

دگرگونی تدفینی توفهای سبز ائوسن در منطقه شمال تفرش

فرامرز طوطی*، رضوانه جمالی آشتیانی، جمشید حسن زاده

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* مسئول مکاتبات - آدرس الکترونیکی: Tutti@khayam.ut.ac.ir

(دریافت: ۸۷/۶/۷؛ پذیرش: ۸۷/۸/۱۴)

چکیده

توفهای سبز کرج (ائوسن) در منطقه شمال تفرش شامل توالی ضخیمی از لیتیک توف، کریستال توف و ویتریک توف می‌باشند. مطالعات میکروسکوپی و آنالیزهای میکروپروب (EMPA)، پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان می‌دهند که مهمترین کانی‌های ثانوی تشکیل شده در این توفها شامل سریسیت، کلسیت، کلریت، آلبیت، آنالسیم، اپیدوت، پرهنیت و پومپلیت می‌باشند. با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی در مطالعه حاضر، بنظر می‌رسد توفهای منطقه شمال تفرش عموماً در بخش‌های قاعده‌ای دچار دگرگونی تدفینی شده‌اند. دگرگونی تدفینی در توفها با پدیده دیاژنز آغاز گردیده و در نهایت به مجموعه کانی‌های مرتبط با دگرگونی درجه پایین و بطور مشخص به رخساره زئولیت (آنالسیم) و پرهنیت-پومپلیت ختم شده است.

واژه‌های کلیدی: توف سبز ائوسن، دگرگونی تدفینی، رخساره زئولیت، رخساره پرهنیت-پومپلیت، تفرش

مقدمه

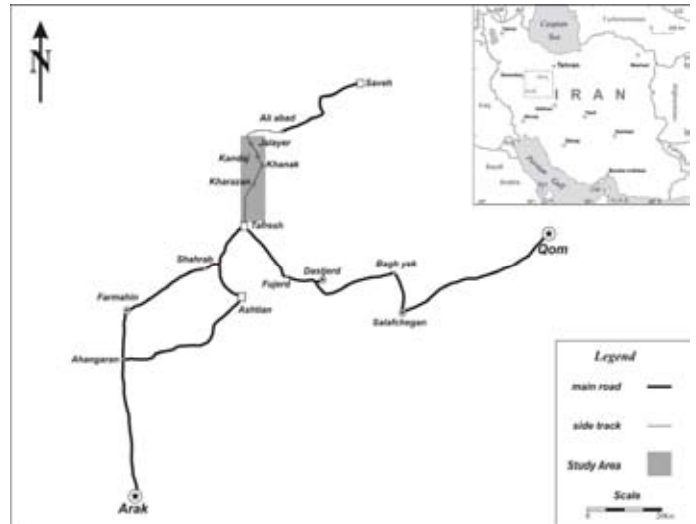
درباره دگرگونی تدفینی و دیاژنز بر روی سنگ‌های مزبور انجام شده است. گیفکینز و همکاران (Gifkins et al. 2005) توالی‌های آتشفشانی فلسیک را در طی تدفین به چهار زون تقسیم نموده‌اند که شامل رخساره زئولیت، پرهنیت+پومپلیت، پومپلیت+اکتی نولیت، لائوسونیت+آلبیت+کلریت، شیسیت آبی و شیسیت سبز می‌باشند. پاتل و همکاران (Potel et al. 2002) دگرگونی در متابازیت‌ها، متاپلیت‌ها و متاتوفها را که در ارتباط با فرورانش دگرگون شده‌اند را بررسی کرده و دگرگونی درجه پایین توفها در رخساره پرهنیت-پومپلیت را تحت عنوان دگرگونی تدفینی معرفی نموده‌اند. درجه پایین توفها در منطقه New Caledonia در رخساره پرهنیت-پومپلیت اشاره می‌کنند همچنین وینتر (Winter 2001) با استفاده از مطالعات خود نشان داد که بدلیل اختلافات ترکیبی و فیزیکی، زون‌های دگرگونی تدفینی از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوتند و بر اساس بافت و یا کانی‌های موجود تقسیم بندی می‌شوند. ایوانو و هوشمندزاده (Iwao & Hushmand- Zadeh, 1971) نیز مطالعات مشابهی بر روی سنگهای آتشفشانی و آذرآواری سازند کرج در رشته کوههای البرز در منطقه شمال تهران داشته‌اند. بر طبق مطالعات پتروگرافی صورت گرفته توسط مولفین مزبور، سنگهای آتشفشانی و آذرآواری این منطقه تحت تأثیر دگرگونی تدفینی قرار گرفته‌اند و علی‌رغم عدم مشاهده پومپلیت، دگرگونی مزبور به رخساره زئولیت و پرهنیت-پومپلیت نسبت داده شده است. کومبز و همکاران (Coombs et al., 1959) نیز مطالعات خود را در

نهبشته‌های آذرآواری و سنگ‌های آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه در حوالی شهرستان تفرش از توابع استان مرکزی در ۲۲۱ کیلومتری جنوب غربی تهران در باختر ایران مرکزی، بین زونهای سندج-سیرجان و البرز و در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی "۲۰/۱' ۰۱' ۵۰" تا "۴۰/۳' ۰۳' ۵۰" طول شرقی و "۱۴/۰' ۴۳' ۳۴" تا "۴۲/۱' ۵۰' ۳۴" عرض شمالی واقع شده است و قسمتی از برگه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ قم و ۱:۱۰۰۰۰۰ تفرش را به خود اختصاص می‌دهد. راه دسترسی به منطقه راه آسفالت‌ه ساوه-سلفچگان می‌باشد که از طریق راه فرعی خرازان می‌توان به منطقه دسترسی پیدا کرد (شکل ۱).

از آخرین مطالعات انجام شده در این محدوده می‌توان به بررسی زمین‌شناسی و تهیه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تفرش توسط جواد حاجیان (۱۹۷۰) و زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آذرین ترشیری در منطقه تفرش توسط بهروز امینی (۱۳۷۷) اشاره کرد. همچنین در منطقه گسترده چهارگوش قم که تفرش بخشی از آن است، اطلاعات ارزشمندی پیرامون مسائل زمین‌شناسی ساختمانی، ژئوشیمیایی، سنگ‌شناسی، ولکانولوژی، دینامیسم فوران و همچنین پلوتونیسم ترشیری فراهم شده است (امامی ۱۳۷۰، سجودی ۱۳۷۲ قلقماش ۱۳۷۴، شاهرخ ۱۳۷۵). با این وجود مطالعات کمی بر روی توفهای سبز ائوسن، پتروگرافی، آلتراسیون و دگرگونی آنها صورت گرفته است، در حالی که در مناطق مختلف دنیا مطالعات گسترده‌ای از جمله

منطقه تفرش با توجه به تقسیم بندی ساختاری ایران در زون ولکانیکی- رسوبی- پلوتونیک ارومیه- دختر واقع شده است. ولکانوکلاستیک ائوسن در ایران مرکزی همراه با تبخیری و با ضخامتی در حدود ۲۰۰۰ متر می‌باشد (Jackson *et al.*, 1990). این توالی شباهت فراوانی با سری سبز نیمه ولکانیک ائوسن در کوههای البرز (سازند کرج) دارد و به طور عمده شامل توفهای ریزدانه، سبز خاکستری تا زرد، شیل های توفی و به میزان کمتر جریان های ولکانیکی و آگلومرا می‌باشد. نگاهی به نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ نشان می‌دهد که منطقه تفرش از دو واحد اصلی سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن و توده نفوذی تشکیل شده است (شکل ۲). توفهای سبز ائوسن در منطقه تفرش دارای ضخامتی بیش از ۳۰۰۰ متر هستند.

به دنبال فاز فشارشی کرتاسه پایانی، فاز کششی مهمی در بسیاری از قسمت‌های ایران حکمفرما شد و نتیجه آن ولکانیسم شدید ائوسن بود که وجود لایه‌هایی از توفهای نومولیت دار موید سن ائوسن برای آنهاست. ولکانیسم در این منطقه بیشتر انفجاری بوده و واحدهای پایروکلاستیک ضخیمی شامل ایگنیمبریت، لیتیک توف، کریستال توف و توف شیشه‌ای را در منطقه بوجود آورده است. همچنین این مجموعه توسط دایک‌هایی با ترکیب حدواسط قطع شده‌اند. تکنونیک منطقه شامل چین‌ها و گسل‌هایی است که بر مجموعه‌های تشکیل دهنده منطقه تأثیر گذاشته‌اند. روند عمومی ساختمان‌های زمین‌شناسی این منطقه شمال غربی- جنوب شرقی است. یکی از مهمترین ساختارهای منطقه تاقدیس اصلی تفرش با روند شمال غربی- جنوب شرقی است که ولکانیک‌های ائوسن بر روی یال این تاقدیس واقع شده‌اند. شیل های سازند شمشک قاعده این کمان ماگمایی را تشکیل می‌دهند که

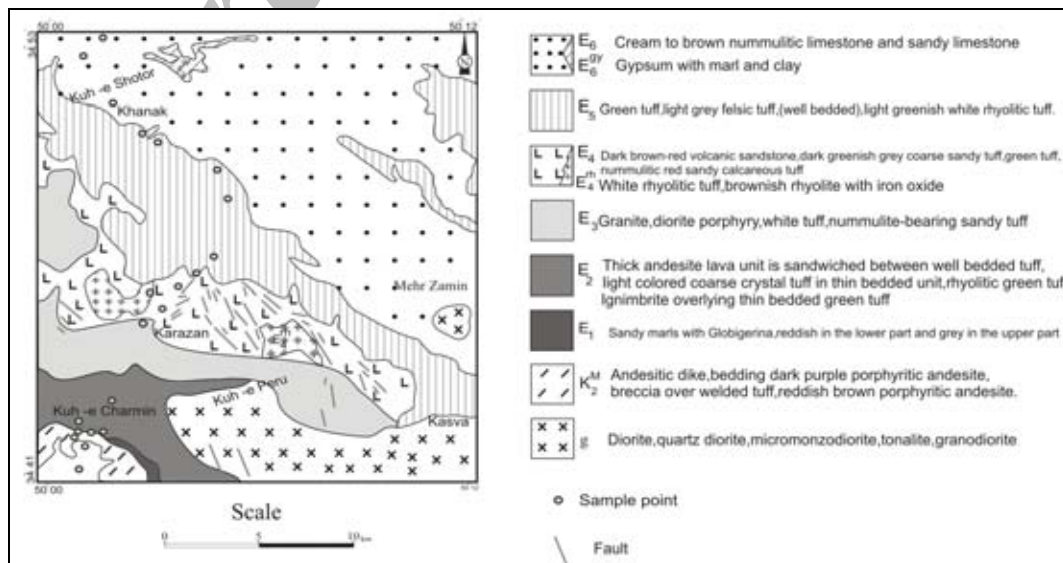


شکل ۱: نقشه راه‌های دسترسی به منطقه تفرش.

نیوزلند بر روی توفها و گری وک‌ها متمرکز کرده و به بررسی رخساره دگرگونی در آنها پرداخته‌اند، در مطالعات بعدی صورت گرفته بل و کومبز (Boles & Coombs 1972) نشان دادند که دگرگونی در توفها همراه با تغییرات اساسی در ترکیب کل سنگ در نتیجه چرخش سیالات می‌باشد.

در مطالعه حاضر، خصوصیات سنگ شناسی و پتروگرافی و ترکیب شیمیایی کانی‌های موجود در توفهای سبز ائوسن به دقت مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از مطالعات صحرایی و میکروسکوپی و داده‌های حاصل از آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD)، مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز شیمی نقطه‌ای (EMPA) عناصر تشکیل دهنده کانی‌های موجود در این توفها به وجود پدیده دگرگونی در این توفها پرداخته شده است.

زمین‌شناسی منطقه:



شکل ۲- بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تفرش (اقتباس از حاجیان، ۱۹۷۰)

مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM): سطوح تازه شکسته ۵ نمونه به منظور مشاهده شکل بلوری و ساختمان (مورفولوژی) کانی‌های تشکیل دهنده آن در ابعاد ۵۰ نانومتر پوشش طلا داده شد و با میکروسکوپ روبشی Vega مدل VG2080573IR در مرکز متالوژی رازی مورد مطالعه قرار گرفت و آنالیز عناصر اصلی آنها نیز بررسی شد.

سنگ شناسی و کانی‌شناسی:

یکی از کامل‌ترین سکانس‌های آتشفشانی کمربرد ارومیه- دختر با ضخامت قابل توجه (حدود ۳۰۰۰ متر) در ناحیه شمال تفرش وجود دارد. لیتولوژی اصلی منطقه شمال تفرش شامل گدازه‌های آتشفشانی، پایروکلاستیک‌ها و سازندهای رسوبی می‌باشد. سنگ‌های پایروکلاستیک که گستره وسیعی از سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند، از نظر چینه‌شناسی متعلق به سازند کرج می‌باشند. توده‌های نفوذی نیمه عمیق با ترکیب حدواسط واحد‌های فوق را قطع کرده و سنی جوانتر از ائوسن را نشان می‌دهند. تجمع این توده‌های نفوذی نیمه عمیق در قسمت‌های مرکزی سکانس آذرین منطقه بیشتر است. این توف‌ها در اکثر موارد دارای لایه‌بندی ظریف همراه با پیچ خوردگی می‌باشند که نشان دهنده وجود جریان‌های آشفته در محل است، همچنین آنها به شدت و به صورت فراگیر در سکانس مورد مطالعه (شکل ۴) دچار فرایند آلتراسیون گردیده‌اند. در این مبحث عمدتاً به بررسی سنگ شناسی و کانی‌شناسی در قاعده این توف‌ها پرداخته می‌شود.

مطالعات صحرایی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که توف‌های واقع در این سکانس از نظر سنگ شناسی عمدتاً داسیتی و ریوداسیتی بوده و شامل لیتیک توف، کریستال توف و توف شیشه‌ای می‌باشند. لیتیک توف‌ها بیشتر در قسمت‌های انتهایی سکانس مورد نظر یافت شده‌اند. بافت غالب توف‌ها میکرولیتیک پورفیری و گاهی کریپتوکریستالین است. به طور کلی قطعات بلورین شکل‌دار و نیمه شکل‌دار بوده و مقدار شکستگی و اندازه آنها متفاوت است و جورشدگی ضعیف تا متوسط دارند. در رخساره‌های پایروکلاستیک قطعات بلورین شکسته و زاویه دار معمول‌تر از بلورهای خود شکل هستند (شکل ۵- الف). جنس لیتیک‌ها متنوع است و اغلب دارای بافت میکرولیتیک پورفیری و در بعضی از نمونه‌ها دلریتی می‌باشند. ماتریکس آنها در بسیاری موارد شیشه‌ای بوده و تعدادی از این توف‌ها دارای کمتر از ۵ درصد پومیس می‌باشند. پومیس از شیشه آتشفشانی حفره دار تشکیل شده است که از تشکیل دهنده‌های بعدی پایروکلاستیک‌ها محسوب در توف‌های قاعده‌ای سکانس مورد نظر (بعنوان مثال در توف‌های شماره ۳-۴، ۶-۱، ۶-۲ و ۱۳) کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی و بمقدار کمتر کوارتز، درشت بلورهای تشکیل دهنده آنها می‌باشند. بلورهای

نهشته‌های ائوسن با ناهمسازی بر روی آنها نشسته‌اند. بیشتر رخساره‌های موجود در منطقه عمدتاً به رخساره‌های گوناگون زمان ترشیری تعلق دارند. تنوع و تکرار این واحدها از لحاظ جنس و عامل فرسایش سبب ایجاد سطوح توپوگرافی متنوعی شده است که آنها را می‌توانیم به سه گروه عمده تقسیم کنیم: الف) مناطق پست و کم ارتفاع: که قسمت‌های جنوبی محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند و شامل رسوبات کواترنری می‌باشند. ب) مناطق نیمه مرتفع: شامل سنگ‌های توده نفوذی منطقه می‌باشند. ج) مناطق مرتفع: شامل واحد‌های گدازه‌ای و آذر آواری سازند کرج است (شکل ۳) که در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند و دارای مورفولوژی خشن و ارتفاعات می‌باشند.



شکل ۳- توف سبز ائوسن در منطقه شمال تفرش

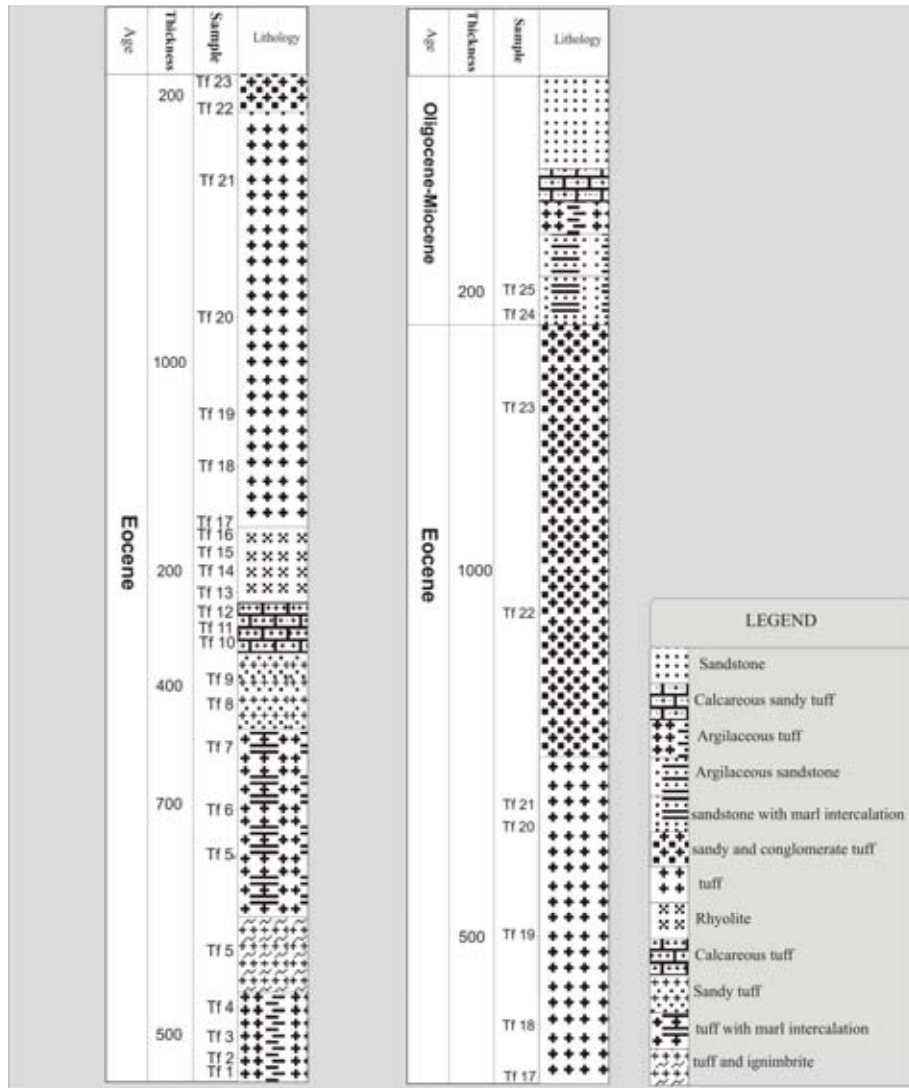
روش‌های مطالعاتی:

در بررسی‌های دقیق صحرایی حدود ۱۰۰ نمونه از مجموع سنگ‌های آتش فشانی (گدازه و آذر آواری) برداشت گردید و ۸۰ مقطع نازک تهیه شد. از آنجایی که این توف‌ها در منطقه دارای ضخامت قابل توجهی هستند، آلتراسیون‌های موجود در آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

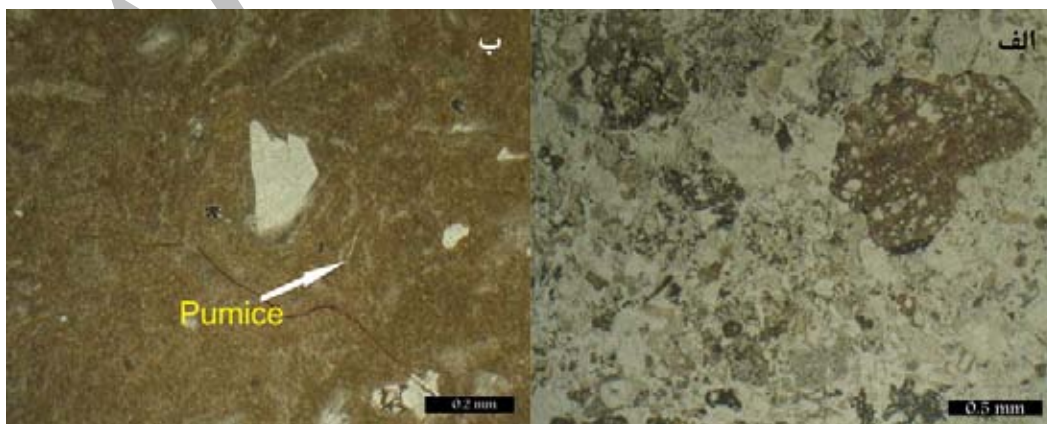
آنالیز شیمی نقطه‌ای (EMPA): ۵ مقطع نازک صیقلی از توف‌های سبز ائوسن در دپارتمان علوم زمین دانشگاه افسس (سوئد)، بوسیله دستگاه الکترون ماکروپروب مدل Cameca SX50 مورد آنالیز شیمی نقطه‌ای قرار گرفت.

مطالعات پراش پرتوی ایکس (XRD): بر روی نمونه‌های پودر شده بوسیله طیف سنج XRD مدل Shimadzu، XD-SA و چشمه $\text{CuK}\alpha$ با طول موج 1.54058 \AA آنگستروم بین زوایای 4° تا 64° درجه با سرعت 1° درجه بر دقیقه، در دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران آنالیز به عمل آمد سپس داده‌های پراش پرتو ایکس توسط نرم افزار PowderX و Difffracat مورد آنالیز قرار گرفت. طیف‌های بدست آمده با الگوهای استاندارد هر کانی مقایسه و شناسائی شدند.

پلاژیوکلاز نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار در اندازه کوچک تا بزرگ و اغلب از نوع آندزین و لابرادوریت می‌باشند. بافت‌های مختلفی از جمله نوسانی، بلورهای پلاژیوکلاز دارای ادخال‌های کانی کدر هستند که زونینگ کامل و ناقص در این کانی مشاهده می‌شود. گاهی درشت

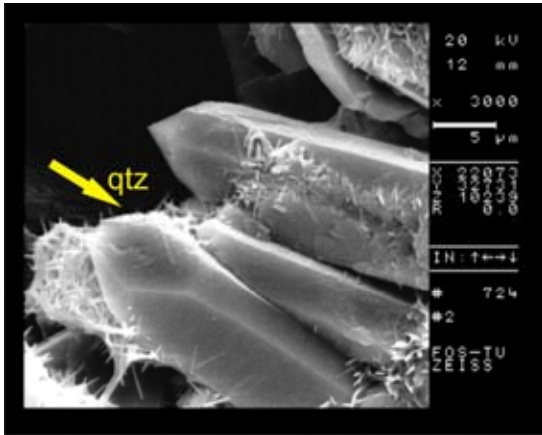


شکل ۴- نیم‌رخ‌های منطقه تفرش (اقتباس از حاجیان ۱۹۷۰).

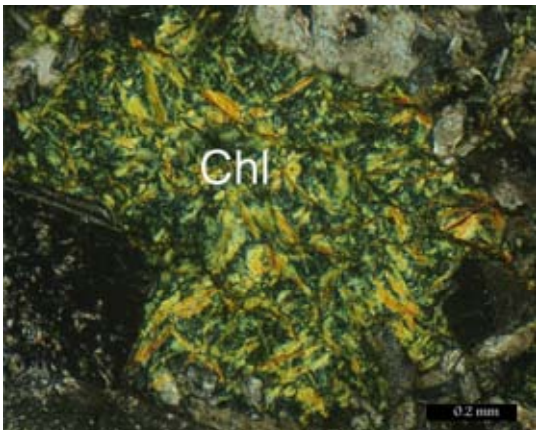


شکل ۵- لیتیک توف موجود در منطقه شمال تفرش (الف) و پومیس می‌شود (شکل ۵- ب). اغلب شارد‌های شیشه‌ای با دیواره حفره‌ای، حباب‌های شکسته شده یا دیواره حفرات پومیس می‌باشند. این شارد‌ها بیشتر در نمونه‌های موجود در قاعده سکانس دیده شده‌اند. (Pumice) مشاهده شده در یک نمونه توف (ب).

رنگ تا پرننگ و نیز سبز متمایل به قهوه ای محصول تبدیل شدگی کانی‌های موجود در سنگ می‌باشد و در قالب سایر کانی‌ها، در زمینه سنگ و نیز در حفرات و فضاهای خالی سنگ و اغلب همراه با کلسیت و گاهی با اپیدوت دیده می‌شود (شکل ۷).



شکل ۶: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از کوارتزهای (qtz) موجود در توف سبز ائوسن که دچار انحلال شده و بر روی آنها کانی‌های ثانوی کلسیت و کلریت در حال تشکیل می‌باشند.



شکل ۷- کلریتی که جانشین کانی اولیه شده است.

اشکال و رنگ‌های مختلف کلریت می‌تواند به دلیل گستردگی محلول جامد کلریت و نیز نشان دهنده ژنز مختلف آنها باشد (Klein & Hurlbut, 1999). تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) بلورهای ورقه‌ای شکل کلریت را نشان می‌دهد (شکل ۸).

کلسیت: این کانی به طور گسترده در توف‌های سبز ائوسن منطقه تفرش همراه با کانی‌های کلریت، کوارتز، سریسیت دیده می‌شود. کلسیت اغلب نیمه شکل دار تا بی شکل بوده و ابعاد آنها از ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر متغیر است. در بعضی از نمونه‌ها کلسیت پرنکنده رگه‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ و در بسیاری از موارد نیز جانشین کانی‌های تشکیل دهنده سنگ می‌شود (شکل ۹ و ۱۰).

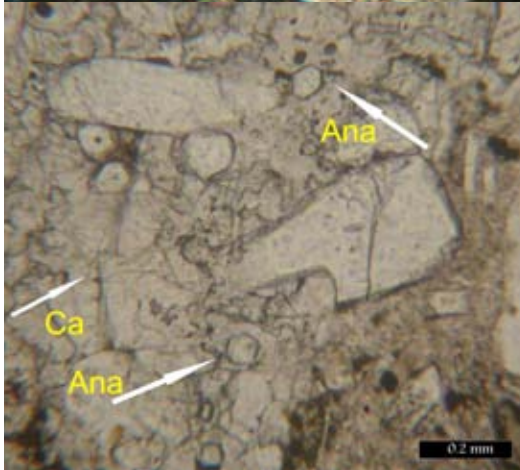
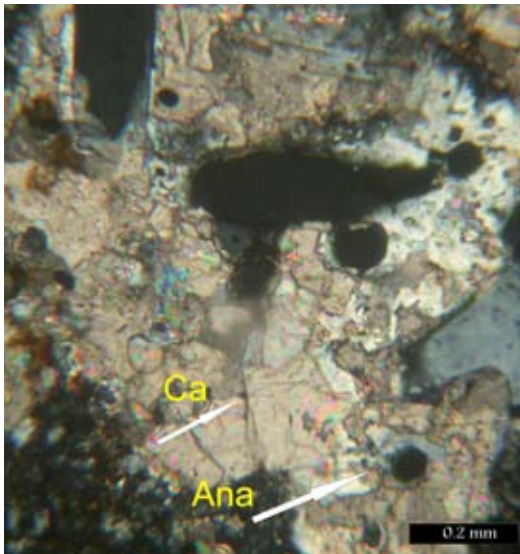
حاکی از تبلور مقدم این کانی‌ها نسبت به پلاژیوکلاز است و یا در هنگام تبلور همزمان نشانگر رشد سریع تر درشت بلور پلاژیوکلاز در برگزیده ادخال‌ها می‌باشد (Shelly 1993). بلورهای فلدسپار قلیایی نیز بعنوان یکی دیگر از کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها می‌باشد. ساینیدین به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با ماکل کارلسباد و شکل نیزه ای قابل مشاهده است. کوارتز در دسته ای از سنگها بصورت درشت بلور و شکل‌دار تا بی شکل بوده و دارای اشکال خلیجی متنوعی است که احتمالاً بعلت رشد غیر تعادلی و یا تأثیرات انحلالی ناشی از کاهش فشار در حین صعود ماگما بوجود آمده است (Shelly 1993). بلورهای آپاتیت با برجستگی واضح در زمینه سنگ و نیز به صورت ادخال در کانی‌ها از جمله فلدسپار ها دیده می‌شوند. کانی پیروکسن نیز یکی از کانی‌های باقی مانده در این توف‌ها از جمله در نمونه شماره ۲-۶ می‌باشد که در بسیاری از قسمت‌ها کلریتی شده اند.

کانی‌های فرعی موجود در این سنگها شامل اسفن، زیرکن و روتیل می‌باشد، کانی‌های اپاک به دو صورت اولیه و ثانویه در نمونه‌های سنگی یافت می‌شوند. کانی‌های اپاک اولیه به صورت شکل دار در متن نمونه‌های سنگ و به صورت انکلوزیون در داخل درشت بلورهای پلاژیوکلاز قرار گرفته اند. اپاک بی شکل ثانویه به مقدار زیاد در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید. اکسیدهای آهن نیز به مقدار زیاد در متن سنگ وجود دارد که رنگ قرمز قهوه ای از خود نشان می‌دهند. کلریت، پرنهیت، آلپیت، آنالسیم، اپیدوت، پومپلیت، کلسیت و سریسیت از مهمترین کانی‌های ثانوی موجود در این توف‌ها هستند که به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

کوارتز: در بسیاری از نمونه‌ها کوارتزهای میکرو کریستالین با بافت اسفرولیتی از تجدید تبلور متن شیشه ای تشکیل شده اند. اسفرولیت‌ها از بلورهای کاملاً بهم چسبیده کوارتز تشکیل شده اند و حضور آنها نشانگر محدود بودن انتشار در طی تبلور است. این کوارتزهای ثانوی به صورت رگچه ای و پرنکنده حفرات دیده می‌شوند. این کوارتزهای ریز دانه اغلب همراه با کلسیت و کلریت می‌باشند (شکل ۶). در نمونه‌های مطالعه شده، تشخیص کوارتزهای اولیه از ثانویه آسان نیست. با وجود این می‌توان آنها را از هم تشخیص داد زیرا کوارتز باقیمانده از ماگما، به صورت اوتکتیک با ماگما متبلور می‌شود. اما کوارتز حاصل از تبلور سیال‌های گرمابی یا نفوذی دارای بافت موزاییکی بوده و با فلدسپات همراه نیست.

کلریت: کلریت در این توف‌ها از مهمترین کانی‌های ثانوی تشکیل شده، می‌باشد. فراوانی این کانی در توف‌های ائوسن قابل مشاهده است و ۵ تا ۲۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. این کانی با اشکال اسفرولیتی، شعاعی، بادبزی و رشته ای (ورقه ای) و چند رنگی سبز کم

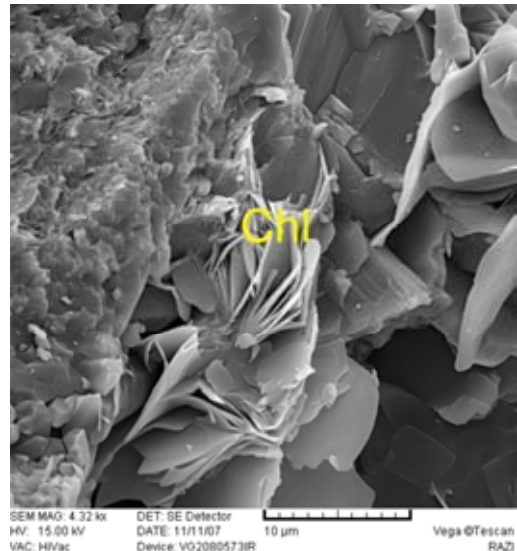
فضاهای خالی و در متن سنگ دیده می شود. این کانی با اشکال
تیپیک چند ضلعی قابل مشاهده است (شکل ۱۱).



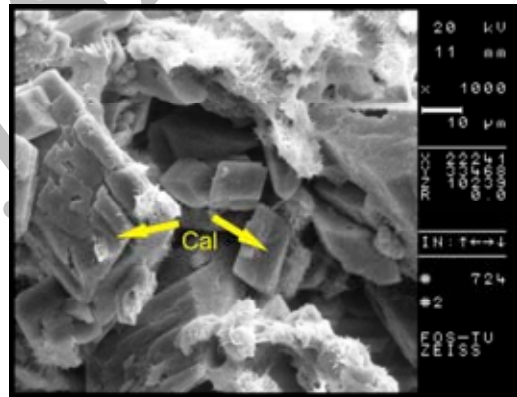
شکل ۱۱: آنالسیم (Ana) تشکیل شده همراه با درشت بلورهای کلسیت (Cal) در نور طبیعی و نور پلاریزه.

پرهنیت: از کانی‌های ثانوی موجود در توف‌های ائوسن به صورت توده ای و اشکال بادبزنی در فضاهای خالی و نیز بصورت جانشینی بهمراه کلسیت و بمقدار نسبتا فراوان در ضخامت قابل ملاحظه ای از توف‌ها مشاهده می شوند. این کانی با برجستگی ضعیف قابل تشخیص است (شکل ۱۲).

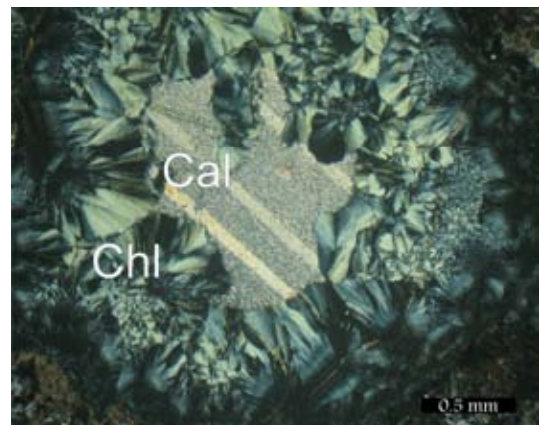
سریسیت: در بیشتر نمونه های مورد مطالعه فلدسپار به سریسیت تبدیل شده است. روند این تغییرات را می توان در تعداد زیادی از مقاطع نازک گرفته شده از نمونه ها مشاهده نمود. شدت تبدیل فلدسپار به سریسیت متفاوت است. در بعضی از نمونه ها فقط شبحی از حاشیه کانی فلدسپار باقی مانده است و در برخی نمونه ها نیز سریسیت به صورت پراکنده همراه با کوارتز در سنگ مشاهده می شود.



شکل ۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی از بلورهای ورقه ای شکل کلریت (Chl) و انحلال شیشه و تشکیل کانی کلریت.



شکل ۹- تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از کانی‌های کلسیت (Cal) در حال انحلال و تشکیل کانی‌های ثانوی. (بشکل سوزنی و برنگ سفید در شکل).



شکل ۱۰: کلریت (Chl) و کلسیت (Cal) از کانی‌های ثانوی تشکیل دهنده توف‌های ائوسن منطقه شمال تفرش.

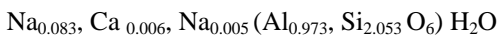
آنالسیم: این کانی همراه با کلسیت های درشت بلور در حفرات و

مطالعات پراش پرتو ایکس نیز وجود کانی‌های آل‌بیت، فلدسپار قلیایی، کوارتز، کلسیت و کلریت (کلینوکلر) را در توف‌های مزبور نشان می‌دهد، سایر کانی‌های ذکر شده در بالا توسط مطالعات میکروسکوپی و آنالیزهای میکروپروب شناسایی شده‌اند و بدلیل مقدار کم آن‌ها در پراش پرتو ایکس ظاهر نشده‌اند (شکل ۱۴).

شیمی کانی‌های دگرگونی:

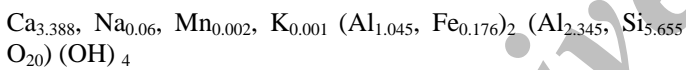
آنالیزهای میکروپروب ترکیب شیمیایی و تغییرات عناصر موجود در کانی‌های دگرگونی تدفینی در منطقه مورد مطالعه را آشکار ساخته است. اکسیدهای عناصر اصلی در کانی‌های خشک براساس ۱۰۰٪ محاسبه شده و بر حسب درصد وزنی عناصر داده شده‌اند (Deer et al. 1992).

آنالسیم: آنالسیم‌های موجود در این توف‌ها بین ۵۴ تا ۶۱ درصد اکسید سیلیسیم، ۲۲ تا ۲۳ درصد اکسید آلومینیم، ۹ تا ۱۲ درصد اکسید سدیم و بمقدار جزئی اکسید کلسیم و پتاسیم دارند (درصد عناصر تشکیل دهنده این کانی در جدول ۱ داده شده است). فرمول کانی آنالسیم بر اساس ۹۶ اکسیژن محاسبه شده است:

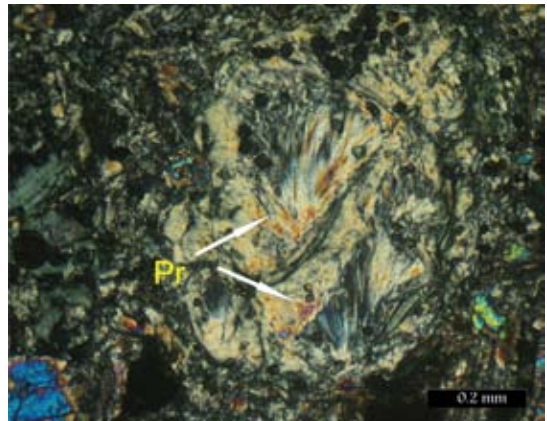


پره‌نیت: یکی دیگر از کانی‌های ثانوی موجود، شامل ۴۵ تا ۴۶ درصد اکسید سیلیسیم، ۲۲ تا ۲۴ درصد اکسید آلومینیم، ۲۵ تا ۲۶ درصد اکسید کلسیم و بمقدار جزئی اکسید آهن و سدیم می‌باشد (جدول ۲).

فرمول کانی پره‌نیت بر اساس ۲۴ اکسیژن محاسبه شده است:

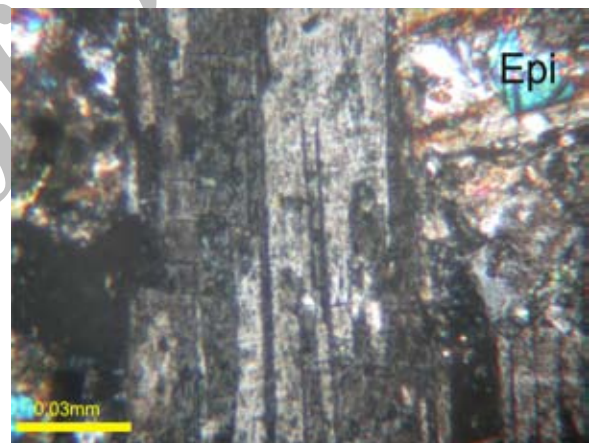


آلبیت: در کانی آل‌بیت که از دگرسانی پلاژیوکلاز بوجود آمده است،

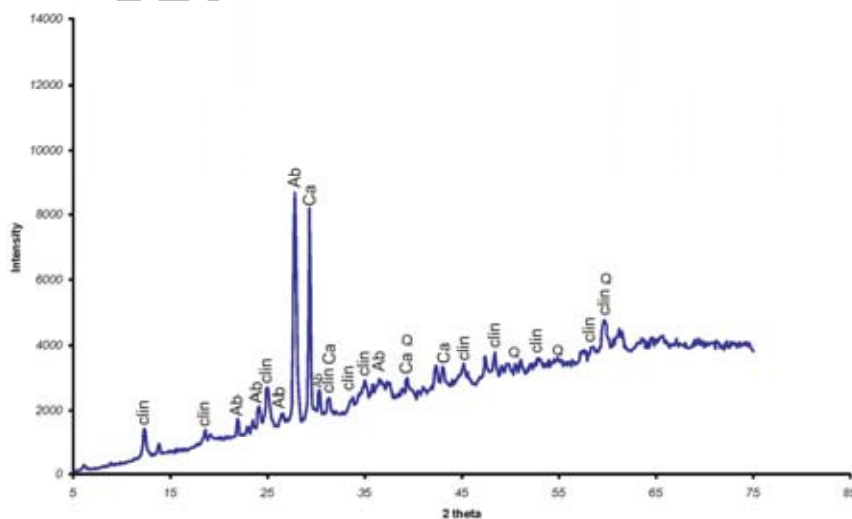


شکل ۱۲- پره‌نیت (Pr) موجود در توف سبز ائوسن در شمال تفرش.

اپیدوت: فراوانی اپیدوت از سایر کانی‌ها توف‌های سبز ائوسن منطقه شمال تفرش کمتر می‌باشد. این کانی با رنگ سبز متمایل به آبی و برجستگی نسبتاً بالا در نمونه‌های مورد مطالعه تشکیل شده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- اپیدوت (Epi) تشکیل شده در کنار کانی پلاژیوکلاز.



شکل ۱۴- کانی‌های حاصل از دگرگونی: الگوی XRD توف سبز ائوسن شمال تفرش: Clin: نشان دهنده کانی کلینوکلر، Ab: نشان دهنده کانی آل‌بیت، Ca: نشان دهنده کانی کلسیت، Q: نشان دهنده کانی کوارتز.

جدول ۱: آنالیزهای شیمی کانی آنالسیم. محاسبات بر اساس ۹۶ اکسیژن انجام شده است.

<i>Analcime</i>				
<i>Oxides & Elements</i>	<i>TF 2-9 POS 20 P3</i>	<i>TF 2-9 POS 20 P3b</i>	<i>TF 2-9 POS 20 P5</i>	<i>TF 2-9 POS 23 P3</i>
<i>SiO₂</i>	61.68	56.007	55.696	54.883
<i>TiO₂</i>	0.005	0.00	0.00	0.00
<i>Al₂O₃</i>	23.661	22.877	22.346	22.977
<i>FeO</i>	0.026	0.026	0.131	0.052
<i>MnO</i>	0.005	0.00	0.00	0.006
<i>MgO</i>	0.00	0.00	0.01	0.00
<i>CaO</i>	0.088	0.131	0.115	0.381
<i>Na₂O</i>	9.962	12.879	12.66	12.557
<i>K₂O</i>	0.09	0.109	0.116	0.151
<i>Total</i>	95.517	92.029	91.074	91.007
<i>Si</i>	33.823	32.55	32.703	32.3
<i>Ti</i>	0.002	0.00	0.00	0.00
<i>Al</i>	15.281	15.656	15.45	15.923
<i>Fe</i>	0.012	0.013	0.064	0.026
<i>Mn</i>	0.002	0.00	0.00	0.003
<i>Mg</i>	0.000	0.00	0.009	0.00
<i>Ca</i>	0.052	0.083	0.072	0.24
<i>Na</i>	10.594	14.514	14.414	14.33
<i>K</i>	0.063	0.081	0.087	0.113

جدول ۲- آنالیزهای شیمی کانی پرهنیت. محاسبات بر اساس ۲۴ اکسیژن انجام شده است.

<i>Prehnite</i>			
<i>Oxides & Elements</i>	<i>TF2-9 3 analyses mean values</i>	<i>TF6-2 4 analyses mean values</i>	<i>TF13j 3 analyses mean values</i>
<i>SiO₂</i>	46.403	46.227	45.662
<i>TiO₂</i>	0.040	0.078	0.000
<i>Al₂O₃</i>	24.278	22.689	23.23
<i>FeO</i>	0.722	1.420	1.080
<i>MnO</i>	0.014	0.046	0.000
<i>MgO</i>	0.004	0.005	0.000
<i>CaO</i>	25.786	26.272	26.06
<i>Na₂O</i>	0.157	0.252	0.197
<i>K₂O</i>	0.078	0.004	0.000
<i>Total</i>	97.482	96.993	96.229
<i>Si</i>	6.781	6.835	6.789
<i>Ti</i>	0.004	0.009	0.000
<i>Al</i>	4.177	3.950	4.067
<i>Fe</i>	0.088	0.176	0.134
<i>Mn</i>	0.002	0.006	0.000
<i>Mg</i>	0.001	0.001	0.000
<i>Ca</i>	4.037	4.162	4.152
<i>Na</i>	0.044	0.072	0.057
<i>K</i>	0.015	0.001	0.000

۶۸ تا ۶۹ درصد اکسید سیلیسیم، ۱۹ درصد اکسید آلومینیم و ۱۱ درصد اکسید سدیم وجود دارد (جدول ۳).
 ۱۷ تا ۱۸ درصد) و اکسید پتاسیم (۱۵ تا ۱۶ درصد) از مهمترین
 اکسیدهای تشکیل دهنده فلدسپار قلیایی می‌باشند (جدول ۴). فرمول
 این کانی بر اساس ۳۲ اکسیژن محاسبه شده است.

(K_{0.946}, Na_{0.035}, Al_{0.983} Si_{3.013} O₈)

۶۸ تا ۶۹ درصد اکسید سیلیسیم، ۱۹ درصد اکسید آلومینیم و ۱۱ درصد اکسید سدیم وجود دارد (جدول ۳).

(Na_{0.96}, Al_{1.022} Si_{2.987} O₈)

فلدسپار قلیایی: اکسید سیلیسیم (۶۴ تا ۶۵ درصد)، اکسید آلومینیم

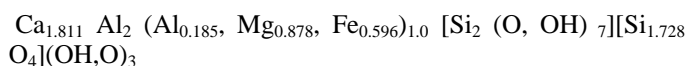
جدول ۳: آنالیزهای شیمی کانی آلبيت. محاسبات بر اساس ۳۲ اکسیژن انجام شده است.

Oxides &	Albite				
	TF2-9 6analyses	TF3-5 2analyses	TF6-2 3analyses	TF13J 4analyses	TF25 3analyses
SiO ₂	68.228	69.177	69.067	63.442	69.265
TiO ₂	0.011	0.298	0.009	0.017	0.021
Al ₂ O ₃	19.929	19.196	19.208	22.67	19.21
FeO	0.109	0.067	0.123	0.375	0.137
MnO	0.002	0.015	0.009	0.015	0.006
MgO	0.002	0.00	0.002	0.028	0.003
CaO	0.935	0.043	0.306	4.984	0.07
Na ₂ O	10.665	11.147	11.082	8.32	11.072
K ₂ O	0.040	0.057	0.05	0.139	0.076
Total	99.921	100	99.856	99.99	99.86
Si	11.919	12.05	12.056	11.225	12.078
Ti	0.001	0.039	0.001	0.002	0.003
Al	4.100	3.938	3.948	4.723	3.945
Fe	0.016	0.01	0.018	0.055	0.02
Mn	0.000	0.002	0.001	0.002	0.001
Mg	0.001	0.00	0.001	0.007	0.001
Ca	0.175	0.008	0.057	0.945	0.013
Na	3.613	3.765	3.751	2.854	3.744
K	0.009	0.013	0.011	0.031	0.017

جدول ۴: آنالیزهای شیمی کانی فلدسپار قلیایی. محاسبات بر اساس ۳۲ اکسیژن انجام شده است.

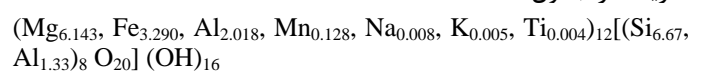
Oxides & Elements	K-feldspars					
	TF25 POS 34 P3	TF25 POS 42 P3	TF25 POS 41 P3	TF25 POS 33 P4	TF25 POS 35 P3	TF25 POS 41b P4
SiO ₂	65.362	65.554	65.442	65.774	64.942	65.896
TiO ₂	0.229	0.000	0.032	0.010	0.000	0.010
Al ₂ O ₃	17.931	18.195	18.158	18.525	18.250	18.261
FeO	0.424	0.067	0.013	0.000	0.087	0.144
MnO	0.000	0.00	0.000	0.005	0.01	0.00
MgO	0.056	0.000	0.000	0.00	0.009	0.000
CaO	0.000	0.000	0.000	0.267	0.000	0.000
Na ₂ O	0.223	0.298	0.194	0.000	0.338	0.401
K ₂ O	15.775	16.103	16.001	16.187	16.362	16.226
Total	100.000	100.217	99.840	100.768	99.998	100.938
Si	12.002	12.063	12.074	12.032	11.965	12.053
Ti	0.032	0.000	0.004	0.001	0.000	0.001
Al	3.948	3.943	3.945	3.99	4.021	3.933
Fe	0.066	0.01	0.002	0.000	0.014	0.022
Mn	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000
Mg	0.016	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Ca	0.000	0.000	0.000	0.052	0.000	0.000
Na	0.081	0.106	0.069	0.000	0.123	0.142
K	3.763	3.781	3.766	3.778	3.906	3.786

منیزیم ۴ تا ۶ درصد و اکسید کلسیم ۱۸ تا ۲۰ درصد تغییر می کند (جدول ۶).



اپیدوت: در کانی اپیدوت اکسید سیلیسیم ۳۵ درصد، اکسید آلومینیم ۷ تا ۸ درصد، اکسید آهن ۱۷ درصد و اکسید کلسیم ۳۴ درصد می باشد (جدول ۷).

کلریت: در کلریت درصد اکسید سیلیسیم بین ۲۹ تا ۳۲ درصد، آلومینیم ۱۳ تا ۱۶ درصد، اکسید آهن ۱۸ تا ۲۶ درصد و اکسید منیزیم ۱۲ تا ۱۹ درصد متغیر می باشد (درصد عناصر تشکیل دهنده کلریت در جدول ۵ داده شده است).



پومپلئیت: در پومپلئیت مقدار اکسید سیلیسیم ۴۰ تا ۴۲ درصد، اکسید آهن ۱۹ تا ۲۱ درصد، اکسید آهن ۷ تا ۹ درصد، اکسید

جدول ۵- آنالیزهای شیمی کانی کلریت. محاسبات بر اساس ۲۸ اکسیژن انجام شده است.

<i>Chlorite</i>				
<i>Oxides & Elements</i>	<i>TF2-9 POS23 P4</i>	<i>TF2-9 POS26 P7</i>	<i>TF13j POS27 P3</i>	<i>TF6-2 POS7 P6</i>
<i>SiO₂</i>	32.186	31.696	29.333	32.083
<i>TiO₂</i>	0.000	0.007	0.000	0.0280
<i>Al₂O₃</i>	15.745	16.534	19.438	13.675
<i>FeO</i>	25.582	24.507	26.37	18.925
<i>MnO</i>	0.517	0.478	0.289	0.323
<i>MgO</i>	14.857	13.344	12.319	19.823
<i>CaO</i>	0.798	2.776	0.282	0.576
<i>Na₂O</i>	0.059	0.000	0.064	0.020
<i>K₂O</i>	0.085	0.054	0.404	0.019
<i>Total</i>	89.829	89.396	88.499	85.472
<i>Si</i>	6.571	6.503	6.115	6.67
<i>Ti</i>	0.000	0.001	0.000	0.004
<i>Al</i>	3.785	3.994	4.771	3.348
<i>Fe</i>	4.368	4.205	4.597	3.29
<i>Mn</i>	0.089	0.083	0.051	0.057
<i>Mg</i>	4.521	4.081	3.828	6.143
<i>Ca</i>	0.175	0.610	0.063	0.128
<i>Na</i>	0.023	0.000	0.026	0.008
<i>K</i>	0.022	0.028	0.107	0.005

جدول ۷: آنالیزهای شیمی کانی اپیدوت. محاسبات بر اساس ۱۲/۵ اکسیژن انجام شده است.

<i>Epidote</i>		
<i>Oxides &</i>	<i>TF6-2</i>	<i>TF6-2</i>
<i>SiO₂</i>	35.255	35.029
<i>TiO₂</i>	0.339	0.272
<i>Al₂O₃</i>	7.148	8.012
<i>FeO</i>	17.111	17.323
<i>MnO</i>	0.151	0.207
<i>MgO</i>	0.17	0.071
<i>CaO</i>	34.564	34.503
<i>Na₂O</i>	0.00	0.00
<i>K₂O</i>	0.004	0.00
<i>Total</i>	94.742	95.417
<i>Si</i>	3.255	3.211
<i>Ti</i>	0.024	0.019
<i>Al</i>	0.777	0.865
<i>Fe</i>	1.321	1.328
<i>Mn</i>	0.012	0.016
<i>Mg</i>	0.023	0.01
<i>Ca</i>	3.419	3.389
<i>Na</i>	0.00	0.00
<i>K</i>	0.00	0.00

جدول ۶: آنالیزهای شیمی کانی پومپلئیت. محاسبات بر اساس ۱۴ اکسیژن انجام شده است.

<i>Pumpellyite</i>		
<i>Oxides & Elements</i>	<i>TF6-2</i>	<i>TF6-2</i>
<i>SiO₂</i>	42.092	40.076
<i>TiO₂</i>	0.031	0.040
<i>Al₂O₃</i>	21.046	19.697
<i>FeO</i>	6.354	7.663
<i>MnO</i>	0.049	0.134
<i>MgO</i>	4.527	6.332
<i>CaO</i>	20.599	18.163
<i>Na₂O</i>	0.005	0.000
<i>K₂O</i>	0.000	0.041
<i>Total</i>	94.703	92.146
<i>Si</i>	3.787	3.728
<i>Ti</i>	0.002	0.003
<i>Al</i>	2.230	2.158
<i>Fe</i>	0.478	0.596
<i>Mn</i>	0.004	0.011
<i>Mg</i>	0.607	0.878
<i>Ca</i>	1.986	1.811
<i>Na</i>	0.000	0.000
<i>K</i>	0.000	0.005

یکی از سازندگان موجود در این توفها هستند که به دلیل ناپایداری ترمودینامیکی تجزیه می شوند. آلتراسیون با انحلال شیشه آبدار، تبلور کانی‌های رسی و کربنات‌ها آغاز می‌شود (Noh & Boles 1989). و سپس با چهار مرحله دیانژن بعد از آبدگیری و اکسیداسیون دنبال می‌شود. (۱) تشکیل کانی‌های رسی به صورت حاشیه ای بر سطوح شیشه (۲) انحلال بخشی شیشه و فشردگی (۳) ته نشست کانی‌های درجا به ویژه زئولیت و کلسیت در فضاهای خالی (۴) آلتراسیون و

بحث:

با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی در مطالعه حاضر، بنظر می‌رسد توفهای منطقه شمال تفرش در بخش‌های قاعده ای دچار دگرگونی تدفینی شده اند. دگرگونی تدفینی در توفها با پدیده دیانژن آغاز گردیده و در نهایت به رخساره های کانیایی مربوط به این نوع دگرگونی ختم می‌شود. در طی دیانژن شیشه های آتشفشانی به عنوان

کلریتیزاسیون، کربناتیزاسیون، سریسیتیزاسیون و اپیدوتیزاسیون را از خصوصیات عمده سنگهای منطقه ذکر کرده و بر اساس مجموعه کانی‌های مزبور به وجود پدیده دگرگونی در این توف‌ها اشاره می‌کند. بر طبق مشاهدات آنها بخش‌های شیشه‌ای این قطعات به طور کامل به تجمعات (آگرگاتهای) کوارتز، آلپیت و کانی‌های رسی از جمله کلریت و سریسیت و در بعضی از قسمت‌ها مخلوطی از ایلیت و مونت مورونیت دگرسان شده‌اند. مطالعات سنگ شناسان دگرگونی مانند کومبز و همکاران (Coombs 1954, Coombs et al. 1959, Coombs & Sometralian 1961) و بر روی سکانس‌های پیروکلاستیک ضخیم در نیوزلند نشان می‌دهد که تغییرات کانی‌شناختی فراگیر در توف‌ها که دگرگونی تدفینی نام گرفته است حاصل واکنش میان توف‌ها و سیالات هیدروترمال می‌باشد. به همین دلیل است که برخی از سنگ شناسان مانند وینتر (Winter, 2001) اصطلاح دگرگونی هیدروترمال را برای دگرگونی تدفینی بکار برده‌اند. با وجود اینکه تشخیص تاثیر فرایندهای آلتراسیون مشکل است و این تغییرات ممکن است مجموعه کانی‌ها و بافت‌های مشابهی داشته باشند و همچنین به دلیل اختلافات ترکیبی و فیزیکی، زون‌های دگرگونی تدفینی از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوتند و بر اساس بافت یا کانی‌های موجود تقسیم بندی می‌شوند (Winter, 2001).

Metamorphic Facies	Zeolite Facies		Prehnite-Pumpellyite Facies	
Specimen Number	T12-9	T13-5	T16-2	T113j
Pumpellyite				
Prehnite				
Epidote				
Chlorite				
Analcime				
Calcite				
Albite				

شکل ۱۵: پاراژنز کانیایی مشاهده شده در نمونه‌های حاصل از آنالیزهای میکروپروب در منطقه شمال تفرش.

نتیجه گیری:

در کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر در منطقه تفرش توف‌های سبز کرج (ائوسن) دچار تغییرات کانی‌شناختی فراگیر شده و در طی آن کانی‌های سریسیت، کلسیت، کلریت، آلپیت، آنالسیم، اپیدوت، پرهنیت و پومپلیت تشکیل شده‌اند. مجموعه کانی‌شناسی فوق مربوط به زون

جانشیننی فازهای کانیایی.

دیاژنز بتدریج و همراه با افزایش حرارت، فشار و عمق تدفین به دگرگونی پیشرفت می‌کند. انتقال از مرحله دیاژنز به دگرگونی تدفینی با آزدایی و کربن زدایی و آزاد شدن سیلیس همراه است. توسعه دیاژنز و دگرگونی درجه پایین هردو در حرارت و فشار ۳۰۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۱ کیلو بار قرار می‌گیرند. در حقیقت تمایز مشخصی بین شرایط فشار، حرارت، بافت و مجموعه کانی‌ها در دیاژنز و دگرگونی درجه پایین وجود ندارد. در طی دفن پیشرونده مرحله‌ای وجود دارد که واکنش‌های متاسوماتیک رخ می‌دهند و حرارت افزایش می‌یابد، این مرحله انتقالی بعنوان دگرگونی تدفینی در نظر گرفته می‌شود (Coombs 1954). طبق تعریف کومبز دگرگونی تدفینی شامل تغییرات کانیایی پیشرونده‌ای است که می‌تواند مستقیماً با افزایش حرارت و عمق تدفین در توالی‌های آتشفشانی و رسوبی مرتبط باشد، در واقع این دگرگونی شکلی از دگرگونی ناحیه‌ای است که متاثر از حوضه‌های در حال فرونشینی در توالی‌های آتشفشانی و یا رسوبی، جایی که بخش‌های قاعده‌ای تحت شرایط دگرگونی درجه پایین بدون تغییر شکل و یا چین خوردگی که خاص دگرگونی ناحیه‌ای است، می‌باشد.

در دگرگونی تدفینی همانند دیاژنز مجموعه کانی‌های در حال تعادل به ندرت یافت می‌شوند. این دگرگونی توالی از زون‌های دگرگونی گسترده را ایجاد می‌کند. توالی‌های رخساره دگرگونی همراه با افزایش عمق شامل: رخساره زئولیت، پرهنیت + پومپلیت، پومپلیت + اکتی نولیت، لوسونیت + آلپیت + کلریت، شیست آبی و شیست سبز می‌باشند. رخساره زئولیت پلی است بین دیاژنز و دگرگونی، (Coombs et al., 1959) و مجموعه کانی‌های این رخساره به ترکیب سنگ اولیه، ترکیب سیال، تاریخ تدفین بستگی دارد. این رخساره بر اساس کانی‌های شاخص موجود به ۵ زیر مجموعه تقسیم بندی می‌شود که شامل (۱) شابازیت + تامسونیت، (۲) آنالسیم، (۳) مزولیت + اسکولوسیت، (۴) هویلاندیت + استیلیت و (۵) لامونیت می‌باشند. توف‌های ائوسن در منطقه تفرش دگرگونی در دو زون زئولیت و پرهنیت + پومپلیت. را در خود ثبت کرده‌اند. کانی‌های خود شکل آنالسیم، همراه با کوارتز و کلسیت از کانی‌های موجود در زون زئولیت می‌باشند. در زون پرهنیت + پومپلیت کانی‌های پرهنیت، پومپلیت همراه با کانی‌های آلپیت که جانشین پلاژیوکلاز شده‌اند، اپیدوت، کلسیت، کلریت و کوارتز دیده می‌شوند (شکل ۱۵)، این کانی‌ها در متن سنگ، فضاها خالی موجود در سنگ و یا بصورت جانشیننی کانی‌های اولیه در سنگ دیده می‌شوند. ایواو و هوشمند زاده (Iwao and Hushmand-Zadeh, 1971) در مطالعه مشابهی بر روی سنگهای آتشفشانی و پاپروکلاستیک سازند کرج در رشته کوه‌های البرز در منطقه شمال تهران ضمن گزارش مجموعه کانی‌های پرهنیت، آلپیت، اپیدوت، کلریت، کلسیت و تیتانیات،

شناختی توفهای شمال تفرش با سری های ضخیم پیروکلاستیک در نیوزلند و سنگهای آتشفشانی و پایروکلاستیک سازند کرج در رشته کوههای البرز در منطقه شمال تهران می تواند نشان دهنده عمومیت دگرگونی تدفینی در این سری ها و از جمله منطقه مورد مطالعه باشد.

زنولیت و پرهنیت+ پومپلئیت می باشد. از مجموعه کانی های مزبور آنالسیم+ کوارتز+ کلسیت کانی های شاخص زون زنولیت و پرهنیت+ پومپلئیت+ آلبیت+ اپیدوت+ کلسیت+ کلریت+ کوارتز کانی های شاخص زون پرهنیت+ پومپلئیت می باشد. ضخامت قابل ملاحظه توفهای سبز ائوسن در برش مورد مطالعه و مقایسه تغییرات کانی

منابع:

- امامی م. ۱۳۷۰: شرح نقشه زمین شناسی چهارگوش قم، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین شناسی.
- امینی ب. ۱۳۷۷: زمین شناسی و پتروولوژی سنگ های آذرین ترشیری منطقه دستجرد. رساله کارشناسی ارشد. حاجیان ج. ۱۹۷۰: چهارگوش زمین شناسی تفرش به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین شناسی.
- سجودی کیسمی ج. ۱۳۷۲: بررسی زمین شناسی و پتروولوژی سنگ های آذرین قم. رساله کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم تهران.
- شاهرخ ج. ۱۳۷۵: پتروولوژی و پتروژنز سنگ های آتشفشانی نئوژن منطقه سلفچگان- آشتیان. رساله کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم تهران.
- قلقماش ج. ۱۳۷۴: مطالعه پلوتونیسیم ترشیری در منطقه جنوب قم. رساله کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی.
- Boles J.R., Coombs D.S. 1977: Zeolite facies alteration of sandstone in the Southland. *American Journal of Science*. **277**: 982-1012.
- Coombs D.S. 1954: The nature and alteration of some Triassic sediments from Shouthland, New Zealand. *Royal Soc. New Zealand Trans.* **82**: 65-109.
- Coombs D.S., Sometralian J. 1961: Some recent work on the lower grade metamorphism. *Australian J. Sci.* **24**: 203-215.
- Coombs D.S., Ellis A.J., Fyfe W.S., Taylor A.M. 1959: The zeolite facies, with comments on the interpretation of hydrothermal sythesis. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **17**: 53-107.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992: The rock forming minerals. *Longman scientific & Technical.* 696p.
- Gifkins C., Herrman W., Large R. 2005: Altered volcanic rocks. *Codes press.* 15-36.
- Iwao S., Husmand Zadeh A. 1971: Stratigraphy and petrology of the low-grade regionally metamorphosed rocks of the Eocene formation in the Alborz Range, North of Tehran. Iran. *Jour. Japan. Assoc. Min. Pet. Eco. Geol.* **65**: 265-285.
- Jackson M.P.A., Cornelius R.R., Craig C.H., Gansser A., Stocklin J., Talbot C.J. 1990: Salt diapirs of the Great Kavir, Central Iran. *Geol. Soc. Amer.*
- Klein C., Hurlbut S. C. 1999: Manual of mineralogy. *John Wiley and Sons.* 765p.
- Potell S., Schmidt S., Capitani C. 2002: Composition of pumpellyite, epidote and chlorite from New Caledonia- How important are metamorphic grade and whole-rock composition? *Schwetz Mineral. Petrogr. Mitt.* **82**: 229-252.
- Shelly D. 1993: Igneous and metamorphic rocks under the microscope. *Chapman and hall.* 630p.
- Winter J.D., 2001: An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall. 501-50.