



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan  
E-ISSN: 2423-8007  
Document Type: Research Paper  
Vol. 36, Issue 4, No. 81, Winter 2021, pp. 87-108  
Received: 04.05.2020 Accepted: 15.08.2020

## Lithostratigraphy, petrography, and geochemistry of sandstone in the middle part of the Upper Red Formation, Ghezeljeh area, NW Zanjan

**Seyedeh Aliyeh Mir Hosseini**

*M.Sc. Student in Economic Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran  
seyedealieh.mirhosseini@gmail.com*

**Ghasem Nabatian\***

*Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran  
gh.nabatian@znu.ac.ir*

**Afshin Zohdi**

*Assistant Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran  
afshin.zohdi@znu.ac.ir*

**Armin Salsani**

*Ph.D. in Stratigraphy and Paleontology, Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran  
rnm.salsany@gmail.com*

### Abstract

Ghezeljeh area is located in the northeastern part of Mahnesan at 70 km northwest of Zanjan. The rock units exposed in the area are including the Lower Red, Qom, and Upper Red formations which the Upper Red Formation is the purpose of current research. According to field studies, the Upper Red Formation with 750 meters thickness includes 250 meters of evaporative units with intercalations of marls at the bottom and 500 meters of alternation of marls and sandstones intercalations at the top. According to microscopic studies, the grain size of the studied samples ranging from very fine sandstone to gravel. These sandstones show poorly orientation and well to poor sorted and are angular to sub-angular. The sorting and roundness parameters as well clay content show that these sandstones are immature and in some cases are sub mature. Based on a high percent of components and the Folk classification, the middle part of the Upper Red Formation displays lithic-arenite (sed-arenite) and feldspathic-lithic-arenite with an average composition of  $Q_{38}F_{15}Rf_{47}$ . Geochemical studies show that these sandstones sourced from intermediate to felsic igneous rocks and deposited on the active continental margin. Furthermore, the weathering index shows an arid and semi-arid climatic condition during their deposition.

**Keywords:** Stratigraphy, Geochemistry, Upper Red Formation, Ghezeljeh, Zanjan.

### Introduction

Sedimentary rocks are the main source of information about past conditions. According to the chemical composition of sediments and sedimentary rocks, the origin and other depositional processes such as weathering, transportation, and diagenesis can be evaluated (McLennan et al. 1993). Meanwhile, the study of trace elements has more reliable results than the major oxide elements because these elements are immobile against processes such as transport, diagenesis, and metamorphism (Whitmore 2004; Von Eynatten 2004). So in the current study, in addition to petrographic studies, information obtained from rare earth elements was used to find out the origin of rocks, determine of tectonic setting, and palaeoclimate. The Upper Red Formation, which is the subject of this study, consists of three parts. In the current research, we investigated the middle part ( $M_2$ ) of Upper Red Formation, because it has potential as a cap-rock in gas fields

and also a suitable host rock of ore deposits. Therefore, a detailed study of litho-stratigraphy, petrography, and geochemistry of different parts of this formation in Central Iran and Alborz sedimentary basins is very important. This study aims to investigate the tectonic setting, ancient climatic conditions, and the origin of these sandstones in the Ghezeljeh area, NW Zanjan.

### Material & Methods

In the current research, a suitable section was selected by using the Mahnesan geological map with a scale of 1:100000 (Lotfi 2001). In the second step, the stratigraphic column and profiles associated with the geological map (scale: 1:20000) of the study area were prepared. Besides, 30 thin-section fine- to medium-grained samples were prepared and carefully studied for sedimentary aspects and point counting. Furthermore, eight sandstone samples from the

\*Corresponding author

Copyright©2021, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Upper Red Formation with minimum alteration and the least amount of carbonate cements, calcareous matrix, and bioclast were selected for whole-rock geochemical analysis. The whole rock geochemical analysis was done in the Zarazma Laboratory, Tehran. Several discriminatory plots of the trace elements were used to determine the provenance and tectonic setting of the studied sandstone of the Upper Red Formation.

#### **Discussion of Results & Conclusions**

The study area is located in the central Iranian zone which is part of the Alpine–Himalayan orogenic belt. The Upper Red Formation is the main outcropped rock unit in the study area which mainly consists of marls and sandstones. The investigated sandstones are mainly composed of sedimentary and metamorphic rock fragments. Additionally, there are some bioclasts in the studied sandstones that indicate that the carbonate and calcareous fragments in the Upper Red Formation may originate from older carbonate succession such as Qom Formation which has extensive outcrop in the study area. The studied sandstones are generally poor to well-sorted as seen in the thin sections. Petrographic studies

revealed that sandstones of Upper Red Formation in the Ghezeljeh area are mainly lithic-arenite (sed-arenite) and feldspathic-lithic-arenite with an average composition of  $Q_{38}F_{15}Rf_{47}$ . The grain size and particle geometry, as well as the degree of sorting of the studied sandstones, indicate that they are texturally immature to sub-mature in terms of textural maturity. The petrographic and geochemical studies of sandstones in the middle part of the Upper Red Formation indicate that the active tectonic setting and recycled orogeny for the investigated sediments which is consistent with the earlier studies. Moreover, the results of the modal analysis show that the climatic condition was dry to semi-humid during the deposition of this formation. According to geochemical analyzes, the investigated sandstones originated from acidic to intermediate igneous rocks. Furthermore, geochemical diagrams show that the studied sandstones formed in an active continental margin setting. These studies generally indicate that the investigated sediments were deposited probably in a foreland basin during the Arabia–Eurasia collision.

## چینه‌نگاری سنگی، پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی منطقه قزلجه، شمال غرب زنجان

سیده‌عالیه میرحسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

seyedealieh.mirhosseini@gmail.com

قاسم نباتیان\*، دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

gh.nabatian@znu.ac.ir

افشین زهدی، استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

zohdi.a@gmail.com

آرمین سلسانی، دکتری چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد

اسلامی، تهران، ایران

rmn.salsany@gmail.com

### چکیده

منطقه قزلجه در ۷۰ کیلومتری شمال غرب زنجان در بخش شمال شرق ماه‌نشان واقع شده است. واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در این منطقه شامل سازند قرمز زیرین، سازند قم و سازند قرمز بالایی است که سازند قرمز بالایی، هدف این پژوهش است. براساس مطالعات صحرایی و پیمایش‌های صورت‌گرفته در منطقه، سازند قرمز بالایی در این منطقه ۷۵۰ متر ضخامت دارد که شامل ۲۵۰ متر واحدهای تبخیری با میان‌لایه‌های مارن در پایین و تناوبی از رسوبات مارنی با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های خاکستری تا قهوه‌ای با ضخامت ۵۰۰ متر در بخش بالایی است. با استفاده از مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی نام‌گذاری، تعیین جایگاه تکتونیکی، منشأ ماسه‌سنگ‌ها و آب‌و‌هوای دیرینه این سازند مشخص می‌شود. براساس مطالعات میکروسکوپی، اندازه ذرات تشکیل‌دهنده نمونه‌های بررسی‌شده در حد ماسه‌سنگ خیلی ریز تا گراول است. این ماسه‌سنگ‌ها جهت‌یافتگی ضعیفی دارند و از نظر پارامتر جورشدگی، خوب تا ضعیف و از نظر گردشدگی، نیمه‌زاویه‌دار تا زاویه‌دار هستند. با توجه به پارامترهای جورشدگی و گردشدگی و همچنین مقادیر رس، این ماسه‌سنگ‌ها از نظر بلوغ بافتی ایمچور و گاه ساب‌مچور هستند. با توجه به درصد فراوانی اجزای تشکیل‌دهنده و براساس تقسیم‌بندی ماسه‌سنگ‌ها به روش فولک، بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه از نوع لیت‌آرنایت (سدآرنایت) و فلدسپاتیک‌لیت‌آرنایت با ترکیب میانگین  $Q_{38}F_{15}Rf_{47}$  است. مطالعات ژئوشیمیایی بیان‌کننده منشأگرفتن ماسه‌سنگ‌های بررسی‌شده از سنگ‌های آذرین حد واسط تا فلسیک است که در موقعیت‌های تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. به‌علاوه اثر هوازدگی حاکی از آب‌و‌هوای خشک و نیمه‌خشک در زمان ته‌نشینی است.

واژه‌های کلیدی: چینه‌شناسی، ژئوشیمی، سازند قرمز بالایی، قزلجه، زنجان

\* نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۷۶۲۲۴۵

## مقدمه

سنگ‌های رسوبی آواری اطلاعات باارزشی درباره محیط رسوبی و جایگاه ژئودینامیکی گذشته ارائه می‌کنند (Rieser et al. 2005). ترکیب سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی این سنگ‌ها در کنترل عوامل متعددی از قبیل ماهیت و هوازگی سنگ‌منشأ، موقعیت زمین‌ساختی و فرایندهای دیاژنتیکی است (McLennan et al. 1993)؛ البته تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی براساس عناصر در سال‌های اخیر با انتقاداتی همراه بوده است (Armstrong-Altrin 2015). ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری متأثر از عوامل حمل‌ونقل، میزان هوازگی، ویژگی‌های سنگ‌منشأ، پستی و بلندی، اقلیم، فعالیت‌های تکتونیکی و اثرهای دیاژنتی است (Whitmore et al. 2004; Von Eynatten 2004). برخلاف عناصر اصلی، بعضی عناصر فرعی و تمام عناصر نادر خاکی طی فرایندهای رسوب‌گذاری، دیاژنز و متامورفیک غیرمتحرک‌اند و ارتباط نزدیکی با مطالعات خاستگاه و تعیین محیط زمین‌ساختی دارند؛ بنابراین مطالعات خاستگاه براساس عناصر فرعی نسبت به عناصر اصلی، نتایج قابل اعتمادتری دربردارد (McLennan et al. 1993; Cullers 2008; Augustsson and Bahlburg 2000)؛ بر این اساس در این پژوهش نیز، علاوه بر مطالعات پتروگرافی از اطلاعات حاصل از عناصر فرعی و نادر خاکی برای پی‌بردن به منشأ سنگ‌ها، تعیین محیط زمین‌ساختی و آب‌وهوای دیرینه استفاده شده است.

طی چند سال اخیر، زمین‌شناسان مختلف (e.g., Rajabzadeh et al. 2017; Haghghi 2017; Qavim et al. 2018) پژوهش‌هایی را درباره نهشته‌های قاره‌ای سازند قرمز بالایی در بخش‌های غربی حوضه رسوبی البرز و ایران مرکزی انجام داده‌اند. این پژوهش‌ها از نظر جنبه‌های مختلف رسوبی، تکتونیکی و شرایط آب‌وهوایی، ماسه‌سنگ‌های این سازند را به‌طور کامل مدنظر قرار داده‌اند. رسوبات تیخیری، مارنی و ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی در حوضه رسوبی البرز و ایران مرکزی با توجه به ماهیت و ترکیب سنگ‌شناسی آنها، به‌مثابه

یک پوش سنگ مناسب در میدان‌های گازی این حوضه (همانند میدان گازی سراج و البرز) حائز اهمیت هستند (Guoqiang et al. 2007)؛ همچنین رسوبات دانه‌درشت‌تر این سازند (نظیر میکروکنگولوم‌ها و ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت) به‌مثابه یک سنگ میزبان مناسب برای ذخیره مقادیر زیادی از ذخایر فلزی و معدنی (ازجمله کانسار مس، سرب و روی قزلجه در شمال غرب زنجان) از دیرباز در کانون توجه زمین‌شناسی قرار گرفته است؛ بنابراین بررسی دقیق چینه‌نگاری سنگی، پتروگرافی و ژئوشیمی بخش‌های مختلف این سازند در حوضه‌های رسوبی ایران مرکزی و البرز بسیار حائز اهمیت است.

با توجه به تمرکز و فراوانی لایه‌های ماسه‌سنگی در بخش‌های میانی این سازند در منطقه مدنظر (شمال غرب زنجان)، در این پژوهش یک رخنمون مناسب از بخش‌های میانی سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه به‌لحاظ چینه‌نگاری سنگی، پتروگرافی و ژئوشیمی و با هدف تعیین نوع سنگ‌منشأ، شرایط آب‌وهوایی دیرینه و تعیین موقعیت تکتونیکی این ماسه‌سنگ‌ها مدنظر قرار گرفته است. امید است نتایج حاصل از پژوهش حاضر به همراه دیگر پژوهش‌هایی که درباره این ماسه‌سنگ‌ها طی چند سال اخیر انجام شده است، از نظر اکتشاف هرچه بهتر این ذخایر رسوبی و درنهایت بازسازی دقیق جغرافیای دیرین و شرایط آب‌وهوایی زمان میوسن مورد استفاده زمین‌شناسان قرار گیرد.

## روش کار و شیوه انجام پژوهش

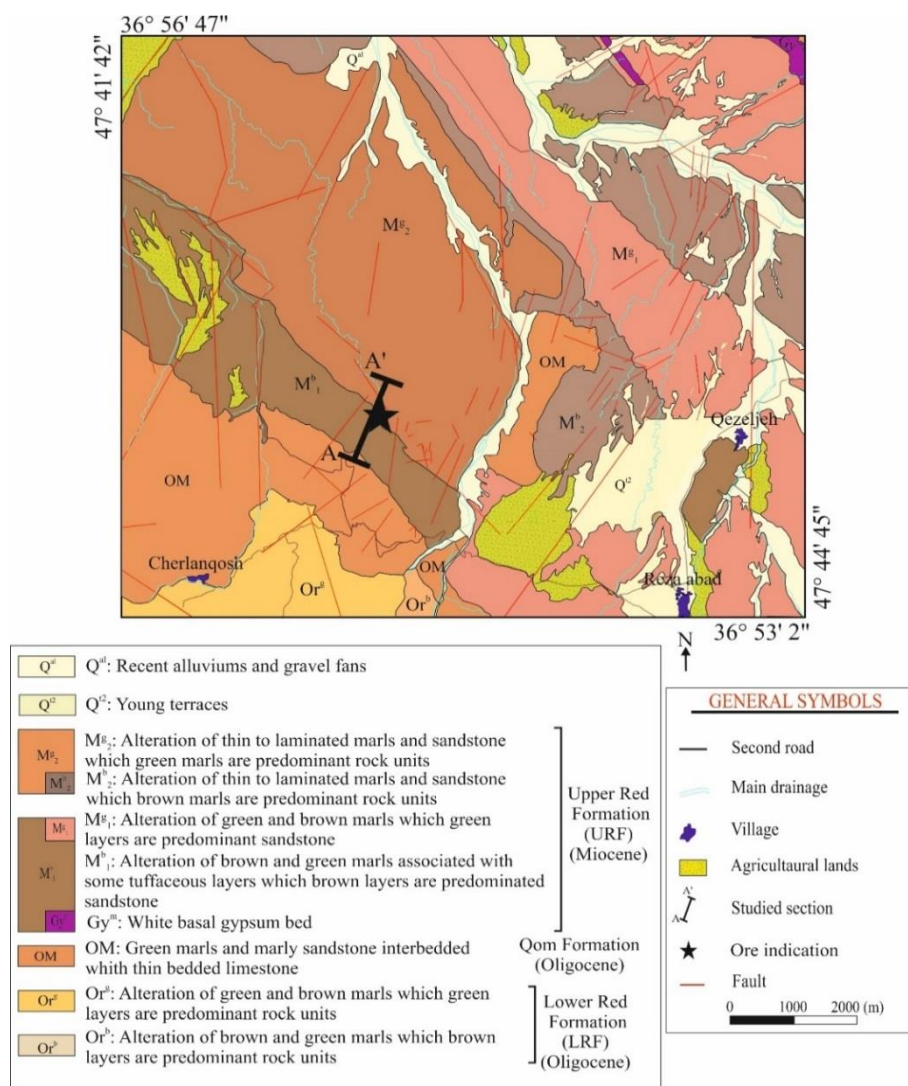
در این پژوهش، در مرحله اول برای انتخاب یک برش مناسب، نخست نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماهنشان (Lotfi 2001) مطالعه شد؛ سپس در بخش صحرايي از ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه، ۶۴ نمونه ماسه‌سنگی برداشت شد. در بخش آزمایشگاهی، از نمونه‌های انتخابی یادشده، ۳۰ نمونه مقطع نازک تهیه و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان دومنظوره مدل GX در دانشگاه زنجان

در تقسیمات ساختاری رسوبی ایران (Alavi 1991; Aghanabati 1998, 2005) در پهنه ایران مرکزی قرار می‌گیرد. واحدهای رخنمون‌یافته در این محدوده عمدتاً به زمان‌های الیگوسن تا میوسن شامل سازند قرمز زیرین، سازند قم و سازند قرمز بالایی هستند (شکل ۱). واحدهای متعلق به سازند قرمز بالایی با واحدهای پلیوسن و کواترنری پوشیده شده است. علاوه بر نهشته‌های مربوط به زمان سنوزوئیک که حجم غالب رسوبات منطقه قزلجه واقع در شمال غرب زنجان را تشکیل می‌دهند، در این ناحیه رسوبات قدیمی‌تر و حتی متعلق به زمان‌های پرکامبرین پسین - پالئوزوئیک پیشین با ترکیب سنگ‌شناسی غالب ماسه‌سنگی و شیلی نیز در نزدیکی برش بررسی شده رخنمون دارد. گفتنی است به داخل این رسوبات، توده‌های نفوذی گرانیتی - گرانودیوریتی خاکستری‌رنگ با گسترش قابل ملاحظه نیز تزریق شده است (Torkamani 2019). به نظر می‌رسد گسل‌های موجود در منطقه موجب برونزد توده‌های نفوذی در منطقه شده است.

مطالعه دقیق رسوب‌شناسی شد. شمارش نقطه‌ای برای نام‌گذاری دقیق ماسه‌سنگ‌ها روی مقاطع و به پیروی از روش گزی - دیکنسون (Gazzi- Dickinson method) انجام شد؛ همچنین نمونه‌های ماسه‌سنگ‌های بررسی شده، براساس تقسیم‌بندی فولک (Folk 1980) نام‌گذاری شد (جدول ۱). برای انجام مطالعات ژئوشیمیایی در کانسار قزلجه، تعداد ۸ نمونه از ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی با کمترین دگرسانی و میزان سیمان‌های کربناته، قطعات آهکی و فسیلی انتخاب و به آزمایشگاه زراآما در زنجان ارسال شد. قطعات ماسه‌سنگی انتخاب شده بدون رگه‌های کلسیتی به روش ICP-MS، برای مشخص شدن مقدار دقیق عناصر فرعی آنالیز شد (جدول ۳). نتایج حاصل از شمارش نقطه‌ای و آنالیز ژئوشیمیایی روی نمودارهای استاندارد موجود رسم و در نهایت نتایج بررسی شد.

#### زمین‌شناسی و چینه‌شناسی سازند قرمز بالایی

منطقه پژوهش، بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه ماه‌نشان (Lotfi 2001) را شامل می‌شود (شکل ۱). این منطقه



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه پژوهش (Modified after Lotfi 2001)، که فقط سازندهای اصلی متعلق به زمان سنوزوئیک شامل سازند قرمز زیرین، آهکی قم و قرمز بالایی در آن نمایش داده شده است.  
**Fig. 1- Geological map of study area (Modified after Lotfi 2001), which shows the formations of Cenozoic time including the Lower Red, Qom and the Upper Red Formations.**

بالایی پوشیده شده است.

۲. بخش میانی (M<sub>2</sub>) که به‌طور عمده از نوع ماسه‌سنگ‌های دانه‌متوسط ضخیم‌لایه همراه با لایه‌های مارنی قرمز رنگ تشکیل شده است. در داخل ماسه‌سنگ‌های این واحد، انواعی از ساختمان رسوبی نظیر لایه‌بندی متوسط، ریپل مارک به همراه ردپای پرندگان مشاهده و شناسایی شده است (شکل ۲). به دلیل فرایندهای چین‌خوردگی و گسلش، شیب و امتداد این بخش در قسمت‌های مختلف منطقه متفاوت است؛ اما در برش بررسی شده، ضخامت این بخش از

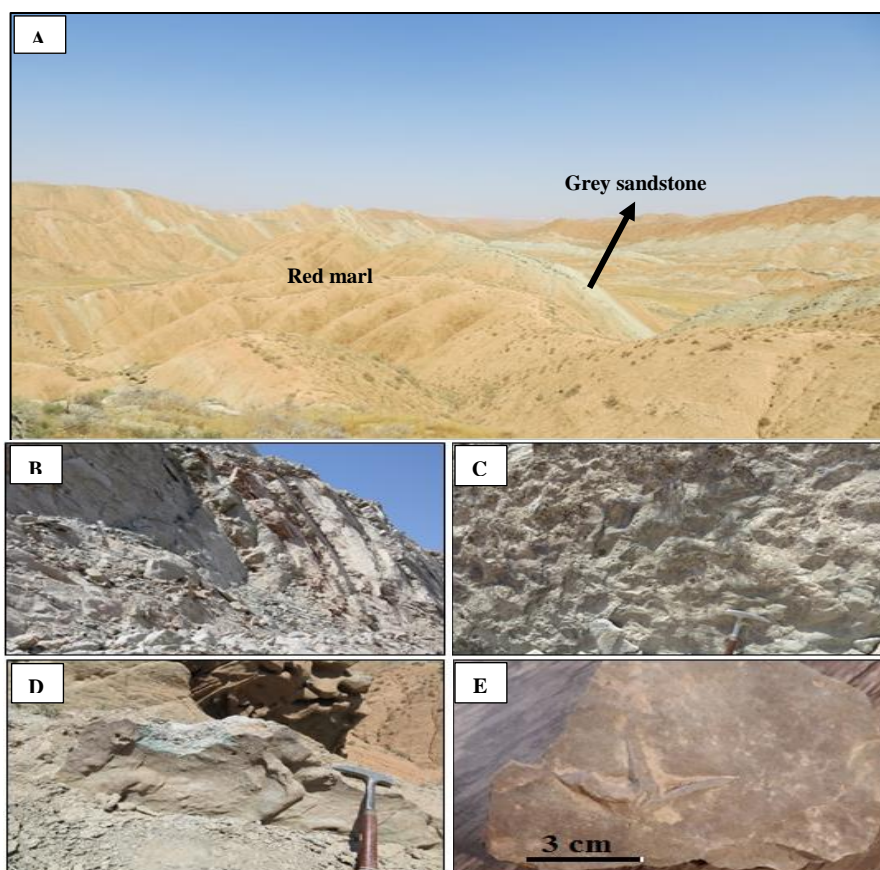
سازند قرمز بالایی، اصلی‌ترین سازند موجود در محدوده بررسی شده است. این سازند با توجه به ترکیب سنگ‌شناسی آن به سه بخش به‌صورت زیر تقسیم می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳):

۱. بخش زیرین (M<sub>1</sub>) که تناوبی از مارن‌های سبز و قرمز همراه با لایه‌های تبخیری است. این بخش با یک لایه تبخیری از سازند کربناته و ریفی قم جدا می‌شود. ضخامت این بخش با توجه به مطالعات صحرائی انجام شده، ۲۵۰ متر است. این بخش به‌صورت پیوسته و هم‌شیب با بخش میانی سازند قرمز

این واحد، لایه‌های نازک غنی از ژئیس نیز مشاهده می‌شود. این واحد به‌لحاظ لیتولوژیکی شامل تناوبی از مارن و ماسه‌سنگ‌های نازک تا لامینه‌دار است که لایه‌های مارن قهوه‌ای واحدهای غالب در این عضو را تشکیل می‌دهند. ضخامت این بخش از سازند حدود ۴۰۰ متر در نظر گرفته شده که در ستون چینه‌شناسی این بخش از سازند ترسیم نشده است. این واحد به‌صورت ناپیوسته در زیر کنگلومرای پلیوسن واقع شده و خود به‌صورت پیوسته و هم‌شیب روی بخش میانی سازند قرمز بالایی قرار گرفته است.

سازند قرمز بالایی با توجه به مطالعات صحرایی انجام‌شده، حدود ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. در این پژوهش، تمرکز اصلی مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی عنصری بر لایه‌های ماسه‌سنگی این بخش بوده که در نمونه‌هایی این لایه‌های ضخیم‌لایه دربرگیرنده کانه‌زایی‌های فلزی متنوعی نظیر سرب، روی و مس است.

۳. بخش بالایی سازند قرمز بالایی (M<sub>3</sub>) که شامل تناوبی از مارن‌های سبزرنگ، ماسه‌سنگ و گل‌سنگ‌های قرمز تیره است و به تعداد ناچیز، لایه‌های متناوب از ماسه‌سنگ خاکستری تا سبز آنها را همراهی می‌کند. در بخش‌های مارنی

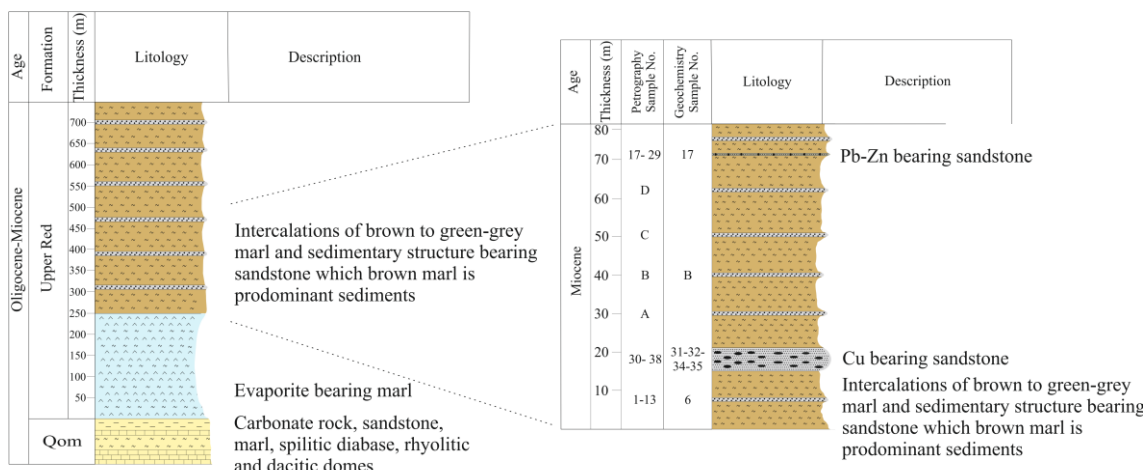


شکل ۲- تصاویر صحرایی از منطقه پژوهش؛ A. نمایی از سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه (دید به سمت شمال غرب)؛ B. لایه‌بندی متوسط‌لایه در ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه پژوهش (دید به سمت جنوب غرب)؛ C. آثار ریپل مارک‌های موجود در سازند قرمز بالایی در منطقه پژوهش؛ D. قالب‌های شیار و وزنی ساده و کوچک در این سازند؛ E. ردپای پرندگان در داخل واحدهای ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی

**Fig- 2.** Field images of the study area, A) photo of the Upper Red Formation in the Ghezljeh area (view to the northwest), B) Medium layering in sandstone layers of the Upper Red Formation in the study area (view to the southwest), C) the ripple marks traces in the Upper Red Formation in the study area, D) load and flute casts within this formation, E) bird footprints inside the sandstone units of the Upper Red Formation.

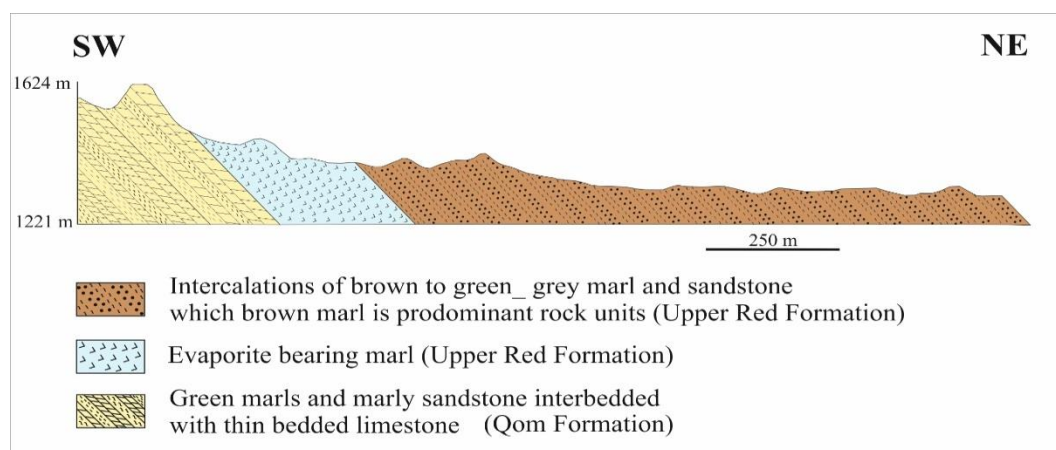
میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های خاکستری ضخیم‌لایه است (شکل‌های ۳ و ۴). در محدوده قزلجه، بخش دارای تناوب مارن و ماسه‌سنگ متشکل از لایه‌های ماسه‌سنگی با ضخامت حدود ۲ تا ۷ متر است (شکل‌های ۳ و ۴).

ستون چینه‌شناسی ترسیم‌شده از بخش زیرین (با لیتولوژی غالب تبخیری و مارن) و بخش میانی (مارن با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ) سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه، ضخامتی حدود ۷۵۰ متر دارد و شامل تناوبی از واحدهای سنگی از جنس گل سنگ و مارن به رنگ قهوه‌ای همراه با



شکل ۳- ستون چینه‌شناسی کلی تهیه‌شده از توالی سازند قرمز بالایی که روی سازند قم قرار گرفته است. در سمت راست لایه‌های مارن و ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه نشان داده شده است. محل برداشت نمونه‌های سنگی برای انجام مطالعات پتروگرافی در کنار لایه‌های ماسه‌سنگی با دایره مشکی مشخص شده است.

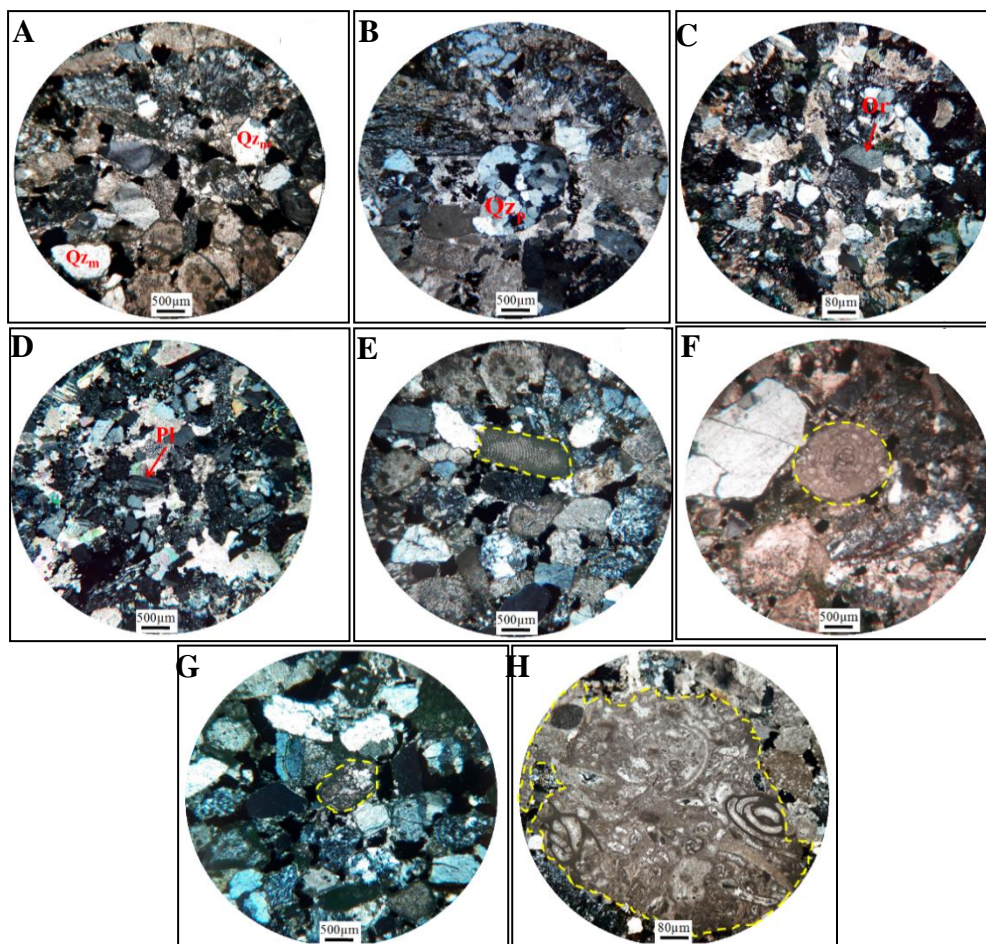
**Fig 3- General stratigraphic column of Upper Red Formation which is located on the Qom Formation. In the right side, marl and sandstone layers of the middle part of the Upper Red Formation are shown in the Ghezeljeh area. The sampling points (black circles) for petrographic studies has been marked next to the sandstone horizons.**



شکل ۴- پروفیل تهیه‌شده از منطقه پژوهش

**Fig 4- Geological profile of the study area.**





شکل ۵- تصویر میکروسکوپی از اجزای تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های موجود در محدوده قزلجه؛ A. ماسه‌سنگ با ترکیب سنگ‌شناسی از نوع لیت‌آرنایت دارای کوارتز تک‌بلوری (Qzm)؛ B. تصویر میکروسکوپی از کوارتز چندبلوری (Qzm) با ترکیب سنگ‌شناسی از نوع لیت‌آرنایت (تصاویر میکروسکوپی با استفاده از نور دوبار پلاریزه عبوری گرفته شده است)؛ C. پلاژیوکلاز (Pl) با ماکل پلی‌سنتیک که با سیمان کلسیتی احاطه شده است، ترکیب سنگ‌شناسی از نوع فلدسپاتیک‌آرنایت است؛ D. کانی آلکالی‌فلدسپار (Or) که تا حدی متأثر از دگرسانی قرار گرفته است، ترکیب سنگ‌شناسی از نوع فلدسپاتیک‌آرنایت؛ E. خرده‌هایی از جلبک قرمز در ماسه‌سنگ‌های بررسی‌شده؛ F. فرامینیفر بنتیک در ماسه‌سنگ‌های بررسی‌شده؛ G. فرامینیفر پلانکتون در ماسه‌سنگ‌های بررسی‌شده؛ H. یک قطعه کربناته که دربرگیرنده فرامینیفر بنتیک و دوکفه‌ای است (تصاویر میکروسکوپی با استفاده از نور دوبار پلاریزه عبوری گرفته شده است). علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans 2010 اقتباس شده است.

**Fig 5- Photomicrographs of sandstones components in the Ghezljeh area, A) litharenite sandstone with monocrystalline quartz (Qzm), B) Microscopic image of polycrystalline quartz (Qzm), C) plagioclase (Pl) with a polysynthetic twinkle which surrounded by calcite cement. The composition of rock is litharenite, D) alkali feldspar (Or) mineral that has been affected by alteration. The composition of rock is litharenite, E) fragments of red algae in the studied sandstones, F and G) benthic and plankton foraminifera in the studied sandstones, H) a carbonate fragment containing benthic foraminifera and Bivalvia fossils (microscopic images were taken using crossed polarized light). Mineral abbreviations are from Whitney and Evans (2010).**

فراوان‌ترین ذره از بین ذرات اصلی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های توالی بررسی‌شده، خرده‌سنگ‌ها (به‌طور میانگین ۴۷ درصد) و کمترین کانی فلدسپات (به‌طور میانگین

در جدول ۲، درصد کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های بررسی‌شده (کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ‌ها) نیز بیان شده است. همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود،

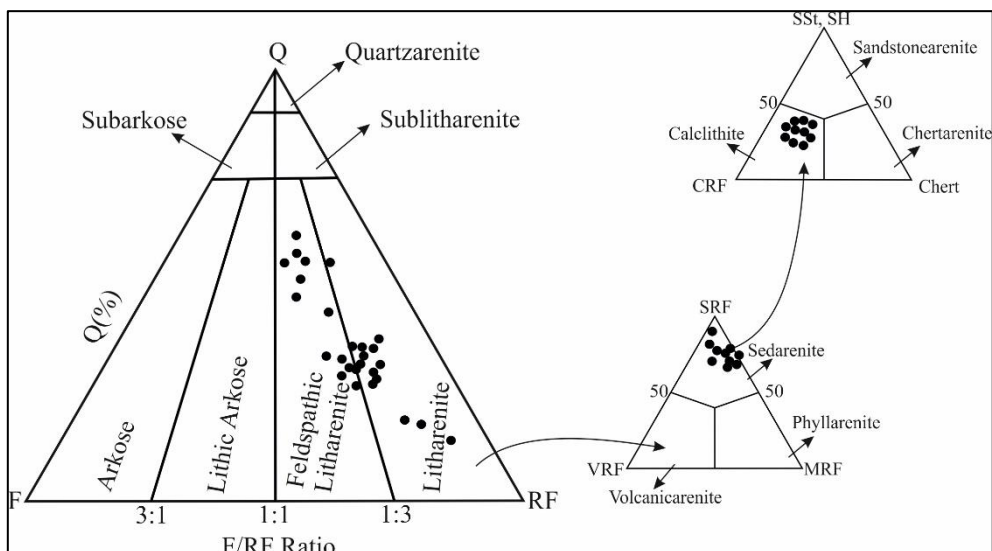
ضعیفی دارند و از نظر پارامتر جورشدگی خوب تا ضعیف و از نظر گردشگی، نیمه‌زاویه‌دار تا زاویه‌دار هستند. این ماسه‌سنگ‌ها از لحاظ بلوغ بافتی به صورت ایمچور و گاه ساب‌مچور در نظر گرفته می‌شوند که احتمالاً بیان‌کننده نزدیک‌بودن محیط رسوب‌گذاری آنها به سنگ‌منشأ است.

حدود ۱۵ درصد) است. با توجه به تقسیم‌بندی فولک (Folk 1980) و درصد کانی‌های تشکیل‌دهنده، ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه از نوع فلدسپاتیک‌لیت‌آرنایت و لیث‌آرنایت (سد‌آرنایت - کالک‌لیتایت) است (شکل ۶). این ماسه‌سنگ‌ها جهت‌یافتگی

جدول ۲- درصد محاسبه‌شده از نتایج نقطه‌شماری برای استفاده در نمودارهای فولک (Folk 1980)، کوارتز تک‌کریستالی (Q<sub>m</sub>)، کوارتز چندکریستالی (Q<sub>p</sub>)، کوارتز کل (Q<sub>t</sub>)، آلکالی فلدسپار (Or)، پلاژیوکلاز (Pl)، فلدسپات کل (Ft)، خرده‌سنگ دگرگونی (L<sub>v</sub>)، خرده‌سنگ آتشفشانی (L<sub>m</sub>)، چرت (Cht)، خرده‌سنگ آهک و فسیل (Lls)، خرده‌سنگ ماسه‌سنگی (Ls)، خرده‌سنگ کل (Lt).

**Table 2- Calculated percentage of counting results of sandstones for using in the Folk (1980) diagrams. monocrystalline quartz (Q<sub>m</sub>), polycrystalline quartz (Q<sub>p</sub>), total quartz (Q<sub>t</sub>), alkali feldspar (Or), plagioclase (Pl), total feldspar (Ft), metamorphic fragments (L<sub>v</sub>), volcanic fragments (L<sub>m</sub>), chert (Cht), limestone and fossil fragments (Lls), sandstone fragments (Ls), total fragments (Lt).**

Sample No.	Q%		F%						L%			
	Q <sub>m</sub>	Q <sub>p</sub>	Q <sub>t</sub>	Or	Pl	Ft	L <sub>v</sub>	L <sub>m</sub>	Cht	Lls	Ls	Lt
Gz-30	16	3	19	8	3	11	4	1	8	35	22	70
Gz-31	24	3	27	11	6	17	3	10	7	14	22	56
Gz-32	27	3	30	10	5	15	5	12	9	18	11	55
Gz-33	27	2	29	15	7	22	3	12	7	17	10	49
Gz-34	29	3	32	12	5	17	3	12	8	15	13	51
Gz-35	28	5	33	15	5	20	3	10	5	21	8	47
Gz-37	31	5	36	11	2	13	0	11	12	17	11	51
Gz-38	40	4	44	10	6	16	0	8	8	13	11	40
Gz-1	26	2	28	9	7	16	4	7	10	23	12	56
Gz-4	32	2	34	15	8	23	4	8	13	6	12	43
Gz-6	30	2	32	10	7	17	3	9	7	22	10	51
Gz-8	28	4	32	9	4	13	4	11	12	17	11	55
Gz-11	23	4	27	12	7	19	4	9	9	21	11	54
Gz-13	33	5	38	6	3	9	8	8	10	17	10	53
Gz-A	31	4	35	11	3	14	3	11	7	17	13	51
Gz-B	35	2	37	10	6	16	3	10	6	18	10	47
Gz-C	32	4	36	11	4	15	0	11	9	16	13	49
Gz-D	11	3	14	5	3	8	8	6	11	35	18	78
Gz-17	28	5	33	12	5	17	3	12	8	18	9	50
Gz-20	23	6	29	10	6	16	4	11	11	21	8	55
Gz-21			56			11						33
Gz-21-1			56			11						33
Gz-22			59			12						29
Gz-23			53			13						34
Gz-24			19			15						66
Gz-25			55			17						28
Gz-25			58			17						25
Gz-27			56			20						24
Gz-28			48			22						30
Gz-29			48			22						30



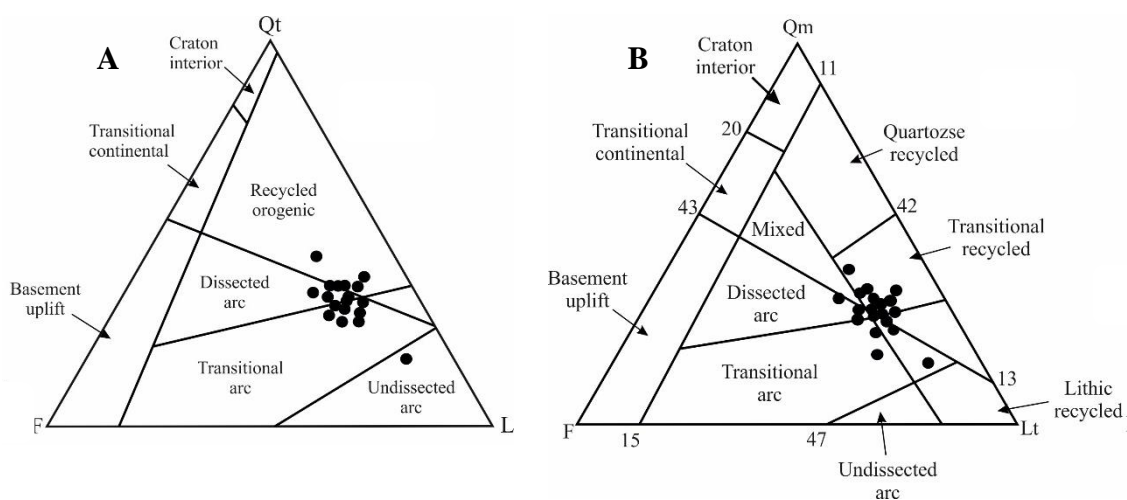
شکل ۶- موقعیت ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه روی نمودار مثلثی فولک (Folk 1980)

**Fig 6- Position of sandstones from middle of the Upper Red Formation in the Ghezeljeh area on the Folk (1980) triangular diagram.**

است، می‌توان جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه را تعیین کرد. با توجه به فراوانی بیشتر خرده‌سنگ‌ها نسبت به کوارتز و فلدسپات، ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه در محدوده کمان‌های فرسوده، انتقالی و چرخه انتقالی مجدد قرار می‌گیرند (شکل ۷. الف و ب).

موقعیت تکتونیکی براساس آنالیز مدال

با توجه به دیاگرام‌های مثلثی (Qt-F-L) و (Qm-F-Lt) مربوط به دیکینسون و سوچک (Dickinson and Suczek 1979) و همچنین دیکینسون و همکاران (Dickinson et al. 1983) که براساس نسبت کوارتزهای تک‌بلوری، فلدسپات و خرده‌سنگ

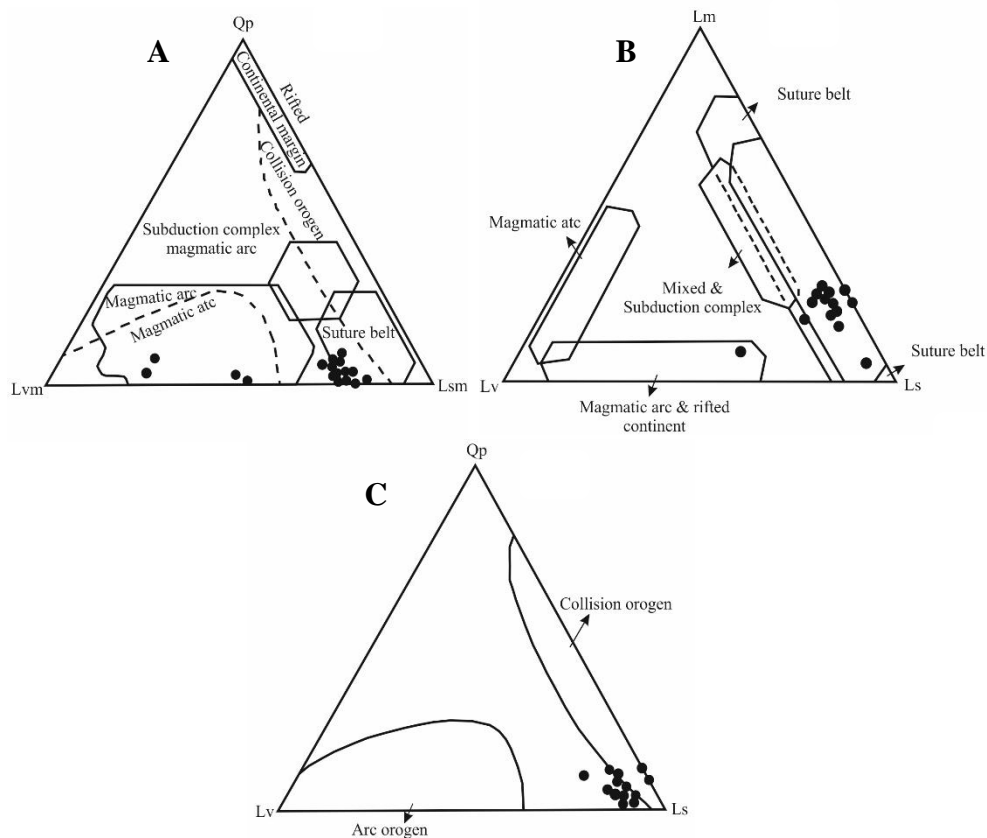


شکل ۷- جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه روی نمودارهای الف: (Dickinson and Suczek 1979) و ب: (Dickinson et al. 1983); (F: فلدسپات، L: خرده‌سنگ، Lt: خرده‌سنگ کل، Qm: کوارتز تک‌بلوری، Qt: کوارتز کل).

**Fig 7- Tectonic discrimination diagrams of the Ghezeljeh sandstones, A: Dickinson and Suczek (1979) and B: Dickinson et al. (1983). (F: feldspar, L: rock fragments, Lt: total rock fragments, Qm: monocrystalline quartz, Qt: total quartz).**

بررسی شده نیز در محدوده کمان‌های ماگمایی قرار می‌گیرد. در این نمونه‌ها به میزان کم (حداکثر ۵ درصد)، خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و کانی پلاژیوکلاز (حدود ۴ تا ۵ درصد) شناسایی شده است. این موضوع احتمالاً مبین آن است که جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه پژوهش در حاشیه صفحات همگرا و فعال تکتونیکی قرار دارد و از فرسایش کمان‌های ماگمایی فرسوده رخنمون‌یافته در منطقه پژوهش، بخشی از خرده‌سنگ‌ها و کانی‌های تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه تأمین شده است (شکل ۸).

از سوی دیگر، دیاگرام‌های مثلثی (Qp-Lvm-Lsm)، (Lv-) Lm-Ls و (Qp-Lv-Ls) مربوط به اینگرسول و سوژک (Ingersoll and suczek 1979) که براساس مودال ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه تهیه شده‌اند، نشان‌دهنده موقعیت تکتونیکی کمرندهای برخوردی و به میزان کمتر کمان ماگمایی در ارتباط با حوضه‌های فورلندی و برخوردی هستند. این موضوع حاکی از آن است که جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه پژوهش در حاشیه صفحات همگرا و فعال تکتونیکی قرار دارد (شکل ۸). تعداد محدودی از نمونه‌های ماسه‌سنگی (۴ نمونه) متعلق به بخش بالای توالی



شکل ۸- تعیین جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه براساس دیاگرام‌های مثلثی اینگرسول و سوژک (Ingersoll and Suczek 1979): Lm: خرده‌سنگ دگرگونی، Ls: خرده‌سنگ رسوبی، Lv: خرده‌سنگ آتشفشانی، Lsm: خرده‌سنگ رسوبی دگرگونی، Lvm: خرده‌سنگ آتشفشانی-دگرگونی، Qp: کوارتز چندبلوری

**Fig 8- Tectonic discrimination diagrams of sandstones in the Ghezleleh area based on Ingersoll and Suczek (1979) triangular diagrams. (Lm: metamorphic fragments, Ls: sedimentary fragments, Lv: volcanic fragments, Lsm: metamorphic sedimentary fragments, Lvm: volcanic-metamorphic fragments, Qp: polycrystalline quartz).**

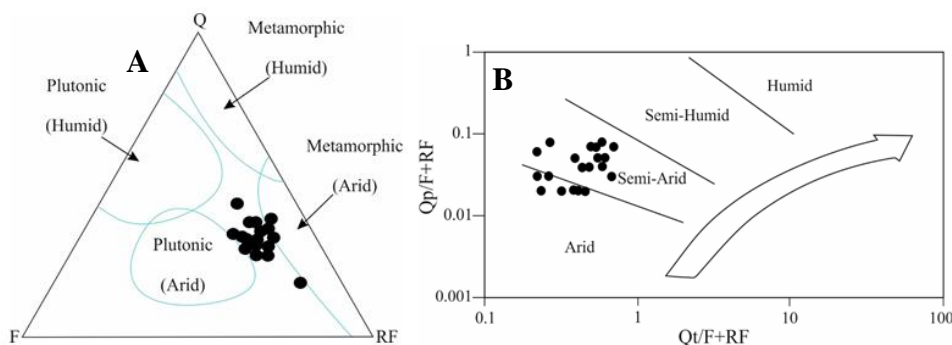
## شرایط آب‌وهوایی براساس آنالیز مدال

با استفاده از نمودار مثلثی (Q-F-RF) ساتنر و همکاران (Suttner et al. 1981) و نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه (براساس مطالعات میکروسکوپی، بخش عمده ذرات را خرده‌سنگ‌ها به‌ویژه خرده‌سنگ‌های دگرگونی درجه پایین تا متوسط "اسلیت و فیلیت" و رسوبی تشکیل می‌دهند و همچنین کوارتزهای شناسایی شده عمدتاً تک‌بلوری با خاموشی مستقیم هستند) و با توجه به اینکه مقدار کوارتز موجود در نمونه‌ها کم است، ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه در آب‌وهوایی خشک تشکیل شده‌اند. موقعیت نمونه‌های ماسه‌سنگی منطقه قزلجه روی نمودار ساتنر و دوتا (Suttner and Dutta 1986) در مقابل (Qt/F+RF) در مقابل (Qp/F+ RF) و همچنین حضور توالی تبخیری در توالی بررسی شده، نشان‌دهنده حاکمیت شرایط نیمه‌خشک تا خشک حین هوازگی سنگ‌منشأ و نهشت این ماسه‌سنگ‌هاست (شکل ۹. A).

گراندام و ولبل (Grantham and Velbel 1988) ضریب هوازگی (Wi) را برای سنگ‌های سیلیسی آواری به صورت  $Wi = cr$  تعریف می‌کنند. در این رابطه c، سرعت و میزان هوازگی (آب‌هوا) و r، مدت‌زمان اقامت رسوبات در شرایط هوازگی است. میزان c و r در نمودار ولتژ (Weltje 1994) بررسی شده است. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود، ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه از سنگ‌های آذرین درونی و به

مقدار کمتر دگرگونی منشأ گرفته‌اند که در یک محیط دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب بوده‌اند. وجود فلدسپات‌های غیرهوازده، زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار بودن دانه‌ها و بلوغ نسبتاً کم ماسه‌سنگ‌ها، حاکی از آب‌وهوای خشک حاکم بر منطقه در زمان رسوب‌گذاری است (شکل ۹. B).

بالاتو و همکاران (Ballato et al. 2010) با مطالعات ایزوتوپی که روی کربنات‌های پدوژنیک و دریاچه‌ای سازند قرمز بالایی و همچنین نوع کانی‌های رسی تشکیل‌دهنده این سازند انجام داده‌اند، سه نوع رژیم آب‌وهوایی مختلف را در طول رسوب‌گذاری سازند قرمز بالایی شناسایی کرده‌اند. این پژوهشگران علت اصلی این تغییرات آب‌وهوایی را تکامل رشته‌کوه‌های البرز طی زمان میوسن در نظر گرفته‌اند؛ به‌طوری که در زمان‌هایی که این رشته‌کوه به‌صورت یک سد توپوگرافی مانع انتقال رطوبت به دامنه‌های جنوبی‌تر خود (همانند منطقه بررسی‌شده در پژوهش حاضر) شده، شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک در این بخش از حوضه رسوبی البرز به میزان زیادی گسترش یافته است. این مطالعات نشان داده در بخش‌های زیرین تا میانی سازند قرمز بالایی، مقادیر مثبت و سنگین‌تر ایزوتوپ اکسیژن بیان‌کننده استمرار شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک در دامنه‌های جنوبی البرز بوده است که منطقه و ماسه‌سنگ‌های بررسی‌شده در این پژوهش نیز، جزئی از این ناحیه محسوب می‌شود.



شکل ۹- A. نمایش شرایط آب‌وهوایی منطقه قزلجه در زمان ته‌نشینی سنگ‌ها با استفاده از ترکیب مودال ماسه‌سنگ‌ها (Suttner et al. 1981)؛ کوارتز (Q)، فلدسپات (F)، خرده‌سنگ (RF)؛ B. نمودار دوعبدي تعیین آب‌وهوا براساس داده‌های حاصل از ترکیب مودال (Suttner and Dutta 1986)

**Fig 9- A) The diagram show climate conditions in the Ghezlejh area at the deposition time of rocks using modal composition of sandstones (Suttner et al. 1981). Quartz (Q), feldspar (F), rock fragments (RF). B) Two-dimensional diagram of climate determination based on modal composition of sandstones (Suttner and Dutta 1986).**

## ژئوشیمی

سنگ‌های رسوبی آواری با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده خود نماینده خوبی از محیط گذشته و حتی جایگاه زمین‌ساختی و ژئودینامیکی گذشته‌اند (Rieser et al. 2005). ترکیب شیمیایی رسوبات آواری متأثر از عواملی مانند ویژگی سنگ‌منشأ، هوازدگی شیمیایی، فرایندهای جورشدگی حین حمل، نحوه رسوب‌گذاری و شرایط دیاژنز است (Nebst et al. 1982)؛ با وجود این باور بر این است که بعضی عناصر غیرمتحرک مانند Th, Sc, Y, Zr, Hf, Cr, Co و عناصر کمیاب، شاخص‌های مفیدی برای فرایندهای زمین‌شناسی، منشأ و جایگاه تکتونیکی هستند (Taylor and Maclennan 1993; Bahita and Crook 1986; Maclennan et al. 1985). چگونگی توزیع عناصر مختلف در واحدهای سنگی و کانسنگی و همین‌طور همبستگی آنها، اطلاعات مفیدی را در اختیار زمین‌شناسان می‌گذارد. به‌منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی در این پژوهش، تعداد ۸ نمونه از ماسه‌سنگ‌های برداشت‌شده از بخش میانی سازند قرمز بالایی به آزمایشگاه زرازا برای آنالیز ICP-MS ارسال شد که در جدول ۳ مقادیر عناصر فرعی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی نشان داده شده است. همان‌گونه که پیش از این نیز بیان شد، در انتخاب نمونه‌های ژئوشیمی عنصری سعی شده است از نمونه‌های با کمترین دگرسانی و حضور کانی‌های کربناته و فسیلی در بحث ژئوشیمی استفاده شود. گفتنی است نمونه‌های با تمرکز زیاد قطعات کربناته و فسیلی آنالیز زمین‌شیمیایی نشده‌اند. مطالعات پتروگرافی به‌وضوح نشان می‌دهد یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی، قطعات کربناته و فسیلی (احتمالاً مربوط به سازند قم) است که در نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی تا حدودی خطا ایجاد می‌کند؛ از این رو در این پژوهش تا جای ممکن از نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی فقط برای تأیید نتایج آنالیزهای پتروگرافی ماسه‌سنگ‌های بررسی شده استفاده شده است.

## سنگ‌منشأ

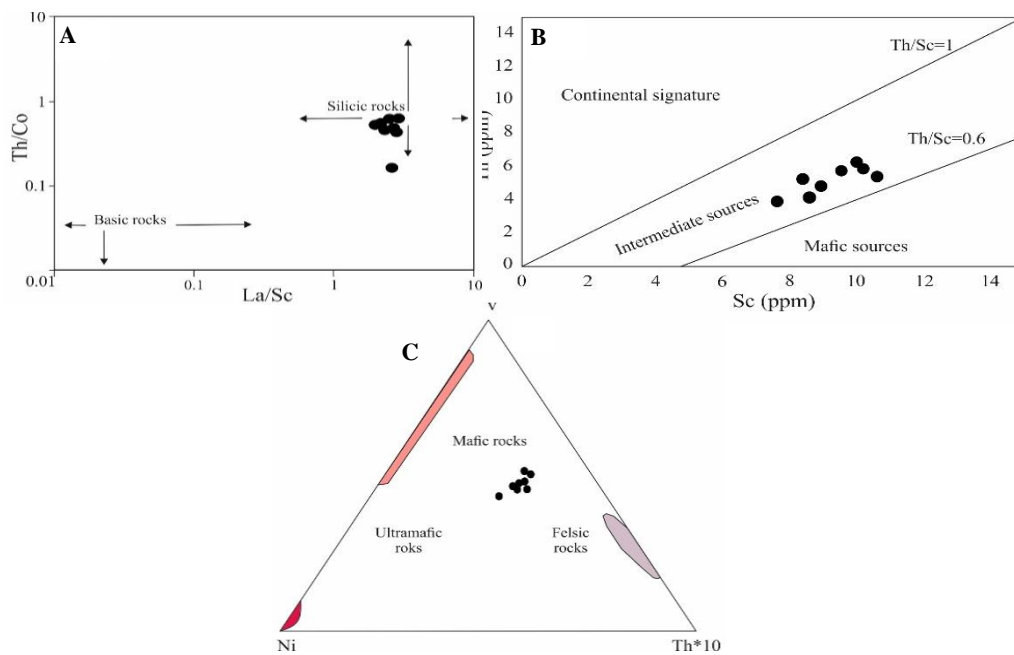
نمودار دوتایی La/Sc در برابر Th/Co برای درک اطلاعات سنگ‌منشأ سنگ‌های آواری بسیار مفید است (Cullers 2002)؛ بر این اساس ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه در محدوده سنگ‌های کاملاً سیلیسی قرار می‌گیرند که این امر نشان می‌دهد ماسه‌سنگ‌های بررسی‌شده عمدتاً با یک سنگ‌منشأ فلسیک تغذیه شده‌اند (شکل ۱۰. A). دو عنصر Th و Sc از فرایندهای رسوبی تأثیر نمی‌پذیرند؛ در نتیجه نسبت این دو عنصر نماینده خوبی برای شناخت سنگ‌منشأ است (Taylor and Maclennan 1985). نمودار Th در مقابل Sc (Maclennan et al. 1993) برای ماسه‌سنگ‌های منطقه قزلجه حاکی از آن است که منشأ عمده این سنگ‌ها، سنگ‌های آذرین حدواسط هستند (شکل ۱۰. B)؛ همچنین در نمودار مثلثی V-Ni-Th\*10 که در آن مناطق با ترکیب سنگ‌های اسیدی، بازی و فوق بازی مشخص شده است (Bracciali et al. 2007)، نمونه‌های بررسی‌شده نزدیک مناطق با منشأ آذرین حدواسط قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰. C).

لازم به توضیح است همان‌گونه که در مطالعات پتروگرافی نیز بیان شده، علاوه بر سنگ‌منشأ آذرین حدواسط که احتمالاً به توده‌های گرانیتی-گرانودیوریتی خاکستری‌رنگ در منطقه بررسی‌شده مربوط است، بخش بزرگی از اجزای تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های مطالعه‌شده را خرده‌سنگ‌های کربناته و به میزان کمتر خرده‌سنگ‌های دگرگونی تشکیل می‌دهد. این دو بخش احتمالاً با توجه به برون‌زد قابل ملاحظه سنگ آهک‌های سازند قم و دگرگونی‌های متعلق به سازند کهر در منطقه قزلجه، از این دو سازند تأمین شده‌اند و به همراه دیگر ذرات با منشأ آذرین حدواسط، قطعات اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی را در منطقه قزلجه واقع در شمال غرب زنجان تشکیل می‌دهند.

جدول ۳- نتایج آنالیزهای شیمیایی عناصر کمیاب و عناصر کمیاب خاکی (ppm) برای واحدهای ماسه‌سنگی منطقه قزلجه

**Table 3- Geochemical analysis of trace and rare earth elements (ppm) of sandstone units in the Ghezjeljeh area.**

Sample No	Am-B1	Am-11	Am-17	Am-31	Am-32	Am-34	Am-35	Am-6
Ag	4.7	31.6	2	26.4	61.7	2	0.4	84.3
As	2.9	3.1	17.2	4.1	21.8	3	4.2	9.8
Ba	576	699	215	322	321	488	479	515
Be	0.4	0.6	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4
Bi	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.3
Cd	0.6	0.2	39.2	0.6	1	0.1	0.1	0.4
Ce	47	34	42	41	48	48	44	33
Co	8.5	8.9	8.3	7.2	33.9	12.4	10.2	7.5
Cr	42	30	27	30	43	42	43	27
Cs	1.8	2.4	1.5	2	2	2.1	1.9	1.8
Cu	3276	1135	130	335	108	123	403	5%
Dy	3.03	2.32	2.65	2.53	2.87	2.8	2.8	2.25
Er	2.24	1.93	1.98	1.97	2.18	2.11	2.09	1.82
Eu	1.03	0.84	0.88	0.89	0.97	0.99	1.02	0.77
Gd	3.48	2.61	3.18	2.99	3.32	3.32	3.32	2.45
Hf	1.11	1.27	0.7	1	1.14	1.07	0.96	0.96
In	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
La	24	17	20	21	25	25	23	17
Li	19	24	21	21	21	23	21	16
Lu	0.24	0.20	0.21	0.21	0.24	0.23	0.23	0.19
Mn	999	663	1751	923	590	657	628	904
Mo	0.8	0.6	1.2	0.6	2.2	0.8	0.5	2
Nb	6.2	6.2	5.5	4.7	8.3	7.1	4.8	5.6
Nd	20.2	14.5	17.5	17	19.8	19.6	19.1	13.9
Ni	23	24	21	23	46	33	24	24
P	365	366	356	380	390	391	399	564
Pb	69	36	4700	25	21785	57	31	100
Pr	4.74	3.1	4.02	3.82	4.65	4.64	4.47	2.95
Rb	37	48	33	42	46	47	43	40
Sb	0.5	0.9	0.9	1	1.1	0.8	0.6	0.8
Sc	8.9	7.8	7.1	8.3	9.5	9.4	9.9	8
Se	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.57	0.52
Sm	4.12	3	3.63	3.35	3.88	3.91	3.92	2.84
Sn	1.4	1.6	1	1.2	1.2	1.4	1.6	0.8
Sr	397	446	227	358	453	413	424	1680
Ta	0.31	0.4	0.37	0.29	0.53	0.44	0.21	0.39
Tb	0.56	0.43	0.52	0.48	0.53	0.52	0.52	0.44
Te	0.1	0.12	0.1	0.12	0.1	0.12	0.1	0.14
Th	5.44	4.94	3.66	4.51	5.56	5.72	5.07	3.92
Ti	4017	2549	2730	2841	4429	3939	3779	2333
Tl	0.3	0.64	1.65	0.68	7.2	0.3	0.26	0.57
Tm	0.26	0.22	0.23	0.23	0.27	0.25	0.25	0.2
U	1.5	1.18	1.2	1.1	1.5	1.3	1.3	1.3
V	79	61	49	63	78	80	78	56
W	1	1	1	1	1	1	1	1
Y	14.9	12.1	13.4	13.3	15.2	14.5	14.1	11.5
Yb	1.5	1.3	1.4	1.4	1.6	1.6	1.5	1.2
Zn	96	93	19534	75	256	77	112	64
Zr	45	52	38	44	50	50	43	40



شکل ۱۰- نمودارهای تعیین منشأ ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی براساس عناصر فرعی؛ A. نمودار La/Sc در برابر Th/Co (Cullers 2002)؛ B. نمودار Sc در مقابل Th (MacLennan et al. 1993)؛ C. نمودار سه‌تایی V- Ni- Th\*10 (Bracciali et al. 2007)

**Fig 10- Diagrams show the origin of sandstones from Upper Red Formation based on trace elements, A) diagram of La/Sc vs. Th/Co (Cullers 2002). B) diagram of Sc vs. Th (MacLennan et al. 1993), C) V-Ni-Th\*10 diagram (Bracciali et al. 2007).**

عناصر قلیایی و قلیایی خاکی در مقابل فرایندهای هوازدگی، تعیین محیط تکتونیکی فقط براساس عناصر اصلی به دلیل تحرک این عناصر در طول فرایندهای هوازدگی و دگرسانی ممکن است موجب بروز خطا و ایجاد نتایج غیرواقعی شود (Cingolani et al. 2003). در سنگ‌های رسوبی آواری، عناصر فرعی مانند La, Th, Sc, Zr, Ti, Nb, Cs, Ni, V, Co, Y در شرایط هوازدگی، دیازنز و حتی فرایندهای دگرگونی درجه متوسط، بدون تغییر هستند و مقادیر اولیه آنها حفظ می‌شود (Bhatia and Crook 1986; MacLennan et al. 1993)؛ بنابراین عناصر فرعی یادشده، شاخص‌های خوبی برای تعیین منشأ و جایگاه زمین‌ساختی در سنگ‌های رسوبی آواری به شمار می‌روند (Bhatia and Crook 1986; MacLennan 2001).

باتیا و کروک (Bhatia and Crook 1986) برای تعیین محیط تکتونیکی از نمودارهای (La- Th- Sc) و (Th- Co- Zr/10) استفاده کردند. نتایج این ترسیم برای تمامی نمونه‌های بررسی شده در نمودار سه‌تایی La- Th- Sc، بیان‌کننده تشکیل آنها عمدتاً در داخل محیط‌های تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای

### جایگاه زمین‌ساختی

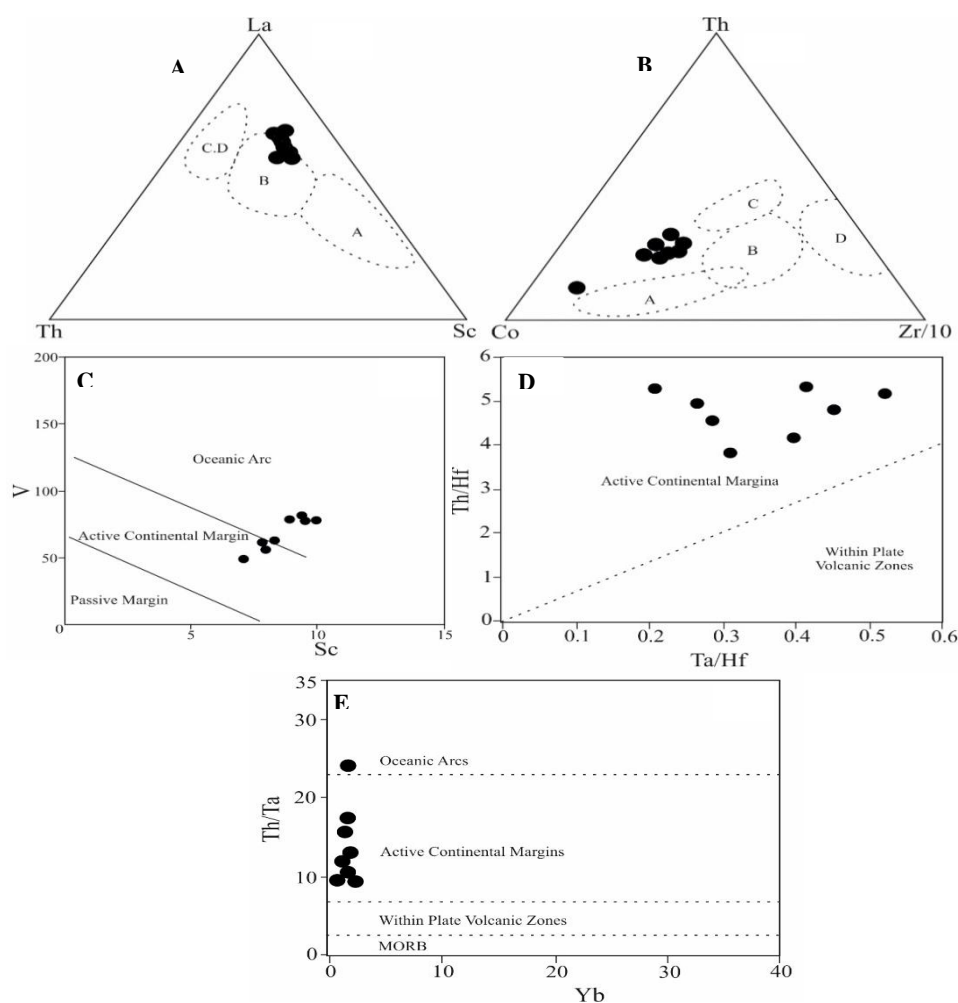
شرایط و جایگاه تکتونیکی تأثیر مستقیم بر ترکیب ماسه‌سنگ‌ها دارد؛ بنابراین استفاده از داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمی نشان می‌دهد هر جایگاه تکتونیکی، ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی متفاوتی دارد (Zaid and Gahtani 2015)؛ همچنین به گفته ورما و آرمسترانگ (Verma and Armstrong 2013) استفاده از ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها، ابزار سودمندی برای به‌دست‌آوردن جایگاه تکتونیکی است و از نمودارهای مختلف ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی برای تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های سیلیسی-آواری استفاده می‌شود.

جایگاه تکتونیکی، دو ویژگی بررسی نواحی خاص‌گاهی (شامل بلوک قاره‌ای، سیستم کمان‌های آتشفشانی و کمربندهای تصادمی) و بررسی نوع مرز بین صفحات (شامل حاشیه قاره‌ای غیرفعال یا ریفتی، حاشیه قاره‌ای فعال یا کوه‌زایی و حاشیه گسلی امتداد لغز) را شامل می‌شود (Dickinson and Suczek 1979; Dickinson et al. 1983; Garzanti and Vezzoli 2003; Garzanti et al. 2007). با توجه به ناپایداری

جزایر کمانی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱. C)؛ همچنین اسکاندل و گورتن (Schandl and Gorton 2002) برای تشخیص محیط تکتونیکی نمونه‌های بررسی‌شده، از نمودارهای دو متغیره  $Ta/Hf$  در مقابل  $Th/Hf$  و  $Yb$  در مقابل  $Th/Ta$  استفاده کرده‌اند. براساس این نمودارها، نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه مدنظر در محدوده حاشیه فعال قاره‌ای و محیط‌های فورلندی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱. D, E).

است (شکل ۱۱. A)؛ همچنین در نمودار  $Th-Co-Zr/10$ ، نمونه‌های بررسی‌شده، احتمالاً بیان‌کننده محیط تکتونیکی جزایر قوسی قاره‌ای است (شکل ۱۱. B) که با نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی همخوانی دارد.

با ترسیم نسبت  $Sc$  به  $V$  در نمودار دو متغیره‌ای که باتیا و کروک (Bhatia and Crook 1986) ارائه کردند، می‌توان جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌ها را تعیین کرد. براساس این نمودار، نمونه‌های بررسی‌شده در محدوده حاشیه فعال قاره‌ای و



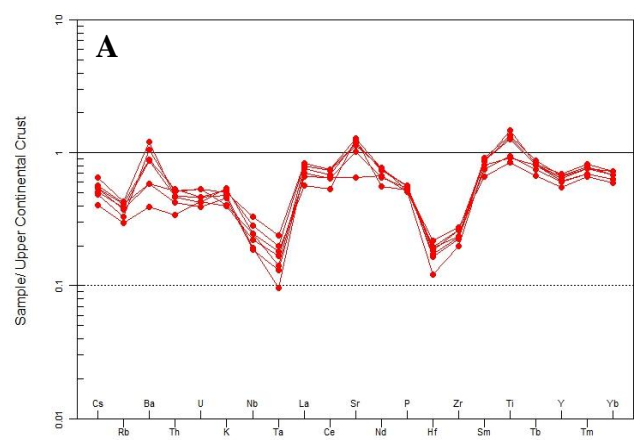
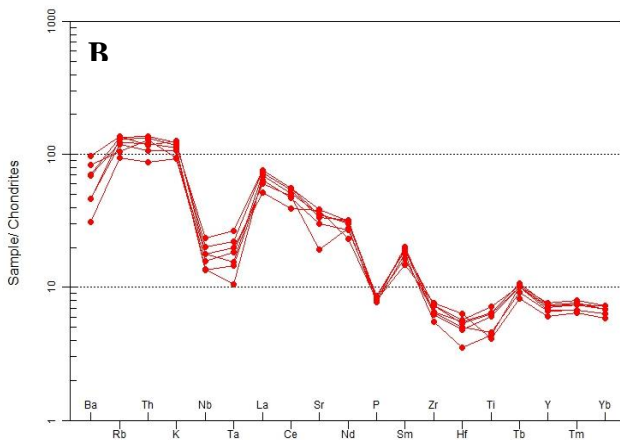
شکل ۱۱- نمودارهای تفکیک‌کننده محیط تکتونیکی براساس عناصر فرعی: (A) نمودار  $La-Th-Sc$ ؛ (B) نمودار  $Th-Co-Zr/10$ ؛ (C) نمودار  $Sc-V$ ؛ (D) نمودار  $Ta/Hf$  vs.  $Th/Hf$ ؛ (E) نمودار  $Yb$  vs.  $Th/Ta$  (Schandl And Gorton 2002).

شکل ۱۱- Tectonic discrimination diagrams based on trace elements: A) La-Th-Sc diagram and B) Th-Co-Zr/10 diagram (Bhatia and Crook 1986), oceanic island arc (A), continental magmatic arc (B), active continental margin (C), continental passive margin (D), C) diagram of Sc vs. V, (Bhatia and Crook 1986), D) diagram of Ta/Hf vs. Th/Hf, E) diagram of Yb vs. Th/Ta (Schandl And Gorton 2002).

کم بودن مقدار زیرکن در ماسه‌سنگ‌های تجزیه شده است. تهی‌شدگی در عناصر Nb و Ta نیز، دلیلی بر تشکیل سنگ منشأ این سنگ‌ها در یک محیط حاشیۀ فعال است (Rollinson 1997; Askren et al. 1993)؛ همچنین به هنجارسازی نمونه‌ها نسبت به کندریت (Thompson 1982)، تهی‌شدگی در عناصر Nb, Ta, Ti و P و غنی‌شدگی در K و Rb را نشان می‌دهند (شکل ۱۲. B). آسکارن و همکاران (Askren et al. 1997) معتقدند تهی‌شدگی Nb, Ti نشان‌دهندۀ تشکیل سنگ‌ها در محیط‌های حاشیۀ فعال قاره‌ای است؛ همچنین به عقیدۀ رولینسون (Rollinson 1993)، بی‌هنجاری منفی Nb، شاخص سنگ‌های قاره‌ای، نشان‌دهندۀ شرکت پوسته در فرایند ماگمایی است؛ افزایش Rb, K در نمونه‌های تجزیه شده نیز ممکن است به تشکیل کانی‌های رسی و سریسیت در آنها مربوط باشد.

### پراکندگی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی

مقایسه عناصر فرعی سنگ‌های رسوبی سازند قرمز بالایی با ترکیب پوستۀ قاره‌ای بالایی (Upper Continental Crust) نشان‌دهندۀ غنی‌شدگی در عناصر Ba, Sr, Ti و تهی‌شدگی در عناصر Ta, Nb, Hf است (شکل ۱۲. A). غنی‌شدگی در عنصر استرانسیموم به دلیل وجود کانی‌های سیلیکاتی، ماتریکس سنگ و واحدهای تبخیری است؛ همچنین غنی‌شدگی در عنصر باریم به وجود واحدهای تبخیری در منطقه مربوط است. غنی‌شدگی نسبت به Ti به دلیل وجود کانی‌های تیتانیوم‌دار در سنگ‌های بررسی شده و همچنین به دلیل فراوانی کم کانی زیرکن در نمونه‌های آنالیز شده (براساس مطالعات پتروگرافی ۱ درصد) و تهی‌شدگی در عنصر زیرکونیوم به دلیل کم بودن مقدار زیرکن در سنگ‌های تجزیه شده است. همچنین با توجه به اینکه کانی زیرکن میزبان خوبی برای Hf به شمار می‌آید، تهی‌شدگی Hf نیز، دلیلی بر



شکل ۱۲ - A) الگوی پراکندگی عناصر کمیاب براساس میانگین بخش بالایی پوستۀ قاره‌ای (Taylor and McLennan 1985)؛ B) الگوی پراکندگی عناصر کمیاب نسبت به کندریت (Thompson 1982)

**Fig 12- A) Upper continental crust normalized trace elements diagram (Taylor and McLennan 1995), B) Chondrite normalized trace elements diagram (Thompson 1982).**

ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه قزلجه واقع در شمال غرب زنجان، بیان‌کنندۀ جایگاه تکنونیک فعال و چرخه مجدد کوه‌زایی برای این رسوبات تخریبی است. لازم به توضیح است که درباره ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در شمال غرب زنجان، چندین پژوهش مختلف انجام

### نتیجه

منطقه بررسی شده که بخش کوچکی از نواحی شمالی فلات ایران را در پهنه برخوردی عربی- اوراسیا دربرمی‌گیرد، عمدتاً از نهشته‌های تخریبی مارنی و ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی تشکیل شده است. نتایج مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی

حدواسط منشأ گرفته‌اند که نشان‌دهنده حضور سنگ‌های فلسیک و حدواسط در منطقه است (همانند توده‌های گرانیتی و گرانودیوریتی خاکستری‌رنگ که رخنمون جالب توجهی در شمال غرب زنجان دارد)؛ همچنین ترسیم داده‌های ژئوشیمی عناصر فرعی عمدتاً معرف حاشیه فعال قاره‌ای برای این ماسه‌سنگ‌هاست که با نتایج پژوهش‌های پیشین درباره سازند قرمز بالایی همخوانی دارد. این مطالعات به‌طور کلی نشان می‌دهد منطقه پژوهش هنگام برخورد صفحه عربستان با اوراسیا، احتمالاً در یک جایگاه فورلندی قرار داشته و این تصادم سبب بالاآمدگی رسوبات منطقه، و افزایش روند فرسایش سبب تجمع رسوبات در حوضه‌های رودخانه‌ای و کولابی مطابق با محیط رسوب‌گذاری سازند قرمز بالایی شده است.

#### سپاسگزاری

پژوهش حاضر در راستای پایان‌نامه تحصیلات تکمیلی در دانشگاه زنجان است؛ بنابراین نویسندگان مقاله از حمایت‌های مادی و معنوی آن دانشگاه سپاسگزارند؛ همچنین نویسندگان از سردبیر محترم مجله و داوران محترم به دلیل ارائه نظرات سازنده که باعث غنای این مقاله شده است، سپاسگزارند.

#### References

- Aghanabati A. 1998. Major sedimentary and structural units of Iran (map). *Geosciences*, 7: 29-30.
- Aghanabati A. 2005. *Geology of Iran*. Geological survey of Iran. Tehran. Iran. 538 p.
- Alavi M. 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 103(8): 983-992.
- Armstrong-Altrin J. S. 2015. Evaluation of two multidimensional discrimination diagrams from beach and deep-sea sediments from the Gulf of Mexico and their application to Precambrian clastic sedimentary rocks. *International Geology Review*, 57(11-12): 1446-1461.
- Askren D. R. Roden M. F. and Whitney J. A. 1997. Petrogenesis of Tertiary andesite lava flows interlayered with large-volume felsic ash-flow

شده است؛ از جمله پژوهش‌های قویم و همکاران (Qhavam et al. 2018)، رجب‌زاده و همکاران (Rajabzadeh et al. 2017) و حقیقی (Haghighi 2017) که تمامی آنها نیز بیان‌کننده جایگاه تکتونیکی فعال در زمان نهشته‌شدن ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی است.

اجزای تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های بررسی‌شده در این پژوهش، عمدتاً خرده‌سنگ‌های رسوبی و دگرگونی درجه پایین و متوسط (اسلیت و فیلیت) احتمالاً متعلق به سازندهای کهر و اوایل پالئوزوئیک است. همراه با این قطعات رسوبی، حضور فسیل‌هایی به سن میوسن پیشین نیز احتمالاً بیان‌کننده منشأگرفتن بخشی از قطعات کربناته و آهکی موجود در سازند قرمز بالایی از رسوبات جوان‌تر متعلق به سازند قم است که در منطقه بررسی‌شده رخنمون جالب توجهی دارد و پس از فرسایشی، نقش سازنده‌ای در تشکیل قطعات آهکی و فسیلی (نابرجا) ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی داشته است. حضور این ذرات بیان‌کننده تشکیل این ماسه‌سنگ‌ها در یک حوضه تکتونیکی فورلندی و کمربندهای چین‌خورده و رورانده‌شده است. نتایج حاصل مشابه نتایج پژوهش‌های قویم و همکاران (Qhavam et al. 2018) و بالاتو و همکاران (Ballato et al. 2017) است که روی این نهشته‌ها در بخش‌های شمال غرب حوضه ایران مرکزی و منطقه زنجان انجام شده است.

با توجه به زمین‌شناسی منطقه پژوهش و پژوهش قویم و همکاران (Qhavam et al. 2018) درباره ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه ماه‌نشان، منشأ احتمالی این ماسه‌سنگ‌ها، کمپلکس‌های تکاب و سنگ‌های کربناته دامنه آن است که در منطقه پژوهش رخنمون جالب توجهی دارند؛ همچنین نتایج نقطه‌شماری ماسه‌سنگ‌های مطالعه‌شده برای بررسی شرایط آب‌وهوایی در منطقه نشان‌دهنده شرایط آب‌وهوایی خشک تا نیمه‌مرطوب است. این نتایج با مطالعات حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی، بیان‌کننده منشأگرفتن این سنگ‌ها از واحدهای دگرگونی و آذرین درونی است. براساس آنالیزهای ژئوشیمیایی، این ماسه‌سنگ‌ها از سنگ‌های اسیدی تا

- and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chemical Geology*, 191(4): 305-327.
- Dickinson W. R. and Suczek C. A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG Bulletin*, 63(12): 2164-2182.
- Dickinson W. R. Beard L. S. Brakenridge G. R. Erjavec J. L. Ferguson, R. C. Inman K. F. and Ryberg P. T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94(2): 222-235.
- Folk R. L. 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas, Hemphill, 159 P.
- Garzanti E. and Vezzoli G. 2003. A classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade. *Journal of Sedimentary Research*, 73(5): 830-837.
- Garzanti E. Doglioni C. Vezzoli G. and Ando S. 2007. Orogenic belts and orogenic sediment provenance. *The Journal of Geology*, 115(3): 315-334.
- Grantham J. H. and Velbel M. A. 1988. The influence of climate and topography on rock-fragment abundance in modern fluivial sands of the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina. *Journal of Sedimentary Research*, 58(2): 219-227.
- Guoqiang X. Shaonan Z. Zhongdong L. Laiang S. and Huimin L. 2007. Carbonate Sequence Stratigraphy of a BackArc Basin: A Case Study of the Qom Formation in the Kashan Area, Central Iran. *Acta Geologica Sinica*, 81: 488-500.
- Haghighi, A. 2017. *Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of ortasou Pb\_Zn deposit, NW Zanjan*. Msc Thesis, University of Zanjan, 140 p.
- Ingersoll R. V. and Suczek C. A. 1979. Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218. *Journal of Sedimentary Research*, 49(4): 1217-1228.
- Lotfi M. 2001. Geological map of Mahneshan, scale 1:100000, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- McLennan S. M. 2001. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2(4): 1-21.
- McLennan S. M. Hemming S. McDaniel D. K. and Hanson G. N. 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Special Papers-Geological Society of America*, p. 21.
- Nesbitt H. W. and Young G. M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299(5885): 715.
- tuffs of the western USA. *Journal of Petrology*, 38(8): 1021-1046.
- Augustsson C. and Bahlburg H. 2008. Provenance of late Palaeozoic metasediments of the Patagonian proto-Pacific margin (southernmost Chile and Argentina). *International Journal of Earth Sciences*, 97(1): 71-88.
- Bahtia M. R. and Crook K. A. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92(2): 181-193.
- Ballato P. Cifelli F. Heidarzadeh G. Ghassemi M. R. Wickert A. D. Hassanzadeh J. and Schmitt A. K. 2017. Tectono-sedimentary evolution of the northern Iranian Plateau: insights from Middle-Late Miocene foreland-basin deposits. *Basin Research*, 29(4): 417-446.
- Ballato P. Mulch A. Landgraf A. Strecker M.R. Dalconi M.C. Friedrich A. and Tabatabaei S.H. 2010. Middle to late Miocene Middle Eastern climate from stable oxygen and carbon isotope data, southern Alborz mountains, N Iran. *Earth and Planetary Science Letters*, 300: 125-138.
- Ballato P. Uba C. E. Landgraf A. Strecker M. R. Sudo M. Stockli D. F. ... and Tabatabaei S. H. 2011. Arabia-Eurasia continental collision: Insights from late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, northern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 123(1-2): 106-131.
- Bracciali L. Marroni M. Pandolfi L. Rocchi S. Arribas J. Critelli S. and Johnsson M. J. 2007. Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins. *Special Papers-Geological Society of America*, 420: 73.
- Chamley H. 1990. *Sedimentology*. Berlin: Springer-Verlag. 285 p.
- Cingolani C. A. Manassero M. and Abre P. 2003. Composition, provenance, and tectonic setting of Ordovician siliciclastic rocks in the San Rafael block: Southern extension of the Precordillera crustal fragment, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(1): 91-106.
- Cullers R. L. 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51(3): 181-203.
- Cullers R. L. 2002. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales

- Torkamani Kh. 2019. Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Goljik Pb- Zn, Cu mineralization (Zanjan). Msc Thesis, University of Zanjan, 145p.
- Velbel M. A. and Saad M. K. 1991. Palaeoweathering or diagenesis as the principal modifier of sandstone framework composition? A case study from some Triassic rift-valley redbeds of eastern North America. Geological Society, London, Special Publications, 57(1): 91-99.
- Verma S. P. and Armstrong-Altrin J. S. 2013. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. Chemical Geology, 355: 117-133.
- Von Eynatten H. 2004. Statistical modelling of compositional trends in sediments. Sedimentary Geology, 171(1-4): 79-89.
- Weltje G. J. 1994. Provenance and dispersal of sand-sized sediments: reconstruction of dispersal patterns and sources of sand-sized sediments by means of inverse modelling techniques Utrecht University, 121: 1-208.
- Whitmore G. P. Crook K. A. and Johnson D. P. 2004. Grain size control of mineralogy and geochemistry in modern river sediment, New Guinea collision, Papua New Guinea. Sedimentary Geology, 171(1-4): 129-157.
- Whitney D. L. and Evans B. W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95(1): 185-187.
- Zaid S. M. and Al Gahtani F. 2015. Provenance, diagenesis, tectonic setting, and geochemistry of Hawkesbury Sandstone (Middle Triassic), southern Sydney Basin, Australia. Turkish Journal of Earth Sciences, 24(1): 72-98.
- Pettijohn F. J. Potter P. E. and Siever R. 2012. Sand and sandstone. Springer, New York, NY. 553p.
- Qavim, N. Etemad-Saeed N. and Najafi M. 2018. Provenance of the Upper Red Formation sandstones in the Northern Mahneshan Basin. 4th Meeting of Sedimentological Society of Iran, 751-756.
- Rajabzadeh A. Kouhestani H. Mokhtari M.A. and Zohdi A. 2017. Provenance and tectonic setting of sandstone host rocks at Chehrabad deposit, Upper Red Formation (NW Zanjan). 3th Meeting of Sedimentological Society of Iran, 234-241.
- Rieser A. B. Neubauer F. Liu Y. and Ge X. 2005. Sandstone provenance of north-western sectors of the intracontinental Cenozoic Qaidam basin, western China: Tectonic vs. climatic control. Sedimentary Geology, 177(1-2): 1-18.
- Rollinson H. R. 1993. Using geochemical data: evaluation. Presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical. The University of Michigan. 384 p.
- Schandl E. S. and Gorton M. P. 2002. Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. Economic Geology, 97(3): 629-642.
- Suttner L. J. and Dutta P. K. 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I, Framework mineralogy. Journal of Sedimentary Research, 56(3): 329-345.
- Suttner L. J. Basu A. and Mack G. H. 1981. Climate and the origin of quartz arenites. Journal of Sedimentary Research, 51(4): 1235-1246.
- Taylor S. R. and McLennan S. M. 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publications, 312 p.
- Thompson R. N. 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. Scottish Journal of Geology, 18(1): 49-107.