Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Autumn 2024, Vol. 14(3): 671 – 687

Research Article

Structural evidence and shear sense indicators at Qerkh Yashar region, northwest of Khoy

Neda Madadi[1], Akram Alizadeh[1]*, Hassan Haji Hosseinlou[2]

1-Geology Department, Faculty of Sciences, Urmia University
2- Associate Professor Tectonics, Department of Geology, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran

Keywords: *Petrofabrics, shear zone, vein, boudin, Qerkh Yashar, Khoy*

1-Introduction

Khoy region is seated between the Arabian and the Alborz-Azerbaijan plates and is part of the metamorphic belt. The rocks of this region are metamorphic-ophiolitic in type. In general, the northwest shear zone of Khoy includes a large unmetamorphosed complex, which is adjacent to the ophiolitic zone from the north and the Paleozoic unmetamorphosed sediments from the east. Khoy metamorphic-ophiolitic complex is located in Northwestern Iran and is part of the West Azerbaijan Province. It is part of the green schist-amphibolite metamorphic belt formed during the Jurassic and Early Cretaceous between the Arabian, Western Alborz, and Azerbaijan (Radfar et al. 1387). This complex includes oceanic lithospheric fragments, structurally divided into two main blocks, eastern and western, by faults with a northwest-southeast trend (Raghaghi Gargari et al., 2018). Also, the ophiolitic unit mainly includes harzburgite, lherzolite, and dunite with deformable deformation (Azimzadeh and Behyari, 1400). The Qom formation with the Oligocene-Miocene age includes all these complex elements differently. Precambrian and Paleozoic rocks are less common in the region, but Upper Cretaceous rocks are the most widespread in the region. Sedimentary rocks of the Cenozoic age, such as sandstone, conglomerate with Oligocene-Miocene age (Qom Formation), have widely covered older rocks in the region (Fig.1; Radfar et al., 2007).

The Qerkh Yashar region in the northwestern Khoy is 140km from Urmia city. One of the distinctive features of this area is its setting in the brittle-ductile shear zone. Brittle zones are associated with faults and fractures at the surface that usually appear as fractures in the region, while ductile zones cause metamorphism, mylonite, and foliated rocks at high degrees. At semi-brittle zones, veins, boudin, and folds are appeared. The study area's structures and mylonitic rocks illustrate its location in the brittle-ductile zone.

2-Material and methods

Rock fabric represents the texture and refers to spatial arrangement, geometric shape, and preferred orientation. The study of structural fabrics can indicate the deformation process and provide valuable evidence of tectonic evolution and effective stress in rocks (Twiss and Moores, 2007; Passchier and Trouw, 2005). The changes created in the rock fabric represent a large part of the history of metamorphism and illustrate the initial conditions of formation, the type of metamorphism, and deformation in the rock. Structural and microstructural studies depend on the type of rock used for sampling. Choosing a suitable sample for preparing thin sections is vital because it contains much information about the structural fabric of the rock and shows evidence of deformation in the region. The most crucial issues in taking manual samples are the orientation of the sample and specifying the slope and extension direction. Therefore, it is vital to determine the cutting direction of the directional sample. In cutting thin sections, the direction of

* Corresponding author: ak.alizadeh@urmia.ac.ir
DOI: 10.22055/aag.2024.45265.2417
Received: 2023-12-05
Accepted: 2024-05-18

ISSN: 2717-0764
CC BY

cutting the section is always parallel to the plane x of ellipse or tension and perpendicular to the z plane in the shear zone.

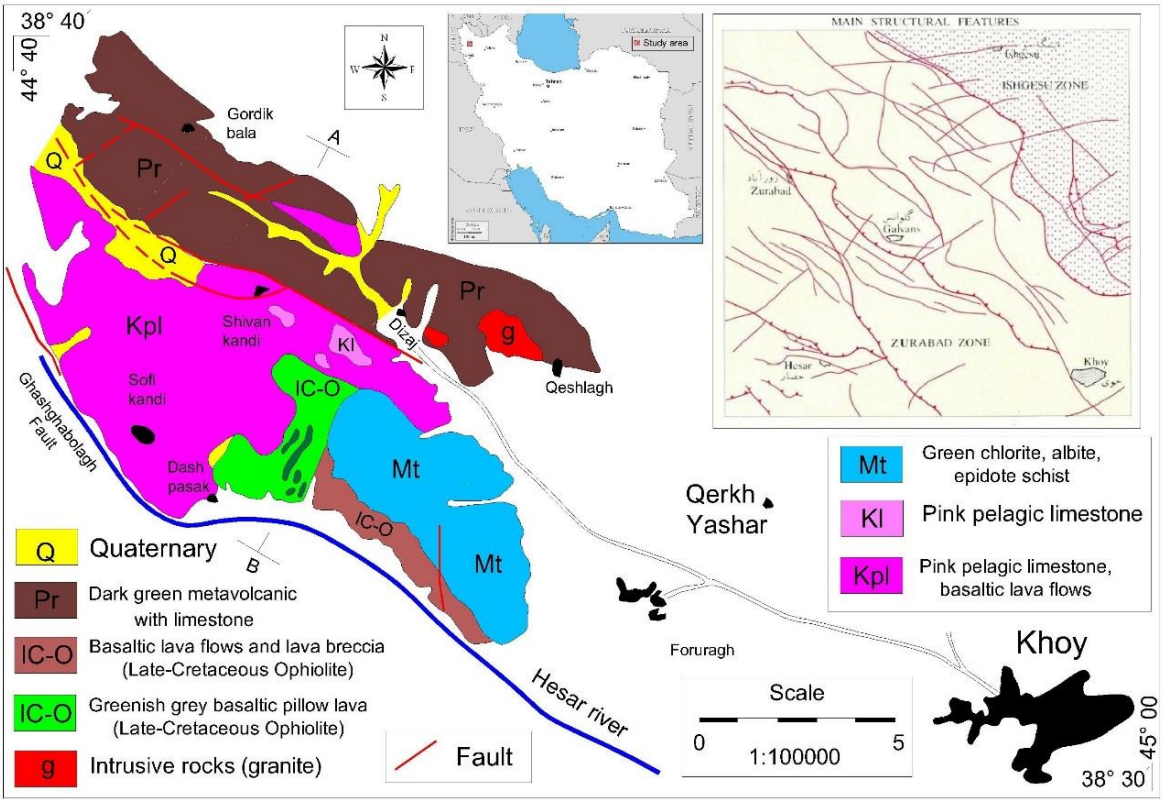


Figure 1. Geological map of the study area (modified by Radfar et al., 2008)

3-Results and discussion

Generally, one of the most important goals of studying structures in the shear zone is determining the type of stress, deformation, shear direction, and the amount of slip (relative movement). Gerkh Yashar region in the north of Khoy is located in the brittle-ductile shear zone, which has many fractures and folds. The presence of structural fabrics, which are kinematic indicators, determines the shear type and indicates the effect of shear deformation in ductile conditions.

4-Conclusion

The presence of shear types of structures and the elongation of porphyroclasts indicate the presence of high stress and the area's location in the shear zone. Also, the strike-slip component of faults in the region has led to the development mylonite fabrics. Faults have cut the shear fabrics, proving that the brittle structures are younger than the ductile structures. In general, the faults of the region are observed in two directions: NE-SW (Khanqah fault) and NW-SE (Gerkh Yashar, Galvans, and Ghordik faults).

Acknowledgments

Urmia University is thanked for supporting this research.

6-References

Azimzadeh, F., Behyari, M., 2021. Structures affecting the development of variations related to chromite deposits in Khoy ophiolites, northwest Iran. The 13th National Geological Conference of Payam Noor University, Karaj, Iran Passchier, C.W., Trouw R.A.J., 2005. Microtectonics, 2nd, Revised and Enlarged Edition, Springer, 371 P.

ISSN: 2717-0764
CC BY

Raghaghi Gargari, J., Solghi, A., and Arian, M., 2018. Tectonic evolution of the Khoy ophiolitic complex, NW Iranranian. Journal of Earth Sciences 10, 20-30.

Radfar, J., Amini, B., Ba hrudi, A., Khalatbari, M., Emami, H., Behermand, M., 2008. Geological map of Khoy, Geological and Mineral Exploration Survey.Raghaghi Gargari, J., Solghi, A., Arian, M., 2018. Tectonic evolution of the Khoy ophiolitic complex, NW Iranian. Journal of Earth Sciences 10, 20-30.

Twiss, R.J., Moores, E.M., 2007. Structural Geology. W.H. Freeman and Company. 532 P.https://doi.org/10.1017/S0016756808004627

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Alizadeh, A., Madadi, N., Haji Hosseinlou. H., 2024. Structural evidence and shear sense indicators at Qerkh Yashar region, Northwest of Khoy. Adv. Appl. Geol. 14(3), 671 – 687.

DOI: 10.22055/aag.2024.45265.2417
URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19147.html

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

علایم ساختاری و نشانگرهای سوی برش در منطقه قرخ‌یاشار، شمال‌باختر خوی

ندا مددی
گروه زمین شناسی-دانشکده علوم- دانشگاه ارومیه
اکرم علیزاده*
گروه زمین شناسی-دانشکده علوم- دانشگاه ارومیه
حسن حاجی حسینلو
گروه زمین شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران
* *ak.alizadeh@urmia.ac.ir*
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۱۲/۲۶

چکیده
منطقه قرخ‌یاشار در شمال‌باختری شهرستان خوی و به فاصله ۱۴۰ کیلومتری شهر ارومیه قرار گرفته است. از ویژگی‌های بارز این منطقه، قرارگیریآن در زون برشی شکننده-شکل پذیر می‌باشد. نمود ساختارهایی نظیر: گسل‌ها، چین‌ها، رگه‌ها، و بودیناژ در منطقه و از طرفی، حضور انواع مختلفی از سنگ‌های میلونیتی در منطقه ی پژوهش که دارای فابریک‌های ساختاری متنوعی هستند، دلالت بر قرارگیری آن در زون شکنا-شکل پذیر دارند. در این پژوهش، ضمن انجام مطالعات صحرایی، از ساختارهای میکروسکوپی نیز به منظور تعیین سوی برش استفاده شده است. روند کلی ساختارها در منطقه مورد مطالعه، شمال‌باختری-جنوب‌خاوری بوده و شاخص‌های جنبشی ایجاد شده در آن شامل: فابریک‌های نوع S، C´،C)، ساختارهای میکاماهی، چینهای نامتقارن، پورفیروکلاست‌های پوششی از نوع (σ،δ) و بودیناژهای چین‌خورده می‌باشند که در اغلب مناطق دگرشکل شده، جهت لغزش راستگرد دارند. نتایج نشان می‌دهند که زون برشی شمال‌باختری خوی، در طی دگریختی حاصل از تکتونیک ترافشارشی راستگرد شکل گرفته است.

واژه‌های کلیدی: *بافت ساختار، زون برشی، رگه، بودین، قرخ‌یاشار، خوی*

۱-مقدمه

زون‌های برشی با تغییرات ساختاری شکل پذیر، پهنه‌های باریکی را تشکیل می‌دهند که در آن، سنگ‌ها در نتیجه تمرکز واتنش ناهماهنگ نسبت به پیرامون خود تغییر ساختاری یافته‌اند. این ساختارها که با پهنای متفاوت از چند سانتیمتر تا چند کیلومتر وسعت دارند از ویژگی‌های ساختاری متداول در بخش‌های بخش های میانی و عمیق پوسته هستند (Passchier and Trouw, 2005; Fossen and Tikoff, 1998; Neves et al., 2021). زون برشی به صورت موازی و مزدوج در سنگ‌های دگرگونی منطقه مورد مطالعه از رخساره شیست‌سبز تا آمفیبولیت، دستخوش تغییر شده است. همچنین زون برشی شکنا-شکل پذیر مختص رژیم زمین ساختی خاصی نبوده و تقریباً در تمامی رژیم‌های تکتونیکی تشکیل می‌شود. در این زون، سنگ‌ها به شکل برگوارگی‌های میلونیتی گسترش یافته‌اند. میلونیت‌ها معمولاً دارای ساختارهای مزوسکوپی و میکروسکوپی خاصی هستند که مطالعه تحلیل جنبشی و تغییرات ساختاری را امکان‌پذیر می‌سازد. تحقیقات گسترده‌ای که بر روی میلونیت‌ها صورت گرفته حاکی از این مطلب است که در تشکیل این سنگ‌ها جهت یافتگی فابریک‌های شکل‌پذیر، کاهش اندازه دانه‌ها و تبلور مجدد دینامیکی اهمیت بسیاری داشته است (Trouw et al., 2010؛ Selgi and Haji Hosseinlou, 2018).

۲- جایگاه زمین‌ساختی

منطقه خوی به لحاظ ساختاری بین دو ورقه عربی و بلوک البرز-آذربایجان جای دارد و جزء کمربند دگرگونی شیست‌سبز و آمفیبولیت می‌باشد . سنگ‌های این منطقه از لحاظ

تقسیم‌بندی‌های تکتونیکی در مجموعه دگرگونی-افیولیتی قرار گرفته است. به طورکلی زون برشی شمال‌باختری خوی یک مجموعه دگرگون نشده ی وسیعی را شامل می‌شود که از سمت شمال با سفره افیولیتی و از سمت شرق با رسوبات دگرگون نشده پالئوزوئیک همجوار می‌باشد. مجموعه دگرگونی-افیولیتی خوی در شمال‌باختر ایران و بخشی از استان آذربایجان‌غربی بوده و جزء کمربند دگرگونی شیست‌سبز-آمفیبولیت می‌باشد که درطول ژوراسیک و کرتاسه آغازین بین ورقه عربی و بلوک البرزغربی و آذربایجان تشکیل شده است (Radfar et al., 2008). این مجموعه شامل تکه‌های لیتوسفری اقیانوسی است که به لحاظ ساختاری و توسط گسل‌های با روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری ، به دو بلوک اصلی شرقی و غربی تقسیم می‌شود (Raghaghi Gargari et al., 2018). همچنین، واحد افیولیتی عمدتاً شامل هارزبورژیت، لرزولیت و دونیت با دگرشکلی شکل‌پذیر هستند (Azimzadeh and Behyari, 2021). سازندقم با سن الیگوسن-میوسن کلیه این مجموعه را به‌صورت دگرشیب دربرمی‌گیرد. سنگ‌هایی به سن پرکامبرین و پالئوزوئیک در منطقه کمتر دیده می‌شوند اما سنگ‌های کرتاسه فوقانی بیشترین گسترش را در منطقه دارا می‌باشند. سنگ‌های رسوبی به سن سنوزوئیک مانند ماسه‌سنگ، کنگلومرا با سن الیگوسن-میوسن (سازند قم) به طور گسترده‌ای سنگ‌های قدیمی‌تر از خود را در منطقه پوشش داده است (Radfar et al., 2008).

۲-۱- زمین‌شناسی منطقه

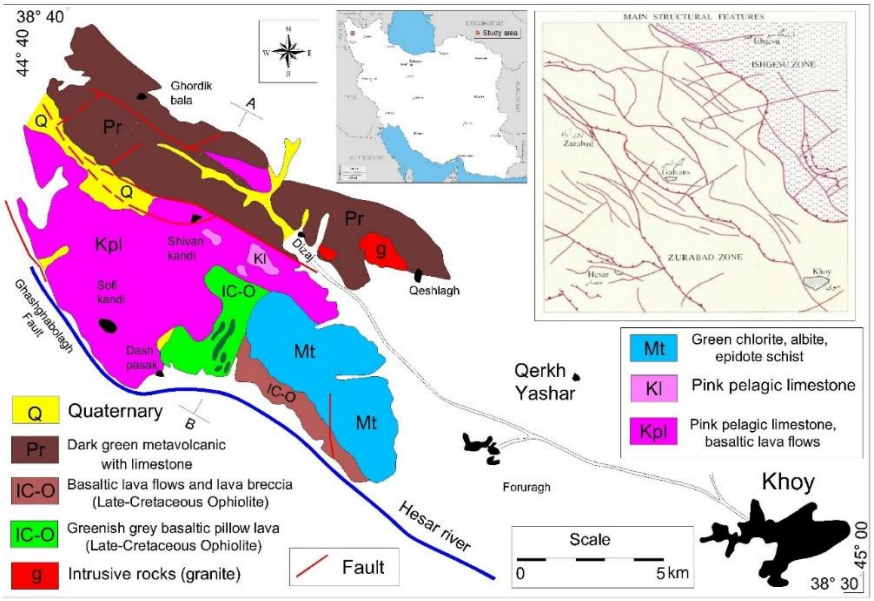
منطقه مورد مطالعه به لحاظ زمین‌شناسی، با دو مجموعه: سنگ‌های افیولیتی و سنگ‌های دگرگونی مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۱):

سنگ‌های افیولیتی: زون برشی شمال‌باختری خوی بیشتر شامل سنگ‌های فوق‌بازیک مانند گنیس‌های میلونیتی، آمفیبول‌گنیسی، تالک‌شیست، سرپانتینیت، گرانیت‌میلونیت، لرزولیت، هارزبورژیت بوده که در اثر ویژگی شکنا-شکل پذیر بودن منطقه دگریخت شده‌اند. در قسمت شمال‌باختری منطقه قرخ یاشار، مجموعه سنگ‌های اولترامافیکی سرپانتینی شده همراه با سنگ‌های آواری مشاهده می‌شود که اولترامافیک‌ها در این منطقه کاملاً به سرپانتین‌شیست تبدیل شده‌اند و دارای برگوارگی‌هایی در جهت شمال‌باختر می‌باشند. علاوه بر فرآیند سرپانتینی شدن، لایه‌های غنی از تالک هم در منطقه به وجود آمده است. در این واحد کانی‌های اولیوین و ارتوپیروکسن تا حدی به سرپانتین و کلریت تجزیه شده‌اند و بیشتر حجم سنگ‌ها از اولیوین تجزیه شده به سرپانتین تشکیل شده است. این سنگ‌های فوق‌بازیک در امتداد سطوح گسل خرد شده‌اند و در اثر حرکات تکتونیکی برش‌های تکتونیکی به وجود آمده‌اند (Radfar et al., 2008).

سنگ‌های دگرگونی: سنگ‌های این مجموعه در منطقه مورد مطالعه، بیشتر سنگ‌هایی از نوع متابازیت‌ها و متاسدیمنت‌ها را شامل می‌شود. سنگ مادر متابازیت‌ها بیشتر شامل گابرو و بازالت با منشاء تولییتی و کالکوالکالن با درجه دگرگونی درحد رخساره شیست‌سبز تا آمفیبولیت را شامل می‌شود. متاسدیمنت‌ها عمدتاً میکاشیست‌ها، شیست‌های استرولیت، متاآرکوز و کوارتزیت را شامل می‌شوند. شیست‌ها، فراوانترین سنگ‌های مجموعه متاسدیمنتی می‌باشند و غنی بودن با میکا و وجود برگوارگی شیستی از ویژگی‌های شاخص آنها محسوب می‌شود. دربین کانی‌های موجود در منطقه، بیوتیت هم در توسعه فابریک شیستی در منطقه مؤثر است. میکای سفید (مسکویت) هم از دیگر کانی‌های مهم مورد مطالعه است که از درجات کم تا زیاد همراه با بیوتیت و کلریت قابل مشاهده می‌باشد (Radfar et al., 2008).

۳- روش مطالعه

مطالعه ساختاری و ریزساختاری به نوع نمونه‌برداری در سنگ بستگی دارد. انتخاب نمونه مناسب برای تهیه مقاطع‌نازک از آن‌جهت حائز اهمیت است که دارای اطلاعات بسیاری در مورد فابریک ساختاری سنگ است و بیانگر شواهد دگریختی در منطقه می‌باشد. مهمترین مسئله در برداشت نمونه‌های دستی، جهت‌یابی نمونه و مشخص نمودن جهت‌شیب و امتداد بر روی آن می‌باشد. بنابراین در تعیین سمت‌برش نمونه جهت دار از اهمیت بسیاری برخوردار است. در برش مقاطع‌نازک همیشه جهت‌برش مقطع، موازی با خطوارگی (محور X بیضوی واتنش) و عمود بر برگوارگی در زون برشی انجام می‌شود. در این پژوهش، پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای، برداشت و مطالعات صحرایی صورت گرفت که در آن، نمونه‌برداری از سنگ‌ها و تهیه مقطع‌نازک سنگی، به موازات خطوارگی انجام شد. مطالعات میکروسکوپی در راستای صفحه XZ جهت بررسی بالاترین نرخ کشیدگی و کوتاه شدگی در منطقه بوده است.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Radfar et al., 2008).
Fig. 1. Geological map of the study area (modified after Radfar et al., 2008).

۴- بحث

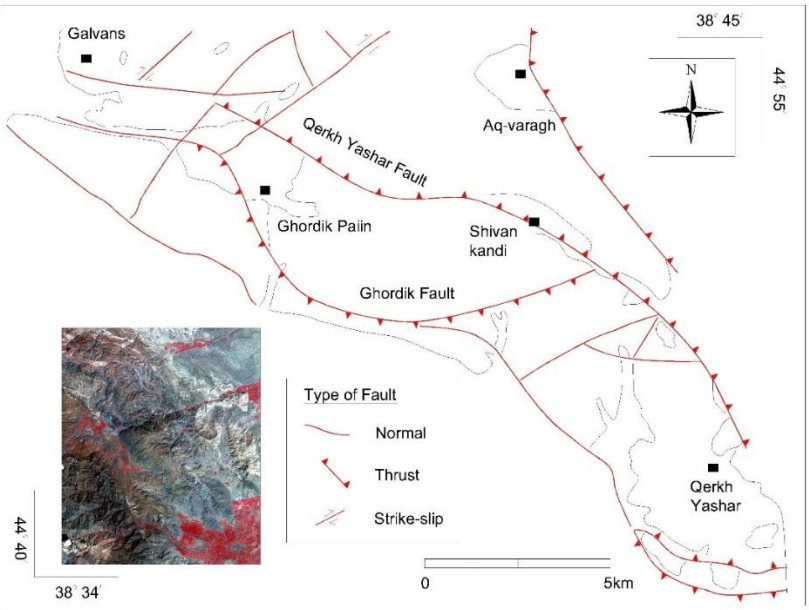
گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها از اصلی‌ترین ساختارهای کنترل کننده دگریختی منطقه در مقیاس مزوسکوپی هستند که مطالعه آنها، از ابزارهای شناخت دگریختی و دسترسی به نوع دگرشکلی محسوب می‌شود. علاوه بر دو ساختار چین و گسل، ساختارهای دیگری نیز در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شوند که به تحلیل دگریختی منطقه کمک می‌نمایند و در ادامه بحث به آنها پرداخته می‌شود.

۴-۱- گسل‌های پهنه‌برشی شمال‌باختری خوی

گسل‌ها را می‌توان از مهمترین ساختارهای موجود در منطقه مورد پژوهش به شمار آورد. ناحیه مورد مطالعه، منطقه‌ای است خرد شده که براثر شدت فشارش، ساختار کلی آن به‌صورت دگرشکلی‌ها، درزه‌ها وگسل‌های فراوان شکل گرفته است (شکل ۲).

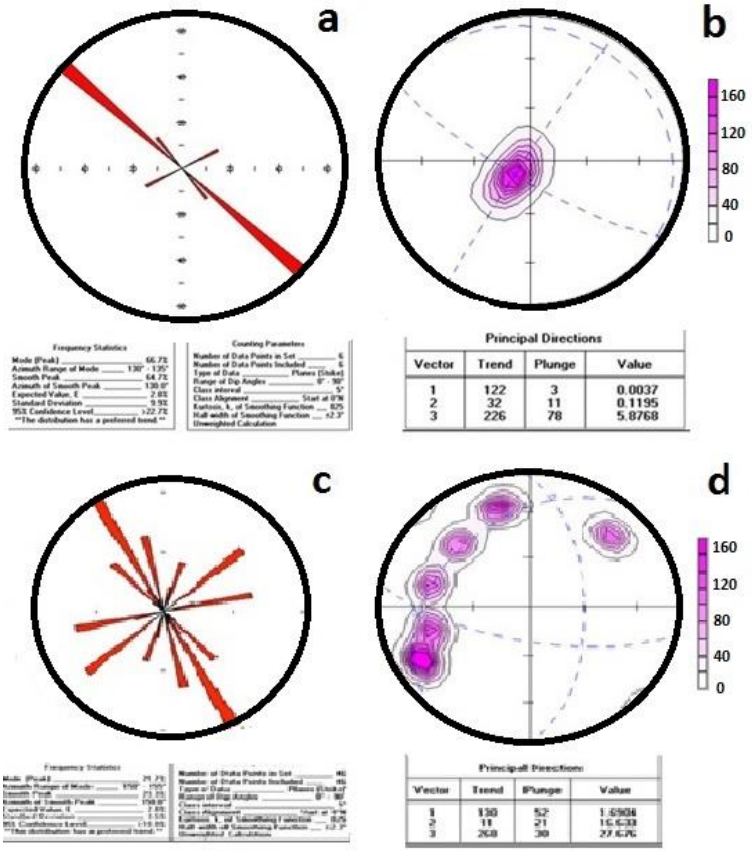
باتوجه به شواهد موجود بر روی نقشه زمین‌شناسی، اطلاعات رقومی و ماهواره‌ای می‌توان دریافت که بیشتر گسل‌های منطقه دارای سازوکار راندگی با مؤلفه راستالغز هستند. همچنین گسل‌های امتدادلغز و نرمال به طور محلی در منطقه مشاهده می‌شوند.

گسل قرخ‌یاشار دارای دو شاخه با امتداد متفاوت است که به‌هم متصل گردیده‌اند. فعالیت آن، موجب جابجایی سنگ‌های سرپانتینیت و آمفیبولیت‌ها گردیده است. گسل قوردیک منجر به راندگی سنگ‌های کلریت و سریسیت‌شیست بر روی آمفیبولیت‌های اولترابازیک شده است. گسل گلوانس، از نوع شیب‌لغز معکوس و با مولفه امتدادلغز راستگرد است و فعالیت آن موجب جابجایی سنگ‌های سرپانتینی با منشاء اولترابازیک شده است. طول شاخه اصلی این گسل حدود ۵ کیلومتر است. همه این گسل‌ها در یک جهت و با راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری و هم‌راستا با گسل خوی می‌باشند. از ویژگی‌های بارز گسل‌های منطقه، شیب گسل‌های راندگی است که اغلب به سمت شمال‌باختری می‌باشند و در بخش‌های باختری، شواهدی مبنی بر راندگی نهشته‌های پرمین بر روی آنها مشاهده می‌شود (Haji Hosseinlou, 2012). مطالعه گسل‌ها، جهت بررسی تنش‌های اصلی حاکم در منطقه امری ضروری است و در شکل‌گیری دگرشکلی ناحیه نقش بسزایی دارد. به طور کلی گسل‌های منطقه در دو راستای شمال‌خاوری-جنوب‌باختری (گسل خانقاه) و شمال‌باختری-جنوب‌خاوری (گسل‌های قرخ‌یاشار، گلوانس و قوردیک) می‌باشند (شکل ۳). نمودارهای گل سرخی، روند غالب شکستگی‌های منطقه را نشان می‌دهند که تأییدی بر دو راستای اصلی مذکور می‌باشند.



شکل۲- نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه.

Fig. 2. Faults map of the study area.



شکل ۳- (a) نمودار گل سرخی گسل های رانده منطقه، (b) تصویر استریوگرافی قطب هم مساحت گسل های منطقه، (c) نمودار گل سرخی درزه های منطقه قرخیاشار و (d) تصویر استریوگرافی هم مساحت قطب درزه های منطقه.

Fig. 3. (a) Rose diagram of reverse faults, (b) stereographic poles of faults in the region, (c) Rose diagram of Gherkh Yashar region and (d) stereographic poles of the fractures in the region.

۴-۲- درزها در پهنه برشی شمال‌باختری خوی

درزه‌ها یکی از ساختارهای حائز اهمیت در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود که در سنگ‌های بیرون زده در سطح زمین، به وضوح قابل مشاهده است و بیشتر توسط بارگذاری کششی در منطقه شکل گرفته است. درواقع درزه‌ها به مقدار تنش حاصل از مقاومت سنگ بستگی دارند. هرچه مقاومت سنگ کمتر باشد، بازشدگی دیواره‌ها درحین تشکیل درزه افزایش می‌یابد. براساس سازوکار ایجاد و توسعه درزه‌ها در سنگ‌های محدوده مورد مطالعه، دو نوع درزه در منطقه قابل مشاهده است (شکل ۳). از ویژگی‌های درزه‌های کششی منطقه، قرارگیری آنها به صورت عمود بر تنش اصلی حداقل در جریان تشکیل درزه نسبت به صفحه شکستگی است. همچنین این درزه‌ها معمولاً توسط کانیهای ثانویه پر نشده‌اند و این دلیلی بر جوان بودن این درزه‌ها نسبت به ساختارهای شکل‌پذیر ایجاد شده در منطقه است. این درزه‌ها در ارتباط با چین‌خوردگی بوده و راستای غالب شمال‌باختری-جنوب‌خاوری را نشان می‌دهند.

نوع دیگر درزه‌های مشاهده شده در منطقه درزه‌های مزدوج است که جزء درزه‌های برشی می‌باشد این درزه‌ها تقریباً با زاویه ۶۰ درجه نسبت به‌هم قرار گرفته‌اند و معمولاً در اطراف چین‌ها مشاهده می‌شوند و می‌توان آنها را به عنوان گسیختگی‌های برشی تعبیر کرد.

ازآنجایی که نمودار فلین، جهت بالاترین میزان کشیدگی و یا فشردگی را تعیین می‌نماید، از آن می‌توان در تشخیص راستای بیشترین کشیدگی و قرارگیری درزه‌ها در امتداد آن، بهره برد. شکل ۴، نمودار تغییر شکل یافته فیلین مربوط به درزه‌های منطقه را نشان می‌دهد که شکل آن (K) به صورت پهن‌شده (بیضوی پخ شده) و میزان K، به صورت $1< K<0$ می‌باشد.

۴-۳- چین‌ها در پهنه برشی شکل‌پذیر

چین‌ها از مهمترین ساختارهای موجود در پهنه برشی شمال‌باختری خوی می‌باشند که درطی مراحل مختلف دگرشکلی ایجاد شده‌اند. از آنجایی که این ساختارها در مقیاس‌های مختلف قابل مشاهده هستند، عمومی‌ترین نمود دگرشکلی در سنگ‌ها محسوب می‌شوند. مطالعه چین‌خوردگی در پهنه برشی می‌تواند راهنمای بسیار مناسبی جهت بازسازی تاریخچه ی دگرشکلی منطقه باشد. چین‌ها تحت شرایط متنوع به وجود می‌آیند و نتیجه دگرگونی اولیه در جریان کوهزایی هستند.

۴-۳-۱- چین‌های نامتقارن کششی z شکل

در این چین‌ها معمولاً دامنه یک چین نسبت به دیگری پرشیب‌تر است. این نوع چین‌ها با سطوح محوری تقریباً افقی در بعضی از باندهای برشی به ویژه در منطقه قرخ‌یاشار مشاهده می‌گردند.

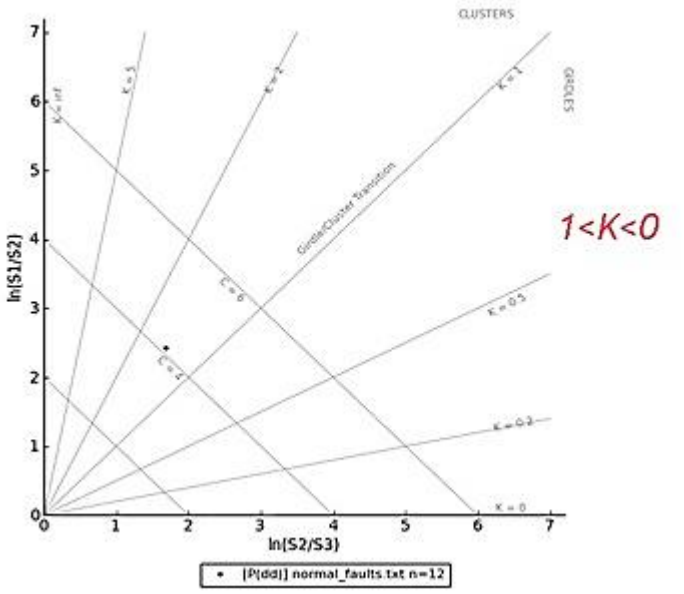
۴-۳-۲- چین‌خوردگی مکرر

این نوع چین‌خوردگی از دیگر عناصر ساختاری در زون برشی شمال‌باختر خوی محسوب می‌شود و زمانی اتفاق می‌افتد که در یک ناحیه، بیش از یک نوع دگرشکلی حاکم باشد. لایه‌های چین‌خورده قدیمی‌تر تحت تأثیر دگرشکلی دوباره چین‌خورده و توسط یکسری چین‌های جوان‌تر متأثر می‌گردند. شکل ۵، الگوی چین‌خوردگی تداخلی نوع ۳ را نشان می‌دهد که در این الگو جهت‌یابی دسته چین‌ها به نحوی است که دو دسته چین بر هم عمود می‌باشند به عبارتی $\alpha= ۰$ و $\beta =۰$ است. تداخل این چین‌ها منجر به ساخت‌های موجی شکل می‌شود.

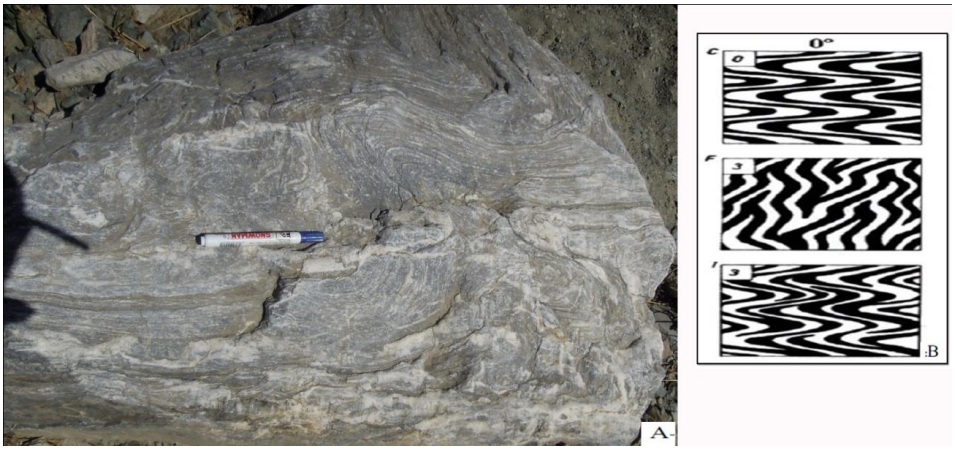
۴-۴- رگه‌ها

رگه‌ها فضاهایی در سنگ هستند که با مواد سیال پر می‌شوند و در جاهایی که فشار بین سیال زیاد باشد تشکیل می‌شوند. پرشدن این فضاها ساختارهای جالبی را شکل می‌دهد که دارای اطلاعات زیادی از چگونگی بازشدگی آنها می‌دهد، همچنین به طور غیرمستقیم اطلاعاتی از سیال در سنگ دیواره را نیز دربرمی‌گیرد. باتوجه به اینکه نمونه‌های برداشت‌شده از زون برشی قرخ‌یاشار بوده‌اند، لذا گسل اصلی منطقه که شامل قرخ‌یاشار و قوردیک می‌باشد، در تغییرشکل و ایجاد ساختارهای مرتبط که در ادامه آورده شده‌اند، نقش بسزایی داشته است.

شکل ۶، یک رگه کوارتزی را نشان می‌دهد که در آن چین‌خوردگی کلاس ۱ رمزی مشاهده می‌گردد. خطوط هم‌شیب به سمت داخل چین همگرا می‌باشند. در این رگه‌ها، گسترش ترک‌خوردگی در طول دیواره رگه شکل می‌گیرد به همین دلیل است که رشته‌ها نمی‌توانند در دیواره تشکیل شوند.



شکل ۴- نمودار تغییرشکل‌یافته فلین برای درزه‌های منطقه.
Fig. 4. Flinn diagram for fractures of the region.



شکل ۵- چین‌خوردگی مکرر مشاهده شده در منطقه، جهت دید عکس N078.
Fig. 5. Interference folding at the region, the view of photo: N078.

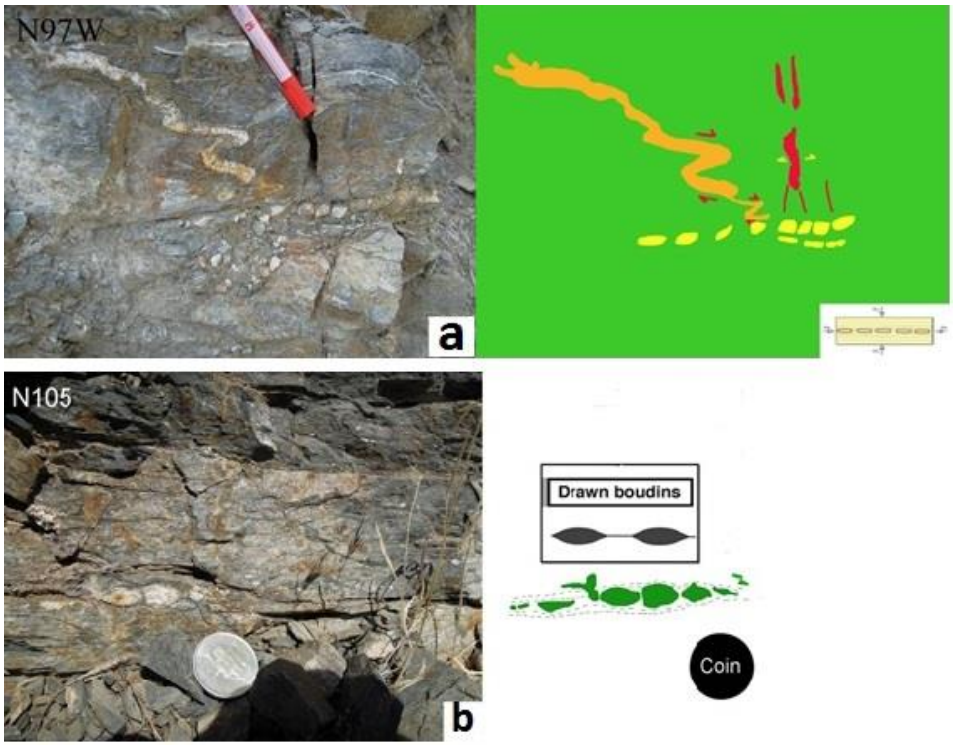
شکل ۶- رگه‌های آنتی تاکسیال شکل‌گرفته بین برگوارگی‌های شیست میلونیتی، جهت دید عکس N241.
Fig. 6. Antitaxial veins within the mylonite foliation, the view of photo: N241.

۴-۵- بودیناژ

بودیناژ عبارت است از قرارگیری لایه مقاوم بین لایه‌های با مقاومت کمتر و تأثیر نیروی تکتونیکی برروی آنها که در اثر آن، لایه‌های با مقاومت کمتر چین‌خورده یا قطعه‌قطعه شده و لایه مقاوم کشیده می‌شود. راستای عمود بر محور بودین‌ها، نشانگر راستای عملکرد تنش کششی بوده و در مورد بودین‌های چین‌خورده، حکایت از عملکرد تنش فشارشی پس از رویداد کشش در همان جهت می‌باشد. در بعضی مناطق، این چین‌ها به قدری کشیده می‌شوند که به صورت نوارهای چین‌خورده و گاهی بریده شده از هم در می‌آیند (Goscombe and Passchier, 2003). چین‌خوردگی و بودین در منطقه مورد مطالعه در بین لایه‌ها به صورت تصاویر زیر مشاهده می شوند (شکل ۷).

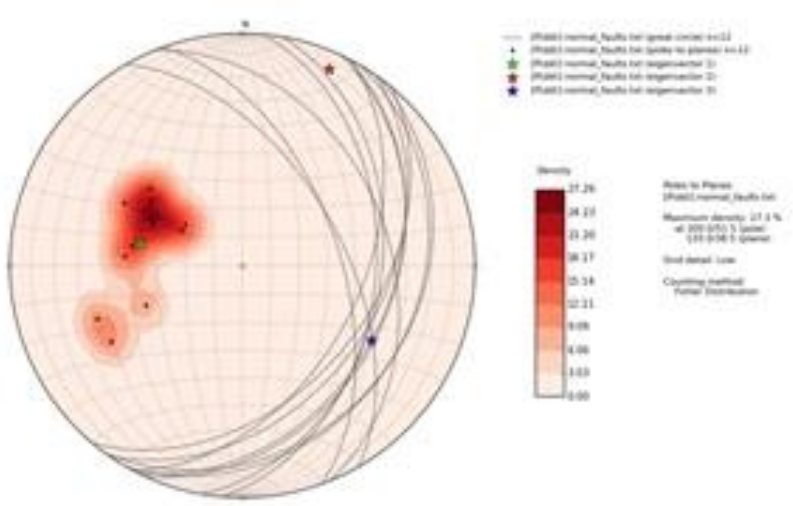
۴-۶- مطالعه فابریک زون برشی در مقیاس میکروسکوپی

برگوارگی‌هایی که در منطقه تحت عنوان برگوارگی میلونیتی شناخته می‌شوند برگوارگی ناپیوسته‌ای است که از پورفیروکلاست‌ها و لایه‌های متناوب و ترکیب متفاوت تشکیل شده است (شکل ۸). برگوارگی (S1) با راستای NNW و NW برگوارگی غالب در منطقه می‌باشد که در اکثر چین‌ها با یال موازی در چینه‌بندی اولیه به موازات سطح محوری به وجود آمده است. این برگوارگی‌ها در شیست‌ها و متابازیت‌های شمال‌باختری خوی مشاهده می‌شوند. در این سنگ‌ها برگوارگی‌ها اغلب به صورت فاصله‌دار (کلیواژ) بوده و اغلب جهت یافتگی منظمی را نشان می‌دهند. اما در بعضی مناطق به ویژه در منطقه قرخیاشار این برگوارگی‌ها چرخشی در جهت عقربه ساعت پیدا کرده‌اند و راستای NNE را به خود گرفته‌اند. برگوارگی (S2) به صورت کنگره‌ای در امتداد سطوح محوری در راستای NW قرار دارد و در بخشی از پهنه برشی مشاهده می‌شود. این نوع برگوارگی (S2) در دو راستای NW و NE قرار گرفته اما راستای غالب آن NW است و بر راستای برگوارگی (S1) منطبق است.



شکل ۷- (a) بودیناژ شکل گرفته در کنار چین‌خوردگی نامتقارن از نوع z شکل، سوی برش راستگرد، جهت دید عکس N097 و (b) بودیناژ شکل گرفته از کوارتز در آمفیبولیت-شیست میلونیتی در روستای قرخیاشار، محور بودین در جهت امتداد برگوارگی.

Fig. 7. (a) boudinage and z-form folding, right-lateral shearing, the view of photo: N097 and (b) quartz boudin in the amphibolite-schist of Gherkh Yashar, the axis of boudin is parallel with foliation.



شکل ۸- تصویر استریوگرافی از برگوارگی‌های میلونیتی مشاهده شده با روند NW-SE در منطقه.
Fig. 8. Stereographic of NW-SE mylonite foliation.

۴-۷- روابط رویهم چاپشدگی فولیاسیون

مراحل رویهم چاپشدگی فولیاسیون‌ها در منطقه قرخ‌یاشار، به شرح زیر است:

به طور کلی بر اساس نوع حرکت در پهنه برشی و ارتباط بین آنها با برگوارگی‌ها، سه نوع فاز دگرشکلی (S0، S1، S2) در منطقه مشخص شده است. اولین فاز دگرشکلی یا D1 که موجب فرورفتن سنگ‌ها در اعماق شده و در طی این امر چین‌های نسل اول و برگوارگی غالب S1 تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی در منطقه شکل گرفته‌اند. درحقیقت، مهمترین فاز دگرشکلی در منطقه همین فاز است. دومین فاز دگرشکلی زمانی ایجاد می‌شود که کانی‌ها در دمای بالا دچار دگرشکلی شوند. بنابراین دگرشکلی دوم عامل فابریک‌های سوار شده بر فابریک S1 است که دلیل این دگرشکلی، نیروهای ناشی از حرکت امتداد لغز گسل‌ها در راستای NNW است و این امر به توسعه فابریک‌های میلونیتی در گرانیت‌ها، متابازیت‌ها و شیست‌ها منجر شده است.

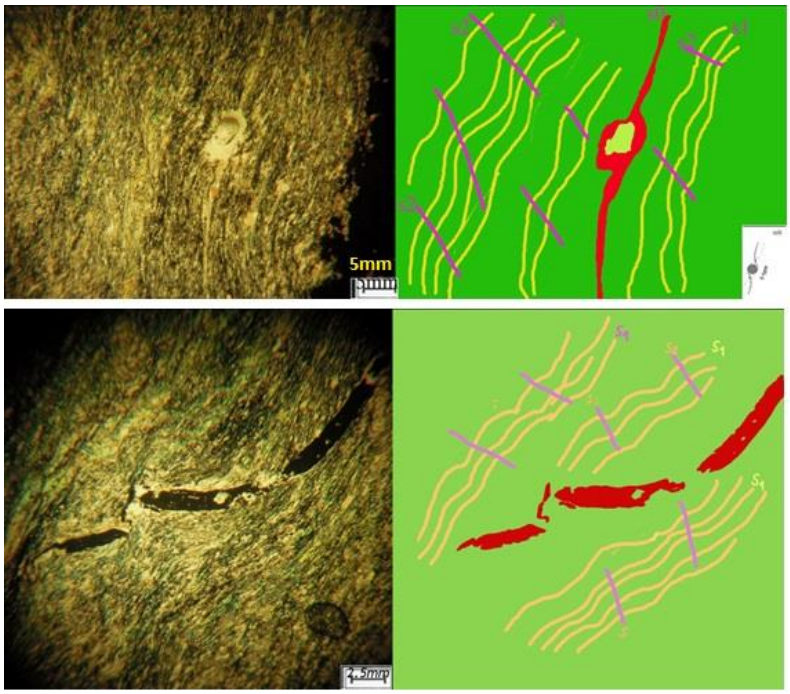
چنین به نظر می‌رسد که سومین فاز دگرشکلی در مراحل انتهایی چرخه در سنگ‌های دگرگونی شمال‌باختری خوی روی داده است که ساختارهای ناشی از فازهای دگرشکلی اول و دوم تحت تأثیر دگرشکلی شدید قرار گرفته و عامل این دگرشکلی‌ها، گسل‌های جوان در پهنه برشی شمال‌باختری خوی می‌باشد (شکل ۹).

۴-۸- ساختارهای S، C و C´

ساختارهای S-C در منطقه، اغلب در میکاشیست‌ها و شیست‌های میلونیتی گسترش دارند و مشخصه مناطق دارای واتنش بالا می‌باشد. درصورتی که تغییرشکل در منطقه برشی افزایش یابد، یک سری صفحات C ایجاد می‌شوند و با افزایش تنش، صفحات دیگری تحت عنوان صفحات S که دارای زاویه تقریباً ۴۵ درجه نسبت به صفحات C شکل است، قرار می‌گیرند. صفحات S را باندهای برشی نیز می‌نامند و همیشه جهت برش را نشان می‌دهند. همچنین این صفحات بیانگر شدت تغییر شکل و نوع برش است و با تکامل روند برش، تمایل صفحات S به سمت صفحات C کمتر و زاویه بین آنها کاهش می‌یابد. شکل ۱۰ ریزساختارهای از نوع C و S را در بلورهای میکاماهی در مقیاس میکروسکوپی نشان می‌دهد.

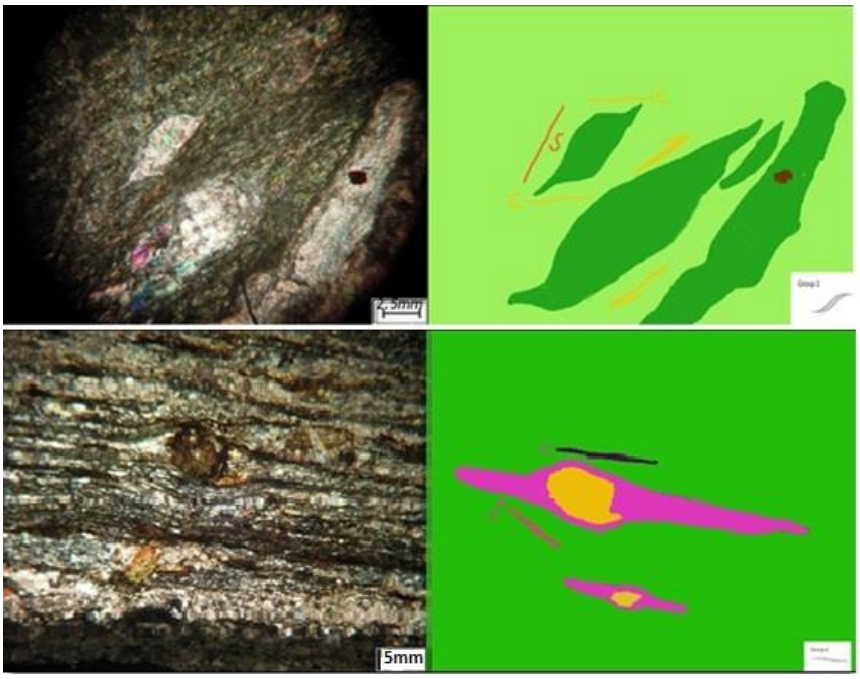
۴-۹- ریزساختارهای میکاماهی

ازجمله ریزساختارهای مشاهده شده در منطقه قرخ‌یاشار، ساختار میکاماهی است که برای تعیین نوع و جهت برش در منطقه به کار می‌رود. از ویژگی‌های بارز این نوع ساختار، وجود بلورهای ماهی‌گون و عدسی‌شکل و دارای جهت‌یافتگی ترجیحی می‌باشد و به دلیل تغییرشکل داخلی در بلورهای کانی‌ها شکل می‌گیرد و اغلب به صورت نامتقارن نسبت به برگوارگی میلونیتی قرار می‌گیرند. این ساختارها اغلب در مناطق برشی شکل‌پذیر حضور دارند. مکانیسم تغییرشکل در برگوارگی‌های میلونیتی به



شکل ۹- ریز ساختار $\boldsymbol{\delta}$ مشاهده شده به همراه تشکیل سه نسل از فولیاسیون میلونیتی در منطقه، پهنای دید ۵ میلی متر (تصویر بالا)، بودیناژ بیوتیت و تشکیل سه نسل دگرشکلی در فولیاسیون میلونیتی، پهنای دید ۲٫۵ میلی متر (تصویر پایین).

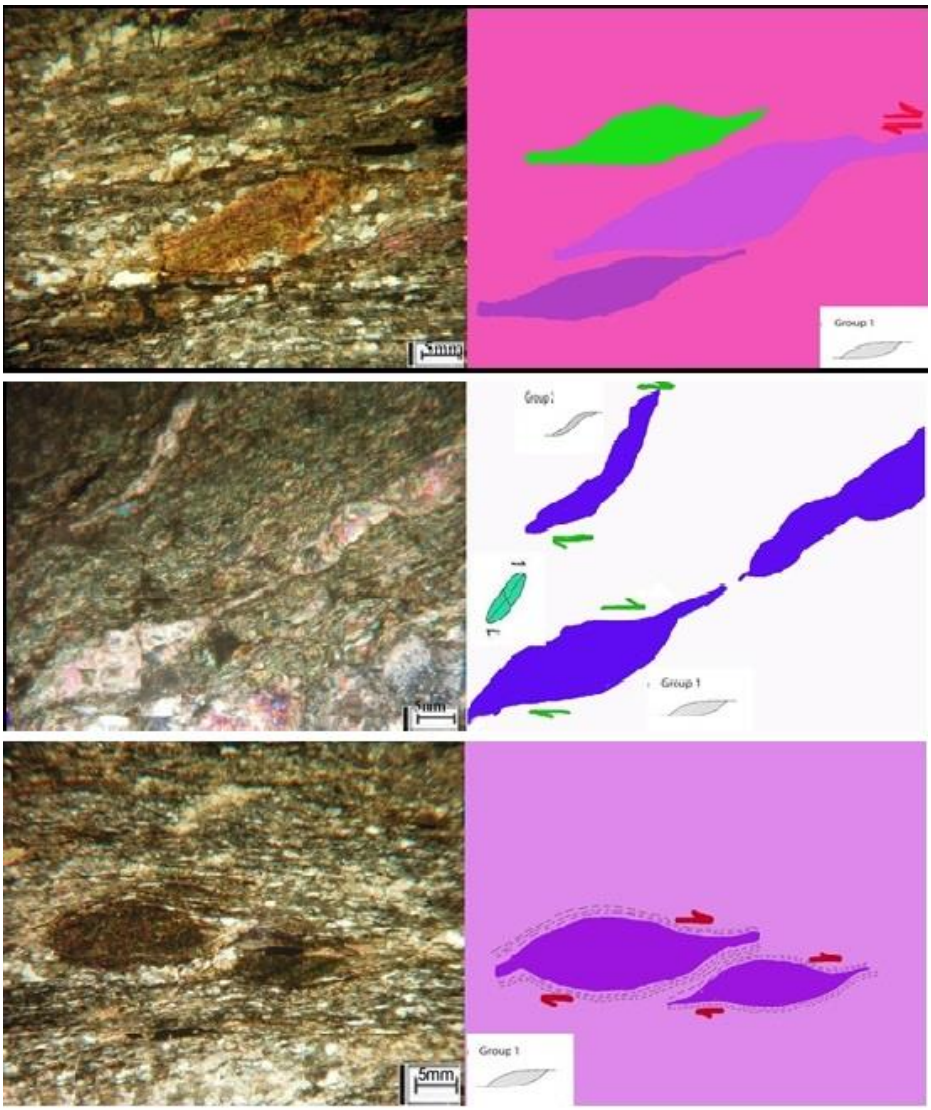
Fig. 9. The type structure with 3 generations of mylonite foliation in the region, view's width: 5mm Boudinage of biotite and formation of 3 stages deformation in mylonite, width of view: 2.5mm.



شکل۱۰- ریزساختارهای C و S مشاهده شده در منطقه، سوی برش راستگرد، پهنای دید ۲٫۵ میلی متر (تصویر بالا)، ریزساختارC و´C مشاهده شده در منطقه، پهنای دید ۵ میلی متر (تصویر پایین).

Fig. 10. The C and S microstructures, right-lateral, width of view: 2.5mm C and C´ structures in the region, Field of view = 5mm.

این صورت است که ابتدا براثر اعمال تنش و برش،کانی‌ها در یک جهت چرخش پیدا می‌کنند و کانی دچار کشیدگی می‌شود. در پهنه‌های برشی این کشیدگی افزایش می‌یابد به حدی که بیضوی استرین به حالت طویل شده‌ای تبدیل می‌شود. در این میان، کانی‌های مقاوم‌تر که پتانسیل کشیده شدن ندارند شروع به چرخش در بافت سنگ می‌کنند (Grotenhuis et al., 2003). در شکل ۱۱، دو نوع ساختار میکاماهی در منطقه در مقیاس میکروسکوپی بر روی مقطع‌نازک مشاهده می‌شود. میکاماهی گروه (۱) که دارای نقاط انتهایی کمی مایل و دارای خاموشی موجی می‌باشد و میکاماهی گروه (۲) کمی باریک تر از گروه (۱) بوده و دارای خمیدگی بیشتر در بخش انتهایی قسمت فوقانی است. میکاهای گروه (۱) و (۲) از چرخش به عقب از موقعیت اولیه خود موازی با برگوارگی قرار گرفته‌اند و به حالت مایل به وجود آمده‌اند و در نتیجه برطرف شدن بلورهای تجدید تبلور یافته یا حذف بخش‌هایی که به دلیل شرایط کاتاکلاستیک از آن پاره شده جدا می‌شوند. به نظر می رسد گروه (۲) از میکاماهی‌ها از تکامل گروه (۱) با کشیدگی در امتداد زون برشی در بخش لبه‌های بالایی و پایینی به وجود آمده‌اند.



شکل ۱۱- ریزساختار میکاماهی‌ها از نوع اول، سوی برش راستگرد و ریزساختار میکاماهی از نوع اول و دوم، سوی برش راستگرد، پهنای دید ۵ میلی‌متر.

Fig. 11. The first type of mica-fish, sinistral shear and the first and second types of mica-fish, right-lateral shear, Field of view = 5mm

۴-۱۰- دگرشکلی و تکتونیک

دگرشکلی پست‌تکتونیک یکی از ساختارهای مشاهده شده در مقیاس میکروسکوپی در منطقه می‌باشد که در تشخیص ساختارها در مراحل متوالی به عنوان یک روش سن‌یابی در تعیین زمان تشخیص ساختها و تبلور کانیها بیان می‌شود (شکل ۱۲).

۴-۱۱- رابطه زمانی بین تبلور و دگرشکلی

روشی که اهمیت فراوانی در تعیین زمان توالی ساخت‌ها در تکتونیک ساختاری دارد، روش سن‌یابی نسبی ساختارها است که زمان تشخیص آنها برمبنای زمان تبلور کانی‌های دگرگونی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌طورکلی تبلور کانی‌ها می تواند قبل، همزمان یا بعد از دگرشکلی باشد. این روابط زمانی به صورت زیر توصیف می‌شوند:

-دگرشکلی پری‌کریستالین (Pre- crystallin) یا به آن تبلور پیش‌تکتونیک گفته می‌شود.

-دگرشکلی پارا کریستالین (Para- crystallin) یا به آن تبلور سین‌تکتونیک (syn-tectonic) گفته می‌شود.

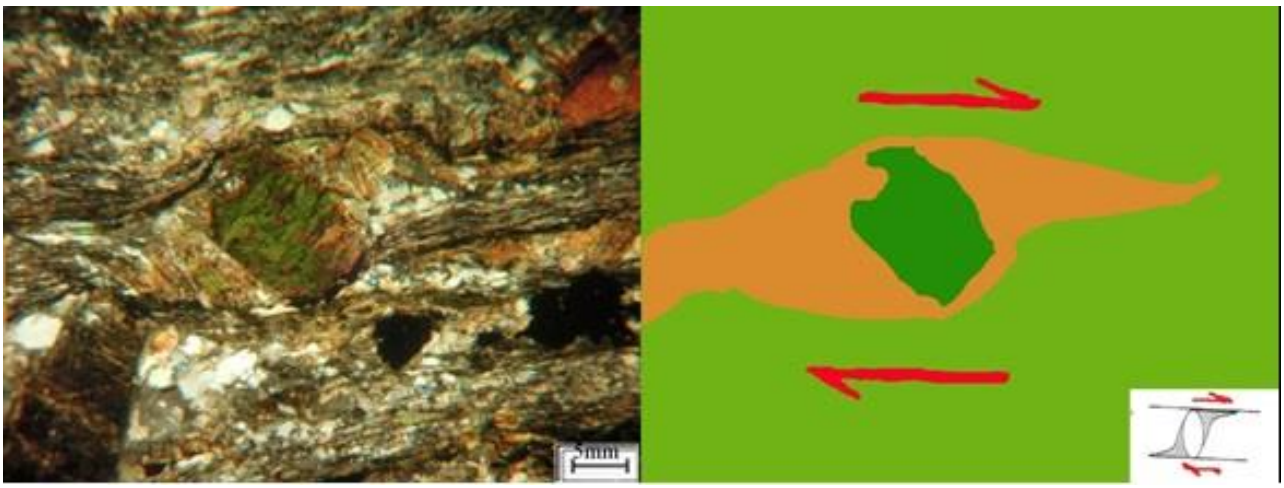
-دگرشکلی پست‌کریستالین (Post- crystallin) که به آن تبلور پست‌تکتونیک گفته می‌شود.

این اصطلاحات مبنی بر این است که یک رویداد تکتونیکی معین در یک دوره دگرشکلی خاص اتفاق می‌افتد.

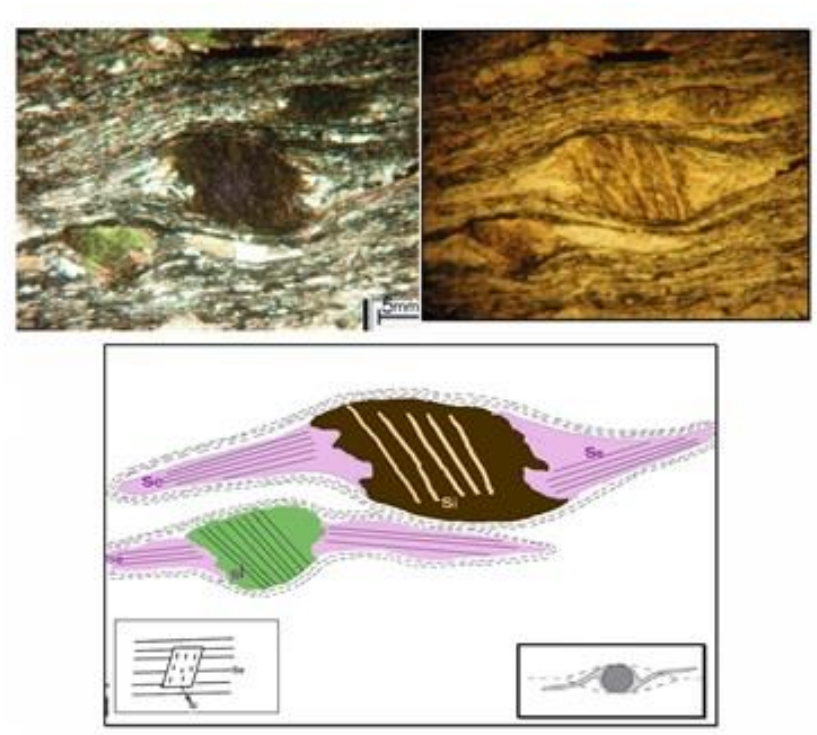
دگرشکلی (Pre- crystallin) حالتی است که در آن پورفیروبلاست‌ها گاهی موازی کلیواژ کم و بیش مستقیم زمینه را از خود نشان می‌دهد و کلیواژ های داخلی و خارجی در اطراف هیچگونه انحرافی از خود نشان نمی‌دهند.

در دگرشکلی سین‌تکتونیک به گونه‌ای است که تبلور پورفیروبلاست‌ها پس از توسعه کلیواژ بوده است و به طریق مشابهی در پورفیروبلاست‌های یک سنگ معین در یک کلیواژ چین‌خورده و رشد کرده‌اند و به‌طور موج‌دار از داخل آن عبور می کند و از همان چین‌خوردگی تبعیت می‌کنند.

در دگرشکلی پست‌تکتونیک باپیدایش ورقه‌های واتنش ندیده یا دچار استرین نشده، کانی‌ها با زاویه تندی نسبت به شیستوزیته قرار گرفته‌اند. شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵، دارای دو نسل برگوارگی بوده پورفیروکلاست پوششی (δ) را نشان می‌دهد، که بلور بیوتیت بر روی پورفیروکلاست پوششی از نوع کوارتز قرار گرفته و دچار چرخش شده است و دگرشکلی پست‌تکتونیک را ایجاد کرده است. همچنین کوارتز نسبت به فابریک زمینه دچار دگرشکلی (Pre- tectonic) شده است. توضیحات تکمیلی در زیر اشکال آورده شده است.

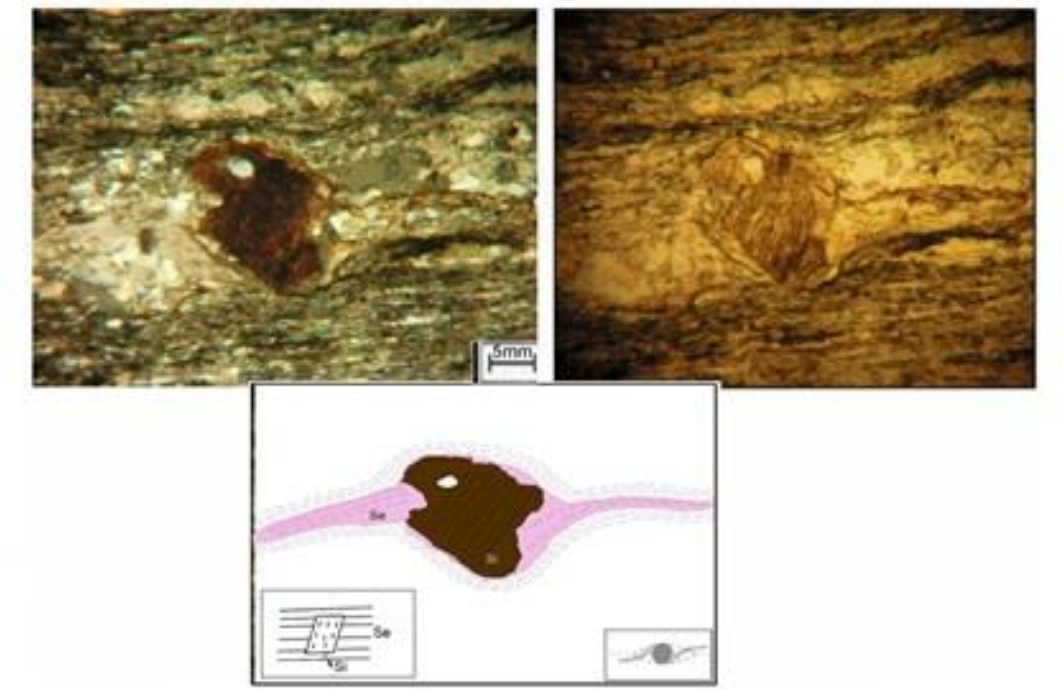


شکل ۱۲- دگرشکلی پست‌تکتونیک مشاهده شده در بلورهای بیوتیت همراه با چرخش بر روی پورفیروکلاست سیگموئیدال.
Fig. 12. Post-tectonic deformation observed in biotite with rotation on sigmoidal porphyroclast.



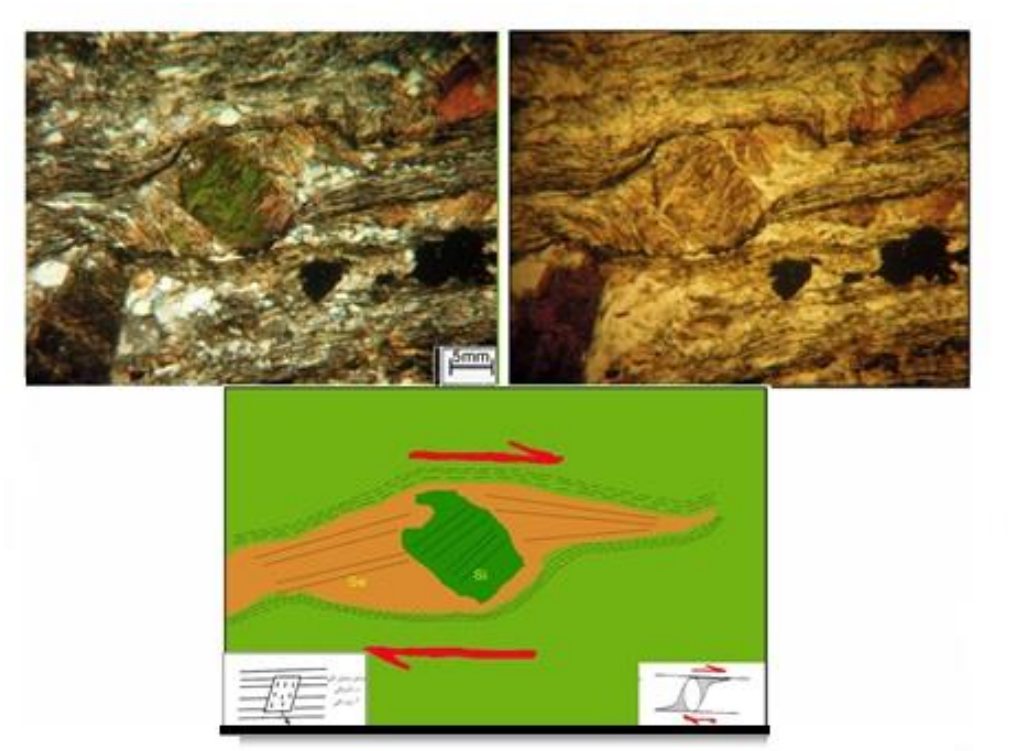
شکل ۱۳- پورفیروکلاست پوششی از نوع (**δ**)، جهت برش راستگرد، بلور کوارتز نسبت به فابریک زمینه دگرشکی (Pre- tectonic) و بلور بیوتیت نسبت به پورفیروکلاست کوارتز دچار دگرشکلی پست‌تکتونیک شده است (پهنای دید ۵ میلی متر).

Fig. 13. Mantled porphyroclast type (**δ**), sinistral shear direction, quartz compared to pre-tectonic fabric and biotite has undergone post-tectonic deformation (Field of view = 5mm).



شکل ۱۴- پورفیروکلاست پوششی از نوع (**δ**) و تشکیل دو نسل برگوارگی میلونیتی بر روی آن، جهت برش راستگرد، پهنای دید ۵ میلی‌متر.

Fig. 14. Mantled porphyroclast of (**δ**) type and the formation of two generations of mylonite foliation on it, sinistral shear direction, Field of view = 5mm.



شکل ۱۵- پورفیروکلاست پوششی از نوع (σ) و تشکیل دو نسل برگوارگی میلونیتی بر روی آن، جهت برش راستگرد، پهنای دید عکس ۵ میلی‌متر.
Fig. 15. Mantled porphyroclast of (σ) type and the formation of two generations of mylonitic foliation on it, sinistral shear direction. Field of view = 5mm.

۵-نتیجه‌گیری

به‌طورکلی از مهمترین اهداف مطالعه ساختارها در پهنه برشی؛ تعیین نوع تنش، نوع دگرشکلی، جهت برش و میزان لغزش (حرکت نسبی) می‌باشد. منطقه قرخ‌یاشار در شمال‌باختری خوی، در زون برشی شکنا- شکل‌پذیر واقع شده که وجود شکستگی‌ها و چین‌خوردگی‌های فراوان و همچنین وجود نشانگرهای جنبشی، از جمله ویژگی‌های بارز آن می‌باشد. حضور فابریک‌های ساختاری که به عنوان نشانگرهای جنبشی می‌باشند، تعیین‌کننده نوع برش بوده و نشانگر تأثیر دگریختی برشی در شرایط شکل‌پذیر می‌باشد. وجود این نوع ساختارها و کشیدگی پورفیروکلاست‌ها حاکی از وجود واتنش بالا و قرارگیری منطقه در زون برشی می‌باشد. با توجه به همبستگی بین برگوارگی‌ها، فرآیند چنددگرشکلی در منطقه، ناشی از فشرده شدن آن بین دو ورقه عربی و بلوک البرزغربی و آذربایجان می‌باشد. همچنین مؤلفه امتدادلغز گسل‌ها در منطقه منجر به توسعه فابریک‌های میلونیتی شده است. در این منطقه فابریک‌های برشی توسط گسل‌ها قطع شده است و این امر دلیلی بر جوان بودن ساختارهای شکنا بر ساختارهای شکل‌پذیر است. به‌طورکلی گسل‌های منطقه در دو راستای شمال‌خاوری-جنوب‌باختری (گسل خانقاه) و شمال‌باختری-جنوب‌خاوری (گسل‌های قرخ‌یاشار، گلوانس و قوردیک) مشاهده می‌شوند.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه به دلیل حمایت از تحقیق حاضر، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

Azimzadeh, F., Behyari, M., 2021. Structures affecting the development of variations related to chromite deposits in Khoy ophiolites, northwest Iran. The 13th National Geological Conference of Payam Noor University, Karaj, Iran.

Fossen, H., Tikoff, B., 1998. Extended models of transpression and transtension and application to tectonic setting. Journal of structural Geology 15, 413-422. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.135.01.02

Goscombe, B., Passchier, C.W., 2003. Asymmetric boudins as shear sense indicators an assessment from field data. Journal of structural Geology 25, 575-589. https://doi.org/10.1016/S0191-8141(02)00045-7

Grotenhuis, S.M, Trouw, R.A.J., Passchier, C.W., 2003. Evolution of mica fish in mylonitic rocks. Tectonophysics 372, 1-11. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00231-2

Haji Hosseinlou, H., 2012. Analysis of shear zone in North Khoi. Doctoral thesis, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran.

Haji Hosseinlou, H., 2015. Petrofabric. Publications of Islamic Azad University, Khoy Branch, 301p.Neves, S.P., Tommasi, A., Vauchez, A., Carrino, T.A., 2021. The Borborema strike-slip shear zone system (NE Brazil): large-scale international strain localization in a heterogeneous plate. Lithosphere 2021, 6407232**.** https://doi.org/10.2113/2021/6407232

Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2005. Microtectonics, 2nd, Revised and Enlarged Edition, Springer, 371 P.

Radfar, J., Amini, B., Ba hrudi, A., Khalatbari, M., Emami, H., Behermand, M., 2008. Geological map of Khoy, Geological and Mineral Exploration Survey.Raghaghi Gargari, J., Solghi, A., Arian, M., 2018. Tectonic evolution of the Khoy ophiolitic complex, NW Iranian. Journal of Earth Sciences 10, 20-30.

Selgi, A., Haji Hosseinlou, H., 2018. Tectonics of shear zones. Publications of Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, 176p.

Trouw, R.A.J., Passchier, C.W., Wiersma, D.J., 2010. Atlas of Mylonites and Related microstructures. Springer, Heidelberg, 322 P.

Twiss, R.J., Moores, E.M., 2007. Structural Geology. W.H. Freeman and Company. 532 P. https://doi.org/10.1017/S0016756808004627