



بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ۲۰ و ۲۱ آبانماه ۱۳۹۹

The 23rd Symposium of Geological Society of Iran
10-11 November, 2020

ژئوشیمی کانی‌های ایلمنیت و مگنتیت با تأکید بر دماسنجی و تخمین فوگاسیته اکسیژن در سنگ‌های نفوذی شرق مرق، جنوب غرب کاشان

زهرا حبیبی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، Habibizahra336@gmail.com

سید محسن طباطبایی منش، دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، Tabataba@Sci.ui.ac.ir

اکرم السادات میرلوحی، دکتری پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، Akrammirlohi@gmail.com

چکیده

سنگ‌های دیوریتی منطقه مرق، جنوب غرب کاشان، بخشی از ماگماتیسم پهنه ارومیه دختر را شامل می‌گردد که دارای کانی‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز به عنوان فراوان‌ترین کانی اصلی می‌باشند. بافت این سنگ‌ها پرفیروئید با زمینه گرانولار دانه‌ریز تا دانه‌متوسط است. کوارتز، زیرکن و اپیک از کانی‌های فرعی سنگ می‌باشند. کانی‌های سریسیست، اپیدوت، زوفیزیت، کلریت از کانی‌های ثانویه بوده که از دگرسانی کانی‌هایی مثل پلاژیوکلاز و آمفیبول پدید آمده‌اند. کانه‌های اکسید آهن به عنوان بخشی از کانی‌های فرعی سنگ به صورت مگنتیت، ایلمنیت، تیتانومگنتیت، هماتیت و به طور جزئی لیمونیت در این سنگ‌ها حضور دارند. بررسی دقیق ترکیب این کانه‌ها بیانگر محتوی $\text{FeO}=38.1$ و $\text{TiO}_2=48.03$ در مگنتیت ایلمنیت‌ها و $\text{FeO}=34.1$ و $\text{TiO}_2=4.11$ در تیتانومگنتیت‌هاست. همچنین ایلمنیت با میانگین عضو انتهای $\text{X}_{\text{ilm}}=90.81$ و میانگین عضو انتهایی مگنتیت $\text{X}_{\text{usp}}=11.75$ می‌باشد. وجود کانی مگنتیت نشان دهنده محیط اکسیدان است. افزون بر این، زوج کانی‌های ایلمنیت و مگنتیت محدوده‌ی میانگین دمایی 684 درجه سانتی‌گراد و فوگاسیته اکسیژن میانگین $f_{\text{O}_2}=16$ را نشان می‌دهند.

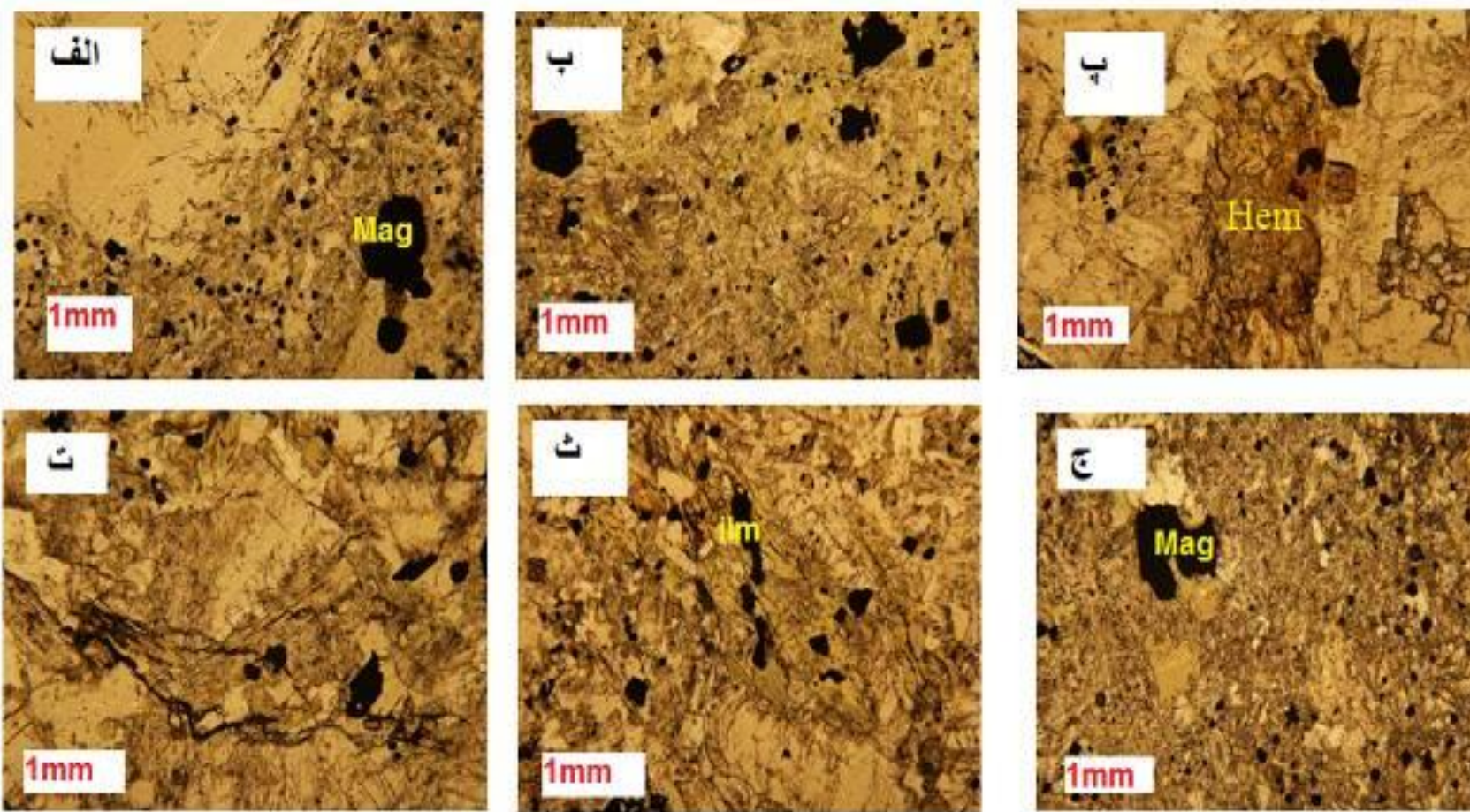
کلمات کلیدی: ایلمنیت- مگنتیت، ژئوترموتری، فوگاسیته اکسیژن، توده نفوذی، مرق.

بحث

پتروگرافی

سنگ‌های نفوذی محدوده مورد بررسی با بافت پورفیروئید و زمینه گرانولار دانه‌ریز تا دانه‌متوسط و بلورهای نیمه شکل دار تا شکل دار مشاهده می‌گردند. پلاژیوکلاز و آمفیبول از کانی‌های اصلی و مهم تشکیل دهنده سنگ هستند. پلاژیوکلازها شکل دار تا نیمه شکل دار بوده و منطقه بندی از خود نشان می‌دهند. آمفیبول‌ها با اندازه‌های ریز تا درشت بوده و گاهی توسط اپیدوت و کلریت جایگزین شده‌اند. کوارتز، تیتانیت، زیرکن، آپاتیت و اپیک از کانی‌های فرعی سنگ می‌باشند. سریسیست، اپیدوت، زوفیزیت، هماتیت و کلریت از جمله کانی‌های ثانویه بوده که از دگرسانی کانی‌هایی مثل پلاژیوکلاز و آمفیبول پدید آمده‌اند. اکسیدهای Fe و Ti در این سنگ‌ها به صورت ایلمنیت، مگنتیت و تیتانومگنتیت حضور دارند. با افزایش تیتانیوم درجه حرارت محلول‌های جامد نیز افزایش پیدا می‌کند.

بر اساس شواهد پتروگرافی و بررسی‌های میکروسکوپی انواع اپیکا (کانه‌های اکسید آهن) به شکل‌های مختلف قابل مشاهده است (شکل ۲). اپیکا به صورت دانه‌ریز در متن سنگ (شکل ۲- الف) و یا به صورت شکل دار (مگنتیت) تا بی‌شکل دیده می‌شوند (شکل ۲- ب). افزون بر این هماتیت که حاصل دگرسانی در این سنگ‌هاست با رنگ قرمز قابل مشاهده است (شکل ۲- پ). از دیگر رخدادهای اکسیدان در این سنگ‌ها، تجمع در امتداد درز و شکاف و شکستگی‌های سنگ می‌باشد (شکل ۲- ت). ایلمنیت به صورت یک کانی دارای کشیدگی و نسبت طول به عرض بیشتر، در متن سنگ دیده می‌شود (شکل ۲- ث). همچنین، کانی‌های اپیک به همراه کانی‌های حاصل از دگرسانی و آلتراسیون کانی‌های اولیه به صورت بی‌شکل و یا ریزدانه و پراکنده در زمینه سنگ مشاهده می‌گردند (شکل ۲- ج).

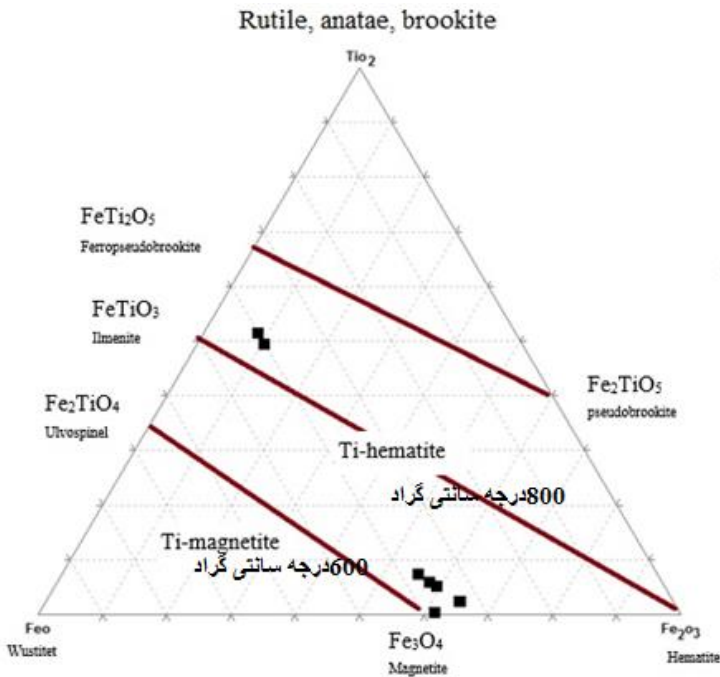


شکل ۲- الف) در این تصویر اکسید آهن به صورت دانه ریز در متن سنگ و به صورت بی‌شکل دیده می‌شود. ب) مگنتیت‌های مربعی شکل، پ) اکسید آهن هماتیت در حاشیه کانی اپیک و جداگانه در کانی پلاژیوکلاز، ت) تجمع اکسید آهن در شکاف و شکستگی‌ها (ث) کانی کشیده ایلمنیت در متن سنگ و ج) کانی مگنتیت به صورت بی‌شکل و ریزدانه و پراکنده در زمینه سنگ.

شیمی کانی مگنتیت- ایلمنیت

نتایج تجزیه نقطه‌ای کانی‌های ایلمنیت، مگنتیت و تیتانومگنتیت (تعداد ۸ نقطه) به همراه محاسبه فرمول ساختاری و تعیین مقدار مول ایلمنیت و اولواسپینل در جدول شماره ۱ ارائه شده است. مقدار مول اولواسپینل (Fe_2TiO_4) در ترکیب تیتانومگنتیت بین 6.47 تا 19.95 درصد و مقدار مول ایلمنیت در ترکیب ایلمنیت بین 89.56 تا 92.35 درصد است. مقدار اکسید تیتانیوم در ایلمنیت‌ها 0.92 درصد و در مگنتیت‌ها 0.06 درصد می‌باشد که نشان می‌دهد مقدار تیتانیوم در ایلمنیت‌ها بیشتر از مگنتیت‌ها می‌باشد. مقدار عنصر Al در نمونه‌ها بسیار ناچیز است که بیانگر مقدار اسپینل محدود و اندک است.

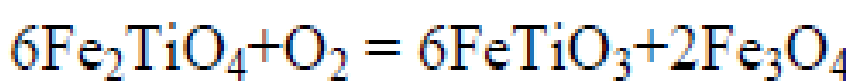
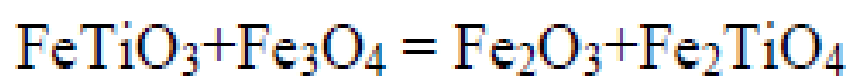
در نمودار سه‌تایی $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (شکل ۳) نمونه‌های مورد بررسی در محدوده خط اتصال مگنتیت- اولواسپینل با تمایل به خط اتصال مگنتیت- ایلمنیت قرار گرفته‌اند. در اثر اکسیداسیون و دگرسانی مگنتیت- اولواسپینل به ایلمنیت- هماتیت متمایل می‌گردند (Buddington and Lindsly, 1964). تعادل اکسید تیتانیوم و آهن دو و سه‌ظرفیتی در درجه حرارت‌های مختلف نشان می‌دهد که تیتانیوم با درجه حرارت رابطه مستقیم دارد و با افزایش تیتانیوم درجه حرارت محلول جامد افزایش می‌یابد. ایلمنیت‌های آنالیز شده بر روی خط هماتیت و ایلمنیت و نزدیک خط Ferranilmenite با دمای بیش از 700 درجه وجود دارد ولی مگنتیت‌ها در محدوده خط هماتیت- وستیت قرار گرفته و دمای بالاتر از 600 درجه را نشان می‌دهند. در درجه حرارت بالا تیتان بیشتر در مگنتیت جای می‌گیرد اما در درجه حرارت کم به دلیل کاهش قابلیت انحلال مقدار تیتان در مگنتیت‌ها کاهش می‌یابد.



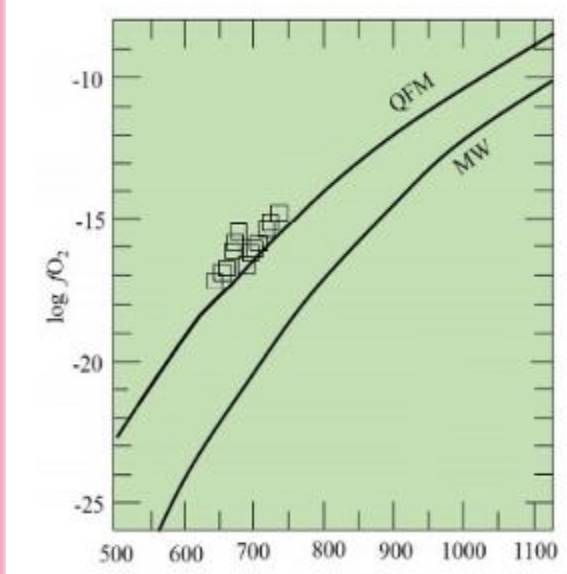
شکل ۳- نمودار سه‌تایی $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$ که خطوط اتصال انحلال جامد بین کانی‌های مگنتیت- اولواسپینل و ایلمنیت- هماتیت و بزودوبراکیت و فروزودوبراکیت را نشان می‌دهد. این نمودار موقعیت ایلمنیت و مگنتیت‌های محدوده مورد بررسی را نشان می‌دهد (Buddington and Lindsly, 1964).

دما و فوگاسیته اکسیژن

برای محاسبه ژئوترموتری و فوگاسیته اکسیژن برای کانی‌های اکسیدی هم‌زیست از جمله زوج کانی‌های ایلمنیت- هماتیت، تیتانومگنتیت- ایلمنیت و یا مگنتیت- اولواسپینل دو واکنش اصلی وجود دارد که به شرح زیر است:



اگر سیستم کانی‌سازی اکسیدی به صورت ترکیب Fe-Ti-O باشد از رابطه (Pawell and Powell, 1977) برای ژئوترموتری و فوگاسیته اکسیژن استفاده می‌شود. اما در نمونه‌های بررسی‌شده در سنگ‌های حدواسط مقادیری از Al, Cr, Mn, Mg وجود دارد که از رابطه‌های (Carmichael, 1967; Anderson, 1968; Lindsly, 1982; Stomer, 1981) بر اساس معادله (Spencer and Lindsley, 1982) استفاده می‌کنیم. برای مرجع از منحنی بافر QFM (کوارتز- مگنتیت - فایالیت) (Chu I-Ming, 1987) و MW (وستیت- مگنتیت) (Eugster and Wones, 1962) برای فشارهای کمتر از 1.5 کیلو بار استفاده شده است (شکل ۴).



شکل ۴) تخمین دما و فوگاسیته اکسیژن با استفاده از کانی‌های ایلمنیت و مگنتیت در منطقه مرق

به علت اختلاف دما در فرس‌های مختلف از میانگین اعداد بدست آمده استفاده شد. (Oliver, 1978) نشان داد که کانی ایلمنیت و تیتانومگنتیت ریزبلور غنی از تیتان هم رشد با هم، دمای بیش از 1000 درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد و هم رشدی درشت بلور ایلمنیت و تیتانومگنتیت دمایی حدود $500-600$ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. هم رشدی ایلمنیت و تیتانومگنتیت که در بالای منحنی بافر قرار گرفته‌اند دمای تعادل بیشتری از جمله 794 تا 830 درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد و به عبارتی در منحنی اولواسپینل قرار می‌گیرند (Pasteris, 1985).

نتیجه گیری

اکسیدهای Fe-Ti در سنگ‌های نفوذی محدوده مورد مطالعه به صورت مگنتیت و ایلمنیت به عنوان کانی فرعی حضور دارند. ایلمنیت‌های به صورت بلورهای کشیده و شکل دار تا نیمه شکل دار و مگنتیت به صورت بلورهای ریز تا متوسط بلور و شکل دار تا نیمه شکل در زمینه یا همراه کانی‌های دیگر قابل مشاهده است. بر اساس مقادیر $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در طی تبلور ماگما، ماده مذاب باقی‌مانده در درجه حرارت بالا ابتدا کانی ایلمنیت را در دمای 800 درجه سانتی‌گراد تشکیل داده که با کاهش دما و پیشرفت عمل تفریق در دمای حدود 600 درجه سانتی‌گراد، کانی مگنتیت با محتوی تیتانیوم پایین‌تر تشکیل شده است. نمونه‌های محدوده مورد بررسی دمای تعادل 643 تا 730 و فوگاسیته 16 را نشان می‌دهد و در خط محلول جامد اولواسپینل- مگنتیت قرار می‌گیرند.

منابع

منابع فارسی

۱- ارفراد، ج.، علایی مهابادی، س.، ۱۳۸۲، نقش زمین‌شناسی ورقه ۱۰۰۰۰۰/۱ کاشان، شماره E6، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران.

منابع انگلیسی

- ۲- Buddington, A.F., Lindsley D.H., 1964, "Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalent Journal of Petrology, 5, 310-357.
- ۳- Powell, R., Powell, M., 1977, "Geothermometry and oxygen barometry using coexisting iron-titanium oxides: a reappraisal", Mineralogical Magazine, 41, 257-263.
- ۴- Spencer, K.J., Lindsley, D.H., 1981, "A solution model for coexisting iron-titanium oxide American Mineralogist, 66, 1189-1201.
- ۵- Andersen D.J., and Lindsley, D.H., 1985, New (and final) models for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer (abs.), EOS, 66, 416.
- ۶- Saito, T., Ishikawa, N., Kamata, H., 2004, "Iron-titanium oxide minerals in block-and-ash-flow deposits: Implications for lava dome oxidation processes", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 138, 283-294.
- ۷- O'Reilly, W., 1984, "Rock and mineral magnetism", Blackie, Glasgow and London, Chapman and Hall, New York, 220 p.
- ۸- Carmichael, I.S.E., 1967, "The iron-titanium oxides of saline volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates", Contributions to Mineralogy and Petrology, 14, 36-64.
- ۹- Anderson, A.T., 1968, "Oxidation of the LaBlanche Lake titaniferous magnetite deposit, Quebec", Journal of Petrology, 76, 528-547.
- ۱۰- Lindsly, d.H., 1982, "Fe-Ti oxid geothermometry: Reducing analyses of coexisting Ti-magnetite (Mt) and ilmenite (ilm)", abstract AGU 1982 Spring Meeting Eos Transactions. American Geophysical Union, 7, 493- 477..
- ۱۱- Stormer, J.C., 1983, "The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron-titanium oxides", American Mineralogist, 68, 586-594.
- ۱۲- Lepage, L.D., 2003, "ILMAT: an Excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry", Computers and Geosciences, 29, 673-678.
- ۱۳- Chou I-Ming., 1978, "Calibration of oxygen buffers at elevated P and T using the hydrogen fugacity sensor", American Mineralogist, 63, 690-703.
- ۱۴- Eugster, H.P., Wones D. R., 1962, "Stability relations of the ferruginous biotite, annite", Petrology, 3, 82-125.
- ۱۵- Oliver G.J.H., 1978, "Ilmenite-magnetite geothermometry and oxygen barometry in granulite and amphibolite facies gneisses from Doubtful Sound Fiordland, New Zealand", Lithos, 71, 147-153.
- ۱۶- Pasteris J.D., 1985, "Relationships between temperature and oxygen fugacity among Fe-Ti oxides in two regions of the Duluth complex", Canadian Mineralogist, 23, 137-127.

مواد و روش کار

در این پژوهش برای بررسی ماهیت و شیمی کانی‌های کدر موجود در سنگ‌های مورد مطالعه از دستگاه آنالیز الکترون میکروپروب JEOL مدل JEOL JXA-8800R (WDS) در دانشگاه کاناواوی ژاپن با ولتاژ شتاب دهنده 20Kv و شدت جریان 20nA استفاده شده است. برای بدست آوردن دما و فوگاسیته اکسیژن و هم‌چنین محاسبه $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ تصحیحات آهن کل با استفاده از (Carmichael, 1967) و محاسبه مقدار مولی عناصر و هم‌چنین دما و فوگاسیته اکسیژن با استفاده از چهار مدل مختلف (Carmichael, 1967; Anderson, 1968; Lindsley, 1982; Stromer, 1983) و به کمک نرم‌افزار ILMMA انجام شده است (Lepage, 2003).