

مروری بر تحول سیال و ته‌نشینی کانه در کانسارهای فلوریت‌دار با سنگ میزبان

رسوبی

زهرا اعلمی‌نیا

گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، z.alaminia@sci.ui.ac.ir

چکیده

کانسارهای فلوریت‌دار (Ba, Pb-Zn) متعددی با میزبان رسوبی از ایران در امتداد پهنه‌های گسلی عمیق رخ داده است. آنها در لایه‌های پرمین، تریاس، ژوراسیک، کرتاسه و بندرت ترشیاری بصورت شکافه پرکن و جان‌نشینی استراتاباند جای گرفته‌اند. این مطالعه، تلاش کرده است کاربری‌های زمین‌شیمی و سن‌سنجی فلوریت را در کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی دنیا نشان دهد. محتوای کل عناصر نادر خاکی در فلوریت این کانسارها، بسیار کم است. تفسیر ناهنجاری‌های Yb، Y، Ce، Eu و ابزار بسیار مناسبی برای فهم شرایط فیزیکوشیمیایی و خاستگاه‌های سیالات کانه‌دار است. سن‌های FHe یک منشا اپی‌ژنتیک بویژه برای کانسارهای MVT غنی از فلوریت با میزبان رسوبی تریاس را تایید می‌کند. کلیدواژه: کانه فلوریت‌دار (Ba, Zn, Pb)، میزبان رسوبی، زمین‌شیمی عناصر نادر خاکی، سن‌سنجی کانه، شمال‌شرق اصفهان

A review of fluid evolution and ore deposition in the sediment-hosted fluorite-bearing deposits

Zahra Alaminia

Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran, z.alaminia@sci.ui.ac.ir

Abstract

Several sediment-hosted F-(Ba, Pb-Zn) deposits of Iran occur along the deep-seated fault zones. They are hosted in Permian, Triassic, Jurassic, Cretaceous, and rare Tertiary layers as open space filling or stratabound replacement bodies. This study has attempted to show the applications of fluorite geochemistry and geochronology in MVT ore deposits worldwide. The total rare earth element (Σ REE) content in the fluorite of these deposits is too low. The interpretation of Eu, Ce, Y, and Yb anomalies is very useful tool for understanding of physico-chemical conditions and sources of the ore fluids. FHe ages confirm an epigenetic origin especially for Triassic sediment-hosted fluorite rich MVT deposits in Iran.

Keywords: F-(Ba, Zn, Ba) ore, Sediment-hosted, REE geochemistry, Ore dating, NE Isfahan

مقدمه

فلوریت (CaF_2) با نام تجاری فلوراسپار، علاوه بر اهمیت در صنعت، بعنوان یک کانی پایدار می‌تواند در زمین‌شناسی، اطلاعات ارزشمندی از تاریخچه تشکیل ذخایر معدنی (ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فرآیندهای مرتبط با ته‌نشینی سیال کانه‌دار) را آشکار و پارامترهای ساختاری ناحیه را در خود حفظ کند و بعنوان یک کانی معرف و شاخص در اکتشاف کانسارها ردیابی شود (Souissi et al., 2013; Kraemer et al., 2019؛ اعلمی‌نیا، ۱۳۹۹). در مقیاسی

بزرگتر، ذخایر رسوبی فلوریت‌دار عمدتاً با حواشی ریف‌آئینوس آتلانتیک و کمربند کوهزاد آلپ-همپالیا ارتباط دارند (Alaminia et al., 2021). از آنجایی که فلوریت در محیط‌های گوناگون زمین‌شناسی (سامانه‌های گرمایی و پگماتیته، محیط‌های هوازدگی و رسوبی، سنگ‌های آذرین و دگرگونی) دیده می‌شوند، دانشمندان رده‌بندی‌های ژنتیکی متعددی برای کانسارهای فلوریت پیشنهاد کرده‌اند که در ادامه به چند مورد اشاره شده است. Strong et al. (1984) آنها را به دو دسته تقسیم نمود: آنهایی که همراه با سنگ‌های رسوبی (عمدتاً کربنات‌ها) هستند و آنهایی که رگه‌ای بوده و مرتبط با سنگ‌های فلسیک پرآلکال-آلکال هستند. Pohl (2011) فلوریت‌ها را به سه دسته گروه‌بندی کرده است: کانسارهای فلوریت ماگمایی-هیدروترمالی، کانسارهای فلوریت هیدروترمالی-دیازنزی، و کانسارهای متاسوماتیکی-هیدروترمالی و رگه‌های هیدروترمالی. اگرچه بنظر می‌رسد این دسته‌بندی منطقی‌تر باشد، اما اخیراً رده‌بندی ساده‌ای از سوی Magotra et al. (2017) ارائه شد که کانسارهای فلوریت را به سه دسته مشتمل بر ۱) کانسارهای همراه با سنگ‌های آذرین فلسیک، ۲) کانسارهای همراه با آذرین‌های آلکال و کربناتیت‌ها، ۳) کانسارهای همراه با کربنات‌ها و سایر سنگ‌ها طبقه‌بندی کرده است.

کشور ایران با ذخیره قطعی ۱/۷ میلیون تن فلوریت، جایگاه مناسبی در خاورمیانه دارد. از مهم‌ترین ذخایر فلوریت ایران، می‌توان کمرمهدی در طبس (۸۰٪ فلوریت)، پاچی میانا در مازندران (۳۰٪ فلوریت، ۷٪ سرب)، جومیند در گناباد (۸۰٪ فلوریت)، پیناوند و کمشچه در اصفهان (۱۵ تا ۸۰٪ فلوریت و باریت) و قهرآباد در سقز کردستان (۹۵٪ فلوریت) را نام برد (گرچی‌زاد، ۱۳۷۴؛ قشلاقی و مر، ۱۳۸۵؛ Rajabzadeh, 2007; Pirouzi et al., 2009) که همگی در رده سوم رده‌بندی ژنتیکی (Magotra et al., 2017) برای کانسارهای فلوریت قرار دارند. فلوریت در ایران اغلب همراه با ذخایر باریت، سرب و روی، رگچه‌های همراه با سنگ‌های آذرین فلسیک و یا به همراه زغال‌سنگ گزارش شده است (مقدسی و همکاران، ۱۳۹۵). از اینرو در پژوهش حاضر سعی شده است به اهمیت بررسی و مطالعه کانی فلوریت در مطالعات زمین‌شناسی جهت بررسی تاریخچه تشکیل کانسارهای فلوریت‌دار نوع دره می‌سی‌سی‌پی پرداخته شود.



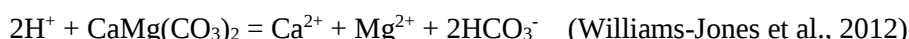
شکل ۱- موقعیت مکانی کانسارهای فلوریت با سنگ میزبان رسوبی در اروپا، ترکیه، ایران و چین.

زمین‌شناسی کانسارهای فلوریت‌دار رسوبی

کانسارهای فلوریت رسوبی ایران در هینترلند کوهزاد زاگرس جای دارند (Alaminia et al., 2021). آنها در پهنه‌های ساختاری البرز، خرد قاره ایران مرکزی و سنج-سیرجان، نزدیک به پهنه‌های گسل پی‌سنگی قرار دارند (شکل ۱). اغلب کانسارهای فلوریت ایران، در سنگ میزبان دولومیتی تریاس زیرین-میانی، و کمتر در کربنات‌های پرمین و کرتاسه و گاهی در آواری‌های ژوراسیک تشکیل شده‌اند اگر چه برخی از آنها در سنگ میزبان‌های نامبرده که کمی دگرگونی نشان می‌دهند و یا حتی بندرت در رسوبات ائوسن گزارش شده‌اند. فلوریت‌های رسوبی در ترکیه، اروپا و شمال افریقا، علاوه بر کربنات‌های پرمین-تریاس و ژوراسیک، در واحدهای رسوبی ائوسن-میوسن نیز گزارش شده است. کانسارهای رسوبی فلوریت چین، در رسوبات کربناته پالئوزوئیک و مزوزوئیک رخ داده‌اند. از اینرو زمین‌شناسی ذخایر گوناگون نشان می‌دهد دولومیت مناسبترین سنگ میزبان برای این نوع کانسار بوده است.

فلوریت‌زایی

عمدتاً کانسارهای رسوبی فلوریت اروپا، با باریت همراه است و به BaF مشهورند، در حالیکه در چین همانند ایران، فلوریت‌های رسوبی علاوه بر ذخایر باریت، در ذخایر سرب و روی نیز مشاهده شده است (Zou et al., 2015). فلوریت-زایی به صورت‌های استراتاباند، جانشینی، شکافه پرکن، و گاهی برشی شکل گرفته و سنگ دیواره را دولومیتی و سیلیسی کرده است و در برخی از آنها کلریتی، کائولینیتی و سریسیتی نیز گزارش شده است (Alaminia et al., 2021). فلوریت‌زایی در اروپا مرتبط با بازشدگی ریف‌ت پانگه‌آ و صعود سیالات عمیق به دریای آتلانتیک است (Marghouth et al., 2015)، در حالیکه در چین، فلوریت‌زایی مرتبط با کوهزاد آلپ-همالیا و مهاجرت سیالات دگرگونی از اعماق در طول پهنه‌های راندگی در نظر گرفته شده است (Liu et al., 2015)، اگر چه برخی نسل‌های جوانتر فلوریت‌زایی اروپا و شمال آفریقا را هم به کوهزاد آلپ ارتباط داده‌اند (Souissi et al., 2013; Dill et al., 2012). در اغلب مقالات علمی، حضور گسل‌های عمیق و پی‌سنگی در نزدیکی آنها گزارش شده است. این مسئله می‌تواند حاکی از حضور سیالات کانه‌دار عمیق در منطقه باشد. مطالعات متعددی در ایران انجام گرفته است و بخاطر همراهی فلوریت با باریت، سرب و روی، این ذخایر بعنوان ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی غنی از فلوئور نام‌گذاری شده است (Alirezaei, 1985; Rajabi et al., 2013). هر چند برخی معتقدند کانسارهای فلوریت رسوبی ایران همزمان با رسوبگذاری و یا مرتبط با دیاژنز هستند (نبی‌لو و همکاران، ۱۳۹۶؛ Ghorbani, 2013). Moller et al. (1980) نشان می‌دهد فلوریت می‌تواند در طی دولومیتی شدن دیاژنزی، با افزایش Ca^{+2} و کاهش Mg^{+2} در سیال منفذی همراه با افزایش یون F^{-} شکل می‌گیرد. Blasko et al. (2017) نشان می‌دهد در طی تزریق طولانی CO_2 ، اسیدیته آب افزایش می‌یابد که سبب تجزیه بیشتر میزبان کربناته می‌شود. در مراحل نهایی دیاژنز حجم زیادی از تخلخل بخاطر تجزیه و اختلاط در دماهای بالاتر شکل می‌گیرد. کانی دیکیت نشانگر خوبی برای تخلخل ثانویه است. Alaminia et al. (2021) تشکیل کانسارهای رسوبی غنی از فلوریت منطقه شمال شرق اصفهان را بصورت اپی‌ژنتیک و در طی دو مرحله (باز و بسته شدن دریای نفوتتیس) پیشنهاد داده است.



بحث

زمین‌شیمی عناصر فرعی و REY در فلوریت

از آنجائیکه سیالات غنی از فلئوئور در فرآیندهای ماگمایی و گرمایی، قادر به جابجایی و غنی‌شدگی REE تا غلظتهای اقتصادی هستند، کانی فلوریت می‌تواند بطور وسیعی بعنوان یک ابزار اکتشافی ژئوشیمیایی بکار رود (Gültekin et al., 2003). فلوریت بخاطر جای دادن مقادیر زیادی از $(Y + REE)$ ، اغلب برای ردیابی ترکیب سیال استفاده می‌شود (Schönenberger et al., 2008). تجزیه و تحلیل الگوی REY، در کانی‌های کلسیم‌دار مانند فلوریت (به سبب جانشینی REY با عنصر Ca)، اطلاعات مفیدی از خاستگاه فلزات، شرایط تشکیل، مهاجرت سیال، فعل و انفعال سنگ میزبان و ترکیب شیمی فاز سیال را در اختیار می‌گذارد (Schwinn and Markl, 2005). با عنایت به اینکه فلوریت دارای نسبت پایین Rb/Sr است، می‌توان خاستگاه سیال را با مقایسه $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه فلوریت با همین مقادیر در سنگ‌های آذرین تعیین نمود (Sallet et al., 2005). نمودار تغییرات Tb/La در مقابل Tb/Ca می‌تواند فلوریت-های رسوبی را از انواع ماگمایی و پگماتیستی تمییز دهد (Möller et al., 1976). یکنواختی در مقادیر Tb/Lu حاکی از عدم تفریق در طی فرایند تبلور فلوریت است (Souissi et al., 2013). فلوریت‌هایی که از یک سیال کانه‌دار یکسان متبلور شده‌اند، همبستگی خوبی بین نسبت‌های Y/Ho و La/Ho دیده می‌شود. ناهنجاری مثبت Y اشاره به طولانی بودن مدت زمان مهاجرت سیال دارد (Jiang et al., 2015). ناهنجاری مثبت Eu در فلوریت، بیانگر احیایی بودن سیال قدیمه یا حاصل فعل و انفعال سیال کانه‌دار با کانی‌هایی همچون فلدسپار است، در حالیکه ناهنجاری منفی Eu، نشانگر افزایش در pH یا fO_2 یا کم بودن دمای سیال قدیمه است. ناهنجاری مثبت Ce در فلوریت‌های ثانویه و در شرایط اکسیداسیونی دیده می‌شود. فلوریت‌های زرد رنگ مرتبط با خوداکسیداسیونی سریم (Ce) سه‌ظرفیتی است که در دماهای پایین در کانسارهای MVT، سبب تشکیل و پایداری فلوریت زرد رنگ می‌شود (Trinkler et al., 2005). با مطالعه تغییرات ساختار بلوری و مورفولوژی فلوریت‌های منطقه جنوب‌شرق آلمان پیشنهاد شده است که کم یا زیاد بودن ویسکوزیته سیال کانه‌دار می‌تواند بر مورفولوژی و ساختار بلوری فلوریت اثرگذار باشد (Dill and Weber, 2010). افزایش ویسکوزیته سیال قدیمه منجر به تشکیل فلوریت‌های کوکاد و برشی گرد شده می‌شود.

کانسارهای فلوریت رسوبی (MVT) نتیجه جانشینی سنگ‌های کربناته بعد از دولومیتی‌شدن اپی‌ژنتیکی هستند و سه عامل که موجب رخداد و تهنشینی فلوریت می‌شود عبارتند از کاهش حرارت/ یا فشار، اختلاط سیالات و برهمکنش سیالات گرمایی با سنگ دیواره کربناته. بطور کلی علاوه بر ناهنجاری ضعیف منفی Ce در فلوریت‌های همراه با سنگ-های کربناته، محتوای LREE کمتر از LREE فلوریت‌های همراه با سنگهای ماگمایی است (Magotra et al., 2017). قشلاقی و مر (۱۳۸۵)، با بررسی رفتار عناصر فرعی فلوریت‌های رسوبی منطقه پیناوند اصفهان، مقادیر پایین ΣREE را نتیجه هضم یا جانشینی سنگ دیواره کربنات و تحرک دوباره فلوریت‌های نسل دوم دانسته است. طلایی و عابدینی (۱۳۹۱)، بخاطر مقادیر کم عناصر نادرخاکی در هر دو نسل فلوریت، فلوریت‌های قهرآباد استان کردستان، را از نوع گرمایی و بصورت جانشینی در سنگ کربناته معرفی می‌کند. مهربان و همکاران (۱۳۹۵)، مقادیر پایین ΣREE نسل‌های فلوریت سازند الیکا در البرز را ناشی از (۱) افزایش pH سیال کانه ساز که در نتیجه برهمکنش با میزبان کربناته رخ داده است، (۲) کاهش تدریجی غلظت فلئوئور در سیال، (۳) محتوای پایین این عناصر در کربنات میزبان بیان می‌کند. Alaminia et al. (2021) مقادیر کم این عناصر را در فلوریت‌های کمشچه، سازگار با شورابه‌های حوضه‌ای منتج از آب دریا و برهمکنش با سنگ میزبان کربناته پیشنهاد داده است.

سیالات درگیر فلوریت

شوری سیال کانه‌دار در کانسارهای رسوبی فلوریت ایران و جهان، ۱۰ تا ۳۰ درصد وزنی نمک طعام و دمای همگن شدگی ۹۰ تا ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد (Alaminia et al., 2021) می‌باشد و در برخی از آن‌ها حضور مواد آلی در سیالات به‌دام افتاده گزارش شده است. پدیده آمیختگی (mixing) بین حداقل دو نوع سیال سازنده در اکثر کانسارها مرسوم است.

سن‌سنجی فلوریت

سن‌سنجی U-Th-Sm/He کانی‌های فرعی مانند آپاتیت و زیرکان، شواهد بسیار خوبی از وقایع حرارتی دما پایین را نشان می‌دهد. اما محدود به سنگ‌هایی است که این کانی‌ها در آنها حضور داشته باشند. بخصوص در برخی آپاتیت نادر است اما کانی فلوریت علاوه بر اینکه می‌تواند یک شاخص از مقادیر ایزوتوپی Sr-Nd سیال گرمایی باشد، در رگه‌های گرمایی دما پایین تا دما بالا و در محیط‌های گوناگون زمین‌شناسی وجود دارد. آنالیز دقیق ویژگی‌های انتشار هلیوم فلوریت، ترموکرومتری (FHe) را اثبات کرده است. از اینرو فلوریت می‌تواند بعنوان یک ابزار قوی استفاده شود (Wolff et al., 2016). باید توجه داشت دمای انسداد ترموکرومتر فلوریت بین ۴۶ تا ۱۶۹ درجه سانتی‌گراد (با توجه به اندازه قطعه ۱۲۵ میکرومتر) می‌باشد. همچنین مقدار کافی اورانیوم و توریوم نمونه‌ها مهم است. این روش اولین بار از سوی Evans et al., 2005 و Pi et al., 2005 برای تعیین سن کانی‌سازی فلوریت در مکزیک بکار رفته است. Wolff et al. (2016) در آزمایش تجربی، دو نمونه فلوریت از یک کانسار مشابه را انتخاب کرد و دو سن متفاوت ۲۹۰ و ۷۹ میلیون سال را به دست آورد و نشان داد عوامل متعددی می‌توانند بر روی انتشار هلیوم موثر باشند که باید در تفسیر به آنها توجه شود.

(Alaminia et al., 2021) با انجام این روش بر روی تمامی نسل‌های فلوریت (اولیه و ثانویه) از ناحیه معدنی کمشچه اصفهان، سن‌های FHe از کرتاسه، ائوسن تا میوسن را اندازه‌گیری می‌کند. (Shafiei et al., 2021) در کار مشابهی در فلوریت‌های اولیه البرز مرکزی، سن‌های کرتاسه تا ائوسن را پیشنهاد می‌دهد. سن‌های به دست آمده با وقایع زمین-ساختی منطقه تفسیر شده‌اند. اخیراً سن‌های Sm-Nd فلوریت‌های ایران نیز اندازه‌گیری شده است (Shafiei et al., 2021).

سن فلوریت‌زایی اروپا بکمک سن‌سنجی Sm-Nd فلوریت، پرمین زیرین تا کرتاسه زیرین (۱۱۱-۲۹۱ میلیون سال) محاسبه شده است که مرتبط با بازشدن ریفت دریای آتلانتیک است، درحالی‌که سن‌سنجی‌های فلوریت در چین و ایران، سن فلوریت‌زایی را از کرتاسه زیرین تا میوسن میانی (۱۶-۱۳۰ میلیون سال) نشان می‌دهد. البته برخی سن‌های جوانتر در فلوریت‌های آلمان را مرتبط با تحرک مجدد از کانسارهای اولیه در طی کوهزاد آلپ دانسته‌اند. Cathles et al. (2019) طول رخداد کانی‌سازی نوع MVT را در مدت زمان کوتاه (<۲۰۰۰۰۰ سال) و در طی چند نوبت خروج شورابه به درون حوضه‌های رسوبی پیشنهاد می‌کند.

نتیجه‌گیری

قبل از تجزیه شیمیایی فلوریت، ضرورت دارد ویژگی‌های پتروگرافی نظیر منطقه‌بندی، نسل‌بندی و دیگر بافت‌های پیچیده فلوریت بطور دقیق مطالعه شود. بخاطر پایداری کانی فلوریت، رفتار REE های آن می‌تواند از منشا تا محل نهشته شدن ردیابی شود و این فرصتی خواهد بود تا فرایندهای متالورژیک ناحیه‌ای و تاریخچه کانسنگ فلوریت‌دار

(سرب، روی و باریت) بهتر درک شود. بر اساس زمین‌شیمی عناصر REE-Y (REE) و سن‌سنجی ایزوتوپی نسل‌های مختلف فلوریت در کانسارهای فلوریت‌دار (باریت، سرب و روی) شمال‌شرق اصفهان، دو نحوه ته‌نشینی فلوریت پیشنهاد می‌شود که عبارتند از ۱) کرتاسه زیرین و الیگوسن-میوسن که با بازشدن دریای نئوتتیس و محیط‌های کششی که بصورت محلی حکمفرما بوده است، سیالات عمیق و داغ فلوئور دار پس از اختلاط با آب دریا و برهم کنش با سنگ دیواره نهشته می‌شوند، ۲) بعد از کرتاسه تا الیگوسن که نئوتتیس بسته می‌شود و در میوسن برخورد صورت می‌گیرد و سبب پمپاژ سیالات کانه‌دار بصورت برش و رگه‌های فلوریت‌دار در منطقه می‌شود.

تقدیر و تشکر

پژوهش بر روی کانسارهای رسوبی (فلوریت، باریت، سرب، و روی) کمریند ملایر- اصفهان و مقایسه آن با کانسارهای رسوبی موجود در کمریند کوهزایی آلپ-هیمالیا حاصل مطالعات چهار ساله می‌باشد. لذا لازم است علاوه بر حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه اصفهان در طی این مدت، از همکاری آقایان دکتر تدین (اصفهان)، لنتز (کانادا)، کورفو (نروژ)، گریفیت (امریکا)، سوله (مکزیک)، محمودی (تهران) و آقایان مهندس بابامیر و صدیق و خانم مهندس خسروبیگی صمیمانه تشکر و سپاسگزاری نمایم.

منابع

اعلمی‌نیا، ز.، ۱۳۹۹. مروری بر اکتشافات مواد معدنی با استفاده از کانی‌های معرف، بیست و هشتمین همایش ملی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
طلایی، ب.، عابدینی، ع.، ۱۳۹۱. بررسی ژئوشیمی و ژنز ذخیره فلوئوریت قهرآباد، جنوب شرق سقز، استان کردستان، زمین‌شناسی اقتصادی ۱ (۴)، ۱۶۸-۱۵۵.
قشلاقی، ا.، مر، ف.، ۱۳۸۵. تشخیص نحوه رخداد و مراحل تشکیل معادن فلوریت پیناوند بر اساس داده‌های زمین-دماسنجی و عناصر نادر خاکی، بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران ۱، ۳۲۵-۳۳۸.
مقدسی، ج.، طالع فاضل، ا.، بنی‌فاطمی، ع.، ۱۳۹۵. مطالعه کانی‌سازی و تحول سیال کانی‌ساز در کانسار فلوریت-باریت (+ سولفید) آتش‌کوه، جنوب دلیجان، زمین‌شناسی اقتصادی ۸ (۱)، ۱۶۷-۱۸۰.
مهربان، ز.، شفیعی بافتی، ب.، شمعیان، غ.، ۱۳۹۵. زمین‌شیمی عناصر نادر خاکی در کانسارهای فلوریت سازند الیکا، شرق استان مازندران، زمین‌شناسی اقتصادی ۸ (۱)، ۲۰۱-۲۲۱.
نبی‌لو، ف.، شفیعی بافتی، ب.، امینی، آ.، ۱۳۹۶. ساخت و بافت‌های دیاژنزی و پس از دیاژنز در معدن فلوئوریت کمرپشت (شرق استان مازندران): تبیین و تفسیرهای زایشی، زمین‌شناسی اقتصادی ۹ (۲)، ۴۸۳-۵۰۷.

Alaminia, Z., Tadayon, M., Griffith, E.M., Solé, J. and Corfu, F., 2021. Tectonic-controlled sediment hosted fluorite-barite deposits of the central Alpine-Himalayan segment, Komsheche, NE Isfahan, Central Iran. *Chemical Geology*, 566, p.120084.
Alirezaei, S., 1985. An investigation in stratigraphy and genesis of F-Pb-Ba deposits in the Central Alborz. M.S. thesis. Tehran University, Iran (in Persian).
Bafti, B.S., Dunkl, I. and Madanipour, S., 2021. Timing of fluorite mineralization and exhumation events in the east Central Alborz Mountains, northern Iran: constraints from fluorite (U-Th)/He thermochronometry. *Geological Magazine*, pp.1-17.
Blasco, M., Auqu'e, L.F., Gimeno, M.J., Acero, P., Asta, M.P., 2017. Geochemistry, geothermometry and influence of the concentration of mobile elements in the chemical characteristics of carbonate-evaporitic thermal systems. The case of the Tiermas geothermal system (Spain). *Chem. Geol.* 466, 696-709.

- Cathles, L., 2019. On the Processes that Produce Hydrocarbon and Mineral Resources in Sedimentary Basins. *Geosci.* 9, 520.
- Dill, H.G. and Weber, B., 2010. Variation of color, structure and morphology of fluorite and the origin of the hydrothermal F-Ba deposits at Nabburg-Wölsendorf, SE Germany. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 187(2), p.113.
- Dill, H.G., Weber, B., Eigler, G., Kaufhold, S., 2012. The fluorite deposits NE of Regensburg, SE Germany-A mineralogical and chemical comparison of unconformity-related fluorite vein-type deposits. *Geochemistry* 72 (3), 261–278.
- Evans, N.J., Byrne, J.P., Keegan, J.T., Dotter, L.E., 2005. Determination of uranium and thorium in zircon, apatite, and fluorite: Application to laser (U-Th)/He thermochronology. *J. Anal. Chem.* 60, 59–65.
- Ghorbani, M., 2013. The economic geology of Iran: mineral deposits and natural resources. Springer Science Business Media, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5625-0>.
- Gültekin, A.H., Orgün, Y., Suner, F., 2003. Geology, mineralogy and fluid inclusion data of the Kizilcaoren fluorite-barite-REE deposit, Eskisehir. Turkey. *J. Asian Earth Sci.* 21, 365–376.
- Jian, L., Sun, H., Gao, J.G., 2015. Fluorite REE characteristics of the Diyanqinamu Mo deposit, Inner Mongolia. China. *Chin. J. Geochem* 34, 610–619.
- Souissi, F., Jemmali, N., Souissi, R., Dandurand, J.L., 2013. REE and isotope (Sr, S, and Pb) geochemistry to constrain the genesis and timing of the F-(Ba-Pb-Zn) ores of the Zaghouan District (NE Tunisia). *Ore Geol. Rev.* 55, 1–12.
- Kraemer, D., Viehmann, S., Banks, D., Sumoondur, A.D., Koeberl, C., Bau, M., 2019. Regional variations in fluid formation and metal sources in MVT mineralization in the Pennine Orefeld, UK: Implications from rare earth element and yttrium distribution, Sr-Nd isotopes and fluid inclusion compositions of hydrothermal vein fluorites. *Ore Geol. Rev.* 107, 960–972.
- Liu, Y.C., Yang, Z., Tian, S., Song, Y.C., Zhang, H.R., 2015. Fluid origin of fluorite-rich carbonate-hosted Pb-Zn mineralization of the Himalayan-Zagros collisional orogenic system: A case study of the Mohailaheng deposit, Tibetan Plateau. China. *Ore Geol. Rev.* 70, 546–561.
- Magotra, R., Namga, S., Singh, P., Arora, N., Srivastava, P.K., 2017. A new classification scheme of fluorite deposits. *Int. J. Geosci.* 8, 599–610. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84032>.
- Margoum, D., Bouabdellah, M., Klügel, A., Banks, D.A., Castorina, F., Cuney, M., J'ebra, M., 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. *J. Afr. Earth Sci.* 108, 22–39.
- Moller, P., Parekh, P.P., Schneider, H.J., 1976. The application of Tb/Ca–Tb/La abundance ratios to problems of fluorspar genesis. *Miner. Deposita* 11, 111–116.
- Moller, P., Schulz, S., Jacob, K.H., 1980. Formation of fluorite in sedimentary basins. *Chem. Geol.* 31, 97–117.
- Pi, T., Solé, J., Taran, Y., 2005. (U–Th)/He dating of fluorite: application to the La Azul fluorspar deposit in the Taxco mining district, Mexico. *Miner. Deposita* 39, 976–982.
- Pirouzi, M., Ghaderi, N., Rashinejad-Omran, N., Rastad, E., 2009. New evidences on mineralization, diagenesis and fluid inclusions at Kamar-Mehdi stratabound fluorite deposit, southwest Tabas. Iran. *J. Crystallography and Mineralogy* 17, 83–94 (in Persian).
- Rajabi, A., Rastad, E., 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. An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia* 60, 197–216.
- Rajabzadeh, M.A., 2007. A fluid inclusion study of a large MVT barite-fluorite deposit: Komshech, Central Iran. *Iran. J. Sci. Technology* 31, 73–87.
- Sallet, R., Moritz, R., Fontignie, D., 2005. The use of vein fluorite as probe for paleofluid REE and Sr–Nd isotope geochemistry: the Santa Catarina Fluorite District, Southern Brazil. *Chem. Geol.* 223, 227–248.

- Schonenberger, " J., Kohler, " J., Markl, G., 2008. REE systematics of fluorides, calcite and siderite in peralkaline plutonic rocks from the Gardar Province, South Greenland. *Chem. Geol.* 247, 16–35.
- Schwinn, G., Markl, G., 2005. REE systematic in hydrothermal fluorite. *Chem. Geol.* 216, 225–248.
- Souissi, F., Jemmali, N., Souissi, R., Dandurand, J.L., 2013. REE and isotope (Sr, S, and Pb) geochemistry to constrain the genesis and timing of the F-(Ba-Pb-Zn) ores of the Zaghuan District (NE Tunisia). *Ore Geol. Rev.* 55, 1–12.
- Trinkler, M., Monecke, T. and Thomas, R., 2005. Constraints on the genesis of yellow fluorite in hydrothermal barite–fluorite veins of the Erzgebirge, Eastern Germany: evidence from optical absorption spectroscopy, rare-earth-element data, and fluid-inclusion investigations. *The Canadian Mineralogist*, 43(3), pp.883-898.
- Wolff, R., Dunkl, I., Kempe, U., Stockli, D., Wiedenbeck, M., Eynatten, H.V., 2016. Variable helium diffusion characteristics in fluorite. *Geochim. Cosmochim. Acta* 188, 21–34.
- Zou, H., Zhang, S.T., Chen, A.G., Zeng, Z., 2015. Hydrothermal fluid sources of the Fengjia barite-fluorite deposit in southeast Sichuan, China: Evidence from fluid inclusions and hydrogen and oxygen isotopes. *Resour. Geol.* 66, 24–36. <https://doi.org/10.1111/rge.12084>.