

ویژگی‌های ژئوشیمیایی و منشاء منیزیت‌ها در منطقه مزار سیدعلی، شرق ایران

حسن میرزاد^{۱*}، علی احمدی^۲ و حبیب‌اله گرگانلی^۳

۱. دانشیار دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳. کارشناسی ارشد ژئوشیمی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۸

چکیده

کانسار منیزیت منطقه مزار سیدعلی در فاصله ۱۰۵ کیلومتری جنوب بیرجند در حوضه فلیش شرق ایران و در مجموعه افیولیتی «نه» واقع شده است. میزبان این کانسار سنگ‌های اولترامافیک به سن کرتاسه بالایی هستند که اغلب سرپانتینیتی شده‌اند. نتایج تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که منیزیت مزار سیدعلی از MgO غنی و از SiO_2 و CaO فقیر بوده و بنابراین برای استفاده در صنایع نسوز و دیرگداز مناسب می‌باشند. به منظور بررسی منشاء منیزیت‌های مزار سیدعلی، نسبت‌های ایزوتوبی کربن و اکسیژن برای تعداد هشت نمونه منیزیت اندازه‌گیری شد که نتایج نشان می‌دهند، مقادیر $\delta^{13}C_{VPDB}$ بین $-۸/۶۰$ تا $-۶/۲۵$ در هزار و $\delta^{18}O_{VSMOW}$ بین $+۲۹/۰۹$ تا $+۳۰/۸۴$ در هزار متغیر می‌باشند. با توجه به مقادیر منفی $\delta^{13}C$ و مقایسه آن با کانسارهای مشابه مشخص می‌شود که منشاء کربنات موجود در منیزیت‌های مورد مطالعه از کربن آلی می‌باشند که تحت تاثیر کربنات جوی واقع شده است. از طرفی دگرسانی شیمیایی و سرپانتینیتی شدن سنگ‌های اولترامافیک منطقه و تبدیل آن‌ها به سرپانتینیت باعث جدایش منیزیم گردیده که پس از واکنش با محلول‌های حاوی کربنات، منیزیت ته‌نشین شده است.

واژه‌های کلیدی: منیزیت، ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن، سرپانتینیت، سنگ‌های اولترامافیک، مزار سیدعلی.

مقدمه

کانی معمولاً حاصل دگرسانی سنگ‌های آذرین غنی از منیزیم انگاشته می‌شود و در این میان، سرپانتینیت‌ها به‌عنوان محصول دگرگونی درجه پایین سنگ‌های اولترامافیک (Kornprobst, 2003) مناسب‌ترین میزبان برای منیزیت هستند. سرپانتینیت‌ها به‌دلیل

منیزیت با فرمول ایده‌آل $MgCO_3$ معمولاً به رنگ سفید در طبیعت یافت شده و ماده خام پراهمیت برای تهیه مواد دیرگداز (آجر نسوز) می‌باشند. این

* نویسنده مرتبط mimejad@khayam.ut.ac.ir

یک حوضه اقیانوسی بین قاره‌ای واقع در حد فاصل میان دو بلوک لوت و افغان شکل گرفته و در واقع پیدایش و تکامل آن با ایجاد باریکه اقیانوسی و جدایش بلوک لوت از افغان در کرتاسه بالایی آغاز شده است (Camp and Griffis, 1982). این حوضه اقیانوسی که منشاء افیولیت‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشند، در کامپانین شروع به بسته شدن نموده است. در یک نگاه کلی، (Tirrul et al., 1983) سنگ‌های این پهنه را شامل دو مجموعه افیولیتی (رتوک در غرب و «نه» در شرق) و یک مجموعه رسوبی (سفیدآبه) می‌دانند. واحد «رتوک» قبل از ماسترشتین شکل گرفته و از آب خارج گشته است، در حالی که واحد «نه» که منطقه مورد مطالعه را نیز شامل می‌شود، از سنونین تا ائوسن با پسروی زون فرورانش به طرف جنوب‌غرب شروع به شکل‌گیری کرده و به همراه آن حوضه «سفیدآبه» نیز تشکیل شده است (Camp and Griffis, 1982).

ذخایر منیزیت ایران عمدتاً در شرق کشور همراه با مجموعه‌های افیولیتی جنوب‌بیرجند و شرق قاین متمرکز شده‌اند. در منطقه مزار سیدعلی فراوان‌ترین واحدهای سنگی شامل آتشفشانی‌های ائوسن و مجموعه‌های افیولیتی کرتاسه فوقانی هستند. پریدوتیت‌ها به‌عنوان واحد غالب در مجموعه‌های افیولیتی از کانی‌ها اولیوین، اورتوپیروکسن و کلینوپیروکسن تشکیل یافته‌اند. بیشتر پریدوتیت‌های موجود در منطقه از نوع دونیت بوده و از نظر سنی قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه می‌باشند که در اثر دگرسانی به سرپانتینیت و لیسینونیت تبدیل شده‌اند (شکل ۱). براساس مشاهدات صحرایی، کانی‌زایی منیزیت غالباً در سرپانتینیت‌ها رخ داده است (شکل ۲).

تاثیر CO_2 بر پریدوتیت‌ها تشکیل شده‌اند و در نتیجه اگر مقدار CO_2 محیط افزون بر مقدار لازم برای تشکیل سرپانتینیت باشد، امکان تشکیل منیزیت فراهم می‌گردد. CO_2 ممکن است از منابع مختلف تامین شده باشد و تعیین منشاء آن نیازمند مطالعاتی بر روی ترکیب ایزوتوپی کربن و اکسیژن منیزیت‌ها می‌باشند.

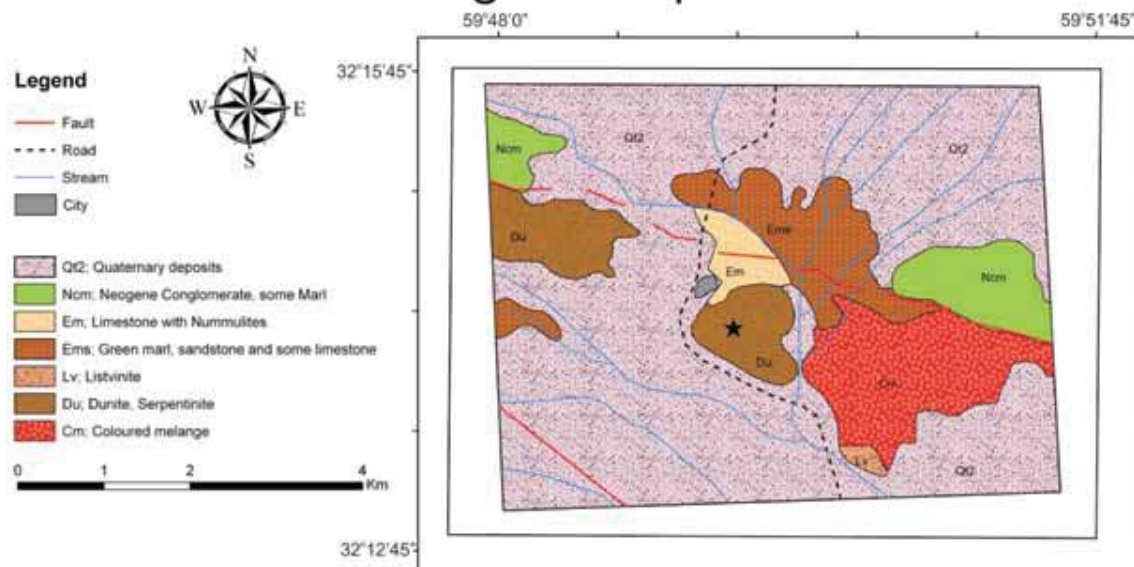
در کوه‌های شرق ایران، سنگ‌های پریدوتیتی مربوط به مجموعه‌های افیولیتی فراوان هستند. این سنگ‌ها در محدوده جنوب بیرجند تا نهبندان میزبان توده‌های وسیع منیزیت می‌باشند (کریم پور و همکاران، ۱۳۸۴؛ Mirnejad et al., 2008). منیزیت‌های این مناطق دارای خلوص نسبتاً بالا بوده و از این‌رو به‌طور وسیع جهت کاربردهای صنعتی استخراج می‌گردند. در این پژوهش، غلظت عناصر اصلی و نسبت‌های ایزوتوپی کربن و اکسیژن به‌منظور ارزیابی کاربرد صنعتی و نیز تعیین منشاء منیزیت‌های منطقه مزار سیدعلی واقع در جنوب سریشه اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج این تحقیق همچنین می‌تواند به شناخت بیشتر منشاء و تکامل منیزیت‌های شرق ایران منجر شود.

زمین‌شناسی

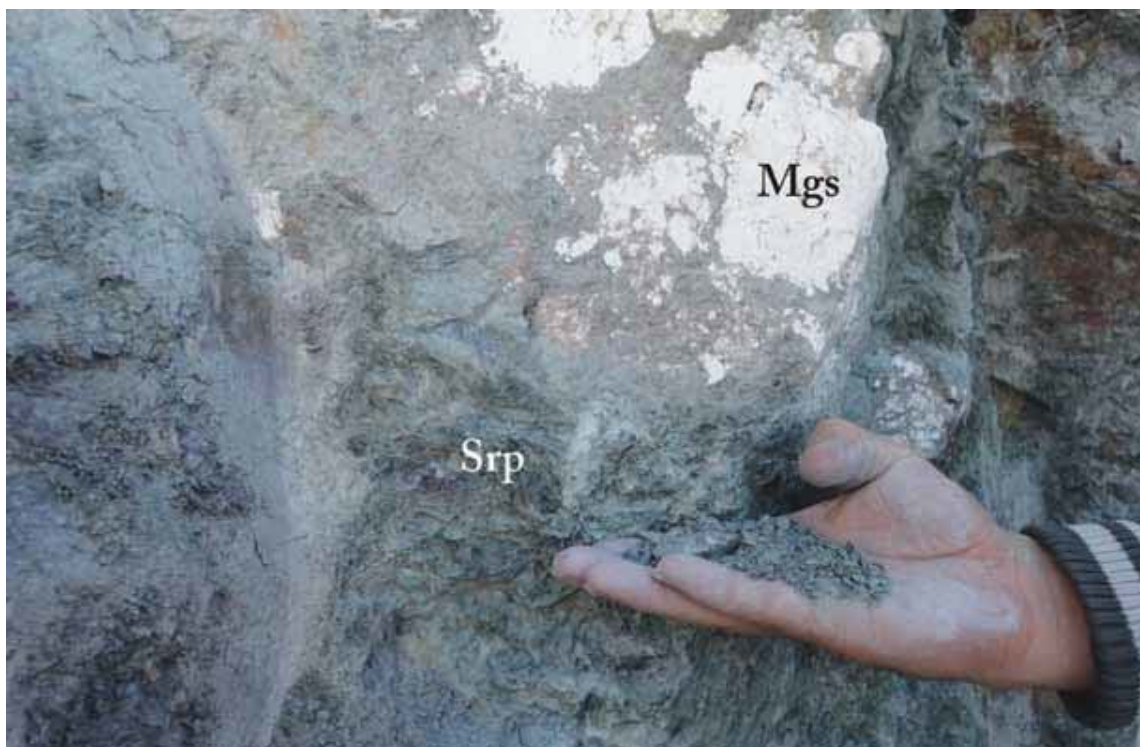
منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ای به طول جغرافیایی 49° تا 51° شرقی و عرض جغرافیایی 32° تا 33° شمالی در پهنه زمین‌درز سیستان و افیولیت‌ملانژ شرق ایران به سن کرتاسه بالایی واقع شده است (Tirrul et al., 1983). سنگ‌های اولترامافیک که عمده‌ترین واحدهای مجموعه‌های افیولیتی را تشکیل می‌دهند میزبان کانسار منیزیت مزار سیدعلی می‌باشند. پهنه زمین‌درز سیستان در

حسن میرنژاد و همکاران

Geological map of Mazarseidali



شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه مزار سیدعلی (محدوده نمونه برداری با علامت ستاره مشخص شده است)



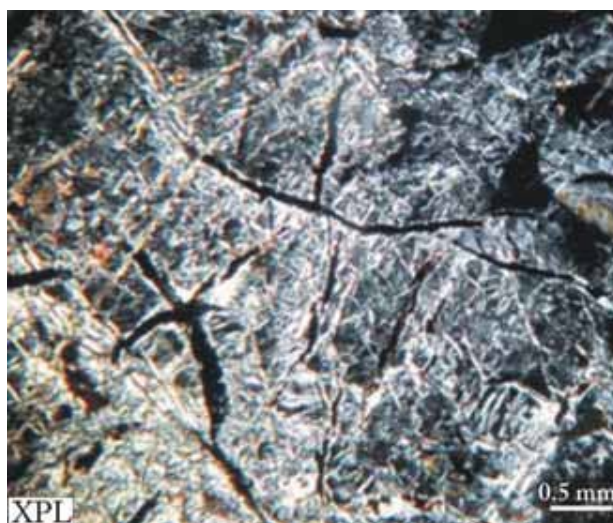
شکل ۲. منیزیت (Mgs) به رنگ روشن در میزبان پریدوتیت های سرپانتینی شده (Srp). علامت های اختصاری از Whitney and Evans (2010)

سنگ‌نگاری

مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهند که سنگ‌های اولترامافیک میزبان منیزیت مزار سیدعلی شامل دونیت، سرپانتینیت و هارزبورژیت بوده و از کانی‌ها الیوین، ارتوپیروکسن و سرپانتین تشکیل یافته‌اند (جدول ۱). اساساً بیش از ۹۰ درصد حجم سرپانتینیت‌ها از سرپانتین تشکیل شده‌اند (شکل ۳).

جدول ۱. محل برداشت نمونه‌ها و کانی‌ها تشکیل‌دهنده سنگ‌های اولترامافیک منطقه و نحوه قرارگیری منیزیت در آن‌ها

مختصات جغرافیایی	کانی‌ها اصلی	کانی‌ها فرعی	نام سنگ	رخداد منیزیت
32° 13' 70" N 59° 49' 80" E	الیوین، ارتوپیروکسن	سرپانتین، کانی‌ها اوپاک	هارزبورژیت	رگه‌ای
32° 13' 69" N 59° 49' 81" E	الیوین، ارتوپیروکسن	سرپانتین، دیوپسید، کانی‌ها اوپاک	هارزبورژیت	رگه‌ای
32° 13' 66" N 59° 49' 70" E	الیوین، سرپانتین، ارتوپیروکسن	کانی‌ها اوپاک	دونیت (سرپانتینیت)	توده‌ای
32° 13' 55" N 59° 50' 00" E	الیوین، ارتوپیروکسن	کلینوپیروکسن، سرپانتین، کانی‌ها اوپاک	هارزبورژیت	رگه‌ای تا توده‌ای



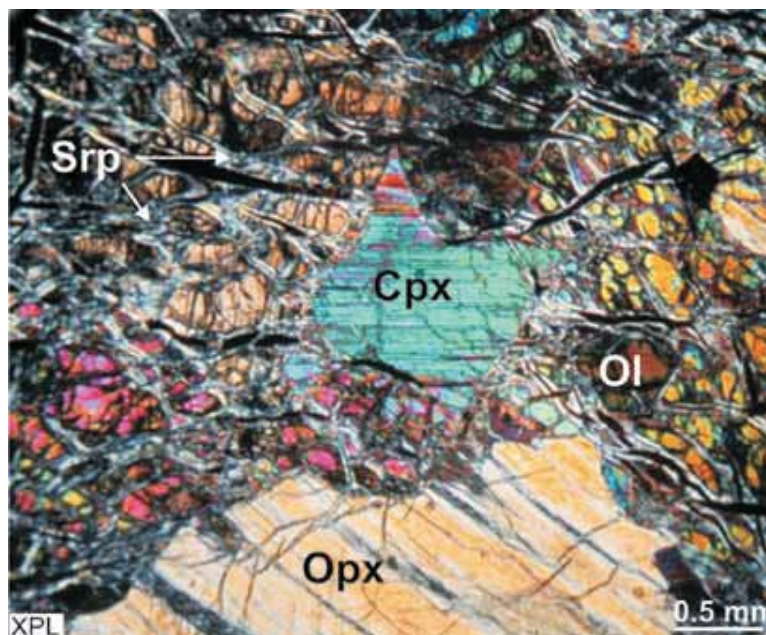
شکل ۳. مقطع میکروسکوپی از سرپانتینیت منطقه مزار سیدعلی

هارزبورژیت از کانی‌ها الیوین (۵۰ تا ۶۰ درصد)، ارتوپیروکسن (۳۰ تا ۴۰ درصد)، کلینوپیروکسن (۱ تا ۵ درصد) و کانی‌ها فرعی سرپانتین و اپاک تشکیل شده است. الیوین‌های موجود در این سنگ‌ها اغلب در کناره‌ها و در امتداد شکستگی‌هایشان به سرپانتین تبدیل شده‌اند (شکل ۴). ارتوپیروکسن، پس از الیوین بیشترین فراوانی را در هارزبورژیت دارد و از نوع برونزیت است (شکل ۴). کلینوپیروکسن در هارزبورژیت‌های منطقه از فراوانی کمی برخوردار است و ویژگی‌های نوری مشابه دیوپسید را دارد. بلورهای کلینوپیروکسن بی‌شکل بوده و به نظر نسبت به دو کانی الیوین و ارتوپیروکسن از مقاومت بیشتری در برابر دگرسانی برخوردار بوده‌اند (شکل ۵). منیزیت‌ها به صورت‌های گل‌کلمی (شکل ۶ - الف)،

حسن میرنژاد و همکاران



شکل ۴. تصویر میکروسکوپی دونیت (اولیوین با شکستگی‌های فراوان در حال سرپانتینی شدن در امتداد شکستگی‌ها)



شکل ۵. تصویر میکروسکوپی هارزبورژیت حاوی کانی‌ها اولیوین (Ol)، سرپانتین (Srp)، ارتوپروکسن (Opx) و کلینوپروکسن (Cpx)

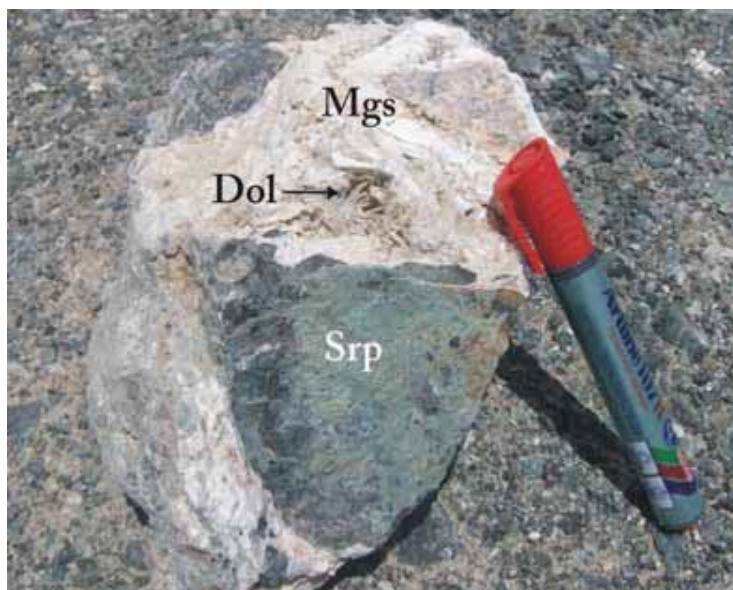
داشته باشد. در برخی قسمت‌ها منیزیت همراه با دلومیت و پریدوتیت‌های دگرسان شده به سرپانتینیت یافت می‌شود (شکل ۷). سنگ میزبان منیزیت‌های گل کلمی به شدت

رگه‌ای و انتشاری (شکل ۶ ب) رخنمون دارند، در نمونه دستی سخت و متراکم بوده، دارای شکستگی صدفی هستند و به رنگ‌های سفید تا زرد دیده می‌شوند که سطح هوازده آن‌ها ممکن است رنگ خاکستری روشن



شکل ۶. الف) نمونه منیزیت به شکل گل‌کلمی، که سطح هوازده آن به‌رنگ خاکستری دیده می‌شود. میزبان این نمونه‌ها سنگ‌های اولترامافیکی به‌شدت دگرسان هستند، ب) منیزیت رگه‌ای و انتشاری در درون سنگ‌های اولترامافیک میزبان

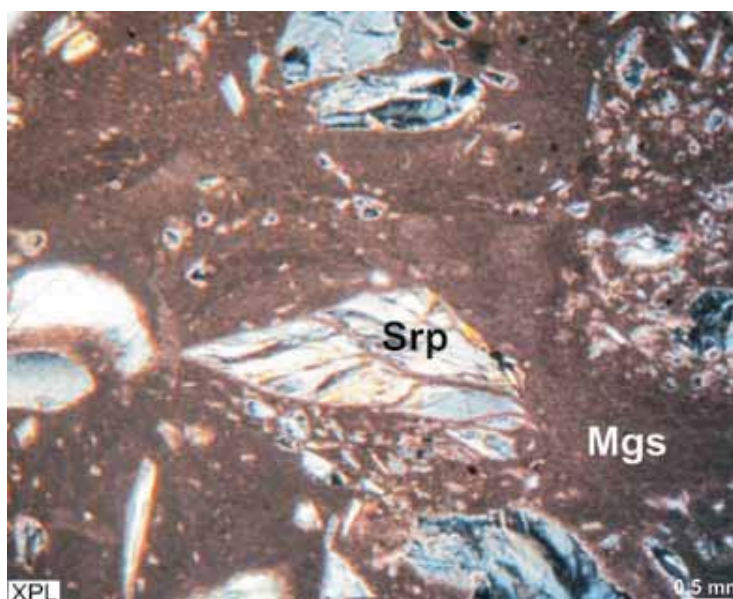
حسن میرنژاد و همکاران



شکل ۷. قطعات منیزیت (Mgs) و دولومیت (Dol) بصورت رشته‌ای و شعاعی همراه با پریدوتیت سرپانتینیته شده (Srp)

حاوی منیزیت گل کلمی در دگرسان کردن سنگ میزبان اولترامافیکی در مقایسه با انواع رگه‌ای و انتشاری باشد. در مطالعات میکروسکوپی، منیزیت به‌طور کلی ریز بلور تا مخفی بلور بوده و در مواردی حاوی قطعات پریدوتیت سرپانتینیته شده می‌باشند (شکل ۸).

سرپانتینیته شده است، به‌طوری‌که در مطالعات میکروسکوپی کانی‌ها اولیه آن قابل تشخیص نیستند ولی در مواردی که منیزیت به شکل رگه‌ای یا انتشاری تشکیل شده، سنگ میزبان، کمتر سرپانتینیته شده است. دلیل این پدیده می‌تواند تأثیر شدیدتر محلول‌های



شکل ۸. قطعات پریدوتیت نسبتاً درشت بلور و به‌شدت سرپانتینیته شده (Srp) در زمینه‌ای از منیزیت‌های مخفی بلور (Mgs)

روش مطالعه

نسبت‌های ایزوتوپی اکسیژن - کربن ارسال شد. برای این منظور، ۱۵ میلی‌گرم از پودر نمونه به مدت ۲۴ ساعت تحت تاثیر اسید فسفریک ۱۰۰ درصد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و نسبت‌های ایزوتوپی گاز CO₂ متصاعد شده از هر نمونه توسط دستگاه طیف‌سنج جرمی اندازه‌گیری گردید (جدول ۴).

ژئوشیمی

در هارزبورژیت منطقه مزار سیدعلی مقدار SiO₂ نسبت به نمونه سرپانتینیت بالاتر و مقادیر MgO و LOI کمتر است. مقدار Na₂O و K₂O کمتر از حد آشکارسازی (<۰/۱۰) دستگاه گزارش شده است (به استثنای نمونه MZ-۲) (جدول ۲). چنان‌که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در نمونه‌های منیزیت مقدار MgO و LOI بالا و میزان SiO₂ و CaO بسیار پایین می‌باشند. مقدار Al₂O₃ نیز به دلیل غلظت اندک آنها در برخی نمونه‌ها کمتر از حد آشکارسازی دستگاه قرار می‌گیرد. دامنه تغییرات δ¹³CVPDB منیزیت‌های منطقه مزار سیدعلی بین ۸/۶- تا ۶/۲۵- % و δ¹⁸OVSOW بین ۳۰/۱۹+ تا ۲۹/۰۹+ % می‌باشند (جدول ۴).

پس از بررسی زمین‌شناسی منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری از منیزیت‌ها و سنگ‌های دربرگیرنده انجام گرفت. در این مطالعه از واحد سنگی پریدوتیت و منیزیت‌های موجود در منطقه نمونه‌برداری شد و از آنها مقاطع نازک تهیه گردید. سپس از میان نمونه‌هایی که متحمل کم‌ترین میزان دگرسانی شده‌اند، چهار نمونه از سنگ میزبان و هشت نمونه از منیزیت برای تجزیه شیمیایی انتخاب و به ترتیب توسط روش‌های فلورسانس پرتو ایکس و شیمی تر در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آنالیز شدند. نتایج حاصل از آنالیز عناصر اصلی به روش فلورسانس پرتو ایکس نمونه‌های اولترامافیک منطقه مزار سیدعلی در جدول ۲ و غلظت عناصر اصلی نمونه‌های منیزیت در جدول ۳ آمده است. همچنین هشت نمونه منیزیت به آزمایشگاه ایزوتوپ پایدار در دانشگاه مونتان اتریش جهت اندازه‌گیری

جدول ۲. غلظت اکسیدهای عناصر اصلی (بر حسب درصد وزنی) در نمونه‌های اولترامافیک منطقه مزار سیدعلی

Sample#	MZ-2	MZ-3	MZ-7	MZ-13
Rock Type	هارزبورژیت	هارزبورژیت	سرپانتینیت	هارزبورژیت
SiO ₂	۴۴/۳۷	۴۳/۵۵	۴۱/۳۵	۴۳/۸۰
Al ₂ O ₃	۱/۹۰	۱/۶۶	۱/۸۲	۲/۳۰
Fe ₂ O ₃	۱۰/۰۰	۸/۲۴	۷/۷۲	۱۰/۲۹
CaO	۱/۴۰	۰/۸۲	۰/۳۱	۲/۳۳
MgO	۳۱/۵۴	۳۳/۴۳	۳۳/۰۴	۳۲/۷۴
K ₂ O	۰/۱۳	<۰/۱۰	<۰/۱۰	<۰/۱۰
SO ₃	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۱۷	<۰/۱۰
MnO	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۹
Cr ₂ O ₃	۰/۳۹	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۵۰
NiO	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۴۳
L.O.I	۹/۲۶	۱۰/۹۲	۱۴/۳۶	۷/۲۴
Total	۹۹/۷۹	۹۹/۸۹	۹۹/۸۱	۹۹/۸۲

جدول ۳. غلظت اکسیدهای عناصر اصلی (بر حسب درصد وزنی) در نمونه‌های منیزیت منطقه مزارسیدعلی

Sample#	MZ-1	MZ-4	MZ-6	MZ-8	MZ-10	MZ-11	MZ-12	MZ-14
SiO ₂	۰/۱۸	۰/۵۹	۱/۰۸	۰/۱۵	۰/۳۴	۰/۱۷	۱/۰۲	۰/۱۳
Al ₂ O ₃	<۰/۱۰	<۰/۱۵	<۰/۲۲	<۰/۱۰	<۰/۱۰	<۰/۱۰	<۰/۱۰	<۰/۱۰
CaO	۱/۰۸	۳/۱۴	۶/۲۹	۲/۲۱	۴/۳۷	۹/۱۴	۸/۸۶	۱۰/۱۶
MgO	۴۶/۹۵	۴۴/۴۸	۴۱/۶۸	۴۵/۷۳	۴۳/۸۱	۴۰/۱۰	۳۹/۴۹	۳۹/۰۳
L.O.I	۵۱/۷۹	۵۱/۶۴	۵۰/۷۳	۵۱/۹۱	۵۱/۵۸	۵۰/۵۹	۵۰/۴۷	۵۰/۶۷
Total	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

(جدول ۳) نشان می‌دهد که این نمونه‌ها برای مصارف صنعتی به‌ویژه به‌صورت دیرگداز مناسب هستند. غلظت CaO در کانسار منطقه مزار سیدعلی بین ۱ تا ۴ درصد در نمونه‌های گل‌کلمی (MZ-1, MZ-4, MZ-8, MZ-10) و ۶ تا ۱۰ درصد در نمونه‌های رگه‌ای و رگچه‌ای (MZ-6, MZ-11, MZ-12, MZ-14) می‌باشند. بنابراین به‌نظر می‌رسد که منیزیت‌های گل‌کلمی ماده خام مناسبی برای مصرف صنعتی دیرگداز هستند.

(Abo-Jaber and Kimberly 1992) با مطالعه منیزیت‌های سراسر دنیا پیشنهاد نموده‌اند که دگرسانی شیمیایی سنگ‌های اولترامافیک همچون دونیت، پیروکسنیت، لزلولیت و هارزبوژیت و تبدیل آن‌ها به سرپانتینیت باعث جدایش منیزیم از سنگ‌ها گردیده که متعاقباً ترکیب این عنصر با کربنات‌ها به تهنشینی منیزیت منجر گردیده است. چنین مدلی را می‌توان برای منیزیت‌های منطقه مزار سیدعلی نیز در نظر گرفت، بدین صورت که در طی دگرسانی شیمیایی سنگ‌های اولترامافیک و سرپانتینیتی شدن آن‌ها، عنصر منیزیم به تدریج از سنگ خارج شده و با CO₂ مخلوط گردیده و منیزیت را به وجود آورده است. برای بررسی بهتر نحوه تکامل منیزیت منطقه مزار سیدعلی و منشأ کربنات (CO₂) دخیل در تشکیل آن، نسبت‌های ایزوتوپی کربن و اکسیژن این کانسار با کانسارهای منیزیت ایران و نقاط مختلف دنیا

جدول ۴. نسبت‌های $\delta^{18}\text{OVSMOW}$ و $\delta^{13}\text{CVPDB}$ (بر حسب قسمت در هزار) در منیزیت‌های منطقه مزار سیدعلی

Sample	$\delta^{18}\text{OVSMOW}$	$\delta^{13}\text{CVPDB}$
MZ-1	+۲۹/۰۹	-۷/۴۶
MZ-4	+۲۹/۴۶	-۷/۲۰
MZ-6	+۳۰/۱۹	-۶/۲۹
MZ-8	+۳۰/۸۴	-۸/۶۰
MZ-10	+۲۹/۴۳	-۶/۵۹
MZ-11	+۲۹/۲۲	-۶/۲۵
MZ-12	+۲۹/۷۹	-۶/۳۴
MZ-14	+۲۹/۳۵	-۶/۷۵

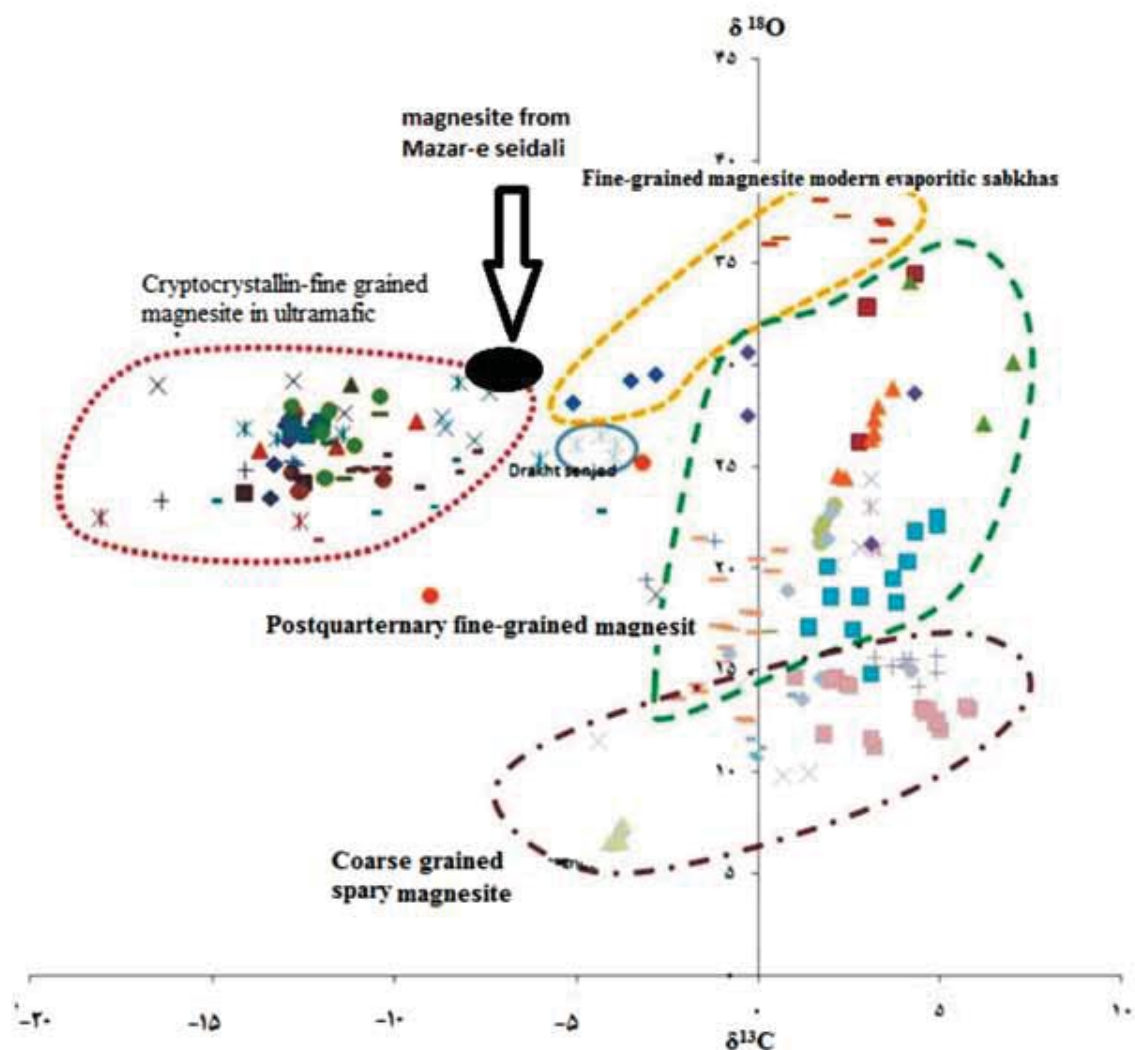
بحث

نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی نشان می‌دهد که میزان SiO₂ در سنگ‌های اولترامافیک مورد مطالعه از ۴۱/۳۵ تا ۴۴/۳۷ درصد و مقدار MgO از ۳۱/۵۴ تا ۳۳/۴۳ درصد متغیر می‌باشند (جدول ۲). علت بالا بودن مقدار SiO₂ را نیز می‌توان به دلیل شکل گرفتن کانسار منیزیت در منطقه به خروج کانی‌ها الیوین و پیروکسن پریدوتیت دانست که باعث فقر MgO در نمونه‌های پریدوتیت مورد مطالعه شده است. چنین فرایندی موجب گردیده که عناصری نظیر SiO₂ در نمونه‌های مورد نظر فراوانی بیشتری نشان دهند. درصد بالای MgO و عناصر فرار (L.O.I) در نمونه‌های منیزیت و نیز مقادیر بسیار اندک CaO و SiO₂

باشد، منیزیت می‌تواند در شرایط گرمایی- رسوبی برون‌می تشکیل شود و اگر $\delta^{13}\text{C}$ میانگین بین ۲ تا ۴ ‰ و $\delta^{18}\text{O}$ در محدوده ۳۳ تا ۳۶ ‰ واقع شود، منیزیت در شرایط رسوبی دما پایین به‌وجود آمده است. Mirnejad et al. (2008) با توجه به مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ (۱/۸+ تا ۸+ ‰) و $\delta^{18}\text{O}$ (۲۹/ تا ۳۶ ‰) منیزیت‌های مناطق ترشک محمدی و افضل‌آباد، منشاء اتمسفری را برای کربنات پیشنهاد نمودند. (et al. (1989) Kralik منشاء کربنات منیزیت‌هایی که مقدار $\delta^{13}\text{C}$ آن‌ها ۹- تا ۷- در هزار باشد را اکسیداسیون مواد کربن آلی می‌دانند. با توجه به این نکته و مقادیر اندازه‌گیری شده $\delta^{13}\text{C}$ در منیزیت‌های مزار سیدعلی (۳/۶- تا ۸/۶- ‰) می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کربن موجود در کربنات در منیزیت‌های مورد مطالعه از کربن‌زدایی مواد آلی منشاء گرفته است. بررسی‌های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهند که سنگ میزبان ماده معدنی به‌شدت سرپانتینیتی شده است. این سرپانتینیتی نشان‌گر آن است که منیزیم در طی واکنش‌هایی مرتبط با این فرایند، از سنگ آزاد شده و وارد سیال موجود بین درزه‌ها و شکستگی‌ها گردیده است. بنابراین آب‌هایی با میزان CO_2 بالا در درزه‌ها و شکستگی‌های فراوانی که در توده اولترامافیک منطقه مورد مطالعه وجود داشته رسوخ کرده، منیزیم را از سنگ‌ها آزاد نموده و طی گردش به‌سطوح بالاتر به صورت کربنات منیزیم ته‌نشست کرده است.

مقایسه می‌شوند. در شکل ۹ مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{13}\text{C}$ در مزار سیدعلی با دیگر منیزیت‌های ایران و برخی دیگر از منیزیت‌های سایر نقاط دنیا مقایسه شده است. میزان $\delta^{13}\text{C}$ منیزیت‌های تشکیل شده در افیولیت‌های کشورهایمانند آمریکا (کالیفرنیا) (O'Neil and Barnes, 1971)، یونان (Dabitzias, 1980) و یوگسلاوی سابق (Petrov et al., 1980)، بین ۷- تا ۱۸- و مقدار $\delta^{18}\text{O}$ بین ۲۲ تا ۲۷ ‰ تغییر می‌کند. همچنین در منیزیت‌های منطقه درخت سنجد میزان $\delta^{13}\text{C}$ بین ۴/۹۹- تا ۳/۹۱- ‰ و نیز مقدار $\delta^{18}\text{O}$ بین ۲۵/۴۲+ تا ۲۶/۵۲+ ‰ متغیر است (امین‌زاده و میرنژاد، ۱۳۹۰). در صورتی‌که، میزان $\delta^{13}\text{C}$ در منیزیت‌های ترشک محمدی، افضل‌آباد و چاه‌خو بین ۱/۸+ تا ۸+ ‰ و میزان $\delta^{18}\text{O}$ از ۲۹/۷+ تا ۳۶+ ‰ متغیر است (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). با توجه به این تغییرات، منشاء محلول و شرایط تشکیل این منیزیت‌ها با منیزیت‌های دیگر نقاط دنیا که در افیولیت‌ها قرار گرفته‌اند، کاملاً متفاوت است. تنها در کمر بند افیولیتی جنوب غرب ترکیه، منیزیت‌هایی هستند که در سنگ‌های اولترامافیک تشکیل شده و مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^{18}\text{O}$ آن‌ها تا حدی مشابه ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن معادن افضل‌آباد، چاه‌خو و ترشک محمدی است (Zedef et al., 2000).

براساس یافته‌های Zedef et al. (2000) چنانچه میانگین $\delta^{13}\text{C}$ در حدود ۳ ‰ و $\delta^{18}\text{O}$ در حدود ۲۵ ‰



شکل ۹. نمودار $\delta^{18}\text{O}$ در مقابل $\delta^{13}\text{C}$ برای منیزیت‌های منطقه مزار سیدعلی و مقایسه آن با منیزیت‌های منطقه درخت سنجد و سایر نقاط دنیا. محور افقی این نمودار $\delta^{13}\text{C}$ برحسب استاندارد PDB و محور عمودی $\delta^{18}\text{O}$ با استاندارد SMOW می‌باشند. محدوده قرارگیری منیزیت‌های مزار سیدعلی به صورت بیضی توپر نشان داده شده است که با منیزیت‌های نهان بلور در سنگ‌های اولترامافیک هم‌پوشانی دارد. داده‌ها اقتباس از Kralik et al. (1989) و Fallick et al. (1991) می‌باشند. محدوده‌های ترسیم شده بر روی محور عمودی از بالا به پایین، منیزیت‌های کواترنری و جدید ریزدانه‌ای که در سبخاها و محیط‌های تبخیری تشکیل می‌شوند - منیزیت‌های قدیمی‌تر از کواترنری - منیزیت‌های اسپاری دانه درشت هستند

- Abu-Jaber, N.S. and Kimberly, M.M., 1992. Origin of ultramafic-hosted vein magnesite deposits. *Ore Geology Reviews*, 7, 155-191.

- Boudier, F. and Nicolas, A., 1985. Harzburgite and lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environment. *Earth and Planetary Science Letters*, 76, 82-89.

- Camp, V.E. and Griffis, R.J., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, Eastern Iran. *Lithos*, 3, 221-329.

- Coleman, R.G., 1977. *Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere*, Springer, New York, 230.

- Dabitzias, S.G., 1980. Petrology and genesis of the Vavdos cryptocrystalline magnesite deposits, Chalkidiki Peninsula, northern Greece. *Economic Geology*, 75, 1138-1151.

- Fallick, A.E., Ilich, M. and Russell, M.J., 1991. A stable isotope study of the magnesite deposits associated with the Alpine-type ultramafic rocks of Yugoslavia. *Economic Geology*, 86, 847-861.

- Kralik, M., Aharon, P., Schroll, E. and Zachmann, D., 1989. Carbon and oxygen isotope systematic of magnesites: a review. *Mineral Deposits*, 28, 197-238.

- Kornprobst, J. 2003. *Metamorphic Rocks and Their Geodynamic Significance: A Petrological Handbook*. Kluwer Academic Publishers, New York, 208p.

- Mirnejad, H., Ebrahimi-Nasrabadi, K., Lalonde, A. E. and Taylor, B.E., 2008. Mineralogy, stable isotope geochemistry, and paragenesis of magnesite deposits from the ophiolite belt of Eastern Iran. *Economic Geology*, 103, 1703-1713.

نتیجه‌گیری

منیزیت منطقه مزار سیدعلی در سنگ‌های اولترامافیک میزبان متشکل از هارزبورژیت و دونیت یافت می‌شوند. این سنگ‌های اولترامافیک تحت تاثیر فرایندهای دگرسانی کم و بیش به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند. منیزیت با بافت نهان بلور به صورت توده‌ای، رگه‌ای، رگچه‌ای و انتشاری رخنمون یافته است. نتایج آنالیز شیمیایی نشان می‌دهند که غلظت CaO در منیزیت نوع گل کلمی (۴-۱ درصد) پایین‌تر از انواع رگه‌ای (۱۰-۶ درصد) بوده و بنابراین منیزیت گل کلمی برای استفاده در صنایع نسوز و دیرگداز مناسب‌تر می‌باشند. با توجه به مقادیر اندک $\delta^{13}C$ (۲۹/۶- تا ۸/۶۰- در هزار) در منیزیت سیدعلی، می‌توان این‌طور استنباط نمود که کربن موجود در ساختار این کانی از کربن‌زدایی مواد آلی منشاء گرفته است. منشاء منیزیم منیزیت‌ها، سنگ میزبان اولترامافیک بوده که در طی سرپانتینین شدن سنگ‌های اولترامافیکی میزبان آزاد شده‌اند. به نظر می‌رسد که آب‌های با میزان CO_2 بالا در درزه‌ها و شکستگی‌های سنگ‌های اولترامافیک منطقه مورد مطالعه رسوخ کرده و پس از اختلاط با منیزیم آزاد شده در طی فرایند سرپانتینیتی شدن، منیزیت را ته‌نشست کرده باشند.

منابع

- امین‌زاده، م. و میرنژاد، ح.، ۱۳۹۰. تفسیر داده‌های ایزوتوپی کانسار منیزیت درخت سنجد (شمال تربت حیدریه). پنزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

- قربانی، م.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها و نشانه‌های معدنی ایران. آرین زمین، ۵۷۰.

- کریم‌پور، م. ح.، آدابی، م. ح. و ملک‌زاده شفاوردی، آ.، ۱۳۸۴. بررسی منشاء منیزیت افضل آباد؛ چاه خو و ترشک محمدی (خاور بیرجند) با استفاده از اطلاعات زمین‌شیمی عنصری و ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن. فصل‌نامه علوم زمین، ۱۴، ۶۲ - ۷۵.

- O'Neil, J.R. and Barnes, I., 1971. C13 and O18 compositions in some freshwater carbonates associated with ultramafic rocks on serpentinites: Western United States. *Geochimica Chosmocimica Acta* 35: 687-697.
- Petrov, V.P., Vakanjak, B., Jaskomovic, D., Zekic, M. and Lapcevic, I., 1980. Magnesite deposits of Serbia and their origin. *International Geology Review*, 22, 497-510.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.G. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of Eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 134-150.
- Zedef, V., Russell, M.J., Fallick, A.E. and Hall, A.J., 2000. Genesis of vein stockwork and sedimentary magnesite and hydro-magnesite deposits in the ultramafic terrains of southwestern Turkey: A stable isotope study. *Economic Geology*, 95, 429-446.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.