مجلة پژوهشي دانشگاه اصفهان (علوم پايه)
جلد بيست و نهم ـ شماره ۳ ـ سال ۱۳۸۶
صص۲۰۰-۱۸۹

مطالعه ايزوتوپهاي اكسيژن وكربن وعناصر نادر خاكي معدن فلوريت امافت، منطقه سوادكوه(مازندران)

قربان وهاب‌زاده، احمد خاكزاد، ايرج رساء و مير رضا موسوي

گروه زمين شناسي دانشگاه شهيد بهشتي تهران

چكيده

معدن فلوريت امافت در ۲۰ كيلومتري جنوب شرقي پل سفيد در شهرستان سواد كوه قرار دارد . سنگ ميزبان كانسار سازند تيزكوه با سن كرتاسه پايين بوده، كه در راستاي شمال شرق –جنوب غرب توسط گسلها خرد گرديد. ليتولوژي آن شامل مادستون(گل سنگ) ، بيوميكرات و ميكرايت بوده كه در اطراف رگه فلوريت توسط سيال گرمابي به دولوميت تبديل گرديد. مطالعه ايزوتوپ‌هاي كربن و اكسيژن كربناتهاي دگرسان شده اطراف اين كانسار مويد اين است كه سنگ‌ها تحت تاثير محلول‌هاي گرمابي با دماي متوسط تا پايين قرار گرفته اند. مقادير ايزوتوپ‌هاي اكسيژن و كربن در سنگ‌هاي دولوميتي ميزبان، يك روند كاهشي را به سمت كانسار نشان مي‌دهد. با نزديك شدن به رگه فلوريت، ايزوتوپ اكسيژن و كربن در اين سنگ‌ها سبك‌تر مي‌شوند، بطوريكه سبك‌ترين ايزوتوپ مربوط به نمونه كاملا نزديك به كانسار وسنگين ترين آن مربوط به دور ترين نقطه از كانسار مي‌باشد. هم چنين درصد دگرساني ايزوتوپ اكسيژن در نزديك ترين نمونه به كانسار حداكثر(۸۸درصد)ودر دور ترين نمونه به كانسار حداقل (۱۹درصد) است. اين ويژگيها مي‌تواند بعنوان كليدي براي اكتشاف كانسارهاي ناشناخته مورد استفاده قرار گيرد. نتيجه اين تحقيقات كاملا مشابه نتايجي است كه بر روي سنگ‌هاي دولوميتي نزديك معدن رنسون(Renison) تاسمانيا در استراليا و معدن سرب و روي كوه سرمه زاگرس صورت گرفته است. به دليل تشابه در الگوي به هنجار شده فلوريت و سنگ ميزبان آهكي كانسار امافت اين نتيجه بدست مي‌آيد كه تحرك مجدد عناصر نادر خاكي و فلوئور در سنگ ميزبان آهكي رخ داده و به درون سيال كاني ساز اضافه شده و سپس تا محل كانسار جابجا شده است. عدم تشابه در الگوهاي به هنجار شده سنگ‌هاي آذرين، شيل‌ها، ماسه سنگ وفلوريت‌هاي منطقه ميرسانند كه اين سنگ‌ها منشاء عنصر فلوئور نبوده اند . به دليل وجود آنومالي منفي عنصر Eu و مثبت براي Ce، محيط تشكيل كانسنگ احيايي بوده است.

واژه‌هاي كليدي: ايزوتوپ‌هاي اكسيژن و كربن، دولوميت، دگرساني، عناصر نادر خاكي ، معدن فلوريت امافت، الگوي نرماليز شده، مازندران،سواد كوه،سازند تيز كوه

Oxygen and Carbon Isotopes and REE Study in the Emaft Fluorite Mine, Sawad Kouh Region(Mazandaran)

G. Vahabzadeh ,A. Khakzad , I. Rasa, M.R. Mosavi

Department of Geology , Shahid Beheshti University

Abstract

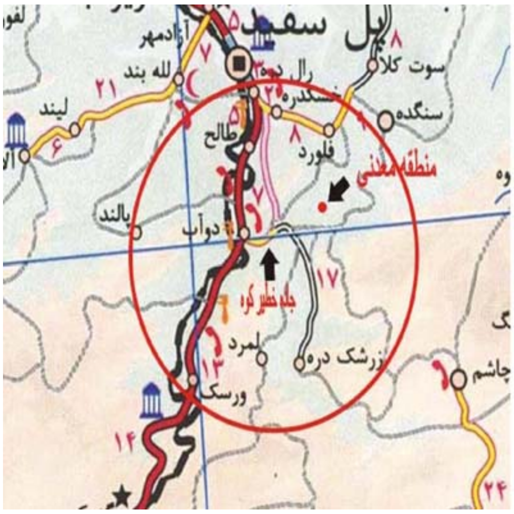
The Emaft Fluorite mine is located in 20km southeast of Pole – sefid area in Mazandaran Province . The host of the ore is Tizkouh Formation with lower Cretaceous age , which is fractured by the NE- SW trending fault. Its lithology includes biomicrite, micrite and mudstone altered to dolomite by hydrothermal fluids . The oxygen isotope values of the most altered carbonate (dolomites) surrounding the fluorite deposits show that these deposits subjected to low temperature hydrothermal fluids. There is a trend of decreasing lighter carbon and particularly oxygen isotope values towards the orebody. The lightest oxygen isotope values are close to the orebody. The oxygen and carbon isotope values in altered carbonate (dolomite) are significantly lighter than those least – altered dolomite away from mineralized area. The alteration percentage in oxygen and carbon isotopes are maximum close to the orebody. Thus , the alteration percentage of oxygen is %88 close to orebody but its minimum identified some about %19 far from orebody.These characteristics can be used as a key to explore the unknown orebody.The results of this study is similar to the tin ore deposits of Renison mine , Tasmania in Australia and Pb – Zn ore deposit of kouh - e -Sorme of Iran.

Due to the similarity in pattern of fluorite and host rock, it can be concluded that remobilization of REE and F occurred.The dissimilarity in normalized patterns of igneous rock, shale,sandstone and fluorite suggest that these rocks can not considered as the source rocks for F. The negative Eu anomaly and positive Ce anomaly, indicate a reduction environment for ore formation.

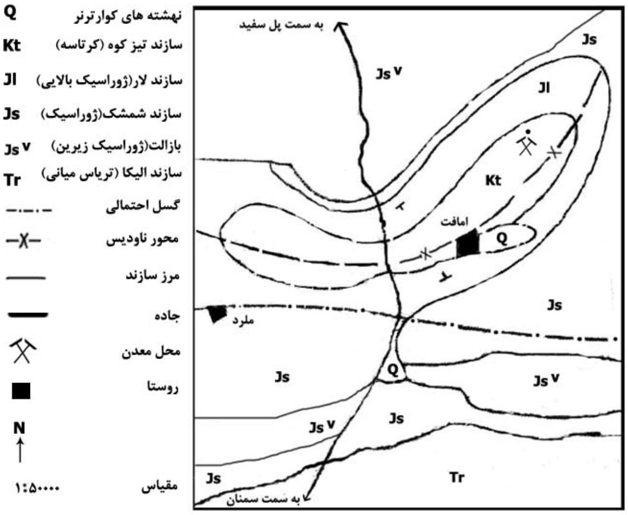
Keywords: Oxygen & Carbon isotopesT, Dolomite, Alteration، REE, Mazandaran, Sawad kouh, Tizkouh Formation، Normalized Pattern، Emaft Fluorite Mine.

مقدمه

در سال‌هاي ا خير استفاده از ايزوتوپ‌هاي پايدار ا كسيژن و كربن براي مطالعه كربنات‌ها از سوي بسياري از پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است .تغيرات اين ايزوتوپ‌ها در كربنات‌ها معلول عوامل متعددي از قبيل دماي محيط، درجه شوري،عمق،تفكيك بيوشيميايي و باز و بسته بودن سيستم(Open and close system) از نظر ايزوتوپي است.افزايش دماي محيط موجب سبك تر شدن ايزوتوپ‌هاي اكسيژن و كربن در كر بنات‌ها ميشود،يعني با نز ديك تر شدن سنگ ميز بان به كانسار به دليل تماس بيشتر سنگ با محلول‌هاي گرمابي،دگرساني در آنها بيشتر صورت مي‌گيرد و ايزوتوپ‌ها سبك تر مي‌شوند. از مطالعه ايزوتوپ‌هاي پايدار ا كسيژن و كربن براي بررسي تغييرات تدريجي، درصد دگرساني، تعيين دما و منشاء سيالات كاني‌سازو اكتشاف كانسار استفاده مي‌شود[۱،۲،۸،۱۸،۱۹].معمولاً براي مطالعه كربناتها از نسبت‌هاي ايزوتوپي ۱۳ C به ۱۲ C و ۱۸ O به ۱٦ O بهره مي‌جويند و نتا يج ا يزوتوپ‌هاي اكسيژن وكربن د رمقابل يكديگر رسم مي‌شوند، زيرا مي‌توان ارتباط بين نمونه‌ها وتغيير ات آنها را به خوبي مشاهده كرد[۱،۲،۱۷]. با استفاده از اين ايزو توپ‌ها، كانسارهاي متعددي مورد بررسي قرار گرفتند كه بعنوان نمونه مي‌توان از معدن قلع



شکل ۱ –موقعیت جغرافیایي معدن امافت [٤]



شکل ۲- نقشه زمین شناسي محدوده معدن امافت [۵].

رنسون (Renison) تاسما نیا در استرالیا و معدن سرب و روي کوه سرمه در استان فارس (ایران) نام برد. مطالعه عناصر نادر خاکي نیز به ابزار ژئو شیمیایي قوي در تعین ژنز کاني‌هاي حاوي عنصر کلسیم تبدیل شده است. زیرا شعاع اتمي این عناصر به شعاع اتمي عنصر کلسیم نزدیك بوده و جا نشیني اتمي بین آنها بخصوص در دو کاني فلوریت و کلسیت صورت مي‌گیرد. چون کانسارهاي فلوریت در محیط‌هاي مختلف زمین شناسي یا فت مي‌شوند، در این مقاله با اندازه گیري این عناصر در کاني فلوریت، در مورد ویژگي‌هاي ژئو شیمیایي و محیط تشکیل کانسار فلوریت البرز مرکزي نیز بحث شده است[۳،۷و۱۰].

زمین شناسي منطقه

معدن فلوریت ا ما فت با طول جغرافیایي ۰۹′ ۵۳″ و عرض جغرا فیایي ۵۸′ ۳۵″ ددر ۲۰ کیلومتري جنوب شرقي پل سفید در شهرستان سواد کوه مازندران قرار دارد(شکل۱). این معدن با ذخیره ي حدود ۲۰ هزار تن و عیار ۹۵ درصد تنها معدن فلوریت در سازند تیزکوه با سن کرتا سه در منطقه سوادکوه مازندران است[٤ .منطقه به لحاظ ساختاري از ناودیس تشکیل گردیده که هسته آن توسط سازند تیز کوه و به سمت بیرون از لار و شمشك ساخته ميشود. رخنمون ا ین سازند در محدوده معدن شامل واحدهاي نازک تا متوسط لایه در پایین و ضخیم تا توده اي در بخش میاني و چند ده متر مارن با میان لایه اي از سیل دیابازي دربخشهاى بالایي ميباشد. شکل (۲) نقشه زمین شناسي منطقه را نشان ميدهد. ناودیس امافت داراي محور شمال شرق – جنوب غرب بوده و حالت خمیده به خود گرفته است. مناطق اطراف محور به شدت خرد گردیده و شکستگي‌هاي فراواني ایجاد شده است[۵]. این فضاهاي خالي توسط محلول‌هاي گرمابي حاوي فلوریت پر گردید شکل رخداد فلوریت صرفا

جدول ۱- نتايج تجزيه ا يزوتوپي ا كسيژن و كربن سنگ ميز بان كربناته رگه فلوريت

درصد دگر ساني	جمع‌ايزوتوپ سنگين‌تر اكيسژن با نمونه‌ها	δ 18O (PDB)	δ 13C (PDB)	شماره نمونه و فاصله تا رگه
19	-2.7	-1.3	-1.5	105، 1متري
23	-4	-2	04	90،2متري
21	-3	-1.7	-1.4	75،3متري
65	-9.4	-8	-0.	60،4متري
56	-8	-6,7	0.3	45،5متري
70	-10.7	-9.3	-0.8	30،6 متري
86	-12.3	-11	-04	۰15،7 متري
88	-12.6	-11.2	-2	1،8 متري

بصورت رگه اي وا پي ژنتيك گزارش شده است[٤و٦].[كاني سازي ا ين معدن با استفاده ازايزوتوپهاي پايداروعنا صرنادر خاكي REEبراي اولين بار ا نجام شده است .

روش مطالعه ايزو توپ‌هاي اكسيژن و كربن

به منظور بررسي ويژگيها ي ا يزوتوپي كانسار فلوريت امافت ا بتدا امتداد رگه اصلي (ترانشه ۳) با مطالعات صحرايي مشخص شده و سپس به كمك كمپاس جهت عمود بر رگه تعيين گرد يد. در اين امتداد (عمود بررگه) به فواصل مساوي (۱۵متر) ۱۳ نمونه برداشت شد .پس از پتروگرافي نمونه‌ها ، ۸ نمونه مناسب تر براي مطا لعه ايزوتوپي ا نتخاب گرد يد جدول (۱) . ليتولوژي شامل گل سنگ(mudstone) بيوميكرا يت و ميكرا يت بوده كه در اثر واكنش با سيال گرما بي دگرسان شده و به دولوميكرا يت تا د لواسپارا يت تبديل گرديده اند.دولوميتها يي كه د ر فاصله دورتري از رگه فلوريت انتخاب شده ا ند ، ريزدا نه تر از دولوميتهاي اطراف رگه فلوريت هستند. درنقا طي از مقطع نازك كه سنگ ميزبان خا لص و همگن‌تربوده، با استفاده از مته دندانپزشكي (Dental drill)) پود ر تهيه گرديدو مقداري از آن جهت تعيين ايزوتوپ اكسيژن و كربن به مركز آزما يشگاهي علوم دانشگاه تاسمانيا د ر كشور استراليا ارسال شد. ۱۵ ميلي گرم از پودر كربنات به مدت ٢٤ ساعت تحت تا ثير اسيد فسفريك در دماي ۵۰ درجه سانتيگراد قرار گرفت و گاز CO_2 متصاعد شده از هر نمونه براي تعيين ايزوتوپ اكسيژن و كر بن با طيف سنج جرمي 602D مورد آزما يش قرار گرفت. دقت اندازه گيري ايزوتوپي ±0/1/00 (۱دهم پرميل)بوده ا ست.

مطا لعه ايزوتوپ‌هاي اكسيژن وكربن

همانطور كه در بخش روش مطالعه گفته شد، ۸ نمونه از سنگ ميز بان دولوميتي اطراف رگه فلوريت انتخاب

گرديد. نتا يج تجزيه ايزوتوپي در جدول(۱) نشان داده شده است. بر طبق اين جدول ايزوتوپ اكسيژن در دولوميت‌هاي منطقه بين 11.2PDB- تا 1.3- در نوسان است. درا ين‌جدول عدد 11.2-مربوط به سبك ترين ا يزوتوپ اكسيژن وعدد 1.3- مربوط به سنگين‌ترين ا يزوتوپ ا كسيژن د ر نمونه‌هاي مورد مطا لعه هستند.ايزوتوپ كربن نيز بين 0.4PDB- تا 2- درتغيير بوده كه اين اعداد به ترتيب مربوط به سنگين ترين و سبك ترين ا يزوتوپ كربن درنمونه‌ها هستند.تغييرات ا يزو توپ اكسيژن در برابر ا يزو توپ كربن د ر شكل ۳ نشان داده شده است. با توجه به اينكه معمولاً سيالات كاني‌ساز در فرآيندهاي هيدروترمالي داراي دماي بيشتري از سنگ ميزبان بوده، بنابراين سيالات كاني‌ساز بر روي سنگ‌هاي اطراف اثر نموده و اين تأثير بصورت سبك تر شدن ايزوتوپ‌هاي پايدار ظاهر مي‌شود. ا گر تغييرات ايزوتوپي اكسيژن و كربن برحسب فاصله از رگه كانسنگ رسم شوند، اين ويژگي‌ها نمايان مي‌شوند شكل‌هاي(٤و٥). چنان‌كه اشكال فوق نشان مي‌دهند يك كاهش تدريجي ايزوتوپ اكسيژن و كربن دركربنا تهاي سنگ ميزبان كانسار فلوريت امافت مشاهده مي‌شود . در واقع هرچه فاصله نمونه‌ها از رگه فلوريت بيشتر مي‌شود، ايزوتوپ‌ها سنگين‌تر مي‌شوند. هما نگونه كه مشاهده مي‌شود شيب خط رگرسيون مربوط به اكسيژن بيشتر از شيب خط ايزو توپ كربن بوده كه در معا دله اين خط نيز منعكس شده ا ست . بنابراين همبستگي بيشتري بين تغيرات ايزوتو پ اكسيژن و فاصله از رگه فلو ريت در مقايسه با ايزو توپ كر بن وجود دارد. علت ا ين است كه نوسا نهاي ايزوتوپ كربن با حرارت بسيار جز يي است. از اين خصوصيت مي‌توان بعنوان ابزار اكتشافي استفاده نمود[۹،۱۸] .

تعيين درصد دگرساني سنگ ميزبان

علاوه بر كاربردهاي فوق ، از تغييرات ا يزوتوپ اكسيژن مي‌توان براي تعيين درصد دگرساني سنگ ميزبان نيز استفاده نمود. براي محاسبه درصد دگرساني كربناتهاي ميزبان بشرح ذيل عمل مي‌شود [۱،۲،۱۷].

۱ – سنگين‌ترين ايزوتوپ اكسيژن مربوط به سنگ ميزبان با كمترين دگرساني (بيشترين فاصله تا رگه) را با سبك‌ترين ايزوتوپ اكسيژن سنگ ميزبان (مجاوررگه) با دگرساني بالا را جمع جبري مي‌كنيم جدول(۱).

جمع جبري سنگين و

سبك‌ترين ايزوتوپ اكسيژن = -11.2 + (-1.3) = -12.6

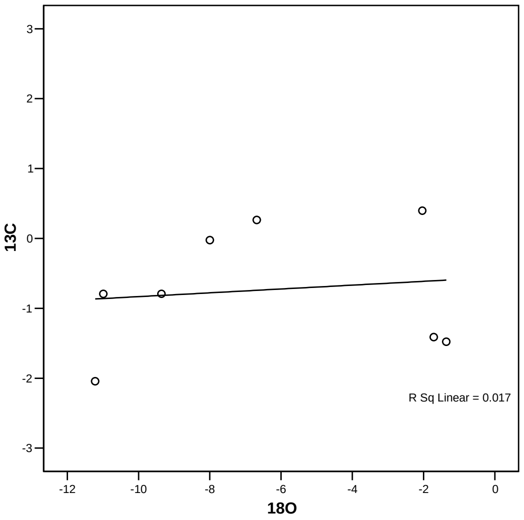
۲ – سنگين‌ترين ايزوتوپ اكسيژن سنگ ميزبان با كمترين دگرساني را با تك تك نمونه‌هاي مورد مطالعه جمع مي‌كنيم (جدول۱).

۳ – مجموع اختلاف بين سنگين‌ترين ايزوتوپ اكسيژن و كربن مربوط به كربنات‌هاي با كمترين و بيشترين دگرساني را حساب مي‌كنيم.

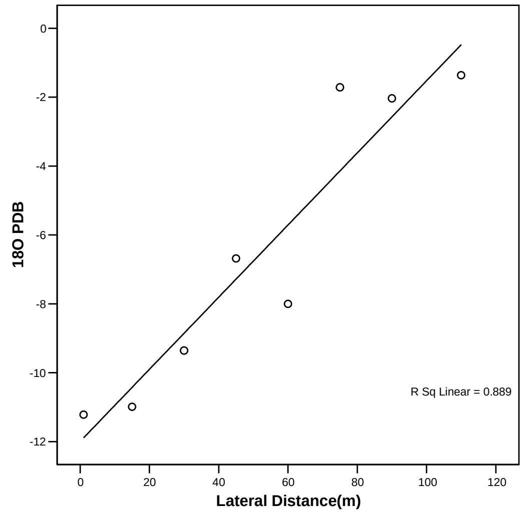
$$- 12.6 + (- 1.6) = - 14.2$$

٤ – نتايج بند ۲ را براي هرنمونه برعدد 14.2- تقسيم مي‌كنيم.

براي بدست آورد ن درصد دگرسا ني هرنمونه كه همان درصد دگرسا ني سنگ ميزبان در محل نمونه روي زمين ا ست، آنها را درعدد ۱۰۰ ضرب مي‌كنيم. درصد د گرساني ايزوتوپ اكسيژن در سنگهاي مورد مطالعه بين ۱۹ تا ۸۸ درصد درنوسان است جدول (۱). حال اگر اين نتايج را بر روي محور عمودي (y) وفاصله نمونه‌ها تا رگه فلوريت را برحسب متر در روي محور افقي(X) نشان دهيم، تغيير درصد دگرساني ايزوتوپ‌هاي اكسيژن هرنمونه و به تناسب آن دگرساني سنگ ميزبان درهر محل



شكل۳- تغييرات ايزوتوپهاي كربن و اكسيژن دولوميت‌هاي منطقه مورد مطالعه



شكل٤- تغييرات ايزوتوپ ا كسيژن در سنگهاي دولوميت‌هاي ميزبان نسبت به مسافت آنها تاكانسار.ايزوتوپ‌هاي سبك‌تر به كانسار نزديك‌ترو ايزوتوپ‌هاي سنگين تردر فاصله دورتري از كانسار قرار دارند.

نسبت به رگه فلوريت مشخص مي‌شود . شكل (٦) همين نتا يج را نشان مي‌دهد.درا ين شكل يك روند كاهش ميزان دگرساني ازسمت رگه فلوريت به خارج آن مشاهده مي‌شود. اگرچه نوسا ناتي درمقدار دگرساني برحسب فاصله از رگه ديده مي‌شود، ولي برآيند كلي كاهش مقدار دگرساني با افزايش فاصله از رگه فلوريت است. هما نطوريكه از شكل(٦)و جدول (۲) پيداست كمتر ين مقدار دگرسا ني(عدد ۱۹) و بيشترين مقدار دگرسا ني (عدد ۸۸) بترتيب مربوط به دورترين و نزديكترين نقطه نسبت به رگه فلوريت مي‌باشند.علاوه بر اين خط رگرسيون حاصله داراي شيب زيادي بوده و نشان مي‌دهد كه با افزايش فا صله از رگه فلوريت، مفدار دگرساني سنگ ميز بان بطور منظم كا هش مي‌يا بد. اين روش براي معادن سرب وروي كوه سرمه زاگرس و معدن قلع رنسون تاسمانيا (استراليا)استفاده گرديد برا ين اساس در صد دگرساني سنگ ميزبان كربناتي در معدن كوه سرمه از ٦/٥ تا ۸۵/۱۸ و براي قلع رنسون از ۲۰ تا ۹۷ درصد محاسبه گرديده است [۲،۱٦] .

دماي تشكيل هاله دگرساني

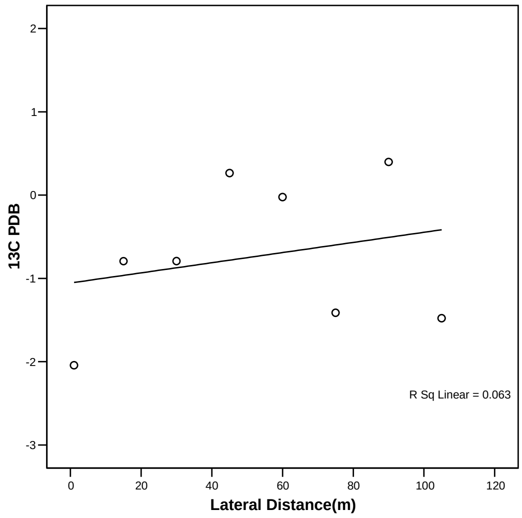
يكي ازكاربردهاي ا يزوتوپ اكسيژن دركربناتها، استفاده از آن به عنوان يك د ماسنج مي‌باشد. اين مسئله درمورد دولوميت‌هاي گرما بي اطراف رگه‌هاي كانساري نيز صادق است[۱،۲،۹] . .براي تعيين د ماي تشكيل دولوميت اطراف رگه‌هاي فلوريت ازمعاد له ٥ يا لند (Land)استفاده شده كه به شرح زير است. [۱،۲،۱۷] .

$$T^0(C) = 16.4 - 4.3\left(\left|\delta^{18}O_{dol} - 3.8\right| - \delta^{18}O_{Water}\right) + 0.14\left(\left[\delta_{18}O - 3.8\right] - \delta^{18}O_{Water}\right)^2$$

$\delta^{18}O_{dol}$ = سبك ترين ايزوتوپ اكسيژن دولوميت اطراف رگه فلوريت

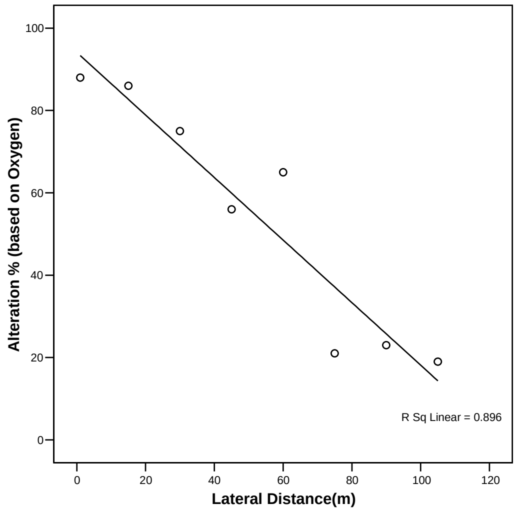
$\delta^{18}O_{Water}$ =ايزوتوپ اكسيژن مربوط به سيالات گرمابي

تركيب ا يزوتوپ اكسيژن مربوط به سيالات گرمايي



شكل۵-:تغييرات ايزوتوپ كربن در سنگهاي دولوميت‌هاي ميزبان نسبت به مسافت آنها تاكانسار.ايزوتوپ‌هاي سبك‌تر به كانسار نزديك‌ترو ايزوتوپ‌هاي سنگين تردر فاصله دورتري از كانسار قرار دارند.

سبك بوده و براي تعيين آن در معادله فوق دو راه وجـود دارد. يك روش بر اساس مقدار ميا نگـين تعـداد زيـادي ا يزوتوپ اكسيژن موجود در ميـا نبارهـاي سـيال كانيهـاي شفاف مثل كوارتز وفلوريت و...منطقه اسـت و روش دوم استفاده از ايزوتوپ اكسيژن آب در ياي اسـت كـه سـنگ ميز بان حاوي كا نسنگ در آن نهـشته شـده اسـت..بـراي معاد له بالا،چون دادهاي مربوط به روش اول در دسـترس نيست، با يد براي حل ايـن معادلـه از روش دوم اسـتفاده نمودومقدار ايزوتوپ اكسيژن درياي كرتاسـه (سـنگ ميـز بان سازند تيزكوه) را در معادله قرار داد. اين مقـدار بـراي درياي كرتاسه‌PDB ۳-تخمين زده شده است[۱،۲،۱۲،۱۷] .از اين روش براي تعين د ماي تشكيل كانـسار سـرب و روي كوه سرمه زا گرس و معدن قلع رنسون تاسـمانيا در استراليا استفاده شده است. چون سنگ ميز بان كانسار كوه سرمه داراي سن پـرمين بوده،ايزوتـوپ اكـسيژن دريـاي پرمين معادل ۸ /۲ – پر ميل در نظر گرفتـه شـده و دمـاي



شكل٦- تغييرات درصد دگرساني ايزوتوپ ا كسيژن در سنگهاي دولوميت‌هاي ميزبان نسبت به مسافت آنها تا كانسار

تشكيل‌ها له دگرسا ني ا ين كانسار بـا اسـتفاده از معادلـه فوق محاسبه گرديده است [۲،۹] .اگر درمعادلـه لنـد بـه جـاي $\delta^{18}O_{dol}$ عـــدد۱۱/۲-وبجـــاي $\delta^{18}O_{Water}$ عـــدد۳- راقراردهيم، عدد ۱۳۹ بدست مـي‌آيـد كـه دمـاي تـشكيل دولوميت دگرساني ا طراف رگه فلوريت را نشان مي‌دهـد .اين عدد به دماي همگن شدگي ميان بارهاي سيال كـاني فلوريـت بـا ميـانگين ۱۵۹ نزديـك اسـت [۵] . دمـاي تشكيل‌ها له دگرساني در معدن سرب وروي كوه سرمه زا گرس حدود ۱۰۰ درجه سانتيگراد بدست آمده كه با دماي حاصل از ميا نبارهاي سيال در كا ني فلوريت همين معدن (۹۰ درجه) نزديك است [۲] . همچنين دماي تـشكيل‌هـا له دگرسا ني در نقاط مختلف معدن قلع رنـسون تاسـمانيا در استراليا به همين روش بين ۲٦۰ تا۳۵۰ درجـه محاسـبه شده كه با دماي حا صل از ميانبارهاي سيال كا ني فلوريت (ميانگين ۳۰۰درجه) مشا به است

جدول ۲- نتايج تجزيه عناصر نادر خاکي گاني فلوريت

امافت	Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	L REE	H REE	REE
ترانشه کردها	6242	0.05	0.42	0.05	0.25	0.07	0.04	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	0.88	0.31	1.19
ترانشه ۱	6218	0.05	3.65	0.35	1.49	0.26	0.07	0.2	0.04	0.23	0.04	0.13	0.05	0.11	0.02	5.87	0.82	6.69
سنگ ميزبان	EM-1	0.05	0.94	0.09	0.43	0.09	0.03	0.07	0.02	0.06	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	1.63	0.34	1.97
سنگ ديابازي داخل امافت	6223	32	72.6	8.02	36.3	5.98	1.8	3.97	0.6	3.51	0.58	1.61	0.21	1.31	0.18	156.7	11.97	168.67
سنگ ديابازي بيرون امافت	EM-3	70	138	11.8	50.2	7.59	2.53	5.48	0.87	5.18	0.9	2.54	0.37	2.39	0.34	280.12	18.07	298.19
فلوريت	NO.3	0.59	0.78	0.09	0.31	0.04	0.02	0.05	0.02	0.03	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	1.83	0.29	2.12
ماسه سنگ	SH-S	46	108	11.5	49.7	8.83	2.38	6.41	1	6.17	1	2.66	0.33	1.96	0.24	226.41	19.77	246.18
شيل	SH-SH	44	96.6	11.1	50.7	9.36	2.95	6.51	1.06	6.23	1.01	2.62	0.34	2.36	0.33	214.71	20.46	235.17

مطالعه عناصر نادر خاکي

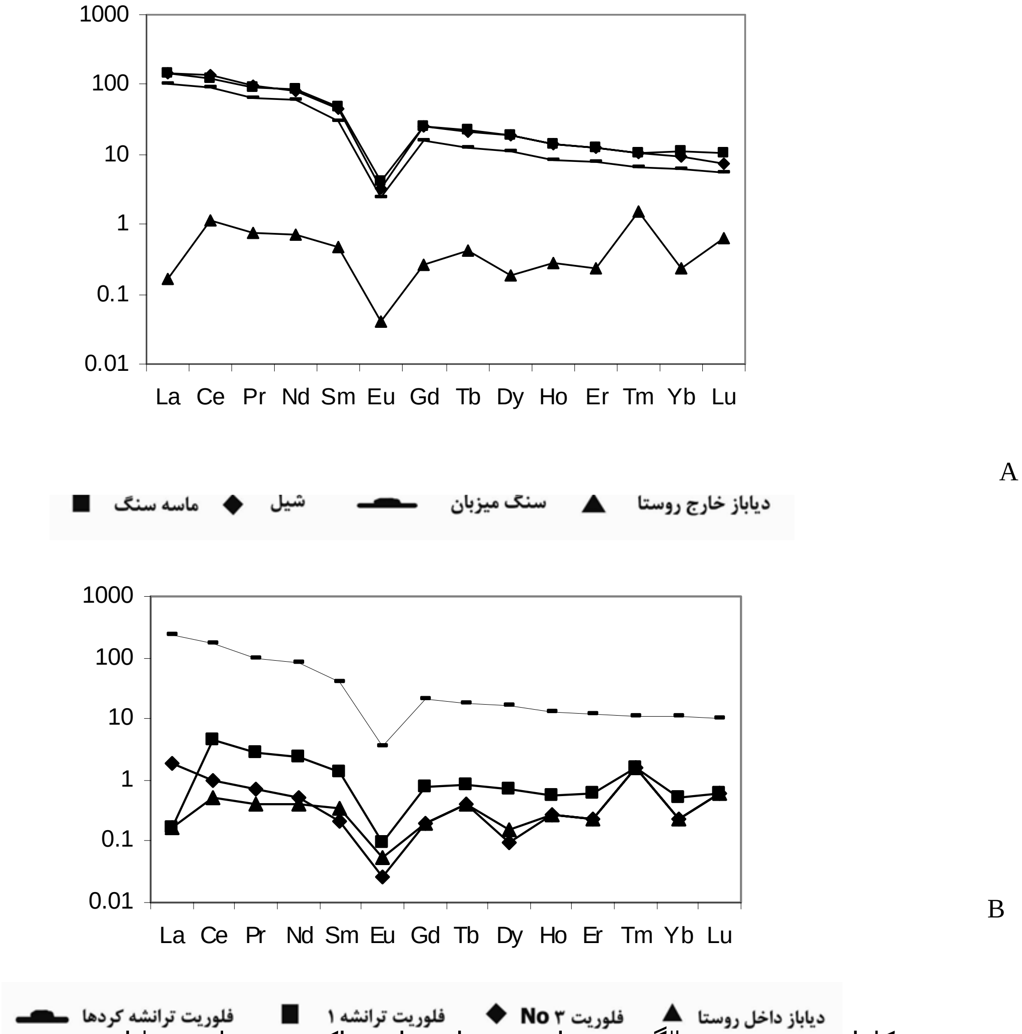
جهت بررسي عناصر نادر خاکي اين کانسار تعداد ۸ نمونه فلوريت، سنگ ميزبان و توده‌هاي ماگمايي و شيل وماسه سنگ سازند شمشک بر داشت شدند. براي حذف آلودگي‌هاي احتمالي در فلوريت، ابتدا آنها با اسيد ۱۰٪ نرمال HCL به مدت ٢٤ ساعت شستشو داده شده و سپس در آون به مدت چند ساعت خشك گرديدند. نمونه‌هاي خالص فلوريت پس از خشك شدن با بينوکولار در زير ميکروسکوپ جدا شدند. نمونه‌هاي انتخابي براي تجزيه عناصر REE به شرکت Amdel در کشور استراليا ارسال گرديد. عناصر مختلف با روش IC3E/M در اين شرکت تجزيه شده‌اند[٢٣] در روش IC3E/M ابتدا نمونه‌ها با استفاده از مخلوط و ترکيب ٤ اسيد هضم (digest) مي‌شوند. در اين روش سيليکاتها بوسيله اسيد هيدروفلوريك منهدم شده و سپس انحلال فلزات به صورت پرکلرايت و کلرايد [perchlorate& chlorides] انجام مي‌شود. عناصر موجود محلول به وسيله ICP-MS اندازه‌گيري شده اند. نتايج تجزيه در جدول ٢ نشان داده شده است. داده‌هاي حاصله براي عناصر نادر خاکي REE نسبت به کندريت‌هاي بوينتون نرماليز و بهنجار شده‌اند[٦]. سپس الگوي بهنجار شده اين عناصر و اشکال به کمك نرم افزار Excel ترسيم شده‌اند.

الگوي تغييرات عناصر نادر خاکي در کانسار امافت

همانطور که در مقدمه گفته شد، کاني فلوريت در اين کانسار در سازند تيزکوه تشکيل گرديده که نسبت به ساير معادن فلوريت شرق البرزمرکزي که در سازند اليکا قرار دارند، جوانتر است. براي بررسي بيشتر و تعيين نقش ساير سازندهاي رسوبي و آذرين از همه آنها نمونه‌برداري به عمل آمده و مورد تجزيه و تحليل قرار گرفتند. از ترانشه‌هاي ۱، ۵ و کارگاه کردها هر کدام يك نمونه، از بخش ماسه سنگي و شيلي سازند شمشك هر کدام يك نمونه و از توده ماگمايي ديابازي اطراف روستاي امافت ۲ نمونه و از سنگ ميزبان فلوريت نيز يك نمونه انتخاب گرديد. نتايج در جدول ۲ و شکل‌هاي ۷ و۸ آمده‌اند. همانگونه که از جدول ۲و شکل‌هاي فوق‌الذکر برمي‌آيد عناصر نادرخاکي در سنگ‌هاي ديابازي منطقه حدود ۳۰۰ برابر نسبت به استاندارد بوينتون غني شده‌اند که با الگوي سنگ‌هاي آذرين با ترکيب متوسط در ساير نقاط جهان سازگار است [۷،۱۵،۲۲] . غني شدگي LREE

نسبت به HREE و يا شيب مثبت الگو كاملاً مشخص است. در سنگ‌هاي حاوي اليوين و پلاژيوكلاز؛ به خاطر شرايط نسبتاً احيايي محيط، Eu+2 با شبكه پلاژيوكلاز سازگار و معمولاً ضريب تفريق بالاي يك داشته و به همين دليل داراي آنومالي مثبت است، اما در اينجا بر عكس بوده و Eu آنومالي منفي نشان مي‌دهد اين موضوع به تجزيه اين سنگ‌ها برمي‌گردد كه شواهد صحرايي و ميكروسكوپي بيانگر تجزيه شديد كاني‌هاي مافيك (اليوين و پلاژيوكلاز) و تبديل آنها به كلسيت، كلريت، كاني‌هاي فلزي و ساير كاني‌هاي ثانويه است،بطوريكه در مقطع نازك اين سنگها، پلاژيوكلاز، اوليوين يا پيروكسن سالم مشاهده نگرديده است. بنابراين عنصر Eu كه معمولاً در پلاژيوكلاز جمع مي‌شود، از سيستم خارج شده و به همين دليل آنومالي آن منفي است [۱۵،۱۹،۲۲] . مقايسه الگوي بهنجار شده نمونه سنگ آذرين خارج روستاي امافت نسبت به نمونه آذرين داخل روستا فقيرشدگي نشان مي‌دهد كه ممكن است بيانگر تفريق در ماگماي سازنده اين توده ديابازي با توجه به عمق تشكيل آنها باشد. زيرا اين نمونه‌ها در ارتفاع مختلف و در فاصله چند صد متري انتخاب شده‌اند. سنگ ميزبان آهك كرتاسه (تيزكوه) از عناصر REE نسبت به بقيه نمونه فقيرتر بوده كه با الگوي جهاني REE اين سنگها تطبيق مي‌نمايد[۱۰] . عنصر Eu در هر سه نمونه از فلوريت داراي آنومالي منفي است. عنصر Tm داراي آنومالي مثبت بوده و Ce نيز آنومالي منفي نشان نمي‌دهد. علاوه بر اين وجود فلوريت‌هاي درشت خوش‌وجه ممكن است يكي از علائم تبلور مجدد و يا ناشي از انحلال و رسوب‌گذاري دوباره فلوريت باشد كه در معدن امافت و يا در زون‌هاي گسلي ساير معادن فلوريت منطقه كم وبيش ديده مي‌شود. اين ويژگي نشان مي‌دهد كه فلوريت‌هاي اين معدن احتمالاً از تحرك مجدد فلوريت‌هاي دياژنتيكي كه در سازند اليكا به صورت عدسي، لايه‌اي يا ژئودي تشكيل گرديده به وجود آمدند[۶،۱۳،۲۰] . با توجه به ستون ساختاري البرز. اولين كوه‌زايي و دگرشكلي شديد، در منطقه البرز پس از سيميرين پيشين (كرتاسه بالايي، پالئوسن) بوده كه سبب انحلال فلوريت و نهشت دوباره آنها در فضاي خالي گرديده است [۸،۹،۱۱،۲۰ و۲۱].

همانگونه كه از شكل مشخص است هيچ‌گونه تشابه معنا داري بين الگوي REE فلوريت‌ها و سنگ‌هاي آذرين يا ماسه‌سنگ و يا شيل‌هاي سازند شمشك وجود ندارد . اين ويژگي مبين آن است كه عناصر REE، از اين سنگها منشا نگرفته اند.به بيان ديگر اين سنگها منشا فلوئور نيستند زيرا نشان داده شده است كه فلوئور نمي تواند از ماسه سنگها منشا بگيرد [۱۴] بر عكس بين آنومالي Eu، Ce، Tm، Dy، Tb و Lu نمونه‌هاي فلوريت و سنگ ميزبان كم و بيش مشابهت وجود دارد. اين وضعيت ممكن است نشان‌دهنده خروج عناصر REE از سنگ ميزبان و اضافه شدن به سيال كاني‌ساز باشد[۱۰] در اين صورت بخشي از فلوريت اين معدن از سنگ ميزبان تامين شده اگرچه احتمالا بيشتر آنها از ذخاير فلوريت اليكا منتقل گرديده است . اين نتيجه‌گيري با مطالعات ايزوتوپ اكسيژن و كربن مطابقت دارد. طبق اين مطالعات با نزديك شدن به رگه فلوريت تركيب ايزوتوپي اكسيژن و كربن سبكتر و با فاصله گرفتن از آن اين تركيب سنگين تر مي‌شود كه مبين خروج عناصر از سنگ ميزبان فلوريت است. علاوه بر اين هيچگونه كاني‌زايي سولفيدي بخصوص گالن حتي به مقدار بسيار كم در اين معدن شناسايي نشده، در حاليكه نشان داده شده كه اگر سيال كاني‌زا از شيل و ماسه سنگ سازند شمشك تاثير پذيرفته



شكلهاي ۷(A) و۸ (B) - الگوی بهنجار شده عناصر نادر خاکی معدن فلوريت امافت

باشد، بايد مانند بعضي معادن منطقه (كمريشت و اراء) يا ساير نقاط جهان حاوي گالن در حد زياد باشد [٦،١٤] . پس مي‌توان نتيجه گرفت كه تحرك مجدد عنصر فلوئور از نهشته فلوريت در سازند اليكا صورت گرفته است. اگرچه چنين استنباطي نياز به تجزيه شيميايي بيشتري از كليه سازندها در محدوده همه معادن دارد اما در چهارچوب داده‌هاي موجود اين نتيجه‌گيري منطقي به نظر مي‌رسد. چنين مكانيسمي براي تشكيل كانسار فلوريت (Mato preto) با سن كرتا سه پيشنهاد شده كه از تحرك مجدد كانسارهاي فلوريت (Mato Dentro,Volta Grande ,Braz) با سن پروتروزوئيك بوجود آمده است [٢١] . نظر به ا ينكه براساس جدول ٢ LREE بيشتر از HREE در معدن امافت بوده، مي‌توان نتيجه گرفت كه سيال هيدروترمال از منشاء خود خيلي دور نشده است [١١،١٣] . شواهد صحرايي نيز مبين اين موضوع مي‌باشند، زيرا در جنوب شرق اين معدن لايه‌هاي بالايي اليكا حاوي فلوريت در فاصله ٣٠٠ متري از آن در دره كنگلو واقع شده‌اند(شكل ٢) و اين با فرض منشاء عنصر فلوئور از لايه‌هاي بالايي اليكا تطابق دارد.

نتيجه گيري

نتايج ا ين تحقيق نشان مي‌دهد كه تغييرات ا يزوتوپ‌هاي اكسيژن و كربن در نمونه‌هاي دولوميتي نزديك به كا نسار فلوريت زياد بوده بطوريكه با نزديك شدن به كانسار ا يزوتوپها سبك تر و با دور شدن از كا نسار سنگين تر ميشوند. .كاهش تدريجي ا يزوتوپ‌هاي اكسيژن وكربن و افزايش درصد دگرساني در سنگ‌هاي دولوميتي نزديك به كا نسار حاكي از دگرساني اين سنگ‌ها در ا ثر محلول‌هاي گرمايي است. شدت دگرساني در ا ين سنگ‌ها با نزديك شدن به كانسار افزا يش وبا دور شدن از آن كا هش مي‌يابد. محاسبه دما از دوروش ميانبار سيال وايزوتوپ اكسيژن بهم نزديك بوده و نشان مي‌دهند كه ا ين كا نسار در دماي كم تا متوسط تشكيل شده است. با توجه به هزينه‌هاي كمتر، دقت بالا وتجزيه سريع، اين نتايج مي‌تواند دراكتشاف كانسارهاي فلوريت (سرب و روي باريت) بكارآيد. ا حتمالا سنگ‌هاي آذرين،.شيلها وماسه سنگهاي سازند شمشك منطقه نقشي در تامين عناصر نادر خاكي وعنصر فلوئور نداشته اند .بخش اصلي فلوريت‌ها ي اين معدن از انحلال و انتقال فلوريت‌هاي رسوبي –دياژنتيكي سازند اليكا منشاء گرفته ا ند.محيط ته نشست فلوريت احيايي بوده كه توسط آنو ما لي منفي Eu و آنو مالي مثبتCe تاييد مي‌شود[۳،۷،۱۰]. سنگ ميز بان آهكي كانسار در تامين بخشي از فلوريت و عنا صر نادر خاكي همراه اين معدن نقش داشته است .

سپاسگزاري

بدينوسيله از داوران محترم مقاله به خاطر ارائه پيشنهادات سازنده صميمانه تشكر و قدر داني مي‌شود.

منابع

۱.آدابي، م . ح. ژئوشيمي رسوبي، انتشارات مركز پژوهشي آرين زمين، ٤٤٨صفحه، ١٣٨٤

۲.پوستي، م . مطالعه روند تغييرات ژئوشيميايي در سنگ‌هاي دولوميتي نزديك به كانسار كوه سورمه (استان فارس)، نشريه دانشكده علوم زمين، دانشگاه شهيد بهشتي.-شماره ۱۰،صفحات ۱۹-۲۶، ۱۳۸٤

۳ .قادري، م .، فردين‌دوست، ز، جيسون ه مطالعه عناصر خاكي نادر در شئليت هاي ذخاير تنگستن جنوب غرب آستانه اراك، مجله بلورشناسي و كاني‌شناسي ايران، سال سيزدهم، شماره ۱ صفحات۴۲-۳۰. ۱۳۸۴

۴. برسان، ي ومسعودي، م. گزارش اكتشاف نيمه تفصيلي معدن امافت، شركت مازند فلورين ۱۱۲صفحه،۱۳۷۸

۵. نبوي،م. نقشه ز مين شناسي ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش سمنان، سازمان زمين شنا سي و اكتشافات معدني ايران،۱۳۶۶

۶. وهاب زاده، ق ، خاكزاد، ا ، رسا، ا و موسوي،م . كاني زايي فلوريت در سازند تيز كوه با نگرش ويژه به ميانبار سيال دانشگاه تربيت مدرس، دهمين همايش انجمن زمين شناسي ايران صفحات۷۹- ۷۲، ۱۳۸۵

۷.يعقوب‌پور، ع . كاني هاي خاكهاي كمياب، مركز نشر دانشگاهي۴۱۲ صفحه،۱۳۸۱

8 . T,F., Anderson. and M. A., Arthour, Stable isotopes of Oxygen and their application to sedimentology and paleoenvironmental problems. SEPM Short course, No. 10 . P. 101-151; (1983).

9. R.G., Barns, Geochemistry of hydrothermal ore deposits (Chapter 6 Oxygen and Hydrogen Isotope Relationships in Hydrothermal Mineral Deposits). John Wil ey Pub.P.229-303; (2000).

10. Bau. M.Romer .R.L.luders. V., Tracing element sources of hydrothermal mineral deposits ; REE distribution and Sr-N D-pb isotopes in fluorite from MVTdeposits in the pennine ore field. England. Mineralium. Deposit, V. 38,P.992-1008 (2003)

11.Bellanca. Disalvo. D. neri . R.and schly . F., REE and minor element distribution and petrographic features of fluorite and associated mesozoic limestone of north western sicily. Chem.. Geol.V.79.P.97-117,(1981).

12.Coplen T.B. Kendall C. and Hopple J .,Comparison of stable isotope reference standards. Nature.V. 302,P.236-238. (1983)

13. Ellmies, R., K., Germann, m.t. krupenin. P.Moller and Echtler., The fluprite-Sellate deposits of suram. Bashkir meganticline, Urals. P.1203-1205 in Stanley et al, ed, Mineral Deposits: Processes to processing, Rotterdam, Balkana, (1999)

14.Everett.C.E,.Rye.C.E and Ellam.R..M.,Source or sink?An assessment of the role the old red sa nd stone in the genesis of the Irish Zn-Pb deposits.Econ.Geol.V,98. P.31-50,(2003)

15. Fleisher;M.,The lanthanide elements in fluorite. Indian mineralogist V. 10,P.36-39,(1969).

16.Kitto,P.A., Structural and geochemical controls on mineralization at Renison, Tasmania: Unpub. Ph.D. thesis,Univ.Tasmania,484P. (1992).

17. L.S., Land. Comment on Oxygen and Carbon isotopic composition of Ordovician brachiopods. Implications for coeval seawater by Qing. H. and veizer, T, Geochim. Cosmochim. Acta V. 59. P. 2843-2844; (1995).

18. G , A., Paraja, and Friehauf.F Conditions determining the utility Oxygen isotopes as an exploration tool for carbonate – hosted deposits , presented at pathways /98/vancover , BC , January 27 – 30; (1998).

19. H., Rolinson, Using geochemical data. (data. Evaluation, presentation, interpretation Longman group, 410P; (1993).

20. L.H., Ronchi, J-C., Touray, A., Michard, and M.Al, Dar denne The Ribeira Fluorite district, southern Brazil Mineral. Deposita,V 28,P. 240-252; (1993).

21. r.V.,Santos, M.A., Dardenne, and C.G., Oliveira, Rare earth elements geochemistry of fluorite from the mato-preto carbonatite complex,southern Brazil) Revista Brasileira de Geociencias V.26, P.81-86; (1996)

22. A., Sasmas, F., Yaruz. and Akgul, Geochemical Patterns of the Akdagmadeni (Turkey) fluorite deposits and implications, J. A. E. sience. V.274,P 469-479; (2005) .

.23.WWW.amdel.com