

Research Article

Introduction of the Mood area volcanism as an indicative example of the reproductive diversity of volcanic lavas (northwest of Sarbisheh - east of Iran)

Esmail Elahpour^{1*}, Maryam Ahankoub¹

1- Department of geology, Faculty of Sciences, Payamenoor University, Tehran, Iran.

Keywords: *Calc-alkaline magma, Potassic magma, Mood, Sarbisheh, East of Iran*

1-Geography and definition

Within an area with an extent of 12 km² in the east and northeast region of Mood City, two distinct lithological outcrops are observed and studied. Trachy basalts with porphyritic texture, hyalopilitic, semi-crystalline to microcrystalline mesostasis, and contain olivines with eroded and gulf margins as prominent mafic phenocrysts and dacitic lavas have been studied in their vicinity, which have the dominant porphyritic texture and microcrystalline to glassy mesostasis. They show hypersthene phenocrysts in their microscopic sections.

2-Geochemistry, nature, and genesis of Dacites

Dacitic lavas are moderately differentiated and rich in K₂O, with positive anomalies of Zr, U, Th, and Pb and negative anomalies for Ti and P, characteristics that confirm crustal contamination as a process that affected their parental melt (Gencalioglu Kuscu and Geneli, 2010). Ti negative anomaly confirms subducted oceanic lithosphere and the related upper metasomatized mantle wedge as their origin, though this depletion can also show the presence of Ti – Fe oxides as the residual phase in their magma source. Pb's positive anomaly confirms the mantle wedge metasomatism mentioned by fluids originating from the subducted oceanic crust. These lavas also show Eu negative anomaly that confirms their calc-alkaline nature, high oxygen fugacity during crystallization, and Plagioclase as the residual phase in their magma source (Rouhbakhsh et al., 2018). Studied dacitic lavas belong to the continental arc calc-alkaline potassic rocks that originated from subduction movement and erupted in an active continental margin. Positive anomalies of Th and U are also evidence for adding pelagic sediments and/or metasomatized oceanic crust to the melted source. Their parental magma resulted from the 20% partial melting of a peridotite-enriched mantle source at 50 Km depth above the subduction zone (Ellam, 1992).

3-Geochemistry, nature, and genesis of Trachybasalts

Enriched mantle-originated Trachybasalts do not show clear signs of crustal contamination and contain a considerable Na₂O, which can be an expression for sodium metasomatism during the eruption in an extensional geo-structural regime as a shallow intra-continental basin. The higher content of P and Ti in these rocks compared to dacites is a sign that their parental melt is not so contaminated with crustal materials (Haghnazar and Malakoutian, 2011) and also shows the presence of Ti – Fe oxides as the components of the mentioned residual phase (Martin, 1999). Their positive anomaly for Sr is a sign of the absence of Plagioclase in the partial melting residual phase, and also, the negative anomaly in these rocks is a reliable sign of the lack of their parental melt contamination by the crustal components. These lavas belong to the post-collision potassic calc-alkaline rocks that erupted along deep right lateral Strick sleep fault zones related to the Nehbandan fault system in the east of Iran. The origin of these intra-plate volcanic rocks seems to be a Garnet bearing Amphibolite (up to 5% garnet) that originated their parental melt was

* Corresponding author: elahpour@pnu.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2024.46169.2436

Received: 2024-02-21

Accepted: 2024-05-11

affected by a 10% partial melting in the lower part of the lithospheric crust and at a depth of 60 to 80 Km (Lallemand et al., 2005).

4-Conclusion

In a limited area in the east and northeast regions of Mood City in South Khorasan province, there are two completely distinct types of lava with different genesis and evolutionary histories. Trachybasalts, attributed to the Pliocene-Quaternary, are rich in Ba, Al, Ti, and Sr; in contrast, their Th content is low. At the same time, the fractionated dacitic lavas have a relatively high K₂O content, a positive Th, U, Zr, and Pb anomaly, and the negative anomaly of Ti and P, the characteristics that indicate their parental source crustal contamination. Recent lavas are also enriched in LREE compared to HREE, and their Sr content is negligible, a feature used to identify calc-alkaline volcanisms related to collisional-continental arcs. The study also shows that the source rock composition of the basaltic lavas is a garnet-bearing amphibolite (up to 5 percent garnet), and the garnet-bearing melting slag does not contain Plagioclase that is even though the source rock of dacitic lavas has less garnet content and is inclined towards the peridotitic composition. The rate of partial melting for the formation of trachybasalts was about 10%, while the parental magma of the dacitic lavas underwent a higher partial melting (more than 10%). Northeast Mood-enriched mantle-originated trachybasalts do not show considerable signs of crustal contamination. These lavas belong to the post-collision potassic calc-alkaline rocks that erupted along deep right lateral Strick sleep fault zones related to the Nehbandan fault system in the east of Iran.

5-References

- Ellam, R.M., 1992. Lithospheric thickness as a control on basalt geochemistry. *Geology* 20(2), 153–156. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0153:LTAACO>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0153:LTAACO>2.3.CO;2)
- Gencalioglu Kusu G., Geneli F., 2010. Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekoy volcanic complex. *International Journal of Earth Sciences* 99, 593-621. <http://dx.doi.org/10.1007/s00531-008-0402-4>
- Haghnazar, Sh. and Malakoutian, S., 2011. The characteristics of mantle source in Quaternary alkali olivine basalts of Ghorveh area – Takab. *Journal of Petrology* 2 (6), 17 – 30 (in Persian with English abstarct).
- Lallemand, S., Huchon, P., Jolivet, L., Prouteau, G., 2005. *Convergence lithosphe'rique*. Vuibert, Paris, 182 p.
- Martin H., 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos* 46, 411–429. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00076-0](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00076-0)
- Reichew, M.K., Saunders, A.D., White, R.V., Al Mukhamedov, A.I., 2004. Geochemistry and petrogenesis of basalts from the west Siberian Basin: an extension of the – Permo -Triassic Siberian Traps. *Russia. Lithos* 79, 425-452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.011>
- Rouhbakhsh, P., Karimpour, M. H. and Malekzadeh, A., 2018. Geology, mineralization, geochemistry, and petrology of Au – Cu Kuhe Zar mine intrusives, Damghan. *Journal of Economic Geology* 10 (1), 1 – 23 (in Persian with English abstarct).

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Elahpour, E., Ahankoub, M., 2025. Introduction of the Mood area volcanism as an indicative example of the reproductive diversity of volcanic lavas (northwest of Sarbisheh - east of Iran). *Adv. Appl. Geol.* 14(4), 877-895

DOI: 10.22055/aag.2024.46169.2436

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19245.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

معرفی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مود به عنوان شاخصی جهت تنوع زایشی گدازه‌های آتشفشانی

(شمال غرب سربیشه - شرق ایران)

اسماعیل اله پور*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

مریم آهنکوب

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* elahpour@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲

چکیده

در سرزمینی به وسعت ۱۲ کیلومتر مربع در شرق و شمال شرق شهر مود از توابع شهرستان سربیشه واقع در استان خراسان جنوبی رخنمون‌هایی از دو ترکیب سنگ‌شناسی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تراکی‌بازالت‌هایی که دارای بافت پورفیریتیک با زمینه هیالوپلیتیک، نیمه‌بلورین تا ریزبلور بوده و واجد الیوبین‌های دارای حاشیه‌های تحلیل‌رفته و خلیجی به عنوان فنوکریست مافیک بارز می‌باشند و گدازه‌های داسیتی مورد مطالعه قرار گرفته در مجاورت آنها که بافت غالب پورفیریتیک و زمینه ریزبلور تا شیشه‌ای داشته و مشخصاً در مقطع میکروسکوپی واجد فنوکریست هیپرستن می‌باشند. گدازه‌های داسیتی مذکور که در جانب شرقی شهر مود رخنمون یافته‌اند، متعلق به سنگ‌های پتاسیک کالک‌آلکانل قوس قاره‌ای می‌باشند که متأثر از فرایند فرورانش در حاشیه فعال قاره به سطح راه یافته‌اند. ماگمای والد این سنگ‌ها در نتیجه ذوب‌بخشی بیش از ۱۰٪ در گوشته غنی‌شده پریدوتیتی بالای زون فرورانش و در عمق ۵۰ کیلومتری شکل گرفته‌است. شواهد روشنی برای اثبات آرایش پوسته‌ای مذاب والد این گدازه‌ها نیز وجود دارد. از طرف دیگر گدازه‌های تراکی‌بازالتی واقع در شمال شرق مود منشأ گرفته از گوشته غنی‌شده، فاقد نشانه‌های آرایش پوسته‌ای و دارای محتوی بالای Na_2O می‌باشند که می‌تواند ناشی از فرایند متاسوماتیسم سدیم هنگام فوران در یک رژیم تحت کشش بصورت یک حوضه کم‌عمق درون قاره‌ای باشد. گدازه‌های اخیر در گروه سنگ‌های کالک‌آلکانل پتاسیک پس از برخوردی قرار می‌گیرند که در بازشدگی‌های عمیق زونهای گسلی امتدادلغز راستگرد وابسته به سیستم گسلی نه‌بندان در شرق ایران به سطح راه یافته‌اند. سنگ منشأ این ولکانیک‌های درون صفحه‌ای یک آمفیبولیت گارنت‌دار (تا ۵٪ گارنت) بوده که در عمق ۶۰ تا ۸۰ کیلومتری، در بخش زیرین گوشته لیتوسفری و متأثر از یک فرایند ذوب‌بخشی ۱۰ درصدی، مذاب والد این سنگ‌های آتشفشانی را تشکیل داده‌است.

واژه‌های کلیدی: ماگمای کالک‌آلکانل، ماگمای پتاسیک، مود، سربیشه، شرق ایران

۱- مقدمه

زون‌های برشی متأثر از عملکرد گسل‌های عمیق بوده و متشکل از بازالت‌های آلکانل، تراکی‌بازالت‌ها و تراکی‌آندزیت‌های جوان است که در نقاط مختلفی از شرق ایران در استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی رخنمون دارند. در منطقه مود در استان خراسان جنوبی مظاهر هر دو نوع آتشفشانی فوق‌الذکر در وسعتی بسیار محدود رخنمون داشته و مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Elahpour, 2022). از مهم‌ترین مطالعاتی که تاکنون در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته‌اند می‌توان به مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مود (Habibi, 2016) بررسی

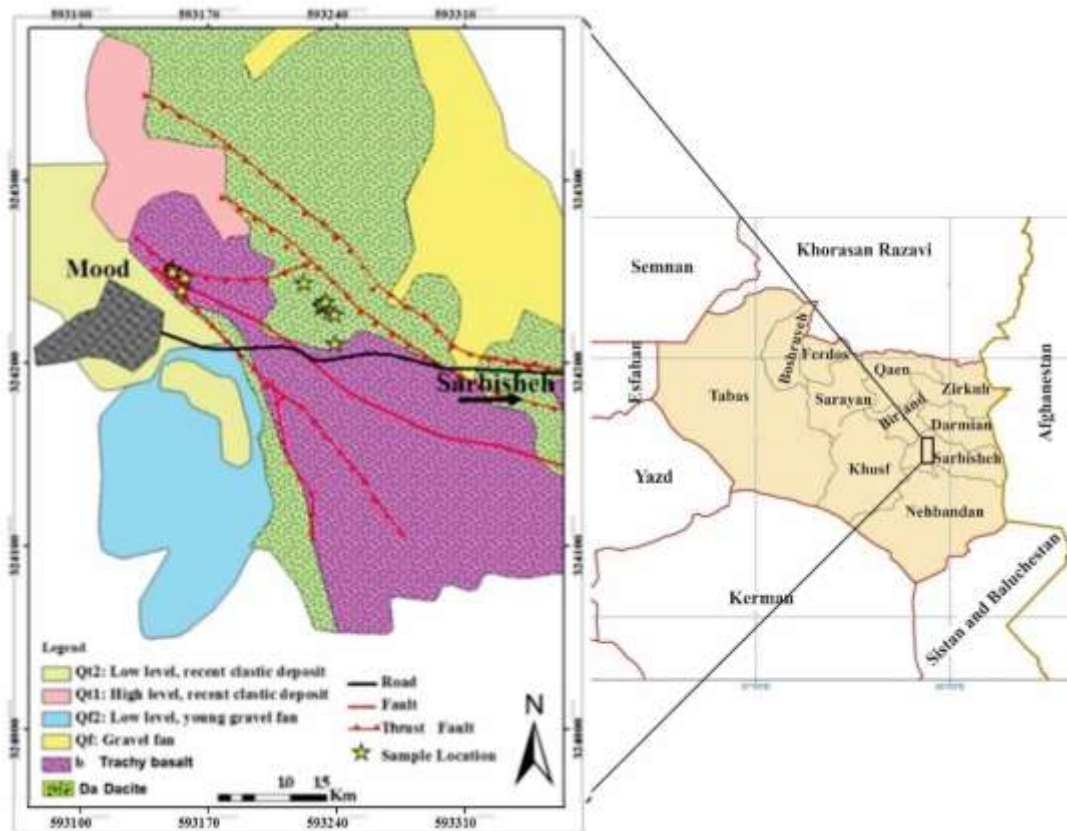
مطالعات در زمینه توالی ولکانیسم در شرق ایران و بویژه بلوک لوت در ترشیری نشان داده‌اند که ولکانیسم پالئوژن در بلوک لوت با فوران گدازه‌های بازیک تا حدواسط (عمدتاً آندزیت بازالتی) شروع شده و به تناسب کاهش سن تا نئوژن از ویژگی بازیک ولکانیسم کاسته‌شده و به شکل‌گیری توده‌های ساب‌ولکانیک اسیدی خاتمه یافته‌است. این چرخه از فرایند آتشفشانی دارای طبیعت کالک‌آلکانل و معلول همگرایی و زمین‌ساخت برخوردی در این بخش از کشور است. ولکانیسم نئوژن کواترنری از نوع پس از برخورد و مرتبط با شکل‌گیری

منطقه مورد بررسی از دیدگاه تکتونیکی در بخش شمالی زون جوش خورده سیستان جای داشته و برخوردار از ویژگی‌های گوناگون کمربند ساختاری شرق ایران و تکتونیک حاکم بر سیستم‌های راستالغز می‌باشد (Alavi, 1991). کهن‌ترین سنگهای موجود در منطقه، ردیفی غیر رسوبی از سنگهای افیولیتی و رخساره‌های رسوبی - آواری حوضه‌های کافتی می‌باشند. بقایای واحدهای سکانس افیولیتی، دربرگیرنده سنگ‌های پریدوتیتی، سرپانتینیت، دایک‌های صفحه‌ای و رادیولاریت بوده و همبری آنها با سایر واحدها از نوع گسله است. رخساره‌های آواری سیلتی - شیلی و ماسه‌سنگ به همراه میان لایه‌هایی از کنگلومرا، سنگ آهک‌های سیلتی و سنگهای آهکی مارنی، تأثیر پذیرفته از فرایند دگرگونی در سیستم گسلی راستالغز، گسترش قابل توجه داشته و با توجه به همسانی‌های چینه‌ای و رخساره‌ای با نواحی مجاور از نظر سنی در بازه زمانی پالئوسن تا ائوسن بالایی - الیگوسن جای می‌گیرند (Nazari and Salamati, 1999).

پتروژنتیکی بازالت‌های کواترنری خراسان (Ghorbani, 1992) و بررسی پترولوژیکی و تکتونوماگمایی بازالت‌های خاور ایران (Vosoughi Abedini, 1997) اشاره کرد. در پژوهش حاضر به مطالعه و مقایسه پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز رخنمون‌های متمایز تراکی‌بازالتی و داسیتی شرق و شمال شرق شهر مود پرداخته و به کمک بررسی‌های ژئوشیمیایی، تفاوت‌های چشمگیر ماهوی آنها را آشکار نموده‌ایم.

۲- جغرافیا و زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

شهر مود، از توابع شهرستان سربیشه در استان خراسان جنوبی قرار گرفته‌است. این منطقه در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سربیشه (Nazari and Salamati, 1999) قرار داشته و در آن واحدهای آتشفشانی و آذرآواری گسترده‌ای قابل توجهی دارند. دسترسی به منطقه از طریق جاده اصلی بیرجند - زاهدان و نیز جاده فرعی منتهی به شهر مود ممکن می‌گردد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، اقتباس از Nazari و Salamati (۱۹۹۹). محل برداشت نمونه‌هایی که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، با ستاره مشخص گردیده‌است.

Fig. 1: Geographical situation and geological map of the area (Nazari and Salamati, 1999). The locations of the analyzed samples are identified by the star symbols.

روش با LOI ترکیب کلی سنگ را مشخص می‌نماید. در این روش نمونه با استفاده از لیتیوم متابورات ذوب می‌شود. محصول ذوب شده با استفاده از اسید نیتریک رقیق حل شده و سپس محلول نهایی مورد خوانش قرار گرفته و عیار اکسیدهای اصلی مشخص می‌گردد. در این روش از لیتیوم بورات به منظور تجزیه بافت نمونه‌های سنگی و اندازه‌گیری عناصر سنگ‌ساز استفاده می‌شود به این صورت که نمونه‌های مذاب در اسید نیتریک ۵٪ حل شده و محلول حاصل به کمک دستگاه واریان مدل ۷۳۵ مورد خوانش قرار می‌گیرد. نتایج داده‌های آنالیز شیمی کل سنگ توسط نرم‌افزارهای GIS Draw, Corel و GCDKIT مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند.

۴- پتروگرافی

مطالعات میکروسکوپی سنگهای آتشفشانی منطقه مود حاکی از محدود بودن طیف ترکیبی سنگهای مذکور بوده و نشان می‌دهد که این سنگها در دو مجموعه تراکی‌بازالت و داسیت طبقه‌بندی می‌شوند. تراکی‌بازالتها در حاشیه شمال شرقی شهر مود قرار دارند. این سنگها در نمونه‌دستی آفانیتیک و گاهی حفره‌دار با رنگ خاکستری تیره تا سیاه دیده می‌شوند. فنوکریستهای اصلی سازنده این سنگها الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز می‌باشند که در زمینه‌ای سرشار از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز قرار گرفته‌اند. زمینه همچنین در بردارنده بلورهای کوچک کلینوپیروکسن می‌باشد. بافت غالب این سنگها پورفیریتیک با زمینه هیالوپلیتیک، گاهی گلومروپورفیریتیک و در برخی نمونه‌ها حفره‌ای می‌باشد. فنوکریستهای پلاژیوکلازها عموماً شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و دارای ماکل پلی‌سنتیتیک می‌باشند. اندازه این بلورها از ۰/۱ تا ۱ میلی‌متر متغیر بوده و بیشترین حجم این سنگها را تشکیل می‌دهند. میکروولیت‌های پلاژیوکلاز عموماً با فازهای اپک همراهی می‌شوند. متشکله بعدی این سنگها فنوکریستهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بلورهای الیوین و نیز پیروکسن با ترکیب دیوپسید تا اوژیت دیوپسیدیک هستند که اندازه آنها از ۰/۱ تا ۲ میلی‌متر متغیر است. فنوکریستهای الیوین دارای حاشیه‌های تحلیل رفته و در مواردی خلیجی هستند که می‌تواند نشانه عدم تعادل در ماگمای دربرگیرنده باشد. فرایند ایدینگریتی‌شدن، در اغلب کانی‌های مافیک قابل مشاهده است (شکل ۲ b.a). کانی‌های کدر و فازهای ناشی از دگرسانی چون کلسیت و سریسیت از دیگر سازندگان این سنگها بشمار

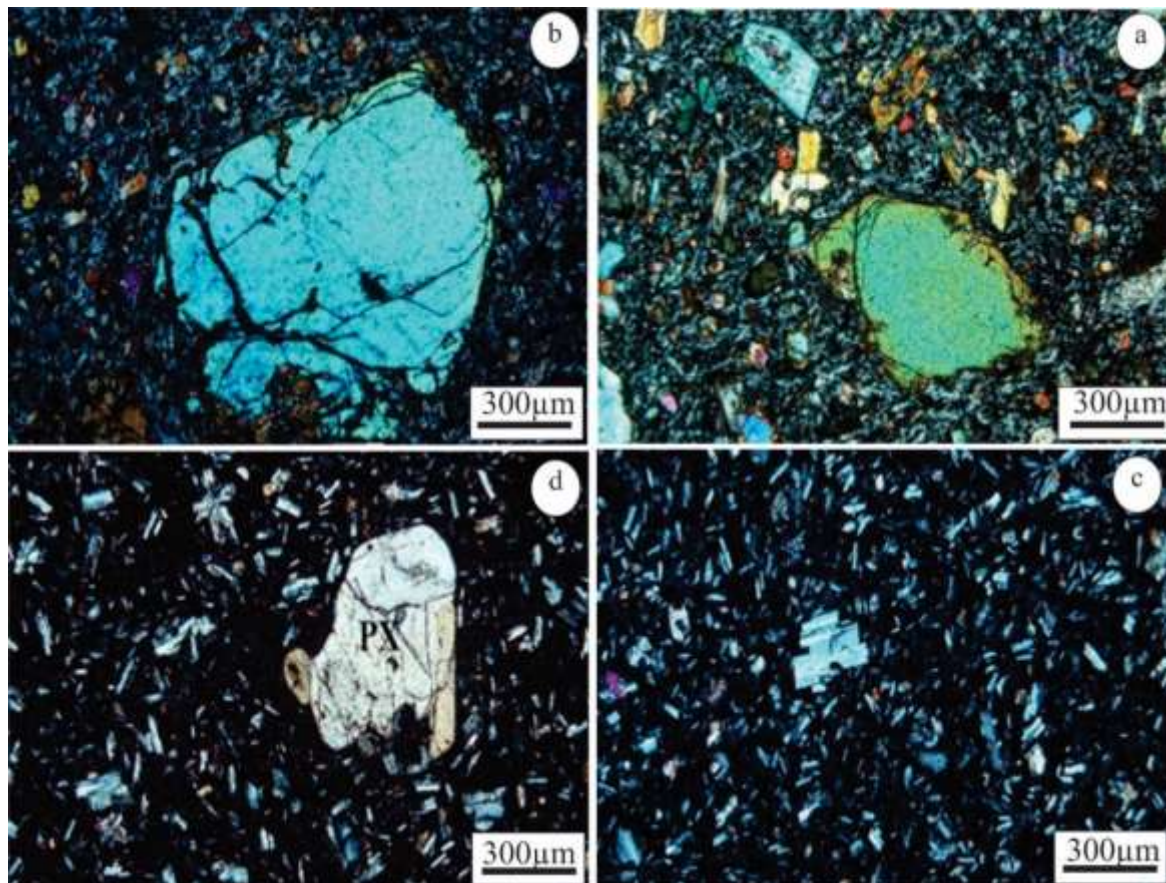
در مورد سرشت و توالی ولکانیسم وابسته به تحولات زون جوش‌خورده سیستان لازم است اضافه شود که پس از آتشفشانی‌های ائوسن میانی و پایانی که بیشتر ترکیب آندزیتی دارند، در ائوسن پایانی - الیگوسن افزایش تکاپوهای آتشفشانی با سرشت کالک‌آلکالن و رخساره‌هایی متناوب از توف، آگلومرا، آندزیت و داسیت رخمون یافته‌اند. سکانس‌های آتشفشانی و آذرآوری پالئوژن با داسیت‌ها و توفهای داسیتی با سرشت مشابه و منسوب به میوسن تعقیب گردیده‌اند. با بسته شدن حوضه‌های کششی، پایان رژیم زمین‌ساختی برخوردی، تداوم رژیم زمین‌ساختی فشارشی و کوتاه‌شدگی پوسته، گسله‌های راستالغز عمدتاً عمیق و سرشاخه‌های آنها نقش برجسته‌ای در تحولات زمین‌ساختی منطقه ایفا کرده و در امتداد آنها گدازه‌های بازالتی منشأ گرفته از گوشته و با قلیائیت بالاتر به سطح راه یافته‌اند (Elahpour et al, 2019). از آنجا که در بعضی نقاط این واحدهای آتشفشانی بر روی مارنهای ژیبس‌دار و کنگلومرای پلیوسن جای گرفته‌اند و در مواردی قطعاتی از آنها در کنگلومرای مذکور دیده شده‌است، بازه سنی اواخر پلیوسن - کواترنر آغازین، برایشان در نظر گرفته شده‌است (Nazari and Salamati, 1999). سنگ‌شناسی موصوف، با نهشته‌های آبرفتی قدیم و جدید متشکل از قلوه‌سنگ‌های گردشده‌سیمانی نشده و گراول تعقیب می‌شود؛ و سرانجام در کنار مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید، در مسیر رودخانه‌های فصلی و مسیله‌ها، نهشته‌های سیلابی و تبخیری در کفه‌ها خودنمایی کرده و جدیدترین نهشته‌های کواترنر را تشکیل می‌دهند.

۳- روش پژوهش

در پی پیمایش و بررسی‌های دقیق صحرایی تعداد ۳۰ نمونه فاقد هوازدگی انتخاب شدند. سپس مقاطع نازک تهیه شده از این نمونه‌ها توسط میکروسکپ پلاریزان انکساری در دانشگاه پیام نور مرکز بیرجند مورد مطالعه پتروگرافیک قرار گرفتند. از میان مقاطع یاد شده تعداد ۱۱ نمونه واجد حداقل دگرسانی به منظور آنالیزهای تکمیلی به کشور کانادا ارسال و در مجموعه آزمایشگاهی آنالیز عنصری و ایزوتوپ سنگین مستقر در دانشگاه ویندزور (EHIAL) به روش ICP-OES و با استفاده از فرایند ذوب قلیایی مورد آزمایش قرار گرفتند. در فرایند ذوب قلیایی با بکارگیری کمک ذوب لیتیم متابورات بیشتر عناصر دیرگداز (Refractory Elements) تجزیه می‌گردند. این روش قابلیت تجزیه اکسیدهای اصلی از جمله SiO_2 را دارا بوده و تلفیق این

مافیک این سنگ‌ها بلورهایی از جنس پیروکسن ارتورومبیک (هیپرستن - دارای خاموشی موازی) می‌باشند که بعضاً بصورت فنوکریست و عموماً بصورت ریزبلور در زمینه دیده می‌شوند (شکل ۲ c,d). میکروولیت های ظریف پلاژیوکلاز که بصورت محدود با ریزبلورهایی از جنس کوارتز همراه هستند. فراوانی قابل توجهی در خمیره داشته و در مواردی بافت جریانی را به نمایش می‌گذارند. فازهای اپک به صورت پرکننده فضاهای بینابینی در این سنگ‌ها وجود داشته و اکسیدهای آهن غالباً بصورت رگه‌ای مشاهده می‌گردند.

می‌روند. سنگهای داسیتی که رخنمونهایی را به فاصله بیشتر در شرق شهر مود به خود اختصاص می‌دهند، نسبت به رخنمونهای تراکی‌بازالتی درشت بلورتر بوده و روشن تر می‌باشند، بطوریکه با نمای خاکستری متمایل به روشن از آتشفشانی‌های بازیک مجاور به آسانی متمایز می‌گردند. بافت این سنگ‌ها عموماً پرفیریتیک و زمینه آنها آفانیتیک تا شیشه‌ای می‌باشد. درشت بلورهای پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و عموماً زونه، فنوکریست اصلی بوده و ترکیب غالب آنها نیز الیگوکلاز می‌باشد. اندازه این کانی‌ها از ۰/۵ تا ۲ میلی متر متغیر است. تنها سازنده



شکل ۲- (a) بافت پرفیریتیک با زمینه هیالوپلیتیک در یک نمونه از تراکی‌بازالت‌ها، پدیده تحلیل رفتگی در حاشیه فنوکریست‌های الیوین مشاهده می‌شود (XPL)، (b) درشت بلورهای الیوین در بازالت‌ها دارای حاشیه‌های تحلیل رفته و خلیج مانند بوده و در زمینه‌ای از میکروفنوکریست‌های مافیک و میکروولیت‌های پلاژیوکلاز پراکنده‌اند (XPL)، (c) در نمونه‌هایی از سنگ‌های داسیتی، فنوکریست‌های زونه پلاژیوکلاز در زمینه نیمه بلورین قرار دارند (XPL) و (d) هیپرستن عموماً تنها فنوکریست هستند که بعضاً در سنگ‌های داسیتی دیده می‌شود (XPL).

Fig. 2. (a) Porphyritic texture with hyalopilitic mesostasis in a trachybasaltic sample, the dwindling phenomenon is visible in olivine phenocryst rims (XPL), (b) In basaltic rocks olivine phenocrysts have dwindled and absorbed rims and they are scattered in a mesostasis containing mafic microphenocrysts and plagioclase microlites (XPL), (c) Zoned plagioclase phenocrysts afloat in the semi-crystalline mesostasis, a dacitic sample and (d) Hypersthene is the unique visible phenocryst in some of the dacitic samples (XPL).

۵- طبقه‌بندی و سرشت ماگمایی

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری محتوای اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی و کمیاب در جدول ۱ ارائه گردیده‌است. بر اساس نمودار TAS (Middlemost, 1994) از مجموع نمونه سنگهای مورد آزمایش قرار گرفته چهار نمونه فقیر از سیلیس، تراکی-بازالت و هفت نمونه دیگر که از محتوی قابل توجه سیلیس برخوردارند، داسیت می‌باشند (شکل ۳a). نمودار TAS (Cox)

(et al. 1979) نشان می‌دهد که آلکالینیته سنگهای بازالتی مورد مطالعه بطور نسبی از بازالت‌های متعارف بالاتر بوده و این سنگ-ها را می‌توان در مجموعه هاوائیئیت‌ها طبقه‌بندی کرد (شکل ۳b). نمودار $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ (Peccerillo and Taylor, 1976) نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های مورد مطالعه به مجموعه سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکان غنی از پتاسیم تعلق دارند (شکل ۳c)، ولکانیکهایی که معلول تکتونیک فعال و زمین ساخت جنبی می‌باشند.

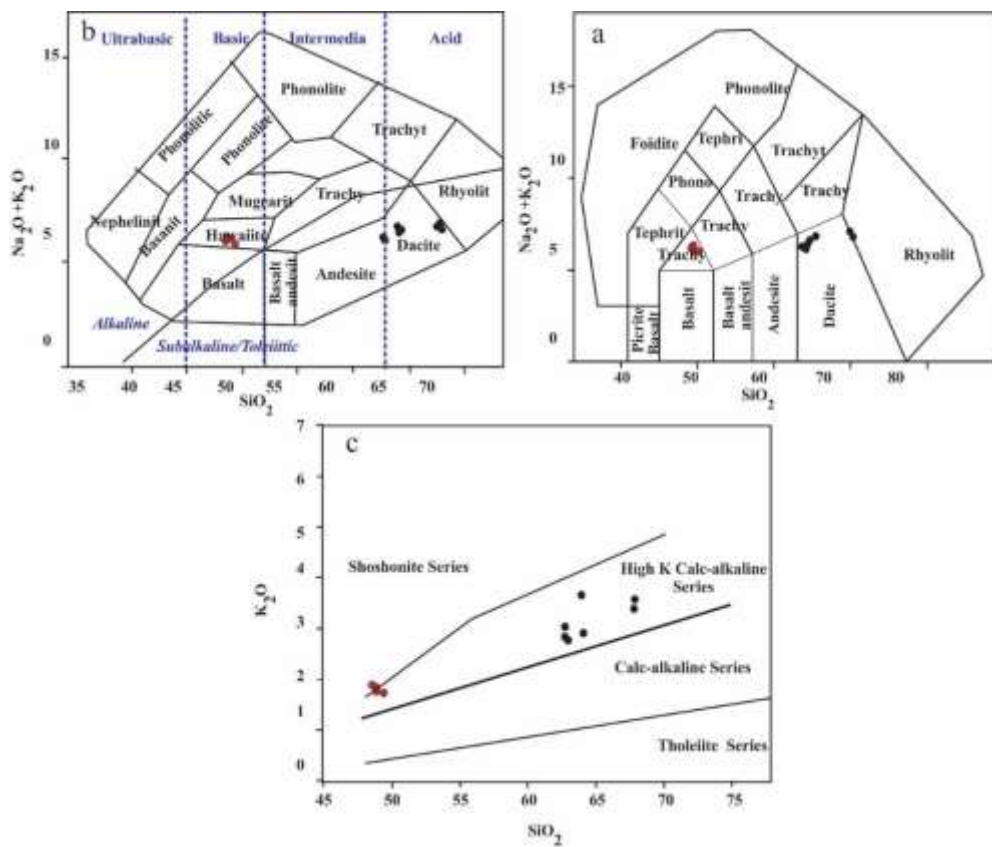
جدول ۱- نتایج آنالیز اکسیدهای اصلی (درصد وزنی) و عناصر فرعی و کمیاب (ppm) سنگهای آتشفشانی منطقه مود اندازه گیری شده به روش ICP-OES

Table 1. The results of main oxides (wt %), secondary and rare elements (ppm) for Mood area volcanic rocks, measured by the ICP-OES method

Samples	T120	T13	T123	T253	T12	T225	T218	T25	T233	T224	T219
X	5931.83	5931.94	5931.83	5932.65	5932.36	5932.57	5932.53	5931.41	5932647	5932.60	5932.53
Y	3242.86	3243.11	3242.83	3242.18	3242.73	3242.57	3242.51	3242.52	3242449	3242.47	3242.52
Rock type	Trachy basalt										Dacite
SiO ₂	48.58	48.75	49.43	49.5	62.7	62.79	62.84	63.9	64.09	67.78	67.89
TiO ₂	0.928	0.909	0.929	0.89	0.712	0.653	0.643	0.658	0.644	0.345	0.365
Al ₂ O ₃	14.08	14.13	14.14	14.14	15.96	15.73	15.65	16.12	16.06	14.67	14.9
Fe ₂ O ₃	8.83	8.81	8.5	8.68	4.25	4.28	4.3	3.74	4.31	2.5	2.61
MnO	0.15	0.15	0.14	0.14	0.08	0.08	0.08	0.06	0.06	0.04	0.06
MgO	11.33	11.15	11.06	11.3	3.26	2.9	2.88	1.94	2.33	1.19	1.23
CaO	8.59	8.62	7.93	8.26	5.2	5.06	4.8	4.33	4.78	3.11	3.18
Na ₂ O	4.37	4.27	4.14	4.17	3.15	3.23	3.44	3	3.66	3.16	3.31
K ₂ O	1.84	1.79	1.71	1.72	3.01	2.82	2.8	3.66	2.9	3.39	3.56
P ₂ O ₅	0.32	0.31	0.3	0.3	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.11	0.11
SUM	99.018	98.889	98.279	99.1	98.502	97.723	97.613	97.588	99.004	96.295	97.215
LOI	0.982	1.111	1.721	0.9	1.498	2.277	2.387	2.412	0.996	3.705	2.785
S	0.063	0.06	0.047	0.039	0.124	0.043	0.037	0.027	0.033	0.028	0.026
Ba	575	575	529	538	537	492	502	612	547	668	699
Rb	19.99	19.99	19.99	19.99	100	19.99	19.99	19.99	19.99	200	110
Sr	984	968	908	913	441	373	377	472	381	272	266
Zr	93	91	92	92	159	169	165	165	170	150	155
Ni	278	277	302	281	56	68	54	29	58	26	29
Co	40	48	37	39	40	13	13	11	11	8	8
Zn	67	67	67	65	46	49	46	42	41	38	44
Cr	397	411	355	387	116	93	92	78	106	44	46
La	32.5	35.8	30.2	31.8	29.1	25	26.9	28.4	25.6	30.1	28.8
Ce	48	58	54	53	49	45	42	50	42	39	44
Nd	32	29	22	32	24	18	16	22	37	4.99	8

ادامه جدول ۱

Sm	4.3	4.4	4	4.1	3.7	3.5	3.3	3.6	3.4	3.3	3.4
Eu	0.8	0.6	0.9	0.8	0.9	0.3	0.7	0.1	0.6	0.7	0.1
Tb	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Yb	1.3	1.2	1.3	1.1	1.4	1.7	1.2	2	1.2	1.2	1.4
Lu	0.07	0.14	0.17	0.22	0.3	0.16	0.23	0.25	0.23	0.22	0.19
Y	16	16	15	16	18	17	17	16	16	14	15
Cs	0.5	0.5	0.5	0.5	7.1	5	0.5	6.9	5.5	6.9	9.8
Hf	0.5	2.6	2.3	2.9	4.2	3.4	3.7	3.4	4.2	4.2	3
Sn	17.4	18.2	16.5	17.3	11.2	8.6	8.6	7.2	8.9	4.9	4.8
Th	5	4.2	3.9	4.9	10.4	10.1	11.2	13.8	10.6	15.7	13.8
U	0.5	0.5	0.5	0.5	2.7	1.6	6.1	5	3.5	4.4	4
V	194	195	186	186	97	80	82	72	78	43	45
Pb	4.9	4.9	4.9	4.9	9	10	8	13	8	14	13
Mo	1.9	5	1.9	1.9	14	1.9	4	1.9	3	5	4
Cu	129	166	134	123	418	104	89	83	88	80	86
Sb	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
Bi	1.9	4	1.9	1.9	3	1.9	1.9	2	2	1.9	1.9



شکل ۳ - نمودار (a) مجموع آلکان در مقابل SiO_2 (Middlemost, 1994)، (b) نمودار مجموع آلکان در مقابل SiO_2 (Cox et al, 1979) و (c)

نمودار (Peccerillo and Taylor, 1976) $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$

Fig. 3. (a) Total alkali vs. SiO_2 (Middlemost, 1994), (b) Total alkali vs. SiO_2 (Cox et al. 1979) and (c) K_2O vs. SiO_2 diagram (Peccerillo and Taylor, 1976).

۶- بحث

۶-۱- ژئوشیمی

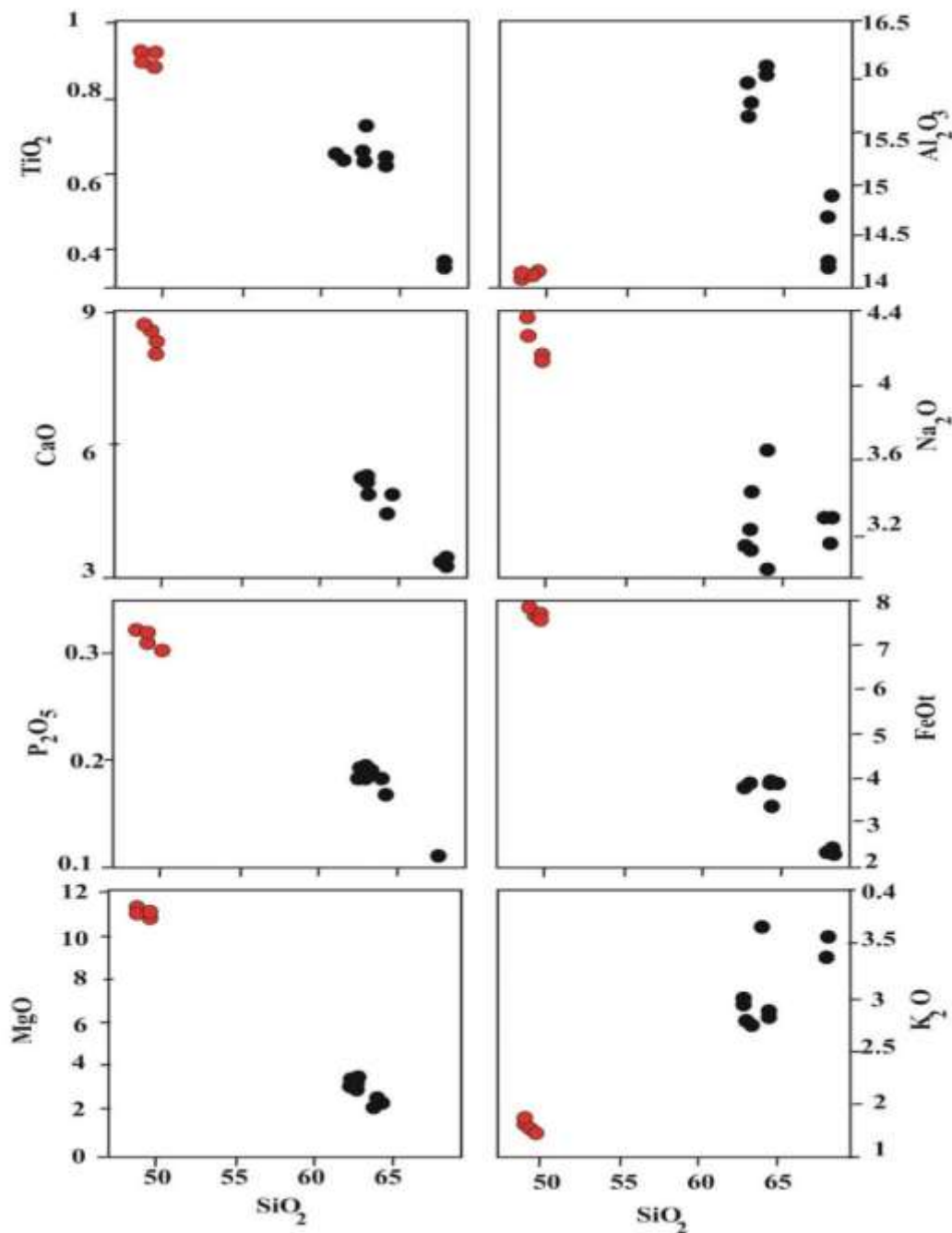
برای بررسی تحولات ماگمایی، نمودارهای دو متغیره مبتنی بر اکسیدهای اصلی در برابر سیلیس و برخی عناصر فرعی و کمیاب در برابر سیلیس و یا عناصر دیگر بکار می‌روند. ترسیم این نمودارها در مورد سنگهای آذرین خروجی مورد مطالعه در منطقه مود تمایز و ژنتیک متفاوت در ولکانیسم منطقه را برجسته می‌نماید. نمودار تغییرات TiO_2 در مقابل SiO_2 علاوه بر تمایز دو مجموعه، حاکی از محتوی بالاتر TiO_2 در سنگهای بازالتی بوده و نشان می‌دهد که مجموعه اخیر منشأ گوشته‌ای داشته و کمتر از پدیده آلاش پوسته‌ای تأثیر پذیرفته‌است. نمودار تغییرات Al_2O_3 در برابر سیلیس نشان می‌دهد که مجموعه داسیتی مورد مطالعه بسیار تفریق یافته‌است، محتوی بالای SiO_2 در این سنگها نیز این نتیجه را تأیید می‌نماید. نمودار تغییرات MgO در برابر SiO_2 نیز مؤید تمایز دو طیف ترکیبی مورد مطالعه بوده و ماهیت مافیک و اولیه سنگهای بازالتی را آشکار می‌نماید. نمودار CaO در برابر SiO_2 نشان می‌دهد که سنگهای داسیتی کاملاً تفریق یافته‌اند در حالی که سنگهای بازالتی، چندان از فرایند تفریق تأثیر نپذیرفته‌اند. دو نمودار تغییرات محتوی اکسید عناصر آلکالن (سدیم و پتاسیم) در مقابل SiO_2 آشکار کننده اطلاعات بسیار ارزشمندی در ارتباط با ماهیت سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه می‌باشند چنانکه مجموع محتوی Na_2O و K_2O در سنگهای بازالتی ($Na_2O=4.24\%$ & $K_2O=1.76\%$) حتی از میانگین این اکسیدها برای بازالت‌های آلکالن نیز بالاتر است (Chayes, 1975). این محتوی در مورد Na_2O آن قدر بالاست که می‌توان احتمال داد این سنگها در مراحل پایانی تکوین خود از فرایند متاسوماتیسم سدیم و افزایش محتوی سدیم بصورت ثانویه تأثیر پذیرفته باشند. میانگین Na_2O در داسیتها (3.28%) تقریباً نرمال بوده و به میانگین این اکسید برای داسیت‌های سنوزوئیک نزدیک می‌باشد (Chayes, 1975) در حالی که میانگین K_2O برای این طیف سنگ‌شناسی، (3.16%)، از میانگین این اکسید برای داسیت‌های سنوزوئیک فوق‌الشاره بیشتر بوده و به میانگین ترکیب شیمیایی داسیت‌های کوهزائی مدیترانه (Ewart, 1979) نزدیک است. نمودارهای P_2O_5 و FeO_t نیز تفاوت ماهوی دو طیف سنگی مورد مطالعه را برجسته کرده و حاکی از منشأ اولیه برای تراکی بازالت‌های منطقه مود می‌باشند

(شکل ۴). در شکل ۵ تغییرات محتوی Sr , Zr , & A/CNK در مقابل SiO_2 نشان داده شده و هر پنج نمودار ایده تفاوت تکوینی دو طیف سنگ‌شناسی مورد مطالعه را تقویت نموده‌اند. محتوی Ni , Cr و Sr و Cr بازالتها بسیار بیشتر از مقدار این عناصر در داسیتها بوده و در مقابل داسیتها از محتوی Zr و نسبت A/CNK بالاتری نسبت به بازالتها برخوردارند. محتوی بالاتر نیکل و کروم در بازالتها با توجه به خصلت بازیگ و ماهیت اولیه و تفریق نیافته این سنگها طبیعی به نظر می‌رسد ولی میانگین بسیار بالای محتوی Sr (943 ppm)، در این سنگها قابل توجه بوده و می‌تواند ناشی از حضور فازهای اکسیدی آهن و تیتانیوم در تفاله باشد (Martin, 1999). یادآور می‌شود Sr در شرایط گوشته بصورت یک عنصر ناسازگار عمل کرده و در فاز مذاب تمرکز می‌یابد (Shahsavari and Homam, 2013). نسبت بسیار بالاتر A/CNK در داسیتها در مقایسه با گدازه‌های بازیگ با توجه به تفریق یافتگی قابل توجه این سنگها قابل انتظار بوده اما ناهنجاری مثبت این سنگها در مورد Zr بعلاوه ناهنجاری مثبت از Pb (که در صفحات پیش رو به آن خواهیم پرداخت) نشانه روشنی از تأثیر پذیرفتن این سنگها از فرایند آلاش پوسته‌ای می‌باشد (De Paolo, 1981).

در شکل ۶ از MgO به عنوان اندیس تفریق استفاده شده و تغییرات SiO_2 , CaO , Na_2O و K_2O نسبت به آن ارزیابی شده‌است. این نمودارها ضمن تایید تمایز آشکار این دو طیف سنگ‌شناسی، حاکی از محتوی بالای MgO در تراکی بازالتها به نسبت داسیتها بوده، همینطور نشان می‌دهند که تراکی بازالتها به تناسب محتوی بالای MgO ، از CaO و Na_2O غنی و از K_2O فقیر می‌باشند. داسیتها در مقابل به نسبت تراکی بازالتها از CaO و Na_2O فقیر و از K_2O غنی می‌باشند. محتوی پایین CaO و Na_2O در داسیتها طبیعی و تایید کننده تفریق یافتگی این سنگهاست در حالی که محتوی بالای K_2O در این سنگها نامتعارف بوده و نشان می‌دهد که این سنگها در مجموعه سنگهای پتاسیک قوس‌قاره‌ای جای می‌گیرند (Muller et al, 1992; Muller and Groves, 1993). محتوی بالای CaO و Na_2O در تراکی بازالتها نیز به ترتیب می‌تواند بازتاب طبیعت کالک‌آلکالن آنها و تأثیر پذیرفتن احتمالی از فرایند متاسوماتیسم سدیم (با توجه به محیط زایش این سنگها، بازشدگی‌های کششی زونهای گسلی راستالغز)

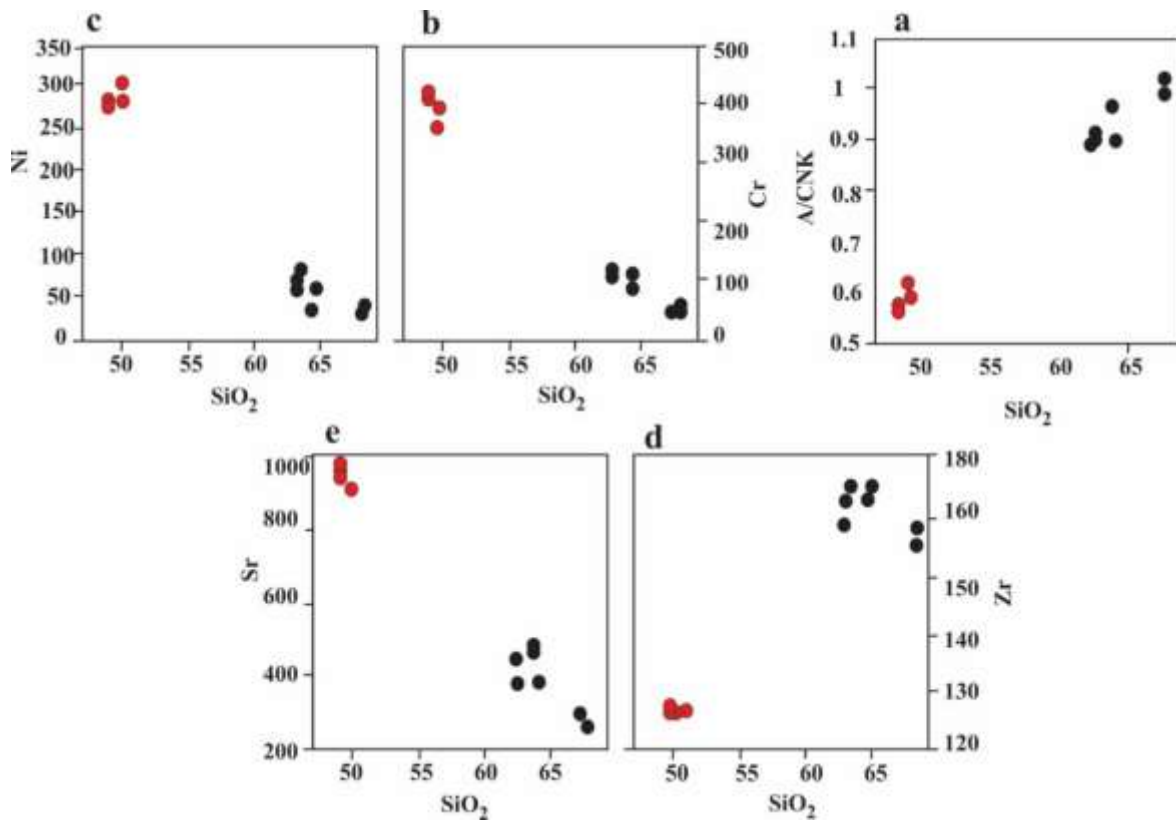
حاکی از تفریق یافتگی قابل توجه سنگهای داسیتی است. بر اساس مطالعات (Shahsavari and Homam, 2013) محتوی فراوان Zr در برابر مقادیر قابل توجه Th در سنگهای حدواسط تا اسیدی، نشانه‌ای از روند عادی تفریق در این گونه ترکیبات است.

قلمداد شود. میانگین مقدار K_2O سنگ‌های بازالتی (1.76%) نیز در قیاس با میانگین بازالت‌های کالک‌آلکالن، گزارش گردیده توسط (Nockolds and Le Bas, 1977)؛ (0.74%) بیشتر بوده و باید آنها را گدازه‌هایی با سرشت کالک‌آلکالن پتاسیک در نظر گرفت. در شکل (۷) نمودار تغییرات Zr در برابر Th نیز



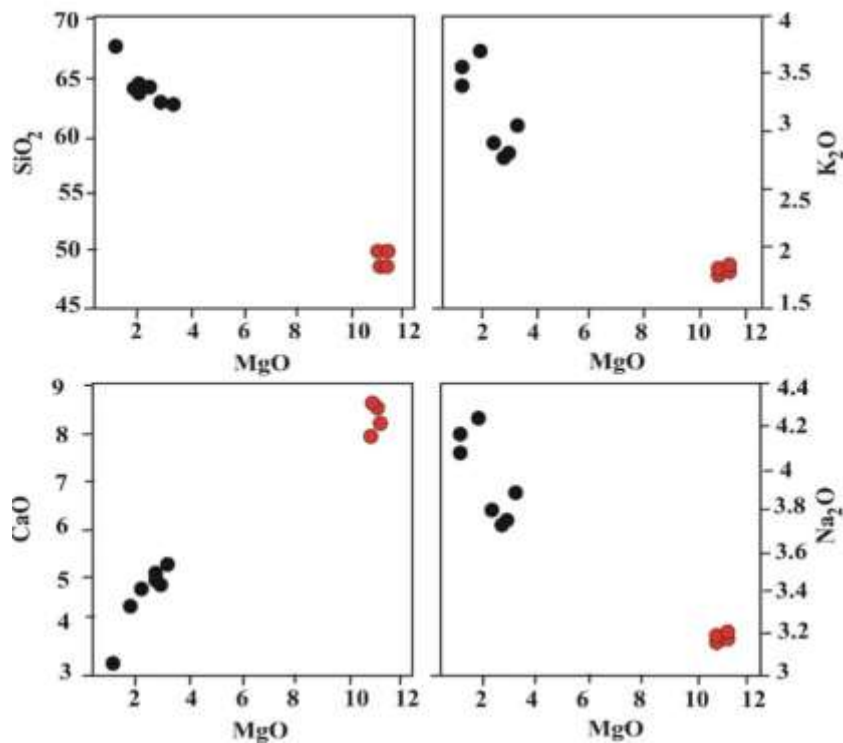
شکل ۴ - نمودار تغییرات TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 and FeO_t در برابر SiO_2 برای نمونه‌های مورد مطالعه

Fig. 6. TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 and FeO_t vs. SiO_2 variation diagrams for the samples



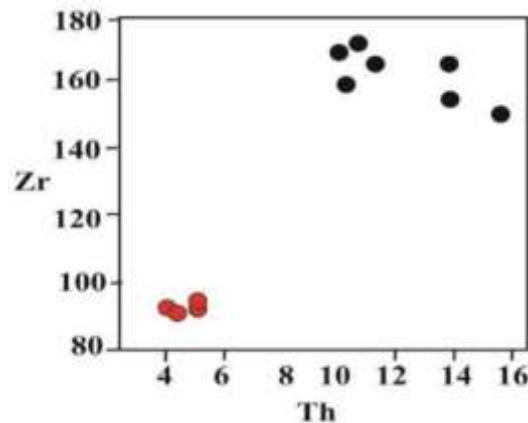
شکل ۵ - نمودارهای تغییرات A/CNK در برابر SiO_2 و Sr , Zr , Ni , Cr در مقابل SiO_2

Fig. 5. (a) A/CNK vs SiO_2 and (b, c, d and e) Sr , Zr , Ni , Cr vs. SiO_2 diagrams



شکل ۶ - تغییرات CaO , SiO_2 ، Na_2O و K_2O در برابر MgO به عنوان اندیس تفریق برای نمونه های مورد مطالعه

Fig. 6. SiO_2 , CaO , Na_2O and K_2O variations vs. MgO as differentiation index for studied samples



شکل ۷ - نمودار تغییرات Zr در برابر Th
Fig. 7. Zr vs. Th variation diagram

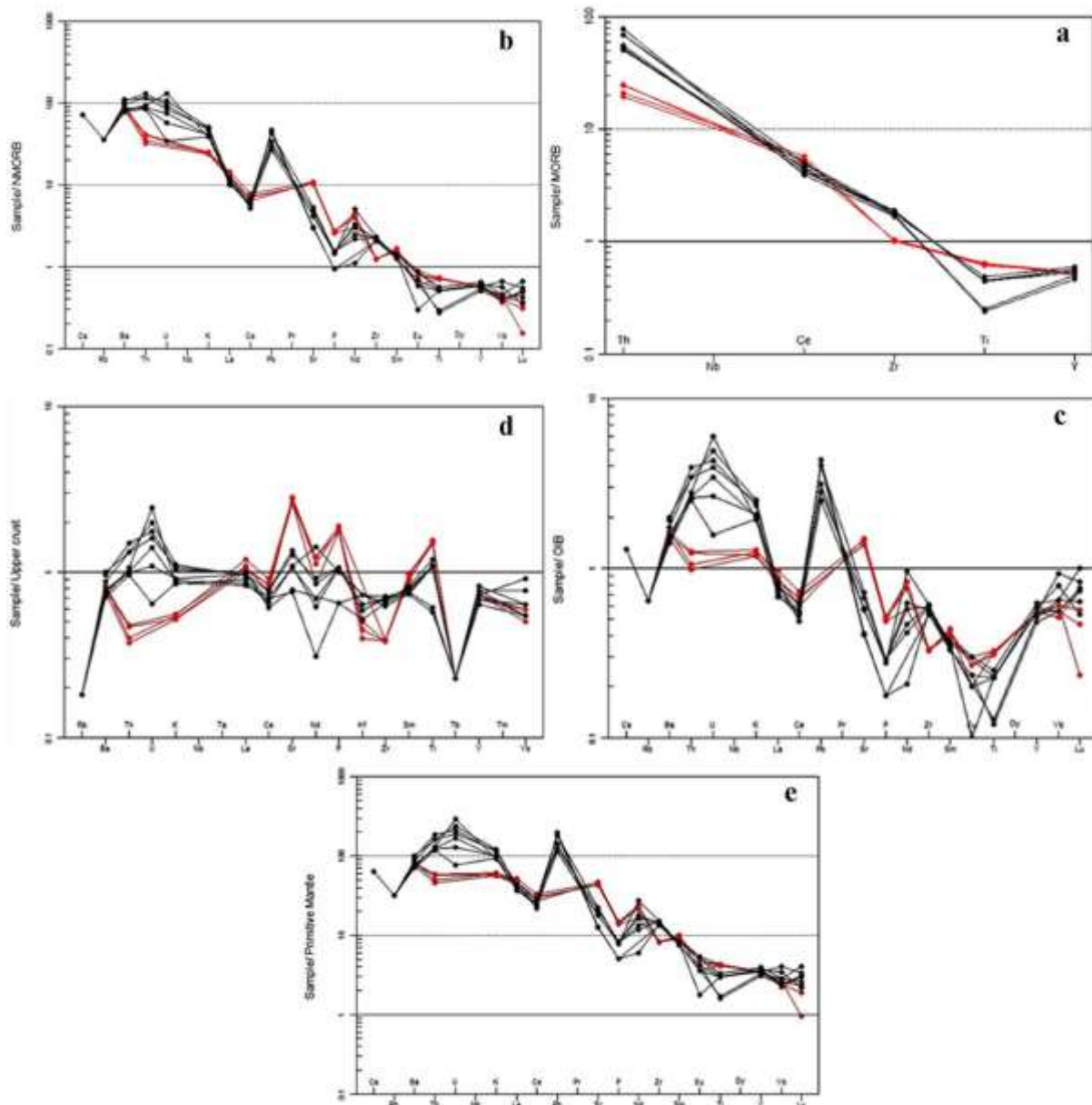
است که تفریق بارز تیتانومگنتیت و آپاتیت نیز سبب تهی شدگی از Ti و P در گدازه‌های حدواسط تا اسیدی می‌گردد (Martin, 1999). از شواهدی چون غنی‌شدگی از LILE و Pb و تهی‌شدگی از عناصری مانند Ti برای اثبات آلودگی مذاب بالارونده با مواد پوسته‌ای استفاده می‌گردد (Soltani et al., 2012).

نمودار شکل ۸c همچنین نمایانگر ناهنجاری منفی Eu بویژه در مورد سنگهای داسیتی است، نشانه‌ای که توسط اغلب پژوهشگران به عنوان یک ویژگی شاخص برای ولکانیک‌های کالک‌آلکان مرتبط با کوهزایی و تکتونیک فعال معرفی گردیده‌است (Barth et al, 2002; Wilson, 2007; Harangi et al, 2009; Rouhbakhsh et al, 2007; Helvac et al, 2009). همکاران (۲۰۱۸) دلیل این ناهنجاری را حضور پلاژیوکلاز به عنوان فاز باقیمانده در سنگ منشا ماگمایی دانسته‌اند. نمودار عنکبوتی بهنجار شده با پوسته فوقانی، شکل (۸d)، نشان می‌دهد که داسیت‌ها نسبت به پوسته فوقانی برای عنصر U ناهنجاری مثبت شاخص دارند. در مقابل سنگهای بازالتی دارای محتوای بالاتری از Sr, P و Ti نسبت به داسیت‌ها می‌باشند. ناهنجاری مثبت Ti و P نشانه‌ای است که عموماً برای اثبات عدم آلودگی با مواد پوسته مورد استناد قرار می‌گیرد (Reichew et al, 2004; Hagnazar and Malakoutian, 2011). همینطور بازالت‌ها دارای ناهنجاری منفی از K و Th می‌باشند. عدم وجود آنومالی مثبت Th حاکی از عدم آرایش این سنگ‌ها با مواد پوسته‌ای بوده و ناهنجاری منفی K در کنار ناهنجاری مثبت Ti در تراکی‌بازالت‌ها نسبت به سنگهای داسیتی، می‌توانند

نمودارهای عنکبوتی ابزار مناسبی برای ارزیابی عناصر فرعی و کمیاب و مطالعات ژنتیک فراورده‌های آتشفشانی می‌باشند. نمودار عنکبوتی نرمالیز شده با MORB (Pearce, 1996) علاوه بر آشکارسازی تمایز ژنتیک دو مجموعه سنگ آتشفشانی مورد مطالعه، نشانگر ناهنجاری مثبت شاخص برای Th و در مقابل ناهنجاری منفی آشکار برای عنصر Ti در گدازه‌های داسیتی منطقه مود می‌باشد (شکل ۸a). Esmaeili و همکاران (2016) نیز غنی‌شدگی از LILE و تهی‌شدگی از عناصری نظیر Ti را نشانه پیدایش این گونه سنگ‌ها در پهنه‌های فرورانشی دانسته‌اند. در شکل ۸b، نمودار عنکبوتی نرمالیز شده نسبت به NMORB برای طیفهای مختلف سنگ‌شناسی منطقه مود به نمایش گذاشته و حاکی از وابستگی زایشی هر دو طیف سنگ‌شناسی به فرایند کوهزاد برخوردی می‌باشند. امروزه عموم سنگ‌شناسان نسبت‌های بالای LILE/HFSE و LREE/HREE را دلیل بارزی برای ارتباط زایشی با پهنه‌های فرورانشی می‌دانند (Alizadeh et al, 2014). شکل (۸c)، نمودار عنکبوتی نرمالیز شده با OIB (Sun and Mc Donough, 1989) نیز نتایج مشابهی در اختیار می‌گذارد. ناهنجاریهای مثبت و منفی برای ترکیب شیمیایی سنگهای داسیتی آشکارا تعلق این سنگ‌ها را به ولکانیسم کالک‌آلکان حاشیه فعال قاره‌ای تایید می‌نمایند. این سنگ‌ها ناهنجاری مثبت شاخصی برای U, Th و Pb و در مقابل ناهنجاری منفی آشکار برای Ti و P نشان می‌دهند، ویژگیهایی که برای اثبات پدیده آرایش مذاب با مواد پوسته‌ای مورد استناد قرار می‌گیرند (Gencalioglu Kuscü and Genel, 2010) لازم به ذکر

برجسته محیطهای کمانی است که می تواند از خاستگاه ماگما از یک پوسته اقیانوسی فرورونده و گوه گوشته‌ای دگرنهاد روی آن، وقوع فرایند تبلور جدایشی و نیز هضم و آرایش ماگما با مواد پوسته‌ای ناشی شده باشد (Saunders et al, 1992; Nagudi et al, 2003).

شواهدی بر این ادعا باشند که تراکی‌بازتهای مورد مطالعه در یک رژیم کششی ناشی از عملکرد گسلهای عمیق شکل گرفته‌اند (Chappel, 1999). نمودار عنکبوتی بهنجار شده با گوشته‌اولیه در شکل (8e) دیده می‌شود. تهی‌شدگی از P و Ti که در مورد سنگهای داسیتی شاخص است، از ویژگی‌های



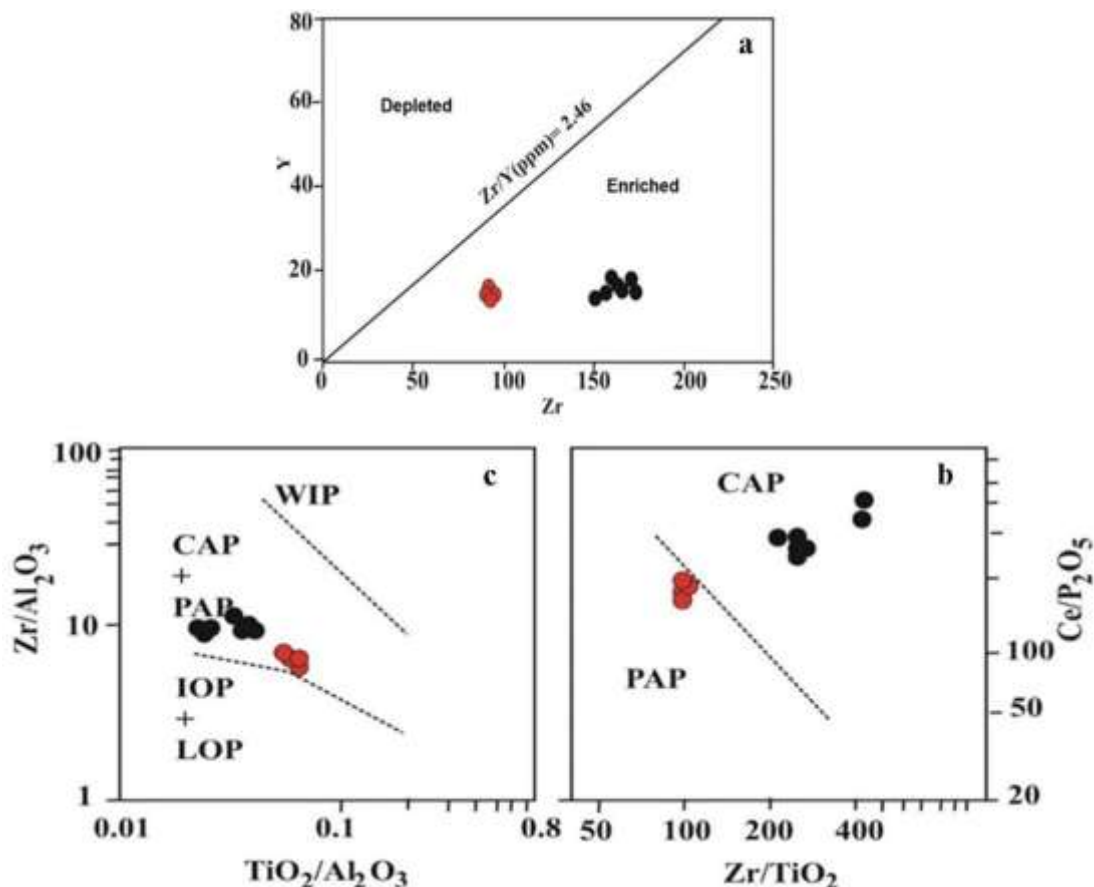
شکل ۸ - (a) نمودار عنکبوتی نرمالیز شده نسبت به MORB (Pearce, 1996)، (b) نمودار عنکبوتی بهنجار شده با NMORB (Sun and Mc Donough, 1989)، (c) نمودار عنکبوتی بهنجار شده با پوسته فوقانی (Donough, 1989)، (d) نمودار عنکبوتی بهنجار شده با پوسته فوقانی (Sun and Mc Donough, 1989)، (e) نمودار عنکبوتی بهنجار شده با گوشته اولیه (Sun and Mc Donough, 1989).

Fig. 8. (a) Spider diagram normalized by MORB (Pearce, 1996), (b) Spider diagram normalized by NMORB (Sun and Mc Donough, 1989), (c) Spider diagram normalized by OIB (Sun and Mc Donough, 1989), (d) Spider diagram normalized by upper crust (Taylor and Mc Lennan, 1985), and (e) Spider diagram normalized by primary mantle (Sun and Mc Donough, 1989).

۲-۶- تکتونوماگماتیسم

تمایز در عناصر کمیاب مانند عناصر با شدت میدان بالا، عناصر لیتوفیل بزرگ یون و عناصر نادر، در محیط‌های زمین‌ساختی مختلف، ابزاری کلیدی برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی است (Condie, 2005; Senyah et al,) برای بررسی ماهیت محیط منشأ سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه از نمودار Y در برابر Zr (Sun and Mc Donough, 1989) استفاده شده که نشان می‌دهد تمام نمونه‌ها به مانند نمونه‌های منشأ گرفته از گوشته غنی می‌باشند (شکل ۱۵). محتوی بالاتر Zr در سنگهای داسیتی نشان‌دهنده تأثیر پذیرفتن این سنگ‌ها از فرایند آلیایش پوسته‌ای بوده و به کمک این نمودار می‌توان از این نظر بین دو مجموعه گدازه مورد مطالعه تمایز قائل شد (De Paolo, 1981).

با توجه به اینکه سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارای محتوی پتاسیم متوسط تا بالا هستند، سعی شده تا برای تعیین محیط تکتونیکی از نمودارهای مناسب برای تفکیک سنگ‌های پتاسیک استفاده شود. می‌توان این بررسی را به کمک نمودارهای Zr/Al₂O₃ در مقابل TiO₂/Al₂O₃ و Ce/P₂O₅ در مقابل Zr/TiO₂ (Muller et al, 1992; Muller et al, 1997) تکمیل کرد (شکل ۱۶). این شکل نشان می‌دهد که سنگ‌های منطقه از WIP (سنگ‌های پتاسیک درون صفحه‌ای)، LOP (سنگ‌های پتاسیک قوس اقیانوسی تأخیری) و IOP (سنگ‌های پتاسیک کمان اقیانوسی اولیه) متمایز بوده و گدازه‌های داسیتی از نوع CAP (سنگ‌های پتاسیک قوس قاره‌ای) و تراکی‌بازالت‌های نئوژن - کواترنری از نوع PAP (سنگ‌های پتاسیک قاره‌ای پس از برخورد) می‌باشند.



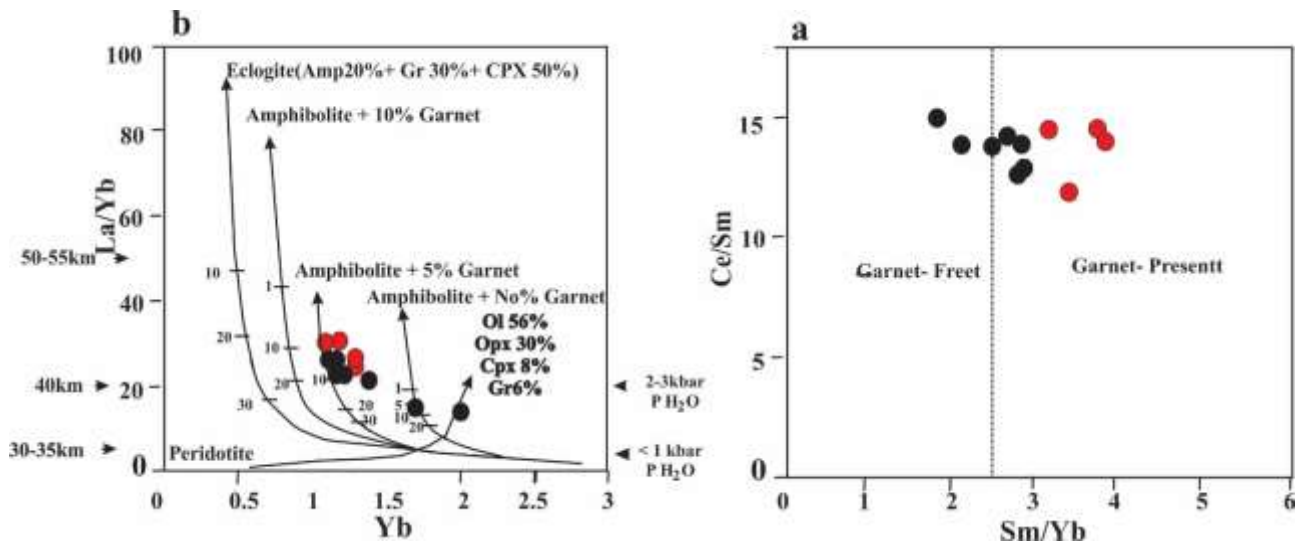
شکل ۹ - (a) نمودار Y در برابر Zr (Sun and Mc Donough, 1989) و (b and c) نمودارهای Zr/Al₂O₃ در مقابل TiO₂/Al₂O₃ و P₂O₅ در مقابل Zr/TiO₂ (Muller et al, 1992; Muller et al, 1997)

Fig. 9. (a) Y vs. Zr variation (Sun and Mc Donough, 1989), and (b and c) Zr/Al₂O₃ vs. TiO₂/Al₂O₃ and P₂O₅ vs. Zr/TiO₂ diagrams (Muller et al, 1992; Muller et al, 1997).

۶-۳- منشأ ماگما و ماهیت گوشته مولد آن

به منظور آگاهی از ترکیب کانی‌شناسی سنگ منشأ، مدل‌سازی رقومی بر اساس داده‌های مربوط به E-MORB از (Sun and Mc Donough, 1989) و ضرایب توزیع La و Yb از Klein و همکاران (۱۹۹۷)، Van Westrenen و همکاران (۲۰۰۱) و Barth و همکاران (۲۰۰۲) انجام شده‌است. در این مدل‌سازی پنج مدل زیر در نظر گرفته شده‌است: ۱- اکلوژیت با ۲۰٪ آمفیبول، ۳۰٪ گارنت و ۵۰٪ کلینوپیروکسن ۲- آمفیبولیت گارنت‌دار واجد ۱۰٪ گارنت ۳- آمفیبولیت گارنت‌دار با ۵٪ گارنت ۴- آمفیبولیت فاقد گارنت و ۵- پریدوتیتی متشکل از الیوین، ارتوپیروکسن، کلینوپیروکسن و گارنت. مدل‌سازی ژئوشیمیایی ذوب دسته‌ای برای سنگهای ناحیه حاکی از آن است که نرخ ذوب‌بخشی برای تشکیل تراکی‌بازالت‌ها کمتر (حدود ۱۰ درصد) بوده در حالی که ماگمای منشأ گدازه‌های

داسیتی ذوب‌بخشی بالاتر (بیشتر از ۱۰ درصد) را پشت سر گذاشته‌است. منطبق بر این نمودار به نظر می‌رسد ترکیب سنگ منشأ گدازه‌های بازالتی یک آمفیبولیت گارنت‌دار (تا پنج درصد گارنت) بوده و تفاله ذوب فاقد پلاژیوکلاز (ویژگی که پیش از این نیز بدلیل ناهنجاری شاخص و مثبت Sr در گدازه‌های بازالتی تأیید شده) و حاوی گارنت است. این در حالی است که سنگ منشأ گدازه‌های داسیتی از محتوی گارنت کمتر برخوردار بوده و به سمت ترکیب پریدوتیتی پیش رفته‌است (شکل a, b). Pearce و همکاران (۱۹۹۰) معتقدند گوشته بالای یک زون فرورانش می‌تواند ماگمایی با ویژگی‌های کالک‌آلکانل ایجاد کند. تشکیل ماگمای کالک‌آلکانل در زون فرورانش به میزان آب و درجه ذوب‌بخشی بستگی دارد؛ به طوری که از ذوب‌بخشی گوشته‌بالایی، در حضور آب کافی (فشار آب حدود ۱/۳ کیلو بار) ماگمای کالک‌آلکانل ایجاد می‌شود؛ در حالی که در مقادیر کمتر آب یا درجه پایین ذوب‌بخشی گوه‌گوشته‌ای، ماگمای آلکانل تشکیل می‌شود (Bonin, 1990).



شکل ۱۰ - (a) نمودار در مقابل Sm/Yb (Coban, 2007) Ce/Sm در مقابل Sm/Yb که نشان می‌دهد حضور فاز گارنت در گوشته منشأ ماگمای والد سنگهای تراکی‌بازالتی منطقه مود قطعی بوده ولی حضور فاز مذکور در گوشته منشأ ماگمای مولد سنگ‌های داسیتی ناچیز است. (b) مدل‌سازی رقومی بر اساس داده‌های مربوط به E-MORB از (Sun and Mc Donough, 1989) و ضرایب توزیع La و Yb از Klein و همکاران (1997) Van Westrenen و همکاران (2001) و Barth و همکاران (2002).

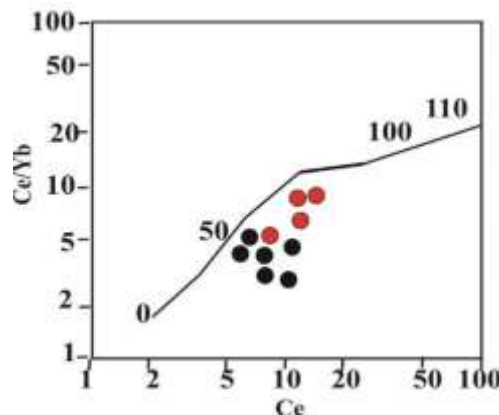
Fig. 10. (a) Ce/Sm vs. Sm/Yb (Coban, 2007) diagram confirms the presence of garnet phase in the mantle source of Mood area trachybasalts. This diagram also shows that the presence of the mentioned phase is not considerable in dacitic rocks of the area and (b) the data digital modeling based on E-MORB (Sun and Mc Donough, 1989) and La & Yb Distribution coefficients (Klein et al. 1997; Van Westrenen et al. 2001; Barth et al. 2002).

ویژه برای بازالتها مورد استفاده گیرد زیرا این عناصر تحت تأثیر تبلور تفریقی قرار نمی‌گیرند. به این منظور، از نمودار تغییرات

به عقیده (Ellam) (1992) نسبت Ce/Yb شاخص حساسی برای تغییرات ضخامت لیتوسفری است که می‌تواند به

است. به باور Ellam (1992) منطقه انتقال گارنت (اسپینل ← گارنت)، در عمق ۶۰ تا ۸۰ کیلومتری قرار دارد. نمودار عمق تشکیل مذاب والد سنگ‌های داسیتی را ۵۰ کیلومتر نشان می‌دهد، عمقی که با فرایند تشکیل این مذاب از گوشته بالای زون فرورانش انطباق دارد (شکل ۱۱).

Ce در برابر Ce/Yb برای تعیین عمق رخداد ذوب بخشی ناحیه منشأ ماگما استفاده شد که بر مبنای آن عمق رخداد ذوب بخشی و تشکیل ماگمای سازنده بازالت‌های مود حدود ۶۰ تا ۸۰ کیلومتر، منطبق بر بخش‌های زیرین گوشته لیتوسفری (Lallemant et al, 2005) و عمق پایداری لرزولیت گارنت‌دار



شکل ۱۱ - عمق رخداد ذوب بخشی و تشکیل ماگمای سازنده سنگ‌های آتشفشانی منطقه مود بر اساس نمودار Ce/Yb در برابر Ce (Ellam, 1992).

Fig. 11. Depth of magma genesis and partial melting to produce Mood area volcanic rocks based on Ce/Yb vs. Ce (Ellam, 1992).

استفاده قرار می‌گیرند. مطالعه همچنین نشان می‌دهد که ترکیب سنگ منشأ گدازه‌های بازالتی یک آمفیبولیت گارنت‌دار (تا پنج درصد گارنت) بوده و تفاله ذوب فاقد پلاژیوکلاز و حاوی گارنت است. این در حالی است که سنگ منشأ گدازه‌های داسیتی از محتوی گارنت کمتری برخوردار بوده و به سمت ترکیب پریدوتیتی متمایل گردیده‌است. نرخ ذوب بخشی برای تشکیل تراکی‌بازالت‌ها حدود ۱۰ درصد بوده در حالی که ماگمای منشأ گدازه‌های داسیتی ذوب بخشی بالاتری (بیشتر از ۱۰ درصد) را پشت سر گذاشته‌است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از سردبیر، مدیر مسئول و دبیر اجرایی مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته که امکان انتشار این نوشتار را فراهم آوردند، سپاسگزاری می‌نماییم. از رئیس و معاون محترم آموزشی و پژوهشی دانشگاه پیام‌نور استان خراسان جنوبی که در مراحل مختلف نمونه‌برداری، تهیه داده‌ها و مطالعات پتروگرافیک از حمایت ایشان برخوردار بوده‌ایم نیز تشکر می‌گردد. بدون تردید دقت نظر و نکته‌سنجی داوران محترم سبب رفع نقایص و ارتقاء کیفی نوشتار حاضر شده که از این بزرگواران نیز قدردانی می‌نماییم.

۷- نتیجه‌گیری

در گستره‌ای محدود در شمال غربی شهرستان سریشه در استان خراسان جنوبی، دو نوع کاملاً متمایز از گدازه با ژنز و تاریخچه تکاملی متفاوت رخنمون دارند؛ تراکی‌بازالت‌های (هاوائییت‌های) جوان زایش یافته در کمان آتشفشانی پس از برخورد که در امتداد زونهای کششی متأثر از بازشدگی‌های گسلی فوران یافته و داسیت‌هایی که به سکانس آتشفشانی پالئوژن بلوک لوت و شرق ایران تعلق داشته و مثال خوبی از ولکانیک‌های تفریق یافته‌ای هستند که از ذوب پوسته‌اقیانوسی جوان فرورونده در حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده و ضمن صعود، بوسیله مواد پوسته‌ای آرایش نیز یافته‌اند. تراکی‌بازالت‌ها که منسوب به پلیوسن - کواترنری می‌باشند، از Ti, Al, Ba و Sr غنی بوده و در مقابل محتوی Th آنها اندک است در حالی که گدازه‌های داسیتی تفریق یافته بوده، محتوی K_2O نسبتاً بالا داشته و دارای آنومالی مثبت Th, U, Zr و Pb و ناهنجاری منفی Ti و P می‌باشند، ویژگی‌هایی که نشانگر آرایش پوسته‌ای مذاب والد این گدازه‌ها می‌باشد. گدازه‌های اخیر همچنین غنی شده از LREE در مقایسه با محتوی HREE بوده و محتوی Sr آنها ناچیز است، خصیصه‌هایی که برای بازشناخت آتشفشانی‌های کالک‌آلکالن قوسهای قاره‌ای برخوردی مورد

مراجع

- Alavi, M. 1991. Tectonic map of the Middle East, scale 1: 5000,000, Geological survey of Iran.
- Alizadeh Nowdeh, Sh. Rahgoshay, M. Shafaei Moghaddam, H. 2014. Assessment of Tectono–environment in Nir Plio – Quaternary lavas based on REEs data. National conference of geology and mineral explorations, Shiraz – Iran (in Persian with English abstarct).
- Barth, M.G., Foley, S.F., Horn, I., 2002. Partial melting in Archean subduction zones: constraints from experimentally determined trace elements partition coefficients between eclogitic material and tonalitic melts under upper mantle conditions. *Precambrian Research* 113, 323-340. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(01\)00216-9](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(01)00216-9)
- Barth, M.G., McDonough W.F., Rudnick RL., 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chemical Geology* 165, 197–213. [http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00173-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00173-4)
- Bonin, B., 1990. From orogenic to an-orogenic settings: evolution of granitoid suites after a major orogenesis. *Geological Journal* 25(3-4), 261-270. DOI: 10.1002/GJ.3350250309
- Chappell, B.W., 1999. Aluminum saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. *Lithos* 46, 535-551. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00086-3](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00086-3)
- Chayes, F., 1975. On the need, design, and prospects for an electronic information system serving igneous petrology. *Journal of the International Association for Mathematical Geology* 7, 363 – 371. <https://doi.org/10.1007/BF02080495>
- Coban, H., 2007. Basalt magma genesis and fractionation in collision- and extension-related provinces: A comparison between eastern, central and western Anatolia. *Earth-Science Reviews* 80(3–4), 219–238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.08.006>
- Condie, K.C., 2005. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes. *Lithos* 79(3- 4), 491–504. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.014>
- Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin, London. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3373-1>
- De Paolo, D.J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wall rock assimilation and fractional crystallization: *Earth and Planetary Science Letters* 53, 189-202. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(81\)90153-9](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(81)90153-9)
- Elahpour, E., 2022. A view on Neogene – Quaternary volcanism in east of Iran, 1st edition, Payamenoor University press. P.163. (in Persian with English abstarct).
- Elahpour, E., Nauret, F., Medard, E., Benbakkar, M., Quiennec, G., Van Wyk de Vries, B., 2019. Petrogenesis and geochemistry of the Tabas Black Land volcanic field: implications for volcanic activity along the Nayband Fault, East Iran. *Volcanica* 2(2), 105 – 127. DOI: <https://doi.org/10.30909/vol.02.02.105127>
- Ellam, RM., 1992. Lithospheric thickness as a control on basalt geochemistry. *Geology* 20(2), 153–156. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0153:LTAACO>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0153:LTAACO>2.3.CO;2)
- Esmaeili, D., Nayebi, N., Ghorbani, M., Raeisi, D., 2016. Mineral chemistry and petrogenesis of the Gourgour volcanic rocks (northeast of Takab). *Journal of Petrology* 7(28), 33 – 54 (in Persian with English abstarct with English Abstract).
- Ewart, A., 1979. A Review of the Mineralogy and Chemistry of Tertiary Recent Dacitic, Latitic, Rhyolitic, and Related Salic Volcanic Rocks. In: Barker, F., (Ed.), *Trondhjemites, Dacites and Related Rocks*. Elsevier, Amsterdam, PP. 13111. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-41765-7.50007-1>.
- Gencalioglu Kuscü G., Geneli F., 2010. Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekoy volcanic complex. *International Journal of Earth Sciences* 99, 593-621. <http://dx.doi.org/10.1007/s00531-008-0402-4>.
- Ghorbani, Gh., 1992. Petrogenetic investigation of the eastern Iran quaternary basalts (Khorasan). MSc thesis, Shahid Beheshti University (in Persian with English abstarct with English abstract).
- Habibi, M., 2016. Petrology and Geochemistry of Mood area volcanic rocks, southeast of Birjand – East of Iran. MSc thesis, Payamenoor University of Kerman (in Persian with English abstarct).
- Haghnazar, Sh. and Malakoutian, S., 2011. The characteristics of mantle source in Quaternary alkali olivine basalts of Ghorveh area – Takab. *Journal of Petrology* 2 (6), 17 – 30 (in Persian with English abstarct).

- Harangi, S., Downes H., Thirlwall M., Gmeling K., 2007. Geochemistry, Petrogenesis and Geodynamic Relationships of Miocene Calcalkaline Volcanic Rocks in the Western Carpathian Arc, Eastern Central Europe. *Journal of petrology* volume 48 (12), 2261- 2287. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm059>
- Helvac, C., Ersoy EY., Sözbilir H., Erkül, F., Sümer Ö., Uzel B., 2009. Geochemistry and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: Implications for amphibole-bearing lithospheric mantle source, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 185, 181–202. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.05.016>
- Klein, M., Stosch H. G., Seck H. A., 1997. Partitioning of high field-strength and rare earth element bet amphibole and quartz-dioritic to tonalitic melts: an experimental study. *Chemical Geology* 138, 257-271. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(97\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(97)00019-3)
- Lallemand, S., Huchon, P., Jolivet, L., Prouteau, G., 2005. Convergence lithosphérique. Vuibert, Paris.
- Martin H., 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos* 46, 411–429. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00076-0](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00076-0)
- Middlemost, EAK., 1994. Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System. *Earth-Science Reviews* 37, 215-244. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Muller, RD., Roest, WR., Royer, JY., Gahagan, LM., Sclater, JG., 1997. Digital isochrons of the world's ocean floor. *Journal of Geophysical Research* 102, 3211–3214. <https://doi.org/10.1029/96JB01781>
- Muller, D. Groves, DI., 1993. Direct and indirect associations between potassic igneous rocks, Shoshonites, and gold-copper deposits. *Ore Geology Review* 8(5), 383-406. [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(93\)90035-W](https://doi.org/10.1016/0169-1368(93)90035-W)
- Muller, D., Rock, NMS. Groves, DI., 1992. Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks from different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology* 46, 259-289. DOI:10.1007/BF01173568
- Nazari, H., Salamati, R., 1999. Geological map of Sarbisheh, scale 1: 100,000, Geological Survey of Iran.
- Nagudi, N., Koberl, Ch. Kurat, G., 2003. Petrography and geochemistry of the Sigo granite, Uganda and implications for origin. *Journal of African Earth Sciences* 36, 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(03\)00014-9](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(03)00014-9)
- Nockolds, SR., Le Bas, MJ., 1977. Average calc – alkali basalt, *Geological Magazine* 114(4), 311 – 12. <https://doi.org/10.1017/S001675680004512X>
- Pearce, JA., 1996. A User's Guide to Basalt Discrimination Diagrams. In: Wyman, D.A., (Ed.), Trace element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulfide exploration. Geological Association of Canada, Short course notes, 12, 79-113.
- Pearce, JA., Bender, JF., De Long, SE., Kidd, WSF., Low, PJ., Guner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Moorbath, S. Mitchell, JG., 1990. Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 44(1–2), 189–229. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90018-B](https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90018-B)
- Peccerillo, A. Taylor, SR., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63-81. <http://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Reichew, MK., Saunders, AD., White, RV. Al Mukhamedov, AI., 2004. Geochemistry and petrogenesis of basalts from the west Siberian Basin: an extension of the – Permo -Triassic Siberian Traps. Russia. *Lithos* 79, 425-452. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.011>
- Rouhbakhsh, P., Karimpour, MH. Malekzadeh, A., 2018. Geology, mineralization, geochemistry, and petrology of Au – Cu Kuhe Zar mine intrusives, Damghan. *Journal of Economic Geology* 10 (1), 1 – 23 (in Persian with English abstarct).
- Saunders, AD., Storey, M., Kent, RW. Norry, MJ., 1992. Consequences of plume-lithosphere interactions. In: Magmatism and the causes of continental break-up (Eds. Storey, B. C., Alabaster, T. and Pankhurst, R. J.). Geological Society London Special Publication 68, 41-60. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1992.068.01.04>
- Shahsavari Alavijeh, B., Homam, SM., 2013. Petrologic and geochemical investigations of the Rovanj Paleocene – Eocene volcanic rocks, southeast of Fariman (Khorassan Razavi province, Iran). *Journal of Petrology* 4(15), 105 – 130 (in Persian with English abstarct).

- Senyah, GA., Dampare, SB. Asiedu, DK., 2016. Geochemistry and tectonic setting of the Paleoproterozoic metavolcanic rocks from the Chirano Gold District, Sefwi belt, Ghana. *Journal of African Earth Sciences* 122, 32–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.07.022>
- Soltani, A., Rahmani, H., Pourmoafi, SM., Ghorbani, M., Masoudi, F., 2012. Petrology, geochemistry, and tectonomagmatism of Taknar complex granitoid rocks – Iran. *Iranian Journal of Geology* 6(23), 3 – 17 (in Persian with English abstarct).
- Sun, S.S., McDonough, WF., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle compositions and processes. In: Saunders, AD., Norry, MJ., (Eds.), *Magmatism in ocean basins* (Eds.). Special Publications Geological Society, London PP. 313-345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Taylor, SR. Mc Lennan, SM., 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Geological magazine. Blackwell Scientific Publications, Oxford. P. 312.
- Van Westrenen, W., Blundy, JD. Wood, BJ., 2001. High field strength element/rare earth element fractionation during partial melting in the presence of garnet: Implications for identification of mantle heterogeneities. *AGU, G3 (Geochemistry, Geophysics, Geosystems)* 2. <https://doi.org/2000GC000133>. <http://dx.doi.org/10.1029/2000GC000133>
- Vosoughi Abedini, M., 1997. The study of petrology tectono-magmatism of the eastern Iran Cenozoic basalts (Khorasan). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 23 – 24, 16 -32 (in Persian with English abstarct).
- Wilson, M., 2007. *Igneous petrogenesis*. 1st edition. Springer Verlag. P. 466