



بررسی کانی‌شناسی آربست در مجموعه دگرگونی تخت سلیمان در شمال شرق تکاب-NW ایران

رباب حاجی علی اوغلی^{*}، محسن مؤذن

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(دریافت مقاله: ۹۴/۱/۱۷، نسخه نهایی: ۹۴/۴/۶)

چکیده: سنگ‌های الترامافیک در مجموعه‌ی دگرگونی پرکامبرین تخت سلیمان بر اساس درجه‌ی سرپانتینی شدن در دو دسته متاپریدوتیت‌های سرپانتینی شده و سرپانتینیت‌ها رده‌دسته‌بندی شده‌اند. سرپانتین با بیش از ۹۰٪ حجمی، تشکیل دهنده اصلی سرپانتینیت‌هاست. انواع سرپانتینیت‌ها بر اساس نوع پلی‌مورف‌های سرپانتین، ویژگی‌های ریزاساختاری و بافتی شامل سرپانتینیت‌های توده‌ای، سرپانتینیت‌های شیستی و سرپانتینیت‌های کریزوتیل دار شناسایی شدند. کریزوتیل در سرپانتینیت‌ها طی شرایط ایستایی و برشی شکننده تشکیل شده است. در شرایط ایستایی کریزوتیل به همراه لیزاردیت حاصل از تجزیه‌ی الیوین و پیروکسن در بافت‌های سودومورفی غربالی و بستایت در سرپانتینیت‌های توده‌ای تشکیل شده است. با تشکیل و گسترش یک سری درز و شکاف در شرایط برشی شکننده در راستای منطقه‌های برشی محلی، پدیده‌ی سرپانتینی شدن دوباره فعال شده و الیاف کریزوتیل با گستردگی بالا در زمینه‌ی ریز دانه‌ی سنگ و نیز به صورت پر کننده‌ی رگچه‌هایی به ضخامت میلی‌متری در شکستگی‌های داخل سرپانتینیت تبلور یافته است. ضخامت نازک رگچه‌های آربست در سرپانتینیت‌های کریزوتیل دار تخت سلیمان احتمالاً در ارتباط با مقادیر بالای الیوین در ترکیب پروتولیت سرپانتینیت‌هاست. مقادیر کم Cr₂O₃ در ترکیب شیمی کریزوتیل‌های آنالیز شده، مقادیر کم کلینوپیروکسن و فراوانی الیوین در پروتولیت، سرپانتینیت‌ها را تایید می‌کند. سرپانتینیت شیست‌ها در شرایط برشی شکل‌پذیر در منطقه‌های برشی ناحیه‌ای تشکیل شده‌اند. رگه‌های آربست آمفیبولی به ضخامت چندین متر به صورت پر کننده‌ی درزها و شکستگی‌ها در منطقه‌های برشی ناحیه‌ای تشکیل شده‌اند. طول الیاف ظرفی و بلند آربست آمفیبول تا چند سانتی‌متر نیز می‌رسد. بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی، سنگ نگاری، داده‌های بیناب سنجی رaman، کانی‌شناسی XRD و بررسی ریزپردازشی، آربست در سرپانتینیت‌های تخت سلیمان از نوع آربست کریزوتیل و آربست ترمولیت تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: آربست، بیناب سنجی رaman، XRD، شیمی کانی، تخت سلیمان، شمال غرب ایران.

مقدمه

آربست به گروهی از ترکیبات طبیعی با فرمول سیلیکات هیدراتی منیزیم با ساختار فنری یا میله‌ای و با شکل فیبری و الیافی با نسبت طول به عرض بیشتر از ۲۰:۱ اطلاق می‌شود [۱]. الیاف آربست با نسبت بالای طولی به ضخامت، خواص مکانیکی شبیه الیاف آلی را از خود نشان داده و دارای قدرت

دگرگونی پایین تا بالا شامل اسلیت، فیلیت، اکتینولیت شیست، دولومیت های ضخیم لایه با میان لایه های چرت، آمفیبولیت، سن دقیق پی سنگ دگرگون و فازهای دگرشکل ثبت شده در دگرگونی های همبافت تخت سلیمان به روشی مشخص نیست. سن منسوب به پرکامبرین -کامبرین دگرگون های منطقه در نقشه های زمین شناسی ۱۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان [۱۲] و ۱۱۰۰۰۰۰ ماه نشان [۱۳]، تنها بر اساس شدت دگرگونی و شواهد چینه شناسی، سنگ شناسی و فسیل شناسی ارائه شده است. بر اساس بررسی های [۱۴] سن نفوذ پروتو لیت در گنیس های گرانیتی منطقه ماه نشان بر اساس روش U/Pb زیرکن ۵۶،۰ میلیون سال تعیین شده است. [۱۵] سن قدیم ترین سنگ ها در پوسته قاره ای دگرگون همبافت شمال شرق تکاب را به روش (SHRIMP II) U-Pb زیرکن موروثی در ملا نوسوم میگماتیت های مافیک را ۲۷۹۵ تا ۲۷۷۵ میلیون سال تعیین کرده اند. سنگ های گرانیتی وئیدی به سن ترشیاری در بخش های شمالی و مرکزی منطقه به داخل این مجموعه دگرگون نفوذ کرده است [۱۶].

مجموعه دگرگون پرکامبرین تخت سلیمان به شدت چین خورده و به وسیله ی گسل هایی روی سنگ های ترشیاری جوانتر رورانده شده اند (**شکل ۱**). رخداد دگرشکل های شدید در این مجموعه به عملکرد فازهای زمین ساختی متعدد در منطقه، از پرکامبرین تا ترشیاری، نسبت داده شده است [۱۶]. روند برونزدهای سنگی مجموعه دگرگون پرکامبرین و نیز روند مجموعه سنگ های رسوی و رسوی-آتشفشاری جوانتر در راستای شمال غربی-جنوب شرقی، هم سو با روند غالب دگرشکل های منطقه است. روند شیستوزیته، بریدگی، محور چین و گنیسوسیته انواع سنگ های دگرگون منطقه، سازگار با فاز فشارشی در جهت NE/SW پهنه هی عربستان و صفحه هی اوراسیایی است [۱۷]. وارون شدگی راستای شیب لایه بندی نیز که موازی بریدگی است، در برخی از اندازه گیری ها احتمالاً چین های بزرگ مقیاس در منطقه را نشان می دهد.

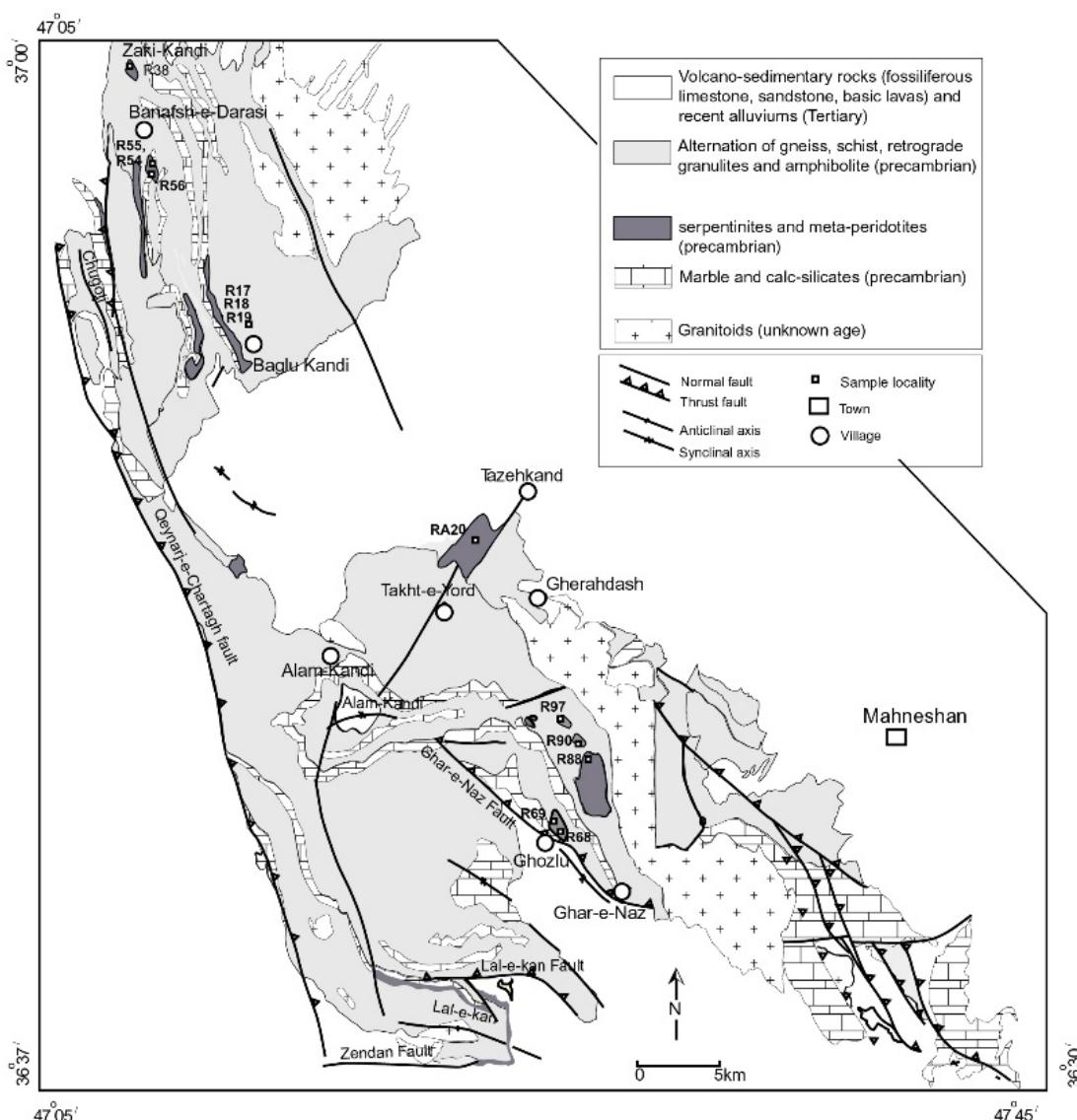
روندهای اندازه گیری شده متفاوت برای محور چین ها (NW-SE و NE-SW) احتمالاً چین خودگی این سنگ ها در طی فازهای کوهزادی متعدد از کاتانگائی تا دوران سوم را نشان می دهد. همچنین تغییرات در بعضی از اندازه گیری ها می تواند در ارتباط با تاثیر ریز چین ها و یا گسل های کوچک در منطقه باشد.

پایدار ترین شکل کانی آزبست بوده و به علت این ویژگی به عنوان نوع پر خطر الیاف آزبستی نیز شناخته شده است. آزبست های آمفیبولی به صورت رشته های نازک، طریف، کوتاه و یا بلند است. ترکیب شیمیایی آزبست های آمفیبولی پیچیده تر و متنوع تر از ترکیب شیمیایی آزبست سرپانتینی است. آزبست های آمفیبولی به علت جایگزینی یک عنصر به وسیله ی عنصر دیگر از پایداری کمرنی نسبت به آزبست های کریزو تیلی برخوردارند. آزبست های آمفیبولی متنوع بوده و انواع آن به دلیل سیستم تبلوری، عبارتند از [۲]: (۱) آزبست ارتو آمفیبول که در سیستم ارتو رومیک متبلور می شود. آنتوفیلیت با فرمول شیمیایی $[{\text{Si}}_4{\text{O}}_{11}(\text{OH})_2]$ (Mg, Fe) از انواع آزبست ارتو آمفیبول است. (۲) آزبست کلینو آمفیبول که در سیستم تک میل متبلور شده و شامل کروسیدولیت (گونه آزبستی ریکیت) کومنگتونیت - گرونریت - $\text{MgFe}_6[{\text{Si}}_4{\text{O}}_{11}(\text{OH})_2]$ و ترمولیت / اکتینولیت $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[{\text{Si}}_4{\text{O}}_{11}(\text{OH})_2]$ است. الیاف سوزنی و نوک تیز کروسیدولیت نوع خطرناک آزبست در ارتباط با بیماری با الیاف آزبستی است.

مجموعه افیولیتی تخت سلیمان در شمال شرق تکاب بقایایی از پوسته لیتوسفری اقیانوسی قدیمی بوده که طی کوهزادی پان-آفریقا بسته شده است [۳-۶]. سنگ های پریدوتیت در این مجموعه تحت تاثیر فرایندهای دگرسانی و دگرگونی به طور بخشی تا کامل سرپانتینی شده و منجر به تشکیل متا پریدوتیت های سرپانتینی شده و سرپانتینیت ها تشکیل شده اند. در این پژوهش کانی شناسی، ویژگی های بافتی، ریز ساختاری و فرایندهای تشکیل سرپانتینیت ها در مجموعه دگرگون تخت سلیمان بررسی شده و انواع آزبست با استفاده از بررسی های میکروسکوپی، بیناب سنجی رامان، پراش پرتو X و تجزیه های ریز پردازشی مورد شناسایی قرار گرفته اند.

زمین شناسی منطقه

مجموعه دگرگون تخت سلیمان از نظر رده بندی های زمین-شناسی ساختاری توسط پژوهندگان مختلف در منطقه های ساختاری متفاوت البرز غربی- آذربایجان [۷]، سندج- سیرجان [۸-۱۰] و ایران مرکزی [۱۱] در نظر گرفته شده است. این مجموعه دگرگون دارای تنوع بالایی از انواع سنگ ها از درجه های



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی تخت سلیمان [۱۱].

نمونه‌های دستی از قوههای تیره تا قوههای کم رنگ و سبز تیره تا سبز کم رنگ متغیر است. ساختار سرپانتینیت‌ها به طور چشمگیری از نوع تودهای و بریده هستند (شکل ۲ ب-ت). کانی‌های تیره به صورت شکل‌دار و در اندازه‌ی چند میلی متر با چشم غیر مسلح در نمونه‌های دستی سرپانتینیت‌ها قابل تشخیص‌اند. برخی از سرپانتینیت‌ها نیز برشی شده‌اند (شکل ۲ ت). کریزوتیل فیبری به صورت رگچه‌هایی به ضخامت چندین میلی متر در سرپانتینیت‌های برشی تشكیل شده است. برخی از سرپانتینیت‌های برشی دارای گرهک‌هایی از پورفیروکلاست‌های منیزیت هستند که به صورت برجسته در سطح نمونه‌ها با چشم غیر مسلح قابل تشخیص‌اند (شکل ۲ ث).

بررسی‌های صحراوی سرپانتینیت‌ها

سنگ‌های پریدوتیت در مجموعه‌ی دگرگون تخت سلیمان به صورت میان لایه‌های نازک با آهک و یا به صورت بلوك‌های زمین ساختی در داخل دگرگون‌های متابازیک مشاهده می‌شوند (شکل ۱). این سنگ‌ها تحت تاثیر فرایندهای دگرسانی و دگرگونی، به طور بخشی تا کامل، سرپانتینی شده‌اند. سرپانتینیت‌ها با بیش از ۹۰ درصد حجمی سرپانتین در منطقه تشكیل شده‌اند. تركیب پروتولیت سرپانتینیت‌ها احتمالاً هارزبورزیت و دونیت است. بافت غربالی الیوین و بقایای ارتوپیروکسن سرپانتینی شده در برخی از نمونه‌های دستی با چشم غیر مسلح قابل تشخیص است. رنگ سرپانتینیت‌ها در

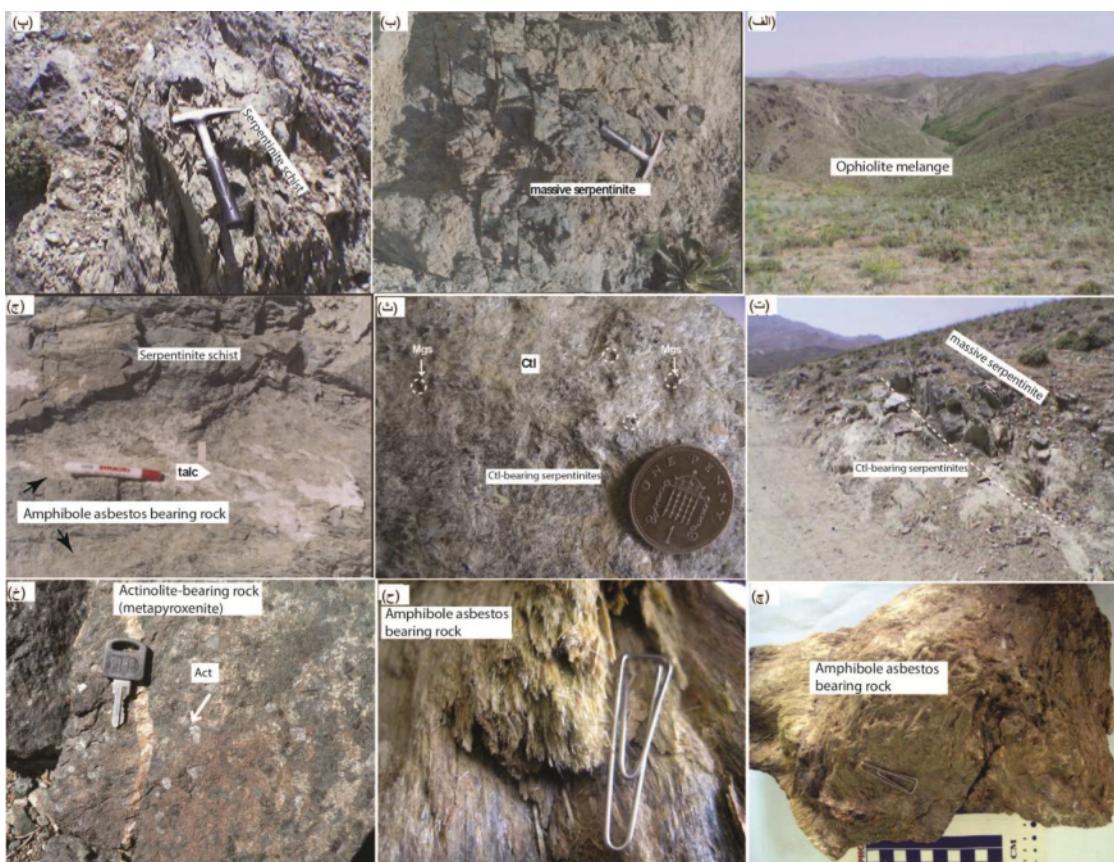
خوبی در سنگ دیده می‌شود (**شکل ۲ ج**).

سنگ نگاری سنگ‌ها

در این بخش سنگ نگاری سرپانتینیت‌ها و سنگ‌های دگرگونی اطراف در مجموعه دگرگونی تخت سلیمان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سرپانتینیت‌ها: سرپانتینیت‌های مورد بررسی بر اساس نوع سرپانتین، بافت و ویژگی‌های ریزساختاری شامل (الف) سرپانتینیت‌های توده‌ای (massive serpentinites)، (ب) سرپانتینیت‌های شیست‌ها (serpentinite schist/foliated serpentinite) و (ج) سرپانتینیت‌های دارای کریزوتیل (chrysotile bearing serpentinite) هستند.

آربست آمفیبول با رشتلهای طریف و به رنگ زرد کم رنگ به صورت رگه‌های پر شده به ضخامت چندین متر در منطقه‌های بررشی تشکیل شده است (**شکل ۲ ج**). الیاف نازک و سوزنی ترمولیت در نمونه‌های دستی آربست آمفیبول مشابه با چوب کوهی و چوب پنبه مشاهده می‌شود (**شکل ۲ ج-ح**). رگه‌ی نازکی از تالک سفید نیز در داخل سرپانتینیت‌ها مشاهده می‌شود (**شکل ۲ ج**). سنگ‌های کلینوپیروکسنیت دگرگون شده به صورت محدود در منطقه رخنمون دارد. کانی‌های کلینوپیروکسن درشت بلور در ارتباط با دگرگونی با درجه پایین تماماً به اکتینولیت تبدیل شده‌اند (سنگ‌های دارای اکتینولیت، **شکل ۲ ح**). اکتینولیت درشت بلور تا اندازه‌ی ۱ سانتی‌متر بیشتر از ۹۰ درصد حجمی سنگ‌های دارای اکتینولیت را تشکیل می‌دهد. آثار بافت دانه‌دار آذرین اولیه به



شکل ۲ (الف) دورنمایی از برونزد مجموعه‌ی دگرگون‌های قدیمی تخت سلیمان، (ب) سرپانتینیت توده‌ای، (پ) سرپانتینیت شیست، (ت) سرپانتینیت کریزوتیل‌دار در راستای منطقه برشی محلی، (ث) گرهک‌های مگنتزیت در سرپانتینیت کریزوتیل دار، (ج) سنگ دارای آربست آمفیبول به رنگ زرد در داخل سرپانتینیت. تالک سفید در داخل سرپانتینیت نیز دیده می‌شود، (چ) نمونه‌ی دستی سنگ دارای آربست آمفیبول، (ح) الیاف رشتلهای و سوزنی آربست آمفیبول، (خ) سنگ دارای اکتینولیت با درشت بلورهای اکتینولیت. بافت دانه‌دار و آذرین اولیه پروتولیت در سنگ به خوبی حفظ شده‌اند.

کشیدگی از دو جهت در این سنگ‌ها به وسیله کریزوتیل در مقادیر فراوان در زمینه احاطه شده است (**شکل ۳ ح.**). کریزوتیل فیبری نیز به صورت رگچه‌هایی به ضخامت چند میلی متر، شکستگی کانی‌ها و سنگ‌های سرپانتینیت را پر کرده است (**شکل ۳خ.**).

سنگ‌های دارای آربست آمفیبولی: این سنگ‌ها به صورت رگه مانند تا ضخامت چندین متر در منطقه‌های برشی ناحیه‌ای تشکیل شده‌اند. ترمولیت فیبری در اندازه چندین سانتی‌متر بیش از ۹۵٪ این سنگ‌ها را تشکیل داده است (**شکل ۳ د.**).

سنگ‌های دارای اکتینولیت (Actinolite-bearing rock): این سنگ‌ها بیشتر از ۹۰ درصد حجمی دارای اکتینولیت درشت دانه با منطقه‌بندی رنگی بوده و بافت پروتولیت آذرین دانه‌دار به خوبی در آن حفظ شده است (**شکل ۳ ذ.**). اندازه‌ی کانی‌های اکتینولیت تا به ۱۰ میلی‌متر می‌رسد. کانی‌های تیره، مهم‌ترین کانی فرعی این سنگ‌ها هستند. سنگ‌های دارای اکتینولیت در ارتباط با دگرگونی با درجه‌ی پایین سنگ‌های کلینوپیروکسنتیت در منطقه تشکیل شده‌اند.

سنگ‌های اکتینولیت شیست: سنگ‌های اکتینولیت شیست از دگرگونی سنگ‌های بازی در رخساره‌ی شیست سبز تشکیل شده‌اند. اکتینولیت با بافت پورفیروبلاستیک حدود ۸۵-۸۰ درصد حجمی سنگ را تشکیل داده و مجموعه کانی‌های دگرگونی پلاژیوکلاز±اپیدوت±کلسیت±کوارتز+کانی‌های تیره باقیمانده‌ی ترکیب سنگ را تشکیل می‌دهند (**شکل ۳ ر.**). اکتینولیت‌های ریز دانه و کشیده با یک سمتگیری منظم، پورفیروبلاست اکتینولیت را دور زده‌اند (**شکل ۳ ر.**). تفاوت اصلی اکتینولیت شیست‌ها با سنگ‌های دارای اکتینولیت در ترکیب کانی‌شناسی و بافتی آن‌هاست. سنگ‌های اکتینولیت شیست برخلاف سنگ‌های دارای اکتینولیت که حاصل دگرگونی کلینوپیروکسنتیت‌ها هستند در اثر دگرگونی سنگ‌های بازی تشکیل شده و دارای مقادیر مودی کمی از کانی‌های ریز دانه پلاژیوکلاز، اپیدوت و کوارتز هستند.

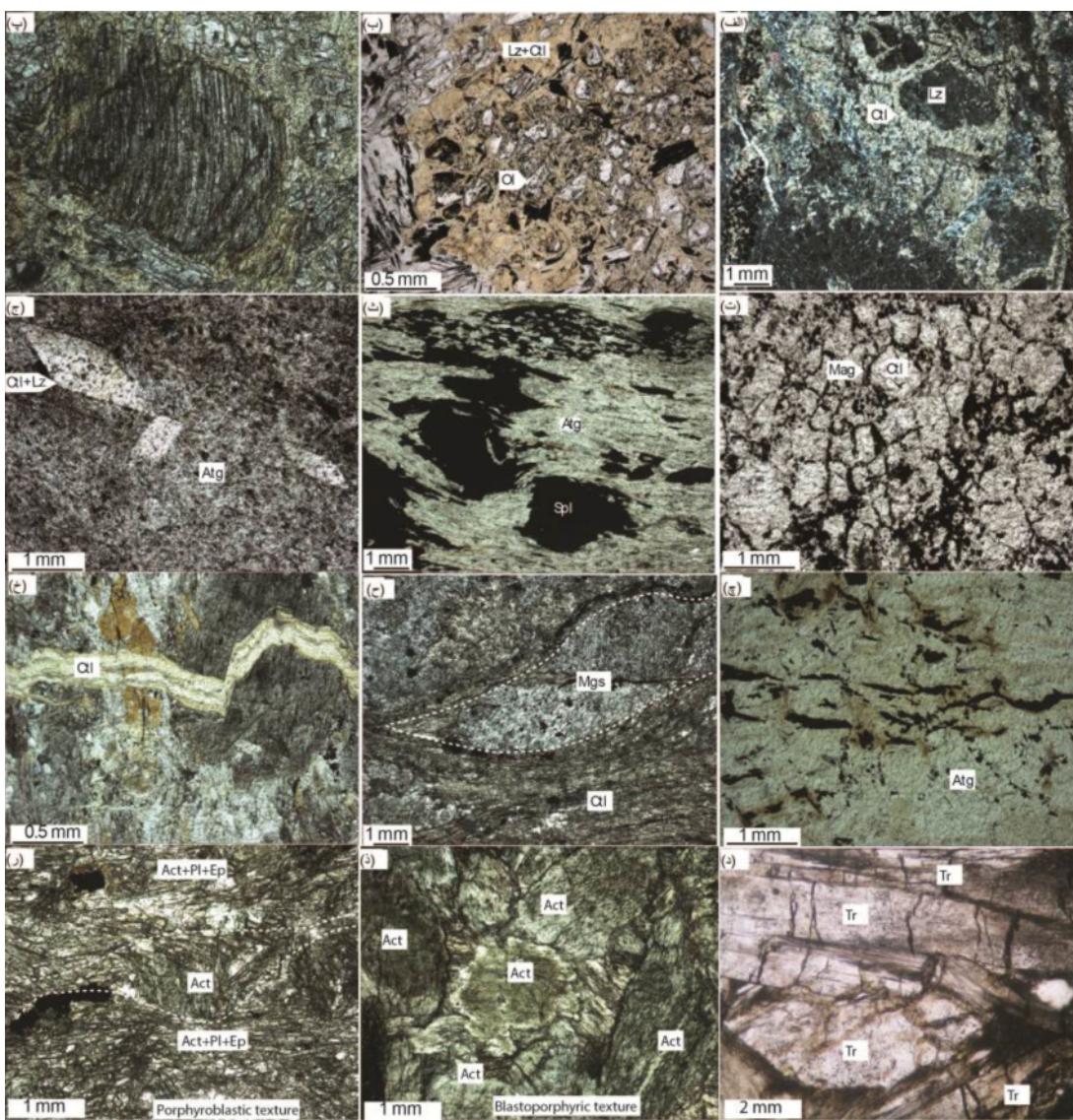
روش‌های دستگاهی پژوهش

برای شناسایی آربست کریزوتیل و آربست آمفیبول در مجموعه‌ی دگرگون تخت سلیمان، از روش تجزیه‌ی XRD به وسیله دستگاه SIMENS (مدل D5005، و با ولتاژ ۴۰ KV جریان MA ۴۰ و دمای ۲۷۰°C) در دانشگاه پتسدام آلمان استفاده شد.

سرپانتینیت‌های توده‌ای: این سنگ‌ها با بافت‌های سودومورف غربالی و بستایت پس از الیوین و پیروکسن دیده می‌شوند (**شکل ۳ الف-ب.**). تنها الگوی شکستگی در کانی‌های الیوین و یا آثار رخ در پیروکسن‌ها قابل تشخیص است. لیزاردیت مرکز و کریزوتیل با حاشیه‌ی بافت غربالی را تشکیل داده است. گاه بقاوی‌ی بسیار ریز از کانی‌های الیوین در مرکز بافت غربالی برخی از نمونه‌ها قابل تشخیص‌اند (**شکل ۳ ب.**). ارتوپیروکسن با کلیواژ خمیده در راستای رخ‌ها به وسیله سرپانتین و کانی‌های تیره جایگزین شده است (**شکل ۳ پ.**). کانی‌های تیره ریز دانه احتمالاً مگنتیت در حاشیه بافت غربالی طی سرپانتینی شدن تشکیل شده است (**شکل ۳ ت.**). لیزاردیت در مقاطع نازک با بی رفرانس پایین قابل تشخیص از کریزوتیل فیبری با بدون شکستگی نسبتاً بالاست (**شکل ۳ الف.**). اسپینل به رنگ سرخ قهوه‌ای به صورت نیمه شکل‌دار در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود.

سرپانتینیت‌های برش‌دار یا سرپانتینیت شیست‌ها: آنتی گوریت صفحه‌ای به طور اصلی بیشتر از ۹۰٪ تشکیل دهنده‌ی اصلی این سنگ‌ها است (**شکل ۳ ث.**). بررسی‌های [۲۰-۱۸] نشان داده است که سنگ‌های غنی از آنتی گوریت معمولاً به صورت شیست تشکیل می‌شوند. آنتی گوریت با سمت‌یابی ترجیحی موجب برش خوب در سرپانتینیت شیست‌های مورد بررسی شده است (**شکل ۳ ث.**). اسپینل به صورت پورفیروکلاست و با ساختار دنباله دار (tail-like) با آنتی گوریت‌های دوباره تبلور یافته در پیرامون محصور شده است (**شکل ۳ ث.**). در برخی از سرپانتینیت شیست‌ها به صورت سودومورف‌های سرپانتین (لیزاردیت+کریزوتیل) سمت یافته و عدسی مانند مشاهده می‌شوند (**شکل ۳ ج.**). آنتی گوریت ریز دانه با بافت درون نفوذی (interpenetrative) در این نمونه، حاصل جانشینی بعدی آنتی گوریت‌های صفحه‌ای به وسیله انبوهی از ریز دانه‌های چندریختی با دمای پائین سرپانتین است (**شکل ۳ ج.**). [۲۱] در بررسی‌هایش آنتی گوریت بسیار ریز دانه و بی-شکل در سرپانتینیت‌ها را گزارش کرده است. مگنتیت به صورت نوارهایی به موازات شیستوزیته در برخی از نمونه‌ها مشاهده می‌شود (**شکل ۳ ج.**). کلینوکلر و کانی‌های تیره در مقادیر فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند.

سرپانتینیت‌های دارای کریزوتیل: این سنگ‌ها در منطقه‌های برشی محلی یافت می‌شوند. پورفیروکلاست کربناتی مگنتیت با



شکل ۳ (الف) بافت غربالی سودومورف در سرپانتینیت توده‌ای. لیزاردیت در مرکز و کریزوتیل در حاشیه بافت غربالی مشخص است. حالت XPL، (ب) بافت غربالی با بقایای جزئی از الیوین در مرکز آن. حالت PPL، (پ) ارتوپیروکسن با رخ خمیده که به وسیله‌ی سرپانتین و کانی‌های تیره جایگزین شده است، حالت PPL، (ت) مگنتیت در سرپانتینیت توده‌ای. حالت PPL، (ث) سرپانتینیت شیست. بلورهای تیغه‌ای آنتی‌گوریت و کانی‌های تیره به صورت بودین شده و کشیده در راستای برش شکل‌پذیر تشکیل شده است. حالت PPL، (ج) سودومورف سرپانتین از دو طرف کشیده شده با زمینه‌ی آنتی‌گوریت در سرپانتینیت شیست. حالت PPL، (چ) کانی‌های تیره به صورت کشیده و خطی در سرپانتینیت شیست. حالت PPL، (ح) پورفیروکلاست مگنتیت و کریزوتیل ریز دانه در زمینه‌ی سنگ. حالت PPL، (خ) رگه‌ی کریزوتیل به صورت پرکنده شکستگی داخل سنگ. حالت XPL، (د) سنگ دارای آبیست آمفیبولی با سوزن‌هایی از ترمولیت به طول چندین میلی‌متر. حالت PPL، (ذ) سنگ دارای اکتینولیت. اکتینولیت با منطقه‌بندی رنگی و بافت آذرین اولیه در سنگ به خوبی حفظ شده است، حالت PPL، (ر) اکتینولیت شیست با پورفیروکلاست‌هایی از اکتینولیت که با اکتینولیت‌های کشیده و نسبتاً ریز دانه تر در زمینه احاطه شده است. پلاژیوکلاز و اپیدوت نیز در زمینه ریز دانه مشاهده می‌شود. حالت PPL.

سنگی Raman نمونه‌هایی که چند ریخت‌های سرپانتین در آن‌ها قبلاً با بررسی‌های میکروسکوپی و تجزیه‌ی XRD تعیین شده بود در دانشگاه پتسدام آلمان (طیف سنگی آنتی‌گوریت و لیزاردیت) و کانازاوای ژاپن (طیف سنگی کریزوتیل) انجام گرفت.

همچنین با استفاده از تجزیه‌ی XRD، شناسایی دقیق دیگر چند ریخت‌های سرپانتینی (آنتی‌گوریت و لیزاردیت) در نمونه‌های سرپانتینیت انجام گرفت. زاویه‌ی پرتو X برخوردی به نمونه ($2\theta = 40^\circ - 70^\circ$) است. روش تجزیه به صورت پودر و روش شمارش با استفاده از لوله‌های شمارنده انجام شده است. بیناب-

پیروکسن بوده و بهمیزان ۴۵٪ سرپانتینی شده باشند، دارای مناسب‌ترین ترکیب و شرایط برای تشکیل کریزوتویل هستند. سنگ‌های دونیتی علیرغم اینکه دارای الیوین بیشتری نسبت به سنگ‌های هارزبورزیتی هستند، ولی به علت خاصیت پلاستیسیتهای که دارند، در برابر فشارهای وارد جابجا شده و واکنش مناسب برای تشکیل درزه و شکاف از خود نشان نمی‌دهند. بدین جهت آزبست در سنگ‌های دونیتی ریز دانه کمتر از سنگ‌های هارزبورزیتی تشکیل می‌شوند. کریزوتویل به صورت رگچه‌هایی به ضخامت چندین میلی‌متر در سرپانتینیت‌های کریزوتویل دار تشکیل شده است. بر اساس آنچه گفته شد، احتمالاً می‌توان ضخامت کم رگچه‌های آزبست در متاپیدوتیت‌های تخت سلیمان را به مقادیر بالای الیوین در ترکیب پروتولیت این سنگ‌ها نسبت داد. به اعتقاد [۱۸]، مقادیر کم Cr_2O_3 در کریزوتویل نشان دهنده ترکیب‌های غنی از الیوین پروتولیت الترامافیک است. داده‌های شیمی کریزوتویل‌های آتالیز شده (به بخش ۳-۶ مراجعه شود)، مقادیر کم کلینوپیروکسن و فراوانی الیوین در پروتولیت سرپانتینیت‌های مورد بررسی را تایید می‌کند.

بررسی نقطه‌ای آزبست در نمونه‌های مورد بررسی به منظور تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده، با استفاده از ریزپردازنده‌ی الکترونی SX100 در مرکز بررسی‌های زمین-شناسی پتسدام آلمان (GFZ) با ولتاژ ۱۵ kV و شدت جريان ۱۰-۲۰ nA ۱۰-۲۰ انجام گرفت. داده‌های معرف تجزیه‌ی ریزپردازشی کانی‌ها در **جدول ۱** ارائه شده‌اند. علایم اختصاری استفاده شده برای کانی‌ها از [۲۲] است.

بحث و بررسی

از بررسی شرایط تشکیل آزبست کریزوتویل و آزبست آمفیبول در مجموعه دگرگون‌های تخت سلیمان معلوم شد که در اصل کریزوتویل از دگرسانی و دگرگونی سنگ‌های اولترامافیک و مافیک غنی از منیزیم تشکیل شده است.

سنگ‌های پریدوتیت به ویژه هارزبورزیت و ورلیت با نسبت Mg/Si در حد ۱/۵ در شرایط مناسب به کریزوتویل تبدیل می‌شوند. در پیروکسینیت نسبت Mg/Si کمتر از ۱/۵ بوده و برای تشکیل کریزوتویل باید Si کاهش و یا Mg افزایش یابد. در دونیت نسبت Mg/Si در حدود ۲ بوده، بنابراین برای تشکیل کریزوتویل باید Si به سنگ اضافه شود و یا مقدار Mg کاهش یابد. سنگ‌های پریدوتیتی که دارای ۷۵٪ اولیوین و ۲۵٪

جدول ۱ ترکیب شیمی آزبست در دگرگون‌های تخت سلیمان. Chr: آزبست کریزوتویل، Tr: آزبست ترمولیت.

Mineral	Chr-vein	Chr-vein	Chr-vein	Chr-matrix	Chr-matrix	Chr-matrix	Tr	Tr	Tr
SiO_2	۴۲,۳۴	۴۰,۸۲	۴۰,۸۰	۳۹,۷۶	۳۹,۷۹	۴۰,۵۴	۵۲,۸۶	۵۳,۹۱	۵۸,۱۹
TiO_2	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۲
Al_2O_3	۱,۶۱	۰,۴۴	۰,۸۷	۰,۷۴	۰,۱۰	۰,۴۸	۵۳۰	۴۴۴	۲,۴۹
FeO	۷,۲۲	۸,۱۷	۶,۸۴	۷,۰۹	۷,۷۵	۸,۷۸	۲,۹۳	۲,۷۸	۲,۲۶
MnO	۰,۲۸	۰,۲۸	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۸
MgO	۲۳,۷۲	۳۵,۶۴	۲۸,۴۷	۳۷,۵۰	۳۶,۹۱	۳۶,۶۲	۲۲,۳۲	۲۲,۹۶	۲۳,۷۳
CaO	۰,۲۹	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۳	۱۲,۴۸	۱۲,۵۳	۱۲,۴۷
Na_2O	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۱,۳۹	۱,۱۵	۰,۶۷
K_2O	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۹	۰,۰۶	۰,۰۳
Cr_2O_3	۰,۲۰	۰,۰۴	۰,۱۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۷۴	۰,۶۵	۰,۳۹
Sum	۸۶,۸۲	۸۵,۵۴	۸۷,۳۴	۸۵,۳۲	۸۴,۷۸	۸۶,۱۶	۹۸,۲۲	۹۸,۵۹	۹۸,۲۲
O	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۲۳	۲۳	۲۳
Si	۲,۰۰	۱,۹۹	۱,۹۲	۱,۹۲	۱,۹۵	۱,۹۵	۷,۲۰	۷,۲۸	۷,۵۶
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰
Al	۰,۱۸	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۸۵	۰,۷۱	۰,۴۰
Fe	۰,۲۹	۰,۳۳	۰,۲۷	۰,۲۹	۰,۳۲	۰,۳۵	۰,۳۳	۰,۳۱	۰,۲۵
Mn	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
Mg	۲,۳۴	۲,۵۹	۲,۶۹	۲,۷۰	۲,۷۰	۲,۶۳	۴,۵۳	۴,۶۲	۴,۷۶
Ca	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۸۲	۱,۸۱	۱,۸۰
Na	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۷	۰,۳۰	۰,۱۷
K	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱
Cr	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۰۳
Sum	۴,۸۸	۴,۹۹	۴,۹۹	۵,۰۰	۴,۹۹	۴,۹۸	۱۵,۲۰	۱۵,۱۲	۱۴,۹۹

نازک آن‌ها قبلاً به طور دقیق بررسی شده بود با استفاده از روش تجزیه‌ی XRD مورد بررسی قرار گرفت (**شکل ۴** و ۵). داده‌های اندازه‌گیری شده در سنگ‌های مورد بررسی به صورت (intensity) الگوهای پراکنش با مقادیر مشخص d ، Θ و I (Figure 4) نشان داده شده‌اند. تشخیص آربست کریزوتیل، آمفیبول و چند ریخت‌های لیزاردیت و آنتی‌گوریت در سرپانتینیت‌ها با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری DIFFRAC^{Plus} Eva (Bruker Analytical X-ray system) MACDIFF (4.2.5) و

(Petschik,R.2000)<http://servermac.geologie.uni-frankfurt.de/Staff/Hompages/Petschick/RainerE.html>) انجام گرفت. برنامه‌ی DIFFRAC^{Plus} Eva بر اساس مقادیر d و Θ ، قله‌ی وابسته به چند ریخت‌های سرپانتین در نمونه‌های تجزیه شده را به صورت نمودارهای خطی مشخص می‌کند. **شکل ۴** قله‌های شناسائی شده بر اساس مقادیر d و Θ وابسته به آربست آمفیبول، کریزوتیل و آنتی‌گوریت در سرپانتینیت شیست را نشان می‌دهد. در نمونه‌ی آربست آمفیبول، ترمولیت مقادیر قابل ملاحظه‌ای از سنگ را تشکیل داده است (**شکل ۴ الف**).

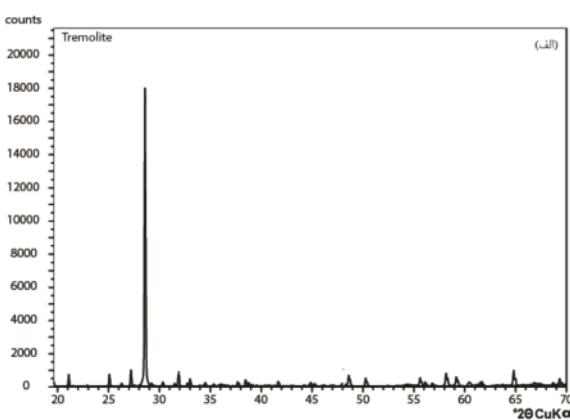
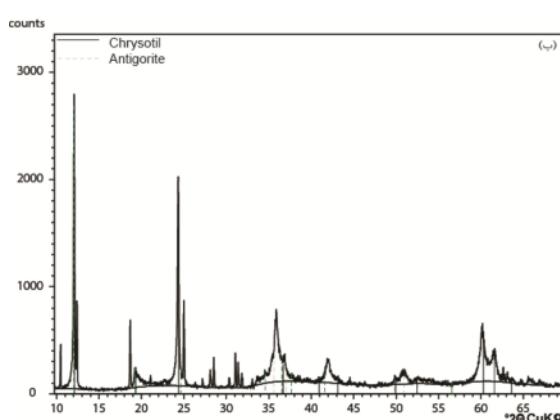
قله‌های شناسائی شده وابسته به چند ریخت‌های سرپانتینی با استفاده از برنامه‌ی DIFFRAC^{Plus} Eva با نتایج به دست آمده از برنامه MACDIFF کاملاً همخوانی نشان می‌دهد. در مواردی که قله‌ها همپوشی نشان می‌دهند تشخیص دقیق چند ریخت‌های سرپانتینی مشکل است. برای تشخیص خطوط دقیق پراکنش چند ریخت‌های سرپانتین که در مقادیر Θ WIN-METRIC from Siemens Analytical X-ray system همپوشی دارند از نرم افزار استفاده شد.

به طور کلی کریزوتیل در سرپانتینیت‌های تخت سلیمان به دو حالت تشکیل شده است: (الف) به همراه لیزاردیت و در مقادیر کم در سرپانتینیت‌های توده‌ای طی فرایندهای سرپانتینی شدن سنگ‌ها در شرایط ایستایی (ب) در سرپانتینیت‌های کریزوتیل دار طی فرایند سرپانتینی شدن سنگ‌ها در شرایط دینامیکی. تشکیل سرپانتینیت‌ها در این حالت همراه با دگرشکلی شکننده در آن‌ها بوده که موجب گسترش یک رشته درز و شکاف، پدیده سرپانتینی شدن دوباره فعال شده و الیاف کریزوتیل به شکل سوزن‌های خیلی ریز در زمینه و نیز رگچه‌هایی با ضخامت میلی‌متری داخل سرپانتینیت‌های کریزوتیل دار تشکیل شده است. جهت‌گیری الیاف کریزوتیل عمود بر راستای این رگچه‌های دار است. رگچه‌های کریزوتیل در شکستگی‌های داخل سرپانتینیت‌ها حاصل تبلور ثانویه سرپانتین از آب‌های غنی شده بین شکاف‌ها و درزهای سرپانتینیت‌ها است.

آربست آمفیبول الیافی به صورت رگه‌هایی تا ضخامت چندین متر در سنگ‌هایی با شکستگی‌های گسترش یافته تشکیل شده است. بنابراین به نظر می‌رسد که تشکیل آربست آمفیبول در مجموعه‌ی دگرگونی‌های تخت سلیمان به فرایندهای دگرگونی و دگرشکلی‌های منطقه وابسته باشد. دگرسانی حاصل از گرمابی‌های وابسته به نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی و عملکرد زمین ساختی (گسل، چین خورده‌گی و شکستگی) احتمالاً از دیگر عوامل تاثیر گذار در تشکیل رگه‌های آربست آمفیبول در شکستگی سنگ‌های منطقه است.

شناسایی کانی‌ها به روش پراش پرتو X (XRD) و بیناب (Raman spectroscopy)

به منظور شناسایی آربست و دیگر چند ریخت‌هایی تشكیل دهنده‌ی سرپانتینیت‌ها، نمونه‌هایی از سنگ‌هایی از مقاطع

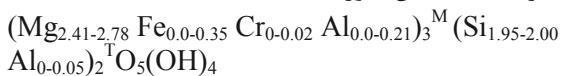


شکل ۴ قله‌های شناسائی شده بر اساس مقادیر d و Θ وابسته به (الف) ترمولیت در سنگ دارای آربست آمفیبول، (ب) کریزوتیل و آنتی‌گوریت در سرپانتینیت‌های تخت سلیمان.

کانی شیمی آزبست کریزوتیل و آزبست آمفیبول در مجموعه دگرگونی های تخت سلیمان

- آزبست کریزوتیل: کریزوتیل به صورت کانی‌های ریز دانه تشکیل دهنده زمینه و نیز رگچه‌های پر کننده شکستگی- های سرپانتینیت مورد بررسی قرار گرفت (**جدول ۱**).

فرمول کانی‌شناسی کریزوتیل‌های تجزیه شده به ازای ۵ کاتیون و ۷ اکسیژن محاسبه شده است. ساختار شیمی کانی‌های تجزیه شده به این صورت است:

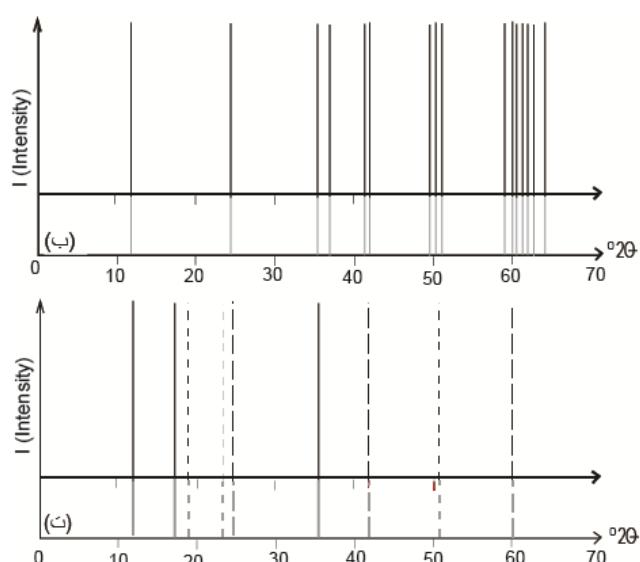


کریزوتیل دارای مقادیر بالای (۴۷-۴۸٪) MgO و (۳۸-۳۳٪) SiO₂ بوده و مقادیر Al₂O₃ (۳۶-۴۳٪) و CaO (۱۰-۱۴٪) بسیار پائین و قابل چشم‌پوشی است.

Cr₂O₃ در کریزوتیل در مقادیر جزئی است. این ویژگی احتمالاً به کلینوپیروکسن کم و الیوین فراوان در ترکیب پروتوولیت اولترامافیک آن وابسته است. [۲۳] مقادیر کم Cr₂O₃ در شبکه ریخت‌های سرپانتین را به ترکیبات سرشار از الیوین پروتوولیت نسبت داده‌اند.

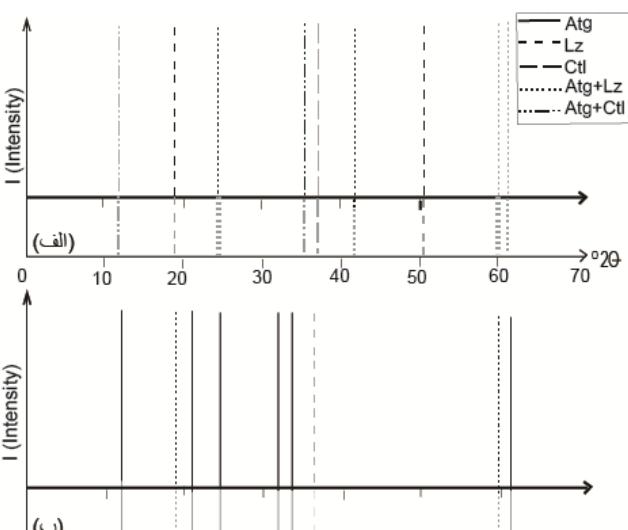
- آزبست آمفیبول: آزبست آمفیبول به صورت پر کننده رگه تا ضخامت چند متر در منطقه‌های برشی ناحیه‌ای تشکیل شده است. داده‌های شیمی کانی‌های معرف آزبست آمفیبول در

جدول ۱ ارائه شده‌اند.

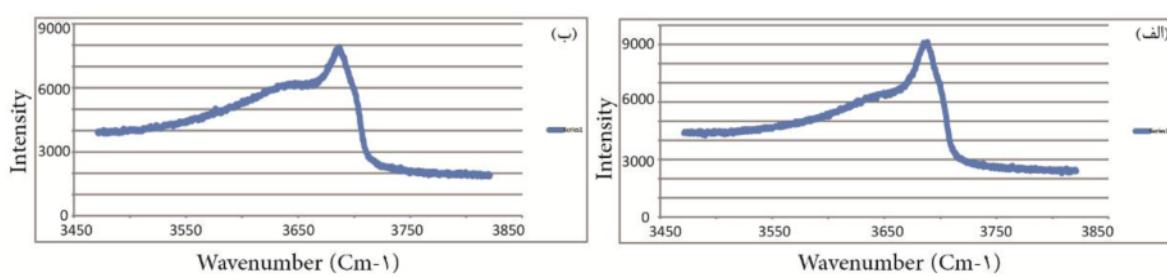


خطوط پراکنش نمایانند (representative) پارامترهای cell محاسبه شده و مشاهده شده (observed) در نمودار های ۲۰ نسبت به شدت جریان I در **شکل ۵** آورده شده است. این شکل خطوط پراکنش برای پارامترهای سلولی محاسبه شده و مشاهده شده آنتی گوریت، لیزاردیت و کریزوتیل در نمونه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. خطوط پراکنش برای کانی‌های بررسی شده بیشتر با آنتی گوریت و لیزاردیت همخوانی داشته و کریزوتیل در مقادیر کم شناسایی شد. مقداری آنتی گوریت در این سنگ‌ها جایگزین لیزاردیت و کریزوتیل شده است (**شکل ۵ الف**). آنتی گوریت تقریباً بیشتر از ۹۰ درصد سرپانتینیت شدن شیسته‌ها را تشکیل می‌دهد (**شکل ۵ ب**). **شکل ۵ پ** جایگزینی آنتی گوریت در مقادیر بسیار جزئی به وسیله لیزاردیت و کریزوتیل را نشان می‌دهد. مقادیر کریزوتیل و لیزاردیت در نمونه‌های برشی شده بیشتر است (**شکل ۵ ت**).

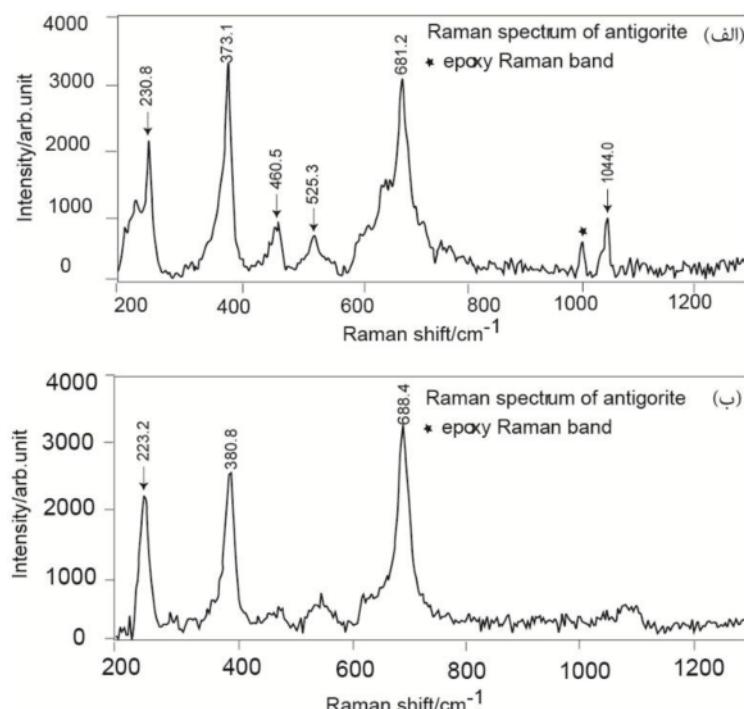
این سازگار با مقادیر مودی مشاهده شده در مقاطع نازک این نمونه‌هاست. برای اطمینان در تشخیص دقیق انواع چندریختی‌های سرپانتین، بیناب‌های مربوط به کریزوتیل، لیزاردیت و آنتی گوریت به روش بیناب سنجی رامان تعیین شد (**شکل ۶ و ۷**).



شکل ۵ خطوط پراکنش پارامترهای سلولی محاسبه شده و مشاهده شده آنتی گوریت، لیزاردیت و کریزوتیل در (الف) سرپانتینیت توده‌ای، (ب) سرپانتینیت شیست، (پ) سرپانتینیت شیست با بافت نفوذی که در آن آنتی گوریت به صورت جزئی به وسیله لیزاردیت و کریزوتیل جانشین شده است، (ت) سرپانتینیت دارای کریزوتیل. خط افقی در نمودار، خطوط پراکنش محاسبه شده را (پایینی) از خطوط پراکنش مشاهده شده (بالایی) جدا می‌کند.



شکل ۶ (الف و ب) بینابسنگی رامان کریزوتیل در سرپانتینیت‌های کریزوتیل‌دار تخت سلیمان.



شکل ۷ بینابسنگی رامان انواع سرپانتین در سرپانتینیت شیستهای تخت سلیمان (الف) آنتی گوریت و (ب) لیزاردیت.

ریزساختاری سرپانتینیت‌های مورد بررسی می‌توان دگرشكلى آن‌ها را در دو حالت شکل‌پذیر و شکننده در نظر گرفت: **دگرشكلى شکل‌پذير (Ductile)**: اين نوع دگرشكلى در سرپانتینیت شیستهای منطقه‌های برشی ناحیه‌ای مشاهده می‌شود. برخی از شواهد کانی‌شناسی و بافتی دال بر رخداد دگرشكلى شکل‌پذير در این سنگ‌ها عبارتند از: (a) سمتگیری موازی کانی‌های آنتی گوریت صفحه‌ای شکل به طول ۱/۲ میلی-متر که به طور اصلی بیشتر از ۹۰٪ این سنگ‌ها را تشکیل داده و باعث بریدگی در آن‌ها شده است. (b) کانی‌های تیره به طول ۱/۵ میلی‌متر که به شکل بودین تشکیل شده‌اند (شکل ۳ ث). (c) کانی‌های به صورت کشیده و صفحه‌ای به موازات بریدگی در سرپانتینیت تشکیل شده است (شکل ۳ ج). (d) شبه ریخت

فرمول آمفیبول بر اساس ۱۶ کاتیون و ۲۳ اتم اکسیژن محاسبه شده است. تغییرات ترکیبی در کانی‌های آمفیبول تجزیه شده کم است. ترکیب آمفیبول بر اساس نمودار $Mg/Mg+Fe^{2+}$ نسبت به Si [۲۳] در گستره‌ی ترمولیت قرار می‌گیرند.

دگرشكلى سرپانتینیت‌ها در مجموعه‌ی دگرگونی تخت سلیمان

سرپانتینیت‌های توده‌ای با بافت‌های سودومورفی غربالی و بستایت طی سرپانتینی شدن درجا یا استاتیک، پریدوتیت‌های اولیه تشکیل شده‌اند. رخدادهای بعدی طی انتقال توده‌های سرپانتینیتی به سطح زمین باعث ثبت آثار دگرشكلى در آن‌ها شده است. بر اساس شواهد کانی‌شناسی، ویژگی‌های بافتی و

در حالت جامد در راستای منطقه‌های برشی ناحیه ای از پوسته‌ی تحتانی و گوشته‌ی فوقانی در شرایط دگرشکلی شکل-پذیر به سطح زمین انتقال یافته و سرپانتینیت شیستها در این فاصله ارتباط تشکیل شده‌اند.

-۳- مرحله‌ی دگرشکلی شکننده در راستا منطقه‌های برشی محلی و تشکیل سرپانتینیت‌های کریزوتویل دار؛ در ادامه‌ی جایگیری، سرپانتینیت‌های کریزوتویل دار در شرایط دگرشکلی شکننده در شرایط عمق کم و دمای پایین تشکیل شده و بافت کاتاکلاستیک و تشکیل کریزوتویل رگه‌ای از رشتی‌های آن است. در این مرحله سرپانتینیت شیستها به‌طور بخشی به‌وسیله‌ی کریزوتویل جایگزین شده‌اند. البته شواهد بافتی در برخی از نمونه‌ها نشان می‌دهد که برخی از سرپانتینیت‌های توده‌ای به‌طور مستقیم به‌وسیله‌ی کریزوتویل جایگزین شده‌اند بدون اینکه قبلًا تحت تاثیر جایگیری فاز آنتی گوریت قرار گرفته باشند (**شکل ۸ ت**). البته بقایای بافت شبه ریخت در این سنگ‌ها نشان می‌دهد که فرایندهای جانشینی به‌وسیله‌ی کریزوتویل ناقص بوده است (**شکل ۸ ت**).

بنابراین بر اساس بررسی‌های سنگ نگاری، کانی‌شناسی و بافتی در سرپانتینیت‌های تخت سلیمان، به‌نظر می‌رسد جایگیری سرپانتینیت‌ها از شرایط شکل‌پذیر به شکننده تغییر یافته که در این راستا سرپانتینیت‌های توده‌ای به ترتیب به سرپانتینیت شیستی‌ها و سرپانتینیت‌های کریزوتویل دار تغییر کنند. بر این اساس این سرپانتینیت‌ها پس از تشکیل در حالت جامد از پوسته‌ی تحتانی و گوشته‌ی فوقانی، به سطح زمین انتقال یافته‌اند. با در نظر گرفتن اینکه فولیاسیون در سرپانتینیت شیست‌ها در راستای موازی با راستای طوبی شده توده‌های بزرگ سرپانتینیتی است، به نظر می‌رسد که چگونگی دگرشکلی میکروسکوپی در سرپانتینیت شیستها مشابه فرایندهایی است که توزیع و تشکیل آن‌ها را در مقیاس NW-SE بزرگتر در طول منطقه‌های گسلی با روند غالب کنترل کرده است. نمونه برداری سرپانتینیت شیستها در راستای منطقه‌های برشی این ادعا را تایید می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که جایگیری سرپانتینیت‌های توده ای از قبل تشکیل شده (pre-existing)، به حالت‌جامد همزمان با زمین‌ساختی و وابسته به فرایندهای دگرشکلی شکل‌پذیر و شکننده بترتیب در طول منطقه‌های گسلی ناحیه‌ای و محلی رخ داده است.

سرپانتینین با کشیدگی از دو سمت در سرپانتینیت‌ها مشاهده می‌شود (**شکل ۳ ج**).

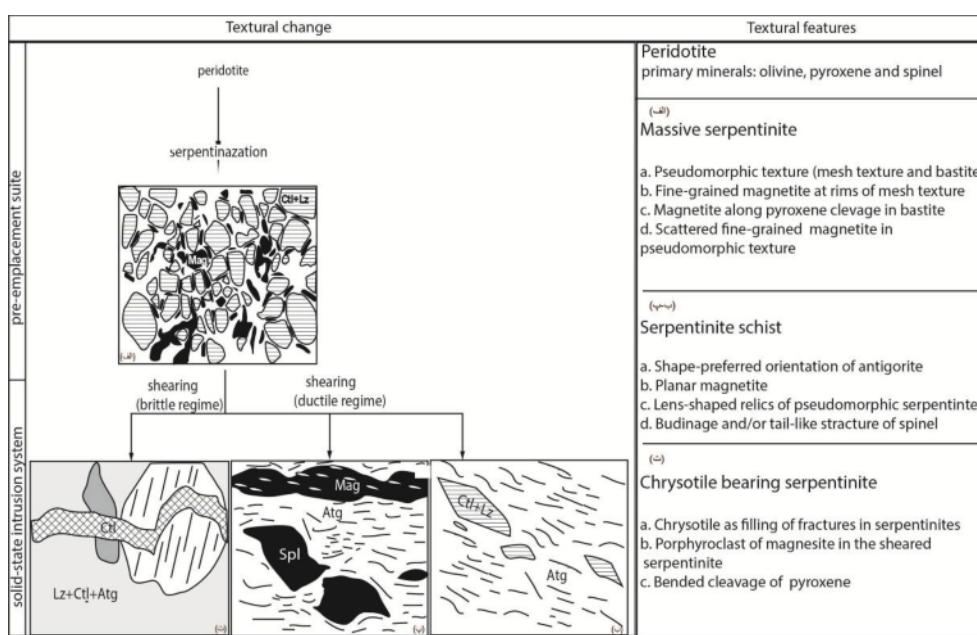
دگرشکلی شکننده (Brittle): این نوع دگرشکلی در سرپانتینیت‌های کریزوتویل دار منطقه‌های برشی محلی مشاهده می‌شود. (a) این سنگ‌ها دارای پورفیروکلاست‌های درشت دانه مگنزیت در اندازه‌ی ۷ میلی‌متر در زمینه ریز دانه متشکل از کریزوتویل، لیزاردیت و مگنزیت/دولومیت هستند (**شکل ۳ ح**). (b) کریزوتویل فیبری به صورت ثانویه و رگچه‌ای شکستگی‌های داخل پورفیروکلاست‌ها و زمینه‌ی ریز دانه‌ی سنگ را پر کرده است (**شکل ۳ خ**). (c) انباشت‌های ریز دانه‌ی فراوانی از کریزوتویل و لیزاردیت در زمینه‌ی جانشین آنتی‌گوریت شده است.

شکل‌گیری‌های سرپانتینیت‌ها در مجموعه‌ی دگرگون تخت سلیمان

تغییرات مجموعه کانی‌ها و بافت سرپانتینیت‌ها در طول انتقال و پس از آن بازتاب‌دهنده‌ی شرایط دگرشکلی و تغییرات دما و فشار در آن‌ها است. بر اساس بررسی‌های سنگنگاری، کانی‌شناسی، بافتی و دگرشکلی در سرپانتینیت‌های تخت سلیمان، شکل‌گیری‌های سرپانتینیت‌ها از آغاز تشکیل تا جایگیری در سطح زمین، در سه مرحله پیشنهاد شده است:

۱- مرحله‌ی ایستایی و تشکیل سرپانتینیت‌های توده‌ای؛ در مرحله‌ی اول الیوین و پیروکسن به لیزاردیت و/یا کریزوتویل با بافت شبه ریخت تبدیل شده‌اند (**شکل ۸ الف**). چند ریخت‌های لیزاردیت و کریزوتویل با دما پایین بوده و به طور مستقیم از دگرسانی الیوین در دماهای پایین تر از ۳۰۰ درجه‌ی سانتی-گراد [۲۴] و یا ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد [۲۵] تشکیل می‌شوند. تشکیل سرپانتینیت‌های توده‌ای را می‌توان آغاز مرحله سرپانتینی شدن درجا (بدون زمین‌ساختی) در نظر گرفت.

۲- مرحله‌ی دگرشکلی شکل‌پذیر در راستای منطقه‌های برشی ناحیه‌ای و تشکیل سرپانتینیت شیست‌ها: در مرحله‌ی دوم آنتی گوریت جایگزین لیزاردیت و/یا کریزوتویل شده و سرپانتینیت شیست‌ها با سمت‌گیری موازی آنتی‌گوریت تشکیل شده است (**شکل ۸ ب**). آنتی‌گوریت چند ریخت با دما بالای سرپانتین بوده و در دماهای بالاتر تقریباً ۲۵۰ تا ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد پایدار است [۲۵]. بر اساس پایداری آنتی‌گوریت و نوع دگرشکلی، سرپانتینیت شیست‌های مورد بررسی، دگرشکلی شکل‌پذیر در شرایط نسبتاً بالای فشار و دما [۲۶] را متحمل شده‌اند. طی این مرحله سرپانتینیت‌های توده‌ای پس از تشکیل



شکل ۸ (الف-ت) مدل شماتیکی که تغییرات بافتی سرپانتینیت‌های تخت سلیمان در سیستم نفوذی حالت‌جامد (solid-state intrusion system) را نشان می‌دهد.

فراوانی الیوین در پروتولیت سرپانتینیت‌های مورد بررسی را

تایید می‌کند.

آربست آمفیبول با الیاف ظریف، بلند و قابلیت انعطاف خوب به صورت رگه تا ضخامت چندین متر در سنگ‌هایی با شکستگی‌های گسترش یافته در منطقه‌های برشی ناحیه‌ای تشکیل شده است.

قدرتانی

از Dr. M. Wilke از دانشگاه پتسدام به خاطر کمک در استفاده از نرم افزار WIN-METRIC و M. Borchert از O. Appelt دانشگاه پتسدام به خاطر تجزیه XRD نمونه‌ها و D. Rhede از GFZ برلین برای تجزیه میکروپریوب نمونه‌ها تشکر و قدردانی می‌شود. از داوران محترم مجله بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران که با ارائه پیشنهادات سازنده به ارتقاء کیفی مقاله مساعدت نمودند صمیمانه سپاسگزاریم.

مراجع

- [1] Chatterjee K. K., "Uses of Industrial Minerals, Rocks and Freshwater", Nova Science Publishers (2009) 584 p.
- [2] Devore G. W., "Preferred mineral distributions of polymimetic rocks related to non-hydrostatic stresses as expressions of mechanical equilibria", Journal of Geology 77 (1968) 26-38.

برداشت

- سرپانتینیت‌های تخت سلیمان بر اساس نوع سرپانتین چندربختی، ویژگی‌های بافتی و ریزساختاری در سه گروه دسته بنده شده‌اند که عبارتند از: سرپانتینیت‌های توهدای، سرپانتینیت‌های فولیاسیون‌دار یا سرپانتینیت شیست‌ها و سرپانتینیت‌های دارای کریزوتیل.

- بر پایه‌ی بررسیهای سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی و بافتی در سرپانتینیت‌های تخت سلیمان، به نظر می‌رسد که جایگیری سرپانتینیت‌ها از شرایط شکل‌پذیر به شکننده تغییر یافت که در این راستا سرپانتینیت‌های توهد ای به ترتیب به سرپانتینیت شیست‌ها و سرپانتینیت‌های کریزوتیل دار شکل گرفته‌اند.

- بر اساس شواهد سنگ‌نگاری، داده‌های بیناب سنجی رامان، کانی‌شناسی XRD و بررسی ریزپردازشی، آربست در مجموعه‌ی دگرگونی‌های تخت سلیمان از هر دو نوع آربست کریزوتیل و آربست آمفیبول است.

- آربست کریزوتیل به صورت رگجه‌های پر شده با ضخامت میلی‌متری در سنگ‌های سرپانتینیت کریزوتیل‌دار در منطقه‌های برشی محلی تشکیل شده است. ضخامت نازک رگجه‌های آربست کریزوتیل را می‌توان به مقادیر بالای الیوین در ترکیب پروتولیت این سنگ‌ها نسبت داد. مقادیر کم Cr₂O₃ در ترکیب شیمی کریزوتیل‌های آنالیز شده، مقادیر کم کلینوپیروکسن و

- [14] Stockli, D.F., Hassanzadeh, J., Stockli, L.D., Axen, G., Walker, J.D. and Dewane, T.J., "Structural and geochronological evidence for Oligo-Miocene intra-arc low-angle detachment faulting in the Takab-Zanjan area, NW Iran" Abstract, Programs Geological Society of America, 36 (2004) 319.

[15] Moazzen, M., Hajjalioghli, R., Moller, A., Droop, G., Oberhansli, R., Altenberger, U., Jahangiri, A., "Oligocene partial melting in the Takab metamorphic complex, NW Iran: Evidence from in situ U-Pb geochronology" Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, 24 (3) (2013) 217-228.

[16] Hajjalioghli R., Moazzen M., Jahangiri A., Oberhansli R., Mocek B. and Altenberger U., "Petrogenesis and tectonic evolution of metaluminous sub-alkaline granitoids from the Takab Complex, NW Iran", Geological Magazine 148 (2010 b) 250-268.

[۱۷] حاجی علی اوغلی رهبری پترولوژی سنگ‌های دگرگونی کالک-سیلیکات و متابازیک مجموعه تخت سلیمان در شمال‌شرق تکاب (غرب ایران) رساله دکتری، (۱۳۸۶) دانشگاه تبریز.

[18] Li X.P., Rahn M., Bucher K., "Metamorphic processes in rodingites of the Zermatt-Saas Ophiolites" International Geological Review 46 (2004) 28-51.

[19] Hermann J., Muntener O., Scambelluri M., "The importance of serpentinite mylonites for subduction and exhumation of oceanic crust", Tectonophysics 327 (2000) 225-238.

[20] Wicks F. J., "Deformation histories as recorded by serpentinites, II: Deformation during and after serpentinization", Canadian Mineralogist 22 (1984) 197-204.

[21] Maltman A. J., "Serpentinite textures in Anglesey, North Wales, United Kingdom", Geological Society of American Bulletin 89 (1978) 972-980.

[22] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals" American Mineralogist 68 (1983) 277-279.

[23] Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresh V. W., Nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W. and Youzhi G., "Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on

[3] Hajjalioghli R., Moazzen M., Jahangiri A., Droop G. T. R. Bousquet R. and Oberhansli R., "Petrogenesis of meta-peridotites in the Takab area, NW Iran", Goldschmidt Conference Abstracts, Cologne, Germany (2007 a) A370.

[4] Hajjalioghli R., Moazzen M., Droop G. T. R., Oberhansli R., Bousquet R. Jahangiri A. and Ziemann M., "Serpentine polymorphs and P-T evolution of meta-peridotites and serpentinites in the Takab area, NW Iran", Mineralogical Magazine 71 (2007 b) 155-174.

[5] Moazzen M. Hajjalioghli R. "Zircon SHRIMP dating of mafic migmatites from NW Iran; Reporting the oldest rocks from the Iranian crust", 5th Annual Meeting AOGS, Busan, Korea. (2008) SE62.

[6] Hajjalioghli R., Moazzen M., Droop G., Oberhansli R., Bousquet R., Jahangiri A., "Tectonic implications of the oligocene mafic migmatites in the Takab core complex, NW Iran", Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia Ankara, Turkey (2010 a).

[6] Virta R. L., "Asbestos", U.S. Geological Survey Minerals (2000) 7 p.

[۷] افتخارنژاد، ج. "طبقه بندي تكتونيكي ايران در ارتباط با حوضه هاي رسوبگذاري" ، مجله انجمن نفت ايران، ۸۲ (۱۳۵۹) .۲۸-۱۹

[8] Stocklin, J., "Structural history and tectonics of Iran: a review: American Association of Petroleum", Geologists Bulletin, 52 (1968) 1229-1258.

[9] Alavi, M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations", Tectonophysics, 229 (1994) 211-238.

[10] Alavi, M., "Regional stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust belt of Iran and its proforeland Evolution" American Journal of Science, 304 (2004) 1-20.

[11] Berberian, M. and King, G.C.P., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran" Canadian Journal of Earth Sciences, 18 (1981) 210-265.

[۱۲] بابا خانی ع. و قلمقاش ج. " نقشه زمین شناسی ۱/۱ تخت سلیمان" ، (۱۳۷۱) سازمان زمین شناسی ایران.

[۱۳] لطفی، م.، " نقشه زمین شناسی ۰۰۰۰۰۱/۱ نشان" سازمان زمین شناسی ایران، (۱۳۸۰) تهران.

- [25] Evans B., “*The serpentine multisystem revisited: Chrysotile is metastable*”, International Geology Review 46 (2004) 479-506.
- [26] Hirauchi K., “*Serpentinite textural evolution related to tectonically controlled solid-state intrusion along the Kurosegawa Belt, northwestern Kanto Mountains, central Japan*”, Island Arc 15 (2006) 156–164.
- [24] O’Hanley D. S., Wicks F. J., “*Conditions of formation of lizardite, chrysotile and antigorite, Cassiar, British Columbia*”, Canadian Mineralogist 33 (1995) 753–73.
- amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names”, American Mineralogist 82 (1997) 1019–1037.