



## Magmatic Evolution of the Upper Eocene Monzonitic stock in the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari (Northwest of Anarak, Isfahan province)

Marzieh Ghadirpour<sup>1</sup> , Ghodrat Torabi<sup>2\*</sup> , Nargess Shirdashtzadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, 14115-175, Tehran, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article History

Received: 04 October 2023  
Revised: 21 December 2023  
Accepted: 21 December 2023

#### Keywords

Stock  
Eocene  
Monzonite  
Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari  
Ashin Ophiolite  
Central Iran

#### \*Corresponding author

Ghodrat Torabi  
✉ [torabighodrat@sci.ui.ac.ir](mailto:torabighodrat@sci.ui.ac.ir)

### ABSTRACT

In central part of the Mesozoic Ashin ophiolite (Northwest of Anarak, Isfahan province, Iran), the Upper Eocene monzonitic stock cross cuts the Ashin ophiolite and Middle Eocene volcanic rocks. Amphibolite xenoliths are enclosed in the stock and associated Eocene volcanic rocks. Xenoliths are more abundant in the margin of the monzonitic stock. Rock-forming minerals of the stock are plagioclase with andesine to labradorite composition (An=34-60%), Alkali-feldspar with orthoclase composition (Or= 70.8 to 96.1%), diopsidic clinopyroxene with (Mg# =0.71-0.90), and phlogopite mica with (Fe#=0.3). Opaque minerals are magnetite and titanomagnetite (TiO<sub>2</sub>=1.6-4.4 wt.%). Main textures of samples from this intrusive body are granular, intergranular and poikilitic. Samples from the margin of this stock represent porphyritic texture.

Geochemistry of minerals and whole rock samples of this stock indicate that they belong to the calc-alkaline magmatic series and are similar to the samples from the continental magmatic arcs.

These magmatic rocks possibly were formed by subduction of the CEIM (Central-East Iranian Microcontinent) confining oceanic crusts (Ashin and Nain oceanic crusts) during Mesozoic and Early Cenozoic eras.

### How to cite this article

Ghadirpour, M., Torabi, Gh. and Shirdashtzadeh, N., 2023. Magmatic Evolution of the Upper Eocene Monzonitic stock in the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari (Northwest of Anarak, Isfahan province). *Journal of Economic Geology*, 15(4): 55–79. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2023.84438.1088>



©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.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Iran is a part of the Alpine-Himalayan orogenic system, including the Paleozoic to Cenozoic ophiolites, magmatic and metamorphic rocks (Takin, 1972; Berberian and King, 1981; Berberian et al., 1982; Dercourt et al., 1986; Alavi, 1994; Mohajjel et al., 2003; Shahabpour, 2007). The main pulse of the Paleogene and Neogene magmatic (volcanic and intrusive) activities of Iran can be attributed to the two Cenozoic subduction events, including the western Neo-Tethyan oceanic crust subduction beneath the Sanandaj-Sirjan block in the west and the eastern Neo-Tethyan oceanic crust subduction beneath the Central Iran (e.g., Shirdashtzadeh et al., 2022). The former subduction possibly caused to the formation of the Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc, but the later subduction results is not well studied yet. In the this research, the target region is located in the west of the Yazd block (Central Iran), where the Eocene volcanic and plutonic rocks represent subduction-related characteristics (Jamshidzaei et al., 2021). The investigated subduction-related monzonitic stock that cross cuts the central part of the Ashin ophiolite in the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari region, in the northwest of Anarak (Isfahan Province, Iran). The main lithologies in the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari are Mesozoic lithologies of Ashin Ophiolite, Paleocene limestone, Eocene volcanic rocks, monzonitic stock, Lower Red Formation, and Akhoreh Formation. Ashin ophiolite was formed in the mesozoic (Shirdashtzadeh et al., 2022) and emplaced in the Late Paleocene (~60 Ma; Pirnia et al., 2020; Shirdashtzadeh et al., 2022), before than Eocene volcanism and plutonism. The studied monzonitic stock of the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari intrudes the Mesozoic Ashin ophiolite and Middle Eocene volcanic rocks.

The calc-alkaline affinity of the volcanic and plutonic rocks of the area, tectonic activity of the Great Kavir fault caused to the crushing and mylonitization of the surrounding rock units, as well as the alteration evidences in the field studies point to suitable conditions for the ore deposit exploration in the area (e.g., copper). In this research, the petrology, mineralogy, and whole rock geochemistry of the Upper Eocene monzonitic stock are considered. This research will expand our understanding of the geochemical nature of

subduction-related Cenozoic magmatism in Central Iran.

### Materials and methods

After detailed field studies and sampling, the selected fresh samples were used for microscopic thin section and polished-thin section studies by the polarizing binocular microscope (Olympus BH-2). The microprobe analyses were performed at the School of Natural Systems, College of Science and Engineering, Kanazawa University (Kanazawa, Japan) using a wavelength dispersive electron probe microanalyzer (EPMA) (JEOL JXA-8800R). The mineral analysis was achieved under an accelerating voltage of 20 kV, a probe current of 20 nA, and a focused beam diameter of 3 $\mu$ m. 14 whole rock samples analyses were performed by Bruker S4 PIONEER XRF in the central laboratory of the University of Isfahan and 3 samples were analyzed in the Isfahan Nuclear Technology Center by neutron activation analysis (NAA).

### Results

Based on the field relations, this gray to light gray pluton intrudes into the Middle Eocene volcanic rocks and belongs to the Upper Eocene. The Middle Eocene volcanic rocks and Upper Eocene monzonitic stock crosscut the Ashin Ophiolite. This Eocene stock and volcanic rocks contain amphibolite xenoliths with the same mineralogy and petrography. Xenoliths are more abundant in the margin of the monzonitic stock. Gradual decreasing of modal plagioclase content indicates that the xenoliths range from amphibolite (plagioclase + amphibole) to hornblende (only amphibole) in composition.

Rock-forming minerals of the stock are plagioclase with andesine to labradorite composition (An = 34-60 %), alkali-feldspar with orthoclase composition (Or = 70.8 to 96.1%), diopside clinopyroxene with Mg# = 0.71-0.90, and phlogopite mica with Fe# = 0.3. Opaque minerals are magnetite and titanomagnetite with TiO<sub>2</sub> = 1.6-4.4 wt%. The main textures of samples from this intrusive body are granular, intergranular and poikilitic. Samples from the margin of this stock represent porphyritic texture. The SiO<sub>2</sub> value in the whole rock compositions ranges from 47.9 to 61.65 wt.% (basic to intermediate). The average content of alkalis is 9.75 wt.%. The Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari rocks show sodic affinity by higher Na<sub>2</sub>O than K<sub>2</sub>O, based on the

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  and  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  diagrams (Jaques et al., 1985). The Eocene intrusive and volcanic rocks of this area are similar in terms of mineralogy and texture. Petrography and whole rocks chemical analyses indicate that the studied stock is geochemically composed of gabbro, monzodiorite to monzonite in composition with metaluminous affinity. Monzonite is the predominant rock.

### **Tectonic setting**

Various tectonomagmatic discrimination diagrams are used to determine the tectonomagmatic setting of the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari stock. Mineral chemistry and whole rock geochemistry of the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari monzonitic stock indicate a calc-alkaline magmatic series similar to the

subduction-related magmas in the normal continental magmatic arcs formed during the mantle metasomatism. According to the the temporal and geological situation, as well as the geochemical characteristics of the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari stock, it is considered as a part of an arc magmatism, related to the subduction of Neo-Tethyan oceanic crust beneath the CEIM (Central–East Iranian Microcontinent) during the Late Mesozoic and Early Cenozoic eras.

### **Acknowledgments**

We are grateful to the University of Isfahan and the Department of Geology of Kanazawa University (Japan) for their supports. We are also grateful to anonymous reviewers for their useful comments and suggestions that improved the quality of this paper.



## تحولات ماگمایی استوک مونزونیتی ائوسن بالایی کوه کلوت قندهاری (شمال غرب انارک، استان اصفهان)

مرضیه غدیرپور<sup>۱</sup>، قدرت ترابی<sup>۲\*</sup>، نرگس شیردشت‌زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
در بخش مرکزی افیولیت عشین (شمال غرب انارک، استان اصفهان، ایران)، یک استوک مونزونیتی متعلق به ائوسن بالایی، افیولیت عشین و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی را قطع کرده است. این توده نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن همراه، زینولیت‌هایی از جنس آمفیبولیت دارند. کانی‌های سازنده استوک شامل پلاژیوکلاز با ترکیب آندزین تا لابرادوریت (۶۰-۳۴ An=)، آلکالی فلدسپار با ترکیب غالب ارتوکلاز (Or=۹۶/۱-۷۰/۸ wt.%)، کلینوپیروکسن از نوع دیوپسید با (Mg#=۰/۷۱-۰/۹۰) و میکا از نوع فلوگوپیت با (Fe#=۰/۳) است. کانی‌های کدر نیز از نوع مگنتیت و تیتانومگنتیت هستند که دارای (TiO <sub>2</sub> =۱/۶-۴/۴wt.%) هستند. مهم‌ترین بافت‌های موجود در این توده نفوذی، گرانولار، اینترگرانولار و پوئی کیلیتیک بوده و در حاشیه توده بافت پورفیریتیک قابل مشاهده است. داده‌های زمین‌شیمیایی کانی‌ها و نمونه‌های سنگ کل این استوک نشان می‌دهد که ماگمای سازنده این سنگ‌ها دارای ماهیت کالک‌آلکالن بوده و شباهت بسیار زیادی به سنگ‌های ماگمایی موجود در کمان‌های ماگمایی دارند. این ماگماتیسیم احتمالاً حاصل فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس حاشیه خرد قاره شرق-ایران مرکزی (پوسته‌های اقیانوسی عشین و ناین) در مزوزوئیک و ابتدای سنوزوئیک است.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰
	<b>واژه‌های کلیدی</b> استوک ائوسن مونزونیت کوه کلوت قندهاری افیولیت عشین ایران مرکزی
	<b>نویسنده مسئول</b> قدرت ترابی torabighodrat@sci.ui.ac.ir ✉

### استناد به این مقاله

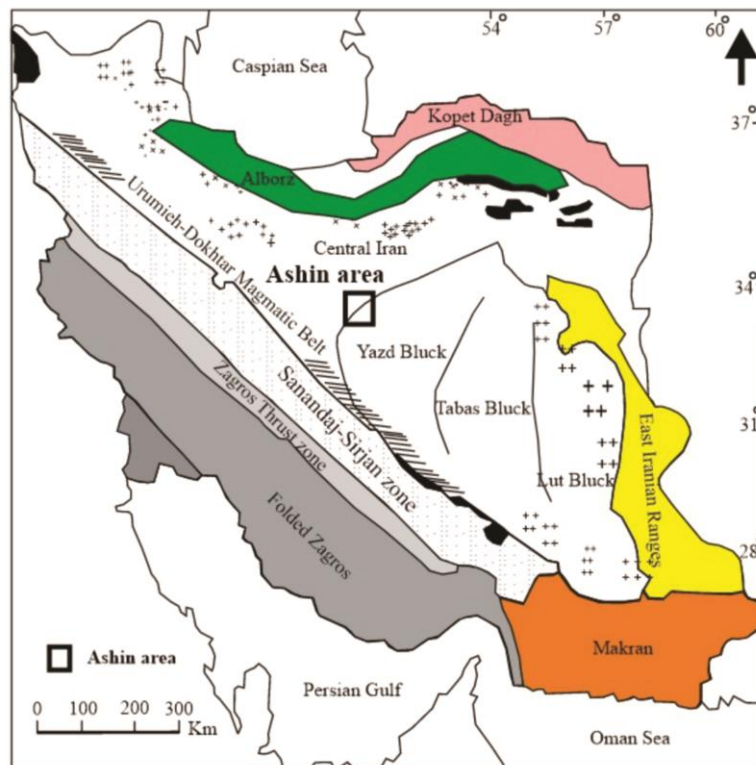
غدیرپور، مرضیه؛ ترابی، قدرت و شیردشت‌زاده، نرگس، ۱۴۰۲. تحولات ماگمایی استوک مونزونیتی ائوسن بالایی کوه کلوت قندهاری (شمال غرب انارک، استان

اصفهان). زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۵(۴): ۵۵-۷۹. <https://doi.org/10.22067/econg.2023.84438.1088>

## مقدمه

در بخش‌های غربی بلوک یزد نیز ولکانیسم و پلوتونیسیم مرتبط با ائوسن را می‌توان مشاهده کرد که دارای ویژگی‌های مرتبط با فرورانش هستند (Jamshidzaei et al., 2021). در بخش مرکزی افیولیت عشین (شمال غرب انارک) که کوه کلوت قندهاری نامیده می‌شود، یک استوک مونزوتیتی با سن ائوسن بالایی واحدهای سنگی قدیمی تر شامل افیولیت عشین و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده و خود توسط سازند قرمز زیرین و سازند فلیشی آخوره به سن الیگوسن زیرین پوشیده شده است (شکل ۱).

ایران زمین به عنوان بخشی از نوار مرکزی- غربی سامانه کوه‌زایی آلپ- هیمالیا به دلیل تحمل زمین ساخت خاص نواحی هم‌گرایی صفحات (Takin, 1972; Berberian and King, 1981; Berberian et al., 1982; Dercourt et al., 1986; Alavi, 1994; Mohajjel et al., 2003; Shahabpour, 2007) جولانگاه فعالیت‌های ماگمایی (آتشفشانی و نفوذی) گسترده‌ای به ویژه در دوران سنوزوئیک بوده است. شدت و اهمیت این رخداد در بخش‌های مختلف ایران قابل مشاهده است. در ایران مرکزی و



شکل ۱. موقعیت منطقه عشین در نقشه زون‌های ساختاری ایران برگرفته از آقانباتی (Aghanabati, 2004) با اندکی تغییر

Fig. 1. Location of the Ashin area in the map of structural units of Iran (Aghanabati, 2004) slightly changed

کانی‌های این استوک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. امید است که انجام این پژوهش کمکی مهم در درک ماهیت ماگماتیسم سنوزوئیک این بخش از سرزمین ایران باشد. تاکنون بر روی

درون این استوک، قطعه‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی و زینولیت‌های آمفیبولیتی با اندازه‌های مختلف یافت می‌شود. در این پژوهش، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی نمونه‌های سنگ کل و

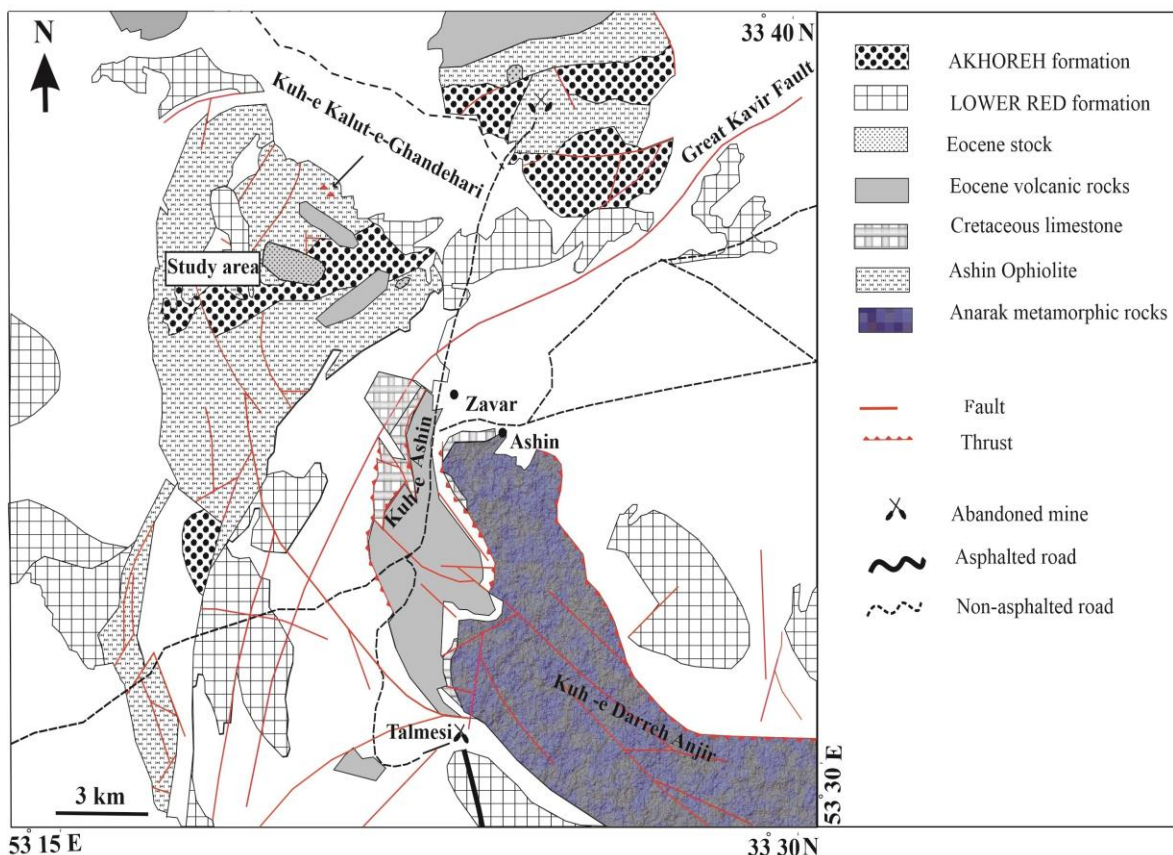


منطقه دیده می‌شود. شواهد دگرسانی در سنگ‌های میزبان، اهمیت احتمالی این منطقه از نظر اکتشاف کانسارهایی مانند مس را بیشتر می‌کند.

### زمین‌شناسی عمومی منطقه

این منطقه در تقسیم‌های زمین‌شناسی ایران، جزئی از ایران مرکزی است و در کناره غربی بلوک یزد (نایین) قرار دارد (Aghanabati, 2004) (شکل ۱). کوه کلوت قندهاری بین طول‌های جغرافیایی  $53^{\circ} 15'$  تا  $53^{\circ} 30'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $33^{\circ} 30'$  تا  $33^{\circ} 40'$  شمالی قرار دارد (شکل ۲).

توده‌های نفوذی و آتشفشانی اطراف منطقه مورد بررسی پژوهش‌های بسیاری انجام شده است (Sarjoughian et al., 2015). با توجه به اهمیت این توده نفوذی، همچنین قطع کردن افیولیت منطقه و دارا بودن آن از زینولیت‌هایی که بررسی آنها سهم بسیار مهمی در دانش سنگ‌شناختی و درک ماهیت بخش‌های مختلف گوشته و پوسته قاره‌ای دارد، تصمیم گرفته شد پژوهش و بررسی بر روی استوک مونزونیتی انجام شود. نزدیک بودن این منطقه به گسل کویر بزرگ، خرد و گسلیده بودن سنگ‌های منطقه، کالک آلکالن بودن توده نفوذی مورد بررسی و وجود آثار کانه‌زایی مس به صورت محدود در بخش‌های مختلف



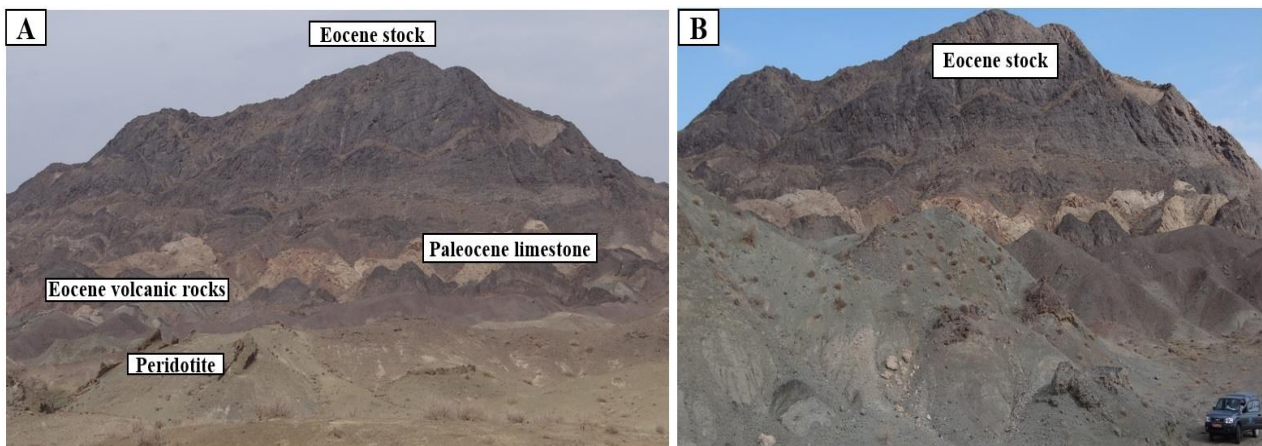
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ساده شده از منطقه عشین تا کلوت قندهاری (شمال غرب انارک، ایران مرکزی) اقتباس شده از نبوی و هوشمندزاده (Nabavi and Houshmandzadeh, 1990)

Fig. 2. Simplified geological sketch map of the Ashin to Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari area (Northwest of Anarak, Central Iran) (Nabavi and Houshmandzadeh, 1990)

استوک، مونزونیت است که واحدهای سنگی قدیمی تر شامل افیولیت عشین و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده و سپس توسط سازند قرمز زیرین و سازند فلیشی آخوره پوشیده شده است. سازند قرمز زیرین در این منطقه از کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ و مارن تشکیل شده و طبق بررسی‌های (Davoudzadeh, 1972) سن ائوسن-الیگوسن دارد. این واحد سنگی در قسمت‌هایی از جنوب و شرق استوک مورد بررسی دیده می‌شود. سازند رسوبی آخوره نیز که یک توالی از ماسه‌سنگ، شیل، گری وک و کنگلومرا به سن الیگوسن زیرین است (Davoudzadeh, 1972)، همه واحدهای سنگی منطقه را پوشانده است. بر اساس نتایج بررسی‌های صحرائی می‌توان گفت که سن این توده نفوذی نیز احتمالاً ائوسن بالایی است (شکل ۳- A و B).

مهم‌ترین واحدهای سنگی موجود در کوه کلوت قندهاری از قدیم به جدید شامل واحدهای افیولیت عشین، سنگ آهک‌های پالئوسن، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، استوک مونزونیتی، سازند قرمز زیرین و سازند فلیشی آخوره هستند. مجموعه افیولیتی عشین از واحدهای سنگی پریدوتیت و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته (هارزبورگیت، دونیت و لرزولیت)، توده‌های نفوذی گابرویی، پیروکسنیت، دایک‌های دیابازی، کمپلکس دایک‌های ورقه‌ای، رودنگیت، گدازه‌های بالشی، پلاژیوگرانیت‌ها، لیستونیت و سنگ‌های دگرگون (دایک‌های آمفیبولیتی برگ‌واره‌دار، آمفیبولیت و اسکارن) تشکیل شده است (Torabi, 2004; Shirdashtzadeh et al., 2014; Shirdashtzadeh et al., 2022).

در استوک کوه کلوت قندهاری طیف سنگی گابرو تا مونزودیوریت و مونزونیت دیده می‌شود. واحد سنگی عمده این



شکل ۳. A: تصویر صحرائی استوک مونزونیتی کوه کلوت قندهاری (شمال غرب انارک)، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، واحدهای رسوبی پالئوسن و پریدوتیت‌های افیولیت عشین (نگاه به شمال) و B: تصویری نزدیک‌تر از استوک مونزونیتی ائوسن بالایی (نگاه به شمال شرق)

**Fig. 3.** A: Field photographs of the Eocene monzonitic stock in the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari (Northwest of Anarak), Eocene volcanic rocks, Paleocene sedimentary rocks, and peridotites of the Ashin Ophiolite (View to the North), and B: A closer view of the Upper Eocene monzonitic stock (View to the Northeast)

ائوسن بوده است. این مطلب با پژوهشی که سن جای‌گیری این افیولیت را در حدود ۶۰ میلیون سال پیش در پالئوسن دانسته است

به این ترتیب می‌توان گفت زمان جای‌گیری احتمالی افیولیت عشین در اواخر پالئوسن و پیش از رخداد ولکانیسم و پلوتونیسم

روش فعال‌سازی نوترونی (NAA) در مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته‌ای اصفهان مورد آنالیز زمین‌شیمیایی قرار گرفتند (جدول ۵).

### سنگ‌نگاری

در این بخش سنگ‌نگاری استوک مونزونیتی بیان می‌شود و از طرفی به دلیل شباهت‌های کانی‌شناسی که این استوک با سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه دارد، از سنگ‌نگاری سنگ‌های آتشفشانی نیز صحبت شده است. سنگ‌نگاری زینولیت‌ها نیز از این نظر حائز اهمیت است که در هر دو واحد نفوذی و آتشفشانی ائوسن دیده می‌شوند.

### سنگ‌نگاری استوک مونزونیتی

در کوه کلوت قندهاری طیف سنگی تقریباً گسترده‌ای از گابرو تا مونزودیوریت و مونزونیت دیده می‌شود. سنگ اصلی و غالب این استوک، مونزونیت است. نمونه‌های این استوک در صحرا به رنگ خاکستری تا خاکستری روشن دیده می‌شوند. این توده نفوذی دارای اندازه‌های مختلفی از زینولیت‌های تیره‌رنگ آمفیبولیتی است (شکل ۴-۱). سنگ‌های این استوک اغلب دارای ساخت گرانولار بوده و در حاشیه استوک دارای ساخت پورفیریتیک هستند.

از لحاظ کانی‌شناسی، کانی‌های اصلی سازنده این توده نفوذی شامل پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، آمفیبول و کلینوپیروکسن هستند. میکا، مگنتیت و تیتانومگنتیت از کانی‌های فرعی این استوک به شمار می‌روند (جدول ۱). چنان‌که گفته شد، در این منطقه طیف سنگی از گابرو تا مونزودیوریت و مونزونیت دیده می‌شود. کلینوپیروکسن‌ها اغلب نیمه‌شکل‌دار بوده و بزرگی آنها به یک میلی‌متر نیز می‌رسد. گاه در بخش‌هایی از بلورهای کلینوپیروکسن آثار دگرسانی به کلریت و کانی‌های کدر در محل شکستگی‌ها و اطراف آنها دیده می‌شود. بلورهای نیمه‌شکل‌دار آمفیبول نیز با فراوانی ۵ درصد حجمی نزدیک به فراوانی کلینوپیروکسن‌ها دیده

نیز (Pirmia et al., 2020; Shirdashtzadeh et al., 2022) همخوانی دارد. این استوک در تصویرهای ماهواره‌ای به شکل یک بیضی کشیده (قطر بزرگ حدود ۶۴۰ متر و قطر کوچک حدود ۱۶۰ متر) با امتداد تقریبی شرقی-غربی دیده می‌شود. ساخت عمده قابل مشاهده در نمونه‌های این توده نفوذی هنگام نمونه‌برداری، پورفیریتیک در حاشیه توده و گرانولار در بخش‌های داخلی است. در مناطق اطراف، رخنمون‌های کوچک‌تری از این توده نفوذی قابل مشاهده است. در درون این استوک، همچون سنگ‌های آتشفشانی، زینولیت‌های آمفیبولیتی با اندازه‌های مختلف دیده می‌شود. سن سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه انارک به روش K-Ar، ۴۲ تا ۵۳ میلیون سال (ائوسن زیرین تا میانی) به دست آمده است (Aistov et al., 1984). این سنگ‌های آتشفشان از نظر ترکیب شیمیایی بسیار گسترده بوده و شامل سری‌های ماگمایی کالک‌آلکان (Sayari, 2006; Ghaderi Rehnani, 2019; Khalili Gelsefidi, 2020; Ansari Kish, 2020)، کالک‌آلکان پتاسیم بالا (Goli, 2013) و شوشونیتی (Torabi, 2006) هستند. بررسی فسیل‌شناسی سنگ آهک‌های موجود در کوه کلوت قندهاری وجود دو دسته سنگ آهک‌های پلاژیک پالتوسن زیرین و سنگ آهک‌های بنتیک پالتوسن بالایی را نشان می‌دهد (Serra-keel et al., 1998).

### روش مطالعه

پس از بررسی‌های صحرائی و نمونه‌برداری، تهیه مقاطع نازک و بررسی سنگ‌نگاری آنها با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل BH2 در آزمایشگاه سنگ‌شناسی دانشگاه اصفهان انجام شد و نمونه‌های مناسب برای آنالیز شیمیایی کانی‌ها انتخاب شد. آنالیز شیمیایی کانی‌ها با استفاده از دستگاه الکترون میکروپروب JEOL EPMA مدل JXA-8800 (WDS) با ولتاژ شتاب‌دهنده 20 kv و جریان 20 nA در دانشگاه کاناواوا ژاپن انجام شده است (جدول‌های ۲، ۳ و ۴). ۱۴ نمونه سنگ کل در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان با استفاده از روش XRF و ۳ نمونه نیز توسط



خاکستری تیره دیده می‌شوند. این سنگ‌ها بافت پورفیریتیک و جریان (تراکیتی) دارند. از نظر نوع کانی‌های سازنده سنگ، نمونه‌های استوک و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه شباهت‌های بسیار زیادی دارند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن دارای درشت بلورهای پلاژیو کلاز، آمفیبول، کلینوپیروکسن، مگنتیت و تیتانومگنتیت هستند (جدول ۱). زمینه این سنگ‌ها اغلب از فلدسپار تشکیل شده است. پلاژیو کلازها در برخی موارد سرسیتی شده‌اند. کانی کلریت نیز در بخش‌هایی از زمینه سنگ و همچنین در درون درز و شکاف‌ها قابل مشاهده است. این سنگ‌ها از نظر سنگ‌نگاری، اغلب آندزیت محسوب می‌شوند که دارای زینولیت‌های آمفیبولیت در اندازه‌های مختلف هستند (شکل ۴-۲).

### سنگ‌نگاری زینولیت‌ها

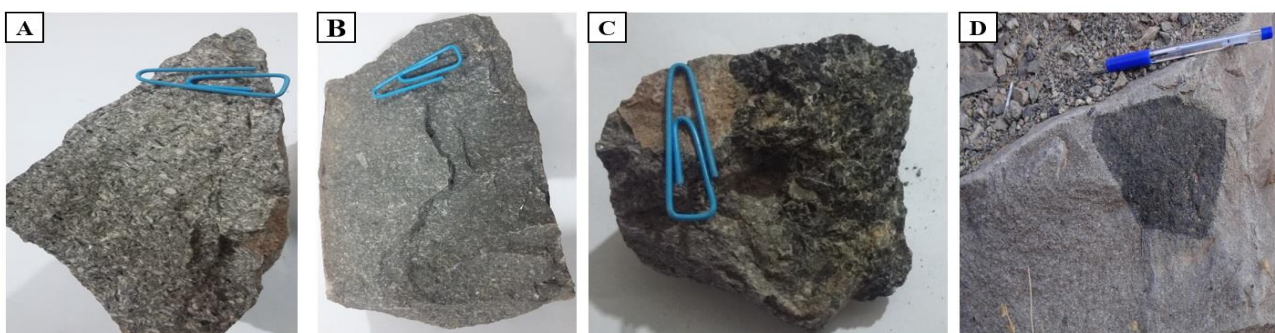
در بررسی‌های صحرایی، می‌توان به فراوانی زینولیت‌های تیره‌رنگ آمفیبولیت را در درون استوک و سنگ‌های آتشفشان مشاهده کرد. قطر زینولیت‌ها در صحرا و نمونه دستی از چند میلی‌متر تا چند دسی‌متر است (شکل ۴-۳ و ۴-۴)؛ به گونه‌ای که گاه قطر این زینولیت‌ها به ۸۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد. زینولیت‌ها در بعضی نمونه‌ها دارای برگ‌وارگی هستند.

می‌شوند و اغلب آثار دگرسانی به کانی‌های ثانویه‌ای مانند اپیدوت، کلسیت، کلریت و کانی‌های کدر را نشان می‌دهند. پلاژیو کلازها دارای فراوانی نزدیک به ۴۰ تا ۶۰ درصد حجمی بوده و نیمه‌شکل دار هستند. طول برخی از آنها در برخی موارد به چند میلی‌متر نیز می‌رسد. برخی از پلاژیو کلازها دارای ماکل پلی‌سینتیک هستند و برخی منطقه‌بندی نشان می‌دهند (شکل ۵-۱). این کانی گاهی در اثر دگرسانی سوسوریتی شده و کانی‌های ثانویه اپیدوت، کلسیت و کلریت از آن پدید آمده‌اند. از نظر میکروسکوپی نیز بافت‌های آذرین اصلی آنها شامل گرانولار، میکروگرانولار (شکل ۵-۲)، اینترگرانولار، پورفیریتیک و گلوپورفیریتیک است. برخورد بین استوک و زینولیت آمفیبولیتی به صورت واضح دیده می‌شود (شکل ۵-۳).

از لحاظ کانی‌شناسی، کانی‌های اصلی سازنده این توده نفوذی در بخش‌های گابرویی شامل پلاژیو کلاز و کلینوپیروکسن بوده و مگنتیت و تیتانومگنتیت از کانی‌های فرعی آن به شمار می‌روند. با کم شدن مقدار پلاژیو کلاز و افزایش مقدار فلدسپار پتاسیم‌دار، نام سنگ به سمت مونزودیوریت و مونزونیت تغییر می‌کند.

### سنگ‌نگاری سنگ‌های آتشفشانی ائوسن

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در صحرا به رنگ خاکستری تا

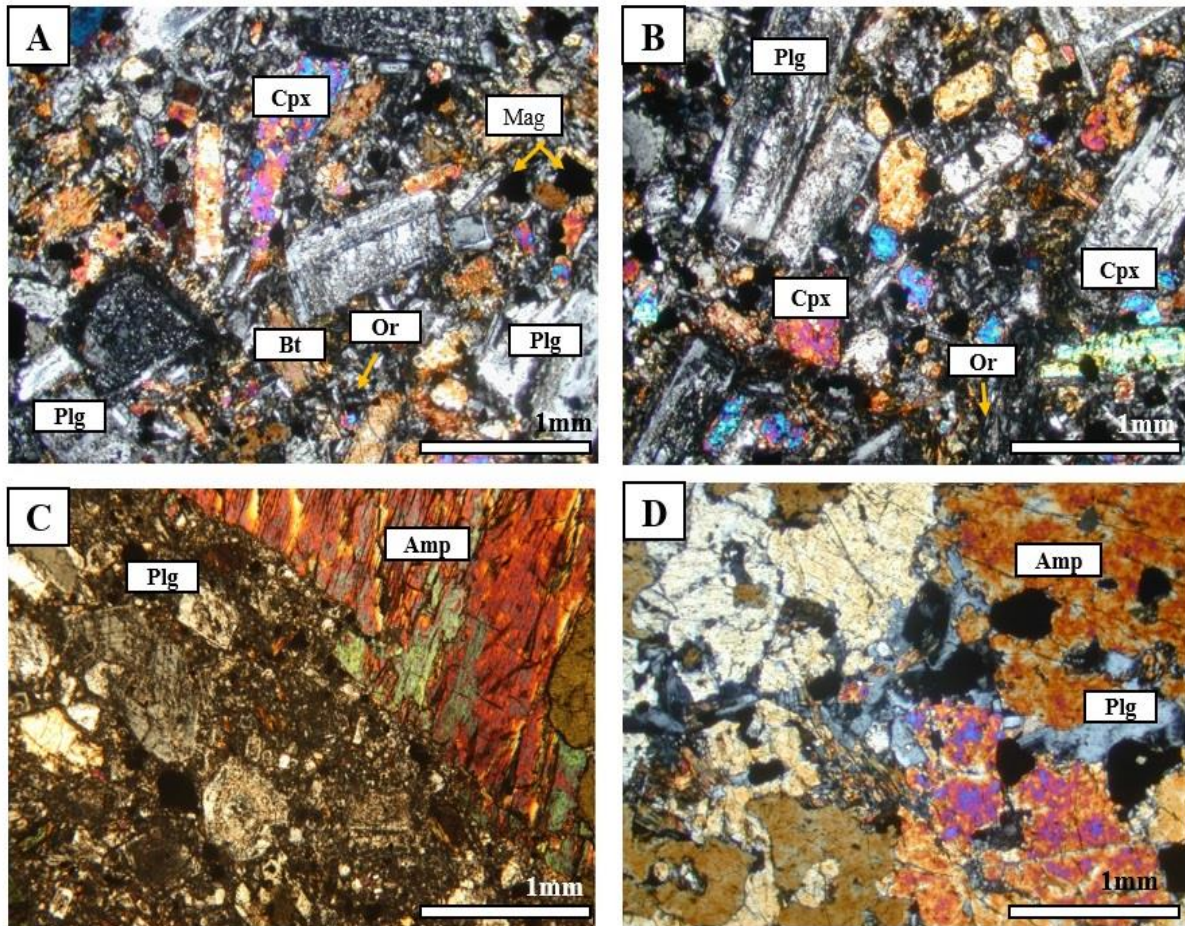


شکل ۴. تصاویر نمونه‌های دستی سنگ‌های منطقه مورد بررسی. A: نمونه استوک مونزونیتی، B: آتشفشان ائوسن، C و D: زینولیت‌های آمفیبولیتی درون استوک مونزونیتی (کوه کلوت قندهاری، شمال غرب انارک)

**Fig. 4.** Photographs of the hand specimens from the studied rocks; A: Monzonitic stock B: Eocene volcanic rock, C and D: Amphibolitic xenolith in monzonitic stock (Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari, Northwest of Anarak)

هورنبلندیت نامید. مهم‌ترین بافت‌های این زینولیت‌ها، گرانوبلاستیک، پوئی کیلوبلاستیک و نماتوبلاستیک هستند. زینولیت‌های آمفیبولیتی این منطقه بدون کوارتز هستند. کانی‌های سازنده آمفیبولیت‌ها از نظر ریخت‌شناسی به صورت شکل دار تا بی‌شکل دیده می‌شوند (شکل ۵-D).

این سنگ‌ها از کانی‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، میکا، مگنتیت و تیتانومگنتیت تشکیل شده‌اند (جدول ۱). کلینوپیروکسن‌ها در برخی موارد رفتاری شکننده از خود نشان می‌دهند. با توجه به کانی‌شناسی زینولیت‌ها می‌توان گفت که ترکیب عمومی آنها آمفیبولیت است. در برخی نمونه‌های زینولیت، مقدار پلاژیوکلاز بسیار کم بوده است و می‌توان سنگ را



شکل ۵. تصاویرهای میکروسکوپی (XPL). A و B: استوک مونزونیتی، C: برخورد توده نفوذی و زینولیت و D: زینولیت آمفیبولیت (کوه کلوت قندهاری، شمال غرب انارک) علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوایز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Plg: پلاژیوکلاز، Or: اتوکلاز، Amp: آمفیبول، Cpx: کلینوپیروکسن، Bt: بیوتیت، Mag: مگنتیت).

**Fig. 5.** Photomicrographs (XPL). A and B: Monzonitic stock, C: Intrusive body and Amphibolite xenolith contact, and D: Amphibolite xenolith (Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari, Northwest of Anarak). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Plg: Plagioclase; Or: Orthoclase; Amp: Amphibole; Cpx: Clinopyroxene; Bt: Biotite; Mag: Magnetite).

جدول ۱. کانی‌شناسی استوک مونزونیتی، سنگ آتشفشانی ائوسن و زینولیت‌های کوه کلوت قندهار

Table 1. Mineralogy of monzonitic stock, Eocene volcanic rock and Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari xenolith

Rock type	Minerals
Volcanic rocks	Plagioclase, amphibole, clinopyroxene, magnetite, Ti-Magnetite, chlorite
Monzonite stock	Plagioclase, orthoclase, amphibole, clinopyroxene, mica, magnetite, Ti-Magnetite, Calcite, Epidote, Chlorite
Xenolith	Amphibole, plagioclase, clinopyroxene, mica, Ti-Magnetite

## شیمی کانی

## استوک مونزونیتی

و جدول ۲) و کانی‌های کدر دارای ترکیب تیتانومگنتیت ( $TiO_2=5/6wt.\%$ ) هستند (جدول ۴). از نظر کانی‌شناسی و بافت، استوک مونزونیتی و سنگ آتشفشان ائوسن به یکدیگر شباهت دارند.

بررسی نتایج آنالیز شیمی کانی‌ها، با استفاده از دستگاه میکروپروب نشان می‌دهد که پلاژیوکلازهای موجود در این استوک مونزونیتی، دارای ترکیب آندزین تا لابرادوریت ( $60\%$ - $34An$ ) هستند (جدول ۳) (شکل ۶-۱). فلدسپارهای پتاسیم موجود در این سنگ‌ها نیز از نوع ارتوکلاز ( $96/1\%$ - $70/8Or$ ) است (جدول ۳ و شکل ۶-۱). کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید ( $90/1-0/0Mg\#$ ) و میکاها از نوع فلوگوپیت با  $Fe\#=0/3$  هستند (جدول ۲ و شکل ۶-۱). کانی‌های کدر نیز از نوع مگنتیت و تیتانومگنتیت هستند که دارای  $TiO_2=1/4-6/4wt.\%$  هستند (جدول ۴).

## زینولیت‌ها

پلاژیوکلازها دارای ترکیب لابرادوریت تا بیتونیت ( $84/1\%$ - $51/2An$ ) بوده و فلدسپارهای پتاسیم از نوع ارتوکلاز ( $30\%$ - $Or$ ) هستند (جدول ۳ و شکل ۶-۱). کلینوپیروکسن‌ها دارای ماهیت دیوپسید هستند ( $85/0-76/0Mg\#$ ) (جدول ۲ و شکل ۶-۱). آمفیبول‌های زینولیت‌ها دارای ترکیب پارگاسیت و مگنیزوهایستینگسیت ( $78/0-65/0Mg\#$ ) هستند (شکل ۶-۱) و میکاها نیز از نوع فلوگوپیت ( $3/0Fe\#$ ) هستند (جدول ۲ و شکل ۶-۱). کانی‌های کدر نیز ترکیب تیتانومگنتیت ( $3/5wt.\%$ ) دارند (جدول ۴).

## سنگ‌های آتشفشان ائوسن

در سنگ‌های آتشفشان ائوسن که اغلب ترکیب آندزیت دارند، پلاژیوکلازها دارای ترکیب آندزین تا لابرادوریت ( $52/3\%$ - $31/7An$ ) هستند (جدول ۳) (شکل ۶-۱). آلکالی فلدسپارهای پتاسیم موجود در این سنگ‌ها، به صورت سانیدین دیده می‌شوند که محدود به زمینه هستند ( $72/7-67/4Or$ ) (جدول ۳ و شکل ۶-۱). کلینوپیروکسن‌ها دارای ترکیب دیوپسید هستند ( $80/0-73/0Mg\#$ ) (جدول ۲ و شکل ۶-۱). آمفیبول‌های موجود در آتشفشان‌ها دارای طیف ترکیب مگنیزوهایستینگسیت و هورنبلند هایستینگسیتی منیزیم‌دار ( $76/0-62/0Mg\#$ ) هستند (شکل ۶-۱).

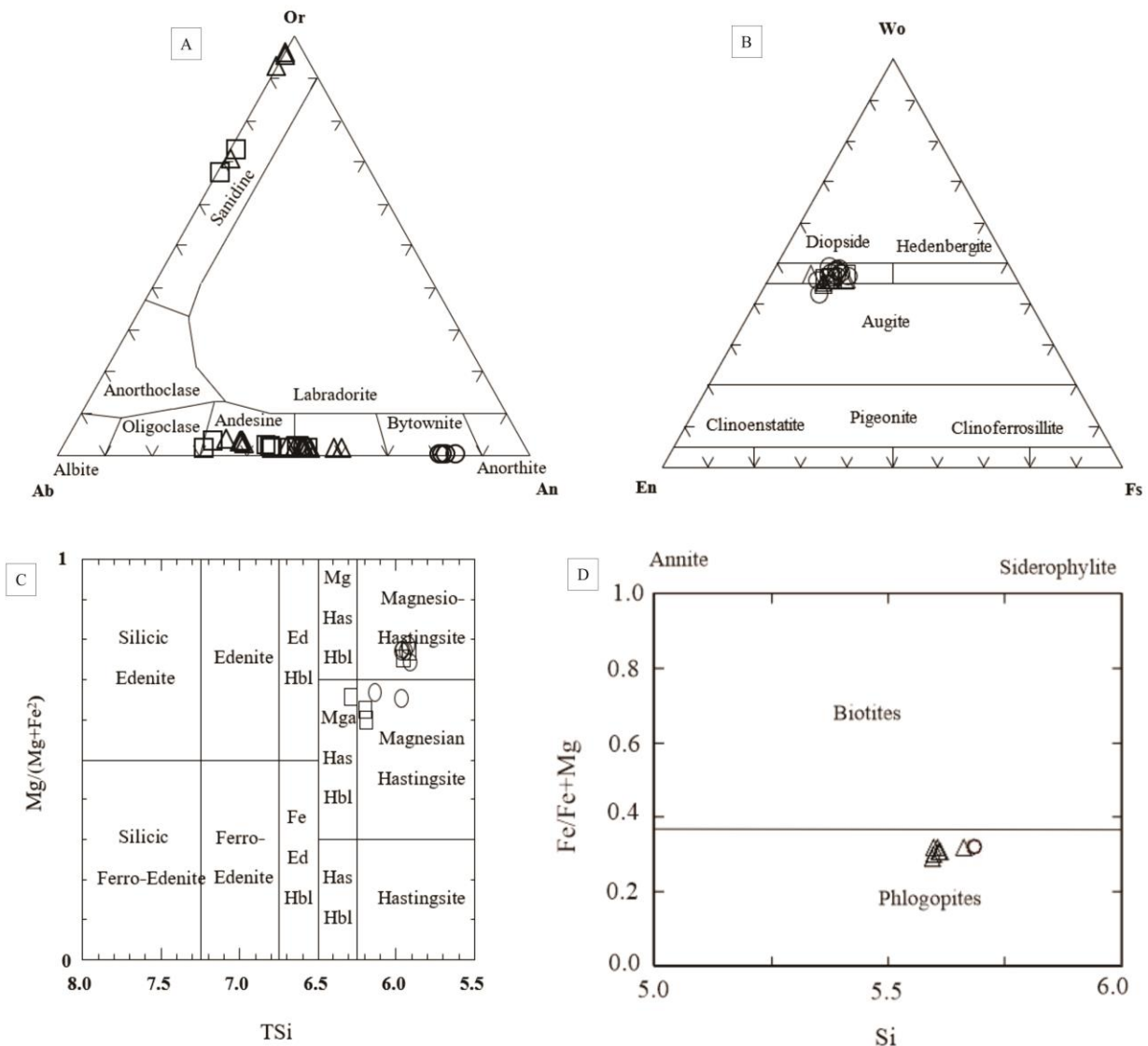
## زمین‌شیمی

بر اساس داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ کل (جدول ۵)، مقدار  $SiO_2$  سنگ‌های مورد بررسی از  $47/9$  تا  $61/65$  درصد وزنی در نوسان است که نشان می‌دهد سنگ‌های مورد نظر اغلب از نوع بازیک تا حدواسط هستند. میانگین مقدار عناصر آلکالی بالاست و به  $9/75$  درصد وزنی نیز می‌رسد. در نمودار رده‌بندی TAS (Le Maitre et al., 1989) نمونه‌ها ترکیبی از مونزونیت تا گابرو



$K_2O$  بیشتر است که نشان دهنده سدیک بودن سنگ‌های منطقه است؛ به گونه‌ای که طبق نمودار  $Na_2O/K_2O$  در برابر  $SiO_2$  و  $K_2O/Na_2O$  در برابر  $SiO_2$  (Jaques et al., 1985) سنگ‌های منطقه کوه کلوت قندهاری، ماهیت سدیک را نشان می‌دهند (شکل ۷-D و E).

نشان می‌دهند (شکل ۷-A). طبق نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) سری ماگمایی سازنده این سنگ‌ها کالک‌آلکالن است (شکل ۷-B). از نظر ضریب اشباع‌شدگی آلومینیم (Maniar and Piccoli, 1989) نمونه‌های مورد بررسی متآلومینوس هستند (شکل ۷-C). در این سنگ‌ها مقدار  $Na_2O$  از



شکل ۶. A: نمودار پلاژیوکلازها (Deer et al., 1992)، B: نمودار پیروکسن‌ها (Morimoto, 1989)، C: نمودار آمفیبول‌ها (Leake et al., 1997) و D: نمودار میکاها (Rieder et al., 1998)

**Fig. 6.** A: Plagioclase diagram (Deer et al., 1992), B: Clinopyroxene diagram (Morimoto, 1989), C: Amphibole diagram (Leake et al., 1997), and D: Mica diagram (Rieder et al., 1998)

**جدول ۲.** نتایج آنالیز میکروپروب و محاسبه فرمول ساختاری پیروکسن بر اساس ۱۶ اکسیژن، آمفیبول بر اساس ۲۳ اکسیژن، میکا بر اساس ۲۲ اکسیژن درون نمونه‌های استوک مونزونیتی، سنگ آتشفشانی و زینولیت‌های آمفیبولیتی کوه کلوت قندهاری

**Table 2.** Electron microprobe analyses (wt.%) and calculated structural formula of clinopyroxene based on 6 oxygens, amphibole based on 23 oxygens, biotite based on 22 oxygens in monzonitic stock, volcanic rock and xenolith of Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari

Sample	212	62	64	Sample	31	211	41	Sample	215	47	50
Analysis	340	B	B	Analysis	A	17	B	Analysis	318	B	A
Mineral	Amp	Amp	Amp	Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Mineral	Bt	Bt	Bt
<b>Rock type</b>	Volcanic	Xenolith	Xenolith	<b>Rock type</b>	Intrusive	Volcanic	Xenolith	<b>Rock type</b>	Volcanic	Xenolith	Intrusive
SiO <sub>2</sub>	40.73	40.77	40.46	SiO <sub>2</sub>	52.91	51.86	49.94	SiO <sub>2</sub>	38.2	33.94	37.42
TiO <sub>2</sub>	2.44	2.43	2.44	TiO <sub>2</sub>	0.33	0.56	0.69	TiO <sub>2</sub>	5.64	4.55	6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.13	14.2	14.11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.44	2.87	3.53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.9	15.2	13.71
FeO	11.6	11.53	11.71	FeO	8.23	7.7	9.44	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.03	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0.05	MnO	0.75	0.47	0.56	FeO	12.6	14.65	13.27
MnO	0.14	0.15	0.16	MgO	13.91	14.09	12.1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0
MgO	13.36	13.62	13.2	CaO	22.23	22.27	21.9	MnO	0.13	0.29	0.16
CaO	12.01	11.75	11.67	Na <sub>2</sub> O	0.35	0.37	0.73	MgO	16.2	17.43	15.54
Na <sub>2</sub> O	2.33	2.53	2.4	K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.02	BaO	0	0	0
K <sub>2</sub> O	1.29	1.1	1.08	Total	100.1	100.2	98.91	CaO	0	0.2	0.02
Total	98.03	98.08	97.23	TSi	1.967	1.919	1.88	Na <sub>2</sub> O	0.69	0.36	0.78
TSi	5.953	5.929	5.939	TAl	0.033	0.081	0.11	K <sub>2</sub> O	8.81	4.51	8.72
TAl	2.047	2.071	2.061	M1Al	0.03	0.044	0.04	Total	96.3	91.16	95.62
TFe <sup>3</sup>	0	0	0	M1Ti	0.009	0.016	0.02	CTotal	96.3	91.16	95.62
TTi	0	0	0	M1Fe <sup>3</sup>	0.011	0.032	0.08	Si	5.57	5.20	5.531
SumT	8	8	8	M1Fe <sup>2</sup>	0.18	0.13	0.17	AlIV	2.42	2.79	2.469
CAI	0.38	0.361	0.379	M1Cr	0	0.001	0	AlVI	0.02	0.05	0.081
CCr	0	0	0	M1Mg	0.771	0.777	0.68	Ti	0.61	0.52	0.667
CFe <sup>3</sup>	0.46	0.6	0.58	M <sub>2</sub> Fe <sup>2</sup>	0.065	0.075	0.04	Fe <sup>2</sup>	1.54	1.87	1.64
CTi	0.26	0.26	0.26	M <sub>2</sub> Mn	0.02	0.01	0.01	Cr	0	0	0
CMg	2.911	2.953	2.889	M <sub>2</sub> Ca	0.885	0.883	0.88	Mn	0.01	0.038	0.02
CFe <sup>2</sup>	0.956	0.803	0.857	M <sub>2</sub> Na	0.025	0.027	0.05	Mg	3.53	3.982	3.424



**ادامه جدول ۲.** نتایج آنالیز میکروپروب و محاسبه فرمول ساختاری پیروکسن بر اساس ۱۶ اکسیژن، آمفیبول بر اساس ۲۳ اکسیژن، میکا بر اساس ۲۲ اکسیژن درون نمونه‌های استوک مونزونیتی، سنگ آتشفشانی و زینولیت‌های آمفیبولیتی کوه کلوت قندهاری

**Table 2 (Continued).** Electron microprobe analyses (wt.%) and calculated structural formula of clinopyroxene based on 6 oxygens, amphibole based on 23 oxygens, biotite based on 22 oxygens in monzonitic stock, volcanic rock and xenolith of Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari

Sample	212	62	64	Sample	31	211	41	Sample	215	47	50
Analysis	340	B	B	Analysis	A	17	B	Analysis	318	B	A
Mineral	Amp	Amp	Amp	Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Mineral	Bt	Bt	Bt
<b>Rock type</b>	Volcanic	Xenolith	Xenolith	<b>Rock type</b>	Intrusive	Volcanic	Xenolith	<b>Rock type</b>	Volcanic	Xenolith	Intrusive
CMn	0.017	0.018	0.02	M <sub>2</sub> K	0	0	0.001	Ba	0	0	0
CCa	0	0	0	Sumcat	4	4	3.99	Ca	0	0.033	0.003
SumC	5	5	5	Ca	45.99	46.94	49.30	Na	0.19	0.107	0.224
BMg	0	0	0	Mg	40.04	41.32	37.90	K	1.63	0.882	1.644
BFe <sup>2</sup>	0	0	0	Fe <sup>2</sup> Mn	13.95	11.73	12.79	Cations	15.5	15.39	15.53
BMn	0	0	0	JD1	1.33	1.42	2.33	FeFeMg	0.3	0.32	0.32
BCa	1.881	1.831	1.835	AE1	0	0	0.635	MgFeMg	0.7	0.68	0.68
BNa	0.119	0.169	0.165	CFTS1	0.563	1.751	4.065	Fe#	0.3	0.3	0.3
SumB	2	2	2	CTTS1	0.479	0.823	1.069				
ANa	0.541	0.544	0.519	CATS1	0.204	0.881	0				
AK	0.241	0.204	0.202	WO1	44.70	43.18	43.19				
Sum_A	0.782	0.748	0.721	EN1	40.00	41.055	37.149				
Sumcat	15.78	15.74	15.721	FS1	12.71	10.88	11.559				
Sumoxy	23	23	23	Q	1.901	1.866	1.779				
Mg#	0.75	0.78	0.77	J	0.05	0.053	0.107				
				WO	45.74	46.14	47.049				
				EN	39.82	40.62	36.17				
				FS	14.43	13.22	16.781				
				WEF	97.44	97.25	94.385				
				JD	1.87	1.579	1.863				
				AE	0.685	1.166	3.752				
				Mg#	0.75	0.79	0.76				

**جدول ۳.** نتایج آنالیز میکروپروب و محاسبه فرمول ساختاری پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم بر اساس ۱۸ اکسیژن درون نمونه‌های استوک مونزونیتی، سنگ آتشفشانی و زینولیت‌های آمفیبولیتی

**Table 3.** Electron microprobe analyses (wt.%) and calculated structural formula of plagioclase and K-feldspar based on 8 oxygens in monzonitic stock, volcanic rock and xenolith

Sample	27	84	55	211	215
Analysis	A	C	B	13	316
Mineral	plg	plg	plg	Kfs	Kfs
Rock type	Intrusive	Volcanic	Xenolith	Volcanic	Intrusive
SiO <sub>2</sub>	55.49	56.4	54.74	66.52	65.11
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.03	0.02	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.59	27.29	27.9	18.2	18.27
FeO*	0.36	0.32	0.24	0.09	0.12
MnO	0	0.02	0	0.01	0
MgO	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03
CaO	9.7	9.01	10.28	0.19	0.03
Na <sub>2</sub> O	5.66	6.05	5.2	3.55	0.41
K <sub>2</sub> O	0.38	0.35	0.32	11.49	15.9
Total	99.22	99.48	98.74	100.08	99.87
Si	2.519	2.547	2.497	3.018	3.007
Al	1.475	1.451	1.499	0.972	0.994
Ti	0	0.001	0.001	0.001	0
Fe <sub>2</sub>	0.014	0.012	0.009	0.003	0.005
Mn	0	0.001	0	0	0
Mg	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002
Ca	0.472	0.436	0.502	0.009	0.001
Na	0.498	0.53	0.46	0.312	0.037
K	0.022	0.02	0.019	0.665	0.937
Cations	5.002	4.999	4.989	4.981	4.983
X	3.994	3.999	3.997	3.991	4.001
Z	1.008	1	0.992	0.99	0.982
Ab	50.2	53.8	46.9	31.6	3.8
An	47.6	44.2	51.2	0.9	0.1
Or	2.2	2	1.9	67.4	96.1
Type	Andesine	Andesine	Labradorite	Sanidine	Orthoclase

## جدول ۴. نتایج آنالیز میکروپروب و محاسبه فرمول ساختاری کانی‌های تیره درون نمونه‌های استوک مونزونیتی

Table 4. Electron microprobe analyses (wt.%) and calculated structural formula of Opaque mineral in monzonitic stock

Sample	215	215	215
Analysis	313	314	322
Mineral	Ti-Mag	Ti-Mag	Ti-Mag
SiO <sub>2</sub>	0.41	0.47	0.06
TiO <sub>2</sub>	1.69	1.71	4.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.78	0.79	1.19
FeO*	84.29	85.27	84.89
MnO	0.25	0.31	0.76
MgO	0.12	0.1	0.6
CaO	0.04	0.03	0
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.01	0
K <sub>2</sub> O	0	0.01	0
Total	87.63	88.7	91.97
Si	0.01	0.01	0.002
Al	0.03	0.03	0.05
Ti	0.05	0.05	0.13
Fe <sup>2+</sup>	1.05	1.05	1.07
Fe <sup>3+</sup>	1.82	1.82	1.68
Mn	0.008	0.01	0.02
Mg	0.007	0.006	0.03
Ca	0.001	0.001	0.00
Na	0.004	0.0008	0.00
K	0	0.0005	0.00
Total	3	3	3

**جدول ۵.** نتایج آنالیز شیمیایی سنگ کل نمونه‌های استوک مونزونیتی کوه کلوت قندهاری. عنصرهای اصلی بر اساس درصد وزنی و عنصرهای کمیاب بر اساس ppm آورده شده‌اند. n.d.= not detected

**Table 5.** Whole rocks geochemical compositions of samples from the monzonitic stock in the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari (Major elements in wt.%, and trace elements in ppm). n.d.= not detected

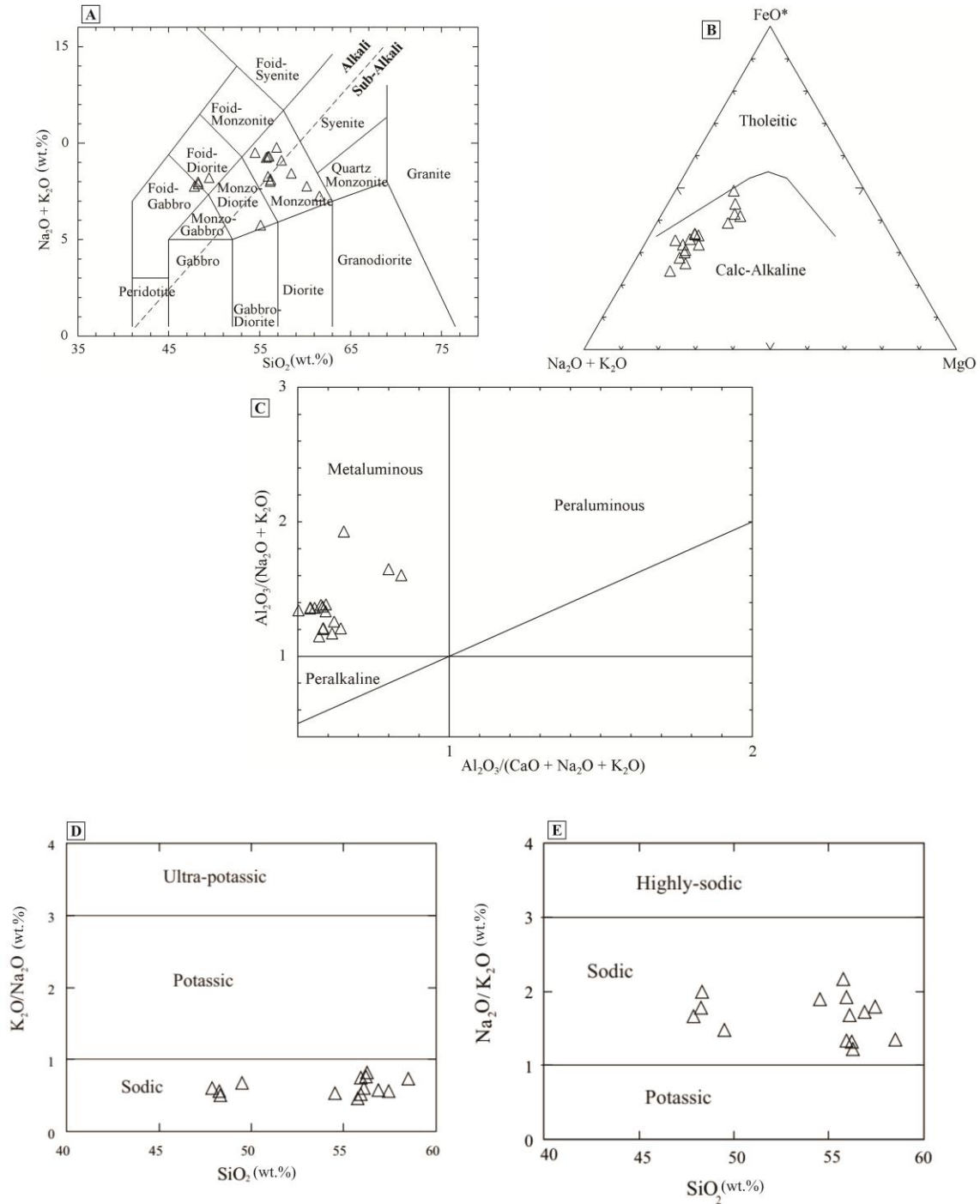
Sample No.	M23-I	M24-I	M30-I	M32-I	M33-I	M34-I	M68-I	M70-I	M72-I
Rock type	Gabbro	Monzonite	Monzonite	Monzonite	Gabbro	Gabbro	Monzonite	Monzonite	Gabbro
SiO <sub>2</sub>	48.27	55.93	56.08	55.77	48.3	47.89	54.52	57.44	49.49
TiO <sub>2</sub>	1.34	0.73	0.78	0.69	1.37	1.51	0.80	0.72	1.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.6	16.3	16.1	16.3	15.6	14.9	15.8	16.5	16.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9.67	5.85	6.34	5.5	9.68	10.55	6.61	5.24	8.53
MnO	0.21	0.19	0.17	0.19	0.19	0.21	0.20	0.17	0.48
MgO	4.05	1.69	2.58	1.92	4.5	3.81	1.99	1.89	3.74
CaO	9.54	7.95	6.46	7.91	9.54	10.2	7.68	7.43	8.54
Na <sub>2</sub> O	5.1	6.1	5.82	6.32	5.24	4.84	6.21	5.83	4.89
K <sub>2</sub> O	2.87	3.18	3.48	2.92	2.62	2.9	3.27	3.25	3.3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.60	0.32	0.35	0.31	0.56	0.59	0.36	0.28	0.48
LOI	2.21	0.89	1.06	1.18	1.75	1.92	1.96	0.56	2.94
Total	99.47	99.14	99.24	99.01	99.4	99.32	99.41	99.32	99.55
Rb	n.d.	87.48	76.55	76.55	54.7	n.d.	87.49	87.49	87.49
Sr	1573	1667.5	1384	1289	1348	1526	1372	1478	1336
Ba	435.4	457.76	468.9	n.d.	n.d.	468.9	435.4	424.3	n.d.
Zr	324.2	243.14	243.1	202.6	243	324.2	243.1	202.6	202.6
S	2497	9788	7866	1463	3246	4495	4994	7391	1299
Cl	670	600	390	500	590	580	360	500	280
Cu	575.8	300.	300.4	287.9	513	613.4	375.5	300.4	363
Zn	286.3	124.	136.9	174.2	249	286.3	99.58	87.13	709.5
Y	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

**ادامه جدول ۵.** نتایج آنالیز شیمیایی سنگ کل نمونه‌های استوک مونزونیتی کوه کلوت قندهاری. عنصرهای اصلی بر اساس درصد وزنی و عنصرهای کمیاب بر اساس ppm آورده شده‌اند. n.d.= not detected

**Table 5 (Continued).** Whole rocks geochemical compositions of samples from the monzonitic stock in the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari (Major elements in wt.%, and trace elements in ppm). n.d.= not detected

Sample No.	M74-I	M13-I	M40-I	M42-I	M44-I	DO1	215	214
Rock type	Monzonite	Monzonite	Monzonite	Monzonite	Monzonite	Monzodiorite	Monzonite	Monzonite
SiO <sub>2</sub>	56.89	56.19	55.95	58.5	56.25	60.2	55.1	61.6
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.84	0.92	0.72	0.88	0.47	1.28	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.4	15.5	15.9	15.8	15.3	18.1	16.2	17.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.07	6.08	6.26	5.41	6.17	4.07	8.91	3.60
MnO	0.2	0.22	0.18	0.20	0.22	0.14	0.18	0.12
MgO	1.66	2.03	1.9	1.11	1.83	1.49	2.55	1.70
CaO	7	8.64	8.65	8.18	8.96	5.62	9.07	6.09
Na <sub>2</sub> O	6.17	4.54	4.72	4.84	4.44	5.16	3.92	4.64
K <sub>2</sub> O	3.58	3.45	3.54	3.58	3.64	2.59	1.81	2.59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.29	0.34	0.26	0.3	n.d.	n.d.	n.d.
LOI	2.63	1.42	0.60	0.66	1.24	2.16	0.93	1.99
<b>Total</b>	99.3	99.21	98.98	99.27	99.24	97.8	99.0	96.2
Rb	109.4	120.3	120.3	120.3	153.1	88	54	80
Sr	1384	2200	2046	2531	2495	876	534	541
Ba	491.3	524.7	446.6	602.9	558.2	436	388	364
Zr	243.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
S	6992	5244	1283	5494	7491	n.d.	n.d.	n.d.
Cl	1300	540	740	640	540	n.d.	n.d.	n.d.
Cu	275.4	788.6	363	450.6	463.1	n.d.	n.d.	n.d.
Zn	124.5	236.5	248.9	248.9	248.9	77	108	64
Y	n.d.	63.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.



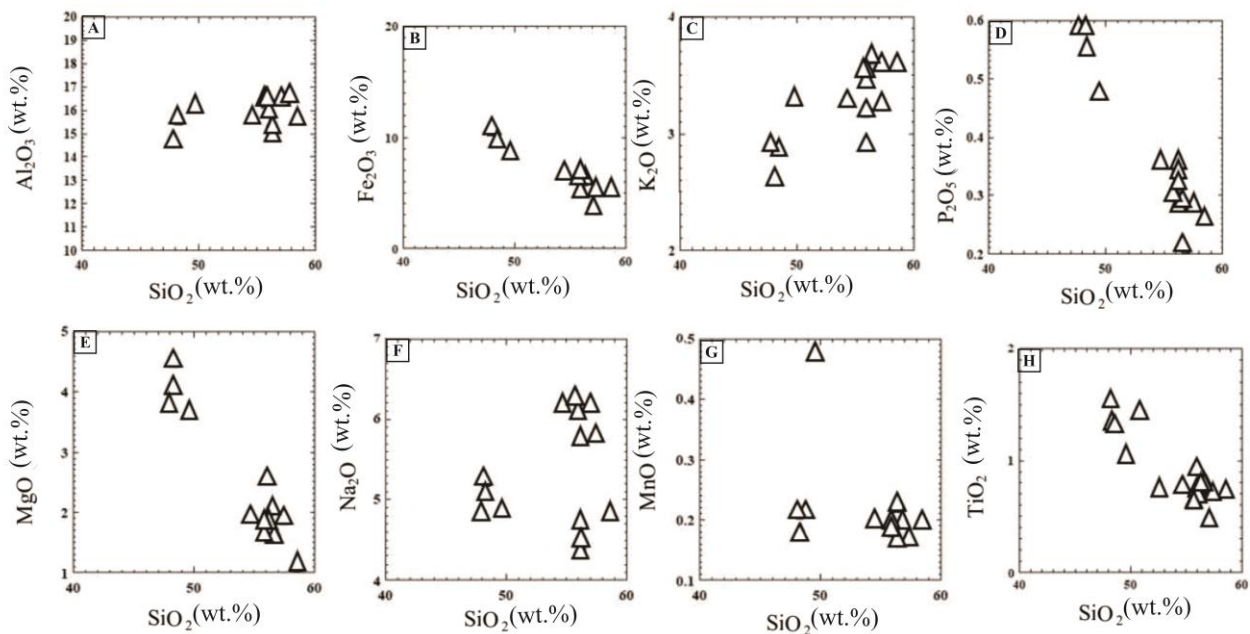


شکل ۷. A: نمودار TAS و نام گذاری سنگ‌های توده نفوذی کوه کلوت قندهاری (Le Maitre et al., 1989); B: نمودار تعیین نوع سری ماگمایی در این سنگ‌ها (Jaques et al., 1985); C: نمودار A/CNK-A/NK (Maniar and Piccoli, 1989); D و E: نمودارهای بررسی نسبت سدیم و پتاسیم

Fig. 7. A: TAS (Total alkalis versus Silica) diagram and classification of the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari samples (Le Maitre et al., 1989), B: Magmatic series diagram (Irvine and Baragar, 1971), C: A/CNK-A/NK diagram (Maniar and Piccoli, 1989), D and E: Na vs K ratios diagrams (Jaques et al., 1985)

SiO<sub>2</sub> نیز کم شدن مقدار آپاتیت موجود در سنگ با افزایش SiO<sub>2</sub> است. افزایش مقدار Na<sub>2</sub>O، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و K<sub>2</sub>O در مقابل SiO<sub>2</sub> نیز به وسیله فراوانی فلدسپارها کنترل می شود (شکل ۸- A تا H).

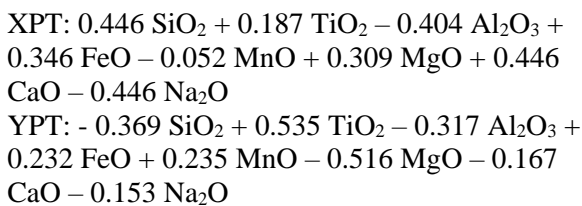
با توجه به نمودارهای هارکر می توان نتیجه گرفت که مقدار TiO<sub>2</sub> و MgO، MnO، Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در این سنگ ها با افزایش مقدار SiO<sub>2</sub> روند کاهشی نشان می دهند که بیانگر کاهش مقدار کانی های فرومیزین با پیشرفت تفریق است. دلیل کاهش مقدار



شکل ۸. نمودارهای هارکر نمونه های استوک کوه کلوت قندهاری (شمال غرب انارک)

Fig. 8. Harker diagrams for Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari stock samples (Northwest of Anarak)

روش یاووز (Yavuz, 2013) ۳/۴ کیلو بار است.



### محیط و خاستگاه زمین ساختی

برای تعیین محیط زمین ساختی رخداد ماگماتیسم کوه کلوت قندهاری با استفاده از نتایج تجزیه سنگ کل، از نمودارهای تکتونوماگمایی (Muller and Groves, 1997) استفاده شده

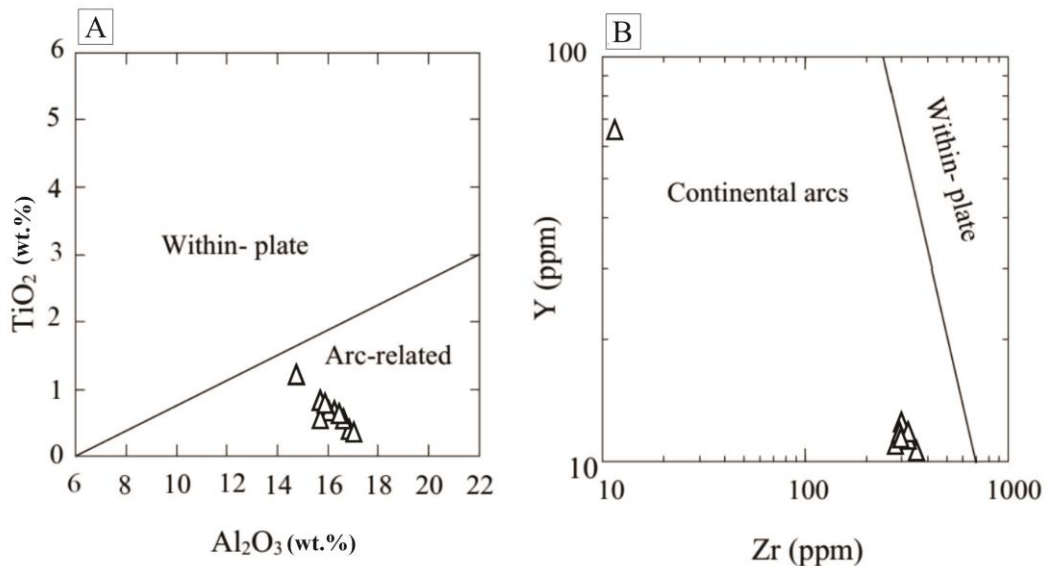
### بحث

#### ترموبارومتري بر اساس شیمی کانی کلینوپيروکسن

ترمومتري بر اساس شیمی پيروکسن نشان می دهد که پيروکسن های منطقه در بازه دمایی ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد و به طور میانگین در دمای ۹۵۰ درجه سانتی گراد متبلور شده اند (Soesoo, 1997)؛ به عبارت دیگر این بازه دمایی نشان دهنده تغییرات دما در هنگام تبلور پيروکسن هاست. ترکیب شیمیایی پيروکسن ها، ابزاری مهم برای سنجش فشار در سنگ های آذرین محسوب می شود. میانگین بارومترهای محاسبه شده برای کلینوپيروکسن ها نیز با استفاده از روش سوئسو (Soesoo, 1997) ۳/۲ کیلو بار و بر اساس

عنصر Y در مقابل Zr، محیط تشکیل سنگ‌های نفوذی ائوسن بالایی کوه کلوت قندهاری یک کمان ماگمایی حاشیه فعال پوسته قاره‌ای بوده و پیدایش این سنگ‌ها ارتباطی با ماگماتیسم درون صفحه‌ای نداشته است (شکل ۹-ب). با توجه به اینکه این سنگ‌ها در درون افیولیت عشین قرار داشته و آن را قطع کرده‌اند، عامل رخداد ماگماتیسم مربوط با تشکیل آنها را می‌توان به فرورانش پوسته اقیانوسی عشین و ناین نسبت داد.

است (شکل ۹). بر اساس این نمودارها، محیط تشکیل سنگ‌های نفوذی کوه کلوت قندهاری، یک کمان ماگمایی است که ویژگی یک ماگماتیسم مرتبط با فرورانش به زیر مناطق قاره‌ای را دارد. بر اساس نمودار  $\text{TiO}_2$  در مقابل  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Muller and Groves, 1997) محیط زمین‌ساختی تشکیل این سنگ‌ها محیطی مرتبط با فرورانش و قوس است (Sarjoughian et al., 2015; Ghadirpour et al., 2023) (شکل ۹-ا). همچنین در نمودار



شکل ۹. نمودارهای زمین‌شیمیایی تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های استوک کوه کلوت قندهاری برگرفته از مولر و گروز (Muller and Groves, 1997). A: نمودار  $\text{TiO}_2$  در مقابل  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و B: نمودار Y در مقابل Zr

**Fig. 9.** Tectonic setting geochemical diagrams of the Kuh-e-Kalut-e-Ghandehari stock samples. A:  $\text{TiO}_2$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ratios diagram; B: Y vs Zr ratios diagram (Muller and Groves, 1997)

مونزودیوریت و مونزونیت بوده و متعلق به سری کالک‌آلکان هستند. مت‌آلومینوس بودن این سنگ‌ها از دیگر ویژگی آنهاست. بر اساس ترموبارومتري شیمی کانی کلینوپیروکسن، دمای تشکیل سنگ‌های توده نفوذی ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و عمق ۳/۲ کیلو بار تشکیل شده‌اند. در سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی منطقه کلوت قندهاری زینولیت‌هایی از جنس آمفیبولیت دیده می‌شود که با کاهش مقدار پلاژیوکلاز، آمفیبولیت‌ها به هورنبلندیت تغییر

## نتیجه‌گیری

سنگ‌های نفوذی کوه کلوت قندهاری (استوک اغلب مونزونیت) به سن ائوسن بالایی در شمال غرب انارک، در نزدیکی گسل کویر بزرگ و در درون افیولیت ملانژ عشین برونزد دارند. این توده نفوذی، افیولیت عشین، سنگ آهک‌های پالتوسن و ولکانیک‌های ائوسن میانی را قطع کرده و همراه با رسوبات سازند قرمز زیرین و سازند آخوره مشاهده می‌شود. طیف این سنگ‌ها از نوع گابرو تا

پیشنهاد کرد که فرورانش پوسته اقیانوسی عشین- نایین می تواند در پتروژنز این سنگ ها دخالت داشته باشد.

### تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت های مالی دانشگاه اصفهان و دانشگاه کاناواوا ژاپن تشکر می نمایند.

می کنند. استوک مونزونیتی و سنگ ولکانیک ائوسن از نظر کانی شناسی و بافت به یکدیگر شباهت دارند. شواهد صحرایی نشان می دهد که ماگمای برگرفته از ذوب گوشته، در حین عبور از درون پوسته قاره ای قطعه هایی از جنس آمفیبولیت (زینولیت) را با خود به سطح زمین آورده است. ماگمای سازنده این سنگ ها دارای ویژگی های زمین شیمیایی مرتبط با فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر قاره بوده و شیب سنگ های آذرین موجود در یک محیط کمان آتشفشانی هستند. با توجه به وجود افیولیت عشین می توان

## 1. Aluminum saturation index (ASI)

## References

- Aistov, L., Melnikov, B., Krivyakin, B., Morozov, L. and Kiristaev, V., 1984. Geology of the Khur area (Central Iran). Geological Survey of Iran, Tehran, Report 20, 131 pp.
- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Ministry of Industry and Mines, Geological Survey of Iran, Tehran, 586 pp. (in Persian)
- Alavi, M., 1994. Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3–4): 211–238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)
- Ansari Kish, R., 2020. Petrology of Eocene-Oligocene volcanic rocks in the Band-e-Siah Mountain (NW of Anarak, Isfahan province) (in Persian). M.Sc. Thesis, Isfahan University, Isfahan, Iran, 117 pp.
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J. and Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and Early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of Geological Society of London*, 139(5): 605–614. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.139.5.0605>
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Science*, 18(2): 210–265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>
- Davoudzadeh, M., 1972. Geology and petrology of the area north of Nain, Central Iran. Geological Survey of Iran, Report 14, 89 pp.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and J. Zussman., 1992. An introduction to the rock-forming minerals (2nd ed.), Longman London, 696 pp.
- Dercourt, J., Zonenshain, L.P., Ricou, L.E., Kazmin, V.G., Le Pichon, X., Knipper, A.L. and Pechersky, D.H., 1986. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to Pamirs since the Lias. *Tectonophysics*, 123(1–4): 241–315. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(86\)90199-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90199-X)
- Ghaderi Rehnani, M., 2019. Petrology of Eocene volcanic rocks in the northwest of Zavar (NE of Anarak, Isfahan Province) (in Persian). M.Sc. Thesis, Isfahan University, Isfahan, Iran, 125 pp.
- Ghadirpour, M., Torabi, Gh., Ghaderi, M., Bayat, F. and Shirdashtzadeh, N., 2023. Magmatic evolution of the Andesitic Eocene volcanic rocks in the Kuh-e- Kalut-e-Ghandehari (NW of Anarak, Isfahan province), *Journal of crystallography and mineralogy*, 31(3): 497–508. <https://doi.org/10.61186/ijcm.31.3.497>
- Goli, Z., 2013. Petrology of Eocene volcanic rocks in southwest of Choupanan (NE of Anarak, Isfahan Province) (in Persian). M.Sc. Thesis, Isfahan University, Isfahan, Iran, 150 pp.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian. Journal of Earth Science*, 8(5): 523–548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Jamshidzaei, A., Torabi, G., Morishita, T. and Tamura, A., 2021. Eocene dike swarm and felsic stock in Central Iran: Roles of metasomatized mantle wedge and Neo-Tethyan slab. *Journal of Geodynamics*, 145(1): 101844. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2021.101844>
- Jaques, A.L., Creaser, R.A., Ferguson, J. and Smith, C.B., 1985. A review of the alkaline rocks of Australia. *Verhandeling van die Geologiese Vereniging van Suid-Afrika*, 88(2): 311–334. Retrieved August 1, 2023 from <https://pubs.geoscienceworld.org/gssa/sajg/article-abstract/88/2/311/122026>
- Khalili Gelsefidi, R., 2020. Petrology of Eocene volcanic rocks in the Gooreh Mountain (NW of Anarak, Isfahan Province) (in Persian). M.Sc. Thesis, Isfahan University, Isfahan, Iran, 248 pp.
- Leake, B.E., Wolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., whittaker, E.J.W. and Youzhi, G., 1997. Nomenclature of Amphiboles, Report of the subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association commission on new minerals and mineral names, *European Journal of Mineralogy*, 9(3): 623–651. <https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.405.13>
- Le Maitre, R.W.P., Bateman, A. Dudek, J.L., Keller, M.J., Le bas, P.A., Sabaine, R. Schmid, H. Sorensen, A. Streckeisen, A.R., Woolly, B.R. and Zanettin, B., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of term. Blackwell, Oxford, 195 pp. <https://www.researchgate.net/publication/234448684>.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5): 635–643.



- [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101<0635:TDOG>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101<0635:TDOG>2.3.CO;2)
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Science*, 21(4): 397–412.  
[https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4)
- Morimoto, N., 1989. Nomenclature of pyroxenes, *Contributions to Mineralogy and Petrology* 27(1): 143–156.  
<https://doi.org/10.2465/minerj.14.198>
- Muller, D. and Groves, D.I., 1997. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization, Springer, Berlin, 398 pp. Retrieved August 1, 2023 from  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-92979-8>
- Nabavi, M.H. and Houshmandzadeh, A., 1990. Geological Map of Anarak, scale 1:250000. Geological Survey of Iran.
- Pirnia, T., Saccani, E., Torabi, G., Chiari, M., Gorecan, S. and Barbeo, E., 2020. Cretaceous tectonic evolution of the Neo-Tethys in Central Iran: Evidence from petrology and age of the Nain-Ashin ophiolitic basalts. *Geoscience Frontiers*, 11(1): 57–81.  
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.02.008>
- Rieder, M., Cavazzini, G., D'Yakonov, Yu. S., Frank-Kamenetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval, P.V., Muller, G., Neiva, A.M.R., Radoslovich, E.W., Robert, J.L., Sassi, F.P., Takeda, H., Weiss, Z. and Wones, D.R., 1998. Nomenclature of the micas, *The Canadian Mineralogist*, 36(3): 905–912.  
<https://doi.org/10.1346/CCMN.1998.0460513>
- Sarjoughian, F., Ahmadian, J. and Kananian, A., 2015. The composition of the major minerals in the Nasrand intrusive rocks and its dikes. *Petrology* 21(6): 35–54. (in Persian) Retrieved August 1, 2023 from  
[https://ijp.ui.ac.ir/article\\_16202\\_e34f7b5bac19bdb188651619bb1deaf5.pdf](https://ijp.ui.ac.ir/article_16202_e34f7b5bac19bdb188651619bb1deaf5.pdf)
- Sayari, M., 2006. Petrology of Eocene volcanic rocks in north of Anarak area (NE of Isfahan province) (in Persian). M.Sc. Thesis, Isfahan University, Isfahan, Iran, 119 pp.
- Serra-keel, J., Hottinger, L., Caus, E., Drobne, K., Ferrandez, C., Jauhri, A., Less, G., Pavlovec, R., Pignatti, J., Maria Samsó, J., Schaub, H., Sirel, E., Strougo, A., Tambareau, Y., Tosquella, J. and Zakrevskaya, E., 1998. Larger foraminiferal biostratigraphy of the Tethyan Paleocene and Eocene. *Bulletin of Geological Society of France* 169(2): 281–299. Retrieved August 1, 2023 from  
<https://pubs.geoscienceworld.org/sgf/bsgf/article-abstract/169/2/281/88097/Larger-foraminiferal-biostratigraphy-of-the>
- Shahabpour, J., 2007. Island-arc affinity of the Central Iranian volcanic belt. *Journal of Asian Earth Science*, 30(5–6): 652–665.  
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2007.02.004>
- Shirdashtzadeh, N., Furnes, H., Miller, N., Luise Dantas, E., Torabi, Gh., 2022. Subduction initiation of the Neo-tethys ocean in central Iran based on U-PB geochronology, geochemical and ND isotope data of the Ashin ophiolite. *Ophiolite*, 47(2): 155–171.  
<https://doi.org/10.4454/ofioliti.v47i2.557>
- Shirdashtzadeh, N., Torabi, G., Meisel, T., Arai, S., Bokhari, S.N.H., Samadi, R. and Gazel, E., 2014. Origin and evolution of metamorphosed mantle peridotites of Darreh Deh (Nain Ophiolite, Central Iran): implications for the Eastern Neo-Tethys evolution. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 273(1): 89–120.  
<https://doi.org/10.1127/0077-7749/2014/0418>
- Soesoo, A., 1997. A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallization P-T estimations. *Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen)*, 119(1): 55–60.  
<https://doi.org/10.1080/11035899709546454>
- Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature*, 235(21): 147–150. <https://doi.org/10.1038/235147a0>
- Torabi, G., 2004. Petrology of Anarak area ophiolites (NE of Isfahan province, Iran). Ph.D. Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran, 240 pp.
- Torabi, G., 2006. Petrology of volcanic shoshonites in south of Ashin, and age determination of igneous carbonates by using the fission track method (west of Anarak, North-east of Isfahan province). *Journals of University of Isfahan, Basic Sciences*, 25(3): 1–13. (in Persian) Retrieved August 1, 2023 from  
<https://sid.ir/paper/55884/en>

- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.  
<https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Yavuz, F., 2013. Win Pyrox: A windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry. *American Mineralogist*, 98(7): 1338–1359.  
<https://doi.org/10.2138/am.2013.4292>