

بررسی کانیهای مات (سولفیدها و اکسیدها) در کمپلکس آذرین مافیک-اولترامافیک میشو، جنوب باختر مرند،

شمال باختر ایران

نوشته: علی اصغر کلاگری**، محسن مؤذن**، منصور مجتهدی* و علی عامری*

Investigation of opaque minerals (sulfides and oxides) in mafic- ultramafic igneous complex in Misho , Southwest Marand, NW Iran

By: A.A. Calagari** & **, M. Moazzen** & **, M. Modjtahedi* and A. Ameri*

چکیده

کمپلکس مافیک-اولترامافیک میشو (پیش از پرمین) در ۸ کیلومتری جنوب باختر مرند در آذربایجان خاوری قرار دارد و در سنگهای رسی پروتروزوییک (سازند کهر) نفوذ کرده و باعث گرگونی همبری در همبری آنها شده است. این کمپلکس، در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه، توسط یک گسل معکوس در کنار سنگهای مارنی و ماسه سنگی ژیبس دار میوسن قرار گرفته است.

براساس شواهد صحرایی، بافتی، و ساختاری، نفوذیهای مافیک-اولترامافیک میشو به دو دسته تقسیم بندی می شوند (۱) گابروهای اولیه و (۲) گابروهای ثانویه. گابروهای اولیه به صورت توده های سنگی بزرگ و خشن برونزد داشته و بخش عمده منطقه مورد مطالعه را می پوشانند در حالی که گابروهای ثانویه، به صورت نفوذیهای کم حجم و نسبتاً کوچک دایک و سیل مانند و نامنظم در داخل گابروهای اولیه ظاهر می شوند.

براساس کانی شناسی سیلیکاتها، بافت و محتوای کانیهای سولفیدی گابروهای اولیه به سه زیر گروه (۱) گابروهای اولیه معمولی، (۲) لکه های گابروی غنی از سولفید، و (۳) لکه های پیروکسینیتی غنی از سولفید، و گابروهای ثانویه به دو زیر گروه (۱) دیابازی و (۲) میکروپیروکسینیتی غنی از سولفید رده بندی شده اند. فازهای تیره (سولفیدی و اکسیدی) در این سنگها عمدتاً فضای خالی میان کانیهای سیلیکاتی را به صورت انبوه های گرد شده و خمیده پر کرده و یا گاه در لکه های غنی از سولفید به طور کامل فازهای کانایی سیلیکاتی را احاطه کرده اند. در گابروهای اولیه معمولی، پیرویت و ایلمنیت فراوان ترین کانیهای سولفیدی و اکسیدی بوده که مقادیر مودال آنها به ترتیب در محدوده ۳-۵٪/۰-۱۰٪ قرار می گیرند.

مقدار پیرویت کمتر از ۲٪ بوده و گاه به ۳٪ می رسد. تجزیه شیمیایی این گابروها نشان می دهد که مقادیر عناصر Ni، Cu، Cr و به ترتیب 410 ppm ، $250 <$ و 170 ppm است.

در لکه های کوچک گابروی و پیروکسینیتی غنی از سولفید، مقادیر مودال سولفیدها و اکسیدها به ترتیب ۴۰-۱۰ و ۲-۰٪ درصد است. گابروهای ثانویه از نظر کانی شناسی کاملاً مشابه گابروهای اولیه بوده و فازهای کانیهای مات و آنها عمدتاً شامل ایلمنیت (۸-۳ درصد) و پیرویت (۲-۰٪ درصد) است. مقادیر عناصر Cu (۵۵ ppm)، Ni (۵۷ ppm)، و Cr (۹۱ ppm) نیز در این سنگها بسیار پایین است. مقادیر Au و Pt در هر دو گروه گابرو (اولیه و ثانویه) حدود ۵ ppb می باشد.

کلید واژه ها: لکه های گابروی غنی از سولفید، کمپلکس مافیک-اولترامافیک، ناهمبازی سیلیکات-اکسید-سولفید، پگماتیت گابروی، میشو، ایران.

Abstract

Misho mafic and ultramafic complex (pre-Permian) is located in 8km southwest of Marand, East-Azarbaidjan, NW Iran, and has intruded in Proterozoic pelletic rocks of Kahar formation developing contact metamorphism. A reverse fault in the northern portion of the study area brought this complex in contact with a series of gypsiferous marl and sandstone of Miocene age. Based on field, textural, and structural evidence, the mafic and ultramafic intrusives in Misho are divided into two distinct groups, (1) primary gabbros and (2) secondary gabbros (diabases). Primary gabbros crop out in the form of large, rugged, and

massive bodies of rocks covering most of the study area, whereas secondary gabbros appear as small and irregular dikes and sill-like bodies intruding the primary gabbros.

Based on silicate mineralogy, texture, and sulfide content, the primary gabbros are further divided into three sub-groups: (1) normal Primary gabbros, (2) sulfide-rich gabbroic patches, and (3) pyroxenite patches, and the secondary gabbros are divided into two subgroups: (1) diabases and (2) sulfide-rich micropyxenite.

Opaque mineral phases (sulfides and oxides) in these rocks principally fill as rounded and bent aggregates the interstitial spaces among silicates and occasionally (in sulfide-rich patches) entirely engulf them. In normal primary gabbros, pyrrhotite and ilmenite are the most abundant sulfide and oxide minerals whose modal values are within the range of 0.5-3% and 0.5-10% respectively. Analytical data shows that the values of Cu, Ni, and Cr in these rocks are <410ppm, <250ppm, and <170ppm respectively.

In small Sulfide-rich gabbroic and pyroxenite patches, the modal values of the sulfide and oxide minerals lie within the range of 10-40% and 0.3-3% respectively.

Secondary gabbros are mineralogically similar to the primary ones and their opaque phases are mainly ilmenite (3-8%) and pyrrhotite (0.2-2%). The concentration of Cu, Ni, and Cr in these rocks are ~55ppm, ~57ppm, and ~91ppm respectively.

Au and Pt values in both Primary and Secondary gabbros are ~5ppb.

Keywords: Sulfide-rich gabbroic patches, mafic-ultramafic complex, sulfide-oxide-silicate immiscibility, Gabbroic pegmatite, Misho, Iran.

مقدمه

(تشکیلات کهر) که عمدتاً در بخش شمالی منطقه برونزد دارند نفوذ کرده و باعث دگرگونی همبری آنها شده‌اند. توده گابرویی میشو در بخش شمالی در امتداد یک گسل معکوس در کنار سازندهای تخریبی-تبخیری (مانند مارنهای سرخ، مارنهای ژئوپس دار، ماسه سنگهای دارای نمک و ژئوپس) میوسن قرار گرفته است. این نهشته‌ها در بخشهای شمالی تر توسط دسته‌ای گنبد آتشفشانی کوچک (تراکی-داسیت تا داسیت) بریده شده و با سنگهای آذر آواری (توفا و آگلومراها) و گدازه‌های آندزیتی پلیوسن پوشیده شده‌اند (شکل ۱).

سنگهای مافیک و اولترامافیک میشو از نظر بافت و ساختار به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ (۱) گابروهای اولیه و (۲) گابروهای ثانویه. گابروهای اولیه به صورت توده‌های سنگی بزرگ گسترده می‌باشند. این سنگها دانه درشت بوده و بافت دانه‌ای درشت بلور تا پورفیری داشته و دارای لکه‌های پگماتیته، لکه‌های غنی از سولفید، و به طور محلی لکه‌های پیروکسنیتی هستند.

گابروهای ثانویه (دیاباز)، به صورت توده‌های نفوذی کم حجم و کوچک نامنظم دایک و سیل مانند فضای شکستگیها و درزهای موجود در درون گابروهای اولیه را پر کرده‌اند. این سنگها دانه‌ریز بوده؛ بافت دانه‌ای تا دانه‌ای هم بعد نشان داده و مرزی کاملاً مشخص با گابروهای اولیه می‌سازند. لکه‌های غنی از سولفید در این گابروها دیده نشده ولی دارای لکه‌های کوچک اولترامافیکی (میکروپیروکسنیتی) هستند.

روش مطالعه

برای مطالعه کانیهای تیره در ارتباط با کانیهای سیلیکاتی در گابروهای میشو، پیمایشهایی در امتداد چهار دره اصلی (دره قره‌قوم، دره گلجار، دره

بررسیهای مقدماتی بر کمپلکس گابرویی میشو شامل تهیه نقشه (۱:۲۵۰۰۰۰) زمین‌شناسی توسط افتخار نژاد و دیگران (۱۳۷۰) بوده که در آن سنگهای مافیک و الترامافیک میشو به صورت کمپلکس افیولیتی معرفی شده‌اند. محجل و حاجی علیلو (۱۳۷۳) در نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ این منطقه، این کمپلکس را به عنوان سنگهای آذرین درونی معمولی معرفی کرده‌اند (Mojtahedi 1992, 1993, 1994) و مجتهدی (۱۳۶۹). مجموعه سنگهای گابروهای میشو را از نظر زایشی شبیه کمپلکس سادبری کانادا می‌داند. مطالعات اندکی در مورد روابط بافتی کانیهای مات و سیلیکاتها در این سنگها صورت گرفته است. وجود لکه‌های گابرویی و پیروکسنیتی کوچک غنی از سولفید در این گابروها و نبود اثرات گرمایی درون‌زاد مشهود در این سنگها، این احتمال را تقویت می‌کند که جدایش مایعات ماگمایی ناهامیز سولفیدی و اکسیدی از یک مذاب سیلیکاتی که در تشکیل برخی کانسارهای سولفیدی و اکسیدی دنیا نقشی مهم ایفا داشته‌اند.

(Fischer, 1950; Hawley, 1962; McDonald, 1967; Philpotts, 1967; MacLean, 1969; MacLean and Shimazaki, 1976; Lightfoot et al., 2001; Jensen, 2003)

در پیدایش آنها مؤثر بوده‌اند. لذا تلاش شد که پژوهشهای زمین‌شیمیایی و سنگ نگاری تفصیلی بر روی این سنگها انجام گیرد.

زمین‌شناسی منطقه

باتولیت مافیک-اولترامافیک میشو در منطقه مورد مطالعه به طول حدود ۱۲ کیلومتر و عرض حدود ۵ کیلومتر در ۸ کیلومتری جنوب باختر مرند در آذربایجان‌خاوری واقع است. این سنگها متعلق به پالئوزویک (پیش از پرمین) بوده و در سنگهای عمدتاً شیلی-مارنی به پروتروزویک

موجود در این سنگها، در فرایند هوازدگی (سوپرژن) کانیهای سولفیدی و فرومیزین حاصل شده است. کانیهای سولفیدی به طور عمده در امتداد مرز بلور سیلیکاتها و گاه در کنار اکسیدها در این سنگها حضور داشته و بیشتر از نوع پروتیت بوده و گاهی (مانند نمونه AN6) مقدار بسیار کمی از پیریت و کلکوپریت آنها را همراهی می کند. نسبت میانگین مقادیر مودال اکسید به سولفید در این سنگها، در حدود ۲/۵ است. این گابروها به صورت محلی، حاوی لکه های پگماتیته با ابعادی حدود ۱۰ متر و دارای بلورهای سیلیکاتی بسیار درشت (گاهی بیشتر از پنج سانتی متر) هستند.

۲- لکه های گابرویی غنی از سولفید: این گابروها غنی از سولفید بوده (بیشتر از ۱۰ درصد) و معمولاً به صورت لکه های کوچک با قطر حدود ۲-۱۰ متر و به ندرت ۱۰ متر در گابروهای اولیه معمولی دیده می شوند. کانیهای سولفیدی در آنها دچار هوازدگی شده و به اکسیدهای آهن سوپرژن (عمدتاً گوتیت) تبدیل شده که رنگ زرد مایل به قهوه ای تا آجری به آنها داده است. کانیهای سولفیدی در این لکه ها، فضاهای خالی بین کانیهای سیلیکاتی را اشغال کرده، به گونه ای که در برخی نمونه ها آنها را کاملاً در بر گرفته و همانند سیمانی آنها را به هم چسبانده است (شکل های 2 و d2). حالت شنواری کانیهای سیلیکاتی در سولفیدها آشکارا نشان می دهد که مذاب سولفیدی، پس از تشکیل بخش بزرگی از کانیهای سیلیکاتی متبلور شده است. مقدار کانیهای سولفیدی در این سنگها، معمولاً از ۱۲ تا ۴۰ درصد تغییر می کند در حالی که مقدار کانیهای اکسیدی از حد بسیار کم تا حداکثر ۲ درصد متغیر است (جدول ۲). نسبت میانگین مقادیر مودال اکسیدها به سولفیدها در این لکه ها در حدود ۱:۲۵ است. سولفیدها عمدتاً پروتیت بوده ولی گاهی مقادیر نسبتاً کمی (۱ تا ۲ درصد) کلکوپریت آن را همراهی می کند. اکسیدها عمدتاً ایلمنیت بوده ولی گاهی مقدار کمی (صدها درصد) مگنتیت ثانویه (در نمونه Anx) نیز حضور دارد.

۳- لکه های پیروکسنیتی غنی از سولفید: این لکه های پیروکسنیتی در دره های قره قوم (نمونه GGx4) و حد فاصل (بین گلجار و انامق، نمونه M9) دیده می شوند. مقدار پیروکسن این سنگها از ۶۵ تا ۸۵ درصد متغیر بوده (جدول ۱) و نوع آنها در نمونه GGx4، انستاتیت-هیپرستن و در نمونه M9، اوژیت است. این سنگها مقدار قابل ملاحظه ای سولفید (عمدتاً پروتیت) دارند که از ۸ تا ۱۰ (در نمونه M9) تا ۲۲ درصد (در نمونه GGx4) متغیر است (شکل 2e). مقدار اکسیدها (عمدتاً ایلمنیت) به نسبت پایین بوده و از حدود ۰/۵ (در نمونه GGx4) تا ۳-۲ درصد (در نمونه M9) (با میانگین ۱/۵ درصد) تغییر می کند. نسبت میانگین اکسیدها به سولفیدها در این سنگها حدود ۱:۱۰ است.

حداصل بین گلجار و انامق و دره انامق، شکل ۱) در منطقه صورت گرفته و حدود ۱۰۰ نمونه دستی از واحدهای سنگی که بیشتر دارای کانیهای مات (بیش از ۲ درصد) بوده، برداشت شد. از نمونه های برداشت شده، ۲۰ نمونه انتخاب گردیده و از آنها مقطع نازک صیقلی تهیه شد و در زیر میکروسکوپ دمنظوره شکستی - بازتابی مطالعه شدند. شناسایی و تعیین مقادیر مودال (درصد حجمی) کانیها به صورت نوری صورت گرفت و در مواردی که تردید در شناسایی آنها وجود داشت، از شیوه پراش پرتو ایکس نیز بهره گرفته شد. برای تجزیه عناصر اصلی از روش فلورسانسی پرتو ایکس (XRF) و برای تجزیه عناصر با فراوانی کم مانند Pt، Au، Cr، Co، Ni، Cu از روش طیف سنجی جذب اتمی (AAS) بهره گرفته شد.

یافته های پژوهش

نتایج یافته های میکروسکوپی از نمونه های مطالعه شده به صورت مقادیر مودال همراه نام سنگها، در جدول ۱ آورده شده است. براساس مقدار کانیهای سولفیدی، کانی شناسی سیلیکاتها و بافت، گروه گابروهای اولیه به سه زیر گروه (۱) گابروهای اولیه معمولی، (۲) لکه های گابرویی غنی از سولفید، (۳) لکه های پیروکسنیتی دانه درشت غنی از سولفید؛ و گابروهای ثانویه به دو زیر گروه (۱) دیابازی و (۲) میکروپیروکسنیتی غنی از سولفید رده بندی شده اند (جدول ۲).

زیر گروه های گابروهای اولیه

۱- گابروهای اولیه معمولی: این گابروها حاوی بلورهای متوسط تا درشت با بافت دانه ای تا دانه ای هم بعد بوده و از نظر کانی شناسی، شباهت زیادی به هم دارند. تغییرات مودال برخی کانیهای سیلیکاتی (مانند اروتوپروکسن ها و اولیوین) باعث شده که نام سنگ شناختی مختلفی برای آنها در نظر گرفته شود (جدول ۱). این گابروها، حاوی کانیهای ناسیلیکاتی از جمله اکسیدها و سولفیدها هستند که مجموع آنها از ۳ تا ۱۲ درصد تغییر می کند ولی میانگین آنها در حدود ۴/۹ درصد است. دامنه تغییرات مودال اکسیدها (ایلمنیت، مگنتیت و هرسنیت) از ۰/۵ تا ۱۰ (با میانگین ۳/۵) درصد بوده در حالی که این تغییرات برای سولفیدها از ۰/۵ تا ۳ (با میانگین ۱/۴) درصد است. کانیهای اکسیدی که به نظر می رسد همزمان با برخی سیلیکاتها تشکیل شده باشند (شکل a2) عمدتاً ایلمنیت بوده و گاه (تنها در نمونه AN2) به جای ایلمنیت کانی سبزرنگ هرسنیت ظاهر می شود. مگنتیت به صورت اولیه و همزمان با ایلمنیت و سیلیکاتهای دیگر ظاهر نشده و بیشتر به صورت ثانویه در اثر هوازدگی کانیهای فرومیزین (عمدتاً اولیوین و اوژیت) در امتداد ریزشکستگی های متقاطع در مرحله ساب - سولیدوس تشکیل شده است (شکل b2). گوتیت

زیرگروه های گابروهای ثانویه

۱ - **دیاباز:** این سنگها به رنگ خاکستری تیره با لکه های آجری رنگ تا زرد مایل به قهوه ای در سطح پروتزد دارند. این دیابازها بلورهای دانه ریز تا متوسط با بافت عمدتاً دانه ای هم بعد داشته و با مرزی تند و مشخص در گابروهای اولیه نفوذ کرده اند. در این سنگها، لکه های غنی از سولفید (به گونه ای که در گابروهای اولیه دیده می شود) مشاهده نشده است. کانیهای تیره به صورت پراکنده بین سطوح بلورهای سیلیکاتها حضور دارند (شکل های f2 و g2). کانی شناسی این سنگها کاملاً شبیه گابروهای اولیه بوده و به همین علت می توان نتیجه گرفت که احتمالاً ماگمای تشکیل دهنده آنها، منشأ یکسانی داشته اند. مجموع مقادیر مودال اکسیدها و سولفیدها در این سنگها از ۶ تا ۱۱ درصد متغیر است (جدول ۲). سولفیدها، بیشتر پیرویت بوده و مقدار مودال آنها از ۰/۵ تا ۴/۲ (با میانگین ۱/۴۵ درصد) تغییر می کند. مقدار مودال اکسیدها (بیشتر ایلمنیت) از ۳ تا ۸ (و میانگین ۶/۵) درصد متغیر است. نسبت میانگین مودال اکسیدها به سولفیدها حدود ۴/۵ است.

۲ - **میکروپیروکسنیت غنی از سولفید:** این سنگها به همراه دیابازها، به صورت دایک در گابروهای اولیه نفوذ کرده اند. تعداد این دایکها در منطقه مورد مطالعه کم بوده و تنها یک مورد و آن هم در امتداد دره حدفاصل (بین گلجار و انامق، نمونه M4) مشاهده شده است. این سنگها دانه ریز تا متوسط با بافت دانه ای هم بعد و به رنگ خاکستری تیره هستند. مجموع مودال اکسیدها و سولفیدها در آنها از ۳۰ تا ۳۵ درصد متغیر است. مقدار مودال سولفیدها (عمدتاً پیرویت) حدود ۱۰ تا ۱۵ و مقدار مودال اکسیدها (عمدتاً هرسینیت) حدود ۲۰ درصد است. این سنگها به طور غیر عادی دارای مقدار بسیار کمی ایلمنیت بوده و تمام اکسیدها به صورت هرسینیت ظاهر شده اند (شکل 2h). نسبت میانگین اکسیدها به سولفیدها حدود ۱:۶ است.

تشکیل فازهای کانیاپی تیره در سنگهای مافیک و اولترامافیک میشو

کانیهای تیره در سنگهای مافیک و اولترامافیک میشو شامل فازهای اکسیدی و سولفیدی بوده که فضاهای بین کانیهای سیلیکاتی را پر می کنند. وجود انبوه های گرد شده و خمیده اکسیدی و سولفیدی و یا احاطه و سیمانی شدن کانیهای سیلیکاتی توسط سولفیدها، می تواند نشانگر این باشد که در روند تبلور ماگمای تشکیل دهنده این سنگها، سه فاز مایع ناهمباز (immiscible) سیلیکاتی، سولفیدی و اکسیدی شکل گرفته اند. به دلایل زیر روند تبلور ماگمای گابرویی در میشو در دیابازها مورد بررسی قرار گرفته است: (۱) دیابازها نسبت به گابروهای اولیه تجانس بیشتری دارند، (۲) منشأ مشترکی با گابروهای اولیه دارند و (۳) فاقد لکه های غنی از سولفید هستند. این دیابازها به طور میانگین ۶/۵ درصد

فازهای اکسیدی و ۱/۴۵ درصد فازهای سولفیدی دارند. از این رو می توان تصور کرد که ماگمای تشکیل دهنده آنها نیز پس از جایگزینی حاوی ۰/۳-۰/۵ درصد گوگرد محلول بوده که انحلال پذیری آن عمدتاً توسط دما، FeO، تغییرات SiO₂ و فوگاسیته O₂ (Gruenewald, 1974; Naldrett and Von 1989) و فشار (Buchanan and Rouse 1984)، کنترل می شده است. ماگما در زمان شروع تبلور، احتمالاً دمایی حدود ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد داشته است (Guilbert and Park, 1986; Chalokwu, 2001; Wu, et al., in press) و حاوی همان مقدار فازهای اکسیدی و سولفیدی بوده است (شکل ۱۰). در ابتدا اکسیدها و سولفیدها به صورت همباز (miscible) در سیلیکاتها حضور داشته اند. با کاهش تدریجی دما و خارج شدن بخشی از سیلیکاتهای دیرگداز تر (مانند انستاتیت-هیرستن و لابرادوریت) از فاز مایع، تمرکز اکسیدها و سولفیدها به تدریج در فاز مایع افزایش یافته است. غلظت اکسیدها با کاهش تدریجی دما افزایش یافته و در نتیجه قطره های بسیار ریز اکسیدی (به حالت امولسیون) از مایع سیلیکاتی جدا شده و به صورت یک فاز مایع ناهمباز در آمده و این در حالی است که سولفیدها هنوز به صورت محلول در سیلیکاتها حضور داشتند. با پیشرفت تبلور سیلیکاتها و خارج شدن بخش اعظم آنها از فاز مایع، غلظت اکسیدها و سولفیدها مرتب رو به افزایش گذاشته و بر مقدار فاز مایع ناهمباز اکسیدی افزوده می شد. هنگامی که ترکیب فازهای مایع باقیمانده به خط کوکتیک (شکل ۳) رسید، فازهای کانیاپی اکسیدی به همراه سیلیکاتها شروع به تبلور نموده و باعث افزایش غلظت سولفیدها در مایع باقیمانده شده اند. تبلور همزمان فازهای اکسیدی و سیلیکاتی نیز خود مؤید این مسئله است. با خارج شدن پیوسته فازهای کانیاپی سیلیکاتی-اکسیدی از مایع باقیمانده در امتداد خط کوکتیک و کاهش بیشتر دما به عنوان مهم ترین عامل اشباع گوگرد (Gauert, 2001) غلظت سولفیدها افزایش یافته و قطره های بسیار ریز سولفیدی نیز به عنوان یک فاز مایع ناهمباز در ماگما (احتمالاً در دمایی حدود 900 C) شکل گرفته است. در این مرحله، قسمت اعظم سیلیکاتها متبلور شده و فازهای مایع فضاهای خالی بین بلورهای از پیش تشکیل شده را پر نمودند. با نزدیک شدن ترکیب ماگمای باقیمانده به نقطه یوتکتیک (شکل ۳) بخش عمده اکسیدها و سیلیکاتها از فاز مایع خارج شده، به گونه ای که در نقطه یوتکتیک (احتمالاً در دمای حدود 800C) که در ترکیب فاز مایع باقیمانده فقط حدود ۵ درصد سیلیکات، ۱۵ درصد اکسید، و ۸۰ درصد سولفید وجود داشته، فازهای کانیاپی سیلیکاتی، اکسیدی و سولفیدی به تدریج باهم متبلور شده اند. حضور مقدار کمی کانی سیلیکاتی نسبتاً ریزدانه و بی شکل به همراه کانیهای سولفیدی و اکسیدی، به احتمال زیاد متعلق به این

مرحله است.

از سولفیدها و همگام با سیلیکاتها از فاز مایع خارج شده و فرصت و امکان مهاجرت و انباشت (همانند سولفیدها) را نداشته است. فرایند انباشت فاز مایع سولفیدی سبب افزایش نسبت میانگین فازهای کانیاپی سولفیدی به فازهای کانیاپی اکسیدی در لکه های غنی از سولفید شده به گونه ای که مقدار این نسبت از ۰/۴ در گابروهای اولیه معمولی به حدود ۲۵ در گابروهای غنی از سولفید (یعنی ۶۰ برابر) شده است.

پایین بودن نسبت میانگین مودال اکسیدها به سولفیدها در لکه های پیروکسینی (۱/۱۰) نسبت به مقدار آن در گابروهای اولیه معمولی (۲/۵)، شاید به این دلیل باشد که سازهای اصلی فازهای اکسیدی یعنی Fe و Ti عمدتاً در فازهای سیلیکاتی فرومیزین جای گرفته و یا اینکه FeO_2 در این لکه ها پایین بوده است. البته هر دو عامل فوق می توانسته اند به طور همزمان مؤثر باشند. روند تبلور ماگمایی در گابروهای ثانویه و اولیه تقریباً یکسان بوده است ولی همان گونه که پیشتر نیز اشاره شد در دیابازها، لکه های غنی از سولفید وجود ندارد و کانیهای سولفیدی تقریباً به صورت دانه های ریز و پراکنده بین مرزهای بلوری سیلیکاتها حضور می یابند.

این مطالب می تواند نشان دهنده این واقعیت باشد که قطرهای فاز مایع ناهمامیز سولفیدی به دلیل حجم کم ماگما و سرعت انجماد، فرصت به هم پیوستن و انباشت را پیدا نکرده اند. تنها در نمونه M4 (دایک میکروپیروکسینی) هم فاز کانیاپی سولفیدی و هم فاز کانیاپی اکسیدی سرشار هستند. (جدول ۲) و نسبت اکسیدها به سولفیدها حدود ۲ است. حضور هرسینیت ($FeAl_2O_4$) در این دایک به جای ایلمنیت جالب توجه است. نبود ایلمنیت (به عنوان یک فاز اکسیدی) در این نمونه شاید به علت پایین بودن مقدار پلاژیوکلاز (۱۰-۵٪) و نبود کلینوپیروکسنها (اوژیت) در این سنگها (جدول ۱) باشد که سبب شده Al ماگما درگیر فازهای اکسیدی (هرسینیت) شود.

در کل، بجز مقدار نسبتاً کمی کلکوپیریت در برخی نمونه ها، سولفیدهای نیکل و کبالت به همراه پیرویت در زیر میکروسکوپ و یا در نمودار XRD نمونه های گابرویی میشو دیده نشده ولی تجزیه برخی نمونه ها (جدول ۲)، حضور عناصر Ni و CO را به مقدار کم نشان می دهند.

وجود یک روند مثبت بین مقدار کل سولفیدهای موجود در گابروهای اولیه و ثانویه با مقادیر عناصر Ni، Cu، Ni و CO (شکل های ۴c، ۴d، ۴e) حاکی از یک ارتباط تنگاتنگ بین آنهاست. وجود یک روند منفی بین مقادیر MgO و مقادیر عناصر Ni و CO در گابروهای اولیه (شکل ۴f) نیز خود مؤید این مسئله است که تغییرات فراوانی Ni و CO کاملاً توسط فراوانی مودال سولفیدها کنترل شده و احتمالاً بیشتر عناصر Ni و CO در فازهای سولفیدی حضور دارند تا در فازهای سیلیکاتی.

جدایش فازهای مایع ناهمامیز اکسیدی و سولفیدی نسبت به روند تکامل تبلور کانیهای فرومیزین در گابروهای اولیه و ثانویه مورد بررسی قرار گرفت. از این رو تغییرات مقادیر مودال کانیهای اکسیدی و سولفیدی نسبت به تغییرات مقادیر MgO (حاصل از تجزیه XRF؛ مجتهدی و دیگران، ۱۳۸۲) در هفت نمونه (۵ نمونه از گابروهای اولیه و ۲ نمونه از گابروهای ثانویه) مطالعه شد. مقادیر مودال اکسیدها و سولفیدها نسبت به افزایش مقدار MgO، به ترتیب یک روند مثبت (شکل ۴a) و یک روند منفی (شکل ۴b) در گابروهای اولیه نشان می دهند. در واقع بدان معنی است که اکسیدها (عمدتاً ایلمنیت) به دلیل داشتن غلظت بیشتر، زودتر به صورت فاز مایع ناهمامیز درآمده و پس از رسیدن به خط کوتکتیک (شکل ۳) همگام با سیلیکاتهای Mg در از فاز مایع خارج شده اند، در حالی که سولفیدها (به دلیل داشتن غلظت کمتر و نقطه ذوب پایین تر) در جریان تکامل تبلور سیلیکاتهای Mg در، همچنان به صورت مایع باقی مانده و بخش عمده مذاب باقیمانده را تشکیل داده اند. بنابراین، این تصور منطقی خواهد بود که یکی از عوامل اصلی در روند منفی سولفیدها در گابروهای اولیه فرایند جدایش، زهکشی، و خارج شدن آنها (به عنوان یک فاز مایع ناهمامیز با نقطه ذوب پایین) است که در زمانی طولانی در این گابروها صورت گرفته است. نقاط مربوط به گابروهای ثانویه در شکل های ۴a و ۴b در خارج از روند تکاملی تبلور در گابروهای اولیه قرار گرفته اند که می تواند نشانگر این مسئله مهم باشد که اساساً در گابروهای ثانویه به واسطه سرعت انجماد و حجم کم ماگمای آنها پس از فرایند جدایش فازهای مایع ناهمامیز، زهکشی، و انباشت فازهای اکسیدی و سولفیدی نسبت به روند تکاملی تبلور کانیهای سیلیکاتی Mg در همانند گابروهای اولیه نبوده است. به عبارتی همه فازهای سیلیکاتی، اکسیدی، و سولفیدی به صورت برجای تبلور حاصل نموده اند.

حضور لکه های گابرویی غنی از سولفید در گابروهای اولیه معمولی و نبود آنها در گابروهای ثانویه را می توان بدین صورت توضیح داد که زمان بسیار طولانی فرایند تبلور در ماگمای گابروهای اولیه این فرصت را برای قطره های بسیار ریز (blebs) مایع سولفیدی (به عنوان یک فاز مایع ناهمامیز در مایع باقیمانده) در خمیر بلوری فراهم نمود که به تدریج به صورت یک فاز فرعی و چگال به هم پیوندند و به قطره های بزرگ تر تبدیل شده و سپس از حجم نسبتاً بزرگی از سنگهای اطراف خود زهکشی شده و به صورت لکه های غنی از سولفید گرد به طور محلی در گابروهای اولیه انباشته شدند. از آنجایی که لکه های غنی از فازهای کانیاپی اکسیدی در گابروهای اولیه دیده نشده، شاید بتوان چنین استنباط کرد که فاز مایع اکسیدی به دلیل داشتن نقطه انجماد بالاتر نسبت به سولفیدها، بسیار زودتر

نتیجه گیری

کمپلکس گابرویی میشو را از نظر بافت و زمان تشکیل می توان به دودسته مجزا تقسیم بندی کرد، (۱) گابروهای اولیه و (۲) گابروهای ثانویه. گابروهای اولیه دانه درشت و دانه ای بوده و شامل گابروهای اولیه معمولی، لکه های پیروکسنیتی و گابروهای غنی از سولفید و لکه های پگماتیستی هستند. ماگمای این مجموعه سنگها احتمالاً در ژرفای بیش از ۴-۵ کیلومتر جایگزین شده و روند تبلور آن در زمانی بسیار طولانی صورت گرفته است. حضور لکه های پگماتیستی می تواند نشان دهنده حضور مقدار کمی فاز سیال باشد که می توانسته به طور محلی تجمع یابد. وجود لکه های کوچک غنی از سولفید، ممکن است بدلیل جدایش، زهکشی و انباشت قطرکهای مایع سولفیدی (به عنوان فاز مایع ناهم آمیز با نقطه انجماد پایین) در حجم به نسبتاً بزرگی از سنگ در یک محل باشد. این عمل در زمان طولانی به همراه فرایند تبلور و انجماد، به ویژه در دماهای پایین تر در ماگما صورت گرفته است. بجز در چند مورد کمیاب که سولفیدها در کنار فرومیزین های دگرسان شده حضور دارند، در بیشتر موارد سیالهای کانه دار در جایگزینی سولفیدها نقشی نداشته اند. پیرویت مهم ترین کانی سولفیدی و ایلمنیت مهم ترین کانی اکسیدی در این سنگها ست. مقدار پیرویت در بیشتر گابروهای اولیه معمولی کمتر از ۲ درصد بوده و تنها در نمونه AN6 به حدود ۳ درصد می رسد. یافته های زمین شیمیایی (به روش طیف سنجی جذب اتمی) گابروهای معمولی (نمونه های AN6، GG23، GG21؛ جدول ۲) نشان می دهند که مقادیر عناصر Ni و Cu به ترتیب $410 \text{ ppm} <$ و $250 \text{ ppm} <$ و پایین تر از حد اقتصادی آنها حدود 10000 ppm است (Mason and Moore, 1982).

مقدار Cr نیز در این سنگها کمتر از 170 ppm بوده که پایین تر از حد اقتصادی آن (حدود 30 درصد ، Mason and Moore, 1982) است. مقدار ایلمنیت نیز در گابروهای اولیه پایین بوده و در بیشتر نمونه ها در حد ۲-۵ درصد بوده و به ندرت مقدار آن به 10 درصد (نمونه GGx) می رسد. از این رو مقدار Ti موجود در این سنگها، بیشتر در محدوده بسیار کم تا 1 درصد تغییر می کند که پایین تر از حد اقتصادی است (حد اقتصادی Ti در کانیهای اکسیدی بالاتر از 15 درصد می باشد؛ Evans, 1993).

مقدار پیرویت در لکه های گابرویی کوچک غنی از سولفید و پیروکسنیتهای غنی از سولفید از 10 تا 40 درصد تغییر می کند. مقدار کمی کلکوپیریت از حدود 5 (نمونه GGx4) تا 2 درصد (نمونه Anx) پیرویت را همراهی می کنند. براساس تجزیه شیمیایی باتوجه به تجزیه شیمیایی نمونه های GGx4 و GG20a (جدول ۲) مقدار مس موجود در این سنگها کمتر از $2970-1710 \text{ ppm}$ است. هرچند یکی از کانیهای مهم Ni یعنی پنتلندیت [Fe,Ni)9S8] که معمولاً با پیرویت همراه است در این نمونه ها

دیده نشده، ولی تجزیه نمونه های GGx4 و GG20a (جدول ۲) حضور مقداری Ni را (به ترتیب 2470 ppm و 2620 ppm) در این نمونه ها نشان می دهد. در این لکه ها مقدار Cr کمتر از 110 ppm و مقدار ایلمنیت در محدوده 0.3 تا 3 درصد متغیر است. به طور کلی، مقادیر نیکل، مس و کروم در این لکه ها مشابه سنگهای اورتوپروکسنیتهای مجموعه نفوذی Bjerkreim-Sokndal نروژ (Jensen, et al., 2003) است، هم از نظر کمی و هم از لحاظ کیفی، در حد پایین اقتصادی قرار می گیرند.

گابروهای ثانویه، اساساً به صورت دایک و سیل کوچک و نامنظم و بی قاعده بایک فاصله زمانی نسبتاً طولانی (یعنی پس از سرد و منجمد شدن گابروهای اولیه) با مرز کاملاً تند و مشخص در توده بزرگ گابروهای اولیه نفوذ کرده اند. این گابروها عمدتاً دانه ریز با بافت دانه ای هم بعد و به رنگ خاکستری تیره بوده و از نظر کانی شناختی کاملاً مشابه گابروهای اولیه هستند. از این رو تصور می شود که منشأ ماگماهای تشکیل دهنده آنها یکی باشد. این سنگها نیز بجز تحمل مقداری جزئی دگرسانی پسرونده (اورالیتی شدن)، اساساً دگرسانی گرمایی قابل ملاحظه و فراگیر از خود نشان نمی دهند. در این سنگها نیز پیرویت و ایلمنیت به ترتیب اهمیت کانیهای سولفیدی و اکسیدی بوده که به صورت فازهای مایع ناهم آمیز در ماگما شکل گرفته و متبلور شده اند. گاهی مقدار بسیار کمی پیریت، کلکوپیریت و هرسینیت آنها را همراهی می کنند. مقدار پیرویت در این سنگها نیز همانند گابروهای اولیه معمولی به نسبت پایین بوده و بین 0.2 تا 2 درصد در تغییر است و به ندرت به 4 درصد (نمونه GL₁₃) می رسد. در عوض، مقدار ایلمنیت آنها نسبتاً بالا بوده و از 3 تا 8 درصد تغییر می کند. سولفیدهای Ni و Co و اکسید Cr (کرومیت) در فازهای کانیایی این سنگها دیده نشده است (نه در زیر میکروسکوپ و نه در نمودار XRD) و تجزیه یک نمونه از این سنگها (نمونه MI1؛ جدول ۲) نشان می دهد که مقادیر Cu (55 ppm)، Ni (57 ppm) و Cr (91 ppm) بسیار پایین است. از این رو این سنگها از نظر این عناصر نیز ارزش اقتصادی ندارند.

مقدار عناصر کمیاب Au و Pt نیز هم در گابروهای اولیه و هم در گابروهای ثانویه حدود 5 ppb بوده (جدول ۲) و بسیار پایین تر از حد اقتصادی آنها یعنی $8-1 \text{ ppm}$ (Evans, 1993) است. به طور کلی، گابروهای میشو (آنچه که در سطح برونزد دارند) فقیر از عناصر مهم اقتصادی مانند Cu، Ni، Co، Ti، Cr، Au و Pt هستند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش تحقیقات از پشتیبانی مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز برخوردار بوده لذا جا دارد که مؤلفان از همه مسئولان محترم این معاونت

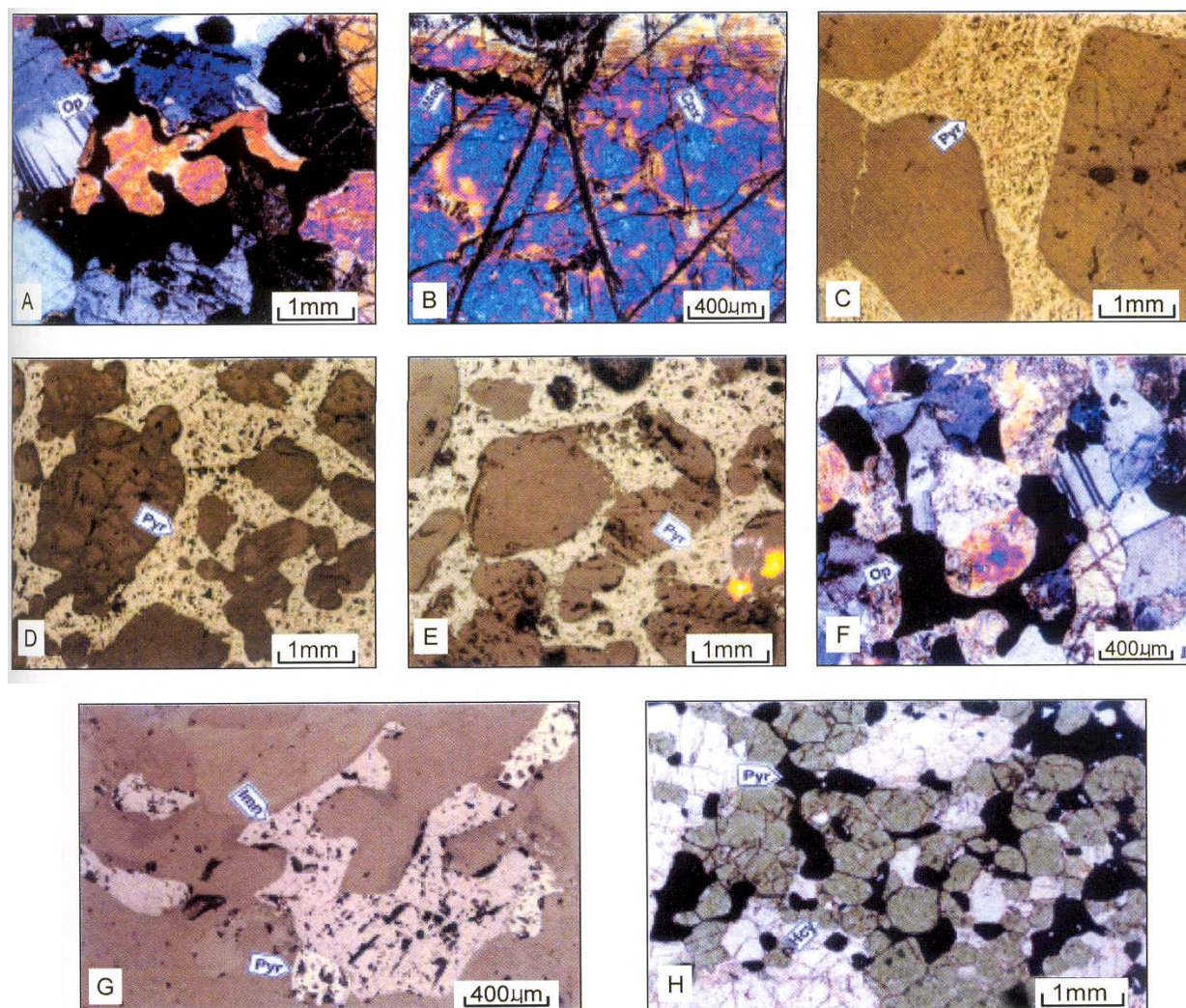
انجام این پژوهش را فراهم کردند، سپاسگزاری و قدردانی نمایند.

و اداره امور پژوهشی و دیگر کارکنان گرامی دانشگاه تبریز که امکان

جدول ۱- تغییرات مودال (درصد) بعضی از نمونه های معرف از سنگهای مافیک-الترامافیک در امتداد دره های قره قوم، گلجار، حدواسط (بین گلجار و انامق) و انامق در میشو.

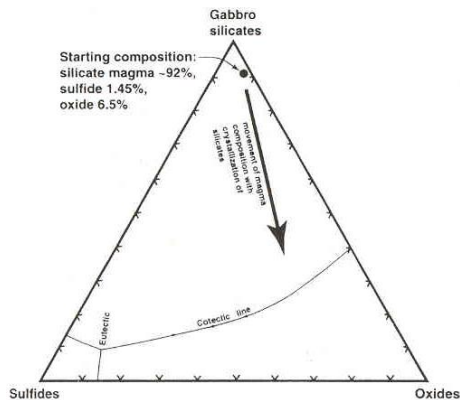
	دره قره قوم							دره گلجار		
	GG _x	GG _{x4}	GG _{x5}	GG _{18a}	GG _{20a}	GG ₂₁	GG ₂₃	GL ₇	GL ₁₁	GL ₁₃
	الیون-گابرو	ارتوپرو و کسینیت غنی از سولفید	الیون-گابرو	الیون-هیپرستن-گابرو	گابرو غنی از سولفید	گابرو	الیون-هیپرستن-گابرو	الیون-هیپرستن-دیاباز	هیپرست-دیاباز	الیون-هیپرستن-دیاباز
Plag ₀ .	۶۰	۵-۱۰	۵۰	۶۰	۳۰	۸۰-۸۵	۵۵	۶۵	۶۰-۶۵	۷۴-۷۸
Olivine	۲۰	-	۲۰-۲۵	۵	-	-	۲۰	۵	-	۵
Cpx	۶	-	۱۵-۲۰	۱۵	-	۱۰-۱۵	۱۵	۱۵	۲۰-۲۵	-
Opx	۱	۶۵-۷۵	۵	۱۰	۲۷-۳۰	-	۵	۵	۵	۱۰
Biotite	-	-	۱-۲	۵	۱-۲	۱	۱-۲	۲	۱	۰/۲
Ilmenite	۱۰	۱	۲	۴-۵	۰/۳	۱	۲	۷	۸	۴
Hercynite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۳
Opaques	۱۳	۲۵/۵	۳/۵-۴	۵-۵/۵	۴۱	۳	۳	۸-۵	۸/۲	۸/۲

	دره حدفاصل				دره انامق					
	M ₁	M ₄	M ₇	M ₉	AN _x	AN ₂	AN ₅	AN ₆	AN _{10a}	AN ₁₃
	الیون-دیاباز	بیکروار توپرو و کسینیت غنی از سولفید	الیون-دیاباز	پترو و کسینیت غنی از سولفید	هلیون گابرو غنی از سولفید	هیپرستن-گابرو	الیون-گابرو	الیون-گابرو یگمانتینی	هیپرستن-دیاباز	دیاباز
Plag.	۶۵-۷۰	۵-۱۰	۶۵	۵	۶۰	۵۰-۶۰	۷۰	۷۰	۶۰-۶۵	۶۰-۶۵
Olivine	۵	-	۱۰	-	۱۵	-	۱۰	۱۰	-	-
Cpx	۲۰	-	۱۲	۸۰-۸۵	۱۲	۳۰-۳۵	۱۴	۱۰	۲۰-۲۵	۳۰-۳۵
Opx	-	۵۵-۶۰	۳	-	-	۱۰	۱-۲	۵	۲۵	-
Biotite	۱	۲	-	-	-	-	۱-۲	-	-	-
Ilmenite	۶	کمیاب	۸	۲-۳	1	-	۰/۵	۰/۷۵	۸	۳-۴
Hercynite	-	۲۰	-	-	-	۲-۳	-	-	-	-
Opaques	۷	۱۰-۱۵	۹	۱۰-۱۳	۱۳/۵	۰/۵	۳/۵	۶	۸/۵-۹	۴-۶

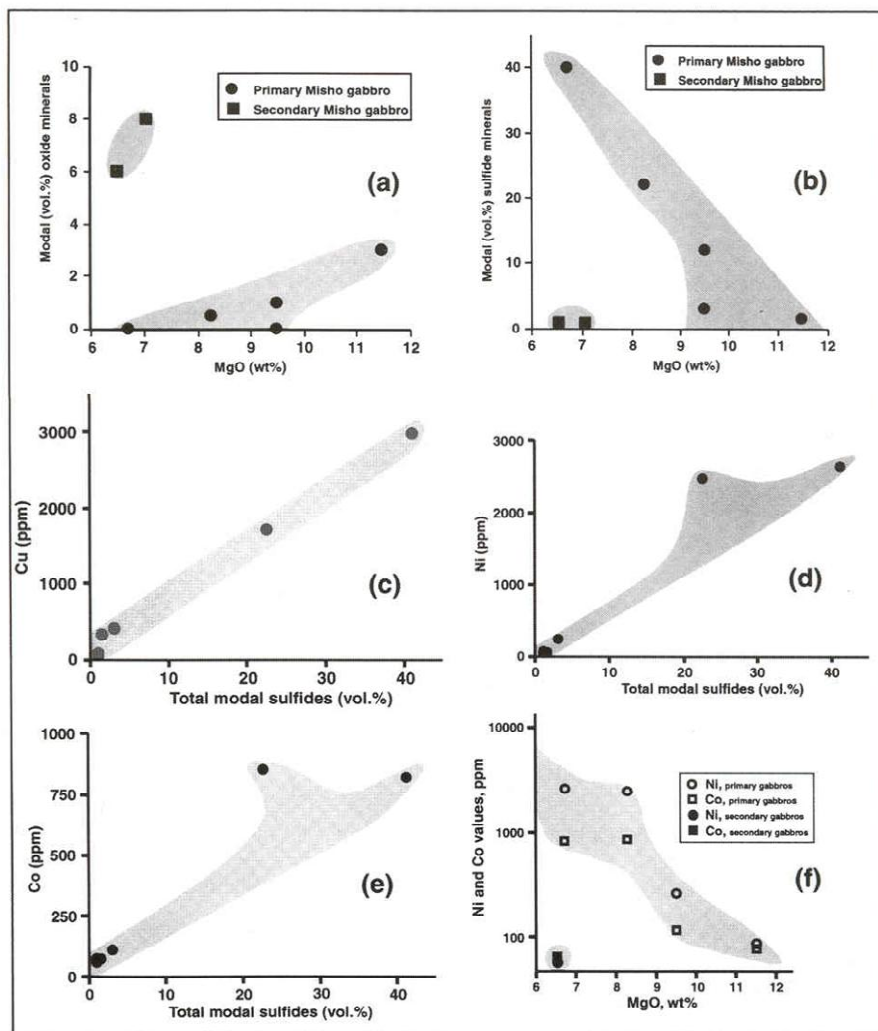


شکل ۲ -

- a:** شیوه قرارگیری کانیهای تیره (ایلمنیت و پیروتیت) نسبت به کانیهای سیلیکاتی. همان گونه که دیده می‌شود، کانیهای تیره فضاهای خالی بین کانیهای سیلیکاتی را پر می‌کنند. نور پلاریزه متقاطع شکستی
- b:** مگنتیت ثانویه در اولیوین و در امتداد ریزشکستگی‌های متقاطع. نور پلاریزه متقاطع شکستی
- c:** احاطه شدن کانی‌های سیلیکاتی توسط کانیهای تیره (عمدتاً پیروتیت) و شناور و سیمانی شدن کانیهای سیلیکاتی در آنها. نور پلاریزه ساده بازتابی.
- d:** احاطه و سیمانی شدن همه کانیهای سیلیکاتی توسط فاز سولفیدی (عمدتاً پیروتیت) و ایجاد یک بافت پویکلیتیک. نور پلاریزه ساده بازتابی.
- e:** پیروتیت کانیهای سیلیکاتی را به صورت شناور در خود گرفته و آنها را سیمانی کرده است. نور پلاریزه ساده بازتابی.
- f:** پر کردن فضاهای خالی بین سیلیکاته توسط فازهای تیره (عمدتاً ایلمنیت). نور پلاریزه متقاطع بازتابی.
- g:** ارتباط میان کانیهای ایلمنیت و پیروتیت بامرزی کاملاً مشخص در کنار یکدیگر در فواصل بین کانیهای سیلیکاتی در نمونه M7. نور پلاریزه ساده بازتابی.
- h:** ارتباط میان سیلیکاتها، سولفیدها و اکسیدها. نور پلاریزه متقاطع شکستی.



شکل ۳- نمایش شماتیک مسیر احتمالی تبلور ماگمای گابرویی در حال سرد شدن در یک نمودار مثلثی در میشو. جهت پیکان، مسیر تغییر ترکیب شروع ماگما را با تبلور تدریجی سیلیکاتها نشان می‌دهد. در طول خط کوکتیک فازهای مایع نامیژاک اکسیدی و سیلیکاتی با هم متبلور می‌شوند. سیستم سه‌تایی مرکب از سیلیکاتها، اکسیدها و سولفیدها در گابروها (اقتباس از Gulibert and Park, 1986).



شکل ۴- نمودارهای مقادیر مودال کانیهای اکسیدی (a) و سولفیدی (b) در برابر درصد وزنی MgO، مقادیر کل مودال سولفیدها در برابر فراوانی مس (c)، نیکل (d)، کبالت (e) و مقادیر MgO در برابر مجموع فراوانی Ni و Co در نفوذیه‌های مافیک-اولترامافیک میشو.

کتابنگاری

- افتخار نژاد، ج.، قرشی، م.، مهرپرتو، م.، ارشدی، س. و زهره بخش، ا.، ۱۳۷۰ - نقشه زمین شناسی تبریز-پلدشت (۱/۲۵۰۰۰۰) سازمان زمین شناسی ایران. مجتهدی، م. ۱۳۶۹. بررسی پترولوژیکی و پتروگرافی توده های آذرین کوههای میشودر جنوب شهرستان مرند. مجموعه خلاصه مقالات نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی ایران، تهران، ص ۹۴.
- مجتهدی، م.، کلاگری، ع.ا.، عامری، ع.، مؤذن، م.، ۱۳۸۲. پی جویی و مطالعات کانی شناسی، سنگ شناسی و ژئوشیمی سنگهای آذرین نفوذی مناطق انامق، گلجارج و قره قوم در کوه های میشو با نگرشی ویژه بر فلزات آهن، نیکل، مس، کبالت، طلا و نقره. گزارش طرح تحقیقاتی، اداره امور پژوهشی دانشگاه تبریز. ۱۹۷ص.
- محجل، م. حاجی علیلو، ب. ۱۳۷۳. نقشه زمین شناسی مرند (۱/۱۰۰۰۰۰) سازمان زمین شناسی ایران.

Reference

- Buchanan, D.L. and Rouse, J.E., 1984- Role of contamination in the precipitation of sulphides in the Platreef of the Bushveld Complex. *Geology*, 141-146.
- Chalokwu, C.I., 2001- Petrology of the Freetown Layered Complex, Sierra Leone: Part II. Magma evolution and crystallization conditions. *Journal of African Earth Sciences*, 32 (3), 519-540.
- Evans, A.M., 1993- *Ore Geology and Industrial Minerals, An Introduction*, 3rd Edition. Blackwell Scientific Publications, London, 390p.
- Fischer, R.P., 1950- Entmischungen in Schwermetalloxyden, Silikaten und Phosphaten. *News Jahb. Mineral. Abh.*, 81, 315-364.
- Gauert, C., 2001- Sulphide and oxide mineralization in the Uitkomst Complex, South Africa: Origin in a magma conduit. *Journal of African Earth Sciences*, 32 (2), 149-161.
- Guilbert, J.M. and Park, C.F., 1986- *The geology of ore deposits*. New York, W.H. Freeman and Company, 985p.
- Haughton, D.R., Roeder, P.L., Skinner, B.J., 1974- Solubility of sulphur in mafic magmas. *Economic Geology*, 69, 451-467.
- Hawley, J.E., 1962- The Sudbury ores: Their mineralogy and origin. *Canadian Mineralogist*, 7, 1-29.
- Jensen, K.K., Wilson, J.R., Robins, B., and Chiodoni, F., 2003- A sulfide-bearing ortho-Pyroxenite layer in Bjerkreim-Sokndal Intrusion, Norway: implications for processes during magma-chamber replenishment. *Lithos*, 67, 15-37.
- Lightfoot, P.C., Keays, R.R., and Doherty, W., 2001- Chemical evolution and origin of nickel sulfide mineralization in Sudbury igneous complex. Ontario, Canada. *Economic geology*, 96, 1855-1875.
- MacLean, W.H., 1969- Liquidus phase relations in the FeS-FeO-Fe₃O₄-SiO₂ system, and their application in geology. *Economic geology*, 64, 865-884.
- MacLean, W.H. and Shimazaki, H., 1976- The partition of Co, Ni, Cu, and Zn between sulfide and silicate liquids. *Economic Geology*, 71, 1049-1057.



- Mason, B. and Moore, C.B., 1982- Principles of Geochemistry. New York, John Wiley & Sons, Inc., 344p.
- McDonald, J.A., 1967- Evolution of part of Lower Critical Zone, Farm Ringhoek, Western Bushveld. *Journal of Petrology*, 8, 165-209.
- Modjtahedi, M., 1992- Petrological and geological investigation of gabbroic layered intrusion from Misho mountain, NW Iran. First South Asia Geological Congress. Islamabad, Pakistan, p.29, Abstract book.
- Modjtahedi, M., 1993- Emplacement and magmatism of gabbroic layered intrusion in Misho mountain through the Tabriz fault. International Conference of Post-collisional Tectonics and Evolution of Sedimentary Basin between the Caucasus and Zagros. Ataturk University, Erzurum, Turkey.
- Modjtahedi, M., 1994- Evolution of ore minerals in layered gabbroic intrusion in the Misho mountain, an area between Sofian, Shabestar, and Marand, East-Azarbaidjan, Iran.
- Tagung Mineralogy and Petrology, 94 Eggenburg, Austria, Abstract, p.346.
- Naldrett, A.J., 1989. Sulfide melts-crystallization temperatures, solubilities in silicate melts, and Fe, Ni, and Cu partitioning between basaltic magma and olivine. In: Whitney, J.A., Natldrett, A.J. (Eds.), Ore deposits associated with magmas. *Reviews Economic Geology*, 4, 5-20.
- Philpotts, A.A., 1967- Origin of certain iron-titanium oxide and apatite rocks. *Economic Geology*, 62, 303-315.
- Wu, F.-Y., Wilde, S.A., Zhang, G.-L., and Sun, D.-Y., in press. Geochronology and petrogenesis of the post-orogenic Cu-Ni sulfide-bearing mafic-ultramafic complexes in Jilin Province, NE China. *Journal of Asian Earth Sciences*.

*گروه زمین شناسی - دانشکده علوم طبیعی - دانشگاه تبریز
**مؤسسه تحقیقاتی علوم پایه ایران - تبریز

*Geology Department, Natural Science Faculty, Tabriz University 51664, Iran.
**Research Institute for Fundamental Sciences (RIFS), Tabriz 51664, Iran.