

مطالعه کانسارهای فلوریت رگه‌ای باقرآباد و دره‌بادام بر پایه داده‌های عناصر خاکی کمیاب، جنوب خاور محلات، استان مرکزی

محمد معانی جوا^۱ و آزاده میرزائی^۲

^۱دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
^۲کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

چکیده

کانی‌سازی‌های فلوریت باقرآباد و دره‌بادام واقع در جنوب خاور محلات (استان مرکزی) به‌صورت رگه‌ای و هم‌راستا با هم، با روند خاوری-باختری در میزبان اسلیت و فلیت‌های سازند شمشک (ژوراسیک زیرین) رخ داده‌اند. فلوریت کانی اصلی رگه‌ها و کوارتز، باریت، کلسیت، دولومیت، پیریت، کالکوپریت، گوتیت و کوولیت کانی‌های فرعی کانسارها هستند. توزیع عناصر خاکی کمیاب در فلوریت‌های هر دو رگه نشان می‌دهد که فلوریت‌های بنفش، بی‌رنگ و خاکستری در مراحل اولیه کانی‌زایی همراه با غنی‌شدگی LREEs (حاصل هضم و جانشینی سنگ دیواره) و انواع فلوریت آبی در مراحل تأخیری کانی‌زایی همراه با غنی‌شدگی MREEs و HREEs تشکیل شده‌اند. به منظور تشخیص ژنز فلوریت نمودار نسبت‌های Tb/La در مقابل Tb/Ca و همچنین نسبت‌های Y/Ho مورد استفاده قرار گرفت که همه نمونه‌ها منشأ گرمابی را برای فلوریت‌های کانسارهای باقرآباد و دره‌بادام به اثبات می‌رسانند. وجود بی‌هنجاری Eu منفی در همه نمونه‌های فلوریت کانسارهای باقرآباد و دره‌بادام می‌تواند ناشی از تشکیل فلوریت در دماهای بیش از ۲۰۰°C باشد. افزون بر این، تهی‌شدگی Ce در فلوریت‌های هر دو منطقه گویای تشکیل آنها از یک سیال کاهیده است که حضور کانی‌های سولفیدی پیریت و کالکوپریت در منطقه این مطلب را تأیید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب، فلوریت، باقرآباد، دره‌بادام، محلات

*نویسنده مسئول: محمد معانی جوا

E-mail: mohammad@basu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

کانی فلوریت با ترکیب شیمیایی CaF_2 یکی از کانی‌های صنعتی با ارزش در جهان است که کاربردهای متعددی در صنایع مختلف همچون صنایع آلومینیم‌سازی، نوری، الکترونیک، نظامی، هسته‌ای، پزشکی، بهداشتی و صنایع سیمان دارد. کانی فلوریت با داشتن ۴۸/۹٪ فلورین، نقش عمده‌ای در تأمین فلورین دارد و در رگه‌های گرمابی حفره‌ها، غارها و چشمه‌های آب‌گرم تشکیل می‌شود. کانی‌های کربولیت (Na_3AlF_6)، سلائیت (MgF_2) و ویلومیت (NaF)، دیگر کانی‌های حاوی فلورین هستند که سهم بعدی را در تأمین فلورین دارند (Dill, 2010). بر اساس جدیدترین رده‌بندی ارائه شده برای ذخایر معدنی، کانسارهای فلوریت دارای سه منشأ ماگمایی، مرتبط با فعالیت‌های ساختمانی و رسوبی هستند (Dill, 2010). مجموع ذخایر قطعی فلوراسپار (نام تجاری فلوریت) در دنیا ۲۴۰ میلیون تن برآورد شده که ایران با داشتن بیش از ۳۰ کانسار و نشانه معدنی فلوریت، ۰/۶ درصد ذخایر فلوریت دنیا (معادل ۱/۳۵۸ میلیون تن) را به خود اختصاص داده است (Ghorbani, 2013; UAGS, 2014). اغلب ذخایر فلوریت ایران در استان‌های اصفهان، مرکزی، کردستان، مازندران، خراسان، یزد، سمنان و کرمان قرار دارند. پهنه دگرگونی-رسوبی سندج-سیرجان در باختر ایران به لحاظ کانه‌زایی فلوریت (در رسوبات ضخیم‌لایه مزوزوییک) در بخش شمالی، میزبان کانسارهایی همچون قهرآباد سلیمان (واقع در شمال‌باختر استان کردستان) و کانسارهای فلوریت-باریت-کلسیت \pm سولفید محلات به ترتیب از باختر به خاور شامل چهار ذخیره بزيجان (چکاب)، دره‌بادام، باقرآباد و آتش‌کوه واقع در جنوب خاور محلات (استان مرکزی) است. از جمله مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته بر روی این کانسارها می‌توان به بررسی ژنز و نحوه تشکیل کانسار فلوریت بزيجان توسط Ehya (2012) اشاره کرد که کانی‌سازی را در این منطقه با ماهیت اپی‌ژنتیک-گرمابی و مرتبط با فعالیت‌های ساختمانی معرفی می‌کند. همچنین ژنز و نحوه تشکیل کانسار فلوریت-باریت (\pm سولفید) آتش‌کوه توسط Tale Fazel (2014) و مقدسی و همکاران (۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفت، که تشکیل رگه‌های فلوریت-باریت (\pm سولفید) آتش‌کوه را در نتیجه اختلاط اعضای انتهایی یک شورا به Na-K-(Mg-Ca) اولیه و

شورابه‌های سازندی غنی از کلسیم با شوری کمتر، ناشی از تبادلات سیال-سنگ بعدی معرفی کرده‌اند. کانسارهای رگه‌ای فلوریت باقرآباد و دره‌بادام در جنوب خاور محلات نمونه‌ای از ذخایر گرمابی-ساختمانی هستند که در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از الگوی ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب در فلوریت و سنگ میزبان‌های مختلف آن در منطقه، به بررسی ویژگی‌های شیمیایی سیال کانه‌ساز و عوامل فیزیکو‌شیمیایی موثر در ته‌نشست فلوریت پرداخته و نتایج حاصل با داده‌های موجود در مطالعات انجام شده در سایر نقاط دنیا مقایسه شود و اهمیت زایشی و اکتشافی آنها مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

۲- روش مطالعه

به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر در پژوهش، ۱۰۰ نمونه سنگی از بخش‌های مختلف ذخایر شامل واحدهای سنگی میربان، کانسنگ فلوریت و دگرسانی‌های همراه برداشته و بر این اساس، مطالعات کانی‌شناسی بر روی ۴۰ مقطع نازک و صیقلی با استفاده از میکروسکوپ نوری پلاریزان زایس (مدل Axioplan2) با نور عبوری و بازتابی در دانشگاه بوعلی‌سینا همدان انجام شد. به منظور بررسی الگوی تغییرات عناصر خاکی کمیاب، ۸ نمونه فلوریت (۶ نمونه از کانسار باقرآباد و ۲ نمونه از کانسار دره‌بادام، بر اساس فراوانی و تنوع رنگی) و ۴ نمونه سنگ میزبان اسلیت (۲ نمونه از هر یک از کانسارها) انتخاب شد. برای اینکه نمونه‌های فلوریت تجزیه شده تا حد امکان خالص باشند، ابتدا نمونه‌ها خرد و سپس فلوریت به وسیله انتخاب دستی در زیر میکروسکوپ بیناکولار جدا شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه SGS کانادا، با روش ذوب لیتیم‌برات مورد تجزیه قرار گرفت و طی آن مجموعه عناصر خاکی کمیاب (REE) به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) تجزیه شدند. با توجه اینکه میزان عنصر کلسیم موجود در نمونه‌های فلوریت بیش از حد آشکارسازی دستگاه ICP-MS بوده است ($\text{Upper limit for Ca} > 15 \text{ wt}\%$)؛ میزان کلسیم موجود در نمونه‌های فلوریت ۸ نمونه پودری با استفاده از تیتراسیون با EDTA در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (تهران) اندازه‌گیری

شد که نتایج این داده‌ها در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. حد آشکارسازی برای عناصر La, Lu, Sm و Yb (۰/۱ ppm)، Ce, Nd, Tm, Eu, Tb, Gd, Pr, Dy و Lu پس از آرکنن (PAAS) توسط استفاده شده است (Taylor and McLennan, 1985).

جدول ۱- مقادیر عناصر خاکی کمیاب (REE) و یتیم (Y) بر حسب (ppm) و مقادیر کلسیم (Ca) بر حسب (%wt) در ترکیب فلوریت‌های منطقه باقرآباد و دره‌بادام.

Description	Fluorite Bagher Abad						Fluorite Darreh Badam	
	Colorless fluorite	Dark violet fluorite	Dark blue fluorite	Violet fluorite	Gray fluorite	Blue fluorite	Blue fluorite	Pale blue fluorite
Sample	B-100	B-104	B-107	B-111	B-135	B-139	D-100	D-108
Ca	48.65	51.92	51.42	51.1	47.02	50.44	49.17	47.78
La	0.7	0.6	0.3	0.6	1.1	0.3	0.2	0.3
Ce	0.73	0.73	0.46	0.62	1.49	0.57	0.35	0.36
Pr	0.08	0.07	0.09	0.06	0.15	0.08	0.07	<0.05
Nd	0.32	0.25	0.41	0.25	0.62	0.44	0.25	0.23
Sm	0.09	0.06	0.26	0.06	0.14	0.24	0.13	0.11
Eu	0.05	<0.05	0.13	<0.05	0.07	0.11	<0.05	<0.05
Gd	0.21	0.11	0.80	0.14	0.40	0.74	0.47	0.40
Tb	<0.05	<0.05	0.17	<0.05	0.07	0.16	0.10	0.09
Dy	0.24	0.13	1.43	0.15	0.54	1.23	0.83	0.70
Ho	0.05	<0.05	0.29	<0.05	0.11	0.26	0.18	0.16
Er	0.15	0.06	0.83	0.09	0.33	0.76	0.55	0.46
Tm	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	0.08	0.06	0.05
Yb	<0.1	<0.1	0.4	<0.1	0.2	0.4	0.3	0.2
Y	5.2	2.6	39.4	3.4	17.9	33.9	26.4	23.1
Lu	0.02	<0.01	0.04	<0.01	0.02	0.04	0.03	0.03
∑REE	2.73	2.145	5.69	2.105	5.26	5.41	3.54	3.13
∑REE+Y	8.18	4.995	45.34	5.755	23.41	39.56	30.19	26.48
∑LREE	1.97	1.73	1.65	1.61	3.57	1.74	1.02	1.04
∑HREE	0.76	0.415	4.04	0.495	1.69	3.67	2.52	2.09
Y/Ho	104	130	135.86	170	162.72	130.38	146.66	144.37
Eu/Eu*	1.11	0.75	0.87	0.66	0.90	0.79	0.24	0.29
Ce/Ce*	0.72	0.83	0.65	0.76	0.86	0.86	0.69	1.09
(La/Yb) _n	9.46	8.1	0.5	8.10	3.71	0.5	0.45	1.01

جدول ۲- مقادیر عناصر خاکی کمیاب (ppm) در سنگ میزبان کانی‌سازی‌های فلوریت باقرآباد و دره‌بادام.

Description	Slate Bagher Abad		Slate Darreh Badam	
	Slate	Slate	Slate	Slate
	B-103	B-133	D-113	D-124
Sample	B-103	B-133	D-113	D-124
Ca	0.11	0.11	0.18	0.14
La	16.9	16.1	21.8	19.2
Ce	37.5	28	48.6	43
Pr	4.07	2.78	5.22	4.64
Nd	16.1	10.3	20.3	17.9
Sm	3.17	1.87	3.77	3.34
Eu	0.69	0.41	0.41	0.68
Gd	2.77	1.76	3.03	2.71

ادامه جدول ۲

Description	Slate		Slate	
	Bagher Abad		Darreh Badam	
	Slate	Slate	Slate	Slate
Tb	0.30	0.23	0.34	0.29
Dy	1.37	1.27	1.54	1.36
Ho	0.22	0.23	0.25	0.22
Er	0.70	0.78	0.79	0.70
Tm	0.11	0.13	0.11	0.10
Yb	0.7	0.8	0.8	0.7
Y	4.9	5.3	5.6	4.8
Lu	11.0	0.13	0.12	0.11
ΣREE	84.6	64.79	107.08	94.95
ΣREE+Y	95	75.59	119.98	108.15
ΣLREE	78.43	59.46	100.1	88.76
ΣHREE	6.17	5.33	6.98	6.19
Y/Ho	22.27	23.04	22.4	21.81
Eu/Eu ⁺	0.71	0.69	0.37	1.87
Ce/Ce ⁺	1.06	0.98	1.07	1.06
(La/Yb) _n	16.31	13.59	18.41	18.53

۳- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

کانی‌سازی فلوریت است. قاعده این واحد که با ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی سنگ‌های تریاس قرار دارند، از چندین متر (کمتر از ۶ متر) ماسه‌سنگ‌های کوارتزی ضمیمه‌لایه به رنگ قهوه‌ای سوخته تشکیل شده است که به‌طور تدریجی به شیل‌های سیلتی خاکستری تیره، سبز زیتونی و قرمز متمایل به ارغوانی با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های آهکی تا آهک ماسه‌ای متوسط تا ضخیم‌لایه تبدیل می‌شوند. ضخامت این واحد در حدود ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر است (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴).

۳-۴. واحد K^۱

بخش عمده‌ای از سنگ‌های متعلق به کرتاسه را این واحد سنگ‌آهکی به خود اختصاص داده است. از نظر سنگ‌شناختی، این واحد از سنگ‌آهک‌های ماسه‌ای فسیل‌دار ضخیم‌لایه به رنگ قهوه‌ای و سنگ‌آهک‌های میکرایتی تا میکرواسپارایتی به رنگ خاکستری تشکیل شده است. این سنگ‌های ضخیم‌لایه تا توده‌ای در مناطق تکنوژنه خرد می‌شوند و به اسلیت‌های آهکی تغییر شکل می‌یابند. ضخامت این واحد ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر است (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴).

۳-۵. واحد K^۵

سنگ‌آهک‌های واحد K^۱ بیشتر در بخش‌های میانی تا بالای خود به‌طور جانبی به سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه تا ضخیم‌لایه زرد رنگ بلورین، سنگ‌آهک‌های دولومیتی و سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه زرد رنگ تبدیل می‌شوند که تحت عنوان واحد K^۵ جدا شده‌اند (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴).

۳-۶. واحدهای Q^{۱۲} و Q^{۱۱}

در بخش شمالی معادن محدوده مطالعه، ضخامتی در حدود چند ۱۰ متر از سنگ آهک‌های عهد حاضر رخمون دارند. این واحد کربناته ضخیم‌لایه تا توده‌ای (با شیب افقی)، حفره‌دار به رنگ استخوانی تا زرد رنگ تراس‌هایی به وسعت چندین کیلومتر مربع را شکل داده است. حد زیرین این واحد با ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار دارد و حد بالایی آن با واحد Q^{۱۲} (شامل آبرفت‌های پادگانه‌ای) در ارتباط است (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴).

معادن فلوریت باقرآباد و دره‌بادام در موقعیت ۳۵' ۵۰° تا ۳۳' ۵۰° طول جغرافیایی و ۴۸' ۳۳° تا ۴۹' ۳۳° عرض جغرافیایی در فاصله ۱۵ کیلومتری خاور و جنوب خاور شهرستان محلات، در جنوب خاور استان مرکزی واقع شده‌اند. به‌طور کلی محدوده مورد مطالعه در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ گلپایگان و ۱:۱۰۰۰۰۰ دلجان، در محدوده استان‌های اراک و اصفهان و شهرستان‌های محلات و دلجان قرار گرفته است. از دیدگاه ساختاری ذخایر مورد مطالعه در بخش شمالی پهنه سندج-سیرجان جای گرفته است. زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه گلپایگان نخستین بار توسط Thiele et al. (1968) و سپس Rashidnejad-Omran et al. (2002) بررسی شده است. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. واحدهای رخمون شده در ناحیه مورد مطالعه به شرح زیر است:

۳-۱. واحد P^۱

ردیف سنگ‌های به سن پرمین در شمال و شمال خاوری کانسارهای باقرآباد و دره بادام رخمون دارند (شکل ۱- A). حد زیرین سنگ‌های پرمین به سبب بهم‌ریختگی ساختاری به وضوح مشخص نیست. در برخی نقاط این سازند با قاعده کربناته و افق‌هایی همشیب و کم‌زاویه بر روی یکدیگر قرار گرفته است. این بخش از سنگ‌آهک‌های تبلور مجدد یافته سفید تا شیری رنگ با گسترش زیاد پدید آمده‌اند و به‌طور کلی توده‌ای و به ندرت دارای لایه‌بندی هستند (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴).

۳-۲. واحد T^{Rld}

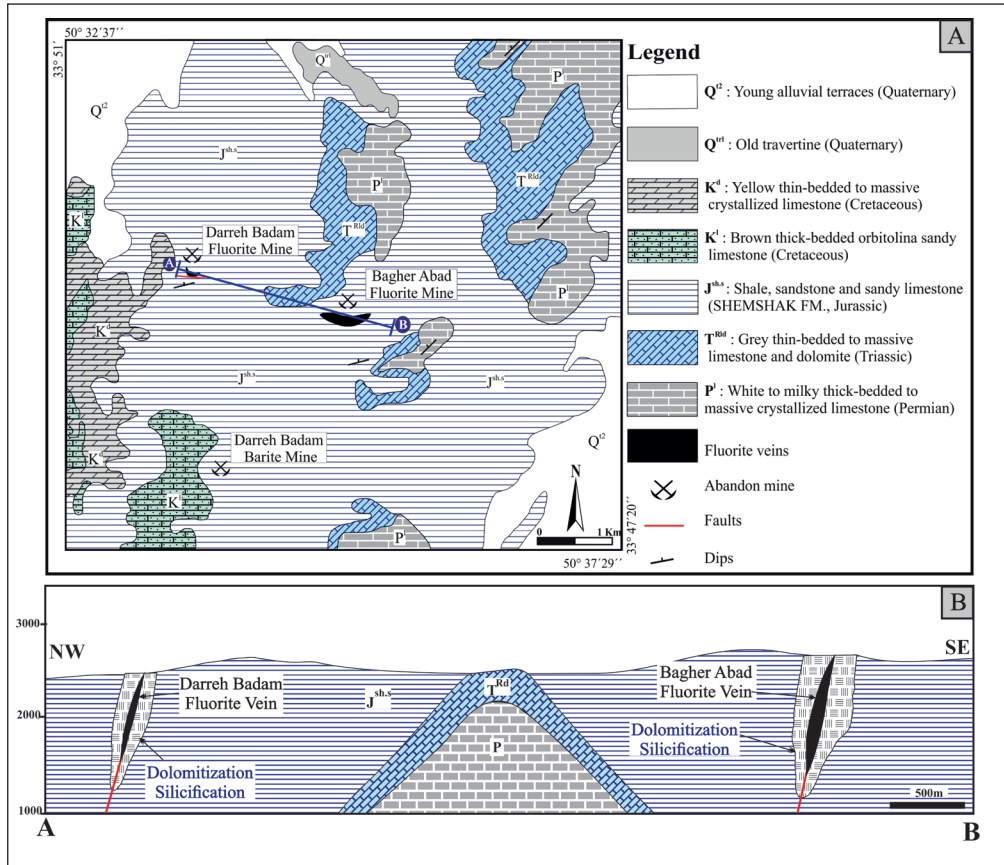
رخساره سنگ‌شناختی این واحد شامل سنگ‌آهک‌های دولومیتی ضخیم‌لایه با سطح فرسایش قهوه‌ای رنگ به همراه رگه‌های نازک سیلیس و گاهی چرتاست که حدوداً ۵۰ متر ضخامت دارند. سنگ‌های اخیر بالاترین قسمت از نهشته‌های تریاس را به خود اختصاص می‌دهند که با ناپیوستگی توسط ماسه‌سنگ‌های کوارتزی قاعده شمشک پوشیده می‌شوند (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴).

۳-۳. واحد J^{sh.s}

این واحد در گستره مورد مطالعه پراکندگی چشمگیری دارد و میزبان اصلی

کانی‌سازی رگه‌ای در کانسار دره‌بادام بوده و کانی‌سازی اغلب در درز و شکاف‌های فرعی این گسل رخ داده است (شکل ۱- A) (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴). لازم به ذکر است که در نواحی کانسارهای فلوریت باقرآباد و دره‌بادام هیچ‌گونه فعالیت‌های ماگمایی خروجی یا نفوذی مشاهده نشده است (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴).

یکی از رخدادهای زمین‌ساختی تأثیرگذار در منطقه، رویداد هم‌ارز سیمین پیشین بوده که سبب شده است رسوبات تخریبی معادل شمشک با ناپیوستگی همشیب بر روی رسوبات قدیمی‌تر از خود قرار گیرند. از گسل‌های منطقه می‌توان به گسل امتداد لغز دره‌بادام در راستای خاوری-باختری با شیب قائم اشاره کرد که کنترل‌کننده



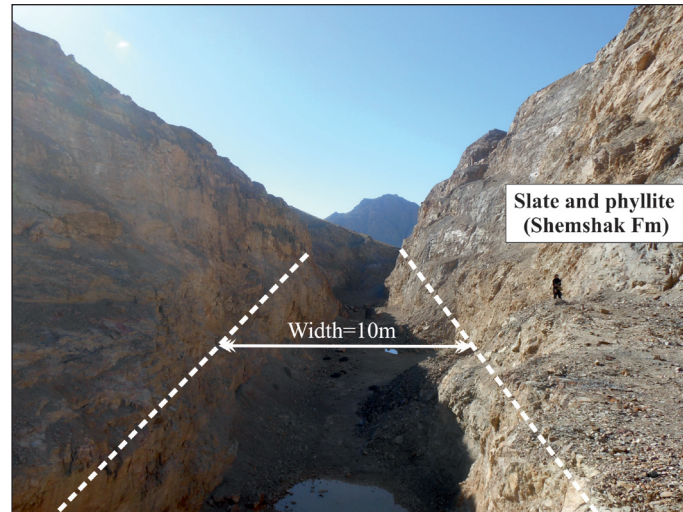
شکل ۱- A) نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه معدنی باقرآباد (با تغییرات از Thiele et al., 1968 و شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴)؛ B) برش زمین‌شناسی (A-B) از محل کانه‌زایی فلوریت در منطقه و موقعیت رگه‌های فلوریت باقرآباد و دره‌بادام و دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی.

کانسار فلوریت دره‌بادام با فاصله تقریبی ۵ کیلومتر، در باختر کانسار فلوریت باقرآباد واقع شده است. کانی‌سازی فلوریت در کانسار دره‌بادام همانند کانسار فلوریت باقرآباد به صورت رگه‌ای با طول تقریبی ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر، ضخامت متغیر بین ۵ تا ۱۰ متر و امتداد تقریبی خاوری-باختری با شیب قائم (۸۰ تا ۹۰ درجه)، در واحدهای سنگی اسلیت و فیلیت‌های سازند شمشک به سن ژوراسیک زیرین و دقیقاً در راستای رگه فلوریت باقرآباد (خاوری-باختری) رخ داده است (میرزائی، ۱۳۹۵). مهم‌ترین ساخت و بافت‌های مشاهده شده در کانسار دره‌بادام، رگه‌ای متقاطع، افشان و پرکننده فضای خالی است. فلوریت با رنگ آبی کم‌رنگ تا بی‌رنگ، کانی اصلی کانسار بوده که بیش از ۷۰ درصد رگه را به خود اختصاص داده است. فلوریت با بافت دانه‌ای و هم‌رشدی همراه با میانبرهای بی‌شکلی از کوارتز در اغلب مقاطع دیده می‌شود. از مهم‌ترین کانی‌های فرعی کانسار می‌توان به کوارتز و مجموعه‌های شعاعی و تیغه‌ای باریت اشاره کرد که فراوانی تقریبی ۲۵ درصدی دارند. کوارتز در این کانسار در دو نسل تشکیل شده است که کوارتزهای اولیه (نسل اول) به صورت درشت‌بلورهای بی‌شکل به عنوان میانبر در زمینه فلوریت و کوارتزهای ثانویه (نسل دوم) به صورت رگه-رگچه‌هایی از کوارتزهای پلی کریستالین همراه با بلورهای کشیده و ریز باریت در مرز دانه‌های فلوریت تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۳- پ و ت).

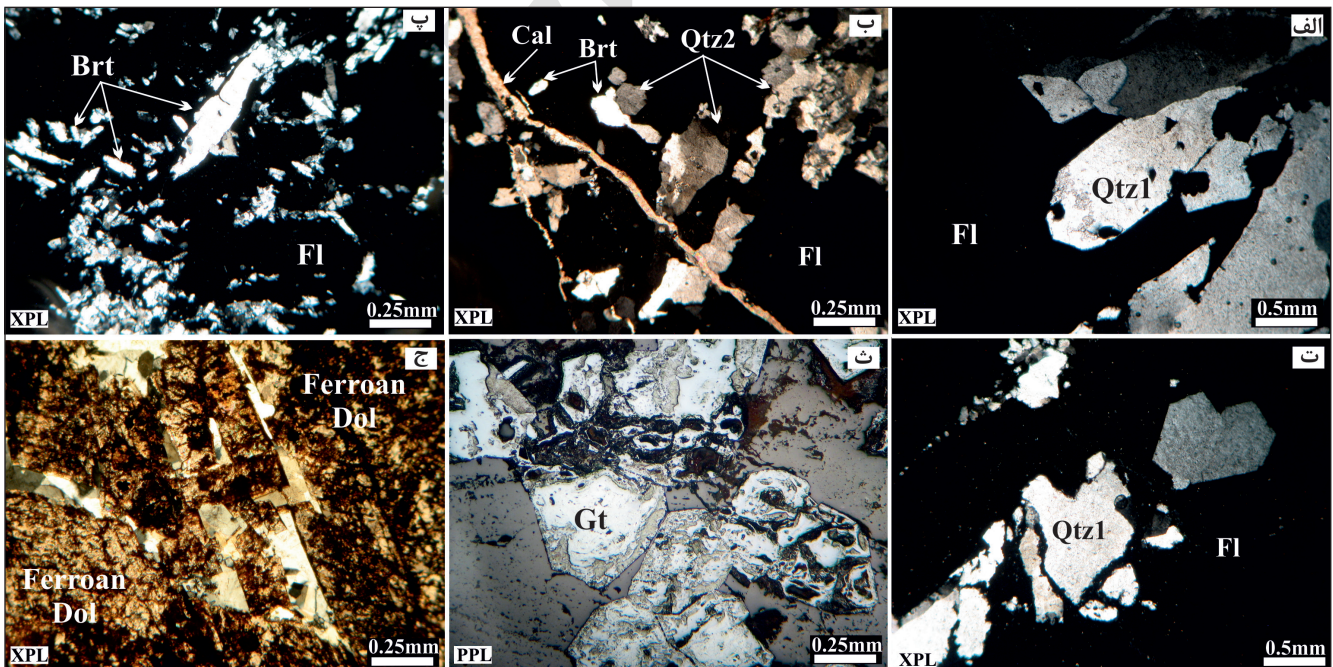
کانی‌سازی فلوریت در کانسار باقرآباد با ماهیت رگه‌ای با طول تقریبی ۵۰۰ متر، ضخامت ۱ تا ۱۰ متر، راستای خاوری-باختری و شیب نسبتاً قائم ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت شمال، با میزبانی واحدهای شیل، اسلیت و فیلیت‌های سازند شمشک به سن ژوراسیک زیرین رخ داده که طی عملیات‌های استخراجی بخش عمده‌ای از آنها توسط شرکت پودرسازان مورد استخراج قرار گرفته است (شکل ۲) (معانی جو و همکاران، ۱۳۹۵). فلوریت کانی اصلی رگه است که بیش از ۷۰ درصد حجم رگه را شامل می‌شود. کوارتز و کلسیت مهم‌ترین کانی‌های فرعی رگه هستند. از دیگر کانی‌های فرعی کانسار می‌توان به باریت، گوتیت، پیریت، کالکوپیریت، کولویت و دولومیت اشاره کرد (شکل ۳- ث). فلوریت در این رگه، به رنگ‌های بی‌رنگ، آبی، بنفش، بنفش تیره و خاکستری مشاهده می‌شود و اغلب در حفرت موجود در سنگ میزبان اسلیت به صورت شکافه‌پرکن و در امتداد رگه‌های کوارتزی نیز تشکیل شده است (شکل‌های ۳- الف و ب). مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که کوارتزهای درشت‌بلور اولین فاز کانی‌سازی در این کانسار هستند که حتی قبل از کانی‌سازی فلوریت تشکیل شده‌اند. نسل دوم کوارتز به صورت رگه-رگچه‌های ثانویه از کوارتزهای پلی کریستالین تشکیل شده است که به صورت هم‌رشدی با مجموعه‌های شعاعی ریز تا درشت‌بلور باریت هستند (شکل‌های ۳- الف و ب).

رخ به ویژه در محل تاج آنها میزان آهن افزایش یافته و دولومیت آهن دار را به وجود آورده است (شکل ۳-ج).

دولومیت، کلسیت و آغشتگی های ناچیزی از اکسید آهن، از دیگر کانی های فرعی همراه با فلوریت هستند. کانی های دولومیت بافت شبه زین اسی دارند و در سطوح



شکل ۲- نمایی از سینه کار حفر شده هم راستا با ماده معدنی در معدن فلوریت باقرآباد (دید عکس به سمت باختر).



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی از کانی های کانسار باقرآباد و دره بادام. الف) تشکیل کانی فلوریت به صورت پرکننده فضای خالی بین بلورهای هگزاگونال کوارتز نسل اول، کانسار باقرآباد؛ ب) تشکیل کانی فلوریت همراه با رگچه های کلسیت ثانویه در محل شکستگی ها به صورت شکافه پرکن، کانسار باقرآباد؛ پ) مجموعه بلورهای باریت تیغه ای در زمینه فلوریت، کانسار دره بادام؛ ت) کانی فلوریت با میانبرهای بی شکلی از کوارتز، کانسار دره بادام؛ ث) رخداد گوتیت ثانویه ناشی از جانشینی کانی های سولفیدی اولیه، کانسار باقرآباد؛ ج) سطوح بلوری درشت دولومیت آهن دار، کانسار دره بادام. حروف اختصاری تصاویر آهن دار از (Withney and Evans (2010) اقتباس شده است (Fl: فلوریت، Cal: کلسیت، Qtz1: کوارتز نسل اول، Qtz2: کوارتز نسل دوم، Brt: باریت، Gt: گوتیت و Ferroan Dol: دولومیت).

(اسلیت و فیلیت‌های سازند شمشک) و با فاصله از رگه رخ داده است (میرزائی، ۱۳۹۵). با توجه به شواهد صحرایی و بررسی‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی بر روی نمونه‌های کانسنگ و سنگ میزبان در مناطق مورد بررسی، توالی پاراژنری کانسارهای فلوریت باقرآباد و دره‌بادام ترسیم شد (شکل ۴).

بر اساس شواهد صحرایی و میکروسکوپی، دگرسانی‌های مشاهده شده در کانسارهای باقرآباد و دره‌بادام عبارتند از: سریستی شدن، دولومیتی شدن و سیلیسی شدن. دگرسانی‌های دولومیتی شدن و سیلیسی شدن در مجاورت رگه‌های کانه‌ساز (شکل ۱- B) و دگرسانی سریستی شدن اغلب در سنگ میزبان کانی‌سازی

Stages Minerals	Darreh Badam			Bagher Abad		
	Hypogene		Supergene	Hypogene		Supergene
	Early	Late		Early	Late	
Quartz	Q1	Q2		Q1	Q2	
Fluorite	[Bar]			[Bar]		
Barite		[Bar]		[Bar]		
Calcite		[Bar]		[Bar]		
Dolomite				[Bar]	[Bar]	
Pyrite				[Bar]		
Chalcopyrite				[Bar]		
Geothite			[Bar]			[Bar]
Covellite			[Bar]			[Bar]

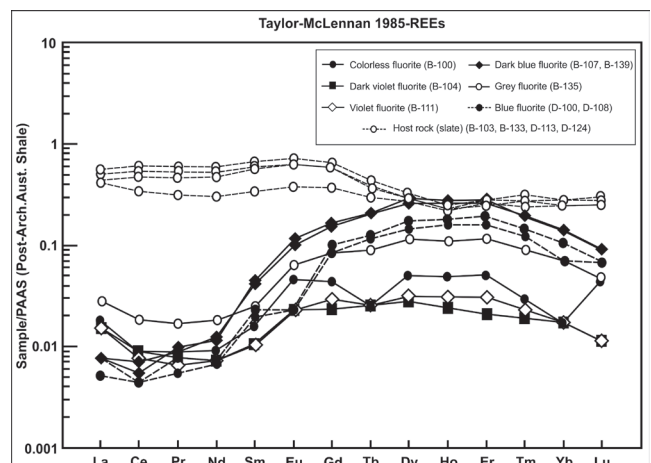
شکل ۴- توالی پاراژنری کانی‌سازی در کانسارهای فلوریت رگه‌ای باقرآباد و دره‌بادام (ضخامت خطوط نشان‌دهنده فراوانی است).

فیزیکوشیمیایی محیط تشکیل و خاستگاه زایشی فلوریت‌های منطقه تعیین شده است. در این پژوهش داده‌های عناصر خاکی کمیاب نسبت به داده‌های شیل‌های پس از آرکنن استرالیا (PAAS) توسط Taylor and McLennan (1985) به‌نجار شد که نتایج آن در نمودار شکل ۵ ارائه شده است. شکل کلی این نمودار به حالت محذب است که این ویژگی از خصوصیات بارز کانسارهای فلوریت گرمابی است که در آن این کانسارها اغلب از عناصر خاکی کمیاب میانه (MREEs) غنی می‌شوند (Schwinn and Markl, 2005).

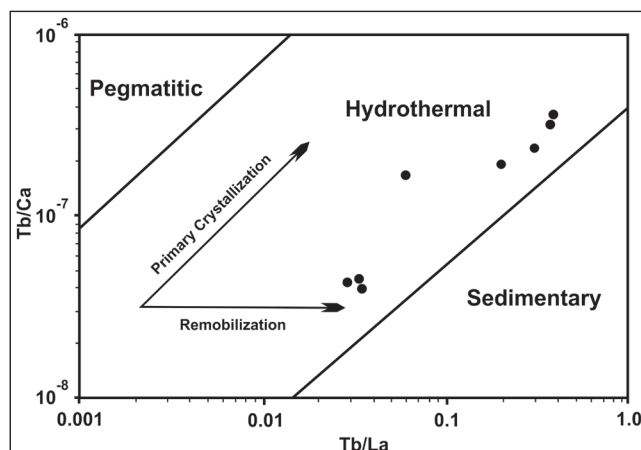
شکل ۵- الگوهای REE به‌نجار شده به شیل‌های پس از آرکنن استرالیا (Taylor and McLennan, 1985) برای نمونه‌های فلوریت کانسارهای باقرآباد و دره‌بادام.

۴- مطالعات ژئوشیمیایی عناصر خاکی کمیاب در کانسارهای فلوریت باقرآباد و دره‌بادام

استفاده از الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب ابزار قدرتمندی به منظور دستیابی به خصوصیات فیزیکوشیمیایی محیط تشکیل و تعیین خاستگاه زایشی فلوریت‌هاست (Schwinn and Markl, 2005; Tang et al., 2009 and 2013). از آنجایی که در کانسارهای فلوریت یکی از مناسب‌ترین کانی‌ها برای تجمع و بررسی تغییرات عناصر خاکی کمیاب، کانی فلوریت است، لذا تغییرات این عناصر در این کانی مورد بررسی قرار گرفته و در نمودارهای مختلف دوتایی، خصوصیات



عناصر خاکی کمیاب تریم (Tb) و لانتانم (La) تحت شرایط گرمایی به شدت به وسیله کانی‌سازی فلوریت در محیط تفکیک می‌شوند. بر این اساس، نمودار دوتایی نسبت‌های Tb/La در مقابل Tb/Ca (شکل ۶)، به منظور تشخیص محیط تشکیل و درجه تفریق فلوریت مورد استفاده قرار گرفته است (Moller et al., 1976; Moller and Morteani, 1983; Moller, 1991). از سوی دیگر تفاوت پایداری کمپلکس‌های عناصر خاکی کمیاب موجب می‌شود تا فلوریت‌های اولیه اغلب غنی از La و فقیر از Tb باشند (نسبت Tb/La کمتر). با پیشرفت فرایند تبلور، غلظت فلوریت در سیال به سرعت کاهش می‌یابد که منجر به تجزیه TbF^{2+} و دیگر کمپلکس‌های فلوریتی عناصر خاکی کمیاب می‌شود. از آنجا که La بیشتر جذب شده است، فلوریت تأخیری نسبتاً غنی از Tb خواهد بود و این فلوریت نسبت Tb/La بیشتری خواهد داشت. نسبت Tb/Ca یک شاخص محیطی است. بالاترین نسبت‌های Tb/Ca در فلوریت‌های پگماتیتی و پایین‌ترین نسبت‌ها در فلوریت‌های منشأ رسوبی یافت می‌شود؛ زیرا در این محیط مقدار عناصر خاکی کمیاب به مقدار این عناصر در آب دریا نزدیک است. فلوریت‌های گرمایی با غلظت متوسط عناصر خاکی کمیاب و نسبت متوسط Tb/Ca شناخته می‌شوند (Moller et al., 1976 and 1994). تمامی نمونه‌های فلوریت کانسارهای باقرآباد و دره بادام در محدوده کانسارهای گرمایی قرار گرفته‌اند (شکل ۶). در این نمودار، نمونه‌های فلوریت در امتداد روند تبلور اولیه (primary crystallization) قرار می‌گیرند، بنابراین F⁻ از حرکت دوباره لایه‌های غنی از فلوریت قبلی حاصل نشده‌اند (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار Tb/Ca در مقابل Tb/La در فلوریت‌های منطقه مورد مطالعه. روند تبلور اولیه نشان‌دهنده روند تبلور فلوریت‌های اولیه از سیال گرمایی است (Moller et al., 1976).

مقادیر Y/Ho نمونه‌های فلوریت محدوده مورد مطالعه در این پژوهش در نمودار ارائه شده توسط Bau and Dulski (1995) در تعدادی از سنگ‌های آذرین، کندریت، شیل‌های پس از آرکن استرالیا، آب دریا و فلوریت‌های گرمایی به صورت مقایسه‌ای ترسیم شد (شکل ۷). همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، نسبت Y/Ho در نمونه‌های فلوریت مورد مطالعه در محدوده این نسبت برای کانسارهای فلوریت گرمایی قرار می‌گیرد و شاهد دیگری مبنی بر منشأ گرمایی کانسارهای باقرآباد و دره بادام فراهم می‌آورد.

بی‌هنجاری‌های (Eu/Eu*) در مقابل بی‌هنجاری‌های (Ce/Ce*) در نمودار شکل ۸ نشان می‌دهد که اغلب نمونه‌ها در محدوده رگه‌های تهی از هر نوع کانی‌سازی واقع می‌شوند. برخی نمونه‌ها نیز با هیچ یک از انواع کانسارهای گرمایی همپوشانی نشان نمی‌دهند.

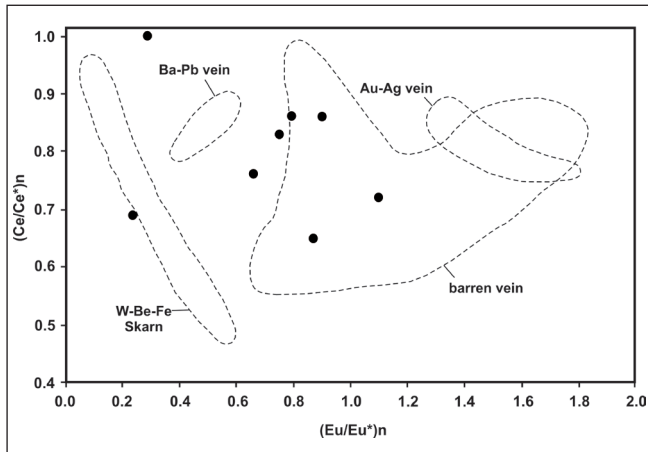
مجموع عناصر خاکی کمیاب ($\Sigma REEs$) در نمونه‌های فلوریت کانسار باقرآباد بین ۲/۱ تا ۵/۶۹ ppm و در نمونه‌های فلوریت دره بادام بین ۳/۱۳ تا ۳/۵۴ ppm متغیر است. با استفاده از نمودار عنکبوتی شکل ۵ می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

۱) الگوی توزیع REEs در فلوریت‌ها به صورت گنبدی شکل است که در آن عناصر خاکی کمیاب میانه (MREEs) غنی‌شدگی نشان می‌دهند و الگوی توزیع REEs در سنگ میزبان اسلیتی با الگوی صاف نزدیک به نسبت ۱ قرار گرفته است.

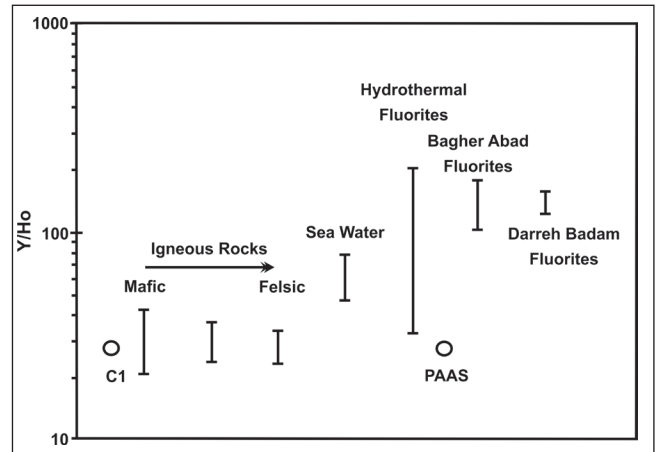
۲) غنی‌شدگی فلوریت‌های بنفش، بی‌رنگ و خاکستری از LREEs نشانه تبلور در مراحل اولیه است (Hill et al., 2000). میزان غنی‌شدگی عناصر MREEs در این نوع فلوریت‌ها نسبت به انواع دیگر کمتر است. مطالعات Sallet et al. (2005) نشان می‌دهد که در مراحل اولیه کانه‌زایی در دماهای بالاتر، به دلیل تفکیک کمتر عناصر REE و کمپلکس‌سازی ناپایدارتر با یون F، عناصر خاکی کمیاب سبک تر (LREEs) غنی‌شدگی و عناصر خاکی کمیاب سنگین تر (HREEs) تهی‌شدگی نشان می‌دهند. ۳) غنی‌شدگی از HREEs در فلوریت‌های آبی نشانه تبلور در مراحل پایانی فعالیت گرمایی است. به این دلیل که با پیشرفت تبلور محلول از LREEs تهی می‌شود، زیرا کمپلکس‌های LREE دارای پایداری کمتری هستند و سریع‌تر وارد شبکه فلوریت می‌شوند. بنابراین با پیشرفت تبلور، محلول از HREEs غنی می‌شود و فلوریت‌هایی که در مراحل آخر تشکیل شده‌اند از HREEs نسبت به LREEs غنی هستند (Hill et al., 2000). رفته رفته و با کاهش دما، عناصر REE تفکیک بیشتری می‌یابند و با یون F کمپلکس‌های پایدارتری می‌سازند. در نتیجه عناصر خاکی کمیاب سنگین تر (HREEs) غنی‌شدگی و عناصر خاکی کمیاب سبک تر (LREEs) تهی‌شدگی نشان می‌دهند.

۴) غنی‌شدگی قابل مشاهده در فلوریت‌های گرمایی، برای عناصر MREE است. غنی‌شدگی MREEs مشخصه آب‌های طبیعی غنی شده کلریدی است و نیز در مکان‌های اسیدی مشاهده می‌شود. واکنش‌های داخلی آب-سنگ همانند تبادلات یونی، جذب و دفع سطحی بر روی سطوح کانی‌ها و کمپلکس‌سازی سولفات به عنوان مکانیسم‌های ممکن برای گسترش الگوی غنی‌شدگی MREEs هستند (Schwinn and Markl, 2005). بررسی نسبت‌های Ce/Ce^* و Eu/Eu^* در فلوریت‌ها، شاخص مفیدی برای ارزیابی ماهیت فیزیکوشیمی و خصوصیات ترموشیمیایی سیال کانه‌ساز است که مقادیر آن در جدول ۱ آورده شده است. در حالت کلی دو عنصر Ce و Eu به علت داشتن ظرفیت‌های متغیر ممکن است از روند تغییرات دیگر عناصر خاکی کمیاب پیروی نکنند (Hill et al., 2000) که شدت انحراف از حالت عادی بستگی به شرایط فیزیکوشیمیایی دارد. مقادیر عناصر خاکی کمیاب در سنگ میزبان در جدول ۲ برای مقایسه آورده شده است.

نسبت‌های $(Eu/Eu^* = Eu_{II}/\sqrt{Sm_{II} * Gd_{II}}) / (Ce/Ce^* = Ce_{II}/\sqrt{La_{II} * Pr_{II}})$ و $(Eu/Eu^* = Eu_{II}/\sqrt{Sm_{II} * Gd_{II}}) / (Ce/Ce^* = Ce_{II}/\sqrt{La_{II} * Pr_{II}})$ که نشان‌دهنده بزرگی بی‌هنجاری‌های Ce و Eu هستند، به ترتیب در فلوریت‌های باقرآباد بین ۰/۶۵ تا ۰/۸۶ تا ۰/۶۶ تا ۱/۱ و در فلوریت‌های دره بادام بین ۰/۶۹ تا ۱/۰۹ و ۰/۲۴ تا ۰/۲۹ به دست آمد (جدول ۱). تغییرات Ce و Eu نشانگرهای مناسبی برای دستیابی به دما و فوگاسیته اکسیژن (fO_2) سیال هستند (Constantopoulos, 1988; Palmer and Williams-Jones, 1996). کاهیدگی ترموشیمیایی Eu^{2+} به Eu^{3+} در دمای بالا رخ می‌دهد، بنابراین فلوریت‌های گرمایی که بی‌هنجاری Eu مثبت (بیشتر از ۱) نشان می‌دهند، تحت تأثیر سیال گرمایی با دمای تقریبی کمتر از ۲۰۰°C تشکیل می‌شوند (Schwinn and Marker, 2005). در دمای بیش از ۲۰۰°C، اندازه بزرگ‌تر یون Eu^{2+} مانع از جانشینی آن به جای Ca^{2+} در شبکه فلوریت می‌شود و بنابراین نوعی تهی‌شدگی Eu در فلوریت‌ها مشاهده می‌شود (Bau, 1991; Moller, 1998; Moller and Holzbecher, 1998). وجود بی‌هنجاری Eu منفی (کمتر از یک) در تمامی نمونه‌های فلوریت کانسارهای باقرآباد (به جز یک نمونه) و دره بادام می‌تواند ناشی از تشکیل فلوریت در دماهای بیش از ۲۰۰°C باشد. افزون بر این، تهی‌شدگی Ce در فلوریت‌های هر دو منطقه گویای تشکیل آنها از یک سیال کاهیده است (Moller et al., 1998) که حضور کانی‌های سولفیدی پیریت و کالکوپیریت در منطقه این مطلب را تأیید می‌کند.



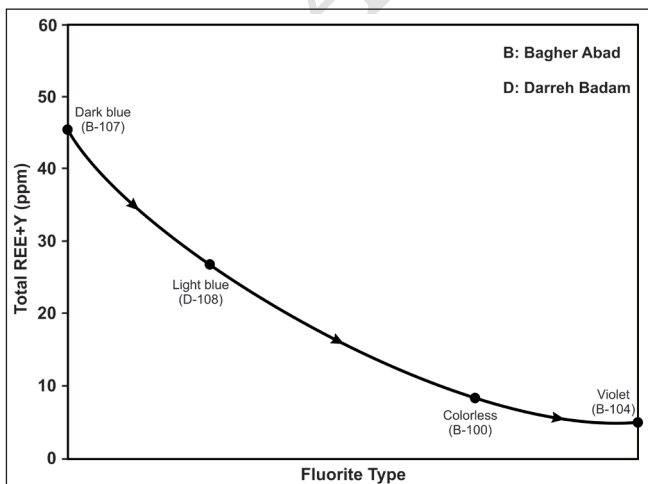
شکل ۸- توزیع نمونه‌های فلوریت در نمودار $(Eu/Eu^*)_n$ در مقابل $(Ce/Ce^*)_n$ و مقایسه با کانسارهای گرمابی حاوی فلوریت در نیومکزیکو (Eppinger and Closs, 1990).



شکل ۷- نمودار نسبت‌های Y/Ho در فلوریت‌های کانسار باقرآباد و دره‌بادام و برخی محیط‌های زمین‌شناسی دیگر. C1: کندریت، PAAS: شیل‌های پس از آرکنن استرالیا (با تغییر از: Bau and Dulski, 1995).

بنفش تیره و بنفش، آبی تیره و آبی است. تغییر رنگ فلوریت ممکن است در ارتباط با مقدار عناصر جزئی در آن باشد. Schneider et al. (1975) تلاش کردند که رنگ‌های مختلف فلوریت را به مقدار عناصر جزئی و عناصر خاکی کمیاب در آن ارتباط دهند.

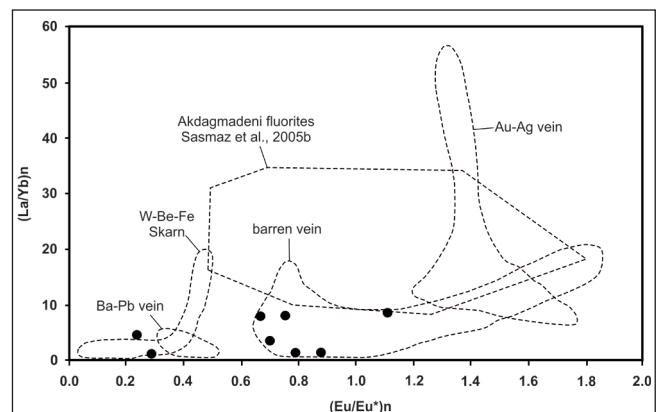
مقدار $\sum REE+Y$ فلوریت‌های کانسارهای باقرآباد و دره‌بادام با رنگ‌های مختلف، یک روند تهبی‌شدگی از آبی تا بنفش نشان می‌دهد (شکل ۱۰). Sasmaz and Yavuz (2007) نیز روند مشابهی را در فلوریت‌های سیاه تا بنفش خیلی روشن در ترکیه گزارش کرده‌اند اما با این وجود ارتباط آشکاری بین رنگ فلوریت و مقدار یک عنصر جزئی خاص در آن مشاهده نشد.



شکل ۱۰- تغییرات مقدار $\sum REE+Y$ در فلوریت‌های آبی، بی‌رنگ و بنفش در کانسارهای باقرآباد و دره‌بادام.

نسبت‌های $(La/Yb)_n$ در مقابل $(Eu/Eu^*)_n$ در نمودار شکل ۹، نشان می‌دهد که اغلب نمونه‌های فلوریت در محدوده رگه‌های تهبی از کانی‌سازی قرار گرفته‌اند و تنها دو نمونه از فلوریت‌ها با هیچ یک از انواع دیگر همپوشانی نشان نمی‌دهند.

اگر چه بی‌هنجاری مثبت عنصر Eu نشانه‌ای از کانی‌سازی فلزات قیمتی تفسیر شده است (Constantopoulos, 1988; Sasmaz et al., 2005)، اما عدم همپوشانی موقعیت نمونه‌های فلوریت در شکل‌های ۸ و ۹ با محدوده نشان داده شده به وسیله رگه‌های فلوریت حاوی کانی‌سازی طلا و نقره، بیانگر آن است که این تفسیر در همه موارد صادق نیست. رنگ نمونه‌های فلوریت تجزیه شده شامل بی‌رنگ، خاکستری،



شکل ۹- توزیع نمونه‌های فلوریت در نمودار $(Eu/Eu^*)_n$ در مقابل $(La/Yb)_n$ و مقایسه با کانسارهای گرمابی حاوی فلوریت در نیومکزیکو (Eppinger and Closs, 1990) و فلوریت‌های آک‌داگ‌مادنی در ترکیه (Sasmaz et al., 2005).

۵- نتیجه گیری

گرمابی را برای آنها به اثبات می‌رساند. از آنجا که توده‌های آذرین در منطقه دیده نمی‌شود، ارتباط مستقیم بین فعالیت‌های آذرین و ایجاد سیالات گرمابی قابل تأیید نیست. لیکن احتمال دارد توده‌های پنهان که برونزد ندارند، منشأ سیالات گرمابی باشند. وجود بی‌هنجاری Eu منفی (کمتر از یک) در تمامی نمونه‌های فلوریت کانسارهای باقرآباد و دره‌بادام می‌تواند ناشی از تشکیل فلوریت در دماهای بیش از 200°C باشد. افزون بر این، تهی‌شدگی Ce در فلوریت‌های هر دو منطقه گویای تشکیل آنها از یک سیال کاهیده است که حضور کانی‌های سولفیدی پیریت و کالکوپیریت در منطقه این مطلب را تأیید می‌کند. از نظر ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب، مقایسه فلوریت‌های باقرآباد و دره‌بادام با کانسارهای دیگر نشان می‌دهد که فلوریت‌های مورد مطالعه مشابه رگه‌های حاوی فلوریت و بدون کانی‌سازی فلزات قیمتی در نیومکزیکو و فلوریت‌های آک‌داگ‌مادنی در ترکیه هستند و کانسارهای فلوریت باقرآباد و دره‌بادام پتانسیل پایینی برای اکتشاف کانی‌سازی فلزات قیمتی دارند.

کانی‌سازی فلوریت در کانسارهای باقرآباد و دره‌بادام واقع در جنوب خاور محلات (استان مرکزی) به صورت رگه‌ای و دقیقاً هم‌راستا با هم، با روند خاوری-باختری و تقریباً قائم، شیستوزیته سنگ میزبان اسلیت و فیلیت سازند شمشک را قطع کرده است. فلوریت کانی اصلی رگه‌ها و کوارتز، باریت، کلسیت، دولومیت، پیریت، کالکوپیریت، گوتیت و کولولیت کانی‌های فرعی کانسارها هستند. دگرسانی‌های دولومیتی شدن و سیلیسی شدن در مجاورت رگه‌های کانه‌ساز و دگرسانی‌های سیلیسی شدن اغلب در سنگ میزبان کانی‌سازی (اسلیت و فیلیت‌های سازند شمشک) و با فاصله از رگه رخ داده است. الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های فلوریت نشان می‌دهد که فلوریت‌های بنفش، بی‌رنگ و خاکستری در مراحل اولیه کانی‌زایی همراه با غنی‌شدگی LREEs (حاصل هضم و جانشینی سنگ دیواره) و انواع فلوریت آبی در مراحل تأخیری کانی‌زایی همراه با غنی‌شدگی MREEs و HREEs تشکیل شده‌اند. نسبت‌های Y/Ho و Tb/Ca در نمونه‌های فلوریت هر دو کانسار یک منشأ

کتابنگاری

- شیخ‌الاسلامی، م. و زمانی‌پدرام، م.، ۱۳۸۴- نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ محلات، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مقدسی، س. ج.، طالع فاضل، ا. و بنی‌فاطمی، ع. س.، ۱۳۹۷- مطالعه کانی‌سازی، میانبارهای سیال و شرایط رخداد کانسارهای فلوریت باقرآباد و دره‌بادام، جنوب‌شرق محلات، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۰، شماره ۲، صص. ۶۱۷ تا ۶۳۷.
- معانی جو، م.، طالع فاضل، ا. و میرزائی، آ.، ۱۳۹۵- مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسار فلوریت باقرآباد (جنوب‌خاور محلات، استان مرکزی)، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه زنجان، ۶ ص.
- میرزائی، آ.، ۱۳۹۵- بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال در کانسارهای فلوریت باقرآباد و دره‌بادام، محلات (استان مرکزی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران، ۱۷۵ ص.

References

- Bau, M. and Dulski, P., 1995- Comparative study of yttrium and rare earth element behaviours in fluorine-rich hydrothermal fluids. *Contrib Mineral Petrol*, V. 119, p. 213- 223.
- Bau, M., 1991- Rare earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium. *Chem Geol*, V. 93, p. 219- 230.
- Constantopoulos, J., 1988- Fluid inclusions and rare earth element geochemistry of fluorite from south-central Idaho. *Econ Geol*, V. 83, p. 626- 636.
- Dill, H. G., 2010- The chessboard classification scheme of mineral deposits: mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews*, V. 100(1), p. 1- 420.
- Ehya, F., 2012- Variation of mineralizing fluids and fractionation of REE during the emplacement of the vein-type fluorite deposit at Bozijan, Markazi Province, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, V. 112, p. 93- 106.
- Eppinger, R. G. and Closs, L. G., 1990- Variation of trace elements and rare earth elements in fluorite: A possible tool for exploration. *Econ Geol*, V. 85, p. 1896- 1907.
- Ghorbani, M., 2013- The economic geology of Iran, mineral deposits and natural resources. Springer Netherlands, 569 pp.
- Hill, G. T., Andrew, R. C. and Philip, R. K., 2000- Geochemistry of southwestern New Mexico fluorite occurrences: implications for precious metals exploration in fluorite bearing systems. *Journal of Geochemical Exploration*, V. 68, p. 1- 20.
- USGS (United State Geological Survey), 2014- Mineral Commodity Summaries.
- Moller, P. and Holzbecher, E., 1998- Eu anomalies in hydrothermal fluids and minerals: A combined thermochemical and dynamic phenomenon. *Freib. Forsch. Hefte*, V. 475, p. 73- 84.
- Moller, P. and Morteani, G., 1983- On the chemical fractionation of REE during the formation of Ca-minerals and its application to problems of the genesis of ore deposits. In: Augustithis S (ed) *The significance of trace elements in solving petro-genetic problems*. Athens, p.747- 791.
- Moller, P., 1991- REE fractionation in hydrothermal fluorite and calcite, Source, transport and deposition of metals. In: Pagel, M., Leroy, J. L. (Eds.), *Balkema, Rotterdam*, p. 91- 94.
- Moller, P., 1998- Europium anomalies in hydrothermal minerals: kinetic versus thermodynamic interpretation. *Proceedings of the Ninth Quadrennial IAGOD Symposium*. Schweizerbart, Stuttgart, p. 239- 246.

- Moller, P., Bau, M., Dulski, P. and Lüders, V., 1998- REE and Y fractionation in fluorite and their bearing on fluorite formation, Proceedings of the 9th Quadrennial IAGOD Symp. Schweizerbart, Stuttgart, p. 575- 592.
- Moller, P., Giese, U. and Dulski, P., 1994- Behaviour of REE in alteration processes of granites. In: Seltman, R., Kampf, H., Möller, P. (Eds.), Metallogeny of Collisional Orogens. Czech Geological Survey, Prague, p.368- 374.
- Moller, P., Parekh, P.P. and Schneider, H.J., 1976- The application of Tb/Ca-Tb/La abundance ratios to problems of fluorspar genesis. Mineralium Deposita, V. 11, p. 111- 116.
- Palmer, D. A. and Williams-Jones, A. E., 1996- Genesis of the carbonatite-hosted fluorite deposit at Amba Dongar. India: Evidence from fluid inclusions, stable isotopes, and whole rock-mineral geochemistry. Econ. Geol., V. 91, p. 934- 950.
- Rachidnejad-Omran, N., Emami, M. H., Sabzehei, M., Rastad, E., Bellon, H. and Piqué, A., 2002- Lithostratigraphie et histoire paléozoïque à paléocène des complexes métamorphiques de la région de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran méridional). Comptes Rendus Geoscience, V. 334(2), p. 1185- 1191.
- Sallet, R., Mortiz, R. and Fontignine, D., 2005- The use of vein fluorite as probe for paleofluid REE and Sr-Nd isotope geochemistry: the Santa Catarina Fluorite District, Southern Brazil. Chemical Geology, V. 223, p. 227- 248.
- Sasmaz, A. and Yavuz, F., 2007- REE geochemistry and fluid-inclusion studies of fluorite deposits from the Yaylagozu area (Yildizeli-Sivas) in Central Turkey. Neues Jahrbuch für Mineralogie, V. 183, p. 215- 226.
- Sasmaz, A., Yavuz, F., Sagioglu, A. and Akgul, B., 2005- Geochemical patterns of the Akdagmadeni (Yozgat, Central Turkey) fluorite deposits and implications. Journal of Asian Earth Sciences, V. 24, p. 469- 479.
- Schneider, H. J., Moller, P. and Parakh, P. P., 1975- REE distribution in fluorites and carbonate sediments of the East-Alpine Mid-Triassic sequences in the Nordliche Kalkalpen. Miner. Deposita, V. 10, p. 330- 344.
- Schwinn, G. and Markl, G., 2005- REE systematics in hydrothermal fluorite. Chemical Geology, V. 216, p. 225- 248.
- Tale Fazel, E., 2014- Rare earth element geochemistry and dolomite composition of the epigenetic Atash Kuh fluorite deposit (south of Delijan). Geochemistry (Islamic Azad University), In Persian with English abstract, V.3(3), p. 213- 224.
- Tang, H.S., Chen, Y. J., Wu, G. and Yang, T., 2009- Rare earth element geochemistry of carbonates of Dashiqiao Formation, Liaohé Group, eastern Liaoning province: implications for Lomagundi event. Acta Petrol., In Chinese with English abstract, V. 25, p. 3075- 3093.
- Tang, H.S., Chen, Y.J., Santosh, M., Zhong, H. and Yang, T., 2013- REE geochemistry of carbonates from the Guanmenshan Formation, Liaohé Group, NE Sino-Korean Craton: implications for seawater compositional change during the Great Oxidation Event. Precambrian Res., V. 227, p. 316- 336.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985- The continental crust: Its composition and evolution. Oxford, Blackwell Scientific., p. 32.
- Thiele, A., Alavi, M. and Asefi, R. 1968- Geological map of Golpayegan, 1:250,000, Nr. E7, Geological Survey of Iran.
- Withney, D. and Evans, W. D., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, V. 95, p. 185- 187.

Investigations on Bagher Abad and Darreh Badam fluorite deposits based on REE data, southeast Mahallat, Markazi Province

M. Maanijou^{1*} and A. Mirzai²

¹Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

²M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: 2017 June 10

Accepted: 2018 March 14

Abstract

Bagher Abad and Darreh Badam fluorite mineralizations are located in southeast Mahallat city (Markazi province) and occurred as veins with common trend of East-West within slate and phyllite of Shemshak Formation (Lower Jurassic). The fluorite is the main mineral of the veins and quartz, barite, calcite, dolomite, pyrite, chalcocopyrite, goethite and covellite are the sub-ordinary minerals of deposits. The distribution of rare earth elements (REE) indicates that the violet, colorless and gray fluorites in primary mineralization stage have been enriched in LREE (result of digestion and wall rock replacement) and the blue types of fluorites enriched in MREE and HREE, formed in post mineralization stage. Tb/La vs Tb/Ca and Y/Ho ratios diagrams are used for determination of genesis and differentiation of fluorite mineralization. These data show all samples can have a hydrothermal source for Bagher Abad and Darreh Badam deposits. Negative anomaly of Eu in all samples of fluorite can be caused by the formation of fluorite at above 200°C temperatures. In addition to, depletion of Ce in fluorites of studied areas indicated a reduced fluid and presence of pyrite and chalcocopyrite sulphide minerals confirming this.

Keywords: REE geochemistry, Fluorite, Bagher Abad, Darreh Badam, Mahallat

For Persian Version see pages 247 to 256

*Corresponding author: M. Maanijou; E-mail: mohammad@basu.ac.ir

Archive of SID