

کاربرد زمین‌شیمی کانی‌های ایلمنیت-مگنتیت در تبلور ماگمای گرانیتوئیدی

محبوبه جمشیدی بدر^۱، مهناز خادمی پارسا*^۲، مهرداد بهزادی^۳

(۱) استادیار دانشگاه پیام نور، m_jamshidi@pnu.ac.ir

(۲) دکتری پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

(۳) عضو هیئت علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

در این تحقیق با استفاده از زمین‌شیمی زوج کانی ایلمنیت-مگنتیت شرایط تبلور ماگمای توده نفوذی گرانیتوئیدی سرویان مورد بررسی قرار گرفته است. اکسیدهای Fe-Ti در سنگ‌های توده نفوذی گرانیتوئیدی سرویان عمدتاً به صورت ایلمنیت و مگنتیت اولیه و به عنوان کانی فرعی حضور دارند. زمین‌شیمی کانی ایلمنیت دارای ترکیبی با عضو انتهای $X_{ilm} = 0.954 - 0.965$ است. زمین‌شیمی مگنتیت‌ها دارای X_{usp} پائین (0.0076 تا 0.0125) و X_{mag} بالایی (0.96 تا 0.97) هستند و میزان TiO_2 آن‌ها بسیار پائین (-0.18 wt%) است و در گروه مگنتیت‌های با تیتانیم پائین قرار می‌گیرند. میانگین درجه حرارت تشکیل ماگمای توده نفوذی سرویان بر مبنای زوج کانی ایلمنیت-مگنتیت در شرایط ساب‌سالدوس 514.45 تعیین شده و فوگاسیته اکسیژن ماگما بین 22.90- تا -21.21 برآورد شده است.

کلیدواژه: زمین‌شیمی کانی‌های ایلمنیت-مگنتیت، زمین‌دماسنجی، فوگاسیته اکسیژن.

مقدمه

مجموعه‌های کانیاپی در سنگ‌های آذرین ارتباط نزدیکی با ترکیب و شرایط تحول مذاب در طی تبلور دارند. این ویژگی اساس استفاده از ترکیب کانی‌های خاص و فازهای کانیاپی همزیست را برای محاسبه پارامترهای فیزیکوشیمیایی (فشار، دمای تبلور و فوگاسیته اکسیژن) فراهم آورده است. از بین پارامترهای فوق مطالعات زمین‌دماسنجی جهت شناخت شرایط دمای تشکیل سنگ‌ها، به عنوان یک روش مفید مطرح شده و جایگاه خاصی در مطالعات زمین‌شناسی پدید آورده است. در این زمینه، تجربیات آزمایشگاهی دانشمندان، محاسبات و مدل‌سازی ترمودینامیکی بر اساس تجزیه شیمیایی کانی‌ها به وسیله تجزیه نقطه‌ای به فهم بهتر شرایط دما و فشار حاکم بر سنگ‌ها در خلال فرآیندهای زمین‌شناسی کمک مؤثری نموده است. کانی‌های همزیست ایلمنیت-مگنتیت جزء کانی‌هایی می‌باشند که می‌توانند در تعیین شرایط تبلور و جایگیری توده‌های نفوذی کاربرد داشته باشند. در این تحقیق شرایط تبلور و جایگیری توده نفوذی سرویان با استفاده از زمین‌شیمی کانی‌های ایلمنیت-مگنتیت مورد بررسی قرار گرفته است. توده نفوذی سرویان یکی از توده‌های نفوذی زون ماگمایی اورمیه - دختر می‌باشد که در ۱۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان دلیجان و در استان مرکزی قرار دارد و در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کهک معرفی شده است (قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۳).



روش مطالعه

در این پژوهش تجزیه نقطه‌ای از کانی‌های ایلمنیت-مگنتیت در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، با استفاده از دستگاه EPMA، مدل SX100 ساخت شرکت Cameca کشور فرانسه با ولتاژ شتاب دهنده 15KV و شدت جریان 20nA انجام شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

اکسیدهای Fe-Ti در سنگ‌های توده نفوذی سرویان عمدتاً به صورت ایلمنیت و مگنتیت اولیه و به عنوان کانی فرعی حضور دارند. کانی ایلمنیت عمدتاً به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار در ابعاد حداکثر ۲ میلی‌متر، و کانی مگنتیت عمدتاً با بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل با اندازه حداکثر ۵ میلی‌متر در بین کانی‌های سیلیکاته قرار گرفته‌اند.

شیمی کانی‌های ایلمنیت-مگنتیت

زمین شیمی کانی ایلمنیت دارای ترکیبی با عضو انتهایی $X_{ilm} = 0.954 - 0.965$ است. با افزایش میزان X_{ilm} مقدار MgO کاهش و مقدار MnO افزایش می‌یابد. میزان هماتیت به صورت اکسلوژن در ایلمنیت‌ها ناچیز بوده و در حدود 0.031-0.043 می‌باشد. مقدار متوسط TiO_2 و FeO به ترتیب در حدود 44.74-50.88 درصد وزنی است و مقدار CaO و SiO_2 در ایلمنیت‌ها کمتر از 0.1 wt% می‌باشد.

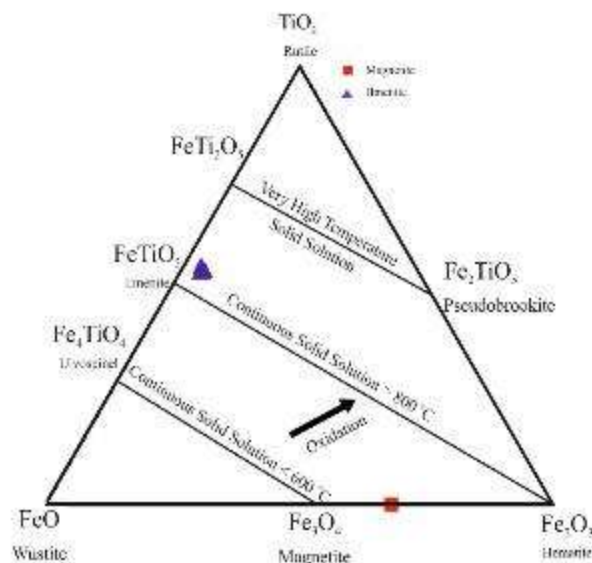
زمین شیمی مگنتیت‌ها دارای X_{Usp} پائین (0.0076 تا 0.0125) و X_{Mag} بالایی (0.96 تا 0.97) هستند و میزان TiO_2 آن‌ها بسیار پائین (0.18-0.31 wt%) است و در گروه مگنتیت‌های با تیتانیم پائین قرار می‌گیرند. میزان Al_2O_3 در مگنتیت‌ها بین 0.57 تا 0.69 درصد وزنی است که این مقدار در مقایسه با Al_2O_3 ایلمنیت‌ها بیشتر است. میزان MnO و مگنتیت‌ها در مقایسه با ایلمنیت‌ها بسیار کمتر می‌باشد.

در سیستم سه تایی $TiO_2 - FeO - Fe_2O_3$ ترکیب متوسط ایلمنیت‌ها تقریباً حاوی مقادیر مساوی از FeO و TiO_2 است، در حالی که ترکیب متوسط مگنتیت‌ها بر روی خط اتصال $FeO - Fe_2O_3$ و در بین موقعیت هماتیت (Fe_2O_3) و مگنتیت (Fe_3O_4) قرار گرفته‌اند (شکل ۱). همچنین تعادل اکسیدهای تیتانیم، آهن دو ظرفیتی و سه ظرفیتی در شرایط متفاوت درجه حرارت نشان داده شده است که با افزایش میزان تیتانیم، درجه حرارت محلول‌های جامد نیز افزایش می‌یابد. تمام ایلمنیت‌های آنالیز شده بر روی و نزدیک خط Ferranilmenite در شرایط محلول جامد در دمای بیش از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته‌اند. در حالی که مگنتیت‌ها در بالاتر از انتهای خط محلول جامد بالای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و در محدوده خط هماتیت-وستیت قرار می‌گیرند.

در درجه حرارت‌های بالا، Ti به مقدار بیشتری در مگنتیت جای می‌گیرد، در حالی که در درجه حرارت‌های پائین‌تر، به دلیل کاهش قابلیت انحلال، مقدار Ti در مگنتیت‌ها کاهش یافته و سبب تشکیل اکسلوژن‌های ایلمنیت می‌شود. بر اساس



شکل ۱ می‌توان دریافت که در طی تبلور ماگما، ماده مذاب باقیمانده در درجه حرارت‌های بالا، ابتدا کانی ایلمنیت در بالاتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل شده است که با کاهش دما و پیشرفت عمل تفریق در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، کانی مگنتیت با تیتانیم پائین تشکیل شده است.



شکل ۱: نمودار سه تایی سیستم جامد $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ که خطوط اتصال جامد بین کانی‌های مگنتیت-ایلمنیت، مگنتیت-الواسپینل، پزودوبروکیت و فروپزودوبروکیت را نشان می‌دهد (modified after Buddington and Lindsley, 1964, Broska et al., 2003). در این نمودار موقعیت ایلمنیت‌ها و مگنتیت‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

زمین‌دماسنجی بر اساس کانی‌های ایلمنیت-مگنتیت

با توجه به حضور زوج کانی ایلمنیت-مگنتیت به عنوان کانی‌های فرعی اپک در سنگ‌های توده نفوذی سروبان، می‌توان از شیمی این دو کانی جهت تعیین درجه حرارت تشکیل و یا درجه حرارت تبدلات یونی در شرایط ساب‌سالیدوس استفاده نمود. بدین منظور با استفاده از نرم افزار Ilmat (Lepage, 2003)، دما به روش‌های Powell & Powell (1977)، Andersen & Lindsley (1985) و Spencer & Lindsley (1981) برای زوج کانی ایلمنیت-مگنتیت محاسبه شد. در هر یک از روش‌های ذکر شده دما بر اساس میزان X_{Hem} ، X_{Ilm} ، X_{mag} و X_{Usp} که به ۴ روش مختلف Carmichael (1967)، (Anderson (1968)، Lindsley & Spencer (1982)، Stormer (1983) محاسبه شده، تعیین گردیده است (جدول ۱).

میانگین دمای محاسبه شده به روش‌های Powell & Powell (1977)، Andersen & Spencer & Lindsley (1981) و Lindsley (1985) به ترتیب 377.83، 502.97 و 502.92 است. دمای محاسبه شده به روش Powell & Powell (1977) از دو روش دیگر کمتر بوده، در حالی که دمای محاسبه شده به روش‌های Andersen & Spencer & Lindsley (1981) و



Andersen & Lindsley (1985) بسیار نزدیک به هم می‌باشند. بدین جهت دمای محاسبه شده به روش Andersen & Lindsley (1985) و محاسبه X_{Usp} و X_{Ilm} به روش Carmichael (1967) به عنوان معیاری برای تعیین دمای زوج کانی ایلمنیت-مگنتیت در نظر گرفته شده است. دمای زوج کانی ایلمنیت-مگنتیت به روش ذکر شده از 496.34 تا 530.97 درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و میانگین آن 514.45 درجه سانتی‌گراد است. به نظر می‌رسد دمای 514.45 درجه سانتی‌گراد، درجه حرارت تبدلات یونی در شرایط سابسالیدوس را نشان می‌دهد.

برآورد فوگاسیته اکسیژن بر حسب ایلمنیت-مگنتیت

Spencer & Lindsley (1981) و Andersen & Lindsley (1985) با استفاده از میزان X_{Usp} و X_{mag} ، X_{Ilm} ، X_{Hem} و نیز مقدار درجه حرارت، فرمولی را جهت محاسبه فوگاسیته اکسیژن ارائه کرده‌اند. میزان فوگاسیته اکسیژن با استفاده از این فرمول‌ها در نرم افزار Ilmat (Lepage, 2003) محاسبه شده است. در هر یک فرمول‌ها، میزان X_{Ilm} ، X_{Hem} و X_{Usp} و X_{mag} به ۴ روش مختلف (Carmichael (1967), Anderson (1968), Lindsley & Spencer (1982) و Stormer (1983) محاسبه شده است.

مقدار فوگاسیته اکسیژن بر اساس فرمول Andersen & Lindsley (1985) و میزان X_{Usp} و X_{mag} ، X_{Ilm} ، X_{Hem} محاسبه شده به روش Carmichael (1967) بین 22.90- تا 21.21- برآورد شده است.



جدول ۱: نتایج برآورد دما زوج کانی ایلمنیت-مگنتیت توده نفوذی سرویان با استفاده از نرم افزار Ilmat و به روش های (Powell & Powell (1977), (Spencer & Lindsley (1981) و (Andersen & Lindsley (1985). در هر یک از روش های نامبرده، دما بر اساس Xmag, Xilm, Xhem و Xusp محاسبه شده به روش های مختلف بدست آمده است.

	Powell & Powell (1977)					Spencer & Lindsley (1981)					Andersen & Lindsley (1985)					All data average
	Carmichael (1967)	Anderson (1968)	Lindsley & Spencer (1982)	Stormer (1983)	Average	Carmichael (1967)	Anderson (1968)	Lindsley & Spencer (1982)	Stormer (1983)	Average	Carmichael (1967)	Anderson (1968)	Lindsley & Spencer (1982)	Stormer (1983)	Average	
Mag27-Ilm30	376.24	351.56	359.45	357.70	361.24	504.06	487.19	492.72	489.70	493.42	504.12	485.07	491.29	487.6	492.08	448.91
Mag28-Ilm30	403.36	383.68	387.28	385.21	389.88	522.32	510.01	512.23	508.91	513.37	524.99	510.87	513.41	509.7	514.73	472.66
Mag29-Ilm30	395.34	371.80	381.82	380.04	382.25	517.05	501.75	508.50	505.40	508.17	518.93	501.49	509.15	505.5	508.81	466.41
Mag34-Ilm30	399.54	380.28	387.10	385.28	388.05	519.82	507.66	512.11	508.96	512.14	522.11	508.20	513.27	509.2	513.33	471.17
Mag35-Ilm30	396.49	374.97	378.03	376.03	381.38	517.81	503.98	505.88	502.64	507.58	519.81	504.01	506.18	502.1	508.13	465.70
Mag36-Ilm30	393.57	377.90	381.85	379.76	383.27	515.87	506.02	508.52	505.20	508.90	517.58	506.33	509.17	505.4	509.63	467.27
Mag27-Ilm31	371.94	347.03	354.65	354.10	356.93	498.29	480.94	486.15	484.75	487.53	497.59	477.97	483.83	482.4	485.41	443.29
Mag28-Ilm31	398.70	378.68	382.06	381.29	385.18	516.24	503.35	505.30	503.70	507.15	518.13	503.35	505.58	503.7	507.70	466.68
Mag29-Ilm31	390.79	366.98	376.68	376.19	377.66	511.06	495.25	501.64	500.23	502.04	512.17	494.13	501.40	499.8	501.88	460.53
Mag34-Ilm31	394.93	375.33	381.88	381.36	383.37	513.79	501.06	505.18	503.74	505.94	515.30	500.73	505.44	503.8	506.32	465.21
Mag35-Ilm31	391.92	370.10	372.95	372.22	376.80	511.81	497.43	499.07	497.51	501.46	513.03	496.61	498.47	496.7	501.21	459.82
Mag36-Ilm31	389.04	372.99	376.70	375.91	378.66	509.90	499.44	501.65	500.04	502.76	510.84	498.89	501.42	499.5	502.69	461.37
Mag27-Ilm32	379.61	355.92	363.98	361.31	365.21	508.54	493.16	498.86	494.63	498.80	509.18	491.82	498.24	493.4	498.17	454.06
Mag28-Ilm32	407.02	388.50	392.23	389.15	394.23	527.04	516.35	518.71	514.12	519.05	530.29	518.02	520.71	515.5	521.14	478.14
Mag29-Ilm32	398.91	376.45	386.69	383.92	386.49	521.69	507.95	514.91	510.55	513.77	524.17	508.50	516.38	511.4	515.13	471.80
Mag34-Ilm32	403.15	385.05	392.04	389.22	392.37	524.50	513.96	518.58	514.16	517.80	527.39	515.31	520.56	515.5	519.71	476.63
Mag35-Ilm32	400.07	379.67	382.84	379.87	385.61	522.47	510.21	512.24	507.75	513.17	525.05	511.06	513.36	508.2	514.44	471.07
Mag36-Ilm32	397.12	382.64	386.71	383.64	387.53	520.50	512.29	514.92	510.35	514.52	522.80	513.41	516.40	511.2	515.97	472.67
Mag27-Ilm33	365.38	339.87	347.68	345.48	349.60	489.37	470.90	476.47	472.73	477.37	487.47	466.57	472.84	468.6	473.87	433.61
Mag28-Ilm33	391.58	370.77	374.47	371.91	377.19	506.86	492.68	495.10	491.04	496.42	507.52	491.26	494.02	489.4	495.25	456.39
Mag29-Ilm33	383.84	359.36	369.22	366.95	369.84	501.81	484.81	491.54	487.69	491.46	501.71	482.30	489.95	485.5	489.89	450.40
Mag34-Ilm33	387.89	367.51	374.29	371.98	375.42	504.47	490.45	494.98	491.08	495.24	504.76	488.71	493.88	489.4	494.21	454.96
Mag35-Ilm33	384.95	362.40	365.57	363.10	369.01	502.55	486.94	489.04	485.07	490.90	502.55	484.71	487.11	482.6	489.24	449.72
Mag36-Ilm33	382.13	365.22	369.24	366.68	370.82	500.69	488.89	491.55	487.51	492.16	500.41	486.93	489.97	485.3	490.67	451.22
Mag27-Ilm54	371.13	345.51	353.35	352.19	355.55	497.19	478.81	484.36	482.11	485.62	496.34	475.55	481.80	479.2	483.24	441.47



Mag28-Ilm54	397.81	376.99	380.64	379.383.6 22 7	515.08	501.09	503.41	500.505.1 92 3	516.82	500.79	503.44	500.6505. 2 42	464.74
Mag29-Ilm54	389.92	365.35	375.29	374.376.1 15 8	509.92	493.04	499.77	497.500.0 48 5	510.88	491.62	499.28	496.6499. 9 62	458.62
Mag34-Ilm54	394.05	373.66	380.46	379.381.8 29 7	512.64	498.81	503.29	500.503.9 96 2	514.00	498.18	503.30	500.6504. 7 04	463.28
Mag35-Ilm54	391.06	368.46	371.58	370.375.3 21 3	510.67	495.21	497.21	494.499.4 78 7	511.74	494.09	496.37	493.6498. 2 95	457.92
Mag36-Ilm54	388.18	371.33	375.31	373.377.1 87 8	508.76	497.20	499.79	497.500.7 29 6	509.56	496.36	499.30	496.4500. 8 42	459.45
Mag27-Ilm55	380.04	349.97	357.63	356.360.9 17 5	509.12	485.00	490.24	487.492.9 60 9	509.83	482.58	488.47	485.4491. 8 59	448.51
Mag28-Ilm55	407.49	381.92	385.30	383.389.5 54 6	527.64	507.68	509.61	506.512.9 70 1	530.97	508.24	510.45	507.1514. 6 21	472.23
Mag29-Ilm55	399.37	370.11	379.87	378.381.9 40 4	522.29	499.48	505.91	503.507.7 20 2	524.84	498.92	506.22	503.1508. 7 29	465.98
Mag34-Ilm55	403.62	378.54	385.12	383.387.7 61 2	525.11	505.35	509.49	506.511.6 74 7	528.06	505.59	510.31	507.2512. 2 79	470.73
Mag35-Ilm55	400.54	373.26	376.11	374.381.0 41 8	523.06	501.69	503.31	500.507.1 46 3	525.72	501.42	503.27	500.0507. 5 62	465.28
Mag36-Ilm55	397.58	376.18	379.90	378.382.9 12 4	521.09	503.72	505.92	503.508.4 01 4	523.47	503.73	506.24	502.9509. 6 10	466.83
Average	391.79	369.89	375.72	373.377.8 93 3	513.09	498.05	501.89	498.502.9 85 7	514.45	497.31	501.68	498.2502. 5 92	461.24

منابع فارسی

قلمقاش ج.، باباخانی ع.ر.، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کپک، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۲).

References

- 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.
- Anderson, A. T., Jr (1968) Oxidation of the La Blache Lake titaniferous magnetite deposit, Quebec Journal of Geology, 76, 528-541
- Buddington, A.F., and Lindsley, D.H. (1964) Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents Journal of Petrology, 5, 31G-357.
- Carmichael, S. E. (1967) The iron-titanium oxides of felsic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. Contributions to Mineralogy and Petrology, 14, 36-64.
- Lepage, L. D. (2003). ILMAT: an Excel worksheet for ilmenite–magnetite geothermometry and geobarometry. Computers & Geosciences 29, 673–678.
- Powell, R., Powell, M., 1977. Geothermometry and oxygen barometry using coexisting iron-titanium oxides: a reappraisal. Mineralogical Magazine 41 (318), 257–263.
- Spencer K., J., and Lindsley, D. H. (1981) A solution model for coexisting iron-titanium oxides. American Mineralogist 66, 1189-1201.
- Stormer Jr, J.C. (1983). The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron-titanium oxides. American Mineralogist 68 (5-6), 586–594.

