین دو سری مگنتیت-الو اسپینل و ایلمنیت-هماتیت قرار دارند که نشانگر محلول جامد بین آنهاست. مگنتیت‌های همه انواع سنگی دو توده روی خط اتصال FeO-Fe₂O₃ و نزدیک موقعیت مگنتیت

جدول ۳ نتایج آنالیز میکروپروپ کانی‌های ایلمنیت نمونه‌های انتخابی.

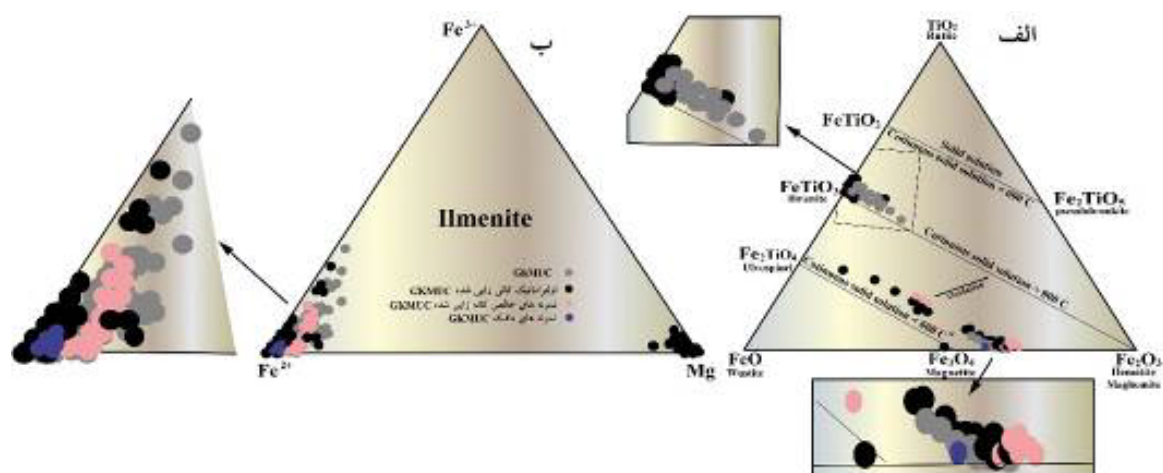
توده	GhMUC*					GKMUC												
	BH14	TM62	TM65	TM134	TM147	2.211	12113b	62113b	33.	53.	63.	73.	118.	1a9	1a91211	219.		
SiO ₂	۰/۰۳	۰	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳۴	۰/۰۵۲	۰/۰۶۰	۰/۰۷۳	۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۶۴	
Al ₂ O ₃	۰/۰۳	۰/۰۱	۱/۲۸	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	۰/۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
TiO ₂	۵۳/۱۷	۴۹/۸۱	۵۱/۰۱	۵۱/۱۱	۵۰/۲۱	۵۷/۱۶۷	۵۳/۱۳۶	۵۳/۸۸۳	۵۱/۳۰۲	۵۱/۲۹۴	۵۱/۶۷۰	۵۲/۶۳۳	۵۲/۷۳۷	۵۲/۶۰۵	۵۲/۳۹۱	۵۲/۵۱۶		
MgO	۰/۱۷	۲/۳۸	۱/۳۹	۱	۰/۸۹	۰/۶۹۵	۱/۸۷۶	۱/۸۰۲	۰/۳۷۱	۰/۳۸۸	۰/۲۹۹	۰/۴۱۵	۰/۱۴۷	۰/۱۲۳	۰/۱۲۵	۰/۱۳۶		
FeO	۴۵/۷۱	۴۸/۰۷	۴۵/۱۴	۴۶/۹۴	۴۷/۵۸	۴۱/۴۵۲	۴۳/۶۷۵	۴۳/۸۵۹	۴۵/۷۹۰	۴۵/۹۹۸	۴۶/۲۰۳	۴۶/۱۹۸	۴۵/۷۴۷	۴۵/۳۸۰	۴۵/۴۰۴	۴۵/۸۹۳		
MnO	۱/۰۳	۰/۵۸	۰/۷۴	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۵۹۸	۰/۷۲۸	۰/۷۷۵	۰/۸۳۴	۰/۸۲۲	۰/۸۷۵	۰/۸۹۰	۱/۰۰۹	۱/۰۱۵	۱/۰۱۲	۱/۳۰۱		
CaO	۰/۰۹	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۳۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۰۲۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۸۹		
Na ₂ O	-	-	-	-	-	۰/۰۰۴	۰/۰۴۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۳	-	-	-	-		
K ₂ O	-	-	-	-	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	-	-	-	-		
NiO	-	-	-	-	-	۰/۰۱۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰/۰۶۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	-	-	-		
مجموع	۱۰۰/۲۳	۱۰۰/۸۶	۹۹/۶۳	۱۰۰/۰۵	۹۹/۶۴	۱۰۰/۲۷	۹۹/۵۸	۱۰۰/۴۱	۹۸/۳۸	۹۸/۶۴	۹۸/۱۱	۹۹/۵۸	۹۹/۷۹	۹۹/۲۷	۹۹/۰۸	۹۹/۹۹		
Si	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳		
Al	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
Cr	-	-	-	-	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
Ti	۱/۰۰۴	۰/۹۱۷	۰/۹۵۴	۰/۹۵	۰/۹۴۸	۱/۰۵۰	۰/۹۹۸	۱/۰۰۳	۰/۹۸۶	۰/۹۸۴	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹	۲/۰۰۱	۲/۰۰۵	۲/۰۰۲	۱/۹۹۳		
Mg	۰/۰۰۶	۰/۰۸۷	۰/۰۵۲	۰/۰۳۸	۰/۰۳۳	۰/۰۲۵	۰/۰۷۰	۰/۰۶۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰		
Fe ₂	۰	۰/۱۶۶	۰/۰۵	۰/۰۹۸	۰/۱۰۲	۰/۸۴۷	۰/۹۰۹	۰/۹۰۸	۰/۹۵۶	۰/۹۴۹	۰/۹۵۳	۰/۹۵۴	۱/۹۳۰	۱/۹۲۳	۱/۹۲۹	۱/۹۳۶		
Fe ₃	۰/۹۶	۰/۸۱۸	۰/۸۸۹	۰/۸۹۳	۰/۸۹۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۲۳	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
Mn	۰/۰۲۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰/۰۱۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۴۳	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۵۶		
Ca	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵		
Na	-	-	-	-	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	-	-	-	-		
K	-	-	-	-	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	-	-	-		
Ni	-	-	-	-	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	-	-	-		
O تعداد	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳		
Xhem	۰	۰/۰۸۳	۰/۰۲۵	۰/۰۴۹	۰/۰۵۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
Xpy	۰/۰۲۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰/۰۱۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۲۶		
Xilm	۰/۹۷۲	۰/۸۱۸	۰/۹۰۸	۰/۸۹۴	۰/۸۹۷	۰/۹۶۳	۰/۹۱۴	۰/۹۱۷	۰/۹۵۷	۰/۹۵۲	۰/۹۵۶	۰/۹۵۴	۰/۹۷۴	۰/۹۷۵	۰/۹۷۳	۰/۹۶۹		

*نمونه‌های برگرفته از مرجع [۷]

جدول ۴ نتایج تجزیه ریز پردازشی کانی‌های مگنتیت نمونه‌های انتخابی.

توده	GhMUC*				GKMUC										
نمونه	TM62	TM65	TM27	TM147	11.12	9.12	2.1.3211	15.4.1211	10.5.1211	210.20.3	210.27.3	210.29.3	210.31.3	210.41. 3	241.2a10
SiO ₂	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۱/۳۴
TiO ₂	۳/۹۸	۴/۶۱	۱/۳۷	۰/۹۹	۰/۸۷	۲/۳۶	۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۱۶	۰/۴۷	۰/۱۵	۰/۳۲	۰/۱۴	۱/۰۵
Al ₂ O ₃	۲/۷۵	۲/۲۳	۳/۳۹	۱/۲۱	۱/۳۶	۰/۹۷	۰/۴۵	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۵۱	۰/۶۱	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۴۷	۱/۱۴
Cr ₂ O ₃	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۱/۹۵
Fe ₂ O ₃	۰	۰	۶۱/۲	۰	۶۵/۰۹	۶۳/۳۰	۶۶/۶۸	۶۶/۸۰	۶۶/۸۸	۶۷/۵۳	۶۷/۰۲	۶۷/۹۵	۶۷/۸۳	۶۸/۰۴	۶۰/۸۹
FeO	۸۴/۲۳	۸۴/۱۶	۳۰/۳۷	۸۹/۷۷	۳۱/۴۷	۳۲/۸۶	۳۱/۶۰	۳۱/۶۲	۳۱/۶۳	۳۱/۰۲	۳۱/۴۹	۳۱/۰۳	۳۱/۲۸	۳۱/۲۲	۳۲/۸۳
MnO	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰
MgO	۰/۸۳	۰/۵۸	۱/۳۷۸	۰/۶	۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۰
CaO	-	-	-	-	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۸۰
ZnO	۰/۰۷	۰/۱۲۱	۰/۱۳۹	۰/۰۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₃	۱/۸۹۹	۱/۰۷۴	۰/۹۷	۰/۹۲۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
مجموع	۹۹/۱۱	۹۲/۹۸	۹۹/۱۶	۹۳/۸۲	۹۹/۴۱	۱۰۰/۰۲	۹۹/۶۶	۱۰۰/۲۳	۱۰۰/۳۱	۹۹/۶۲	۹۹/۷۱	۹۹/۷۱	۹۹/۹۰	۹۹/۹۷	۱۰۰/۲۰
Si	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۱
Ti	۰/۱۱۳	۰/۱۳۲	۰/۰۳۹	۰/۰۲۸	۰/۲۰	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۲۴
Al	۰/۱۲۲	۰/۱	۰/۱۵۲	۰/۰۵۴	۰/۴۹	۰/۳۵	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۴۰
Cr	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۴۷
Fe ³⁺	۱/۰۶۴	۱/۰۹۵	۰/۹۶۶	۰/۹۹۳	۱۵/۰۰	۱۴/۵۳	۱۵/۴۵	۱۵/۳۶	۱۵/۳۶	۱۵/۶۶	۱۵/۵۲	۱۵/۷۶	۱۵/۷۱	۱۵/۷۴	۱۳/۸۴
Fe ²⁺	۱/۵۸۶	۱/۵۹۶	۱/۷۵۲	۱/۸۵۲	۸/۰۶	۸/۳۸	۸/۱۴	۸/۰۸	۸/۰۷	۷/۹۹	۸/۱۱	۸/۰۰	۸/۰۵	۸/۰۳	۸/۲۹
Mn	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mg	۰/۰۴۶	۰/۰۳۳	۰/۰۷۸	۰/۰۳۴	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۹
Ca	-	-	-	-	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۶
مجموع	۲/۹۹۹	۲/۹۹۸	۳/۰۳۱	۲/۹۹۹	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰	۲۴/۰۰
تعداد O	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Xmag	۰/۷۹۳	۰/۷۹۸	۰/۸۷۶	۰/۹۲۶	۴/۰۲۵	۴/۱۹	۴/۰۷	۴/۰۴	۴/۰۳۵	۳/۹۹۵	۴/۰۵۵	۴	۴/۰۲۵	۴/۰۱۵	۴/۱۴۵
Xusp	۰/۱۱۳	۰/۱۳۲	۰/۰۳۹	۰/۰۲۸	۰/۲۰	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۲۴

*نمونه‌های برگرفته از مرجع [۷]



شکل ۸ الف) نمودار سه تایی سامانه جامد $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$ که خطوط اتصال انحلال جامد بین مگنتیت و تیتانومگنتیت را نشان می‌دهد [۱۸]، ب) نمودار مثلثی $\text{Mg-Fe}^{2+}\text{-Fe}^{3+}$ [۲۲، ۲۱]، و موقعیت اکسیدهای Fe-Ti در آن که ایلمنیت‌ها در فرامافیک‌های کانه‌زایی شده هم با MgO بالا و هم با MgO پایین ولی در بقیه انواع سنگ‌های هر دو توده از نوع MgO پایین هستند.

توزیع واحدهای سنگی

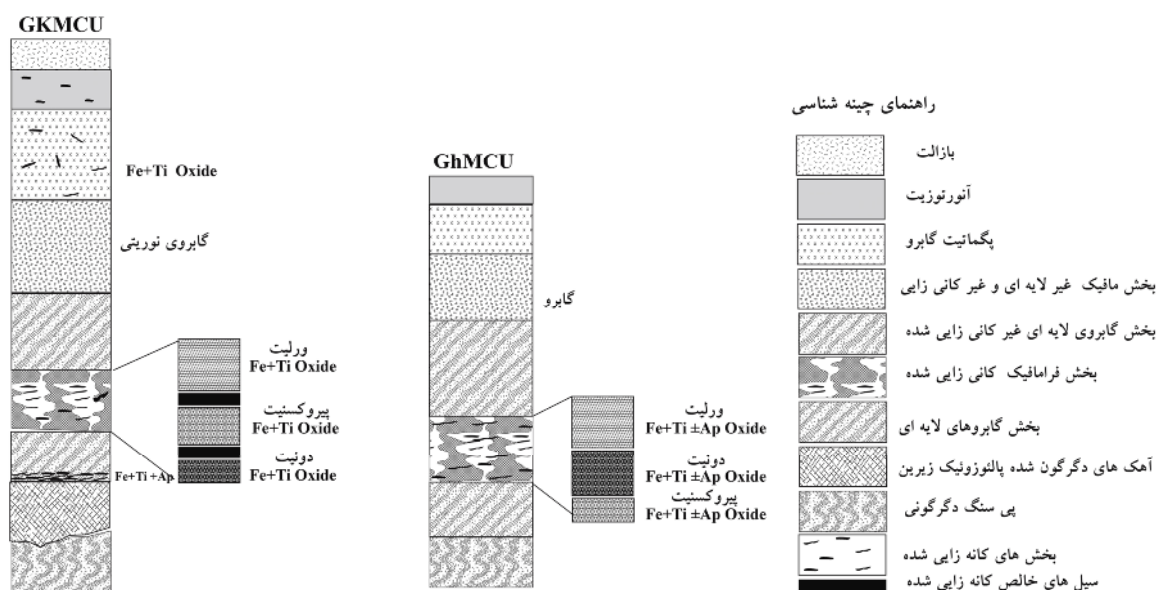
لایه‌بندی ویژگی بیشتر توده‌های نفوذی دارای اکسیدهای Fe-Ti در غرب دریاچه ارومیه است. توالی‌های لایه‌ای از نظر ضخامت، نسبت مواد معدنی و مرزهای لایه‌ای بسیار متفاوت هستند. لایه‌ها را بطور مجزا می‌توان تا چند کیلومتر ردیابی کرد. برخی از این توده‌ها دارای اکسید Fe-Ti هستند، که در این پژوهش دو توده مهم این منطقه بررسی و با هم مقایسه شده‌اند. این دو توده از نظر ساختاری، سنگ‌شناسی و شیمی کانی‌ها دارای همسانی‌های بسیار هستند و از طرفی اختلاف‌هایی دارند. ستون چینه‌نگاری توزیع واحدهای سنگی و کانه‌زایی اکسید Fe-Ti این دو توده بر اساس بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و زمین شیمیایی آنها رسم شده است (شکل ۹).

توده GhMUC را می‌توان براساس مجموعه کانیایی، ساختار، بافت سنگی و درجه کانه‌سازی به چهار بخش تقسیم کرد: (۱) بخش لبه‌ای در بردارنده گابروهای غیر لایه‌ای و غیر کانه‌زایی شده، (۲) بخش پایینی شامل فرامافیک کانه‌زایی شده با و یا بدون آپاتیت، (۳) بخش میانی شامل گابروهای لایه‌ای بدون کانه‌زایی و (۴) بخش بالایی بدون کانه‌زایی شامل گابروهای درشت بلور و لایه‌های آنورتوزیت. توده GKMUC نیز بر اساس مجموعه کانیایی، ساختار، بافت سنگی و درجه کانه‌سازی به ۴ بخش تفکیک شده است [۱۱]: (۱) بخش قاعده‌ای دربردارنده گابروهای غیر لایه‌ای یا بخش گابروهای

نوریتی ریزدانه و بدون کانه‌زایی، (۲) بخش فرامافیک کانه‌زایی شده همراه با انباشت سنگ سیل مانند غنی از کانسارهای اکسید Fe-Ti خالص، (۳) بخش میانی شامل گابروهای لایه‌ای، با کانه‌زایی اکسیدهای Fe-Ti، محدود به بخش‌های دارای آپاتیت بسیار و (۴) بخش بالایی شامل لایه‌های آنورتوزیت و پگماتیت گابروها تا ۲ درصد کانه‌زایی اکسید Fe-Ti. وجود این تفاوت‌های عمده در این دو نفوذی کانه‌سازی شده از اکسیدهای Fe-Ti به احتمال بسیار نشان دهنده تفاوت در چگونگی تشکیل و اختلاف در خاستگاه آنهاست، که این بحث نیاز به آزمایش‌های ایزوتوپی و بررسی بیشتر دارد.

برداشت

بررسی‌های این پژوهش نشان دارد که دو توده نفوذی مافیک - فرامافیک لایه‌ای GKMUC و GhMUC دارای کانه‌سازی اکسید Fe-Ti، با وجود موقعیت مکانی نزدیک و داشتن برخی نقاط مشترک دارای تفاوت‌های بسیاری دارند که به موارد مهم آن اشاره می‌شود: (۱) بخش‌های مافیک غیر لایه‌ای در GKMUC بیشتر نوریتی و در GhMUC بیشتر گابرویی هستند، (۲) بخش فرامافیک در GKMUC شامل پیروکسنیت، ورلیت و کمی دونیت بدون آپاتیت و در GhMUC شامل دونیت، ورلیت و کمی پیروکسنیت با یا بدون آپاتیت است. (۳) در GKMUC، کانه‌زایی اکسید Fe-Ti در هر دو بخش مافیک و فرامافیک صورت گرفته است، ولی در توده GhMUC، فقط بخش فرامافیک کانه‌زایی اکسید $\text{Fe-Ti} \pm \text{Ap}$ دارد.



شکل ۹ مقایسه ستون‌های چینه‌نگاری توزیع واحدهای سنگی و کانه‌زایی کانه اکسید Fe-Ti در توده‌های GhMUC و GKMUC.

processes in the ferrobaltic Sept Iles layered intrusion, Canada”, Journal of Petrology 51(2010) 1203–1236.

[11] Higgins M.D., “*A new model for the structure of the Sept Iles Intrusive suite*”, Canada Lithos, 83(2005) 199-213.

[12] Alipour S., Hosseinzadeh B., Rahimsouri Y., “*Geology and mineralization of the Khanik – Qazan titanium potential, Urmia, West Azarbaijan province, NW Iran*”, Scientific Quarterly Journal, Geosciences 100 (2016) 67-76.

[13] Asadpour M., Heuss S., “*Investigation internal structure, mineral chemistry and origin of Fe-Ti oxide in Ghazan-Khanik mafic-ultramafic layered intrusion, NW Urmia*”, Scientific Quarterly Journal, Geosciences 4 (2019) 929-944.

[14] Asadpour M., Pourmoafi S.M., Heuss S., “*Geochemistry, petrology and U-Pb geochronology of Ghazan mafic-ultramafic intrusion, NW Iran*” journal of petrology 14 (2013) 1-16.

[15] Mirmohammadi M., “*Petrology and geochemistry of Qareaghaj mafic-ultramafic intrusion, NW Urmia*”, PhD thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian) (2007).

[16] Whitney D.L., Evans B.V., “*Abbreviations for names of rock-forming minerals*”, American Mineralogist 95(2010) 185-187.

[17] Leterrier J., Maurry R.C., Thonon P., Girard D., Marchal M., “*Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo volcanic series*”, Earth and Planetary Science Letters 59(1982) 139-154.

[18] Buddington A.F., Lindsley D.H., “*Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents*”, Journal of Petrology 5(1964) 310–357.

[19] Toplis M.J., Carroll M.R., “*An experimental study of the influence of oxygen fugacity on Fe-Ti oxide stability, phase relations, and mineral-melt equilibria in ferro-basaltic systems*”, journal of petrology 36(1995) 1137–1170.

[20] Streckeisen A., “*To each plutonic rock its proper name*”, Earth Sciences Review 12(1976) 1-33.

[21] Buddington A.F., “*Lindsley DH Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents*”, journal of petrology 5(1964) 310–357.

[22] Broska I., Uher P., Ondrejka M., “*Geochemical and mineralogical characterization of the Fe-Ti oxide paragenesis in the magmatic and hydrothermal systems*”, Slovak Academy of Sciences (2003) Webpage: <http://www.geol.sav.sk>.

۴) بخش انباشت سنگ‌های خالص ایلمنیت و تیتانومگنتیت فقط در توده GKMUC وجود دارد، ۵) ایلمنیت‌های بخش فرامافیک GKMUC از دو نوع با MgO بالا و MgO پایین و در GhMUC فقط از نوع MgO پایین هستند. ۶) در بخش خالص کانه‌زایی شده، اکسید Fe-Ti بیشتر از نوع مگنتیت و تیتانومگنتیت بوده و ایلمنیت‌ها از نوع MgO پایین هستند. ۷) گستره فلدسپارهای انواع سنگ‌ها در GKMUC از آنورتوکلاز تا آنورتیت و در GhMUC در حد آندزین تا بیتونیت است. ۸) رابطه بین MnO و Mg[#] در اولیوین‌های GhMUC، معکوس و در GKMUC مستقیم است. همچنین، اولیوین‌ها در GKMUC نسبت به GhMUC مقدار Si بیشتر و Ti کمتری دارند. ۹) اسپینل‌ها در GKMUC هرسینیتی از GhMUC هستند.

مراجع

- [1] Eales H.V., Cawthorn R.G., “*The Bushveld complex*”, In: Cawthorn, R.G. (Ed.), Layered Intrusions. Elsevier, Amsterdam (1996) 181–232.
- [2] Ashwal L.D., “*The temporality of anorthosites*”, Canadian Mineralogist 48(2010) 711–728.
- [3] Cawthorn R.G., “*The Bushveld Complex, South Africa*. In: Charlier, et al. (Eds.), Layered Intrusions”, Springer Geology (2015) 517–588.
- [4] Kolker A., “*Mineralogy and geochemistry of Fe-Ti oxide and apatite (nelsonite) deposits and evaluation of the liquid immiscibility hypothesis*”, Economic Geology 77(1982) 1146–1158.
- [5] Dymek R.F., Owens B.E., “*Petrogenesis of apatite-rich rocks (nelsonites and oxide-apatite gabbro-norites) associated with massif anorthosites*”, Economic Geology 96(2001) 797–815.
- [6] Asadpour M., Heuss S., Pourmoafi S.M., “*New Evidences of Precambrian and Paleozoic Magmatism in the Gharebagh Intrusive, NW Iran*”, Scientific Quarterly Journal, Geosciences 89(2013) 129-142.
- [7] Mirmohammadi M., Kananian A., Tarkian M., “*The nature and origin of Fe-Ti-P-rich rocks in the Qareaghaj mafic-ultramafic intrusion*”, Mineralogy and Petrology 91(2007) 71-100.
- [8] Haghipour A., Aghanabati A., “*Geological map of Iran, 1:100000 series sheet*”, Geological Survey of Iran, Tehran, (1993).
- [9] Alavi M., “*Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations*”, Journal of Tectonophysics, 3 (1994) 211-238.
- [10] Namur O., Charlier B., Toplis M.J., Higgins M.D., Liégeois J.P., Vander Auwera, J., “*Crystallization sequence and magma chamber*