



## Revision of the stratigraphic position of red deposits attributed to the Neogene in the north of Eshtehard, southwest of Alborz Province

Masoomeh Zaheri<sup>1</sup>, Behrouz Rafiei<sup>2\*</sup>, Reza Alipoor<sup>3</sup>

1. Ph.D., Department of Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2. Associate Professor, Department of Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

### Article info

#### Article history

Received: 29 December 2021

Accepted: 20 February 2023

#### Keywords:

Mineralogy,  
Neogene red deposits,  
Miocene,  
Eshtehard area,  
Central Iran.



### Abstract

Based on tectonic and sedimentological characteristics, Neogene deposits were chosen to review due to their high extent in the Eshtehard area (Alborz Province) and lack of previous information. These sediments were not determined in the area due to an indistinct lower boundary and the absence of the Qom Formation, and they were attributed to the Neogene. The clastic-evaporitic continental deposits in the north of Eshtehard, Mard Abad, Salt Mine and Rud Shur sections were divided into five sedimentary units ( $M_1$  to  $M_5$ ) based on facies and lithological characteristics. Lithological studies showed that the composition of the sediments of the  $M_1$  to  $M_4$  units is very different from that of the  $M_5$  unit. Field observations reveal an erosional unconformity between  $M_4$  and  $M_5$  units, and the salt dome has pierced  $M_4$  but has no effect on unit  $M_5$ . Comparing the Neogene units of the Eshtehard area with equivalent sedimentary deposits in the Avaj area, it seems that the deposits of the  $M_1$  to  $M_4$  units in the Eshtehard area are equivalent to the Upper Red Formation, and the  $M_5$  unit belongs to the Pliocene and suggests that it should be considered as a new formation.

### Introduction

Cenozoic sediments in the Central Iran Zone include Paleocene conglomerates, sandstones, and Eocene volcanic and limestone rocks. Then, the Oligocene continental sediments (Lower Red Formation) and Oligo-Miocene volcanic rocks and marine limestones (Qom Formation) were deposited (Aghanabati, 2004; Darvishzadeh, 2004). In this study, the sedimentological, lithological and structural characteristics of the Neogene deposits in the Eshtehard area were studied. Using these characteristics and comparing them with the upper red deposits in the Avaj area, Qazvin Province (Ahmadi-Ghomi, 2018), their stratigraphic position should be determined.

The Eshtehard area (about 120 km<sup>2</sup>) is located southwest of Karaj (north of the Eshtehard area), northwest of Central Iran, and south of Central Alborz structural zones. Eocene volcanic rocks with basalt to andesite (green tuffs, rhyolite, dacite to andesite compositions) cover the study area's southern hinterlands (Urmia-Dokhtar magmatic belt). The formations older than the Eocene are not observed around the study area (Mehdizadeh, 1995; Yousefi, 2000).

Two red beds (Lower and Upper Red Formations) are observed in the Central Iran Zone. These beds are poor in fossil content, and in the absence of the Qom Formation

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2023.8.2.105991>

\*Corresponding author: Behrouz Rafiei; E-mail: [b\\_rafiei@basu.ac.ir](mailto:b_rafiei@basu.ac.ir)

How to cite this article: Zaheri, M., Rafiei, B., Alipoor, R. 2023. Revision of the stratigraphic position of red deposits attributed to the Neogene in the north of Eshtehard, southwest of Alborz Province. Kharazmi Journal of Earth Sciences 8(2), 18-38. <http://doi.org/10.22034/KJES.2023.8.2.105991>



(Oligocene- Lower Miocene), these deposits have been named Neogene red beds (Aghanabati, 2004). In the study area, the Neogene red deposits comprise gypsiferous dark brown claystone, dark to light gray mudstone, and sandstone/conglomerate intercalated with reddish-brown claystone deposits. Therefore, the red deposits have been subdivided into five units (M<sub>1</sub> to M<sub>5</sub>) based on the lithofacies changes. The units M<sub>1</sub> and M<sub>3</sub> consist of an alternation of gypsiferous dark brown claystone with gray mudstone and gypsiferous light gray mudstone, respectively. The units M<sub>2</sub>, M<sub>4</sub> and M<sub>5</sub> are characterized by conglomerate/sandstone bodies interlayered with thin to thick reddish-brown claystone deposits.

#### Materials and Methods

Four sections of Mardabad, Eshtehard, Salt Mine and Rud Shur in the study area were selected. The structure of faults and folds was investigated by satellite images and field surveys. The composition and texture of the conglomerate were described following Pettijohn's (1975) classification. About 300-500 points were counted on the 18 thin sandstone sections, according to the Gazzi-Dickinson method (Ingersoll et al. 1984). Then, the studied sandstones were classified using Folk's method (Folk, 1974). The mineralogy of whole-rock powder (<2 μm) of 9 mudstone samples was studied by X-ray diffraction (XRD) at Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

#### Results

##### Petrology of conglomerates

Based on Pettijohn's (1975) classification, the Neogene conglomerates are mainly classified as polymictite conglomerates. They include volcanic rock fragments (andesite and calcareous tuff), low amounts of sedimentary fragments (sandstone, limestone and chert) and polycrystalline quartz. In the Mardabad and Eshtehard sections, the gray to red colored conglomerate deposits of M<sub>5</sub> and M<sub>2</sub> units

are characterized by high amounts of andesite-tuff and andesite-chert rock fragments, respectively.

##### Petrography of sandstone

In the sandstones of the M<sub>2</sub>, M<sub>4</sub> and M<sub>5</sub> units, volcanic (andesite and tuff) and sedimentary (limestone, sandstone and chert) rock fragments, feldspar (orthoclase and plagioclase), metamorphic rock fragments (slate), quartz (mono- and polycrystalline), heavy minerals (magnetite and hematite) and carbonate cement (calcite and dolomite) are the most abundant constituents, respectively. According to Folk's (1974) classification, the mineral compositions of M<sub>2</sub> to M<sub>4</sub> and M<sub>5</sub> sandstones are litharenite (volcarenite) (Q<sub>5</sub>F<sub>10</sub>RF<sub>85</sub>) and feldspathic litharenite (Q<sub>10</sub>F<sub>35</sub>RF<sub>55</sub>), respectively. The QtFL triangular plot of sandstone classification suggests that the sandstones of the M<sub>2</sub>, M<sub>4</sub>, and M<sub>5</sub> units were derived from the undissected arc and transitional arc provinces, respectively. In the QmFLt diagram, sandstone samples of M<sub>2</sub> and M<sub>4</sub> are plotted in the lithic recycled and undissected arc provenances. The sandstone samples of the unit M<sub>5</sub> are scattered on the subfields of undissected arc and transitional arc provenances.

##### Clay minerals

The X-ray diffraction (XRD) patterns (higher intensity peak in XRD chart) show that the selected claystone- mudstone samples from units M<sub>1</sub> to M<sub>4</sub> and M<sub>5</sub> are mainly composed of illite and chlorite, and illite, chlorite and smectite, respectively.

##### Salt domes

In the study area (particularly the salt mine section), the outcrops of high salt diapir, including large masses of evaporites and red claystone, were observed. Field observations reveal an erosional unconformity between M<sub>4</sub> and M<sub>5</sub> units, and the salt dome has pierced M<sub>4</sub> but has no effect on unit M<sub>5</sub>.

#### Discussion and Conclusion

According to the results, fundamental differences exist between the M<sub>1</sub> to M<sub>4</sub> and M<sub>5</sub> units. The different composition of gravels in the conglomerates, the difference in the amount of the main constituents of the sandstones and the clay mineralogy of the M<sub>5</sub> unit with the underlying units reflect the difference of rocks in the source area and gap sedimentation after the formation of the four lower units.

The clay mineral types may be caused by changes in sedimentary origin or climate conditions (Chamley, 1989). The presence of illite and chlorite in the M<sub>1</sub> to M<sub>4</sub> units and illite, chlorite and smectite in the mudstone samples of the M<sub>5</sub> unit indicate an arid to semi-arid climate, respectively. Smectite is an indicator of arid climatic conditions with the wet periods (Chamley, 1989), which probably corresponds to the semi-arid paleoclimatic conditions of the deposits of the M<sub>5</sub> unit.

Based on petrographic and field studies, the Neogene red deposits of the Eshtehard are equivalent to the Upper Red deposits of the Avaj area. Ahmadi-Ghomi et al. (2018) considered the M<sub>1</sub> unit in the Avaj area to be equivalent to the Upper Red Formation (located on the Qom Formation) and attributed the M<sub>2</sub> unit to the Pliocene. They suggested that the M<sub>2</sub> unit be introduced as a new formation.




Although no accurate dating data exists in this region, the M<sub>5</sub> unit in the Mardabad section might have been deposited in the Pliocene after the Atikan orogeny and

experienced the Pasadenian movements (2-1.8 Ma)

## References

- Aghanabati, S. A., 2004. Geology of Iran: Geological Survey of Iran, in Persian.
- Ahmadi-Ghomi, F., 2018. Tectonic provenance, depositional environment and sequence stratigraphy of the Upper Red Formation, Avaj area, Qazvin Province, Ph.D. thesis, Bu-Ali Sina University, in Persian.
- Ahmadi-Ghomi, F., Rafiei, B., Sadr, A.H., 2018. Revision of the Miocene Upper Red Formation in the Avaj-Abegarm area, west of Iran, Applied Sedimentology 6 (12), 40-61, in Persian.
- Chamley, H., 1989. Clay sedimentology, Springer, Verlag, 623 p.
- Darvishzadeh, A., 2004. Geology of Iran, Amirkabir Publications, Tehran, in Persian.
- Folk, R.L., 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182 p.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D., Sares, S.W., 1984. The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method, Journal of Sedimentary Petrology 54 (1), 103-116.
- Mahdizadeh, S., 1995. Explanatory text of the Karaj quadrangle map, Iran, Scale 1:100000. Geological Survey of Iran, in Persian.
- Pettijohn, F.J., 1975. Sedimentary rocks. 3rd edition. Harper and Row, New York, 628 p.
- Yousefi, M., 2000. Explanatory text of the Eshtehard quadrangle map, Iran. Scale 1:100000. Geological Survey of Iran, in Persian.

### ORCID iD authorship contribution statement

 Masoomeh Zaheri	Investigation, Writing - Original Draft, Formal analysis
 Behrouz Rafiei	Project administration Supervision Formal analysis Writing -Review & Editing
 Reza Alipoor	Supervision Formal analysis



## بازنگری موقعیت چینه‌نگاری رسوبات قرمز منتسب به نئوژن در شمال اشتهارد، جنوب غرب استان البرز

معصومه ظاهری<sup>۱</sup>، بهروز رفیعی<sup>۲\*</sup>، رضا علی‌پور<sup>۳</sup>

۱. دکتری رسوب‌شناسی و سنگ‌های رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>تاریخچه مقاله</b> دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱	نهشته‌های منتسب به نئوژن در منطقه اشتهارد گسترش زیاد دارند اما به دلیل فقدان داده‌های کافی جایگاه چینه‌شناسی مشخص ندارند. به همین منظور، ویژگی‌های تکتونیکی و رسوب‌شناسی این نهشته‌های قاره‌ای در چهار برش شمال اشتهارد، مردآباد، معدن نمک و رود شور بررسی شده است. مطالعه این رخساره‌ها منجر به شناخت و تفکیک پنج واحد رسوبی M <sub>1</sub> تا M <sub>5</sub> گردید. مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی کنگلومراها، ماسه-سنگ‌ها و کانی‌های رسی نشان داد که ترکیب رسوبات واحدهای M <sub>1</sub> تا M <sub>4</sub> با واحد M <sub>5</sub> تفاوت‌های زیادی دارد. مشاهدات میدانی نیز یک ناپیوستگی فرسایشی و گنبد نمکی در مرز بین واحدهای M <sub>4</sub> و M <sub>5</sub> را آشکار کرده است. مقایسه واحدهای نئوژن منطقه اشتهارد با نهشته‌های رسوبی معادل آن‌ها در منطقه آوج نشان می‌دهد که نهشته‌های واحدهای M <sub>1</sub> تا M <sub>4</sub> معادل سازند قرمز بالایی بوده و واحد M <sub>5</sub> مربوط به پلیوسن می‌باشد. از این رو پیشنهاد می‌شود که واحد M <sub>5</sub> تحت عنوان سازند جدیدی در نظر گرفته شود.
<b>واژه‌های کلیدی</b> کانی‌شناسی، نهشته‌های قرمز نئوژن، میوسن، منطقه اشتهارد، ایران مرکزی.	



### مقدمه

قرمز پایینی) و سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌آهک-های دریایی الیگومیوسن (سازند قم) رسوب‌گذاری کرده و رسوبات قاره‌ای سازند قرمز بالایی به سن میوسن پسین به صورت ناپیوسته بر روی آن‌ها نهشته شده است (Aghanabati, 2004; Darvishzadeh, 2004). نهشته‌های قرمز نئوژن در پهنه ساختاری ایران مرکزی دارای گسترش زیادی می‌باشند. پلیوسن در ایران مرکزی نیز شامل

فلات ایران شامل ۹ پهنه ساختاری البرز، کپه داغ، سنندج- سیرجان، زاگرس، زاگرس مرتفع، پیش‌ژرف زاگرس، زابل- بلوچ، مکران و ایران مرکزی است (Berberian and King, 1981). رسوبات سنوزویک در پهنه ایران مرکزی با کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های پالتوسن شروع می‌شود و با سنگ‌های آتشفشانی و آهکی ائوسن ادامه می‌یابد. پس از آن رسوبات قاره‌ای الیگوسن (سازند

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2023.8.2.105991>

\*نویسنده مسئول: بهروز رفیعی [b\\_rafiiei@basu.ac.ir](mailto:b_rafiiei@basu.ac.ir)

استناد به این مقاله: ظاهری، م.، رفیعی، ب.، علی‌پور، ر. (۱۴۰۱) بازنگری موقعیت چینه‌نگاری رسوبات قرمز منتسب به نئوژن در شمال

اشتهارد، جنوب غرب استان البرز. مجله علوم زمین خوارزمی. جلد ۸، شماره ۲، صفحه ۱۸ تا ۳۸

<http://doi.org/10.22034/KJES.2023.8.2.105991>



این کنگلومرا سنگ‌های ولکانیک ائوسن و گرانیت الیگوسن با میان لایه‌هایی از ماسه، سیلت و رس می‌باشد (Mehdizadeh, 1995; Yousefi, 2000). در منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های قاره‌ای تخریبی-تبخیری قرمز رنگ از دیدگاه خاستگاه تکتونیکی، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکansı مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Zaheri et al., 2021; Zaheri, 2020). تاکنون بر روی این نهشته‌ها از نظر سنی و موقعیت چینه‌شناسی مطالعات دقیقی صورت نگرفته است. به منظور بررسی و بازنگری یک سازند یا واحد، بایستی تمام شواهد رسوب‌شناسی و تکتونیکی آن را مد نظر قرار داد (Nichols, 2009). بنابراین ویژگی‌های رسوب‌شناسی، سنگ‌شناسی و ساختاری واحدهای رسوبی نهشته‌های نئوژن منطقه اشتهارد مورد مطالعه قرار گرفت تا با استفاده از این خصوصیات و نیز با مقایسه آن‌ها با رسوبات شناخته‌شده قرمز بالایی در منطقه آوج، استان قزوین، موقعیت چینه‌شناسی آن‌ها مشخص گردد.

#### موقعیت زمین‌شناسی

گستره مورد مطالعه با وسعت حدود ۱۲۰ کیلومتر مربع در ۶۳ کیلومتری جنوب‌باختری کرج، در بخش‌های شمال و خاور شهرستان اشتهارد واقع شده است (شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در حاشیه شمال‌باختری پهنه ایران مرکزی و جنوب پهنه البرز مرکزی قرار دارد. در این محدوده نهشته‌های قرمز نئوژن توسط گسل راندگی شمال اشتهارد، به شکل ناپیوسته بر روی واحدهای آتشفشانی ائوسن قرار می‌گیرند (Mehdizadeh, 1995; Yousefi, 2000). سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ترکیب بازالت تا آندزیت

رسوبات کنگلومرای، آتشفشانی و سنگ‌آهک‌های دریاچه‌ای است (Bolourchi, 1978; Stocklin, 1968). سازند قرمز بالایی طی فعالیت کوهزایی آتیکان چین خورده و تحت تأثیر گسل‌ها، بریده شده است. پس از فاز کوهزایی آتیکان و قبل از پاسادنین از فرسایش شدید بلندی‌ها، حجم قابل توجهی از نهشته‌های کنگلومرای تشکیل گردید که به طور هم‌شیب یا دگرشیب، سازندهای قدیمی‌تر را می‌پوشانند. در این نهشته‌ها فسیل کمیاب بوده ولی به دلیل داشتن مرز مشخص و ناگهانی با دگرشیبی خیلی ملایم با سازند قرمز بالایی (میوسن بالایی) و چین‌خوردگی قابل توجه، می‌توان سن آن را پلیوسن دانست (Aghanabati, 2004). منطقه اشتهارد در استان البرز، یکی از مناطق کمتر شناخته‌شده پهنه ساختاری ایران مرکزی است. نهشته‌های قاره‌ای قرمز رنگ در این منطقه رخنمون وسیعی دارند. در این منطقه نهشته‌های تخریبی-تبخیری قرمز رنگ نئوژن به گونه‌ای ناپیوسته بر روی واحدهای ولکانیک ائوسن جای می‌گیرند. این نهشته‌ها هم‌ارز سازند قرمز بالایی‌اند که در ایران مرکزی ستبرایی نسبتاً زیادی دارند و مرکز حوضه آن احتمالاً در کویر بزرگ ایران مرکزی بوده است. بر اساس مطالعات اولیه، نهشته‌های تخریبی-تبخیری قرمز رنگ به واحدهای Mmsl, Mm, g, Mrsh, Ms, g, Msh و تقسیم شده‌اند (Mehdizadeh, 1995; Yousefi, 2000). نهشته‌های پلیو-کواترنر نیز با دگرشیبی نسبتاً زیاد روی رسوبات نئوژن جای گرفته و شامل کنگلومرای سخت‌نشده تا کمی سیمانی است. جنس قلوه‌های

شامل تناوبی از نهشته‌های کنگلومرای- ماسه- سنگی در تناوب با رس‌سنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای نازک تا ضخیم لایه می‌باشند (شکل ۲).

### مواد و روش‌ها

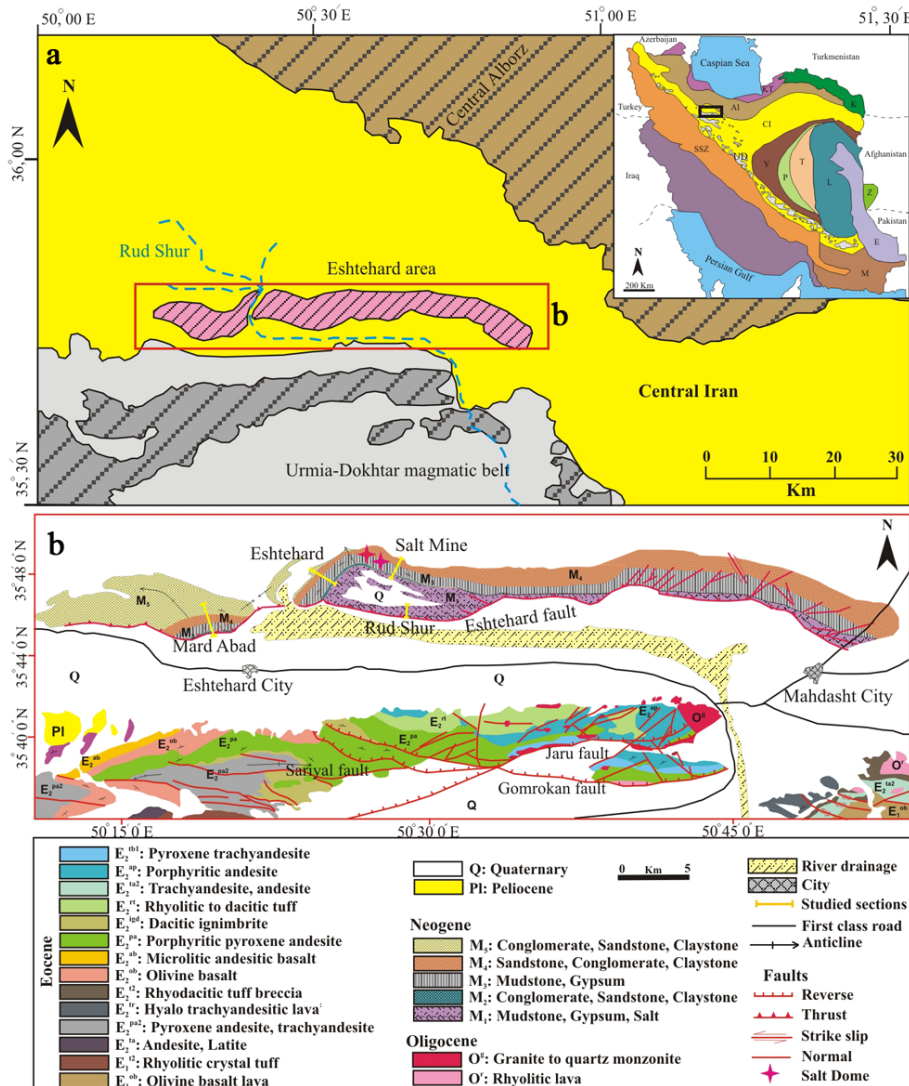
طی بررسی و مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی اشتهاورد و کرج و تصاویر هوایی منطقه، چهار برش مردآباد، اشتهاورد، معدن نمک و رود شور انتخاب شدند (شکل ۱-b). ساختار گسل‌ها و چین‌ها توسط تصاویر ماهواره‌ای و جمع‌آوری اطلاعات صحرایی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری با توجه به تغییر رخساره‌ها انجام شد. سنگ‌های آواری دانه- درشت (کنگلومراها) براساس طبقه‌بندی پتی‌جان (Pettijohn, 1975)، به روش شمارش در صحرا (جهت تعیین جنس و بافت دانه‌ها) توصیف شدند. مطالعه ۳۰ مقطع نازک تهیه‌شده از نمونه‌های ماسه‌سنگی (ریز، متوسط و درشت‌دانه) توسط میکروسکوپ پلاریزان، جهت تعیین شاخص‌های ترکیبی و بافتی، صورت گرفت. تعداد ۵۰۰-۳۰۰ دانه بر روی ۱۸ مقطع نازک به روش نقطه‌شماری گزی- دیکینسون شمارش گردید (Ingersoll et al., 1984). سپس ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه با تعیین درصد فراوانی اجزای اصلی تشکیل‌دهنده، توسط طبقه‌بندی فولک (Folk, 1974) نام‌گذاری شدند. جهت مطالعه کانی‌شناسی رس‌ها (به تعداد ۹ نمونه)، ۳۰ گرم نمونه گل‌سنگی پس از حذف ژپیس (چندین مرحله شستشو با آب مقطر)، توسط الک تر جدا شدند و پس از آماده‌سازی (Moore and Reynolds, 1997) از بخش رسی جداشده مقاطع رسی جهت‌یافته تهیه گردید. سپس بر روی

(توف‌های سبز، گاهی متمایل به آبی و کرم رنگ با ترکیب ریولیتی، داسیتی تا آندزیتی) نیز ارتفاعات جنوبی منطقه مورد مطالعه را که بخشی از کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر می‌باشد، پدید آورده است به طوری که سازندهای قدیمی‌تر از ائوسن در اطراف منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود (Mehdizadeh, 1995; Yousefi, 2000). در سنوزوئیک ایران مرکزی دو سری از لایه‌های قرمز وجود دارد. سری اول مربوط به الیگوسن بوده و تحت عنوان سازند قرمز پایینی یاد می‌شود و سری دوم مربوط به میوسن- پلیوسن بوده که آن را سازند قرمز بالایی نامیده‌اند. این لایه‌ها از نظر محتوای فسیلی فقیر بوده و در صورت نبود سازند قم این لایه‌ها را با عنوان لایه‌های قرمز نئوژن نام‌گذاری کرده‌اند (Aghanabati, 2004).

توالی‌های نئوژن منطقه مورد مطالعه با رخساره‌های قاره‌ای تخریبی و تبخیری با ضخامت کمی بیش از هزار متر تشخیص داده شدند که بر اساس بیشترین فراوانی به ترتیب از نهشته‌های گل‌سنگی (خاکستری روشن تا تیره) / رس‌سنگی (قرمز تا قهوه‌ای) همراه با ژپیس و رس‌سنگ‌های قرمز و قهوه‌ای با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای تشکیل شده‌اند. برای سهولت در تفکیک و تحلیل نهشته‌های مورد مطالعه، بخش‌های دارای سنگ‌شناسی متفاوت با عنوان واحدهای  $M_1$  تا  $M_5$  نام‌گذاری شده‌اند. به طوری که واحدهای  $M_1$  و  $M_3$  به ترتیب شامل رس‌سنگ‌های قهوه‌ای تا قرمز و گل‌سنگ‌های خاکستری روشن تا تیره ژپیس‌دار بوده و واحدهای  $M_2$ ،  $M_4$  و  $M_5$  نیز

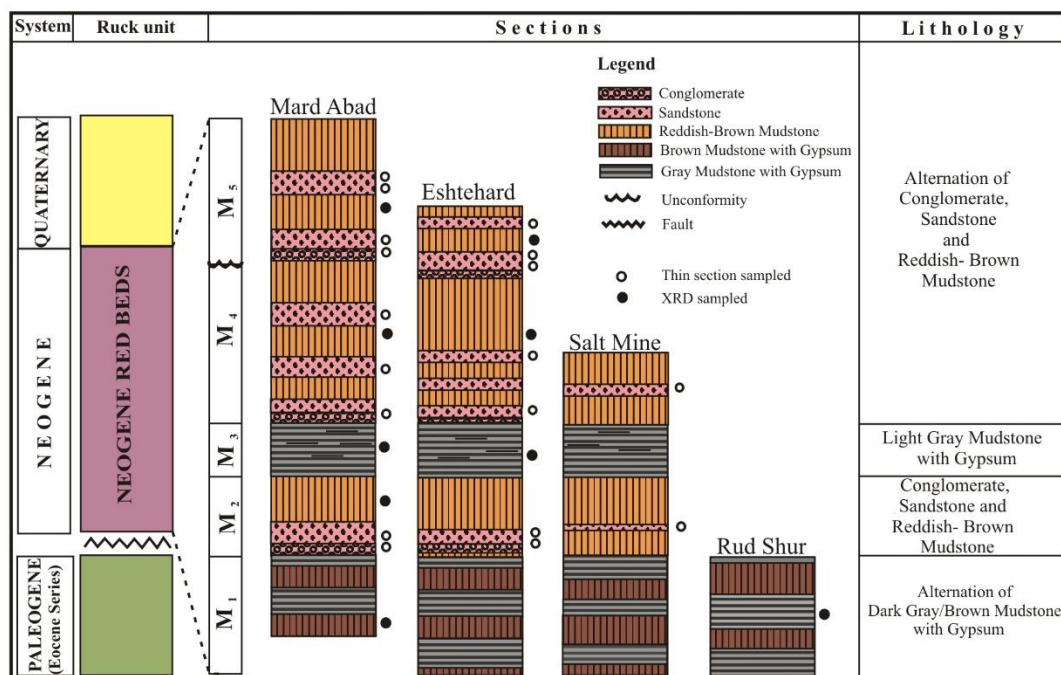
بوعلی سینا با دستگاه XRD مدل Italstructures و تحت شرایط (  $\text{Cu } \alpha, 40 \text{ kV}, 30 \text{ mA}, 2\text{-}70^\circ$  ) مورد آنالیز پراش اشعه ایکس قرار گرفتند.

هر نمونه رسی خشک‌شده در دمای معمولی، تیمار اشباع با کلرید منیزیم و اتیلن گلیکول انجام شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه گروه زمین‌شناسی دانشگاه



شکل ۱- نقشه منطقه اشتهدارد و برش‌های چینه‌ای در شمال غرب زون ساختاری ایران مرکزی. (a) نقشه ساده شده از پهنه‌های ساختاری ایران (Berberian and King, 1981) که موقعیت منطقه اشتهدارد با چهارگوش قرمز مشخص شده است، (b) نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده بخش شمالی شهر اشتهدارد (ترسیم مجدد با اقتباس از: Mehdi-zadeh, 1995; Yousefi, 2000) همراه با موقعیت چهار برش مورد مطالعه.

Fig. 1. Location map of the Eshtehard area and measured stratigraphic sections in the NW of Central Iran Structural Zone. a) Iran map showing the structural zones (Berberian and King, 1981) (Rectangle shows the location of the Eshtehard area), and b) Simplified geological map of the northern part of Eshtehard city (Mehdi-zadeh 1995; Yousefi 2000) with the location of the four measured sections.



شکل ۲- ستون چینهننگاری سنگی ساده شده از توالی‌های نئوژن در چهار برش مورد مطالعه (ضخامت بدون مقیاس) همراه با پنج واحد سنگ‌شناسی مجزا ( $M_5$  تا  $M_1$ ) با پراکندگی نهشته‌های کنگلومرایی، ماسه‌سنگی و گل‌سنگ / رس‌سنگی. موقعیت هر چهار برش در شکل ۱-ب، نشان داده شده است.

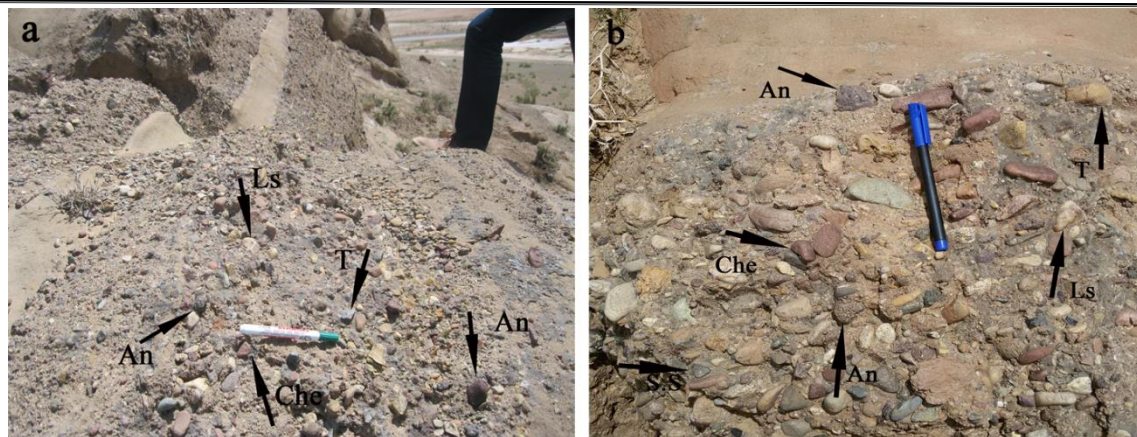
Fig. 2. Simplified lithostratigraphic columns of the Neogene deposits in the four study sections in the Eshtehard area (thickness not to scale). Five distinct lithology units ( $M_1$  to  $M_5$ ) are displayed (see Fig. 1b for locations of sections).

## نتایج

### سنگ‌شناسی کنگلومراها

به‌طور کلی کنگلومراهای نئوژن منطقه مورد مطالعه بر اساس جنس قطعات سنگی با عنوان کنگلومراهای چند منشایی نام‌گذاری شده‌اند (Pettijohn, 1975) که شامل خرده‌های آتشفشانی (آندزیت و توف آهکی)، مقادیر کم خرده‌های رسوبی (ماسه‌سنگ، آهک و چرت) و کوارتز چند بلورین هستند (شکل ۳-ا، ب). قابل ذکر است که در برش‌های مردآباد و اشتهداد نهشته‌های کنگلومرایی خاکستری رنگ واحد  $M_5$ ، با مقادیر بالاتری از آندزیت و توف و نهشته‌های قرمز رنگ کنگلومرایی واحد  $M_2$  با مقادیر بالایی از آندزیت و چرت مشخص می‌شوند (شکل ۳-ا، ب).

اندازه قطعات تشکیل‌دهنده نهشته‌های کنگلومرایی در برش‌های مردآباد و اشتهداد از چند میلی‌متر تا حداکثر ۸ سانتی‌متر تغییر می‌کنند. بر اساس مقیاس پاورس (Powers, 1953) قطعات کنگلومرایی عموماً نیمه زاویه‌دار تا گردش‌دگی خوب بوده و از نظر شکل قطعات نیز از حالت هم‌بعد تا تیغه‌ای (Zingg, 1953) در تغییر است (شکل ۳-ا، ب). همچنین جورشدگی نهشته‌های کنگلومرایی نیز از خوب تا ضعیف در تغییر بوده که خود به نحوه رسوبگذاری قطعات وابسته است (Boggs, 2009).



شکل ۳- جنس و ویژگی‌های بافتی کنگلومراهای واقع در منطقه مورد مطالعه. (a) کنگلومرای واحد M<sub>5</sub> و (b) کنگلومرای واحد M<sub>2</sub> در برش مردآباد، (An: آندزیت، T: توف، Ls: خرده آهکی، Che: چرت).

Fig. 3. Compositional and textural characteristics of conglomerates located in the study area. a) M<sub>5</sub> unit and, b) M<sub>2</sub> unit conglomerate in the Mardabad section (An: Andesite, T: Tuff, Ls: limestone, Che: Chert).

### سنگ‌نگاری ماسه‌سنگ‌ها

کاملاً مجزا دسته‌بندی نمود. مبنای این دسته‌بندی، تفاوت بارز در مقادیر ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها است. به طوری که نمونه‌های ۱ الی ۷ مربوط به واحد M<sub>5</sub> و نمونه‌های ۸ الی ۱۸ مربوط به واحدهای M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> می‌باشند. در نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد M<sub>5</sub> مقادیر کوارتز تک‌بلورین بین ۳/۵۲ تا ۹/۳۳ درصد، کوارتز چند بلورین بین ۱/۱۷ تا ۸ درصد، ارتوکلاز بین ۱۵/۵۷ تا ۲۹/۷ درصد، پلاژیوکلاز بین ۸ تا ۱۴/۱۱، خرده‌سنگ آتشفشانی بین ۲۲/۳۵ تا ۵۲/۳۸ درصد، خرده‌سنگ رسوبی بین ۱/۱۷ تا ۹/۴۱ درصد، خرده‌سنگ دگرگونی بین ۱ تا ۲۱/۱۷ درصد، کانی‌های تیره بین ۱ تا ۳ درصد و سیمان کربناته بین ۲ و ۷ درصد مشخص است (جدول ۱). در نمونه‌های واحد M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> نیز مقادیر کوارتز تک-بلورین بین ۱/۲۳ تا ۵ درصد، کوارتز چند بلورین بین ۱/۱۷ تا ۲/۷۱ درصد، ارتوکلاز بین ۴/۸۴ تا ۷/۸۹ درصد، پلاژیوکلاز بین ۳/۵۲ تا ۷/۵۱، خرده-سنگ آتشفشانی بین ۶۶/۲۵ تا ۸۲/۵۵ درصد،

براساس شواهد سنگ‌نگاری و تحلیل مدال، ماسه‌سنگ‌های واحدهای M<sub>2</sub>، M<sub>4</sub> و M<sub>5</sub> از سه برش مردآباد، اشتهارد و معدن نمک به ترتیب فراوانی از خرده‌سنگ‌های آذرین بیرونی (آندزیت و توف)، رسوبی (خرده آهکی، ماسه‌سنگ و چرت)، فلدسپات (ارتوکلاز و پلاژیوکلاز)، خرده‌سنگ دگرگونی (اسلیت)، کوارتز (تک‌بلورین و چندبلورین)، کانی‌های سنگین تیره (مگنتیت و هماتیت) و سیمان‌های کربناته (کلسیتی و دولومیتی) تشکیل شده است (جدول ۱) (شکل ۴- a-h). تخلخل در نمونه‌ها بیشتر ثانویه بوده که توسط انحلال سیمان کلسیتی- دولومیتی (وجود بقایایی از سیمان انحلال یافته در فضاهای خالی) و نیز تجزیه دانه‌های ناپایدار ایجاد شده‌اند (شکل ۴- a, b, e, f, g). نتایج دانه شماری (مدال) نمونه‌های ماسه‌سنگی نئوژن منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه را می‌توان به دو دسته

مقادیر  $(Q_5F_{10}RF_{85})$   $M_4$  و  $(Q_5F_{11}RF_{84})$  دارای مقادیر فراوان خرده‌های سنگ‌های آتشفشانی، مقادیر کم فلدسپات و کوارتز بوده در حالی که در نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد  $M_5$   $(Q_{10}F_{35}RF_{55})$  مقدار خرده-سنگ کاهش زیادی داشته و کوارتز و فلدسپات افزایش نسبتاً زیادی را نشان می‌دهند.

خرده‌سنگ رسوبی بین ۱/۱ تا ۷/۵۶ درصد، خرده-سنگ دگرگونی بین ۱/۱۷ تا ۱/۷۴ درصد، کانی‌های تیره بین ۱ تا ۳ درصد، سیمان کربناته بین ۲/۶ و ۱۲ درصد در تغییر است (جدول ۱). براساس داده-های دانه‌شماری (جدول ۱) مشخص گردید که متوسط ترکیب نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد  $M_2$

جدول ۱- ترکیب مدال و شاخص‌های QFL ماسه‌سنگ‌های نئوژن اشتهدارد.

Table 1. Modal composition and QFL indices of the Eshtehard Neogene sandstones.

Unit	Qm	Qp	K	P	Ls		Lv	Lm	Op	Cem	Qt% (Qm+Qp)	F% (K+P)	RF% (Ls+Lv+Lm)	Lt% (RF+Qp)
					Lss	Lc								
$M_5$	7.00	5.77	32.94	8.23	1.17	1.17	22.35	21.17	2.00	2.00	13.00	41.00	46.00	51.77
	5.95	3.59	15.57	11.90	3.47	3.57	52.38	3.57	3.00	3.00	9.54	27.47	62.99	66.58
	3.52	2.35	21.17	14.11	9.41	12.94	34.11	2.35	1.00	5.00	5.87	35.28	58.81	61.16
	5.60	4.20	22.20	9.62	4.31	6.72	44.53	2.82	0.00	3.00	9.80	31.82	58.38	62.58
	6.12	1.76	18.89	10.37	4.81	9.24	47.81	1.00	2.00	7.00	7.88	29.26	62.86	64.62
	9.33	8.00	25.33	8.00	6.66	8.00	25.39	2.60	0.00	4.00	17.00	35.00	48.00	56.00
	4.59	3.29	29.70	11.49	4.49	5.74	34.48	6.89	0.00	4.00	7.88	41.19	51.57	54.86
<b>Mean</b>	<b>6.01</b>	<b>4.13</b>	<b>23.68</b>	<b>10.53</b>	<b>4.90</b>	<b>6.76</b>	<b>37.29</b>	<b>5.77</b>	<b>2.00</b>	<b>4.00</b>	<b>10.13</b>	<b>34.43</b>	<b>55.51</b>	<b>59.65</b>
$M_4$	5.00	2.50	5.00	7.50	7.50	6.25	66.25	0.00	1.00	6.00	7.50	12.50	80.00	82.50
	3.52	2.35	5.88	3.52	3.61	4.70	76.44	0.00	0.00	7.00	5.87	9.40	84.75	87.10
	1.23	2.46	6.17	7.40	11.11	3.74	66.66	1.23	2.0	5.00	3.69	13.57	82.74	85.20
	2.50	0.00	7.79	5.35	4.97	4.13	75.26	0.00	3.00	6.00	2.50	13.14	84.36	84.36
	4.15	1.68	5.80	3.94	7.56	5.31	69.82	1.74	2.00	3.00	5.83	9.74	84.43	88.58
	2.39	2.27	4.84	3.76	5.94	2.57	74.80	0.00	1.00	2.60	4.66	9.60	85.55	87.97
$M_2$	2.32	0.00	5.81	4.65	3.48	1.19	82.55	0.00	0.00	4.00	2.32	10.46	87.22	87.22
	5.26	1.31	7.89	5.26	1.31	6.61	72.36	0.00	2.00	12.00	6.57	13.15	80.28	81.59
	2.69	2.71	6.50	5.61	4.92	2.37	76.63	1.17	0.00	7.00	5.40	12.11	83.92	86.63
	4.00	1.17	6.00	7.51	1.10	0.00	80.30	0.00	1.00	10.00	5.17	11.51	81.40	85.40
	3.10	1.37	5.66	4.15	3.96	2.37	77.49	0.00	1.00	4.00	4.47	10.81	84.82	86.19
<b>Mean</b>	<b>3.28</b>	<b>1.62</b>	<b>6.12</b>	<b>5.33</b>	<b>5.04</b>	<b>3.92</b>	<b>74.41</b>	<b>1.38</b>	<b>1.62</b>	<b>6.05</b>	<b>4.90</b>	<b>11.45</b>	<b>83.58</b>	<b>85.70</b>

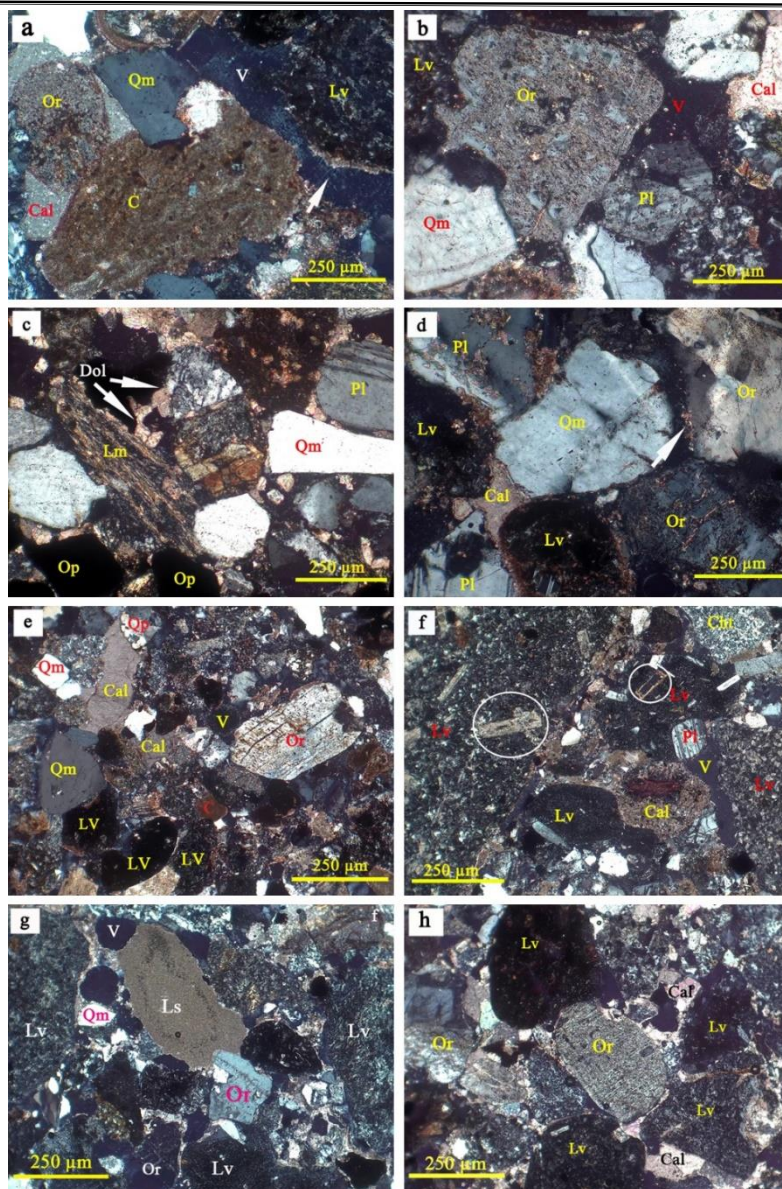
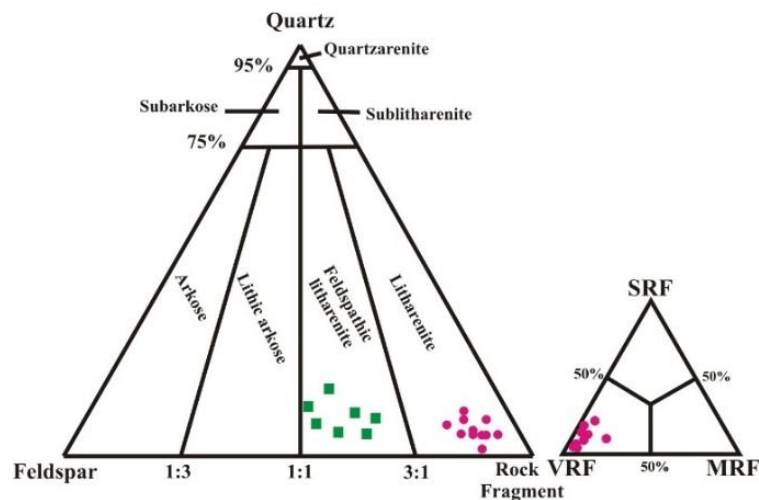


Fig. 4. Sandstone photomicrographs of the units M<sub>5</sub> (a-d) and M<sub>2</sub> and M<sub>4</sub> (e-h) in the study area (a-d). (Qm: monocrystalline quartz; Qp: polycrystalline quartz; Or: Orthoclase; Pl: Plagioclase; Lv: volcanic fragments; Ls: Sediment fragments; Lm: Metamorphic fragments; Cht: Chert; Op: Opaque; Cal: Calcite; Dol: Dolomite; V: Void).

فلدسپاتیک لیتارنایت و با توجه به فراوانی خرده سنگ‌های آتشفشانی با عنوان فلدسپاتیک ولکارنایت نام‌گذاری شدند (شکل ۵).

بنابراین بر پایه داده‌های جدول ۱ و استفاده از نمودار مثلثی فولک (Folk, 1974) نمونه‌های ماسه‌سنگی واحدهای M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> در محدوده ولکارنایت و نمونه‌های واحد M<sub>5</sub> در محدوده

شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌های نئوژن منطقه اشتهارد. شکل‌های a, b, c, d, از نمونه‌های واحد M<sub>5</sub> و شکل‌های e, f, g, h نیز از نمونه‌های واحد M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> می‌باشند. خرده آتشفشانی (Lv)، خرده رسوبی آهکی (Ls)، چرت (Cht)، خرده دگرگونی (Lm)، کوارتز تک‌بلور (Qm)، کوارتز چند بلور (Qp)، پلاژیوکلاز (Pl) و ارتوکلاز (Or) همراه با هوازدگی شیمیایی (سریستی شدن)، خرده کربناته (C)، کانی‌های تیره (Op)، سیمان‌های آهکی (Cal) (پیکان سبز) و دولومیتی (Dol) (پیکان سفید)، تخلخل (V) همراه با آثار سیمان انحلال یافته و داخل خرده‌های آتشفشانی (دوایر سفید).



شکل ۵- ترکیب نمونه‌های ماسه‌سنگی واحدهای  $M_2$  و  $M_4$  (مربع‌های سبز) و واحد  $M_5$  (دوایر قرمز) براساس نمودار سه‌تایی (QFR) (Folk, 1974). (Q: سه‌تایی مجموع کوارتز، F: مجموع دانه‌های فلدسپار، R: مجموع خرده‌های سنگی).

Fig. 5. Mineralogical classification of units  $M_2$  to  $M_4$  (green squares) and  $M_5$  (red circles) sandstones based on QFR diagram (Folk, 1974). (Q: total quartz; F: feldspars; R: rock fragments).

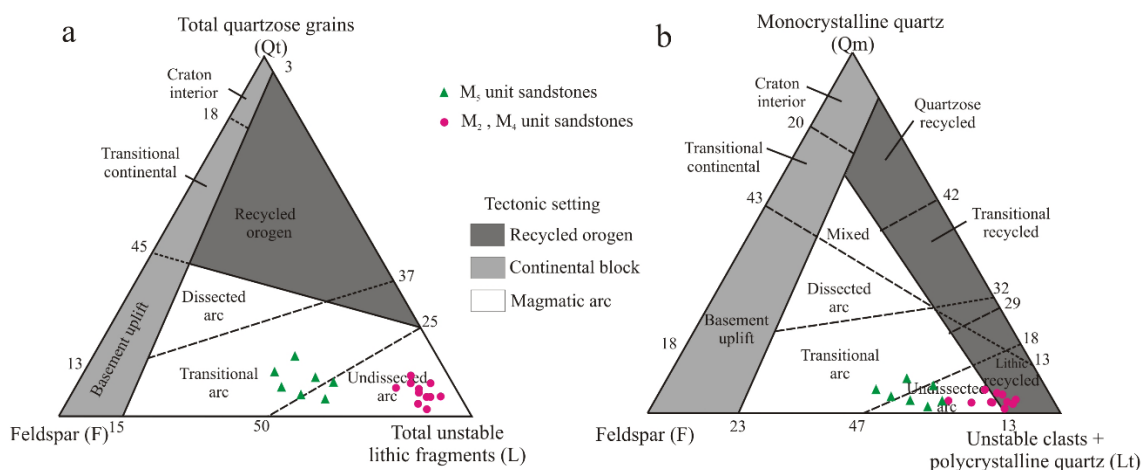
جزئی به سوی کوارتز، نشان می‌دهد (شکل ۶- a، b).

نمودار QtFL (Dickinson, 1985) نشان می‌دهد بخشی اعظم رسوبات مورد مطالعه حاصل حمل رسوبات در منطقه پیش کمائی هستند. رسوبات حاصل از فرسایش کمائی ماگمایی مقدار زیادی خرده‌سنگ‌های آتشفشانی تولید می‌کنند که با فرسایش و بالآمدگی بیشتر کمائی ماگمایی، ریشه کمائی تشکیل شده از سنگ‌های نفوذی رخنمون می‌یابد و بر مقدار فلدسپات و کوارتز افزوده می‌شود و در کل روندی را از رأس کمائی تفکیک نشده به سوی کمائی تفکیک شده (فرسایش یافته) نشان می‌دهند. چنانچه در نمودار QmFLt نیز مشاهده می‌شود بخش کوچکی از نمونه‌ها در محدوده چرخه مجدد خرده‌سنگی و بخشی دیگر در محدوده کمائی تفکیک نشده تا گذرا، قرار می‌گیرند (شکل ۶- b) که این امر را می‌توان به وجود فراوان خرده‌سنگ‌های آتشفشانی

### سنگ‌نگاری و موقعیت تکتونیکی

با رسم نتایج دانه‌شماری ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه بر روی نمودار QtFL (Dickinson, 1985) مشخص گردید که کل نمونه‌ها در محدوده کمائی ماگمایی قرار می‌گیرند. به طوری که نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد  $M_2$  و  $M_4$  در محدوده کمائی ماگمایی تفکیک نشده (فرسایش نیافته) و نمونه‌های واحد  $M_5$  در محدوده کمائی ماگمایی گذرا واقع شده‌اند (شکل ۶- a). در حالی که در نمودار QmFLt نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد  $M_2$  و  $M_4$  در محدوده‌های چرخه مجدد رسوبات حاصل از کوهزایی و کمائی تفکیک نشده، و نمونه‌های واحد  $M_5$  نیز در محدوده کمائی تفکیک نشده تا گذرا قرار می‌گیرند (شکل ۶- b). به طور کلی رسم نتایج دانه‌شماری ماسه‌سنگ‌های سه واحد  $M_2$ ،  $M_4$  و  $M_5$  بر روی دو نمودار مذکور، روندی را از قطب خرده‌سنگ به قطب فلدسپات با مقدار جابه‌جایی

(آندزیتی و توف)، دگرگونی (اسلیت) و رسوبی (آهکی) در نمونه‌های واحد  $M_2$  و  $M_4$  نسبت داد (شکل ۴- e, f, g, h).



شکل ۶- رسم نتایج حاصل از دانه شماری ماسه‌سنگ‌های نئوژن گستره اشتهداد بر روی نمودارهای تعیین خاستگاه، (a) نمودارهای QtFL و (b) QmFLt (Dickinson, 1985). دایره‌های سرخ نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد  $M_2$  و  $M_4$  و مثلث‌های سبز نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد  $M_5$  را نشان می‌دهد.

Fig. 6. Standard triangular diagrams for detrital modes of the Eshtehard sandstones, a) QtFL and b) QmFLt plots (Dickinson, 1985). The red circles and green squares show  $M_2$ - $M_4$  and  $M_5$  sandstone samples, respectively.

نقل و رسوب‌گذاری باشد (Suttner and Dutta, 1986).

حضور لایه‌های ژئپسی در واحدهای زیرین ( $M_4$  تا  $M_1$ ) و نبود تبخیری در واحد  $M_5$  نیز تأییدکننده این تغییرات آب و هوایی است.

### کانی‌های رس‌ها

گل‌سنگ‌ها و رس‌سنگ‌ها دارای بیشترین فراوانی در نهشته‌های مورد مطالعه هستند (شکل ۲). از این رو ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های گل‌سنگی/رس‌سنگی برداشت‌شده از واحدهای  $M_1$  تا  $M_5$ ، به صورت مقاطع رسی جهت‌یافته، با دستگاه پراش اشعه ایکس مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج آنالیز مقاطع رسی جهت‌یافته بدون تیمار (خشک-شده در هوای معمولی)، تیمار شده با کلرید منیزیم و اتیلن گلیکول برداشت‌شده از واحدهای  $M_1$  تا

### سنگ‌نگاری و آب و هوای دیرینه

برای تحلیل شرایط آب و هوای دیرینه براساس نتایج دانه‌شماری و درصد اجزای اصلی تشکیل‌دهنده نمونه‌های ماسه‌سنگی، از نمودار ساتنر و داتا (Suttner and Dutta, 1986) استفاده گردید (شکل ۷). چنانچه مشخص است، نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد  $M_2$  و  $M_4$  در محدوده شرایط آب و هوایی خشک و نمونه‌های واحد  $M_5$  تا حدودی در محدوده شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک قرار می‌گیرند. در بررسی‌های سنگ‌نگاری، فقدان یا کم بودن مقدار زمینه، حضور سیمان کربناتی (کلسیت و دولومیت) (شکل ۴) و فراوانی مجموع خرده-سنگ‌ها، می‌تواند تأییدی برای حاکم بودن شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه خشک در زمان حمل و

تا  $M_4$  شامل ایلیت و کلریت است در حالی که در نمونه واحد  $M_5$  کانی‌های رسی ایلیت، کلریت و اسمکتیت حضور دارند (شکل ۸- a, b).

$M_5$ ، از نظر محتوای رسی تفاوت مشخصی نشان می‌دهند. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، کانی رسی اصلی در نمونه‌های واحدهای  $M_1$

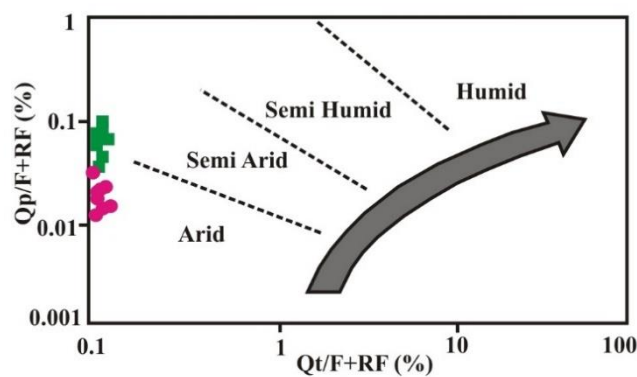


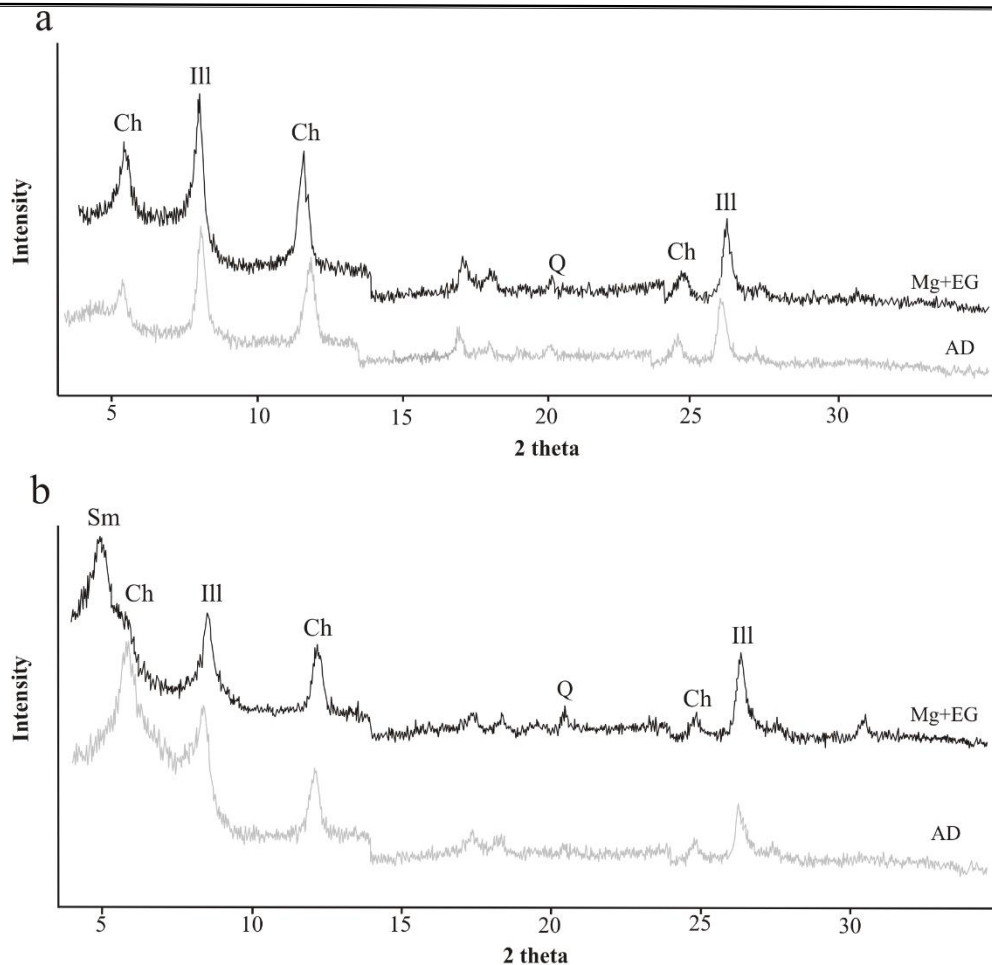
Fig. 7. Bivariate log/log plot of the ratio of  $Q_p/F+RF$  vs.  $Q_t/F+RF$  shows arid to semi-arid climates for the studied sandstones (Suttner and Dutta, 1986). The red circles and green squares are as in Fig. 6.

شکل ۷- نمودار دومتغیره لگاریتمی (Suttner and Dutta, 1986)، آب و هوای خشک تا نیمه‌خشک را برای ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. دوایر سرخ و مربع‌های سبز به مانند شکل ۶ می‌باشند.

موجود در گسل‌های راستالغز اصلی تشکیل شده‌اند. به طور مثال دیاپیر کوه نمک قم یکی از این یکی از این نمونه‌ها می‌باشد که نتیجه خروج نمک از یک دیاپیر واکنشی بوده که در یک خم رهایی خیزش نموده است (Talbot and Aftabi, 2004). همچنین وجود نهشته‌های تبخیری در سازندهای قم و قرمز بالایی را به عنوان منشأ این دیاپیرها دانسته‌اند (Darvishzadeh, 2004).

#### دیاپیرهای نمکی

نهشته‌های نمکی سنوزویک در ایران مرکزی به دو منشأ متفاوت نسبت داده شده‌اند (Jackson et al., 1990). نهشته‌های قدیمی مربوط به ائوسن بالایی و سازند قرمز پایینی، و نهشته‌های جدیدتر مربوط به سازند قرمز بالایی. تعدادی از دیاپیرهای نمکی در حوضه قم با منشأ سازندهای سرخ زیرین و بالایی (الیگوسن و میوسن) در خم‌های رهایی



شکل ۸- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های رسی جهت‌یافته، (a) رس سنگ واحد M4 و (b) رس سنگ واحد M5. (اختصارات: Ill: ایلیت، Ch: کلریت، Sm: اسمکتیت، Q: کوارتز، AD: بدون تیمار (خشک‌شده در هوای معمولی)، Mg+EG: تیمار اشباع با کلرید منیزیم+ اتیلن گلیکول).

Fig. 8. X-ray diffraction patterns of oriented clay samples of mudstone from a) unit M4 and b) unit M5 (Ill: Illite, Ch: Chlorite, Sm: Smectite, Q: Quartz, AD: Air-dried, Mg+EG: ethylene glycol solvated samples saturated with MgCl<sub>2</sub>).

قسمت بالایی توسط نهشته‌های رس‌سنگی سرخ رنگی پوشیده شده است (شکل ۹-b، c). همچنین چشمه‌های آب شور در اطراف دیاپیر (شکل ۹-d) دیده می‌شوند. بررسی موقعیت دیاپیر بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی (شکل ۱ ب) و مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که این دیاپیر از نوع واکنشی است و با قرار گرفتن در راستای گسل اشتهاارد و کشش محلی ایجاد شده در راستای این گسل

در منطقه مورد مطالعه و به ویژه در اطراف برش معدن نمک، رخنمونی از دیاپیر نمکی شامل توده-های بزرگی از تبخیری‌ها و رس‌سنگ‌های سرخ دیده می‌شود که از مناطق مجاور مرتفع‌تر هستند. این دیاپیر به طور وسیعی نهشته‌های سرخ نئوژن را قطع نموده و باعث بهم‌ریختگی نظم چینه‌شناسی و ساختمانی منطقه شده‌اند. قسمت اصلی و درونی دیاپیر از نمک تشکیل شده است (شکل ۹-a) و

این دیاپیرها در منطقه وجود ندارد و تنها واحدهای  $M_1$  تا  $M_4$  توسط این‌ها بریده شده‌اند.

تشکیل شده است. در ایجاد دیاپیر نمکی در محدوده برش معدن نمک نقش اساسی داشته است. هیچ شاهدهی از قطع رسوبات واحد  $M_5$  توسط



شکل ۹- تصاویر صحرایی از دیاپیرهای نمکی در اطراف برش معدن نمک، (a) بخش داخلی دیاپیرنمکی، (b) بخش بالایی دیاپیر نمکی (دید به سمت شمال غرب)، (c) نمای نزدیک از بخش بالایی دیاپیر نمکی (دید به سمت جنوب غرب) و (d) چشمه‌های آب شور اطراف دیاپیرهای نمکی (دید به سمت غرب).

Fig. 9. Field photographs of salt diapirs around the Salt Mine section. a) inner part of the salt diapir, b) upper part of the salt diapir (northwest view), c) close-view of the upper part of the salt diapir (southwest view), and d) saltwater springs around salt diapirs (west view).

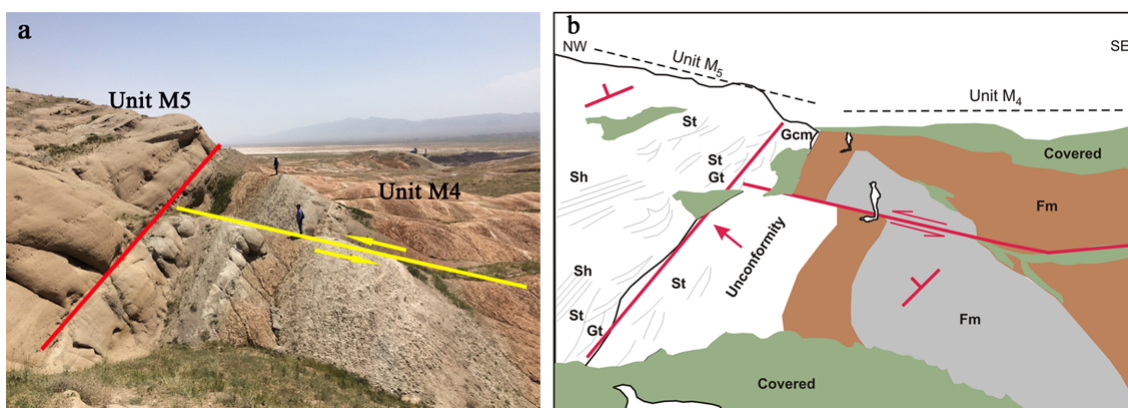
بیشترین ضخامت را نسبت به سایر واحدهای رسوبی دارا بوده و رخنمون آن از برش مردآباد به سوی برش‌های اشتهاارد و معدن نمک (روند جنوب‌باختری- شمال‌خاوری) به علت پوشیدگی و فرسایش کاهش می‌یابد (شکل ۱- b). به طوری که در برش شمال اشتهاارد این واحد در محل طاق‌دیس اشتهاارد فرسایش یافته و در برش معدن نمک یا با نهشته‌های کواترنری به طور کامل پوشیده شده یا

#### ارتباط واحدهای $M_4$ و $M_5$

نهشته‌های نئوژن منطقه اشتهاارد به ۵ واحد رسوبی تقسیم‌بندی شده است که بیشترین ضخامت آن در برش مردآباد حدود ۴۰۰ متر اندازه‌گیری شده است. مرز بین واحدها همگی مشخص بوده و تغییر سنگ‌شناسی به وضوح قابل مشاهده است. هیچ نبود رسوب‌گذاری عمده بین واحدهای  $M_1$  تا  $M_4$  مشاهده نشده است. واحد رسوبی  $M_5$

عمود بر امتداد لایه‌ها مشاهده می‌شوند که لایه‌های قدیمی (واحد M<sub>4</sub> و قدیمی‌تر از آن) را قطع نموده و آن‌ها را تا سطح ناپیوستگی جابجا کرده‌اند. با وجود شیب (NE) و امتداد (NW) تقریباً مشابه لایه‌های رسوبی واحدهای M<sub>4</sub> و قدیمی‌تر و واحد M<sub>5</sub>، این گسل‌ها به سمت لایه‌های بالاتر (واحد M<sub>5</sub>) ادامه پیدا نکرده‌اند (شکل ۱۰- a, b).

کلاً وجود ندارد. واحد رسوبی M<sub>5</sub> همانند واحدهای رسوبی M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> در قاعده شامل نهشته‌های کنگلومرای- ماسه‌سنگی با ضخامت و گسترش جانبی زیاد بوده اما با مرز ناپیوستگی بر روی واحد رسوبی M<sub>4</sub> رسوبگذاری کرده است (شکل ۱۰- a, b). این ناپیوستگی به دلیل شیب تقریباً یکسان لایه‌های واحد M<sub>5</sub> و لایه‌های زیرین به خوبی مشاهده نمی‌شود. گسل‌های کوچک چپگرد تقریباً



شکل ۱۰- تصویر صحرایی از مرز ناپیوستگی مابین واحدهای رسوبی M<sub>4</sub> و M<sub>5</sub> در برش مردآباد، (a) واحد رسوبی M<sub>5</sub> که توسط یک مرز ناپیوستگی فرسایشی (خط قرمز) بر روی رس‌سنگ‌های (Fm) واحد رسوبی M<sub>4</sub> ته‌نشست یافته است (دید به سمت جنوب خاور). (b) تصویر شماتیک از عکس صحرایی الف. (واحد رسوبی M<sub>4</sub> توسط گسل خوردگی جابجا شده اما واحد M<sub>5</sub> فاقد هر گونه جابجایی است).

Fig. 10. Field photographs of the unconformity boundary between the sedimentary units M<sub>4</sub> and M<sub>5</sub> in the Mard Abad section. a) sedimentary unit M<sub>5</sub> was deposited on unit M<sub>4</sub> by an erosional unconformity boundary (red line) (east-ward view). b) schematic illustration of field photograph b. (Sedimentary layers of unit M<sub>4</sub> are displaced by faulting, but there is no movement in unit M<sub>5</sub>).

چین خوردگی احتمالی و گسل خوردگی، واحد M<sub>5</sub> با اختلاف زمانی زیاد بر روی واحد زیرین رسوب‌گذاری نموده است. مهدی‌زاده (Mehdizadeh, 1995) و یوسفی (Yousefi, 2000) نیز بیان کردند که در میوسن- پلیوسن جنبش‌های زمین ساختی سبب چین خوردگی نهشته‌های تخریبی و تبخیری نئوژن شده است و کنگلومرای پلیو- کواترنری به گونه‌ای ناهمساز و با

## بحث

با توجه به نتایج سنگ‌شناسی و تکتونیک به دست آمده از بررسی نهشته‌های نئوژن منطقه اشتهارد به نظر می‌رسد تفاوت اساسی بین ۴ واحد زیرین (M<sub>1</sub> تا M<sub>4</sub>) و واحد فوقانی (M<sub>5</sub>) وجود داشته باشد. حضور یک مرز ناپیوسته نشان از یک وقفه رسوب‌گذاری پس از تشکیل ۴ واحد زیرین داشته و پس از اعمال فرآیندهای تکتونیک مانند

و نیز افزایش در مقدار خرده‌سنگ‌های دگرگونی در ماسه‌سنگ‌های واحد  $M_5$  (جدول ۱) را می‌توان به فرسایش عمیق مجموعه‌های کمان ماگمایی نسبت داد (Dickinson, 1985).

نتایج آنالیز XRD نیز تفاوتی را بین محتوای کانی‌های رسی در واحدهای پایین ناپیوستگی (واحد  $M_4$  و قدیمی‌تر) با واحد بالایی (واحد  $M_5$ ) نشان می‌دهد (شکل ۸-a, b). نمونه‌های رسی واحد  $M_5$  دارای کانی‌های رسی ایلیت، کلریت و اسمکتیت بوده در حالی که در واحدهای زیر ناپیوستگی (واحدهای  $M_1$  تا  $M_4$ )، تنها کانی‌های رسی ایلیت و کلریت مشاهده گردید (شکل ۸-a, b). قابل ذکر است که تفاوت در نوع کانی رسی ممکن است بر اثر تغییر منشأ رسوبی یا تغییر در شرایط آب و هوایی به وجود آید (Chamley, 1989). حضور کانی‌های رسی ایلیت و کلریت در نمونه‌های گل‌سنگی واحدهای  $M_1$  تا  $M_4$  و ایلیت، کلریت و اسمکتیت در نمونه‌های گل‌سنگی واحد  $M_5$ ، نتیجه را از شرایط آب و هوایی دیرینه خشک به نیمه‌خشک سوق می‌دهد. کانی رسی اسمکتیت شاخص شرایط آب و هوایی خشک با فصول مرطوب می‌باشد (Chamley, 1989) که احتمالاً با شرایط آب و هوایی دیرینه نیمه‌خشک در زمان رسوب-گذاری واحد  $M_5$  مطابقت دارد. با توجه به تیزی پیک‌های نمودار اشعه ایکس نیز تغییر شرایط قابل مشاهده است. در نمونه رسی واحدهای قدیمی‌تر (شکل ۸-a)، پیک ایلیت و کلریت کشیده‌تر و تیزتر می‌باشد و بیانگر درجه تبلور بیشتری است. اما در نمونه رسی متعلق به واحد  $M_5$ ، پایه پیک مربوط به

دگرشیبی زاویه‌ای زیاد روی واحدهای قرمز رنگ نئوژن را می‌پوشاند. این اتفاق احتمالاً طی فاز آتیکان در پلیوسن روی داده است. البته ایشان واحد  $M_5$  را به نئوژن نسبت داده‌اند.

تغییر در نوع جنس گراول‌های موجود در کنگلومراها، تفاوت در مقدار اجزای اصلی تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها و تفاوت در کانی‌شناسی رسی واحد  $M_5$  با واحدهای زیرین همگی شواهدی در تأیید این اتفاقات و تغییر سنگ‌شناسی می‌باشند. تفاوت در سنگ منشأ و نیز تفاوت آب و هوایی در زمان ته‌نشست هر بخش می‌تواند عامل اصلی ایجاد این اختلاف‌ها باشد. در واحدهای  $M_2$  و  $M_4$ ، نهشته‌های کنگلومرایی با رنگ قرمز تیره با مقادیر فراوان خرده‌سنگ‌های آندزیتی و توف و با مقدار کم خرده‌های رسوبی و کوارتز مشخص است. در حالی که در واحد  $M_5$ ، نهشته‌های کنگلومرایی به رنگ خاکستری بوده که علاوه بر فراوانی خرده‌های آندزیتی، دارای مقادیر بیشتری از خرده‌های رسوبی و کوارتز می‌باشند. همچنین طبق شواهد سنگ-نگاری و استفاده از طبقه‌بندی فولک (Folk, 1974) رخساره‌های ماسه‌سنگی واحدهای  $M_2$  و  $M_4$  ولکارنایتی بوده ولی نهشته‌های ماسه‌سنگی واحد  $M_5$  از نوع فلدسپاتیک لیتارنایت هستند (شکل ۴). ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در واحدهای  $M_2$  و  $M_4$  دارای نسبت بسیار بالای خرده‌سنگ‌های آتشفشانی به خرده‌های رسوبی و نیز مقدار نسبتاً بالای پلاژیوکلاز به ارتوکلاز مشخص می‌باشند (جدول ۱)، که حاکی از سنگ منشأ آتشفشانی با خاستگاه تکتونیکی کمان ماگمایی می‌باشند (Dickinson, 1985). در حالی که پایین آمدن مقادیر نسبت P/K

نزدیکی یکدیگر قرار دارند، می‌توان گفت که نهشته‌های  $M_1$  تا  $M_4$  احتمالاً معادل سازند قرمز بالایی هستند که در بیشتر قسمت‌های پهنه ایران مرکزی گسترش دارند. واحد  $M_5$  نیز که با طور ناپیوسته بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند معادل واحد  $M_2$  منطقه آوج در نظر گرفته شده است.

بنابراین با توجه به نبود داده‌های سن‌سنجی و با تکیه بر شواهد تکتونیکی (وجود مرز ناپیوستگی بین واحدهای  $M_4$  و  $M_5$ ) و رسوب‌شناسی (تفاوت در ترکیب کنگلومراها، ماسه‌سنگ‌ها و نوع کانی‌های رسی) می‌توان احتمال داد که واحد رسوبی  $M_5$  در برش مردآباد، پس از کوهزایی آتیکن و در زمان پلیوسن رسوب‌گذاری کرده باشد.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، واحد رسوبی  $M_5$  در برش اشتهاارد از نظر سنی با بقیه واحدهای رسوبی متفاوت بوده که از جمله شواهد این ادعا می‌تواند به موارد زیر اشاره کرد:

- بر اساس نتایج مطالعه سنگ‌شناسی نهشته‌های مورد مطالعه، نوع و فراوانی گراول‌ها در کنگلومرای موجود در واحدهای  $M_2$  و  $M_4$  با کنگلومرای واحد  $M_5$  متفاوت هستند.

- نمونه‌های ماسه‌سنگی واحدهای  $M_2$  و  $M_4$  از نوع ولکارنایت و نمونه‌های واحد  $M_5$  از نوع فلدسپاتیک لیتارنایت هستند. با رسم نتایج نقطه-شماره ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه بر روی مثلث QtFL مشخص گردید که نمونه‌های واحد  $M_2$  و  $M_4$  در محدوده کمان ماگمایی تفکیک نشده و نمونه‌های واحد  $M_5$  در محدوده کمان ماگمایی گذرا واقع شده‌اند. در حالی که در مثلث QmFLt

این کانی‌ها بازتر شده که نشان‌دهنده هوازگی بیشتر و درجه تبلور کمتر هستند.

از طرفی نفوذ توده‌های نمکی به صورت دیاپیر در سازند قرمز بالایی از مناطق مختلف مانند آوج، آذربایجان، قم و سمنان گزارش شده است (Aghanabati, 2004). در منطقه اشتهاارد نیز دیاپیر نمکی رسوبات واحدهای  $M_1$  تا  $M_4$  را بریده و به سطح رسیده‌اند، اما اثری از این دیاپیر در واحد  $M_5$  دیده نمی‌شود (شکل ۱-b). به دلیل اینکه سنگ‌های دربرگیرنده دیاپیر نمکی، رس‌سنگ‌های سرخ و خاکستری می‌باشد (شکل ۹)، احتمال می‌رود که دیاپیر نمکی منطقه اشتهاارد مربوط به سازند سرخ بالایی و به سن میوسن باشند.

### موقعیت چینهننگاری نهشته‌های نئوژن

بر اساس مجموعه شواهد سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و تکتونیکی می‌توان نهشته‌های قرمز نئوژن اشتهاارد و سازند قرمز بالایی منطقه آوج را، معادل یکدیگر دانست. در مطالعات انجام شده بر روی سازند قرمز فوقانی در منطقه آوج، جنوب استان قزوین، مشخص گردید که هر دو واحد  $M_1$  و  $M_2$  که توسط بلورچی (Bolourchi, 1978a,b) برای این سازند تشخیص داده شده، متعلق به زمان میوسن پسین نیستند (Ahmadi-Ghomi et al., 2018). احمدی‌قمی (Ahmadi-Ghomi, 2018) واحد  $M_1$  در منطقه آوج را با توجه به قرارگیری بر روی سازند قم، معادل سازند قرمز فوقانی دانسته و واحد  $M_2$  را با توجه به شواهد ارائه شده به پلیوسن نسبت داده و پیشنهاد کردند تا واحد  $M_2$  به عنوان سازند جدید معرفی شود. با توجه به شباهت‌های بین رسوبات منطقه آوج و ناحیه اشتهاارد که در

- نفوذ دیاپیرهای نمکی در واحدهای M<sub>1</sub> تا M<sub>4</sub> و عدم مشاهده این دیاپیرها در واحد M<sub>5</sub> گواهی بر اختلاف زمانی این واحدها می‌باشد.

- واحد رسوبی M<sub>5</sub> در برش مردآباد، پس از کوهزایی آتیکان و در احتمالاً زمان پلیوسن رسوب-گذاری کرده است. پیشنهاد می‌گردد این واحد به عنوان سازند جدید و متعلق به پلیوسن معرفی گردد.

### قدردانی

نویسندگان از دانشگاه بوعلی سینا به دلیل حمایت مالی کمال تشکر را دارند.

نمونه‌های ماسه‌سنگی واحد M<sub>2</sub> و M<sub>4</sub> در محدوده های چرخه مجدد رسوبات حاصل از کوهزایی و کمان تفکیک نشده، و نمونه‌های واحد M<sub>5</sub> نیز در محدوده کمان تفکیک نشده تا گذرا قرار می‌گیرند.

- نوع و فراوانی کانی‌های رسی واحد M<sub>1</sub> تا M<sub>4</sub> (ایلیت و کلریت) با واحد M<sub>5</sub> (ایلیت، کلریت و اسمکتیت) متفاوت می‌باشد.

- طبق شواهد تکتونیکی در مرز واحدهای M<sub>4</sub> و M<sub>5</sub> (تأثیر گسل‌ها بر واحدهای قدیمی و نبود هیچ اثری از فعالیت گسل در واحد M<sub>5</sub>) چنین به نظر می‌رسد که سن رسوبات واحدهای M<sub>4</sub> و قدیمی‌تر مربوط به میوسن بالایی بوده و رسوبات واحد M<sub>5</sub> به سن پلیوسن باشند.

### References

- Ahmadi-Ghomi, F., 2018. Tectonic provenance, depositional environment and sequence stratigraphy of the Upper Red Formation, Avaj area, Qazvin Province, Ph.D. thesis, Bu-Ali Sina University, in Persian.
- Ahmadi-Ghomi, F., Rafiei, B., Sadr, A.H., 2018. Revision of the Miocene Upper Red Formation in the Avaj-Abegarm area, west of Iran, *Applied Sedimentology* 6 (12), 40-61, in Persian.
- Aghanabati, S.A., 2004. Geology of Iran: Geological Survey of Iran, in Persian.
- Berberian, M., King G.C.P., 1981. Towards a paleogeographic and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal of Earth Science* 18 (2), 210-265.
- Boggs, S., 2009. Petrology of sedimentary rocks: 2nd Ed, Cambridge University Press, New York.
- Bolourchi, M.H., 1978a. Etude geologique de la region d'Avaj (NW de Iran), stratigraphie et tectonique, Ph.D. thesis, Geological Survey of Iran.
- Bolourchi, M.H., 1978b. Geological map of Iran, 1/100000 series, No. 5861, Avaj. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Chamley, H., 1989. Clay sedimentology, Springer, Verlag, 623 p.
- Darvishzadeh, A., 2004. Geology of Iran, Amirkabir Publications, Tehran, in Persian.
- Dickinson, W.R., 1985. Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones, In: Zuffa, G.G. (Ed.), Provenance of Arenites, Reidel Publishing Company, Dordrecht: Springer Netherlands 333-363.
- Dickinson, W.R., Suczek D.R., 1979. Plate tectonics and sandstone compositions", *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Bulletin* 63 (12), 2164-2182.
- Ehrmann, W., 1998. Implications of late Eocene to early Miocene clay mineral assemblages in McMurdo Sound (Ross Sea, Antarctica) on paleoclimate and ice dynamics, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 139 (3-4), 213-231.
- Folk, R.L., 1974. Petrography of sedimentary rocks, Hemphill Publishing Company, 182 p.
- Folk, R.L., 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182 p.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D., Sares, S.W., 1984. The effect of grain size on detrital modes: A

- test of the Gazzi-Dickinson point-counting method, *Journal of Sedimentary Petrology* 54 (1), 103-116.
- Jackson, M.P.A., Cornelius R.R., Craig C.H., Gansser A., Stocklin J., Talbot J.C., 1990. Salt diapirs of the Great Kavir, Central Iran. 139 p.
- Mahdizadeh, S., 1995. Explanatory text of the Karaj quadrangle map, Iran, Scale 1:100000. Geological Survey of Iran, in Persian.
- Moore, D.M., Reynolds R.C., 1997. X-ray Diffraction and the identification and analysis of clay minerals, Second Ed, Oxford University Press, 400 p.
- Nichols, G., 2009. Sedimentology and stratigraphy. 2nd ed, Wiley-Blackwell, 419 p.
- Pettijohn, F.J., 1975. Sedimentary rocks. 3rd edition. Harper and Row, New York, 628 p.
- Powers, M.C., 1953. A new roundness scale for sedimentary particles, *Journal of sedimentary petrology* 23 (2), 117-119.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran; a review", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52 (7), 1229-1258.
- Suttner, L.J., Dutta, P.K., 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I, Framework mineralogy, *Journal of Sedimentary Petrology* 56 (3), 329-345.
- Talbot, C.J., Aftabi, P., 2004. Geology and models of salt extrusion at Qum Kuh, central Iran", *Journal of the Geological Society, London* 161 (2) 321-334.
- Yousefi, M., 2000. Explanatory text of the Eshtehard quadrangle map, Iran. Scale 1:100000. Geological Survey of Iran, in Persian.
- Zaheri, M., Rafiei, R., Alipoor, R., 2021. Petrography and geochemistry of the Neogene continental redbeds in the Eshtehard area, Alborz Province, Iran: insights into tectonic setting, provenance and paleoclimate", *Arabian Journal of Geosciences* 14, 1-22.
- Zaheri, M., 2020. Tectonic provenance, depositional environment and sequence stratigraphy of Neogene Red Beds, Eshtehard-Karaj, Alborz Province, Ph.D. thesis, Bu-Ali Sina University, Unpublished thesis, in Persian.
- Zingg, A.W., 1953. Wind tunnel studies of movement of sedimentary material, *Proceedings of 5th Hydraulic Conference Bulletin*, 111-134.