

Research Article

## Tectonic setting of the Hassanabad-Shojaabad region (northeast of Isfahan), based on the tectono-magmatic investigations

Mohammad Khalaj<sup>1\*</sup>, Mozghan Poormansouri<sup>2</sup>

1-Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- PhD in Geology – Petrology

**Keywords:** *Hassanabad-Shojaabad, Tectonics, Petrography, Subduction, Magmatic tectonics.*

### 1- Introduction

The intrusive mass and volcano of the Hassanabad-Shojaabad region are located in the tectonic zone of Central Iran and the Urmia-Dokhtar magmatic basin (Darvishzadeh, 1991). As one of the Cenozoic magmatic belts (Moin Waziri, 1985), the Urmia-Dokhtar magmatic zone extends parallel to the Zagros and Sanandaj-Sirjan zones with a width of 50 to 100 kilometers and a length of 1800 kilometers from northwest to southeast and from Azerbaijan to Makran (Farhoudi, 1978). Regarding the formation of this area, two theories of rifting and subduction have been proposed (Amidi and Emami, 1984). In this article, to interpret the geochemistry of rocks in the region and determine the geodynamic location of volcanism in the area, using advanced methods such as ICP-MS and XRF, rocks are analyzed to determine the tectonic position of the region based on petrography results.

### 2- Material and methods

In this research, reports, articles, and geological maps of the studied area were first collected. Then, during the desert operation, sampling of rock outcrops, prominent outcrops, and contacts and also determining the location of the samples was done with GPS; the collected index samples were subjected to petrographic investigations, and the amount of main, rare, and rare earth elements, of the investigated samples using the ICP-MS method. Furthermore, XRF was obtained. The data obtained from the desert and petrography studies were combined and analyzed, and finally, based on numerous geochemical and magmatic tectonic charts, the tectonic position of the studied area was determined.

### 3- Results and discussion

Field and petrographic studies show that the rock units in the region have relatively little diversity in lithology, the intrusive rocks of the Hassan Abad-Shoja Abad area are of quartz diorite type, and most of the volcanic rocks have an acidic composition and are of rhyolitic type. Furthermore, geochemical evidence such as the low ratio of  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$ , as well as the location of the samples in numerous geochemical charts indicate the effective presence of the crust in the formation of the melt that creates the rocks of the region. Based on the structural magma patterns and the thickness of the crust in the studied area, a model for the emergence of the structures in this area can be stated. The model explains the formation of the existing structures affected by the oblique pressure at the edge of the Neotethys subduction. (Fig. 1).

\* Corresponding author: m\_khalaj@pnu.ac.ir

DOI: <https://10.22055/AAG.2022.41145.2302>

Received: 2022-06-19

Accepted: 2022-08-03

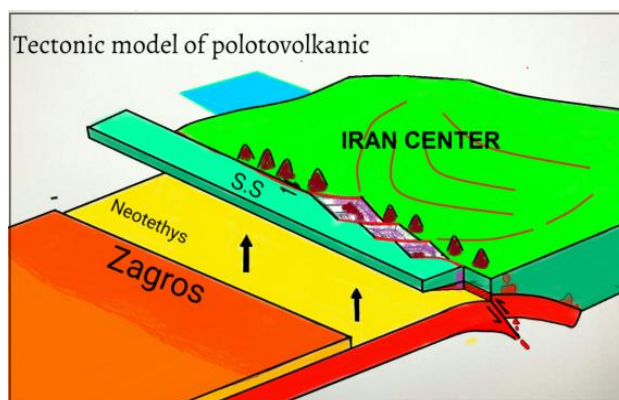


Fig. 1. Schematic model of the oblique thrust of the Neotethys subduction and the creation of tension ridges affected by it.

The tensile forces cause opening of the magma upper levels that form the oceanic crust to be placed in these areas. Also, the remnants of the separated oceanic crust during its subduction and duplexing can create the tholeiite magma of the arc islands in the northern areas of Isfahan. Therefore, it is possible to propose a model that the diagonal pressure of Neo-Tethys at the edge of subduction zone has created tension ridges, and the same diagonal movement of sliding under the area led to the deformation of the subducted plate and changed the subduction angle. Finally, the magmatic arc at the place of diagonal movement Landslide (magmatic arc of Urmia-Dokhtar) formed.

#### 4- Conclusion

The Hassan Abad region (first phase of Eocene and calc-alkaline type) located in the northernmost investigated region belongs to the subduction tectonic environment in the final stages of Kamani Island expansion, and the Shojaabad region (second Oligo-Miocene phase and Shoshonite type) located in the south belongs to the subduction environment. The tectonics of the continental arc margin. The reason for the initiation of melting and the occurrence of the second phase of volcanism, which has a potassic and shoshonitic nature, was the failure of the subducting plate after the continental collision of the Arabian plate with the Iranian plate in the Zagros region.

#### Reference

- Amidi, S.M., Emami, M.H., Michel, R., 1984. Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of Iran and its geodynamic situation. *Geologischen Rundschau* 73, 917-932.
- Darvishzadeh, A., 1991. *Geology of Iran*, Danesh-e-Amrooz Publishing (affiliated to Amirkabir Publishing Institute of Tehran), 901 P.
- Farhoudi, G., 1978. A comparison of Zagros geology to island arcs, *Journal of Geology* 86, 323-334.
- Moin Waziri, H., 1985. *An introduction to magmatism in Iran*, Tarbiat Moalem University Publications.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Khalaj, M., Poormansouri, M., 2023. The tectonic location of Hassanabad-Shojaabad region based on magmatic tectonic surveys (northeast of Isfahan). *Adv. Appl. Geol.* 13(2), 502-516.

DOI: <https://10.22055/AAG.2022.41145.2302>

URL: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_17956.html](https://aag.scu.ac.ir/article_17956.html)

©2023 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

## جایگاه زمین‌ساختی منطقه حسن‌آباد - شجاع‌آباد (شمال شرق اصفهان) بر اساس بررسی‌های

## زمین‌ساخت ماگمایی

محمد خلج

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

مژگان پورمنصوری

دکترای تخصصی رشته زمین‌شناسی، گرایش پترولوژی

m\_khalaj@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲

## چکیده

منطقه حسن‌آباد - شجاع‌آباد در کمربند ماگمایی ارومیه - دختر قرار دارد. در خصوص چگونگی تشکیل این پهنه، دو نظریه ریفتی و فرورانش مطرح شده است. در این مقاله داده‌های حاصل از مطالعات صحرایی، پتروگرافی، ژئوشیمیایی و زمین‌ساخت ماگمایی با یکدیگر تلفیق و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با استفاده از نمودارهای متعدد ژئوشیمیایی و زمین‌ساخت ماگمایی، نوع سنگ‌های منطقه و سری‌های ماگمایی سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی تعیین شد. سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی در منطقه حسن‌آباد از نوع کالک‌آلکان و حاصل تفریق ماگمای بازیک با منشأ گوشته لیتوسفری هستند. این سنگ‌ها متعلق به محیط زمین‌ساختی فرورانش در مراحل انتهایی گسترش جزیره‌کمانی می‌باشند. سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی در منطقه شجاع‌آباد از نوع شوشونیتی می‌باشند و حاصل ذوب‌بخشی پوسته زیرین تونالیتی‌اند و در یک جایگاه زمین‌ساختی حاشیه پشت‌کمان قاره‌ای شکل گرفته‌اند. بنابراین منطقه مورد مطالعه حاصل فشارش مایل در لبه فرورانش و نواحی پشت‌کمان بوده است که حسن‌آباد در ناحیه لبه فرورانش و شجاع‌آباد در ناحیه پشت‌کمان واقع شده است.

**واژه‌های کلیدی:** حسن‌آباد - شجاع‌آباد، زمین‌ساخت، پتروگرافی، فرورانش، زمین‌ساخت ماگمایی.

## ۱- مقدمه

توده نفوذی و ولکانیک‌های منطقه حسن‌آباد - شجاع‌آباد در پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی و درکمان ماگمایی ارومیه - دختر واقع شده است (Darvishzadeh, 1991). پهنه ماگمایی ارومیه - دختر به عنوان یکی از کمربندهای ماگمایی سنوزوئیک به موازات پهنه زاگرس و سنندج - سیرجان با پهنای ۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر و طول ۱۸۰۰ کیلومتر از شمال غرب به جنوب شرق و از آذربایجان تا مکران امتداد دارد. ماگماتیسیم سنوزوئیک به دو صورت نفوذی و آتشفشانی با سن ائوسن - کواترنری می‌باشد که حداکثر فعالیت آن به زمان ائوسن مربوط می‌شود (Farhoudi, 1978).

در خصوص چگونگی تشکیل این پهنه، دو نظریه ریفتی و فرورانش مطرح شده است. در نظریه اول فرض بر این است که فعالیت ماگمایی در طول این پهنه با پدیده فرورانش ارتباطی نداشته و صرفاً در اثر اتساع و شکاف پوسته، این فعالیت‌ها رخ

داده که آثار افیولیتی در طول راندگی اصلی زاگرس و سنگ‌های دگرگونی سنندج - سیرجان در ارتباط با ریفت قاره‌ای و بسته شدن آن شکل گرفته‌اند. ماگماتیسیم حاشیه غربی ایران مرکزی به سن ائوسن - الیگوسن و محصول فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه ایران مرکزی و برخورد دو بلوک عربستان و ایران در نظر گرفته شده است (Berberian and King, 1981).

Alavi (۱۹۸۰) و (۱۹۹۴) و Berberian و Berberian (۱۹۸۱) این منطقه را متعلق به کمان ماگمایی حاصل از فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه ایران می‌دانند. Michel و همکاران (۱۹۸۴) یک مدل کافت را برای منشأ سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه پیشنهاد داده‌اند. Ghasemi و Talbot (۲۰۰۶) معتقد هستند این توده‌های نفوذی متعلق به کمان جزیره‌ای است. طبق نظر Mokhtari (۲۰۱۰) ماگمای تشکیل‌دهنده سنگ‌های آتشفشانی این

آتشفشانی ائوسن میانی - پسین هستند. واحدهای ریولیتی از واحدهای آندزیتی و تراکی بازالتی و تراکی آندزیتی قدیمی تر بوده و واحدهای ایگنیمبریتی و تراکیتی جوان ترین واحدها هستند. این فعالیت ها، به طور عمده در محیط قاره ای یا کم عمق و ساحلی صورت گرفته اند. در این منطقه بیشترین رخنمون ها مربوط به فعالیت های آتشفشانی ائوسن با ترکیب ریولیت، آندزیت و داسیت است که در میان آن ها توف های ایگنیمبریتی دیده می شود (شکل ۱).

### ۳- روش انجام پژوهش

در این پژوهش ابتدا گزارش ها، مقاله ها و نقشه های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه جمع آوری شد. در طی عملیات صحرایی نمونه برداری از رخنمون های سنگی و کنتاکت ها انجام شد. نمونه های شاخص برداشت شده تحت بررسی های پتروگرافی قرار گرفتند و میزان عناصر اصلی، نادر و نادر خاکی نمونه های مورد بررسی با استفاده از روش ICP-MS و XRF به دست آمد. داده های حاصل از مطالعات صحرایی و پتروگرافی با یکدیگر تلفیق و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت بر اساس نمودارهای متعدد ژئوشیمیایی و زمین ساخت ماگمایی، جایگاه زمین ساختی منطقه مورد مطالعه تعیین شد.

### ۴- بحث و نتایج

#### ۴-۱- زمین ساخت ماگمایی منطقه مورد مطالعه

بررسی های صحرایی و پتروگرافی نشان می دهند واحدهای سنگی موجود در منطقه از لحاظ سنگ شناسی دارای تنوع نسبتاً کمی بوده سنگ های نفوذی محدوده حسن آباد - شجاع آباد از نوع کوارتز دیوریت بوده و سنگ های آتشفشانی بیش تر دارای ترکیب اسیدی و از نوع ریولیتی می باشند. سنگ های آذر آواری شامل انواع توف خرده سنگی، توف شیشه ای بلورین، توف شیشه ای سنگی بلورین، توف شیشه ای و ایگنیمبریت است.

با توجه به این که بررسی تحولات سنگ شناسی، فرایندهای پترولوژیکی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی در تحلیل و چگونگی وقوع ماگماتیسم در منطقه مورد مطالعه بسیار موثر است، بدین منظور پس از بررسی های میکروسکوپی، نمونه هایی انتخاب شدند و در موسسه کانسارن بینالود و زرآما با روش ICP-MS مورد تجزیه قرار گرفتند (جدول های ۱ و ۲).

منطقه از نوع کالک آلکالن است که در حاشیه قاره ای تشکیل شده است و ویژگی های ژئوشیمیایی و ترکیبات کانی شناسی توده نفوذی حسن آباد گرانیتوئیدهای نوع کوهزایی کمان آتشفشانی در یک حاشیه فعال قاره ای است که احتمالاً گرانیتوئید حسن آباد ناشی از زیرراندگی و فرآیندهای ناشی از ذوب بخشی پوسته اقیانوس نئوتتیس می باشد.

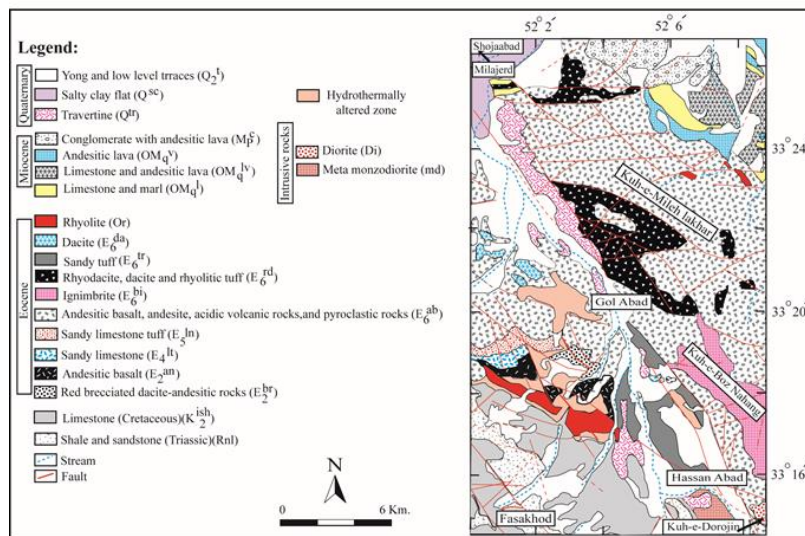
منطقه مورد مطالعه بخشی از نوار ماگمایی سنوزوئیک ایران مرکزی را شامل می شود. سنگ شناسی غالب منطقه ریوداسیت ائوسن است که تحت تأثیر گسل زون قم - زفره و هجوم محلول های گرمایی، دگرسان شده است (Parsapour et al., 2004).

Sarjuqian و همکاران (۲۰۱۴) بر اساس سن سنجی توده نفوذی کوه دم در شمال شرق اردستان این مجموعه را از نوع فلسیک و حدواسط مافیک معرفی کرده اند. مطابق بررسی این محققین و بر اساس سن سنجی اورانیم - سرب به روش LA-ICP-MS بر روی بلورهای زیرکن، سن سنگ های حدواسط - مافیک  $53/9 \pm 0/4$  میلیون سال و سن سنگ های فلسیک این مجموعه  $51/1 \pm 0/4$  میلیون سال برآورد شده است. لذا این پژوهشگران با توجه به سن های به دست آمده، مجموعه کوه دم را متعلق به ائوسن زیرین تا میانی و شکل گیری آن را هم زمان با رخداد فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی می دانند.

منطقه حسن آباد - شجاع آباد بین مختصات های جغرافیایی  $33^{\circ} 07'$  تا  $33^{\circ} 26'$  شمالی و  $51^{\circ} 56'$  تا  $52^{\circ} 27'$  شرقی در قسمت میانی نوار ارومیه - دختر واقع شده است. در این مقاله برای تفسیر ژئوشیمی و تعیین جایگاه ژئودینامیکی ولکانیسم منطقه، سنگ ها و توده های نفوذی و آتشفشانی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش های پیشرفته مانند آنالیز نمونه ها به روش ICP-MS و XRF مورد بررسی قرار گرفتند تا جایگاه زمین ساختی منطقه بر اساس نتایج پتروگرافی به دست آید.

#### ۲- زمین شناسی منطقه

بر اساس مطالعات صحرایی واحدهای سنگی، این منطقه به صورت مجموعه ای آتشفشانی - رسوبی متعلق به ائوسن و الیگوسن می باشند. فعالیت عمده در این ناحیه از ائوسن میانی آغاز شده است، زیرا سنگ های منطقه حاصل فعالیت های



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، اقتباس از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی اردستان.

Fig. 1. Geological map of the study area, adapted from 1: 100000 Ardestan geological sheet.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های آذرین درونی به روش ICP-MS

Table 1. Results of chemical analysis of inner igneous rocks by ICP-MS method.

Sample	SH-2	SH-3	SH-6	SH-9	SH-45	SH-23	SH-37	SH-16	SH-19
Rhyolite									
SiO <sub>2</sub>	74.15	74.65	71.98	69.82	74.03	73.05	73.53	72.87	70.96
TiO <sub>2</sub>	0.20	0.22	0.41	0.65	0.19	0.25	0.32	0.28	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.33	12.68	15.32	15.85	12.15	15.28	14.05	13.82	15.81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.55	1.78	1.36	1.93	0.68	1.46	1.58	2.06	1.97
MnO	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
MgO	0.67	0.26	0.76	0.77	0.46	0.52	0.61	0.47	0.53
CaO	0.03	0.54	0.78	0.02	2.46	0.49	0.26	0.34	0.56
Na <sub>2</sub> O	1.55	3.36	2.83	2.83	6.61	2.62	2.92	3.02	3.08
K <sub>2</sub> O	5.15	4.13	5.08	5.45	1.79	4.63	5.08	5.09	4.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.01	0.06	0.05	0.26	0.09	0.02	0.02	0.03
L.O.I.	1.18	2.16	1.19	1.37	2.67	1.50	1.26	1.49	1.48
Total	98.88	99.81	99.79	98.74	99.54	99.90	99.65	99.47	99.10

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های آذرین بیرونی به روش ICP-MS

Table 2. Results of chemical analysis of volcanic rocks by ICP-MS method.

Sample No.	M1 Granodiorite	M2 Q-diorite	M3 Q-diorite	M4 Q-diorite	M5 Granodiorite	M6 Q-diorite
SiO <sub>2</sub>	68.25	64.48	63.89	63.87	65.36	63.78
TiO <sub>2</sub>	0.44	0.89	0.63	0.56	0.56	0.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.54	15.03	14.00	14.31	14.76	16.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.39	5.45	6.35	3.02	4.87	4.58
MnO	0.06	0.25	0.07	0.02	0.08	0.03
MgO	2.49	2.76	3.36	3.32	2.41	2.83
CaO	3.12	4.05	4.34	6.17	5.74	4.83
Na <sub>2</sub> O	3.80	4.31	3.01	4.03	2.94	3.85
K <sub>2</sub> O	2.59	1.69	1.45	1.90	2.32	1.85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.31	0.13	0.69	0.65	0.14	0.64
L.O.I.	0.89	1.01	0.95	1.29	0.74	0.56
Total	99.88	100.05	98.74	99.14	99.92	99.68

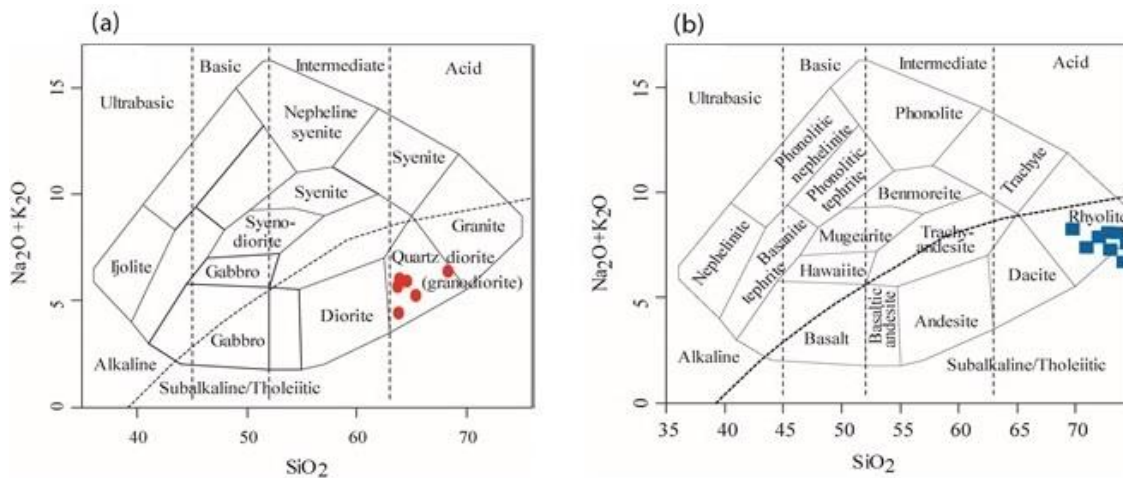
۲-۴- بررسی داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از تجزیه سنگ کل

در تجزیه‌های صورت گرفته درصد اکسید آهن به صورت  $Fe_2O_3$  در نظر گرفته شده بود، بنابراین قبل از محاسبه نرم سنگ بایستی  $FeO$  را از  $Fe_2O_3$  تفکیک کرد. مقدار  $K$  از روی مقادیر مختلف این نسبت در نمودار سیلیس-آلکالی (Muller and Groves, 1997) به دست می‌آید. از بررسی داده‌های ژئوشیمیایی موجود در جدول‌های ۱ و ۲ و با استفاده از این نمودارها اطلاعات مربوط به نوع سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی و همچنین سری‌های ماگمایی این سنگ‌ها تعیین می‌شود (شکل a۲ و b۲):

میزان  $SiO_2$  موجود در سنگ‌های نفوذی محدوده مورد مطالعه از ۶۳/۷۸-۶۸/۲۵ درصد وزنی متغیر است و میانگین آن ۶۴/۹۴ درصد وزنی است. با توجه به محدوده  $SiO_2$ ، سنگ‌ها از نوع کوارتز دیوریت و گرانودیوریت هستند. مقدار  $SiO_2$  موجود در سنگ‌های آتشفشانی از

۶۹/۸۲-۷۴/۶۵ درصد وزنی متغیر است و میانگین آن ۷۲/۶۱ درصد وزنی است. با توجه به محدوده  $SiO_2$ ، سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه از نوع ریولیت می‌باشد. با استفاده از فاکتور  $TiO_2$  سری ماگمای احتمالی را می‌توان تشخیص داد. مقدار  $TiO_2$  سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی مورد مطالعه به ترتیب در گستره ۰/۴۴-۰/۸۹ و ۰/۱۹-۰/۶۵ درصد وزنی و مقدار میانگین آن به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۳۱ می‌باشد. با توجه به میزان  $TiO_2$  در سری‌های ماگمایی متفاوت، نمونه‌های محدوده حسن‌آباد- شجاع‌آباد با داشتن  $TiO_2$  کم‌تر از ۱ احتمالاً در محدوده سری کالک‌آلکانل واقع می‌شود.

میزان  $Al_2O_3$  در سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی به ترتیب در محدوده ۱۴-۱۶/۰۸ و ۱۲/۱۵-۱۵/۸۵ درصد وزنی و میانگین آن به ترتیب ۱۴/۷۹ و ۱۴/۳۸ درصد وزنی است. محدوده تغییرات  $Al_2O_3$  در سنگ‌های مورد مطالعه به سنگ‌های سری ماگمایی کالک‌آلکانل بسیار نزدیک است.



شکل ۲- (a) نمودار آلکالی-سیلیس سنگ‌های آذرین درونی و (b) نمودار سیلیس-آلکالی سنگ‌های آذرین بیرونی (Cox et al., 1979).

Fig. 2. (a) Alkali-silica diagram intrusive igneous rocks and (b) Silica-alkali extrusive igneous rocks (Cox et al., 1979).

آتشفشانی به ترتیب از ۰/۲-۰/۲۵ و ۰/۰۱-۰/۰۴ درصد وزنی متغیر است و مقدار میانگین آن به ترتیب ۰/۰۹ و ۰/۰۲ درصد وزنی می‌باشد. مقدار اکسیدهای  $Mg$ ،  $Fe$  و  $Mn$  در نمونه‌ها بسته به فراوانی کانی‌های فرومنیزین نظیر آمفیبول و بیوتیت متغیر است.

مقدار  $CaO$  سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی مورد

میزان  $MgO$  در سنگ‌های نفوذی مورد مطالعه از ۲/۴۱-۳/۳۶ و برای سنگ‌های آتشفشانی از ۰/۲۶-۰/۷۶ درصد وزنی متغیر می‌باشد. مقدار  $Fe_2O_3$  در سنگ‌های نفوذی از ۳/۰۲-۶/۳۵ و در سنگ‌های آتشفشانی از ۰/۶۸-۲/۲۴ درصد وزنی متغیر است.

همچنین مقدار  $MnO$  در سنگ‌های نفوذی و

#### ۴-۳-۱- نمودار سه تایی AFM

با استفاده از این نمودار دو سری ماگمایی کالک آلکالن از تولییتی بر اساس مقدار آهن موجود در نمونه‌ها از یکدیگر قابل تفکیک هستند. سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی مورد بررسی در این نمودار در محدوده کالک آلکالن واقع می‌شوند (شکل a۳).

#### ۴-۳-۲- نمودار $\text{SiO}_2$ در برابر $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$

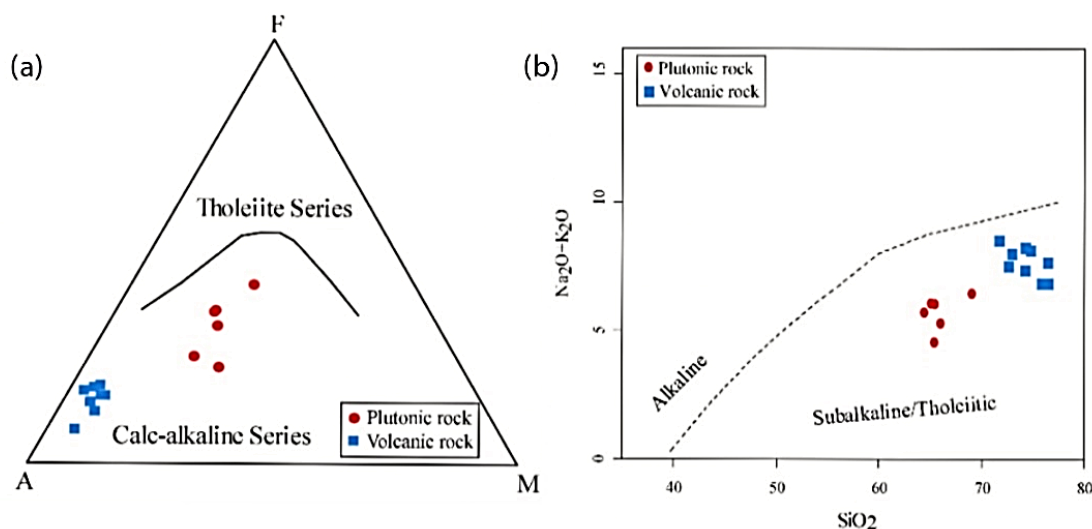
در ابتدای کار برای تعیین این که سنگ‌های منطقه از سری آلکالن هستند یا از سری یا کالک آلکالن می‌باشند از این نمودار استفاده شد. نمونه‌های محدوده حسن‌آباد- شجاع‌آباد در این نمودار در گستره سری ساب آلکالن قرار می‌گیرند. از آن جا که سری سنگ‌های ساب آلکالن شامل سنگ‌های تولییتی و کالک آلکالن هستند، بنابراین مشخص شد که سنگ‌های منطقه از سری آلکالن نیستند، بلکه از سری تولییتی و کالک آلکالن می‌باشند. با استفاده از نمودارهای بعدی تفکیک تولییتی از کالک آلکالن به دست می‌آید (شکل b۳).

بررسی به ترتیب در محدوده  $6/17-3/12$  و  $2/46-0/03$  درصد وزنی و میانگین آن به ترتیب  $4/71$  و  $0/56$  درصد وزنی می‌باشد. میزان بالای CaO در سنگ‌های نفوذی حاکی از متعلق بودن نمونه‌های مورد بررسی به سری ماگمایی کالک آلکالن است. پایین بودن میزان CaO در سنگ‌های آتشفشانی بیانگر اسیدی بودن این سنگ‌هاست.

مقدار  $\text{P}_2\text{O}_5$  در سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی منطقه به ترتیب  $0/69-0/13$  و  $0/26$  درصد وزنی متغیر است بنابراین با توجه به مقدار کم این اکسید در نمونه‌ها، سری کالک آلکالن برای نمونه‌های مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود.

#### ۴-۳-۳- تعیین سری ماگمایی

مطالعه و بررسی سری‌های ماگمایی در شناخت محیط‌های زمین‌ساختی و ژئودینامیکی از اهمیت بسیاری برخوردار است:



شکل ۳- (a) موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در نمودار AFM و (b) موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در نمودار سیلیس در مقابل مجموع آلکالی‌ها (Irvine and Baragar, 1971).

Fig. 3. (a) Position of specimens in the AFM diagram and (b) Position of samples in the silica diagram against the sum of alkalis (Irvine and Baragar, 1971).

سنگ‌های مورد مطالعه به ترتیب در محدوده کالک آلکالن و کالک آلکالن پتاسیم بالا قرار می‌گیرند (شکل a۴).

#### ۴-۳-۴- نمودار تعیین پتاسیم سنگ‌های ماگمایی

در این نمودار موقعیت قرارگیری نمونه‌ها حاکی از آن است که سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی محدوده

#### ۴-۳-۳- نمودار $\text{SiO}_2$ در مقابل $\text{K}_2\text{O}$

این نمودار برای تعیین سرشت ماگمایی سنگ‌ها استفاده می‌شود. به دلیل این که این نمودار بر اساس عناصر اصلی است لذا برای استفاده از آن از سنگ‌های آتشفشانی سالم و سنگ‌های نفوذی استفاده شد. بر اساس این نمودار





کننده محیط‌های زمین‌ساختی مختلف باشد. موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در این نمودار (شکل ۵a) نشان دهنده تشکیل سنگ‌های محدوده مورد مطالعه در محیط حاشیه فعال قاره‌ای می‌باشد.

#### ۴-۵-۲- نمودار Th/Yb در مقابل La/Yb

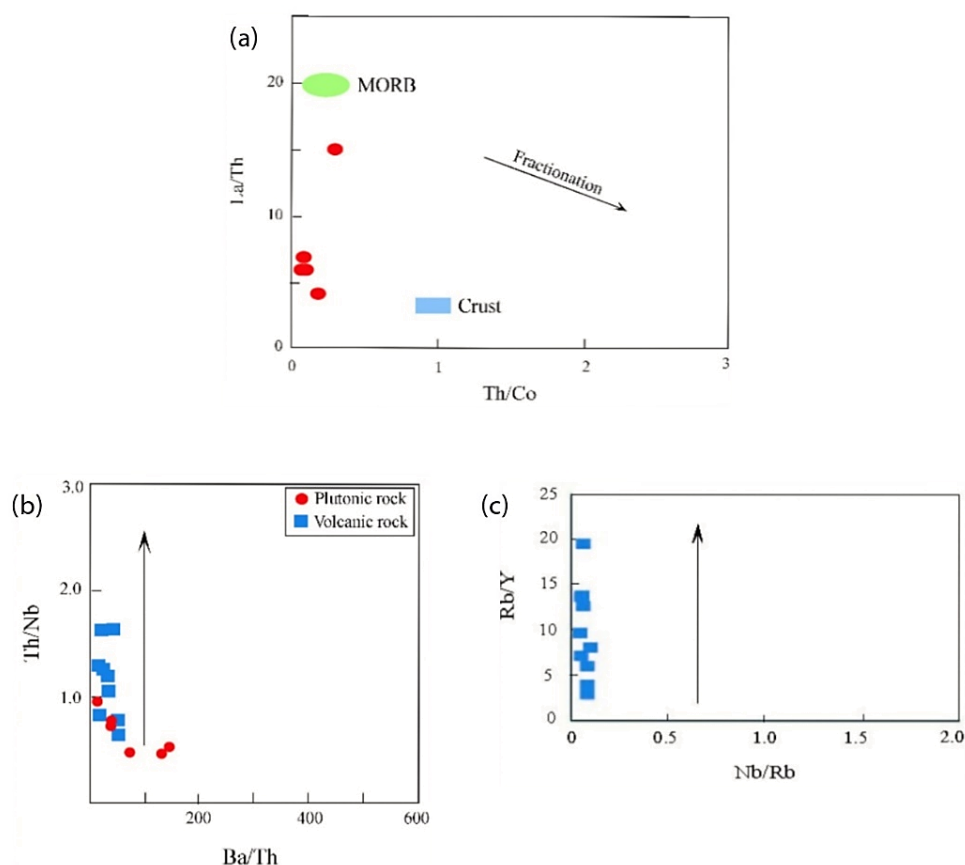
جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی و همچنین نمونه‌های دگرسان منطقه مورد مطالعه دلالت بر تعلق این سنگ‌ها به حاشیه قاره‌ای می‌باشد. در این نمودار علاوه بر نمونه‌های سالم غالب نمونه‌های دگرسان، محیط زمین‌ساختی یکسانی را تعیین می‌کنند (شکل ۵b).

#### ۴-۵-۳- جایگاه زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه

پژوهشگرانی نظیر Pearce و Cann (۱۹۷۳) از جمله افرادی بودند که برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی یک منطقه با استفاده از ماگماهای مختلف از شیمی سنگ کل استفاده کردند. در این مقاله برای این منظور از نمودارهایی استفاده شده است که بر مبنای عناصر ناسازگار کم‌تحرکی نظیر Y، Zr، Th، Hf و Ta هستند. این عناصر نسبتاً نامتحرک بوده و در هنگام دگرسانی و هوازدگی چندان حساس نمی‌باشد.

#### ۴-۵-۱- نمودار Yb در برابر Th/Ta

نمودار تغییرات Yb در مقابل Th/Ta می‌تواند تعیین



شکل ۵- (a) موقعیت قرارگیری سنگ‌های نفوذی محدوده حسن‌آباد- شجاع‌آباد در نمودار Th/Co در مقابل La/Th (Temel et al., 1998)، (b) روند تغییرات نسبت‌های Ba/Th در برابر Th/Nb سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی مورد بررسی حاکی از نقش پوسته در تکامل سنگ‌های منطقه است (OrozaccoEsquivel et al., 2007) و (c) روند عمودی سنگ‌های آتشفشانی در نمودار Nb/Rb در مقابل Rb/Y (Stevenson et al., 1999).

Fig.5. (a) Location of intrusive rocks in Hassanabad-Shojaabad area in Th/Co diagram versus La/Th (Temel et al., 1998), (b) The trend of changes in Ba /Th ratios against Th/Nb of intrusive and volcanic rocks is indicative of the role of crust in the evolution of rocks in the region (OrozaccoEsquivel et al., 2007) and (c) Vertical trend of volcanic rocks in Nb/ Rb versus Rb/Y diagram (Stevenson et al., 1999)

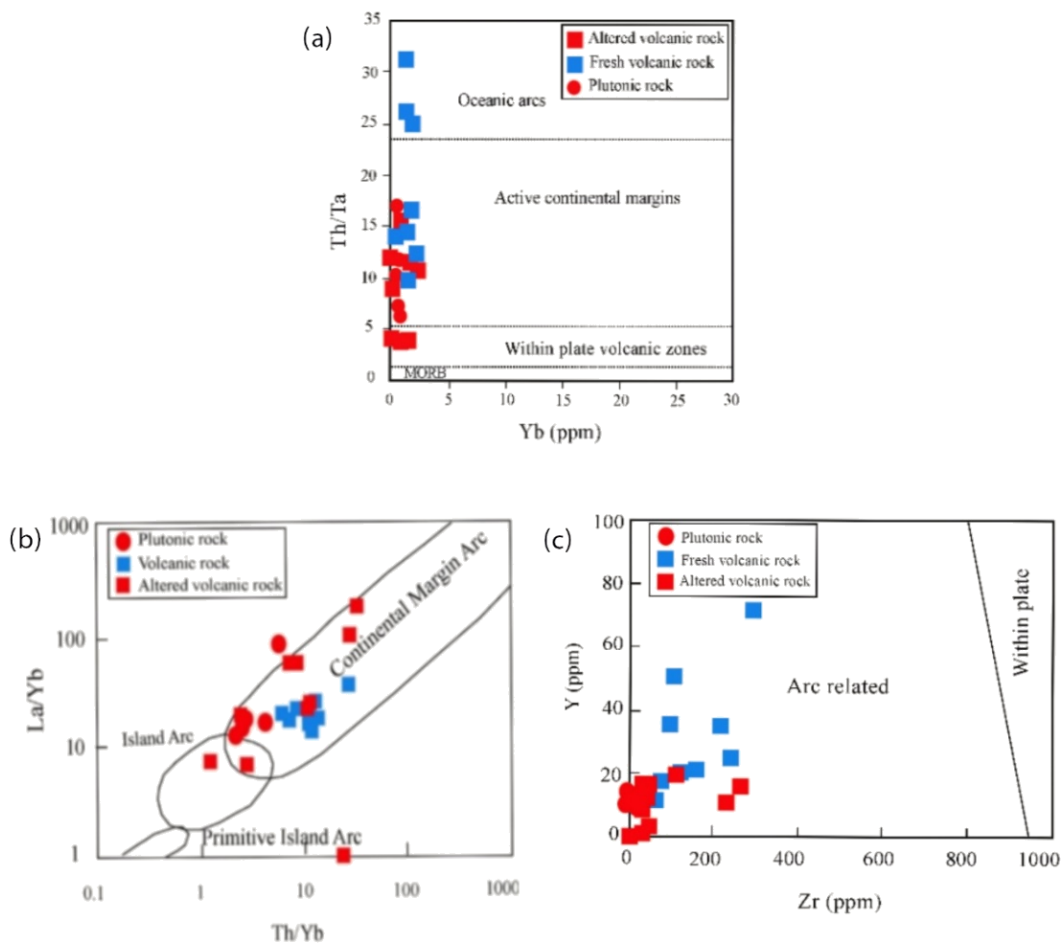
از دیاگرام Zr در مقابل Y بهره گرفته شد که موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در این نمودار (شکل ۶c) نشان دهنده محیط زمین‌ساختی وابسته به کمان آتشفشانی می‌باشد.

نسبت عناصر کمیاب Nb/Th برای تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌ها به کار می‌رود، چنان‌چه این نسبت در نمونه‌ها کم‌تر از ۳ باشد معرف سنگ‌های کالک‌آلکان مرتبط با کمان است (Whalen et al., 2006).

علاوه بر نمودارهای فوق، بالا بودن نسبت Ba/Nb در سنگ‌های یک منطقه دلالت بر دخیل بودن عوامل فرورانشی در ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های آن منطقه است (Pearce, 1983). این نسبت در سنگ‌های منطقه در گستره ۱۵-۷۳/۸۱ می‌باشد.

#### ۴-۵-۳- نمودار Zr در برابر Y

برای تعیین موقعیت زمین‌ساخت ماگمایی سنگ‌های آذرین درونی و آتشفشانی محدوده حسن‌آباد- شجاع‌آباد



شکل ۶- (a) موقعیت زمین‌ساخت ماگمایی نمونه‌ها در نمودار Yb در برابر Th/Ta گستره سنگ‌های مرتبط با حاشیه فعال قاره را نشان می‌دهد (Condie, 1989)، (b) موقعیت سنگ‌های نفوذی، آتشفشانی و دگرسان مورد بررسی بر روی نمودار Th/Yb در مقابل La/Yb را نمایش می‌دهد، (Condie, 1989) و (c) موقعیت زمین‌ساخت ماگمایی نمونه‌های مورد بررسی در نمودار Zr در مقابل Y در محدوده سنگ‌های مرتبط با کمان آتشفشانی قرار گرفته‌اند (Swinden et al., 1997).

Fig. 6. (a) The tectonomagmatic position of the specimens in the Yb diagram against Th / Ta shows the range of rocks associated with the active continental margin (Condie, 1989), (b) It shows the position of the studied intrusive, volcanic and metamorphic rocks on the Th/Yb versus La/Yb diagram (Condie, 1989) and (c) Tectonomagmatic position of the studied samples in the diagram Zr versus Y in the range of rocks associated with the volcanic arc (Swinden et al., 1997).

#### ۴-۶- ارائه مدل پتروژنزی برای سنگ‌های محدوده حسن آباد- شجاع آباد

شواهد ژئوشیمیایی از قبیل نسبت پایین  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  و همچنین موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در نمودارهای متعدد ژئوشیمیایی نشان دهنده حضور موثر پوسته در تشکیل مذاب به وجود آورنده سنگ‌های منطقه مورد بررسی است.

از سوی دیگر تمرکز نسبتاً بالای عناصر کمیاب مانند  $\text{Co}$  و  $\text{V}$ ،  $\text{Ni}$ ،  $\text{Cr}$  مطالعه و حضور قطعاتی از پریدوتیت‌های به سطح آمده، نقش یک منبع گوشته‌ای را در تکامل سنگ‌های این منطقه آشکار می‌سازد. در واقع ماگماهای مافیک حاصل از ذوب گوشته که در پوسته زیرین جایگزین شده، با افزایش دما در ناحیه پوسته، سبب ذوب سنگ‌های این ناحیه شده‌اند و دلالت بر تاثیر مذاب‌های گوشته‌ای در تولید سنگ‌های مذکور دارد.

در مراحل بعد اختلاط دو ماگمای حاصل از ذوب بخشی پوسته و مشتق شده از گوشته، ماگمای به وجود آورنده سنگ‌های منطقه را ایجاد کرده است. بنابراین اختلاط ماگمای حاصل از ذوب بخشی گوشته با مذاب‌های حاصل از ذوب سنگ‌های پوسته‌ای در مرز پوسته و گوشته می‌تواند به عنوان مدل پتروژنزی سنگ‌های نفوذی این منطقه مدنظر قرار گیرد.

ماگماهای فلسیک این منطقه به دو دسته سدیک (در منطقه حسن آباد) و پتاسیک (در منطقه شجاع آباد) قابل تفکیک‌اند. منشأ ماگمای فلسیک سدیک حاصل تفریق از ماگمای بازیک با منشأ گوشته لیتوسفری و منشأ ماگمای فلسیک پتاسیک، حاصل ذوب بخشی پوسته زیرین تونالیتی است.

سنگ‌های حاصل از اختلاط با سه روش ایجاد می‌شوند (Altherr et al., 2000):

- ۱- ذوب بخشی بدون آب پوسته اقیانوسی فرورانده شده؛
- ۲- ذوب گوه گوشته‌ای متاسوماتیسم شده در بالای صفحه فرورانش؛
- ۳- ذوب بخشی سنگ‌های پوسته پایینی بر اثر نفوذ ماگماهای بسیار گرم گوشته‌ای.

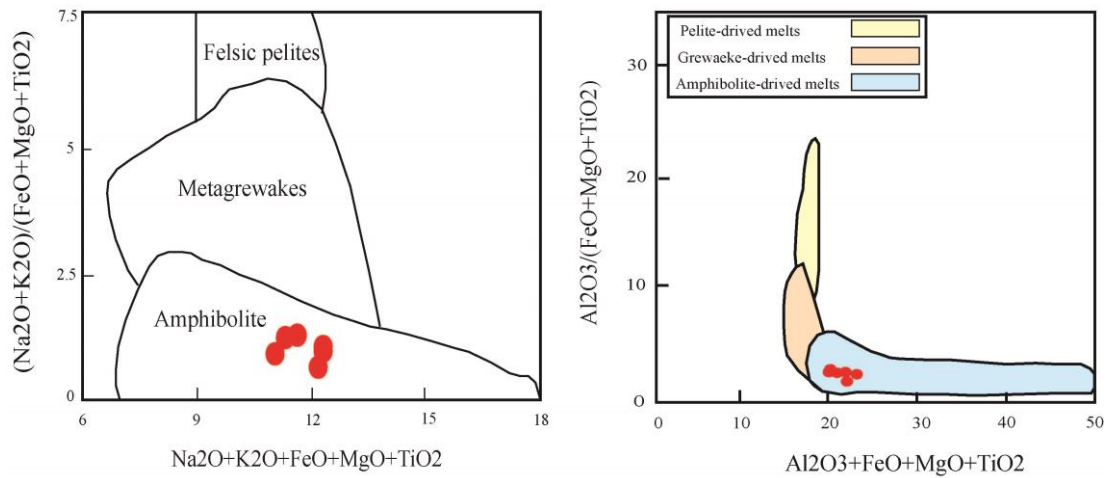
ویژگی‌های ژئوشیمیایی در سنگ‌های نفوذی محدوده حسن آباد- شجاع آباد با گدازه‌های حاصل از ذوب بخشی پوسته زیرین هم‌خوانی دارد.

ماگماهای کالک آلکالن تیپ I یا می‌توانند از ذوب بخشی سنگ‌های دگرگونی مافیک تا حدواسط آبدار در پوسته ایجاد شوند و یا از ذوب بخشی سنگ‌های متابازالتی حاصل شوند (Irvine and Baragar, 1971). از طرف دیگر ماگماهای حاصل شده از سنگ‌های متابازالتی و یا سنگ‌های دگرگونی مافیک (آمفیبولیت) دارای نسبت  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  و  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  پایین‌تری نسبت به ماگماهای حاصل از ذوب متاپلیت‌ها می‌باشند.

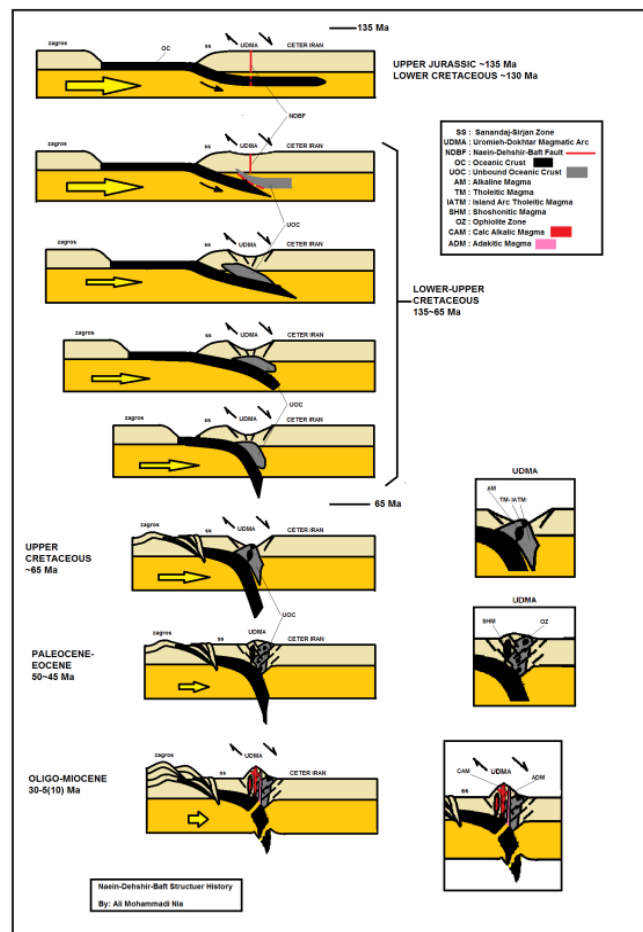
بر اساس موقعیت قرارگیری نمونه‌های به دست آمده در منطقه مورد مطالعه در نمودارهای پتروژنزی (Patino Douce and Beard, 1997) و  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  و  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  از یک سو و از آن جا که در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های دگرگونی یافت نمی‌شوند و همچنین طبق نظر Roberts و Clemens (۱۹۹۳)، احتمالاً ماگمای مادر سنگ‌های نفوذی منطقه، از یک منبع متابازالتی منشا گرفته است که حاصل ذوب بخشی سنگ‌های پوسته زیرین بر اثر نفوذ ماگماهای بسیار گرم گوشته‌ای می‌باشد. (شکل ۷).

#### ۴-۷- تکوین زمین‌ساختی منطقه حسن آباد- شجاع آباد

بر اساس مطالعات صحرایی در شمال منطقه مورد مطالعه در ماسه سنگ کرتاسه، لایه‌های پیلولاوا مربوط به گسترش بستر اقیانوس دیده می‌شوند. بنابر این حضور ماسه سنگ که خاص محیط‌های کم عمق دریاست در مجاورت پیلولاوا که خاص محیط‌های عمیق بستر اقیانوس است، بیانگر بازشدگی بستر یک دریای کم عمق در کرتاسه زیرین است که تا اواخر کرتاسه این کشش ادامه یافته و منجر به ایجاد پوسته اقیانوسی در این نواحی می‌شود. پس از پایان یافتن ماگماتیسیم بازیک از نوع تولثیت و اتمام تغذیه ماگما به وسیله پوسته اقیانوسی جدا شده، و اعمال سامانه فشارشی در نواحی پشته‌های کششی قبلی، ماگماتیسیم کالک آلکالن غالب شده و در انتها با جدایش و پارگی صفحه فرو رونده ماگماتیسیم آداکیتی و آلکالن در



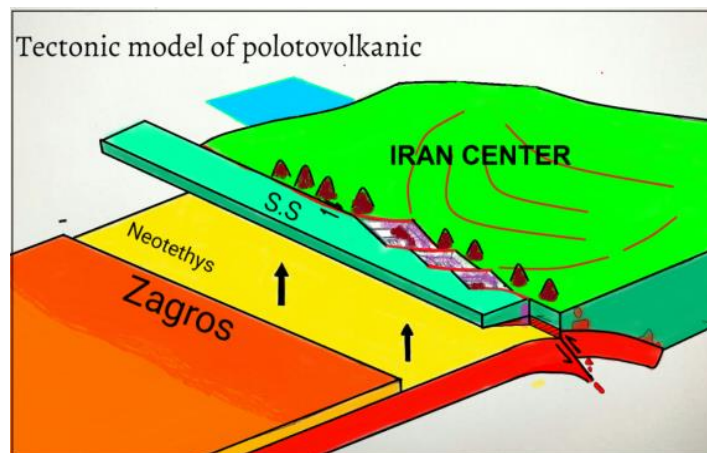
شکل ۷- محدوده‌های ترکیبی مذاب‌های حاصل از ذوب‌بخشی سنگ‌های متابازالتی و یا دگرگونی (آمفیبولیت).  
 Fig. 7. Composition ranges of melts resulting from the melting of metabasaltic rocks or metamorphism (amphibolite).



شکل ۸- تاریخچه ژئودینامیکی منطقه مورد مطالعه از انتهای ژوراسیک تا عهد حاضر به صورت شماتیک.  
 Fig. 8. Geodynamic history of the study area from the end of the Jurassic to the present schematic.

می‌شود که این زون گسلش منجر به خردشدگی سنگ‌ها در زون گسلش و ایجاد مناطق مناسب برای صعود ماگمای کالک‌آلکانل آندزیتی (به سن تقریبی الیگومیوسن) در آن شده است که در مجاورت گسل‌ها، آلتراسیون‌هایی ناشی از محلول‌های گرمابی ماگمای کالک‌آلکانل آندزیتی صعود کننده مشاهده می‌شود.

با توجه به وضعیت ضخامت پوسته در ناحیه مورد مطالعه، می‌توان مدلی برای پدید آمدن ساختارهای این ناحیه ارائه کرد که نحوه شکل‌گیری ساختارهای موجود، متأثر از فشارش مایل در لبه فرورانش نئوتتیس را توجیح می‌کند (شکل ۹).



شکل ۹- مدل شوماتیک از فشارش مورب فرورانش نئوتتیس و ایجاد پشته‌های کششی متأثر از آن.

Fig. 9. Schematic model of the diagonal subduction pressure of Neotithis and the formation of tensile ridges affected by it.

تشکیل شده است. بنابراین منطقه حسن‌آباد (فاز اول ائوسن و از نوع کالک‌آلکانل) واقع در شمالی‌ترین منطقه مورد بررسی متعلق به محیط زمین‌ساختی فرورانش در مراحل انتهایی گسترش جزیره کمانی است و منطقه شجاع‌آباد (فاز دوم الیگو- میوسن و از نوع شوشونیتی) واقع در جنوب متعلق به محیط زمین‌ساختی حاشیه پشت‌کمان قاره‌ای می‌باشد. احتمالاً عامل شروع ذوب‌بخشی و رخداد فاز دوم ولکانیسم که از ماهیت پتاسیک و شوشونیتی برخوردار است، شکست صفحه فرورونده پس از برخورد قاره‌ای صفحه عربی با صفحه ایران در منطقه زاگرس بوده است.

فشارش مورب در منطقه مورد مطالعه ناشی از اعمال کشش در نواحی پشت‌کمان می‌باشد که محیطی کافت‌گونه برای رخداد ماگماتیسم تولیتیتی در این نواحی

شکستگی‌های کششی بازمانده از فشارش مورب جای‌گیری می‌شود (Berberian and King, 1981). نحوه عملکرد این سامانه از انتهای ژوراسیک تا عهد حاضر به صورت شوماتیک در شکل ۸ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده و الگوهای ساختاری و ماگمایی که بیان شد و نبود دگرگونی ناحیه‌ای از پرکامبرین بالایی به‌بعد در ناحیه مورد مطالعه، بیانگر عدم وجود سیستم فشارشی در ناحیه مورد مطالعه است و آن را می‌توان ناشی از تبدیل انرژی‌های فشارشی به حرکت راستالغز گسل قم زفره در این نواحی مرتبط دانست. در جنوب و شرق شجاع‌آباد زون برشی حاصل از عملکرد گسل‌های راستالغز با راستای شمالی جنوبی مشاهده

## ۵- نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی در منطقه حسن‌آباد ماهیت پرآلومینه داشته و سدیک هستند و از نوع کالک‌آلکانل می‌باشند، این نمونه‌ها حاصل تفریق ماگمای بازیک با منشأ گوشته لیتوسفری است. سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی در منطقه شجاع‌آباد ماهیت متآلومینه داشته و فوق پتاسیک هستند و از نوع شوشونیتی می‌باشند که حاصل ذوب‌بخشی پوسته زیرین تونالیتی است. همچنین با توجه به نمودارهای ژئوشیمیایی، سنگ‌های مورد مطالعه از ILES غنی‌شدگی و از HFSEs تهی‌شدگی نشان می‌دهند که از ویژگی‌های سنگ‌های مرتبط با کمان قاره‌ای می‌باشند و با توجه به آنومالی منفی عناصر Ta و Nb، Ti می‌توان نتیجه گرفت که ماگمای سازنده این سنگ‌ها در محیط فرورانش



است. تمامی این پدیده‌ها زمانی رخ داده است که زاگرس به تصادم رسیده است و زمین درز نئوتتیس در محور عمان زاگرس ایجاد شده است. پس از این رخداد به دلیل قفل‌شدگی در محل زاگرس، فشارش مورب نیروی بیش‌تری برای ایجاد نواحی پشت‌کمان را تامین کرده و منجر به ایجاد پوسته اقیانوسی می‌شود.

ایجاد کرده است. نزدیک بودن پوسته اقیانوسی به سطح زمین در زیر نواحی پشت‌کمان، موجب شده است که با بازشدن سطوح بالایی، ماگمای سازنده پوسته اقیانوسی در این نواحی جایگیری شود. بازمانده پوسته اقیانوسی جداشده حین فرورانش و دوپلکس شدن آن در نواحی شمال اصفهان ماگمای تولثیت جزایر قوسی را ایجاد کرده

## مراجع

- Alavi, M., 1994. Tectonics of zagros orogenic belt of Iran, New data and interpretation. *Tectonophysics* 220, 211-238. [https://www.doi.org/10.1016/0040-4029\(94\)90055-5](https://www.doi.org/10.1016/0040-4029(94)90055-5).
- Alavi, M., 1980. Tectonostratigraphic evolution of the Zagros sides of Iran. *Geology* 8, 144 -149. <https://doi.org/10.1130/G111144>.
- Altherr, R., Holl, A., Hegner, E., Langef, C., Kreuzer, H., 2000. High-potassium, Calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and Northern Schwarzwald (Germany). *Lithos* 50, 51-73. [https://www.doi.org/10.1016/S0167-6369\(00\)00031-1](https://www.doi.org/10.1016/S0167-6369(00)00031-1).
- Berberian, F., Berberian, M., 1981. Tectonic-plutonic Episodes in Iran. In: Gupta H.K., Delany F.M., (Eds.), *Zagros Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution*, American Geophysical Union. Washington DC, 5-32. <https://www.doi.org/10.1029/1981JB00131>.
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 210-265. <https://doi.org/10.1139/e71-055>.
- Condie, K.C., 1989. Geochemical Changes in basalts and andesites across the Archean- Proterozoic boundary: identification and significance. *Lithos* 23, 1-18. [https://www.doi.org/10.1016/0167-6369\(89\)90045-5](https://www.doi.org/10.1016/0167-6369(89)90045-5).
- Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., 1979. *The interpretation of igneous rocks*: George Allen and Unwin, London. *Open Journal of Geology* 6, 33-53
- Darvishzadeh, A., 1991. *Geology of Iran*. Neda Publication, Tehran, 1-901. [https://www.doi.org/10.1016/0167-6369\(91\)90055-5](https://www.doi.org/10.1016/0167-6369(91)90055-5).
- Farhoudi, G., 1978. A comparison of Zagros geology to island arcs. *Journal of Geology* 86, 323-334. <https://doi.org/10.1086/649694>.
- Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 26, 683-693. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2005.08.002>.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Science* 8, 523-548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>.
- Michel, R., Emami, M.H., Amidi, S.M., 1984. Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of Iran and its geodynamic situation. *Geologischen Rundschau* 73, 917-932. <https://sciexplore.ir/Documents/Details/130-804-632>
- Mokhtari, A., 2010. Petrographic and geochemical study of volcanic rocks in Marsar region (northeast of Isfahan) with emphasis on alteration processes, M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Khorasgan Branch, 154 pages. <https://civilica.com/doc/87892>.
- Muller, D., Groves, D.I., 1997. Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization. *Lecture Notes in Earth Sciences* 56, 238 p. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-0555-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-0555-5_11).
- Orozco-Esquivel, T., Petrone, C.M., Ferrari, L., TakahiroTagami, T., Manetti, P., 2007. Geochemical and isotopic variability in lavas from the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: Slab detachment in a subduction zone with varying dip. *Journal of South American Earth Sciences* 93, 149- 174. <https://www.doi.org/10.1016/j.jseas.2007.06.001>.
- Parsapour, A., Khalili, M., Noghreian, M., Makizadeh, M.A., 2004, Study of lithology and geochemistry of jarosite in Rangan (southwest of Ardestan). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 12, 203- 214. <https://ijcm.ir/article-1-742-fa.html>.

- Patino Douce, A.E., Beard, J.S., 1997. Effects of P, F(O<sub>2</sub>) and Mg/Fe Ratio on Dehydration Melting of Model Metagreywackes. *Journal of Petrology* 37, 999-1024. <https://www.doi.net/publication/31082901>.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the Sub- continental Lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J., (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva Publishing Limited. Cheshire UK 8, 230-249. <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/8626>.
- Pearce, J.A., Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290-300. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0012821X73901295>.
- Roberts, M.P., Clemens, J.D., 1993. Origin of High- Potassium, Calc-Alkaline, I-type granitoids: *Geology* 21, 825-828. <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/21/9/825/186016>.
- Sarjuqian, F., Canaanian, A., Asna Ashari, A., Ahmadian, J., 2006. Senometry of the intrusive mass of Dam Mountain, dikes and enclaves in it by uranium-lead method. *Quarterly Journal of Earth Sciences* 24, 145-154. [https://www.gsjournal.ir/article\\_42422.html](https://www.gsjournal.ir/article_42422.html).
- Stevenson, R., Henry, P., Carriepy, C., 1999. Assimilation fractional crystallization origin of Archean Sanukitoid Suite: Western Superior Province Canada, Precambrian. *Journal of Geological Research* 96, 83-99. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301926899000091>.
- Swinden, H.S., Jenner, G.A., Szybinski, Z.A., 1997. Magmatic and tectonic evolution of the Cambrian Ordovician Laurentian margin of Iapetus: Geochemical and isotopic constraints from the Notre Dame Subzone, Newfoundland Appalachians. In: Sinha, K., Whalen, J.B., Hogan J.P., (Eds.), *The Nature of Magmatism in the Appalachian Orogen*. Geological Society of American 191, pp. 367-395. <https://doi.org/gsa/books/book/197/chapter-abstract/3793749>
- Temel, A., Gondogu, M.N., Gourgaud, A., 1998. Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high - k calc - alkaline volcanism in konya, central Antolia, Turkey: *Volcanology and Geothermal Research* 8, 327-357. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1998JVGR.85.327T/abstract>.
- Whalen, J.B., McNicoll, V.J., van Staal, C.R., Lissenberg, C.J., Longstaffe, F.J., Jenner, G.A., Breeman, O., 2006. Spatial, Temporal and Geochemical Characteristics of Silurian Collision-zone Magmatism, Newfoundland Appalachians: An example of a rapidly evolving magmatic system related to slab break-off. *Lithos* 89, 377-404. [https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference\\_id/534844](https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/534844).