



فصلنامه زمین ساخت

بهار ۱۴۰۰، سال چهارم، شماره ۱۷

doi: 10.22077/JT.2021.4418.1114

## ارزیابی کنترل کننده‌های ساختاری بر شکل‌گیری رگه‌های فلوئوریت در شمال باختر پهنه سنندج - سیرجان

مهدی بهیاری<sup>۱\*</sup>، منصور رضایی عزیزی<sup>۲</sup>، علی عابدینی<sup>۳</sup>، صمد علیپور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران m.behyari@urmia.ac.ir

<sup>۲</sup>دانش‌آموخته دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران m.rezaei@urmia.ac.ir

<sup>۳</sup>استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران abedini2020@yahoo.com

s.alipour@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

### چکیده

در این پژوهش، تاثیر عوامل ساختاری در شکل‌گیری رگه‌های فلوئوریتی در شمال باختر پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابر تحلیل ساختاری و ریزساختاری و بررسی مقاطع عرضی تهیه شده نشان می‌دهند که چین‌خوردگی ساختار اصلی در منطقه باقرآباد بوده و سیستم شکستگی‌های مرتبط با گسلش معکوس ساختارهای اصلی کنترل‌کننده تشکیل رگه‌های رگه‌های فلوئوریت به ترتیب در مناطق باقرآباد و قهرآباد هستند. تحلیل تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های نسبت بانندی، تحلیل مولفه‌های اصلی و روش نقشه بردار زاویه طیفی انجام گرفته آشکار می‌کنند که واکنش محلول گرمابی با سنگ‌های مسیر جریان این سیالات سبب گسترش دگرسانی‌های پروپیلیتیک و فیلیک در منطقه باقرآباد و دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک در منطقه قهرآباد شده‌اند. نتایج مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال اولیه نشان داد که کانی‌سازی فلوئوریت رخ داده در منطقه باقرآباد در عمق کم (در حدود ۳۰ متر) و در دمای کم (۵۰ الی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) رخ داده است. در صورتی که کانی‌سازی فلوئوریت در منطقه قهرآباد در عمق بیشتر (۱۵۰ الی ۲۵۰ متر) و دمای بالاتر اتفاق افتاده است. مطالعات انجام شده حکایت از آن دارد که در منطقه باقرآباد، نفوذ آب‌های جوی همراه با انحلال در شکستگی‌های واحدهای آهکی و اختلاط با محلول گرمابی باعث افزایش شوری میانبارهای سیال شده است.

کلید واژه: فلوئوریت، کنترل‌کننده ساختاری، نقشه دگرسانی، میانبار سیال.

## Evaluation of the controlling factors in the fluorite vein mineralization in the NW Sanandaj-Sirjan Zone

Mahdi Behyari<sup>1\*</sup>, Mansour Rezaei Azizi<sup>2</sup>, Ali Abedini<sup>3</sup>, Samad Alipour<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Associate professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>2</sup> PhD. in economic geology Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>3</sup> Professor in economic geology, Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

### Abstract

In this research the impact of structural controlling factors in the fluorite mineralization was evaluated, north west of the Sanandaj-Sirjan metamorphic zone. The structural and microstructural analysis indicated the major structure in the Bagher Abad region is fold related structures and shear fractures that cut the fold axes are the host for fluorite mineralization. In the Qahr-Abad area, fluorite deposits are reverse fault-related. Satellite image analysis with band ratio, PCA, and SAM techniques revealed the hydrothermal fluid circulation in the host rock caused the propagation of propylitic and phyllic alterations in the BA region whereas phyllic and argillic alteration in the QA region is dominated. The fluid inclusions microthermometry indicated in the BA region, mineralization occurred in the shallow depth approximately at 30 meters and low temperature 50-100 C°. In the QA region, mineralization takes place in the 150-200 meters and higher temperature. Analysis of salinity of the fluid inclusion shows in the BA region, mixing of meteoric water with hydrothermal fluid and Dissolution of host rock increase the salinity percent of fluid inclusion.

**Key words:** Fluorite, structural control, alteration map, fluid inclusion,

## ۱- پیش‌نوشتار

اطلاعات ارزشمندی در مورد دما، فشار و عمق تشکیل رگه‌ها به دست آورد.

فعالیت‌های آذرین در پهنه ارومیه-دختر به عنوان منشا حرارتی برای شکل‌گیری محلول‌های گرمایی عمل کرده است که غالباً با پهنه‌های کانی‌زایی قابل توجهی همراه می‌باشند. در این میان، ساختارهای سنگ میزبان نقش اساسی در شکل‌گیری نهشته‌های معدنی دارند. رگه‌های فلئوریت به عنوان نهشته‌های گرمایی دما پایین از جمله منابعی هستند که شکل‌گیری آنها ارتباط نزدیکی با فعالیت‌های گرمایی و ساختارهای محلی دارد (Richardson and Holland 1979; Alipour et al. 2015; Zou et al. 2016; Zou et al. 2020).

در این پژوهش، دو محدوده کانی‌زایی فلئوریت (قهرآباد و باقرآباد) در پهنه دگرگونی سندج-سیرجان برای بررسی ساختارهای کنترل‌کننده در شکل‌گیری کانسارهای گرمایی دما پایین مورد استفاده قرار گرفته است. برای تحلیل‌های دقیق‌تر، علاوه بر بررسی‌های ساختاری از روش‌های سنجش از دور برای به دست آوردن الگوی شکستگی‌ها و تشخیص دگرسانی‌های همراه با کانی‌زایی استفاده شده است. در نهایت، از داده‌های میانبارهای سیال برای تشکیل دما و عمق تشکیل رگه‌ها بهره گرفته شده است. هدف این پژوهش، بررسی تاثیر کنترل‌کننده‌های ساختاری در تشکیل کانسارهای مرتبط با سیستم‌های گرمایی دما پایین مانند رگه‌های فلئوریت در مناطق قهرآباد و باقرآباد است.

## ۲- زمین‌شناسی و جایگاه ژئودینامیکی

محدوده‌های مورد مطالعه در این پژوهش، در پهنه دگرگونی سندج - سیرجان واقع شده است. این پهنه، منطقه‌ای است با چندین نسل دگرشکلی که ما بین

پهنه‌های مختلف ساختاری کوهزاد زاگرس، در نتیجه همگرایی بین دو صفحه عربی و خرد قاره‌ای ایران مرکزی شکل گرفته است. این حادثه ژئودینامیکی سبب توسعه سه پهنه ساختاری و رسوبی کمربند چین خورده راندگی زاگرس (ZFTB)، پهنه دگرگونی سندج-سیرجان (SSMZ) و کمان ماگمایی ارومیه-دختر (UDMA) به موازات هم و با راستای شمال باختر-جنوب خاور شده است (Dilek and Sandvol 2009; Ballato et al. 2010; Agard et al. 2011; Behyari and Shahbazi 2019). ادامه همگرایی صفحه عربی به سمت شمال سبب شکل‌گیری الگوی پیچیده دگرشکلی در این پهنه‌ها شده است. افزایش دگرشکلی‌ها همراه با شکل‌گیری شبکه‌ای از شکستگی‌ها و افزایش نفوذپذیری در پوسته زمین می‌باشد (شکل ۱).

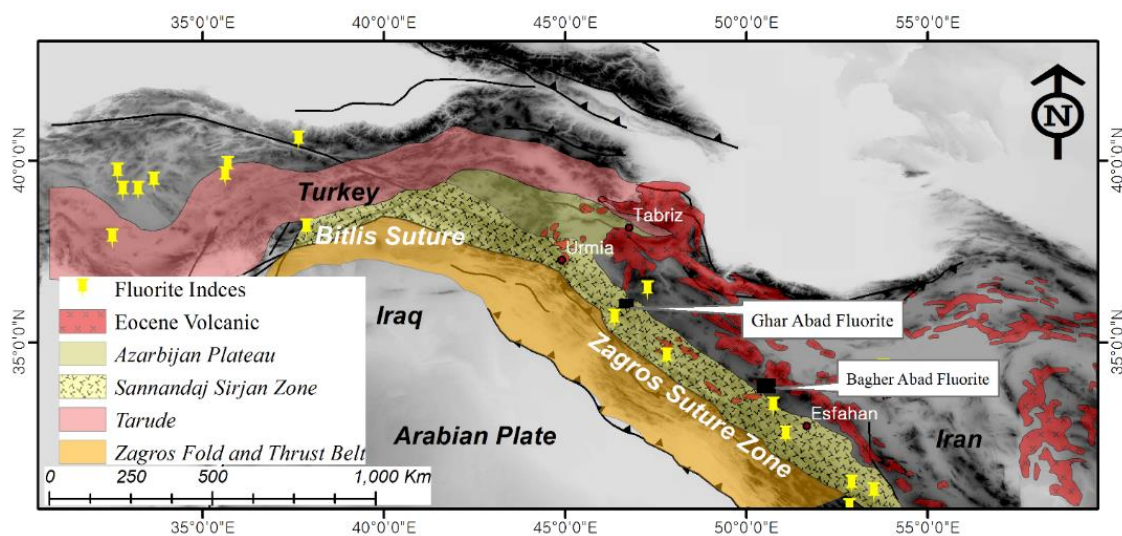
شواهد ساختاری تکامل تحت رژیم ترافشارش و تراکشن در بخش‌های مختلف زاگرس طی مطالعات متعددی مستند شده است (Mohajjel and Fergusson 2000; Sarkarnejad and Azizi 2008; Sarkarnejad et al. 2008; Mohajjel and Rasouli 2014; Behyari and Kanabi 2019). شکستگی‌های کششی که تحت این رژیم‌ها شکل می‌گیرد، ممکن است میزبان کانه‌زایی‌هایی با منشا گرمایی باشند (Fischer et al. 2009; Aliyari et al. 2012; Alizadeh-Dinabad et al. 2013; Almasi et al. 2017). تغییرات ساختاری، حرارتی و ژئوشیمیایی باعث تغییرات در رگه‌ها می‌شود. بنابراین، رگه‌ها می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد تاریخچه تکامل زمین‌شناسی یک منطقه را ارائه دهند. همچنین، از رگه‌ها

می‌توان برای تفکیک فازهای مختلف دگرشکلی استفاده نمود (Faghih and Sarkarnejad 2011; Behyari and Shahbazi 2019). به طور معمول، رگه‌ها حاوی میانبارهای سیال نیز هستند که می‌توان با مطالعه آنها

پوسته جایگیری نموده‌اند (Azizi et al. 2015; Zhang et al. 2018b). دسته سوم، فعالیت‌های آذرین مرتبط با حوادث پس از برخورد پالئوسن تا ائوسن هستند (Zhang et al. 2018b). در واقع، در دوره‌های زمانی مختلف توده‌های آذرین نفوذی تامین کننده حرارت مورد نیاز برای توسعه دگرگونی‌ها، دگرشکلی‌ها و کانی‌زایی‌ها بوده‌اند.

در هر دو محدوده مورد مطالعه، آثار فعالیت‌های آذرین قابل مشاهده است. مطالعات پیشین در مورد شکل‌گیری نشانه‌های فلئوریت نشان داده است که اغلب فلئوریت‌ها در مرز پهنه دگرگونی سندج - سیرجان با کمان ماگمایی ارومیه دختر شکل گرفته‌اند (Rezaei et al. 2017). همچنین، فلئوریت‌هایی که سنگ میزبان آنها کربناته بوده است، بیشتر در نزدیکی پهنه زاگرس توسعه و گسترش یافته‌اند (Rajabi et al. 2013). حضور توده‌های آتشفشانی ائوسن در نزدیکی کانسارهای فلئوریت‌ها نشان می‌دهد که سیالات گرمایی مشتق از این توده‌ها از طریق شکستگی‌هایی که توسط ساختارهای منطقه کنترل می‌شود، سبب گسترش پهنه‌های دگرسانی شده است.

کمر بند چین خورده رانده زاگرس و کمان ماگمایی ارومیه - دختر قرار گرفته است. از لحاظ تکنواستراتیگرافی، این پهنه شامل رسوبات و سنگ‌های دگرگونی پالئوزوییک تا سنوزوییک می‌باشد که بر روی کمر بند چین خورده گسل خورده زاگرس رانده شده است (Mohajjel et al. 2003; Agard et al. 2005; Sheikholeslami 2015). شواهد آغاز فرورانش نئوتیس تا برخورد نهایی صفحه عربی با خرد قاره ایران مرکزی در پهنه سندج - سیرجان به شکل چندین نسل دگرشکلی همراه با نفوذ توده‌های آذرین ثبت شده است (Azizi et al. 2011; Zhang et al. 2018a; Zhang et al. 2018b; Behyari and Kanabi 2019). این توده‌های آذرین می‌توانند به صورت منبع حرارتی برای شکل‌گیری محلول‌های گرمایی عمل کنند. فعالیت‌های آذرین در سندج - سیرجان به سه دسته کلی قابل تقسیم می‌باشد. دسته اول، فعالیت‌های آذرین ناشی از بسته شدن پروتوتیس به سن نئوپروتوزوییک بالایی تا کامبرین هستند (Hassanzadeh et al. 2008; Moghadam et al. 2015; Badr et al. 2018). دسته دوم، فعالیت‌های آذرین مرتبط با آغاز فرورانش نئوتیس و شکل‌گیری پنجره فرورانشی می‌باشند که به طور عمده در مزوزوییک در



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای مناطق مورد مطالعه به همراه نشانه‌های فلئوریت در پهنه سندج - سیرجان.

## ۲-۱. زمین شناسی منطقه باقرآباد

منطقه باقرآباد در جنوب خاوری شهرستان محلاتدر مرز بین پهنه دگرگونی سنندج - سیرجان و کمان ماگمایی ارومیه - دختر قرار گرفته است. قدیمی ترین واحد سنگی در این منطقه، مربوط به سنگ دولومیت های سازند سلطانیه (Es) به سن نئوپروتروزویک و کامبرین زیرین می باشد. در برخی از بخش های منطقه، برونزدهایی از ماسه سنگ های سازندهای زاگون و لالون (El) به سن کامبرین زیرین مشاهده می شود. سنگ های کربناتی و ماسه سنگ های سازند میلا به سن کامبرین بالایی در این منطقه دارای گسترش زیادی هستند. این سازند، به صورت دگرشیب توسط سنگ دولومیت ها و سنگ آهک های پرمین و تریاس زیرین (P) پوشیده شده است. سازند شمشک به سن ژوراسیک زیرین (Js) با ترکیب سنگ شناسی شیل، ماسه سنگ، دولومیت و آهک بر روی واحدهای سنگی تریاس زیرین قرار گرفته است (RASHIDNEZHAD et al. 2002). غرب محدوده مورد مطالعه، سنگ آهک های اریبتولین دار کرتاسه برونزد دارند در منطقه باقرآباد، سازند شمشک با ترکیب سنگ شناسی شیل، ماسه سنگ، سنگ دولومیت و سنگ آهک های دگرگون نشده میزبان کانی زایی فلوئوریت به شکل رگه ای می باشد. رگه های فلوئوریت در این منطقه، دارای راستای خاوری-باختری بوده و طولی در حدود ۵۰۰ متر دارند. ضخامت آنها بین ۱۰ سانتی متر تا ۵ متر تغییر می کند (شکل 2a). در نمونه های دستی مرز مشخص رگه با دیواره که نشان دهنده جایگیری رگه های فلوئوریتی در شکستگی های منطقه می باشد (شکل 2b). بنابر مطالعات میکروسکپی، در رگه هایی حاوی فلوئوریت، کانی کوارتز به عنوان کانی همراه دیده می - شود (شکل 2c).

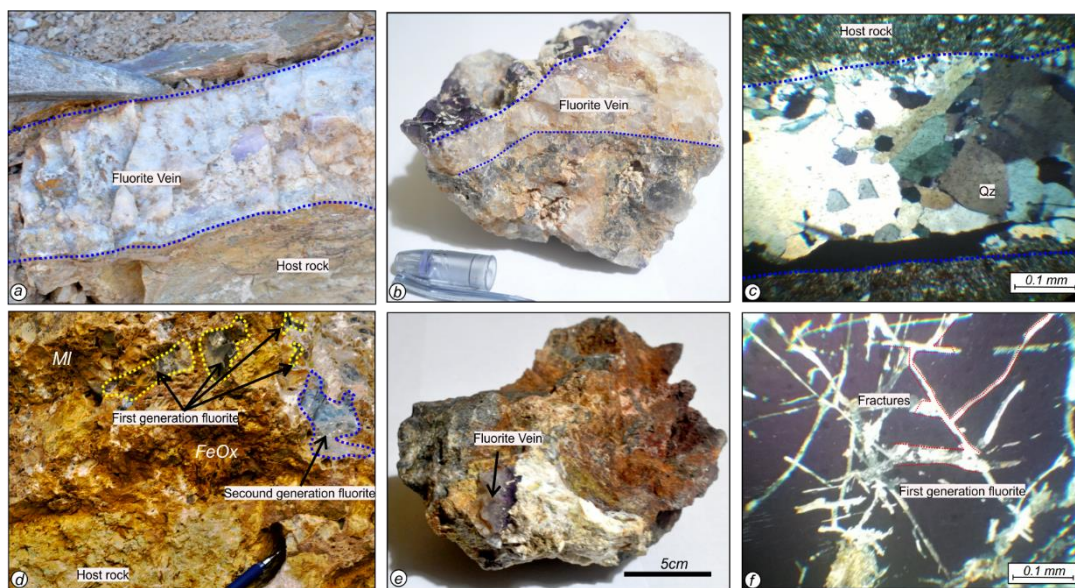
## ۲-۲. زمین شناسی منطقه قهرآباد

منطقه قهرآباد در جنوب خاوری شهرستان سقز در بخش شمالی پهنه سنندج سیرجان واقع شده است. سنگ - شناسی منطقه از قدیم به جدید عبارت است از: واحدهای دگرگونی غیر طبقه بندی شده شامل آمفیبولیت، گنایس، میکاشیست، فیلیت به همراه سنگ های آتشفشانی آندزیتی (Mt) و واحدهای سنگ آهکی و سنگ دولومیتی قبل از پرمین (MI). دسته بعدی از واحدهای سنگی که در منطقه دارای وسعت قابل توجهی هستند، آهک های اوریتولین دار به همراه دولومیت کرتاسه (Kml) و واحدهای آندزیتی و پیروکسن آندزیت می - باشند (An). مطالعات صحرایی نشان می دهد که کانی - زایی فلوئوریت در این منطقه به صورت رگه ای در سنگ میزبان آهکی تریاس اتفاق افتاده است. رخنمون این واحد آهکی تریاس در امتداد گسل راندگی با راستای تقریبی خاوری-باختری می باشد. ضخامت رگه های فلوئوریت در این منطقه از ۲ سانتی متر تا ۱ متر در نوسان است (شکل 2d). مرز رگه های فلوئوریت با سنگ میزبان آهکی به طور کامل مشخص نیست و به صورت کاملاً خرد شده می باشد (شکل 2e). سنگ میزبان آهکی رنگ قهوه ای روشن داشته و فاقد فسیل است. در این محدوده، کانی زایی فلوئوریت به دو نسل قابل تفکیک می باشد. فلوئوریت های نسل اول به صورت بلورهای بزرگ در یک زمینه میکروولیتی دیده می شود (شکل 2f). در مقابل، فلوئوریت های نسل دوم ریز دانه بوده و به رنگ آبی روشن تا بی رنگ قابل مشاهده هستند. فلوئوریت های نسل دوم معمولاً در داخل شکستگی هایی فلوئوریت های نسل اول توسعه یافته اند. بررسی های مقاطع نازک نشان می دهد که کلسیت، کوارتز و رس ها فازهای کانیایی همراه فلوئوریت در این منطقه می باشند.

### ۳- روش مطالعه

شکستگی‌ها اندازه‌گیری شد، زیرا این ساختارها سبب افزایش نفوذپذیری پوسته شده و مسیری را برای چرخش محلول گرمابی پدید آورده‌اند. همچنین، از مطالعات مبتنی بر سنجش از دور برای ارزیابی دگرسانی‌های که به همراه کانی‌زایی فلئوریت در منطقه توسعه پیدا کرده‌اند، استفاده شده است. جهت‌گیری شکستگی‌ها و پراکندگی آنها توسط تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده و از آنالیز میانبراهای سیال به منظور تخمین آخرین دما و عمق کانی-زایی بهره گرفته شده است.

به منظور بررسی ساختارهای کنترل‌کننده در شکل-گیری فلئوریت‌های مورد مطالعه از چندین رویکرد برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. در مرحله اول، با توجه به برداشت‌های صحرایی و مطالعات مبتنی بر ریزساختارها، تحلیل‌های ساختاری و جنبشی بر روی سنگ-های میزبان و رگه‌های فلئوریت انجام شد. در برداشت-های صحرایی، هندسه و جهت‌گیری فضایی گسل‌ها و



شکل ۲- تصاویر ماکروسکوپی، نمونه‌های دستی و میکروسکوپی از کانی‌زایی فلئوریت در محدوده‌های مورد مطالعه. (a) رگه فلئوریت سفید رنگ در سنگ میزبان محدوده باقرآباد. (b) نمونه دستی از جایگیری فلئوریت در شکستگی‌های منطقه باقرآباد. (c) تصویر میکروسکوپی از رگه فلئوریتی و کانی‌های همراه کوارتز با فلئوریت در محدوده باقرآباد. (d) نسل‌های مختلف فلئوریت در منطقه قهرآباد با رنگ‌های دودی و آبی روشن. (e) نمونه دستی از جایگیری فلئوریت در پهنه گسلی محدوده قهرآباد. (f) تصویر میکروسکوپی از فلئوریت‌های نسل اول و شکستگی‌های فراوان آن که میزبان فلئوریت‌های نسل دوم بوده است. همه تصاویر میکروسکوپی با نور پلاریزان متقاطع یا XPL تهیه شده‌اند.

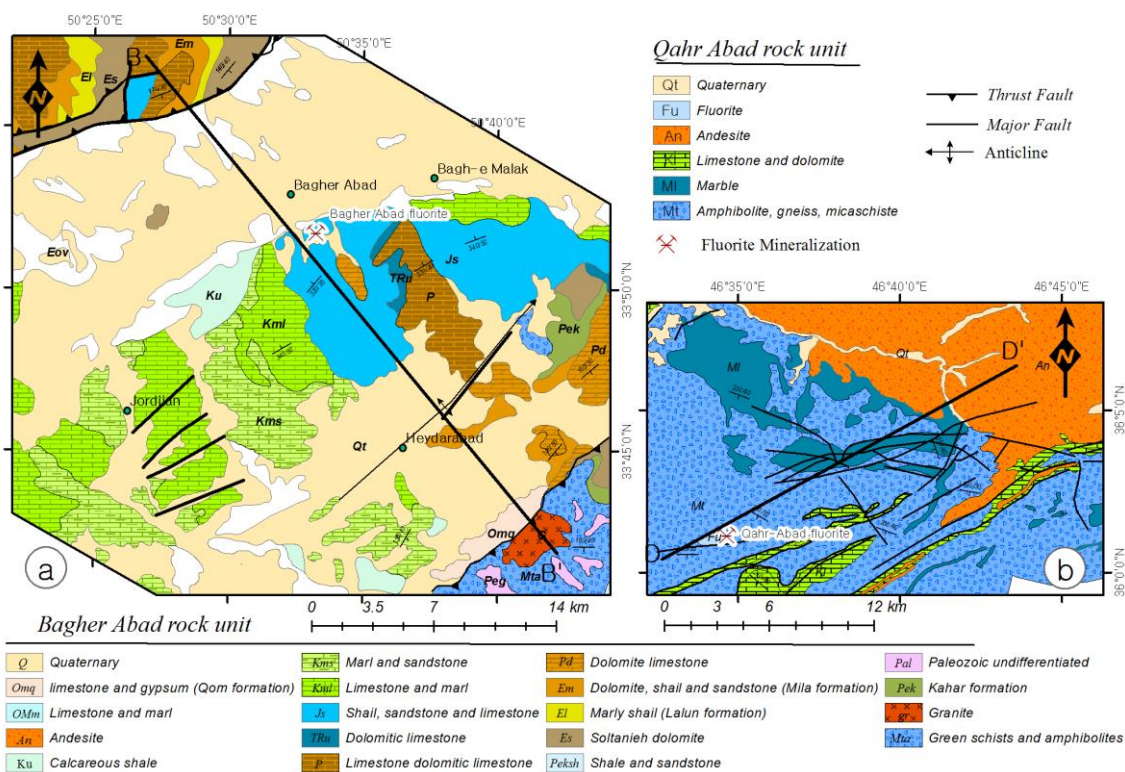
### ۳-۱. تحلیل هندسی

ناپیوستگی دوم بین فیلیت‌های ژوراسیک (Js) با واحدهای سنگی قدیمی‌تر واقع شده است. فاز زمین-ساختی که باعث این دگرگونی شده است، به احتمال زیاد یک فاز دیناموترمال بوده که سبب گسترش برگوارگی نافذی در واحدهای سنگی ژوراسیک (Js) شده است. طبق اندازه‌گیری‌های صحرایی، موقعیت

در محدوده باقرآباد، وجود دو ناپیوستگی بزرگ نشانگر تاثیر حوادث مهم زمین‌ساختی در منطقه می‌باشد. اولین ناپیوستگی بین واحدهای سنگ آهک بلورین پرمین و سنگ دولومیت‌های نئوپروتروزوییک و کامبرین (Es) و یا دگرگونی‌های پالتوزوییک قرار دارد.

رگه‌های فلوئوریت به موازات بر گوارگی‌ها بوده و تغییر جهت بر گوارگی همراه با تغییر جهت رگه‌های فلوئوریت است، به نظر می‌رسد در محدوده مورد مطالعه شکل-گیری رگه‌ها و بر گوارگی با یکدیگر مرتبط بوده‌اند. (شکل 3a).

هندسی این بر گوارگی‌ها  $N85^{\circ}E/80^{\circ}NW$  می‌باشد که اغلب به عنوان میزبان رگه‌های فلوئوریتی عمل کرده است. موقعیت هندسی رگه‌های فلوئوریت  $N80^{\circ}W/85^{\circ}NE$  بوده و معمولاً به موازات صفحات بر گوارگی جایگیری کرده‌اند. با توجه به اینکه امتداد

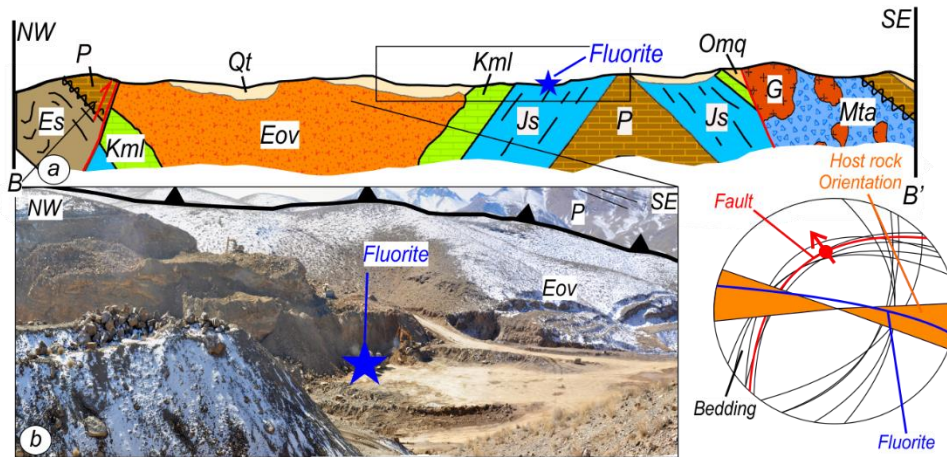


شکل ۳- نقشه‌های زمین شناسی محدوده‌های مورد مطالعه. (A) نقشه زمین شناسی محدوده باقرآباد (بازنگری شده نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ایرانشاه). (B) نقشه زمین شناسی منطقه قهرآباد (بازنگری شده نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ گلپایگان و ۱:۱۰۰۰۰۰ محلات).

اوسن گردیده است (شکل ۴a, b). رگه‌های فلوئوریت با راستای تقریبی خاوری و باختری به صورت موازی با یکدیگر تشکیل شده است. این رگه‌ها توسط گسل‌های فرعی جابه جا شده اند (شکل ۴c).

فلوئوریت‌های منطقه قهرآباد به صورت رگه‌ای، در واحد دگرشکل شده سنگ دولومیتی-سنگ آهکی تریاس تشکیل شده است. (شکل 3b). واحدهای پی-سنگ در این منطقه توسط گسل‌های معکوس با جهت شیب مخالف هم فرایش پیدا کرده است.

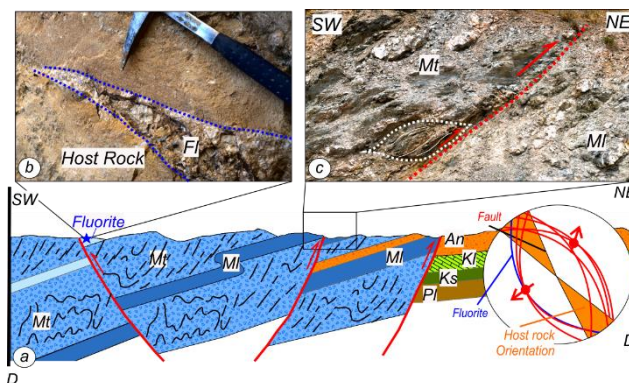
سطح محوری تاقدیس دارای جهت‌گیری  $N40^{\circ}E/90^{\circ}$  می‌باشد و پلانز محور چین  $30^{\circ}NE$  است. هسته تاقدیس در این منطقه شامل سنگ آهک‌های پرمین می‌باشد و سنگ‌های آتشفشانی اوسن در هسته ناودیس جایگیری شده است. راندگی‌هایی با شیب به سمت جنوب شرق ( $N50^{\circ}E/75^{\circ}SE$ ) سبب راندگی دگرگونی-های پالئوزوییک بر روی واحدهای سنگ آهکی الیگومیوسن شده است. همچنین گسل‌های راندگی با شیب به سمت شمال غرب ( $S50^{\circ}W/70^{\circ}NW$ ) سبب راندگی واحدهای پرمین بر روی سنگ‌های آتشفشانی



شکل ۴- مقطع عرضی در منطقه باقرآباد به همراه استرئوپلات گسل‌ها و رگه‌های فلئوریت که بر روی آن محدوده تغییرات امتداد سنگ میزبان فلئوریت‌ها با قطعات‌های نارنجی رنگ مشخص شده است. (a) جایگیری رگه‌های فلئوریت در راستای شکستگی‌های عرضی - برشی چین خوردگی واحدهای مزوزوئیک. (b) موقعیت رگه‌های فلئوریت به راستای تقریبی E-W. (c) رگه‌های فلئوریت با راستای تقریبی خاوری-باختری و تراکم شکستگی‌ها در محدوده مورد مطالعه.

چرخش محلول‌های گرمایی پدید آورده است. در کل، روند رگه‌های فلئوریت و پهنه‌های گسل معکوس در منطقه مورد مطالعه یکسان است (شکل ۵b). ساختارهای برشی همچون عدسی‌ها هماهنگ با سازوکار جنبشی راندگی برای این گسل است (شکل ۵c). با توجه به نقش گسل در شکل‌گیری فلئوریت‌های این منطقه، شکل-گیری این ذخایر همزمان تا بعد از فرآیند گسلش در منطقه بوده است.

جهت‌گیری هندسی این گسل‌ها  $N35^{\circ}W/50^{\circ}NE$  و  $N20^{\circ}W/40^{\circ}SW$  است (شکل ۵a). در محدوده مورد مطالعه، شیب گسل‌های اصلی به سمت جنوب غرب بوده که سبب رانده شدن پی‌سنگ منطقه بر روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن شده است. رگه‌های فلئوریت در منطقه قهرآباد در راستای گسل‌های فوق با جهت تمایل (Vergence) به سمت جنوب غرب جایگیری شده است. در واقع، این پهنه گسل مسیری را برای عبور و



شکل ۵- مقطع عرضی در منطقه قهرآباد به همراه استرئوپلات گسل‌ها و رگه‌های فلئوریت که بر روی آن محدوده تغییرات امتداد سنگ میزبان فلئوریت‌ها با قطعات‌های نارنجی رنگ مشخص شده است. (a) جایگیری رگه‌های فلئوریت در پهنه گسلی با شیب به سمت شمال شرق. (b) پرشدگی شکستگی‌ها توسط رگه‌های فلئوریت. (c) شکل‌گیری ساختارهای عدسی شکل در پهنه‌های راندگی.



## ۳-۲. ریز ساختارها در سنگ میزبان و رگه-

### های معدنی

تکامل ریز ساختارها تحت تاثیر دگرشکلی و شرایط محیطی از قبیل دما، فشار، حضور فاز سیال و رئولوژی کانی‌ها قرار دارد. بنابراین، ریز ساختارها می‌توانند به عنوان شاخصی برای تعیین شرایط دگرشکلی مورد استفاده قرار بگیرند (Passchier and Trouw 1996; Mookerjee and Fortescue 2016; Behyari and Kanabi 2019). به همین منظور، برای ارزیابی شرایط تشکیل رگه‌های فلونوریتی در محدوده‌های مورد مطالعه بررسی‌های ریز ساختاری بر روی سنگ میزبان و رگه‌های فلونوریتی انجام گرفته است.

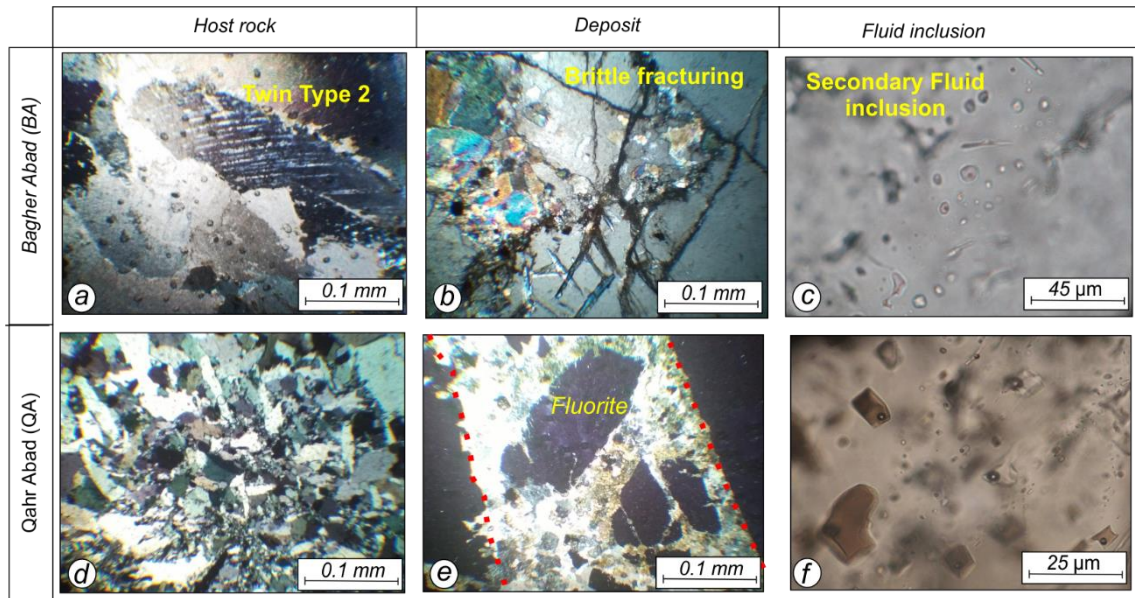
در منطقه باقرآباد، اغلب تناوب شیست‌ها و سنگ آهک‌های متبلور به عنوان سنگ میزبان بوده است. مهمترین ریزساختارها در این منطقه، دوقلویی‌های کلسیت می‌باشد. به طور معمول، این نوع دوقلویی‌ها در پاسخ سنگ میزبان به تنش‌های اعمالی ایجاد می‌شود. اندازه‌گیری ضخامت دوقلوها نشان می‌دهد که اغلب آنها از نوع دوقلوهایی تیپ یک یا اصطلاحاً "دما پایین می-باشد. این نوع از دوقلوها، معمولاً در دمای بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند (شکل ۶a). کوارتز، کانی اصلی دیگری است که با فراوانی زیاد در سنگ میزبان دیده می‌شود. این کانی، دارای جهت یافتگی ضعیفی بوده و در حاشیه آنها به صورت ضعیف دگرشکلی از نوع bulging قابل مشاهده می‌باشد. مجموعه ریز ساختارها در سنگ میزبان دلالت بر شرایط دما پایین دگرشکلی در این محدوده دارد. بافت کاتاکلاستیکی فلونوریت‌ها مبین حاکم بودن دگرشکلی شکننا طی کانی‌زایی می‌باشد. در چنین شرایطی، شکستگی‌ها نقش برجسته‌ای در عبور و جریان محلول گرمایی بر عهده دارند. رگه‌های فلونوریت منطقه باقرآباد به دو نسل متمایز قابل تفکیک هستند فلونوریت‌های

درشت بلور نسل اول در این منطقه، در نتیجه نفوذ محلول گرمایی در شکستگی‌های سنگ میزبان شکل گرفته‌اند. بنابراین، شکل‌گیری فلونوریت‌های نسل اول در این منطقه را می‌توان همزمان با رخداد فاز دگرشکلی شکننا در نظر گرفت (شکل ۶b). فلونوریت‌های نسل دوم ریزدانه بوده و همراه با کوارتز متبلور شده‌اند. این نوع فلونوریت‌ها از فراوانی کمتری برخوردار هستند. به منظور بررسی دقیق‌تر شرایط دگرشکلی، مقاطع دوبر صیقلی به منظور مطالعات میانبراهای سیال تهیه گردید. آرایش خطی و اندازه ریز میانبراهای در این نمونه‌ها، دلیلی بر با ثابته بودن آنها می‌باشد. این میانبراهای، خود مویذ حضور فاز سیال به هنگام کانی‌زایی است که از داده‌های آنها به منظور تعیین دما و عمق شکل‌گیری فلونوریت‌ها استفاده شده است (شکل ۶c).

در منطقه قهرآباد، واحدهای مرمیت و سنگ دولومیت سنگ میزبان کانی‌زایی هستند. تنش سبب جابه‌جایی نقاط نقص در شبکه بلوری کانی‌های کلسیت شده که در نهایت منجر به تشکیل ساختارهای دوقلویی کلسیت می‌شود ضخامت این دوقلویی‌ها در ارتباط با مقدار تنش و دما می‌باشد. دوقلویی‌های نوع یک معمولاً تا دمای ۱۷۰ درجه سانتیگراد و ضخامت یک میکرون تشکیل می‌شود. دوقلویی‌های نوع دوم در دمای ۱۷۰ تا ۲۰۰ درجه تشکیل شده و نسبت به نوع یک ضخیم‌تر می‌باشد (Ferrill et al. 2004; Craddock et al. 2007). اغلب دوقلویی‌های کلسیت، از تیپ یک بوده، هر چند که به صورت محدود دوقلویی‌های تیپ دو نیز توسعه پیدا کرده‌اند. با توجه به این داده‌ها، شرایط دگرشکلی سنگ میزبان دما پایین تخمین زده می‌شود. بافت اطراف این دوقلویی‌ها اغلب اسیمان میکرایتی می‌باشد که در اثر دگرشکلی تا حدودی تبلور دوباره پیدا کرده است. فاز کانی‌زایی مهم دیگر کوارتز می‌باشد که دارای خاموشی موجی ضعیف و بدون هرگونه جهت یافتگی ترجیحی

روی سطح آنها دیده می‌شود که دمای پایین تشکیل آن را نشان می‌دهد (شکل ۶e). میانبرهای سیال مطالعه شده در این منطقه نیز به صورت ثانویه و در راستای ترک‌ها رشد کرده و بسیار ریز دانه می‌باشند (شکل ۶f).

است (شکل ۶d). در این منطقه، بلورهای بسیار بزرگ فلوئوریت شواهد مشخصی از جریان کاتاکلاستیکی را در رگه‌ها نشان می‌دهد. دانه‌های فلوئوریت در این منطقه کاملاً "گوشه‌دار بوده و شکستگی‌های شکنای زیادی بر



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی رگه‌های فلوئوریت در محدوده‌های باقرآباد و قهرآباد. (a) دوقلوبی‌های تیپ یک کلسیت شاخص دمای پایین دگرشکلی. نور XPL. (b) دگرشکلی کاتاکلاستیکی در شرایط دگرشکلی دما پایین در فلوئوریت‌ها. نور XPL. (c) میانبرهای سیال تک فازی و دو فازی ثانویه در رگه‌های فلوئوریت منطقه باقرآباد. نور PPL (d) تبلور مجدد دانه‌های کواتز بدون جهت‌یافتگی. نور XPL. (e) دگرشکلی شکنای دما پایین همراه با چرخش فلوئوریت‌ها در سیمان میکرایتی ریز دانه در پهنه گسلی. نور XPL. (f) میانبرهای سیال ریز دانه ثانویه در رگه‌های فلوئوریتی در منطقه قهرآباد. نور PPL.

بارسازی بهتر فیلترهای تنظیم، زوایایی برای شکستگی-های مد نظر و طول آنها در نرم افزار ژئومتیکا تعریف شد و خطواره‌های استخراج شده در نرم افزار GIS مورد تحلیل قرار گرفت. نقشه چگالی شکستگی‌ها استخراج گردید و با اضافه کردن طول و عرض جغرافیایی برای این خطواره‌ها در نهایت نمودار گل‌سرخ (Rose diagram) شکستگی‌ها به دست آمد.

### ۳-۳. نقشه پراکندگی شکستگی‌ها

با توجه به تایید نقش مهم شکستگی‌ها در کانی‌زایی فلوئوریت در محدوده‌های مورد مطالعه توسط مطالعات ساختاری و بررسی‌های ریز ساختاری در سنگ میزبان و خود رگه‌ها، شناسایی الگوی پراکندگی شکستگی‌ها دارای اهمیت زیادی خواهد بود (Behyari et al. 2019). بدین منظور، از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و مدل ارتفاع رقومی منطقه برای استخراج الگوی شکستگی‌ها در محدوده‌های مورد بررسی استفاده گردید. برای

### ۳-۴. پردازش تصاویر ماهواره‌ای و سنجش

#### از دور

مطالعات تا این مرحله نقش شکستگی‌ها و محلول گرمابی را در کانی‌زایی فلوئوریت‌ها مورد تایید قرار داده است. وجود این دو عامل در کنار هم، شرایط را برای گسترش دگرسانی در سنگ‌های میزبان پدید آورده است. لذا، بررسی نوع و میزان گسترش دگرسانی‌های همراه با کانی‌زایی فلوئوریت می‌تواند به عنوان شاخص مناسبی برای شناسایی شکستگی‌هایی که همراه با این نوع کانی‌زایی بوده است، مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به گستردگی محدوده‌های مورد مطالعه، بررسی‌های مستقیم دگرسانی‌ها از طریق نمونه‌برداری بسیار پرهزینه خواهد بود. از اینرو، از پردازش تصاویر ماهواره‌ای بدین منظور استفاده گردید. در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای ASTER برای استخراج دگرسانی‌ها بهره گرفته شد. (Crosta et al. 2003; Amer et al. 2010; Tangestani et al. 2011; Shahriari et al. 2015). با توجه به اینکه تک باند اطلاعات لازم را برای جداسازی دگرسانی‌ها در اختیار نمی‌گذارد، بهترین راه استفاده از اطلاعات چندین باند با ایجاد تصاویر کاذب چند رنگی می‌باشد. تحلیل‌های تجربی نشان داده است که برای جداسازی دگرسانی‌ها بهترین ترکیب باندی  $RGB = 4, 6, 8$  می‌باشد. در این ترکیب، کانی‌های شاخص پهنه پروپیلیتیک (اپیدوت و کلریت)، پهنه آرژیلیک (آلونیت و کائولینیت) و پهنه فیلیک (ایلیت و مسکوویت) به ترتیب با رنگ‌های سبز، قرمز و آبی مشخص خواهد شد. (Tangestani et al. 2011).

در روش نسبت باندی از نسبت‌های باند بازتاب به جذب برای شناسایی کانی‌های هدف استفاده می‌کنند. برای شناسایی کانی‌های شاخص پهنه فیلیک از نسبت باندی  $(5+7)/6$ ، آرژیلیک  $4/5$  و پروپیلیتیک  $(9+7)/8$

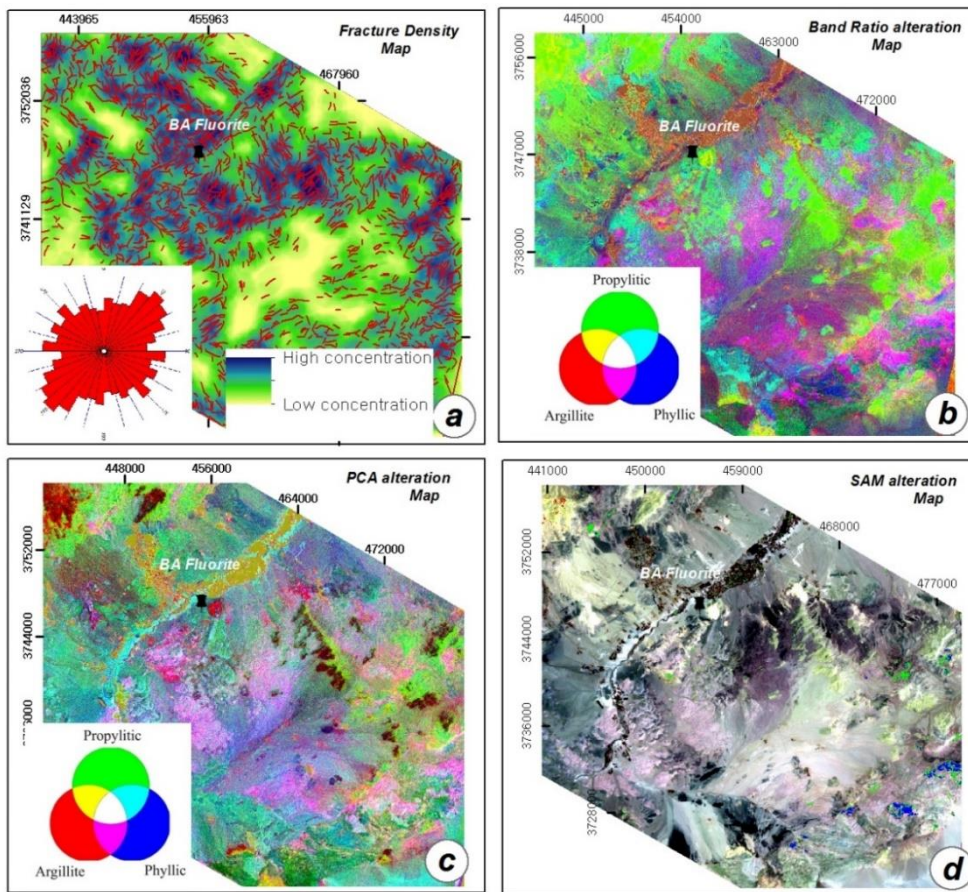
استفاده شده است. در ادامه شناسایی پهنه‌های دگرسانی از روش آنالیز مولفه‌های اصلی استفاده شد (Crosta et al. 2003). برای بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک در محدوده‌های مورد مطالعه باند ۹ و ۷ در بازتاب و باند ۸ در جذب قرار می‌گیرد. بررسی مولفه‌ها نشان داد که مولفه ۴ منطبق با باندهای جذب و بازتاب دگرسانی پروپیلیتیک می‌باشد. به همین ترتیب، برای دگرسانی فیلیک مولفه ۵ و دگرسانی پروپیلیتیک مولفه ۳ انتخاب گردید. روش نقشه بردار زاویه طیفی یک روش طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد. در این روش، مقایسه طیف تصاویر با کتابخانه طیفی استاندارد به منظور تشخیص کانی‌های شاخص پهنه‌های دگرسانی انجام می‌گیرد. الگوریتم SAM با استفاده از محاسبه زاویه بین دو باند محاسبه می‌شود. (Shahriari et al. 2015).

نقشه چگالی شکستگی‌ها در منطقه باقرآباد نشان می‌دهد که شکستگی‌ها در جهات مختلف پراکنده هستند، اما شکستگی‌های با راستای NE-SW دارای پراکندگی بیشتری می‌باشند. این راستا تقریباً به موازات اثر محوری چین خوردگی‌های منطقه قرار دارد. در منطقه قهرآباد، از پراکندگی شکستگی‌ها و خطواره‌ها نسبت به منطقه باقرآباد کاسته می‌شود و خطواره‌های با راستای NW-SE غالب هستند. نقشه تراکم شکستگی‌های منطقه نشان می‌دهد که شکستگی‌ها در پهنه‌های گسل به صورت چشمگیری افزایش یافته است (شکل ۷a).

با استفاده از کتابخانه طیفی USGS کانی‌های شاخص پهنه‌های دگرسانی با توجه به طیف‌های بازتاب و جذب تصاویر ماهواره ASTER استخراج شد. در منطقه باقرآباد، روش‌های نسبت باندی، تحلیل مولفه‌های اصلی و نقشه‌بردار زاویه طیفی برای استخراج نقشه‌های دگرسانی مورد استفاده قرار گرفت. نقشه RGB که توسط نقشه نسبت باندی استخراج شد، نشان داد که دگرسانی پروپیلیتیک در این منطقه غالب است و در رتبه

(شکل ۷c). در روش طبقه‌بندی نظارت شده نقشه‌بردار زاویه طیفی، زاویه ماکزیمم 0.19 برای شناسایی کائولینیت و 0.16 برای کلریت استفاده شد. نقشه استخراجی به این روش نیز نشان داد که در منطقه باقرآباد کانی‌زایی فلئوریت همراه با توسعه دگرسانی‌های پروپلیتیک و آرژیلیک همراه بوده است (شکل ۷d).

دوم، دگرسانی فیلیک قرار دارد (شکل ۷b). در این منطقه از PC3، PC4، PC5 و PC3 به ترتیب برای بارسازی دگرسانی‌های پروپلیتیک، فیلیک و آرژیلیک استفاده شد. نقشه RGB ترکیبی مستخرج از تحلیل مولفه‌های اصلی نشان داد که در منطقه باقرآباد، واحدهای شیستی و سنگ آهکی سنگ میزبان تحت تاثیر محلول گرمابی دگرسانی پروپلیتیک و فیلیک توسعه پیدا کرده‌اند



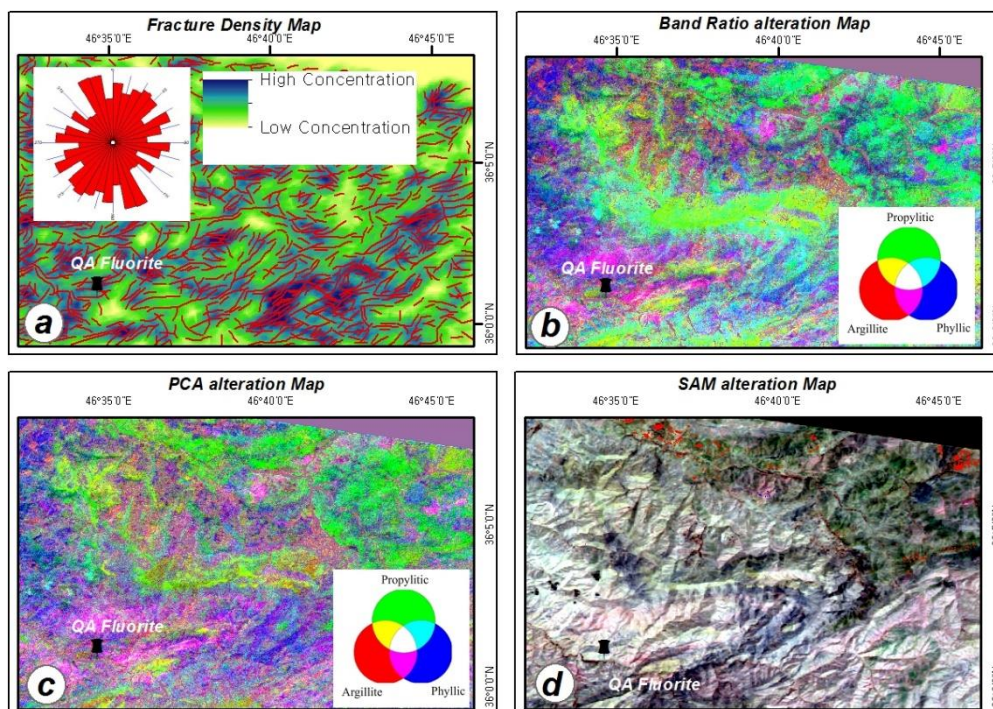
شکل ۷- نقش‌های استخراجی مطالعات سنجش از دور در منطقه باقرآباد. (a) نقشه تراکم شکستگی‌ها به همراه نمودار گل سرخی شکستگی‌ها و پراکندگی شکستگی‌ها در جهات مختلف. (b) نقشه دگرسانی نسبت باندی و گسترش دگرسانی پروپلیتیک در محدوده رگه‌های فلئوریت. (c) نقشه آنالیز مولفه‌های اصلی PC3، PC4، PC5 و PC3 به ترتیب برای بارسازی دگرسانی‌های پروپلیتیک، فیلیک و آرژیلیک. (d) طبقه‌بندی نظارت شده نقشه‌بردار زاویه طیفی که زاویه ماکزیمم 0.19 برای شناسایی کائولینیت و 0.16 برای کلریت استفاده شد.

شکستگی‌ها را در پهنه گسلی نشان می‌دهد در این منطقه، از پراکندگی شکستگی‌ها و خطواره‌ها نسبت به منطقه

در منطقه قهرآباد، شکستگی‌ها بیشتر تحت تاثیر گسل‌ها بوده است و نقشه تراکم شکستگی‌ها تمرکز

در منطقه قهرآباد، کانی‌زایی فلوئوریت همراه با دگرسانی‌های فلیک و آرژیلیک است (شکل ۸c). در روش نقشه بردار زاویه طیفی برای پهنه دگرسانی پروپیلیتیک زاویه 0.12 برای کلریت و برای دگرسانی فلیک زاویه 0.1 برای مسکویت و برای تشخیص پهنه دگرسانی آرژیلیک 0.19 برای کائولینیت استفاده شد (شکل ۸d).

باقرآباد کاسته می‌شود و خطواره‌های با راستای NW-SE غالب هستند (شکل ۸a). سنگ میزبان کانی‌زایی فلوئوریت مرم‌های دگرشکل شده و سنگ دولومیت می‌باشند. نقشه‌های دگرسانی که به روش نسبت بانندی استخراج شد، گسترش دگرسانی‌های فلیک و آرژیلیک را در این منطقه نشان می‌دهد (شکل ۸b). تحلیل مولفه-های اصلی نیز این نتایج را تایید کرد و مشخص شد که



شکل ۸- نقشه‌های استخراجی مطالعات سنجش از دور در منطقه قهرآباد. (a) نقشه تراکم شکستگی‌ها به همراه نمودار گل سرخی شکستگی‌ها و پراکندگی شکستگی‌ها در جهات مختلف. (b) نقشه دگرسانی نسبت بانندی و گسترش دگرسانی پروپیلیتیک در محدوده رگه‌های فلوئوریت. (c) نقشه آنالیز مولفه‌های اصلی PC3، PC4 و PC5 به ترتیب برای بارز سازی دگرسانی‌های پروپیلیتیک، فلیک و آرژیلیک. (d) طبقه‌بندی نظارت شده نقشه بردار زاویه طیفی ماکزیمم برای پهنه دگرسانی پروپیلیتیک زاویه 0.12 برای کلریت، برای دگرسانی فلیک زاویه 0.1 برای مسکویت و برای پهنه دگرسانی آرژیلیک 0.19 برای کائولینیت استفاده شده است.

#### ۴- نتایج و بحث

##### ۴-۱. تفسیر داده‌های ساختاری

ساختارهای طی فازهای دگرشکلی فشارشی شکل گرفته‌اند. ریز ساختارهای کلسیت و کوارتزهای دگرشکل شده نشان می‌دهد، دگرشکلی در این منطقه نازک پوسته بوده و در شرایط دما پایین اتفاق افتاده است. شکستگی‌های که نقش اساسی در کانی‌زایی‌ها داشته‌اند، در ارتباط چین خوردگی‌ها می‌باشند. شکستگی‌های که موازی محور

در منطقه باقرآباد، چین خوردگی و گسل‌های رانندگی از ساختارهای مهم و اساسی هستند. این



چین خوردگی‌ها می‌باشند، دسته درزهای غالب می‌باشند و در بسیاری از موارد، میزبان رگه‌های فلوئوریت بوده است. بر خلاف منطقه قهرآباد، در منطقه باقرآباد گسل‌ها نقش قابل توجهی در کانی‌زایی ندارند.

در منطقه قهرآباد، کانی‌زایی فلوئوریت در پهنه گسلی اتفاق افتاده است. ساختارهای نیمه شکل‌پذیر از قبیل عدسی‌های گسلی، کانی‌های ماهی‌گون و همچنین، چرخش بلورهای فلوئوریت در داخل زمینه شکل‌پذیر نشانگر توسعه رگه‌های فلوئوریتی در شرایط برش ناشی از گسل می‌باشد. ساختارها و ریزساختارهای مطالعه شده از قبیل دوقلویی‌های کلسیت نشان می‌دهد که کانی‌زایی فلوئوریت‌ها در شکستگی‌های ناشی از گسل در دما متوسط تا پایین اتفاق افتاده است و دما نسبت به منطقه باقرآباد بالاتر بوده است.

#### ۲-۴. ریزدماسنجی میانبارهای سیال

عمق کانی‌زایی را می‌توان با توجه به دما تعیین نمود. میانبارهای سیال می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد دمای به دام افتادن سیال به هنگام کانی‌زایی فلوئوریت در اختیار قرار دهد. دمای همگن شدن میانبارهای سیال طی فرآیند گرم کردن توسط تجهیزات لینکهام THMS-600

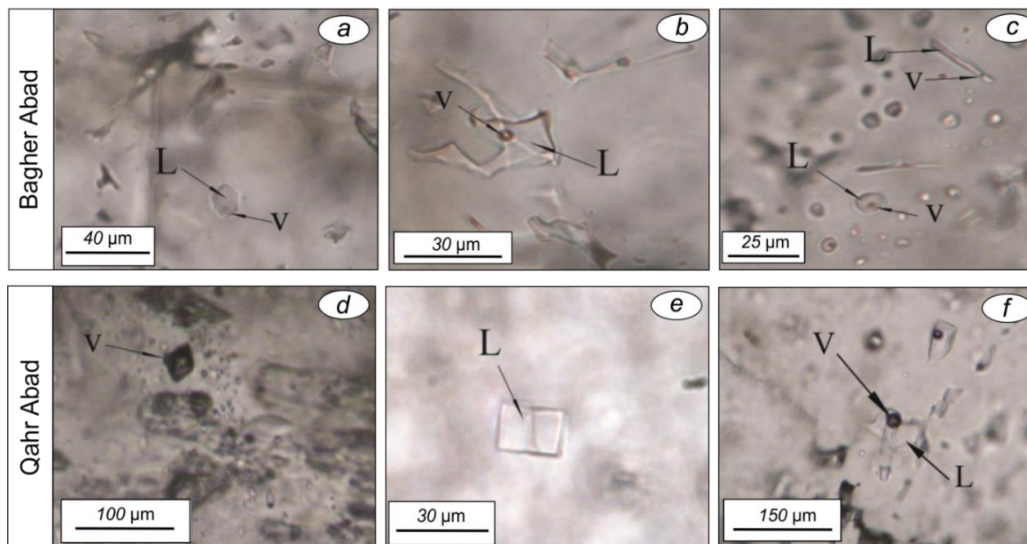
میانبارهای سیال ثانویه بسیار ریز بوده و مطالعات آن به سختی انجام گرفته است. این نوع میانبارها به دو صورت دو فازي گاز-مایع یا تک‌فازی مایع قابل مشاهده هستند. آنها، کوچکتر از ۸ میکرومتر بوده و در اغلب موارد، در داخل ریز ترک‌ها تشکیل شده‌اند. دمای یوتکتیک در نمونه‌های باقرآباد ۷۵/۵۲- و در نمونه‌های قهرآباد ۵۱/۱۷۸- می‌باشد. این داده‌ها نشان می‌دهد که دمای یوتکتیک نمونه‌های فلوئوریت در محدوده‌های مورد

در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران تعیین شدند. نتایج مطالعات میانبارهای سیال برای تخمین عمق کانی‌زایی مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج حاصل از مطالعات ریزدماسنجی پنج نمونه از فلوئوریت‌های نسل اول و دوم موجود در محدوده‌های مطالعه شده، مشخص کرد که سه نوع میانبار سیال اولیه، ثانویه و کاذب در رگه‌های فلوئوریت قابل مشاهده است. اندازه میانبارهای سیال اولیه ۱۰ تا ۷۰ میکرومتر بوده و به اشکال متنوعی مانند طویل، کروی و بی‌شکل یا مربعی قابل مشاهده هستند (Rezaei Azizi et al. 2017, 2018). در منطقه باقرآباد، میانبارهای سیال اغلب به صورت دو فازي گازی و مایع هستند. میانبارهای تک‌فازی و یا مایع به ندرت دیده می‌شوند. از لحاظ شکل، میانبارهای سیال به صورت دو فازي گاز-مایع منفی بلور کوارتزی (شکل ۹a)، دو فازي گاز-مایع بی‌شکل و کشیده (شکل ۹b) و دو فازي مایع-گاز گرد و میله‌ای (شکل ۹c) مشاهده می‌شود. در منطقه قهرآباد، میانبارهای سیال از نوع تک‌فازی (شکل ۹d)، تک‌فازی مایع (شکل ۹e) و دو فازي گاز-مایع (شکل ۹f) هستند. در این منطقه، میانبارهای سیال دو فازي گاز-مایع بیشترین فراوانی را دارند و اغلب، به صورت بی‌شکل دیده می‌شوند.

مطالعه بسیار پایین‌تر از سیستم  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  است. علت این پدیده می‌تواند به علت حضور برخی نمک‌ها مانند  $\text{CaCl}_2$  (-52°C) و یا  $\text{MgCl}_2$  (-35°C) در محلول گرمایی باشد (Rddad and Bouhrel 2016). مطالعات پیشین مویید این نکته است که مجموعه کانی‌های همراه فلوئوریت مثل کلسیت و کوارتز نشان دهنده تغییرات در ترکیبات سیال کانه‌زا می‌باشند و تغییر در کانی‌ها به علت تغییر ژئوشیمیایی سیال طی کانی‌زایی فلوئوریت است

(Margoum et al. 2015). بنابراین، پیشنهاد می شود سیالات کانه‌زا در مناطق مورد بررسی تقریباً ترکیب ثابتی داشته‌اند.



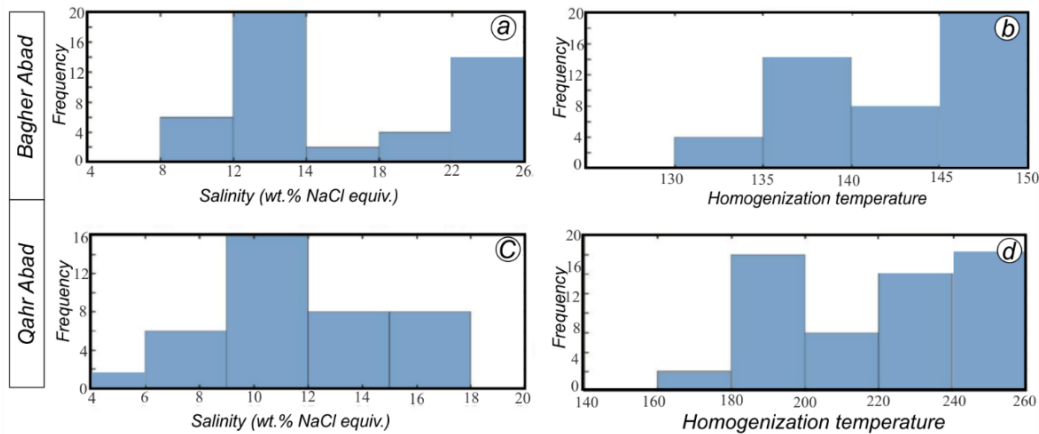
شکل ۹- ویژگی‌های میانبارهای سیال در محدوده‌های باقرآباد و قهرآباد. (a) سیال دو فازی مایع-گاز منفی بلور کوارتزی. (b) سیال دو فازی مایع-گاز بی‌شکل. (c) میانبار سیال دو فازی مایع-گاز کروی و میله‌ای. (d) سیال تک فاز گازی. (e) سیال تک فاز مایع. (f) سیال دوفازی مایع-گاز بی‌شکل.

NaCl wt.% (شکل ۱۰a) و دمای همگن شدن (TH) میانبارهای سیال در سنگ‌های میزبان رگه‌های فلئوئوریتی در منطقه باقرآباد بین ۱۲۸/۵ الی ۱۵۷ درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۱۰b). در منطقه قهرآباد، شوری میانبارهای سیال در بازه‌ای از ۲/۶ الی ۱۶/۴۹ wt.% NaCl (شکل ۱۰c) و دمای همگن شدن در بازه‌ای از ۱۵۸ الی ۲۵۳ درجه سانتی‌گراد در تغییر است (جدول ۱ و شکل ۱۰d).

چگالی میانبارهای سیال بر حسب  $gr/cm^3$  در محدوده‌های مورد مطالعه طبق روش Knight and Bodnar (1989) محاسبه شده است. چگالی میانبارها در منطقه باقرآباد در فلئوریت‌های نسل اول در بازه ۰/۹ تا  $1 gr/cm^3$  و در فلئوریت‌های نسل دوم ۱ تا  $1/1 gr/cm^3$  در تغییر است. در منطقه قهرآباد، چگالی فلئوریت‌ها ۰/۸ تا  $1 gr/cm^3$  می‌باشد. شوری میانبارهای سیال در منطقه باقرآباد بین ۱۲/۵ الی ۲۵/۴

جدول ۱- داده‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال در محدوده‌های باقرآباد و قهرآباد.

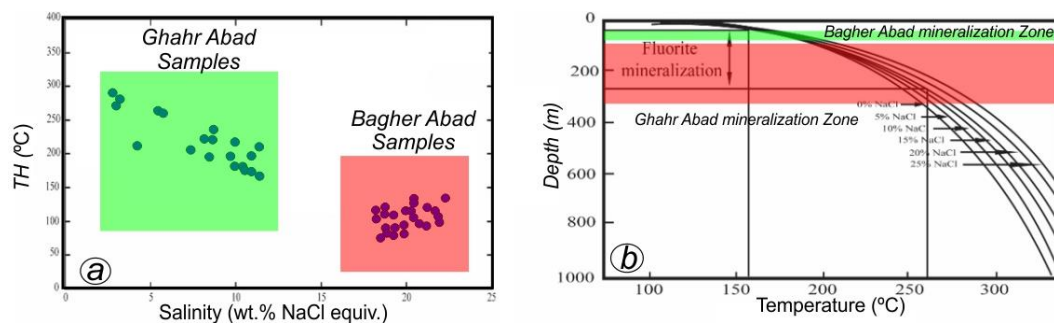
Distrcit	Host mineral	Fluorite Color/Generation	Fluid inclusion phases	Te (°C)	Salinity (NaCl Equiv. wt.%)	TH (°C)	N
Qahr Abad	Fluorite	Blue-green	L-V	-41/-21.5	2.6-16.49	148-241	18
	Fluorite	Purple	L-V	-45/-17.8	5.8-10.3	179-246	19
	Fluorite	Colorless	L-V	-38/-19.4	2.9-9.8	169-253	17
Bagher Abad	Fluorite	First generation	L-V	-80/-63	15.8-20.8	128.5-139.5	14
	Fluorite	Late generation	L-V	-61.5/-50	12.5-25.4	144-157	20



شکل ۱۰- هیستوگرام دمای همگن شدن و شوری میانبرهای سیال مطالعه برای محدوده باقرآباد (a و b) و قهرآباد (c و d).

منطقه باقرآباد در عمق کمتر از ۱۰۰ متر و فلئوریت‌های منطقه قهرآباد در عمق ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر تشکیل شده‌اند. بنابراین، فلئوریت‌هایی که در منطقه قهرآباد در ارتباط با گسل خوردگی پدید آمده‌اند، دارای عمق بیشتر و شوری کمتر هستند. این در حالی است که فلئوریت‌های مرتبط با چین خوردگی در عمق کمتر تشکیل شده و انحلال آب‌های جوی و اختلاط آن با محلول گرمایی سبب افزایش شوری در طی توسعه آنها شده است (شکل ۱۱b).

نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری در محدوده‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در منطقه باقرآباد، کانی‌سازی در عمق کمتری انجام شده و اختلاط آب‌های جوی با محلول گرمایی باعث افزایش شوری شده است (Vinokurov et al. 2014). به نظر می‌رسد که سیال غنی از فلئوریت با pH پایین و با شوری کم به واسطه واکنش با سنگ‌های میزبان کربناته اشباع از کلسیم شده و در امتداد شکستگی‌های ساختاری کانی‌زایی صورت گرفته است (شکل ۱۱a). نمودار عمق - دمای همگن شدن پیشنهاد می‌کند که فلئوریت‌های



شکل ۱۱- داده‌های میانبرهای سیال در مناطق مورد مطالعه. (a) نمودار شوری در مقابل دمای یوتکتیک که نشانگر شوری بالا و دمای کم در منطقه باقرآباد نسبت به قهرآباد است. (b) نمودار دما در برابر عمق (Roedder 1984) برای نمونه‌های مطالعه شده که نشان می‌دهد عمق جایگیری رگه‌های فلئوریت در منطقه قهرآباد بیشتر از باقرآباد بوده است.



## ۵- نتیجه گیری

انحلال در درز و شکاف واحدهای آهکی باعث افزایش شوری میانبارهای سیال نسبت به منطقه قهرآباد شده است. جمع بندی اطلاعات جمع آوری شده نشان می دهد که نوع ساختار کنترل کننده بسیاری از ویژگی های رگه های فلئوریت از قبیل عمق، دما و شوری می باشد.

### سپاسگزاری

این پژوهش از حمایت های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه برخوردار بوده است، لذا نگارندگان بدینوسیله نهایت سپاس و قدردانی خود را کلیه مسئولین مربوطه اعلام می دارند. نگارندگان، همچنین از نظرات و پیشنهادهای سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می نمایند.

### مراجع:

معانی جو، م. و میرزایی، آ. (۱۳۹۸). مطالعه کانسارهای فلوریت رگه ای باقرآباد و دره بادام بر پایه داده های عناصر خاکی کمیاب، جنوب خاور محلات، استان مرکزی. علوم زمین، ۲۸(۱۱۱)، ۲۴۷-۲۵۶. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=476001>

### References

- Agard P, Omrani J, Jolivet L and Mouthereau F (2005) Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation., *International Journal of Earth Sciences* 94:401-419 doi:10.1007/s00531-005-0481-4.
- Agard P, Omrani J, Jolivet L, Whitechurch H, Vrielynck B, Spakman W, Monié P, Meyer B and Wortel R (2011) Zagros orogeny: a subduction-dominated process, *Geological Magazine* 148:692--725 doi:10.1017/S001675681100046X.
- Alipour S, Abedini A and Talaie B (2015) Geochemical characteristics of the Qahr-Abad fluorite deposit, southeast of Saqez, western Iran, *Arabian Journal of*

کانی زایی فلئوریت نمونه جالبی از اندرکنش بین ساختار، سنگ میزبان، محلول گرمایی، دما و عمق می باشد. در منطقه باقرآباد، کانی زایی فلئوریت در ارتباط با شکستگی هایی است که به موازات سطح محوری چین خوردگی بزرگ منطقه می باشند. در منطقه قهرآباد، کانی زایی در ارتباط با شکستگی های مرتبط با پهنه های گسلش معکوس رخ داده است. بررسی های ریز ساختاری نشان می دهد که در هر دو منطقه دگرشکلی و کانی زایی در دمای کم اتفاق افتاده است اما ساختارهای سنگ میزبان از قبیل دوقلویی های کلسیت در منطقه قهرآباد دمای بیشتری نسبت به باقرآباد را نشان می دهد. نقشه تراکم شکستگی ها در منطقه باقرآباد دارای پراکندگی زیادی است، اما شکستگی های در راستای محور تاقدیس منطقه زیاد بوده است. در منطقه قهرآباد، تمرکز شکستگی ها در اطراف پهنه های گسلی است. محلول گرمایی حاوی کانی فلئوریت همزمان با عبور از شکستگی های سنگ میزبان سبب توسعه پهنه های دگرسانی شده است که شاخصی برای شناسایی مناطق حاوی رگه های فلئوریت می باشد. در منطقه باقرآباد، کانی زایی فلئوریت همراه با پهنه های دگرسانی پروپیلیتیک و فلیک اتفاق افتاده است اما در منطقه باقرآباد، دگرسانی های فلیک و آرژلیک در پهنه های گسلی واجد فلئوریت گسترش یافته است.

نتایج مطالعات میانبارهای سیال اولیه و ثانویه نشان داد که در منطقه باقرآباد که شکستگی ها در ارتباط با چین خوردگی است، کانی زایی فلئوریت در عمق کم (در حدود ۳۰ متر) و در دمای کم (۵۰ الی ۱۰۰ درجه سانتی-گراد) اتفاق افتاده است. این در حالی است که کانی زایی فلئوریت منطقه قهرآباد که در ارتباط با گسل می باشد، در عمق بیشتر (۱۵۰ الی ۲۵۰ متر) رخ داده است. بررسی های بیشتر نشان داد که در منطقه باقرآباد، نفوذ آب های جوی و

- Behyari M, Kanabi A (2019) Constraining of strain ellipsoid shape from sectional data in the au bearing shear zone west of Iran, *Acta Geodynamica et Geromaterialia* 16:131-143 doi:10.13168/AGG.2019.0010
- Behyari M, Rahimsouri Y, Hoseinzadeh E and Kurd N (2019) Evaluating of lithological and structural controls on the barite mineralization by using the remote sensing, Fry and fractal methods, Northwest Iran, *Arabian Journal of Geosciences* 12:167 doi:10.1007/s12517-019-4298-z.
- Behyari M, Shahbazi M (2019) Strain and vorticity analysis in the Zagros suture zone (W Iran): Implications for Neo-Tethys post-collision events, *Journal of Structural Geology* 126:198-209 doi:10.1016/j.jsg.2019.06.002.
- Craddock JP, McKiernan AW and de Wit MJ (2007) Calcite twin analysis in syntectonic calcite, Cape Fold Belt, South Africa: Implications for fold and cleavage formation within a shallow thrust front, *Journal of Structural Geology* 29:1100-1113.
- Crosta A, De Souza Filho C, Azevedo F and Brodie C (2003) Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis, *International Journal of Remote Sensing* 24:4233-4240 doi:10.1080/0143116031000152291.
- Dilek Y, Imamverdiyev N and Altunkaynak S (2009) Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint *International Geology Review* 52:536-578.
- Faghih A, Sarkarinejad K (2011) Kinematics of rock flow and fabric development associated with shear deformation within the Zagros transpression zone, Iran, *Geological Magazine* 148:1009-1017.
- Ferrill DA, Morris AP, Evans MA, Burkhard M, Groshong Jr RH and Onasch CM (2004) Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer, *Journal of structural Geology* 26:1521-1529 doi:10.1016/j.jsg.2003.11.028
- Fischer MP, Higuera-Díaz IC, Evans MA, Perry EC and Leticariu L (2009) Fracture-controlled paleohydrology in a map-scale *Geosciences* 8:7309-7320 doi:10.1007/s12517-014-1747-6
- Aliyari F, Rastad E and Mohajjel M (2012) Gold Deposits in the Sanandaj-Sirjan Zone: Orogenic Gold Deposits or Intrusion-Related Gold Systems?, *Resource Geology* 62:296-315 doi:10.1111/j.1751-3928.2012.00196.x
- Alizadeh-Dinabad H, Ghavami-Riabi R, Eslamkish T and Mirzaeian Y (2013) Controlling factors on changes of gold mineralization in Saqqez (Kurdistan) shear zones and reagent ratios of the mineralized section, *Arabian Journal of Geosciences* 6:1457-1464 doi:10.1007/s12517-011-0450-0
- Almasi A, Yousefi M and Carranza EJM (2017) Prospectivity analysis of orogenic gold deposits in Saqqez-Sardasht Goldfield, Zagros Orogen, Iran, *Ore Geology Reviews* 91:1066-1080.
- Amer R, Kusky T and Ghulam A (2010) New methods of processing ASTER data for lithological mapping: examples from Fawakhir, Central Eastern Desert of Egypt, *J Afr Earth Sci* 56:75-82.
- Azizi H, Chung S-L, Tanaka T and Asahara Y (2011) Isotopic dating of the Khoy metamorphic complex (KMC), northwestern Iran: a significant revision of the formation age and magma source, *Precambrian Research* 185:87-94 doi:10.1016/j.precamres.2010.12.004
- Azizi H, Najari M, Asahara Y, Catlos EJ, Shimizu M and Yamamoto K (2015) U-Pb zircon ages and geochemistry of Kangareh and Taghiabad mafic bodies in northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran: Evidence for intra-oceanic arc and back-arc tectonic regime in Late Jurassic, *Tectonophysics* 660:47-64 doi:10.1016/j.tecto.2015.08.008
- Badr A, Davoudian AR, Shabaniyan N, Azizi H, Asahara Y, Neubauer F, Dong Y and Yamamoto K (2018) A- and I-type metagranites from the North Shahrekord Metamorphic Complex, Iran: Evidence for Early Paleozoic post-collisional magmatism, *Lithos* 300:86-104.
- Ballato P, Uba CE, Landgraf A, Strecker MR, Sudo M, Stockli DF, Friedrich A and Tabatabaei SH (2010) Arabia-Eurasia continental collision: Insights from late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, northern Iran, *Geological Society of America Bulletin* 123:106-131 doi:10.1130/B30091.1.



- Passchier CW, Trouw RA (1996) *Microtectonics* vol 2. Springer Science & Business Media,
- Rajabi A, Rastad E and Canet C (2013) Metallogeny of Permian–Triassic carbonate-hosted Zn–Pb and F deposits of Iran: a review for future mineral exploration, *Australian Journal of Earth Sciences* 60:197-216.
- Rashidnezhad ON, Hachem EM, Sabzehei M, Rastad E, Bellon H and Pique A (2002) Lithostratigraphie et histoire paléozoïque à Paléocène des complexes métamorphiques de la région de Muteh, zone de Sanandaj–Sirjan (Iran meridional).
- Rddad L, Bouhlef S (2016) The Bou Dahar Jurassic carbonate-hosted Pb–Zn–Ba deposits (Oriental High Atlas, Morocco): Fluid-inclusion and C–O–S–Pb isotope studies, *Ore Geology Reviews* 72:1072-1087 doi:10.1016/j.oregeorev.2015.08.011.
- Rezaei Azizi M, Abedini A, Alipour S, Niroomand S, Sasmaz A and Talaei B (2017) Rare earth element geochemistry and tetrad effects in fluorites: A case study from the Qahr-Abad deposit, Iran, *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen* 283:255-273.
- Richardson CK, Holland H (1979) Fluorite deposition in hydrothermal systems, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43:1327-1335.
- Sarkarinejad K, Azizi A (2008) Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran, *Journal of Structural Geology* 30:116-136 doi:10.1016/j.jsg.2007.10.001.
- Sarkarinejad K, Faghih A and Grasemann B (2008) Transpressional deformations within the Sanandaj–Sirjan metamorphic belt (Zagros Mountains, Iran), *Journal of Structural Geology* 30:818-826 doi:10.1016/j.jsg.2008.03.003
- Sheikholeslami M (2015) Deformations of Palaeozoic and Mesozoic rocks in southern Sirjan, Sanandaj–Sirjan Zone, Iran, *Journal of Asian Earth Sciences* 106:130-149 doi:10.1016/j.jseaes.2015.03.007.
- Tangestani MH, Jaffari L, Vincent RK and Sridhar BM (2011) Spectral characterization and ASTER-based lithological mapping of an ophiolite complex: A case study from Neyriz ophiolite, SW Iran, *Remote Sensing of Environment* 115:2243-2254 doi:10.1016/j.rse.2011.04.023.
- detachment fold: Insights from the analysis of fluid inclusions in calcite and quartz veins, *Journal of Structural Geology* 31:1490-1510 doi:10.1016/j.jsg.2009.09.004.
- Hassanzadeh J, Stockli DF, Horton BK, Axen GJ, Stockli LD, Grove M, Schmitt AK and Walker JD (2008) U–Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic–Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement, *Tectonophysics* 451:71-96 doi:10.1016/j.tecto.2007.11.062.
- Margoum D, Bouabdellah M, Klügel A, Banks DA, Castorina F, Cuney M, Jébrak M and Bozkaya G (2015) Pangea rifting and onward pre-Central Atlantic opening as the main ore-forming processes for the genesis of the Aouli REE-rich fluorite–barite vein system, upper Moulouya district, Morocco, *Journal of African Earth Sciences* 108:22-39 doi:10.1016/j.jafrearsci.2015.03.021.
- Moghadam HS, Khademi M, Hu Z, Stern RJ, Santos JF and Wu Y (2015) Cadomian (Ediacaran–Cambrian) arc magmatism in the ChahJam–Biarjmand metamorphic complex (Iran): Magmatism along the northern active margin of Gondwana, *Gondwana Research* 27:439-452 doi:10.1016/j.gr.2013.10.014.
- Mohajjel M, Fergusson C and Sahandi M (2003) Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran, *Journal of Asian Earth Sciences* 21:397-412.
- Mohajjel M, Fergusson CL (2000) Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran, *Journal of structural geology* 22:1125-1139 doi:10.1016/S0191-8141(00)00023-7.
- Mohajjel M, Rasouli A (2014) Structural evidence for superposition of transtension on transpression in the Zagros collision zone: Main Recent Fault, Piranshahr area, NW Iran, *Journal of Structural Geology* 62:65-79 doi:10.1016/j.jsg.2014.01.006.
- Mookerjee M, Fortescue FQ (2016) Quantifying thinning and extrusion associated with an oblique subduction zone: An example from the Rosy Finch Shear Zone, *Tectonophysics* 693:290-303.



- Zou H, Li M, Bagas L, Li Y, Fang Y, Cao H-W, Jiang X-W and Chen H-F (2020) Fluid composition and evolution of the Langxi Ba-F deposit, Yangtze Block, China: New Insight from LA-ICP-MS study of individual fluid inclusion, *Ore Geology Reviews*:103702  
doi:10.1016/j.oregeorev.2020.103702.
- Zou H, Zhang St, Chen Aq, Fang Y and Zeng Zf (2016) Hydrothermal fluid sources of the Fengjia barite-fluorite deposit in southeast Sichuan, China: evidence from fluid inclusions and hydrogen and oxygen isotopes, *Resource Geology* 66:24-36.
- Vinokurov S, Golubev V, Krylova T and Prokof'ev VY (2014) REE and fluid inclusions in zoned fluorites from Eastern Transbaikalia: Distribution and geochemical significance, *Geochemistry International* 52:654-669  
doi:10.1134/S0016702914060093.
- Zhang H, Chen J, Yang T, Hou Z and Aghazadeh M (2018a) Jurassic granitoids in the northwestern Sanandaj-Sirjan Zone: Evolving magmatism in response to the development of a Neo-Tethyan slab window, *Gondwana Research* 62:269-286  
doi:10.1016/j.gr.2018.01.012.
- Zhang Z, Xiao W, Ji W, Majidifard MR, Rezaeian M, Talebian M, Xiang D, Chen L, Wan B and Ao S (2018b) Geochemistry, zircon U-Pb and Hf isotope for granitoids, NW Sanandaj-Sirjan zone, Iran: Implications for Mesozoic-Cenozoic episodic magmatism during Neo-Tethyan lithospheric subduction, *Gondwana Research* doi:10.1016/j.gr.2018.04.002.