



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 افیولیت‌کرتاسه و فلیش‌های کرتاسه- انوسن تشکیل شده است. کانی سازی منیزیت به حالت رگه‌ای، عدسی و جریان‌ی با حالت لایه‌ای یافت می‌شود. بافت از نوع نهان 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 252 تا 1679 ppm متغیر است. میزان Na منیزیت افضل آباد جنوبی، نسبتاً کمتر از دیگر معادن و بین 21 تا 257 ppm است. کانی هونتیت دارای بیشترین میزان Na، بین 3046 تا 3486 ppm است. کمترین میزان Sr در منیزیت‌های معادن چاه خو (Sr = 0-52 ppm) افضل آباد جنوبی (Sr = 2-8 ppm) و بیشترین میزان Sr در منیزیت‌های ترشک محمدی و افضل آباد شمالی (Sr = 35-211 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 = 42-58 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 (6- تا -17) (δ 13C (PDB) و اکسیژن (27 تا 23) (δ 18O (SMOW) =) 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 1/8 تا 8% و ایزوتوپ‌های اکسیژن از 29/7 تا 36 متغیر است، منشأ آب از نوع آب‌های جوی، و CO₂ 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(35-211ppm) 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 $\delta^{18}O$ (SMOW) = 23- 27‰ , and $\delta^{13}C$ (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 $\delta^{18}O$ ‰ values of magnesite deposits in Eastern Iran ranging from 31-36 (‰ SMOW) and $\delta^{13}C$ ranging is between 1.8 – 8 (‰ PDB). The CO₂ had atmospheric origin and the H₂O have meteoric origin.

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

مقدمه

کوارتز و فوکسایت به همراه پیریت پراکنده و تعدادی کانی فرعی نسبت داد که در اثر دگرسانی سنگهای اولترامافیک و مافیک به وجود آمده‌اند (Hall & Zhao, 1995). درباره تقسیم بندی لیستونیت‌ها و شیوه تشکیل آنها، مطالعاتی توسط دانشمندان روسی از جمله (Lodochinkov, 1936), Kashkai et al Bok (1936), Efermov (1952), Goncharenko Shcherban & Borovikova (1970), (1975), Abovian (1975), Barnes (1973), Spiridonov (1978), (1978), Kuleshcovich (1984), Antonovic and Vaskovic (1992), مورد توجه و پژوهش بسیاری از زمین شناسان دیگر نقاط دنیا قرار گرفته است (از جمله Tuysuz & Aydal(1990), Ash & Arksey(1990), Erler(1993), Hall & Zhao(1993), Ucurum(1996)).

مهمترین لیستونیت‌ها عبارتند از: 1) نوع کربناتی که دارای منیزیت، دولومیت، آنکریت و کلسیت است، 2) نوع سیلیسی که عمدتاً دارای کوارتز است، 3) نوع سیلیسی- کربناتی، دارای کوارتز و کانی‌های کربناتی، 4) نوع میکادار و 5) نوع آهن دار.

مطالعات زرین‌کوب (1372) بر روی لیستونیت‌های جنوب خراسان، شیوه تشکیل لیستونیت‌های خاور ایران را که منیزیت‌ها نیز بخشی از این مجموعه هستند، مرتبط با واکنشهای آبرزایی دگرگونی ناحیه‌ای حادث شده در منطقه می‌داند. از آنجا که این پیشنهاد، بدون در دست داشتن اطلاعات ایزوتوپی بوده است، بنابراین نمی‌تواند پاسخ مناسبی برای تشکیل آنها باشد.

کانی سازی منیزیت در خاور ایران

کانی سازی منیزیت در خاور ایران در زونهای گسلی واقع در مجموعه افیولیت‌های کرتاسه و فلیش‌های کرتاسه- ائوسن تشکیل شده است که به آن زون سیستان نیز گفته می

مهمترین کانی منیزیم‌دار با ارزش اقتصادی، منیزیت (کربنات منیزیم) است. منیزیت در صورت خالص بودن، دارای 47/8 درصد MgO و 52/2 درصد CaO است. بیش از 85 درصد منیزیت دنیا به مصرف دیرگدازها می‌رسد. منیزیت خالص، در دمای 1450 °C به پریکلاز (MgO) تبدیل می‌شود. دمای ذوب پریکلاز نسبتاً بالا و 2570°C است. با استفاده از پریکلاز، انواع آجرهای منیزیتی ساخته می‌شود. کانی منیزیت به دلیل کاربرد ویژه در صنایع ذوب فلز، به‌عنوان یک ماده راهبردی مطرح است.

استان خراسان با 18 معدن فعال منیزیت و با ذخیره بیش از 3 میلیون تن، بخش اعظم منابع منیزیت ایران را دربر می‌گیرد (آمار معادن استان خراسان، 1381).

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

1- به صورت رگه‌ای، استوکورک و عدسی در افیولیت‌ها: این نوع منیزیت دارای بافت نهان بلورین با شکست صدفی بوده و در زونهای گسلی واقع در مجموعه سنگ‌های افیولیتی (دونیت، پریدوتیت و سرپانتینیت) تشکیل می‌شوند. مهم‌ترین ذخایر شناخته شده در کمربند افیولیتی آلپ، در کشورهای ترکیه، یونان، یوگسلاوی، اتریش و کالیفرنیا هستند.

2- منیزیت به صورت درشت بلور(اسپاری): این نوع منیزیت به همراه سنگ‌های آهکی دولومیتی، شیل‌های سیاه تا خاکستری و در ماسه سنگ به شکلهای عدسی و لایه‌ای یافت می‌شود.

3- منیزیت رسوبی دانه ریز در مناطق شورابه‌ها (سابخا).

4- به حالت دگرگونی در شرایط متاسوماتیسم سنگ‌های دولومیتی.

در افیولیت‌های خاور ایران، لیستونیت‌ها نیز گسترش بیشتری دارند. نخستین بار Rose(1842) واژه لیستونیت را به مجموعه‌ای اساساً مرکب از کربنات (منیزیت یا آنکریت)،





3- عمدتا حالت رگه‌ای و گاه عدسی و گاهی جریان‌ی دارند
4- سنگهای اطراف زون کانی سازی دگرسان شده‌اند
5- در بخش بالایی، کلاهِ آهنی دیده می‌شود
6- در مناطقی که سنگ‌های کربناتی وجود داشته، در نزدیک سطح زمین کانی هونتیت (گل سفید) تحت تأثیر هوازدگی تشکیل گردیده است
7- گسل‌های عمیق امتداد لغز نقش مهمی در تشکیل آن داشته‌اند.

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. نمونه‌هایی از بخش‌های 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، 0/125 گرم از پودر نمونه‌ها در محلول 1 مول اسید کلریدریک به مدت 2 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 تجزیه‌ها برای عناصر Fe, Mn, Na, Sr معادل ± 5 ppm و برای Mg و Ca معادل $\pm 1\%$ بوده است. برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری، از استانداردهای GFS 400 و NBS 88b استفاده شده است.

برای تجزیه‌های ایزوتوپی، 15 میلی‌گرم از پودر نمونه‌های منیزیت به مدت 24 ساعت تحت تأثیر اسید فسفریک 100 درصد و در دمای 25 درجه سانتیگراد قرار گرفت و گاز CO₂ متصاعد شده از هر نمونه به کمک

دستگاه طیف‌سنج جرمی (Micromass, 602D) اندازه‌گیری شد. خطای اندازه‌گیری ایزوتوپی $\pm 0/1\%$ بوده است.

ترکیب ایزوتوپی اکسیژن و کربن نمونه، به صورت δ و بر حسب در هزار (Per mil) بیان می‌شود. ایزوتوپ کربن نسبت به استاندارد مرجع (Pee Dee Blemnite) و ایزوتوپ اکسیژن بر حسب استاندارد میانگین آب اقیانوس (SMOW) سنجیده شده است.

زمین شناسی

معدن افضل آباد؛ این کانسار در طول جغرافیایی 60 درجه و 17 دقیقه خاوری و عرض جغرافیایی 31 درجه و 52 دقیقه شمالی و در فاصله 195 کیلومتری جنوب باختری سربیشه قرار دارد. 160 کیلومتر از این مسیر، جاده آسفالت سربیشه - زاهدان تا روستای شوسف، و 35 کیلومتر باقیمانده جاده

شود. زون سیستان بین دو بلوک لوت و بلوک افغان واقع شده است (شکل 1). 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 نهپندان مشخص می‌شود (شکل 1). مرز جنوبی زون سیستان با گسل بشاگرد، از زون مکران جدا می‌شود. زون سیستان حدود 800 کیلومتر طول و 200 کیلومتر عرض دارد. زون سیستان شامل دو کمپلکس ریتوک و نه است (شکل 2) (Tirrul et al., 1983). کمپلکس ریتوک شامل مجموعه‌ای از

بلوک‌های افیولیتی (بیشتر به صورت آمیزه) که دارای رخساره دگرگونی شیست آبی هستند، تشکیل شده است. کمپلکس نه افزون بر افیولیت، دارای رسوبات رخساره فلیشی با سن کرتاسه تا انوسن و با درجه دگرگونی پایین است. حوضه سفید آبه در بخش میانی کمپلکس ریتوک و نه قرار گرفته است. حوضه سفید آبه، ویژگی‌های پیش‌کمانی دارد و از سنگهای آواری و سنگ آهک‌های 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 فرورانش در خاور ایران شده است. گسل نهپندان 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 سرشاخه‌های فرعی زیاد بویژه در بخش‌های شمال باختر، جنوب خاور، خاور، شمال خاور است (Tirrul et al., 1983). گسل نهپندان در یک پهنه برشی که گاه تمام ایالت ساختاری سیستان را در برمی‌گیرد، واقع شده است (Tirrul et al., 1983). پس از کرتاسه بالایی در اثر همگرایی بلوک‌های لوت و افغان، مجموعه‌ای از سنگهای پوسته اقیانوسی (افیولیت-ها)، رسوبات پلاژیک، رخساره‌های فلیشی، مجموعه سنگهای آتشفشانی و نفوذی، رخساره مولاس و نهشته-های تبخیری تشکیل زون سیستان را داده‌اند.

بخش‌های مختلف پوسته اقیانوس در طول زون‌های راندگی حالت عمدتاً نواری دارند و از محدوده ایران‌شهر تا فائن ادامه دارند. فلیش‌های کرتاسه- انوسن با درجه دگرگونی پایین در زون‌های راندگی در بین افیولیت‌ها قرار دارند. کانی‌سازی منیزیت در زون‌های گسلی متمرکز شده است.

ویژگی‌های مهم منیزیت‌های خاور ایران عبارتند از:

- 1- در زون‌های گسلی واقع در افیولیت‌ها تشکیل شده‌اند
- 2- بافت نهان بلورین با شکست صدفی دارند





140 کیلومتری جنوب خاوری سریشه واقع شده است که صد کیلومتر آن تا بخش شوسف در مسیر جاده آسفالتی سریشه- نهندان بوده و بقیه مسیر، جاده شوسه‌ای است که از روستای زاهو، جنوب افسر آباد و مزار بی بی مریم می‌گذرد.

مهم‌ترین رخساره سنگی، سنگ‌های سری اولترابازی و افی کالک سیلیکات‌ها است که سن کرتاسه دارند. از نظر زمین‌ساختی، محدوده کانسار منیزیت ترشک محمدی به وسیله خطوط زمین‌ساختی 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 رند گسل‌های اصلی است نیز در منطقه وجود دارد. سامانه گسلی منطقه، از یک رند کلی شمال باختر - جنوب خاور پیروی می‌کند.

منیزیت ترشک محمدی در مساحت حدود 20 هکتار و به صورت سطحی و عدسی بر روی فلیش‌های چین‌خورده و اندکی فیلیتی شده ائوسن قرار گرفته است. محدوده پر عیار سنگ منیزیت در این کانسار، در قسمت مرکزی در ابعادی به طول 80 متر در جهت شمال خاور - جنوب باختر و عرض 20 تا 25 متر در جهت شمال باختر - جنوب خاور بین دو آبراهه خاور و باختر کانسار واقع شده است (شکل 4). این کانسار به طور کلی 250 متر عرض و 800 متر طول دارد.

این معدن از نظر عیار به 2 بخش تقسیم می‌شود: 1- منیزیت‌های پر عیار با ذخیره حدود 26000 تن با عیار $MgO = 94\%$ بدون آهن و درصد اکسیدهای سیلیس و آهک کمتر از 2%

2- منیزیت‌های با عیار 92 تا 90% که سیلیس و آهک آن حدود 4 تا 5/4 % و مقدار آهن بسیار ناچیز و ذخیره این قسمت 54000 تن است (اقبالی زارج و دیگران، 1379).

معدن منیزیت چاه خو: معدن منیزیت چاه خو در 123 کیلومتری جنوب خاوری بیرجند واقع شده است. برای دسترسی به این معدن، باید در مسیر آسفالتی بیرجند به زاهدان، 85 کیلومتر را طی کرد، سپس 36 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 شکستگی-ها تشکیل شده است (شکل 5). منیزیت به صورت رگه‌های طویل در منطقه دیده می‌شود که ستبرایی متغیر

خاکی است که از شوسف به طرف خاور جدا می‌شود. این معدن به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود:

الف) افضل آباد جنوبی: این کانسار تیپ رگه‌ای بوده و در شکستگی‌های حاصل از زمین‌ساخت در سنگ‌های اولترابازیک و در همبري 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 اوفی کربنات تشکیل شده‌اند (شکل 3). خطوط اصلی زمین‌ساختی در محدوده این کانسار، ادامه گسل خاور نهندان است که دارای شیبی بین 70 تا 80 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 دربرمی‌گیرد 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 ناپیوسته یک کیلومتر است. ستبرای رگه منیزیت در این کانسار از چند سانتی‌متر تا 8 متر تغییر می‌کند و دارای بافت نهان بلورین با شکست صدفی است. سنگ‌های اطراف زون کانی‌سازی، دگرسان شده‌اند. در بخش بالایی، کلاک آهنی مشاهده می‌شود. از نظر عیار، افضل آباد جنوبی دارای دو تیپ ذخیره است:

1- 3500 تن منیزیت با عیار $90-92\% MgO = 90-92\%$ ، $SiO_2 = 1\%$ و آهن حدود $1/5\%$
2- 4500 تن منیزیت با عیار $88\% MgO = 88\%$ و $SiO_2 = 5-6\%$ (اقبالی زارج و دیگران، 1379).

افضل آباد شمالی: این کانسار را می‌توان به زون پر عیار (اکسید منیزیم پس از تکلیس نمونه‌ها بیشتر از 90%) و زون‌های عیار میانگین (اکسید منیزیم پس از تکلیس نمونه‌ها بین 80 تا 90%) تقسیم کرد. کانی‌سازی منیزیت عمدتاً در زون‌های گسلی واقع در سنگ‌های اولترامافیکی تشکیل شده است. ذخیره قطعی کانسار افضل آباد جنوبی، 170431 تن و ذخیره احتمالی آن، 422881 تن است (اقبالی زارج و دیگران، 1379).

معدن منیزیت ترشک محمدی: این کانسار در جنوب خاوری شهرستان بیرجند واقع شده است و در طول جغرافیایی 60 درجه و 15 دقیقه خاوری و 31 درجه و 49 دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل 4). این معدن در فاصله حدود





منیزیت‌های ترشک محمدی و افضل آباد جنوبی و بیشترین آنها در معادن افضل آباد شمالی و چاه خو اندازه‌گیری شده است (شکل 11). میزان Mn هونتیت از منیزیت بیشتر است (Mn = 42 تا 58 ppm جدول 1). 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 Fe و Si در مرحله پس از کانی‌سازی منیزیت تشکیل شده است.

ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن

18 نمونه از منیزیت‌های افضل آباد، چاه خو و ترشک محمدی و 4 نمونه از هونتیت‌ها برای ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن، آزمایش شدند. نتایج این تجزیه در جدول 2 گزارش شده است.

در نمودار شکل 12، ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت‌ها و هونتیت‌های این مناطق رسم و مقایسه شده است. منیزیت‌های منطقه چاه خو دارای کمترین $\delta^{13}C$ (PDB) بوده و میزان آن از 1/8 تا 5/8% تغییر می‌کند (شکل 12).

منیزیت‌های ترشک محمدی در مقایسه با دو منطقه دیگر دارای بیشترین میزان $\delta^{13}C$ (PDB) بوده و مقدار آن از 7/3 تا 8/04% در تغییر است (شکل 12). میزان $\delta^{13}C$ (PDB) منیزیت‌های افضل آباد شمالی و جنوبی از 6/8 تا 7/8% تغییر می‌کند (شکل 12). همچنین ایزوتوپ $\delta^{13}C$ (PDB) در هونتیت‌ها بین 3/9 تا 6/5% متغیر است (شکل 12).

مقدار $\delta^{18}O$ (SMOW) در منیزیت‌های چاه خو بین 33/05 تا 33/8% تغییر می‌کند. بیشترین تغییرات $\delta^{18}O$ (SMOW) در منیزیت‌های افضل آباد شمالی و جنوبی دیده می‌شود (شکل 12). در افضل آباد شمالی، تغییرات $\delta^{18}O$ بین 35/7 تا 36/2% است، در حالی که برای منیزیت‌های افضل آباد جنوبی کمتر و از 29/7 تا 30/7% تغییر می‌کند. میزان $\delta^{18}O$ (SMOW) ترشک بیسن 31/3 تا 31/9% است. مقدار $\delta^{18}O$ (SMOW) هونتیت‌ها مشابه منیزیت‌های افضل آباد شمالی و بین 35/6 تا 36/8% است (شکل 12).

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 13 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

دارند. طول رگه تا حدود 3 کیلومتر برآورد می‌شود و سه رگه منیزیتی تقریباً موازی وجود دارد. ستبرای هر رگه، حدود یک متر بوده که به فاصله 1 تا 2 متر، به وسیله سنگ‌های سرپانتینی از هم جدا شده‌اند. عیار آن نسبتاً بالا و بین 88 تا 92 درصد است. فعالیت‌های بعدی گسل، موجب برشی شدن منیزیت شده و محلول‌های غنی از آهن و سیلیس، ارزش اقتصادی منیزیت را کاهش داده‌اند. ذخیره منیزیت چاه خو 100000 تن برآورد شده است (اقبال‌ی زارج و دیگران، 1379).

زمین شیمی

ترکیب شیمیایی منیزیت‌های معادن افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو و کانی هونتیت، در جدول 1 گزارش شده است. مقدار Mg منیزیت‌ها بین 21/08 تا 29/6 درصد متغیر است (شکل 6). بیشترین دامنه تغییرات منیزیم مربوط به منیزیت‌های ترشک محمدی است. میزان Mg هونتیت از 18 تا 19/5 درصد متغیر است (شکل 6). مقدار Ca نیز بین صفر تا حداکثر 5 درصد در منیزیت‌ها تغییر می‌کند و اکثراً کمتر از 2 درصد است (شکل 6). میزان Ca هونتیت بین 9 تا 10 درصد است (شکل 7).

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 252 تا 1679 ppm متغیر است (شکل 8). میزان Na در افضل آباد جنوبی نسبتاً کمتر از دیگر معادن و بین 21 تا 257 ppm است (شکل 8). بنابراین محلول‌کننده‌ار پیش از کانی‌سازی منیزیت، با سنگ‌های مجاور واکنش داده است. کانی هونتیت دارای بیشترین میزان Na (بین 3046 تا 3486 ppm) است (شکل 9).

میزان Sr هونتیت چندین برابر منیزیت است (شکل 9) و بین 5600 تا 8600 ppm و در منیزیت‌ها از صفر تا 211 ppm تغییر می‌کند (شکل 9). یک نمونه از منیزیت چاه خو تا 5 درصد Ca دارد، در حالی که میزان Sr آن 52 ppm است (شکل 10). هیچ گونه رابطه مشخصی بین مقدار Sr و Ca منیزیت دیده نمی‌شود (شکل 10). منیزیت‌های افضل آباد شمالی در مقایسه با افضل آباد جنوبی Sr بیشتری دارند (شکل 10). 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 11). در مجموع، منیزیت‌های ترشک محمدی Fe و Mn کمتری دارند (شکل 11). منیزیت‌های چاه خو و نقاط خاصی از افضل آباد، دارای Fe و Mn بیشتری هستند. کمترین میزان Mn و Fe، در





منیزیت‌ها داشته، پیشنهادها و رهنمودهای مناسبی را ارائه دادند. در این رابطه مشخص شد که تنها در کمربند افیولیت-های جنوب باختر ترکیه، منیزیت‌هایی هستند که در سنگ-های اولترامافیک تشکیل شده و ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن آنها تا حدی مشابه ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن معادن افضل‌آباد، چاه خو و ترشک محمدی است (Zedef et al., 2000).

در منیزیت‌های نهران بلورین جنوب باختر ترکیه که در سنگ-های اولترامافیکی هستند، آنها از نوع جوی و دمای تشکیل کمتر از 100°C برآورد شده است. منشأ منیزیم نیز از سنگ-های اولترامافیکی بوده و برای کربن منشأ‌های مختلفی پیشنهاد شده است (جدول 3).

بر اساس یافته‌های (Zedef et al., 2000)، چنانچه میانگین ایزوتوپ $\delta^{13}\text{C(PDB)}$ در حده 3% و ایزوتوپ $\delta^{18}\text{O(SMOW)}$ در حده 25% باشد، منیزیت می‌تواند در شرایط گرمایی-رسوبی برون‌دیمی (Exhalative) تشکیل شود و چنانچه $\delta^{13}\text{C(PDB)}$ میانگین بین 2% تا 4% و $\delta^{18}\text{O(SMOW)}$ در محدوده 33% تا 36% باشد، منیزیت در شرایط رسوبی دما پایین تشکیل شده است.

با توجه به اینکه ایزوتوپ‌های کربن منیزیت‌های مورد مطالعه از $1/8$ تا 8% و ایزوتوپ‌های اکسیژن از $29/7\%$ تا 36% متغیر است، منشأ آب از نوع آب‌های جوی و CO_2 بیشتر منشأ اتمسفری داشته است.

نتیجه گیری

ایران دارای شرایط و موقعیت ویژه و ممتاز زمین‌شناسی و زمین ساختمانی بوده و بقایای پوسته‌های اقیانوسی (افیولیت-ها)، دیرینه تئیس و نو تئیس در نقاط مختلف ایران، از جمله خاور ایران (بیرجند- نهندان - زاهدان)، شمال‌خاور (ترت حیدریه- فریمان- سبزوار)، باختر (خوی)، مرکز و جنوب (اسفندقه- میناب)، مشهد و دیگر نقاط رخنمون دارند. کانی‌سازی و معادن مهم منیزیت، فقط در افیولیت‌های خاور ایران (بیرجند- نهندان - 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 افضل‌آباد، چاه خو و ترشک با منیزیت‌های تشکیل شده در کمربند افیولیتی آلپ در معادن

این گونه منیزیت‌ها در دیگر نقاط دنیا باشد، اما بر اساس نمودار شکل 13، به دلیل اختلاف اصلی در میزان $\delta^{13}\text{C(PDB)}$ منیزیت‌های افضل‌آباد، چاه خو و ترشک محمدی در محدوده کاملاً متفاوت پیاده شده‌اند.

میزان $\delta^{13}\text{C(PDB)}$ منیزیت‌های تشکیل شده در افیولیت‌های کشورهایی مانند اتریش (Zachmann, 1977)، آمریکا (کالیفرنیا) (O,Neil & Barnes, 1971)، یونان (Zachmann, 1977)، یوگسلاوی (Vacanjac et al, 1984)، لهستان و روسیه (Sukhanov, 1985)، بین 7% تا 18% و مقدار $\delta^{18}\text{O(SMOW)}$ بین 22% تا 27% تغییر می‌کند (شکل 13). در صورتی که میزان ایزوتوپ کربن در منیزیت‌های ترشک، افضل‌آباد و چاه خو بین $1/8$ تا 8% و میزان اکسیژن از $29/7\%$ تا 36% متغیر است. با توجه به این تغییرات، منشأ محلول و شرایط تشکیل منیزیت‌های ایران با منیزیت-های دیگر نقاط دنیا که در افیولیت‌ها قرار گرفته‌اند، کاملاً متفاوت است.

همچنین ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن منیزیت‌های افضل‌آباد، ترشک و چاه خو از نظر ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن اختلاف قابل توجهی با منیزیت‌های نوع سبخا و اسپار دارد (شکل 13). بر اساس مطالعه Kralik et al. (1989) منیزیت‌های دانه ریز کواترنری که در محیط سبخا پدید آمده‌اند، دارای $\delta^{13}\text{C(PDB)}$ بین $1/7$ تا $4/4\%$ و $\delta^{18}\text{O(SMOW)}$ بین 32% تا 38% 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:

1- $\delta^{13}\text{C(PDB)}$ بین 2% تا 3% و $\delta^{18}\text{O(SMOW)}$ بین 25% تا 27% و 2- $\delta^{13}\text{C(PDB)}$ بین 2% تا 6% و $\delta^{18}\text{O(SMOW)}$ بین 18% تا 22% 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 $7/5\%$ تا 4% و $\delta^{18}\text{O(SMOW)}$ بین 6% تا 25% هستند که این مقادیر با پدیده دگرگونی همخوانی دارد (Kralik et al., 1989).

با توجه به ویژگی‌های خاص ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن منیزیت‌های افضل‌آباد، چاه خو و ترشک، سعی شد در زمینه-های 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



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 1/8 تا 8% و ایزوتوپ‌های اکسیژن از 29/7 تا 36% متغیر است، منشأ آب از نوع آب‌های جوی و CO₂ غالباً منشأ اتمسفری داشته است، بنابراین نظریه‌های آب با منشأ دگرگونی و ماگمایی، در خصوص تشکیل این منیزیت‌ها درست نیست. تمرکز منابع مهم منیزیته در افیولیت‌های این بخش از ایران، بیانگر این مطلب است که شرایط ویژه زمین ساختی، ژئودینامیکی و ماگماتیسم جوان (بازالت‌های جوان) حاکم، نقش مهمی داشته‌اند. آب‌های جوی غنی از CO₂ از راه گسل‌های ژرف به اعماق نفوذ کرده (شکل 14) و ضمن افزایش دما (گرادیان گرما و گرمای ناشی از فعالیت ماگمایی) در دمای کمتر از 150° از راه واکنش، سنگ‌های اولترامافیکی را دگرسان کرده و میزان Mg و دیگر عناصر آن افزایش یافته است. این آبها ضمن حرکت در گسل‌ها، در جهت سطح زمین در اعماق کم، موجب تشکیل دانه‌سازی منیزیت شده اند.

جدول 1- ترکیب شیمیایی منیزیت و هونتیت معادن افضل آباد، ترشک محمدی و چاه‌خو

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



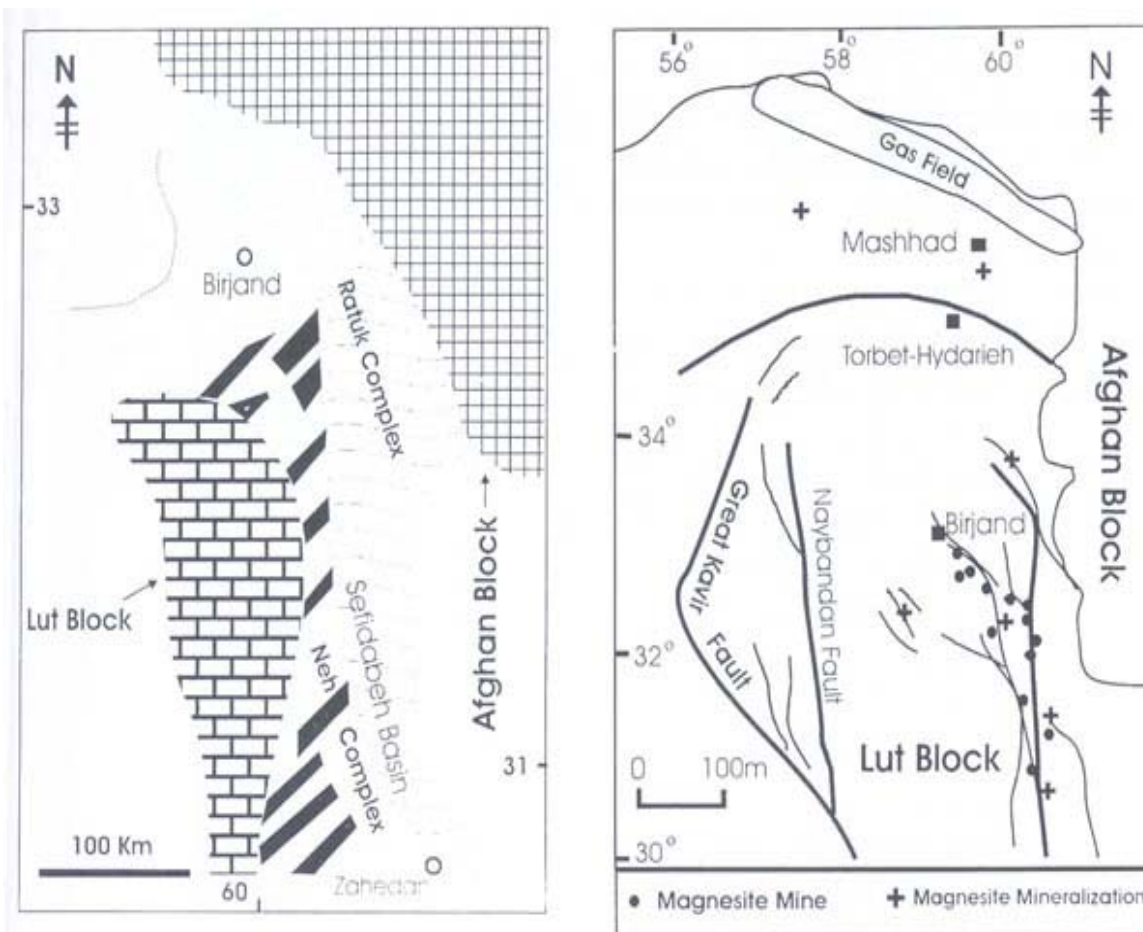
جدول 2- ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت و هونتیت معادن افضل آباد، ترشک محمدی، و چاه‌خو

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	۰/۰۰۷
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 3 - منشأ کربن در منیزیت‌های جنوب‌باختر ترکیه

منشأ کربن	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ (SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ (PDB)	مرجع
کربنات دما پایین	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)

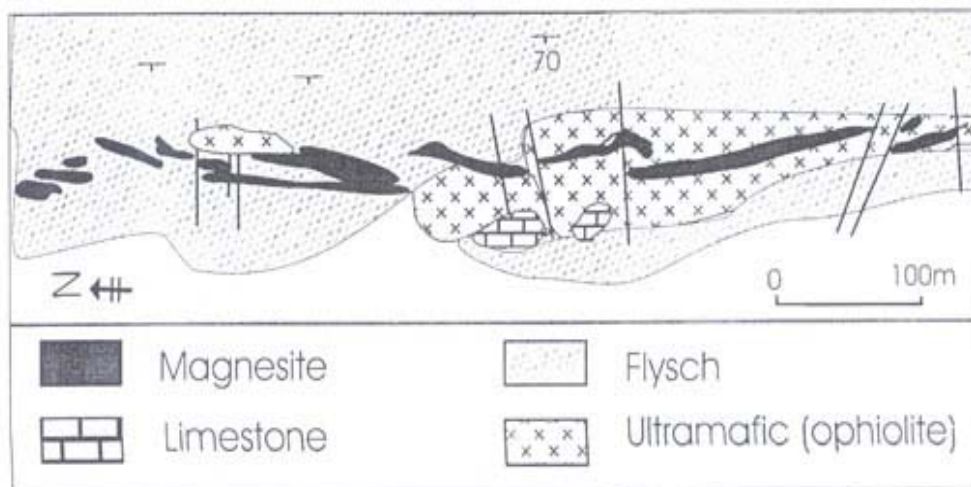


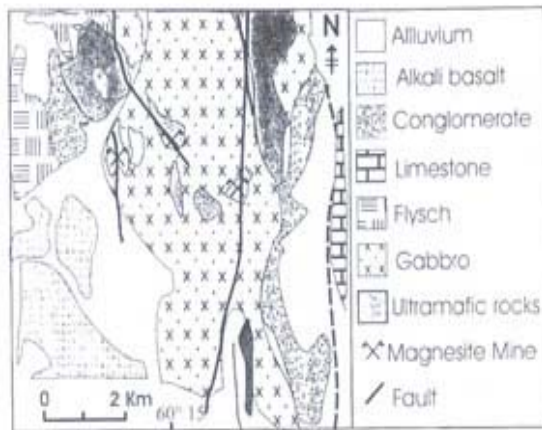


شکل 2- نمایش موقعیت کمپلکس ریتوک و نه در زون سیستان (Tirrul et al, 1983)

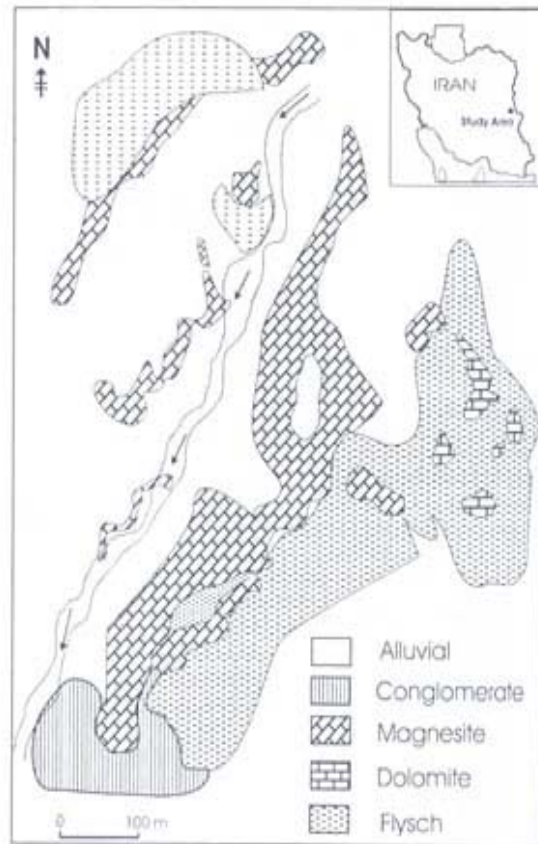
شکل 1- نمایش موقعیت گسلهای نهندان، نایبند، درونه و معادن منیزیت خراسان در زون سیستان

شکل 3- نقشه زمین‌شناسی معدن منیزیت افضل آباد (با تغییراتی از Ebrahimi Nasrabad, 1990)

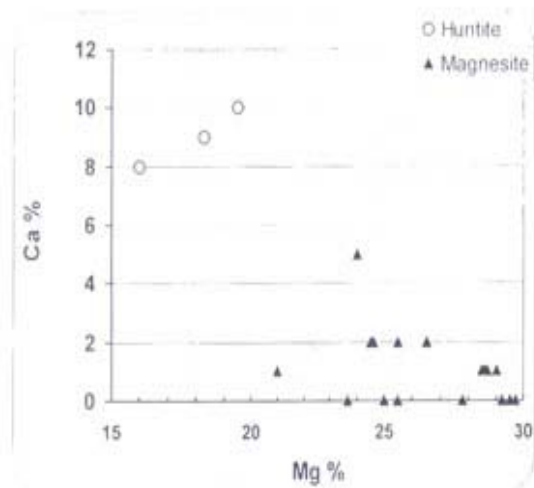




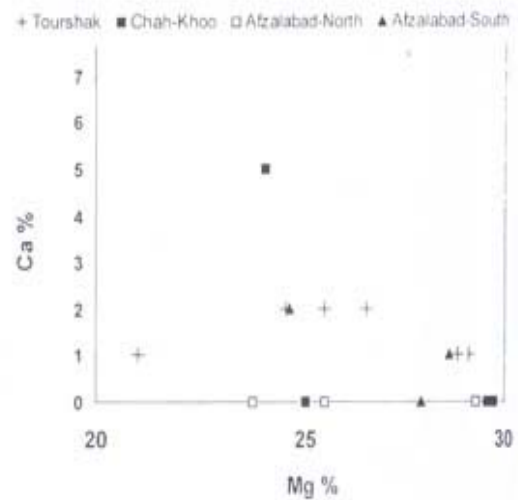
شکل 5 - نقشه زمین‌شناسی معدن منیزیت چاه خو



شکل 4 - نقشه زمین‌شناسی معدن منیزیت ترشک محمدی (با تغییراتی از Ebrahimi Nasrabad, 1990)

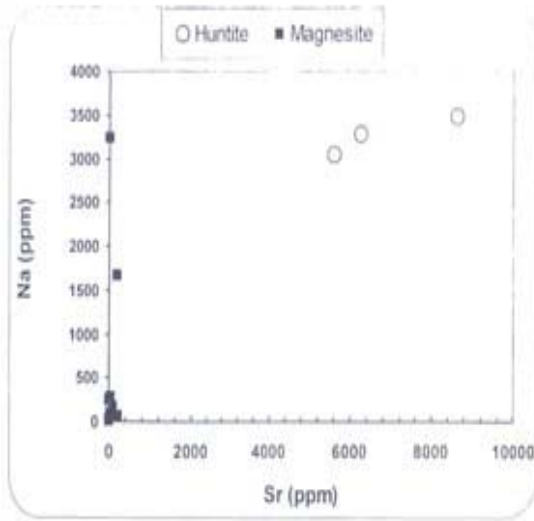


شکل 7- مقایسه تغییرات Ca , Mg در منیزیت‌ها و هونتیت

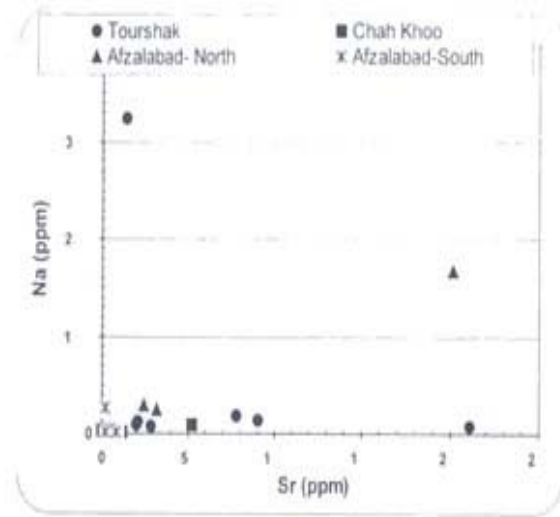


شکل 6 - مقایسه تغییرات Ca , Mg در منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو

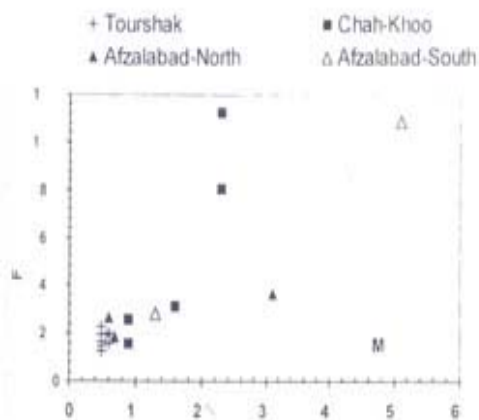




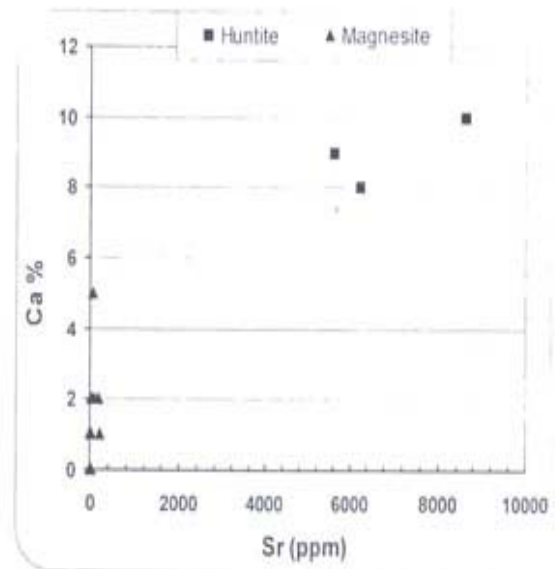
شکل 9- مقایسه تغییرات Sr, Na در منیزیت و هونتیت



شکل 8- مقایسه تغییرات Sr, Na در منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو

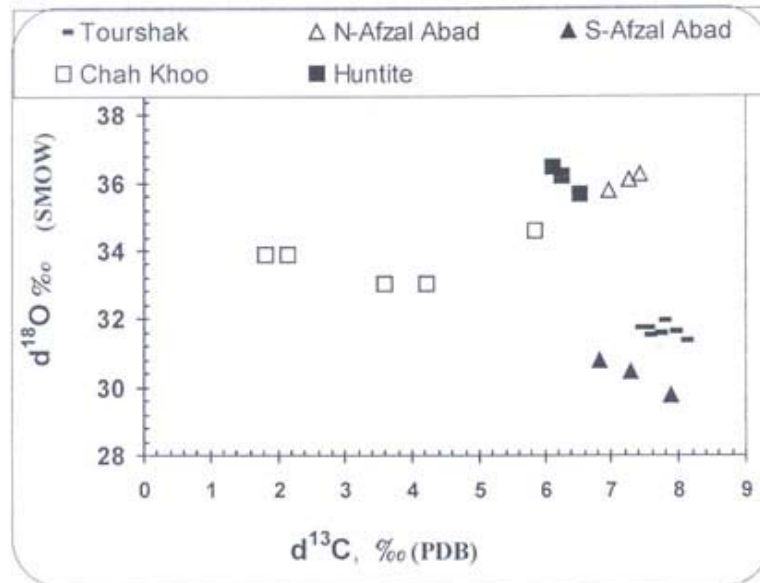


شکل 11- مقایسه تغییرات Fe, Mn در منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو

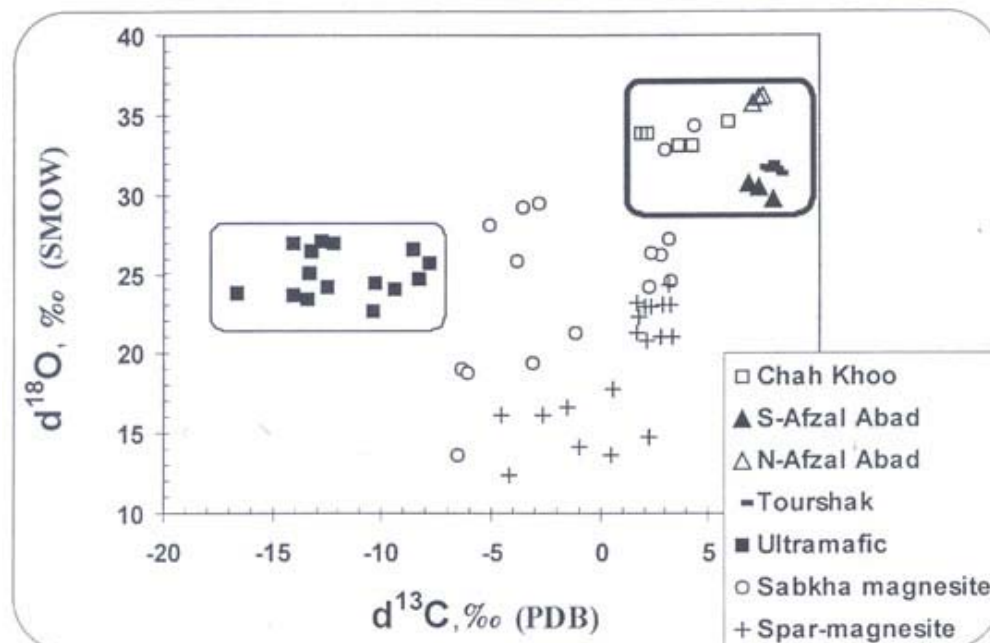


شکل 10- مقایسه تغییرات Ca, Sr در منیزیت و هونتیت



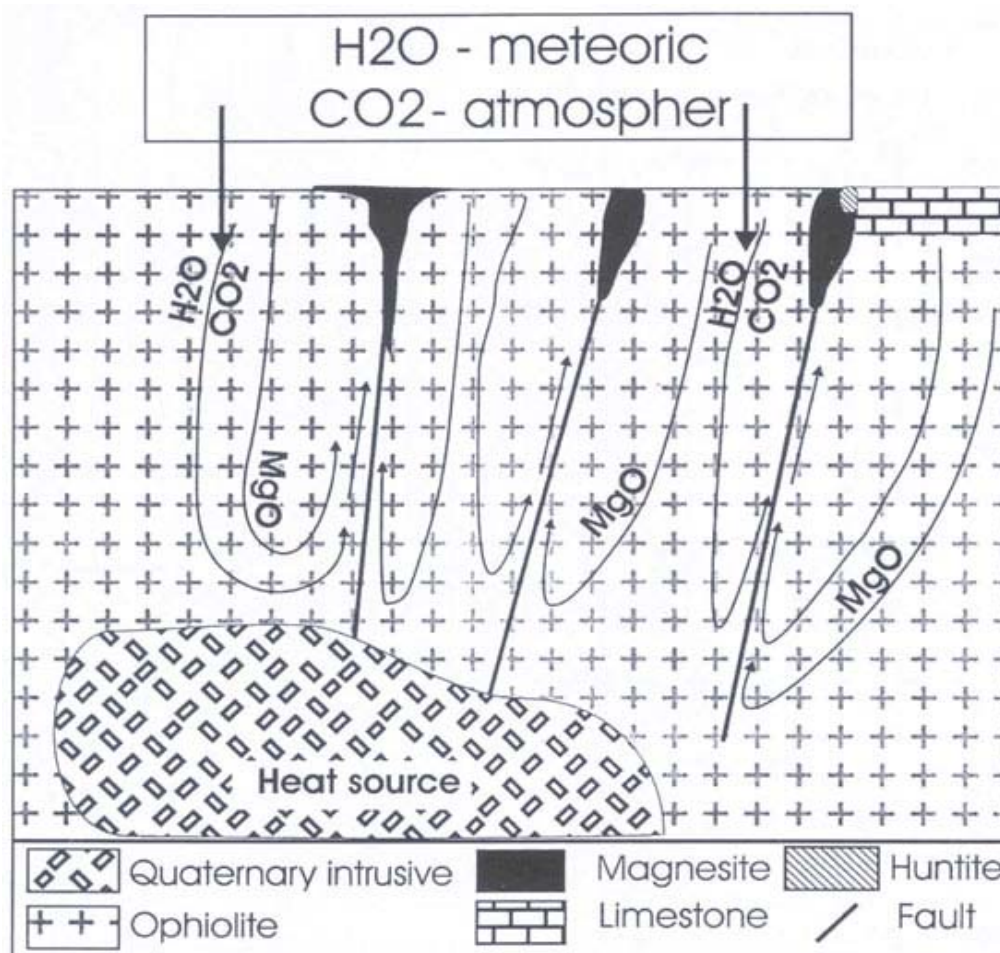


شکل 12- مقایسه ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو



شکل 13- مقایسه ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن منیزیت‌های افضل آباد، ترشک محمدی و چاه خو با انواع مختلف منیزیت‌های دنیا





شکل 14- نمایش مدل نحوه تشکیل و منشأ آب، CO₂ و MgO در منیزیت‌های افضل آباد، چاه خو و ترشک.

کتابنگاری

اقبالى زارچ، ع.، خزاعى فر، ع.، فلاح رستگار، ع. و قرائى، م.، 1379- گزارش بررسی وضعیت ماده معدنی منیزیت در خراسان. 35ص.
سازمان صنایع و معادن استان خراسان، آمار معادن استان خراسان، 1381.

References

- Aboveian, S.B., 1978- Genetic of listvenites of the Armenian Republic and their metalogenic significance (Zapiski Armianskoe otdelenie Vsesoilnogo). Mineralogicheskogo obshchestva. No.9: pp. 98-109.
- Antonovic-Antonije & Vaskovic-Nada., 1992- listwantization 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 Magnesites and Huntite from Eastern Iran, Ph.D thesis, University of Hall England, 504 p.
- Efermov, N., 1952- Origin of Listwaenites of the Caucasus and Urals. G.S.A. Bulletin. 63; 12, part 2, pp.1246-1247.
- Fallick, 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- Listwaenites 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, Republic of Ireland , Mineral Deposit, 30, pp.303-313.
- Kashkai, M.A., Parkhomenko E.I., Salekhli, T.M., 1975- Electrical 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 Magnesitlagerstätte Eugui Westpyrenäen. Tscherms 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.
- Kuleshovich, L.V., 1984- Listwaenites in the greenstone belts of eastern Karelia, Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii (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- Listwaenitization and ore mineralization , Russian academy of science , the Ural Scientific center, A. N. Sawaritskiy institute of geology and geochemistry.
- Shcherban, I.P. & Borovikova , G. A., 1970- Thermodynamic data on the genesis of listwaenites and listwaenitized rock, Doklady Akademii Nauk SSSR . 191; 6, pp. 1389-1392 .
- Spiridonov, E .M., 1984- Mercury deposits of western California, and overview, 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 (listwaenite) 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.

* Department of Geology Ferdowsi University of Mashhad

** School of Earth Sciences Shahid Beheshti University

* گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
** دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی