



## ژئوشیمی و سنگ شناسی سنگ های آتشفشانی کانسار مس ماهر، شمال غرب نهبندان (شرق ایران)

مرتضی اسفرم<sup>۱\*</sup>، حبیب بیابانگرد<sup>۱</sup>، محمد بومری<sup>۱</sup>، محمد حسین زرین کوب<sup>۲</sup>، محمد مهران<sup>۱</sup>، وحید ابراهیمی<sup>۳</sup>

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

۳- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۸۹/۱۱/۵، نسخه نهایی: ۹۰/۳/۱۰)

**چکیده:** منطقه مورد بررسی در استان خراسان جنوبی در ۱۳۰ کیلومتری شمال غربی نهبندان واقع شده است و بخشی از چهارگوش چاهوک (دهسلم) است. از نظر سنگ شناسی، شامل داسیت، ریوداسیت، آندزیت، ریولیت، توف و لیتیک توف با سن ائوسن شناسایی شد. از نظر کانی شناسی سنگ های یاد شده دارای پلاژیوکلاز، کوارتز، پیروکسن، آمفیبول، بیوتیت و فلدسپات قلیایی هستند. پلاژیوکلازها دارای ساخت منطقه ای و آمفیبول ها دارای حاشیه ی سوخته اند که این پدیده نشانه دمای زیاد ماگمای سازنده ی آنها است. بر اساس رده بندی شیمیایی، سنگ های مورد بررسی از آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، ریولیت، داسیت و ریوداسیت تشکیل شده اند. بر اساس نمودارهای سنگ شناسی، سری ماگمایی سنگ های مورد بررسی دارای ماهیت آهکی- قلیایی پرپتاسیم است، نیز با استفاده از نمودارهای جداکننده ی محیط زمین ساختی، سنگ های آتشفشانی مورد نظر در نواحی فرورانشی قرار گرفته اند. بیهنجاری منفی عناصر Nb، P و Ti و بیهنجاری مثبت Pb و K در این سنگ ها نشان دهنده ی تشابه سرشتی های شیمیایی این سنگ ها با ماگماتیسیم قوس های آتشفشانی است.

**واژه های کلیدی:** نهبندان، کانسار مس ماهر، آهکی- قلیایی، فرورانش، قوس آتشفشانی.

### مقدمه

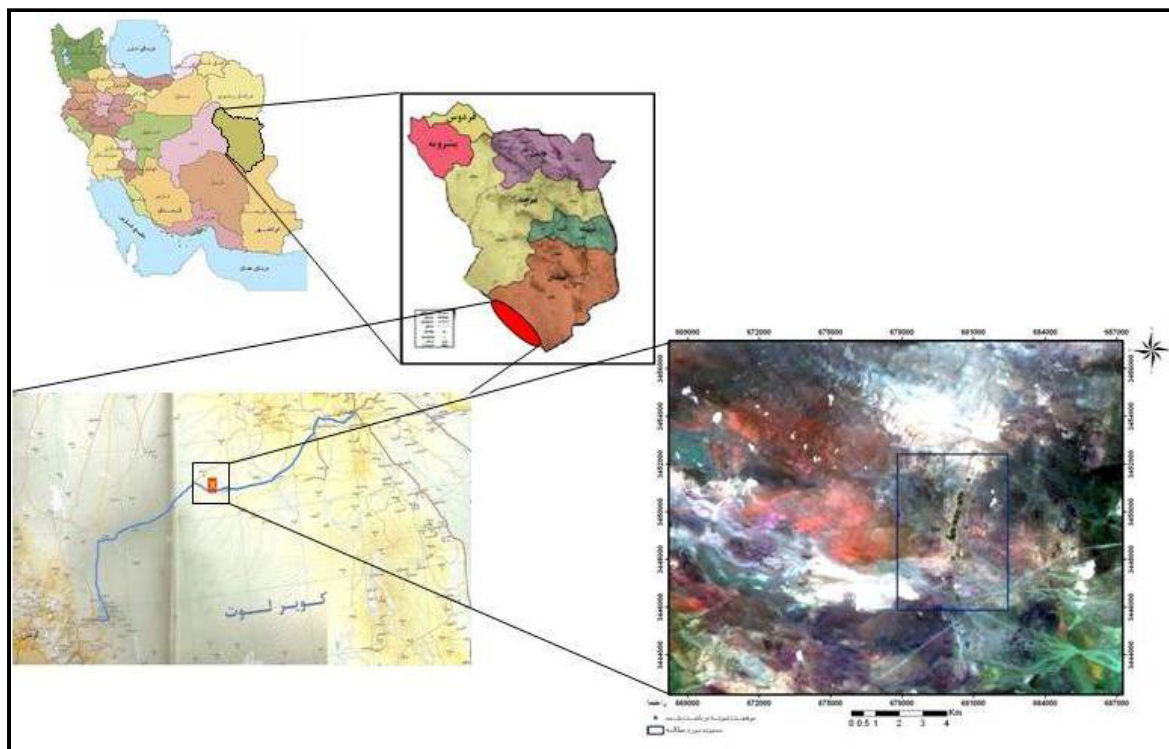
درون زون آتشفشانی ترشیری آن قرار دارد. فعالیت های ماگمایی لوت از ژوراسیک آغاز شده و در کرتاسه ادامه داشته و در ترشیاری به اوج خود رسیده است، به طوریکه سنگ های آتشفشانی ترشیاری، به ویژه ائوسن با ضخامت حدود ۲۰۰۰ متر، بیش از نیمی از بلوک لوت را می پوشانند [۳]. هدف از این پژوهش تعیین ژئوشیمی، سری ماگمایی و موقعیت زمین ساختی سنگ های آذرین میزبان کانسار مس ماهر است.

### روش بررسی

پس از جمع آوری و بررسی اطلاعات، گزارش ها و نقشه های مربوط به منطقه، بررسی های صحرایی و آزمایشگاهی در غالب

دوران سنوزوئیک در ایران، دوران اوج فعالیت های ماگمایی به ویژه فعالیت های آتشفشانی بوده است که محصول این فعالیت ها سنگ های آتشفشانی و آذرآواری فراوان در مناطق مختلف ایران است [۱]. فعالیت آتشفشانی ائوسن، یکی از مهمترین پدیده های زمین شناسی ایران در زمان ائوسن است که آثار آن در اغلب مناطق ایران غیر از زاگرس چین خورده و کپه داغ، به چشم می خورد [۲]. منطقه ی مورد بررسی در استان خراسان جنوبی در ۱۳۰ کیلومتری شمال غربی نهبندان واقع شده است (شکل ۱). که در رده بندی های زمین شناسی در زون لوت و در

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۲۵۲۹۷۳۷، نمابر: ۴۲۲۵۳۸۴ (۰۳۵۳)، پست الکترونیکی: Morteza.sform1@gmail.com



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی.

موارد زیر انجام گرفت:

- ۱- بررسی‌های صحرایی برای نمونه‌برداری و جمع‌آوری شواهد زمین‌شناختی، به تعداد ۲۰۰ نمونه‌ی سنگی و کانسنگ از تمام گستره‌ی معدن مورد نظر.
- ۲- تهیه‌ی مقاطع نازک برای بررسی بافت‌ها و کانی‌ها.
- ۳- ارسال ۱۱ نمونه از نمونه‌های سنگی نادگرسان یا دارای دگرسانی کم برای تجزیه شیمیایی به روش XRF به مشهد و نیز آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود.
- ۴- استفاده از نتایج آنالیز ICP-AES و ICP-MS انجام شده روی نمونه‌های مورد بررسی.
- ۵- ترسیم نمودارهای مختلف سنگ‌شناسی با استفاده از نرم-افزارهای Icpet، Minpet و GCDkit به منظور تعیین سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی منطقه‌ی مورد بررسی.

#### بحث و بررسی

##### زمین شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی طول‌های جغرافیایی شرقی  $58^{\circ}30'$  تا  $59^{\circ}31'$  و عرض‌های جغرافیایی شمالی  $30^{\circ}00'$  تا  $31^{\circ}45'$  قرار گرفته و بخشی از چهارگوش چاهوک (دهسلم)

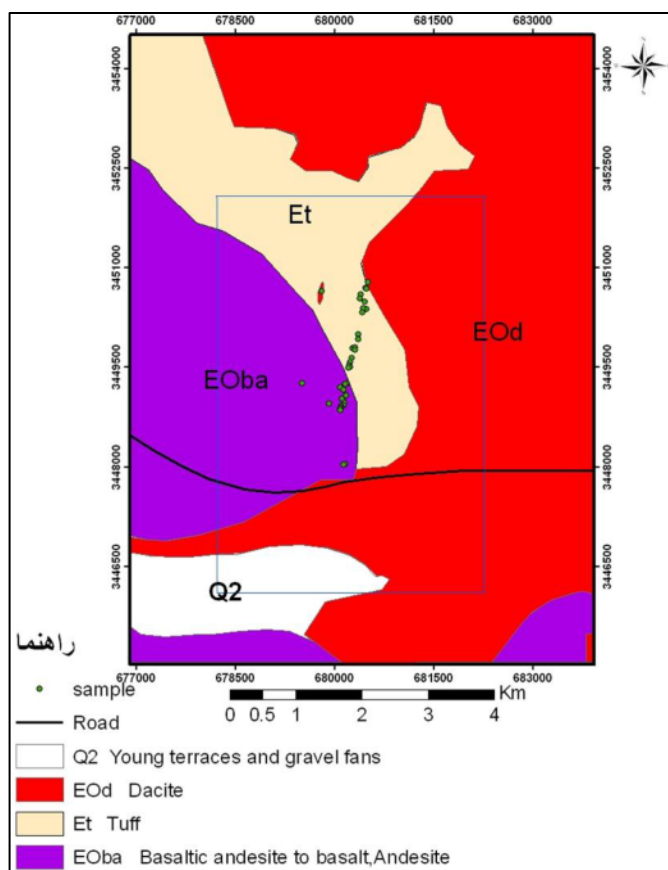
است. اولین بار اشتوکلین (۱۹۶۸) بلوک لوت را به عنوان یکی از ۹ زون ساختاری ایران در شرق ایران، معرفی کرد، و معتقد است که مرز شرقی لوت، گسل نهپندان، مرز غربی آن گسل نایبند، مرز شمالی آن گسل درونه و مرز جنوبی آن فروافتادگی جازموریان است [۴]. بلوک لوت با یک روند شمالی-جنوبی به درازای حدود ۹۰۰ کیلومتر و عرض حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر شرقی‌ترین بخش خرد قاره‌ی ایران مرکزی است [۳]. امامی (۱۳۷۹) در یک جمع‌بندی کلی سنگ‌های آتشفشانی بلوک لوت را به دو بخش کهن و جوان جدا کرد: الف) سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن (الیگوسن-میوسن) که بیشتر متمایل به اسیدی-حدواسط بوده و شامل سنگ‌های ریولیتی تا آندزیتی است. ب) سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن (پالئوسن) که کم و بیش بازیک و غالباً از نوع بازالتی هستند [۵]. این ماگماتیسم، به طور مشخص محدود به گسل‌ها و شکستگی‌های محدود کننده ی بلوک لوت است.

##### سنگ شناسی

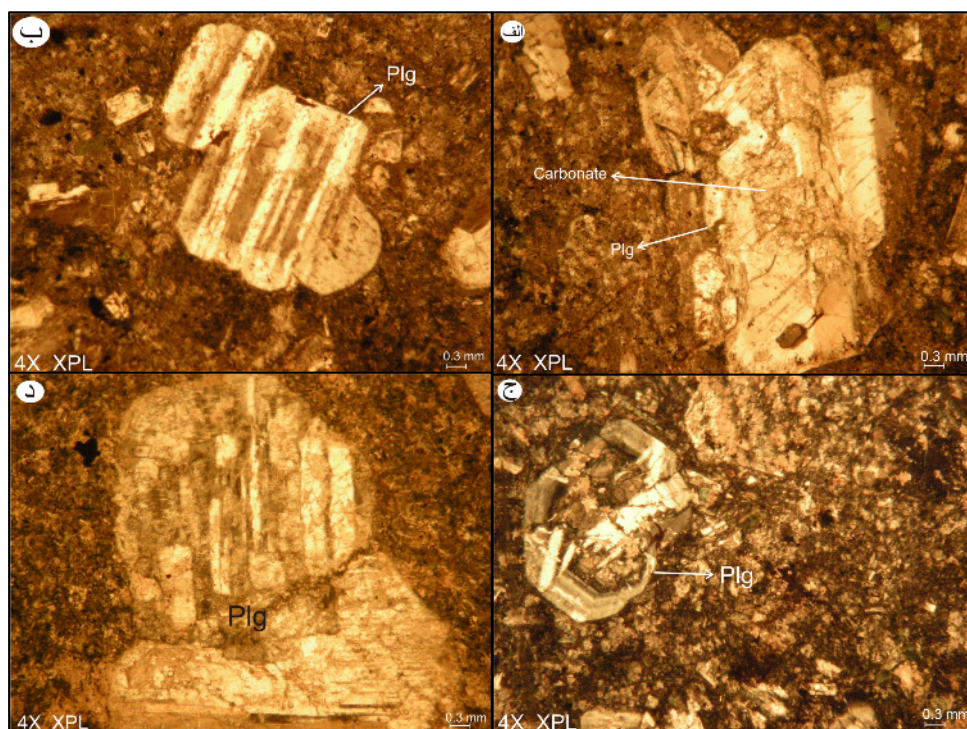
نهشته‌های منطقه ی مورد بررسی به طور کلی به پس از ائوسن تعلق داشته و سنگ‌های قدیمی‌تر از ائوسن در گستره‌ی مورد

بررسی برونزد ندارد [۶]. واحدهای موجود در گستره‌ی معدن مس ماهور به شرح زیرند (شکل ۲): واحد ( $EO^{ba}$ )؛ این مجموعه بصورت مناطقی که با شکل حلقوی سطح زمین را با سنگ‌هایی به رنگ سیاه پوشانیده‌اند، و شامل آندزیت‌بازالت و بازالت به رنگ خاکستری تیره تا سیاه، قابل تفکیک است. این واحد سنگی در بخش غربی این گستره گسترش دارد. واحد ( $E^1$ ): این واحد سنگی شامل توف، بیشتر با ترکیب حدواسط تا اسیدی به رنگ سبز و خاکستری، گدازه‌های داسیتی، گدازه‌های آندزیتی، توف و سنگ‌های آتشفشانی، توف جریانی و ماسه سنگ است که توف یاد شده بیشتر از توف لیتیک تشکیل شده است و در سطح به صورت برشی، سیلیسی و پیریتی شده دیده می‌شود. واحد ( $EO^d$ ): این واحد سنگی که با رنگ روشن خود بیشترین گسترش را در گستره‌ی پی جویی به نمایش می‌گذارد. بخشهای گسترده‌ای از شرق وجنوب و جنوب شرقی گستره را فرا گرفته است از جمله سنگ‌های دیده شده در این واحد می‌توان به داسیت و ریوداسیت‌های حاوی پیریت اشاره کرد که با رنگ روشن خود به خوبی قابل تفکیک است. روراندگی‌های آبرفتی جوان ( $Q^{12}$ ): نهشته‌های آبرفتی جوان شامل ماسه، سیلت و رس هستند، که سن این واحد با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ چاهوک، کواترنر است و بیشترین گسترش را در بخش جنوب غربی این گستره دارد. این مجموعه ی آتشفشانی بیشتر تحت تاثیر دگرسانی-های کربناتی، سریستیک، سیلیسی، پروپیلیتیک و آرژیلیک قرار گرفته‌اند. بافت‌های مهم در این سنگ‌ها پورفیری، دانه‌ای تا ریز دانه‌ای، برشی، کلوform، موزائیکی و ویتروکلاستیک‌اند. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها عبارتند از: (۱) پلاژیوکلاز: در مقاطع میکروسکوپی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به عنوان یکی از فراوان‌ترین کانی‌های موجود در این سنگ-هاست که در بیشتر مواقع تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته و به کربنات، سریست، اپیدوت و کانی‌های رسی تبدیل شده است (شکل ۳ الف). پلاژیوکلاز در انواع نمونه‌های آندزیتی بیش از ۵۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده و سالم مانده و تحت تاثیر دگرسانی قرار نگرفته‌اند. بلورهای پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دارند و دارای ماکل پلی‌سنتتیک (شکل ۳ ب)، بافت غربالی (شکل ۳ الف) و منطقه‌بندی (شکل ۳ پ) هستند. در حاشیه تعدادی از پلاژیوکلازها حالت غبار آلودگی دیده می‌شود (شکل ۳ ت)، که این حالت به احتمال ناشی از اختلاط ماگمایی است. زمینه‌ی ریز بلوری شامل بلورهای ریز

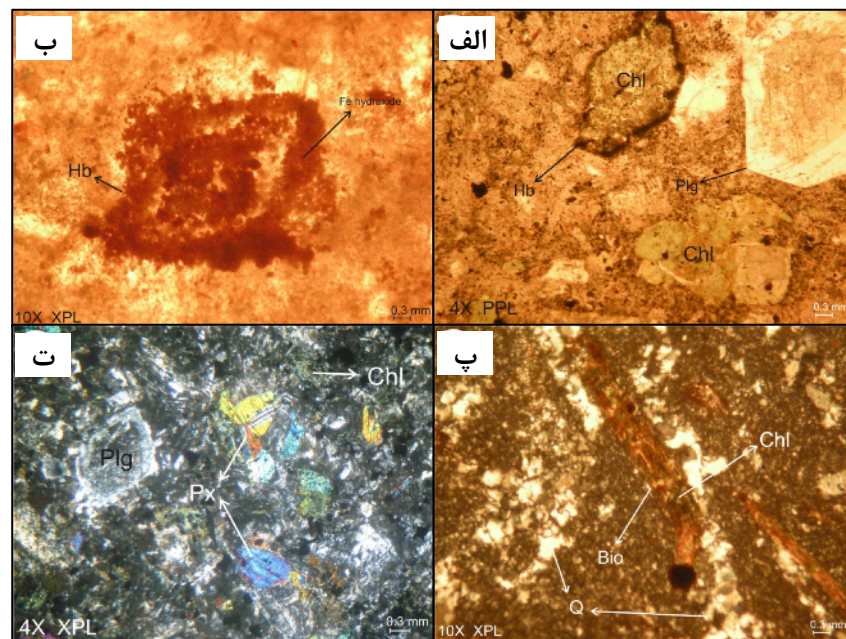
پلاژیوکلاز است، که این اختلاف زیاد و ناگهانی بین اندازه‌ی دانه‌های فنوکریست و زمینه را نتیجه تبلور دومرحله‌ای می‌دانند، که کانی‌های درشت بلور به صورت اولیه در عمق تشکیل شده و معرف مراحل اولیه‌ی تبلورند، در صورتی که ریز بلورهای خمیره در نتیجه انتقال ناگهانی مخلوط بلور و گدازه به بخش‌های بالایی پوسته زمین شکل گرفته‌اند. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه‌ی ریز دانه سبب ایجاد بافت پورفیری شده است. (۲) کوارتز: این کانی هم به صورت ریزدانه و هم درشت دانه دیده شده و در نمونه‌های داسیتی از درصد بیشتری برخوردار است، کوارتز در منطقه ی مورد بررسی هم به صورت رگه-رگچه و همزمان با کانی‌سازی و هم به شکل ثانویه دیده می‌شوند. رگه‌های فراوانی از کوارتز در نمونه وجود دارند که ثانویه‌اند. کوارتز در ابعاد ریز بلورین تا بلورهایی با ابعاد ۳۰۰ میکرون دیده می‌شوند. انواع درشت‌تر کوارتز خودریخت هستند و بلورهای نسبتاً خودشکل کوارتز به صورت رگچه‌هایی دیده می‌شوند که حاصل به دنبال هم قرار گرفتن دانه‌های کوارتز است. (۳) کانی‌های تیره: این کانی‌ها حدود ۲۰-۵ درصد حجمی کانی‌ها را تشکیل می‌دهند. در بعضی نمونه‌های مورد بررسی، بیوتیت‌های مشاهده شده اولیه اند و برخی از این بیوتیت‌ها تا اندازه‌ای کلریتی شده‌اند (شکل ۴ پ). پلاژیوکلاز به وسیله‌ی بیوتیت و کانی‌های تیره جانشین شده است، و آمفیبول‌ها نیز با حاشیه‌های سوخته دیده می‌شوند، که مشاهده سوختگی در هورنبلند و بالا بودن  $PH_2O$  در پایان روند بلوری شدن، بالا بودن  $fO_2$  هنگام بیرون‌ریزی گدازه را نشان می‌دهد. حاشیه‌ی سوخته هورنبلند حاکی از دمای زیاد ماگمای سازنده‌ی سنگ‌های آتشفشانی هنگام خروج است (شکل ۴ الف). اکسایش بیوتیت و هورنبلند به اکسیدهای آهن هنگام بیرون‌ریزی گدازه مشاهده می‌شود (شکل ۴ ب)، و کلریتی‌شدن فازهای مافیک نظیر بیوتیت، آمفیبول نیز در سنگ‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۴ پ، ۴ الف). پیروکسن‌های مشاهده شده در سنگ‌های منطقه نیز به صورت فنوکریست و گاهی ریز دانه‌اند بطوریکه در پیروکسن آندزیت‌ها تا ۱۵-۱۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۴ ت). (۴) کانی-های ثانویه: کانی‌هایی از قبیل سریست، کانی‌های رسی، کلسیت، کلریت، اپیدوت و کوارتز ثانویه در این سنگ‌ها مشاهده می‌شوند که حاصل دگرسانی کانی‌هایی چون پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت‌اند.



شکل ۲ موقعیت نمونه‌های برداشت شده و واحدهای سنگی منطقه‌ی کانسار مس ماهور.



شکل ۳ بلورهای پلاژیوکلاز با بافت غربالی و کربناتی شدن آن (الف)، بافت پلی سنتتیک (ب)، منطقه‌بندی در بلور پلاژیوکلاز (ج) و حاشیه‌ی غبار آلود اطراف بلور پلاژیوکلاز (د).



شکل ۴ بلورهای هورنبلند با حاشیه‌ی سوخته و کلریتی شدن آن (الف)، اکسایش هورنبلند به اکسید آهن (ب)، کلریتی شدن بیوتیت (پ) و بلور پیروکسن (ت).

#### ژئوشیمی

به منظور تعیین دقیق نوع سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی، پس از بررسی‌های میکروسکوپی و شناسایی کانی‌ها از رده‌بندی شیمیایی نیز استفاده شد، بدین منظور سعی شد تا نمونه‌های انتخاب شده سالم و کمتر دگرسان شده باشند، نتایج حاصل از تجزیه ی ژئوشیمیایی نمونه‌های مختلف سنگ‌های آتشفشانی در جدول ۱ آورده شده اند. درصد  $\text{SiO}_2$  موجود در نمونه‌ها از ۴۷/۸۹ تا ۸۴/۴۵ درصد وزنی متغیر است، و در نمودار TAS پیشنهاد [۷] نمونه‌های سنگی منطقه‌ی مورد بررسی در گستره ی داسیت، آندزیت، تراکی داسیت و ریولیت قرار می‌گیرند (شکل ۵). با توجه به این که امکان دگرسانی و تغییرات کانی‌شناسی و شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی بیشتر از سنگ‌های آذرین درونی است، لذا با استفاده از عناصری که امکان تحرک کمتری دارند، می‌توان آنها را نام‌گذاری کرد و در مواقعی که سنگ دستخوش دگرسانی شده، در تعیین نام سنگ می‌تواند مفید باشد، نمودار  $\text{Zr/TiO}_2$  نسبت به  $\text{Nb/Y}$  نمونه‌ای از این نمودارهاست [۸] در این نمودار، سنگ‌های منطقه در گستره‌های ریولیت و ریوداسیت- داسیت قرار می‌گیرد (شکل ۵). در نمونه‌های مورد بررسی با افزایش  $\text{SiO}_2$  غلظت  $\text{Al}_2\text{O}_3$  نسبتاً افزایش می‌یابد که این با روند عادی جدایش عناصر در سنگ‌های عادی منافاتی ندارد. آلومینیم از آغاز تا

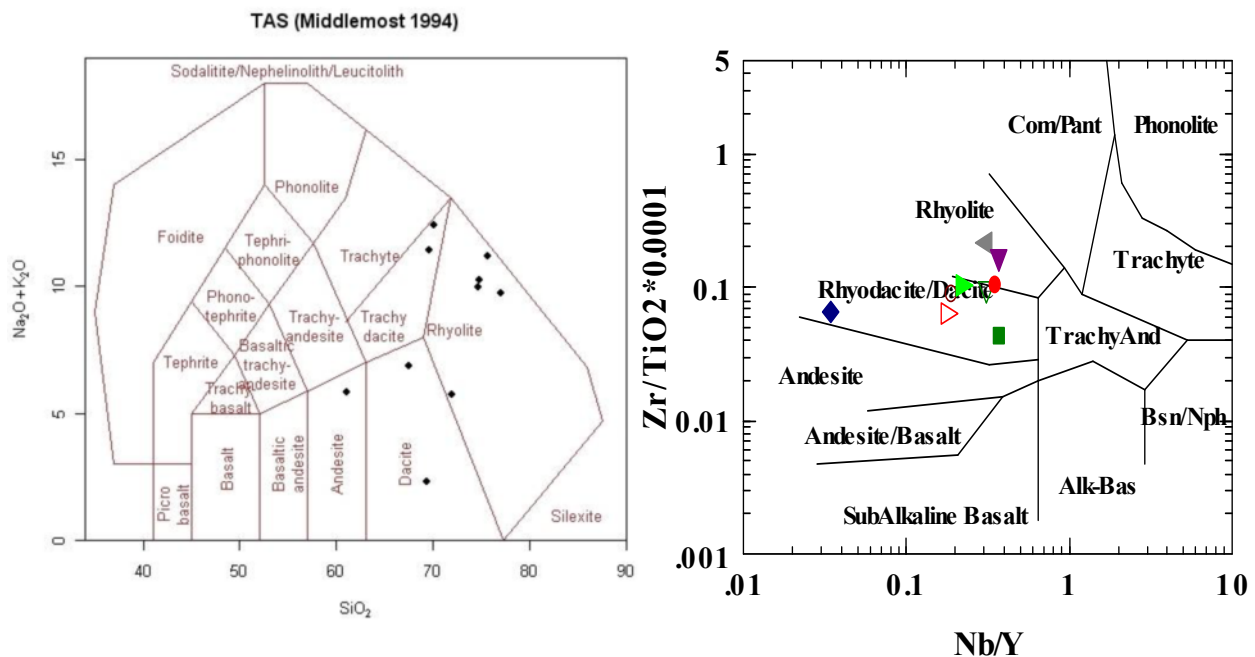
پایان جدایش ماگمایی حضور دارد و در آغاز جدایش ماگمایی، در ساختار پلاژیوکلازهای کلسیک و پیروکسن قرار می‌گیرد و در پایان جدایش با پیشرفت سری پیوسته، پلاژیوکلازها در فلدسپات‌های قلیایی متمرکز می‌شود. میزان این اکسید در نمونه‌های مورد بررسی از ۱/۶۳ تا ۱۵/۱۶ درصد وزنی متغیر است. از آنجا که Mg همانند Ca از عناصر دیرگداز محسوب شده و تمایل دارند در فازهای اولیه (آغاز فرآیند جدایش)، کانی‌های مافیک را تشکیل دهند و از محلول خارج شوند، بنابراین با افزایش روند جدایش (افزایش  $\text{SiO}_2$ ) غلظت MgO به شدت کاهش می‌یابد. میزان MgO در سنگ‌های مورد بررسی از ۰/۰۱ تا ۳/۶۳ درصد وزنی متغیر است. CaO اکسیدی است که در مراحل اولیه‌ی جدایش تمایل دارد وارد فازهای با دمای بالا مانند کانی‌های مافیک و پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار شود، بدین ترتیب است که با خروج این کانی غلظت این اکسید با ادامه‌ی روند جدایش کاهش خواهد یافت، که این امر می‌تواند به شکل‌گیری ترکیب پلاژیوکلازها از کلسیک به سدیک حین تبلور بخشی ماگما وابسته باشد. میزان CaO در نمونه‌های مورد بررسی از ۰/۰۱ تا ۶/۷۷ درصد وزنی متغیر است. عناصر K و Na از عناصر متحرک‌اند. میزان  $\text{Na}_2\text{O}$  در نمونه‌های منطقه از ۰/۱۳ تا ۳/۰۹ درصد وزنی تغییر می‌کند و میزان  $\text{K}_2\text{O}$  در این نمونه‌ها ۰/۵۴ تا ۱۱/۲۲ درصد وزنی است.

پیام تغییر می‌کند و بیشترین مقدار به نمونه‌ی MCD-S32 وابسته است که می‌تواند به دلیل حضور آمفیبول در این نمونه باشد، میزان زیرکونیوم با افزایش روند جدایش می‌یابد. تشخیص بعضی سری‌ها و شکل‌گیری‌های ماگمایی با نمودارهای مثلثی نیز صورت می‌گیرد، که یکی از این نمودارهای مثلثی معمول، نمودار مثلثی AFM است، و نام این نمودار از رئوس  $A = Na_2O + K_2O$ ,  $F = FeO + Fe_2O_3$  و  $M = MgO$  گرفته شده است [۱۰]، چنانکه پیداست نوع سری ماگمایی سنگ‌های آذرین منطقه‌ی مورد بررسی، آهکی-قلیایی تا تولیتی است (شکل ۶). به منظور تعیین دقیق‌تر موقعیت

بالا بودن مقادیر  $K_2O$  را می‌توان به دگرسانی و احتمالاً آلیش پوسته‌ای نسبت داد. تغییرات اکسیدهای  $TiO_2$  و  $FeO$  نسبت به  $SiO_2$  نشان می‌دهد که مقادیر آنها با افزایش مقدار  $SiO_2$  از یک روند نزولی پیروی می‌کند که می‌تواند نشان دهنده‌ی تبلور بخشی کانی کلینوپیروکسن طی تبلور ماگما باشد [۹]. میزان Rb در نمونه‌های منطقه از ۱۲ تا ۸۸۵ پی‌پی‌ام متغیر است و بیشترین مقدار مربوط به نمونه‌های MCD-S29 است که می‌تواند به دلیل حضور فلدسپار پتاسیم در این نمونه باشد. لذا با افزایش  $SiO_2$  این دو عنصر روند نسبتاً افزایشی از خود نشان می‌دهند. میزان زیرکونیوم نمونه‌های منطقه از ۲۵۸ تا ۶۰۶ پی-

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی کانسار مس ماهور به روش XRF.

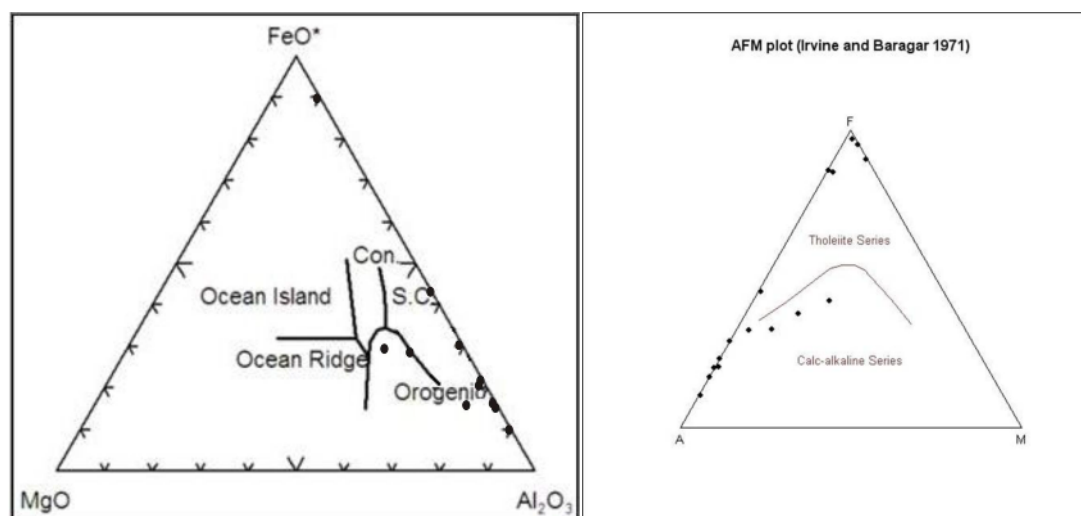
| sample                         | S37   | S29   | S14   | S7    | S94   | S32   | MF1   | S114  | S9    | BZ011  | S150   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub> (wt%)         | ۶۰٫۹۸ | ۶۶٫۸  | ۶۶٫۱۹ | ۷۴٫۳۶ | ۵۹٫۳۳ | ۶۴٫۹۴ | ۶۸٫۵۶ | ۴۷٫۸۹ | ۶۳٫۹۶ | ۶۲٫۰۲  | ۸۴٫۴۵  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۹٫۴۲  | ۱۲٫۴۵ | ۱۵٫۱۶ | ۱۰٫۷۸ | ۱۲٫۸۷ | ۱۱٫۳۶ | ۹٫۶۴  | ۱۰٫۲۴ | ۸٫۲۸  | ۱٫۶۳   | ۲٫۶۹   |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰٫۱۴  | ۰٫۶۳  | ۰٫۴۲  | ۰٫۴۸  | ۳٫۰۹  | ۲٫۷۳  | ۰٫۲۴  | ۰٫۱۷  | ۰٫۲۳  | ۱٫۵    | ۰٫۱۳   |
| MgO                            | ۰٫۰۱  | ۰٫۱۶  | ۰٫۹۷  | ۰٫۰۹  | ۳٫۶۳  | ۲٫۱۸  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳   |
| K <sub>2</sub> O               | ۸٫۰۱  | ۱۱٫۲۲ | ۴٫۸۷  | ۱۰٫۵۱ | ۲٫۵۶  | ۳٫۸۶  | ۸٫۴۲  | ۷٫۶۹  | ۸٫۵۶  | ۰٫۵۴   | ۲٫۰۹   |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۳۳  | ۰٫۴۹  | ۰٫۶۳  | ۰٫۲۹  | ۰٫۸۲  | ۰٫۶   | ۰٫۱۶  | ۰٫۴۸  | ۰٫۳۹  | ۰٫۰۷   | ۰٫۰۸   |
| MnO                            | ۰     | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۲  | ۰٫۱۳  | ۰٫۱   | ۰     | ۰٫۰۱  | ۰     | ۸٫۲۶   | ۰٫۰۲   |
| CaO                            | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۹  | ۰٫۰۷  | ۰٫۱۵  | ۶٫۷۷  | ۴٫۱۸  | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۸  | ۰٫۲۴   | ۰٫۲۹   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۸  | ۰٫۱۳  | ۰٫۰۷  | ۰٫۲۱  | ۰٫۱   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۷  | ۰٫۰۴  | ۰٫۱۹   | ۰٫۰۲   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲٫۷۴  | ۳٫۴۴  | ۳٫۴۵  | ۱٫۴۸  | ۷٫۶۹  | ۶٫۰۸  | ۱٫۹۶  | ۲٫۱۹  | ۴٫۰۱  | ۱۴٫۸۶  | ۲٫۱    |
| SO <sub>3</sub>                | ۱۱٫۷۱ | ۰٫۲۱  | ۱٫۳۴  | ۰٫۰۸  | ۰٫۷۵  | ۰٫۰۵  | ۶٫۵۵  | ۱۷٫۶۷ | ۱۰٫۵۱ | ۱٫۰۷   | ۱٫۱۴   |
| LOI                            | ۶٫۱۶  | ۱٫۵۹  | ۴٫۸۱  | ۰٫۹۸  | ۱٫۷۵  | ۳٫۴۱  | ۳٫۹۶  | ۱۲٫۹۵ | ۳٫۳۳  | ۶٫۲۶   | ۱٫۲۸   |
| Ba (ppm)                       | ۱۰۵۶  | ۹۵۲   | ۳۰۸   | ۸۴۲   | ۳۶۳   | ۴۶۷   | ۸۲۸   | ۹۹۸   | ۶۹۷   | ۲۴۵    | ۱۵۳    |
| CO                             | ۵۸    | ۳۳    | ۴۰    | ۲۷    | ۱۰۵   | ۸۳    | ۴۵    | ۲۲    | ۸۸    | ۴۲۶    | ۳۷     |
| Cr                             | ۳۹    | ۵۰    | ۲۷    | ۱۶    | ۱۲۳   | ۵۱    | ۵۰    | ۳۳    | ۵۰    | ۳۳۶    | ۱۱۵    |
| Cu                             | ۱۳۳   | ۵۱۷   | ۲۶۴۳  | ۱۵۴   | ۱۶۶   | ۱۹۶   | ۲۵۴   | ۴۹۲   | ۱۴۶   | ۱۴۷۰٫۱ | ۲۴۶۸   |
| Nb                             | ۲۸    | ۱۶    | ۲۴    | ۱۷    | ۱۸    | ۲۲    | ۲۳    | ۱۱    | ۳     | ۳      | -      |
| Ni                             | ۴۹    | ۹     | ۱۹    | ۳۵    | ۴۶    | ۱۵    | ۱۱    | ۷     | -     | ۲      | -      |
| U                              | ۲۲    | ۵     | -     | ۱۸    | ۲۷    | ۱۵    | ۹     | -     | ۶     | ۱۴     | ۱۵     |
| Th                             | ۱۳    | ۳۷    | ۱۱    | ۲۵    | ۱۶    | ۱۳    | ۱۷    | ۳     | ۱۷    | ۲۱۹    | ۸۴     |
| Ce                             | ۷۵    | ۱۶۴   | ۳۴    | ۵۴    | ۵۰    | ۸۰    | ۷۸    | ۸۸    | ۱۸    | ۱۶۱    | ۱۲۲    |
| Cl                             | ۱۳۳۸  | ۳۶۱۱  | ۳۶۹۴  | ۳۸۰۷  | ۹۶۳   | ۶۴۰   | ۱۲۳۱  | ۱۲۲۳  | ۲۵۱۷  | ۹۳۵۷   | ۱۰۵۷   |
| Pb                             | ۱۵۳   | ۱۳۴۶۷ | ۲۴۵۷  | ۵۶    | ۹۶    | ۵۵    | ۱۳۰   | ۴۶۷   | ۲۶۴   | ۳۰۹۴   | ۴۹۶۰٫۳ |
| Rb                             | ۶۴۹   | ۸۸۵   | ۶۱۸   | ۷۳۹   | ۱۸۵   | ۲۸۰   | ۶۹۹   | ۵۰۱   | ۷۵۲   | ۱۲     | ۲۰۲    |
| Sr                             | ۲۶۷   | ۴۱۳   | ۱۷۳۹  | ۲۶۳   | ۱۱۳۹  | ۸۳۳   | ۲۲۲   | ۸۸۰   | ۳۱۸   | ۴۵۴    | ۹۶     |
| V                              | ۸۱    | ۱۵۵   | ۲۴۲   | ۶۷    | ۳۶۹   | ۱۶۷   | ۴۰    | ۱۵۵   | ۱۱۳   | ۳۰     | ۴۴     |
| W                              | -     | -     | ۲۶    | ۸     | -     | ۲۲    | -     | ۸۶    | ۲۸    | -      | -      |
| Y                              | ۷۶    | ۸۷    | ۷۸    | ۷۵    | ۴۷    | ۶۱    | ۷۷    | ۵۶    | ۸۸    | ۹      | ۲۹     |
| Zr                             | ۵۱۷   | ۳۱۶   | ۵۷۰   | ۳۰۳   | ۳۴۱   | ۶۰۶   | ۳۴۸   | ۴۱۳   | ۲۵۸   | -      | -      |
| Zn                             | ۱۷۱   | ۷۴۹۸  | ۶۸۴۳  | ۵۳۲   | ۱۴۷   | ۲۶۳   | ۴۱۹   | ۳۸۶   | ۶۸۸   | ۳۹۸۲   | ۲۸۴۷   |
| Mo                             | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | ۲۴     | -      |



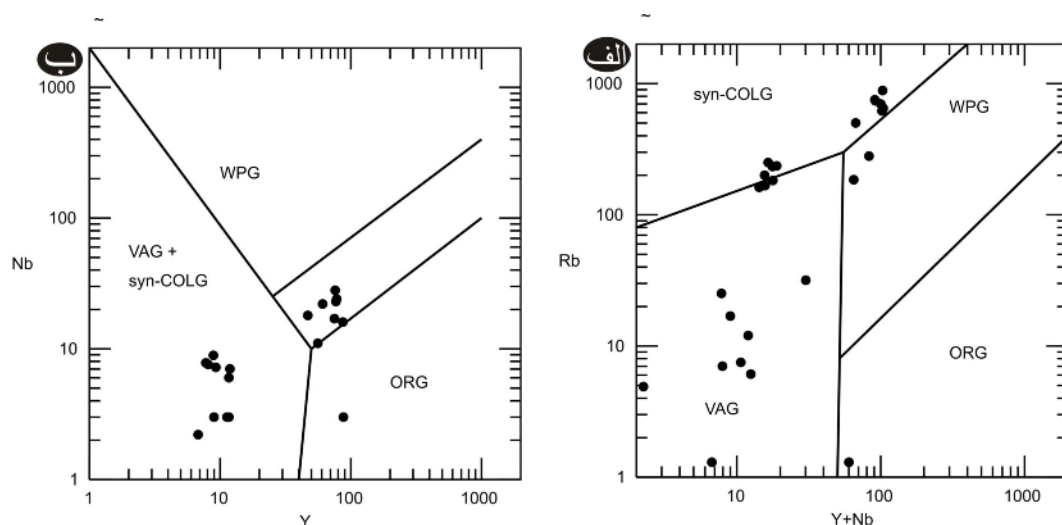
شکل ۵ موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی در نمودار [۸،۷].

نمودار جدایش محیط زمین‌ساختی گرانیتوئیدهای پیشنهادی [۱۲] که برحسب عناصر کمیاب  $Y + Nb + Rb$  است نیز، موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی وابسته به قوس‌های آتشفشانی و همزمان با برخورد قرار می‌گیرد (شکل ۷). دیگر نمودارهای استفاده شده برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های ماگمایی از  $Hf/3-Th$  و  $Nb/16$  است [۱۳] که نمونه‌ها در گستره‌ی CAB یا حاشیه‌ی مخرب قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۸).

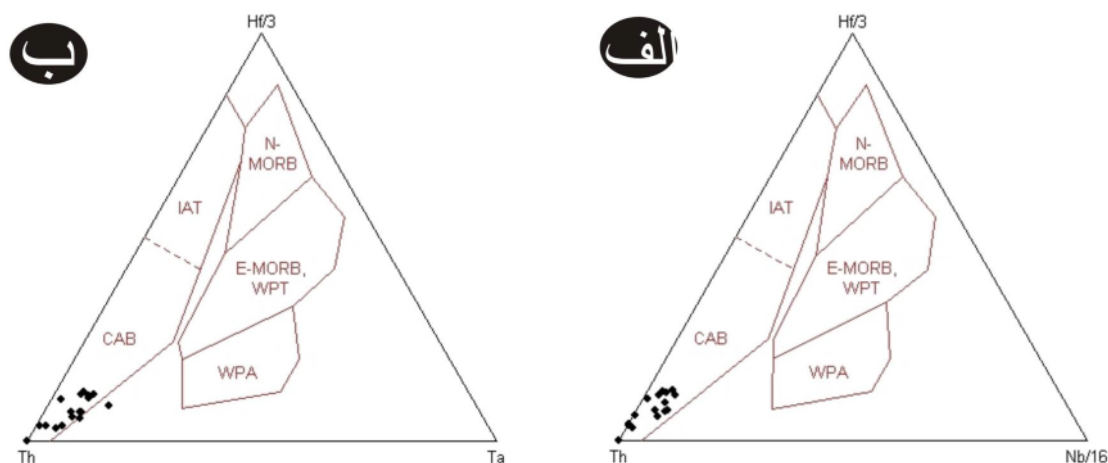
زمین‌ساختی سنگ‌ها و جدا کردن قوس‌های آتشفشانی می‌توان از نمودار مثلی [۱۱] استفاده کرد، که با توجه به این نمودار، نمونه‌های منطقه در موقعیت زمین‌ساختی همزمان با برخورد قاره‌ای جای می‌گیرند (شکل ۶). به منظور تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، از نمودارهایی استفاده می‌شود که عناصر کمیاب کم تحرکی نظیر  $Y$ ،  $Nb$ ،  $Hf$ ،  $Ta$  و  $Zr$  و غیره سازنده‌های آن هستند. این عناصر نسبتاً نامتحرک بوده و هنگام عملکرد فرآیندهایی مثل هوازدگی و دگرسانی از خود حساسیتی نشان نمی‌دهند. با استفاده از



شکل ۶ نمودار AFM [۱۰] و جدایش سنگ‌های آذرین وابسته به قوس‌های آتشفشانی [۱۱] و موقعیت نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی بر آن.



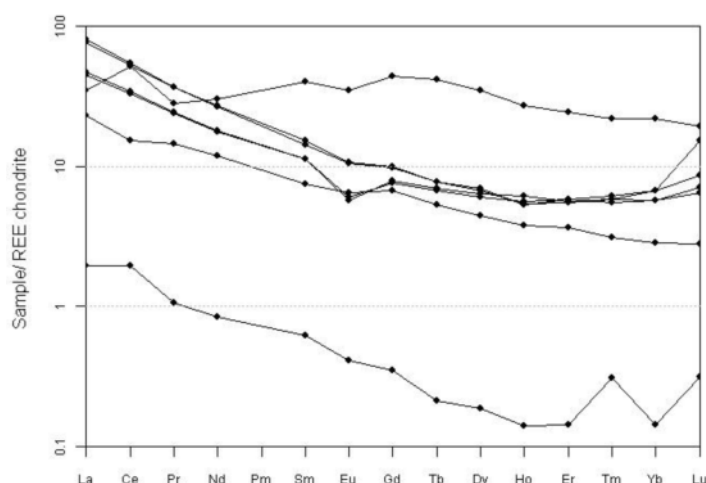
شکل ۷. قرارگیری نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در قوس‌های آتشفشانی و محیط زمین ساختی همزمان با برخورد [۱۲].



شکل ۸. نمودار زمین ساختی ماگمایی سنگ‌های کانسار مس ماهور که در گستره‌ی CAB یا حاشیه‌ی مخرب قاره‌ای قرار می‌گیرند، Hf/3-Th-Ta (الف) و Hf/3-Th-Ta (ب)، [۱۳].

ها نسبت به HREE و اینکه ممکن است در اثر شکل‌گیری‌های ماگما در سنگ‌های شکل یافته‌ی منطقه متمرکز شده باشند [۱۵]. عامل دیگری که ممکن است موثر باشد، تشکیل این سنگ‌های وابسته به مناطق فرورانش است [۱۶]. نسبت  $Eu^*/Eu$  به دست آمده از ۰/۶۱ تا ۰/۹۳ تغییر می‌کند، بنابراین یک بی‌هنجاری منفی ضعیف دیده می‌شود. جدول ۳ مقادیر محاسبه شده‌ی  $Eu^*/Eu$  را نشان می‌دهد. غنی شدگی نمونه‌های مورد بررسی کانسار مس ماهور از عناصر خاکی کمیاب سبک و تهی شدگی آنها از عناصر خاکی کمیاب سنگین و نیز بی‌هنجاری منفی  $Eu$  نسبت به کندریت از سرشتی‌های سنگ-های آهکی-قلیایی آتشفشان‌های حاشیه‌ی قاره‌هاست [۱۷].

در نمودار ترسیم شده‌ی عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های مورد بررسی در کانسار مس ماهور نسبت به کندریت [۱۴] (شکل ۹)، شیب منفی مشاهده می‌شود که نشان دهنده‌ی غنی شدگی نمونه‌ها از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) و تهی شدگی از عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) نمونه‌های منطقه است. مقادیر آنالیز عناصر REE در جدول ۲ آورده شده‌اند. میزان  $(La/Yb)_N$  برای نمونه‌های مورد بررسی بین ۱/۶۱ تا ۱۳/۵۲ به دست آمده است. الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های یاد شده نسبتاً موازی است که نشان‌دهنده‌ی هم‌خاستگاه بودن آنهاست. برای غنی شدگی LREE نسبت به HREE می‌توان به ناسازگارتر بودن LREE



شکل ۹ نمودار عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های کانسار مس ماهور، بهنجار شده بر اساس کندریت [۱۴].

جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیایی عناصر خاکی کمیاب (برحسب PPM) به روش ICP-MS

| Sample  | Lu   | Ce    | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy    | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Y    |
|---------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 4-172   | ۰/۴۹ | ۴۲/۹  | ۴/۵۱ | ۱۶   | ۲/۸  | ۰/۷۷ | ۲/۵۲ | ۰/۳۷ | ۲/۱۸  | ۰/۳۹ | ۱/۱۵ | ۰/۱۹ | ۱/۴  | ۱۱/۷ |
| 4-173   | ۰/۲۸ | ۴۴/۲  | ۴/۵۱ | ۱۶/۲ | ۳    | ۰/۷۸ | ۲/۵۸ | ۰/۳۷ | ۲/۲۵  | ۰/۳۸ | ۱/۲۲ | ۰/۲  | ۱/۴  | ۱۱/۹ |
| MH2d-43 | ۰/۲۱ | ۲۶/۷  | ۲/۹۱ | ۱۰/۶ | ۲/۲  | ۰/۴۴ | ۱/۹۷ | ۰/۳۲ | ۱/۹۵  | ۰/۴  | ۱/۲۲ | ۰/۱۸ | ۱/۲  | ۱۱/۳ |
| MH2d-40 | ۰/۲۳ | ۲۷/۶  | ۲/۹۹ | ۱۰/۷ | ۲/۲  | ۰/۴۲ | ۲/۰۴ | ۰/۳۳ | ۲/۰۵  | ۰/۴۴ | ۱/۱۸ | ۰/۱۹ | ۱/۲  | ۱۱/۷ |
| BZ011   | ۰/۰۱ | ۱/۵۸  | ۰/۱۳ | ۰/۵  | ۰/۱۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۹ | ۰/۰۱ | ۰/۰۶  | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۲۵ |
| BZ017   | ۰/۶۲ | ۴۱/۷  | ۳/۴۱ | ۱۸/۲ | ۷/۸۱ | ۲/۵۵ | ۱۱/۴ | ۱/۹۸ | ۱۱/۱۵ | ۱/۹۴ | ۵/۱۳ | ۰/۷۱ | ۴/۵۹ | ۳۰/۱ |
| G1      | ۰/۰۹ | ۱۲/۳۵ | ۱/۷۶ | ۷/۱  | ۱/۴۶ | ۰/۴۸ | ۱/۷۳ | ۰/۲۵ | ۱/۴۳  | ۰/۲۷ | ۰/۷۶ | ۰/۱  | ۰/۵۹ | ۷/۷۱ |

جدول ۳ محاسبه نسبت  $Eu/Eu^*$  نمونه‌های مورد مطالعه در کانسار مس ماهور.

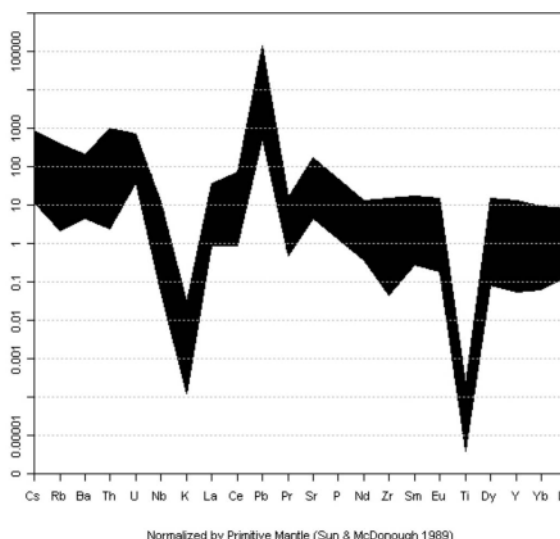
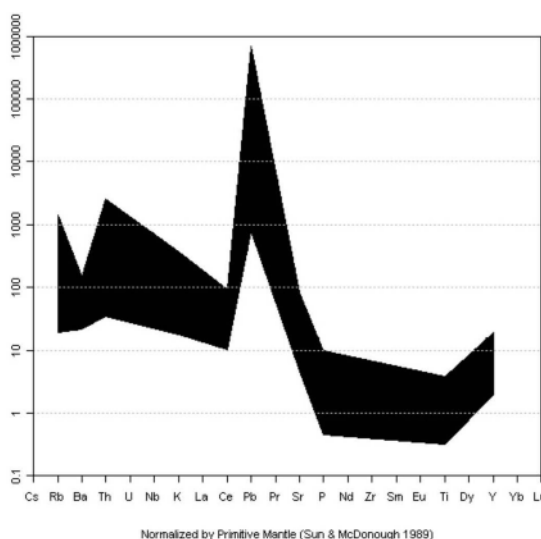
| Sample | MCD-4-172 | MCD-4-173 | MCD-MH2d48 | MCD-MH2d40 | MCD-BZ011 | MCD-BZ017 | MCD-G1 |
|--------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|--------|
| Eu     | ۰/۷۷      | ۰/۷۸      | ۰/۴۴       | ۰/۴۲       | ۰/۰۳      | ۲/۵۵      | ۰/۴۸   |
| Gd     | ۲/۵۲      | ۲/۵۸      | ۱/۹۷       | ۲/۰۴       | ۰/۰۹      | ۱۱/۴      | ۱/۷۳   |
| Sm     | ۲/۸       | ۳         | ۲/۲        | ۲/۲        | ۰/۱۲      | ۷/۸۱      | ۱/۴۶   |
| EuN    | ۱۰/۴۷     | ۱۰/۶۲     | ۵/۹۸       | ۵/۷۲       | ۰/۴۱      | ۳۴/۶۹     | ۶/۵۳   |
| GdN    | ۹/۷۳      | ۹/۹۶      | ۷/۶۱       | ۷/۸۷       | ۰/۳۵      | ۴۴/۰۲     | ۶/۶۸   |
| SmN    | ۱۴/۳۶     | ۱۵/۳۸     | ۱۱/۲۸      | ۱۱/۲۸      | ۰/۶۲      | ۴۰/۰۵     | ۷/۴۸   |
| Eu/Eu* | ۰/۸۸      | ۰/۸۶      | ۰/۶۵       | ۰/۶۱       | ۰/۸۹      | ۰/۸۳      | ۰/۹۳   |

ترکیب شیمیایی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی نسبت به فراوانی این عناصر به گوشته‌ی اولیه [۱۸] بهنجار شده اند (شکل ۱۰). در نمونه‌های مورد بررسی کانسار مس ماهور، غنی‌شدگی نسبتاً ضعیفی از عناصر Th از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر و U بالای ۱۰۰ برابر مقادیر اولیه آنها در گوشته‌ی اولیه نشان می‌دهند که این امر احتمالاً به دلیل اضافه شدن گدازه‌ی حاصل از رسوبهای پلاژی و یا شارهای حاصل از پوسته‌ی اقیانوسی دگرسان شده به چشمة ذوب‌شده‌ی گوهی گوشته-

ای باشد [۱۹] بیهنجاری‌های مثبت Pb تا بالای ۱۰۰۰ برابر مقادیر اولیه آنها در گوشته‌ی اولیه است که به دگرته‌ی گوهی گوشته‌ای به وسیله‌ی شارهای ناشی از پوسته‌ی اقیانوسی فرورو یا آلایش ماگما با پوسته‌ی قاره‌ای اشاره دارد [۲۰]. در نمودار عنکبوتی (شکل ۱۰) عنصر K بیهنجاری مثبت نشان می‌دهد (بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر مقادیر اولیه این عنصر نسبت به گوشته‌ی اولیه)، و خاستگاه K موجود در این سنگ‌ها معمولاً از خاستگاه رسوب‌هایی است که به‌وسیله‌ی ورقه‌ی

پی‌ام و مقادیر Nb از ۰/۱ تا ۲۸ تغییر می‌کند. بالا بودن غلظت عناصر LILE (Sr, Pb, Cs, Rb, Ba) در این نمونه‌ها احتمالاً به دلیل عملکرد و تاثیر پوسته‌ی قاره‌ای در غنی شدن ماگماها در محلول‌های تشکیل دهنده‌ی آن باشد. نسبت عناصر LILE/HFSE در این سنگ‌ها بالاست، به گونه‌ای که نسبت Sr/Zr, Ba/Hf و Rb/Zr در این سنگ‌ها بالاست. عناصر LILE به دلیل دارا بودن پتانسیل یونی پایین، در فشار و دمای بالا به آسانی در شاره‌های آبدار حل شده و انتقال می‌یابند [۲۳]. در صورتی که میزان انحلال‌پذیری عناصر HFSE در شاره‌های آبدار پایین است، و باعث می‌شود که حین ذوب بخشی با از دست دادن آب پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده، گوهی گوشته بر اثر دگرته‌ای شاره‌های آبدار از عناصر LILE نسبت به عناصر HFSE غنی شود. هم‌چنین عناصر HFSE به دلیل دارا بودن بار الکتریکی بالا و شعاع اتمی کم، تمایل چندانی برای ورود به فاز آبگون را ندارند و این در حالی است که عناصر LILE چون دارای شعاع اتمی بزرگ هستند به سادگی طی آبدایی وارد فاز مایع می‌شوند، بنابراین هنگامی که پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده دستخوش آبدایی شود، شاره‌ای تولید می‌شود که غنی از عناصر LILE است و این مایع می‌تواند موجب دگرته‌ای گوشته‌ای شود که در زیر این پوسته قرار گرفته است و عناصر HFSE هم که وارد فاز مایع نشده‌اند در همان نهشته‌های باقیمانده انباشته می‌شود، به طوری که فرآیند فرورانش نقش مهم و تاثیرگذاری در افزایش میزان نسبت LILE/HFSE بازی می‌کند.

فرورونده وارد گوشته شده‌اند. غنی‌شدگی عناصری مانند Ba و Sr (بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر مقادیر اولیه آنها نسبت به گوشته‌ی اولیه) به این دلیل است که باریم عنصری ناسازگار و متحرک است که مقدار آن معمولاً در پوسته‌ی قاره‌ای و رسوب‌های زیاد است و هنگامی که پوشش رسوبی روی پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده می‌شود، عناصر Ba و Sr به وسیله‌ی شاره‌های مشتق شده از رسوب‌های آبدار و پوسته‌ی اقیانوسی به گوهی گوشته‌ای منتقل شده و تولید ماگماهایی با Ba و Sr بالا می‌کنند [۲۱]. و بی‌هنجاری مثبت Sr می‌تواند به مشارکت پلاژیوکلاز حین ذوب بخشی سنگ خاستگاه یا نشانه‌ی ریشه گرفتن ماگمای تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها از پوسته‌ی اقیانوسی فرورو باشد. میزان Th در نمونه‌های منطقه از ۰/۲ تا ۲۱۹ پی‌ام و میزان Ba از ۳۰ تا ۱۴۵۰ پی‌ام تغییر می‌کند که نسبت بالای Ba/Th در نمونه‌ها اشاره به تاثیر رسوب‌ها در پیدایش ماگما دارد [۲۱]. بی‌هنجاری منفی Ti به وسیله‌ی کانی‌های تیتان دار مانند اسفن، ایلمنیت، روتیل و تیتانومگنتیت و بعضی از آمفیبول‌ها کنترل می‌شود و با افزایش فشار قابلیت حل شدن کانی‌های تیتان دار در شاره‌های آبدار کاهش می‌یابد و کانی‌های یاد شده غنی از عناصر HFSE، طی فرآیندهای ذوب بخشی در اعماق بیش از ۳۰ کیلومتر به صورت فازهای برجای باقی می‌مانند و باعث ایجاد بی‌هنجاری منفی Ti می‌شوند [۲۲]. نتایج آنالیز تعدادی از عناصر موجود در نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۴ دیده می‌شوند. مقادیر Ta در نمونه‌ها از ۰/۱ تا ۰/۶۸ پی‌ام و مقادیر Ti کمتر از ۰/۰۰۵ تا ۰/۲۸ پی‌ام



شکل ۱۰ نمودار عنکبوتی بهنجار شده به گوشته‌ی اولیه [۱۸].

جدول ۴ نتایج آنالیز تعدادی از عناصر موجود در نمونه‌های سنگ مورد مطالعه.

| Sample  | Cs (PPM) | Ba (PPM) | Hf (PPM) | P (PPM) | Ti %  |
|---------|----------|----------|----------|---------|-------|
| N5      | ۰/۰۹     | ۱۶۰      | ۰/۱      | ۱۰      | ۰/۰۰۵ |
| N6      | ۳/۴۳     | ۶۹۰      | ۱/۵      | ۲۰۰     | ۰/۱۶۷ |
| S86180  | ۵/۲۶     | ۹۳۰      | ۱/۸      | ۵۲۰     | ۰/۲۷۱ |
| S86181  | ۰/۴۲     | ۳۰       | ۰/۱      | ۴۰      | ۰/۰۰۵ |
| S86182  | ۰/۵۷     | ۵۰       | ۰/۱      | ۱۵۰     | ۰/۰۰۶ |
| S86183  | ۱/۴۳     | ۵۰۰      | ۰/۷      | ۱۱۰     | ۰/۰۷۹ |
| S86184  | ۲/۷۷     | ۹۲۰      | ۱/۷      | ۱۳۰     | ۰/۱۸۱ |
| S86185  | ۲/۳۲     | ۶۴۰      | ۲/۵      | ۷۰      | ۰/۰۶۳ |
| S86186  | ۱/۹۹     | ۵۹۰      | ۰/۱      | ۵۰      | ۰/۰۰۹ |
| BZ012   | -        | ۱۲۰۰     | -        | ۴۳۰     | ۰/۰۰۵ |
| BZ013   | -        | ۶۰       | -        | ۱۲۰     | ۰/۰۰۵ |
| BZ016   | ۰/۵۴     | ۱۸۰      | ۰/۱۳     | ۳۰      | ۰/۰۰۵ |
| BZ018   | ۰/۲۵     | ۲۲۰      | ۰/۱۴     | ۱۰۰     | ۰/۰۰۵ |
| BZ011   | ۰/۱۸     | ۳۰       | ۰/۰۲     | ۲۰      | ۰/۰۰۵ |
| BZ017   | ۰/۵۲     | ۷۸۰      | ۰/۱۱     | ۱۰۰۰    | ۰/۰۰۵ |
| G1      | ۶/۸      | ۷۱۰      | ۰/۱۲     | ۲۴۰     | ۰/۰۳  |
| S4-172  | ۲/۸      | ۱۴۵۰     | ۳        | -       | ۰/۲۸  |
| MH2d-43 | ۲/۶      | ۶۴۱      | ۲        | -       | ۰/۱۷  |

### برداشت

بر اساس رده‌بندی شیمیایی، سنگ‌های مورد بررسی عبارتند از آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، ریولیت، داسیت و ریوداسیت. بر اساس نمودارهای سنگ‌شناسی، سری ماگمایی سنگ‌های مورد بررسی دارای ماهیت آهکی-قلیایی پرپتاسیم هستند، و با استفاده از نمودارهای جداکننده محیط زمین ساختی، سنگ‌های آتشفشانی مورد نظر در نواحی فرورانش و گاهی در نواحی درون صفحه‌ای قرار گرفته‌اند، و بالا بودن نسبت‌های LILE/HFSE و LREE/HREE جزء نشانه‌های فرورانش محسوب می‌شوند. بیهنجاری منفی عناصر Nb، P و Ti و بیهنجاری مثبت Pb و K در این سنگ‌ها نشان دهنده تشابه سرشتی‌های شیمیایی این سنگ‌ها با ماگماتیسم قوس-های آتشفشانی است.

### مراجع

- [۱] بهادران ن.، ترابی ق.، احمدیان ج.، موراتا م.، "مطالعه شیمی کانی سنگ‌های آتشفشانی ناحیه غرب عروسان کبودان (شمال شرق اصفهان)"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۱ (۱۳۸۷) ص ۹۹-۱۱۲.
- [۲] سیادی م.، نوربهشت ا.، ترابی ق.، داودیان دهکردی ع.، "شیمی بلورها و مقایسه ترکیب کانی شناسی سنگ‌های

یکی دیگر از مهمترین بیهنجاری منفی به عنصر Nb وابسته است. رولینسون (۱۹۹۳) اعتقاد دارد که تهی‌شدگی از عنصر Nb شاخص سنگ‌های قاره‌ای است و ممکن است نشان دهنده شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد [۲۴]. چاپل (۱۹۹۹) معتقد است که شاره‌ها و گدازه‌های ناشی از پوسته‌ی اقیانوسی فرورو با دگرنهادی گوهی گوشته‌ای بالای خود، باعث ایجاد بی‌هنجاری منفی Nb می‌شوند [۲۵]. هه و همکاران (۲۰۰۷) معتقدند که تمام ماگماهای قوس از Nb تهی‌شدگی دارند که علت آن در ماهیت فرورانش و عدم تحرک Nb و باقی ماندن آن در صفحه‌ی فرورانده شده است به طوری که این عنصر به شاره‌های آزاد شده از صفحه وارد نمی‌شود. به نظر این پژوهشگران، غنی‌شدگی سنگ‌ها از Sr، Cs، Ba، Pb و Nb نسبتاً بالایی برخوردارند و شاره‌های مشتق شده از صفحه‌ی فرورونده غنی از این عناصر هستند [۲۶]. درکل نابهنجاری منفی عناصر Nb، P و Ti که منجر به پیدایش الگوی ضربدری در روند تغییرات عناصر کمیاب نمونه‌ها شده است، می‌تواند نشان دهنده‌ی شکل‌گیری سنگ‌ها در منطقه‌ی فرورانش باشد، زیرا در منطقه‌ی فرورانش شاره‌های آزاد شده از لیتوسفر فرورونده که از Nb فقیر و از LILE غنی‌اند در گوهی گوشته افزایش می‌یابند [۲۷].

- [17] Nagudi N., Kobrel C., Kurat G., "Petrography and Geochemistry of the Singo Granite, Uganda and Implications for its Origin", Journal of African Earth Science, 36: (2003) 1-14.
- [18] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry M(eds). Magmatism in the Ocean Basins", Geological Society of London Special Publication. 42 (1989) 313-345.
- [19] Fan W.M., Gue F., Wang Y.J., Lin G., "Late Mesozoic Calc-alkalin Volcanism of Post-orogenic Extension in the Northern Daxing Mountains, Northeastern China", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 121 (2003) 115-135.
- [20] Kamber B.S., Ewart A., Bruce M.C., Donald G.D., "Fluid mobile trace element constraints on the role of slab melting and implication of Archean crustal growth model", Contrib Mineral Petrol. 144 (2002) 38-56.
- [21] Morata D., Aguirre L., "Extensional Lower Cretaceous Volcanism in the Coastal Range (29° 20'-30° S), Chile: Geochemistry and Petrogenesis", Journal of. South Amer. Earth Science, 16: (2003) 459-476.
- [22] Glenn A.G., "The Influence of Melt Structure on Trace Element Partitioning Near the Peridotite Solidus", Contributions to Mineralogy and Petrology, 147: (2004) 511-527.
- [23] Green T.H., Pearson N.J., "Ti-rich Accessory Phase Saturation in Hydrous Mafic-Felsic Compositions at High P, T", Journal of Chemical Geology, 54, (1986) 185-201.
- [24] Rollinson H.R., "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation", London (Longman) (1993).
- [25] Chappell B.W., "Aluminium Saturation in I and S-type Granites and the Characterization of Fractionated Haplogranites", Lithos, 46, (1999) 535-551.
- [26] He Y., Zhao G., Sun M., Wilde S.A., "Geochemistry, Isotope Systematic and Petrogenesis of the Volcanic Rocks in the Zongtiao Mountain: An Alternative Interpretation for the Evolution of the Southern Margin of the North China Craton", Lithos, 102: (2007) 158-178.
- [27] Pearce J.A., Parkinson I.J., "Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis". In: Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W., Neary, C.R(Eds.), Magmatic processes in Plate Tectonics, Vol. 76. Geological Society of London Special Publication, (1993) 373-403.
- آتشفشانی ائوسن و برونومهای آذرین بازی آنها در شمال انارک (شمال شرق اصفهان)، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۱ (۱۳۸۷) ص ۱۱۳-۱۲۴.
- [۳] کریم پور م.ح.، ملک زاده شفاوردی آ.، مظاهری س.ا.، حیدریان م.ح.، "ماگماتیزم و انواع کانی سازی مس، طلا، قلع و تنگستن در بلوک لوت"، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی، (۱۳۸۶).
- [4] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran", A review- Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull. (1968) 52,7, 1229-1258.
- [۵] امامی م.ه.، "ماگماتیزم در ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، کتاب شماره ۷۱ (۱۳۷۹).
- [۶] حسینی ض.، افشاریان م.، چاپچی ز.، "نقشه زمین شناسی چهارگوش شماره ک ۹/۱ ایران"، دهسلم (چاهوک)، (۱۳۷۱).
- [7] Middlemost E.A.K., "Naming materials in the magma/igneous rock system", Earth-Science Reviews 37(1994) 215-224.
- [8] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", Chem. Geol., 20 (1977) 325-343.
- [9] Gourgaud A., Vincent P.M., "Petrology of two continental alkaline intraplate series at Emi Koussi volcano, Tibesti, Chad", J. Volcan. Geo. Res. 129, (2003) 261-272.
- [10] Irvine T.N., Baragar W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Can. J. Earth sci., 8(1971) 523-548.
- [11] Pearce J.A., Gale G.H., "Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks", Geological Society Special 7(1977) 14-24.
- [12] Pearce J.A., "Source and setting of granitic rocks", Episode 19(1996).
- [13] Wood D.A., "The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectono magmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British tertiary volcanic province", Earth and Plan. Sci. Lett. 50 (1980) 11-30.
- [14] Boynton w.v., "Geochemistry of the rare earth elements. Meteorite studies. IN: Henderson P.(ed.)", Rare earth element geochemistry. Elsevier. (1984) 63 -114.
- [15] Krauskopf K.P., Bird D.K., "Introduction to Geochemistry", Mc Graw Hill, (1976) 788P.
- [16] Winter J.D., "An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology", Prentice Hall, ( 2001) 697p.