

## **Geodynamic of Swarm dikes in Urmia--Dakhtar and central Iran tectonic zones**

Mohammad Hasan Bazoobandi<sup>1\*</sup>

1- Assistant Professor, Department of Science Education, Farhangian University, Tehran.

**Received: 23 July 2022**

**Accepted: 27 February 2023**

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Dikes are internal igneous structures that have penetrated their host rocks in the form of sheets. These structures are mostly caused by the ascent of magma in fractures caused by regional tensile stresses or volcanic rifts. Dikes are classified based on different criteria such as origin and formation method. Some of them are known as sheeted dikes in ophiolitic complexes. These dikes are formed in ophiolitic complexes and in the place of magma ascent channel forming pillow lavas. Some dikes in volcanic areas play a role as dikes feeding volcanic zones or dacite and rhyolitic domes. This type of dikes is called feeder dikes. Another group of them penetrated in a relatively wide area inside the fractures that were formed under the influence of a specific tectonic regime and massively in one area, which are called swarm dikes, which are the subject of this discussion. It is an article. In swarm dikes, usually their frequency distribution in the region is more than 2 dikes per square kilometer. The formation of swarm dikes is due to the action of the tensile tectonic regime in the earth's crust, before their replacement. In this case, the abundance of dikes is directly related to the maximum amount of tensile stress. Due to the existence of different ophiolitic and volcanic regions in Iran, as well as the occurrence of different orogenic phases and the application of different tectonic regimes in different geological periods in the land of Iran, different volcanic dikes were formed in its structural land areas. Of course, no comparative research has been done to compare these geomorphological complications. Therefore, in this article, the researcher seeks to introduce more swarm dikes, compare and examine their general characteristics and their formation mechanism, with references from the dikes in the north of Saveh, in the Urmia-Dakhtar zone, and the dykes of Delbar and Zarigan regions in Central Iran.

#### **Methodology**

In this research, firstly, information was collected about the nature and mechanism of swarm dikes, and then a relatively large number of searches were conducted in written sources, especially researches and theses, about swarm dikes in Iran. The statistical population of this research is all the swarm dikes of Iran, which were chosen from among the types of these dikes due to the abundance of dikes in two geo-structural zones, Urmia-Dakhtar and Central Iran. And finally, a comparative study related to the general characteristics, time of formation and comparison of the formation mechanism and geodynamic model of these dikes with the formation mechanism and geodynamic model of other typical swarm dikes of the world has been done.

---

\*. Corresponding Author (Email: [m.bazobandi@cfu.ac.ir](mailto:m.bazobandi@cfu.ac.ir))

## **Result and discussion**

From the geodynamic point of view, the swarm dikes in the north of Saveh follow a relatively regular and parallel linear arrangement, which is generally in the same direction as the general trend of the faults in the region and has a general trend of northwest, west-southeast, east. According to the studies of Ernst et al. (1999), the swarm dikes in North Saveh, which is a part of the Urmia-Dakhter structural zone dikes, can be considered swarm type IV dikes. which are caused by the creation of regional stress areas. According to Huo's (2012) studies, swarm dikes in Delbar area can be considered similar to parallel dikes, which they call parallel Fuji dykes with a linear pattern in a range They have been formed with a relatively limited extent and under the influence of regional stresses resulting from the primary back-arc caftic tension caused by the subduction of the Neotethys oceanic lithosphere under the continental lithosphere of central Iran. From the geodynamic point of view, swarm Zarigan dikes follow an irregular linear arrangement. shows that there is no significant relationship between the trend of faults in the studied area and the direction of their establishment (northwest, west-southeast, east). According to the studies of Ernst et al. (1999), these swarm dikes, which are part of the swarm dikes of the structural zone of Central Iran, are similar to V-type swarm dikes. which are caused by the creation of regional tension areas.

## **Conclusion**

There are many geomorphological phenomena known as mass dikes in different geological zones of Iran. which are different from each other in terms of age of formation, formation mechanism and type of constituent rocks. Comparative studies of Swarm dikes in two structural zones of Urmia--Dokhtar and Central Iran show that their age ranges from Cambrian to Oligomiocene and their lithological composition varies from basic to acidic rocks. And in the three studied areas, it mainly includes andesite, basaltic, gabbro, gabbro diorite and alkali gabbro rocks. Geological stresses affecting their formation have been different in different regions. According to Ernst's classification, Swarm dikes in North Saveh are classified as type IV dikes and Swarm dikes in Delbar and Zarigan area are classified as type V dikes. And according to Hou's classification, the dikes of all three regions follow a linear pattern. The mechanism of formation of dikes in all three regions is related to subduction and ascent of magma in fractures caused by subduction.

**Keywords:** Swarm dikes, Central Iran, Geodynamics of dikes, Urmia-Dakhter area, Geomorphology.



## مطالعه ژئودینامیک دایکهای گروهی (فوجی) پهنه های زمین ساختی ارومیه - دختر و ایران مرکزی

محمدحسن بازوبندی<sup>۱</sup> - استادیار گروه آموزش علوم تجربی دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۹

### چکیده

این پژوهش از نوع بنیادی است که به مطالعه تطبیقی دایکهای گروهی (فوجی) در پهنه های زمین ساختی ایران مرکزی و ارومیه-دختر پرداخته است. دایکهای فوجی، یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی هستند، که تحت تاثیر جابجایی ورقه‌های سنگ‌کره تشکیل می‌شوند. این دایکهای گروهی، در مطالعه و تفسیر محیطهای تکتونیک گذشته زمین و آنالیز تنش‌های گذشته زمین، کاربردهای فراوانی دارند. جامعه آماری این پژوهش، کلیه دایکهای فوجی ایران زمین است. که به دلیل کثرت و فراوانی، دایکهای دو پهنه زمین ساختاری ارومیه-دختر و ایران مرکزی انتخاب گردید. دایکهای فوجی شمال ساوه از پهنه ارومیه-دختر و دایکهای مناطق دلبر و زریگان از پهنه زمین ساختاری ایران مرکزی انتخاب شده‌اند، که از نظر ویژگیهای عمومی مانند ترکیب سنگ‌شناسی، سن استقرار، مدل ژئودینامیک تشکیل و مقایسه آنها با مدل‌های ژئودینامیکی تیپیک، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. بر اساس یافته‌های این پژوهش، سن استقرار دایکهای مذکور از دوره کامبرین تا الیگومیوسن و ترکیب سنگ‌شناسی آنها بطور عمده شامل سنگهای آندزیتی، بازالتی، گابرو، گابرودیوریتی و آلکالی‌گابرو است. سازوکار تشکیل دایکهای هر سه منطقه، در ارتباط با فرورانش و صعود ماگما در شکستگی‌های ایجاد شده در اثر فرورانش می باشد. با توجه به طبقه‌بندی ارنست، دایکهای فوجی شمال ساوه جزو دایکهای نوع IV و دایکهای فوجی مناطق دلبر و زریگان جزو دایکهای نوع V طبقه بندی می شوند. و با توجه به طبقه‌بندی هوو، دایکهای هر سه منطقه از الگوی خطی تبعیت می کنند.

**واژگان کلیدی:** دایکهای فوجی، ایران مرکزی، ژئودینامیک دایکها، پهنه ارومیه-دختر، ژئومورفولوژی.

## مقدمه

دایکها ساختهای آذرین درونی هستند که به صورت ورقه‌ای در سنگهای میزبان خود نفوذ کرده‌اند. این ساختارها بیشتر ناشی از صعود ماگما در شکستگی‌های ایجاد شده توسط تنش‌های کششی منطقه‌ای یا ریفتهای آتشفشانی هستند (Kjøl et al, 2019: 1) و یکی از عوارض مهم ژئومورفولوژی سطح زمین محسوب می‌شوند. دایکها انواع مختلفی دارند و سازوکار تشکیل آنها متفاوت بوده و در محیطهای تکتونیکی گوناگونی تشکیل می‌شوند (Ernest et al, 1995: 19). بنابراین می‌توان با مطالعه سازوکار تشکیل آنها، محیط تکتونیکی گذشته، جهت اعمال تنش‌های قدیمی و ماگماتیسم حاکم بر زمان جایگیری را مطالعه و بررسی نمود. اما علیرغم فراوانی قابل توجه این عوارض ژئومورفولوژی در سرزمین ایران زمین و اهمیت و کاربردهای وافری که در تفسیر پدیده‌های ژئومورفولوژی دارند، تاکنون خیلی مورد توجه قرار نگرفته‌اند. و به نظر می‌آید این بخش از علم ژئومورفولوژی دچار رکورد شده است.

در پژوهش (عادلی و همکاران ۱۴۰۰: ۱۳) تعداد ۱۰ عنصر غالب از شکل زمین در منطقه مورد مطالعه خود شامل محدوده‌های مسطح مانند دشت، قله، خط الراس، شانه خطالراس، خط الراس پهلویی، دامنه، دره کوچک پای دامنه، پای دامنه، دره، گودال (دره عمیق) را بعنوان ژئومورفون معرفی کرده‌اند. بر این اساس دایکها را نیز می‌توان بعنوان ژئومورفون معرفی کرد.

دایکها بر اساس ملاکهای مختلف مانند منشاء و نحوه تشکیل طبقه‌بندی می‌شوند. بعضی از آنها در کمپلکس‌های افیولیتی به عنوان دایکهای صفحه‌ای شناخته می‌شوند. این دایکها در مجموعه‌های افیولیتی و در محل مجرای صعود ماگمای تشکیل دهنده گدازه‌های بالشی تشکیل می‌شوند. برخی از دایکها در مناطق آتشفشانی، به عنوان دایک تغذیه‌کننده پهنه‌های آتشفشانی و یا گنبد‌های داسیتی و ریولیتی ایفای نقش می‌کنند. به این نوع از دایکها، اصطلاحاً دایکهای تغذیه‌کننده گفته می‌شود. گروهی دیگر از آنها در یک پهنه نسبتاً وسیع در داخل شکستگی‌هایی نفوذ کرده‌اند که تحت تأثیر یک رژیم تکتونیکی خاص و به صورت انبوه، در یک منطقه تشکیل شده‌اند که به آنها دایکهای دسته‌ای (فوجی) گفته می‌شود که موضوع مورد بحث این مقاله است. در دایکهای فوجی، معمولاً توزیع فراوانی آنها در منطقه، از تعداد ۲ دایک در کیلومتر مربع بیشتر است. تشکیل دایکهای فوجی ناشی از عملکرد رژیم زمین‌ساختی کششی در پوسته زمین، قبل از جایگزینی آنهاست. در این حالت، فراوانی دایکها با مقدار بیشینه تنش کششی ارتباط مستقیم دارد. (قاسمی برقی و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۴). با توجه به وجود مناطق افیولیتی و آتشفشانی مختلف در ایران و همچنین وقوع فازهای کوهزایی متفاوت و اعمال رژیم‌های تکتونیکی گوناگون در دوره‌های زمین‌شناسی متفاوت در سرزمین ایران زمین، دایکهای فوجی مختلفی در پهنه‌های زمین‌ساختاری آن تشکیل شده است که البته تاکنون پژوهش مقایسه‌ای که این عوارض ژئومورفولوژیکی را با مقایسه کند، انجام نشده است. از اینرو در این مقاله، پژوهشگر به دنبال معرفی بیشتر دایکهای فوجی، مقایسه و بررسی ویژگیهای عمومی و سازوکار تشکیل آنها، با استناداتی از دایکهای شمال ساوه، در زون ارومیه-دختر و دایکهای مناطق دلبر و زیرگان در زون ایران مرکزی است.

## روش پژوهش

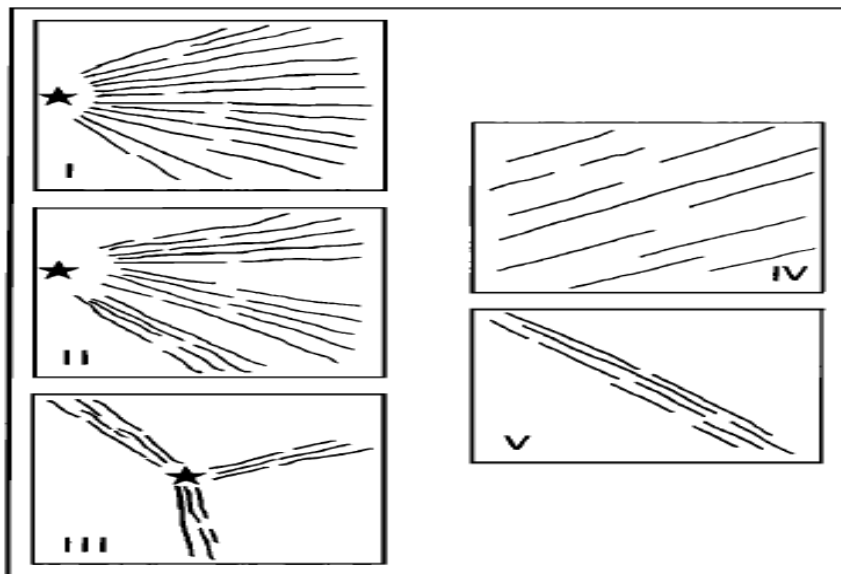
در این پژوهش ابتدا در مورد ماهیت و سازوکار دایکهای فوجی (گروهی) اطلاعاتی جمع‌آوری و سپس در مورد دایکهای فوجی ایران جستجوهای نسبتاً فراوانی در منابع مکتوب بویژه پژوهشها و پایان نامه‌ها انجام شد. جامعه آماری این پژوهش، کلیه دایکهای فوجی ایران زمین است، که از بین انواع این دایکها، به دلیل کثرت و فراوانی دایکهای دو پهنه زمین‌ساختاری ارومیه-دختر و ایران مرکزی انتخاب گردید. و در نهایت مطالعه تطبیقی مربوط به ویژگیهای عمومی، زمان تشکیل و

مقایسه سازوکار تشکیل و مدل ژئودینامیکی این دایکها با سازوکار تشکیل و مدل ژئودینامیکی سایر دایکهای فوجی تیپیک جهان انجام شده است.

### بحث و یافته‌ها

در صورتی که دایکهای فوجی در محدوده وسیعی به مساحت حدود ۱۰ هزار تا ۱۰۰ هزار کیلومتر مربع دیده شوند، به آنها دایکهای فوجی عظیم<sup>۴</sup> گفته می‌شود (Ernest et al, 1999: 18). ارنست معتقد است عواملی مانند جهت تنش‌های تکتونیکی، یکنواختی و یا انیزوتروپی سنگ میزبان و گسلهای موجود در منطقه در نحوه استقرار، ابعاد و جهت محلی دایکها مؤثر می‌باشند. و بر اساس هندسه اولیه اشان به پنج نوع زیر طبقه بندی می‌شوند.

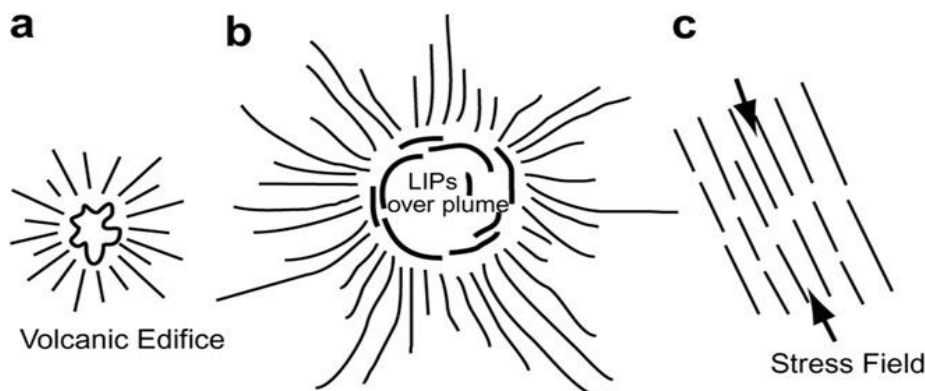
دایکهای نوع I، II و III به صورت همگرا هستند. که از نقطه‌ایی در مرکز پلوم گوشته‌ایی، که با علامت \* نشان داده شده است، منشعب شده اند (شکل ۱). و به صورت شعاعی در اطراف نقطه پلوم گوشته‌ای گسترش یافته‌اند که در فاصله‌های دورتر از مرکز پلوم، این الگوی شعاعی به الگوی خطی تبدیل می‌شود. دایکهای فوجی نوع I به بادبزی پیوسته و نوع II به بادبزی جدا از هم، معروف می‌باشند. در این الگو دایکهای فوجی نوع III به سمت یک نقطه اتصال سه‌گانه همگرایی دارند. این نوع دایکها معمولا در جایگاه تکتونیکی پیوستگاه سه‌گانه ایجاد می‌شوند. دایکهای فوجی نوع IV و V الگوی خطی نشان می‌دهند. نوع IV درگستره نسبتا وسیعی گسترش یافته اند و نوع V به یک منطقه نسبتا باریک محدود شده‌اند.



شکل ۱. تقسیم بندی انواع دایک فوجی  
منبع: (Ernest et al, 1999: 18).

در تقسیم‌بندی دیگری، (Hou, 2012: 6)، دایکهای فوجی شمال چین را به سه دسته زیر تقسیم بندی کرده است (شکل ۲):

۱- دایکهای شعاعی کوچک (نوع a) ۲- دایکهای شعاعی بزرگ (نوع b) ۳- دایکهای فوجی موازی (نوع c)



شکل ۲. تقسیم بندی انواع دایک فوجی  
منبع: (Hou, 2012: 6).

دایکهای فوجی در مطالعات زمین شناسی و ژئومورفولوژی، کاربردهای متعددی دارند. که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود: (بازوبندی و همکاران، ۱۳۹۳: ۷).

**مکان یابی مراکز پلوم گوشته‌ای:** برای تعیین محل پلومهای گوشته‌ای می توان از نحوه توزیع سنگهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی واقع در اطراف ناحیه کانونی پلوم استفاده کرد. البته به دلیل اعمال تغییرات بعدی ناشی از فرآیندهای تکتونیکی و کوهزایی بر روی سنگهای مذکور، انجام این کار با مشکلاتی همراه می گردد. اما از آنجائی که دایکها به داخل کراتونهای پایدار نفوذ می کنند و در مراحل بعدی دستخوش تغییرات ناشی از کوهزایی نمی‌شوند، بنابراین با اطمینان بیشتری می‌توان از آنها برای تعیین محل پلومهای گوشته‌ای استفاده نمود (Ernest et al, 2005: 26). برای مکان‌یابی پلومهای گوشته‌ای از دایکهای فوجی شعاعی استفاده می شود. به این ترتیب که با امتداد دادن دایکهای مذکور و پیدا کردن محل تلاقی آنها موقعیت پلوم گوشته‌ای مشخص می گردد. این کار را می‌توان با نرم افزارهای رایانه ای انجام داد.

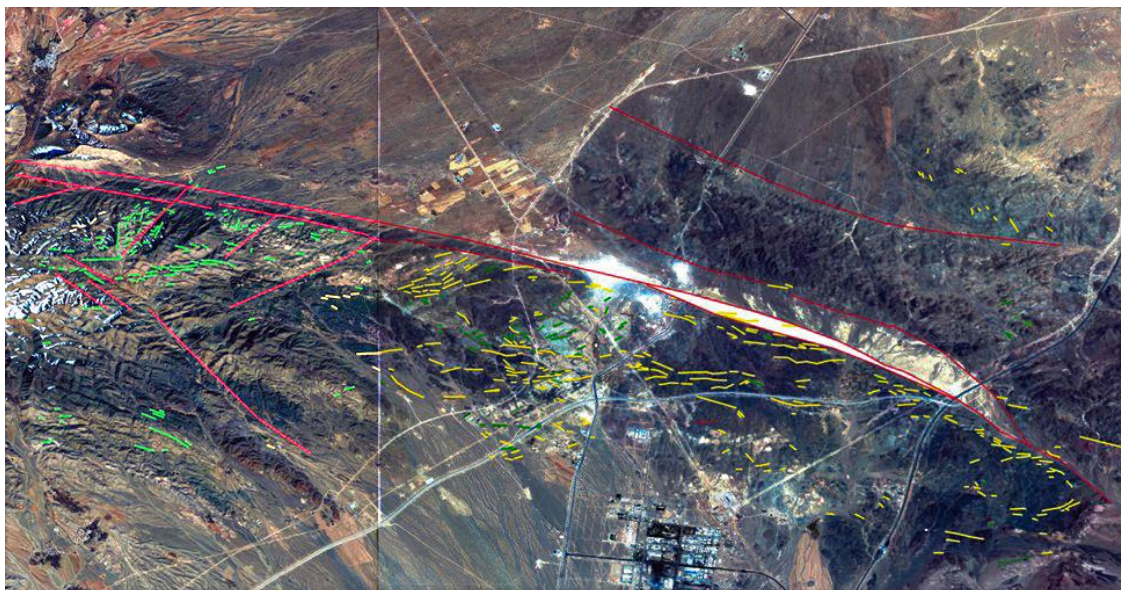
**تعیین حوضه های تنشی دیرینه:** بیشتر دایکهای فوجی در مقیاس ناحیه‌ای، یک انحراف و کج شدگی را از خود نشان می دهند. این انحراف ممکن است اولیه باشد که ناشی از تنش‌های وارده از پلوم گوشته‌ای در زمان نفوذ دایک به سنگ میزبان باشد و یا اینکه ثانویه باشد، که نشانگر اعمال دگرشکلی های بعدی می باشد. مطالعات پالئومغناطیسی که به جهت-های نسبی حساس می باشند، در تشخیص اولیه یا ثانویه بودن انحراف مذکور به ما کمک می‌کنند. بنابراین با توجه به موقعیت دایکها و میزان کج‌شدگی آنها می‌توان حوزه‌های تنشی گذشته را تعیین نمود (Ernest et al, 2005: 26). نحوه‌ی استقرار دایکها در یک ساختار نسبتاً هموزن و یکنواخت به این صورت است که در راستای عمود بر جهت تنش کششی و در جهت حداکثر تنش فشارشی قرار می گیرند (Pollard, 1987: 16). الگوی استقرار دایکهای فوجی با الگوی خطی جهت حداکثر تنش فشاری هماهنگ است (Hou et al, 2008: 13). دایکهای فوجی موازی حاصل یک میدان تنش ناحیه‌ای هستند مانند دایکهای مافیک کراتون شمال چین (Hou et al, 2010: 13). تشکیل دایکهای فوجی موازی با میدانهای تنشی محلی مرتبط است و میدان تنش ناحیه‌ای عامل بسیار مهمی در توزیع دایکهای فوجی موازی می باشد. دایکهای فوجی موازی بوسیله میدان تنش ناحیه‌ای که در مرز ورقه‌های تکتونیکی ایجاد می شود، کنترل می شوند از اینرو برای بازسازی میدانهای تنشی قدیم کراتونها می‌توان از آنها استفاده نمود (Hou, 2012: 6).

تشخیص شبکه‌های دگرشکلی: دگرشکلی‌ها و فرآیندهای تکتونیک، الگوی اولیه جایگزینی دایکهای بزرگ را به هم می‌ریزند. بنابراین با بازسازی هندسه اولیه دایکهای فوجی می‌توان زمان و نحوه‌ی اعمال دگرشکلی و نوع فرآیندهای تکتونیک را تعیین نمود و در نتیجه شبکه دگرشکلی را مشخص نمود.

از بین انواع این دایکهای فوجی معرفی شده در ایران، به دلیل بررسی‌های بیشتر، دایکهای دو پهنه زمین‌ساختاری ارومیه-دختر و ایران مرکزی در نظر گرفته شد. دایکهای فوجی شمال ساوه از پهنه ارومیه-دختر و دایکهای مناطق دلبر و زیرگان از پهنه زمین‌ساختاری ایران مرکزی انتخاب شده‌اند که بشرح زیر به آنها پرداخته می‌شود.

**الف) دایکهای فوجی پهنه ارومیه-دختر:** دایکهای فوجی شمال ساوه از جمله دایکهای پهنه ساختاری ارومیه - دختر هستند. این دایکها در محدوده‌ای به وسعت تقریبی ۱۰۰ کیلومتر مربع در سنگهای آتشفشانی دوره ائوسن با ترکیب آندزیتی و بازالتی نفوذ کرده‌اند (شکل ۳). این منطقه که در شمال شهرستان ساوه، واقع شده است، بخشی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر است که حاصل فرورانش ورقه عربی به زیر ورقه ایران مرکزی است. این دایکها از نظر ترکیب شیمیایی، در دو گروه با ترکیب متفاوت اسیدی و بازی تقسیم بندی می‌شوند. دایکهای بازیک با فراوانی بیشتر، در نقاط مختلف منطقه دیده می‌شوند. آنها افزون بر واحدهای آتشفشانی ائوسن پایانی، توده‌های نفوذی دوره الیگوسن را نیز قطع کرده‌اند و جایگیری آنها به زمان پس از توده‌های دوره الیگوسن نسبت داده می‌شود. ترکیب کانیهای اصلی این دایکها، از پلاژیوکلاز، پیروکسن و مقادیر بسیار کمی فلدسپات آلکالن تشکیل شده است. پیروکسن‌ها بطور عمده به کلریت، اپیدوت و کانیهای کربناتی تجزیه شده‌اند. کانیهای فرعی آنها، شامل آپاتیت و کانی اوپک است. نام سنگ با توجه به ترکیب کانی شناسی و بافت، در محدوده آندزیت و بازالت می‌باشد. دایکهای اسیدی که وابسته به توده‌های نیمه‌عمیق هستند. ترکیب کانیهای اصلی آنها شامل پلاژیوکلاز و کوارتز است، و در برخی نمونه‌ها بیوتیت، بصورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار در متن سنگ پراکنده‌اند. نام این سنگها بر اساس ویژگیهای کانی‌شناسی ریوداسیت تعیین می‌شود (بازوبندی، ۱۳۹۴: ۱۶۸). از نظر ژئودینامیک، دایکهای فوجی شمال ساوه از یک آرایش خطی نسبتاً منظم و موازی تبعیت می‌کنند که در مجموع با روند کلی گسلهای منطقه، هم جهت است و روند کلی شمالغرب، غرب-جنوبشرق، شرق دارند. با توجه به مطالعات ارنست و همکاران، دایکهای فوجی شمال ساوه که بخشی از دایکهای زون ساختاری ارومیه-دختر است را می‌توان از دایکهای فوجی نوع IV دانست. که ناشی از ایجاد حوزه‌های تنش ناحیه‌ای می‌باشند.





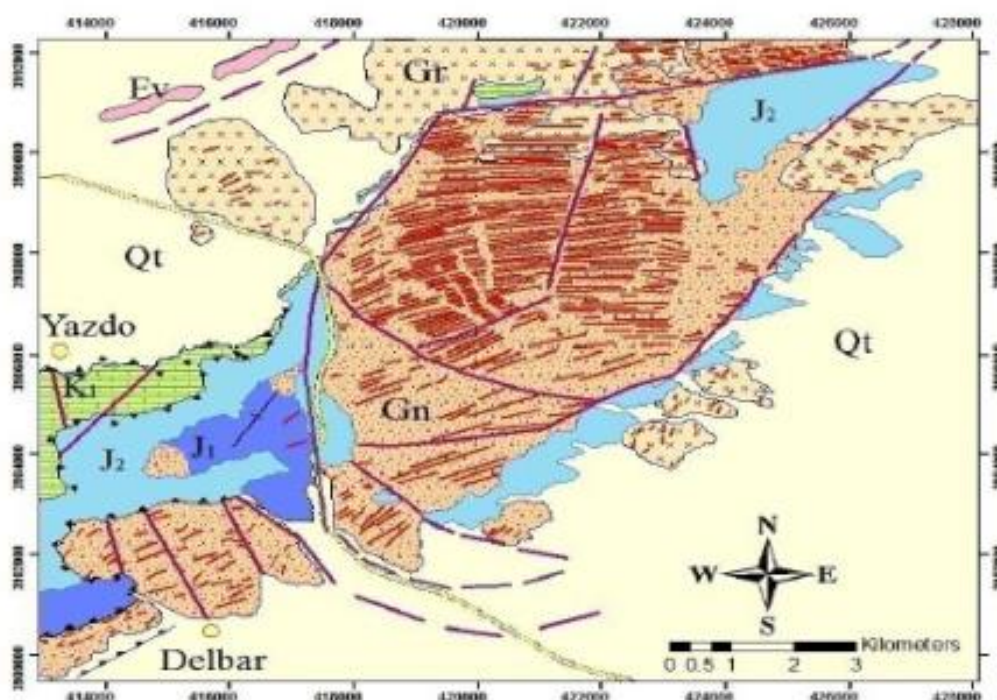
شکل ۳. دایک‌های شمال ساوه بر تصویر ماهواره ای  
منبع: (بازوبندی، ۱۳۹۴: ۱۶۸)

با توجه به مطالعات هوو، دایک‌های شمال ساوه، مشابه دایک‌هایی ارزیابی می‌شوند که ایشان آنها را دایک‌های فوجی موازی با الگوی خطی نامیده‌است که در یک محدوده با گستره نسبتاً وسیع و تحت تأثیر تنش‌های ناحیه‌ای حاصل از پدیده‌های مانند فرورانش ورقه عربی به زیر ورقه ایران مرکزی بوجود آمده‌اند (Bazoobandi et al, 2015: 7). بیشتر دایک‌های فوجی در مقیاس ناحیه‌ای، یک انحراف و کج‌شدگی را از خود نشان می‌دهند. این انحراف ممکن است اولیه باشد که ناشی از تنش‌های وارده در زمان نفوذ دایک به سنگ میزبان، و یا ثانویه باشد که نشانگر اعمال دگرشکلی‌های بعدی می‌باشد (Ernest et al, 1999: 18). در دایک‌های شمال ساوه نیز افزون بر کج‌شدگی اولیه که متاثر از تنش‌های اولیه حاکم بر منطقه است، انحراف ناشی از تأثیر گسل‌های بوجود آمده بعد از جایگیری دایکها، دیده می‌شود.

**ب) دایک‌های فوجی پهنه ایران مرکزی:** در این پژوهش از دایک‌های پهنه ایران مرکزی، دایک‌های منطقه دلبر و زریگان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

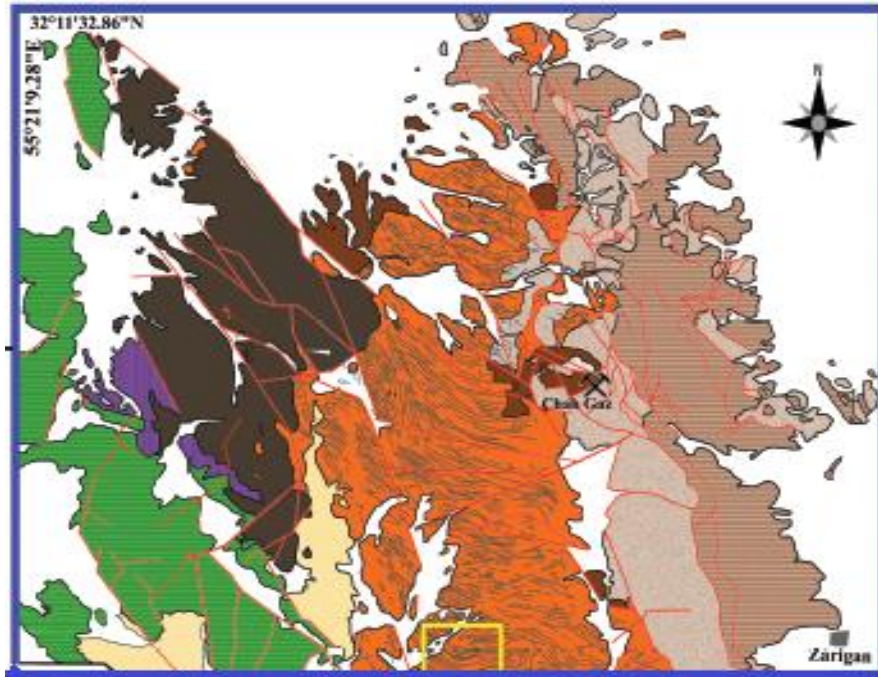
- **دایک‌های فوجی منطقه دلبر:** مجموعه سنگ‌های منطقه دلبر، با سن حدود ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلیون سال (اوایل دوره کامبرین) دربرگیرنده طیفی از سنگ‌های دگرگونی، متشکل از میکاشیست، گارنت میکاشیست، گنیس، آمفیبولیت و مقداری متاسامیت می‌باشد (Balaghi et al, 2014: 32). دایک‌های فوجی که در این مجموعه سنگی تزریق شده‌اند، نمونه‌ای از دایک‌های پهنه ساختاری ایران مرکزی هستند که در فاصله ۱۵۰ کیلومتری جنوب‌شرق شاهرود در حاشیه شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی با روند غالب شمال شرق - جنوب غرب تا شرقی - غربی واقع شده‌اند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۴). این دایک‌های فوجی که ترکیب شیمیایی آنها از بازیک تا حدواسط است. شامل سه سری: ۱- دایک‌های گابرودیوریتی پرکامبرین، ۲- دایک‌های گابرویی ژوراسیک میانی و ۳- دایک‌های بازالتی الیگومیوسن می باشند. ضخامت آنها از چند سانتیمتر تا ۹ متر متغیر است. بر اساس مطالعات صحرایی، دایک‌های گابرودیوریتی پرکامبرین، سنگ‌های دگرگونی که متشکل از میکاشیست، گارنت میکاشیست، گنیس، آمفیبولیت و مقداری متاسامیت است را قطع نموده‌اند. دایک‌های گابرویی ژوراسیک میانی افزون بر مجموعه دگرگونی-آذرین منطقه دلبر، دگرگونه‌های درجه پایین (رخساره شیست سبز)

ژوراسیک زیرین را نیز قطع کرده‌اند، اما در نهشته‌های ژوراسیک میانی، فوقانی و کرتاسه زیرین نفوذ نکرده‌اند. دایکهای بازالتی الیگومیوسن نیز، آهک‌های کرتاسه زیرین و مارن‌های قرمز رنگ الیگوسن زیرین (سازند قرمز زیرین)، را قطع کرده‌اند. موقعیت زمانی، مکانی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی و پترولوژیکی دایکهای گابرویی و بازالتی حاکی از تشکیل آنها در حوضه‌های کششی کافتی پشت کمانی اولیه ناشی از فروانش مایل لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران مرکزی، به ترتیب در زمان‌های ژوراسیک میانی و الیگومیوسن است (اصغرزاده، ۱۳۹۲: ۱۷۸). دایکهای فوجی بند هزارچاه در حاشیه شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. این دایکها در یک جایگاه پشت قوس و در نتیجه فروانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر خردقاره ایران مرکزی در طی ژوراسیک میانی تشکیل شده‌اند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵). صدها یا هزاران دایک مجموعه دگرگونی آذرین دلبر را قطع کرده‌اند. بیشترین تمرکز و فراوانی آنها در مجموعه گنیسی مشاهده می‌شود. در این مجموعه آذرین دگرگونی دایکها غالباً با روند تقریباً شمال شرقی جنوب غربی سنگهای گنیسی را قطع کرده‌اند (چگینی مقدم، ۱۳۹۱: ۲۵۰). مجموعه دگرگونی- آذرین بند هزارچاه در ۲۵ کیلومتری جنوب غربی بیارجمند، در حاشیه شمالی زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. این مجموعه توسط یک سری دایکهای کوارتز دیوریتی به سن نئوپروتروزوئیک و اجتماعات وسیعی از دایکهای گابرویی با روند کلی شرقی- غربی به سن ژوراسیک میانی قطع شده است. دایکهای گابرویی مورد مطالعه، توده گرانیتوئیدی بند هزارچاه به سن اواخر نئوپروتروزوئیک- اوایل کامبرین و توالی تخریبی- رسوبی به سن تریاس بالایی ژوراسیک زیرین را قطع کرده‌اند ولی در توالی آهکی، آهک ماسه‌ای ژوراسیک بالایی دیده نمی‌شوند (ابتهاج، ۱۳۹۳: ۱۵۲). از نظر ژئودینامیکی، دایکهای فوجی منطقه دلبر از یک آرایش خطی منظم و موازی تبعیت می‌کند که روند گسلهای منطقه مورد مطالعه با جهت استقرار آنها (شمالغرب غرب - جنوبشرق شرق) ارتباط معنادار وجود ندارد. با توجه به مطالعات ارنست و همکاران، این دایکهای فوجی که بخشی از دایکهای فوجی زون ساختاری ایران مرکزی است را می‌توان از دایکهای فوجی نوع V دانست. که ناشی از ایجاد حوزه‌های تنش ناحیه‌ای می‌باشند. با توجه به مطالعات هوو، دایکهای فوجی منطقه دلبر را می‌توان مشابه دایکهای موازی دانست که ایشان آنها را دایکهای فوجی موازی با الگوی خطی می‌نامند. که در یک محدوده با گستره نسبتاً محدود و تحت تأثیر تنش‌های ناحیه‌ای حاصل از کشش کافتی پشت کمانی اولیه ناشی از فروانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران مرکزی بوجود آمده‌اند.



شکل ۴. دایک‌های فوجی دلبر بر نقشه زمین‌شناسی منطقه  
منبع: (اصغرزاده، ۱۳۹۲: ۱۷۸).

– **دایکهای فوجی زیرگان:** این دایکهای فوجی در داخل توده گرانیتی زیرگان واقع در شمال شهرستان بافق نفوذ کرده‌اند. آنها از نظر سنگ‌شناسی در دو دسته گابرو\_دیوریت و آلکالی‌گابرو قرار می‌گیرند. آلکالی‌گابروها جوانتر بوده و در افق‌های بالاتری نفوذ کرده‌اند. شواهد زمین‌شناسی حکایت از آن دارد که نفوذ ماگمای سازنده دایکها در داخل شکستگی‌های از قبل موجود یا جایگیری حین تکتونیک بوده است. این دایکها با ضخامت‌های چند ده سانتی متری تا چند ده متری و درازای چندصد تا چند هزار متری در تصویر ماهواره ای و نقشه زمین‌شناسی با تراکم بسیار زیادی در توده گرانیتی به حالت‌های موازی، سیگماوئیدی و چشمی قابل مشاهده‌اند. البته آنها به صورت بادبزی و با تراکم زیاد، افزون بر گرانیت زیرگان، در گابرودیوریتها و گرانودیوریت شمال توده گرانیتی زیرگان نیز نفوذ کرده‌اند. و به همراه گرانیت زیرگان، مجموعاً رسوبات کامبرین پایین موسوم به سازند ریزو و واحدهای بالایی موسوم به آهک زیرگان را قطع کرده‌اند. روند عمومی این دایکها، شمالغرب - جنوبشرق تا شرقی-غربی است. و قرارگیری در زون‌های برشی و دگرشکلی‌های حاصل از فازهای دگرریختی بعدی مسلماً باعث تغییر الگوها شده است. این دایکها در محیط تکتونیکی کشش درون کمان مرتبط با فرورانش حاشیه قاره شکل گرفته‌اند. هندسه و سازوکار حرکت گسل‌های پی‌سنگی پشت‌بادام و کوهبنان سبب چرخش پادساعتگرد بخش میان این دو گسل، شکستگی پوسته، نازک شدگی لیتوسفر و برآمدگی استنوسفری شده است (تاجبخش، ۱۳۹۹: ۷). از نظر ژئودینامیکی، دایکهای فوجی زیرگان از یک آرایش خطی نامنظم تبعیت می‌کند که روند گسلهای منطقه مورد مطالعه با جهت استقرار آنها (شمالغرب، غرب-جنوبشرق، شرق) ارتباط معنادار وجود ندارد. با توجه به مطالعات ارنست و همکاران، این دایکهای فوجی که بخشی از دایکهای فوجی زون ساختاری ایران مرکزی است، شبیه دایکهای فوجی نوع V است. که ناشی از ایجاد حوزه‌های تنش ناحیه‌ای می‌باشند.



شکل ۵. دایکهای فوجی زریگان بر نقشه زمین شناسی منطقه  
منبع: (تاجبخش، ۱۳۹۹: ۷).

با توجه به مطالعات هوو، دایکهای منطقه زریگان مشابه دایکهای موازی هستند که ایشان آنها را دایکهای فوجی موازی با الگوی خطی می نامند. که در یک محدوده با گستره نسبتاً محدود و تحت تأثیر تنش‌های ناحیه‌ای حاصل از کشش درون کمان مرتبط با فرورانش حاشیه قاره بوجود آمده‌اند. این دایکها در محیط تکتونیکی کشش درون کمان مرتبط با فرورانش حاشیه قاره شکل گرفته‌اند. هندسه و سازوکار حرکت گسل‌های پی‌سنگی پشت‌بادام و کوهبنان سبب چرخش پادساعتگرد بخش میان این دو گسل، شکستگی پوسته، نازک شدگی لیتوسفر و برآمدگی استنوسفری شده است.

جدول ۱. مقایسه دایکهای فوجی شمال ساوه، دلبر و زریگان از نظر سن، محیط تکتونیکی و نوع سنگهای تشکیل دهنده

موقعیت جغرافیایی	سن تشکیل	نوع سنگهای تشکیل دهنده	محیط تکتونیکی
شمال ساوه	الیگوسن	آندزیتی و بازالتی	کمان ماگمایی ارومیه-دختر که حاصل فرورانش ورقه عربی به زیر ورقه ایران مرکزی است.
دلبر	ژوراسیک میانی و الیگو میوسن	گابرو دیوریتی، گابرویی و بازالتی	کشش کافتی پشت کمانی اولیه ناشی از فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران مرکزی.
زریگان	اردوویسین	گابرو _ دیوریت و آلکالی گابرو	کشش درون کمان مرتبط با فرورانش حاشیه قاره.

## نتیجه گیری

در پهنه‌های زمین‌ساختی مختلف ایران پدیده‌های ژئومورفولوژیکی فراوانی تحت عنوان دایکهای دسته‌ای (فوجی) وجود دارند. که از نظر سن تشکیل، سازوکار تشکیل و نوع سنگهای تشکیل دهنده با یکدیگر متفاوت هستند. دایکهای فوجی در مطالعات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی کاربردهای متعددی مانند: مکان‌یابی مراکز پلوم گوشته‌ای، تعیین حوزه‌های تنشی دیرینه و تشخیص شبکه‌های دگرشکلی دارند. بنابراین از این دایکها می‌توان در مطالعات تکتونیک گذشته ایران زمین استفاده کرد. مطالعات تطبیقی دایکهای فوجی دو پهنه زمین ساختاری ارومیه-دختر و ایران مرکزی نشان می‌دهد که سن آنها از دوره کامبرین تا الیگومیوسن و ترکیب سنگ‌شناسی آنها از سنگهای بازیک تا اسیدی متغیر است. و در سه منطقه مورد مطالعه بطور عمده شامل: سنگهای آندزیتی، بازالتی، گابرو گابرودیوریتی و آکالی‌گابرو است. تنش‌های زمین‌ساختی موثر بر تشکیل آنها در مناطق مختلف، متفاوت بوده است. با توجه به طبقه بندی ارنست، دایکهای فوجی شمال ساوه جزو دایکهای نوع IV و دایکهای فوجی مناطق دلبر و زیرگان جزو دایکهای نوع V طبقه بندی می‌شوند. و با توجه به طبقه بندی هوو، دایکهای هر سه منطقه از الگوی خطی تبعیت می‌کنند. سازوکار تشکیل دایکهای هر سه منطقه در ارتباط با فرورانش و صعود ماگما در شکستگی‌های ایجاد شده در اثر فرورانش می‌باشد. پیشنهاد می‌شود که مبحث دایکهای فوجی ایران یکی از مباحث مهم ژئومورفولوژیکی است که متأسفانه تاکنون بطور شایسته و مناسب به آنها پرداخته نشده است. لذا پیشنهاد می‌گردد که در پژوهش‌های بعدی سایر دایکهای فوجی ایران، که نسبتاً فراوان و هنوز ناشناخته هستند، شناسایی و معرفی گردند و مدل‌های ژئودینامیکی آنها مورد مطالعه تطبیقی با دایکهای مورد مطالعه در این پژوهش قرار گیرد.

## تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده، این مقاله، حامی مالی نداشته است.

## منابع

- ۱) ابتهاج، مرسد (۱۳۹۳). پترولوژی و ژئوشیمی دایکهای دیابازی در منطقه غرب بند هزارچاه، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی، گرایش پترولوژی، به راهنمایی حبیب اله قاسمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۲) اصغرزاده، زهرا (۱۳۹۲). زمین شناسی، ژئوشیمی و پترولوژی دایک‌های دیابازی موجود در منطقه دلبر، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی گرایش پترولوژی، به راهنمایی حبیب اله قاسمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۳) بازوبندی، محمدحسن (۱۳۹۴). مطالعه پتروگرافی، ژئوشیمی و ژئودینامیک دایکهای شمال ساوه، رساله دکتری زمین شناسی، گرایش پترولوژی، به راهنمایی محمدعلی آراین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.
- ۴) بازوبندی، محمدحسن، آراین، محمدعلی، امامی، محمدهاشم و تاج بخش، غلامرضا (۱۳۹۳). کاربرد دایکهای فوجی با استناداتی از دایکهای شمال ساوه، هجدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران. <https://civilica.com/doc/391346>
- ۵) تاج بخش، غلامرضا (۱۳۹۹). سنگ نگاری، زمین‌شیمی و جایگاه زمین ساختی فوج دایک‌های مافیک گرانیتوئید زیرگان، شمال بافق (ایران مرکزی)، فصلنامه علوم زمین، دوره ۳۰، شماره ۱۱۷، صص. ۱۷۵-۱۸۸.
- ۶) حسینی، سیدحسین، صادقیان، محمود، زای، مینگو، و قاسمی، حبیب اله. (۱۳۹۵). شیمی کانی، دمافشارسنجی و پتروژنز فوج دایک بازیک بند هزار چاه (جنوب شرق شاهرود). پترولوژی، دوره هفتم، شماره ۲۵، بهار ۱۳۹۵، صص ۸۱-۹۶.

- ۷) چگینی مقدم، محسن (۱۳۹۱). بررسی سازو کار توزیع مذاب در دایکهای مافیک قطع کننده مجموعه دگرگونی- آذرین دلبر (شرق بیارجمند) به وسیله روش AMS و تعیین موقعیت دیرینه مغناطیس آنها، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی گرایش پترولوژی، به راهنمایی محمود صادقیان، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۸) عادلی، زهرا، قهرودی تالی، منیژه و صدوق، سیدحسین (۱۴۰۰). کاربرد روش ژئومورفونها در شناسایی عناصر اشکال زمین (مطالعه موردی حوضه حبله رود)، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۲، صص. ۱۱۹-۱۰۶.
- ۹) قاسمی برقی، اکبر، وثوقی عابدینی، منصور، و پورمغافی، سید محمد (۱۳۸۵). سنگ نگاری، ژئوشیمی و ژئودینامیک دایکهای مرادلو (شمال باختری اردبیل)، فصلنامه علوم زمین، دوره شانزدهم، شماره ۶۱، پاییز ۱۳۸۵، صص. ۱۰۷-۹۲.
- ۱۰) قاسمی، حبیب اله، رستمی حصوری، مجتبی و صادقیان، محمود (۱۳۹۷). فعالیت ماگمایی بازی در حوضه کششی پشت کمانی ژوراسیک زیرین- میانی در لبه شمالی پهنه‌های ایران مرکزی- جنوب البرز خاوری، شاهرود- دامغان. فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۷، شماره ۱۰۷، صص. ۱۳۶-۱۲۳.
- 11) Adeli, Z., Ghahrodi Tali, M. & Sadouq, S. H. (2021). The application of the geomorphon method in identifying the elements of landforms (a case study of Hablah-Rood Basin), Quantitative Geomorphology Research, 10th Vol.10, No. 2, pp. 106-119. [persian].
- 12) Asgharzadeh, Z. (2014). Geology, geochemistry and petrology of diabase dikes in Delbar region, master's thesis in geology, petrology, under the guidance of Habibolah Ghasemi, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology. [persian].
- 13) Bazoobandi, M. H. (2015). Petrographic, geochemical and geodynamic study of dikes in the north of Saveh, doctoral dissertation in geology, petrology, under the guidance of Mohammad Ali Arian, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, North Tehran branch. [persian].
- 14) Bazoobandi, M. H., Arian, M. A., Emami, M. H. & Taj Bakhsh, G. R. (2014). Application of swarm dikes with references from North Saveh dikes, 18th Conference of Geological Society of Iran, Tehran. <https://civilica.com/doc/391346>. [persian].
- 15) Bazoobandi, M.H., Arian, M. A., Emami, M. H, Tajbakhsh, G. R. & Yazdi, A. (2015) Geodynamics of Dikes in North of Saveh. Open Journal of Ecology, 452-459.[persian].
- 16) Balaghi, Z., Sadeghian, M., Zhai, M., Ghasemi, H. & Mohajjel M. (2014) Zircon U-Pb ages, Hf isotopes and geochemistry of the schists, gneisses and granites in Delbar Metamorphic-Igneous Complex, SE of shahrood (Iran): Implications for Neoproterozoic geodynamic evolution of Central Iran. Journal of Asian Earthscience 92: 92-124. 10.1016/j.jseaes.2014.06.01. [persian].
- 17) Chegini Moghadam, M. (2013). Investigating the mechanism of melt distribution in mafic dikes cutting off Delbar metamorphic-igneous complex (East Biarjomand) by AMS method and determining their paleomagnetic position, Master's thesis in geology, petrology, under the guidance of Mahmoud Sadeghian, Faculty of Earth Sciences, University Shahrood Industrial. [persian].
- 18) Ernst, R.E., Head, J.W., Parfitt, E., Grosfils, E. & Wilson, L., (1995). Giant radiating dike swarms on Earth and Venus. Earth-Science Review s 39,1-58.
- 19) Ernst, R.E., Buchan, K.L. & Palmer, H.C., (1999). Giant dike swarms, Characteristics, distribution and geotectonic applications. In: Baer, G., Heimann (Eds.), Physics and Chemistry of Dikes. Rotterdam, Balkema, pp. 3 – 21.
- 20) Ernst, R.E., Buchan, K.L. & Compbell, I. H. (2005). Frontiers in Large Igneous Province research. Lithos 79, 271-297.
- 21) Ghasemi Barqi, A., Vosooqi Abedini, M. & Pourmaafi, S. M. (2015). Lithography, geochemistry and geodynamics of Muradlo dikes (northwest of Ardabil), Earth Sciences Quarterly, Vol.16, No. 61, fall 2015, pp. 92-107. [persian].
- 22) Ghasemi, H., Rostami Hasouri, M. & Sadeghian, M. (2017). Baze magmatic activity in the Lower-Middle Jurassic back-arc extensional basin in the northern edge of the central Iran-southern Alborz-Eastern Iran, Shahroud-Damghan zones. Earth Sciences Quarterly, Vol. 27, No. 107, pp. 136-123. [persian].

- 23) Hosseini, S.H., Sadeghian, M., Zhai, M. & Ghasemi, H. (2015). Mineral chemistry, thermodynamics and petrogenesis of the base dike of Hezar Chah band (southeast of Shahrood). *Petrology*, seventh, Vol.7, No. 25, pp. 81-96. [persian].
- 24) Hou, G.T., (2012), Mechanism for three types of mafic dike swarms. *GEOSCIENCE FRONTIERS*, Vol.3, No.2, pp. 217-223.
- 25) Hou, G.T., Kusky, T.M., Wang, C.C. & Wang, Y. X. (2010). Mechanics of the giant radiating Mackenzie dyke swarm: a palaeostress field modeling. *Journal of Geophysical Research* 115 (B02402), 1\_14.
- 26) Hou, G.T., Li, J.H., Yang, M.H., Yao, W.H., Wang, C.C. & Wang, Y.X. (2008). Geochemical constraints on the tectonic environment of the Late Paleoproterozoic mafic dike swarms in the North China Craton. *Gondwana Research*, Vol.13, No.1, pp. 103\_116.
- 27) Ibtahaj, M. (2013). Petrology and geochemistry of Diabazi dikes in the West Band of Hezar chah region, Master's thesis in geology, petrology, under the guidance of Habibolah Ghasemi, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology. [persian].
- 28) Kjøl, H. J., Galland, O., Labrousse, L. & Andersen, T. B. (2019). Deep section of a Neoproterozoic fossil magma rich rifted margin exposed, EGU General Assembly 2019, Vol. 19, Vienna.
- 29) Pollard, D.D. (1987). Elementary fractures mechanics applied to the structural interpretation of dykes. In: Halls, H.C., Fahrig, W.H. (Eds.), *Mafic Dike Swarms*, Vol. 34. Geological Association of Canada Special Paper, pp112- 128.
- 30) Taj Bakhsh, Gh. (2019), Lithography, geochemistry and tectonic setting of Zarigan mafic granitoid dikes, north of Bafaq (central Iran), *Earth Sciences Quarterly*, Vol. 30, No. 117, pp. 188 -175. [persian].