

# بررسی منشأ منیزیت افضل آباد، چاه خو و ترشک محمدی (خاور بیرجند) با استفاده از اطلاعات زمین شیمی عنصری و

## ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن

نوشته: دکتر محمد حسن کریمپور\*، دکتر محمد حسین آدابی\*\* و آزاده ملک‌زاده شفارودی\*

### Genesis of Afzalabad, Torshak Mohammadi, and Chah Khoo Magnesite Deposits (East of Birjand) based on Elemental and Oxygen and Carbon Isotopic Studies

By: Dr. M.H. Karimpour\*, Dr. M.H. Adabi\*\* & A. Malekzadeh-shafaroudi\*

#### چکیده

بیشتر معادن منیزیت ایران، در جنوب خاور شهرستان بیرجند واقع شده‌اند. معادن ترشک محمدی، چاه خو و افضل آباد که معرف معادن منیزیت منطقه هستند، از نظر زمین شناسی، زمین شیمی (عناصر اصلی، عناصر جزئی و ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن) مورد مطالعه قرار گرفتند. کانی سازی منیزیت در خاور ایران در زونهای گسلی واقع در مجموعه افیولیت کرتاسه و فلیش‌های کرتاسه-ائوسن تشکیل شده است. کانی سازی منیزیت به حالت رگه‌ای، عدسی و جریان با حالت لایه‌ای یافت می‌شود. بافت از نوع نهران بلورین با شکست صدفی است. گسل‌های مهم که در آنها منیزیت تشکیل شده است، عبارتند از: گسل نهبندان و گسل باختر و خاور نه. گسل نهبندان با شیب نزدیک به قائم و عمق زیاد و با سازوکار چیره امتداد لغز راست گرد، دارای روند کلی شمالی- جنوبی و شاخه‌های فرعی زیاد، بویژه در بخش‌های شمال باختر، جنوب خاور، خاور، شمال خاور است.

مقدار Na منیزیت، با نوع سنگ کمر پایین زون گسلی رابطه مستقیم دارد. در افضل آباد شمالی، به دلیل حضور فلیش، میزان Na از دیگر مناطق بیشتر و از ۲۵۲ تا ۱۶۷۹ ppm متغیر است. میزان Na منیزیت افضل آباد جنوبی، نسبتاً کمتر از دیگر معادن و بین ۲۱ تا ۲۵۷ ppm است. کانی هونتیت دارای بیشترین میزان Na، بین ۳۰۴۶ تا ۳۴۸۶ ppm است. کمترین میزان Sr در منیزیت‌های معادن چاه خو (Sr = ۰-۵۲ ppm) افضل آباد جنوبی (Sr = ۲-۸ ppm) و بیشترین میزان Sr در منیزیت‌های ترشک محمدی و افضل آباد شمالی (Sr = ۳۵-۲۱۱ ppm) است. کمترین میزان Mn و Fe در منیزیت‌های ترشک محمدی و افضل آباد شمالی و بیشترین مقدار آن در معادن افضل آباد جنوبی و چاه خو اندازه‌گیری شده است. میزان Mn هونتیت از منیزیت بیشتر است (Mn = ۴۲-۵۸ ppm).

ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت معادن افضل آباد، چاه خو و ترشک با منیزیت‌های تشکیل شده در کمر بند افیولیتی آلپ در معادن ترکیه، یونان، یوگسلاوی، اتریش و کالیفرنیا مقایسه شده‌اند. ایزوتوپ‌های کربن منیزیت معادن ترکیه، یونان، یوگسلاوی، اتریش و کالیفرنیا معادل  $(\delta^{13}\text{C} \text{ (PDB)} = -17 \text{ تا } -6)$  و اکسیژن  $(\delta^{18}\text{O} \text{ (SMOW)} = 23 \text{ تا } 27)$  و در یک محدوده یکسان رسم شده‌اند، در صورتی که معادن مطالعه شده در محدوده‌ای کاملاً متفاوت قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه ایزوتوپ‌های کربن منیزیت‌های مورد مطالعه از ۱/۸ تا ۸٪ و ایزوتوپ‌های اکسیژن از ۲۹/۷ تا ۳۶ متغیر است، منشأ آب از نوع آب‌های جوی، و CO<sub>2</sub> بیشتر منشأ اتمسفری داشته است.

**کلید واژه‌ها:** منیزیت، ایران، ایزوتوپ‌های کربن - اکسیژن، افضل آباد، ترشک محمدی و چاه‌خو

#### Abstract

Iran magnesite deposits are mainly discovered in eastern city of Birjand. Afzalabad, Torshak Mohammadi, and Chah khoo Magnesite deposits were studied with respect to major, trace elements and C-O isotopes. Magnesite are found mainly

within ophiolite. They form as vein and lenses. Magnesite mineralization is associated mainly with Nehbandan and Neh fault systems. Nehbandan fault is very steep and also is very deep.

North Afzalabad magnesite has the highest Na- content (259-1670 ppm) and this is the result of flysch found in the footwall. South Afzalabad has the lowest Na-content (12 to 275 ppm) because there is no flysch type rocks in the area. Huntite has the highest Na-content ranging from 3046 to 3486 ppm. The lowest Sr found in South Afzalabad (2-8 ppm) and Chah Khoo (0-50 ppm). The highest Sr content (35-211 ppm) found in Turshak Mohammadi and North-Afzalabad deposits. The highest Mn and Fe found at Chah Khoo and North Afzalabad deposits and the lowest Mn and Fe is associated within Torshak Mohammadi and south Afzalabad deposits. Huntite has the highest Mn and Fe content.

C-O isotopic composition of magnesite from Torshak Mohammadi, Afzalabad and Chah Khoo were compared with magnesite deposits associated within Alpine ophiolite belt discovered in Turkey, Greece, Yugoslavia, Austria, and California. The C-O isotopic composition of Alpine ophiolite are  $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})} = 23-27\%$ , and  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})} = -17$  to  $-6\%$  and all of them plot in the same region, but Afzalabad, Torshak Mohammadi and Chah Khoo plot in different field. The  $\delta^{18}\text{O}\%$  values of magnesite deposits in Eastern Iran ranging from 31-36 (‰ SMOW) and  $\delta^{13}\text{C}$  ranging is between 1.8 – 8 (‰ PDB). The  $\text{CO}_2$  had atmospheric origin and the  $\text{H}_2\text{O}$  have meteoric origin.

**Keywords:** Magnesite, Iran, C-O isotope, Afzalabad, Torshak Mohammadi, Chah Khoo.

#### مقدمه

مهم ترین کانی منیزیم دار با ارزش اقتصادی، منیزیت (کربنات منیزیم) است. منیزیت در صورت خالص بودن، دارای ۴۷/۸ درصد MgO و ۵۲/۲ درصد CaO است. بیش از ۸۵ درصد منیزیت دنیا به مصرف دیرگدازها می رسد. منیزیت خالص، در دمای  $1450^\circ\text{C}$  به پریکلاز (MgO) تبدیل می شود. دمای ذوب پریکلاز نسبتاً بالا و  $2570^\circ\text{C}$  است. با استفاده از پریکلاز، انواع آجرهای منیزیتی ساخته می شود. کانی منیزیت به دلیل کاربرد ویژه در صنایع ذوب فلز، به عنوان یک ماده راهبردی مطرح است. استان خراسان با ۱۸ معدن فعال منیزیت و با ذخیره بیش از ۳ میلیون تن، بخش اعظم منابع منیزیت ایران را دربر می گیرد (آمار معادن استان خراسان، ۱۳۸۱).

منیزیت در طبیعت در شرایط مختلف تشکیل می شود (Moller, 1989):

۱- به صورت رگه ای، استوک ورک و عدسی در افیولیت ها: این نوع منیزیت دارای بافت نهان بلورین با شکست صدفی بوده و در زونهای گسلی واقع در مجموعه سنگ های افیولیتی (دونیت، پریدوتیت و سرپانتینیت) تشکیل می شوند. مهم ترین ذخایر شناخته شده در کمربند افیولیتی آلپ، در کشورهای ترکیه، یونان، یوگسلاوی، اتریش و کالیفرنیا هستند.

۲- منیزیت به صورت درشت بلور (اسپاری): این نوع منیزیت به همراه سنگ های آهنکی دولومیتی، شیل های سیاه تا خاکستری و در ماسه سنگ به شکلهای عدسی و لایه ای یافت می شود.

۳- منیزیت رسوبی دانه ریز در مناطق شورابه ها (سابخا).

۴- به حالت دگرگونی در شرایط متاسوماتیسم سنگ های دولومیتی.

در افیولیت های خاور ایران، لیستونیت ها نیز گسترش بیشتری دارند. نخستین بار Rose (1842) واژه لیستونیت را به مجموعه ای اساساً مرکب از

کربنات (منیزیت یا آنکریت)، کوارتز و فوکسایت به همراه پیریت پراکنده و تعدادی کانی فرعی نسبت داد که در اثر دگرسانی سنگهای اولترامافیک و مافییک به وجود آمده اند (Hall & Zhao, 1995).

درباره تقسیم بندی لیستونیت ها و شیوه تشکیل آنها، مطالعاتی توسط دانشمندان روسی از جمله (Efermov, Lodochinkov (1936), Shcherban, Kashkai et al (1975), Bok (1936), (1952), Barnes), Goncharenko (1973), & Borovikova (1970), Kuleshcovich), Abovian (1978), Sazanov (1975), (1973), Antonovic and Vaskovic, Spiridonov (1984), (1984), (1992) انجام شده است. این موضوع در سالهای اخیر، مورد توجه و پژوهش بسیاری از زمین شناسان دیگر نقاط دنیا قرار گرفته است)

از جمله (Tuysuz & Aydal (1990), Ash & Arksey (1990), (Ucurum (1996), Erler (1993), Hall & Zhao (1993).

مهم ترین لیستونیت ها عبارتند از: ۱) نوع کربناتی که دارای منیزیت، دولومیت، آنکریت و کلسیت است، ۲) نوع سیلیسی که عمدتاً دارای کوارتز است، ۳) نوع سیلیسی - کربناتی، دارای کوارتز و کانی های کربناتی، ۴) نوع میکادار و ۵) نوع آهن دار.

مطالعات زرین کوب (۱۳۷۲) بر روی لیستونیت های جنوب خراسان، شیوه تشکیل لیستونیت های خاور ایران را که منیزیت ها نیز بخشی از این مجموعه هستند، مرتبط با واکنشهای آبرایی دگرگونی ناحیه ای حادث شده در منطقه می داند. از آنجا که این پیشنهاد، بدون در دست داشتن اطلاعات ایزوتوپی بوده است، بنابراین نمی تواند پاسخی مناسبی برای تشکیل آنها باشد.

#### کانی سازی منیزیت در خاور ایران

کانی سازی منیزیت در خاور ایران در زونهای گسلی واقع در مجموعه افیولیت های کرتاسه و فلیش های کرتاسه - ائوسن تشکیل شده است که به

- ۴- سنگهای اطراف زون کانی سازی دگرسان شده اند
- ۵- در بخش بالایی، کلاهیک آهنی دیده می شود
- ۶- در مناطقی که سنگهای کربناتی وجود داشته، در نزدیک سطح زمین کانی هونتیت (گل سفید) تحت تأثیر هوازدگی تشکیل گردیده است
- ۷- گسل های عمیق امتداد لغز نقش مهمی در تشکیل آن داشته اند.

### روش مطالعه

از مجموع معادن منیزیت جنوب خراسان، سه معدن افضل آباد شمالی - جنوبی، معدن چاه خو و معدن ترشک محمدی، مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه هایی از بخش های مختلف این معادن، برداشت شده و برای تجزیه عنصری و ایزوتوپی به آزمایشگاه مرکزی علوم (CSL) دانشگاه تاسمانیا در استرالیا ارسال شد.

برای تجزیه عنصری، ۰/۱۲۵ گرم از پودر نمونه ها در محلول ۱ مول اسید کلریدریک به مدت ۲ ساعت قرار داده شد و سپس توسط دستگاه جذب اتمی Varian AA6، عناصر Fe, Mn, Na, Sr, Mg, Ca مورد تجزیه قرار گرفته است. دقت تجزیه ها برای عناصر Fe, Mn, Na, Sr معادل ppm  $\pm 5$  و برای Mg و Ca معادل  $\pm 1\%$  بوده است. برای بالا بردن دقت اندازه گیری، از استانداردهای GFS 400 و NBS 88b استفاده شده است. برای تجزیه های ایزوتوپی، ۱۵ میلی گرم از پودر نمونه های منیزیت به مدت ۲۴ ساعت تحت تأثیر اسید فسفریک ۱۰۰ درصد و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت و گاز  $CO_2$  متصاعد شده از هر نمونه به کمک دستگاه طیف سنج جرمی (Micromass, 602D) اندازه گیری شد. خطای اندازه گیری ایزوتوپی  $\pm 0.1\%$  بوده است.

ترکیب ایزوتوپی اکسیژن و کربن نمونه، به صورت  $\delta$  و بر حسب در هزار (Per mil) بیان می شود. ایزوتوپ کربن نسبت به استاندارد مرجع PDB (Pee Dee Blemlite) و ایزوتوپ اکسیژن بر حسب استاندارد میانگین آب اقیانوس (SMOW) سنجیده شده است.

### زمین شناسی

**معدن افضل آباد:** این کانسار در طول جغرافیایی  $60^\circ$  درجه و  $17'$  دقیقه خاوری و عرض جغرافیایی  $31^\circ$  درجه و  $52'$  دقیقه شمالی و در فاصله  $195$  کیلومتری جنوب باختری سریشه قرار دارد.  $160$  کیلومتر از این مسیر، جاده آسفالت سریشه - زاهدان تا روستای شوسف، و  $35$  کیلومتر باقیمانده جاده خاکی است که از شوسف به طرف خاور جدا می شود. این معدن به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می شود:

**الف) افضل آباد جنوبی:** این کانسار تیپ رگه ای بوده و در شکستگی های حاصل از زمین ساخت در سنگهای اولترابازیک و در

آن زون سیستان نیز گفته می شود. زون سیستان بین دو بلوک لوت و بلوک افغان واقع شده است (شکل ۱). مرز خاوری زون سیستان، با گسل هریرود که تقریباً بر مرز جغرافیایی کشورهای همسایه (افغانستان و پاکستان) منطبق است، و مرز باختری آن توسط گسل نهندان مشخص می شود (شکل ۱). مرز جنوبی زون سیستان با گسل بشاگرد، از زون مکران جدا می شود. زون سیستان حدود  $800$  کیلومتر طول و  $200$  کیلومتر عرض دارد. زون سیستان شامل دو کمپلکس ریتوک و نه است (شکل ۲) (Tirrul et al., 1983). کمپلکس ریتوک شامل مجموعه ای از بلوک های افیولیتی (بیشتر به صورت آمیزه) که دارای رخساره دگرگونی شیب آبی هستند، تشکیل شده است. کمپلکس نه افزون بر افیولیت، دارای رسوبات رخساره فلیشی با سن کرتاسه تا ائوسن و با درجه دگرگونی پایین است. حوضه سفید آبه در بخش میانی کمپلکس ریتوک و نه قرار گرفته است. حوضه سفید آبه، ویژگی های پیش کمانی دارد و از سنگهای آواری و سنگ آهک های با ژرفای زیاد و کم تشکیل شده است. سنگهای آتشفشانی و نفوذی حد واسط تا اسیدی کلسیمی - قلیایی، در بخش حاشیه خاوری حوضه سفید آبه رخنمون دارد. کافتش خاور ایران در کرتاسه بالایی متوقف (Tirrul et al., 1983)، و همگرایی بین صفحه لوت و هیلمند (افغانستان) موجب تشکیل زون فروانش در خاور ایران شده است. گسل نهندان در مرز بلوک لوت و زون ساختاری سیستان واقع شده است. این گسل با سازوکار چیره امتداد لغز راست گرد، دارای روند کلی شمالی - جنوبی و سرشاخه های فرعی زیاد بویژه در بخشهای شمال باختر، جنوب خاور، خاور، شمال خاور است (Tirrul et al., 1983). گسل نهندان در یک پهنه برشی که گاه تمام ایالت ساختاری سیستان را در برمی گیرد، واقع شده است (Tirrul et al., 1983). پس از کرتاسه بالایی در اثر همگرایی بلوک های لوت و افغان، مجموعه ای از سنگهای پوسته اقیانوسی (افیولیت ها)، رسوبات پلاژیک، رخساره های فلیشی، مجموعه سنگهای آتشفشانی و نفوذی، رخساره مولاس و نهشته های تبخیری تشکیل زون سیستان را داده اند. بخشهای مختلف پوسته اقیانوس در طول زون های راندگی حالت عمدتاً نواری دارند و از محدوده ایرانشهر تا قائن ادامه دارند. فلیش های کرتاسه - ائوسن با درجه دگرگونی پایین در زونهای راندگی در بین افیولیت ها قرار دارند. کانی سازی منیزیت در زونهای گسلی متمرکز شده است.

ویژگی های مهم منیزیت های خاور ایران عبارتند از:

۱- در زونهای گسلی واقع در افیولیت ها تشکیل شده اند

۲- بافت نهان بلورین با شکست صدفی دارند

۳- عمدتاً حالت رگه ای و گاه عدسی و گاهی جریان دارند

مهم‌ترین رخساره سنگی، سنگهای سری اولترابازی و افی کالک سیلیکات‌ها است که سن کرتاسه دارند. از نظر زمین ساختی، محدوده کانسار منیزیت ترشک محمدی به وسیله خطوط زمین ساختی عمده‌ای مانند گسل خاور نهندان در خاور کانسار و گسل کوه سفید در قسمت باختری کانسار محدود می‌شود. امتداد گسل خاور نهندان، شمال باختر- جنوب خاور بوده و امتداد گسل کوه سفید در این محل شمال خاور- جنوب باختر است. این دو گسل به هم متصل شده و گسل واحد کوه سفید را تشکیل می‌دهند. گسل‌های کوچک دیگری که تقریباً هم‌رند با روند گسل‌های اصلی است نیز در منطقه وجود دارد. سامانه گسلی منطقه، از یک روند کلی شمال باختر- جنوب خاور پیروی می‌کند.

منیزیت ترشک محمدی در مساحت حدود ۲۰ هکتار و به صورت سطحی و عدسی بر روی فلیش‌های چین خورده و اندکی فیلیتی شده ائوسن قرار گرفته است. محدوده پر عیار سنگ منیزیت در این کانسار، در قسمت مرکزی در ابعادی به طول ۸۰ متر در جهت شمال خاور- جنوب باختر و عرض ۲۰ تا ۲۵ متر در جهت شمال باختر- جنوب خاور بین دو آبراهه خاور و باختر کانسار واقع شده است (شکل ۴). این کانسار به طور کلی ۲۵۰ متر عرض و ۸۰۰ متر طول دارد.

این معدن از نظر عیار به ۲ بخش تقسیم می‌شود: ۱- منیزیت‌های پر عیار با ذخیره حدود ۲۶۰۰۰ تن با عیار  $\text{MgO} = 94\%$  بدون آهن و درصد اکسیدهای سیلیس و آهن کمتر از ۲٪  
۲- منیزیت‌های با عیار ۹۲ تا ۹۰٪ که سیلیس و آهن آن حدود ۴ تا ۴/۵٪ و مقدار آهن بسیار ناچیز و ذخیره این قسمت ۵۴۰۰۰ تن است (اقبالی زارج و دیگران، ۱۳۷۹).

**معدن منیزیت چاه خو:** معدن منیزیت چاه خو در ۱۲۳ کیلومتری جنوب خاوری بیرجند واقع شده است. برای دسترسی به این معدن، باید در مسیر آسفالت بیرجند به زاهدان، ۸۵ کیلومتر را طی کرد، سپس ۳۶ کیلومتر مسیر خاکی روستای چاه خو، و دو کیلومتر راه اختصاصی معدن را پیمود. معدن چاه خو در امتداد گسل نه خاوری قرار داشته و ماده معدنی منیزیت به صورت رگه‌ای و عمدتاً در امتداد شکستگی‌ها تشکیل شده است (شکل ۵). منیزیت به صورت رگه‌های طولی در منطقه دیده می‌شود که ستبرایی متغیر دارند. طول رگه تا حدود ۳ کیلومتر برآورد می‌شود و سه رگه منیزیتی تقریباً موازی وجود دارد. ستبرای هر رگه، حدود یک متر بوده که به فاصله ۲ تا ۲ متر، به وسیله سنگ‌های سرپانتینی از هم جدا شده‌اند. عیار آن نسبتاً بالا و بین ۸۸ تا ۹۲ درصد است. فعالیت‌های بعدی گسل، موجب برشی شدن منیزیت شده و محلول‌های غنی از آهن و

همبری فلیش باسنگ‌های اولترابازی تشکیل شده است. واحدهای سنگی در محدوده کانسار منیزیت افضل آباد جنوبی از قدیم به جدید از واحدهای سنگی اولترابازیک شامل پریدوتیت‌ها، سرپانتیت‌ها، و سنگ‌های افی کرنات تشکیل شده‌اند (شکل ۳). خطوط اصلی زمین ساختی در محدوده این کانسار، ادامه گسل خاور نهندان است که دارای شیبی بین ۷۰ تا ۸۰ درجه و امتداد شمالی- جنوبی است و جهت شیب گسل به طور محلی تغییر می‌کند. روند تشکیل کانسار منیزیت، در امتداد همین گسل اصلی است. در دو طرف سنگهای اولترابازیک، خطوط گسلی وجود دارد که سنگهای اولترابازیک را در برمی‌گیرد و حد بین سنگ‌های اولترابازیک با سنگهای مجاور، گسلی است. سیستم گسلی دیگری در این محدوده وجود دارد که به صورت جانبی عمل کرده و امتداد آنها در جهت خاوری- باختری است و به کانسار، حالت نردبانی می‌دهد. طول رگه منیزیت اصلی، به طور ناپوسته یک کیلومتر است. ستبرای رگه منیزیت در این کانسار از چند سانتی‌متر تا ۸ متر تغییر می‌کند و دارای بافت نهران بلورین با شکست صدفی است. سنگ‌های اطراف زون کانی‌سازی، دگرسان شده‌اند. در بخش بالایی، کلاهیک آهنی مشاهده می‌شود. از نظر عیار، افضل آباد جنوبی دارای دو تیپ ذخیره است:

۱- ۳۵۰۰ تن منیزیت با عیار  $\text{MgO} = 92-90\%$ ،  $\text{SiO}_2 = 5-3/5\%$ ،  $\text{CaO} \leq 1\%$  و آهن حدود ۱/۵٪  
۲- ۴۵۰۰ تن منیزیت با عیار  $\text{MgO} = 88\%$  و  $\text{SiO}_2 = 2-1/5\%$  آهن و  $\text{CaO} \leq 2\%$  (اقبالی زارج و دیگران، ۱۳۷۹).

**افضل آباد شمالی:** این کانسار را می‌توان به زون پر عیار (اکسید منیزیم پس از تکلیس نمونه‌ها بیشتر از ۹۰٪) و زون‌های عیار میانگین (اکسید منیزیم پس از تکلیس نمونه‌ها بین ۸۰ تا ۹۰٪) تقسیم کرد. کانی‌سازی منیزیت عمدتاً در زون‌های گسلی واقع در سنگ‌های اولترامافیکی تشکیل شده است. ذخیره قطعی کانسار افضل آباد جنوبی، ۱۷۰۴۳۱ تن و ذخیره احتمالی آن، ۴۲۲۸۸۱ تن است (اقبالی زارج و دیگران، ۱۳۷۹).

**معدن منیزیت ترشک محمدی:** این کانسار در جنوب خاوری شهرستان بیرجند واقع شده است و در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه خاوری و ۳۱ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۴). این معدن در فاصله حدود ۱۴۰ کیلومتری جنوب خاوری سریشه واقع شده است که صد کیلومتر آن تا بخش شوسف در مسیر جاده آسفالت سریشه- نهندان بوده و بقیه مسیر، جاده شوسه‌ای است که از روستای زاهو، جنوب افسر آباد و مزار بی بی مریم می‌گذرد.

سیلیس، ارزش اقتصادی منیزیت را کاهش داده‌اند. ذخیره منیزیت چاه خو ۱۰۰۰۰۰ تن برآورد شده است (اقبالی زارج و دیگران، ۱۳۷۹).

### زمین شیمی

ترکیب شیمیایی منیزیت‌های معادن افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو و کانی هونتیت، در جدول ۱ گزارش شده است. مقدار Mg منیزیت‌ها بین ۲۱/۰۸ تا ۲۹/۶ درصد متغیر است (شکل ۶). بیشترین دامنه تغییرات منیزیم مربوط به منیزیت‌های ترشک محمدی است. میزان Mg هونتیت از ۱۸ تا ۱۹/۵ درصد متغیر است (شکل ۶). مقدار Ca نیز بین صفر تا حداکثر ۵ درصد در منیزیت‌ها تغییر می‌کند و اکثراً کمتر از ۲ درصد است (شکل ۶). میزان Ca هونتیت بین ۹ تا ۱۰ درصد است (شکل ۷). میزان Na منیزیت، با نوع سنگ کمر پایین زون گسلی رابطه مستقیم دارد. در افضل آباد شمالی، به دلیل حضور فلیش، میزان Na بیشتر از مناطق دیگر و از ۲۵۲ تا ۱۶۷۹ ppm متغیر است (شکل ۸). میزان Na در افضل آباد جنوبی نسبتاً کمتر از دیگر معادن و بین ۲۱ تا ۲۵۷ ppm است (شکل ۸). بنابراین محلول‌کنانه‌دار پیش از کانی‌سازی منیزیت، با سنگ‌های مجاور واکنش داده است. کانی هونتیت دارای بیشترین میزان Na (بین ۳۰۴۶ تا ۳۴۸۶ ppm) است (شکل ۹). میزان Sr هونتیت چندین برابر منیزیت است (شکل ۹) و بین ۵۶۰۰ تا ۸۶۰۰ ppm و در منیزیت‌ها از صفر تا ۲۱۱ ppm تغییر می‌کند (شکل ۹). یک نمونه از منیزیت چاه خو تا ۵ درصد Ca دارد، در حالی که میزان Sr آن ۵۲ ppm است (شکل ۱۰). هیچ‌گونه رابطه مشخصی بین مقدار Sr و Ca منیزیت دیده نمی‌شود (شکل ۱۰). منیزیت‌های افضل آباد شمالی در مقایسه با افضل آباد جنوبی Sr بیشتری دارند (شکل ۱۰). علت این موضوع، مربوط به تغییرات سنگ میزبان است. در افضل آباد شمالی منیزیت‌ها در تماس با سنگ‌های فلیشی هستند.

تغییرات Fe و Mn تا حدی یکسان است (شکل ۱۱). در مجموع، منیزیت‌های ترشک محمدی Fe و Mn کمتری دارند (شکل ۱۱). منیزیت‌های چاه خو و نقاط خاصی از افضل آباد، دارای Fe و Mn بیشتری هستند. کمترین میزان Mn و Fe، در منیزیت‌های ترشک محمدی و افضل آباد جنوبی و بیشترین آنها در معادن افضل آباد شمالی و چاه خو اندازه‌گیری شده است (شکل ۱۱). میزان Mn هونتیت از منیزیت بیشتر است (Mn = ۴۲ ppm تا ۵۸ ppm جدول ۱).

از آنجا که منیزیت‌ها در زونهای گسلی تشکیل شده‌اند، فعالیت گسلها منیزیت را برشی کرده است. محلولهای دارای آهن و سیلیس در منطقه چاه خو و افضل آباد، فضای میان قطعات منیزیت را پر کرده‌اند و موجب

افزایش سیلیس و آهن شده است، بنابراین بیشتر Si و Fe در مرحله پس از کانی‌سازی منیزیت تشکیل شده است.

### ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن

۱۸ نمونه از منیزیت‌های افضل آباد، چاه خو و ترشک محمدی و ۴ نمونه از هونتیت‌ها برای ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن، آزمایش شدند. نتایج این تجزیه در جدول ۲ گزارش شده است.

در نمودار شکل ۱۲، ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت‌ها و هونتیت‌های این مناطق رسم و مقایسه شده است. منیزیت‌های منطقه چاه خو دارای کمترین (PDB)  $\delta^{13}C$  بوده و میزان آن از ۱/۸ تا ۵/۸‰ تغییر می‌کند (شکل ۱۲).

منیزیت‌های ترشک محمدی در مقایسه با دو منطقه دیگر دارای بیشترین میزان (PDB)  $\delta^{13}C$  بوده و مقدار آن از ۷/۳ تا ۸/۰۴‰ در تغییر است (شکل ۱۲). میزان (PDB)  $\delta^{13}C$  منیزیت‌های افضل آباد شمالی و جنوبی از ۶/۸ تا ۷/۸‰ تغییر می‌کند (شکل ۱۲). همچنین ایزوتوپ (PDB)  $\delta^{13}C$  در هونتیت‌ها بین ۳/۹ تا ۶/۵‰ متغیر است (شکل ۱۲).

مقدار (SMOW)  $\delta^{18}O$  در منیزیت‌های چاه خو بین ۳۳/۰۵ تا ۳۳/۸‰ تغییر می‌کند. بیشترین تغییرات (SMOW)  $\delta^{18}O$  در منیزیت‌های افضل آباد شمالی و جنوبی دیده می‌شود (شکل ۱۲). در افضل آباد شمالی، تغییرات  $\delta^{18}O$  بین ۳۵/۷ تا ۳۶/۲‰ است، در حالی که برای منیزیت‌های افضل آباد جنوبی کمتر و از ۲۹/۷ تا ۳۰/۷‰ تغییر می‌کند. میزان (SMOW)  $\delta^{18}O$  ترشک ییسن ۳۱/۳ تا ۳۱/۹‰ است. مقدار (SMOW)  $\delta^{18}O$  هونتیت‌ها مشابه منیزیت‌های افضل آباد شمالی و بین ۳۵/۶ تا ۳۶/۸‰ است (شکل ۱۲).

ایزوتوپهای اکسیژن و کربن منیزیت‌های افضل آباد، چاه خو و ترشک محمدی با ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن با انواع مهم منیزیت‌های دنیا مقایسه و نتایج آن در شکل ۱۳ رسم شده است. از آنجا که منیزیت‌های ترشک محمدی، افضل آباد و چاه خو در مجموعه سنگ‌های افیولیتی تشکیل شده‌اند، و انتظار می‌رفت ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن آن، مشابه این گونه منیزیت‌ها در دیگر نقاط دنیا باشد، اما بر اساس نمودار شکل ۱۳، به دلیل اختلاف اصلی در میزان (PDB)  $\delta^{13}C$  منیزیت‌های افضل-آباد، چاه خو و ترشک محمدی در محدوده کاملاً متفاوت پیاده شده‌اند. میزان (PDB)  $\delta^{13}C$  منیزیت‌های تشکیل شده در افیولیت‌های کشورهایمانند آتریش (Zachmann, 1977)، آمریکا (کالیفرنیا) (O'Neil & Barnes, 1971)، یونان (Zachmann, 1977)، یوگسلاوی (Vacanjac et al, 1984)، لهستان و روسیه (Sukhanov, 1985)، بین -۷ تا -۱۸ و مقدار (SMOW)  $\delta^{18}O$  بین

(جدول ۳) بر اساس یافته‌های (Zedef et al., 2000)، چنانچه میانگین ایزوتوپ  $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) در حد ۳‰ و ایزوتوپ  $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) در حد ۲۵‰ باشد، منیزیت می‌تواند در شرایط گرمایی-رسوبی برون‌می (Exhalative) تشکیل شود و چنانچه  $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) میانگین بین ۲ تا ۴‰ و  $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) در محدوده ۳۳ تا ۳۶‰ باشد، منیزیت در شرایط رسوبی دما پایین تشکیل شده است. با توجه به اینکه ایزوتوپ‌های کربن منیزیت‌های مورد مطالعه از ۱/۸ تا ۸‰ و ایزوتوپ‌های اکسیژن از ۲۹/۷ تا ۳۶‰ متغیر است، منشأ آب از نوع آب‌های جوی و  $\text{CO}_2$  بیشتر منشأ اتمسفری داشته است.

### نتیجه‌گیری

ایران دارای شرایط و موقعیت ویژه و ممتاز زمین‌شناسی و زمین‌ساختی بوده و بقایای پوسته‌های اقیانوسی (افیولیت‌ها)، دیرینه تیس و نو تیس در نقاط مختلف ایران، از جمله خاور ایران (بیرجند-نهبندان-زاهدان)، شمال‌خاور (ترت حیدریه-فریمان-سبزوار)، باختر (خسوی)، مرکز و جنوب (اسفندقه-میناب)، مشهد و دیگر نقاط رخنمون دارند. کانی‌سازی و معادن مهم منیزیت، فقط در افیولیت‌های خاور ایران (بیرجند-نهبندان-زاهدان) تشکیل شده است. اینکه منیزیت‌ها عمدتاً در افیولیت‌های خاور ایران تشکیل شده‌اند، نکته مهمی است بر اینکه علاوه بر سنگ میزبان افیولیت، نکات مهم دیگری نیز در تشکیل اینگونه منیزیت‌ها نقش دارند.

از آنجا که منیزیت‌ها در زونهای گسلی واقع در سنگ‌های افیولیتی تشکیل شده، می‌توان نتیجه گرفت که MgO از سنگ‌های اولترامافیکی منشأ گرفته است. ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت معادن افضل آباد، چاه خو و ترشک با منیزیت‌های تشکیل شده در کمرند افیولیتی آلپ در معادن ترکیه، یونان، یوگسلاوی، اتریش و کالیفرنیا مقایسه شدند. ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت معادن ترکیه، یونان، یوگسلاوی، اتریش و کالیفرنیا در یک محدوده یکسان رسم شدند در حالی که معادن مورد مطالعه، در محدوده کاملاً متفاوت رسم شدند، بنابراین شیوه تشکیل منیزیت معادن چاه خو، افضل آباد و ترشک محمدی، با نوع تشکیل شده در مدل افیولیتی قابل توجیه نیست. با توجه به اینکه مقدار ایزوتوپ‌های کربن منیزیت‌های مورد مطالعه از ۱/۸ تا ۸‰ و ایزوتوپ‌های اکسیژن از ۲۹/۷ تا ۳۶‰ متغیر است، منشأ آب از نوع آب‌های جوی و  $\text{CO}_2$  غالباً منشأ اتمسفری داشته است، بنابراین نظریه‌های آب با منشأ دگرگونی و ماگمایی، در خصوص تشکیل این منیزیت‌ها درست نیست. تمرکز منابع مهم منیزیتی در افیولیت‌های این بخش از ایران، بیانگر این مطلب است که شرایط ویژه زمین‌ساختی، ژئودینامیکی و ماگماتیسم

۲۲ تا ۲۷٪ تغییر می‌کند (شکل ۱۳). در صورتی که میزان ایزوتوپ کربن در منیزیت‌های ترشک، افضل آباد و چاه خو بین ۱/۸ تا ۸‰ و میزان ایزوتوپ اکسیژن از ۲۹/۷ تا ۳۶‰ متغیر است. با توجه به این تغییرات، منشأ محلول و شرایط تشکیل منیزیت‌های ایران با منیزیت‌های دیگر نقاط دنیا که در افیولیت‌ها قرار گرفته‌اند، کاملاً متفاوت است. همچنین ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن منیزیت‌های افضل آباد، ترشک و چاه خو از نظر ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن اختلاف قابل توجهی با منیزیت‌های نوع سبخا و اسپار دارد (شکل ۱۳). بر اساس مطالعه Kralik et al. (1989) منیزیت‌های دانه ریز کواترنری که در محیط سبخا پدید آمده‌اند، دارای  $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) بین ۱/۷ تا ۴/۴‰ و  $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) بین ۳۲ تا ۳۸‰ هستند که نشان دهنده ته‌نشینی منیزیت در تعادل با یک محیط کربنی غیرآلی حلشده در آب حوضه‌ای است که ایزوتوپ کربن بسیار سنگین تولید می‌کند. منیزیت‌های دانه ریز قدیمی نیز در محیط سبخا دارای دو حالت مختلف ایزوتوپی هستند:

۱-  $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) بین ۲ تا ۳‰ و  $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) بین ۲۵ تا ۲۷‰ و  
۲-  $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) بین ۲- تا ۶-‰ و  $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) بین ۱۸ تا ۲۲‰ هستند، که در مورد اول، کربن از کربنات‌های تبخیری منشأ گرفته است و در مورد دوم، مخلوط آب‌های جوی و تبخیری به عنوان یک سیال مادر برای منیزیت دانه ریز با ایزوتوپ کربن منفی و ایزوتوپ اکسیژن پایین پیشنهاد می‌شود (Kralik et al., 1989). منیزیت‌های دانه درشت محیط سبخا نیز دارای  $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) بین ۷/۵- تا ۴-‰ و  $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) بین ۶ تا ۲۵‰ هستند که این مقادیر با پدیده دگرگونی همخوانی دارد (Kralik et al., 1989).

با توجه به ویژگی‌های خاص ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن منیزیت‌های افضل آباد، چاه خو و ترشک، سعی شد در زمینه‌های ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن در منیزیت‌ها از افراد متخصص و صاحب نظر در سطح دنیا کمک گرفته شود. در این راستا، دکتر آنتونی فالیک از مرکز ایزوتوپ علوم زمین دانشگاه گلاسکو اسکاتلند که تحقیقات گسترده‌ای پیرامون ایزوتوپ در منیزیت‌ها داشته، پیشنهادها و رهنمودهای مناسبی را ارائه دادند. در این رابطه مشخص شد که تنها در کمرند افیولیت‌های جنوب باختر ترکیه، منیزیت‌هایی هستند که در سنگ‌های اولترامافیکی تشکیل شده و ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن آنها تا حدودی مشابه ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن معادن افضل آباد، چاه خو و ترشک محمدی است (Zedef et al., 2000). در منیزیت‌های نهران بلورین جنوب باختر ترکیه که در سنگ‌های اولترامافیکی هستند، آبها از نوع جوی و دمای تشکیل کمتر از  $100^\circ\text{C}$  برآورد شده است. منشأ منیزیم نیز از سنگ‌های اولترامافیکی بوده و برای کربن منشأ‌های مختلفی پیشنهاد شده است

کرده و میزان Mg و دیگر عناصر آن افزایش یافته است. این آبها ضمن حرکت در گسل ها، در جهت سطح زمین در اعماق کم، موجب تشکیل کانی سازی منیزیت شده اند.

جوان (بازالت های جوان) حاکم، نقش مهمی داشته اند. آب های جوی غنی از CO<sub>2</sub> از راه گسل های ژرف به اعماق نفوذ کرده (شکل ۱۴) و ضمن افزایش دما (گرادیان گرما و گرمای ناشی از فعالیت ماگمایی) در دمای کمتر از ۱۵۰°C از راه واکنش، سنگ های اولترامافیکی را دگرسان

جدول ۱- ترکیب شیمیایی منیزیت و هونتیت معادن افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو

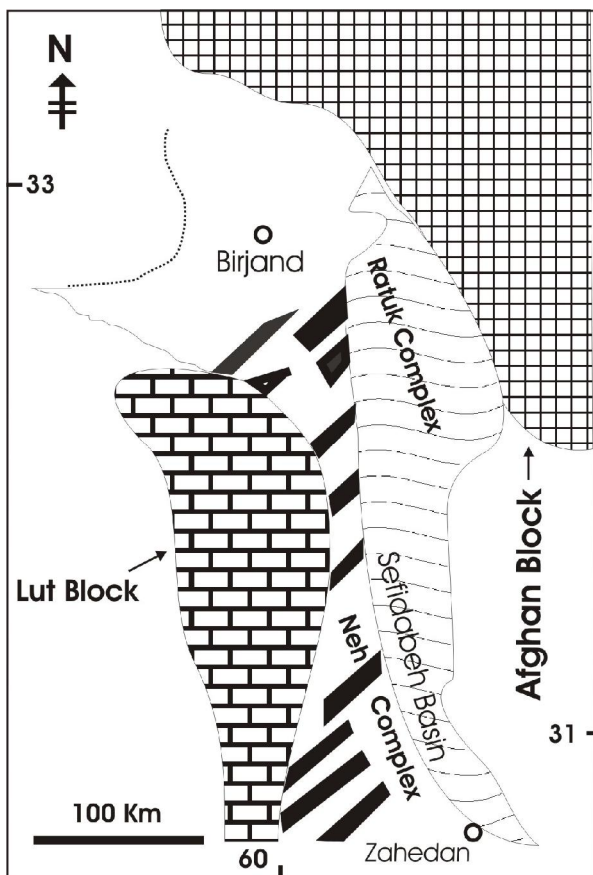
نمونه	Mg%	Ca%	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Na (ppm)	Sr (ppm)	کربنات (درصد)
افضل آباد جنوبی	۲۵/۵	۰	۷	۲۱	۲۱	۲	۱۰۰
افضل آباد جنوبی	۲۹/۲	۰	۳۱	۲۱	۲۱	۸	۱۰۰
افضل آباد جنوبی	۲۳/۷۳	۰	۶	۲۵۷	۲۵۷	۲	۱۰۰
افضل آباد شمالی	۲۴/۶۹	۲	۵۱	۱۰۸۴	۱۶۷۹	۲۰۱	۹۲
افضل آباد شمالی	۲۷/۸۶	۰	۱۳	۲۸۳	۲۵۲	۳۲	۱۰۰
افضل آباد شمالی	۲۸/۵۶	۱	۶	۱۸۱	۲۸۹	۲۴	۱۰۰
چاه خو	۲۹/۵	۰	۲۳	۱۱۲۴	۲۶	۲	۱۰۰
چاه خو	۲۴	۵	۲۳	۸۰۳	۸۹	۵۲	۱۰۰
چاه خو	۲۵/۱	۰	۹	۲۵۷	۲۸	۰	۱۰۰
چاه خو	۲۹/۶	۰	۱۶	۳۱۵	۳۵	۵	۱۰۰
ترشک محمدی	۲۱/۰۸	۱	۵	۱۲۷	۳۲۴۳	۱۴	۱۰۰
ترشک محمدی	۲۶/۵	۲	۵	۲۰۰	۷۵	۲۸	۱۰۰
ترشک محمدی	۲۸/۹	۱	۵	۲۲۹	۷۳	۲۱۱	۱۰۰
ترشک محمدی	۲۸/۶	۱	۵	۱۹۶	۱۱۷	۲۱	۱۰۰
ترشک محمدی	۲۸/۶	۱	۵	۱۶۴	۹۷	۲۰	۱۰۰
ترشک محمدی	۲۵/۵	۲	۶	۱۵۴	۱۸۷	۷۸	۱۰۰
ترشک محمدی	۲۸/۱	۲	۵	۱۴۶	۱۴۳	۹۰	۸۷
هونتیت	۱۹/۵	۱۰	۴۲	۱۵۱	۳۴۸۶	۸۶۰۴	۱۰۰
هونتیت	۱۸	۹	۵۸	۳۴۴	۳۲۷۲	۶۲۳۹	۸۹
هونتیت	۱۸/۲	۹	۴۴	۱۳۵	۳۰۴۶	۵۶۰۶	۱۰۰

جدول ۲- ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت و هونتیت معادن افضل آباد، ترشک محمدی، و چاه خو

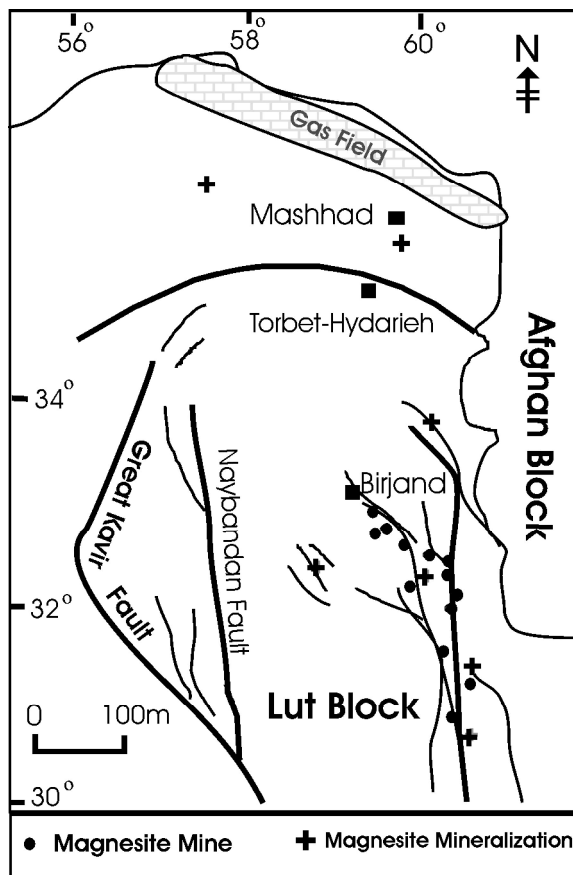
نمونه	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ (SMOW)	دقت $\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰ (PDB)	دقت $\delta^{13}\text{C}$
افضل آباد (جنوبی)	۳۵/۷	۰/۰۰۵	۶/۹	۰/۰۰۲
افضل آباد (جنوبی)	۳۶/۰۷	۰/۰۰۴	۷/۲	۰/۰۰۸
افضل آباد (جنوبی)	۳۶/۲	۰/۰۰۹	۷/۴	۰/۰۱۳
افضل آباد (شمالی)	۲۹/۷	۰/۰۰۸	۷/۸	۰/۰۰۲
افضل آباد (شمالی)	۳۰/۷	۰/۰۰۷	۶/۸	۰/۰۰۴
افضل آباد (شمالی)	۳۰/۴	۰/۰۰۶	۷/۲	۰/۰۰۴
چاه خو	۳۳/۸	۰/۰۰۶	۱/۸	۰/۰۰۵
چاه خو	۳۳/۸	۰/۰۰۴	۲/۱	۰/۰۰۵
چاه خو	۳۳/۰۵	۰/۰۱۲	۴/۲	۰/۰۰۴
چاه خو	۳۴/۵	۰/۰۰۴	۵/۸	۰/۰۰۲
چاه خو	۳۳/۰۳	۰/۰۰۵	۳/۶	۰/۰۰۳
ترشک	۳۱/۵	۰/۰۰۴	۷/۶	۰/۰۰۵
ترشک	۳۱/۷	۰/۰۰۴	۷/۳	۰/۰۰۱
ترشک	۳۱/۹	۰/۰۰۵	۷/۷	۰/۰۰۴
ترشک	۳۱/۵	۰/۰۰۵	۷/۵	۰/۰۰۵
ترشک	۳۱/۳	۰/۰۰۴	۸/۰۴	۰/۰۰۴
ترشک	۳۱/۶	۰/۰۰۲	۷/۸	۰/۰۰۲
ترشک	۳۱/۷	۰/۰۰۶	۷/۴	۰/۰۰۶
هونتیت	۳۶/۲	۰/۰۰۶	۳/۹	۰/۰۰۲
هونتیت	۳۵/۶	۰/۰۰۴	۶/۲	۰/۰۰۴
هونتیت	۳۶/۴	۰/۰۰۷	۶/۵	۰/۰۲۵
هونتیت	۳۶/۸	۰/۰۰۲	۶/۱	۰/۰۰۵

جدول ۳- منشأ کربن در منیزیت‌های جنوب‌باختر ترشک

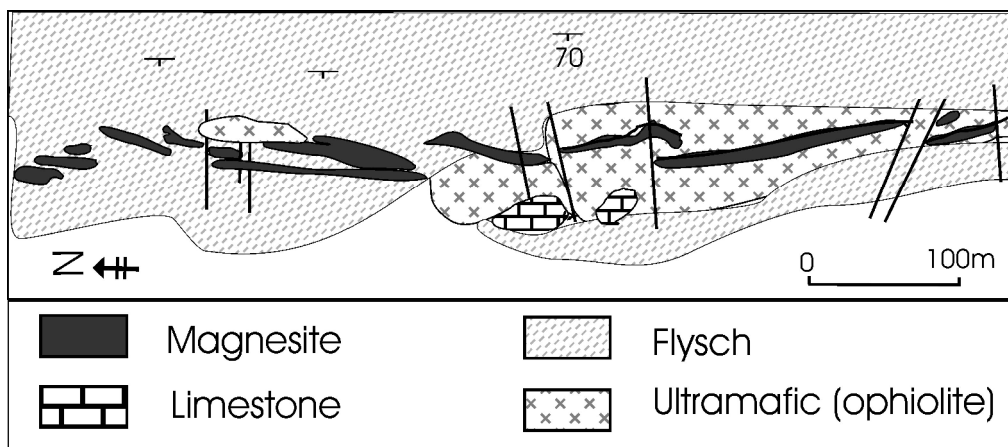
منشأ کربن	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ (SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ (PDB)	مرجع
کربنات دما پائین	۳۶	۴	O,Neil & Barnes(1971), Fallick et al.(1991)
کربنات دما متوسط	۲۸	-۱۵	Fallick et al.(1991, Brydie et al. (1993)
کربنات دما بالا	۱۹	۳	Fallick et al.(1991)



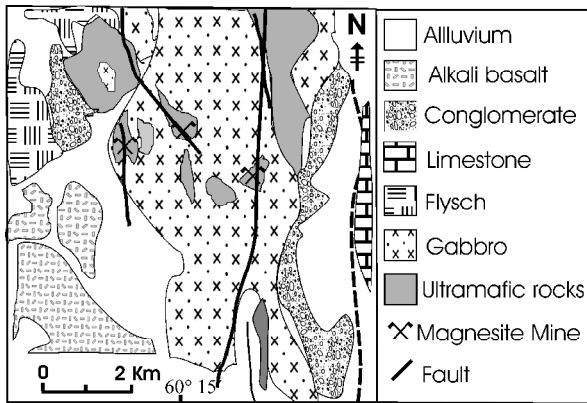
شکل ۲- نمایش موقعیت کمپلکس ریتوک و نه در زون سیستان (Tirrul et al, 1983)



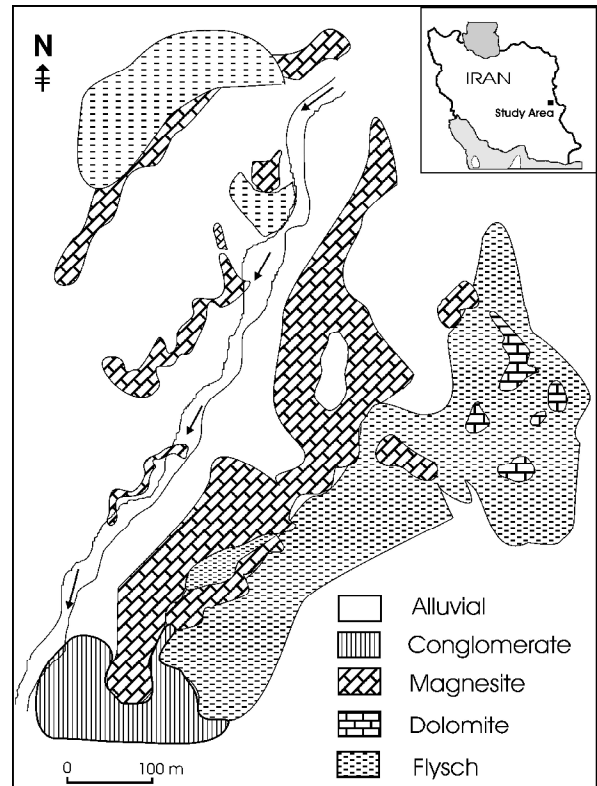
شکل ۱- نمایش موقعیت گسلهای نهپندان، نایبند، درونه و معادن منیزیت خراسان در زون سیستان



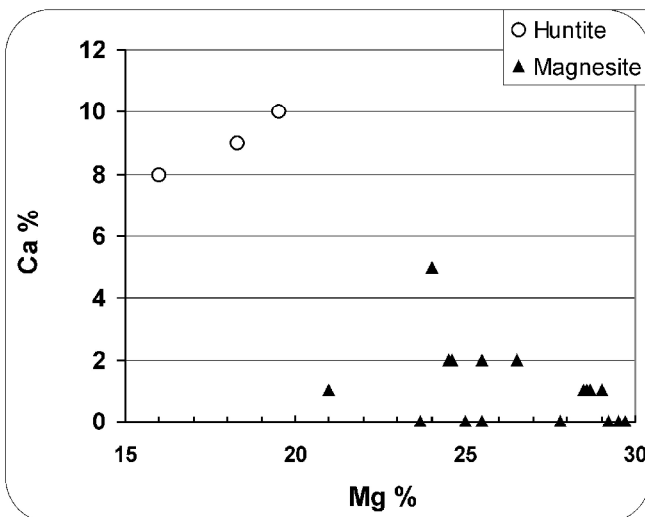
شکل ۳- نقشه زمین شناسی معدن منیزیت افضل آباد (با تغییراتی از Ebrahimi Nasrabad, 1990)



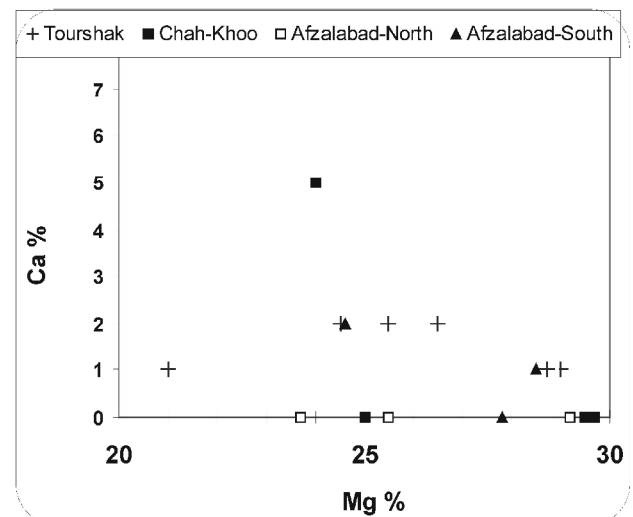
شکل ۵- نقشه زمین شناسی معدن منیزیت چاه خو



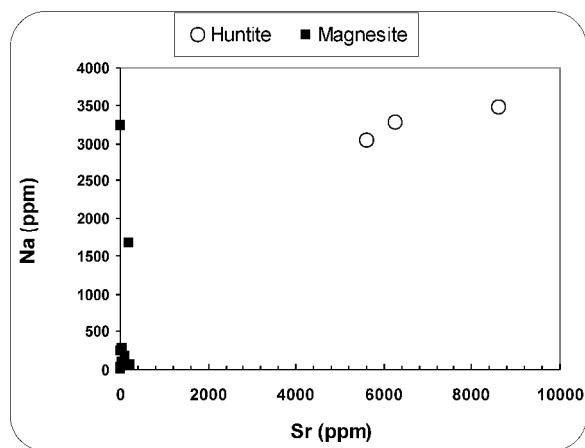
شکل ۴- نقشه زمین شناسی معدن منیزیت ترشک محمدی (با تغییراتی از Ebrahimi Nasrabad, 1990)



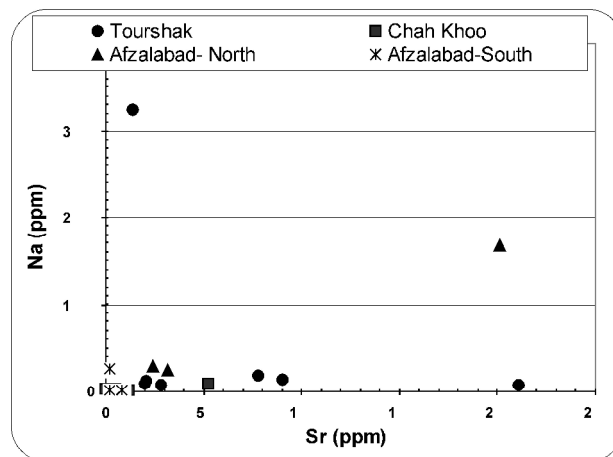
شکل ۷- مقایسه تغییرات Ca, Mg در منیزیت ها و هونتیت



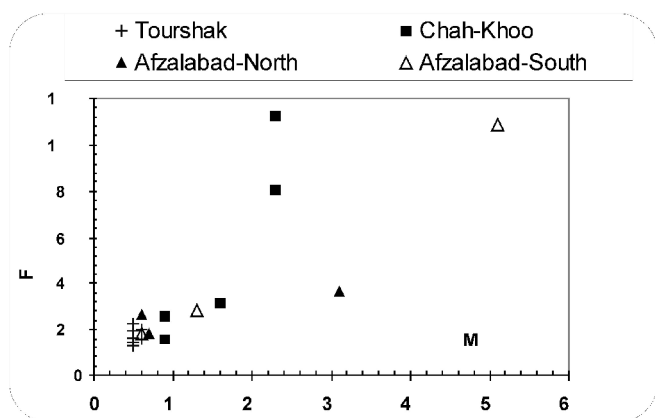
شکل ۶- مقایسه تغییرات Ca, Mg در منیزیت های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو



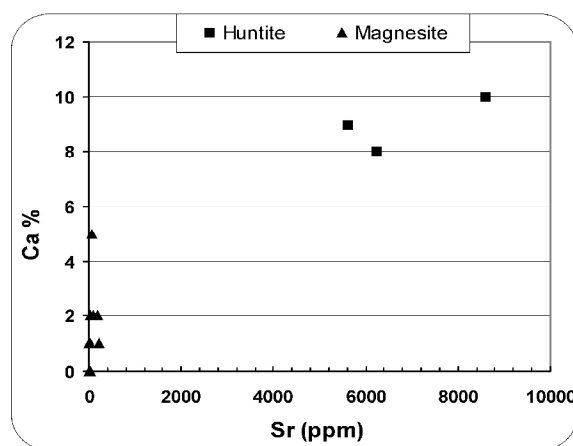
شکل ۹- مقایسه تغییرات Sr, Na در منیزیت و هونیت



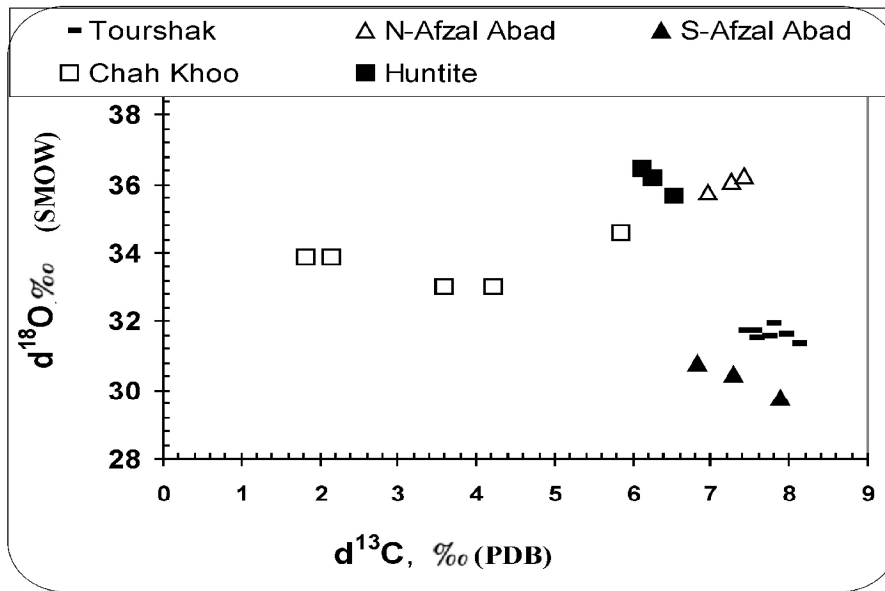
شکل ۸- مقایسه تغییرات Sr, Na در منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو



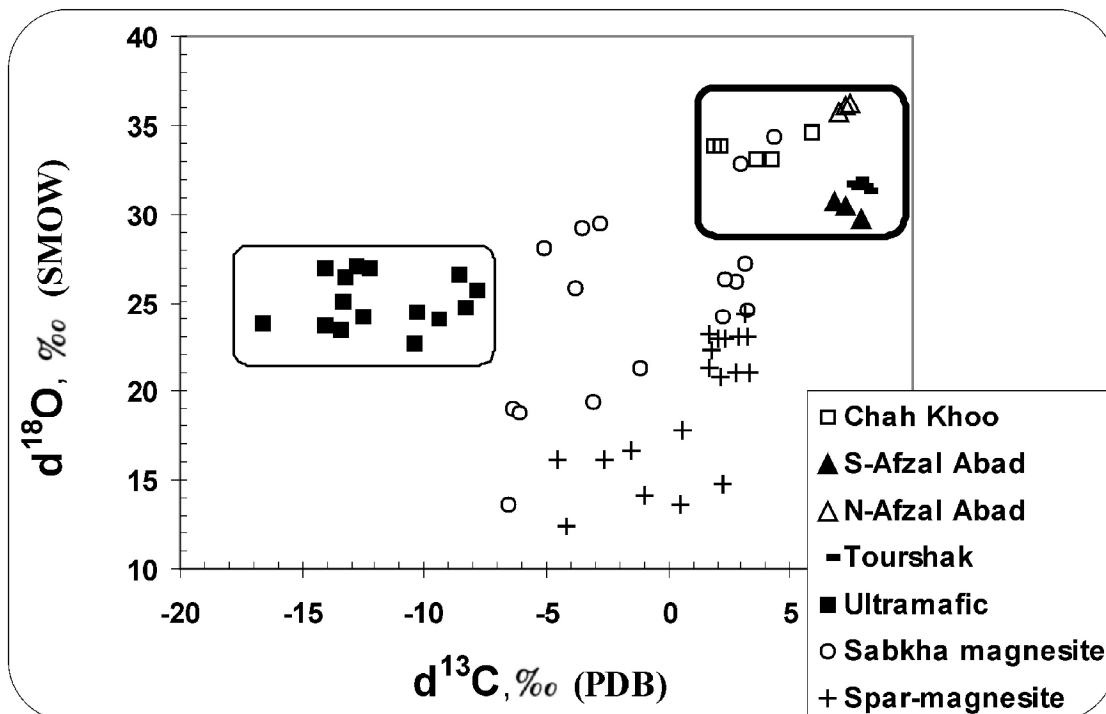
شکل ۱۱- مقایسه تغییرات Fe, Mn در منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو



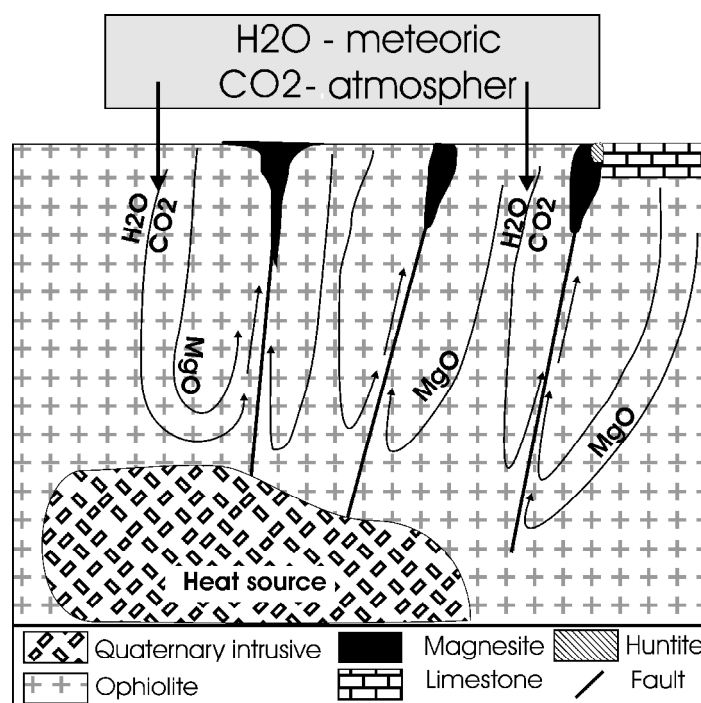
شکل ۱۰- مقایسه تغییرات Ca, Sr در منیزیت و هونیت



شکل ۱۲- مقایسه ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو



شکل ۱۳- مقایسه ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو با انواع مختلف منیزیت‌های دنیا



شکل ۱۴- نمایش مدل نحوه تشکیل و منشأ آب،  $\text{CO}_2$  و  $\text{MgO}$  در منیزیت‌های افضل آباد، چاه خو و ترشک.

## کتابنگاری

اقبالی زارج، ع.، خزاعی فر، ع.، فلاح رستگار، ع. و قرائی، م. ۱۳۷۹- گزارش بررسی وضعیت ماده معدنی منیزیت در خراسان. ۳۵ ص. سازمان صنایع و معادن استان خراسان، آمار معادن استان خراسان، ۱۳۸۱.

## References

- Aboveian, S.B., 1978- Genetic of listvenites of the Armenian Republic and their metalogenic significance (Zapiski Armianskoe otdelenie Vsesoiliznogo). Mineralogicheskogo obschestva. No.9: pp. 98-109.
- Antonovic-Antonije & Vaskovic-Nada., 1992- listwanitization occurrences in central parts of Balkan peninsula; Bosnia, Serbia, Macedonia, Greece, Radovi-geoinstitut. 27: pp. 303-331.
- Arvin, M. & Robinson, P.T., 1994- The Petrogenesis and tectonic setting of lavas from the Baft ophiolitic melange, southwest of Kerman, Iran. Can. J. Earth Sci. 31, pp. 824-834.
- Ash, C.H., Arksey, R.L., 1990- Listwaenite-Lode gold association in British Columbia. Ministry of Energy, Mines & petroleum Resources, pp.359-364.
- Aydal, D., 1990- Gold-bearing listwaenites in the Irac massif, Kastamonu, Turkey, 2, No.1 pp.43-51.
- Barnes, I., 1973- Formation of listwanites from serpentinites in California Doklady, Mezhdunarodny Geokhimicheskiy kongress. 1(1971): 2, pp.404-412.
- Bok, I.I., 1956- Listvenites, their special features, Varieties & conditions of formation, Izvestiya Akademi Nauk Kazakhskoi ussr. ser. Geol. 22: pp. 3-22.
- Brydie, J. R., Fallick, A. E., Ilich, M., Maliotis, G. & Russell, M. J., 1993- A stable isotope study of magnesites deposits in the Akamas area, N. W. Cyprus: Institution of Mining and Metallurgy Transactions, v. 102, sec. B, p. B50- B53.
- Ebrahimi Nasrabad, K., 1990- The Industrial Mineralogy of Magnesits and Huntite from Eastern Iran, Ph.D thesis, University of Hall England, 504 p.
- Efermov, N., 1952- Origin of Listwaenites of the Caucasuc and Urals. G.S.A. Bulletin. 63; 12, part 2, pp.1246-1247.

- Fallic, A. E., Ilich, M. & Russell, M. J., 1991- A stable isotope study of the magnesite deposits associated with the Alpine-type ultramafic rocks of Yugoslavia: *ECONOMIC GEOLOGY*, 86, pp. 847- 861.
- Goncharenko, A.I., 1973- Listwanities in ultrabasic rocks of the northern part of kuznetsk Alatau and possibilities of their utilization in :*Nemetalicheskiye poleznyye iskopayemyye giperbazitov*. pp. 159-173.
- Hall, C. & Zaho, R., 1995- Listvenite and related rocks : Perspectives on Terminology and Mineralogy with reference to an Occurrence at Cregganbaun, Co. Mayo, Reupblic of Ireland , *Mineral Deposit*, 30, pp.303-313.
- Kashkai, M.A., Parkhomenko E.I., Salekhli, T.M., 1975- Elecrical properties of listwaenite at high temperatures & pressures. *Transaction (doklady) of the U.S.S.R. Academy of sciences: Earth science sections* .218;1-6, pp.143-145.
- Kralik, M. & Hoefs, J., 1978- Die Isotopenzusammensetzung der Karbonate in der Magnesitlagerstatte Eugui Westpyrenaen. *Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt.*, 25, pp.185- 193.
- Kralik, M., Ahaton, P., Schroll, E. & Zachmann, D., 1989- Carbon and Oxygen isotope systematics of magnesite: review. In: *Magnesite. Geology, Mineralogy, Geochemistry, Formation of Mg- Carbonates* (Ed. P. Moller), *Monogr. Ser. Mineral deposits*, 28, pp.197- 223.
- Kuleshcovich, L.V., 1984- Listvenites in the greenstone belts of eastern Karelina, *Geologiyia Rudnykh Mestorozhdnii ( Geology of Deposits )*, pp. 112-116.
- Lodochnikov, V.N., 1936- Serpentine and serpentinites of Ylchris and other related questions. *Trudi CNLGR*. No. 38.
- Moller, P., 1989- *Magnesite, Geology, Mineralogy, Geochemistry and Formation of Mg-Carbonates*. *Monograph Series on Mineral Deposits No 28*. 300p
- O' Neil, J. R. & Barnes, I., 1971- C13 and O18 compositions in some freshwater carbonates associated with ultramafic rocks on serpentinites: *Western United States – Geochim. Cosmochim. Acta* 35, pp. 687- 697.
- Sazanov, V. N., 1975- Liswaenitization and ore mineralization , *Russian academy of science , the Ural Scientific central, A. N. Sawaritkys instiute of geology and geochemistry*.
- Shcherban, I.P. & Borovikova , G. A., 1970- Thermodynamic data on the genesis of listwanites and listwanitized rock, *Doklady Akademii Nauk SSSR* . 191; 6, pp. 1389-1392 .
- Spiridonov, E .M., 1984- Mercury deposits of western California, and over view, *Mineralium Deposita*, 19, pp. 202-207 .
- Tirrul, R., Bell, L.R., Griffis, R.J. & Camp, V.E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran, *G .S .A . Bulletin* 84: pp. 134- 150.
- Tuysuz, N. & Erler, A., 1993- Geochemistry and evolution of listwaenites in the Kagizman region ( Kars, NE-Turkey) . *Chemie der Erde*. 53, 4, pp. 315-329 .
- Urcurm, A., 1996- Geology, geochemistry and mineralization of the silica carbonate alteration (listwenite ) from Cretaceous Ophiolitic melange at Curek- Diverigi in Sivas province and at Guvene Karakuz- Hekimhan in Malatya province' central East Turkey . *Ph. D. thesis, university of NEVADA United States*, 169 p .
- Vakanjak, B., Petrovice, B., Tomanec, R. & Starostin, V.J., 1984- The hydrothermal- metamorphic formation of vein magnesite deposits associated with ultramafic complexes. *Internat. Geol. Rev.* 26, pp. 673- 689.
- Zachmann, D., 1977- *Untersuchung von Magnesite- Hydromagnesite- und Huntitvorkommen in Nordgriechenland* -262 p., *Ph. D. Thesis, Univ. Stuttgart, Stuttgart*.
- Zedef, V., Russell, M.J., Fallick, A.E. & Hall, A.J., 2000- Genesis of vein stockwork and sedimentary magnesite and hydromagnesite deposits in the ultramafic terrains of southwestern Turkey: A stable isotope study: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 95, pp. 429- 446.

\* گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

\*\* دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

\* Department of Geology Ferdowsi University of Mashhad

\*\* School of Earth Sciences Shahid Beheshti University