

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

منیژه اسدپور^{*}، 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 شمال‌غرب دریاچه ارومیه در بخش‌های مختلفی بروند دارند. این توده‌ها در دورترین بخش شمال‌غرب پهنه سنتنج-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 بیشتر نوریتی و در GhMUC گابرویی هستند. در GKMUC، انباسته‌های سنگ خالص سیل‌مانندی از ایلمنیت و تیتانومگنتیت وجود دارند که در GhMUC دیده نشدند. فازهای غنی از اکسیدهای Fe-Ti±AP 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.

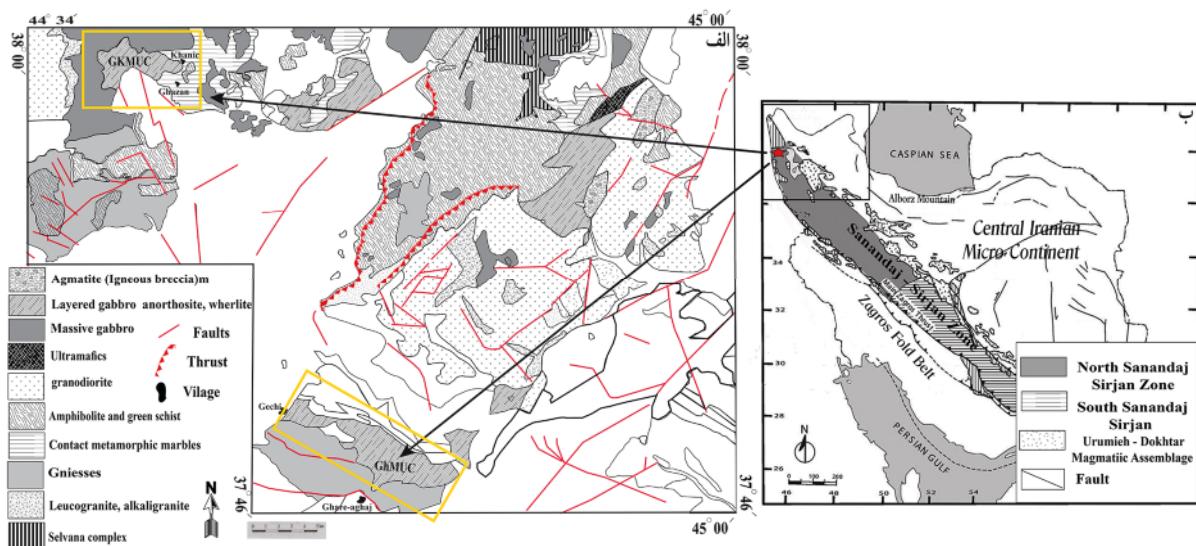
واژه‌های کلیدی: توده‌های نفوذی؛ تیتانیم؛ شیمی کانی؛ توده غازان؛ توده قره آغاج.

مافیک-فرامافیک لایه‌ای دیده می‌شوند. مهمترین آن‌ها با بیشترین ذخایر اکسید Fe-Ti، توده‌های نفوذی غازان (GKMUC) و قره‌آغاج (GhMUC) هستند که به ترتیب بین طول‌های جغرافیایی 38° تا 40° و 43° تا 44° و 44° و عرض‌های جغرافیایی 58° تا 37° و 38° و 46° تا 40° 37° قرار دارند (شکل ۱). این توده‌ها بخشی از نفوذی‌های اوایل پرمین شمال‌غرب پهنه سنتنج - 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 [۷,۸]،

مقدمه

کانه‌سازی ذخایر اکسیدی آهن و تیتان به طور معمول با نفوذی‌های لایه‌ای مافیک- فرامافیک و یا مجموعه‌های آنورتوزیتی همراه بوده [۳-۱]، که اغلب به صورت رگه، عدسی و یا بخش‌های محصور شده هستند [۵,۶]. 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 شمال‌غرب دریاچه ارومیه، ذخایر قابل توجهی از اکسیدهای Fe-Ti وجود دارند که بصورت توده‌های نفوذی



شکل ۱ (الف) نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه شمال‌غرب 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]. همیری سنگ‌های مافیک با سنگ‌های وابسته به پرکامبرین اغلب گسله است. در بخش شمالی و شرقی توده، توالی رسوی 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 عمدۀ GhMUC در یک پهنه برشی جایگزین شده است.

توده GKMUC نیز یک مجموعه مافیک – فرامافیک لایه‌ای 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 شمال‌غرب است. این توده در ۲۷ کیلومتری شمال‌غربی 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 [۱۳] GhMUC را یک توده متمایز با ترکیب شیمیایی غیرعادی دانسته و آن را نوع جدیدی از سنگ‌های غنی از P (FTP) معرفی کرده‌اند که ناشی از جدایش بلوری ماقمای فربازالتی غنی از عنصر P در عمق است. آن‌ها در یک سامانه باز همراه با و یا بدون عملکرد فرآیند ناامیختگی 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 ماقمای مادر فربازالتی تشکیل شده‌اند، ولی در تشکیل بخش‌های کانه‌زایی شده، هر دو فرآیند غنی‌شدگی از Fe-Ti در مذاب‌های باقیمانده برآمده از ماقمای 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 همبrijی مشخصی از این بخش با بخش گابروهای لایه‌ای دیده می‌شود. این همبrijی در برخی رخنمون‌ها همبrijی 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 فرامافیک 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 پلاسری 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 همبrijی از نوع هم-شیب و تیز قرار دارند. عمدۀ سنگ‌های فرامافیک GhMUC را ورلیت و دونیت تشکیل می‌دهد؛ پپروکسنیت به مقدار کمتر و اغلب به صورت لایه‌های نازک چندسانسی‌متري موضعی در بین دونیت و ورلیتها یافت می‌شود. این در حالی است که عمدۀ سنگ‌های فرامافیک GKMUC را ورلیت و پپروکسنیت 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 پالتوزوئیک [۱۳-۷] قرار دارد. جز بخش جنوی آن که با سنگ‌های آتشفشاری 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 گوشته‌ای 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 توده‌ای 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 کانی‌ای با ریزپردازشگر الکترونی کامیکا مدل CAMECA SX-100 با ولتاژ ۱۲ و شدت جریان nA ۱۰ در آزمایشگاه ریزپردازش الکترونی دانشگاه لودویگ ماکسیمیلیان (LMU)، شهر مونیخ در آلمان انجام گردید. برای توده GhMUC، از داده‌های ریز پردازشی SX-100 [۱۵,۷] به دست آمده از دستگاه کامکا مدل ۱۰۰ 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 غیرلایه‌ای است. بخش‌های لایه‌ای هر دو توده با بخش گابروهای غیرلایه‌ای در برگرفته 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 GhMUC، (ب) تناوب لایه‌های مافیک و فرامافیک در GKMUC، (ج) همبryی لوکوگابرو با بخش‌های کانه‌زایی شده از اکسید Fe-Ti، (ه) همبryی لوکوگابرو با بخش‌های کانه‌زایی شده از اکسید Fe-Ti، (ث) همبryی لوکوگابرو با بخش‌های کانه‌زایی شده از اکسید Fe-Ti، (د) رخمنون همبryی بخش‌های مافیک و فرامافیک توده GhMUC، (ه) رخمنون همبryی بخش‌های مافیک و فرامافیک توده GKMUC.

پلاژیوکلازهای با ماکل آلبیتی و اندازه تا چند سانتی‌متر تشکیل شده است. پلاژیوکلازها بیشتر به سربیسیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند. ریزگابروها در رخمنون‌های محدودی افرون بر حالت غیرلایه‌ای، حالت جهت یافته و لایه لایه نیز دارند که به احتمال بسیار ناشی از شدت بالای میلوبنیتی شدن در این منطقه است. همبryی کانی‌شناسی آن‌ها درست مشابه ریزگابروهای غیر لایه‌ای توده GhMUC 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 عمدی 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 ریزگابروهای است که از نوع کلینوپیروکسن با ترکیب دیپوپسید - اوژیت است. این کانی از بلورهای کاملاً سالم تا بلورهای کاملاً تبدیل شده به آمفیبول تشکیل شده‌اند. عمدت‌ترین کانی کدر در ریزگابروها ایلمنیت است که به صورت بی‌شکل فضای بین کانی‌های دیگر را پر کرده و تا ۷ درصد مقاطعه 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

سنگ‌نگاری GhMUC توده

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 کانی‌ای 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 شکل دار 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 سرسیت تجزیه شده‌اند. دگرسانی در گابروهای دانه متوسط به نسبت کمتر از انواع دانه درشت است. پیروکسن‌ها بیشتر کلینوپیروکسن و از نوع دیپوپسید و اوژیت هستند. این کانی بیشتر به صورت بلورهای بی‌شکل و گاهی نیمه شکل دار 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 تماش 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 به صورت قطرک‌های کوچک در کانی‌های بزرگتر دیده می‌شوند (شکل ۳).

GKMUC توده

سنگ‌های مافیک در توده GKMUC، گابروهای غیرلایه‌ای با بافت غالب دانه‌ای نیمه خود ریخت ریز تا متوسط بلور هستند. کانی‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، ارتوبیروکسن همراه با مقداری آمفیبیول 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 کلربیتی شده‌اند. بلورهای پیروکسن به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار تقریباً هم اندازه 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 کلینوپیروکسن است که از مقدادر جزئی در دونیت‌ها تا بیش از ۹۰ درصد در پیروکسنتیت‌ها متغیر است [۱۵,۷]. کانی‌های کلینوپیروکسن در بردارنده میانبارهای فراوان سوزنی شکل از ایلمنیت موازی با سطوح برگوارگی کلینوپیروکسن‌ها 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 کلینوپیروکسن 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 طویل شکل‌دار تا بی‌شکل بوده که هم به صورت بلورهای درشت بین بلوری و هم به صورت میانبار درون کانی‌های Fe-Ti سیلیکاتی قابل مشاهده است (شکل ۳ ت). اکسید 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].

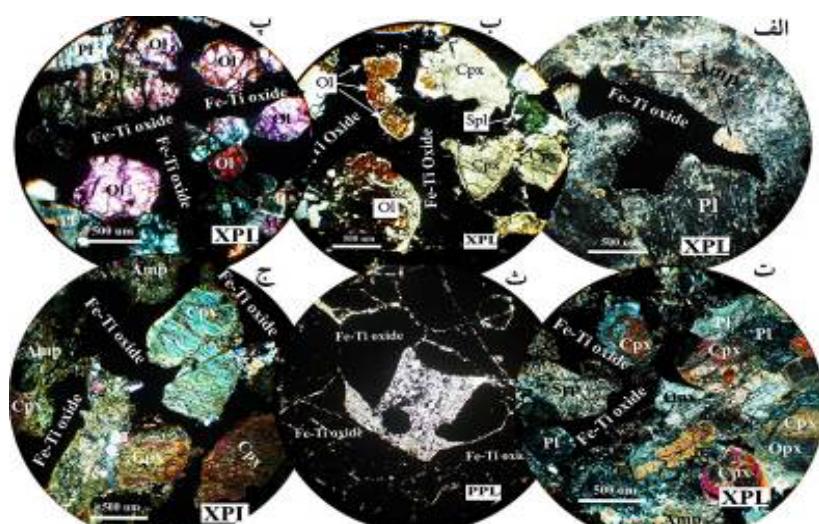


شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از انواع سنگ‌های فرامافیک GhMUC: (الف) دونیت کانه‌زایی شده، (ب) ورلیت آپاتیت‌دار کانه‌زایی شده، (پ) نمونه مافیک کانه‌زایی شده همراه با لبه واکنشی از هورنبلند، (ت) نمونه ورلیت آپاتیت‌دار کانه‌زایی شده، (ث) دونیت کانه‌زایی شده، و (ج) نمونه سرپانتینیت کانه‌زایی شده. (Plg: پلاژیوکلاز،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

بافت انباشتی دارند که در آن کانی‌هایی چون ارتو و کلینو پیروکسن، اولیوین و پلازیوکلاز با اکسیدهای Fe-Ti دربرگرفته شده‌اند (شکل‌های ۴ ب، پ و ج). فرامافیک‌های GKMUC از نوع بدون آپاتیت هستند. هورنبلند قهقهه‌ای 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٪ تا ۴۹٪ و برای هرسنیت ۴۹٪ تا ۶۲٪ درصد است. پیروکسنیت‌ها دارای بلورهای کلینوپیروکسن، ارتوبیروکسن، آمفیبول و مقدار بسیاری کانی‌های تیتانومنیتیت هستند. مقدار کمی پلازیوکلاز 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 (آدرین 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 پلازیوکلاز، کلینوپیروکسن (دیوپسید و اوژیت) و ارتوبیروکسن بوده و اندازه دانه‌ها متوسط تا درشت است. پلازیوکلازها بدون منطقه‌بندی هستند و ماکل آلبیتی دارند و اغلب به شکل قطعه‌های نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل در اندازه‌های ۱ تا ۳ میلی-متر دیده می‌شوند. کلینوپیروکسن‌ها بیشتر اورالیتی شده‌اند و در برخی نمونه‌ها، سوزن‌های ریزی از ایلمنیت در سطوح برگوارگی پیروکسن‌ها وجود دارد. لبه واکنشی دارای هورنبلند در محل تماس اکسیدهای Fe-Ti با پلازیوکلاز و پیروکسن در برخی نمونه‌ها دیده می‌شود (شکل ۴ پ). پگماتیت گابروها دارای بلورهای درشت پیروکسن، آمفیبول و پلازیوکلاز 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 پلازیوکلاز 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 کانه‌زایی شده، (ب) نمونه ورلیت کانه زایی شده، (پ) نمونه‌های دونیت پلازیوکلازدار کانه‌زایی شده، (ت) نمونه گابروی کانه‌زایی شده دارای ارتوبیروکسن، (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

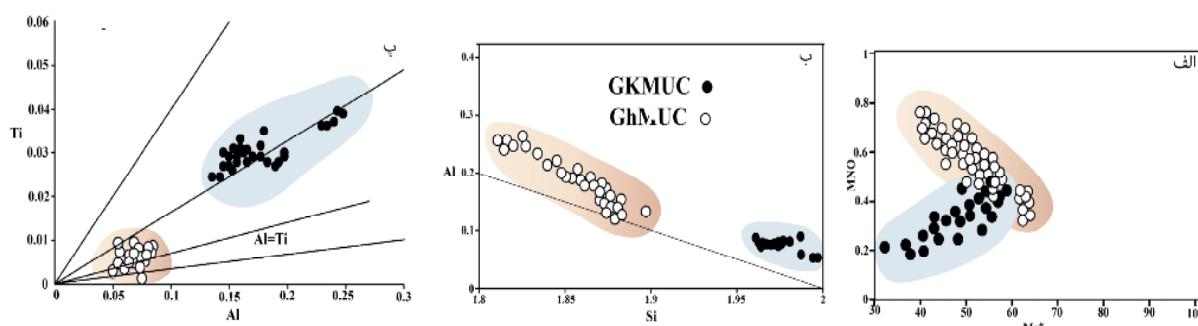
نتایج تجزیه‌های ریز پردازشی اولیوین در نقاط انتخابی از دو توده GKMUC و GhMUC در جدول ۱ آورده شده است. درصد فورستریت اولیوین در توده GKMUC از Fo_{50} تا Fo_{40} متغیر است. فورستریت اولیوین در سنگ‌های فرامافیک فقیر از آپاتیت $GhMUC$ ، دارای مقدار Fo_{63} تا Fo_{40} و در نمونه‌های غنی از آپاتیت دارای Fo_{58} تا Fo_{40} هستند [۱۵, ۷]. فرامافیک- Fo از نوع بدون آپاتیت هستند، ولی مقدار Fo آن‌ها کمتر از انواع فرامافیک بدون آپاتیت و آپاتیت‌دار توده GKMUC $GhMUC$ است. مقدار MnO در اولیوین‌های توده $GhMUC$ 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 بیشتر از توده $GhMUC$ است.

ایلمنیت و تیتانومگنتیت در بخش فرامافیک هر دو توده غالب 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 شکل دار تا بی‌شکل در اندازه تا ۲-۴ میلی‌متر بین کانی‌های سلیکاتی 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 (بر حسب درصد وزنی).

توده	GhMUC*					GKMUC							
	TM62	TM16	TM134	TM138	TM147	2A58	2A59	2A61	2A62	2A08	2A10	2A18	2A30
نمونه													
SiO ₂	۳۵,۹۱	۳۵,۸۴	۳۴,۶۸	۳۴,۳۷	۳۳,۷۹	۳۵,۴۹	۳۶,۰۱	۳۵,۹۹	۳۶,۷۸	۳۶,۷	۳۲,۴۲	۳۶,۰۲	۳۵,۴۱
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	۲۲,۳۷	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	۰,۹۴	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	۱,۲۲۲	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	۳,۰۰	۲,۹۹	۲,۹۹	۳,۰۱	۳,۰۳	۳,۰۰	۳,۰۰
O. تعداد	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 جداشی بلوری دو توده عکس هم است، (ب) تغییرات $MnO/Mg^{\#}$ در توده آن، نمونه های هر دو توده در بالای خط اشباع قرار دارند، (پ) نمودار تغییرات Ti نسبت به Al [۱۷]، که در آن نسبت در Ti/Al بیشتر از پیروکسن های GKMUC است.

حدود $0.91 - 0.82$ wt% MgO بوده و مقدار MgO حدود $0.89 - 0.89$ wt% MnO و از MnO فقیرتر (حدود $0.93 - 0.58$ wt%) است [۱۵, ۷]. در توده GKMUC، کانه های خالص اکسیدی دارای ترکیب حدود $0.95 - 0.92$ wt% هستند و فرامافیک های کانه زایی شده ترکیب حدودی $0.91 - 0.90$ را دارند. مقدار MgO در کانه های خالص اکسیدی توده دارند. مقدار $GKMUC$ حدود $0.48 - 0.19$ wt% در نمونه های فرامافیک کانه زایی شده، حدود $2.5 - 0.87$ wt% است (شکل ۷). مقداری همانیت به صورت بروز رست در ایلمنیت وجود دارد، به طوری که مقدار آن در توده GhMUC، در گستره $-0.089 - 0.066$ wt% و در توده GKMUC در گستره $0.0 - 0.066$ wt% است. مقدار TiO_2 در سنگ های فرامافیک کانه زایی شده توده های GKMUC و GhMUC به ترتیب 46 ± 5.7 و 49 ± 5.7 درصد و مقدار FeO در آنها به ترتیب 41 ± 4.7 و 45 ± 4.5 درصد است. براساس شکل ۷، هر چه خلوص ایلمنیت بیشتر باشد، مقدار MgO کمتر و مقدار MnO آن بیشتر است. مقدار MgO در ایلمنیت می تواند معیاری برای درجه جداش یافته گی سنگ های آذرین با خاستگاه یکسان در یک مجموعه باشد، زیرا مقدار آن وابسته به دما و مقدار MgO مادر بازالتی است که از آن متبلور شده است [۱۹]. در GKMUC نمونه های فرامافیک دارای اکسید های Fe-Ti بدون آپاتیت MgO بیشتری دارند و مشابه نمونه های فرامافیک کانه زایی شده GKMUC هستند که آپاتیت ندارند.

مگنتیت: در توده GhMUC مگنتیت تنها در فرامافیک ها (13 ± 2 درصد حجمی) دیده می شود و در انواع مافیک یافت نشده است [۱۵]. این در حالی است که در GKMUC، کانی مگنتیت را می توان در سنگ های مافیک (کمتر از ۱ درصد)، در

نمونه های فرامافیک بدون آپاتیت $GhMUC$ عدد منیزیم بیشتری نسبت به نمونه های دارای آپاتیت آن دارند و روند جداشی بلوری بهتری را نشان می دهند. در توده $GhMUC$ ، رابطه MnO و $Mg^{\#}$ معکوس بوده ولی در توده $GhMUC$ این رابطه مستقیم است. در نمودار Al نسبت به Si (شکل ۵ ب)، نمونه های هر دو توده $GhMUC$ و $GKMUC$ در بالای خط اشباع جایگاه چاروجهی ($Si + Al = 2$) قرار دارند، با این تفاوت که توده $GhMUC$ نسبت به $GKMUC$ مقدار Si بیشتر و Ti کمتری دارد. براساس نمودار Ti نسبت به Al (شکل ۵ پ)، در نمونه های مافیک و فرامافیک $GKMUC$ مقدار Ti و $GhMUC$ بیشتر از نمونه های مافیک - فرامافیک توده Al است. در توده $GKMUC$ ، گستره فلدسپارها از آنورتوكلاز تا آنورتیت متغیر است (جدول ۲ و شکل ۶ الف). گستره ترکیبی پلازیوکلاز های توده $GhMUC$ در حد آندزین تا بیتونیت است. ترکیب کلینوپیروکسن در انواع سنگ های $GKMUC$ در گستره اوژیت تا دیوپسید و برای ارتونپیروکسن های آن در گستره کلینوانستاتیت تا پیزونیت قرار دارند (شکل ۶ ب). این در حالی است که در توده $GhMUC$ ، فقط کلینوپیروکسن دیده شد که منیزیم کمتری نیز دارد.

اکسید های Fe-Ti

ایلمنیت: بر اساس نتایج تجزیه نقطه ای، سنگ های مافیک در توده $GhMUC$ ترکیب $0.96 - 0.98$ wt% FeO و 0.02 wt% MnO با MgO پایین (کمتر از 0.2 wt%) ولی MnO (حدود $0.92 - 1.6$ wt%) دارند. در توده $GKMUC$ ، ایلمنیت در مافیک ها ترکیب خالص و عضو انتهایی (حدود $1.00 - 0.99$ wt%) را دارد و مقدار MgO حدود $0.138 - 0.102$ wt% است. ایلمنیت در فرامافیک های $GhMUC$ دارای ترکیب

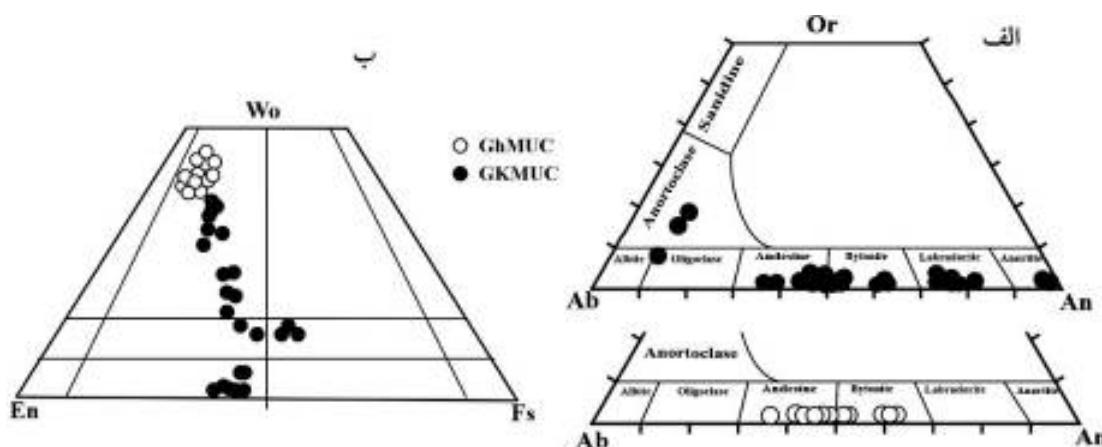
شبکه مانندی را تشکیل می‌دهند. این نوع از دانه‌ها را می‌توان تیتانومگنتیت نامید که در نمونه‌های اکسیدی Fe-Ti تقريباً خالص بسیار دیده می‌شوند (شکل ۴ ث). سایر فرامافیک‌های GKMUC تیغه‌های تفکیک شده کمتری در دانه‌های مگنتیت دارند. در این نمونه‌ها، مگنتیت‌های رگچه‌ای تاخیری بیشتر از نمونه‌های خالص اکسیدهای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

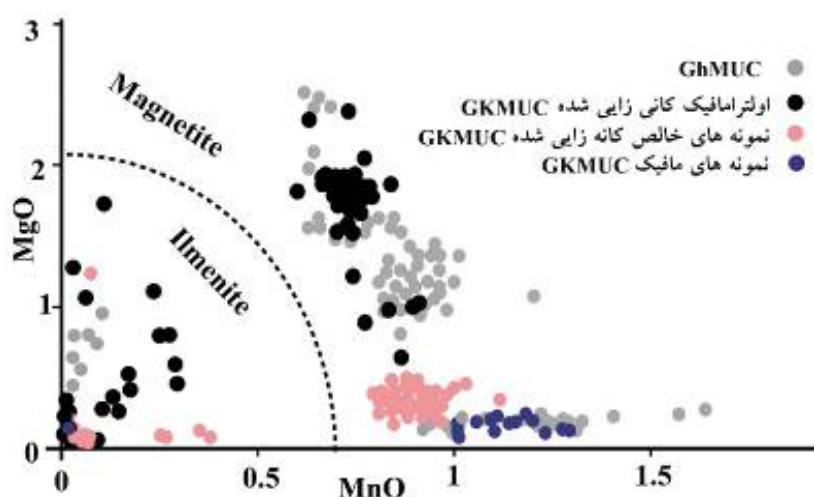
جدول ۲ نتایج تجزیه ریز پردازشی کانی‌های پیروکسن انتخابی.

توده نمونه کانی	GhMUC*					GKMUC							
	BH14 Cpx	TM48 Cpx	TM147 Cpx	TM65 Cpx	TM134 Cpx	241.2.2 Opx	241.2.2 Opx	0.21116 Opx	211.25 Opx	211.26 Opx	18.1a1 Cpx	16.2.1 Cpx	11.4.1 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	۱,۲۲	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	۰,۱	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	۰,۰۰۴	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	۰,۰۰۱	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	۰,۸۱۸	۰,۷۹۵	۰,۸۲۳	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	۰,۰۰۵	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	۰,۰۰۱	۰,۰۰	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
Σcotiiion	۴,۰۶۵	۴,۰۱۳	۴,۰۲۲	۴,۰۰۲	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 آنورتولاز تا آنورتیت و در GhMUC از آندزین تا بیتونیت است، ب) تغییرات ترکیبی پیروکسن در نمودار مثلثی Wo-En-Fs [۲۰] که با توجه به آن، در GKMUC ارتوبیروکسن و کلینوبیروکسن ولی در GhMUC، فقط کلینوبیروکسن وجود دارد.



شکل ۷ نمودار MnO/MgO نسبت به MgO/MnO [۱۹] که براساس آن، ایلمنیت‌ها نسبت به مگنتیت‌ها مقداری 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 که در جدول‌های ۲ و ۵ شکل ۷ نسبت به برای هر دو توده نمونه‌های مگنتیت دارای مقادیر MnO کمتری 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 $TiO_2-Fe^{2+}-Fe^{3+}$ 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 X_{usp} پایین (wt% ۰/۹۷ تا ۰/۰۴) و X_{mag} بالای (wt% ۰/۹۹ تا ۰/۰۰۲) بوده، در صورتیکه این مقادیر در تیتانومگنتیت‌های نسل‌های اول و دوم در نمونه‌های GhMUC [۱۵] و نمونه‌های فرامافیکی کانه‌زایی شده GKMUC به ترتیب ۰/۱۳-۰/۰۳ و ۰/۰۰۳-۰/۰۹۳ wt% هستند. بلورهای مگنتیتی که به صورت رگه‌ای در شکستگی کانه‌های دیگر و یا در فضای بین بلوری تشکیل شده‌اند، دارای خلوص بالای (wt% ۰/۹۹) هستند. در فرامافیکی‌های کانه‌زایی شده هر دو توده، ایلمنیت و

(Fe_3O_4) دیده می‌شوند، در حالیکه نمونه‌های تیتانومگنتیت فرامافیک کانه‌زایی شده دو توده به دلیل داشتن مقداری Ti در شبکه، موازی با و بالاً خط محلول جامد بیش از 600°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 $\text{Fe}-\text{Ti}$ 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 TiO_2 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 800°C قرار دارد. نمونه‌های مگنتیت و تیتانومگنتیت همه انواع سنگی دو توده در گستره بین دو سری مگنتیت- ال‌اسپینل و ایلمنیت- هماتیت قرار دارند که نشانگر محلول جامد بین آنهاست. مگنتیت‌های همه انواع سنگی دو توده روی خط اتصال $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ و نزدیک موقعیت مگنتیت

جدول ۳ نتایج آنالیز میکروپرپوپ کانی‌های ایلمنیت نمونه‌های انتخابی.

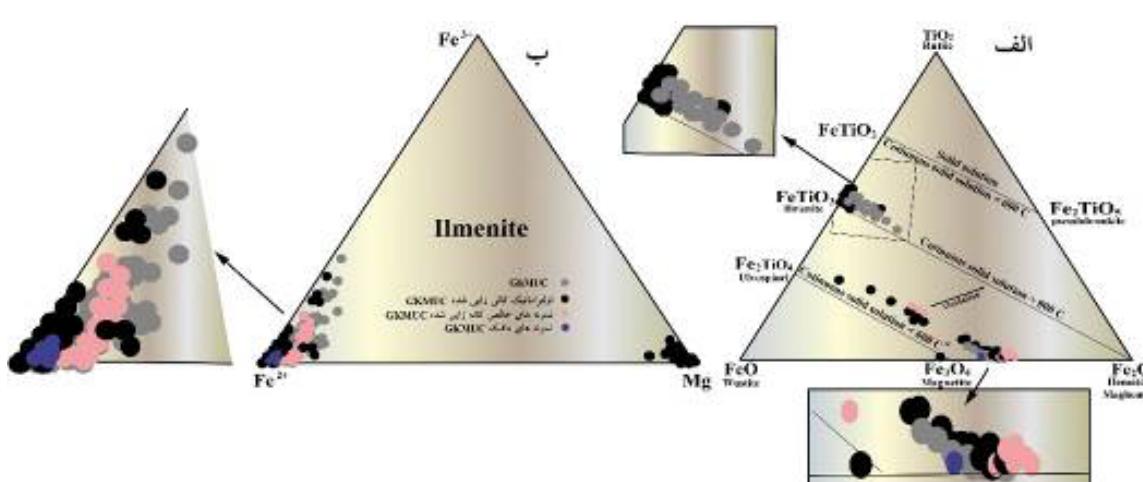
نمونه	GhMUC*					GKMUC										
	BH14	TM62	TM65	TM134	TM147	2.211	12113b	62113b	33.	53.	63.	73.	118.	1a9	1a91211	219.
SiO_2	۰,۰۳	-	۰,۰۷	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۳۰۴	۰,۰۵۲	۰,۰۶۰	۰,۰۷۳	۰,۰۲۸	۰,۰۰۱	۰,۰۰۳	۰,۱۰۴	۰,۱۰۵	۰,۱۰۵	۰,۰۶۴
Al_2O_3	۰,۰۳	۰,۰۱	۱,۲۸	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
Cr_2O_3	-	-	-	-	-	۰,۰۰۰	۰,۰۳۵	۰,۰۱۴	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	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	۵۲,۰۶۳	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	۰,۱۲۶
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	۱,۰۰۱
CaO	۰,۰۹	۰,۰۱	-	۰,۰۳	-	۰,۰۳۵	۰,۰۰۹	۰,۰۰۰	۰,۰۰۸	۰,۰۲۴	۰,۰۰۵	۰,۰۰۰	۰,۰۴۵	۰,۰۴۴	۰,۰۴۴	۰,۰۸۹
Na_2O	-	-	-	-	-	۰,۰۰۴	۰,۰۴۸	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۳۱	۰,۰۰۳	-	-	-	-
K_2O	-	-	-	-	-	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۷	۰,۰۰۰	۰,۰۰۴	۰,۰۰۰	۰,۰۰۵	-	-	-	-
NiO	-	-	-	-	-	۰,۰۱۶	۰,۰۱۷	۰,۰۱۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	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	-	۰,۰۰۲	-	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	۰,۰۰۰	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	-	۰,۱۶۶	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	-	-	۰,۰۰۱	-	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	۰,۰۰۰	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	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
Xhem	-	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 کانی های مگنتیت نمونه های انتخابی.

نمونه	GhMUC*				GKMUC											
	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	۲/۹۸	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	-	-	۶۱/۱	-	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	۱۰۰/۰۰	
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	۰/۰۵۲	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⁺	۱/۰۴۶	۱/۰۹۵	۰/۹۶	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	۸/۲۸	۸/۱۴	۸/۰۸	۸/۰۷	۷/۹۹	۸/۱۱	۸/۰۰	۸/۰۵	۸/۰۲	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	

*نمونه های برگرفته از مرجع [۷]

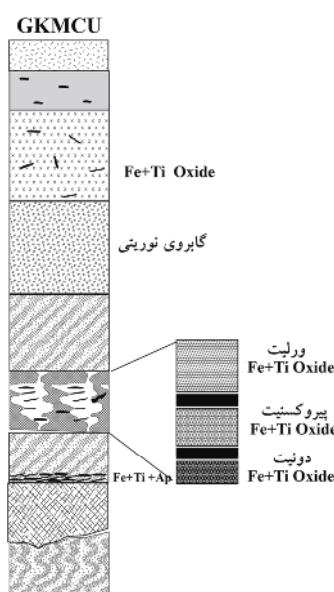


شکل ۸ (الف) نمودار سه تایی سامانه $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_3\text{O}_3$ که خطوط اتصالی انحلال جامد بین مگنتیت و تیتانومگنتیت را نشان می دهد [۱۸]، (ب) نمودار مثلثی $\text{Mg}-\text{Fe}^{2+}-\text{Fe}^{3+}$ در آن که ایلمنیت ها در فرامافیک های کانه زایی شده هم با MgO با هم پایین ولی در بقیه انواع سنگ های هر دو توده از نوع MgO پایین هستند.

نوریتی ریزدانه و بدون کانه‌زایی، ۲) بخش فرامافیک کانه‌زایی شده همراه با انباست سنگ سیل مانند غنی از کانسراهای 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 عمدۀ 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 GhMUC و GKMUC 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 پیروکسنتیت، ورلیت و کمی دونیت بدون آپاتیت و در GhMUC شامل دونیت، ورلیت و کمی پیروکسنتیت 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 $Fe-Ti \pm Ap$ دارد.



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

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 رديابی 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 کانه‌ای دارای همسانی‌های بسیار هستند و از طرفی اختلاف-هایی دارند. ستون چینه‌نگاری توزیع واحدهای سنگی و کانه‌زایی اکسید Fe-Ti این دو توده بر اساس بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی 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 تقسیک شده است [۱۱]: ۱) بخش قاعده‌ای در بردارنده گابروهای غیر لایه‌ای یا بخش گابروهای

راهنمای چینه‌نگاری

باخت	
آنورتوزیت	
پگماتیت گابرو	
بخش مافیک غیر لایه‌ای و غیر کانه‌زایی	
بخش گابروی لایه‌ای غیر کانه‌زایی شده	
بخش فرامافیک کانه‌زایی شده	
بخش گابروهای لایه‌ای	
آهک‌های دگرگون شده پالئوزوئیک زیرین	
پی سنگ دگرگونی	
بخش های کانه‌زایی شده	
سیل های خالص کانه‌زایی شده	

processes in the ferrobasaltic 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., Maury RC., 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 Mg[#] و MnO در اولیوین‌های GKMUC مستقیم است. همچنین، اولیوین‌ها در GhMUC نسبت به GKMUC 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 gabbronorites) 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*