رخساره های کانه دار، سیالات درگیر و خاستگاه کانسار فلورین (روی، سرب، باریم) میلاکوه- تویه در سازند کربناتی سلطانیه، البرز مرکزی، جنوب باختری دامغان

نوشته: دکتر ابراهیم راستاد* ، قدرت اله‌رستمی پایدار* ، دکتر سادات فیض نیا** ، و دکتر مجید قادری*

Ore facies , fluid inclusions, and genesis of Milakuh -Touyeh F(Zn-Pb-Ba) deposit, Lower Cambrian carbonate-hosted (Soltanieh Formation) in Central Alborz, Southwest Damghan, Iran

By: Dr. E. Rastad*, GH. Rostami*, Dr. S. Feiznia** and Dr. M. Ghaderi*

چکیده

کانسار فلورین، روی، سرب و باریم میلاکوه-تویه در ٤٥ کیلومتری جنوب‌باختری دامغان واقع شده است. سنگ دربرگیرندهٔ مادهٔ معدنی، دولومیتهای بخش بالایی سازند سلطانیه است. مادهٔ معدنی در این دولومیت‌ها در رخساره‌های خاص کانه‌دار، در ٤ افق مشخص قرار گرفته است. رخساره‌های کانه‌دار بترتیب از قدیم به جدید عبارتند از: رخسارهٔ دولواسپاریت – اسپارستون که رخسارهٔ دربرگیرندهٔ افق I مادهٔ معدنی است و پاراژنز آن(Zn (Pb-F-Cu-Ba می باشد. عنصر روی، مادهٔ معدنی غالب در این افق (افق اقتصادی) است. رخسارهٔ دول میکرواسپاریت – دولواسپاریت رخسارهٔ دربرگیرندهٔ افقهای II و III مادهٔ معدنی است و پاراژنز غالب آن F-Pb(Ba-Cu) می‌باشد. فلورین در افق II اقتصادی بوده و قابل بهره‌برداری است. حضور رخسارهٔ توف برش دگرسان‌شده که با کانه‌زایی فلورین همراه است، ویژگی شاخص افق III مادهٔ معدنی است. رخساره‌های دولواسپاریت تیغه ای(Laminated)، چرت خاکستری تیره و دولومیکریت اکسیدآهن‌دار، رخساره‌های اصلی کانه‌دار افق IV مادهٔ معدنی می‌باشند. پاراژنز غالب این افق F-Pb بوده و ویژگی بارز آن، افزایش شدید میزان سیلیس است. محیط تشکیل رخساره‌های کانه‌دار و دیگر رخساره‌های بخش فوقانی سازند سلطانیه در منطقهٔ میلاکوه - تویه، پهنهٔ جزر و مدی می‌باشد. کانی شناسی کانسار میلاکوه-تویه ساده بوده و شامل فلورین، باریت، گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، سروزیت، اسمیت زونیت، هیدروزنسیت، مالاکیت، آزوریت، دولومیت، کوارتز و کلسیت است. بافت ماده معدنی به صورت تیغه ای، دانه پراکنده، ریتمیت های تبلور دیاژنتیک، ژئود مانند، جانشینی، متمرکز در استیلولیت، پر کننده حفرات و برشهای انحلالی و پرکننده شکستگیها و فضاهای خالی است . مطالعه شکل مادهٔ معدنی ، ساخت و بافت و پاراژنز کانه ها و کانی ها حاکی از آن است که ماده معدنی در ٤ مرحله : ١- رسوبگذاری، ٢ – سخت شدگی آغازین (Early diagenesis) ٣- سخت شدگی تاخیری(Late diagenesis) ٤- بالا آمدگی و رخنمون در سطح زمین تشکیل و تمرکز یافته است. مرحله نهائی تشکیل ماده معدنی -،اصل تحرک نسلهای رسوبی- دیاژنتیک و تمرکز آن به صورت اپی ژنتیک در فضاهای خالی، گسلها و شکستگیها همراه با فرآیندهای مربوط به هوازدگی و سوپرژن می باشد. عمده‌فعالیت های معدنکاری در منطقه بر روی انواع سخت شدگی تاخیری و اپی ژنتیک است. مطالعه سیالات درگیر بر روی انواع سخت شدگی فلورین گویای شوری نسبتا بالای سیالات درگیر (٥ ± ٢٣/٤٥ درصد وزنی معادل نمک طعام) و همچنین درجهٔ همگون‌شدگی نسبتاً بالای (٥ ± ٢١١ درجهٔ سانتیگراد) آنها است، درحالیکه تمرکزهای گسلی فلورین درجهٔ همگون‌شدگی کمتری (٥ ± ١٣٤ درجهٔ سانتیگراد) نسبت به تمرکزهای سخت شدگی نشان می‌دهند. بررسی‌های انجام شده و وجود شواهدی از قبیل مشاهدات صحرایی، شکل ماده معدنی، قرارگیری افق‌های کانه‌دار در رخساره‌های کربناتی ویژه، ساخت و بافت مادهٔ معدنی در مقیاس‌های مختلف، گسترش ناحیه ای افق‌های کانه‌دار، نوع محیط رسوبی (پهنه‌های کشندی)، پاراژنز کانه و مطالعهٔ سیالات درگیر همگی گویای قرارگیری کانسار فلورین، روی، سرب و باریم میلاکوه- تویه در ردیف کانسارهای M VT غنی از فلورین (F– rich MVT) می‌باشد.

واژه های کلیدی : فلورین (روی-سرب) ، میلاکوه – تویه، دامغان، سازند سلطانیه، رخساره‌های کانه‌دار، سیالات درگیر، پهنه‌های کشندی، همزاد تا روزاد غنی از فلورین

Abstract

Milakuh-Touyeh the F-Zn-Pb-Ba deposit is located 45 km SW of Damghan. The country rocks of the deposit are dolostones of the upper part of Soltanieh Formation. The orebodies in the dolostones are located in certain ore-bearing facies as four ore horizons. The ore facies from bottom to top of the sequence are as follows: Dolosparite-sparstone is the facies of ore horizon I, in which Zn (Pb-F-Cu-Ba) mineral are the main paragenesis . Zinc is the major constituent of the horizon (economic ore horizon). Dolomicrosparite-dolosparite is the main facies in the ore horizons II and III, with F-Pb (Ba-Cu) paragenesis. Fluorite in horizon II is economic and mineable. Presence of altered tuff breccia facies with fluorite is the characteristic of the horizon III. Laminated dolosparite, dark gray chert and ferrigenous dolomicrite are the facies of horizon IV. The main paragenesis here is F-Pb. The increase in silica content is an important characteristic of this horizon. Depositional environment of ore-bearing and other facies in the upper part of Soltanieh Formation in the Milakuh-Touyeh area is tidal flat. The ore geometry, textures, structures and paragenetic sequence, indicate that the ore minerals are formed and concentrated in four stages:
1-Deposition; 2- Early diagenesis; 3- Late diagenesis; 4- Uplift and exposure. Final stage of ore formation comes from remobilization of sedimentary-diagenetic generations and their epigenetic deposition in the open spaces, faults and fractures together with weathering and supergene enrichment. The majority of mining activities in the area have been concentrated on the late diagenetic and epigenetic types. Fluid inclusion studies on diagenetic types of fluorite indicate relatively high Th (211 ± 5 °C) and salinities (23.45 ± 5 wt% NaCl equivalent). The Th values for the epigenetic fluorite (fault species) are lower than those of diagenetic ones (134 ± 5 °C). Geometry of ore bodies, occurrence of ore horizons in certain sedimentary facies, ore texture and structures, depositional environment (tidal flat), paragenetic sequence of minerals and fluid inclusion data, all suggest that Milakuh-Touyeh F-Zn-Pb-Ba deposit is an F-rich MVT deposit.

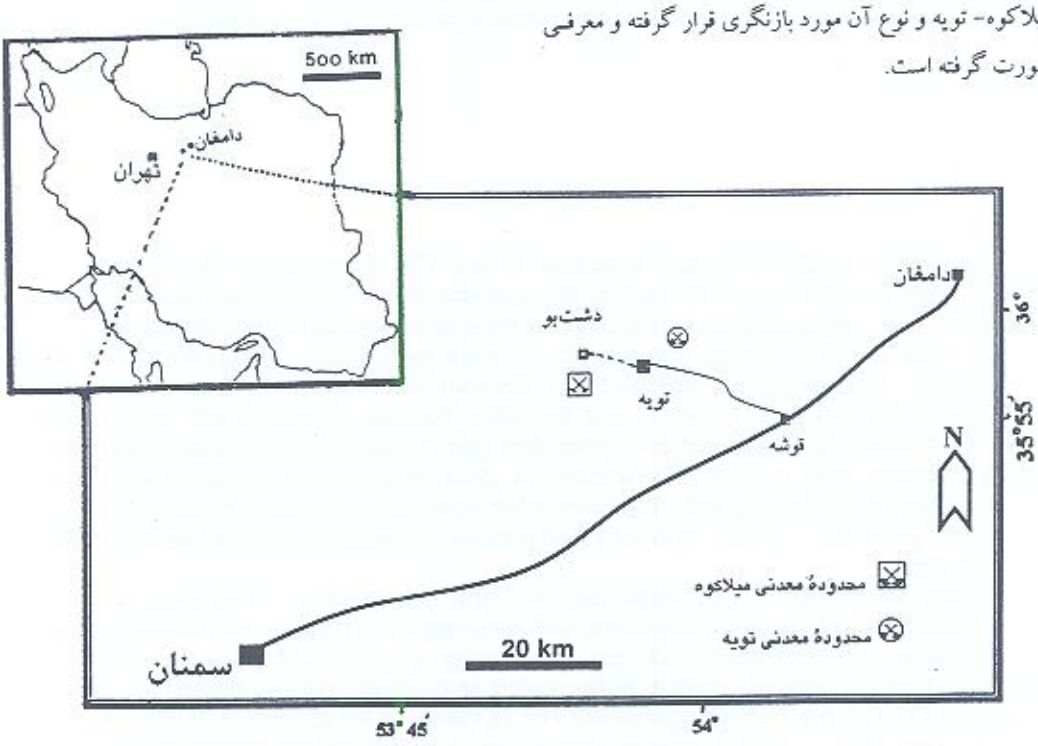
Key Words: Fluorite (zinc-lead) deposit, Milakuh-Touyeh, Damghan, Soltanieh Formation, ore facies, fluid inclusion, tidal flat, syngenetic to epigenetic, F-rich MVT

مقدمه

ذخایر MVT با سنگ درونگیر کربناته گزارش‌شده در ایران از لحاظ سنی بطور عمده شامل ذخایر متعلق به کرتاسه، تریاس میانی و پرمین می‌باشند. کانسارهای سرب و روی متعدد موجود در زون ملایر – اصفهان (Momenzadeh, 1976; Ghazban et al., 1994)، معدن خانجار در رشته‌کوه ترود - چاه‌شیرین در جنوب‌باختری دامغان (مهری، ۱۳۷۷) و معدن راونج در حوضهٔ قم (مدبری، ۱۳۷٤) از جمله ذخایر کرتاسه هستند که در ردیف کانسارهای MVT قرار می‌گیرند. معادن فلورین پاچی‌میانا (علیرضایی، ۱۳٦٦؛ گرجی‌زاد، ۱۳۷۵) و شش رودبار (شریعتمدار، ۱۳۷۷) در البرز مرکزی و معدن فلورین کمرمهدی در ایران مرکزی (جمی و هاشمی‌تنگستانی، ۱۳۷٤) از جمله معادن F-rich MVT می‌باشند که سن آنها تریاس میانی می‌باشد. معدن سرب (باریت) دونا در البرز مرکزی نیز از جمله معادن نوع MVT دوره پرمین محسوب می‌گردد (Bazargani, 1982). کانسار فلورین (روی – سرب- باریم) میلاکوه – تویه در جنوب‌باختری روستای دشت‌بو و آثار معدنی منصوری و شورچشمه در شمال روستای تویه نیز که در گستره‌ای در حدود ۱۲ کیلومتر امتداد دارند مانند کانسارهای فوق در سنگ درونگیر کربناتی با سن کامبرین زیرین (سازند سلطانیه) قرار دارند. این کانسار و آثار معدنی فوق که در فاصلهٔ ٤۵ کیلومتری جنوب باختری دامغان و در بین طولهای جغرافیایی 54° - 45° 53° و عرضهای 36° ۵ - 55° 35°، در انتهای خاور بخش البرز مرکزی رخنمون دارند (تصویر ۱)، توسط نبوی (۱۳۷۳) از نوع هیدروترمال و در ارتباط با گسلها دانسته شده است. برنا (۱۳۷٦) نیز در گزارش اکتشاف مقدماتی از معادن سرب و روی استان سمنان، کانه‌زائی میلاکوه را بصورت گرمابی معرفی کرده است. آخرین بررسی ها در این منطقه توسط صمیمی‌نمین (۱۳۷۷) صورت گرفته است. وی در گزارش خود کانه‌زائی میلاکوه را بصورت چینه کران و چند فلزی (Polymetal) معرفی کرده است.

در این مقاله با توجه به بررسی‌های انجام شده و شواهد و دلایل موجود

جایگاه کانسار میلاکوه- تویه و نوع آن مورد بازنگری قرار گرفته و معرفی جدیدی از آن صورت گرفته است.



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقهٔ معدنی میلاکوه – تویه

زمین‌شناسی

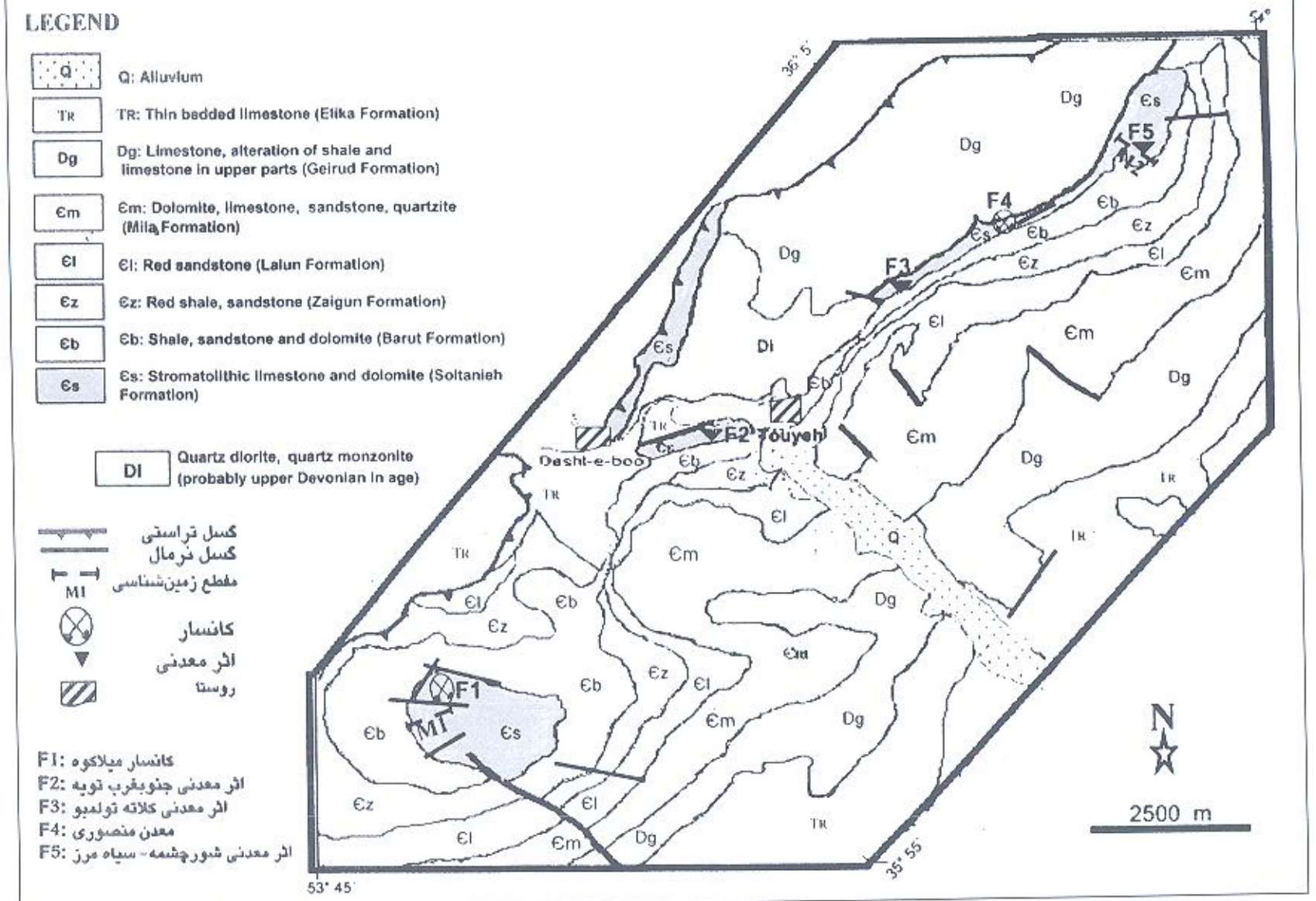
کانسار میلاکوه- تویه در پایانه خاوری پهنه ساختاری البرز مرکزی قرار دارد. کهن‌ترین واحدهای سنگی منطقهٔ مورد مطالعه شامل واحدهای باندستون استروماتولیتی چرت‌دار و دلوستون‌های بخش بالایی سازند سلطانیه (کامبرین زیرین) می‌باشد، که هستهٔ یک تاقدیس را تشکیل می دهد که آسه آن دارای روندNE-SW تا E-W می‌باشد (تصویر ۲). روندهای عمومی در منطقهٔ میلاکوه – تویه، مشابه روند اصلی چین‌خوردگی البرز مرکزی (E-W) است. توالی چینه‌شناسی منطقه بترتیب شامل: سنگهای کربناتی سازند سلطانیه، واحد تخریبی- کربناتی سازند باروت، نهشته های تخریبی سازندهای زاگون و لالون، واحد کربناتی میلا، واحدهای آواری - کربناتی سازند جیرود و بالاخره واحد کربناتی سازند الیکا و دیگر واحدهای سنگی مزوزوئیک و سنوزوئیک است. یک تودهٔ نفوذی با ترکیب کوارتزدیوریت تا کوارتزمونزونیت با سن احتمالی دونین پسین (سعیدی، ۱۳۷۱) واحدهای رسوبی کهن‌تر منطقه را قطع نموده است (تصویر ۲).

سازند سلطانیه که واحد دربرگیرندهٔ کانه‌سازی است با ستبرایی در حدود ۲۵۰-۲۰۰ متر در این منطقه برونزد داشته و از دو واحد سنگی زیر تشکیل شده است (تصویر۳):

- **واحد زیرین** $1 \in$: از واحدهای ضخیم‌لایهٔ باندستون استروماتولیتی چرت‌دار به رنگ خاکستری تیره تشکیل یافته و بیشترین رخنمون را در منطقه دارد (تصویر ۳). این واحد در بالاترین قسمت خود، بطور بخشی به دولوستون‌های کرم تا قهوه‌ای رنگ تبدیل می گردد.

- **واحد بالائی** $2 \in$: از تناوبی از واحدهای باندستون استروماتولیتی نازک‌لایه به رنگ خاکستری تیره و دولوستون‌های کرم‌رنگ است. این واحد از نظر نوع رخسارهٔ استروماتولیتی با واحد قبلی متفاوت است. ضخامت این واحد در رخنمون شمال شورچشمه ٤٥ متر و در میلاکوه حداکثر ۲۰ متر می‌باشد. شایان ذکر است که بخش‌های دولومیتی‌هر دو واحد $1 \in$ و $2 \in$ سنگ دربرگیرندهٔ کانه‌سازی می‌باشند. ستون چینه‌شناسی عمومی رخنمون سازند سلطانیه در منطقهٔ میلاکوه – تویه در تصویر ۳ نشان

تصویر۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی میلاکوه – تویه و موقعیت کانسار و آثار معدنی فلوورین (روی، سرب و باریم) در سازند سلطانیه (با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر، سعیدی ۱۳۷۱ با تغییرات)



داده شده است. جایگاه افق‌های کانه‌دار در این ستون حاکی از آن است که سازند سلطانیه در بالاترین بخش خود (در فاصلهٔ ۶۰ متری از قاعدهٔ سازند باروت) در کل منطقهٔ تویه- دشت بو- میلاکوه، کم و بیش دارای آثار کانه‌زائی فلوئور، روی، سرب و باریم است (رستمی پایدار، ۱۳۸۰). کارهای اکتشافی و استخراجی انجام شده در طول بیش از ۱۲ کیلومتر در جایگاه خاص استراتیگرافی از سازند سلطانیه (بخش بالایی سازند سلطانیه)، مؤید این کانه‌سازی است (تصویر ۲). از کوهزائی‌های مهم البرز که در محدودهٔ معدنی میلاکوه- تویه نیز موجب چین‌خوردگی، گسله‌شدن و تغییرشکل گردیده است، می‌توان به رخدادهای کیمرین، لارامید و آلپی اشاره نمود (سعیدی، ۱۳۷۱). تشکیل انواع گسله‌های راندگی، قائم و امتداد لغز در محدودهٔ معدنی میلاکوه- تویه حاصل عملکرد رخدادهای مذکور می‌باشند. گسل‌های راندگی در شمال میلاکوه باعث رانده شدن واحدهای تریاس و قرارگیری آنها در کنار واحدهای کامبرین زیرین شده است (سعیدی، ۱۳۷۱). چین‌خوردگیهای محلی موجود در محدودهٔ میلاکوه- تویه نیز بطور عمده در ارتباط با عملکرد گسلها می‌باشند.

نمونه‌های جالبی از این چین‌ها را می‌توان در رخنمون سازند الیکا در محدودهٔ میلاکوه- تویه مشاهده نمود. بطورکلی نقش تکتونیک در محدودهٔ میلاکوه- تویه در ابتدا بصورت ایجاد حوضه‌های رسوبی کم‌عمق در شرقی‌ترین بخش البرز مرکزی و در مرحلهٔ بعد با عملکرد فازهای کششی و تشکیل گسلهای قائم موجب تمرکزهای ثانوی مواد معدنی شده است.

مشاهدات صحرایی نیز گویای آنست که در منطقهٔ میلاکوه – تویه گسلهای با روند SW-NE و E-W که از افقهای کانه‌دار و تمرکزهای اولیه عبور می‌کنند، به عنوان مهمترین کنترل‌کنندهٔ تمرکز اپی‌ژنتیک و ثانوی مواد معدنی به شمار می‌آیند. این گسلها دارای مولفهٔ کششی بوده و در ردیف گسلهای قائم قرار می‌گیرند. وجود خش‌لغز روی سطح مادهٔ معدنی نشان‌دهندهٔ عملکرد تکتونیک و تمرکزهای ثانوی مادهٔ معدنی است. این وضعیت در معدن روی و درهٔ فلورین در بخش باختری میلاکوه به وفور قابل مشاهده است.

۳- رخساره‌های کانه‌دار و افق‌های معدنی:

مطالعهٔ آنالیز رخساره‌ای در دو مقطع سنگ چینه‌ای در محدودهٔ میلاکوه – تویه به شناسایی ٤ افق کانه‌دار منجر شده است. این دو ستون شامل مقطع باختر میلاکوه (M1) و مقطع شورچشمه- سیاه‌مرز (M2) در تصویر ۲ مشخص می‌باشند (رستمی پایدار، ۱۳۸۱). بخش باختری میلاکوه ستون کاملتری از سازند سلطانیه را در محدودهٔ میلاکوه- تویه نشان می‌دهد.

افق‌های مذکور از نظر رخسارهٔ دربرگیرندهٔ مادهٔ معدنی، نوع پاراژنز غالب و جایگاه چینه نگاری آنها تا قاعدهٔ سازند باروت از یکدیگر قابل تفکیک می‌باشند. رخساره‌های کانه‌دار این افق‌ها از قدیم به جدید (به سمت قاعدهٔ سازند باروت) بترتیب عبارتند از:

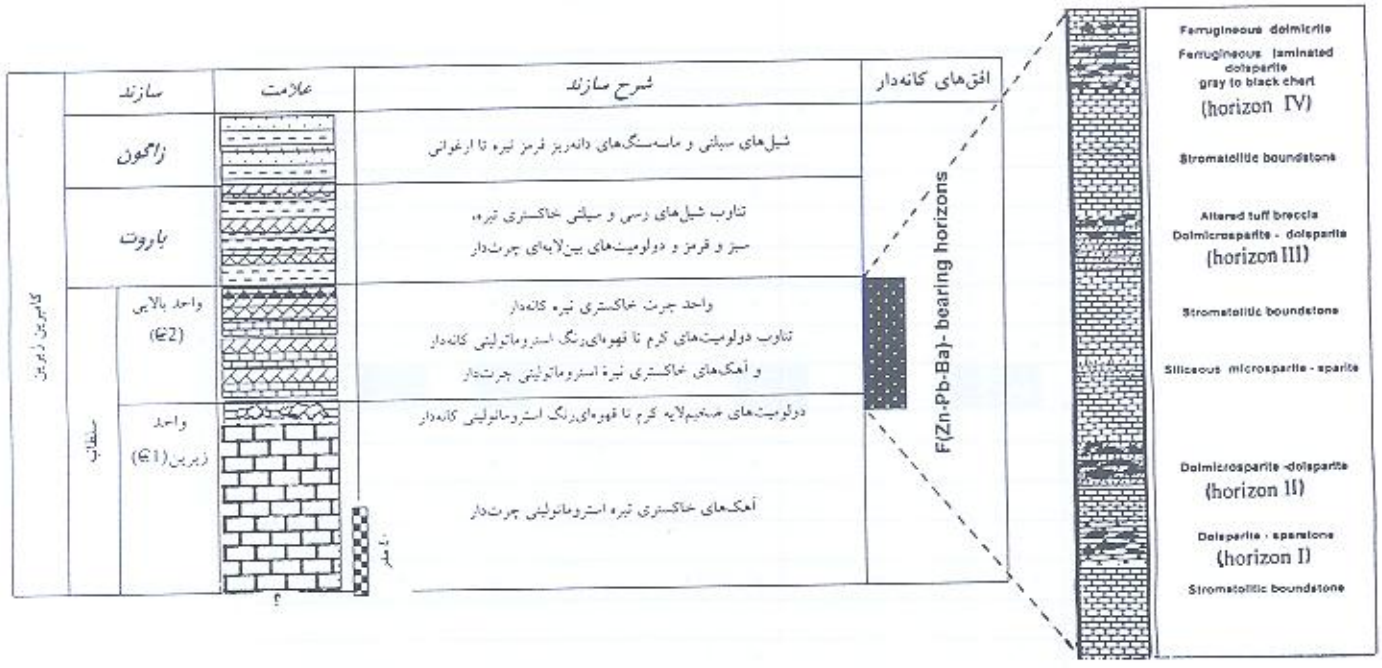
رخسارهٔ دولواسپاریت – اسپارستون (رخسارهٔ اصلی کانه‌دار- افق I مادهٔ معدنی)

این رخساره که ستبرای آن از ٤ تا ٥ متر متغیر است، رخسارهٔ اصلی دربرگیرندهٔ افق I مادهٔ معدنی در منطقهٔ میلاکوه می‌باشد و از تیغه‌های متناوب خاکستری تیره و صورتی‌رنگ تا روشن دولومیتی تشکیل شده است. اندازهٔ بلورهای نیمه‌خود شکل تا خود شکل دولومیت در این رخساره از ۵۰ میکرون تا ۲/۵ میلی‌متر متغیر است. اجزاء اصلی تشکیل‌دهندهٔ این رخساره شامل دولومیت، اسفالریت، فلورین، باریت، سیلیس، پیریت و کالکوپیریت می‌باشد. در امتداد گسلها و شکستگیهایی که از این رخساره عبور می‌کنند، کانی اسفالریت به کربناتها و سیلیکات‌های آبدار روی (اسمیت‌زونیت، هیدروزنسیت و کالامین) تبدیل شده است (تصویر۶ و ۱۸). در ضمن کانیهای مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن نیز در نتیجهٔ هوازدگی کالکوپیریت و پیریت تشکیل شده‌اند.

بافتهای رایج مادهٔ معدنی در این رخساره بصورت تیغه‌ای، عدسی شکل و پرکنندهٔ ترکها و شکستگیها دیده می‌شوند. کانی‌های روی بصورت اسفالریت، اسمیت‌زونیت، هیدروزنسیت و کالامین مادهٔ معدنی غالب در این رخساره می‌باشد، تا جایی که این افق به عنوان معدن روی در بخش غربی میلاکوه مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در مطالعات میکروسکوپی میزان تخلخل این رخساره به ۲۰ درصد می‌رسد. با توجه به عیار و گسترش مادهٔ معدنی، این رخساره به عنوان افق اقتصادی حاوی روی در منطقه قابل پی‌جویی و بهره‌برداری است. این رخساره بطور جانبی به رخسارهٔ باندستون استروماتولیتی تبدیل می‌شود. با توجه به اجزاء تشکیل‌دهندهٔ این رخساره، محیط تشکیل احتمالی این رخساره، اینترتایدال می‌باشد. مشخصات این رخساره در تصویر ٤ به اختصار آمده است.

رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت تیغه‌دار (رخسارهٔ اصلی کانه‌دار- افق I مادهٔ معدنی)

اولین رخسارهٔ کانه‌دار افق I مادهٔ معدنی در ناحیه شورچشمه-



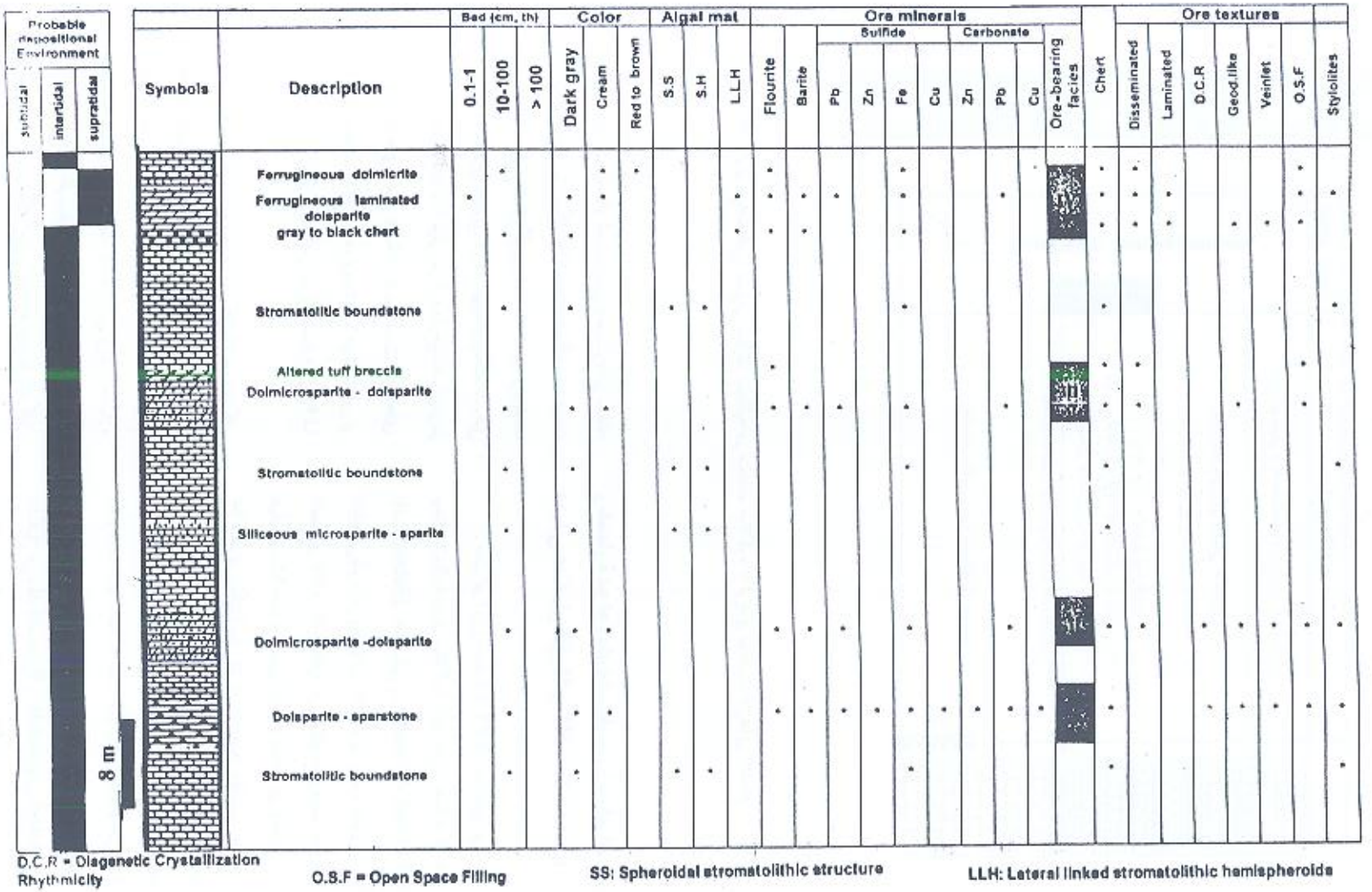
تصویر ۳- ستون چینه‌شناسی عمومی سازند سلطانیه در منطقه میلاکوه - تویه و موقعیت افق‌های کانه‌دار

سیاه‌مرز رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت تیغه‌دار است. این رخساره در سطح رخنمون بصورت دولومیت لامینه‌دار با رنگ خاکستری تا آجری دیده می‌شود. ضخامت این رخساره در مقطع اندازه‌گیری شده ۲-۵ متر می‌باشد. در نمونهٔ دستی این رخساره از تیغه‌های متناوب تیره و قهوه‌ای‌رنگ تشکیل شده است. تیغه‌های تیره با ضخامت ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر از دولومیت‌های ریز بلور، تیغه‌های ارگانیک و اکسیدهای آهن تشکیل شده است. تیغه‌های قهوه‌ای رنگ ۰/۵ تا ۳ میلی‌مترضخامت داشته و دولومیت‌ها درشت‌بلورتر می‌باشند. اندازهٔ بلورهای دولومیت و فلورین در این ریز رخساره از ۲۰ تا ۲۰۰ میکرون متغیر است.

فلورین و باریت در این رخساره بصورت نیمه‌خودشکل تا خودشکل بوده و بصورت دانه‌پراکنده در متن سنگ، تیغه‌های متناوب با دولومیت و پرکنندهٔ ترکها و درزه‌های سخت شدگی ی دیده می‌شود (تصویر۵). اسمیت‌زونیت نیز از جمله کانیهای روی است که در این ریز رخساره حضور دارد. با توجه به وجود تیغه‌های ظریف، ترکهای حاصل از دست دادن آب، فراوانی اکسیدهای آهن و رنگ این رخساره محیط تشکیل احتمالی آن سوپراتایدال می‌باشد.

رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت- دولو اسپاریت (رخسارهٔ اصلی کانه‌دار افق II و III مادهٔ معدنی) :

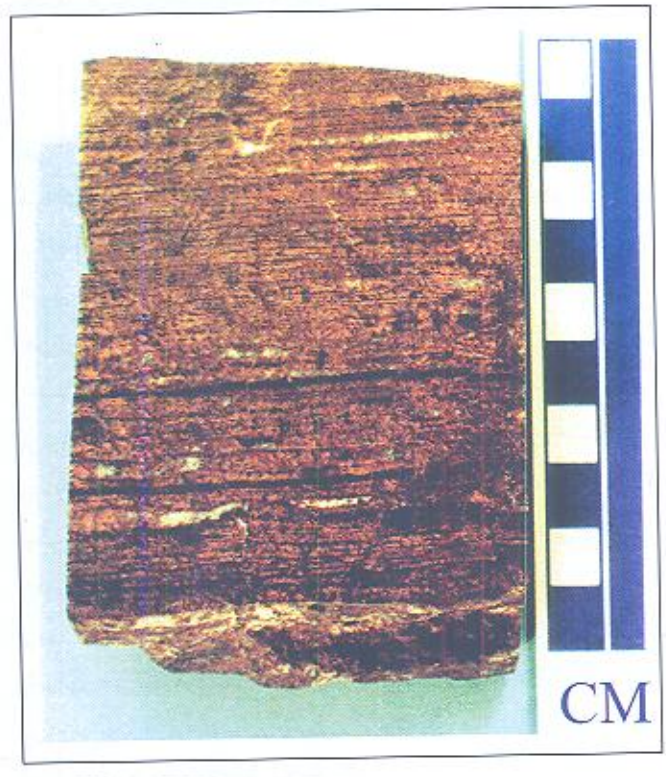
ستبرای این رخساره از ۲ تا ۶ متر متغیر بوده و بیشترین گسترش را در بخش شمال‌باختری میلاکوه دارد. این رخساره که بصورت یک دولومیت با بافت(Fabric) خالخالی یا Mottled dolomite (Langdam, 1992) دیده می‌شود، از بخشهای خاکستری تیره و صورتی رنگ تشکیل شده است (تصاویر ۷ a و ۸). اندازهٔ بلورهای دولومیت در این ریز رخساره از ۳۰ میکرون تا حد چندین میلیمتر متغیر می‌باشد. کانی‌شناسی بخش‌های خاکستری رنگ (نسل I) در این میکروفاسیس شامل دولومیت‌های ریز تا متوسط بلور، کوارتز، فلورین، باریت، گالن، پیریت‌های اکسیده و مواد آلی می‌باشد. بخش‌های صورتی و روشن در این رخساره (نسل II) شامل دولومیت‌های کاملاً درشت بلور (که اندازهٔ برخی تا ۵ میلی‌متر نیز می‌رسد) و فلورین می‌باشد. فلورین با رنگ‌های بنفش تیره و روشن نسل III را تشکیل می‌دهد (تصاویر۷ و ۹). ادخالهای تتراهدریت (Te) و کالکوپیریت (Cp) در شبکهٔ کانی گالن (Gn) در این رخساره دیده می‌شود (تصاویر ۱۰



تصویر ٤ – ویژگیهای رخساره‌های کانه‌دار و افق‌های معدنی در بخش غربی میلاکوه

و ۱۱). مادهٔ معدنی در این رخساره بصورتهای دانه پراکنده، ژئود مانند، عدسی‌شکل، DCR و پرکنندهٔ حفرات و فضاهای خالی حضور دارد (تصاویر a,b,c:۷ و ۸).

بافت DCR (Diagenetic Crystallization Rhythmits) در کانسارهای MVT با پاراژنز غالب سرب روی نظیر Kirkham ،(Fontbote, 1990) Sanvicent Pine Point،(Leach and Sangster, 1993) (Quing and Mountjoy, 1994) و نیز در ذخایر F-rich MVT دنیا از قبیل Alpujarrides (Fontbote, 1981)، Carinthia اتریش (Zee, 1995) و ... گزارش گردیده است. بافت مذکور در معدن سلستیت تخجیرکوه ورامین (کریمی و راستاد، ۱۳۸۰) نیز گزارش گردیده است. میزان تخلخل در این رخساره بالا بوده و تا ۳۰ درصد می‌رسد. این تخلخل بالا باعث ایجاد شرایط مناسب جهت تمرکز فلورین، گالن و کوارتز در فضاهای خالی شده است. پدیده‌هایی از قبیل استیلولیت،

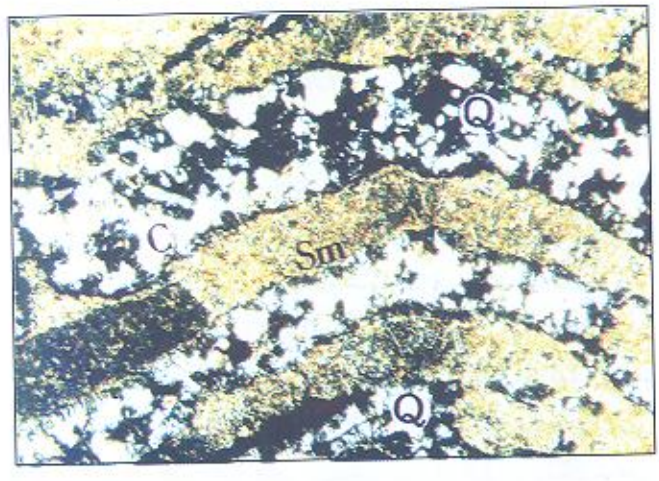


تصویر ۵- نمونهٔ دستی از رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت تیغه‌دار در رخنمون شورچشمه - سیاه‌مرز. فلورین و باریت (سفیدرنگ) بصورت دانه‌پراکنده و تیغه در این رخساره دیده می‌شوند.

سیمانی‌شدن و نوپدیداری (Neomorphism) افزایشی از دیگر سیماهای سخت شدگی است که در این میکروفاسیس معمول می‌باشد. این رخساره نیز بطور جانبی به رخسارهٔ باندستون استروماتولیتی تبدیل می‌شود.

رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت - دولواسپاریت در بالاترین قسمت افق III مادهٔ معدنی (تصویر ٤) دارای یک واحد توف برشی با رنگ خاکستری روشن در محل تونل غربی میلاکره می‌باشد. ضخامت این واحد ۲ تا ۳/۵ متر بوده و بصورت همروند با سنگ درونگیر کربناتی قرار گرفته است. بافت آن برشی بوده و بخش عمدهٔ دانه‌های تشکیل‌دهندهٔ برش را کانیهای رسی تشکیل می‌دهد. فضای بین این قطعات برش نیز توسط شیشه، کوارتزهای میکروکریستالین، لیدولیت، سریسیت و مقدار کمی کانیهای اوپاک پرشده است. بافت جریانی در فضای بین قطعات برشی مشاهده می‌شود. با توجه به اجزاء تشکیل‌دهندهٔ این رخساره بنظر می‌رسد این واحد یک توف اسیدی باشد، که همزمان با رسوبگذاری بخش فوقانی سازند سلطانیه تشکیل شده است. در نمونه‌های دستی این رخساره، بلورهای بنفش‌رنگ فلورین بصورت دانه‌پراکنده و پرکنندهٔ شکستگیها در آن دیده می‌شود.

حضور این واحد توفی بهمراه افق III مادهٔ معدنی، احتمالاً گویای فعالیت ولکانیسم زیردریایی در حین رسوبگذاری بخش فوقانی سازند سلطانیه است. مشخصات رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت- دولواسپاریت در تصویر ٤ به اختصار نشان داده شده است.



تصویر ٦- مقطع میکروسکوپی از نوارهای متناوب اسمیت‌زونیت (Sm)، کوارتز (Q) و کلسیت (C) در افق I مادهٔ معدنی (افق غنی از روی) در بخش غربی میلاکوه (نور پلاریزه، بزرگنمایی ×۱۰۰)

رخساره‌های چرت خاکستری تیره، دولواسپاریت لامینه‌دار، دولومیکریت آهن‌دار (رخساره‌های اصلی کانه‌دار، افق IV مادهٔ معدنی):

رخساره چرت خاکستری تیره:

این رخساره بصورت یک واحد سیلیسی تیره رنگ در فوقانی‌ترین بخش سازند سلطانیه در محدودهٔ میلاکوه - تویه رخنمون دارد و شروع افق IV مادهٔ معدنی است. ضخامت آن از ۰/۵ تا ۳ متر متغیر بوده و بیشترین ستبرا را در بخش شمال‌باختری باختر میلاکوه دارد. تصاویر(a, b)۱۲، نمودهای این رخساره را در مقیاس‌های نمونهٔ دستی و میکروسکوپی نشان می‌دهد. این رخساره از تیغه‌های تیره‌رنگ سیلیس همراه با آثار تیغه‌های جلبکی تشکیل شده است که در بخش‌هایی بصورت برشی درآمده است. اندازهٔ بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌خودشکل کوارتز از حد میکریتی در نسل I (میکروکریستالین) تا بلورهای درشت بلور(۵۰۰ میکرون) در نسل II در این رخساره دیده می‌شود.

فلورین در این رخساره بصورت متناوب با تیغه‌های چرتی، دانه‌پراکنده، ژنود مانند و بصورت عدسی‌هایی همروند با تیغه‌های چرتی ملاحظه می‌شود (تصاویر ۱۲a, b). حضور این رخساره با گسترش جانبی زیاد و ستبرای قابل توجه نشان‌دهندهٔ فراوانی سیلیس در حوضهٔ رسوبی در هنگام رسوبگذاری و همراهی فلورین با آن در بخش فوقانی سازند سلطانیه می‌باشد. عناصر تشکیل‌دهندهٔ این رخساره در تصویر ٤ به اختصار آمده است.

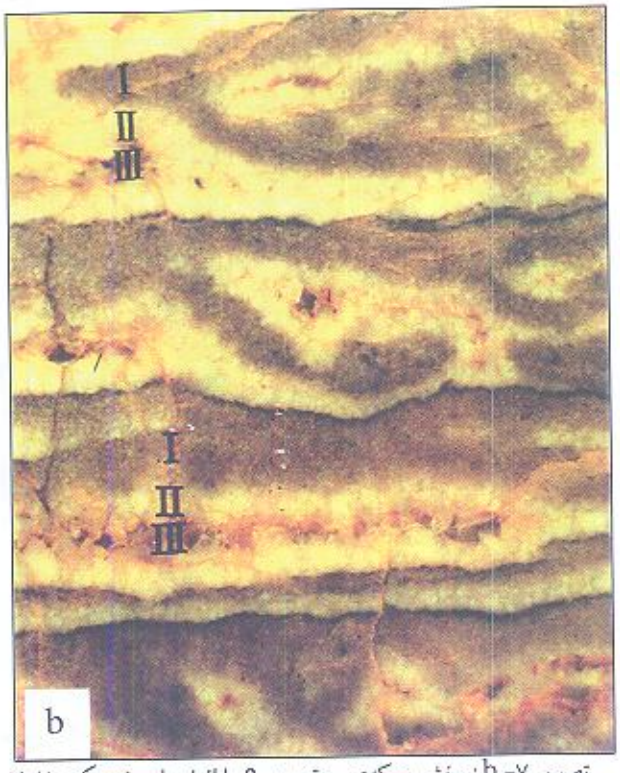
رخسارهٔ دولواسپاریت تیغه‌دار:

این رخساره در مقیاس رخنمون و نمونهٔ دستی بصورت دولومیت با تناوب تیغه‌های خاکستری تیره و تیغه‌های قرمز تا صورتی رنگ دیده می‌شود (تصویر۱۳). این رخساره شباهت زیادی به رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت لامینه و اکسیدآهن‌دار در مقطع شمال شور چشمه دارد. ضخامت این رخساره ۱/۵-۱ متر است. کانی‌شناسی تیغه‌های خاکستری تیره عمدتاً شامل کوارتز است که کانیهای دولومیت، پیریت و اکسیدهای آهن آن را همراهی می‌کنند. کانی‌شناسی تیغه‌های صورتی تا قرمز رنگ شامل دولومیت، فلورین، پیریت و اکسیدهای آهن است (تصویر۱٤). اندازهٔ بلورهای دولومیت در این میکروفاسیس ۲۵۰-۱۰۰ میکرون می‌باشد. بلورهای خود شکل تا نیمه خود شکل پیریت در این رخساره با ابعاد متوسط ۵۰ تا ۱۵۰ میکرون دیده می‌شوند. کوارتز در این ریزرخساره بصورت تیغه‌های چرتی، بلورهای درشت نیمه‌خودشکل تا خود شکل و بصورت کلسدونی (رشته‌ای و با خاموشی موجی) حضور دارد. فلورین در این رخساره بصورت دانه‌پراکنده، تیغه‌ای و شکاف‌پرکن دیده می‌شود (تصویر۱٤). دروغ ریختی(Pseudomorphism) فلورین و سیلیس بجای کانیهای تبخیری در این رخساره به چشم می‌خورد (تصاویر ۱۵ و ۱٦). در این رخساره رگچه‌های فراوانی دیده می‌شود که عمدتاً از فلورین، کلسیت و کوارتز تشکیل می‌یابند. این رگچه‌ها احتمالاً نشانگر از دست‌دادن آب و درزه‌های حاصل از خشک‌شدن است. با توجه به اجزاء تشکیل‌دهندهٔ این ریز رخساره (تیغه‌های قرمز رنگ، آثار کانیهای تبخیری، اکسیدهای آهن و درزه‌های حاصل از دست‌دادن آب و خشک‌شدن) و ساختمانهای همزمان با رسوبگذاری، محیط رسوبی احتمالی آن سوپراتایدال می‌باشد. این رخساره نیز بطور جانبی به رخسارهٔ باندستون استروماتولیتی تبدیل می‌شود. در تصویر ٤ مشخصات این رخساره را می‌توان ملاحظه نمود.

رخسارهٔ دولومیکریت آهن‌دار:

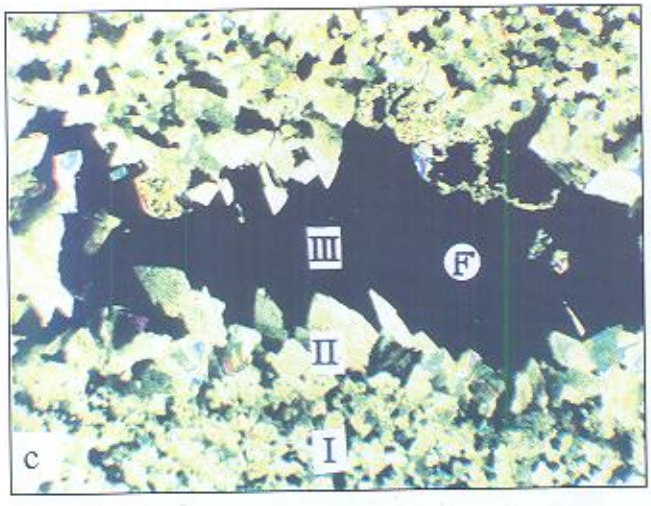
آخرین بخش از افق IV مادهٔ معدنی را رخسارهٔ دولومیکریت آهن‌دار تشکیل می‌دهد. این رخساره در سطح رخنمون و نمونهٔ دستی بصورت دولومیت قرمز تا کرم رنگ مشاهده می‌شود. ضخامت این رخساره در مقطع اندازه‌گیری شده ٤-۲ متر می‌باشد. اجزاء اصلی تشکیل‌دهندهٔ این رخساره شامل دولومیت، کوارتز، فلورین، پیریت و اکسیدهای نسبتاً فراوان آهن می‌باشد. بخش عمدهٔ سنگ بافت میکریتی دارد. بخش‌هایی از این ریز رخساره بصورت میکرواسپاریتی درآمده است. فراوانی اکسیدهای آهن در این رخساره باعث رنگ قرمز آن شده است. تخلخل در این رخساره بالا بوده و تا ۲۰ درصد می‌رسد. کانی فلورین با ابعاد متوسط ۱۰۰ تا ۳۵۰ میکرون بهمراه رومبوئدرهای دولومیتی در فضاهای خالی این رخساره متبلور شده‌اند. تخلخل‌های بین‌بلوری (intercrystalline) و تخلخل ناشی از درزه‌ها و خشک‌شدگی در این رخساره مشهود می‌باشد. فلورین در این رخساره بصورت دانه‌پراکنده، پرکنندهٔ حفرات و درزه‌های دیاژنتیک دیده می‌شود. این رخساره نیز بطور جانبی به رخسارهٔ باندستون استروماتولیتی تبدیل می‌شود. محیط تشکیل احتمالی این رخساره (باتوجه به رنگ قرمز آن، فراوانی اکسیدهای آهن، بافت میکریتی، وجود درزه‌های ناشی از از دست دادن آب و پرشدگی فلورین‌های درشت بلور و بی‌شکل در این درزه و شکاف‌ها و...) سوپراتایدال می‌باشد.

تصویر۷-a :نمونهٔ دستی از بافت DCR در رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت- دولواسپاریت در معدن منصوری که در آن نسل‌های سه‌گانهٔ سخت شدگی ی قابل تفکیک است.



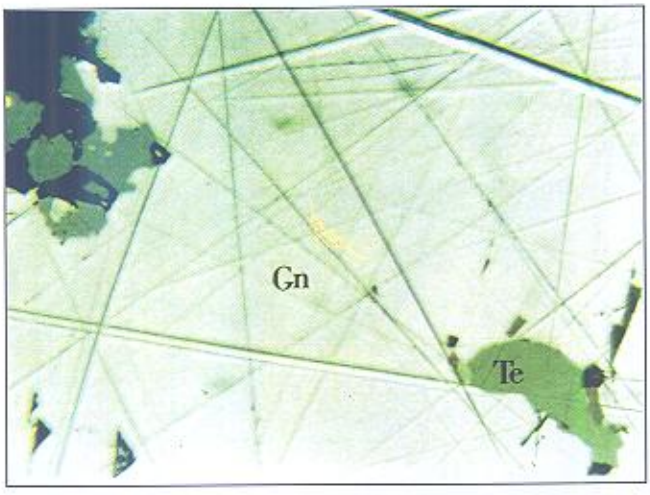
تصویر ۷- b : بخش مرکزی تصویر a را از نمایی نزدیکتر نشان می‌دهد. به افزایش اندازهٔ بلورهای دولومیت از نسل I بسمت نسل III توجه شود.

تصویر ۸- بافت DCR فلوئورین- دولومیت در رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت – دولو اسپاریت در بخش غربی میلاکوه (افق II معدنی). بلورهای درشت فلوئورین (F) با رنگ روشن و بلورهای دولومیت (d) با رنگ خاکستری تیره تا کرم دیده می‌شوند.

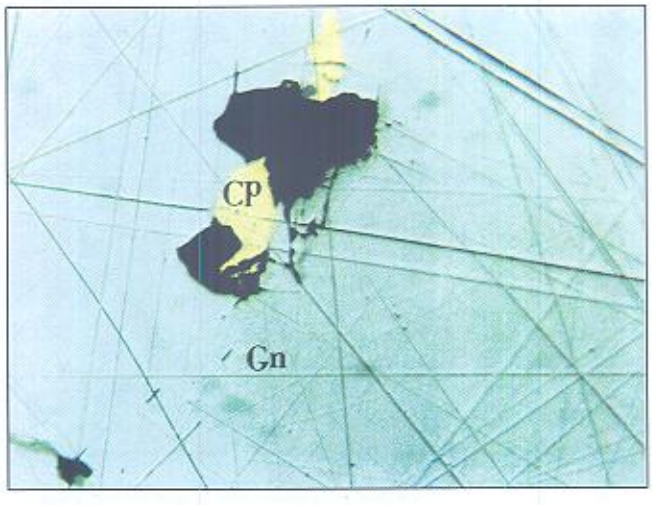


تصویر ۷- C: تصویر میکروسکوپی از نسل‌های III, II, I تبلور سخت شدگی (تصویر b). نسل I از دولومیت ریزدانه (روشن) و فلوئورین ریزبلور (تیره‌رنگ)، نسل II از دولومیت درشت‌بلور و فلوئورین متوسط‌بلور (تیره) و نسل III از فلوئورین کاملاً درشت‌بلور(F) تشکیل شده است (نور پلاریزه، بزرگنمایی ×۶۳).

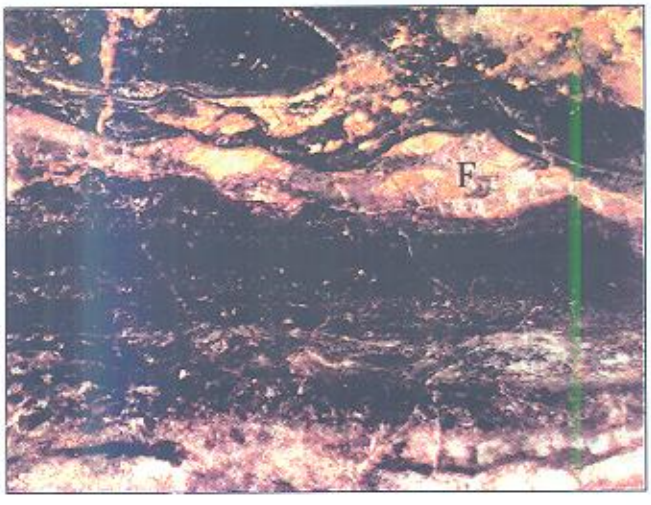
تصویر ۹- بافت DCR فلورین- دولومیت در رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت- دولواسپاریت در معدن منصوری (افق II معدنی). نسل I از دولومیت و فلورین ریزدانه به همراه اکسیدهای آهن (نوارهای قهوه‌ای‌رنگ)، نسل II از دولومیت درشت‌بلور و فلورین متوسط‌بلور (نوارهای روشن) و نسل III از فلورین درشت‌بلور بنفش تیره‌رنگ تشکیل شده است.



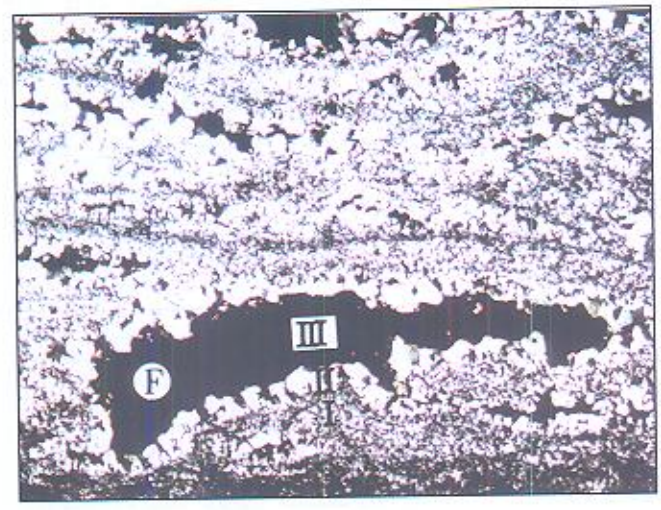
تصویر ۱۰- ادخالهای تتراهدریت (Te) در شبکهٔ گالن (Gn) در رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت- دولواسپاریت (افق II معدنی). (نور انعکاسی، بزرگنمایی ×۲۵۰)



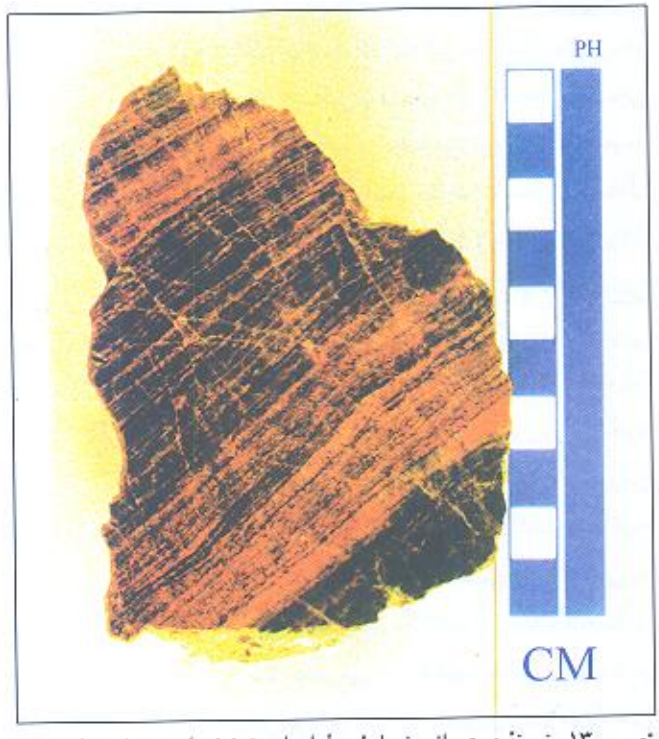
تصویر ۱۱- ادخال کالکوپیریت (Cp) در شبکهٔ گالن (Gn) در رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت- دولواسپاریت (افق III معدنی). (نور انعکاسی، بزرگنمایی ×۳۲۰)



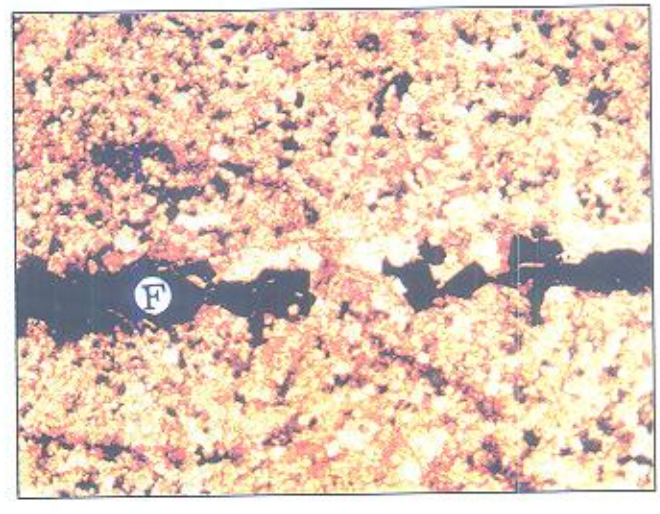
تصویر ۱۲- a - نمونهٔ دستی از رخسارهٔ چرت خاکستری تیره، که در آن فلورین (F) با بافت لامینه و با رنگ روشن در زمینه‌ای از تیغه‌های چرتی تیره‌رنگ (همراه با آثار تیغه‌های جلبکی) دیده می‌شود. بخش اعظم تیغه‌های تیره را کوارتزهای ریزبلور و مواد آلی تشکیل می‌دهند.



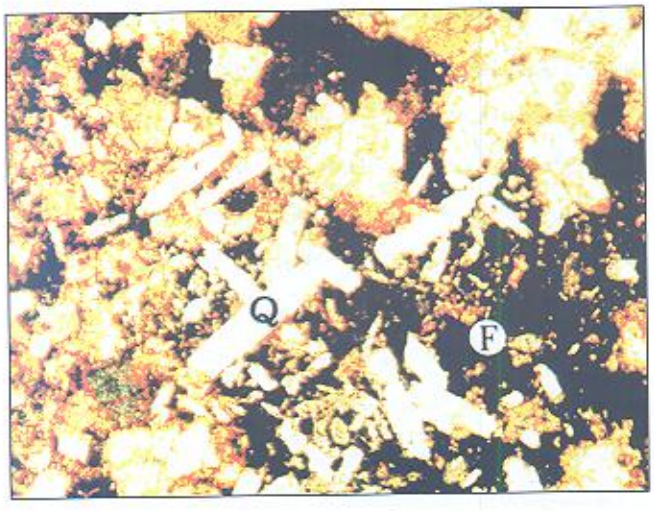
تصویر ۱۲- b - بافت میکروسکوپی از رخسارهٔ چرت خاکستری‌تیره (تصویرa). فلورین (F) بصورت پرکنندهٔ فضای خالی و با رنگ تیره در بخش مرکزی تصویر مشخص می‌باشد. نسل I : کوارتزهای ریزبلور (به همراه فلورین و کلسیت)، نسل II: بلورهای کوارتز و فلورین متوسط تا درشت بلور به همراه کلسیت، نسل III : فلورین کاملاً درشت‌بلور (نور پلاریزه، بزرگنمایی ×۶۳)



تصویر ۱۳- نمونهٔ دستی از رخسارهٔ دولواسپاریت تیغه‌دار در بخش باختری میلاکوه، که از تناوب تیغه‌های خاکستری تیره و تیغه‌های قرمز تا صورتی‌رنگ تیغه‌های آلگی(algal lamination) تشکیل شده است.



تصویر ۱۴- بافت میکروسکوپی فلورین (F) بصورت تیغه و دانه پراکنده (تیره‌رنگ) در رخسارهٔ دولواسپاریت تیغه‌دار. بلورهای خودشکل رومبوئدری دولومیت با رنگ روشن مشخص می‌باشد (نور پلاریزه، بزرگنمایی ×۶۳).



تصویر ۱۵- جانشینی کوارتز (Q) بجای کانیهای تبخیری (با قالبهای سوزنی و کشیده) در رخسارهٔ دولواسپاریت تیغه‌دار. فلورین (F) بصورت تیره‌رنگ در تصویر مشخص می‌باشد. بلورهای درشت با رنگ روشن دولومیت می‌باشند. (نورپلاریزه، بزرگنمایی ×۶۳)

بطورکلی مطالعهٔ رخساره‌ای افق‌های کانه‌دار در کانسار فلورین، روی و سرب میلاکوه – تویه نشانگر آن است که کانه‌زایی به رخساره‌های ویژه رسوبی وابسته است. محیط تشکیل رخساره‌های کانه‌دار و تمامی رخساره‌های بخش فوقانی سازند سلطانیه در منطقهٔ میلاکوه – تویه، محیط کم‌عمق و پهنهٔ جزر و مدی (Tidal flat) است. مشاهدات صحرایی بیانگر این واقعیت است که فرآیند کانه‌سازی ضمن تبعیت از لایه‌بندی (تصویر۱۷) با لیتولوژی دولومیت سازگاری دارد، بطوریکه سنگ درونگیر مادهٔ معدنی بطور عمده رخساره‌های دولومیتی نازک لایه و یا سنگ‌های دولومیتی ضخیم لایه می‌باشد. چنین ارتباطی بین رخسارهٔ دولومیتی و تشکیل کانه در محیط کفهٔ جزر و مدی (Tidal flat) در کانسارهای سرب و روی ایرانکوه (Rastad et al., 1980)، سرب و نقرهٔ راونج (مدبری، ۱۳۷٤) و فلورین شش‌رودبار (شریعتمدار، ۱۳۷۷) گزارش گردیده است. در کانسار میلاکوه-تویه در نواحی که دولومیت‌های دربرگیرندهٔ مادهٔ معدنی بطور جانبی به رخسارهٔ باندستون استروماتولیتی خاکستری رنگ تغییر می‌کند، کانه‌سازی نیز خاتمه می‌یابد. بعبارت دیگر بنظر می‌رسد فرآیند دولومیتی شدن در مرحلهٔ سخت شدگی از عوامل مؤثر در تمرکز و اقتصادی شدن مادهٔ معدنی باشد.

تمرکز روزایی (Epigenetic) فلورین و سایر کانه‌ها:

در نواحی که گسلها و شکستگیها از رخساره‌های کانه‌دار عبور می‌نمایند، در امتداد گسلها تمرکزهای ثانوی از فلورین، کانیهای روی و سرب (هیدروزنسیت، سروزیت) وسیلیکات روی (کالامین) دیده می‌شود. امتداد روند این گسلها وقتی از رخساره‌های کانه‌دار خارج می‌گردد، دیگر کانه‌دار نمی‌باشد. مشاهدات صحرایی حاکی از آن است که در منطقهٔ میلاکوه-تویه گسلهای با روند SW-NE و E-W که از افقهای کانه‌دار و تمرکزهای اولیه عبور می‌کنند، به عنوان مهمترین کنترل‌کنندهٔ تمرکز اپی‌ژنتیک و ثانوی مواد معدنی به شمار می‌آیند (این گسلها دارای مؤلفهٔ کششی بوده و در ردیف گسلهای نرمال قرار می‌گیرند). بخش عمده‌ای از فلورین استخراجی و قابل بهره‌برداری از فلورین متمرکز در گسلها است. این نوع فلورین در مقایسه با انواع تیپ‌های دیاژنتیک فلورین کاملاً درشت‌بلورتر بوده و از درجهٔ خلوص بالاتری نیز برخوردار است. وجود خش‌لغز روی بلورهای درشت فلورین و دیگر کانه‌ها و نیز دولومیت‌های همراه با این مواد معدنی نشان‌دهندهٔ عملکرد تکتونیک و تمرکزهای ثانوی آنها است. لازم به ذکر است که بلورهای دولومیت همراه با این فلورین‌ها نیز کاملاً درشت‌بلور و غنی از اکسیدهای آهن می‌باشند. نمونه‌هایی از این نوع تمرکزهای مادهٔ معدنی در معدن منصوری، درهٔ فلورین، تونل شرقی میلاکوه، ترانشه‌های شمال‌غرب میلاکوه و معدن روی (تصویر ۱۸) در بخش غربی میلاکوه به وفور قابل ملاحظه می‌باشد.

توالی تبلور کانه‌ها و کانی‌ها:

کانی‌شناسی رخساره‌های کانه‌دار در کانسار فلورین، روی و سرب میلاکوه – تویه ساده بوده و شامل فلورین، باریت، گ‌الن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، سروزیت، اسمیت‌زونیت، هیدروزنسیت، مالاکیت، آزوریت، دولومیت، کوارتز و کلسیت می‌باشد. توالی تبلور پاراژنتیک کانه‌ها و کانیها و ساختمانهای رسوبی- دیاژنتیک در افق‌های کانه‌دار منطقهٔ میلاکوه – تویه در تصویر۱۹ نشان داده شده است.

۴- میکروترمومتری سیالات درگیر

بررسی سیالات درگیر بعنوان تکنیک و شاخص دقیقی جهت مطالعهٔ کانسارهای رسوبی – دیاژنتیک مطرح می‌باشد (Goldstein, 2001). به عبارت دیگر مطالعهٔ سیالات درگیر در کانسارهای رسوبی – دیاژنتیک می‌تواند تاریخچهٔ تحول و تکوین سخت شدگی ی سیالات کانه‌ساز را در این تیپ از ذخایر روشن نماید. با توجه به ژئومتری مادهٔ معدنی در کانسار میلاکوه – تویه، نمونه‌های فلورین از انواع روزایی و انواع گسله برداشت گردید و مطالعهٔ میکروترمومتری بر روی بیش از ۳۰۰ سیال درگیر انجام گرفت.

در مطالعهٔ سنگ شناسی صورت گرفته بر روی سیالات درگیر موجود در کانی فلورین در منطقهٔ میلاکوه – تویه ۵ نوع مختلف سیال درگیر قابل تفکیک می‌باشند:

نوع A: تک فازهٔ مایع (Liquid)

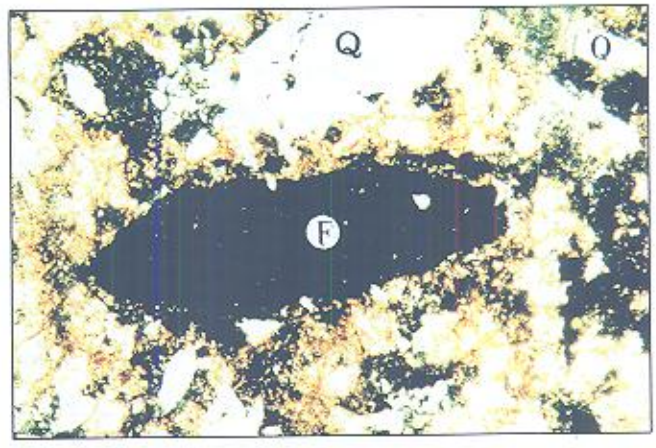
نوع B: دو فازهٔ مایع – گاز (Liquid rich)

نوع C: دو فازهٔ گاز – مایع (Vapour rich)

نوع D: تک فازهٔ گازی (Vapour)

نوع E: سه فازهٔ مایع – گاز – جامد

(Hallite ± Sylvite ± Gypsum)



تصویر ۱۶- دروغ ریختی فلورین (F) و سیلیس (Q) بجای کانی‌های تبخیری در رخسارهٔ دولواسپاریت تیغه‌دار. شکل کانیهای تبخیری بخوبی در تصویر مشخص می‌باشد. (نور پلاریزه، بزرگنمایی ×۱۰۰)

تصویر ۱۷- تناوب رخسارهٔ باندستون استروماتولیتی و دولوستون در رخنمون شورچشمه- سیاه‌مرز. فلورین (F) و باریت (Ba) با ژئومتری لایه‌ای دراین رخنمون ملاحظه می گردد.

تصویر ۱۸- گسل نرمال (f) در محل معدن روی در بخش غربی میلاکوه که محل مناسبی برای تمرکز اسمیت‌زونیت و هیدروزنسیت (بخش سفیدرنگ سمت راست گسل) شده است

تصاویر ۲۰ و ۲۱ برخی از انواع سیالات درگیر موجود در کانی فلورین، در منطقهٔ میلاکوه – تویه را نشان می‌دهد. در مطالعهٔ سنگ‌شناسی، مشخصات نوری سیالات درگیر از قبیل شکل و اندازهٔ سیالات درگیر (shape & size)، نوع سیالات درگیر (اولیه، ثانویه، ثانویهٔ کاذب)، محتویات سیالات درگیر (L+V+S)، نسبت V/L نوع بلورهای دختر (با توجه به شکل کریستالی و ریختار ظاهری)، رنگ، (Reflectance Index)(RI)، نحوهٔ گسترش هندسی سیال درگیر و اندازهٔ آن مورد توجه قرار گرفت (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985).

برخی از پدیده‌ها مانند: alteration of fluid inclusions، thermal ،necking down ،heterogeneous entrapment reequilibration و neucleation metastability باعث می‌شوند تا داده‌ها و نتایج سیالات درگیر قابل اعتماد نگردد (Van den Kerkhof and Hein, 2001). با مطالعهٔ دقیق سنگ‌شناسی، این پدیده‌ها شناسایی و در تجزیه و تحلیل نتایج مد نظر قرار گرفت.

نتایج مطالعات نشان داد که سیالات درگیرغنی از گاز (Vapour-rich) شاخص مناسبی جهت اندازه‌گیری میکروترمومتری سیالات درگیر نمی‌باشند، بدین‌ترتیب که تکرار چندین بار اندازه‌گیری بر روی این تیپ از سیالات نتایج کاملاً متفاوتی را دربر داشته است. این امر احتمالاً ناشی از بسته نبودن سیستم ترمودینامیکی این تیپ از سیالات درگیر می‌باشد (Roedder, 1976; Roedder and Bodnar, 1997 Wilkinson et al., 1998)

در این مطالعه تنها از سیالات درگیر نوع غنی از (Liquid-rich) جهت اندازه‌گیری مقادیر Tm و Th استفاده شده است. فراوانی بسیار بالای CO_2 در برخی از سیالات درگیر و همچنین بافت‌های جانشینی و پرکنندهٔ فضاهای خالی (انحلالی) احتمالاً ناشی از جانشینی F به جای CO_3^{2-} در $CaCO_3$ و آزاد شدن CO_2 فراوان در طی مراحل سخت شدگی می‌باشد. این امر خود موجب افزایش تخلخل در سنگ و باعث تشکیل بافت‌های پرکنندهٔ فضای خالی (از نوع انحلالی) شده است. بر پایه مطالعات سنگ شناسی و اندازه‌گیریهای انجام‌شده، دمای همگون‌شدن و درجهٔ شوری برای نمونه‌های فلورین مربوط به سخت شدگی تدفینی و تمرکز فلورین در امتداد گسلها و شکستگیها معین و در تصویر ارائه شده است.

در تصویر ۲۲ دو محدودهٔ قابل تفکیک از نظر دمای همگون‌شدن برای سیالات درگیر مطالعه‌شده دیده می‌شود. بدین ترتیب که سیالات

درگیر با دمای بالاتر متعلق به مرحلهٔ سخت شدگی تأخیری بوده و ادخالهای با دمای پایین‌تر مربوط به مرحلهٔ روزادی و تمرکز مادهٔ معدنی در امتداد گسله‌ها و شکستگیها می‌باشد. مشاهدات ساخت و بافت و کانی‌شناسی نیز محدودهٔ دمای همگون شدن - درجهٔ شوری سیالات کانه‌ساز برای تیپ‌های مختلف ذخایر معدنی در تصویر ۲۳ ارائه شده است (Wilkinson, 2001). موقعیت داده‌های سیالات درگیر منطقهٔ میلاکوه – تویه نیز در این تصویر مشخص شده است. همانطوریکه ملاحظه می‌شود این داده‌ها در حدفاصل بین ذخایرنوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) و نوع ایرلندی (Irish-type) قرار می‌گیرند.

مطالعات انجام‌شده توسط Hanor (1984) نشان می‌دهد که در حوضه‌های رسوبی، پارامتر ژرفا (همراه با افزایش دما) دارای همبستگی مثبت با شوری سیال بین‌ذره‌ای (salinity of pore fluid) است. بنابراین شوری بسیار بالای برخی از سیالات درگیر مطالعه‌شده نشان‌دهندهٔ این مطلب است که سیالات کانه‌ساز مرحلهٔ سخت شدگی تدفینی (deep burial) را تحمل نموده‌اند. مطالعات بافتی و شکل این نمونه‌ها در ارتباط با سنگ درونگیر مؤید این واقعیت است.

درمطالعات سرمایش انجام‌گرفته بر روی اکثر سیالات درگیر، دمای ذوب اولین بلور یخ یا دمای یوتکتیک (Eutectic) (Tc)، پایین‌تر از دمای یوتکتیک سیستم $NaCl-H_2O$ می‌باشد ($Te<-20.8^{\circ}C$). این مطلب نشان می‌دهد که علاوه بر NaCl، نمک‌های دیگری از قبیل $CaCl_2$، $MgCl_2$ و KCl در سیال کانه‌ساز وجود دارد (Shepherd et al., 1996; Viet et al., 1985). حضور کانی‌های دختر همانند سیلویت و انیدریت بهمراه نمک طعام مؤید این امر می‌باشد.

در نمونه‌های مطالعه‌شده، دمای همگون‌شدن سیالات درگیر نوع ثانویه در نمونه‌های سخت شدگی تأخیری برابر با $175\pm5^{\circ}C$ اندازه‌گیری شده است. این نوع سیالات درگیر معمولاً از نظر اندازهٔ واکوئل‌ها کوچکتر از سیالات اولیه می‌باشند و در روندهای کاملاً خطی تجمع و تمرکز پیدا می‌کنند (مهرپرتو و ترکیان، ۱۳۷۲).

همانگونه که اشاره گردید، نمونه‌های مرتبط با گسل‌ها دارای درجهٔ حرارت همگون‌شدن بسیار پایین‌تر از نمونه‌های دارای بافت و ساخت دیاژنتیک هستند. بنابراین آنچه مسلم است نمی‌توان سیالات گرمابی را مسئول کانه‌زائی این تیپ از کانه‌ها در منطقه دانست، چراکه اگر این فرآیندهای گرمابی به صورت روزایی عمل نموده باشند، طبعاً بایستی دمای تجمعات گسلی بسیار بالاتر از انواع سخت شدگی باشند. این حالت در سیالات درگیر کانسار فلورین شش‌رودبار نیز گزارش شده است.

مطالعات انجام شده توسط شریعتمدار (۱۳۷۷) در کانسار فلورین (سرب، روی) شش رودبار، که در بخش بالایی سازند الیکا در تریاس میانی البرز واقع شده است نیز حاکی از این دو نوع سیال در سیستم‌های رسوبی- دیاژنتیک و اپی‌ژنتیک می‌باشد. شریعتمدار (۱۳۷۷) دمای همگون‌شدگی سیالات درگیر تیپ رسوبی – دیاژنتیک را ۱۶۰ - ۱۹۰ درجه سانتیگراد و شوری آنها را ۲۱-۲۴ درصد معادل وزنی NaCl گزارش نموده است. درحالیکه برای تیپ‌های متمرکز در گسل‌ها و شکستگیها مقادیر دمای همگون شدگی ۱۳۰-۱۴۰ درجهٔ سانتیگراد و میانگین شوری ۲۳/۲۶ درصد معادل وزنی NaCl اندازه‌گیری شده است که شباهت زیادی به کانسار فلورین (سرب، روی) میلاکوه – تویه دارد.

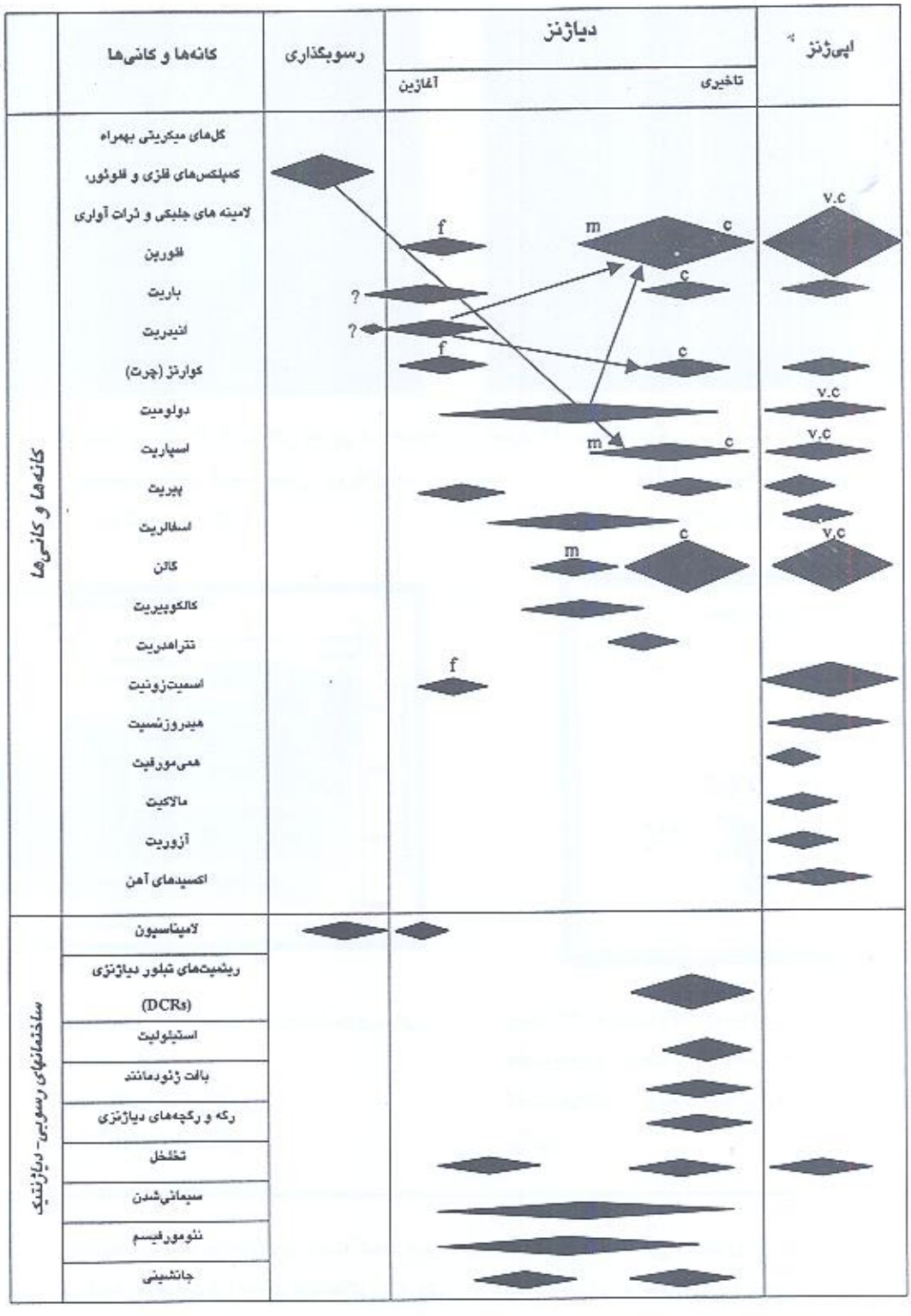
۵- تکوین کانسار و مراحل مختلف تشکیل و تمرکز آن:

مطالعهٔ شکل، ساخت و بافت و پاراژنز کانه‌ها و کانی‌ها حاکی از آن است که مادهٔ معدنی در ٤ مرحله بشرح ذیل تشکیل شده است (تصویر ۱۹):

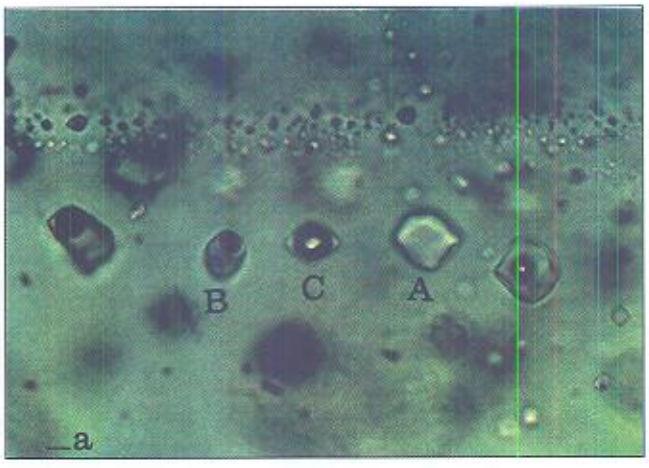
۱- رسوبگذاری (Deposition): در مرحلهٔ رسوبگذاری تشکیل تیغه‌های جلبکی، ته‌نشینی گل‌های میکریتی و ژل‌های سیلیسی همراه‌با همتافت‌های عناصر فلزی و غیرفلزی (همتافت‌های کلریدی و فلوریدی) و تشکیل هسته‌های باریت و انیدریت اولیه انجام شده است.

۲- سخت شدگی آغازین (Early diagenesis): در این مرحله کانیهایی نظیر دولومیت‌های خودشکل ریز بلور، کوارتزهای میکروکریستالین، اسمیت‌زونیت، فلورین، باریت، ژیپس ریزبلور و برخی از سولفیدها نظیر پیریت همراه با مواد ارگانیک (algal mat) تشکیل گردیده و یا به رشد و تبلور خود ادامه داده است. ساخت نواری، عدسی‌های همزمان با رسوبگذاری و بخشی از بافت‌های دانه‌پراکنده و لامینه‌ای فلورین و باریت مربوط به این فاز از کانی‌سازی است.

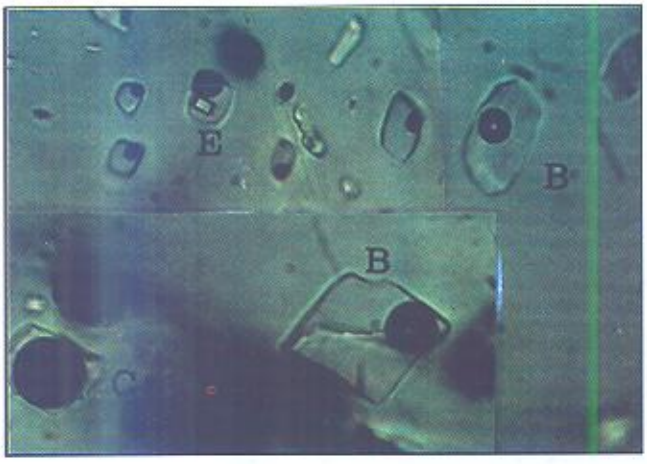
۳- سخت شدگی تأخیری (Late diagenesis) : حضور یون فلوئور در سیالات بین ذره‌ای در مرحله سخت شدگی به خوبی می‌تواند به تشکیل و ته‌نشست فلورین در بین ذرات تشکیل‌دهندهٔ سنگ درونگیر بیانجامد (Spirakis et al., 1995). ساختمان‌های حاصل از انحلال شامل تخلخل بالا، ساختمان‌های برشی ریزشی (collapse breccia) و حفرات



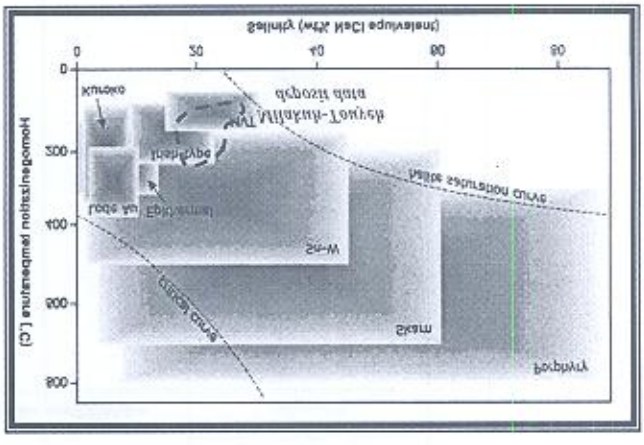
تصویر ۱۹- سکانس تبلور کانه‌ها و کانیها و ساختمانهای رسوبی – دیاژنتیک در افق‌های کانه‌دار منطقهٔ معدنی میلاکوه – تویه. جهت بردار نشانگر کانی جانشین شده است. Grain size: f: fine; m: medium; c: coarse to very coarse.



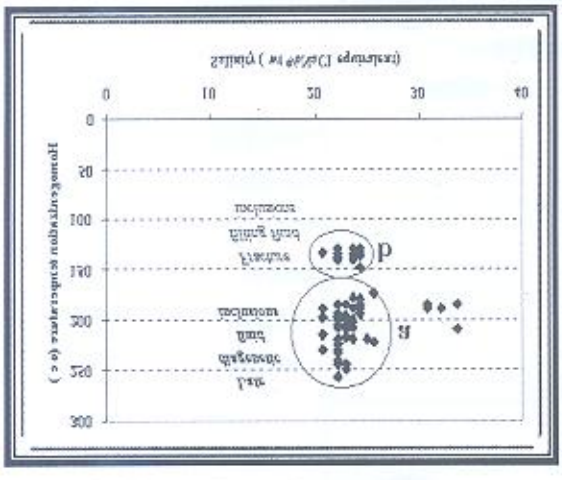
تصویر ۲۰- سیالات درگیر اولیهٔ تیپ A, B, C در کانی فلوئورین در رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت- دولواسپاریت (افق II مادهٔ معدنی- نور پلاریزه، بزرگنمایی ×۵۰۰).



تصویر ۲۱- سیالات درگیر تیپB، C و E در رخسارهٔ دولومیکرواسپاریت- دولواسپاریت (افق II مادهٔ معدنی)
(نور پلاریزه، بزرگنمایی ×۵۰۰).



تصویر ۲۲- دیاگرامهای دمای همگون‌شدن - درجهٔ شوری برای سیالات درگیر منطقهٔ میلاکوه – تویه
a- سیالات درگیر مربوط به سخت شدگی تأخیری
b- سیالات درگیر مربوط به گسل‌ها و شکستگیها



تصویر ۲۳- موقعیت داده‌های سیالات درگیر منطقهٔ میلاکوه – تویه در مقایسه با انواع مختلف ذخایر معدنی (اقتباس از Wilkinson, 2001). کانسار میلاکوه- تویه در حد بین ذخایرMVT و Irish-type قرار می گیرد.

انحلالی (dissolution vugs) از جمله ساختمانهایی است که در این مرحله به وفور تشکیل می گردند. در نهایت فرآیندهای هسته‌زائی و تفریق مداوم دیاژنتیک حداکثر تبلور و تمرکز را در مراحل پایانی سخت شدگی (late diagenesis) موجب گردیده است (Jackson and Beals, 1967). فلوریـن و دولومیت بصورت نسل‌های سه‌گانهٔ سخت شدگی (نسلهای I, II, III) و بافت‌های ژنودمانند و استیلولیتی در این مرحله تشکیل گردیده است.

٤- مرحلهٔ بالاآمدگی و رخنمون در سطح زمین (Uplift & Exposure): مرحلهٔ چهارم تشکیل مادهٔ معدنی حاصل

تحرک نسلهای رسوبی - دیاژنتیک و تمرکز آن بصورت اپی‌ژنتیک در فضاهای خالی، گسلها و شکستگیها همراه با فرآیندهای مربوط به فرسایش و سوپرژن می‌باشد.

به طوریکه دیده می‌شود، غنی‌شدگی اولیه(Initial enrichment) مادهٔ معدنی در این کانسار همزمان با رسوبگذاری بوده و مراحل تکوین و تمرکز آن در طی سخت شدگی و روزادی انجام شده است. بعبارت دیگر مادهٔ معدنی در کانسار میلاکوه- تویه بصورت همزایشی تا روزادی تشکیل و تمرکز یافته است. حضور بافتهای دانه‌پراکنده و تیغه‌ای فلورین در رخساره‌های متعلق به محیط سوپراتایدال نشانگر تشکیل بخشی از مادهٔ معدنی در مراحل اولیهٔ رسوبگذاری و سخت شدگی است. لازم به ذکر است که عمدهٔ فعالیت‌های معدنکاری در منطقه بر روی انواع سخت شدگی تأخیری و روزادی است. این نوع از کانه‌سازی در درهٔ فلورین و معدن روی در میلاکوه و معدن منصوری در شمال تویه گسترش دارد.

۶- خاستگاه احتمالی عناصر معدنی: شواهدی از قبیل میزان بالای سیلیس بصورت کوارتزهای درجازا (Authigene) و چرت‌های ریز تا نهان‌بلور در افق‌های کانه‌دار و قرارگیری واحد توف برش تجزیه شده در مجاورت بلافصل افق III مادهٔ معدنی نشان‌دهندهٔ آن است که منشأ مواد معدنی احتمالاً از اگزالاتیوهای وابسته به فعالیت ولکانیسم است (Leach, 1999; Sangster, 1990; Symons et al., 1998). منشأ گوگرد احیاء در سولفیدها نیز احتمالاً ناشی از احیاء بنیان SO_4^{2-} موجود در آب دریا، تجزیهٔ تیغه‌های جلبکی سازندهٔ استروماتولیت‌ها و یا ناشی از ولکانیسم همزمان با رسوبگذاری است. مطالعات ایزوتوپی روشنگر منشأ گوگرد خواهد بود.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهاد:

شواهدی از قبیل مشاهدات صحرایی، شکل توده‌های معدنی، قرارگیری افق‌های کانه‌دار در رخساره‌های ویژه، ساخت و بافت مادهٔ معدنی در مقیاس‌های مختلف، گسترش ناحیه‌ای افق‌های کانه‌دار و تبعیت آنها از لایه‌بندی در محدودهٔ معدنی میلاکوه - تویه، نتایج حاصل از مطالعات جغرافیای دیرین، نوع محیط رسوبی و سنگ درونگیر مادهٔ معدنی، آثار ولکانیسم همزمان با رسوبگذاری، نوع و ساز و کار دولومیتی‌شدن و گسترش آن، مطالعات لیتوژئوشیمیایی، پاراژنز کانه و مطالعهٔ سیالات درگیر، همگی حاکی از آن است که کانسار فلورین، روی و سرب میلاکوه - تویه در ردیف کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی غنی از فلورین (F- rich MVT) می‌باشد (رستمی‌پایدار، ۱۳۸۰).

بر اساس مطالعات انجام شده، مهمترین عوامل کنترل‌کنندهٔ تشکیل و تمرکز مادهٔ معدنی در این کانسار عبارتند از:

- رخساره‌های خاص کانه‌دار
- جغرافیای دیرین
- پهنه‌های جزر و مدی
- چینه نگاری (جایگاه خاص چینه‌ای)
- سنگ درونگیر دولومیتی
- فرآیندهای سخت شدگی
- محیط‌های زمین‌شناسی با رژیم کششی (Extensional system)
- فعالیت اگزالاتیوهای مرتبط با ولکانیسم
- و کنترل‌کنندهٔ ساختاری (گسلها)

پیشنهاد:

نظر به اینکه تاکنون گزارشی از وجود ذخایر MVT غنی از فلورین در سازند سلطانیه (کامبرین زیرین) ارائه نشده است، بنظر می‌رسد با توجه به موقعیت معین چینه شناسی مادهٔ معدنی (در فاصلهٔ ۶۰ متری از قاعدهٔ سازند باروت)، در زون ساختاری البرز و در دیگر مناطقی که سازند سلطانیه گسترش دارد - بویژه در نواحی که بخش فوقانی آن بطور جانبی دولومیتی شده است - بخش فوقانی این سازند می‌باید بعنوان یک واحد کربناتهٔ دارای پتانسیل فلوئور- روی - سرب - باریم (شبیه بخش فوقانی سازند الیکا در ترياس البرز) در برنامه‌های پی‌جویی- اکتشافی آینده مورد توجه جدی گیرد. یادآوری می‌نماید بیشترین ذخایر MVT جهان متعلق به کامبرین زیرین است(Leach and Sangster, 1993; Liu et al., 1997).

تشکر و قدردانی

نگارندگان از زحمات آقایان مهندس منصور صمیمی‌نمین کارشناس ارشد سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، به جهت همراهی در بررسی‌های صحرایی، دکتر اردشیر هزارخانی عضو هیئت علمی بخش

معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر، برای مطالعهٔ سیالات درگیر و نیز دکتر محمدهاشم امامی معاونت آزمایشگاههای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به جهت تسهیل در آنالیز نمونه‌ها صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌نمایند.

کتابنگاری:

برنا، بهروز. ۱۳۷٦- گزارش اکتشاف مقدماتی از معادن سرب و روی استان سمنان.

جمی، مرتضی. و هاشمی‌تنگستانی، مجید. ۱۳۷٤- عناصر خاکی کمیاب و میانبارهای سیال در فلورین‌های سفید، سبز و بنفش ناحیهٔ کمر مهدی طبس، مجموعه مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

رستمی پایدار، قدرت‌اله. ۱۳۸۰- آنالیز رخساره، ژئوشیمی و ژنز کانسار فلورین (روی، سرب، باریم) میلاکوه – تویه، جنوب‌غرب دامغان، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

سعیدی، عبداله.. ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه کیاسر، سازمان زمین‌شناسی کشور.

شریعتمدار، احمد. ۱۳۷۷- بررسی زمین‌شناسی و ژنز کانسار فلورین شش‌رودبار، سواد کوه مازندران بر اساس داده‌های حاصل از مطالعهٔ آنالیز رخساره‌ای، ژئوشیمی، سیالات درگیر، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

صمیمی‌نمین، منصور. ۱۳۷۷- طرح اکتشاف نیمه‌تفصیلی فلورین، سرب و روی در منطقهٔ میلاکوه سمنان، شرکت توسعهٔ علوم زمین.

علیرضائی، سعید. ۱۳٦٦- پژوهشی در چینه‌شناسی و چگونگی پیدایش کانسارهای فلورین- سرب (باریم) در تریاس شرق البرز مرکزی، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

کریمی، علی. و راستاد، ابراهیم.. ۱۳۸۰- رخساره‌های کانه‌دار کانسار سلستیت نخجیرکوه ورامین: تحول سخت شدگی و محیط رسوبگذاری، فصلنامهٔ علوم زمین، شمارهٔ ۳۳-۳٤.

گرجی‌زاد، حمیدرضا. ۱۳۷۵- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار فلورین پاچی میانا، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

مدبری، سروش. ۱۳۷٤- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره‌ای و ژنز کانسار راونج (دلیجان)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

مهرپرتو، محمود. و ترکیان، محمود. ۱۳۷۲- پژوهشی در سیالات درگیر نهشتهٔ مس- مولیبدن پورفیری سونگون باختر اهر – آذربایجان خاوری، فصلنامهٔ علوم زمین، شماره ۱۰.

مهری، بهروز.. ۱۳۷۷- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار سرب و نقرهٔ خانجار (جنوب‌غرب دامغان)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

Reference

Bazargani-Guilani, K., 1982- Die mittelpermischen schichtgebundenen Blei-Zink-Schwerspart-Lagerstatten des Kalwanga distriktes, Zentral Alborz, Iran (mit besonderer Berucksichtigun des Duna-Grubenfeldes), Ruprecht-karl-Universitat, Heidelberg Univ.

Fontbote, L., 1981- Strata-bound Zn-Pb-F-Ba deposits in carbonate rocks: new aspects of paleogeographic location, facies factors and diagenetic evolution, PhD thesis, Heidelberg Univ.

Fontbote, L., 1990- Genesis of the Mississippi Valley Type Zn-Pb deposits of San Vicente, Central Peru, Econ. Geol., v. 85, p. 1402-1437.

Ghazban, F., Mc Nutt, R.H., and Schwatrz, H.p., 1994- Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan area, West-Central Iran, Econ. Geol., v. 89, p. 1262-1278.

Goldstein, R.H., 2001- Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems, Lithos, v. 55, p. 159-192.
Hanor, J.S., 1984 - Variation in the chemical composition of oil-field brines with depth of Northern Louisiana and Southern Arkansas; Implication for mechanisms and rates of mass transport and diagenetic reactions. Trans., Gulf Coast Assoc. Geol. Soc., v. 34, p. 55-61.
Jackson, S.A., and Beals, F.W., 1967- An aspect of sedimentary basin evolution, the concentration of MVT ores during late stage diagenesis, Bull. of Can. Petrol. Geol., v. 15, p. 383-433.
Langdan, S.G., 1992- Regional porosity evaluation of the Catoch dolomite, St. George Group, p. 2-20.

Leach, D.L., 1999- Mississippi Valley-Type Lead-Zinc deposits through geologic time: Implications for the exploration of undiscovered deposits, U.S.G.S. Mineral Resource Program, p. 211-237.

Leach, D.L., and Sangster, D.F., 1993- Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits, in Kirkham et al., Mineral Deposit Modelling, Geological Association of Canada special paper 40, p. 289-314.

Liu, W., Boni, M., and Bechstadt, T., 1997- A first approach to the MVT ore deposits in the Cambrian of Hunan (southern China), SGA Meeting, TURKU 1997.

Momenzadeh, M., 1976- Stratabound lead-zinc ores in the Lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayer-Esfahan district (west Central Iran). Lithology, Metal content, Zonation and Genesis: Ruprecht-Karl University, Heidelberg.

Quing, H., and Mount Joy, E.W., 1994- Origin of dissolution vugs, caverns and breccias in the Middle Devonian Presquile Barrier, host of Pine Point Mississippi Valley type deposits, Econ. Geol., v. 89, p. 858-876.

Rastad, E., Fontbote, L., and Amstutz, G.C., 1980- Relation between tidal flat facies and diagenetic ore fabrics in the stratabound Pb-Zn-(Ba-Cu) deposits of Irankuh, Esfahan, west central Iran.

Roedder, E., 1976- Fluid inclusion evidence on the genesis of ores in sedimentary and volcanic rocks. In: Wolf, K.H. Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits (Ed.), vol. 2, Geochemical studies: Amsterdam, Elsevier, New York, Ch. 4, p. 67-110.
Roedder, E., 1984 - Fluid inclusions, Reviews in Mineralogy, vol. 12, Mineralogical Society of America, 644 p.
Roedder, E., and Bodnar, R.J., 1997- Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits. In: Barnes, H.L., (Ed.). Geochemistry of hydrothermal ore deposits, Wiley, New York, p. 657-697.

Sangster, D.F., 1990 Mississippi Valley-type and SEDEX lead-zinc deposits: A comparative examination, Institution of Mining and Metallurgy, section B: Applied earth science, v. 99, p. 21-42.
Shepherd, T.J., Ranbin, A.H., and Alderton, D.H.M., 1985- A practical guide to fluid inclusion studies, Blackie, Glasgow, 223 p.
Spirakis, G.S., and Hyle, V., 1995- Evaluation of precipitation mechanism for Mississippi Valley type deposit, Ore Geol. Rev., v. 10, p. 1-17.

Symons, D.T.A., Lewchuk, M.T., and Sangster, D.F., 1998- Laramid orogenic fluid flow into the Western Canada sedimentary basin: Evidence from paleomagnetic dating of Kicking Horse Mississippi valley-type ore deposit: Econ. Geol., v. 93, p. 68-83.
Van den Kerkhof, A.M., and Hein, U.F., 2001- Fluid inclusion petrography, Lithos, v. 55, p. 27-47.
Viets, J.G., Hofstra, A.F., and Emsbo, P., 1996- Solute compositions of fluid inclusions in sphalerite from North American and European Mississippi Valley-Type ore deposits: ore fluid derived from evaporited seawater, in Sangster, D.F., (ed.), Carbonate-hosted lead-zinc deposits: Society of Economic Geologists, Special Publication, no. 4, p. 465-482.
Wilkinson, J.J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, Lithos, v. 55, p. 229-272.
Wilkinson, J.J., Everett, C.E., Eyre, S.L., and Boyce, A.J., 1998- Fluid flow and mineralization in the Irish orefield. Programme with Abstracts, Mineral Deposits Studies Group AGM, Univ. of St. Andrews, Scotland.

Zee, S., 1995- Complex replacement of saddle dolomite by fluorite within zebra dolomites, an example from Radning, Carinthia, Austria.

* گروه زمین شناسی اقتصادی ، دانشگاه تربیت مدرس، تهران ،ایران
** دانشکده منابع طبیعی ، دانشگاه تهران، ایران

* Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
** Tehran University, Natural Sciences Faulty, Iran