

## معرفی و بررسی رخداد کانی سپیولیت در منطقه تنبو، جنوب شرقی میناب، ایران

ابوالفضل سلطانی\*

گروه ژئوتکنیک دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۹/۲۸

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۳/۱۷

### چکیده

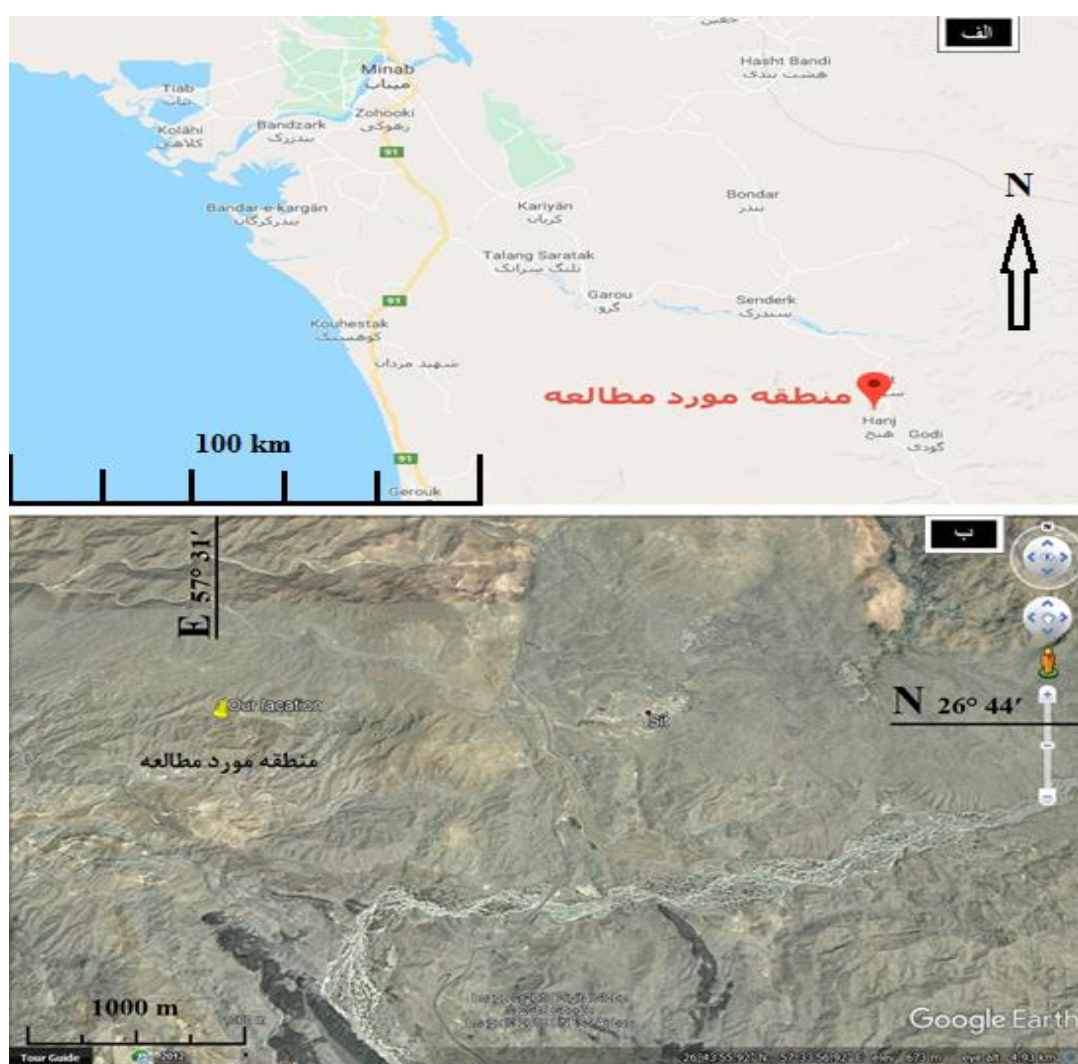
منطقه تنبو در بخش سندرک واقع در جنوب شهرستان میناب قرار دارد. این منطقه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰.۰۰۰ طاهرویی در غربی‌ترین قسمت زون افیولیتی مکران واقع می‌شود. در این تحقیق کانی‌های فیبری برای اولین بار در شمال روستای تنبو معرفی و رخداد آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالعات اولیه این تحقیق با هدف تاثیرات زیست محیطی سنگ‌های افیولیتی در این منطقه انجام شد. سپس شناسایی کانی‌های فیبری براساس مشاهدات صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و انجام آنالیزهای شیمیایی (XRF و XRD) صورت گرفت. نتایج آنالیز شیمیایی XRD و مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانی‌های فیبری نوعی کانی رسی به نام "سپیولیت" هستند. طول الیاف سپیولیت‌های شناخته شده در این منطقه گاهی به حدود ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد و نسبت طول به عرض آنها بیش از ۱۲۰۰ است. مقایسه اکسیدهای اصلی حاصل از آنالیزهای شیمیایی XRF بر روی کانی‌های فیبری روستای تنبو با نمونه‌های شناخته شده در ایران و دیگر کشورها، وجود کانی سپیولیت را در این منطقه تأیید می‌کند. ساختار تشکیل سپیولیت منطقه تنبو به صورت ثانویه است زیرا به صورت پوششی بر روی سنگ‌های کربناته قرار گرفته است. با توجه به شواهد سنگ شناسی و اطلاعات ژئوشیمیایی، سپیولیت‌های منطقه تنبو، حاصل واکنش‌های شیمیایی محلول‌های هیدروترمالی با سنگ‌های هارزبورژیتی غنی از آهن و منیزیم هستند که تحت اثر دما و فشار بخار آب بالا دگرسان شده‌اند، به طوری که انحلال آهن، کلسیم و منیزیم در حضور دی‌اکسید کربن صورت گرفته است. طی این فرایندها، تغییرات شیمیایی کریزوتیل در حضور محلول‌های گرم که غنی از  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{SiO}_2$  هستند، به تولید مجموعه‌ای از کانی‌های کلسیت، مگنیزیت و سپیولیت آهن‌دار منجر شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تنبو، سپیولیت، مکران باختری، میناب، هارزبورژیت.

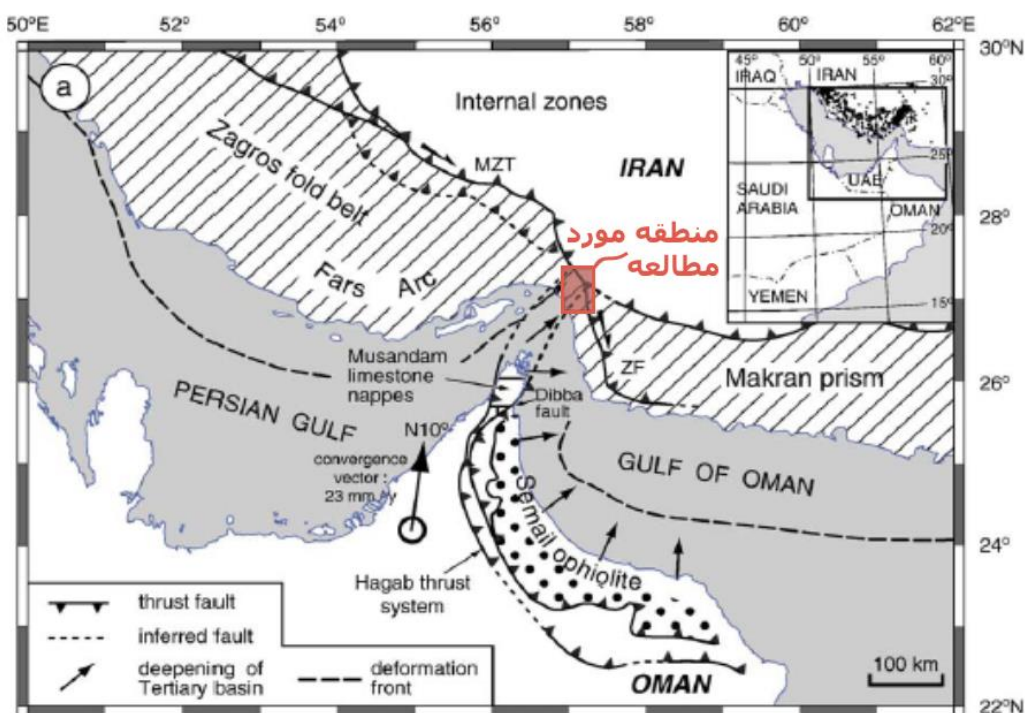
مقدمه

مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ واقع می‌شود. مختصات جغرافیایی منطقه تنبو، بین طول‌های شرقی (۴۶" و ۵۷° ۳۲' ۰۲") و عرض‌های شمالی (۲۶° ۴۳' ۲۶") و (۲۶° ۴۱' ۵۷") در ناحیه میناب دو واحد زمین ساخت رسوبی زاگرس و مکران در مجاورت یکدیگر قرار می‌گیرند. این منطقه در قسمت باختری مکران واقع شده است (شکل ۲).

منطقه تنبو، در حد شرقی بندرعباس و در ۸۵ کیلومتری جنوب شرقی میناب قرار دارد. از جاده میناب به سمت جنوب به بخش سندرک و در ادامه به طرف جنوب شرق به سمت درپهن، دسترسی به منطقه تنبو میسر می‌گردد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه، بخشی از نقشه زمین‌شناسی منطقه طاهرویی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ است که در بخش باختری نقشه زمین‌شناسی درپهن با



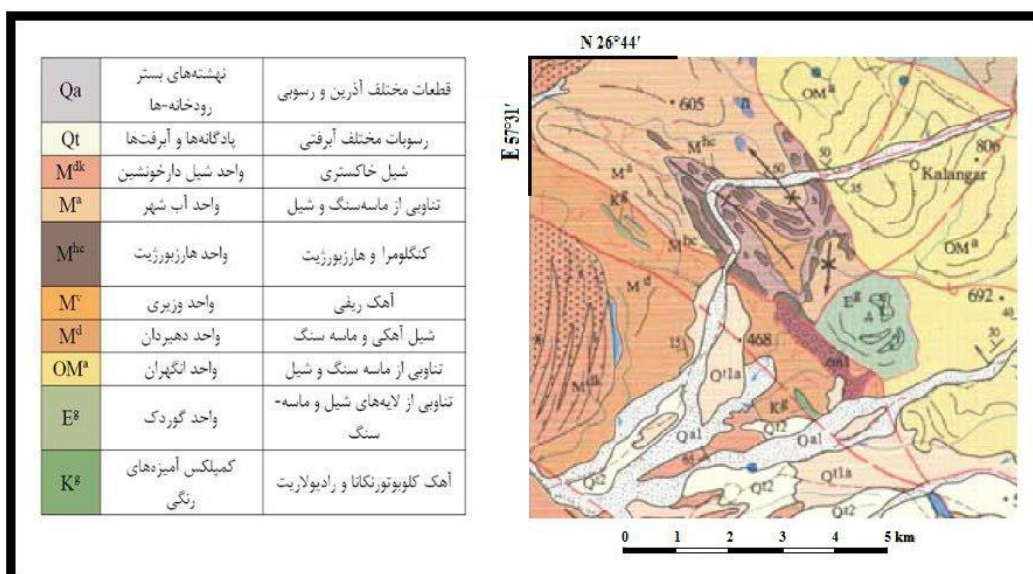
شکل ۱: الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه، ب) محل روستای تنبو



شکل ۲: موقعیت ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در محل تلاقی زون مکران و زون زاگرس چین خورده واقع شده است (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۵).

بسیار مورد توجه است. این واحد منحصر به فرد در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ طاهرویی و به-طور دقیق‌تر در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جکدان، درپهن و سیریک دیده می‌شود و از نظر موقعیت چینه‌شناسی کم و بیش شبیه واحد وزیري است. به‌طور کلی بیرون زدگی‌های لایه کنگلومرا و هارزبورژیت به رنگ سبز روشن و ضخامتی حدود ۳۰ متر را نشان می‌دهد. البته در برخی نقاط دیگر منطقه، این کنگلومرا تا ضخامت حدود ۱۰۰ متر نیز رخمون داد (مک کال، ۱۹۸۵). لازم به ذکر است که بیشترین رخمون این واحد در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درپهن با ساختار چین خورده (تاقدیس-ناودیس) در بین گسل‌های نسبتاً موازی وجود دارد (شکل ۳).

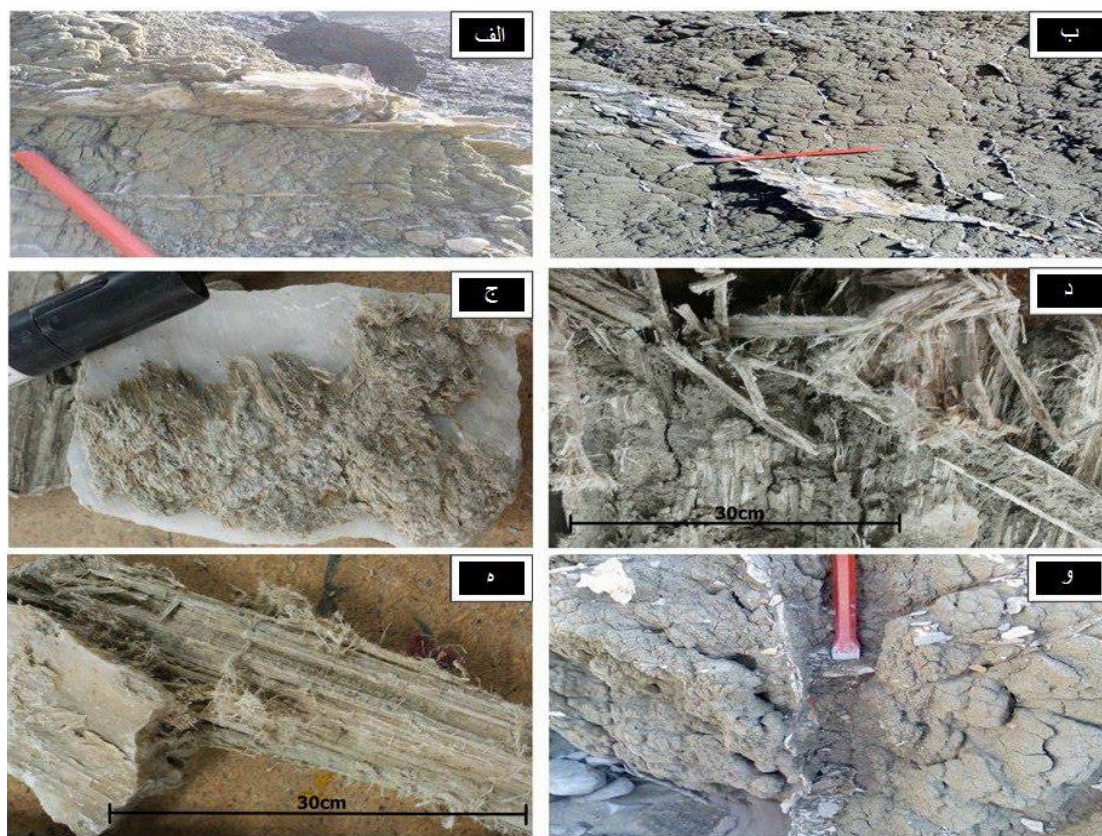
از نظر رخمون زمین‌شناسی، در منطقه مورد مطالعه واحدهایی از میوسن بروزند دارند که از سن قدیم به جدید به ترتیب عبارتند از (۱) واحد دهیردان، (۲) واحد وزیري، (۳) واحد کنگلومرا و هارزبورژیت (هم ارز واحد وزیري)، (۴) واحد شهرپوم، (۵) واحد آب شهر، (۶) واحد شیل دارخوشین (هم ارز واحد شهرپوم و واحد آب شهر) و (۷) واحد درپهن. از میان این واحدها، واحد کنگلومرا و هارزبورژیت با سن میوسن بیشترین اهمیت در این مطالعه را دارد زیرا به‌طور منحصر به فرد، فقط در مکران باختری رخمون دارد. این واحد دارای تنوعی از کانی‌های فیلسیلیکاتی است و به دلیل نوع کانی‌ها، شدت هوازدگی و ترکیب الترابازیکی سنگ‌ها، در شرایط اتمسفریک پایداری کمتری نشان می‌دهد به طوری که از دیدگاه زمین‌شناسی زیست محیطی و جنبه‌های اقتصادی



شکل ۳: بخشی از نقشه زمین‌شناسی منطقه که در آن واحد هارزبورژیت ( $M^{hc}$ ) با رنگ قهوه‌ای تیره دیده می‌شود (اتخاذ شده از نقشه زمین‌شناسی درپهن با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰).

کانی‌های فیبرولیتی شناخته شده بسیار بالا است (حدود ۱۲۰۰ برابر). در این تحقیق کانی‌شناسی و نحوه تشکیل کانی‌های الیافی سپیولیت منطقه مطالعه شده است. بدین منظور علاوه بر مطالعات صحرایی و ماکروسکوپی از آنالیز XRD و XRF استفاده شده است. تاکنون گزارش مبسوطی در رابطه با شناسایی و مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ساختار ژنتیکی ذخایر سپیولیت ایران مخصوصاً مربوط به جنوب ایران منتشر نشده است. اطلاعات موجود در باره سپیولیت، فقط برای محدوده روستای الیاتو از توابع شهرستان فریمان واقع در شمال خاوری ایران با سن پلیوسن-کواترنر توسط حجتی و خادمی (۱۳۹۲)، و برای محدوده شمال نائین در سکانس افیولیتی نائین-دهشیر با سن کرتاسه بالایی-پالئوسن توسط شرافت و دیگران (۱۳۹۴)، گزارش شده است. مطالعه حاضر برای اولین بار حضور و شناخت کانی سپیولیت را در جنوب ایران (محل تلاقی زون مکران و کمربند چین خورده زاگرس)، معرفی می‌کند (شکل ۴).

در اطراف روستای تنبو در حاشیه کنگلومرا و هارزبورژیت رشته‌های نسبتاً بلندی از کانی‌های آبدار الیافی دیده می‌شود که غالباً در مجاورت با سنگ‌های آهکی و سرپانتینیت‌ها قرار دارند (شکل ۴). در شناخت اولیه این نمونه‌ها به نظر می‌رسید که گروهی از آزیست‌های سفیداند که تحت عنوان کریزوتیل از کانی‌های خانواده سرپانتین هستند. دلیل این موضوع این است که از نظر پتروگرافی سنگ‌های هارزبورژیتی، این منطقه پتانسیل تشکیل کریزوتیل را دارند به طوری که در مطالعات قبلی نیز رشته‌های آزیستی (پنبه نسوز) در بشاگرد گزارش شده است. براساس استانداردهای کانی‌شناسی، چنانچه طول کانی‌ها بیش از ۵ میکرون و قطر آن‌ها کمتر از ۵ میکرون، و نسبت طول به عرض آن‌ها سه به یک یا بیشتر باشد، می‌توان آن‌ها را کانی الیافی در نظر گرفت. انجمن کانی‌شناسی امریکا از نسبت طول به عرض بزرگ‌تر از ۱۰ به ۱ یا ۲۰ به ۱ برای تعریف کانی‌های فیبری استفاده می‌کند (ایبای، ۲۰۰۴). در این مطالعه، نسبت طول به عرض



شکل ۴: الف) کانی‌های فیبری در شمال روستای تنبو درون واحد کنگلومرا و هارزبورژیت، ب) گسترش صفحه‌ای کانی‌های فیبری و کربنات کلسیم در بین کنگلومرا و هارزبورژیت، ج) رشد کانی سپیولیت بر روی کلسیت، د) الیاف-های طولی و نازک سپیولیت، ه) رشد تیغه‌ای (دسته‌ای طولی) سپیولیت، و) نحوه فرسایش هارزبورژیت و کانی‌های فیبره.

### مواد و روش‌ها

روش تحقیق در این مقاله از سه بخش شامل مطالعات اولیه و مرور مقالات داخلی و خارجی، عملیات صحرائی و استفاده از امکانات آزمایشگاهی تشکیل شده است. در بازدید صحرائی به توصیف اولیه پتروگرافی (ساخت و بافت)، روابط دقیق کانی سازی، گسترش سنگ‌ها و کانی‌ها، وضعیت رشد و جایگیری کانی‌های فیبرولیتی و سپس نمونه‌برداری از مجموعه‌های سنگی مرتبط و دارای کانی‌های شاخص، انجام شده است. با توجه به تشابه زیاد سنگ‌های هارزبورژیتی موجود در منطقه و محدودیت سایش در تهیه مقاطع

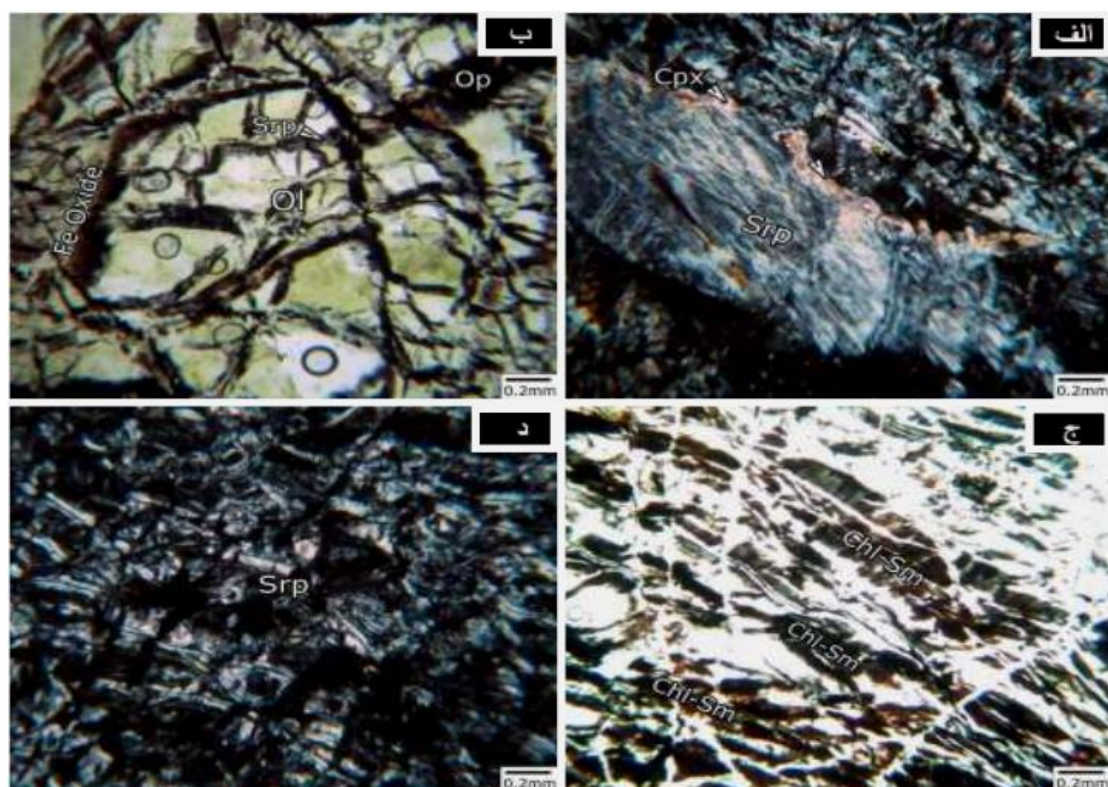
نازک برای کانی‌های فیبرولیتی (شکل ۴)، جمعا تعداد ۱۰ عدد مقطع نازک میکروسکپی تهیه و توسط میکروسکپ پلاریزان ساخت آلمان از نوع Leitz Laborlux 12 در آزمایشگاه دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران خواص نوری آنها مطالعه شد. سپس براساس این مطالعات، نمونه‌های شاخص فیبرولیتی با حذف ناخالصی‌ها تا حد ممکن، جهت آنالیزهای شیمیایی انتخاب شدند. ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های فیبرولیتی با روش آنالیز دستگاهی پراش اشعه ایکس (XRD) و ترکیب شیمیایی آنها (کل سنگ) با روش آنالیز دستگاهی فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF) در

سختی قرار گیرد و از نمونه، مقطع نازک تهیه شود. مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد که کانیه های ثانویه اکثرا از جنس دولومیت، کلسیت و رس ها در نمونه های سنگی گسترش یافته اند. بلورهای دولومیت در اندازه متوسط جهت یافتگی ترجیحی نشان می دهند و فابریک نواری را ایجاد کرده اند. حضور ماکل های پلی سنتتیک از مشخصات این کربنات است که به صورت متقاطع نسبت به هم مشاهده می شوند (شکل ۶ الف). تالک، سرپانتین، آنتی گوریت، ترمولیت، مونت موریلونیت، کلینوکریزوتیل، و کانی های اپک اجزای فرعی سازنده سنگ ها را تشکیل می دهند و بصورت رگه ای و در فضای بین کریستال های کربنات ها رشد و تبلور یافته اند. کانی های اپک در اندازه ریز تا بسیار ریز در مقطع نازک میکروسکوپی حضور دارند. متداول ترین روش شناخت کانی ها، استفاده از پراش پرتو اشعه ایکس است (Post et al, 2007). نتایج آنالیز XRD برای تعداد ۵ نمونه در شکل ۷ و جدول ۱ نشان داده شده است. سپیولیت  $[Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6(H_2O)]$  مهم ترین و فراوان ترین کانی الیافی آبدار از نوع فری ین (Ferrian) است که در آنالیزهای XRF ثبت شده است (Sample M24). سایر کانی های همراه با سپیولیت عبارتند از تالک (الفا و بتا)، آنتی گوریت، آراگونیت، تره مولیت، مونت موریلونیت، کلینوکریزوتیل، کلسیت، دولومیت و مگنتیت. در جدول ۱، ترتیب نگارش نام کانی ها از راست به چپ، معرف اولویت میزان حضور کانی براساس فراوانی در مقاطع نازک و شدت پیک آنالیز در هر نمونه است. کانی های فرعی در بسیاری از نمونه های دستی نیز قابل مشاهده اند.

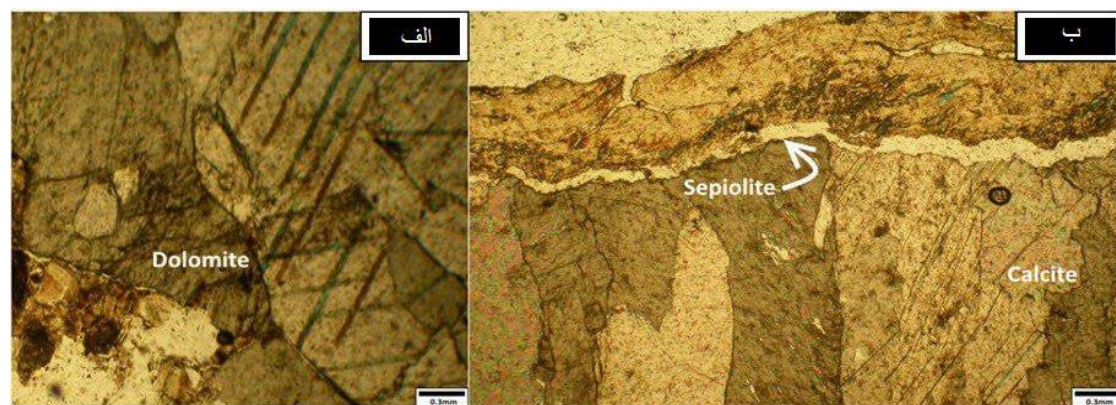
آزمایشگاه سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تعیین شده است.

## نتایج

مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد که در سنگ های منطقه تنبو کانی های فیلولوسیلیکاتی شامل دو گروه متفاوت اند. گروه اول رشته های باریک سرپانتین و تالک درون سنگ های الترابازیک و سرپانتینیت است که گسترش و اهمیت چندانی ندارند و در نمونه های دستی قابل روئیت نمی باشند بلکه به صورت جزئی فقط در مقاطع نازک درون سنگ های هارزبورژیتی که سرپانتینیتی شده اند، مشاهده می شوند. لازم به ذکر است که بیشتر کانی های گروه سرپانتینیت در مقاطع نازک، به صورت تجمعی حضور دارند (شکل ۵). گروه دوم مربوط به کانی های فیبری طویل شده و درشت اما با قطر بسیار کم (حدود نیم میلی متر) است که با فاصله گرفتن از کنگلومرا و هارزبورژیت در برخی از مناطق اطراف تنبو نیز، مشاهده می شوند. در نمونه های دستی گروه دوم، طول الیاف کانیه های فیبری منطقه تنبو گاهی به ۶۰ سانتی متر می رسد که باتوجه به قطر کم آنها نسبت طول به قطر این الیاف به بیش از ۱۲۰۰ می رسد. به همین دلیل، برای تهیه مقاطع نازک، نمونه هایی که در مجاورت کانیه های سخت تر (مانند کلسیت) قرار دارند، انتخاب شد. بدلیل مشکل ساخت مقطع نازک از این فیبرها، گاهی از نمونه هایی که دارای سایر کانیه های همراه هستند، نیز مقطع نازک تهیه گردید. بدلیل کم بودن قطر هر فیبر مطالعه خواص میکروسکوپی آنها تحت نور پلاریزه مشکل است. لذا برای مطالعات دقیق تر، باید پودر نرم فیبرهای آن در رزین مناسب و

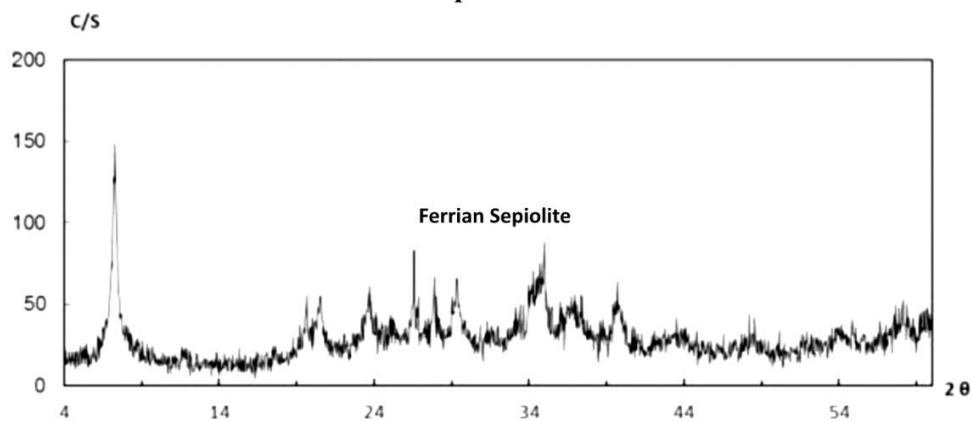


شکل ۵: الف) بلور دگرسان شده به سرپانتین در زمینه سرپانتینیت (XPL)؛ ب) الیوین جانشین شده توسط سرپانتین که شکستگی‌های آن توسط کانی‌های ایک (هماتیت) پر شده است (XPL)؛ ج) وجود کانی‌های رسی در فضاهای خالی (PPL)؛ د) بلورهای سرپانتین و کانی مگنتیت (اوپیک) در بین آن‌ها (XPL).

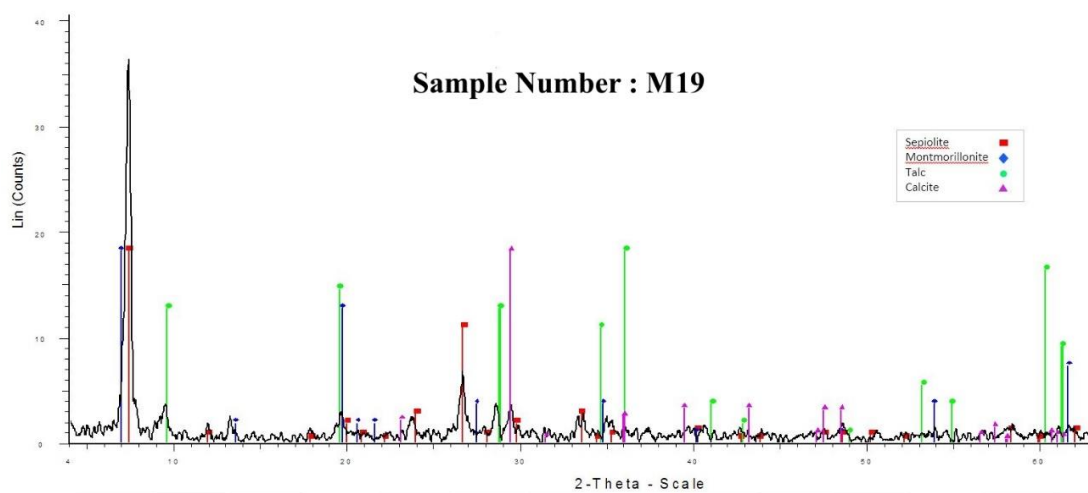


شکل ۶: مقطع میکروسکوپی نشان دهنده کانی‌های کربناتی به‌عنوان میزبان فیبرهای سپیولیت (X100). الف) کانی درشت دولومیت با ماکل پلی‌سنتتیک متقاطع (XPL)، ب) کانی سپیولیت با رنگ روشن و حالت پیچشی در بالای تصویر یعنی در حاشیه کانی‌های درشت دولومیت و کلسیت (PPL).

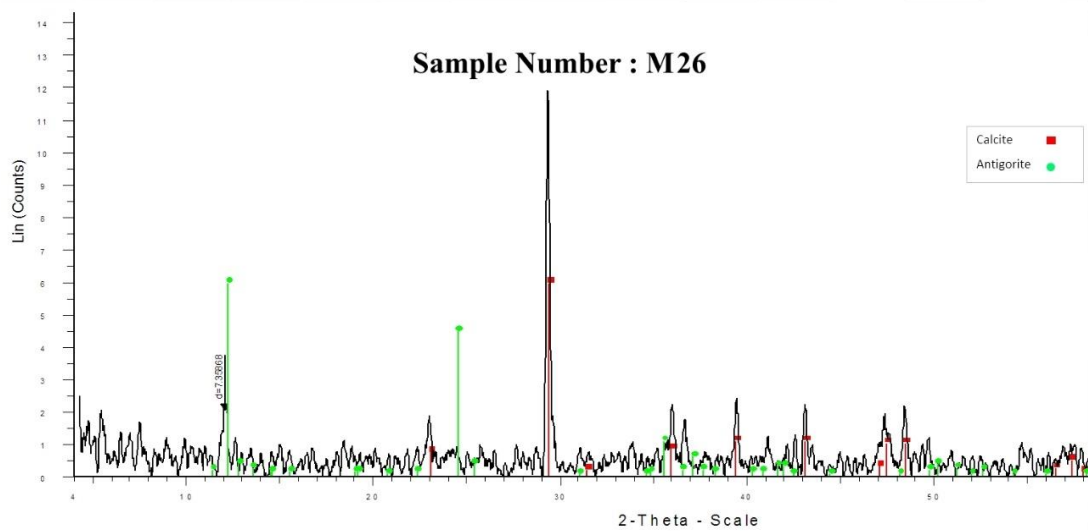
Sample Number : M24



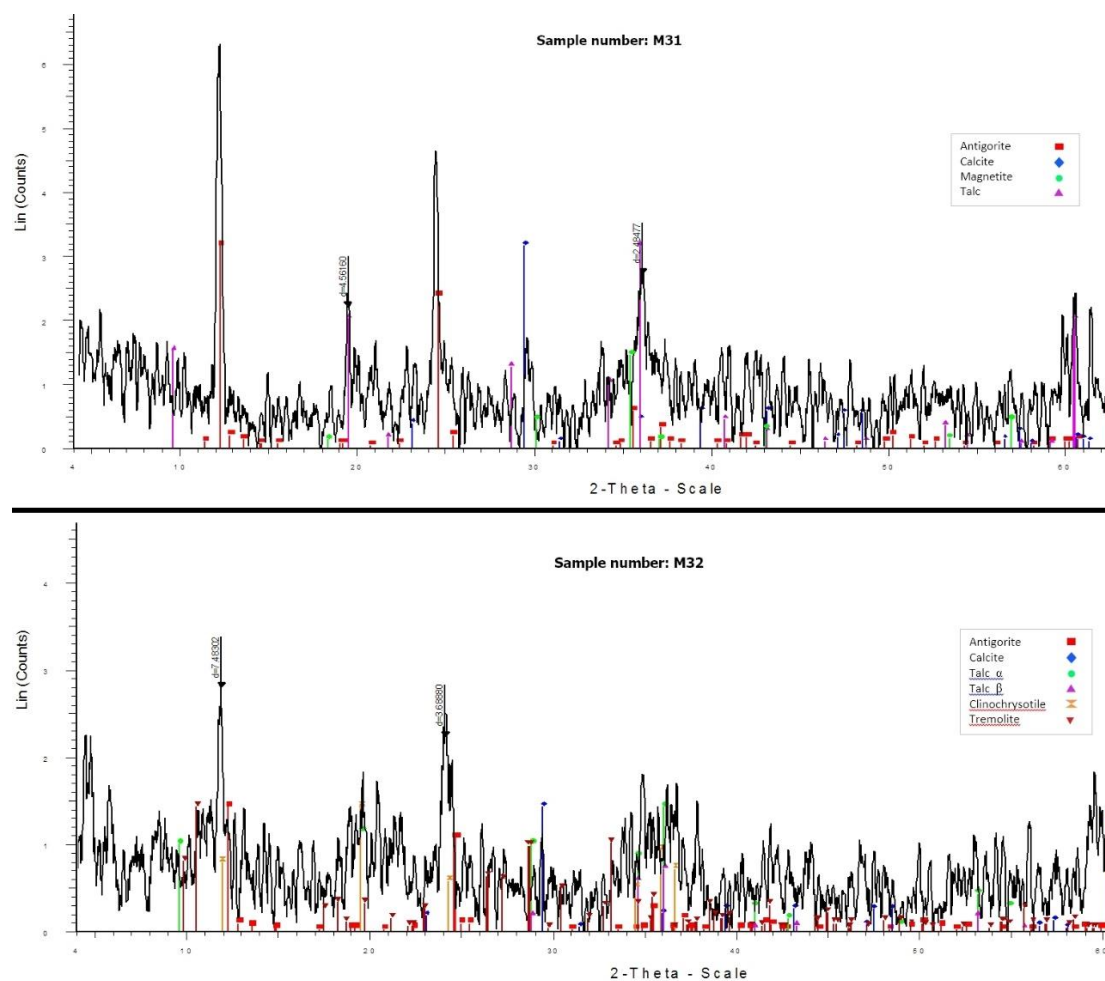
Sample Number : M19



Sample Number : M26







شکل ۷: آنالیز XRD بر روی نمونه سپیولیت خالص (Sample M24) که به صورت پوششی همواره در مجاورت کانی کلسیت یافت می‌شود. سایر کانی‌های فیلوسیلیکاتی و غیر سیلیکاتی همراه با سپیولیت در نمونه‌های M19، M26، M31 و M32 نشان داده شده است.

جدول ۱: نتایج آنالیز کانی‌های فیبره، فیلوسیلیکاتی و غیر سیلیکاتی منطقه تنبو با روش XRD

شماره نمونه	نام و انواع کانی‌های مشاهده شده	نام آزمایشگاه
M24	سپیولیت	آزمایشگاه کانساران بینالود
M19	سپیولیت، مونت موریلونیت، تالک، کلسیت	سازمان زمین‌شناسی کشور
M26	کلسیت، آراگونیت، سرپانتین و مونت موریلونیت	سازمان زمین‌شناسی کشور
M31	آنتی گوریت، کلسیت، مگنتیت، تالک	سازمان زمین‌شناسی کشور
M32	آنتی گوریت، کلسیت، تالک (الف و بتا)، کلینوکریزوتیل، تره مولیت	سازمان زمین‌شناسی کشور

کانی همواره به صورت پوششی بلورهای کربنات کلسیم را در بر گرفته است. تشکیل کانی سپیولیت در مجاورت یا بر روی کربنات کلسیم نشان می‌دهد که سپیولیت از نظر زمانی بلافاصله

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، الیاف‌های طولیل شده کانی سپیولیت به صورت توام (دسته ای) و تیغه‌ای تا درهم رشد کرده‌اند و بیشتر به حالت موازی یکدیگر تبلور و گسترش یافته‌اند. این

تشکیل سپیولیت، ناشی از آلتراسیون سنگ‌های الترابازیکی در اثر فرایند هیدروترمال است. به-علاوه، ترکیب شیمیایی سپیولیت تنبو (جدول ۲) نشان می‌دهد که فعالیت محلول‌های هیدروترمالی غنی از  $\text{CO}_2$ ،  $\text{SiO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  باعث کربناته شدن سرپانتینیت‌ها و در واکنش با سنگ‌های الترابازیکی سبب غنی شدن اکسیدهای سیلیسیم، منیزیم و آهن در دمای پایین شده است.

پس از تبلور کلسیت تشکیل شده است (شکل ۶). می‌توان گفت، تشکیل کربنات کلسیم، غلظت محلول باقیمانده را از سیلیسیم و منیزیم غنی کرده است، لذا شرایط فیزیکوشیمیایی برای تبلور سپیولیت فراهم شده است (Hojati et al, 2012) به همین منظور احتمال اینکه تشکیل کانی سپیولیت در منطقه تنبو با منشأ آواری یا رسوبی (شیمیایی) باشد بسیار ضعیف به نظر می‌رسد (singer et al, 1995). اما مطالعات و شواهد صحرائی در منطقه تنبو نشان می‌دهد که شرایط

جدول ۲: نتایج آنالیز XRF بر روی نمونه‌های سپیولیت‌دار منطقه تنبو بر حسب درصد وزنی اکسیدها (wt%).

Sample No.	نمونه‌های ناخالص			نمونه‌های خالص			میانگین کل
	M18	M19	میانگین	M21	M22	میانگین	
Na <sub>2</sub> O	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰/۱	۰
MgO	۱۵/۴	۱۴/۸	۱۵/۱	۱۸/۵	۲۰/۱	۱۹/۳	۱۷/۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱/۳	۱/۵	۱/۴	۰/۹	۰/۴	۰/۷	۱/۰
SiO <sub>2</sub>	۴۸/۴	۴۷/۱	۴۷/۸	۵۲/۵	۵۲/۶	۵۲/۶	۵۰/۲
SO <sub>3</sub>	۰/۶	۰/۱	۰/۴	۰/۳	۱/۲	۰/۸	۰/۶
K <sub>2</sub> O	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰	۰	۰	۰/۱
CaO	۸/۰	۹/۶	۸/۸	۳/۴	۲/۲	۲/۸	۵/۸
MnO	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۵/۹	۸/۵	۷/۲	۴/۷	۵/۱	۴/۹	۶/۰
SrO	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۱
ZnO	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰	۰/۱	۰/۲
BaO	۰/۵	۰	۰/۳	۰	۰	۰	۰/۱
L.O.I.	۱۸/۸۸	۱۷/۱۵	۱۸/۰۲	۱۸/۵۸	۱۷/۹	۱۸/۲	۱۸/۱
Total (wt%)	۹۹/۶۸	۹۹/۵۵	۹۹/۹۲	۹۹/۶۸	۹۹/۷۰	۹۹/۹۰	۹۹/۵۰

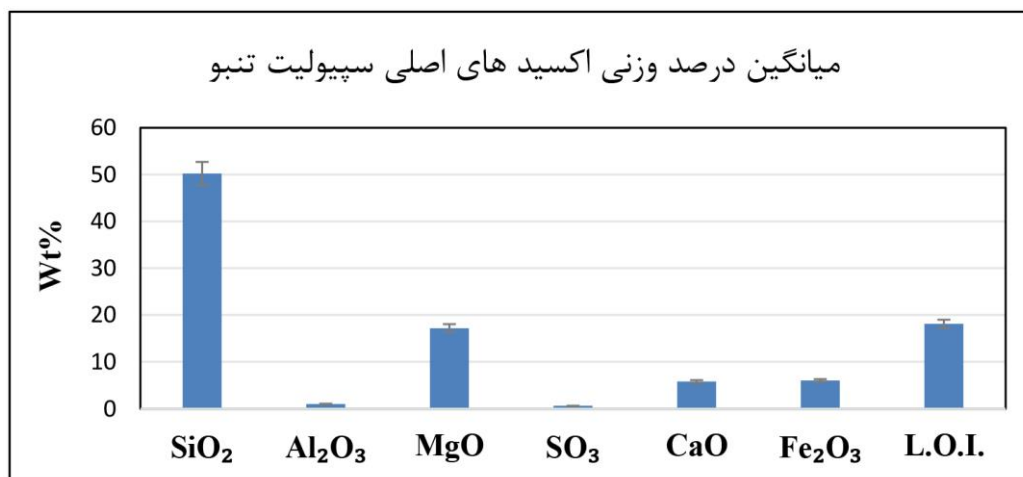
انجام شد که نتایج آنها به صورت اکسیدهای اصلی و میانگین هر اکسید در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین، میانگین درصد اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده سنگ‌های سپیولیت‌دار منطقه تنبو به صورت نمودار ستونی در شکل ۸ نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۲ و شکل ۸ متوسط

#### ژئوشیمی سپیولیت تنبو

روش پرتو ایکس فلورسانس (XRF) برای تعیین اکسیدهای اصلی و محاسبه فرمول شیمیایی کل سنگ و کانی کاربرد دارد. از بین نمونه‌های مورد مطالعه، بر روی ۴ نمونه که در آنها سپیولیت به-عنوان کانی اصلی و فراوان‌ترین است، آنالیز XRF

اکسید منیزیم، ۴۴/۱ درصد اکسید سیلیسیم و ۱۲/۹ درصد آب است (جان جانی گودرزی، ۱۳۹۰)، نتایج آنالیز XRF در تطابق با نتایج آنالیزهای XRD نشان می‌دهد که کانی فیبری مشاهده شده در منطقه تنبو کریزوتیل نیست.

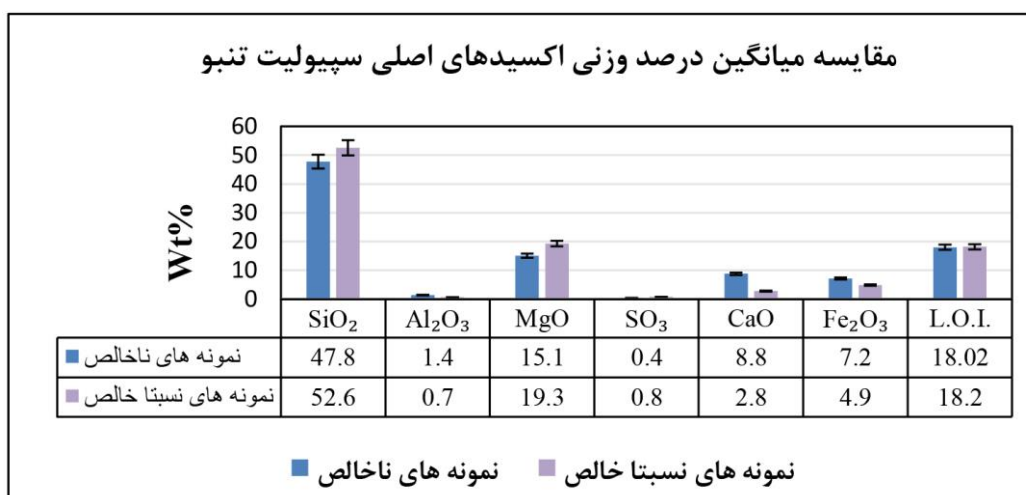
درصد وزنی بیشترین اکسیدهای تشکیل دهنده سیپولیت تنبو عبارتند از اکسید سیلیسیم (۵۰/۲ درصد)، اکسید منیزیم (۱۷/۲ درصد)، اکسید آهن (۶ درصد) و اکسید کلسیم (۵/۸ درصد). از آنجا که طبق آنالیزهای استاندارد، ترکیب شیمیایی کانی کریزوتیل (آزبست سفید) شامل ۴۳ درصد



شکل ۸: میانگین درصد اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده سنگ‌های سیپولیت‌دار منطقه تنبو براساس نتایج آنالیز XRF.

هستند. در شکل ۹، درصد اکسیدهای وجود در سنگ‌های سیپولیت‌دار نمونه‌های ناخالص با نمونه‌های خالص‌تر منطقه تنبو مقایسه شده است.

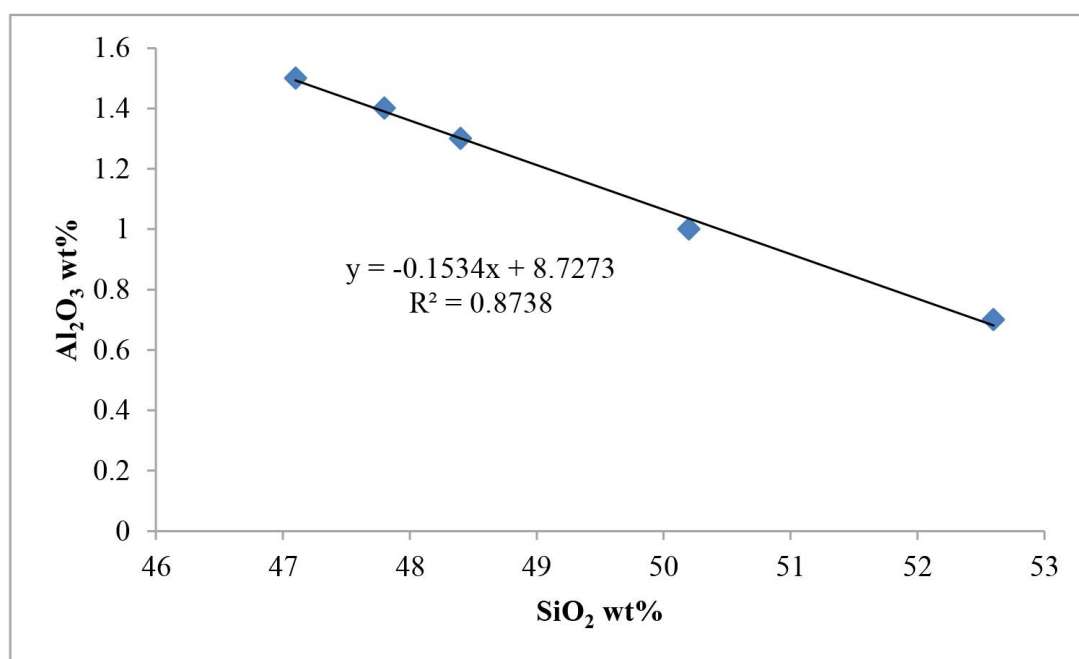
بررسی ترکیب شیمیایی اکسیدها در آنالیز XRF (جدول ۲) نشان می‌دهد که نمونه‌های شماره M21 و M22 دارای عیار بیشتری از کانی سیپولیت



شکل ۹: نمودار ستونی مقایسه میانگین درصد اکسیدهای تشکیل دهنده نمونه‌های سیپولیت‌دار خالص‌تر با نمونه‌های دارای ناخالصی در منطقه تنبو براساس نتایج آنالیز XRF.

زیاد سیلیسیم باعث تبلور مستقیم سپیولیت شده است. یادآوری می‌شود که چنانچه فعالیت سیلیسیم در محلول کم باشد، برای تشکیل سپیولیت باید مقدار pH افزایش یابد (۸/۵-۹/۵). اما روند معکوس کاهش آلومینیم (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که مصرف سریع عنصر Al در شبکه کانی‌های فیلوسیلیکاتی آلومینیم دار مانند رس‌ها باعث تشکیل سپیولیت در pH نرمال بوده است. مقدار LOI در همه آنالیزهای انجام شده نسبتاً بالاست (۱۸ درصد وزنی) که نشان می‌دهد مانند تشکیل رس‌ها، مقدار زیادی هیدروکسیل در شبکه سپیولیت نیز داخل شده است.

با توجه به شکل ۹ در نمونه‌های سپیولیتی خالص‌تر، درصد اکسید منیزیم و اکسید سیلیسیم افزایش یافته است اما درصد اکسید آهن، اکسید کلسیم و اکسید آلومینیم کاهش یافته است. از آنجایی که تشکیل کانی سپیولیت به‌طور عمده در محیط‌های تحت فعالیت زیاد سیلیسیم و فعالیت کم آلومینیم صورت می‌گیرد (kadir et al, 2002)، با بررسی نتایج آنالیز XRF روی نمونه‌های سپیولیت در تغییرات درصد اکسید سیلیسیم و اکسید آلومینیم مشخص می‌شود که با افزایش اکسید سیلیسیم میزان اکسید آلومینیم کاهش یافته و همبستگی معکوس بین آنها وجود دارد. به‌عبارتی، از دیدگاه شرایط ژئوشیمیایی فعالیت

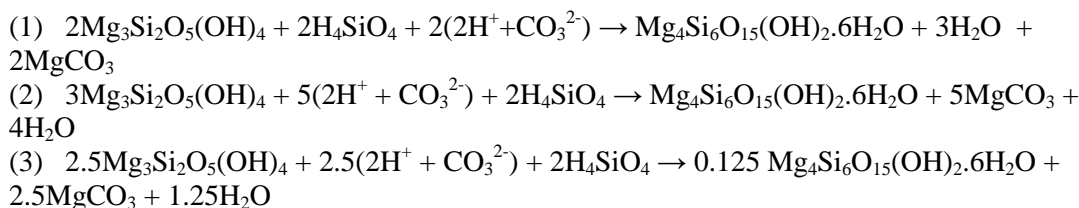


شکل ۱۰: نمودار همبستگی بین اکسید آلومینیم و اکسید سیلیسیم براساس نتایج آنالیز XRF در کانی‌های سپیولیت تنبو نشان از منفی بودن همبستگی دارد (اعداد نمودار بر حسب درصد وزنی).

ثابت تعادل سپیولیت. در این شرایط، سپیولیت  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$  از دگرسانی سنگ‌های سرپانتین الیافی (کریزوتیل) توسط واکنش‌های متاسوماتیک غنی از سیلیسیم و بیکربنات کلسیم

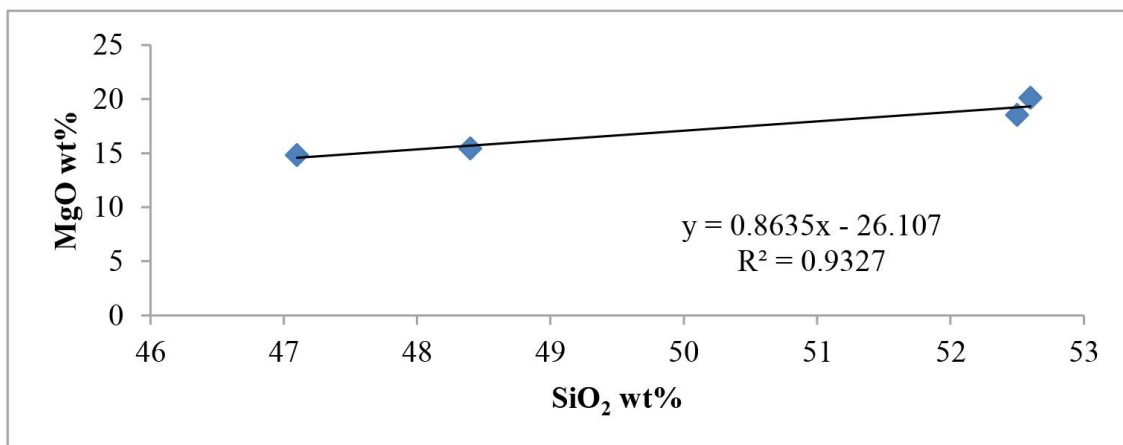
مهم‌ترین عوامل ژئوشیمیایی موثر در تشکیل سپیولیت عبارتند از: (۱) عدم حضور ترکیبات آلومینیم و فازهای جامد آلومینیم‌دار فعال، (۲) فعالیت مولفه‌های  $Mg^{2+}$ ،  $SiO_2$  و  $OH^-$  با

به صورت رابطه ۱ حاصل می شود (Ulrich et al, 2014) رابطه (۱)



سیلیسیم موجود در سپیولیت های منطقه تنبو نمونه ها با یکدیگر رابطه مستقیم دارند (جدول ۲ و شکل ۱۱). با توجه به شیب کم منحنی همبستگی آنها و نیز میانگین انحراف معیار ( $R^2 = 0.9327$ ) و ضرایب استوکیومتری واکنش دوم، به نظر می رسد که سیلیسیم با ضریب ۲ وارد واکنش و کربنات منیزیم با ضریب ۵ تولید شده است. بنابراین، طبق شواهد سنگ شناسی، به دلیل گسترش تشکیل سنگ های کربناتی مخصوصا دولومیت ها، احتمالا واکنش دوم در به وجود آمدن سپیولیت تنبو موثر بوده است.

باتوجه به حضور سپیولیت در کنگلومرا و هارزبورژیت و استفاده از پرتونگاشت ایکس سپیولیت فاز اصلی و کربنات های کلسیم و منیزیم فازهای فرعی هستند. لذا تشکیل سپیولیت در واحد کنگلومرا و هارزبورژیت منطقه تنبو حاصل چرخش سیالات هیدروترمالی و انحلال کلسیم، منیزیم و حضور دی اکسید کربن بوده است. مطابق فرمول های فوق، کریزوتیل در حضور محلول های هیدروترمال غنی از  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{SiO}_2$  و فوگاسیته بالای اکسیژن به مجموعه ای از مگنیزیت و سپیولیت آهنگار تبدیل می شود. با بررسی درصدهای اکسید منیزیم و اکسید



شکل ۱۱: نمودار همبستگی بین اکسید منیزیم و اکسید سیلیسیم براساس نتایج آنالیز XRF در کانی های سپیولیت تنبو نشان از مثبت بودن همبستگی دارد (اعداد نمودار بر حسب درصد).

**مقایسه سپیولیت تنبو در ایران و جهان**

بر پایه میزان آلومینیم موجود در کانی سپیولیت، این کانی را می‌توان به ۲ گروه سپیولیت‌های غنی از آلومینیم و نوع معمولی تقسیم‌بندی کرد (Garcia and Suarez, 2010). با توجه به پایین بودن درصد وزنی  $Al_2O_3$  در آنالیزهای XRF بر روی سپیولیت‌های تنبو ( $Al_2O_3 \sim 1 \text{ wt}\%$ ) و شباهت آن به سپیولیت‌های فریمان (جدول ۳) که از نوع معمولی هستند ( $Al_2O_3 < 1 \text{ Wt}\%$ )، میزان آلومینیم سپیولیت‌های تنبو نیز پایین است و از نوع معمولی محسوب می‌شوند. جهت تایید نوع کانی فیبری در منطقه تنبو می‌توان درصد

اکسیدهای سنگ‌های فیبری اطراف تنبو را با درصد نمونه‌های مهم کانسارهای سپیولیتی در دنیا مقایسه کرد. در جدول ۳ کانی‌های فیبری یافت شده در منطقه تنبو با ۶ کانسار شاخص جهانی و تنها کانسار سپیولیت ایران که واقع در فریمان است (حجتی و خادمی، ۱۳۹۲)، مقایسه شده است. نمونه‌های خالص‌تر برای مقایسه با نمونه‌های جهانی کاربرد بیشتری دارند. بنابراین میانگین عیار این دو نمونه نیز در جدول ۳ به-عنوان نمونه‌های پرعیار ذکر شده است.

جدول ۳: مقایسه درصد اکسیدهای نمونه سپیولیت تنبو براساس نتایج آنالیز XRF با نمونه‌های سپیولیت از برخی کشورهای جهان.

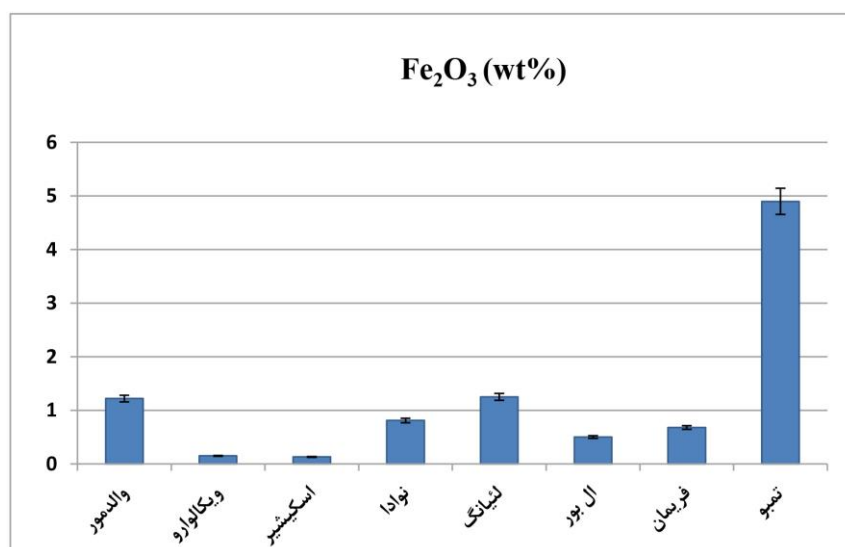
نمونه	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	LOI	کل
اسپانیا (والدمور)	۵۲/۹	۲/۵۶	۱/۲۲	۲۳/۶۰	۰/۰۰۱	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۲۰/۸	۱۰۱/۲۴
اسپانیا (ویکالوارو)	۵۵/۲۱	۰/۴۳	۰/۱۵	۲۴/۲۶	۰/۰۵۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۵	۱۹/۲۱	۹۹/۷۸
ترکیه (اسکیشیر)	۵۴/۱۳	۰/۲۵	۰/۱۳	۲۳/۷۵	۰/۰۲۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۲۰/۳۳	۹۸/۸۹
آمریکا (نوادا)	۵۴/۰۰	۰/۵۰	۰/۸۱	۲۳/۳۰	۰/۰۰۱	۱/۳۵	۲/۱۰	۰/۱۵	۱۹/۲	۱۰۱/۳۱
چین (لیانگ)	۴۶/۹۲	۲/۸۵	۱/۲۵	۱۴/۱۳	۰/۰۲	۱۰/۴۴	۰/۱۵	۰/۳۳	۱۴/۸۰	۹۹/۶۵
سومالی (ال بور)	۵۶/۷۰	۱/۰۰	۰/۵۰	۲۰/۸	۰/۱۲	۱/۳	۰/۰۰	۰/۴۷	۱۹/۰۰	۹۹/۸۷
ایران (فریمان) بدون تیمار	۵۵/۳۲	۰/۳۰	۰/۶۱	۱۵/۷۳	۰/۲	۲/۷۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۲۵/۱۱	۹۹/۸۶
ایران (فریمان) با حذف کربنات	۵۵/۵۲	۰/۴۰	۰/۶۸	۱۶/۲۹	۰/۰۲	۱/۳۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۲۴/۸۹	۹۹/۱۳
ایران (تنبو) میانگین	۵۰/۲	۱/۰۰	۶/۰۰	۱۷/۲	۰	۵/۸	۰/۱	۰	۱۸/۱	۹۸/۵
ایران (تنبو) با کربنات کمتر	۵۲/۶	۰/۷	۴/۹	۱۹/۳	۰	۲/۸	۰/۱	۰	۱۸/۲	۹۸/۷

مقایسه میزان اکسیدهای تشکیل دهنده سپیولیت‌های تنبو با نمونه‌های ایران و جهان نشان می‌دهد که سپیولیت تنبو از لحاظ میزان درصد اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده ترکیب شیمیایی اش شباهت زیادی با نمونه‌های ایران و جهان دارد. تنها تفاوت آن در میزان درصد دو

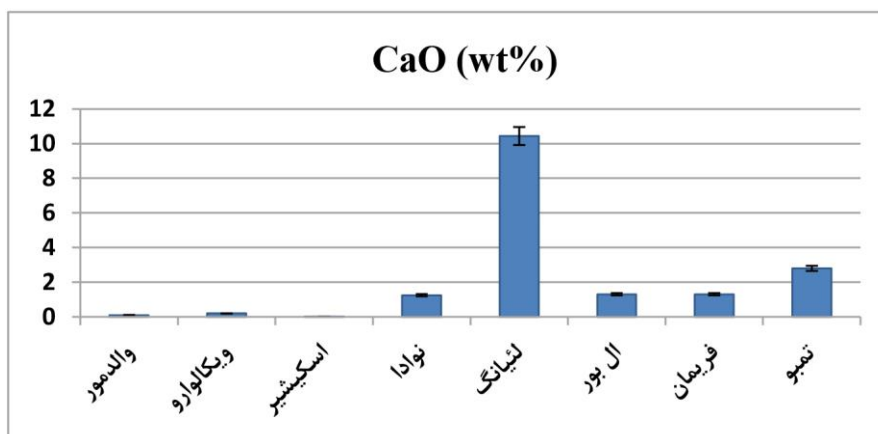
مورد از اکسیدهای فرعی آن یعنی درصد اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) و درصد اکسید کلسیم ( $CaO$ ) است. در نمونه‌های تنبو میانگین میزان اکسید آهن ( $Fe_2O_3 \sim 6 \text{ wt}\%$ ) بیشتر از سایر نمونه‌های مورد مقایسه در ایران و جهان است (شکل ۱۲). همچنین، میانگین میزان اکسید کلسیم در نمونه-

است. بنابراین، فراوانی اکسیدهای آهن و کلسیم در سپیولیت تنبو مربوط به حضور آهن و کلسیم فراوان در منشا و شرایط متفاوت فیزیکوشیمیایی در تشکیل آن است. ضمناً سپیولیت تنبو در مجموعه افیولیتی دارای سنگ‌های الترابازیک قرار دارد که از آهن، منیزیم و کلسیم غنی هستند و پس از دگرسانی هارزبورژیت به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند (Arranz et al, 2008).

های تنبو ( $\text{CaO}=2.8-5.8 \text{ wt}\%$ ) فقط از سپیولیت لئیانگ در کشور چین کمتر ولی از بقیه نمونه‌های مورد مقایسه بیشتر است (شکل ۱۳). لازم به توضیح است که میزان اکسیدهای آهن و کلسیم در نمونه‌های ناخالص سپیولیت تنبو اندکی بیشتر از نمونه‌های خالص آن است اما در مجموع سپیولیت تنبو از این دو اکسید غنی است و دلیل اصلی تفاوت مربوط به وجود ناخالصی‌ها نیست زیرا سپیولیت خالص نیز از نوع سپیولیت آهن‌دار



شکل ۱۲: نمودار ستونی مقایسه میانگین درصد وزنی اکسید آهن ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) در نمونه‌های سپیولیت‌دار تنبو با نمونه‌های ایران و جهان براساس آنالیز XRF.



شکل ۱۳: نمودار ستونی مقایسه میانگین درصد وزنی اکسید کلسیم ( $\text{CaO}$ ) در نمونه‌های سپیولیت‌دار تنبو با نمونه‌های ایران و جهان براساس آنالیز XRF.

## نتیجه‌گیری

زیادی به نمونه‌های مشابه در ایران (تایباد) و معروف‌ترین کانسارهای سپیولیت جهان دارد. باتوجه به مطالعات سنگ‌شناسی و ترکیب ژئوشیمیایی، سپیولیت‌های شناخته شده درون کنگلومرا و هارزبورژیت در منطقه تنبو منشا هیدروترمالی دارند. توالی تشکیل کانی‌ها نشان می‌دهد که طی فرآیند هیدروترمال و انحلال کلسیم و منیزیم در حضور دی‌اکسید کربن کریزوتیل توسط محلول‌های غنی از  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{SiO}_2$  و فوگاسیته بالای اکسیژن به مجموعه‌ای از کلسیت، مگنیزیت و سپیولیت آهنگار تبدیل شده است.

این تحقیق برای نخستین بار کانی‌های فیبری با سن میوسن در اطراف روستای تنبو، جنوب میناب را در واحد کنگلومرا و هارزبورژیت معرفی و مورد مطالعه قرار داده است. شواهد اولیه حاکی از کانی سازی آزیست سفید در منطقه بوده است اما بررسی کانی‌های فیبری منطقه تنبو توسط آنالیزهای XRD نشان از وجود کانی رسی بنام "سپیولیت" آهنگار است. مطالعه مقاطع نازک نیز نشان دهنده وجود کانی رسی سپیولیت در این منطقه به صورت ثانویه است. با انجام آنالیزهای XRF مشخص شد که درصد اکسیدهای اصلی و عمده کانی‌های سپیولیت منطقه تنبو شباهت

## منابع

سپیولیت شمال خاور ایران، مجله علوم زمین، زمستان ۹۲، سال ۲۳، شماره ۹۰، ص ۱۶۵-۱۷۴.  
-شرافت، ش.، ترک زاده، ز. و مکی زاده، م. ع.، ۱۳۹۴. کانی شناسی و خواستگاه سپیولیت در سرپانتینیت های کربناته شمال نائین، دومین همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشاف منابع، شیراز، اسفند ۱۳۹۴.  
-مک کال، ج. و همکاران، ۱۳۵۹. نقشه زمین-شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درپهن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ورقه شماره ۷۵۴۳.

-ایبای، ج.ن.، ۲۰۰۴. مبانی زمین شیمی زیست محیطی، ترجمه فرید مر، سروش مدبری و گیتی فرقانی تهرانی، ۱۳۹۰، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۶۸۶ ص.

-جان جانی گودرزی، م.، ۱۳۹۰. ژنز و مینرالوژی آزیست و بررسی خطرات ناشی از آن از دیدگاه زمین‌شناسی پزشکی، دومین همایش علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آشتیان.  
-حجتی، س. و خادمی، ج.، ۱۳۹۲. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کانی شناسی ذخایر

-Arranz, E., Lago, M., Bastida, J., Gale's, C., Soriano, J. and Ubide, T., 2008. Hydrothermal macroscopic Fe-sepiolite from Oujda mounts (Middle Atlas, Eastern Morocco), *Journal of African Earth Sciences*, v. 52(3), v. 81-88.

-Garcia-Romero, E. and Suarez, M., 2010. On the chemical composition of sepiolite and palygorskite, *Clays and Clay Minerals*, v. 58, p. 1-20.

-Guggenheim, S., Adams, J.M., Bain, D.C., Bergaya, F., Brigatti, M.F. and Drits, V.A., 2006. Summary of Recommendations of Nomenclature Committees Relevant to Clay Mineralogy: Report of the Association International Pour l'étude des argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006. *Clays and Clay Minerals*, v. 54(6), p. 761-772.



- Hojati, S., Khademi, H. and Faz Cano, A., 2010. Palygorskite Formation Under the Influence of Saline and Alkaline Groundwater in Central Iranian Soils, *Soil Science*, v. 175, p. 303-312.
- Kadir, S., Bas, H. and Karakas, Z., 2002. Origin of Sepiolite and Loughlinite in a Neogene Volcano-Sedimentary Lacustrine Environment, Mihaliccik-Eskisehir, Turkey, *Canadian Mineralogists*, v. 40, p. 1091-1102.
- Kadir, S., Erkoyun, H., Eren, M., Huggett, J. and Onalgil, N., 2016. Mineralogy, Geochemistry and Genesis of Sepiolite and Palygorskite in Neogene Lacustrine Sediments, Eskisehir Province, West Central Anatolia, Turkey, *Clay and Clay Minerals*, v. 64(2), p. 145-166. DOI: 10.1346/CCMN.2016.0640206
- McCall, G.J.H., 1985. Explanatory Text of the Taherue Quadrangle Map; 1:250,000; No. K14. Geological Survey of Iran 409.
- Post, J.E., Bish, D.L. and Heaney, P.J., 2007. Synchrotron Powder X-ray Diffraction study of the Structure and Dehydration Behavior of Sepiolite, *American Mineralogist*, v. 92, p. 91-97.
- Sa'nchez del R'io, M., Sua'rez, M., Garc'ia-Romero, E., Alianelli, L., Felici, R. and Martinetto, P., 2005. Mg K-edge XANES of sepiolite and Palygorskite, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, v. 238, p. 55-60.
- Simić, V., Suárez, M., García-Romero, E. and Andrić, N., 2013. Sedimentary sepiolite from the Andrichi deposit (PRANJANI BASIN, SERBIA), Abstracts of 29th meeting of the IAS.
- Singer, A., Kristen, W. and Bühmann, C., 1995. Fibrous clay minerals in the soils of Namaqualand, South Africa: characteristics and formation, *Geoderma*, v. 66, p. 43-70.
- Smith, B., Aubourg, C., Guezou, J.C., Nazari, H., Molinaro, M., Braud, X. and Guya, N., 2005. Kinematics of a sigmoidal fold and vertical axis rotation in the east of the Zagros-Makran syntaxis (Southern Iran): Paleomagnetic, magnetic fabric and microtectonic approaches, *Tectonophysics*, v. 411, p. 89-109.
- Ulrich, M., Munoz, M., Guillot, S., Cathelineau, M., Picard, C., Quesnel, B., Boulvais, P. and Couteau, C., 2014. Dissolution-precipitation Processes Governing the Carbonation and Silification of the Serpentine Sole of the New Caledonia Ophiolite, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 167, p. 952.