

ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی سنگ‌های فلدوپاتوئیددار جنوب غرب سراب (شمال‌غرب ایران)

لیلا عبادی^۱، امین‌الله کمالی^{۲*}، رسول فردوسی^۲، محمد فدائیان^۲، مسعود حیدری^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی اهر، اهر

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷ تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۲/۴/۸، نسخه نهایی: ۹۲/۹/۲۰)

چکیده: مهم‌ترین توده‌های سینیتی ایران، در شمال غرب و در استان آذربایجان شرقی بروند دارند که در ارتباط با ماگماتیسم ائوسن فوقانی تا الیگوسن پایینی هستند. توده‌ی عباس‌آباد - باشکند، یکی از این توده‌های است که به صورت چند توده‌ی کوچک و مجزا در غرب توده‌ی اصلی نفلین سینیت بزقوش قرار دارد. بافت ریزدانه، پورفیری و پورفیریتیک ریزدانه از بافت‌های معمول این سنگ‌های است. براساس رده‌بندی مدبی، سنگ‌های مورد بررسی در رده‌ی شبه‌لوسیت سینیت، موژودیوریت نفلین‌دار، سینیت آنالسیم‌دار و سینیت قرار می‌گیرند. کانی‌های اصلی آن شامل پتاسیم فلدوپاتار، پلازیوکلاز، شبه‌لوسیت، آنالسیم و نفلین می‌شوند و پیروکسن، الیوین، بیوتیت، هورنبلند، کدر، زیرکن و آپاتیت کانی‌های فرعی سنگ را تشکیل می‌دهند. کانی‌های ثانویه سنگ عبارتند از سریسیت، کلریت، اورالیت، ایدینگزیت، اکسیدآهن و کانی‌های رسی. نتایج حاصل از پراش پرتو X وجود کانی‌های آنالسیم، ناترولیت، نفلین و فلدوپاتاریم‌دار (سلزین) را در این سنگ‌ها نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تجزیه شیمی کلینوپیروکسن‌ها، تمامی آن‌ها در قلمرو پیروکسن‌های کلسیم-منیزیم و آهن‌دار قرار گرفته‌اند. ترکیب عضو انتهایی پیروکسن‌ها بین En_{40.23} Fs_{13.61} Wo_{47.8} تا En_{40.75} Fs_{9.40} Wo_{43.98} متغیر است، که نشان دهنده‌ی کلینوپیروکسن‌های اوژیت دیوپسیدی در نفلین سینیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی است. بر اساس رده‌بندی شیمیابی، سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی نفلین سینیت، سینیت و شبه‌دیوریت قرار می‌گیرند. همچنین این سنگ‌ها بر اساس کانی‌شناسی و ضریب آگپایتیک جزء نفلین سینیت‌های میاشکایتیک محسوب می‌شوند. سری ماگمای این سنگ‌ها با توجه به کانی‌های سنگ‌ساز، پتاسی قلیابی تا شوشونیتی است. حضور کانی‌های دارای الومینیم و کانی‌های فرومیزین و کدر عامل اصلی کنترل کننده‌ی میزان اکسیدهای اصلی مانند Al₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Al₂O₃ در سنگ‌های منطقه است. مقادیر K₂O با افزایش SiO₂ افزایش می‌یابد که نشان دهنده سرشت پتانس این سنگ‌های است. نمودارهای ژئوشیمیابی، عنکبوتی و الگوهای REE سنگ‌های مورد بررسی بیانگر یک محیط زمین ساختی وابسته به فرورانش این سنگ‌های است. غنی‌شدگی مشخص سنگ‌های قلیابی مورد بررسی از عناصری مثل Rb, Ba, Th, U, K می‌تواند در ارتباط با فرایندهای دگرنهادی گوشه‌ته باشد. وجود بیهنجاری منفی Ti, Nb, Ta و سرشت میتلآلومینوس سنگ‌های مورد بررسی، احتمالاً ناشی از تأثیر فرورانش نوتیس بر منابع گوشه‌های و نیز باعث غنی‌شدگی این سنگ‌ها از LREE و Pb ها شده است.

واژه‌های کلیدی: باشکند، سینیت، سینیت آنالسیم‌دار، فلدوپاتوئید، الیگومیوسن، البرز- آذربایجان.

مقدمه

۴۷° و ۵۰' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۴۶° ۳۷' و ۳۷° ۵۰' شمالی

واقع شده است. بر اساس تقسیم‌بندی تکتونوماگمایی ایران،

سنگ‌های مورد بررسی در کمربند ماگمایی البرز- آذربایجان

منطقه‌ی مورد بررسی در جنوب غرب سراب و در استان

آذربایجان شرقی، بین طول‌های جغرافیایی ۶۲' ۴۷° و ۱۲'

بزقوش و کلیبر و سودولوستیت سینیت رزگاه را به ترتیب ۳۶.۶ ± ۳.۶ ، ۲.۹ ± ۲.۶ و ۴۰.۸ ± ۲ میلیون سال تعیین کرد. عبادی در [۱۱] بررسی‌های نسبتاً جامعی از ویژگی‌های سنگنگاری، ژئوشیمیابی و زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه انجام داده است و این نوشتار برگرفته از بررسی‌های ایشان است.

تعیین ویژگی‌های صحرایی و سنگنگاری توده‌ی مورد بررسی، مشخص کردن ویژگی‌های ژئوشیمیابی و محیط زمین‌ساختی آن‌ها از اهداف اصلی این پژوهش است. امید است که این بررسی بتواند ویژگی‌های سنگنگاری، ژئوشیمیابی و در نتیجه ویژگی‌های زمین‌ساختی آن‌ها را آشکار سازد.

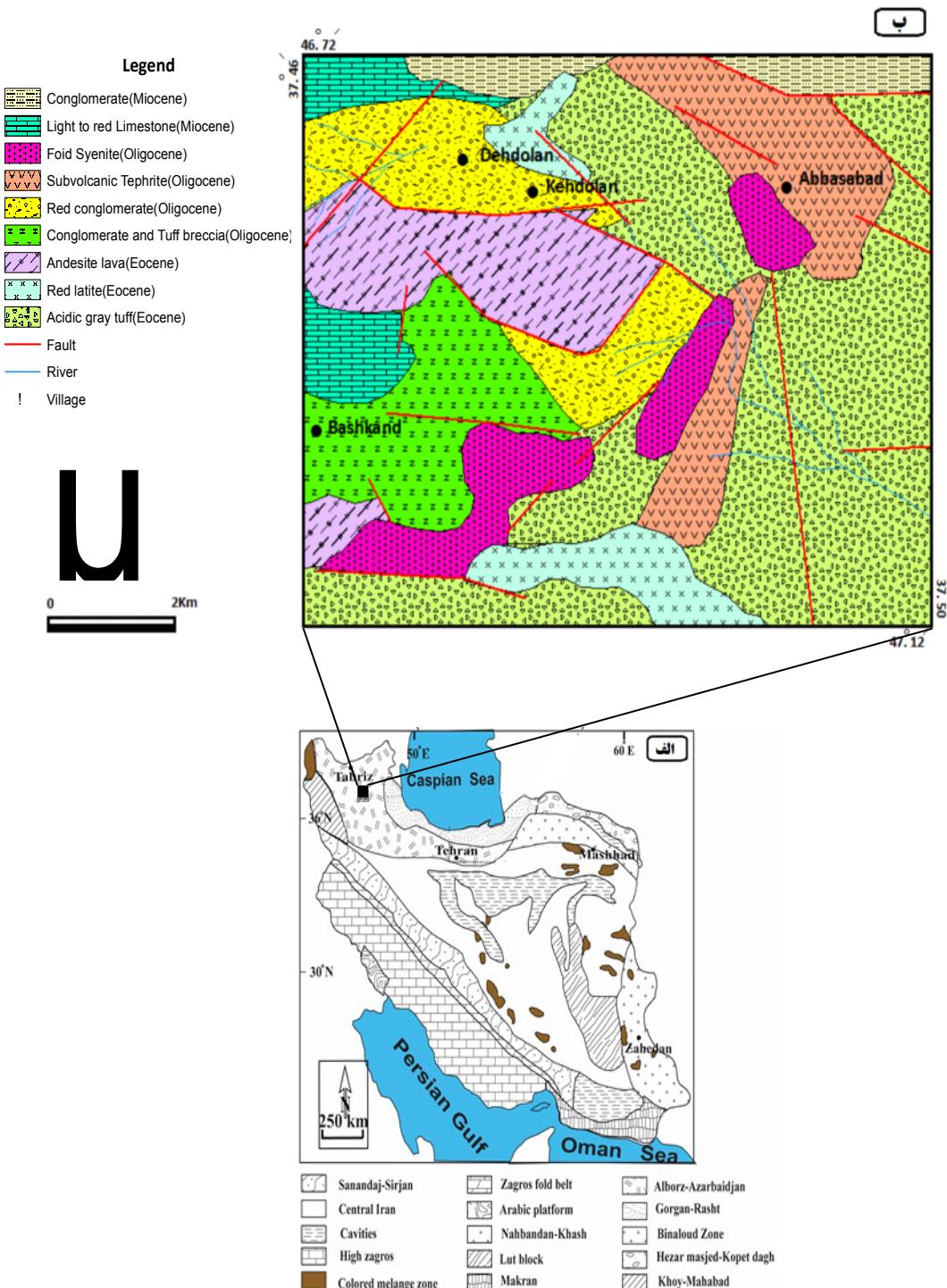
زمین‌شناسی عمومی

این منطقه در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قره چمن – ترکمن چای در سمت غرب رشته کوه بزقوش قرار دارد. سنگ‌های مورد بررسی نزدیک به روستاهای عباس‌آباد، باشکند، دهدلان و کهدلان واقع شده‌اند. مهمترین سنگ‌شناسی‌های مجاور فوئیدسینیت‌ها و تفریت‌های عباس‌آباد – باشکند به سن نسبی الیگوسن آغازی شامل سنگ‌های آتشفسانی ائوسن (تراکی آندزیت مگاپورفیری، توف‌های خاکستری، سرخ و سبز و لاتیت پورفیری تا مگاپورفیری) و سنگ‌های آتشفسانی و رسوی میوسن (کنگلومرا، مارن، برش توفی، ریولیت، ایگنمبریت، ماسه‌سنگ و آهک) می‌شوند. سنگ‌های آتشفسانی ائوسن با بیشترین بیرون‌زدگی، به صورت لایه‌هایی به رنگ‌ها و ضخامت‌های مختلف دیده می‌شوند. سنگ‌های مورد بررسی در سنگ‌های آتشفسانی ائوسن نفوذ کرده‌اند. در گستره‌ی مورد بررسی سنگ‌های آتشفسانی آندزیت، تراکی آندزیت، لاتیت و لاتی آندزیت مشاهده شده‌اند. در این منطقه تنابوی از لایه‌های چسبناک و محکم مشاهده می‌شوند که به همراه سنگ‌های آتشفسانی قرار گرفته‌اند و شامل تمود چسبناک اسیدی، ماسه‌ای و با برش قرمز رنگ آنالسیم دارند. همچنین این سنگ‌ها تحت تاثیر شکستگی‌ها و گسل خوردگی‌های فراوانی قرار گرفته‌اند. سنگ‌های آتشفسانی – رسوی میوسن بیشترین بیرون‌زدگی را در بخش غربی منطقه‌ی مورد بررسی نشان می‌دهد که در واحدهای رسوی آهکی فسیل‌هایی از مرجان یافت می‌شوند. سطح تماس فوئیدسینیت‌های عباس‌آباد – باشکند با سایر سنگ‌ها اغلب گسله است. تماس آن‌ها با تفریت‌های مجاور گاهی به صورت تدریجی قابل مشاهده است که خود به ارتباط ژنتیکی با سینیت‌های همراه اشاره دارد. به علل زیر می-

قرار داشته [۱] (شکل ۱) و بر اساس تقسیم‌بندی پیشنهادی [۲] گستره‌ی مورد بررسی به عنوان بخشی از زون ترشیر-کواترنر ایران محسوب می‌شود. در آغاز الیگوسن، بر اثر حرکت‌های کوه‌زایی پیرنه همانند بسیاری از نقاط البرز و ایران مرکزی، در آذربایجان نیز توده‌های نفوذی متعدد مانند سینیت بزقوش [۴]، کلیبر و اهر [۵] به درون سنگ‌های آتشفسانی ائوسن نفوذ کرده است. توده‌های سینیتی فلدسپات‌توئیدار آذربایجان تماماً به مagma‌تیسم بعد از ائوسن فوقانی ارتباط دارند و سن آن‌ها نیز کم و بیش اولیگوسن آغازی است. از نظر ژنتیک نیز احتمالاً به هم وابسته‌اند زیرا تقریباً در یک راستای (شمالی-جنوبی) قرار دارند. اولین توصیف و بررسی سنگ‌شناسی کامل نفلین سینیت‌ها و فنولیت‌های شمال آذربایجان توسط [۵] در قالب پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد تحت عنوان ((مطالعه‌ی سنگ نگاری و ژئوشیمی نفلین سینیت‌ها و فنولیت‌های آذربایجان)) انجام گرفته است. افتخار نژاد و همکاران در [۶] با تکیه بر بررسی‌های مفصل زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی و نمونه‌گیری‌های ژئوشیمیابی و آزمایش‌های کانه آرایی و فناوری انجام شده، توده‌ی بزقوش را، برای استفاده در صنعت آلومینا، شیشه و سرامیک و توده‌ی رزگاه را، برای مصرف در صنایع شیشه و سرامیک مورد ارزیابی دقیق قراردادند. باباخانی و امینی آذر [۷] در قالب طرحی، نفلین سینیت کلیبر را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که توده‌ی نفلین سینیتی کلیبر دارای سه بخش مهم شامل نفلین سینیت درشت بلور خاکستری رنگ میانی، بخش گابروی (ایژولیتی) حاشیه‌ای و بخش نفلین فلدسپاتی روشن (یوویتی) است. اشرفی [۸] در پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خود با بررسی نفلین شبه‌دولوستیت سینیت‌های منطقه‌ی رزگاه به سری ماگمایی قلیایی غنی از پتاسیم است. مشخصات کانی‌شناسی و ژئوشیمیابی سنگ‌های رزگاه، آن‌ها را در ردیف سنگ‌های سری میاشکایتیک قرار می‌دهند. شهریار در [۹] نفلین سینیت‌های بزقوش را بررسی کرده و به این نتایج دست یافته است ۱- توده فوئیدسینیتی بزقوش از نظر ترکیب مدلی اغلب در حد بیوتیت‌نفلین مونزو‌سینیت بوده و بر اساس ضربی آگپایتیک از نوع میاشکایتیک هستند. ۲- نوع سنگ‌ها قلیایی غنی از پتاسیم بوده و از دیدگاه زمین‌ساختی به محیط با کمان و کمان‌های پس از برخورد وابسته‌اند. اشرفی در [۱۰] میانگین سنی در اثر شکافت آپاتیت برای توده‌های نفلین سینیتی

توده به نیمه بلورین در حاشیه توده. توده فوئید سینیتی اصلی منطقه در شرق و جنوب‌شرق باشکند قرار داشته و به وسیلهٔ دو گسل بزرگ با روند شرقی – غربی محدود است (شکل ۱).

توان گفت که این توده‌ها به صورت هیپو ولکانیک (شبه آتشفشانی یا نیمه عمیق) جایگیری کرده‌اند: ۱- وجود کانی‌های شبه‌لوسیت؛ ۲- بافت پوروفیری؛ ۳- پیدایش پلازیوکلازهای منطقه‌ای؛ ۴- تغییر تدریجی ساخت سنگ از دانه‌ای در مرکز



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی.

الف) نقشه‌ی منطقه‌های ساختاری ایران (با تغییرات از [۱]) و ب) نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی [۲].

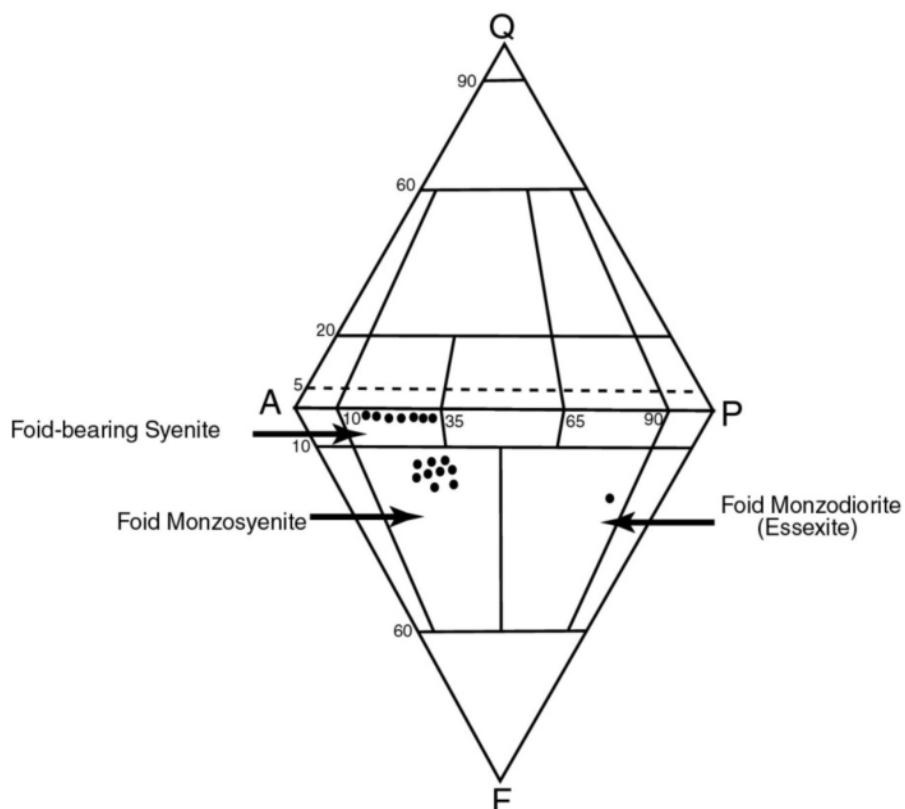
بحث و بررسی

سنگ نگاری سنگ‌های نفوذی منطقه

برای نامگذاری سنگ‌های پلوتونیک از نمودارهای مناسبی که توسط پژوهشگران مختلف بدین منظور ارائه شدند، مورد استفاده قرار گرفتند. برخی از این نمودارها بر مبنای کانی‌شناسی مدي طراحی و بر پایه‌ی درصد جرمی کانی‌های اصلی تشکیل دهنده‌ی سنگ‌های آذرین نظری کوارتز، فلدسپار قلیایی و پلازیوکلاز مانند نمودار [۱۲] ترسیم شدند رده‌بندی تعدادی از سنگ‌های نفوذی منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی فوئیدمونزوسینیت قرار می‌گیرند. فلدسپاتوئیدهای موجود شامل سودولوسيت، نفلین و آنالسیم می‌شوند. تعدادی از نمونه‌ها هم در گستره‌ی سینیت فوئیددار واقع می‌شوند. فوئید مشاهده شده در این سنگ‌های بیشتر آنالسیم‌اند. یکی از نمونه‌ها نیز در گستره‌ی فوئیدمونزودبوریت قرار می‌گیرد (شکل ۲). به طور کلی براساس ترکیب مدي، این سنگ‌ها به فوئیدمونزوسینیت، سینیت فوئیددار و فوئیدمونزودبوریت قابل تقسیم‌اند.

روش بررسی

بررسی‌های صحرایی شامل نمونه‌برداری به خصوص از سنگ‌های متنوع، عکس‌برداری از شواهد و پدیده‌های زمین‌شناسی، تعیین گسل خوردگی‌ها، تعیین محل تماس سنگ‌ها و غیره، بوده‌اند. در طول این بررسی‌ها ۶۰ نمونه‌ی سنگی از منطقه، برای بررسی‌های آزمایشگاهی برداشته شد. ۴۵ نمونه‌ی سنگی برای برش میکروسکوپی در گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز تهیه شدند و بررسی‌های سنگ‌نگاری با استفاده از میکروسکوپ قطبشی روی آن‌ها انجام گرفت. پس از این مرحله به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی، ۱۲ نمونه‌ی مناسب برای تجزیه‌ی شیمیایی به روش ICP-MS انتخاب شدند و به شرکت Als-chemex در کانادا فرستاده شد. ۵ نمونه نیز از سوی سازمان زمین‌شناسی شمال غرب کشور مورد آنالیز XRD قرار گرفتند. همچنین تجزیه‌ی نقطه‌ای در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با ریزکاونده‌ی الکترونی SX100(WDS) Cameca مدل ۱۰nA صورت گرفت.



شکل ۲ رده‌بندی مدي سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی [۱۲].

ها به کانی‌های نظیر سریسیت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. نفلین به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار دیده می‌شود و اندازه‌ی آن از چند میلیمتر تا ۵ میلیمتر بوده و بیشتر فضای بین فلدسپارها را پر کرده است و حدود ۵ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد (شکل ۳ الف). زیرکن به صورت درونگیر در داخل پتاسیم فلدسپار و پلازیوکلازها دیده می‌شود.

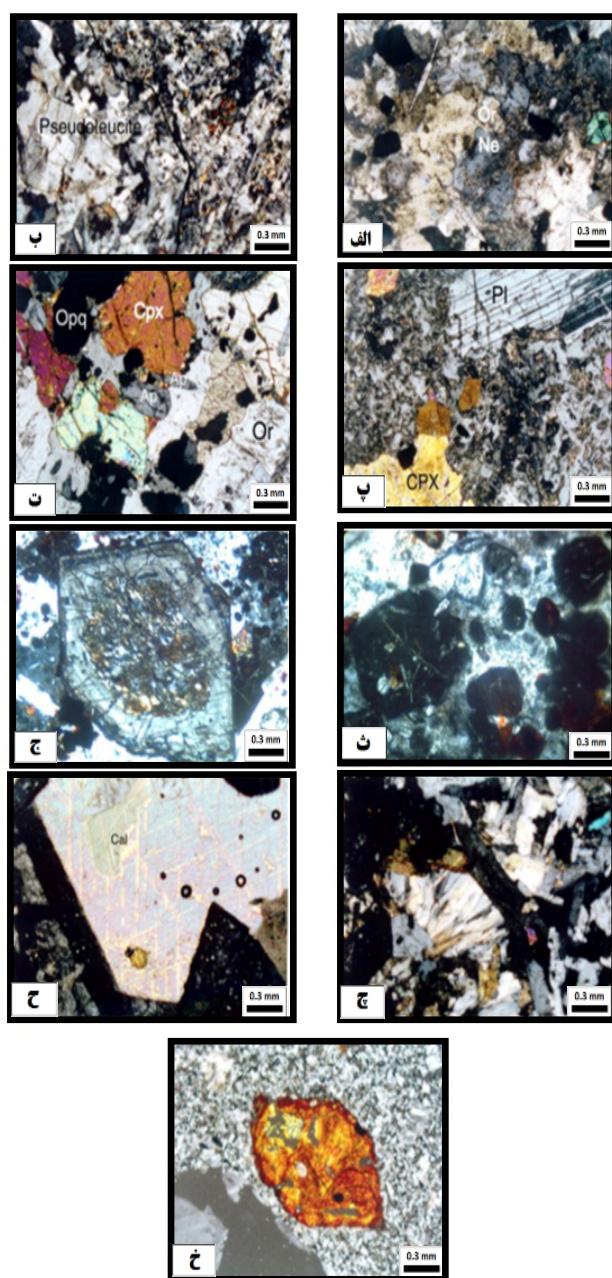
سنگ‌نگاری سنگ‌های نوع دوم (فوئیدمونزودیوریت)
این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکستری خیلی روشن هستند که فنوکریسته‌های فراوان تیره پلازیوکلاز در زمینه سفید رنگ، سنگ را تیره‌تر نشان می‌دهد. این سنگ‌ها تمام بلورین بوده و دارای کانی‌های تیره پیروکسن، الیوین، بیوتیت و کانی‌های روشن پلازیوکلاز، پتاسیم فلدسپار و نفلین است. این سنگ‌ها در مقطع نازک دارای بافت پورفیروئید است که فنوکریسته‌های درشت پلازیوکلاز و گاهی پیروکسن در زمینه‌ای شبیه به همرشدی‌های داخل سودولووسیت قرار گرفته است. کانی‌های اصلی سنگ شامل پلازیوکلاز (۵۵ درصد)، پتاسیم فلدسپار (۲۰ درصد)، نفلین (۷ درصد) و پیروکسن (۸ درصد) است. کانی‌های فرعی سنگ عبارتند از آنالسیم، الیوین، بیوتیت، آپاتیت، کدر و زیرکن. الیوین به صورت کومولایی (یعنی به همراه سایر کانی‌های مافیک و کدر) دیده می‌شود (شکل ۳ پ. و ت). کانی‌های ثانویه سرسیت، اکسیدآهن و کانی‌های رسی نیز در سنگ دیده می‌شوند.

سنگ‌نگاری سنگ‌های تیپ سوم (سینیت‌فوئیددار)
این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکستری دیده می‌شوند. ساخت این سنگ‌ها توده‌ای است. سنگ‌های یاد شده لوكوکرات تا مزوکرات‌اند. کانی‌های روشن موجود در سنگ شامل فلدسپار پتاسیم، پلازیوکلاز و کانی‌های تیره‌ی سنگ عبارتند از پیروکسن، الیوین، بیوتیت و هورنبلند. در مقطع نازک این سنگ‌ها دارای بافت پورفیریتیک دانه‌ای قابل مشاهده‌اند. کانی‌های اصلی سنگ فلدسپار قلیایی عبارتند از پلازیوکلاز، آنالسیم و نفلین. پتاسیم فلدسپار به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار تقریباً ۶۵ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد و اغلب به کانی‌های رسی دگرسان شده و در بعضی از آنها هسته‌ی کانی به صورت شکل دار به طور کامل به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. آنالسیم به صورت شعاعی و دراندازه‌های

سنگ‌نگاری سنگ‌های نوع اول (سودولووسیت نفلین مونزوسینیت)

این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکستری خیلی روشن، تمام بلورین (هولوکریستالین) و لوكوکرات هستند. ساخت این سنگ‌ها توده‌ای بوده و دارای کانی‌های تیره‌ی پیروکسن، الیوین و بیوتیت و کانی‌های روشن فلدسپار، سودولووسیت و نفلین هستند. در مقطع نازک سنگ دارای بافت پورفیریتیک دانه‌ای می‌باشد. کانی‌های اصلی آن شامل پتاسیم فلدسپار، پلازیوکلاز، سودولووسیت و نفلین است. آنالسیم، پیروکسن، الیوین، بیوتیت، هورنبلند، کدر و آپاتیت کانی‌های فرعی سنگ را تشکیل می‌دهند. کانی‌های ثانویه سنگ عبارتند از سرسیت، کلریت، اورالیت، ایدینگزیت، اکسیدآهن و کانی‌های رسی. بافت پوئی کیلیتیک در پتاسیم فلدسپار دیده می‌شود یعنی پتاسیم فلدسپار کانی‌هایی مثل آپاتیت و کدر را در برگرفته است. نتایج آنالیز XRD وجود فلدسپار باریم دار یعنی سلزین (Celsian)($BaAl_2Si_2O_8$) را در این سنگ نشان می‌دهد (شکل ۴). نتایج تجزیه‌ی شیمیایی سنگ کل نیز میزان بالای باریم را نشان می‌دهد. احتمالاً غنی شدگی باریم در مراحل انتهایی جدایی باعث تشکیل فلدسپارهای باریم‌دار در این سنگ شده است. توصیف کامل تعدادی از کانی‌های این سنگ‌ها به قرار زیرند.

کانی پتاسیم فلدسپار به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار دیده می‌شود. اندازه‌ی این کانی از چند میلیمتر تا ۹ میلیمتر است. ارتوز میکرو پریتی خیلی کم در مقطع مشاهده شده. در مواردی پتاسیم فلدسپار بافت پوئی کیلیتیک نشان می‌دهد. به طوری که درشت بلورهای پتاسیم فلدسپار کانی‌هایی مانند پیروکسن و آپاتیت و کدر را در برگرفته‌اند. این کانی تا حدود زیادی به کانی‌های رسی تجزیه شده است (شکل ۳الف). سودولووسیت‌ها درشت‌ترین کانی‌های سنگ‌اند که اندازه آن‌ها گاهی به 2 cm نیز می‌رسد. مجموعه کانی‌های پتاسیم فلدسپار، نفلین، پلازیوکلاز، کلسیت، سرسیت و آنالسیم در داخل سودولووسیت‌ها قابل مشاهده‌اند که دو کانی نخست بیشترین فراوانی را دارند. کانی‌های موجود بیشتر بی‌شک بوده و حالت همرشدی را نشان می‌دهند (شکل ۳ب). پلازیوکلازها به صورت بلورهای شکل دار و در اندازه‌های چند میلیمتر تا ۸ میلیمتر در این سنگ‌ها حضور دارند. بیشتر آنها دارای ماکلهای پلی‌سنتیک و پری‌کلین بوده و منطقه‌بندی شده‌اند. این کانی-



شکل ۳ الف- همرشدی شعاعی بین نفلین و قلیایی فلدسپار (XPL,x40)، ب- سودولوسیت و برخوردگاه آن با زمینه (XPL,x40)، پ- بافت پورفیری با زمینه شبیه همرشدی‌های داخل سودولوسیت و فوکریستهای پلازیوکلаз و پیروکسن (XPL,x40)، ت- آپاتیت‌های درشت (XPL,x40)، ث- آنالسیم‌های شکل‌دار (XPL,x200)، ج- کانی پلازیوکلاز زونینگ‌دار با مرکز تجزیه شده (XPL,x100) ج- زئولیت‌های شعاعی در حفرات (XPL,x40)، ح- کانی کلسیت که احتمالاً از دگرسانی پلازیوکلازها به وجود آمده است (XPL,x40)، خ- الیوین که کاملاً به اکسید آهن تبدیل شده است (XPL,x100).

بافت غربالی و ماقلهای پلی‌سنتیک و پریکلین است و منطقه‌بندی نیز نشان می‌دهند. بعضی از کانی‌هایی که منطقه‌بندی شده و هسته کلسیک دارند در مرکز کاملاً به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. همچنین بعضی از پلازیوکلازها به حالت کوموله‌ای (انباستی) بوده و بافت گلومروپورفیریک دارند. در

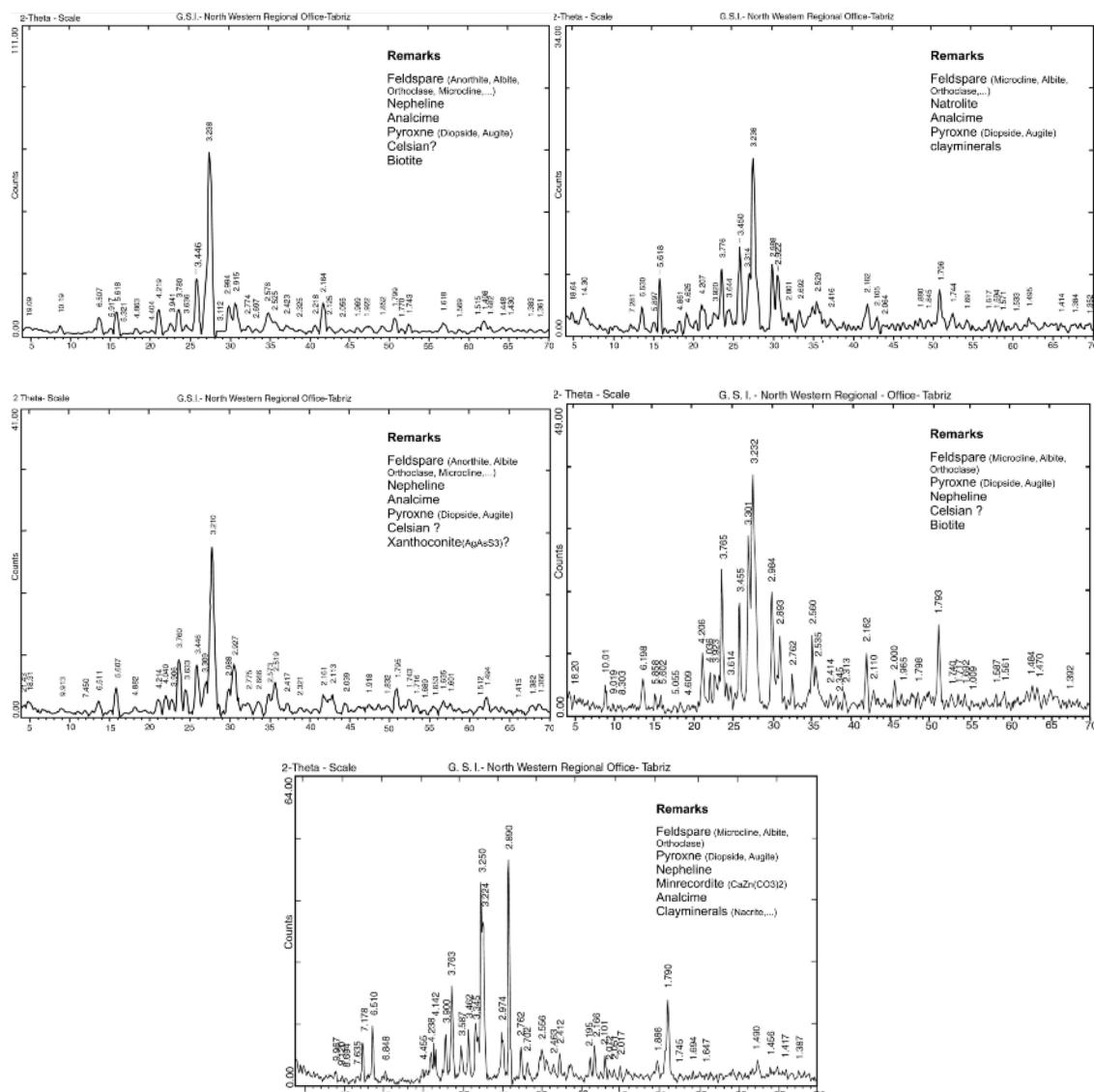
متوسط تا درشت نیز به صورت آنالسیم شکل‌دار، ۱۵ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد (شکل ۳ث) و زئولیت‌های شعاعی همراه با این کانی، به رنگ قهوه‌ای در داخل شکاف‌ها رشد کرده‌اند. پلازیوکلاز به صورت شکل‌دار تقریباً ۱۰ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد و اندازه‌ی آن از ۱ تا ۱۰ میلیمتر است، و دارای

نفلین در نمونه‌های مورد بررسی اشاره کرد. همچنین وجود فلدسپار باریم‌دار یعنی سلزین در نفلین سینیت‌های منطقه به اثبات رسید. چنانکه در (شکل ۴) ملاحظه می‌شود آنالسیم با قله‌های شاخص (۰/۸، ۰/۴۳، ۰/۳ و ۰/۵۶) و ناتروولیت با قله‌های شاخص (۰/۸۵، ۰/۸۹، ۰/۸۵ و ۰/۸۷) و نفلین با قله‌های شاخص (۰/۷۵، ۰/۴۲۵ و ۰/۳۰۶۹) و ۰/۰۱۵ قابل تشخیص‌اند. در شکل (۴) نتایج آنالیز XRD پنج نمونه معرف از سنگ‌های مورد بررسی ارائه شده‌اند. بنابر الگوهای XRD قله‌ی بسیار شاخص در نمونه‌های مورد بررسی برای آنالسیم ۵/۶ و برای بیوتیت ۱۰/۱ است (شکل ۴).

بعضی از قسمت‌ها این کانی به سریسیت و اپیدوت تجزیه شده است (شکل ۳ج). کانی‌های نظیر کائولینیت (کانی‌های رسی)، سریسیت، اپیدوت، زئولیت (شکل ۳ج)، کانی‌های رسی و کلسیت در این سنگ‌ها به عنوان کانی ثانویه دیده شدند. زئولیت‌ها بر اساس تجزیه‌ی XRD ناتروولیت‌اند. کلسیت‌ها اغلب از تجزیه‌ی پلازیوکلازها حاصل شده‌اند (شکل ۳ج). در برخی موارد این کانی رگه‌ها و حفره‌ها را پر کرده‌اند.

کانی‌شناسی بر اساس نتایج آنالیز XRD

بر اساس نتایج آنالیز XRD کانی‌هایی که در مقطع میکروسکوپی سنگ‌های مورد بررسی مشاهده شده‌بودند، معلوم شدند که می‌توان به وجود کانی‌هایی مثل آنالسیم، ناتروولیت و



شکل ۴ نمودارهای XRD برای پنج نمونه از منطقه‌ی شاخص آنالسیم، بیوتیت، سلزین و ناتروولیت به‌طور مشخص مشاهده می‌شوند.

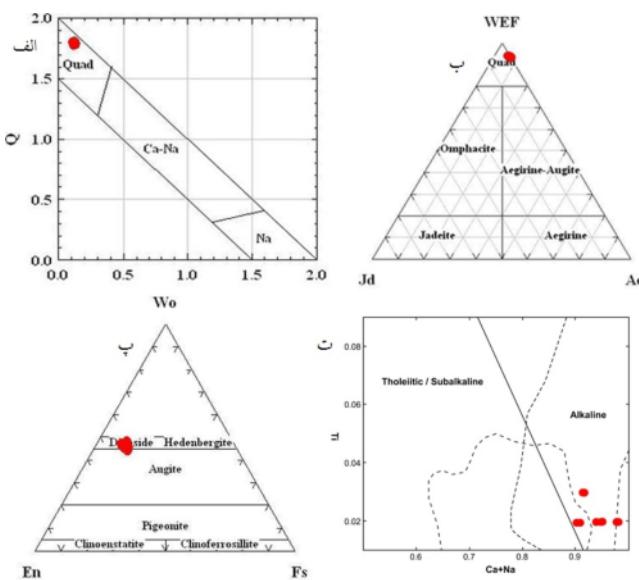
این دامنه‌ی کم تغییرات در حد فاصل میدان پایداری اوزیت تا دیوپسید بوده و بیانگر این است که کلینو پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های منطقه از نوع اوزیت دیوپسیدی هستند (شکل ۵). ترکیب کلینوپیروکسن‌ها متأثر از شیمی گدازه میزان آن-هاست. این خاصیت سبب می‌شود تا این کانی بتواند تفاوت موجود بین انواع مختلف ماقماهای بازالتی را مشخص کند. بررسی‌های [۱۴] بر وابستگی ترکیب کلینوپیروکسن به ترکیب شیمیابی ماقماهی سازنده‌ی آن‌ها تأکید دارد. این امر اهمیت کلینوپیروکسن‌ها در تعیین سری ماقماهی سنگ میزان را مشخص می‌کند. بر اساس نمودار $Ti = Ca + Na$ نسبت به $Ca + Na$ [۱۴] که متمایز کننده ترکیب‌های قلیایی از بازالت‌های قوسی است، نمونه‌های منطقه مورد بررسی گرایش قلیایی دارند (شکل ۵ ت).

شیمی کانی کلینوپیروکسن

نتایج آنالیز ریزپردازش پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های فلدسپاتوئیدی باشکند در جدول (۱) ارائه شده‌اند. بر اساس تقسیم‌بندی [۱۳] در نمودار $Q-J$ پیروکسن‌ها در چهار گروه $Q = Ca + Mg$ و $J = 2Na + Fe(II)$ قرار می‌گیرند در نمودار $Q-J$ به صورت Quad یعنی پیروکسن‌های کلسیم-منیزیم و آهن‌دار قرار گرفته‌اند (شکل ۵ الف). همچنین در نمودار کوارتز، زادیت و آكمیت کلینوپیروکسن‌های منطقه در موقعیت Quad تصویر می‌شوند (شکل ۵ ب). با توجه به قرارگیری پیروکسن‌ها در منطقه‌ی Quad می‌توان از نمودار Wo-En-Fs برای تعیین نوع آن‌ها می‌توان استفاده کرد. محاسبات انجام شده بنابر نمودار [۱۳] برای تعیین ترکیب پیروکسن‌ها، نشانگر آن است که در تمام نمونه‌های بررسی شده، ترکیب عضو انتهایی شامل انسټاتیت (En)، فروسیلیت (Fo) و ولستونیت (Wo) بین

جدول ۱ نتایج آنالیز میکروپردازش پیروکسن‌های باشکند.

Sample	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SiO_2	۵۱,۵۱	۵۱,۴۶	۵۱,۶۴	۵۱,۰۸	۵۱,۵۴	۵۰,۹۹	۵۱,۳۶	۵۱,۲۶	۵۰,۹۸	۵۱,۴۲
TiO	۰,۹۰	۰,۸۲	۰,۸۶	۰,۸۸	۰,۷۶	۱,۰۱	۰,۷۳	۰,۸۲	۱,۱۸	۰,۷۷
Al_2O_3	۲,۰۶	۲,۱۴	۲,۱۸	۲,۲۲	۲,۱۱	۲,۶۴	۱,۹۸	۲,۳۰	۲,۷۸	۲,۱۸
Cr_2O_3	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰
Fe_2O_3	۴,۹۵	۵,۵۳	۴,۸۹	۶,۳۹	۴,۰۴	۳,۶۹	۵,۷۶	۴,۳۷	۵,۶۱	۴,۸۷
FeO	۲,۸۳	۲,۱۳	۲,۱۴	۲,۴۹	۳,۵۷	۳,۱۸	۲,۳۸	۳,۱۸	۲,۸۱	۱,۴۳
MnO	۰,۴۱	۰,۳۱	۰,۳۷	۰,۳۴	۰,۲۴	۰,۳۶	۰,۳۱	۰,۳۰	۰,۴۰	۰,۳۷
MgO	۱۴,۸۶	۱۴,۲۷	۱۴,۹۲	۱۴,۵۸	۱۴,۴۹	۱۴,۸۲	۱۴,۹۴	۱۴,۹۲	۱۴,۷۱	۱۴,۹۸
CaO	۲۲,۵۱	۲۲,۳۳	۲۱,۵۴	۲۲,۵۱	۲۲,۴۲	۲۱,۹۹	۲۲,۵۴	۲۲,۰۹	۲۲,۳۲	۲۲,۹۱
Na_2O	۰,۸۳	۰,۹۲	۰,۸۲	۰,۹۱	۰,۸۵	۰,۸۱	۰,۸۴	۰,۷۹	۰,۸۶	۰,۹۳
Total	۱۰۰,۸۵	۱۰۰,۷۲	۱۰۰,۳۷	۱۰۱,۳۹	۱۰۰,۰۳	۹۹,۴۹	۱۰۰,۱۴	۱۰۰,۰۴	۱۰۱,۶۶	۹۹,۸۷
Si	۱,۸۹	۱,۸۹	۱,۸۹	۱,۸۷	۱,۹۱	۱,۸۹	۱,۸۹	۱,۸۹	۱,۸۶	۱,۹۰
Ti	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲
Al (IV)	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۱
Al (VI)	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۸
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe^3	۰,۱۴	۰,۱۵	۰,۱۳	۰,۱۸	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۶	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۴
Fe^2	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۱۳	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۰۷	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۰۴
Mn	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
Mg	۰,۸۱	۰,۷۸	۰,۸۱	۰,۸۰	۰,۸۰	۰,۸۲	۰,۸۲	۰,۸۲	۰,۸۰	۰,۸۲
Ca	۰,۸۹	۰,۹۲	۰,۸۴	۰,۸۸	۰,۸۹	۰,۸۷	۰,۸۹	۰,۸۷	۰,۸۷	۰,۹۱
Na	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۷
Total	۴	۴	۳,۹۸	۴	۴,۰۹	۴	۴,۰۱	۳,۹۹	۳,۹۹	۴
Wo	۴۶,۰۶	۴۷,۸۷	۴۲,۹۸	۴۵,۷۳	۴۶,۵۱	۴۶,۱۲	۴۵,۷۹	۴۵,۶۴	۴۵,۶۲	۴۷,۴۳
En	۴۲,۳۱	۴۰,۷۵	۴۲,۴۱	۴۱,۲۲	۴۱,۸۳	۴۲,۲۳	۴۲,۲۲	۴۲,۹۰	۴۴,۱,۸۴	۴۳,۱۶
Fs	۱۱,۶۳	۱۱,۲۸	۱۲,۶۳	۱۲,۰۶	۱۱,۶۶	۱۰,۶۴	۱۱,۹۹	۱۱,۴۶	۱۲,۵۴	۹,۴۰



شکل ۵ (الف) نمایش ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن در نمودار مثلثی کوارتز-زادئیت و آکمیت [۱۳] (پ) نمایش ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن در نمودار مثلثی Wo-En-Fs [۱۴] (ت) استفاده از ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن برای تعیین سری ماگمایی [۱۴] در نمودار Ti-Ca+Na نمونه‌ها در قلمرو قلیایی قرار گرفته‌اند.

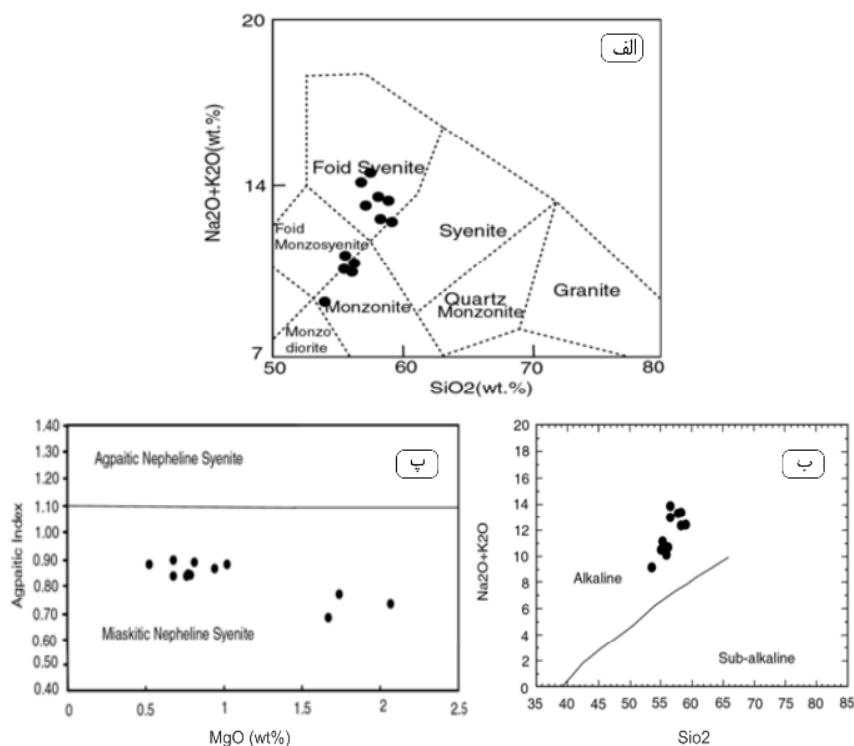
ضریب آگپایتیک از تقسیم بندی [۱۷] استفاده شد، این نمودار سنگ‌های میاوشکیتی را از سنگ‌های آگپایتیک جدا می‌کند، تمامی نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی میاوشکایتیک قرار می‌گیرند (شکل ۶ ج). در نمودار مقاسیه شده با کندریت [۱۸]، الگوی REE (شکل ۷) دارای بیهنجاری منفی Eu است که این بیهنجاری منفی Eu در نتیجه‌ی جدا شدن پلازیوکلاز و یا فلدسپار پتابسیم‌دار از گدازه‌ی فلزیک چه به وسیله جدایش بلوری و چه به علت ذوب بخشی (که در آن فلدسپار در تفاله باقی می‌ماند) است. بیهنجاری مثبت Eu نیز هم نتیجه‌ی انباست فلدسپار است [۱۹]. نبود بیهنجاری‌های منفی و مثبت هم نشان دهنده‌ی این است که تبلور پلازیوکلاز نقش مهمی در شکل‌گیری ماگما ندارد و ممکن است فقط دستخوش تبلور فشار بالا، قبل از جایگیری در سطح بالاتر، شده باشد [۲۰]. عناصر REE در نمونه‌های مورد بررسی شب منفی داشته و در آن LREEها نسبت به HREEها غنی شدگی مشخصی نشان می‌دهند. میانگین الگوهای REE بیهنجار شده به کندریت [۱۸] سنگ‌های منطقه‌ی آنانولی مرکزی در ترکیه را نشان نفلین سینیت‌های آنانولی مرکزی در نمونه‌های REE نفلین سینیت‌های موردن بررسی و نفلین سینیت‌های آنانولی مرکزی ترکیه در HREEها تقریباً بر هم منطبق بوده ولی در هر حال نسبت LREEها در هر دو منطقه تقریباً یکی است.

ژئوشیمی

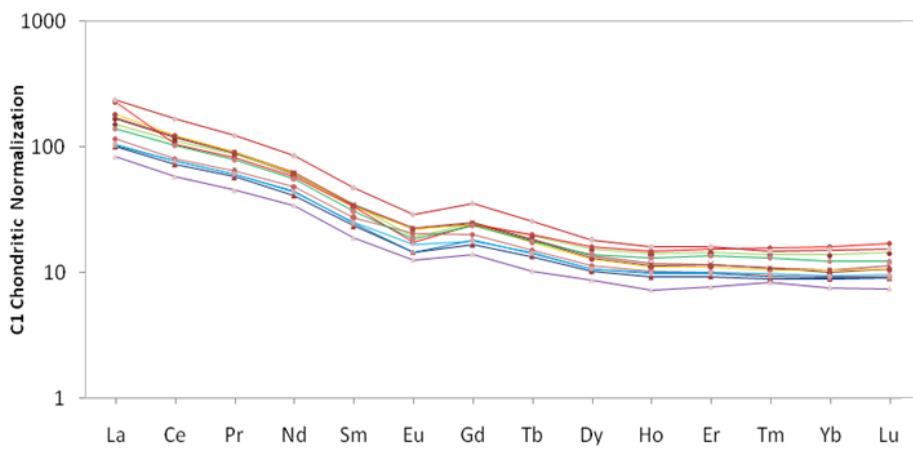
نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی و فرعی نمونه سنگ‌های منطقه در (جدول ۲) ارائه شده‌اند. میزان SiO_2 (۵۵-۵۸.۴) در سنگ‌های منطقه متوسط بوده و Al_2O_3 (۱۶.۳۵-۲۱.۱) از نظر فراوانی بعد از SiO_2 قرار دارد که این مورد بیشتر به خاطر حضور کانی‌های آلومینیومدار مانند نفلین، پلازیوکلاز، ارتوکلاز و بیوتیت در سنگ‌های منطقه است. مقادیر K_2O (۰.۵۰-۰.۶۸) نمونه‌ها با افزایش مقدار SiO_2 افزایش می‌یابد و پتانسی بودن این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. CaO (۶.۴۵-۲۶.۴۵) بیشتر در مراحل اولیه جدایش ماگمایی وارد ساختار کانی‌های مانند کلینوپیروکسن و پلازیوکلاز با درصد آنورتیت بالا می‌شود. اکسیدهای آهن در مراحل اولیه تبلور ماگمایی با در نظر گرفتن فشار پایین گریزندگی اکسیزن در ساختار کانی‌های فرومیزین نظیر الیوین و کانی‌های کدر جای می‌گیرند. همچنین میزان MgO (۲۰.۷-۵۲.۰۷) به واسطه‌ی حضور کانی‌های فرومیزین مانند الیوین، بیوتیت و کلینوپیروکسن کنترل می‌شود و روند کاهشی این اکسید احتمالاً حاکی از مصرف بیشتر و شدیدتر این عنصر در مراحل ابتدایی جدایش ماگمایی است. سنگ‌های مورد بررسی در نمودار TAS [۱۵] در محدوده‌های فوئیدسینیت، فوئیدمونزوسینیت و مونزونیت قرار می‌گیرند (شکل ۶ الف). برای تعیین ماهیت ماگمایی این سنگ‌ها از نمودار [۱۶] استفاده شد، تمامی نمونه‌ها در گستره‌ی قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۶ ب). از طرف دیگر برای تعیین

جدول ۲ آنالیز عناصر اصلی و فرعی منطقه مورد بررسی.

Sample	EB-17	AB-1	AB-4	E-3	E-8	E-22	E-23	E-24	E-26	E-27	EB-2	AB5
SiO ₂ (Wt%)	55.2	54.3	56.7	56.0	55.8	55.0	53.5	54.4	56.6	57.8	55.4	57.2
TiO ₂	0.59	0.68	0.57	0.67	0.42	0.81	0.56	0.59	0.44	0.44	0.60	0.35
Al ₂ O ₃	18.20	18.05	19.15	17.77	18.10	18.05	21.1	19.15	19.20	19.45	16.35	20.20
Fe ₂ O ₃	2.48	2.50	2.02	2.09	1.64	2.95	2.41	2.21	1.75	1.88	2.39	1.59
FeO	1.77	1.40	1.05	1.46	1.22	1.61	2.00	1.9	0.82	0.97	1.66	0.68
MnO	0.10	0.12	0.17	0.10	0.11	0.14	0.11	0.10	0.07	0.07	0.11	0.06
MgO	2.07	0.94	0.68	1.74	1.67	1.02	2.03	0.82	0.68	0.76	0.78	0.52
CaO	2.71	2.70	2.22	2.40	2.57	2.28	6.45	2.24	2.00	2.44	2.94	1.80
Na ₂ O	3.62	4.73	2.30	2.95	2.55	4.63	4.45	4.63	3.86	3.22	3.23	2.88
K ₂ O	6.81	6.08	9.67	6.59	7.66	7.79	4.68	8.63	1.00	1.01	7.57	1.05
P ₂ O ₅	0.49	0.54	0.39	0.49	0.41	0.32	0.63	0.46	0.41	0.37	0.50	0.31
Cr ₂ O ₃	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SrO	0.09	0.16	0.16	0.10	0.05	0.03	0.14	0.05	0.04	0.06	0.14	0.03
BaO	0.18	0.12	0.13	0.18	0.14	0.07	0.12	0.11	0.11	0.14	0.16	0.07
Total	98.40	99.90	98.90	98.10	99.89	99.40	99.90	100	98.8	100	98.30	99.80
Rb(ppm)	12	19.3	34.6	16.5	15.5	26.3	100.5	23.4	32.1	30.5	17.9	41.1
Sr	75.5	5.5	51.1	8.87	4.56	3.06	17.5	4.4	3.76	5.20	3.9	2.95
Y	2.05	25.6	17.1	21.2	2.06	26.9	1.83	22.4	17.7	18.0	28.8	1.5
Zr	17.6	2.06	1.06	1.81	1.83	2.22	1.19	1.99	1.14	1.37	2.58	0.7
Nb	12.4	1.28	1.01	1.48	9.6	2.08	9.2	1.42	8.7	9.1	1.27	0.9
Ba	158.0	100.0	111.7	157.0	112.5	58.9	1.50	9.9	9.28	11.7	14.5	64.1
Hf	4.2	5.1	2.7	3/4	4.2	6.2	3.	4.8	2.8	3.2	6.2	2.50
Pb	27	2.3	1.9	2.9	4.7	7.0	7.9	2.5	4.7	9.8	1.3	
Th	16.05	11.60	7.22	16.10	18.20	13.10	7.39	11.35	6.81	5.17	24.2	5.82
Ga	18.9	18.7	14.8	18.7	17.7	19.3	18.5	17.2	14.8	15.8	18.8	1.7
Zn	7.8	8.2	4.9	7.7	3.3	1.01	6.3	61	4.4	4.8	8.	3.8
Cu	1.02	8.8	19.4	9.8	5.4	1.7	8.	14.3	3.4	11.0	9.	21
Ni	<0.5	<0.5	<0.5	6	<0.5	<0.5	1.7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0
V	1.03	7.9	5.7	11.9	6.0	7.6	11.1	6.2	5.3	5.9	1.8	3.2
Cr	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0
Co	9.5	4.9	3.9	9.4	3.2	4.9	11.0	4.4	3.5	4.2	7.9	3
U	4.49	1.02	2.03	4.94	4.03	4.06	2.29	4.01	2.40	2.88	5.35	1.94
La	51.9	48.6	31.3	53.2	56.0	69.5	26.1	43.0	31.7	32.7	73.7	25.9
Ce	95.1	88.8	58.9	98.0	89.8	83.7	65.8	82.3	61.9	62.3	135.0	45.1
Pr	1.075	1.055	1.03	11.05	11.00	9.83	7.95	9.58	7.37	7.47	15.15	0.49
Nd	36.2	36.9	24.7	37.6	36.9	34.7	28.9	33.5	26.5	26.3	51.6	20.5
Sm	6.61	6.70	4.08	6.77	6.03	6.0	5.40	6.4	4.73	4.89	9.32	3.68
Eu	1.63	1.40	1.07	1.67	1.64	1.77	1.51	1.38	1.0	1.24	2.15	0.93
Gd	6.39	6.38	4.32	6.01	6.29	6.25	5.19	6.12	4.81	4.59	9.19	3.63
Tb	0.86	0.92	0.84	0.88	0.83	0.95	0.72	0.85	0.87	1.21	0.49	
Dy	4.20	4.20	3.30	4.33	4.11	5.11	3.70	5.05	3.42	3.46	5.91	2.80
Ho	0.81	1.01	0.66	0.84	0.79	1.06	0.74	0.95	0.70	0.72	0.16	0.52
Er	2.39	3.01	1.96	2.44	2.35	2.25	2.13	2.86	2.05	2.11	3.38	1.61
Tm	0.35	0.45	0.29	0.35	0.34	0.51	0.31	0.43	0.31	0.32	0.48	0.27
Tl	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Ta	0.8	0.9	0.7	0.9	0.7	1.4	0.6	0.9	0.6	0.8	0.9	0.80
Sn	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1.00
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
W	4	3	3	4	3	4	3	3	3	2	7	2.00
Cs	4.40	5.13	6.26	4.85	2.05	6.97	2.68	6.91	9.15	6.14	2.19	11.30
Mo	2	2	2	3	2	4	2	2	2<	2<	2	2.00
Yb	2.08	2.88	1.86	2.17	2.18	2.22	1.96	2.09	1.88	1.97	2.19	1.59
Lu	0.34	0.42	0.19	0.36	0.34	0.55	0.30	0.40	0.39	0.41	0.50	0.34
(La,Sm)n	3.79	3.74	3.86	5.86	3.66	3.89	3.67	3.66	4.40	4.70	4.30	4.33
(La,Yb)n	9.76	10.19	9.87	12.68	11.16	10.08	10.21	10.05	14.85	15.05	15.12	14.00
(Tb,Yb)n	1.35	1.46	1.31	1.21	1.05	1.39	1.51	1.46	1.72	1.82	1.75	1.61
Eu/Eu ⁺	0.87	0.77	0.77	0.80	0.84	0.88	0.88	0.79	0.76	0.77	0.75	0.70
TotalREE	21	14.09	114.75	226.5	16.071	194.57	147.2	149.0	226.1	228.1	219.61	211.94
Larsen I.	20.2	22.80	25.13	79.19	9.86	21.95	22.79	23.50	15.87	18.32	16.42	17.05



شکل ۶ الف- رده‌بندی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی در نمودار [۱۵] ب- تعیین سری مagmaی سنگ‌های منطقه با استفاده از نمودار [۱۶]
پ- رده‌بندی نفلین سینیت‌ها [۱۷].



شکل ۷ الگوی بهنجار شده نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی به کندریت [۱۸].

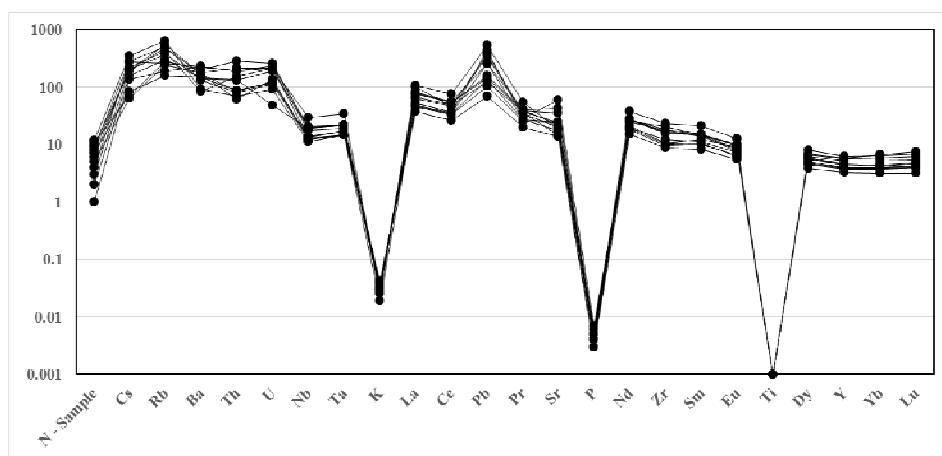
به فرورانش، گریزندگی بالای O_2 در منطقه‌ی فرورانشی است. وقتی گریزندگی اکسیژن بالا باشد دمای زیادتری لازم است تا فازهای حاوی Ti در گدازه‌های پتاس مشتق شده از منطقه‌ی فرورانش تخلیه شود [۲۲]. بنابراین تخلیه Ti صورت نگرفته و این عنصر بیهنجاری منفی نشان می‌دهد. به نظر [۲۳] آمفیبول کانی بسیار مناسبی برای نگهداری Nb و Ta در گوشته‌ی کانی‌شناسی برای نگهداری Nb و Ta در گوشته‌ی TNT می‌تواند با فرایند دگرنهادی گوشته باشد و بیهنجاری TNT منفی عنصر Ti و Nb را می‌توان جزء بیهنجاری منفی TNT به حساب آورد [۲۱]. دلیل تخلیه‌ی Ti در آمفیبول وابسته

به منظور تعیین خاستگاه نمونه‌های مورد بررسی داده‌های شیمیایی به گوشته‌ی اولیه از [۱۸] بهنجار شده‌اند (شکل ۸). بر اساس این نمودار بیهنجاری‌های مثبت مهم را می‌توان برای عناصر K و Pb و بیهنجاری‌های منفی مهم را برای عناصر Ti و Nb مشاهده کرد. این غنی شدگی در سنگ‌های منطقه می‌تواند در ارتباط با فرایند دگرنهادی گوشته باشد و بیهنجاری TNT منفی عنصر Ti و Nb را می‌توان جزء بیهنجاری منفی TNT به حساب آورد [۲۱]. دلیل تخلیه‌ی Ti در آمفیبول وابسته

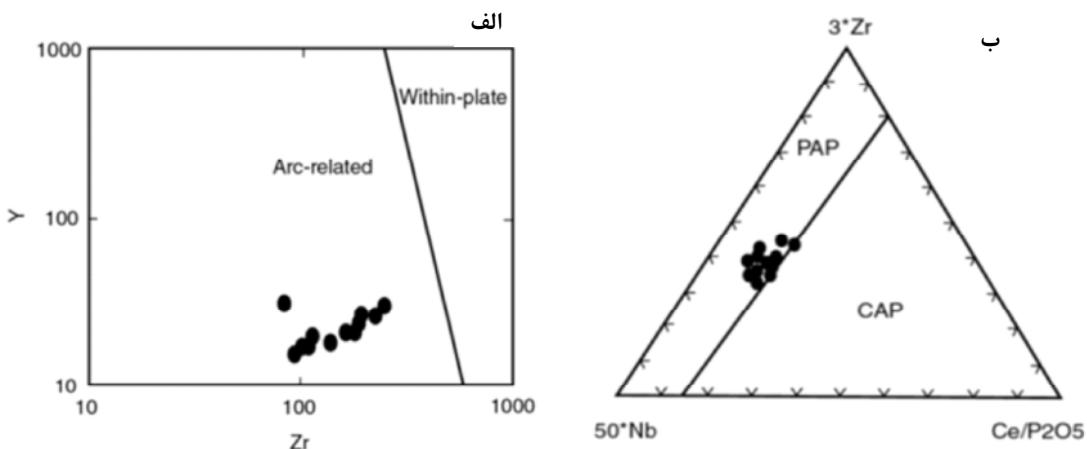
اینکه الگوهای چند عنصری منطقه مورد بررسی با الگوهای چند عنصری دو منطقه Elchuru و Namibia تفاوت دارد، بنابراین محیط زمین ساختی منطقه مورد بررسی به احتمال زیاد نمی‌تواند یک محیط وابسته به ریفت یا نقطه‌ی داغ باشد. در مجموع با در نظر گرفتن مباحث فوق به نظر می‌رسد که گوشته‌ی لیتوسفری دگرنهاد شده به وسیله‌ی شاره‌های حاصل از لیتوسفر فرورونده باعث به وجود آمدن ماجمای سازنده‌ی سنگ‌های مورد بررسی شده است.

علاوه بر بررسی محیط تکتونوماگمایی به وسیله‌ی نمودارهای عنکبوتی و الگوهای عناصر نادر خاکی با نمودارهای دوتایی و سه‌تایی نیز می‌توان به تفسیر سنگزایی محیط زمین ساختی پرداخت. بدین منظور برای تعیین محیط زمین ساختی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی از نمودار Y [۳۶] نسبت به Zr استفاده شد. چنانکه در شکل (الف) [۳۶] مشاهده می‌شود نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی وابسته به کمان قرار می‌گیرند. برای تعیین اینکه سنگ‌های منطقه مورد بررسی در چه نوع کمان آتشفشاری (کمان قاره‌ای یا کمان بعد از برخورد) تشکیل شده‌اند از نمودار مثلثی $\text{Nb}-\text{Zr}-\text{Ce}/\text{P}_2\text{O}_5$ استفاده شد. بر اساس این نمودار سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی در محدوده‌ی کمان پس از برخورد واقع می‌شوند (شکل ۹ب). انباست بالای این عناصر، ویژه‌ی سنگ‌های قلیایی دور از فرورانش، (از نظر مکانی و زمانی) است و بیشتر خصوصیات محیط‌های زمین ساختی مرتبط با کشش است. برای مثال در سینیت‌های Namibia انباست این عناصر بالاست، که یک محیط وابسته به کشش دور از فرورانش را برای آن منطقه‌ی در نظر گرفتند [۲۵]. نمونه‌های منطقه مورد بررسی مقادیر پایین ($97-258 \text{ ppm}$) و $\text{Zr} (20-8 \text{ ppm})$ دارند، و بنابراین به محیط‌های با فرورانش و پس از برخورد وابسته‌اند. ماجمای قلیایی که در زون فرورانش جایگیری کرده‌اند نسبت‌های Ba/Nb و La/Nb بالاتری دارند ($\text{La}/\text{Nb}=3-12$) و ($\text{Ba}/\text{Nb}>20$). این نسبت برای نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی بالاست [۳۷-۳۹]. به عقیده‌ی بیشتر پژوهشگران، فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نفوذیتیس از اواخر تریاس آغاز شده و در کرتاسه پایانی تا پالئوسن به پایان رسیده است [۴۰]. فرورانش این پوسته‌ی اقیانوسی و کشانده شدن آن به اعمق موجب شد تا شاره‌های غنی از آب و مواد فرار (که حاوی عناصر ناسازگار فراوانی هستند) آزاد شده و گوشته‌ی

الگوهای چند عنصری بهنجار مناطق زیر با الگوی منطقه مورد بررسی مقایسه شده‌اند، این مناطق عبارتند از: شمال‌غرب (Zijinshan alkaline intrusive complex)، ترکیه (توده‌های نفوذی مرتبط با برخورد آناتولی مرکزی) [۲۵]، جنوب شرق هند [۲۶] و شمالی‌ترین قسمت کمربند damara province) [۲۷] نامibia. [۲۸] یک مدل قوس قاره‌ای (continental arc) را برای شرق چین (توده قلیایی Zijinshan) پیشنهاد کرده است که صفحه پالشو-پاسیفیک به زیر شرق قاره آسیا فرورانش کرده و بخش شرقی (North China Craton) NCC را به حاشیه فعال قاره‌ای تبدیل کرده است. همه‌ی ماجماییسم مزوژوئیک در یک محیط کششی پشت قوس گستررش یافته‌اند. الگوهای چند عنصری بهنجار شده به گوشته‌ی اولیه نفلین سینیت‌های ایالت Prakasam در Elchuru و Nb مثبت و قلیایی در Prakasam منفی Ti, Ba و Sr نشان می‌دهند. غنی‌شدگی Ta و و بیهنجاری منفی Ba و Sr بحث فرایندهای وابسته به فرورانش را در شکل گیریشان، رد می‌کند [۳۰, ۲۹] و دلیل آن‌ها این است که سنگ‌های قلیایی در چنین محیط‌هایی، منتهی به داشتن بیهنجاری‌های منفی Nb و Ta می‌شود [۳۱]. الگوهای چند عنصری از سنگ‌های محیط‌های زمین ساختی وابسته به شکافت یا نقطه‌داغ، مانند سینیت‌های Reunion [۳۲] از تراکیت‌های کنیا [۳۳] و بازالت‌های قلیایی ویکتوریا [۳۴] از Ta و Nb غنی شده هستند [۳۵]، که پیشنهاد یک محیط وابسته به ریفت یا نقطه داغ را برای ماجماییسم قلیایی در Elchuru می‌کند [۲۶]. الگوی چند عنصری بهنجار شده به گوشته‌ی اولیه نفلین سینیت‌های Namibia دارای تهی شدگی ملایم در Pb, Rb و Th نسبت به Ba و U است. همچنین آن‌ها تهی شدگی نسبی در P و Ti، اما غنی‌شدگی نسبی در Nb و Zr نشان می‌دهند که یک محیط وابسته به ریفت (محیط وابسته به کشش دور از فرورانش) برای این منطقه پیشنهاد شده است [۲۵]. سینیت‌های Namibia نیز در یک محیط وابسته به ریفت می‌باشند. در مقایسه‌ای که صورت گرفته است، الگوی پراکنندگی عناصر ناسازگار سنگ‌های منطقه‌های شمال‌غرب چین و ترکیه مشابه با منطقه مورد بررسی می‌باشد و بنابراین احتمالاً بیانگر منشاء مشابه سه منطقه یعنی گوشته لیتوسفری دگرنهاد شده به وسیله‌ی شاره‌های حاصل از فرورانش لیتوسفر است. همچنین با توجه به



شکل ۸ الگوی بهنجار شده نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی به گوشته اولیه [۱۸].



شکل ۹ а)- نمودار تعیین محیط زمین ساختی، Y-Zr [۳۶] ب)- نمودار متمايز کمن‌های بعد از برخورد (PAP) از کمن‌های قاره‌ای [۳۶] (CAP).

کلینو پیروکسن در سنگ‌های منطقه اوزیت و دیوپسید بودند. بر اساس سنگ نگاری و شیمی کانی کلینوپیروکسن و شیمی سنگ کل، ماهیت مagmaی سنگ‌های مورد بررسی قلیایی پتاسیم بالا است. با توجه به وجود کانی‌های شاخص چون بیوتیت و آپاتیت در سنگ‌های مورد بررسی فوئیدسینیت‌های مورد بررسی جزء انواع میاشکایتیک محسوب می‌شوند. آنالسیم‌های موجود در سنگ‌های مورد بررسی بیشتر ویژگی سنگ نگاری انواع ثانویه را نشان می‌دهند و به احتمال زیاد از تجزیه لوسیت‌های تبلور یافته در مراحل آغازین تبلور، حاصل شده‌اند. نتایج XRD وجود کانی‌هایی مثل نفلین، آنالسیم، ناترولیت و فلدسپار باریم‌دار یعنی سلزین را در سنگ‌های منطقه نشان می‌دهد. احتمال می‌رود غنی‌شدگی باریم در

لیتوسفری بالایی خود را تحت تأثیر دگرنهادی قرار دهند. با باز شدن دریایی سرخ و ادامه‌ی فشار بر زون برخوردی ضخیم شدگی پوسته در نواحی ایران مرکزی رخ داده است. به نظر [۴۱] این ضخیم شدگی پوسته‌ای باعث بالا آمدن منحنی‌های زمین گرمایی در منطقه شده و گوشته‌ی دگرنهاد شده آباده ذوب می‌شود. آشفتگی گرمایی لیتوسفر دگرنهاد شده در اثر لایه لایه شدن (Delamination) لایه‌ی مرز گرمایی و یا جدا شدن صفحه‌ی فرورانده شده، سازوکار احتمالی شروع مagmaتیسم پس از برخورد است.

برداشت

براساس ردبهندی شیمیایی سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی نفلین‌سینیت، سینیت و سینودیوریت قرار می‌گیرند. ترکیب

- [۸] اشرفی ن، "بررسیهای پترولوزیکی و ژئوشیمیایی توده نفوذی رزگاه (سراب - آذربایجانشرقی)، شمالغرب ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم طبیعی. دانشگاه تبریز. ۱۳۸۷ ص (۱۳۸۳).
- [۹] شهریار و، "بررسیهای پترولوزیکی و پتروگرافی توده نفوذی برقوش"، جنوب سراب. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم طبیعی. دانشگاه تبریز. ۱۰۷ ص (۱۳۸۴).
- [۱۰] اشرفی ن، "کانی شناسی، سنگ شناسی و ژئوشیمی فوئیدسینیت های آذربایجانشرقی، شمال غرب ایران". پایان نامه دکتری دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، ۱۹۰ ص (۱۳۸۸).
- [۱۱] عبدالی ل، "پترولوزیکی و ژئوشیمی توده های آذرین فلدسپاتوئیددار غرب برقوش (عباس آباد - باشکند)", جنوب غرب سراب. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم طبیعی. دانشگاه تبریز. ۱۱۲ ص (۱۳۸۶).
- [12] Streckeisen A, Le Maitre RW. "A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks", Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen 136, (1979) 169–206.
- [13] Morimoto N., Fabrise J., Ferguson A., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F. A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G., "Nomenclature of pyroxene", Mineralogical Magazine 52 (1988) 535-555.
- [14] Leterrier J., Maury R. C., Thonon P., Girard D., Marchal M., "Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series", Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 139-154.
- [15] LeMaitre R. W., ed. "A classification of Geological sciences subcommission on the systematics of igneous rocks", Blackwell Scientific Publications, Oxford, Great Britain, 193 pp (1989).
- [16] Irvine T. N., Baragar W. R., "Aguide to the chemical classification of the commn Volcanic Rocks", Canadian Journal of Earth Sciences. 8, p. 523- 546 (1971).
- [17] Ussing N. V., "Geology of the country around Julianehaab Greenland.MeddrGronland", 38 (1912) 1-376.
- [18] Sun S.S., McDonough W. F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts, implications for mantle composition and processes", Geological

مراحل انتهایی تفریق موجب تشکیل فلدسپارهای باریم دار در این سنگها شده باشد. نمودارهای عنکبوتی و الگوهای REE سنگهای منطقه، یک محیط زمین ساختی وابسته به فرورانش را برای سنگهای منطقه ای مورد بررسی نشان می دهد. غنی - شدگی سنگهای مورد بررسی در عناصر ناسازگاری چون Ba, Rb و Th, U, K می تواند در ارتباط با فرایند دگرنهادی گوشه است. با این وجود، بیهنجاری منفی Ti, Nb, Ta در نمونه های مورد بررسی و با توجه به فرورانش در منطقه (فرورانش نئوتیس) به احتمال زیاد غنی شدگی از عناصر ناسازگار حاصل تأثیر فرورانش بر منابع گوشه ای است.

مراجع

- [1] Alavi M., "Tectonic Map of the Middle East", 1:5000000. Geological Survey of Iran (1991).
- [۲] نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ترکمنچای-قره چمن، سازمان زمین شناسی کشور.
- [3] Stocklin J., "Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia", Memoir Hors Service Society Geologique France, N.8 (1977) 333-353.
- [۴] لطفی م، "بررسی های زمین شناسی و پترولوزیکی منطقه شمال - شمال شرق میانه (آذربایجان خاوری)", پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم طبیعی. دانشگاه تهران (۱۳۵۴).
- [۵] باباخانی ع، "مطالعه پتروگرافی و ژئوشیمی نفلین سینیتها و فنولیتیهای شمال آذربایجان"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم طبیعی. دانشگاه تهران (۱۳۶۰).
- [۶] افتخارنژاد ج، باباخانی ع، "حسین خان ناظر ن، "عملیات اکتشافی توده های نفلین سینیتی بزرگوش - رزگاه به عنوان ماده اولیه آلومینیا، شیشه و سرامیک، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۶۷).
- [۷] باباخانی ع، امینی آذر ر، "گزارش عملیات اکتشافی بر روی توده نفلین سینیتی کلیبر به عنوان ماده اولیه تولید آلومینیا، شیشه، سرامیک و سنگهای تزئینی و نما، سازمان زمین شناسی کشور، شرکت توسعه علوم زمین (۱۳۷۳).

- isotope constraints for mantle sources and petrogenesis. *Lithos*, 96 (2007) 415-435.
- [28] Chen B., Jahn B. M., Arakawa Y., Zhai M. G., "Petrogenesis of the Mesozoic intrusive complexes from the southern Taihang Orogen, North China Craton: elemental and Sr-Nd-Pb isotopic constraints", *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 148 (2004) 489-501.
- [29] Rogers N. W., Hawkesworth C. J., Parker R. J., Marsh J. S., "The geochemistry of potassic lavas from Vulsini", central Italy and implications for mantle enrichment processes beneath the Roman region. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 90 (1985) 244-257.
- [30] Nelson D. R., McCulloch M. T., "Enriched mantle components and mantle recycling of sediments. In: Ross", J. (Ed.), Kimberlites and related rocks. Vol 1. Their Composition, Occurrence, Origin and Emplacement. Geological Society of Australia Special Publication, vol. 14 (1989) pp. 560-570.
- [31] Zhao J. X., Shiraishi K., Ellis D. J., Sheraton J. W., "Geochemical and isotopic studies of syenites from the Yamato Mountains", East Antarctica: implications for the origin of syenite magmas. *Geochimica Cosmochimica Acta* 59 (1995) 1363-1382.
- [32] Fisk M. R., Upton B. G. J., Ford C. E., "Geochemical and experimental study of the genesis of magma of Reunion Island, Indian Ocean", *Journal of Geophysical Research* .93 (1988) 4933-4950.
- [33] Baker B. H., "Outline of the petrology of the Kenya Rift alkaline province. In: Fitton, G. G., Upton, B. G. J. (Eds.)", Alkaline Igneous Rocks. Geological Society Special Publication, vol. 30, (1987) pp. 293-311.
- [34] McDonough W. F., McCulloch M. T., Sun S. S., "Isotopic and geochemical systematic in Tertiary-Recent basalts from southeastern Australia and implications for the evolution of the subcontinental lithosphere", *Geochim. Cosmochim. Acta* , 49 (1985) 2051-2067.
- [35] Menzies M., "Alkaline rocks and their inclusions: a window on the Earth's interior", Society, London, Special Publications 42 (1) (1989) 313-345.
- [19] Jung S., Hoffer E., Hoernes S., "Neo-Proterozoic rift-related syenites (North Damara Belt, Namibia): Geochemical and Nd-Sr-PB-O isotope constraints for mantle sources and petrogenesis", *Lithos*, 96 (2007) 415-435.
- [20] Ying J., Zhang H., Sun M., Tang Y., Zhou X., Liu X., "Petrology and geochemistry of Zijinshan alkaline intrusive complex in Shanxi Province", western North China Craton: Implication for magma mixing of different sources in an extensional regime. *Lithos*, 01566 (2007) 1-22.
- [21] Soesoo A., "Fraction crystallization of mantle derived melt as a mechanism for some I-Type granite petrogenesis: An example from Iachlan fold belts", Australia. *Journal of the Geological Society, London*. Vol. 157 (2000) 135-149 pp.
- [22] Edward C.M.H., Menzies M.A., Thirlwall M.F., Morrid J.D., Leeman W.P., Harmon R.S., "The transition to potassic alkaline volcanism in island arcs: the Ringgite-Beser Complex", East Java, Indonesia, *Journal of Petrology*, Vol. 35, No. 6, (1994) 12. p. 1557-1595.
- [23] Ionov D.A., Hofmann A.W., "Nb-Ta rich mantle amphiboles and micas: implication for subduction-related metasomatic trace element fractionations", *Earth Planet SciLett.* 131 (1995) 341-356.
- [24] Ying J., Zhang H., Sun M., Tang Y., Zhou X., Liu X., "Petrology and geochemistry of Zijinshan alkaline intrusive complex in Shanxi Province", western North China Craton: Implication for magma mixing of different sources in an extensional regime. *Lithos*, 01566 (2007) 1-22.
- [25] Ilbeyli N., Pearce J. A., Thirlwall J. G., Mitchell J. G., "Petrogenesis of collision-related plutonics in Central Anatolia", Turkey. *Lithos*, 72 (2004) 163-182.
- [26] Upadhyay D., Raith M. M., Mezger K., Hammerschmidt, "Mesoproterozoic rift-related alkaline magmatism at Elchuru", prakasam Alkaline Province, SE India, *Lithos*, 89 (2006) 447-477.
- [27] Jung S., Hoffer E., Hoernes S., "Neo-Proterozoic rift-related syenites (North Damara Belt", Namibia): Geochemical and Nd-Sr-PB-O

- [39] Thompson R. N., Fowler M.B., "Subduction-related shoshonitic and ultrapotasssic magmatism: a study of Siluro-Ordovician syenites from the Scottish Caledonides", Contributions to Mineralogy and Petrology, 94 (1986) 507–22.
- [40] Berberian M., King G.C.P., "Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal of Earth Science 18 (1981) 210–265.
- [41] Peccerillo A., "Potassic and ultrapotasssic rocks: Compositional characteristics", petrogenesis and geologic significance; IUGS Episodes 15 (1992) 243–251.
- Geological Society, London, Special Publications, v.30; p15-27.
- [36] Muller D., Groves D.I., Potasssic igneous rocks and associated Gold- Copper Mineralization. Secod Updated and Enlarged Edition, Springer (1997) 238 pp.
- [37] Fowler M. B., "Elemental and O-Sr-Nd isotope geochemistry of the Glen Dessarysyenite", NW Scotland. Journal of the Geological Society 149 (1992) 209-220.
- [38] Thirlwall M. F., Burnard P., "Pb-Sr-Nd isotope and chemical study of the origin of undersaturated and oversaturated shoshonitic magmas from the Borralan pluton", Assynt, NW Scotland. Journal of the Geological Society.147 (1990) 259-269.