

کاربرد ترکیب بیوتیت در مطالعه منشاء و شرایط ترمودینامیکی تونالیت‌های منطقه دهنو (شمال غرب مشهد)



رامین صمدی*، دانشجوی دکتری پتروژنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، rsamadi@hotmail.com
 نرگس شیردشت زاده، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، باشگاه پژوهشگران جوان
 دکتر محمدولی ولی‌زاده، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران
 دکتر حسن میرنژاد، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران



چکیده :

هورنبلند بیوتیت تونالیت‌ها قدیمی‌ترین سنگ‌های آذرین منطقه دهنو می‌باشند که در درون سنگ‌های دگرگونی و فلیش‌های این منطقه نفوذ نموده‌اند. براساس مطالعات پتروگرافی و نتایج آنالیز میکروپروب ترکیب بیوتیت موجود در این سنگ‌ها آنیت-سیدروفیلیت است. بر اساس ترکیب بیوتیت‌ها سری ماگمایی ماگمای والد این سنگ‌ها پرآلومین تا کالک‌آلکالین بوده است. دمای حاصل از کاربرد روش تیتان موجود در بیوتیت‌ها بیانگر دمایی در حدود بیش از ۵۰۰ تا نزدیک به ۷۰۰ درجه سانتیگراد در محدوده فشار ۴ تا ۶ کیلوبار می‌باشد.

Abstract:

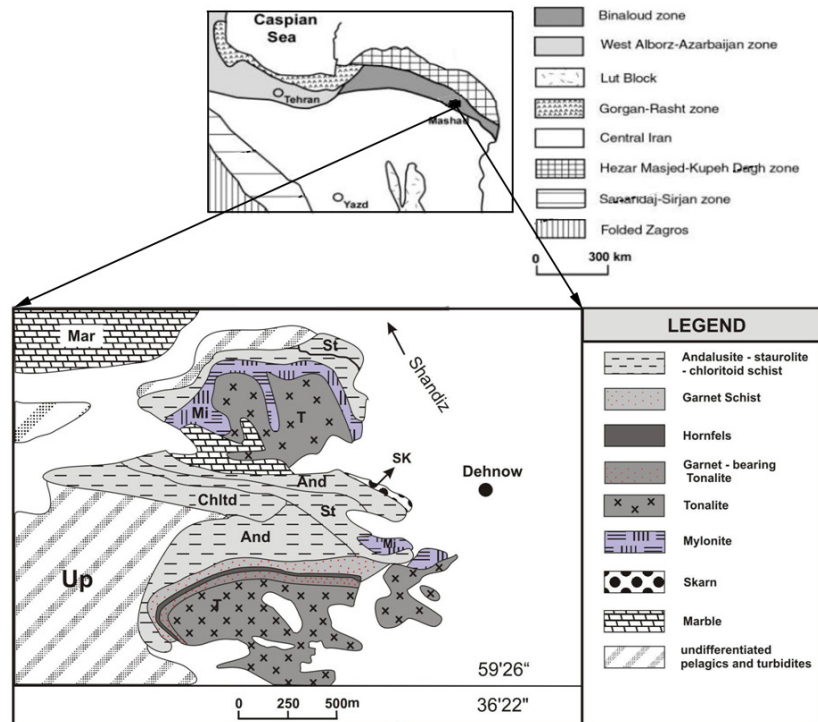
Hornblende-biotite tonalites are the most aged igneous rocks of the area that intruded into the metamorphic rocks and flisch. Based on microprobe analyses of biotite show they are annite – siderophyllite in composition. According to the composition of biotite they have a magmatic series were peraluminous to calcalkaline. Temperatures gained by application of Ti in biotite thermometry method are 500 to near 700 °C in 4 to 6 kbars.



مقدمه :

منطقه دهنو در شمال شرقی ایران و در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شهر مشهد واقع گردیده است. این ناحیه در محدوده زون ساختاری بینالود و در امتداد شرقی سلسله جبال البرز، در محدوده طول‌های جغرافیایی ۲۲° ۵۹' تا ۲۶° ۵۹' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۰° ۳۶' تا ۲۲° ۳۶' شمالی قرار دارد. هورنبلند - بیوتیت تونالیت‌های منطقه دهنو، قدیمی‌ترین سنگ‌های آذرین تزریق شده در داخل دگرگونی‌ها و فلیش‌های منطقه هستند. تونالیت‌ها تاکنون توسط بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از آن جمله می‌توان به مطالعات مجیدی (۱۹۷۸)، معزلسکو و پلیمر (۱۹۷۸)، پلیمر و معزلسکو (۱۹۸۰)، همام (۲۰۰۶)، میرنژاد (۲۰۰۶)، کریم‌پور و همکاران (۲۰۰۶) و صمدی (۱۳۸۷) اشاره نمود. این تحقیقات زمینه مناسبی را جهت مطالعات پتروژنیکی و ژئوشیمیایی نوین درباره سنگ‌های گرانیتوئیدی و دگرگونی ناحیه مشهد فراهم آورده است. به گفته مجیدی (۱۹۷۸) این سنگ‌ها جزء توده‌های مزوکرات و فاز ماگمایی G1 محسوب می‌شوند، بنابراین از لحاظ سنی قدیمی‌ترین فازهای ماگمایی پرمین به‌شمار می‌آیند. به عقیده میرنژاد (۱۳۷۰) گرانیتوئیدهای مشهد به سه دسته تقسیم می‌شوند: (۱) هورنبلند بیوتیت تونالیت؛ (۲) لویکوگرانیت دو میکایی؛ (۳) گرانودیوریت‌ها. تونالیت‌ها به صورت توده نفوذی مجزایی در منطقه دهنو مشاهده می‌شوند. به عقیده کریم‌پور و همکاران (۲۰۰۶)، هورنبلند بیوتیت تونالیت‌های دهنو قدیمی‌ترین سنگ‌های نفوذی تزریق شده در داخل دگرگونی‌ها و فلیش‌های منطقه هستند که بعد از اولین دگرگونی ناحیه‌ای و قبل از اواخر تریاس- اوایل ژوراسیک جایگیری یافته‌اند.

گسترش عمده این سنگ‌ها در جنوب، غرب تا شمال غرب مشهد، یعنی نواحی کوهسنگی، وکیل‌آباد، بندگانستان، دهنو و دیزر می‌باشد. بررسی خصوصیات پتروگرافی و کانی‌شناسی تونالیت‌های منطقه دهنو از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ طبقه، تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۳۸۰).



بحث :

(الف) روش مطالعه

پس از انجام بررسی‌های صحرایی و نمونه برداری، به منظور انجام مطالعات پتروگرافی، نسبت به تهیه مقاطع نازک صیقلی اقدام شد. مقاطع نازک با استفاده از چسب رزین تهیه و به وسیله میکروسکوپ پلاریزان در دانشگاه تهران مورد مطالعه قرار گرفتند. تعداد ۲۰ نقطه از کانی بیوتیت انتخاب شده و توسط دستگاه میکروپروپرو JEOL، مدل (WDS) JXA-8500F و JXA-8800، تحت انرژی ۱۵kV، شدت جریان ۱۵nA و با استفاده از نمونه‌های استاندارد، در مؤسسه مطالعه تحولات کوه زمین (IFREE) مورد آنالیز کمی و کیفی قرار گرفتند. نتایج آنالیز و محاسبه فرمول ساختاری ۱۵ نقطه از کانی‌های بیوتیت، در جدول ۱ ارائه گردیده است.

(ب) پتروگرافی تونالیت‌ها

تونالیت‌ها توده نفوذی مجزایی در منطقه دهنو هستند. تونالیت‌های حاوی مگاکریست‌های گارنت در شمال توده گرانیتی و در کنتاکت با هورنفلس‌ها و پلیت‌های غنی از آهن در ناحیه دهنو مشاهده می‌شوند که فراوانی مگاکریست‌های گارنت با افزایش فاصله از کنتاکت کاسته می‌شود. بر اساس مطالعات صمدی (۱۳۸۷) کانی‌های موجود در تونالیت‌ها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز کلسیم دار (بایوتیت)، گارنت آهن و منگن‌دار (آلماندین - اسپسارتین)، بیوتیت آهن و منیزیم دار، آمفیبول کلسیک (عمدتاً فرو هورنبلند) و کانی‌های ثانویه نیز شامل کلریت، اپیدوت، کلسیت و ایلمنیت می‌باشند.

(پ) شیمی بیوتیت‌ها

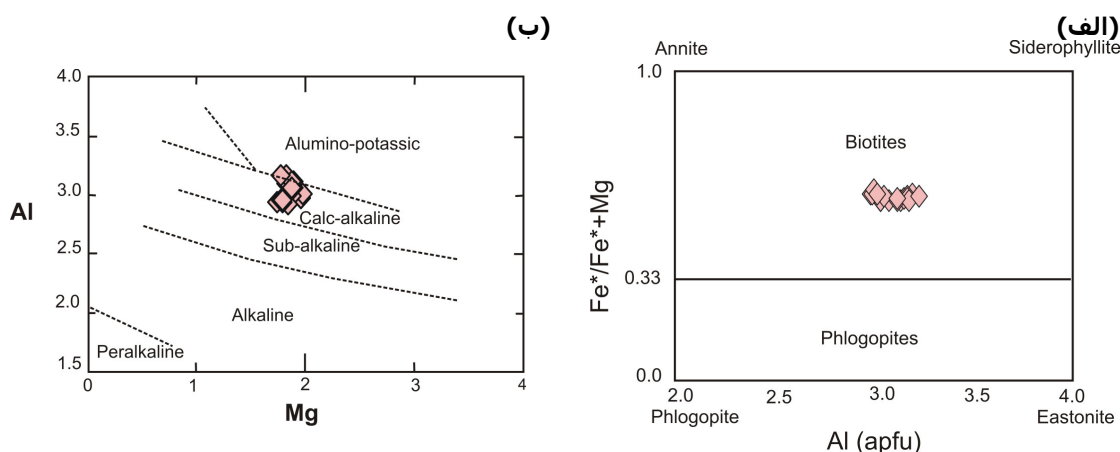
بر اساس نتایج آنالیز میکروپروپرو ترکیب بیوتیت‌های مورد مطالعه از نوع آنیت-سیدروفیلیت می‌باشد (شکل ۲-الف). همچنین تاکنون ارتباط ترکیب شیمیایی بیوتیت و سری ماگمایی سازنده آن توسط بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات ناچیت (۱۹۸۶) و (۲۰۰۵)، عبدالرحمن (۱۹۹۴) اشاره نمود. بر اساس مطالعات ایشان ترکیب بیوتیت به ترکیب و

ماهیت ماگمای میزبان آن بستگی دارد. مطالعات پیشین توسط صمدی (۱۳۸۷) که بر اساس ترکیب سنگ کل و ترکیب شیمیایی گارنت موجود در تونالیت‌ها انجام گرفته نشان می‌دهد که مجموعه مورد مطالعه تونالیت تا گرانودیوریت بوده و از یک ماگمای کالک آلکالن دارای پتاسیم متوسط تا بالا و پرآلومین منشأ گرفته است. در نمودار دوتایی Al در برابر Mg (محدوده‌ها برگرفته از ناچیت و همکاران، ۱۹۸۶)، بیوتیت‌های موجود در تونالیت‌های منطقه دهنو همگی در محدوده ماگمای فلسیک پرآلومین و کالک‌آلکالن قرار گرفته‌اند که با یافته‌های قبلی تطابق نشان می‌دهد (شکل ۲-ب).

جدول ۱: نتایج آنالیز میکروپروب کانی بیوتیت موجود در تونالیت‌های منطقه دهنو، شمال‌غرب مشهد. درصد اکسیدها، محاسبه فرمول ساختاری (بر اساس ۲۲ اتم اکسیژن).

Sample No.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
588	35.94	3.05	16.64	0.01	21.96	0.42	7.90	0.05	0.10	9.32	95.39
589	35.75	3.34	16.66	0.02	22.11	0.37	7.67	0.08	0.11	9.14	95.26
590	35.83	3.21	16.77	0.00	21.71	0.33	7.81	0.03	0.09	9.46	95.24
591	36.05	2.95	16.84	0.03	21.79	0.40	7.93	0.04	0.13	9.26	95.40
623	36.43	1.83	17.48	0.01	20.90	0.35	8.19	0.19	0.16	9.24	94.77
626	36.43	1.85	17.67	0.00	21.32	0.43	8.15	0.12	0.09	9.24	95.31
627	36.03	1.82	17.72	0.00	21.47	0.45	8.21	0.16	0.17	9.36	95.39
628	35.60	2.02	17.69	0.01	21.84	0.39	8.00	0.04	0.09	9.43	95.11
630	35.83	1.95	18.03	0.00	21.68	0.38	8.13	0.08	0.09	9.36	95.54
651	36.03	1.94	17.66	0.00	21.54	0.41	8.11	0.15	0.10	9.33	95.26
653	36.15	1.61	17.30	0.00	21.03	0.34	8.37	0.18	0.13	9.36	94.45
654	35.68	1.64	17.57	0.01	21.88	0.35	8.33	0.08	0.10	9.43	95.07
655	36.19	1.76	17.76	0.02	21.24	0.33	8.31	0.16	0.13	9.33	95.22
658	35.98	1.87	17.92	0.02	21.06	0.43	7.84	0.22	0.16	9.09	94.61
662	35.88	2.04	17.35	0.02	21.77	0.38	8.27	0.19	0.12	9.01	95.02

Sample No.	Si	Al ^{iv}	Al ^{vi}	Al ^{total}	Ti	Cr	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	OH*	Total
588	5.49	2.51	0.49	3.00	0.35	0.00	2.81	0.05	1.80	0.01	0.03	1.82	4.00	19.82
589	5.47	2.53	0.48	3.01	0.38	0.00	2.83	0.05	1.75	0.01	0.03	1.79	4.00	19.76
590	5.48	2.52	0.50	3.02	0.37	0.00	2.78	0.04	1.78	0.00	0.03	1.85	4.00	19.80
591	5.49	2.51	0.52	3.02	0.34	0.00	2.78	0.05	1.80	0.01	0.04	1.80	4.00	19.82
623	5.54	2.46	0.68	3.14	0.21	0.00	2.66	0.05	1.86	0.03	0.05	1.79	4.00	19.88
626	5.52	2.48	0.68	3.16	0.21	0.00	2.70	0.06	1.84	0.02	0.03	1.79	4.00	19.87
627	5.48	2.52	0.66	3.18	0.21	0.00	2.73	0.06	1.86	0.03	0.05	1.82	4.00	19.90
628	5.46	2.54	0.65	3.20	0.23	0.00	2.80	0.05	1.83	0.01	0.03	1.84	4.00	19.85
630	5.45	2.55	0.68	3.23	0.22	0.00	2.76	0.05	1.84	0.01	0.03	1.82	4.00	19.86
651	5.49	2.51	0.66	3.17	0.22	0.00	2.74	0.05	1.84	0.02	0.03	1.81	4.00	19.87
653	5.54	2.46	0.66	3.12	0.19	0.00	2.69	0.04	1.91	0.03	0.04	1.83	4.00	19.90
654	5.47	2.53	0.65	3.18	0.19	0.00	2.81	0.05	1.90	0.01	0.03	1.84	4.00	19.90
655	5.50	2.50	0.68	3.18	0.20	0.00	2.70	0.04	1.88	0.03	0.04	1.81	4.00	19.89
658	5.50	2.50	0.73	3.23	0.22	0.00	2.69	0.06	1.79	0.04	0.05	1.77	4.00	19.82
662	5.48	2.52	0.61	3.13	0.23	0.00	2.78	0.05	1.88	0.03	0.04	1.76	4.00	19.84



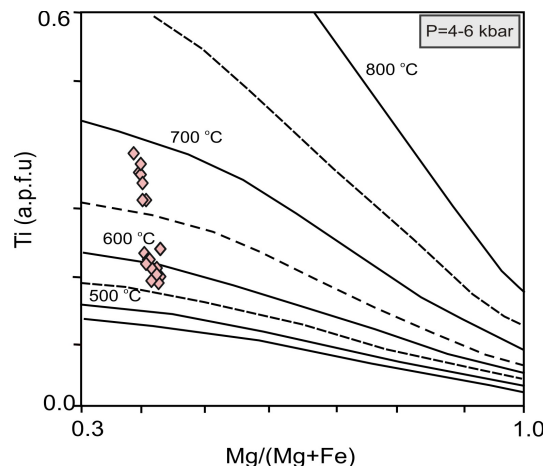
شکل ۲: (الف) نمایش ترکیب بیوتیت‌ها بر رو نمودار طبقه‌بندی بیوتیت‌ها. خط جدا کننده محدوده‌های فلوگوپیت و بیوتیت توسط دیر و همکاران (۱۹۹۲)؛ (ب) تعیین سری ماگمایی بر اساس نمودار ناچیت و همکاران (۱۹۸۶).

(ت) دماسنجی توانالیت‌ها بر اساس ترکیب بیوتیت:

مقدار Ti موجود در بیوتیت به‌عنوان تابعی از تغییرات دما در سنگ‌های دگرگونی شناخته شده است (رابرت، ۱۹۷۶؛ اینجل و اینجل، ۱۹۶۰؛ دایمک، ۱۹۸۳؛ پاتینو دوس، ۱۹۹۳ و بسیاری از محققان دیگر). به هر حال عواملی که بر مقدار تیتانیوم موجود در بیوتیت تأثیر می‌گذارند صرفاً به تغییرات دما محدود نمی‌باشند؛ بلکه عوامل فشار، شیمی بلورهای بیوتیت و مجموعه کانی‌های همراه آنها نیز مهم می‌باشد (هنری و گویتودی، ۲۰۰۲؛ دایمک، ۱۹۸۳). به هر حال دما بیشترین تأثیر را بر روی کنترل کردن مقدار Ti در بیوتیت دارد و افزایش فشار تأثیر متضادی دارد، بدین معنی که مقدار Ti جایگزین شده با افزایش فشار، کاهش می‌یابد (رابرت، ۱۹۷۶؛ هنری و همکاران (۲۰۰۵)).

کاربرد روش مقدار Ti موجود در بیوتیت به‌عنوان تابعی از تغییرات دما و فشار نشان می‌دهد که افزایش دما موجب افزایش مقدار Ti و افزایش فشار موجب کاهش آن می‌شود (رابرت، ۱۹۷۶). همچنین میزان Ti در بیوتیت، به طور کلی با افزایش مقدار Fe افزایش می‌یابد (ابریخت و هویت، ۱۹۸۸؛ آرمیا و ادگار، ۱۹۸۱).

البته این روش برای بررسی شرایط ترمودینامیکی سنگ‌های متاپلیتی پرآلومین در فشارهای کم تا متوسط و نیز سنگ‌های دگرگونی پرآلومین پیشنهاد شده است (هنری و همکاران، ۲۰۰۵). به این ترتیب دمای حاصل از روش دماسنج Ti در تک کانی بیوتیت، با استفاده از تصویرگیری مقادیر Ti و $Mg\# (=Mg/(Mg + Fe))$ بر روی شکل ۳ در حدود بیش از ۵۰۰ تا نزدیک به ۷۰۰ درجه سانتیگراد به‌دست می‌آید. که با مطالعات قبلی صمدی (۱۳۸۷) که دمایی در حدود ۶۸۰ سانتیگراد و فشار متوسط ۶/۴ کیلوبار را پیشنهاد نموده بودند شباهت زیادی را نشان می‌دهد.



شکل ۳: تعیین دمای بیوتیت‌ها با استفاده از دماسنج Ti در بیوتیت (برگرفته از Henry et al., 2005)



نتیجه گیری :

براساس مطالعات پتروگرافی و نتایج آنالیز میکروپروب ترکیب بیوتیت موجود در این سنگ‌ها آنیت-سیدروفیلیت است. بر اساس ترکیب بیوتیت‌ها سری ماگمایی ماگمای والد این سنگ‌ها پرآلومین تا کالک‌آلکالین بوده است. دمای حاصل از کاربرد روش تیتان موجود در بیوتیت‌ها بیانگر دمایی در حدود بیش از ۵۰۰ تا نزدیک به ۷۰۰ درجه سانتیگراد در محدوده فشار ۴ تا ۶ کیلوبار می‌باشد.



منابع فارسی :

صمدی، ر.، ۱۳۸۷، بررسی منشأ مگاکریست‌های گارنت موجود در توانالیت دهنو (شمال‌غرب مشهد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (به علاوه منابع مورد استفاده در آن).



References:

- Abdel-Rahman AM. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas. *J Petrol* **35**: 525-541
- Abrecht, J. and D.A., Hewitt, 1988, Experimental evidence on the substitution of Ti in biotite: *American Mineralogist*, v. 73, p. 1275 - 1284.
- Dymek, R. F. (1983). Titanium, aluminum and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Greenland. *American Mineralogist*. 68: 880-899.
- Engel A. E. J., Engel C. G. (1960). Progressive metamorphism and granitization of the major paragneiss, northwest Adirondack Mountains, New York, Part 2. *Mineralogy. Bulletin of the Geological Society of America*. 71: 1-58.
- Henry D. J., Guidotti C. V. (2002) Ti in biotite from metapelitic rocks: Temperature effects, crystallochemical controls and petrologic applications. *American Mineralogist*. 87: 375-382.
- Henry D.J., Guidotti C.V., and Thomson J.A., "The Ti-saturation surface for low- to- medium pressure metapelitic biotite: Implications for geothermometry and Ti- substitution mechanisms", *American Mineralogist* 90 (2005) 316-328.
- Karimpour M. H., Farmer L., Ashouri C., Saadat S. (2006). Major, Trace and REE geochemistry of Paleo-Tethys Collision-Related Granitoids from Mashhad, Iran: *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*. 17(2): 127-145.
- Nachit H., N. Razafimahefa, J.M. Stussl, and J.P. Carron, (1986) *Composition Chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides*. C.R. Acad. Sci., Ser. II, 301: 813-818.
- Nachit H., A. Ibhi, H. Abia, M. Ben Ohoud, (2005) Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites. *C.R. Geoscience* 337: 1415-1420.
- Patinao Douce, A. E., Johnston A. D. (1991). Phase equilibria and melt productivity in the pelitic system: implications for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 107: 202-218.
- Robert, J.L., 1976, Titanium solubility in synthetic phlogopite solid solutions: *Chemical Geology*, v. 17, p. 213 - 227.