

مطالعه شیمی کانی‌ها، زمین دما- فشار سنجی و جایگاه تکتونیکی گابروهای شمال غرب همدان، باختر ایران

عادل ساکی^(۱*)، هوشنگ پورکاسب^۲، علیرضا زراسوندی^۳، میلاد جهانی^۴ و مریم درانی^۵

۱. دانشیار پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. استاد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴. کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۵. استادیار پترولوژی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۱۷

چکیده

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در ناحیه شمالی زون دگرگونی سندانج-سیرجان قرار گرفته است. بر اساس مطالعات پتروگرافی کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت و کانی‌های فرعی کلریت، مسکویت، ایلمنیت و زیرکن می‌باشند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی شیمی کانی‌ها نشان می‌دهد که آمفیبول‌های مورد مطالعه جزء آمفیبول‌های کلسیک می‌باشند. از نظر ترکیب شیمیایی می‌توان آن‌ها را پارگاسیت، چرماکیت و منیزو هورنبلند نام‌گذاری نمود. پلاژیوکلازها نیز از نوع آندزین هستند. با توجه به نسبت پایین Na_2O از نظر محیط تکتونیکی نیز این آمفیبول‌ها از نوع S-Amph هستند. میزان بالای Al_2O_3 بیانگر این است که منشا آمفیبول‌ها گوشته‌ای می‌باشد و بر اساس نسبت $\text{Fe}^{\text{tot}} (\text{Fe}^{\text{tot}} + \text{Mg}^{+2})$ در برابر Al^{IV} که کمتر از ۰/۶ می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که گریزندگی اکسیژن بالا است. از سوی دیگر می‌توان گفت که میزان آب برای تبلور هورنبلند از ۲ تا ۳٪ متغیر است. برای انجام دماسنجی و فشارسنجی نیز از روش‌های مختلفی استفاده شده است که بهترین آن نشان می‌دهد دمای تشکیل توده گابروبی در محدوده ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد (به‌طور میانگین) می‌باشد و فشار این سنگ‌ها نیز بین ۴/۴۵ تا ۷/۵۰ متغیر است. با توجه به فشار به‌دست‌آمده ماگمای مورد نظر از عمق ۲۵ تا ۳۰ کیلومتری منشا گرفته است که در نزدیکی مرز موهو است.

واژه‌های کلیدی: شیمی کانی، آمفیبول، زمین دما-فشارسنجی، جایگاه تکتونیکی، گابرو، همدان.

مقدمه

از طبقه‌بندی‌های جامع و قابل استناد در بحث شیمی آمفیبول‌ها از لیک و همکاران (Leak et al., 1997) ارائه شده است که مبتنی بر آن آمفیبول‌ها بر اساس شیمی خود به انواع مختلف تقسیم می‌شوند. می‌توان گفت که پرکاربردترین روش برای تقسیم‌بندی شیمیایی کانی‌ها

گابرو سنگی آذرین درونی، تیره‌رنگ و درشت دانه‌ای می‌باشد که عمدتاً از کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن تشکیل شده است. تاکنون طبقه‌بندی‌های زیادی پیرامون شیمی کانی‌ها مخصوصاً آمفیبول صورت گرفته است. یکی

* نویسنده مرتبط: adel_saki@yahoo.com

آمفیبول-کلینوپیروکسن دمای تشکیل سنگ‌ها را تخمین زده‌اند. به علاوه از روی ترکیب کلینوپیروکسن و زوج کانی کلینوپیروکسن-پلاژیوکلاز می‌توان عمق سنگ‌های آذرین را تخمین زد (Liu et al., 2000; Was 1979) همچنین برای بررسی‌های زمین‌دما-فشار سنجی روش‌های متعدد دیگری تاکنون ارائه شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به (Otten, 1984; Johnson and Rutherford, 1989; Blundy and Holland, 1990; Anderson and Smith, 1995; Anderson, 1996; Schmidt, 1992; Zhang et al., 2002 و Wu and chen, 2015) اشاره کرد. هدف از مقاله حاضر بررسی شیمی کانی‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز و استفاده از ترکیب شیمیایی آنها برای تعیین شرایط تکتونوماگمایی و زمین‌دما-فشار سنجی توده گابرویی چشمه قصابان همدان است. پیش از این نیز مطالعاتی در ارتباط با زمین شیمی این سنگ‌ها در منطقه انجام شده است. (Ayati et al., 2012; Mahmoudabadi et al., 2012; Nasrabadi 2012).

زمین‌شناسی منطقه

ایران از نظر زمین‌شناسی از پهنه‌های مختلفی چون زاگرس چین‌خورده، زاگرس رورانده، سنندج-سیرجان، البرز، کپه داغ، دشت خوزستان، ایران مرکزی و لوت تشکیل شده است (Stockline, 1968). براساس تقسیم‌بندی‌های ساختاری ایران پهنه سنندج-سیرجان به‌عنوان یکی از پهنه‌های دگرگونی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به تقسیم‌بندی‌های فوق‌الذکر، منطقه مورد مطالعه به دلیل خصوصیات ساختاری و سنگ‌شناختی جزء زون سنندج-سیرجان می‌باشد. این پهنه یک کمربند دگرگونی است و از سه قسمت شمالی، مرکزی و جنوبی تشکیل شده است که هر کدام از این مناطق دارای ترکیب سنگ‌شناختی و کانی‌شناختی خاص خود هستند. ناحیه سنندج-سیرجان به‌عنوان پرتکاپوترین پهنه‌های ساختاری در ایران بخشی از کوهزاد زاگرس و کوهزاد آلپ-همیالیا است که در اثر همگرایی میان بخش شمالی گندوانا با بلوک‌های جنوب اوراسیا شکل گرفته است (Berberian and King, 1981; Sengor, 1990; Alavi, 1996; Brunet et al., 2009). پهنه سنندج-سیرجان توسط گسل اصلی و معکوس زاگرس

همین طبقه‌بندی است که آمفیبول‌ها را در ابتدا به چهار گروه اصلی و نهایتاً گروه‌های فرعی تقسیم می‌کند. پس از چند سال طبقه‌بندی دیگری نیز توسط لیک و همکاران (Leake et al., 2004) ارائه شد. بر اساس این طبقه‌بندی می‌توان آمفیبول‌ها را به رده‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد. پس از این طبقه‌بندی، طبقه‌بندی‌های دیگری نیز ارائه شد که یکی از بهترین آنها طبقه‌بندی هاوترن و همکاران (Hawthorne et al., 2012) است. این طبقه‌بندی جدیدترین طبقه‌بندی است که تاکنون ارائه شده است. با استفاده از شیمی آمفیبول‌ها علاوه بر تقسیم‌بندی شیمیایی آنها می‌توان رده‌بندی تکتونوماگمایی و موقعیت زمین‌ساختی توده آذرین را نیز مشخص کرد (Coltorti et al., 2007). بر همین اساس می‌توان تعیین کرد که توده مد نظر با فرآیند فرورانش مرتبط است یا از نوع میان صفحه‌ای است. علاوه بر آن از ترکیب شیمیایی آمفیبول می‌توان برای تعیین نوع و ماهیت ماگما نیز استفاده کرد (Nachit, 1985). برای طبقه‌بندی شیمیایی بیوتیت‌ها نیز از روش‌های زیادی استفاده شده است (Foster, 1960; Rieder et al., 1998; Deer et al., 1991; Nachit 2005). هر کدام از این طبقه‌بندی‌ها جنبه خاصی را مد نظر قرار داده‌اند. با استفاده از ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها می‌توان موقعیت تکتونوماگمایی را نیز مشخص کرد (Adel Rahman, 1994). برای بررسی شیمی پلاژیوکلاز نیز به‌عنوان یکی از کانی‌های سیلیکاتی (Deer et al., 1991) روشی را ارائه کرد که تا کنون غالب کانی‌شناسان از آن استفاده کرده‌اند. جنبه دیگر این تحقیق زمین‌دما-فشار سنجی است. دما فشار سنجی عبارت است از تعیین کمی مقدار دما و فشاری که در آن‌ها کانی‌های یک سنگ دگرگونی یا آذرین تشکیل شده و به تعادل رسیده‌اند، لذا هدف از این مطالعات و محاسبات درک بهتر از شرایطی است که یک سنگ دگرگونی یا آذرین در آن شکل گرفته است. بر همین اساس امروزه از شیمی کانی‌ها برای تخمین دما و فشار و تعیین جایگاه تکتونیکی توده آذرین استفاده می‌کنند. زمین‌شناسانی مانند (Lindsley, 1983) از روی ترکیب پیروکسن و (Anderson, 1996) از روی زوج کانی

پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. برای محاسبه کاتیون‌ها از نرم‌افزار MineralForDroop استفاده شده است.

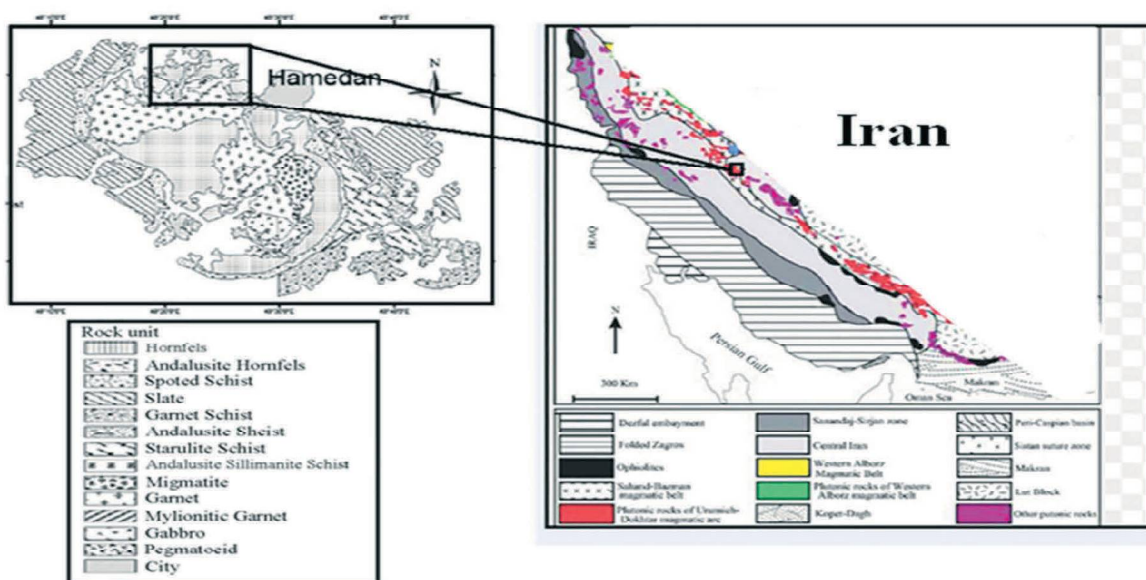
پetroگرافی

در نمونه دستی گابروها با رنگ سبز روشن و بافت گرانولار دیده می‌شوند و بلورهای تقریباً درشت پلاژیوکلاز و پیروکسن در متن سنگ قابل مشاهده هستند. در این نمونه‌ها پدیده ذوب بخشی کاملاً مشهود به نظر می‌رسد. پلاژیوکلاز و بیوتیت مهم‌ترین کانی موجود در مقاطع میکروسکوپی است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود پلاژیوکلاز سریسیتی شده و به صورت یوهدرال دیده می‌شود (۲-ب). انورتیتی را ملاحظه می‌کنید که کلیستی شده و سطوح رخ‌ها کاملاً روی آن مشهود است (۲-ج). بیوتیت از دیگر کانی‌های اصلی است که به رنگ قهوه‌ای در مقاطع مشهود است (شکل ۲-ث). کلینوپیکروکسن نیز از کانی‌های اصلی است و از نظر شکل غالباً ساب‌هدرال هستند (شکل ۲-الف). این کانی دارای خاموشی موجی است. در شکل (۲-الف) هورنبلندهای معمولی با رخ لوزی مانند با ماکل زیاد را مشاهده می‌کنید. ماکل هورنبلندها از نوع دوقلو بوده می‌باشد. سریسیت و مسکویت نیز به صورت فرعی و بسیار ریز در متن مقاطع دیده می‌شوند (شکل ۲-ب). هماتیت و مگنیت نیز به‌عنوان کانی‌های فرعی در کنار ایلمنیت، کلریت و زیرکن دیده می‌شوند. یعنی بلورهای درشت در متن سنگ رشد کرده و زمینه سنگ را اشباع کرده‌اند.

از کمربند چین خورده زاگرس جدا می‌شود و فرآیندهای مختلف ماگمایی و دگرگونی را طی دوره‌های مختلف طی می‌کند (Agard et al., 2005). از نظر زمین‌ریخت‌شناسی بین شکل و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و نوع و جنس سنگ‌ها ارتباط نزدیکی وجود دارد. سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای این منطقه شامل: گارنت شیست، استارولیت آندالوزیت گارنت شیست و استارولیت سیلیمانیت گارنت شیست و سنگ‌های دگرگونی مجاورتی اطراف توده نفوذی الوند شامل: کوردیوریت هورنفلس و کوردیوریت آندالوزیت \pm سیلیمانیت هورنفلس هستند. در این منطقه نفوذی‌ها شامل انواع متفاوتی از سنگ‌های گابرویی درشت‌دانه تا متوسط دانه و گرانیت‌های پورفیری تیک لوکوکرات است. در واقع توده پلوتونیک الوند شامل سه مجموعه سنگی گابرو، گرانیت و لوکوگرانیت می‌باشد (Shahbazi et al., 2010) (شکل ۱).

روش مطالعه

برای بررسی شیمی آمفیبول و پلاژیوکلاز به ترتیب تعداد ده و چهار نمونه در انیستتو زمین و علوم محیط‌زیست دانشگاه پتسدام آلمان توسط روش دستگامی میکروپروپ الکترونی (EMPA) (جداول ۱ و ۲) مدل دستگاه JXA-8200 JEOL با ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ Kv، باریکه جریان ۲۰ nA، با قطر باریکه‌ای برابر ۱ μm و زمان شمارش حداکثر ۲۰ ثانیه به صورت نقطه‌ای آنالیز و نتایج آن در این



نقشه ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با اقتباس از ایزدی کیان و همکاران، (۱۳۹۲)



شکل ۲. الف) کلینوپیروکسن با بیرفرنزانس بنفش تا ارغوانی مشخص است. ب) سریسیتی شدن پلاژیوکلاز را نشان می دهد که در حال تبدیل به سریسیت است. در این تصویر بلورهای ریز مسکویت و سریسیت دیده می شوند، پ و ت) بلورهای پلاژیوکلاز و فرایند سریسیتی شدن پلاژیوکلازها را نشان می دهد، ث) بیوتیت را نشان می دهد که به عنوان یکی از کانی های اصلی سنگ های گابرویی است، ج) آنورتیتی را مشاهده می کنید که در حال کلسیتی شدن است

شیمی کانی ها

Challis 2000; Stein and Dietl, 2001; Zhang et al.,
(2006; Masoudi and Jamshidi Badr, 2008;

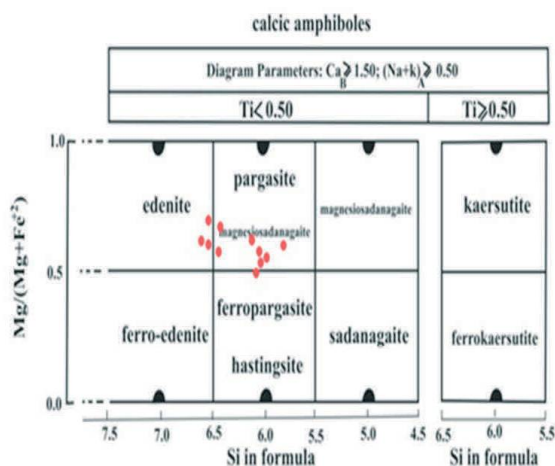
آمفیبول

نتایج آنالیز ژئوشیمیایی بر اساس تجزیه (EMPA) در جدول (۱) آورده شده است. براساس رده بندی (Leake et al., 1997) آمفیبول های مورد تحقیق جزء گروه کلسیک به حساب می آیند (شکل ۳) و از نظر ترکیب شیمیایی غالباً در زیر گروه Pargasite هستند و تعدادی از نمونه ها نیز در زیر گروه Edenite قرار می گیرند (شکل ۳). از سوی دیگر براساس شکل ۴ ترکیب شیمیایی کانی های مورد مطالعه از Tschermakite تا Magnesiohombende متغیر است.

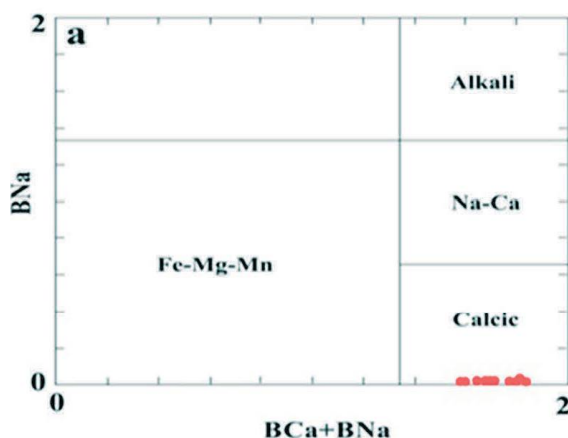
برای تعیین شرایط فیزیکی شیمیایی تبلور و محیط تکتونوماگمایی توده های نفوذی می توان از شیمی آمفیبول استفاده نمود. با استفاده از شیمی کانی آمفیبول می توان به بررسی پارامترهای ترمودینامیکی تبلور از جمله فشار، دما و گریزندگی اکسیژن پرداخت. آمفیبول ها برای ارزیابی شرایط P-T توده های نفوذی کالک آلکالن جایگیر شده در کمرندهای کوهزایی مناسب هستند. این کانی مفیدترین کانی برای زمین دماسنجی بوده و دماسنج هورنبلند-پلاژیوکلاز و زمین فشارسنجی آلومینیوم در هورنبلند برای آشکارسازی دماهایی که در نفوذی ها جایگیر می شوند مناسبند (Blundy and Holland, 1990; Tulloch and

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی آمفیبول به روش (EMPA) که بر اساس ۲۳ اکسیژن محاسبه شده است

Sample	Gs29-1	Gs 29-2	Gs29-3	Gs29-4	Gs29-5	Ga29-6	Ga29-7	Gs29-8	Gs29-9	Gs29-10	Gs29-11
Mineral	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp
SiO ₂	۴۱/۵۹	۴۱/۹۷	۴۵/۷۶	۴۳/۲۳	۴۹/۵۹	۴۴/۵۰	۴۴/۱۶	۴۲/۴۴	۴۴/۱۴	۴۴/۷۵	۴۰/۰۶
TiO ₂	۱/۰۳	۰/۲۰	۲/۱۱	۲/۵۲	۰/۵۱	۱/۷۲	۱/۸۳	۲/۵۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۱۱
Al ₂ O ₃	۱۴/۹۸	۱۶/۲۶	۱۰/۵۴	۱۲/۰۵	۷/۴۹	۱۲/۰۳	۱۱/۸۴	۱۶/۲۶	۱۴/۶۱	۱۳/۷۶	۱۹/۸۹
Cr ₂ O ₃	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰
FeO	۱۸/۶۸	۱۸/۲۲	۱۳/۰۳	۱۵/۱۸	۱۴/۴۶	۱۴/۴۴	۱۳/۹۴	۱۵/۱۲	۱۴/۶۵	۱۴/۹۶	۱۵/۰۱
MnO	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۵
MgO	۸/۱۱	۸/۳۶	۱۳/۱۶	۱۱/۱۹	۱۳/۹۸	۱۱/۹۶	۱۲/۳۰	۱۱/۱۸	۱۲/۲۲	۱۲/۶۲	۹/۳۹
CaO	۱۱/۶۲	۱۱/۶۵	۱۲/۰۹	۱۱/۸۵	۱۲/۲۴	۱۱/۹۱	۱۲/۲۰	۱۱/۳۶	۱۱/۶۰	۱۱/۲۴	۱۱/۴۹
Na ₂ O	۱/۷۸	۱/۷۶	۱/۵۹	۱/۸۲	۱/۱۱	۱/۷۱	۱/۸۰	۲/۰۳	۱/۹۱	۱/۷۲	۲/۰۷
K ₂ O	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۷۲	۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۶۵	۰/۵۲	۰/۴۷	۰/۸۱
Totals	۹۸/۸۹	۹۹/۴۹	۹۹/۲۵	۹۹/۰۸	۹۹/۷۳	۹۹/۲۸	۹۹/۰۶	۹۹/۳۱	۹۹/۹۵	۹۹/۸۰	۹۹/۱۴
Si	۶/۲۱	۶/۲۰	۶/۶۱۹	۶/۱۴۲	۶/۲۱۰	۶/۵۵۳	۶/۴۸۸	۶/۱۲۰	۶/۴۴۳	۶/۵۲۶	۵/۹۴۳
Ti	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۲۳۰	۰/۲۶۹	۰/۲۷۲	۰/۱۹۱	۰/۱۸۹	۰/۲۷۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲
Al	۲/۶۴	۲/۸۳	۱/۷۹۷	۲/۰۱۸	۲/۰۴۰	۲/۰۸۸	۲/۰۶۷	۲/۷۶۴	۲/۵۱۳	۲/۳۶۵	۳/۴۷۸
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
Fe (2+)	۲/۳۳	۲/۲۵	۱/۵۷۶	۱/۸۰۴	۱/۸۲۴	۱/۷۷۸	۰/۴۵۵	۱/۸۲۳	۱/۷۸۸	۱/۸۲۵	۱/۸۶۲
Mn	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۵	۱/۳۰۶	۰/۰۲۶	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱
Mg	۱/۸۰	۱/۸۴	۲/۸۳۸	۲/۳۷۰	۲/۳۹۶	۲/۶۲۵	۰/۰۲۵	۲/۴۰۳	۲/۶۵۹	۲/۷۴۴	۲/۰۷۷
Ca	۱/۸۶	۱/۸۴	۱/۸۷۴	۱/۸۰۴	۱/۸۲۴	۱/۸۷۹	۲/۶۰۰	۱/۷۵۵	۱/۸۱۴	۱/۷۵۶	۱/۸۲۶
Na	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۴۶	۰/۵۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۸۶۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
K	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۳۳	۱/۸۰۹	۱/۸۲۹	۰/۱۴۱	۰/۰۰۰	۰/۱۲۰	۰/۰۹۷	۰/۰۸۷	۰/۱۵۳
Totals	۱۵/۶	۱۵/۶	۱۵/۵۳	۱۶/۷۳	۱۶/۲۱۰	۱۵/۲۸	۱۵/۱۳	۱۵/۲۸	۱۵/۳۴	۱۵/۳۳	۱۵/۳۸
XMg _(M2)	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۰
XMg _(M1)	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۲۶	۰/۳۵
X _{Al(T2)}	۰/۹۱۲	۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۴۶	۰/۱۲	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۵۳
X _{Al(M2)}	۰/۴۰	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۶۳
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۶۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۶۴

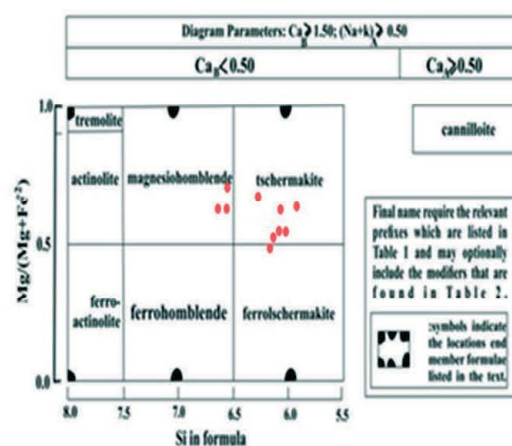


شکل ۴. تقسیم‌بندی بر اساس ترکیب شیمی کانی آمفیبول (Leake et al., 1997)



شکل ۳. تقسیم‌بندی آمفیبول بر اساس ترکیب شیمیایی (Leak et al., 1997)

سنگ‌های آذرین است که از ترکیب شیمیایی آن برای تعیین شرایط تحول سنگ‌های مادر استفاده می‌شود. ترکیب این کانی نسبت به دما، فشار و محتوای آب حساس است (Putirka, 2008). تغییرات محدوده گستره تقریبی پلاژیوکلاز در زمین فشار سنجی بر مبنای محتوای Al هورنبلند به عنوان یک ویژگی مناسب تلقی می‌شود (Hollister et al., 1987). نتایج آنالیز زمین‌شیمیایی به روش (EMPA) برای پلاژیوکلاز در جدول (۲) آورده شده است. با توجه به بررسی شیمی کانی‌ها ترکیب شیمیایی ۴ نمونه از پلاژیوکلازها را در نمودار (Deer et al., 1991) ارتوز-آلبیت-آنورتیت ملاحظه می‌کنید. بر اساس این نمودار ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها از نوع Andesian می‌باشد (شکل ۶).



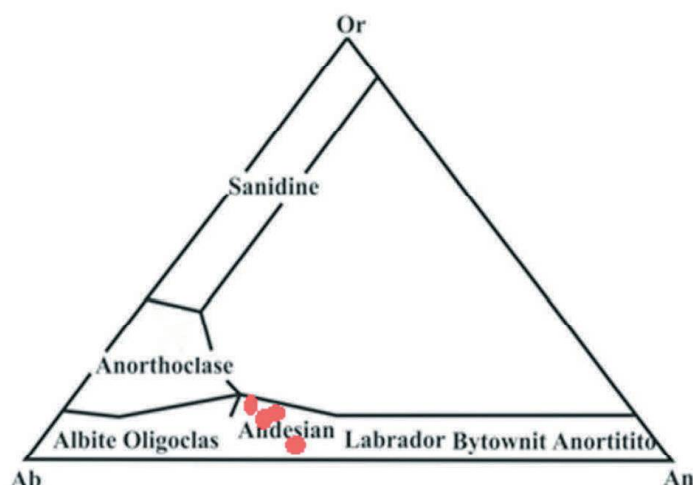
شکل ۵. تقسیم‌بندی بر اساس ترکیب شیمی کانی آمفیبول (Leake et al., 1997)

پلاژیوکلاز

پلاژیوکلاز یکی از کانی‌های مهم و اصلی در ترکیب

جدول ۲. آنالیزهای معرف کانی پلاژیوکلاز. تعداد کاتیون‌ها بر اساس ۸ اتم اکسیژن محاسبه شده است

Sample	Gs29-1	Gs29-2	Gs29-3	Gs29-4
Mineral	Pl	Pl	Pl	Pl
SiO ₂	۴۶/۹۶	۵۳/۵۲	۵۰/۶۷	۵۷/۴۵
TiO ₂	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳
Al ₂ O ₃	۰/۰۸	۱۷/۹۵	۳۲/۸۶	۲۷/۸۷
Cr ₂ O ₃	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰
FeO	۱/۵۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۱
MnO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
MgO	۰/۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
CaO	۰/۰۴	۱۲/۴۲	۱۴/۷۴	۹/۰۱
Na ₂ O	۰/۰۸	۴/۳۱	۳/۲۱	۶/۲۴
K ₂ O	۱۱/۳۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۹
Totals	۹۷/۲۷	۱۰۱/۲۴	۱۰۱/۶۳	۹۶/۷۱
Si	۳/۶۳	۲/۷۳	۲/۲۷	۲/۵۵
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۰/۰۰	۱/۰۸	۱/۷۳	۱/۴۵
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe(2+)	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mn	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mg	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Ca	۰/۰۰	۰/۶۸	۰/۷۰	۰/۴۲
Na	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۲۷	۰/۵۳
K	۱/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Totals	۴/۹۰	۴/۹۱	۵/۰۰	۴/۹۸
Na/(Na+K+Ca)	۰/۰۱	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۵۵
K/(Na+K+Ca)	۰/۹۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Ca/(Na+K+Ca)	۰/۰۰	۰/۶۱	۰/۷۱	۰/۴۴



شکل ۶. ترکیب شیمیایی کانی پلاژیوکلاز براساس (Deer et al., 1991) در محدوده آندزین قرار گرفته است

زمین دما فشارسنجی

(1994) بازنگری و اصلاح شد. این پژوهشگران کالیبراسیون این زوج را روی آمفیبول و گارنت-آمفیبولیت انجام دادند. برای محاسبه زمین-دما سنجی با روش (Blundy and Holland, 1990) و با توجه به جدول ۳ آمفیبول‌های تشکیل شده در توده گابروبی مورد پژوهش با فرض فشار ۴ کیلو بار در یک بازه دمایی (۷۴۵-۵۳۰) و با فرض فشار ۵ کیلو بار (۷۴۰-۵۴۰) درجه سانتی‌گراد به وجود آمده‌اند. بر اساس (Anderson and Smith, 1995) آمفیبول‌های تشکیل شده یک بازه دمایی ۷۴۰-۶۳۵ را شامل می‌شوند و بازه فشاری تشکیل آن‌ها ۴/۳ تا ۹/۸ کیلو بار است (جدول ۴). با توجه به روش آندرسون (Anderson, 1996) نیز دمایی حاصله در یک محدوده دمایی ۷۱۶-۶۳۸ درجه سانتی‌گراد و فشاری برابر ۱۲/۶۰-۵/۴ کیلو بار می‌باشد (جدول ۴). در جدول ۵ نتایج چهار روش فشارسنجی براساس میزان آلومینیوم موجود در هورنبلند آورده شده است. بر اساس نتایج حاصل از (Johnson and Rotherford, 1989) محدوده فشار ۱۱۷/۲۰-۴/۱۰ کیلو بار می‌باشد. به ترتیب بر اساس (Hammarstrom and Zen 1986) و (Anderson and Smith 1995) فشارهای توده گابروبی مورد نظر (۱۳/۵۰-۶/۲)، (۱۳/۵۰-۱۳/۵۰) و (۵/۵۰-۴/۳۰) کیلو بار هستند.

براساس (Holister et al., 1987) و (Schmidt, 1992) بسیاری از زمین فشارسنج‌ها بر پایه میزان آلومینیوم موجود هورنبلند ساخته شده است. دماسنج آمفیبول-پلاژیوکلاز نیز بر پایه مقدار سیلیس و کاتیون‌های آلومینیوم روی موقعیت‌های آمفیبول چهاروجهی کنترل می‌شوند (Hammarstrom and Zen, 1989). بررسی‌ها نشان داد که ترکیب آمفیبول علاوه بر فشار، به دما، فوگاسیته اکسیژن، ترکیب کل و فازهای همزیست بستگی دارد (Hammarstrom and Zen, 1989). با در نظر گرفتن این پارامترها به ویژه میزان Al total، روابط زیادی توسط محققین برای محاسبه فشار جایگیری سنگ‌های آذرین ارائه شده است که قابل قبول‌ترین آن‌ها مدلی است که توسط (Schmidt, 1992) معرفی گردید. هورنبلند تبلور یافته در شرایط فوگاسیته بالای اکسیژن نسبت به هورنبلند رشد یافته در فوگاسیته پایین، نتایج بهتر و قابل اطمینان‌تری را برای زمین دما-فشارسنجی ارائه می‌دهد (Hammarstrom and Zen, 1989). از سوی دیگر (Blundy and Holland, 1990) نیز روشی با عنوان زوج هورنبلند-پلاژیوکلاز معرفی کردند که با استفاده از نمونه‌های طبیعی و آزمایشگاهی به صورت رابطه درآمده است و توسط نمونه‌های طبیعی و آزمایشگاهی کالیبره شده است. این روابط چهار سال بعد توسط (Holland and Blundy,

جدول ۳. نتایج محاسبات دماسنجی به روش زوج هورنبلند-پلاژیوکلاز (Blundy and Holland, 1990)

Sample	P Kb	T (C)	P Kb	T (C)
Gs29-1	۴	۶۵۲	۵	۶۵۹
Gs29-2	۴	۵۲۷	۵	۵۴۲
Gs29-3	۴	۷۱۹	۵	۷۱۴
Gs29-4	۴	۷۴۶	۵	۷۴۲
Gs29-5	۴	۶۷۶	۵	۶۷۰/۶
Gs29-6	۴	۷۱۱	۵	۷۰۹
Gs29-7	۴	۷۲۴	۵	۷۲۰
Gs29-8	۴	۷۲۵	۵	۷۲۹
Gs29-9	۴	۶۸۰	۵	۶۸۵
Gs29-10	۴	۶۹۲	۵	۶۹۵
Gs29-11	۴	۵۸۲	۵	۶۰۳

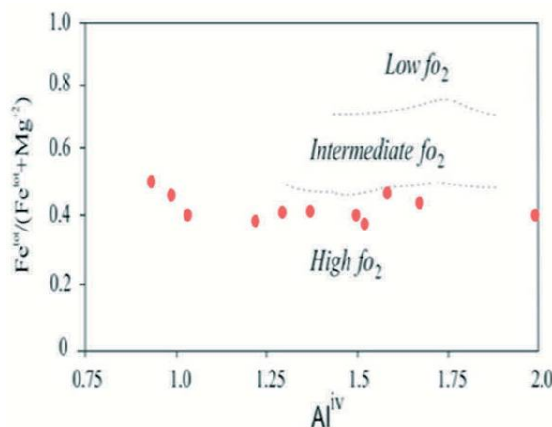
جدول ۴. زمین دما-فشارسنجی بر اساس (Anderson and Smith, 1995)

Sample	P Kb	T (C)
Gs29-1	۹/۲۱	۶۸۸/۹
Gs29-2	۱۱/۲۴	۶۳۵/۹
Gs29-3	۴/۹۴	۷۱۵/۰
Gs29-4	۵/۸۱	۷۳۸/۵
Gs29-5	۷/۷۵	۶۳۸/۴
Gs29-6	۶/۲۶	۷۰۷/۵
Gs29-7	۵/۹۸	۷۱۷/۱
Gs29-8	۸/۴۳	۷۴۱/۲
Gs29-9	۸/۲۰	۷۰۰/۰
Gs29-10	۷/۵۱	۷۰۱/۰
Gs29-11	۷/۲۱	۷۴۲/۱

جدول ۵. فشارسنجی بر اساس میزان آلومینیوم موجود در هورنبلند با استفاده از چهار روش بر اساس (Kb)

Sample	Johnson and Rotherford, 1989	Hammastrom and Zen, 1986	Schmidt, 1992	Anderson and Smith, 1995
Gs29-1	۷/۷۲	۹/۳۷	۹/۵۷	۷/۹۸
Gs29-2	۸/۵۱	۱۰/۳۱	۱۰/۴۶	۸/۷۹
Gs29-3	۴/۱۱	۵/۰۸	۵/۵۱	۴/۳۲
Gs29-4	۵/۰۴	۶/۱۹	۶/۵۶	۵/۲۷
Gs29-5	۵/۱۷	۶/۳۴	۶/۷۰	۵/۴۰
Gs29-6	۵/۳۴	۶/۵۴	۶/۸۹	۵/۵۷
Gs29-7	۵/۲۵	۶/۴۴	۶/۸۰	۵/۴۸
Gs29-8	۸/۲۱	۹/۹۶	۱۰/۱۳	۸/۴۹
Gs29-9	۷/۱۶	۸/۷۱	۸/۹۴	۷/۴۱
Gs29-10	۶/۵۲	۷/۹۵	۸/۲۲	۶/۷۷
Gs29-11	۱۱/۲۲	۱۳/۵۳	۱۳/۵۱	۱۱/۵۳

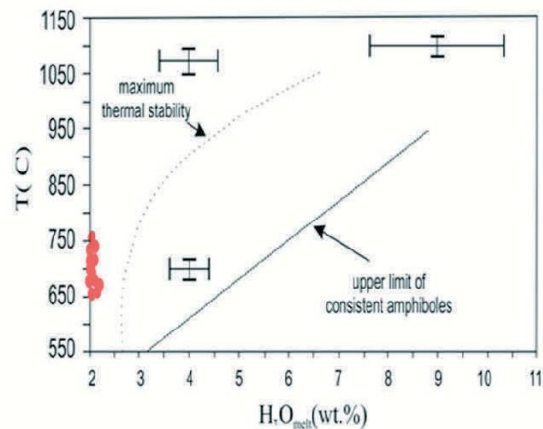
تخمین میزان آب و گریزندگی اکسیژن مفهوم گریزندگی اکسیژن برای اولین بار توسط (Eugster and Wones, 1963) معرفی شد که متغیر کنترل کننده توانایی اکسایشی یا به تعبیری فشار بخشی اکسیژن است. فوگاسیته اکسیژن را می توان عاملی موثر در کنترل فرآیندهای ماگمایی و توالی تبلور و نوع کانی های تشکیل دهنده ماگما دانست (Kress and Carmichael, 1991; Botcharnikov et al., 2005; Moretti, 2005). بر اساس شکل (۷) و با توجه به نسبت $Fe^{tot} / (Fe^{tot} + Mg^{+2})$ به Al^{IV} عدد به دست آمده کمتر از $0.6/0.4$ است که نشان از گریزندگی بالای اکسیژن است. با توجه به شکل (۸) می توان گفت که میزان آب مذاب برای تبلور هورنبلند از $2/3$ درصد وزنی متغیر است که با توجه به آنکه ماگما از آب کافی برخوردار نیست.



شکل ۸. نمودار میزان آب ماگما در برابر دما بر اساس ترکیب شیمیایی آمفیبول (Ridolfi et al., 2010)

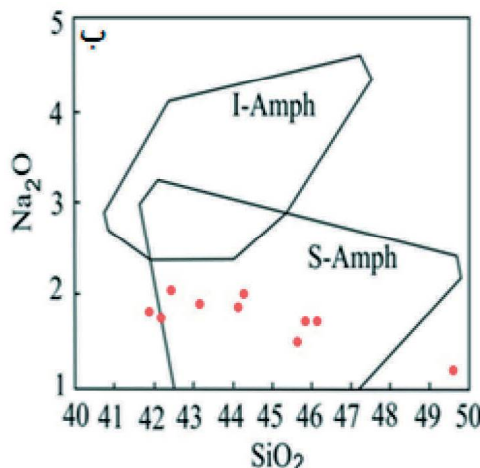
تخمین میزان آب و گریزندگی اکسیژن

شکل ۷. گریزندگی اکسیژن بر اساس ترکیب آمفیبول (Anderson and Smith, 1995.)



شکل ۷. گریزندگی اکسیژن بر اساس ترکیب آمفیبول (Anderson and Smith, 1995.)

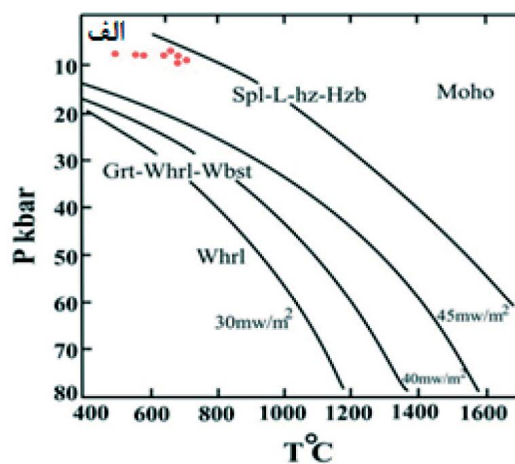
توده گابرویی از نوع S-Amph هستند (شکل ۹-الف) لذا می توان این آمفیبول ها را به مناطق فرورانش نسبت داد. این آمفیبول ها Na_2O و TiO_2 پایین تری نسبت به آمفیبول های مناطق میان صفحه ای (I-Amph) دارند. از سوی دیگر می توان گفت که ماگمای تشکیل دهنده توده گابرویی از 40 mw/m^2 منشأ گرفته است (شکل ۹-ب).



شکل ۹. الف) نمودار Na_2O در برابر SiO_2 برای رده بندی تکتونوماگمایی آمفیبول ها (Coltorti et al., 2007) و موقعیت آمفیبول های منطقه مورد مطالعه، ب) ترکیب آمفیبول های منطقه مورد مطالعه در نمودار (Nachit, 1985) برای تعیین نوع ماگما

تعیین جایگاه تکتونوماگمایی

از خصوصیات ژئوشیمیایی آمفیبول ها می توان برای بررسی ویژگی های دگرنهادی محیط های تکتونوماگمایی به ویژه محیط های فرورانش و درون صفحه ای استفاده کرد (Coltorti et al., 2007). از نظر جایگاه تکتونوماگمایی با توجه به میزان پایین Na_2O در برابر SiO_2 آمفیبول های



and earlier deformation, *International Journal of Earth Sciences*, 94,3, 401-419.

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations, *Tectonophysics*, 229, 211-238.

- Albuquerque, C.A.R., 1973. Geochemistry of biotites from granitic rocks, Northern Portugal. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1779-1802.

- Anderson, J. L., 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths: *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 87, 125-138. [also published in *GSA Special Paper 315*]

- Anderson, J. L. and Smith, D. R., 1995. The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblende barometry, *American Mineralogist*, 80, 549-59.

- Ayati, F., Kalimi Noghreyan, M. and Khalili, M. 2012. Petrographic and mineral-chemistry of the magmatic-alteration zones south of Salafchegan. *Petrology* 2,8: 1-20 (in Persian).

- Berberian, M. and King, G., 1981. Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.

- Blundy, J.D. and Holland, T.J.B., 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 104, 208-24.

- Blundy, J.D., and Holland, T.J.B., 1990. calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 104, 208-224.

- Botcharnikov, R.E., Koepke, J., Holtz, F., McCammon, C. and Wilke, M., 2005. The effect of water activity on the oxidation and structural state of Fe in a ferro-basaltic melt. *Geochim. Cosmochim. Acta* 69, 5071-5085.

نتیجه‌گیری

کانی‌های اصلی سنگ‌های گابرویی چشمه قصابان بیوتیت، آمفیبول، پلاژیوکلاز و پیروکسن و کانی‌های فرعی ایلمنیت، کلریت، مسکویت و زیرکن هستند. آمفیبول‌های مورد مطالعه از نوع کلسیک بوده و از نظر ترکیب شیمیایی در رده *magnesiohornblende* و *Pargasite*, *tchermakit* قرار می‌گیرند. پلاژیوکلاز نیز از نوع *Andesian* می‌باشد. بر اساس مطالعات زمین‌دما-فشارسنجی این توده در یک بازه دمایی (۷۰۰) درجه سانتی‌گراد و فشاری بالغ بر (۷/۵۲-۴/۵۴) کیلو بار تشکیل شده است. نمونه‌ها در محدوده فوگاسیته اکسیژن بالا قرار دارند ضمن آن‌که آب مذاب در ماگمای مادر دارای ۲ تا ۲/۳ درصد وزنی است. با توجه به نتایج حاصل از بررسی‌های تکتونوماگمایی آمفیبول‌های مورد مطالعه از نوع S بوده و با زون فرورانش مرتبط هستند ضمن آن‌که نمونه‌های مورد بررسی از عمق حدود ۴۰ کیلومتری منشأ می‌گیرند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز جهت قرار دادن پژوهانه سال ۹۶ که بخشی از این تحقیق را حمایت نموده است، تشکر و قدردانی دارد.

منابع

- اشراقی، ص.، ۱۳۸۱. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه توپسرکان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- ایزدی کیان، ل.، محجل، م. و علوی، س.، ۱۳۹۳. مراحل دگرریختی در سنگ‌های دگرگونی منطقه همدان و ارتباط آنها با توده نفوذی الوند؛ فصلنامه علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۸۷-۱۹۷.

- Abdel-Rahman, A.M., 1994. Nature of biotites from alkaline, and peraluminous magmas, *Journal of Petrology*, 35, 525-541.

- Agrad, PH., Omrani, J., Jolivent, L. and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across zagros (iran): constraints from collisional

- Brunet, M.F., Wilmsen, M. and Granath, J.W., 2009. South Caspian to Central Iran Basins. Geological Society, London, Special Publications, 312.
- Coltorti, M., B.C., Faccini, B., Grégoire, M., O'Reilly, S.Y. and Powell, W., 2007. Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle, *Lithos* 99, 68-84.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1991. An Introduction to the Rock Forming Minerals, Longman Scientific and Technical, 528.
- Eugster, H.P. and Wones, D.M.R., 1963. Stability Relations of the Ferruginous Biotite, Annite. *Journal of Petrology*, 3, 1, 82-125.
- Foster, M.D., 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas, United States Geological Survey Professional Paper, 354-b, 11-49.
- Ghalamghash, J., Mirnejad, H. and Rashid, H. 2009. Mixing and Migening of mafic and felsic magmas along the Neo-Thetys continental margin, Sanandaj-sirjan zone, NW Iran: A case study from the Alvand pluton, *N. Jb. Miner. Abh.*, 186.
- Ghasemi, A. and Talbot, C.J., 2005. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 683-693.
- Hammarstrom J.M. and Zen E-An., 1989. Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer", *American Mineralogist*, 71, 1297-1313.
- Holister, L.S., Grisson, G.C., Peters, E.K., Stowell, H.H. and Sisson, V.B., 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons, *American Mineralogist*, 72, 231-239.
- Holland, T. and Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 116, 433-47.
- James, S., and Beard, A., 1986. Characteristic mineralogy of arc-related cumulate gabbros: Implications for the tectonic setting of gabbroic plutons and for andesite genesis, *Geology*, Geological Society of America, 14, 848-858.
- Johnson, M.C. and Rutherford, M.J., 1989. Experimental calibration of an aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks, *Geology*, 17, 837-841.
- Khanlari, G., Heidari, R.M. and Jafar-Gholizadeh, H., 2010. Engineering Geological Assessment of Alvand Granitic Rocks, The 1st International Applied Geological Congress Department of Geology Islamic Azad University-Mashhad Branch, IRAN, 26-28 April, 408-413.
- Kress, V.C. and Carmichael, I.S.E., 1991. The compressibility of silicate liquids containing Fe₂O₃ and the effect of composition, temperature, oxygen fugacity and pressure on their redox states. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 108, 82-92.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C. and Grice, G.D., 1997. Nomenclature of Amphibols: Report of the subcommittee on Amphiboles of the international mineralogical, *The Canadian Mineralogist*, 35, 219-246.
- Liu, T.C., Chen, B.R. and Chen, C.H. 2000. Melting experiment of a Wannienta basalt in the Kuanyinshan area, northern Taiwan, *Journal of Asian Earth Sciences*, 18, 519-531.
- Mahmoudabadi, L., Tabatabaei Manesh,

- S.M., and Torabi, G., 2012. Petrography and mineral chemistry of Eocene volcanic in the south-west of Jandaq (northeast of Isfahan). *Petrology* 3,10, 95-107.
- Masoudi, F., and Jamshidi Badr, M., 2008. Biotite and Hornblende Composition Used to Investigate the Nature and Thermobarometry of Pichagchi Pluton, Northwest Sanandaj-Sirjan Metamorphic Belt, Iran., 19,4, 329-338.
 - Mohajjel, M. and Fergusson, C.L., 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone", western Iran, *Journal of Structural Geology*, 22, 1125-1139.
 - Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Saha-di, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397-412.
 - Moretti, R., 2005. Polymerisation, basicity, oxidation state and their role in ionic modelling of silicate melts. *Annals of Geophysics*, 48, 583-608.
 - Nachit H., Ibhi A., Abia E.H. and Ohoud M.B., 2005. Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites, *Geomaterials (Mineralogy), Comptes Rendus, Geoscience* 337, 1415-1420.
 - Nachit, H., Razafimahefa, N., Stussi, J.M. and Carron, J.P., 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoids, *Comptes Rendus Hebdomadaires de Academie des Sciences*, 301,11, 813-818.
 - Nasrabady, M., 2012. Thermobarometry of intrusion bodies from Soltanabad area (NE Sabzevar): with special reference to their adjoining metamorphic aureole and reaction rim, *Petrology*, 3,9, 87-106.
 - Otten, M.T., 1984. The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 86, 189-99.
 - Parlak, O., HÖck, V. and Delaloye, M., 2000. Suprasubduction zone origin of the Pozanti-Karsanti Ophiolite (Southern Turkey) deduced from whole-rock and mineral chemistry of the gabbroic cumulates, *The Geological Society of London*, 39, 219-224.
 - Putrika, K.D., 2008. Thermometers and barometers for volcanic systems. Review in *Mineralogy and Geochemistry*, 69,1, 61-120.
 - Rieder, M., Cavazzin, G., Dyakonov, Y., Frank-Kamenetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval, P.V., Muller, G., Neiva, A.M.R., Radoslovich, E., Robert, J.L., Sassi, F.P., Takeda, H., Weiss, Z. and Wones, D., 1998. Nomenclature of the micas, the *Canadian Mineralogist* 36, 36, 41-48.
 - Sabzehei, M. 1974. Les mélanges ophiolitiques de la région d'Sfandagheh (Iran méridional), *Etude petrologique et Structurale, Interprétation dans le cadre Iranien*. Ph. D. thesis, Université de Grenoble, France.
 - Saki, A., 2010. Proto-Tethyan remnants in northwest Iran: Geochemistry of the gneisses and metapelitic rocks, *Gondwana Research*, 17, 704-714.
 - Schmidt, M.W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in hornblende barometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 110, 304-310.
 - Schmidt, M.W., 1993. Phase relations and compositions in tonalite as a function of pressure: an experimental study at 650 °C, *American Journal of Science*, 293, 1011-60.
 - Sengör, A.M.C., 1990. A new model for

- the Late Paleozoic–Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. In: Robertson, A. H., Searle, M. P. and Ries, A. C. (eds) *The Geology and Tectonics of the Oman region*. Geological Society, London, Special Publications, 49, 797–83.
- Sepahi, A.A., 2008. Typology and Petrogenesis of Granitic Rocks in the Sanandaj–Sirjan Metamorphic Belt, Iran, with Emphasis on the Alvand plutonic Complex, N, Jb, Geol. Paläont, Abh, Stuttgart. 247,3, 295–312.
 - Sepahi, A.A., Whitney, D. L. and Baharifar, A. A., 2004. Petrogenesis of And–Ky–Sil veins and host rocks, Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, Hamadan, Iran. *Journal of Metamorphic Geology*, 22,2, 119–134.
 - Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafae, M., Ghorbania, M., Sepahi, A.A., Shang, C.K. and Vousoughi Abedinia, M., 2010. Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj–Sirjan Zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism, *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, 9, 668–683.
 - Sheikholeslami, M.R., Rique, A., Mobayen, P., Sabzeie, M., Bellon, and Hashem Emami, M., 2008. Tectono–metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Quri–Kor–e–Sefid area (Sanandaj–Sirjan Zone, SW Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, 31, 504–521
 - Stein, E., and Dietl, C., 2001. Hornblende thermobarometry of granitoids from the Central Odenwald (Germany) and their implications for the geotectonic development of the Odenwald., *Mineralogy and Petrology*, 72, 185–207.
 - Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran, a review. *Aapg bulletin* 52, 7, 1229–1258.
 - Stoklin, J., 1952. Structural history and tectonics of Iran; A review; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52,7, 1229–1258.
 - Tulloch, A.J., and Challis, G.A., 2000. Emplacement depths of Paleozoic–Mesozoic plutons from western New Zealand estimated by hornblende–al geobarometry. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 43, 555–567.
 - Wass, S.Y., 1979. Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks. *Lithos*, 12, 115–132.
 - Welch, M.D., 2012. IMA report, nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, 97, 2031–2048.
 - Wones, D.R. and Eugster, H.P., 1965. Stability of biotite: experiment, theory and application. *American Mineralogist*, 50, 1228–1272.
 - Wones, D.R., Eugster, H.P., 1965. Stability of biotite: experiment, theory, and application”, *American Mineralogist*, 50, 1228–1272.
 - Wu, C.M. and Chen, H.X., 2015. Revised Ti-in-biotite geothermometer for ilmenite–rutile-bearing crustal metapelites. *Science Bulletin*, 60, 116–121
 - Wu, C.M., Pan, Y.S., Wang, K.Y. and Zhang, J. 2002. A report on a biotite–calcic hornblende geothermometer. *Acta Geologica Sinica*, 76,1: 126–131
 - Yaoling, N., Trinity, G., Suzie, M., Alan, G. and Wolfgang, B., 2002. Mineral chemistry, whole-rock compositions, and petrogenesis of leg 176 gabbros: date and discussion1. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 176, 614–624.
 - Zhang, S.H., Zhaol, Y.S. and Song, B., 2002. Hornblende thermobarometry of the carboniferous granitoids inner Mongolia paleo–uplift, Implications for *Mineralogy and Petrology*, 87, 123–141.