

مدلسازی تعادلات فازي میکا شيشتهای درجه پايين حاصل از رسوبات حاشيه فعال قاره -

جنوب اروميه، افیوليت ملانژ سيلوانا

منير مجرد

دانشگاه اروميه، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

m.modjarrad@urmia.ac.ir

چکیده

میکا شيشتهای درجه پايين منطقه زيوه واقع در جنوب اروميه از اجزاء موجود در آميزه رنگين افیوليت سيلوانا در منتهی اليه شمالغربی ايران بوده و در نزديکی مرز با ترکیه و عراق برونزد دارند. کانی‌شناسی ساده اين واحد سنگی شامل موسکویت، بیوتيت، کلريت، کوارتز، فلدسپار و دانه‌های اپک بوده و فقدان کانی‌های شاخص متاپلیتی در آنها مانعی در جهت تخمین شرایط دگرگونی دقيق اين سنگها می‌باشد. اين واحد دگرگونی در یک محیط تکتونیکی نظیر حاشیه فعال قاره تکوین یافته و سپس با تصادم قاره‌ها دچار دگرگونی ناحیه‌ای درجه پايين (LT/LP-MP) شده‌اند. تخمین دما و فشار به روش مختلف از جمله مدلسازی شبه‌برش دما- فشار، دما- ترکیب، فشار- ترکیب و بررسی فراوانی مودال کانیهای مشاهده شده برای ترکیب سنگ کل معین شيشتهای زيوه، به کمک نرم‌افزار GeoPS انجام شده است. با قطع تعادل‌های مربوط به اعضای نهایی کانیها در نهایت دمای حدود 450 ± 20 درجه سانتیگراد در فشاری معادل 3.4 ± 0.2 کیلو بار برای اين شيشته ارزیابی شده که دگرگونی ناحیه‌ای از نوع بارووین در حد رخساره شيست سبز فوقانی تا اوایل رخساره آمفیبوليت می‌باشد. اين شرایط نشان‌دهنده تدفین در عمق متوسط و شیب زمین‌گرایی نسبتاً بالا بوده و با دگرگونی درون یک آميزه رنگين طی فرایندهای پس از برخورد سازگار است. نتایج اين پژوهش نشان می‌دهد که مدلسازی بر مبنای تعادلات فازي ابزاری قدرتمند در جهت برآورد شرایط دگرگونی حتی در شيشتهای درجه پايين فاقد کانیهای شاخص می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مدلسازی تعادلات فازي، دگرگونی در حد رخساره شيست سبز، میکاشيست، آميزه رنگين، منطقه زيوه، افیوليت سيلوانا

Phase equilibrium modeling of low-grade schists derived from active-margin sediments: insights from the south of Urmia, Silvana ophiolite mélange

Monir Modjarrad

Urmia University, Faculty of Sciences, Geology department

m.modjarrad@urmia.ac.ir

Abstract

Low-grade mica schists of the Ziveh area, located south of Urmia, constitute part of the Silvana ophiolitic colored mélange in the northwesternmost part of Iran, near the borders with Turkey and Iraq. The simple mineral assemblage of these rocks, consisting of muscovite, biotite, chlorite, quartz, feldspar, and opaque minerals, together with the absence of index metapelitic minerals, hampers direct estimation of regional metamorphic conditions. These metamorphic rocks were formed in a tectonic setting comparable to an active continental margin and were subsequently affected by low-grade regional metamorphism (LT/LP-MP) during continental collision. Temperature and pressure conditions were estimated using several approaches, including P-T pseudosection modeling, T-X and P-X diagrams, and evaluation of the modal abundances of observed minerals for a representative whole-rock composition of the Ziveh schists, employing the GeoPS software. After accounting for equilibrium relationships among mineral end members, peak metamorphic conditions of approximately 450 ± 20 °C at 3.4 ± 0.2 kbar were obtained for these schists. These conditions correspond to Barrovian-type regional metamorphism at the **upper greenschist facies to the lower amphibolite facies transition**. These conditions suggest moderate burial depths and a relatively elevated geothermal gradient, compatible with metamorphism within an accretionary mélange during subduction-collision processes. The results demonstrate that phase equilibrium modeling provides robust constraints on metamorphic conditions even in low-grade schists lacking classical index minerals.

Keywords: Phase equilibrium modeling; Greenschist-facies metamorphism; Mica schist; Accretionary mélange; Ziveh area; Silvana ophiolite

۱- مقدمه

طی فرورانش یک پوسته اقیانوسی، رسوبات حاشیه قاره و سنگهای زیرین از روی ورقه اقیانوسی فرورانده تراشیده شده و بصورت یک توده گوه‌ای شکل روی هم انباشته می‌شوند. این رسوبات تحت عنوان رسوبات افزایشی حاشیه فعال شناخته شده و اغلب بر روی ورقه فرونرفته جا می‌گیرند (Sengor and Okurogullari, 1991; Tarbuck and Lutgens, 1994). چنین واحد تکتونیکی اغلب دگرگونی درجه پایین را تحمل کرده و در کنار سایر اجزاء آمیزه رنگین در زون تصادمی یافت می‌شود (Zheng et al., 2005). چنین سرگذشتی بر روی سنگهای رسوبی حاشیه فعال قاره با پروتولیت آرکوز و شیل زیوه در جنوب ارومیه (مجرد، ۱۴۰۰) روی داده و با فرورانش اقیانوس نئوتتیس در شمالغرب ایران، در میان محصولات آمیزه رنگین و به همراه رسوبات منشور برهم افزایشی دگرگون شده و در این منطقه برونزد یافته است.

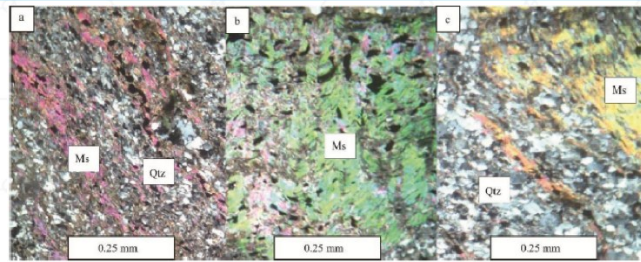
با توجه به فقدان کانیهای شاخص متاپلیتی در این سنگها، تخمین شرایط دگرگونی با دشواری روبروست. در این مطالعه سعی شده است با استفاده از مدلسازی دما- فشاری بر اساس ترکیب سنگ کل نمونه ها و دقت در مجموعه کانیایی مشاهده شده این شرایط تا حدی روشن شود. با توجه به برونزد این واحد درون آمیزه رنگین افیولیت سیلوانا، ارزیابی چگونگی دگرگونی می‌تواند در بازسازی وقایع مرتبط با بسته شدن اقیانوس نئوتتیس در این بخش از ایران کمک کننده باشد. همچنین این مدلسازی روشی برای مطالعه سنگهای درجه پایین دگرگونی امتداد زون سندج - سیرجان قلمداد خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

جهت پیشبرد هدف پژوهشی ذکر شده در مقدمه، از نتایج تجزیه شیمیایی سنگ کل متاپلیتهای درجه پایین منطقه زیوه که در مطالعه قبلی به چاپ رسیده است (مجرد، ۱۴۰۰)، استفاده شد. این ترکیب بعنوان ورودی به نرم افزار GeoPS (Xiang and Connolly, 2021) داده شد و تنوعی از نمودارهای تعادلی بر اساس مشاهدات میکروسکوپی بر این مبنا تهیه شد. نمودارها عبارتند از: شبه برش T-X, P-X, P-T. همچنین با تخمین فراوانی مودال فازها با پیشرفت شدت دگرگونی، اقدام به ترسیم فراوانی و نسبت کانیها در نمودار دما - فشار شده است. سپس با قطع ایزوپلتهای مربوط به اعضای نهایی کانیهای غالب، شرایط دگرگونی ارزیابی شده است. در نهایت تحلیل و تفسیر موقعیت تکتونیکی واحد مذکور با نتایج بدست آمده انجام گرفته است.

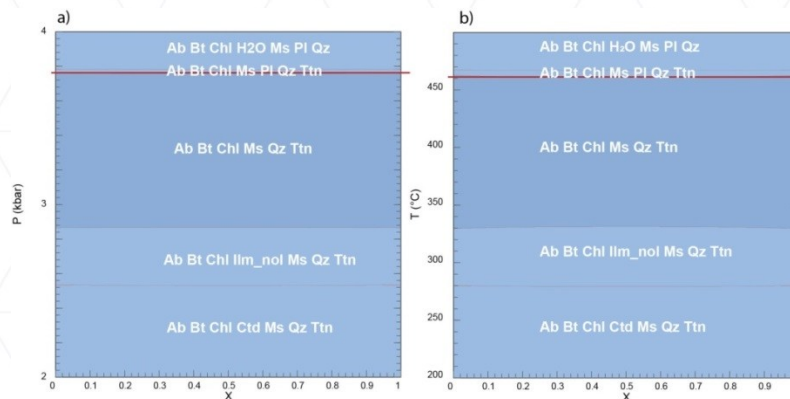
۳- بحث

میکاشیستهای منطقه زیوه ارومیه فاقد هر نوع پورفایروبلاستی بوده و شیسستوزیته بافت غالب آنهاست (شکل ۱). مطالعه قبلی نشان داده است که دو فاز دگرشکلی بر روی این سنگها عمل کرده است (مجرد، ۱۴۰۰). این شیسستها دارای ۵۶-۷۰ درصد سیلیس، فراوانی اکسید آلومینیم در آنها بالا و در طیف ۲۰-۱۴ درصد، اکسید آهن کل که بصورت آهن سه ظرفیتی گزارش شده تغییراتی بین ۸-۴ درصد داشته، مقدار اکسید تیتانیم اغلب کمتر از ۱ درصد (احتمالا جمع شده در بیوتیت و ایلمنیت) و فراوانی منگنز بسیار اندک و قابل اغماض می‌باشد. این متاپلیتها از نظر اکسید عناصر قلیایی غنای مناسبی داشته و حدود ۲ درصد اکسید سدیم و ۴ درصد اکسید پتاسیم دارند. چنین ترکیبی نشان می‌دهد می‌توان این سنگها را با سامانه KFMASH مطالعه نمود.



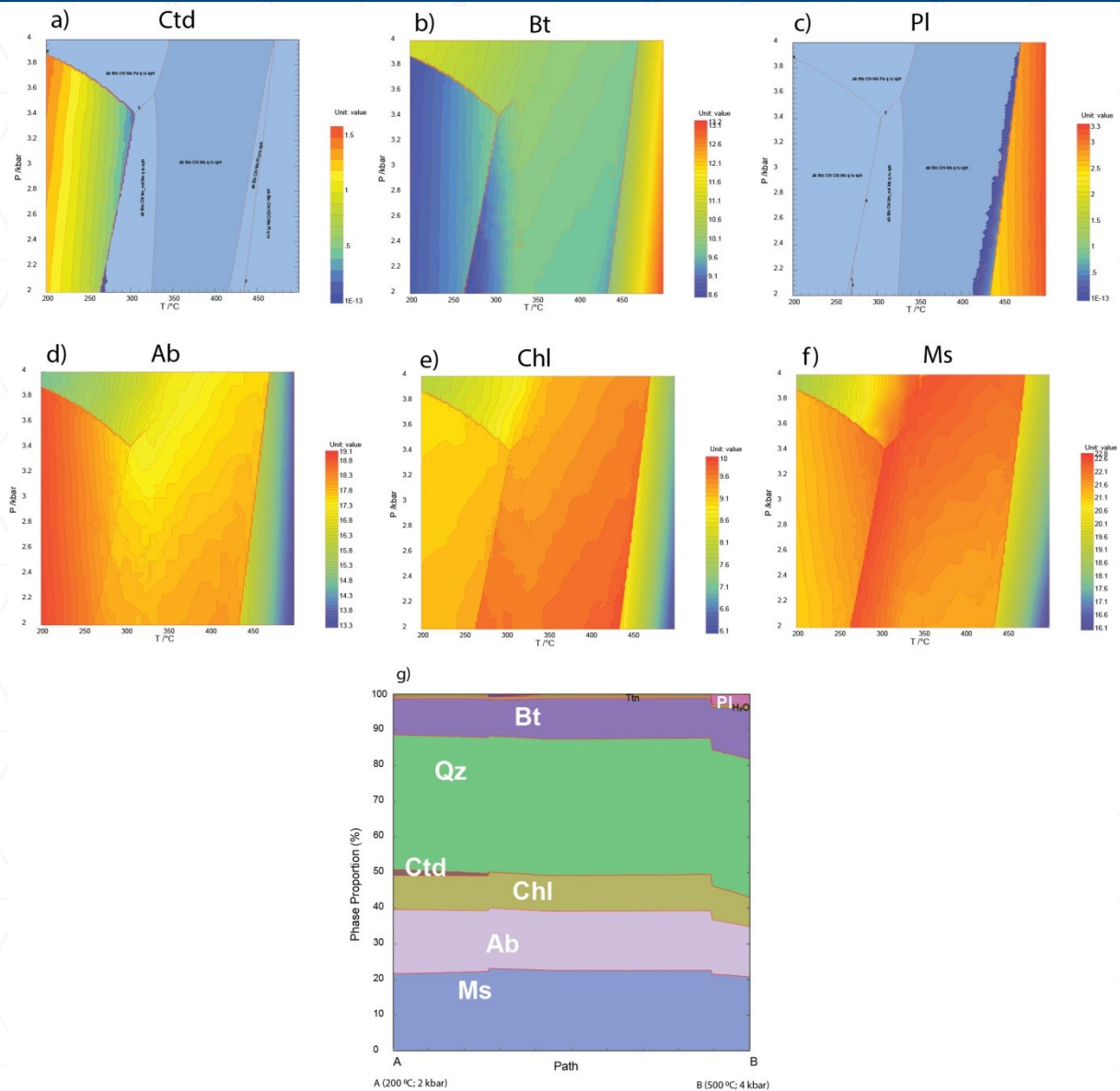
شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی از متاپلیت‌های منطقه زیوه جنوب ارومیه در حالت XPL.

جهت بررسی شدت دگرگونی در این سنگها نمودارهای T-X و نیز P-X برای آنها ترسیم شد (شکل ۲). همانگونه که نمودارها نشان می‌دهند، سقف فرایند دگرگونی در این واحد با مجموعه کانیایی $Ab + Bt + Chl + Ms + Pl + Qz + Ttn$ مشخص شده و فشاری معادل ۳/۸ کیلو بار و دمایی برابر ۴۶۰ درجه سانتیگراد برای این سنگها ارزیابی می‌شود. علائم اختصاری کانیها از Whitney and Evans (2010) گرفته شده است.



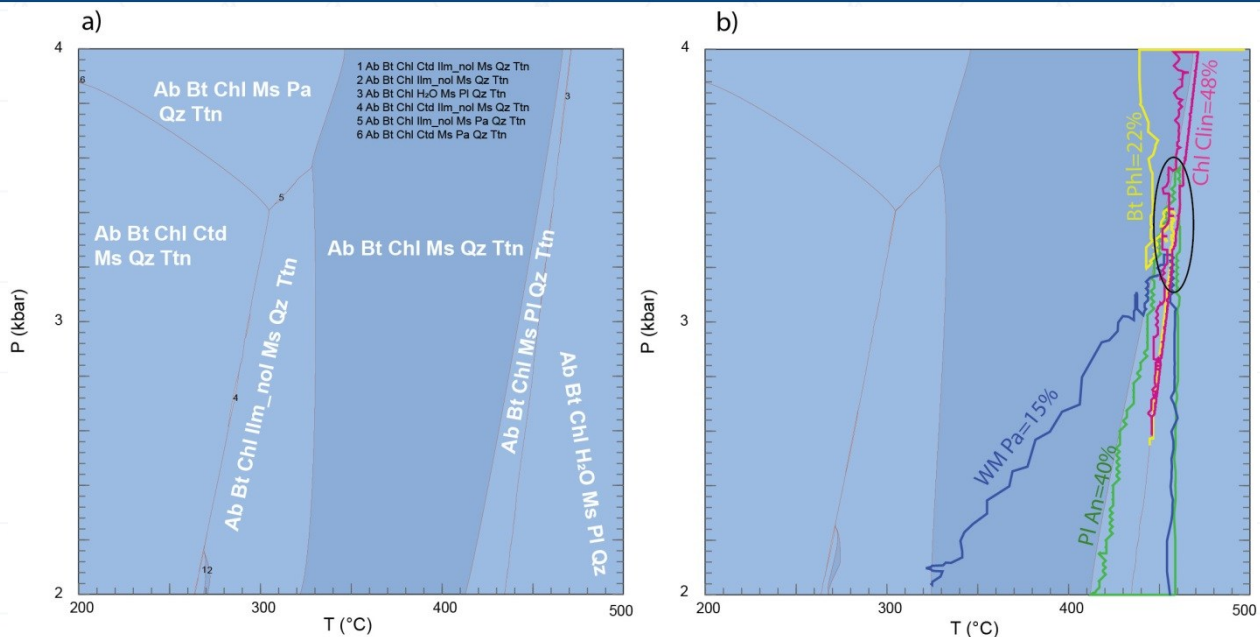
شکل ۲- a نمودار فشار - ترکیب و b نمودار دما - ترکیب برای شیست‌های منطقه زیوه ارومیه.

در ادامه با بررسی دقیق کانیهای مشاهده شده و نیز فازهای پیش‌بینی شده توسط مدل تعادلی، نمودارهای مربوط به فراوانی مودال هر کانی در بازه دما و فشاری مشخص شده، ترسیم شد (شکل ۳). در این نمودارها معلوم شد که فاز کلریتوئید با پیشرفت دگرگونی مصرف و فاز پلاژیوکلاز در انتهای بازه به مجموعه افزوده شده است. فراوانی ساین فازها با افزایش دما و فشار تغییراتی داشته است که در نمودارها معلوم است.



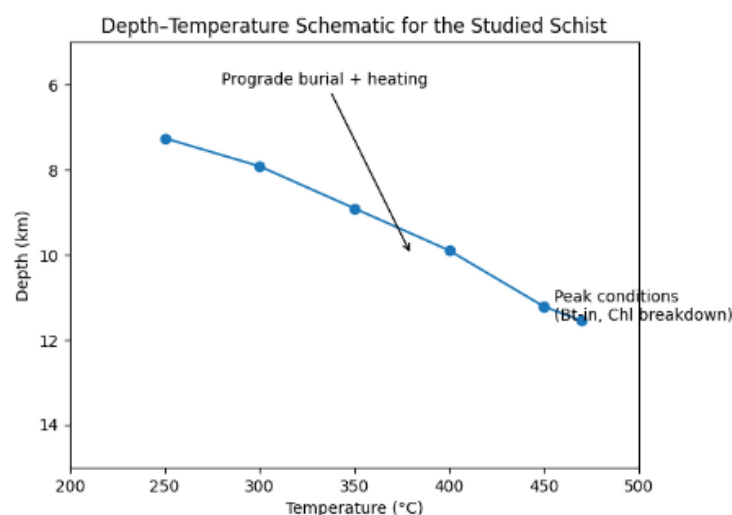
شکل ۳- a-f نمودارهای مربوط به فراوانی مودال پیش‌بینی شده فازهای مختلف در بازه تعریف شده دما - فشار و g طرح شماتیک فراوانی نسبی کانیها در مسیر AB که کمینه و بیشینه شرایط دگرگونی است.

با هدف دستیابی به دما و فشار دگرگونی در سنگهای مورد بحث، اقدام به ترسیم شبه‌برشی از دما در برابر فشار در بازه پیشنهادی شد (شکل ۴a). بر روی این نمودار چندین میدان برای پایداری مجموعه‌های کانیایی ظاهر شده که روی هر کدام اسامی کانیها درج شده است. این مجموعه‌ها با مشاهدات پتروگرافی سازگار است. سپس برای تخمین دقیق‌تر شرایط ترمودینامیکی دگرگونی، ایزوپلت‌های مربوط به تمامی اعضای نهایی این فازها ترسیم و از هر کدام، ایزوپلت‌های منتخب قطع داده شد (شکل ۴b). محل تقاطع این تعادلها در فشار ۳ تا ۳/۵ کیلو بار و دمای حدود ۴۵۰ درجه سانتیگراد منطبق بر دما و فشار ارزیابی شده در شبه برشهای P-X و T-X در شکل ۲ می‌باشد.



شکل ۴- a شبه برش دما - فشار برای بازه تعیین شده در مدل پیشنهادی برای شیستهای زیوه به همراه مجموعه کانیایی پایدار در هر میدان. b قطع ایزوپلت‌های مربوط به اعضای نهایی کانیهای در حال تعادل در نمونه‌های مورد مطالعه. در این نمودار ایزوپلت‌های میکای سفید، بیوتیت، کلریت و پلاژیوکلاز همدیگر را در فشار ۳ تا ۳/۵ کیلو بار و دمای حدود ۴۵۰ درجه سانتیگراد قطع کرده‌اند.

چنین شرایطی نشانگر شرایط دگرگونی ناحیه‌ای از نوع باروین است که در آن دما پایین و فشار کم تا متوسط می‌باشد. بیشینه عمق معادل چنین فشاری حدود ۱۲ کیلومتر است که پس از افزایش دمای نسبی با ورود بیوتیت و شکست کلریت و آزدایی در این واحد روی داده است (شکل ۵). جدول ۱ پاراژنزها و واکنشهای احتمالی رویداده در شیستهای زیوه را خلاصه کرده است.



شکل ۵- نمودار عمق - دما برای نمایش شماتیک مسیر دگرگونی در شیستهای مورد مطالعه.

جدول ۱- خلاصه مراحل دگرگونی پیش‌رونده در شیستهای منطقه زیوه جنوب ارومیه.

Metamorphic Stages	PT conditions	Main occurrences
Low-grade assemblage	~200 °C; 2 kbar/Lower greenschist facies	Bt absent or very minor; Ms + Chl the hydrous phases
Prograde reaction	Chl + Ms decrease; Bt + Qz increase; H ₂ O release	Bt-in by reaction: Chl + Ms + Qz = Bt + Ab + H ₂ O
Intermediate-grade	Continuous Fe-Mg transfer	No sharp isograd (Fe-Mg vector substitution between Chl and Bt); Ab stable
High-grade	~500 °C; 4 kbar/ Upper greenschist to Lower amphibolite facies	Chl + Ms = Bt + Qz + H ₂ O Chl: zero, Bt: max abundance, Ms: begins to decline, Fluid production peaks
One line summary	LP-MP/LT conditions Chl + Ms + Ab + Qz = Bt + Qz + Ab + H ₂ O	Rock type: Bt-bearing Chl-schist Tectonic setting: Moderate burial into the mid-crust/ Strong thermal increase relative to depth/ A high geothermal gradient (~30–35 °C/km)/ Regional metamorphism during crustal thickening

۴- نتیجه‌گیری

میکاشیستهای منطقه زیوه در جنوب ارومیه بعنوان یک واحد تکتونیکی در حاشیه فعال قاره درون آمیزه رنگین مرتبط با لکه افیولیتی سیلوانا برونزد دارند. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد از نقطه نظر عمق – دما این واحد در سطوح پوسته میانی معادل ۱۲ کیلومتر تدفین شده و با شیب زمین‌گرایی فزاینده دچار دگرگونی شده‌است. چنین شرایطی بیانگر وجود منشورهای افزایشی در محدوده واحد آمیزه رنگین است که همزمان با جایگیری افیولیت در سطح و با ضخیم‌شدگی پوسته‌ای تکوین یافته‌اند. این واحد در شرایط دگرگونی فشار بالای زون فرورانشی تکامل نیافته است و از نوع ناحیه ای باروین می‌باشد. اوج شرایط دگرگونی در این واحد ۴۴۰ تا ۴۷۰ درجه سانتیگراد دما و ۳/۲ تا ۳/۶ کیلو بار فشار تخمین زده شده است.

۵- مراجع

- مجرد، م.، ۱۴۰۰. مطالعه زادگاه و دگرگونی درجه پایین میکاشیست های حاشیه قاره ای مرتبط با آمیزه رنگین گسیان ارومیه. پژوهشهای دانش زمین، سال ۱۲، شماره ۴۸، صفحات ۱-۱۹.
- Şengör, A. M. C, and Okurogullari, A. H., 1991. The role of accretionary wedges in the growth of continents: Asiatic examples from Argand to plate tectonics: *Eclogae Geologicae Helvetiae* v. 84, p. 535–597.
- Tarback, E. J., and Lutgens, F. K., 1994. *Earth science*, 7th ed.: New York, NY, Macmillan College Publishing Company, 659 p.
- Whitney, D.L., and Evans, B.W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals: *American Mineralogist*, 95(1): 185-187.
- Xiang, H., and Connolly, J. A. D., 2021. GeoPS: An interactive visual computing tool for thermodynamic modelling of phase equilibria. *Journal of Metamorphic Geology* 1–13. <https://doi.org/10.1111/jmg.12626>
- Zheng Y.F., Zhou J.B., Wu Y.B. and Xie Z., 2005. Low-Grade Metamorphic Rocks in the Dabie-Sulu Orogenic Belt: A Passive-Margin Accretionary Wedge Deformed during Continent Subduction. *International Geology Review* v. 47, p. 851–871.