

Research Article

## Shear structures study in Along the Hesar-Kuchok fault zone, southwest Khoy

Hassan Haji Hosseinlou<sup>1\*</sup>, Mohammad Alizadeh Moghaddam<sup>2</sup>

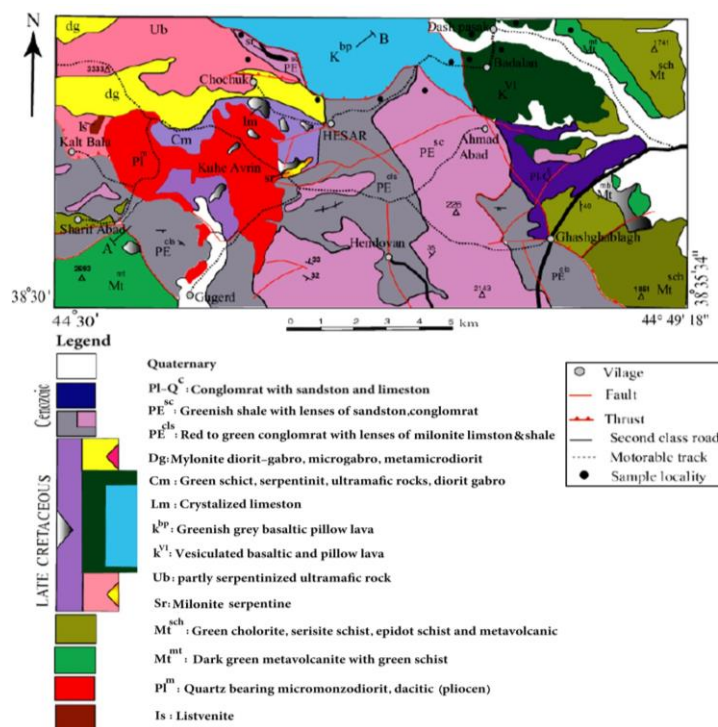
1-Assistant Professor Tectonics Department of Geology, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran

2-Department of geology, Khoy branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran

**Keywords:** Shear structures study, Hesar-Kuchok fault zone, Shear sense indicators, Deformation mechanism, Transpression tectonic regime.

### 1- Introduction

The Hesar-Kuchok area is located between  $38^{\circ} 35' 34''$  -  $38^{\circ} 30'$  north and  $44^{\circ} 35' 34''$  -  $34^{\circ} 30'$  east in northwestern Iran, approximately 45 km south west of Khoy. Hesar-Kuchok fault zone (HKFZ) is a part of Khoy melange ophiolite which is located in the northwest of Iran. Exposed rocks in the study area mainly consist of mica schist, green schist, crystalline limestone, mylonitic gabbros-diorite, mylonitic limestone, deformed shale, and mylonitic gabbros-granite rocks (Fig. 1). This study introduce the geometry and kinematic characteristics of deformed rocks in the HKFZ area and covers the fabrics in metamorphic and ophiolitic complexes to find out the structure, shear fabrics and shear sense indicators of the complexes. We believe that fabric study of the area metamorphic- ophiolitic complex is necessary to get tectonic model of the Neo-Tethys closure in NW Iran. The most basic method to determine sense of shear is to use the displacement of marker features over a shear zone.



\* Corresponding author: Ha.Haji@iau.ac.ir

Fig.1. Geological map of the study area

## 2-Material and methods

In field studies, the desired structural samples were taken in the designated sections. In microstructural studies, about 120 directional thin sections were prepared from all rocks in the study area, and for the preparation of directional thin sections, we had parallel shear with stretching lineation and perpendicular to mylonitic foliation. The reason for sampling the rocks of the region is to determine the metamorphic conditions in deformation phases and shear direction in the sections (Haji Hosseinlou, 2015). In order to investigate kinetics of the study area, the obtained results were combined with the structural status of each sample and field sampling. Laboratory studies have been conducted to investigate the relationship between crystallization of some minerals and deformation, deformation mechanisms and shear sense indicators. The stages of deformation have been separated in different units using field evidence and microscopic studies and according to the texture in the rocks and the relationship of porphyroclasts and mineral fish with the existing foliation, the relationship between stages of deformation and stages of metamorphism has been interpreted.

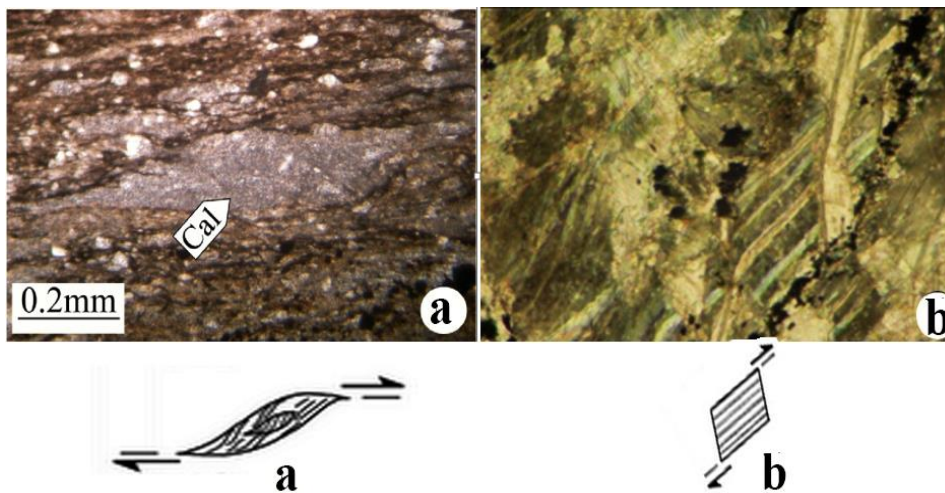


Fig.2. (a) sigmoid shaped calcite fish in the study area and (b) parallelogram-shaped plagioclase fish in the Hesar-Kuchok area, Section parallel to the stretching lineation and normal to the foliation. Shear sense in all photographs is dextral, CPL.

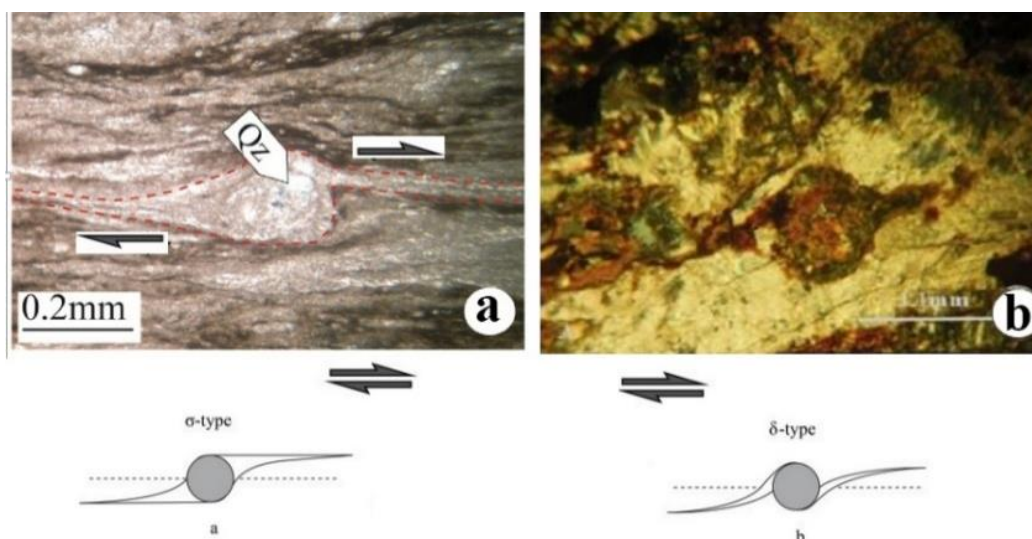


Fig. 3. (a) Mylonitic limestone with a  $\sigma$  type mantled porphyroclast (centre) in Hesar- Kuchok area, often mantled porphyroclasts show stair-step, and (b) Mylonitic schist with a  $\delta$  type mantled porphyroclast (centre) in Hesar- Kuchok

area. Quartz ribbons can be seen above the porphyroclast. Section parallel to the stretching lineation and normal to the foliation. Shear sense in all photographs is dextral, CPL.

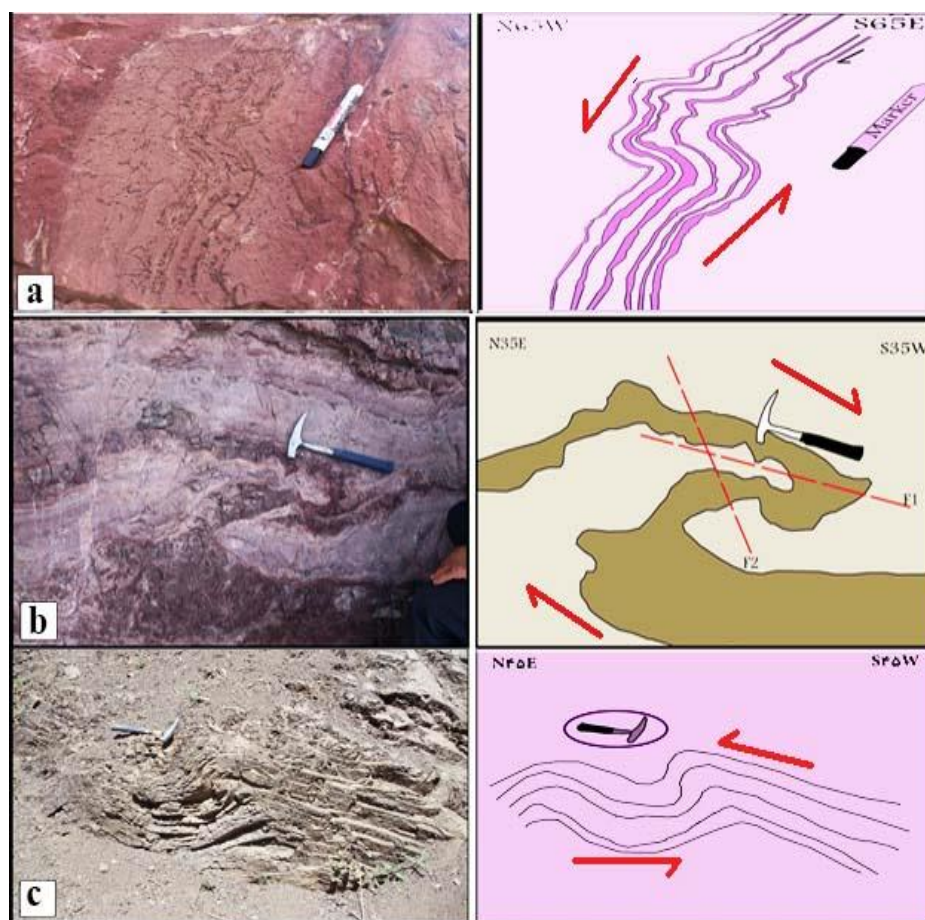


Fig.4. (a) S-shaped drag folding in mylonitic limestone rocks in near of the Hesar- Kuchok fault zone, lateral shear sense, (b) Z-shaped drag folding in chert veins in the study area, dextral shear sense ,and (C) S-shaped folding foliations in the Hesar area, lateral shear sense.

### 3-Results and discussions

The area ophiolite complex, a stack of tectonically emplaced thrust sheets, occurs at the northeastern edge of the Sanandaj-Sirjan block, in northwestern Iran. Amphibolites occur at the highest structural levels above ultramafic rocks which lie above thrust sheets of basalt. Radiolarian chert, sedimentary mélangé, limestone, and pelite occur at the lowest structural levels, in the southwestern part of the allochthon, near the border with Turkey. Amphibolite-facies mylonite defines the shear zones between the higher thrust sheets, with lineations representing reverse sense of motion along northeast-dipping C-foliation. Greenschist facies, foliated serpentinite cataclasite and fault breccia represent the low-temperature shear zones in the lower structural levels, and the sole thrust of the ophiolite complex. We constructed the structural contours for the contacts between the thrust sheets, and calculated the attitude of the thrusts. The contact between the ultramafic rocks and the amphibolites dips moderately to the northeast, subparallel to the field measured, dominant mylonitic foliation along this contact. The results of field data of mylonitic and cataclastic fabric supports the idea that the ophiolite complex was assembled in a SW-NE directed subhorizontal contraction above a northeast-dipping subduction zone.

### 4-Conclusion

The most important deformation mechanism including foliation, S-C fabrics, dynamic recrystallization, Mica fish, Z drag folds, Mantled porphyroclasts throughout the field area indicate dextral deformation.

Along with fault zones, a number of major mylonite and/or high strain zones occur in the form of ductile shear zone, each up to few hundred long and several meters wide. The most reliable shear sense markers in high grade shear zones are shear bands, mineral fish, mantled porphyroclasts, sigmoid and asymmetric bounding. There are many shear structures in this area. According to the information obtained from the studies of shear structures along the Hesar-Kouchok fault zone (HKFZ), it was found that the resulting structures are both high temperature and low temperature, so that the most important shear sense markers high temperatures include S-C shear bands, mineral fish (Fig. 2), elongated feldspar bands,  $\delta$ -type mantle porphyroclasts (Fig. 3b), sigmoids and asymmetric boudins, (Passchier and Coelho, 2006). The most important shear sense markers in low grade shear zones are  $\sigma$ -type mantle porphyroclasts (Fig. 4a), undulose extinction at quartz (Trouw et al., 2010). The presence shear sense indicators such as  $\delta$ -type mantle porphyroclasts, S-C fabrics and mineral fish indicate strong strike-slip movements in the region. Also, the observation of the HKFZ indicates thrusting in this area. Shear sense indicators such as S/C fabrics, shear bands, shear folds (Fig. 4), fishes and mantled porphyroclasts indicate that the area deformed via dextral transpression tectonic regime.

### References

- Haji Hosseinlou, H., (2015). Kinematics of Transpressional Deformation in Urmia Fault Zone, (Northwest Iran). *Iranian Journal of Earth Sciences* 7, 59-67.
- Passchier, C.W., Coelho, S., 2006. An outline of shear-sense analysis in high-grade rocks. *Gondwana Research* 10, 66–76. <https://doi/10.1016/j.gr.2005.11.016>
- Trouw, T.R.A., Rudolph, A.J., Passchier, C.W., Wiersma, D.J., 2010. *Atlas of Mylonites- and related. micros structures.* Springer, P. 322.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Haji Hosseinlou, H., Alizadeh Moghaddam, M., 2023. Shear structures study in Along the Hesar-Kuchok fault zone, southwest Khoy. *Adv. Appl. Geol.* 13(2), 556-575.

DOI: 10.22055/aag.2022.39411.2262

URL: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_18305.html](https://aag.scu.ac.ir/article_18305.html)

©2023 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

## مطالعه ساختارهای برشی در طول پهنه ی گسلی حصار - کوچوک، جنوب غرب خوی

حسن حاجی حسینلو\*

گروه زمین شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران

محمد محمد علیزاده مقدم

گروه زمین شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران

Ha.Haji@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۳

### چکیده

منطقه حصار - کوچوک ما بین طول جغرافیایی ۴۴° ۳۰' تا ۴۴° ۳۵' ۳۴" شمالی و عرض جغرافیایی ۳۸° ۳۰' تا ۳۸° ۳۵' ۳۴" شرقی در شمال غربی ایران، تقریباً در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی خوی قرار داد. منطقه حصار - کوچوک در بخشی از افیولیت ملانژ خوی واقع شده است. در این منطقه ساختارهای برشی فراوانی وجود دارد که با توجه به اطلاعات حاصله از مطالعات ساختارهای برشی در طول پهنه گسلی حصار - کوچوک مشخص شد که ساختارهای حاصله هم از نوع دمای بالا و هم از نوع دمای پایین می باشند به طوری که از مهم ترین نشانگرهای سوی برش دمای بالا می توان به باندهای برشی S-C، کشیدگی و نواری شدن فلدسپارها، پورفیروکلاستهای گوشته‌ای از نوع  $\delta$  شکل، بودین‌های سیگموئیدال و نامتقارن اشاره کرد. از مهم ترین نشانگرهای سوی برش دمای پایین در این منطقه می توان پورفیروکلاستهای گوشته‌ای از نوع  $\sigma$  شکل در میلونیت‌های منطقه، خرد شدن دینامیکی فلدسپار و کوارتز، خاموشی موجی در کوارتز اشاره کرد. مدل پیشنهادی منطقه مورد پژوهش از نوع رژیم تکتونیکی امتدادلغز-فشارشی راست بر است. وجود نشانگرهای سوی برش همانند پورفیروکلاستهای گوشته‌ای  $\delta$  شکل، باندهای برشی C-S و بلورهای ماهی-گون حرکات امتدادلغز شدیدی را در منطقه نمایان می کنند و همچنین مشاهده زون گسلی حصار- کوچوک بیان گر راندگی در این منطقه می باشد.

**واژه‌های کلیدی:** مطالعه ساختارهای برشی، زون گسل حصار- کوچوک، نشانگرهای سوی برش، مکانیسم های دگرشکلی، رژیم تکتونیکی امتدادلغز-فشارشی

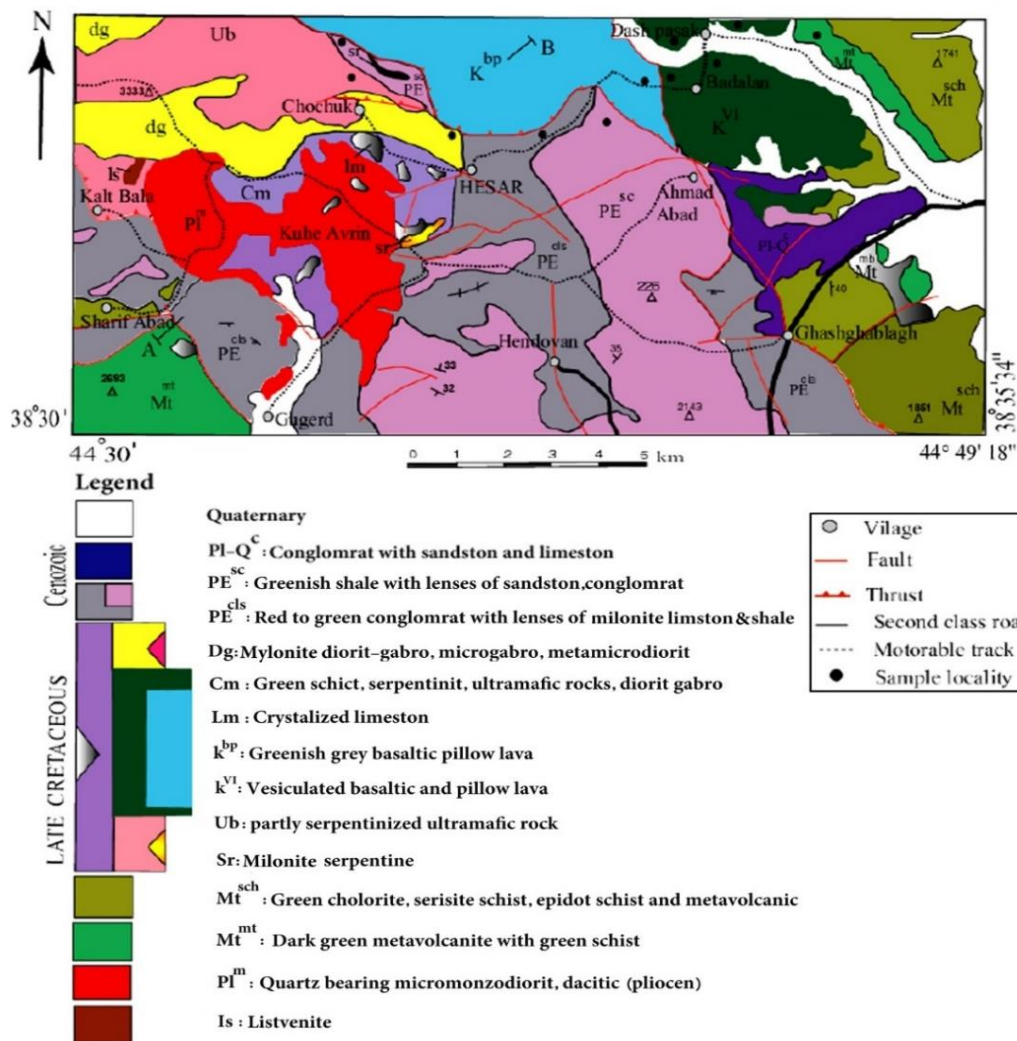
### ۱- مقدمه

برش را تعیین کرد. ساختارهای برشی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه عبارتند از: چین خوردگی‌های برشی (از نوع Z و S)، رگه‌های پوششی، گسل‌ها، رگه‌های بودین شده، خط‌وارگی-ها، خاموشی موجی، میکاماهی، حاشیه‌های واکنشی، پورفیروکلاست‌های پوششی، رگه‌های سیگموئیدال و میکروبودین‌های نامتقارن. علاوه بر برداشت ویژگی های این ساختارها به ارتباط آنها با یکدیگر و ارتباط واحدهای سنگی محل قراگیری ساختارهای برشی نیز توجه شده است.

### ۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

مطالعات صحرایی از منطقه و همچنین اطلاعات حاصل از نقشه-های زمین شناسی و داده‌های میکروسکوپی به شناسایی واحدهای چین‌شناسی زیر منجر شد (شکل ۱).

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی شهرستان خوی بین طول‌های جغرافیایی ۳۰° ۳۴' تا ۳۵° ۳۴' ۴۴" شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° ۳۸' تا ۳۵° ۳۴' ۳۸" شمالی قرار گرفته است و طبق تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری ایران (Ghasemi et al., 2005) بخشی از زون افیولیت ملانژ خوی می باشد که در حوالی کوه اورین قرار گرفته است. تعیین جهت برش در مناطق برشی در ساختارهای برشی ابزارهای مهمی در بررسی‌های ساختاری نواحی دگرریخت شده می باشد. استفاده از شاخص‌های جنبشی می توان جهت حرکت پهنه‌های برشی را تعیین کرد. شاخص-های جنبشی در واکنش غیرهم محور ایجاد می شوند و شامل انواعی از ساختارها، ریزساختارها و فابریک‌ها می باشند. حتی با استفاده از این شاخص‌ها می توان مناطقی که نسبت به نشانگرهای جابه‌جایی، معکوس، نرمال و امتدادلغز هستند جهت



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه  
Fig.1. Geological map of the study area

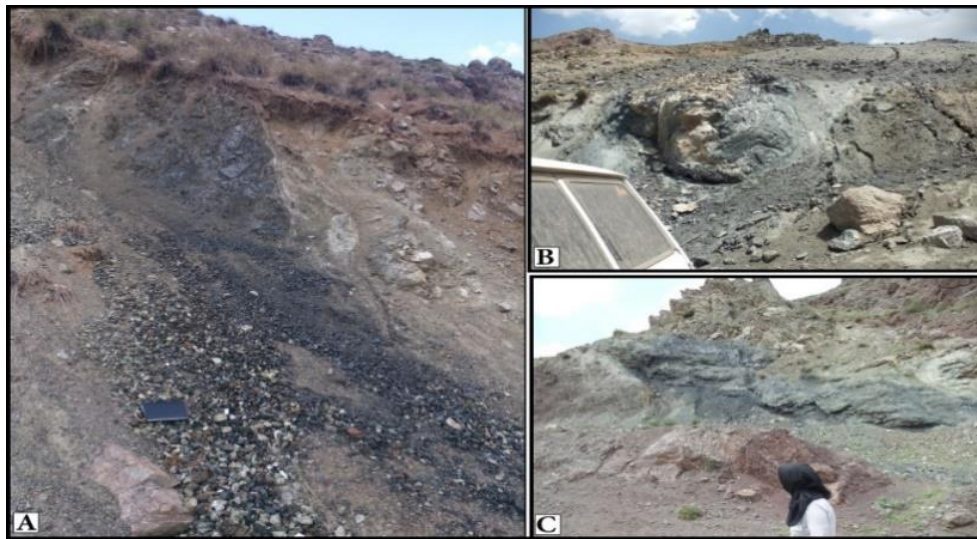
## ۱-۲- واحد اولترامافیک

این واحد، شامل سنگ های پریدوتیتی تا حدودی سرپانتینی شده است که به صورت تپه ماهورهای کم ارتفاعی در نزدیکی روستای کوچوک رخنمون دارند. این واحد در کنتاکت گسلی با واحدهای صخره ساز دیوریت - گابرو قرار گرفته است. با توجه به اینکه پریدوتیت ها دارای کانی های مافیک می باشند سیاه رنگ هستند ولی به دلیل سرپانتینی شدن، در بیشتر قسمت ها به رنگ سبز مشاهده می شوند. در نمونه های دستی رنگ آن ها بسته به درصد سرپانتینی شدن متفاوت است. سنگ های سرپانتینی در میان رسوبات آهک در نزدیکی روستای حصار وجود دارد که به صورت توده بزرگی رخنمون دارد (شکل ۲).

## ۲-۲- واحد آهک پلاژیک میلونیتی، جریان های گدازه

### بازالتی

تناوبی از آهک، بازالت و چرت در قسمت هایی از منطقه مشاهده می شود. سنگ های آهکی این واحد، به رنگ صورتی و قرمز و تا حدودی سیلیسی بوده و رگه های کلسیت سفیدرنگ و یا چرت آن ها را قطع کرده است. گدازه های بازالتی داخل این واحد از نوع بازالت، با بافت حفره ای و در برخی موارد با ساخت بالشی است. کانی های ثانوی مانند کلسیت، اپیدوت و کلریت درون حفرات را پر کرده است. چرت ها به صورت رگه هایی از لابه لای واحدهای بازالتی عبور کرده اند. در واحدهای آهک پلاژیک چین خوردگی های بزرگ و کوچک در روی آهک ها وجود دارد که ساختارهای بسیار زیبایی ایجاد کرده اند در بعضی جاها با جابه جایی همراه هستند که ناشی از گسل است (شکل ۳).



شکل ۲- (a) پریدوتیت در منطقه کوچوک و (b) و (c) سرپانتین موجود در منطقه حصار  
Fig.2. (a) peridotite in the Kuchok area and (b) and (c) serpentine in the Kuchok area

### ۳-۲- دیوریت - گابرو میلونیتی

این واحد در قسمت‌های غربی محدوده مورد مطالعه و نزدیکی روستای کوچوک قرار دارد و اغلب سنگ‌های فوق‌بازیک و در برخی موارد، شیست‌های سبز کرتاسه پسین را قطع کرده است. سن آن‌ها کرتاسه پسین- پالئوسن است (Radfar et al., 2002) و بخشی از مجموعه افیولیتی محسوب می‌شود که به رنگ خاکستری نسبتاً تیره متمایل به سبز و صخره‌ساز بوده و نسبت به سنگ‌های فوق‌بازیک، روشن‌تر و صخره‌سازتر نمایان هستند (شکل ۴).

### ۳-۳ روش پژوهش

طی پژوهش‌های صحرایی برداشت‌های ساختاری مورد نظر در برش‌های تعیین شده انجام گرفت. برای انجام پژوهش‌های ریزساختاری از تمام سنگ‌های منطقه مورد مطالعه حدود ۱۰۰ مقطع نازک جهت دار تهیه گردید و برای تهیه مقاطع نازک جهت‌دار، برش موازی با خطوارگی کششی و عمود بر برگوارگی میلونیتی انجام گرفت. دلیل نمونه‌برداری از سنگ‌های منطقه، تعیین شرایط دگرگونی در فازهای دگرشکلی و تعیین جهت برش در مقاطع می‌باشد. به منظور بررسی جنبشی منطقه بررسی شده، نتایج حاصل با وضعیت ساختاری هر نمونه و برداشت‌های صحرایی ترکیب شد. مطالعات آزمایشگاهی شامل بررسی ارتباط تبلور برخی از کانی‌ها با دگرریختی، سازوکارهای دگرریختی و شاخص‌های سوی برش بوده است. تفکیک مراحل دگرریختی در واحدهای مختلف با بهره‌گیری از شواهد

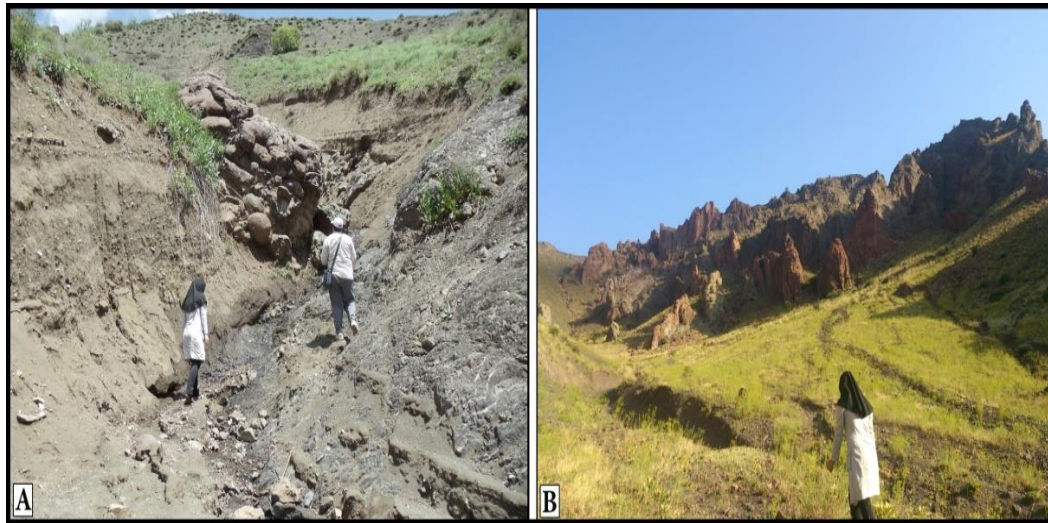
صحرایی و مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته است.

### ۴- تحلیل و نتایج

#### ۴-۱- بررسی گسل خوردگی در منطقه مورد مطالعه

گسل‌ها را می‌توان مهم‌ترین ساختارهای موجود در محدوده مورد پژوهش به شمار آورد. با توجه به شواهد روی زمین و نقشه گسل‌های منطقه با استفاده از اطلاعات رقومی ماهواره‌ای TM، عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و مطالعات صحرایی ترسیم شده است. در نقشه‌ی گسل‌ها سه زون معرفی شده است که زون گسلی خوی، زون گسلی زرآباد و زون گسلی حصار-کوچوک (شکل ۵).

زون گسلی زرآباد و خوی را توسط Haji Hosseinlou (۲۰۱۹) به طور کامل توضیح داده شده است. اما در این مطالعه، معرفی ساختارهای برشی روی زون گسلی حصار - کوچوک انجام دادیم. در زون گسلی حصار- کوچوک، بیشتر گسل‌ها دارای مکانیسم راندگی می‌باشند. همچنین گسل‌های راستالغز و عادی نیز به صورت محلی دیده می‌شوند (شکل ۶). در منطقه حصار-کوچوک رخنمون‌های نزدیک به گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌های پرشماری یافته است. در این منطقه با مطالعات و بررسی‌های صحرایی انجام شده در روی گسل حصار-کوچوک، جابه‌جایی راستالغز چپ‌گرد در واحدهای سنگی اطراف این گسل را نشان می‌دهد.



شکل ۳- (a) گدازه‌های بالشی بازالتی در منطقه حصار و (b) آهک پلازیک قرمز در منطقه حصار  
Fig.3. (a) Pillow structures in the Hesar area and (b) red pelagic limestone in the Hesar area



شکل ۴- دیوریت- گابرو میلونیتی در منطقه کوچوک  
Fig.4. mylonitic diorite-gabbro in the Kuchok area

گسل حصار - کوچوک خش‌های گسلی در روی آینه گسلی دیده می‌شود که موقعیت میانگین این خش‌ها ( $N45^{\circ}E/38^{\circ}$  میل - روند) می‌باشد که یک جهت لغزش راست‌الغز راست‌بر با مولفه راندگی را نشان می‌دهد پس از انجام آنالیز بر روی داده-های اندازه‌گیری شده در این منطقه، متوسط رژیم تنش به دست آمده حاکی از آن است که رژیم زمین‌ساختی غالب از نوع امتداد‌لغز بوده که با سوی لغزش مشاهده شده در اغلب سطوح برشی همخوانی دارد. روند تنش بیشینه و کمینه در این

عملکرد این گسل در منطقه مورد مطالعه موجب رانده شدن گدازه‌های بالشی بر روی نهشته‌های شیلی، کنگلومراهای پالئوسن - ائوسن و همچنین موجب رانده شدن سنگ‌های اولترابازیک و سنگ‌های دگرگونی بر روی سنگ‌های پالئوسن گشته است. با این وجود در امتداد این گسل‌ها می‌توان آثار فعالیت گسل خوردگی معکوس جوان‌تر را در واحدهای سنگی منطقه مشاهده کرد. موقعیت فضایی (شیب - امتداد) گسل حصار - کوچوک  $N65^{\circ}W/45^{\circ}NE$  است. در سطوح برشی



برشی شکل پذیر در اثر تحمیل یک برش ساده ناهمگن پدید می آید و در طول برش ساده به تدریج ممکن است محور چین-ها به طور انفعالی رفتار کند و به جهت برش چرخش نماید و در دگرشکل های زیاد با سوی برش موازی شود (Haji Hosseinlou, 2020). چین خوردگی های منطقه حصار - کوچوک به خاطر شرایط فیزیکی و شیمیایی بیشتر در سنگ-های دگرگونی منطقه مورد مطالعه ایجاد شده اند و با تجزیه و بررسی برگ وارگی ها و خطوطارگی های ناحیه مشخص شد که وضعیت هندسی این عناصر در مناطق مختلف، متفاوت است که به علت چین خوردگی می باشد. مطالعه چین خوردگی در پهنه های برشی می تواند راهنمای بسیار مناسبی جهت بازسازی تاریخچه دگرشکلی باشد. در این منطقه به علت وجود گسل-های راندگی پر شمار، چین ها کمتر سالم مانده اند ولی به لحاظ سنگ شناسی، چین خوردگی های نامتقارن کوچک گوناگونی رخ داده است که محور غالب آن ها با روند کلی و همگانی چین-خوردگی منطقه (شمال شرق - جنوب غرب) هماهنگی دارند. در این ناحیه چین های برشی در مقیاس مزوسکوپی در آهک های میلونیته، شیب های میلونیته و شیل های میلونیته قابل مشاهده هستند. روند کلی محور این چین ها در جهت شمال-شرق - جنوب غرب ( $55^{\circ}E - 45^{\circ}N$ ) می باشد. در برخی از مناطق مورد مطالعه به علت واتنش بالا برگوارگی منطقه به صورت چین نامتقارن از نوع S شکل چین خورده اند. در منطقه مورد مطالعه، چین های برشی از نوع Z سوی حرکت راست بر را نشان می دهد. هر چقدر به گسل حصار-کوچوک نزدیک تر می شویم ناتقارنی چین ها شدیدتر می شود به طوری که برگ وارگی های موجود در سنگ های منطقه اکثراً چین خوردگی برشی از نوع S را گرفته اند (شکل ۱۰). ۱ در منطقه برشی حصار - کوچوک، چین های کششی S شکل در زون های برشی معکوس و چین های کششی Z شکل در زون های برشی امتداد لغز تشکیل شده اند. چین های کششی S شکل و Z شکل در محل لولای چین و خطواره هایی با زاویه نسبت به خط لولا، در یال چین ها نشان دهنده حرکات خمشی لغزشی در آن ها است. از دیگر چین های منطقه می توان چین های هم شیب را نیز نام برد. این چین ها در آمیزه های رنگی منطقه مورد مطالعه دیده می شود. زاویه بین دو یال در آن ها اغلب کمتر از ۱۰ درجه است محور چین های هم شیب اغلب روند شمال شرق - جنوب غرب نشان می دهد (شکل ۱۱).

ایستگاه، به ترتیب ( $N052^{\circ}$ ) و ( $N162^{\circ}$ ) است. از سوی دیگر میل تنش های مذکور به ترتیب ۲۸ و ۳۳ درجه می باشد که این امر نمایانگر نزدیک به افق بودن تنش بیشینه و کمینه است، البته میل تنش متوسط ( $\sigma_2$ ) برابر ۴۴ درجه است که از نزدیک به قائم بودن این تنش حکایت دارد (شکل ۷). در محدوده مورد مطالعه، تحرک شدید گسل راندگی حصار - کوچوک، موجب خردشدگی شدید سنگ ها در مرز حرکتی بلوک های مجاور و شکل گیری فابریک های کاتاکلاستیکی- برشی متنوع و ایجاد درزه- شکستگی شده است که شواهد ساختاری و ریزساختاری نشان می دهد گسل ها فابریک های برشی شکل پذیر را قطع کرده است. روند کلی ساختارها از قبیل محور چین ها، امتداد گسل-های راندگی شمال غرب- جنوب شرق است که نشان دهنده ی حداکثر کوتاه شدگی شمال شرق - جنوب غرب می باشد.

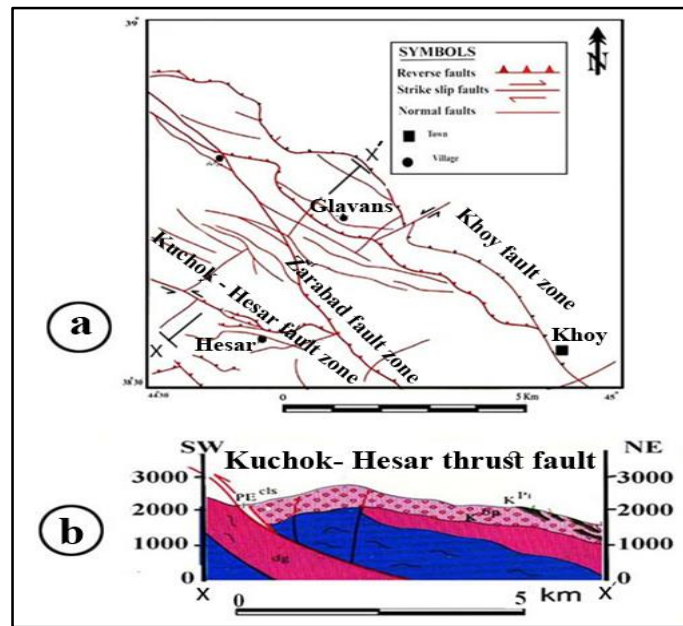
#### ۲-۴- بررسی درزه خوردگی در منطقه مورد مطالعه

درزه های یک منطقه شواهد خوبی برای بردن به میدان تنش و واتنش یک ناحیه و در کل ارائه یک مدل ساختاری مناسب می باشند. اغلب درزه های منطقه مورد مطالعه دارای امتداد شمال غرب و کششی هستند. اغلب این درزه ها توسط کانی هایی نظیر کلسیت، کوارتز، پریدوتیت و فلدسپات پر شده اند و بعضی از آن ها هنوز توسط کانی های ثانویه پر نشده اند. درزه های برشی که غالباً مزدوج بوده و با زوایای ۶۰ درجه یا بیشتر نسبت به هم قرار می گیرند که در این نوع صفحات درزه ممکن است مقادیر کمی جابه جایی را نشان دهند. در کل حدود ۱۵۰ عدد از درزه-های منطقه اندازه گیری شده است و پس از ترسیم نمودار گل سرخی (شکل ۸) مربوط به آن ها مشخص گردید که عمدتاً در دو گروه اصلی که یکی راستای NNW و دیگری که راستای NNE قرار می گیرد. شکل ۹ نمایی از درزه های منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. با توجه به نمودارهای مربوط به گل سرخی، امتداد موازی درزه ها با گسل های منطقه این را نشان می دهد که درزه های ناحیه مربوط به گسل ها می باشد که معمولاً در اطراف گسل ها متمرکز هستند و با کلسیت و کوارتز پر شده-اند. این گروه به ویژه در اطراف گسل حصار - کوچوک دیده می شوند.

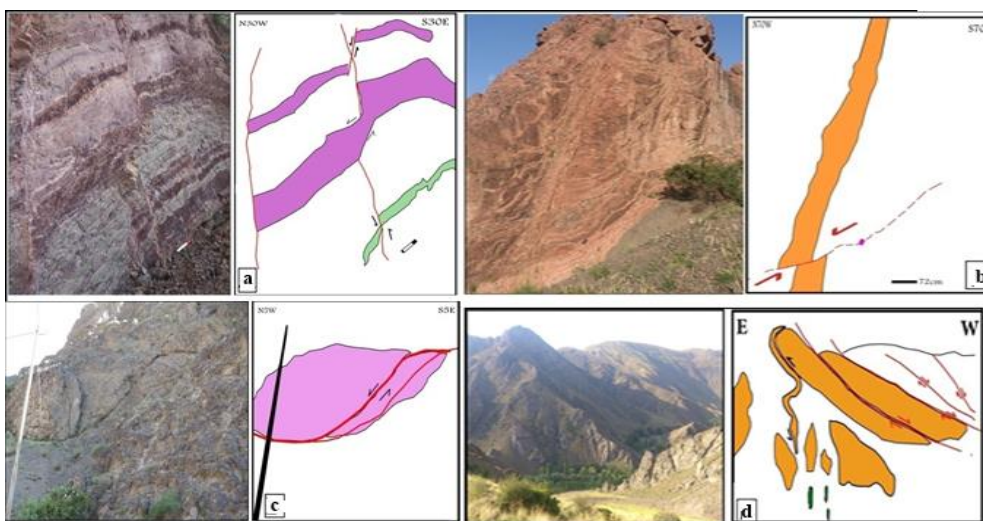
#### ۳-۴- معرفی ساختارهای برشی منطقه مورد مطالعه

##### ۱-۳-۴ چین خوردگی در منطقه مورد مطالعه

چین خوردگی های منطقه مورد مطالعه در استرین زیاد پهنه های



شکل ۵- (a) نقشه‌ی گسل‌های منطقه مورد مطالعه و (b) مقطع عرضی از گسل منطقه در جهت شمال شرق - جنوب غرب  
 Fig.5. (a) Faults map of the study area and (b) cross section of faults area in NE-SW direction



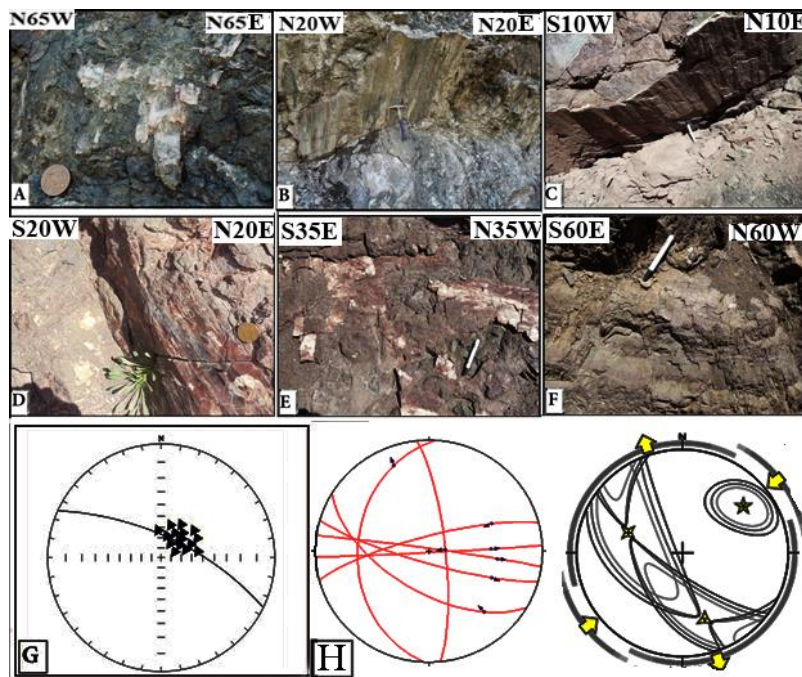
شکل ۶- (a) و (b) گسل‌های عادی در منطقه حصار-کوچوک و (c) و (d) گسل‌های عادی قاشقی در منطقه حصار-کوچوک  
 Fig.6. (a) and (b) normal faults in the Hesar- Kuchok area and (c) and (d) Listric normal faults in the Hesar- Kuchok area

کانی‌های رشته‌ای که به طور افزایشی در جهت  $\sigma_3$  رشد می‌کنند، پرشده‌اند. بنابراین هندسه واتنش تجمع یافته در این پهنه‌های برشی غیر هم‌محور می‌باشد (Haji Hosseinlou, 2016). در این منطقه رگه‌های پوششی توسعه فراوانی یافته‌اند و در قسمت‌های مختلف مشاهده می‌گردند ولی بهترین توسعه‌یافتگی را در آهک-های حصار نشان می‌دهند (شکل ۱۲). روند رگه‌های پوششی در منطقه مورد مطالعه در جهت شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد سوی این رگه‌ها در منطقه مورد مطالعه راست بر هستند.

### ۲-۳-۴- رگه‌های کششی پوششی در منطقه مورد

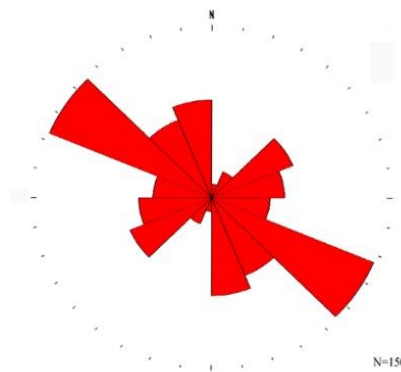
#### مطالعه

بسیاری از پهنه‌های برشی دارای رگه‌های پوششی هستند. رگه‌های کششی پوششی، در پهنه‌های برشی شکننده- شکل‌پذیر ایجاد شده‌اند، در این مناطق، بخشی از دگرشکلی به صورت شکل‌پذیر، همراه با توسعه‌ی کلیواژ انحلال فشاری و بخش دیگر به صورت شکننده و همراه با رگه‌های کششی گسترش یافته است. شکاف-های کششی دارای نوک‌های موازی با  $\sigma_1$  هستند و معمولاً توسط



شکل ۷ - (a - f) - خش لغزش ها روی سطح برشی گسل حصار - کوچوک و (g) تصویر استریوگرافیکی از میل و روند خش لغزش ها بر روی سطح گسل حصار - کوچوک و (h) نتایج تحلیل انجام شده برای به دست آوردن متوسط رژیم تنش در حصار- کوچوک (حاجی حسینلو، ۱۳۹۸).

Fig.7. (a and b and c and d and e and f)- Slickensides on Hesar-Kuchok fault shear surface, (g) Stereographic Projection of Slickensides plunge and trend on Hesar-Kuchok fault surface, (h) The results of the analysis performed to obtain the average stress regime in Hesar-Kuchok (Haji Hosseinlou, 2020).



شکل ۸- نمودار گل سرخی از تمام درزهای اندازه گیری شده در منطقه مورد مطالعه

Fig.8. Rose diagram of all joints measured in the study area



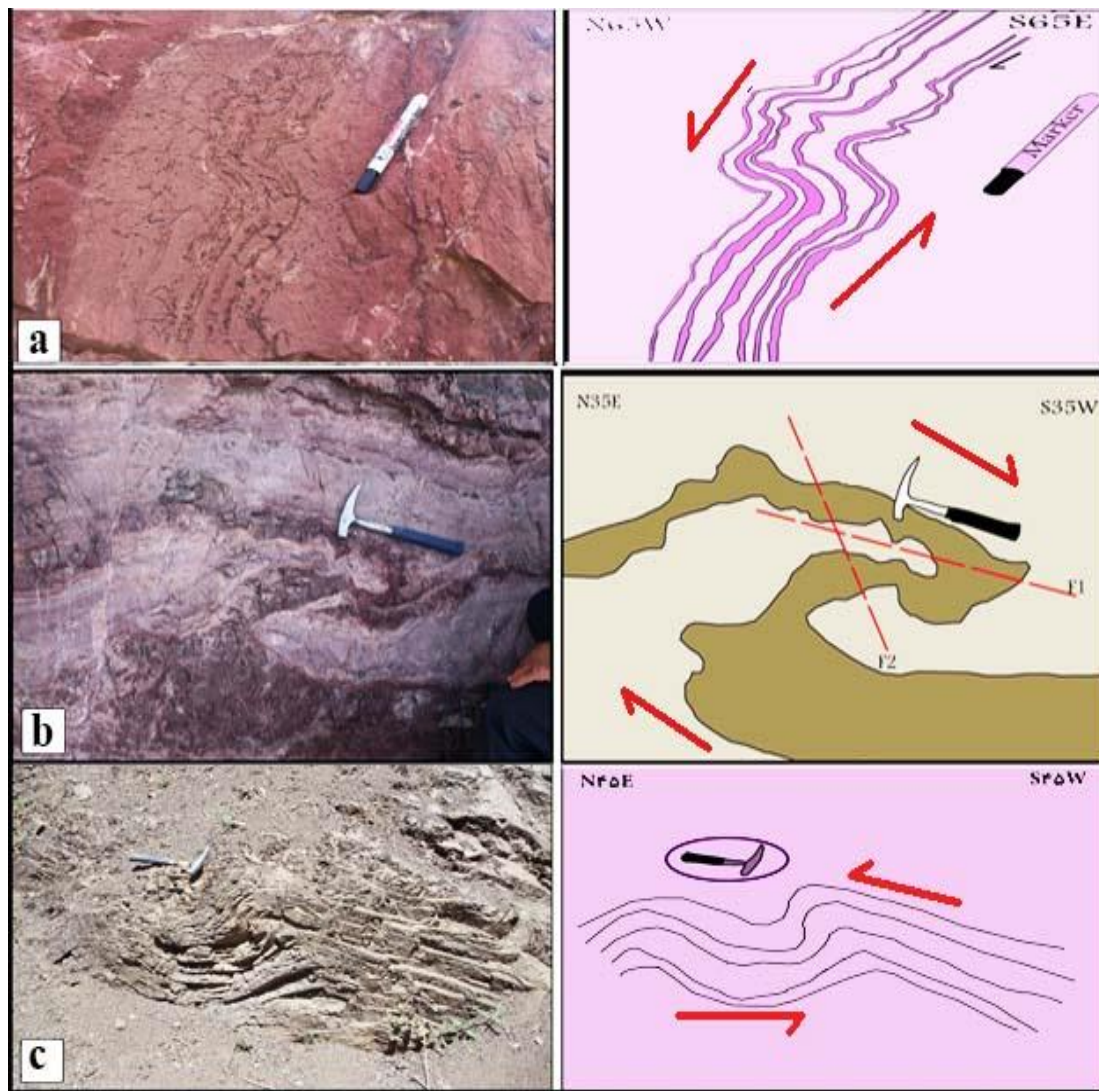
شکل ۹ - (a - c) - نمای از درزه های مزدوج در منطقه مورد مطالعه، درزه های مزدوج عمود به گسل حصار - کوچوک هستند.

Fig.9. (a - c) View of the Conjugate joints in the study area, Conjugate joints exposed and dissecting perpendicular to the Hesar- Kuchok fault.

### ۳-۳-۴ پورفیروکلاست گوشته‌ای (Mantled porphyroclast)

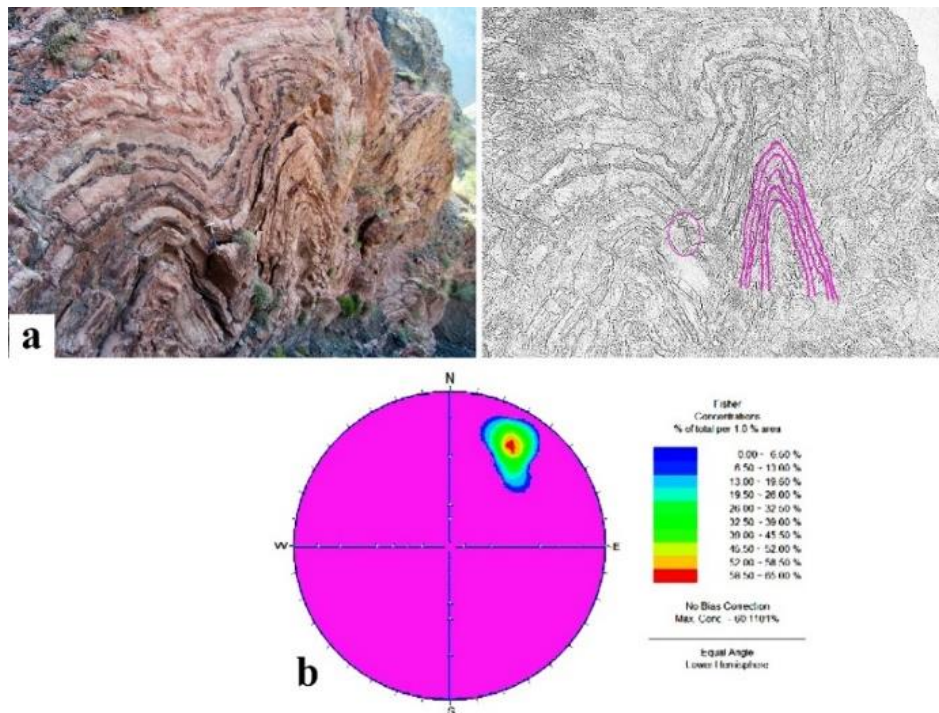
پورفیروکلاست به قطعات گرد شده چند بلوری که در داخل خمیره‌ای که نسبت به آن‌ها دانه‌ریز می‌باشد گفته می‌شود (Haji Hosseinlou, 2015). این ساختار بیشتر در آهک‌های میلونیتی و شیست‌های میلونیتی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. پورفیروکلاست‌های گوشته‌ای از بلور منفرد مرکزی و پوشش دانه ریز از بلور هم جنس تشکیل شده‌اند. پوشش دارای بلورهای ریز ممکن است به صورت دنباله دگرشکل شده باشند که در دو طرف از

پورفیروکلاست به موازات اجزای کشیده شده در میلونیت ادامه دارند (Haji Hosseinlou, 2015) شکل a۱۳ پورفیروکلاست پوششی نوع  $\sigma$  در آهک میلونیتی و شکل شکل b۱۳ پورفیروکلاست پوششی نوع  $\delta$  در شیست میلونیتی در منطقه حصار- کوچوک را نشان می‌دهد. در میلونیت‌های با واتنش بالا پورفیروکلاست‌های نوع  $\delta$  تشکیل می‌شود. با توجه به این که اکثر پورفیروکلاست‌های پوششی در منطقه مورد مطالعه از نوع  $\delta$  می‌باشند می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در این منطقه نرخ واتنش بالا است. در حالی که پورفیروکلاست نوع  $\sigma$  در میلونیت‌های با واتنش پایین در منطقه نیز مشاهده می‌شوند.



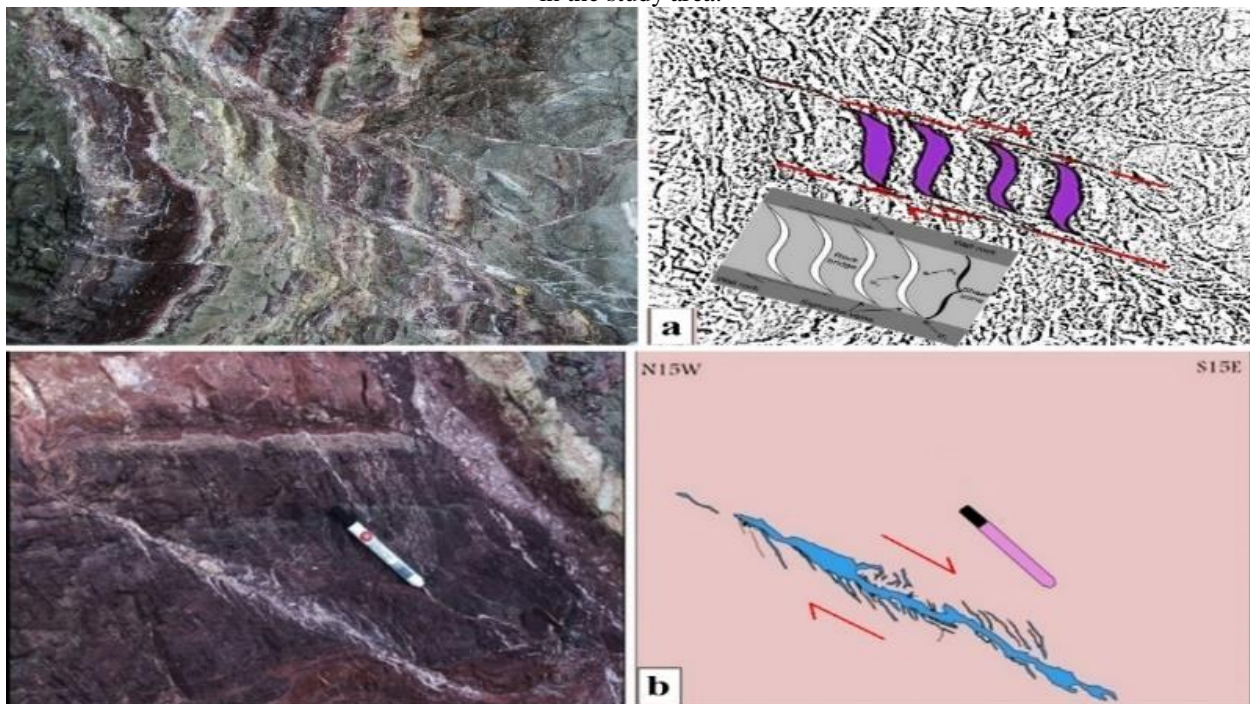
شکل ۱۰ - (a) چین‌خوردگی کشیدگی از نوع S شکل در سنگ‌های آهکی میلونیتی در نزدیکی زون گسلی حصار - کوچوک، نوع برش چپ‌بر می‌باشد و (b) چین‌خوردگی کشیدگی از نوع Z شکل در رگه‌های چرت در منطقه مورد مطالعه، نوع برش راست‌بر می‌باشد و (c) برگ‌وارگی‌های چین‌خورده از نوع S شکل در منطقه حصار، نوع برش چپ‌بر می‌باشد.

Fig.10. (a) S-shaped drag folding in mylonitic limestone rocks in near of the Hesar- Kuchok fault zone, lateral shear sense, (b) Z-shaped drag folding in chert viens in the study area, dextral shear sense, (C) S-shaped folding foliations in the Hesar area, lateral shear sense.



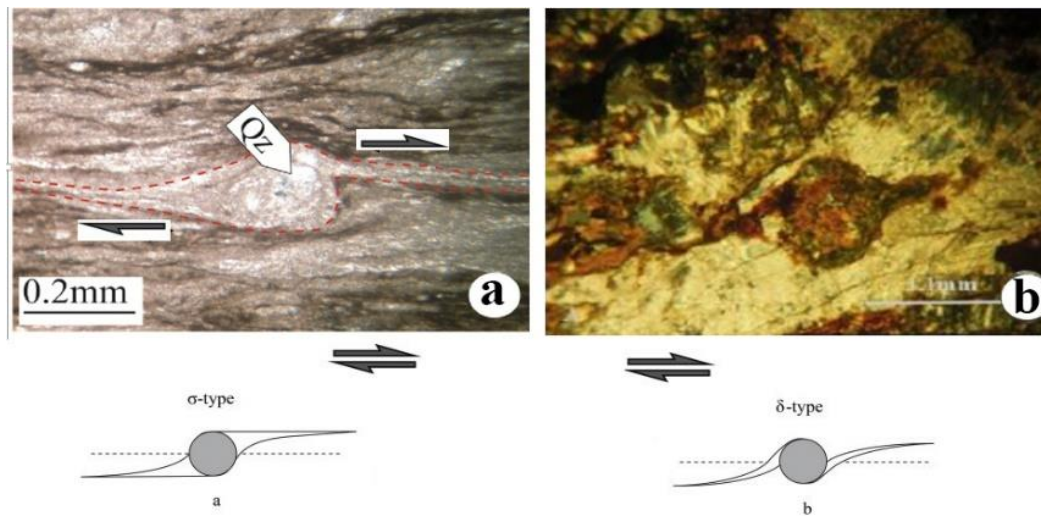
شکل ۱۱- (a) چین هم‌شیب در منطقه مورد مطالعه، جهت دید عکس  $N050^{\circ}$  و (b) تمرکز قطب محور چین‌های هم‌شیب در منطقه مورد مطالعه.

Fig.11. (a) Isoclinal fold in in the study area, Photo view  $N050^{\circ}$  and (b) The polar concentric of the Isoclinal folds axis in the study area.



شکل ۱۲- نمایی از رگه‌های پوششی در منطقه مورد مطالعه (a و b) رگه‌های پوششی راست‌بر در شیل‌های منطقه حصار.

Fig.11. View of the en-echelon veins in the study area (a and b) Dextral en-echelon veins in Hesar area shales.



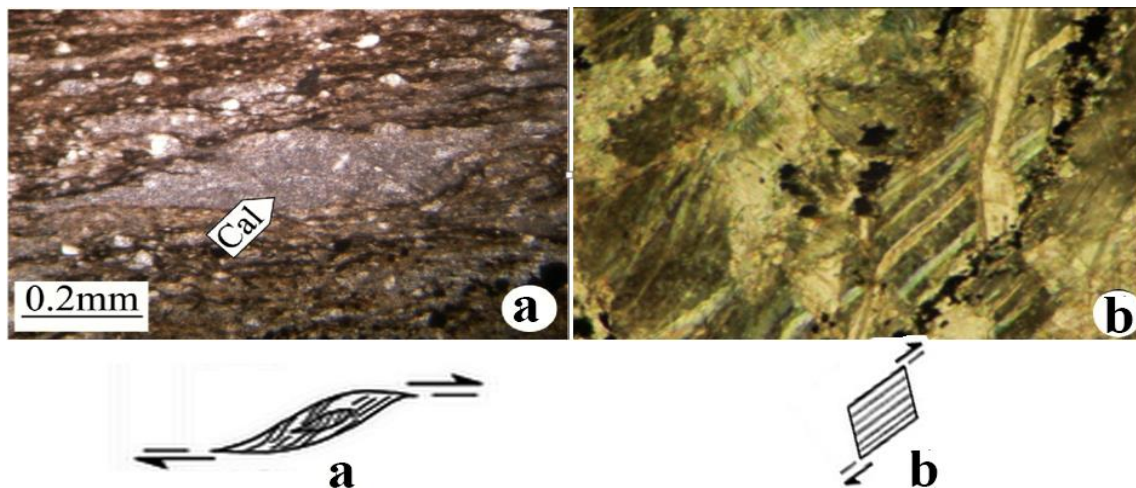
شکل ۱۳- (a) آهک میلونیتی با پورفیروکلاست‌های گوشته‌ای نوع  $\sigma$  (مرکز) در منطقه حصار - کوچوک، در این منطقه اغلب پورفیروکلاست‌ها حالت پله‌ای نشان می‌دهند و (b) شیست میلونیتی با پورفیروکلاست‌های گوشته‌ای نوع  $\delta$  (مرکز) در منطقه حصار - کوچوک. روبان کوارتز بالای پورفیروکلاست دیده می‌شود. برش موازی با خط‌وارگی و عمود بر برگوارگی است، نوع برش در منطقه راست‌بر است.

Fig.13. (a) Mylonitic limestone with a  $\sigma$  type mantled porphyroclast (centre) in Hesar- Kuchok area, often mantled porphyroclasts show stair-step and (b) Mylonitic schist with a  $\delta$  type mantled porphyroclast (centre) in Hesar- Kuchok area. Quartz ribbons can be seen above the porphyroclast. Section parallel to the stretching lineation and normal to the foliation. Shear sense in all photographs is dextral, CPL.

محور طولی بلورهای ماهی‌گون با صفحه برش شکل‌پذیر در این زون حدود  $24^{\circ}$  -  $00^{\circ}$  می‌باشد. در شیست میلونیتی در منطقه گولان بلور پیروکسن ماهی به شکل متوازی‌الاضلاع و موازی با برگوارگی مشاهده می‌شود. بلورهای درشت کوارتز در زمینه ریز میلونیت دیده می‌شود (شکل ۱۸A). میکاماهی در گابرو میلونیتی در این منطقه طبق تقسیم‌بندی Ten Grotenhuis و همکاران (۲۰۰۳) 03 در گروه ۵ قرار می‌گیرد (شکل ۱۸B). در این حالت پله‌شدگی در میکا و بال‌هایشان گسترش پیدا می‌کنند. کوارتزها در زمینه تجدید تبلور دینامیکی یافته‌اند و برگوارگی مایلی را ایجاد کرده‌اند. میکاماهی به شکل سیگموئید در منطقه در داخل گابرو میلونیتی بیشتر گسترش دارند. زاویه حاده بین میکا ماهی و برگوارگی جهت برش را نشان می‌دهد.

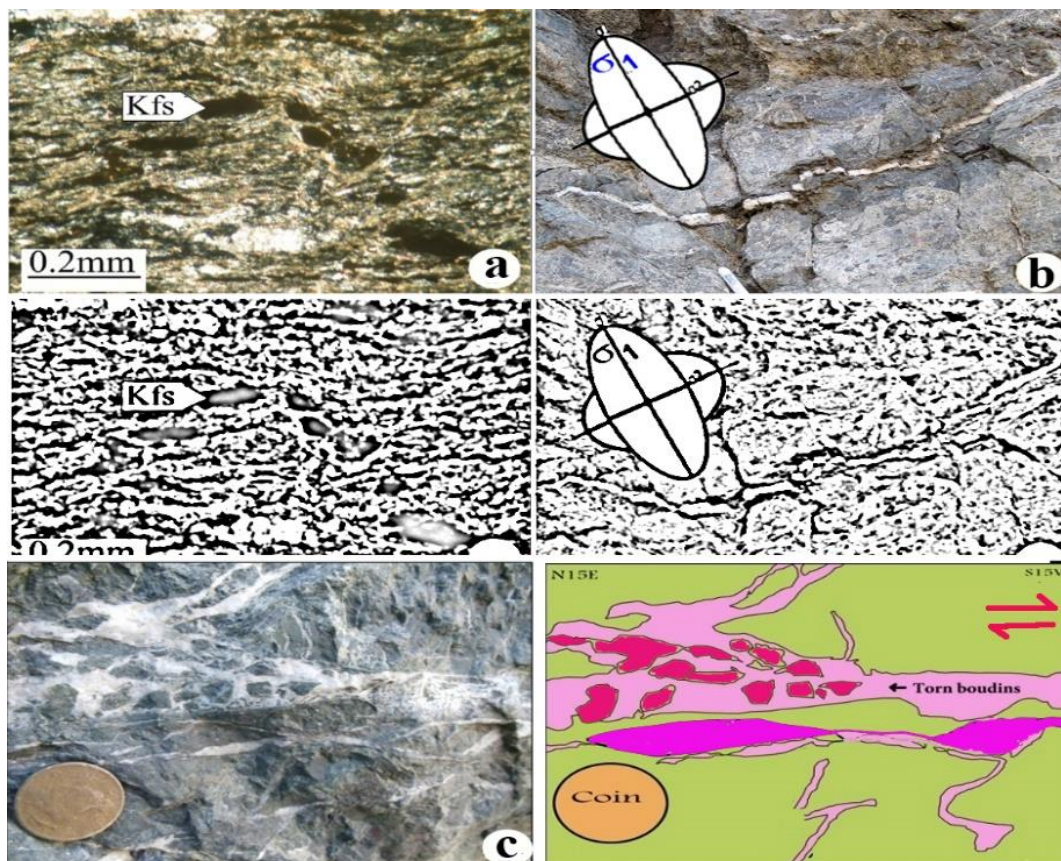
#### ۴-۳-۴- بلورهای ماهی‌گون (Mineral Fish)

بلورهای ماهی‌گون معمول‌ترین نشان‌گر سوی برش شکل‌پذیر در منطقه مورد مطالعه در مقیاس میکرو هستند. بلورهای ماهی‌گون پورفیروکلاست منفرد لوزی و عدسی شکل کشیده هستند که در میلونیت‌ها معمول می‌باشند (Haji Hosseinlou, 2016). در مقاطع نازک مطالعه شده از منطقه مورد پژوهش، کوارتز، فلدسپار، موسکوویت، بیوتیت و گارنت شکل ماهی از خود نشان می‌دهند. بر اساس ریخت‌شناسی در این منطقه، بلورهای ماهی‌گون را به سه شکل تقسیم‌بندی شده‌اند که شامل: (۱) سیگموئید؛ (۲) کشیده و (۳) به شکل متوازی‌الاضلاع هستند. در انواع بلورهای ماهی‌گون، زاویه بین



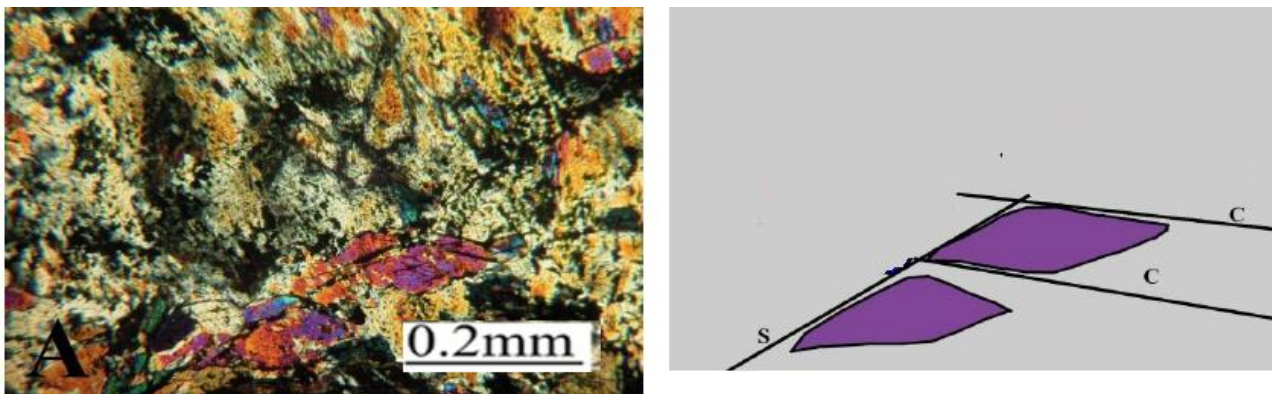
شکل ۱۴ - (a) بلور کلسیت ماهی به شکل سیگموئیدال در منطقه مورد مطالعه و (b) بلور پلاژیوکلاز ماهی به شکل متوازی الاضلاع در ناحیه حصار - کوچوک، برش موازی با خطوارگی و عمود بر برگ‌وارگی است، نوع برش در تصاویر راست‌بر است.

Fig.14. (a): Sigmoid shaped calcite fish in the study area and (b): parallelogram-shaped plagioclase fish in the Hesar-Kuchok area, Section parallel to the stretching lineation and normal to the foliation. Shear sense in all photographs is dextral, CPL.



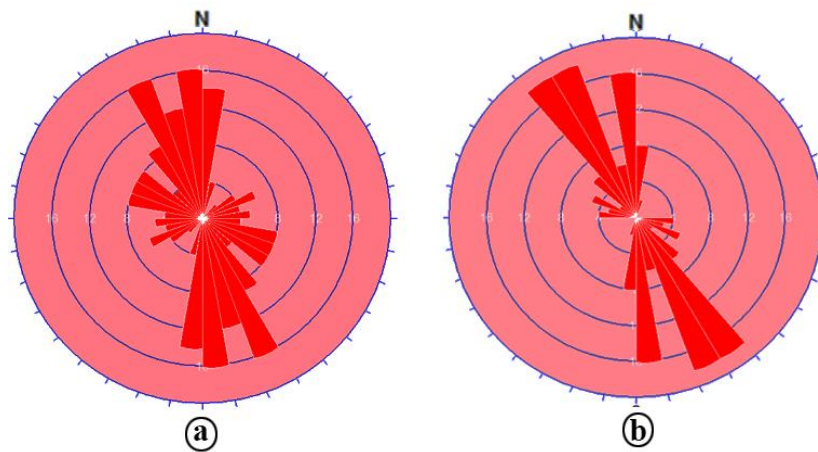
شکل ۱۵ - (a) میکروبودیناژ فلدسپات پتاسیم (مشکی) در شیست کوارتز-کربناته، نور پلاریزه و (b) چین خوردگی لایه کوارتز - فلدسپار بودین شده در آمفیبولیت میلونیتی، محور این بودین عمود بر جهت کششی (خطوارگی‌های کشیدگی) است و (c) بودین‌های نامتقارن و سیگموئیدال لایه کوارتز - فلدسپار در گابروی میلونیتی در منطقه مورد مطالعه.

Fig.15. (a): Microboudinage of k-feldspar (dark) in quartz- limestone shist, CPL and (b): Folding of boudinaged quartz-feldspar layers in mylonitic amphibolite, their axis is perpendicular to the main stretching direction and (c): Sigmoids and asymmetric boudins quartz-feldspar layers in mylonitic gabbro, in the study area.



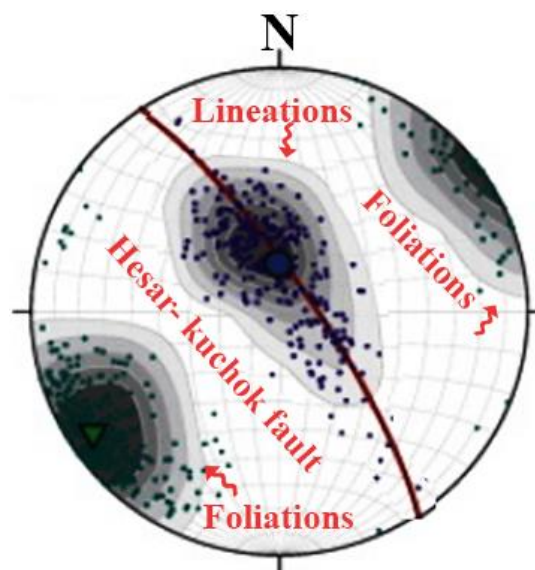
شکل ۱۶ باند برشی C-S و گابرو میلونیتی با میکا ماهی در حصار - کوچوک، سوی برش در منطقه راست‌بر

Fig.16. S-C shear band and mylonitic gabbro with mica fish in the Hesar-Kuchok area, dextral shear sense



شکل ۱۷ دیاگرام گل‌سرخ از جهت برگ‌وارگی و خط‌وارگی و (b) میلونیتی در منطقه مورد مطالعه

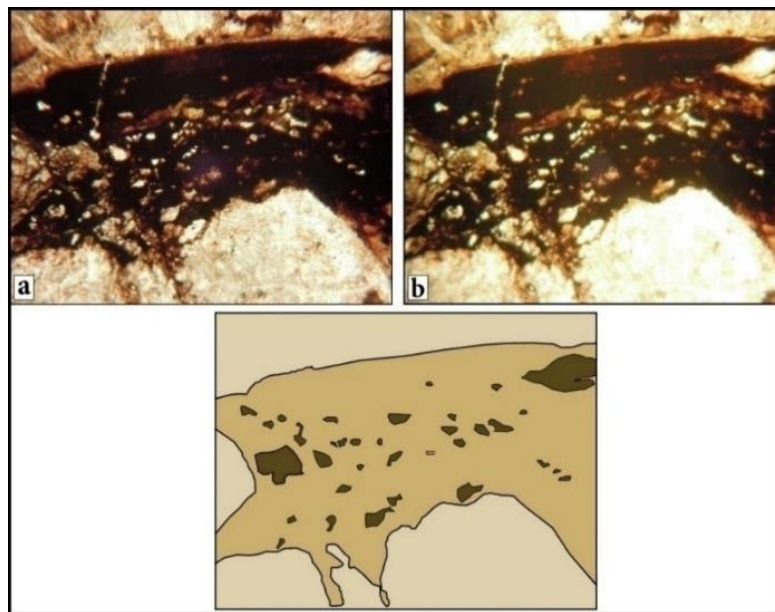
Fig.17. Rose diagram of the mylonitic (a) foliation and (b) lineation directions in the study area



شکل ۱۸ جهت‌یافتگی برگ‌وارگی و خط‌وارگی کششی در زون‌های برشی حصار - کوچوک

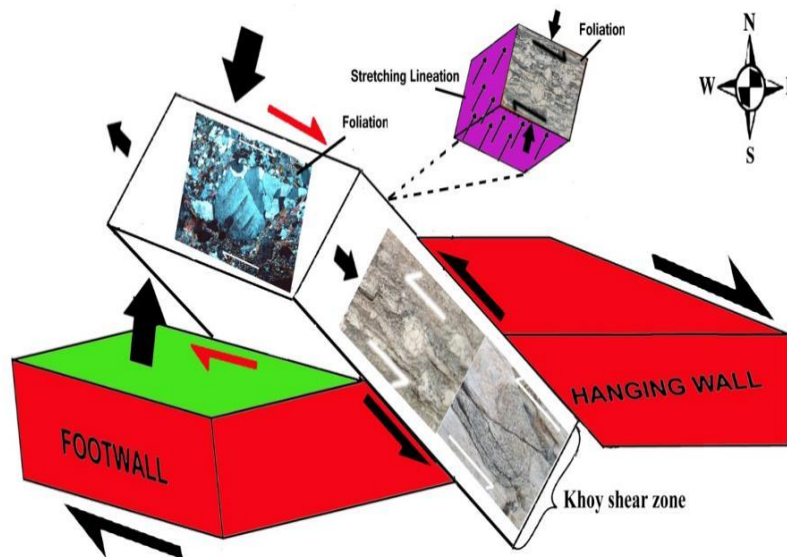
Fig.18. Orientation of the foliation and of the stretching lineation within the Hesar-Kucuk shear zones





شکل ۱۹- همبری رگه پseudotachylyte (بالا) و دیواره سنگ موجود در برگیرنده (پایین). منطقه حصار-کوچوک [PPL] a و [CPL] b (10X)

Fig.19. Contact of a pseudotachylyte vein (top) and the wall rock (bottom). Hesar-Kucuk area, a: PPL, b: CPL, 10X



شکل ۲۰- مدل سه بعدی پیشنهادی برای واتنش تری کلینیک در ناحیه مورد مطالعه (Haji Hosseinlou, 2021)

Fig.20. Three-dimensional model proposed for the triclinic strain in the study area (Haji Hosseinlou, 2021)

(Hosseinlou, 2019). میکروبودیناژها به وسیله مجموعه کانی‌هایی که در گردن آن‌ها رشد می‌کنند می‌توانند نشان دهنده شرایط دگرگونی، هنگام دگرشکلی باشند (شکل ۱۵a). در برخی مواقع، رشد دانه‌ها هنگام تشکیل میکروبودیناژ، باعث به وجود آمدن حالت ناحیه‌بندی در بلورها می‌شود. مطالعه این نواحی نیز می‌تواند در تعیین تغییرات شرایط دگرگونی هنگام

#### ۴-۳-۵- بررسی بودین و میکروبودیناژ در منطقه مورد مطالعه

بودیناژهایی که در اثر کشش در کانی‌های کشیده و در مقیاس میکروسکوپی به وجود می‌آیند به میکروبودیناژ موسومند. ساخت‌های به وجود آمده در بخش‌های گردن این بودیناژها بسیار شبیه سایه‌های واتنشی و رگه‌های کششی است (Haji

## سنگ‌های الترامافیک

۲- میلوئیت‌های حاصل از دگرگونی و دگرشکلی میلوئیتی سنگ‌های آهکی

به طور کلی در این منطقه میلوئیت‌ها دارای دو راستای کلی هستند: الف) راستای شمال شرقی - جنوب غربی و شمال غربی - جنوب شرقی، راستای شمال شرقی - جنوب غربی در منطقه حصار - کوچوک چیرگی بیشتر دارد. از نظر تکنیکی و کینماتیکی، مشخصه اصلی برگوارگی‌های این منطقه شیب متوسط آنها است (شکل ۱۷) به طوری که غالباً دارای شیب مساوی و یا بیش از ۲۰ درجه می باشند و بر روی سطح این برگوارگی‌ها، خطوارگی کششی قرار می‌گیرد. بیشینه راستای تقریبی غالب برگوارگی‌های کل منطقه شمال غرب - جنوب شرق می باشد (شکل ۱۷) و شیب آنها متغیر به سمت شمال شرق - جنوب غرب است جهت شیب شمال شرق بیشتر است. غالب خطوارگی‌های منطقه از نوع خطوارگی‌های میلوئیتی می باشند ولی گاهاً نیز خطوارگی‌های کانایی نیز مشاهده می

گردند از ویژگی‌های بارز این خط‌وارگی‌ها این است که همیشه در ارتباط با برگوارگی‌ها هستند و بر روی آنها قرار می‌گیرند و توسعه برگوارگی و خط‌وارگی‌ها همزمان می باشد از ویژگی‌های دیگر این خط‌وارگی‌ها، شیب زیاد آنها و به طور کلی غالب خط‌وارگی‌ها دارای بیشترین مقدار بین ۷۰ تا ۸۵ درجه می باشند. این خط‌وارگی‌ها دارای دو روند اصلی هستند که جهت روند اول شمال غرب است و بعدی شرق - جنوب شرق می باشد (شکل ۱۷) برخی نیز پراکندگی‌هایی به غیر از روندهای ذکر شده نشان می‌دهند. تحلیل کینماتیکی راستاها و جهت شیب در این گروه داده‌ها، از آنجایی که تمامی خط‌وارگی‌ها، خط‌وارگی‌های میلوئیتی (کشیدگی) در ارتباط با برش می باشند در ارتباط با مکانیزم‌های دگرشکلی برش و عملکرد پهنه برش می باشد. بعضی از این تغییرات را شاید بتوان با چرخش برگوارگی‌هایی با جهات شیب متفاوت توجیه کرد ولی به نظر می‌رسد این ویژگی بیشتر به دلیل مکانیزم عملکرد پهنه‌های دگرریختی منطقه است. حضور شیب متوسط برگوارگی میلوئیتی و هم راستا بودن خط‌وارگی کششی (میلوئیتی) با امتداد آن در گابروها و شیست‌های میلوئیتی و آمفیبولیت‌های میلوئیتی موجود در این منطقه که دارای مجموعه‌ای از فابریک‌های ساختاری باند‌های برشی، میکا ماهی و پورفیروکلاست‌های گوشته‌ای هستند یک حرکت برشی راست‌گرد را در منطقه

دگرشکلی پیشرونده بسیار مؤثر باشند. از میکروبودیناژها می‌توان به عنوان مقیاسی برای اندازه‌گیری مقدار واتنش استفاده کرد (Haji Hosseini, 2021). ساختار بودیناژ و چین در آمفیبولیت‌های منطقه مورد مطالعه بر روی رگه‌های کوارتز - فلدسپات رخ داده است. در این منطقه حضور بودین‌های چین - خورده را می‌توان به وسیله دگرریخت‌های با برش ساده و محض توجیه نمود. وجود بودین‌های چین خورده نشان‌گر عملکرد متوالی یک فاز کششی و به دنبال آن یک فاز فشارشی است. کشیدگی در سنگ منجر به تشکیل بودین‌ها و فشار بعدی در آن منجر به چین خوردن بودین‌های اولیه و لغزش آن‌ها بر روی یکدیگر می‌شود. با آن که این ساختار می‌تواند حاصل از تغییر سیستم اصلی تنش باشد، در عین حال می‌تواند نتیجه یک دگرریختی پیشرونده برش ساده نیز باشد. در پیشروی یک دگرریختی با برش ساده بسیاری از ساختارهایی که قبلاً در حال کشش بوده‌اند در مراحل نهایی تحت تأثیر فشارش قرار می‌گیرند (شکل ۱۵b).

## ۴-۳-۶- باندهای برشی S-C

این ساختارها در منطقه مورد مطالعه در مقیاس میکروسکوپی در گابروهای میلوئیتی حصار - کوچوک مشاهده می‌گردد. در گابرو میلوئیت‌های حصار - کوچوک باندهای برشی نوع C با فاصله خیلی کمی از هم قرار دارند. فاصله این نوارها با شدت واتنش بالا از یکدیگر ۱۵ تا ۳۵ سانتی‌متر بوده و شیب آن‌ها نزدیک به ۵۳° است. در این مناطق برگوارگی میلوئیتی و نوارهای برشی نوع C خیلی به هم نزدیک و حتی بر هم منطبق می‌شوند، نوارهای برشی نوع C دارای امتداد ۲۳۵°N - ۲۱۵°N هستند. در سطح برگوارگی میلوئیتی این سنگ‌ها، پورفیروکلاست‌های گوشته‌ای فلدسپات و بلورهای ماهی‌گون جهت برش به سمت شمال غرب را نشان می‌دهند که حرکت راست‌بر را در منطقه مورد مطالعه تأیید می‌کند (شکل ۱۶).

## ۴-۳-۷- برگوارگی و خطوارگی میلوئیتی

میلوئیت‌ها، گسترده‌ترین نوع سنگ‌های دگرگونی در این منطقه می‌باشند که مطالعه روابط پورفیروکلاست‌ها و زمینه در این سنگ‌ها و نیز مطالعات صحرایی بزرگ مقیاس نشان داده می‌شود که میلوئیت‌های منطقه مورد مطالعه از دیدگاه سنگ اولیه دو گونه‌اند:

۱- میلوئیت‌های حاصل از میلوئیتی‌شدن سنگ‌های گابرو و

حصار - کوچوک امتداد لغز نشان می‌دهند (شکل ۱۸).

## ۵- بحث

بررسی‌های سنگ‌شناسی در منطقه برشی حصار - کوچوک نشان می‌دهد که درجه دگرگونی سنگ‌های این منطقه در حد رخساره شیبست‌سبز و آمفیبولیت فوقانی و دما در حدود ۶۸۰-۴۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشد (Haji Hosseinlou, 2020). با توجه به اطلاعات حاصله از مطالعات ساختاری و ریزساختاری منطقه مورد پژوهش مشخص می‌گردد که ساختارهای حاصله هم از نوع دمای بالا و هم از نوع دمای پایین می‌باشند. به طوری که از مهم‌ترین ساختارهای دمای بالا می‌توان به باندهای برشی S-C، کشیدگی و نواری شدن فلدسپارها، پورفیروکلاست‌های گوشته‌ای از نوع  $\delta$  شکل، بودین‌های سیگموئیدال و نامتقارن اشاره‌گیر کرد (Passchier et al., 2006) از مهم‌ترین ساختارهای دمای پایین در این منطقه می‌توان ساختارهای پورفیروکلاستی نامتقارن  $\sigma$  در میلونیت‌های منطقه (Trouw et al., 2010)، خرد شدن دینامیکی فلدسپار و کوارتز، خاموشی موجی در کوارتز و غیره اشاره کرد. در محدوده مورد مطالعه، تحرک شدید گسل‌های معکوس و دوپلکس‌ها، موجب خرد-شدگی شدید سنگ‌ها در مرز حرکتی بلوک‌های مجاور و شکل‌گیری فابریک‌های کاتاکلاستیکی - برشی متنوع و ایجاد درزه-شکستگی شده است که شواهد میکروسکوپی، مزوسکوپی و مقیاس نقشه نشان می‌دهد گسل‌ها فابریک‌های برشی شکل-پذیر را قطع کرده است. با توجه به روند کلی ساختارها از قبیل برگوارگی، چین‌ها، گسل‌های راندگی شمال‌غرب- جنوب شرق است که نشان‌دهنده‌ی حداکثر کوتاه‌شدگی در جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب می‌باشد. با توجه به مطالعات میکروسکوپی نیز در خصوص نمونه‌های برداشت شده از مناطق برشی راندگی‌ها می‌توان تأثیر مؤلفه راست‌الغز راست‌گرد را برای تمام راندگی‌ها استنباط نمود. گسل‌خوردگی‌های نرمال و امتداد لغز نیز در ارتباط با مؤلفه‌ی راست‌الغز راست‌گرد می‌باشد. مدل پیشنهادی منطقه مورد مطالعه از نوع امتداد لغز- فشارشی راست‌بر است. وجود ساختارهای همانند پورفیروکلاست‌های گوشته‌ای  $\delta$  و باندهای برشی C-S حرکات امتداد لغز شدیدی را در منطقه نمایان می‌کنند و همچنین مشاهده زون گسل‌ی حصار- کوچوک بیان‌گر راندگی در این منطقه می‌باشد. بنابراین می‌توان این ناحیه را با مدل امتداد لغز - فشارشی راست‌بر توجیه کرد.

## ۶- نتیجه‌گیری

مطالعات مزوسکوپی از قبیل کلیواژهای نواری برشی از نوع C- و از نوع S-، ساختار میکاماهی‌ها، پورفیروکلاست‌های پوششی جهت برش راست‌گرد را در منطقه مورد پژوهش نشان می‌دهد. مهم‌ترین مکانیسم‌های دگرشکلی شامل برگوارگی، کلیواژهای نواری برشی از نوع C-، از نوع S-، تبلور مجدد مکانیکی، میکا ماهی و پورفیروکلاست‌های پوششی مشاهده شده است، همچنین مشاهده گسل‌های رورانده در این منطقه و نواحی مجاور آن بیانگر حرکات تراستی در این منطقه می‌باشد. بر اساس مقاطع نازک مطالعه شده و بررسی‌های صحرایی و تحلیل داده‌های صحرایی و دستگامی منطقه مورد مطالعه را نتایج زیر حاصل شده است:

- ۱- از شواهد دگرشکلی شکنا در منطقه گسل‌ها، سنگ‌های گسله که خود شامل برش گسلی چسبنده، کاتاکلاستیت، پسودوتاکیلیت (شکل ۱۹)، گوژگسلی و خش‌گسل‌خوردگی را می‌توان نام برد. در محدوده مورد مطالعه، تحرک شدید گسل‌های معکوس، موجب خردشدگی شدید سنگ‌ها در مرز حرکتی بلوک‌های مجاور و شکل‌گیری فابریک‌های کاتاکلاستیکی- برشی متنوع و ایجاد درزه- شکستگی شده است که شواهد ساختاری و ریزساختاری نشان می‌دهد گسل‌ها فابریک‌های برشی شکل‌پذیر را قطع کرده است.
- ۲- روند کلی ساختارها از قبیل چین‌ها، گسل‌های راندگی شمال‌غرب- جنوب شرق است که نشان‌دهنده‌ی حداکثر کوتاه‌شدگی شمال‌شرق- جنوب‌غرب می‌باشد.
- ۳- در پهنه برشی جنوب غرب خوی عملکرد گسل‌های راندگی حصار- کوچوک تأثیر بسزایی در بالا رفتن درجه عدم تقارن چین‌های نامتقارن داشته است. هرچه از محدوده گسل‌های تراستی دورتر می‌شویم درجه تقارنی چین‌ها بیشتر می‌شوند.
- ۴- با توجه به مطالعات میکروسکوپی نیز در خصوص نمونه‌های برداشت شده از مناطق برشی راندگی‌های می‌توان تأثیر مؤلفه راست‌الغز راست‌بر را برای تمام راندگی‌ها استنباط نمود.
- ۵- تشکیل نوارهای برشی نظیر S-C و ریزساختارهایی چون پورفیروکلاست‌های پوششی نوع  $\delta$  و میکاماهی، نشان از غیرهم محور بودن دگرشکلی در این پهنه است.
- ۶- ساختارهای نشان‌گر سوی برش منطقه مانند فابریک-های S-C، باندهای برشی، چین‌های برشی، بلورهای ماهی‌گون

این منطقه ارائه گردید. عامل این رژیم تکتونیکی برخورد مایل پلاتفرم عربی با بلوک البرز غربی- آذربایجان است که در اثر برخورد به دو مؤلفه‌ی فشارشی و برشی تفکیک گردیده است. تنش فشاری باعث چین خوردگی و راندگی و تنش برشی عامل مؤلفه‌ی امتدادلغزی راست‌گردی در ناحیه پیرموسی شده است (شکل ۲۰).

و پوفیروکلاست‌های گویته‌ای نشان می‌دهد که دگرشکلی منطقه رژیم تکتونیکی امتدادلغز - فشارشی مایل راست‌بر را نشان می‌دهد. همچنین تحلیل استریوگرافیکی عناصر ساختاری نشان دهنده‌ی وجود هندسه تقارن تری‌کلینیک در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در نهایت مدل ساختاری امتدادلغز - فشارشی مایل با واتنش تری‌کلینیک جهت تکامل ساختاری

### مراجع

- Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2005. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 26, 683-693. <https://doi/10.1016/j.jseae.2005.01.003>
- Haji Hosseinlou, H., 2021. Petrofabric analysis of the Chaharsoton-Deshwan fault area, northwest Salmas. *Advanced Applied Geology* 11(3), 514-535. <https://doi/10.22055/aag.2020.33165.2112>.
- Haji Hosseinlou H., 2020. Badalabad Shear Zone Structures Study at North Khoy. *Kharazml journal Earth Sciences* 7 (1), 59-67.
- Haji Hosseinlou H. 2019. Deformational phases introducing in the Gheris shear zone, northwestern Khoy. *Tectonics Journal* 3(10), 68-80. <https://doi/10.22077/jt.2020.1435>.
- Haji Hosseinlou, H., 2016. Petrofabric. Islamic Azad University Khoy Branch publication, p. 334.
- Haji Hosseinlou, H., 2015. Kinematics of Transpressional Deformation in Urmia Fault Zone, (Northwest Iran). *Iranian Journal of Earth Sciences* 7 (1), 59-67.
- Haji Hosseinlou, H., Solgi, A., Mohajjel, M., Pourkermani, 2015. Deformation partitioning in response inclined transpression collision of Arabian plate with west Alborz-to azarbayjan block, the Khoy shear zone. *Scientific Quarterly Journal, Geoscience* 24, 181-196. <https://doi/20.1001.1.10237429.1393.24.94.24.4>
- Passchier, C.W., Coelho, S., 2006. An outline of shear-sense analysis in high-grade rocks. *Gondwana Research* 10, 66-76. <https://doi/10.1016/j.gr.2005.11.016>
- Radfar, J., B. Amini, 2002. Geological map of Khoy. Geological Survey of Iran.
- Ten Grotenhuis, S.M., Trouw, R. A.J., Passchier, C.W., 2003. Evolution of mica fish in mylonitic rocks. *Tectonophysics* 372, 1-21. [https://doi/10.1016/S0040-1951\(03\)00231-2](https://doi/10.1016/S0040-1951(03)00231-2)
- Trouw, T.R.A., Rudolph, A.J., Passchier, C.W., Wiersma, D.J., 2010. Atlas of Mylonites- and related microstructures. Springer, P.322.