

Original Research Paper

# Assessment of physical and mechanical properties of a number of sandstone formations in the Central Alborz sedimentary-structural zone

Amir Mahyar Azhdarpour<sup>1</sup>, Mohammadreza Nikudel<sup>1\*</sup>, and Mashalah Khamehchiyan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Engineering Geology, Faculty of Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received: 2022 May 08

Accepted: 2023 June 25

Available online: 2024 March 20

### Keywords:

Sandstone

Central Alborz

Cerchar index

Cylindrical punch

## ABSTRACT

The central Alborz structural-sedimentary area in the middle part of the Alborz Mountain Range has endured geological events from the Precambrian to the present era, and contains numerous geological structures and formations. Among these, sandstone formations also have a significant expansion. In this research, 6 different sandstone formations were sampled in 2 locations and tested to determine their physical and mechanical characteristics. In general, in the sandstone formations of central Alborz, top quartzite has stronger mechanical parameters than other formations. Shemshak Formation has the lowest mechanical parameters among the selected formations. Based on regression analysis, the conversion factor of PLT, BST and CPI parameters to unconfined resistance or UCS showed 20.6, 6 and 20.40 respectively with R<sup>2</sup>s of 0.75, 0.90 and 0.78. In terms of the Cerchar Abrasivity Index (CAI) as an index that can show the amount of abrasion, top quartzite has the most abrasiveness, which is due to its lithological composition. This sandstone formation is placed in the category of stones with high abrasive ability, and Shemshak Formation has the lowest Cerchar index among the formations and is placed in the group of stones with extremely low abrasiveness.

## 1. Introduction

In the geological domain of Iran, geological formations and events as old as this structural sedimentary zone have been formed. A considerable portion of them are sandstone formations, located in the vicinity of areas with high population density. Besides other formations, sandstones are used in engineering activities for infrastructure development in Iran. On the other hand, there is a strong relationship between mechanical and lithological properties

of sandstones. Therefore, it is essential to study and categorize sandstone formations in light of their mechanical properties within a particular region like the Central Alborz structural-sedimentary zone.

Sandstones are categorized under sedimentary rocks. Like other sedimentary, igneous, and metamorphic rocks, sandstones have wide outcrops on the earth surface. According to some estimates,

\* Corresponding author: Mohammadreza Nikudel; E-mail: nikudelm@modares.ac.ir

### Citation:

Azhdarpour, A. M., Nikudel, M. R., and Khamehchiyan, M., 2024. Assessment of physical and mechanical properties of a number of sandstone formations in the Central Alborz sedimentary-structural zone. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 34(1), 131, 113-130. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.396261.2085>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

doi: 10.22071/gsj.2023.396261.2085

 dor: 20.1001.1.10237429.1403.34.1.8.2



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

sandstones make up to 40% of all sedimentary rocks. In stratigraphic studies, it has been estimated that sandstones comprise 20%-25% of all rocks. The mineralogical composition and diagenesis condition under which the sandstone is transformed from sediments to stone determine its lithological features (Bell, 1978; Franklyn et al., 1989; Gunsallus and Kulhawy, 1984; Shakoor and Bonelli, 1991; Ulusay et al., 1994; Bell and Lindsay, 1999; Ronov, 1968; Boggs, 2016).

Petrophysical properties of sandstones, which control or explain their behaviors, include density, porosity, permeability, water absorption, seismic wave propagation speed, and damping properties. Textual features of the stone determine geometrical properties of the particles, including the size, shape and texture direction of the grains, and interlocking and density of the grains in comparison with cement (Ronov, 1968; Williams et al., 1982; Montoto, 1983; Jeng et al., 2004; Chatterjee and Mukhopadhyay, 2002; Tamrakar et al., 2007; Azhar et al., 2022).

It is fundamental to understand the mechanical properties of sandstones, which are used to analyze the rock behavior in drilled environments, hydraulic fracturing, and the risk of rock explosion. Various laboratory-based methods are currently used to explore sandstone breaking characteristics. Stones' mechanical features largely depend on their lithological properties since the latter reflect how a stone is formed during sedimentation, diagenesis, and weathering (Beavis, 1985; Benaafi et al., 2018; Wang et al., 2019; Azhar et al., 2020; Nouri et al., 2022).

From a sedimentary-structural viewpoint, Iran is divided into various zones or units. The vastest zones are central Iran, Alborz-Azerbaijan, the Zagros, Sanandaj-Sirjan, Makran, and Nehbandan-Khash. Perhaps the most important zone is the sedimentary-structural Alborz zone, which encompasses an area ranging from Afghanistan to Turkey borders (Alavi, 1996) and hosts various population centers (fig. 1).

The middle and curved part of this zone is known as Central Alborz, which has witnessed geological events from the Precambrian to the present era. As a result of these events, a wide array of lithological formations, including igneous, metamorphic, carbonate, and clastic, are detectable in this region. Lagoons and coal deposits have also been formed in this area in different periods due to the advance and retreat of the sea (Darvishzadeh, 2004; Aghanabati, 2004).

The structural unit of Central Alborz consists of Paleozoic platform sediments (similar to those found in the Central Iran zone) and Neogene sediments, which are separated by numerous sedimentation intervals. Sandstone formations are widely scattered in this zone (fig. 2). In the current study, the target sample formations were selected based on the extent and accessibility of the outcrop. Samples were obtained from two locations (Tab. 1).

## 2. Research and methodology

Physical and mechanical properties of sandstones in Central Alborz were examined through field survey, sampling, and Schmidt

hammer test. First, various references about the geology of Iran and Central Alborz were consulted to gain a better understanding of the study area. At this stage, 1:100000 and 1:250000 maps and the related reports as well as Iran's geology references were examined to identify the outcrop locations of sandstone formations and the degree of their expansion. At the end, out of the eight sandstone formations in Central Alborz, the researchers decided to collect samples from Barut, Zagun, Lalun, top quartzite, Dorud, and Shemshak Formations.

### 2.1. Field survey

Upon identifying the target formations, two stone blocks with the dimensions of 40×30×30 cm were collected from two different parts of each formation (12 blocks in total). At the location of each of these outcrops, 60 Schmidt hammer tests were performed, with their average being considered as the Schmidt hammer index of the formation.

### 2.2. Laboratory tests

The blocks obtained in the field survey stage were transported to the quarrying workshop of Tarbiat Modares University for coring and preparation of thin-section samples. Samples were obtained from the stone blocks for porosity, water absorption, unit volume weight, unconfined compressive strength (UCS), point load, Brazilian, cylindrical punch, and Cerchar Abrasivity Index (CAI) tests. Table 2 contains information about the number of samples and the conducted tests in light of the mentioned standards.

## 3. Results and discussion

The thin-section samples were used to describe and name the rock and identify its constituents, mineralogy, and the type of rock-forming cement. The results showed that the samples could be classified into 3 categories. The first category, which included samples like top quartzite, contained a high percentage of quartz. In this category, there are stone particles and silicate cement next to each other. The second category contained a lower percentage of quartz (compared to the first one) and a higher amount of feldspar. The samples in this category mainly consisted of silicate cement, but they also contained carbonate cement, dark minerals, and stone fragments. Feldspar had a more prominent presence in the third category, which also contained silicate cement, carbonate cement, and clay mineral impregnated with iron oxide (Tab. 3) and (Fig. 9).

### 3.1. Physical properties

As previously mentioned, stones' physical properties depend on their nature and historical trajectory of their formation. Porosity, water absorption, and unit volume weight tests were carried out for each sample and a numerical value was selected as the average of these properties. According to the obtained results, porosity varied from 1.19% in the top quartzite sample to 6.39% in the one collected from the Shemshak Formation. Similarly, water absorption

ranged from 0.46% in the top quartzite to 2.50% in the Shemshak Formation. It appears that, in addition to the higher porosity, the high percentage of water absorption in the Shemshak Formation can be attributed to the amount of constituent clay minerals (Tab. 4).

### 3.2. Strength properties

- **UCS:** The results obtained through conducting the UCS test indicate that this index ranges from 34 MPa in the sandstones collected from the Shemshak Formation to 92 MPa in the ones gleaned from the top quartzite. Following Deer and Miller (1966), the classification of sample formations is displayed in Table 5. Reduction in the amount of silicate cement, the rise of feldspar percentage, and the presence of clay and other non-resistant minerals cause a decline in the uniaxial strength of the rock.

- **Point load test (PLT):** The results showed that the point load index, which was obtained from disc samples with a diameter of NX (Fig. 10), ranged from 2.5 MPa in the Shemshak Formation to 5 MPa in the top quartzite. Inspired by Broch and Franklin's (1972) classification based on point load index, the sandstones in Central Alborz demonstrate high strength (in the case of Shemshak Formation) and very high strength (in other formations).

- **Brazilian test:** It is an index for assessing the tensile strength of rocks. The test was performed on the NX cores prepared from the formations (Fig. 11). As observed in Fig. 12, sandstones obtained from the top quartzite and Zagun Formations demonstrated the highest tensile strength. As a result of the increase in the portion of feldspar minerals, non-silicate cements, and irresistible minerals, the Brazilian index dwindled, reaching the minimum value in the Shemshak Formation.

- **Cylindrical punch:** For this test, disc samples with a thickness of 10 mm and a diameter of 54 mm were prepared. They were placed in the test frame and loaded using a uniaxial compression test machine (Fig. 13). In this test, the applied load and pin passage chamber must be concentric, otherwise the rock failure will not occur properly. The results revealed that cylindrical punch index for the sandstones collected from Central Alborz ranged from 1.75 MPa in the Shemshak Formation to 4.2 MPa in the top quartzite (Fig. 14).

- **CAI test:** This test is used to quantify the rock abrasivity. The test entails measuring the wear of a metal pin of a defined hardness when it scratches the surface of a rock under static load of 7 kg over a distance of 10 mm (Fig. 5). Of course, the test distance must be proportionate to the diameter of the particles that make up the rock. To ensure test accuracy, CAI was performed on five samples. The length of the scratch over the rock created by the pin must be in alignment with the test instructions. The wear of the pin tip

was measured by a suitable microscope. Since the test was carried out on cut samples, the modified index was also calculated for the rocks. Tab. 5 contains information about the classification of both normal and modified states.

### 3.3. Correlation among rock mechanical properties

Upon conducting laboratory tests on the samples and analyzing the data, it is essential to explore the relationship between the obtained indices for different parameters. Thus, in this stage, the correlation among various mechanical properties of sandstones was explored. Different correlation coefficients have been reported for the relationship between UCS and point load index (Tab. 6).

There was a relatively strong linear correlation between the uniaxial strength and point load index ( $R^2 = 0.75$ ). Figure (16) illustrates the association between these two parameters.

Although the Brazilian test is primarily used to assess the tensile strength of rocks, it has been exploited in various empirical studies to estimate the UCS of rocks. Despite of a large number of variations in different regions, one of the most well-known exploring the relationship between these two variables is Sheorey (1997), who believes that UCS is approximately ten times bigger than the Brazilian tensile strength. Numerous studies have examined the interaction between these two parameters, some of which are presented in Table (7).

In the current study, a strong positive correlation was detected between UCS and the Brazilian tensile strength of the sandstones collected from Central Alborz ( $R^2 = 0.90$ ) (Fig. 17).

Regression analysis was carried out on the results of the cylindrical punch test and UCS, with the output demonstrating a coefficient of 21.40 (Fig. 18). This coefficient is measurably larger than the ones reported by Ulusay et al. (2001) (which was equal to 5.1) and Jalali et al. (2019) (which was equal to 7.4).

## 4. Conclusion

In this study, sandstones collected from 6 formations of the Central Alborz structural-sedimentary zone were examined. According to Folke's lithological classification of rocks, the studied sandstones belonged to the quartz arenite or arkose categories. The results revealed that the formations containing larger amounts of silicate cement and quartz enjoyed better mechanical properties. As a result, the sandstones collected from the top quartzite and Shemshak Formations respectively demonstrated the best and the worst mechanical properties.

Moreover, the results indicated that sandstones with higher percentages of quartzite and silicate cement possessed higher CAIs. Considering the formations of Central Alborz, the highest CAI was observed in the sandstones collected from the top quartzite. These sandstones are thus classified as rocks with high and very high abrasion. In contrast, the sandstones gleaned from Shemshak Formation demonstrated very low abrasion.

# ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تعدادی از سازندهای ماسه‌سنگی پهنه رسوبی-ساختاری البرز مرکزی

امیرمهیبار اژدرپور<sup>۱</sup>، محمدرضا نیکودل<sup>۱\*</sup> و ماشالله خامه‌چیان<sup>۱</sup><sup>۱</sup> گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

## چکیده

پهنه ساختاری-رسوبی البرز مرکزی در بخش میانی رشته کوه البرز با تحمل رخدادهای زمین‌شناسی از پرکامبرین تا عهد حاضر، ساختارها و سازندهای زمین‌شناسی گوناگونی در خود جای داده است. از این میان، سازندهای ماسه‌سنگی نیز گسترش شایان توجهی دارند. در این پژوهش، از ۶ سازند ماسه‌سنگی باروت، زاگون، لالون، کوارتزیت راسی، درورد و شمشک در دو محل نمونه‌برداری و تحت آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی قرار گرفتند. به طور کلی در سازندهای ماسه‌سنگی البرز مرکزی کوارتزیت راسی ویژگی‌های مقاومتی قوی‌تری نسبت به سایر سازندها دارد. سازند شمشک پایین‌ترین پارامترهای مکانیکی در میان سازندهای انتخاب شده را داراست. بر اساس تحلیل‌های رگرسیونی ضریب همبستگی پارامترهای شاخص بار نقطه‌ای (PLT)، برزیلین (BST) و شاخص پانچ استوانه‌ای (CPI) به مقاومت تراکمی تک محوری (UCS) به ترتیب ۲۰/۶، ۶ و ۲۰/۴۰ با  $R^2$  های ۰/۷۵، ۰/۹ و ۰/۷۸ نشان دادند. از نظر شاخص سرشار (CAI)، به‌عنوان شاخصی که می‌تواند میزان سایندهی را نشان دهد، کوارتزیت راسی بیشترین سایندهی را داراست که به ترکیب سنگ‌شناسی آن بر می‌گردد. این سازند ماسه‌سنگی در رده سنگ‌هایی با قابلیت سایندهی بالا قرار گرفته و سازند شمشک در بین سازندها، کمترین شاخص سرشار را دارد و در گروه سنگ‌هایی با سایندهی شدیداً پایین قرار می‌گیرد.

## اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

ماسه‌سنگ

البرز مرکزی

شاخص سرشار

پانچ استوانه‌ای

## ۱- پیش‌نوشتار

ویژگی‌های بافتی ماسه‌سنگ‌ها که شامل شکل دانه، جهت‌یافتگی، قفل‌شدگی و نسبت دانه به زمینه هستند، تاثیر زیادی بر روی رفتار مهندسی ماسه‌سنگ‌ها دارند. این ویژگی‌ها در سنگ‌های مختلف متفاوت می‌باشند. ماسه‌سنگ‌ها در رده سنگ‌های رسوبی قرار دارند. این نوع از سنگ‌ها همانند سایر سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی، رخنمون‌های گسترده‌ای در سطح زمین دارند. بر اساس برخی تخمین‌ها، ماسه‌سنگ‌ها ۴۰ درصد سنگ‌های رسوبی را به خود اختصاص می‌دهند و در برداشت‌های چینه‌شناسی درصد تخمین این نوع سنگ بین ۲۰ تا ۲۵ درصد برآورد شده است (Ronov, 1968; Boggs, 2016).

ماسه‌سنگ‌ها به دلیل شرایط تشکیل، سرگذشت زمین‌شناسی و ترکیب کانی‌شناسی، ویژگی‌های گوناگونی از خود نشان می‌دهند. ترکیب کانی‌شناسی و شرایط دیاژنزی که ماسه‌سنگ طی آن از رسوبات به سنگ تبدیل شده است، تعیین‌کننده ویژگی‌های سنگ‌شناسی آن است. (Bell, 1978; Gunsallus and Kulhawy, 1984; )

(Shakoor et al, 1991; Ulusay et al., 1994; Bell and Lindsay, 1999).

بررسی ویژگی‌های مکانیکی ماسه‌سنگ‌ها از دیرباز توجه پژوهشگران مختلف را به خود جلب کرده است و بحث و بررسی مختلفی پیرامون ویژگی‌های فیزیکی، بافتی و ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها انجام گرفته است که این پژوهش‌ها نشان دهنده ارتباط تنگاتنگ ویژگی‌های فیزیکی سنگ و رفتار مکانیکی ماسه‌سنگ‌هاست. ویژگی‌های فیزیکی ماسه‌سنگ‌ها شامل چگالی، تخلخل، نفوذپذیری، جذب آب، سرعت انتشار موج لرزه‌ای و ویژگی‌های میرایی و دیگر پارامترها است که کنترل‌کننده رفتار سنگ یا به عبارتی توصیف‌کننده رفتار سنگ است. ویژگی‌های بافتی سنگ، شامل ویژگی‌های هندسی ذرات از جمله اندازه، شکل و جهت‌یافتگی دانه‌ها و درهم قفل‌شدگی و چگالی (دانسیته) دانه‌ها نسبت به سیمان است (Ronov, 1968; Wiliams et al., 1982; Montoto, 1983; Jeng et al., 2004; ) (Chatterjee and Mukhopadhyay, 2002; Tamrakar et al., 2007).

\* نویسنده مسئول: محمدرضا نیکودل؛ E-mail: nikudelm@modares.ac.ir

## ماخذنگاری:

اژدرپور، ا.م.، نیکودل، م. ر. و خامه‌چیان، م.، ۱۴۰۳، ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تعدادی از سازندهای ماسه‌سنگی پهنه رسوبی-ساختاری البرز مرکزی. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۴(۱)، ۱۳۱-۱۱۳. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.396261.2085>

doi: 10.22071/gsj.2023.396261.2085

doi: 20.1001.1.10237429.1403.34.1.8.2

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. در این مرحله، از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ و گزارش‌های مربوط به این نقشه‌ها و منابع زمین‌شناسی ایران جهت شناسایی محل‌های رخنمون سازندهای ماسه سنگی و میزان گسترش آن‌ها استفاده شد. این امر به انتخاب ماسه‌سنگ‌های سازند باروت، زاگون، لالون، کوارتزیت راسی، دورود و شمشک از بین هشت سازند ماسه سنگی البرز مرکزی، جهت نمونه برداری و مطالعه انجامید.

#### ۱-۲- مطالعات صحرایی

در مرحله مطالعات صحرایی، برنزد سازندهای انتخاب شده شناسایی و به صورت تصادفی از دو محل از این سازندها، از هر سازند یک بلوک سنگی با ابعاد ۳۰×۳۰×۴۰ برداشته شد (جمعا ۱۲ بلوک). در محل همین برنزدها تعداد ۶۰ آزمون واجهش چکش اشमित انجام گرفت و میانگین آن‌ها به عنوان عدد چکش اشमित سازند در نظر گرفته شد.

#### ۲-۲- آزمون‌های آزمایشگاهی

بلوک‌های برداشت شده در مرحله صحرایی جهت مغزه‌گیری و تهیه نمونه مقطع نازک به کارگاه سنگ‌بری، دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. از بلوک‌های سنگی نمونه‌های لازم جهت انجام آزمایش‌های تخلخل، جذب آب، وزن واحد حجم، مقاومت تراکمی محصور نشده، بار نقطه‌ای، برزیلین، پانچ استوانه‌ای و شاخص سایش سرشار تهیه شد. تعداد نمونه و آزمون‌های انجام شده به شرح جدول ۱ و مطابق با استاندارد یاد شده انجام گرفت.

ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها مانند تخلخل، جذب آب، وزن واحد حجم بر ویژگی‌های مکانیکی و مقاومتی سنگ اثر دارد. به این دلیل ویژگی‌های یاد شده، مطابق با استاندارد آن‌ها (جدول ۱) تعیین شده است. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط خلا در آب غوطه‌ور بوده و سپس از آب خارج شده و آب آزاد (رطوبت روی سطح نمونه) با پارچه گرفته شده و توزین انجام شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و توزین مجدد انجام شد. همچنین جهت تعیین ویژگی‌های مهندسی ماسه‌سنگ‌ها، آزمون‌های آزمایشگاهی مطابق با استانداردهای بیان شده در جدول ۱ انجام گرفت.

ارتباط بین ویژگی‌های سنگ‌شناسی و مکانیکی سنگ‌ها بسیار مورد بررسی قرار گرفته است که بیشتر این فعالیت‌ها در راستای برجسته نمودن ویژگی‌های بافتی مرتبط با ویژگی‌های مکانیکی ماسه‌سنگ‌ها است. بررسی این گونه ارتباط‌ها هنوز در پژوهش‌های علمی روز دنیا با هدف نشان دادن تاثیرات متفاوت ویژگی‌های سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها در رفتار مکانیکی آن‌ها است ( Brosch et al., 2000; Akensson et al., 2001; Räisänen, 2004).

شناخت ویژگی‌های مکانیکی ماسه‌سنگ‌ها امری ضروری است که در تجزیه و تحلیل رفتار سنگ در محیط‌های حفاری شده و شکست هیدرولیکی، تحلیل خطر انفجار سنگ استفاده می‌شود. در حال حاضر روش‌های مختلفی برای بررسی رفتار شکننده در ماسه‌سنگ‌ها استفاده می‌شود که به انجام آزمون‌های آزمایشگاهی وابسته است. ویژگی‌های مکانیکی سنگ‌ها به شدت به ویژگی‌های سنگ‌شناسی آن‌ها وابسته است زیرا ویژگی‌های سنگ‌شناسی منعکس‌کننده چگونگی تشکیل سنگ در طول رسوب‌گذاری، دیازنز و هوازدگی است ( Benaafi et al., 2018; Wang et al., 2022; Azhar et al., 2020; Nouri et al., 2022).

در گستره زمین‌شناسی ایران، سازندها و رخداد‌های زمین‌شناسی به قدمت این پهنه رسوبی ساختاری شکل گرفته است که بخش عمده‌ای از آن به سازندهای ماسه‌سنگی اختصاص یافته است که در نزدیکی محدوده‌هایی با تراکم جمعیتی بالا واقع شده‌اند و به همراه سایر سازندها، بستر فعالیت‌های مهندسی و توسعه زیرساختی را در بر می‌گیرند. از سویی دیگر، ارتباط قوی بین ویژگی‌های مکانیکی ماسه‌سنگ‌ها و ویژگی‌های سنگ‌شناسی آن‌ها، ضرورت مطالعه و دسته‌بندی این سازندها را از دیدگاه ویژگی‌های مکانیکی در یک محدوده مانند پهنه ساختاری-رسوبی البرز مرکزی آشکار می‌سازد.

#### ۲- روش پژوهش

روش انجام پژوهش در این نوشتار متشکل از پیمایش صحرایی، نمونه‌گیری و آزمون چکش اشमित به همراه آزمون‌های آزمایشگاهی است که به بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ماسه‌سنگ‌های البرز مرکزی پرداخته شده است. نخست، با مطالعه و بررسی منابع مختلف مرتبط با زمین‌شناسی ایران و البرز مرکزی به شناسایی

جدول ۱- تعداد نمونه‌ها و آزمایش‌های انجام شده.

Table 1. The number of samples and tests performed.

نوع آزمایش	تراک تک‌محوره	شاخص بار نقطه‌ای	برزیلین	چکش اشमित	شاخص پانچ	شاخص سرشار	تخلخل	جذب آب	مقطع نازک
استاندارد	ASTM 2938	ASTM D5731	ASTM D3967	ASTM C805	-	-	ASTM D5446	ASTM D2216	-
تعداد نمونه	۷۲	۱۲۴	۱۲۴	-	۶۰	۶۰	۷۲	۷۲	۲۴
تعداد آزمایش	۷۲	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴۰	۶۰	۲۴۰	۷۲	۷۲	-



### ۳- داده‌ها و اطلاعات

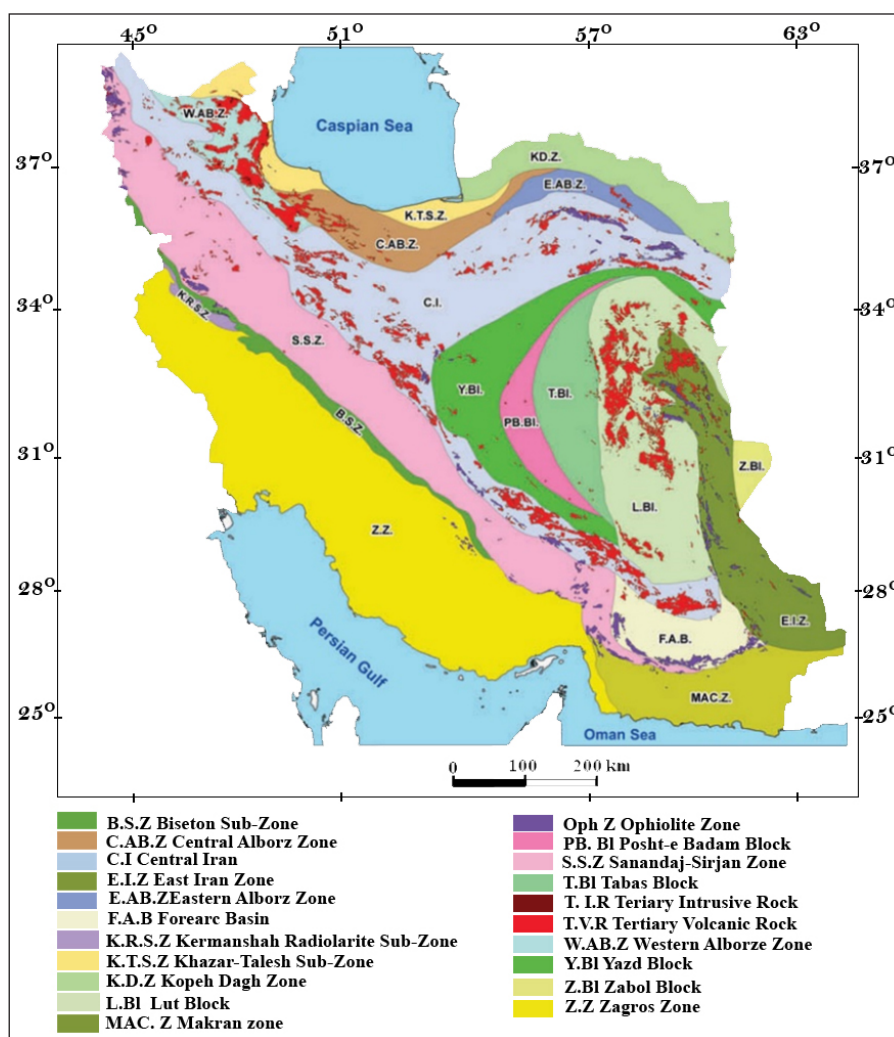
#### ۳-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

گستره ایران از دیدگاه رسوبی-ساختاری به پهنه‌های یا واحدهای مختلفی تقسیم می‌شود که پهنه‌های شاخص آن از نظر گستردگی شامل پهنه ایران مرکزی، البرز-آذربایجان، زاگرس، سنندج-سیرجان، مکران و نهندان - خاش است. از این میان، پهنه رسوبی-ساختاری البرز که از مرز افغانستان تا ترکیه گسترش دارد (Alavi, 1996) و مراکز جمعیتی را در خود جای داده، اهمیت آن را بیش از پیش مورد توجه قرار داده است.

این واحد رسوبی-ساختاری سرگذشت پیچیده‌ای را پشت سر گذاشته و کوه‌زایی‌های مختلفی را تجربه کرده است (شکل ۱) و رژیم زمین‌ساختی کنونی حاکم بر آن، در مرحله انقباضی است (Berberian an king, 1981; Wilmsen et al., 2009; (Abdollahi, 2016).

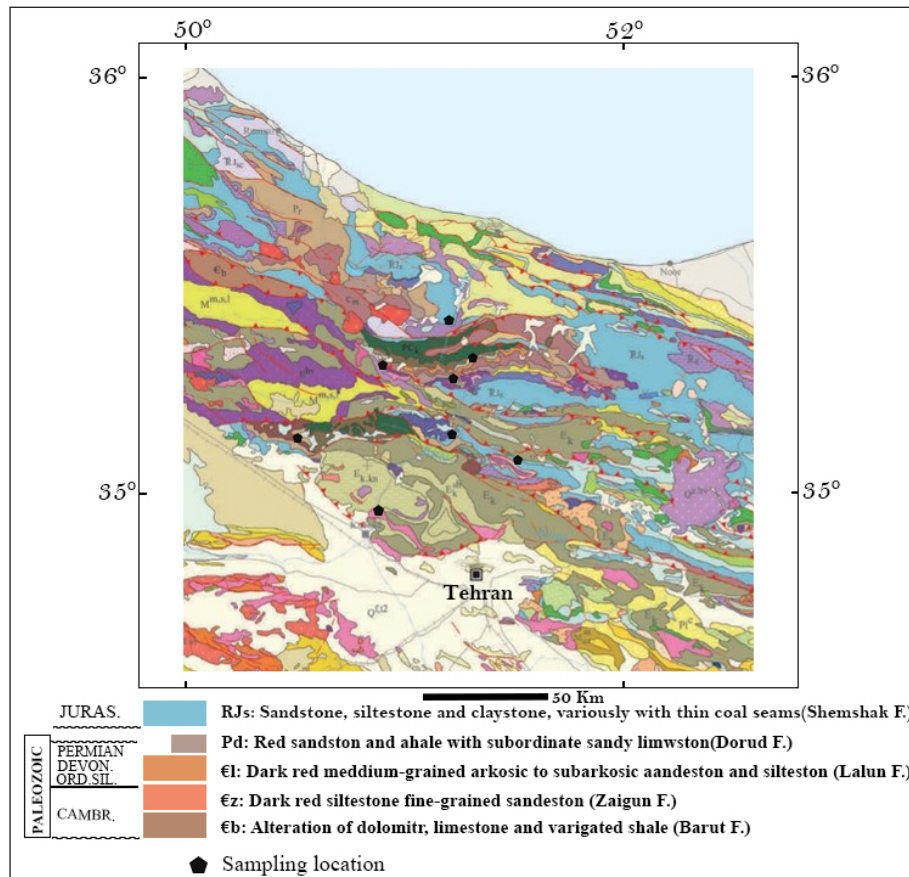
محدوده میانی و انحدار این پهنه، با عنوان البرز مرکزی یاد می‌شود که رخدادهای زمین‌شناسی از پرکامبرین تا عهد حاضر را تجربه کرده است. نتیجه این فرایندها، شکل‌گیری سازندهای سنگ‌شناسی متفاوت از آذرین و دگرگونی تا کربناته و آواری است. این پهنه با پیش‌روی و پس‌روی‌های متعدد دریا شاهد شکل‌گیری محیط‌های کولابی و نهشته‌های زغال‌دار نیز در دوره‌های مختلف بوده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۳ و آفانباتی، ۱۳۸۳).

ویژگی‌هایی مانند گستردگی و تعدد فعالیت‌های عمرانی مانند سدسازی، بزرگ‌راه، ابنیه‌های مختلف در این منطقه، سبب انتخاب آن برای مطالعه شد و بررسی‌ها پیرامون سازندهای ماسه‌سنگی شاخص آن شامل باروت، زاگون، لالون، کوارتزیت راسی، دورود و شمشک انجام گرفت. این سازندها از بین ۷ سازند ماسه‌سنگی که در البرز مرکزی رخنمون دارند، انتخاب شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۱- جایگاه زمین‌ساختاری البرز مرکزی در گستره ایران (آفانباتی، ۱۳۸۳).

Figure 1. The position of the central Alborz structural land in the area of Iran (Aghanbati, 2004).



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی البرز مرکزی (سهندی و سهیلی، ۱۳۹۲).

Figure 2. The geological map of central Alborz (Sahandi and Sohaili, 2014).

اساس انتخاب این نقاط افزون بر سهولت دسترسی، پوشش دادن ویژگی‌های سازند است طوری که بتوان نمونه را نماینده ویژگی‌های سازند به شمار آورد (جدول ۲).

– سازند باروت: این سازند، ماسه‌سنگ ریزدانه میکادار است که درجه گردشگی و جورشدگی در آن یکنواخت نیست. ذرات کوارتز در آن دارای ادخال و خاموشی موجی است. در تصویر مقطع نازک این مسئله نمایان است (شکل ۳).

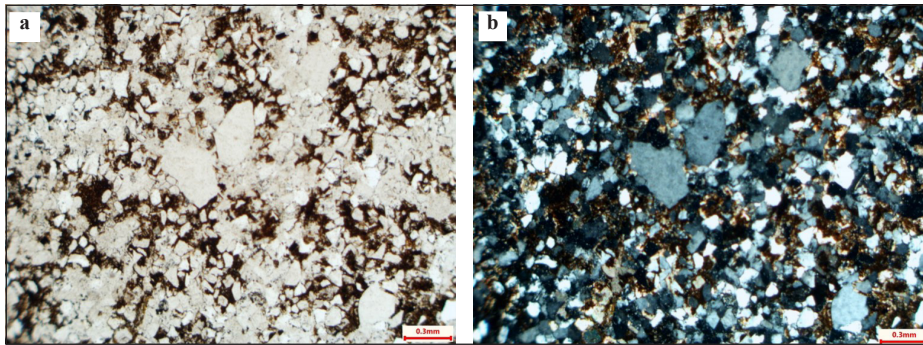
### ۲-۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

واحد ساختمانی البرز مرکز متشکل از رسوبات پلت فرمی پالئوزویک مشابه پهنه ایران مرکزی تا رسوبات نئوژن است که با وقفه‌های متعدد رسوب‌گذاری از هم تفکیک شده است. سازندهای ماسه‌سنگی در این پهنه، دارای گستردگی زیادی است. سازندهای هدف در این پژوهش بر اساس میزان گستردگی و سهولت دسترسی به رخنمون انتخاب شده‌اند و از هر سازند در دو نقطه نمونه‌برداری شده است که

جدول ۲- محل‌های نمونه برداری.

Table 2. Sampling locations.

مختصات محل‌های نمونه برداری				سازند
51° 29' 08" E	35° 57' 30" N	51° 35' 01" E	35° 57' 36" N	باروت
51° 48' 21" E	36° 04' 15" N	51° 18' 34" E	36° 03' 15" N	زاگون
51° 18' 23" E	36° 03' 47" N	51° 34' 40" E	35° 58' 10" N	لالون
51° 18' 34" E	36° 03' 15" N	51° 18' 17" E	36° 03' 52" N	کوارتزیت راسی
50° 50' 36" E	36° 28' 43" N	51° 32' 7.1" E	36° 59' 26" N	دورود
51° 19' 13" E	36° 02' 13" N	51° 27' 30" E	36° 01' 1.2" N	شمشگ

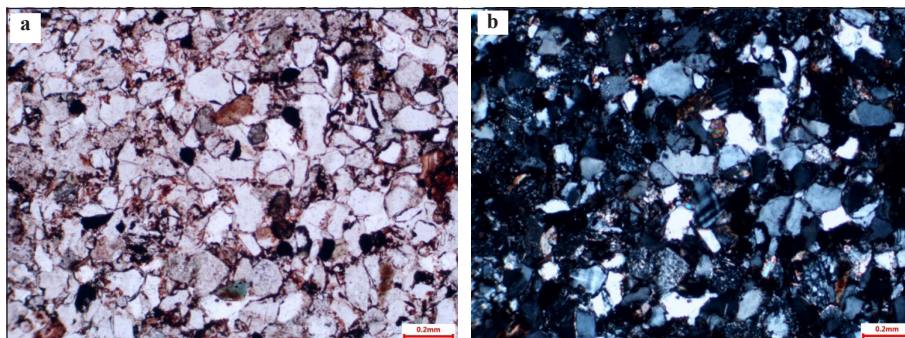


شکل ۳- تصویر میکروسکوپی ماسه سنگ سازند باروت (a: نور XPL و b: PPL) (scale: 0.3 mm).

Figure 3. Microscopic image of Barut Formation's sandstone (a: light XPL and b: PPL) (scale: 0.3mm).

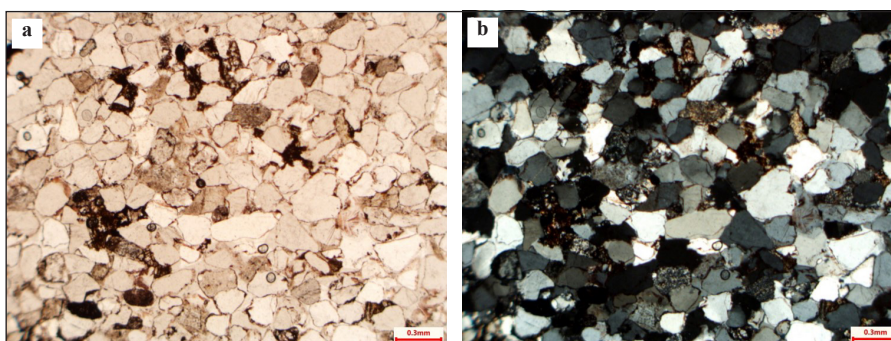
– **سازند لالون:** این سازند، ماسه‌سنگ آرکوزی متوسط دانه، کوارتزی و متراکم است که به رنگ سرخ ارغوانی ظاهر می‌شود و گستردگی شایان توجهی در البرز مرکزی دارد. در مقطع میکروسکوپی با بلورهای درشت کوارتز با خاموشی موجی و فاقد میانبار شناخته می‌شود که دارای سیمان سیلیسی رورشدی در حاشیه بلورهای کوارتز و خرده سنگ‌های سیلیسی و کربناته است. کانی فلدسپات آلکالن به شکل میکروکلین به همراه قطعات چرتی در مقاطع قابل شناسایی است. قطعات پلاژیوکلاز با ماکل مکرر با رگه‌های آغشته به آهن دیده می‌شود (شکل ۵).

– **سازند زاگون:** این سازند، واحد سنگ‌چینه‌ای همگنی از شیل‌های آهکی و ماسه‌سنگ ریزدانه و آرکوزی و سیلت‌های میکادار است. دارای لایه‌بندی متناوب و کم ستبر و به رنگ ارغوانی شاخص است. در مقطع میکروسکوپی ذرات تشکیل‌دهنده سنگ شامل کوارتزهای تک بلور با مرز مضرسی و دنداندار است که دارای خاموشی موجی با میزبانی ادخال دیده می‌شود. وجود فلدسپارهای آلکالن (میکروکلین) با دگرسانی و سیمان رورشدی (Overgrowth) از ویژگی‌های این ماسه‌سنگ است (شکل ۴).



شکل ۴- تصویر میکروسکوپی ماسه سنگ سازند زاگون (a: نور XPL و b: PPL) (scale: 0.2 mm).

Figure 4. Microscopic image of Zagun Formation's sandstone (a: light XPL and b: PPL) (scale: 0.2 mm).



شکل ۵- تصویر میکروسکوپی ماسه سنگ سازند لالون (a: نور XPL و b: PPL) (scale: 0.3 mm).

Figure 5. Microscopic image of Lalun Formation's sandstone (a: light XPL and b: PPL) (scale: 0.3 mm).



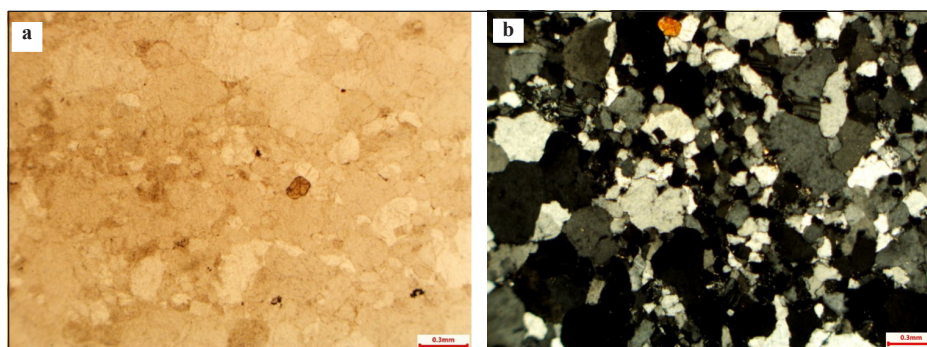
در مقاطع میکروسکوپی ماسه‌سنگی این سازند، درشت‌بلوره‌های کوارتز با خاموشی موجی و فاقد میانبار وجود دارند که سیمان رورشدی (Overgrowth) در اطراف آن دیده می‌شود. افزون بر این، کرنات هم در فضای بین بلوری مشاهده می‌شود و مرز بلوره‌های آن مضرسی به نظر می‌رسد. این ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگی درشت‌دانه با سیمان سیلیسی و خرده‌های چرت است که جورشدگی و گردشدگی خوبی دارد و دارای اندکی تخلخل پر شده با کرنات آغشته به اکسید آهن است (شکل ۷).

– **سازند شمشک:** این سازند، متشکل از رسوبات آواری عمدتاً ماسه‌سنگی است که در البرز مرکزی رخنمون دارد. سن این سازند را تریاس بالایی-ژوراسیک میانی می‌دانند (آقاناتی، ۱۳۸۳). در مقطع میکروسکوپی متشکل از کوارتزهایی درشت تا ریزبلور با خاموشی موجی است که به وسیله فلدسپارهای دگرسان، کلریت و سیمان احاطه شده است. این ماسه‌سنگ در برگیرنده درصد شایان توجهی از کانی رسی است (شکل ۸).

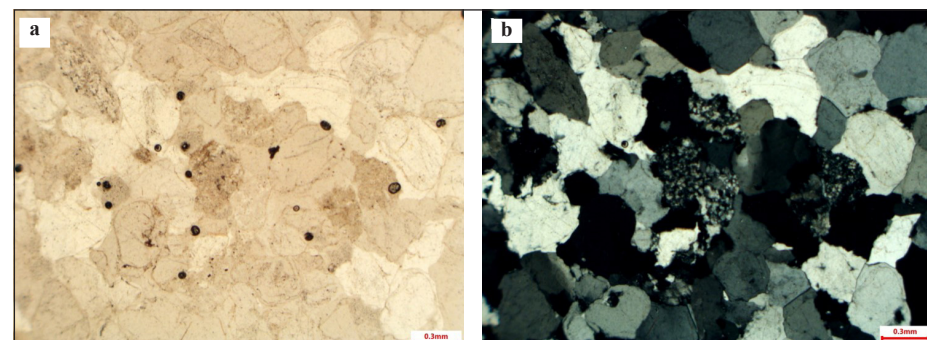
– **کوارتزیت راسی:** این سازند، یک واحد سنگ‌چینه‌ای کلیدی با رنگ شیری است که در بالای سازند لالون و در قاعده سازند میلا قرار دارد. رنگ روشن و ترکیب شاخص آن از ویژگی‌های آشکار آن است. این واحد، ستبرای متفاوتی دارد و در برخی مناطق دیده نمی‌شود (آقاناتی، ۱۳۸۳).

در مقطع میکروسکوپی درصد بالای کوارتز تشکیل دهنده آن با خاموشی موجی و سیمان سیلیسی مشاهده می‌شود. اگرچه تجمعاتی از بلوره‌های ریز کوارتز نیز در این سنگ دیده می‌شود، اما این سنگ به‌طور عمده درشت‌بلور است. پلاژیوکلاز به همراه فلدسپارهای آلکالن میکروکلین نیز در آن به چشم می‌خورد (شکل ۶).

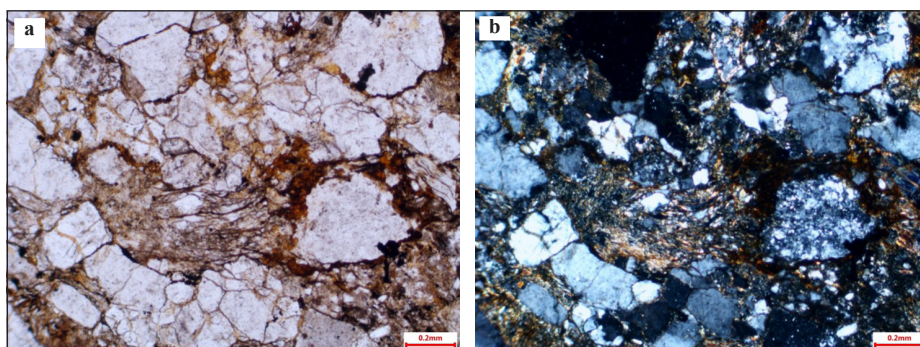
– **سازند دورود:** این سازند، نخستین چرخه رسوبی پرمین البرز-آذربایجان با ستبرای ۱۵۰ متر است که برش الگوی آن در دره جیرود واقع شده است. از نظر سنگ‌شناسی این سازند شامل کنگلومرا، کوارتزیت قرمز و آهک‌های ستبر لایه فوزولین دار است.



شکل ۶- تصویر میکروسکوپی ماسه سنگ کوارتزیت راسی (a: نور XPL و b: PPL) (scale: 0.3 mm).



شکل ۷- تصویر میکروسکوپی ماسه‌سنگ سازند دورود (a: نور XPL و b: PPL) (scale: 0.3 mm).



شکل ۸- تصویر میکروسکوپی ماسه‌سنگ سازند شمشک (a: نور XPL و b: PPL) (scale: 0.3 mm).

Figure 8. Microscopic image of Shemshak Formation's sandstone (a: XPL light and b: PPL) (scale: 0.3mm).

۴- بحث

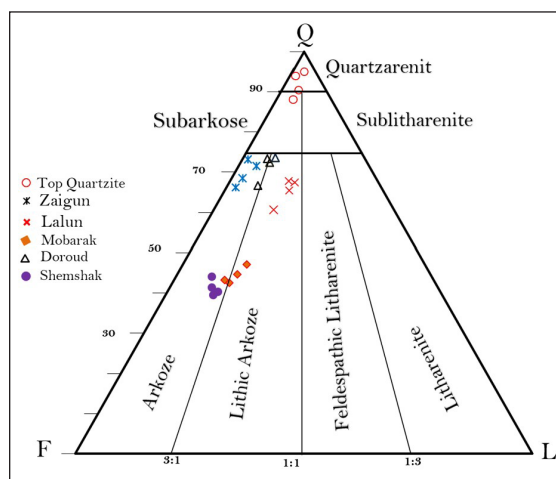
پایین تری نسبت به دسته اول دارند و میزان فلدسپار در آن‌ها بیشتر است. این گروه بیشتر سیمان سیلیکاته دارند ولی سیمان کربناته و کانی تیره و قطعات سنگی نیز از اجزای تشکیل دهنده سنگ به شمار می‌رود. دسته سوم فلدسپارها حضور بیشتر دارند و سیمان سیلیکاته، کربناته، کانی رسی آغشته به اکسیدهای آهن در آن دیده می‌شود (جدول ۳ و شکل ۹).

از بررسی مقاطع نازک برای توصیف و نام‌گذاری سنگ و شناسایی اجزای تشکیل دهنده سنگ، کانی‌شناسی، نوع سیمان تشکیل دهنده سنگ استفاده شد. واکاوی نتایج به دست آمده نشان داد که این نمونه‌ها را می‌توان در ۳ دسته قرار داد. دسته اول، نمونه‌هایی مانند کوارتزیت راسی که درصد کوارتز بالایی دارند و ذرات سنگ با سیمان سیلیکاته در کنار هم قرار گرفته‌اند. دسته دوم، درصد کوارتز

جدول ۳- نتایج مطالعات میکروسکوپی.

Table 3. Results of microscopic studies.

سازند	نام سنگ	کانی‌های سازنده	نوع سیمان
باروت	لیتیک آرکوز	کوارتز، کانی تیره، قطعات سنگی، فلدسپار، پلاژیو کلاز، رس، میکا	سیلیکاته، کربناته
زاگون	آرکوز-ساب آرکوز	کوارتز، کانی تیره، قطعات سنگی، فلدسپار	سیلیکاته
لالون	لیتیک آرکوز	کوارتز، کانی تیره، قطعات سنگی، فلدسپار، کانی رسی	سیلیکاته
کوارتزیت راسی	کوارتز آرنایت	کوارتز، کانی تیره، چرت	سیلیکاته
دورود	آرکوز	کوارتز، فلدسپار میکروکلین، پلاژیو کلاز، کانی تیره، میکا، کانی رسی	سیلیکاته، کربناته
شمشک	آرکوز	کوارتز، فلدسپار میکروکلین، پلاژیو کلاز، کانی رسی، کانی تیره	سیلیکاته، کربناته، رسی



شکل ۹- رده‌بندی ماسه‌سنگ‌ها بر اساس فولک (Folk, 1968).

Figure 9. Classification of sandstones based on Folk (1968).

کوارتزیت راسی تا ۲/۵۰ در شمشک متغیر است. احتمالاً درصد جذب آب بالا در سازند شمشک افزون بر تخلخل به میزان کانی‌های رسی موجود هم بستگی داشته باشد (جدول ۴).

۴-۲- ویژگی‌های مقاومتی

مقاومت تراکم تک‌محوری: نتایج به دست آمده از آزمون تراکم محصور نشده، نشان

۴-۱- ویژگی‌های فیزیکی

همان‌گونه که بیان شد، ویژگی فیزیکی سنگ‌ها به طبیعت سنگ و پیشینه تشکیل آن بستگی دارد. تخلخل، جذب آب و وزن واحد حجم برای هر نقطه نمونه‌برداری شده انجام و یک عدد به عنوان میانگین این ویژگی‌ها در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، حدود تغییرات تخلخل از ۱/۱۹ در کوارتزیت راسی تا ۶/۳۹ در سازند شمشک متغیر است؛ پیرو آن، میزان جذب آب نیز از ۰/۴۶ در

دیسکی با قطر NX انجام شده است (شکل ۱۰) نیز از محدوده ۲/۸ مگاپاسکال در سازند شمشک تا ۵ مگاپاسکال در کوارتزیت راسی متغیر است. بر اساس رده‌بندی بروج و فرانکلین (Broch and Franklin, 1972) ماسه‌سنگ‌های البرز مرکزی از نظر شاخص بار نقطه‌ای، سازند شمشک در رده مقاومت بالا و سایر سازندها در رده سنگ‌هایی با مقاومت خیلی بالا قرار می‌گیرند.

– **آزمون برزیلین:** یک شاخص برای برآوردی از مقاومت کششی سنگ است. این آزمون بر روی مغزه‌های NX تهیه شده از سازندها انجام شد (شکل ۱۱).

می‌دهد که مقاومت تراکمی ماسه‌سنگ‌های البرز مرکزی در بازه ۳۴ مگاپاسکال در سازند شمشک تا ۹۲ مگاپاسکال در کوارتزیت راسی متغیر است. این سازندها در رده‌بندی دیر و میلر (Deere and Miller, 1966) به شرح جدول ۵ رده بندی می‌شوند.

کاهش سیمان سیلیکاته، افزایش درصد فلدسپار و حضور کانی رسی و سایر کانی‌های نامقاوم سبب افت مقاومت تک‌محوره سنگ می‌شود.

– **شاخص بار نقطه‌ای:** در این سنگ‌ها شاخص بار نقطه‌ای که بر روی نمونه‌های

جدول ۴- نتایج ویژگی‌های فیزیکی.

Table 4. Results of physical characteristics.

سازند	تخلخل	جذب آب	چگالی خشک (g/cm <sup>3</sup> )	وزن واحد (g/cm <sup>3</sup> )
باروت	۳/۶۵	۱/۴۹	۲/۴۶	۲/۵۰
زاگون	۱/۵۲	۰/۶۵	۲/۴۴	۲/۶۴
لالون	۳/۴۷	۱/۳۳	۲/۶۰	۲/۶۳
کوارتزیت راسی	۱/۱۹	۰/۴۶	۲/۵۴	۲/۵۶
دورود	۴/۱۷	۱/۶۹	۲/۴۸	۲/۵۲
شمشک	۶/۳۹	۲/۵۰	۲/۵۷	۲/۶۳

جدول ۵- رده‌بندی ماسه‌سنگ‌های بررسی شده بر اساس رده‌بندی دیر و میلر (Deere and Miller, 1966).

Table 5. Classification of investigated sandstones based on Deere and Miller's classification (1966).

توصیف	رده سنگ	مقاومت فشاری تک محوره	نام سازند
مقاومت متوسط	CL	۹۲-۷۱	کوارتزیت راسی، باروت، زاگون، لالون
مقاومت پایین	DL	۴۸-۳۳	دورود، شمشک



شکل ۱۰- دستگاه آزمون بار نقطه‌ای و نمونه‌های آزمایش شده.

Figure 10. Point load test device and tested samples.





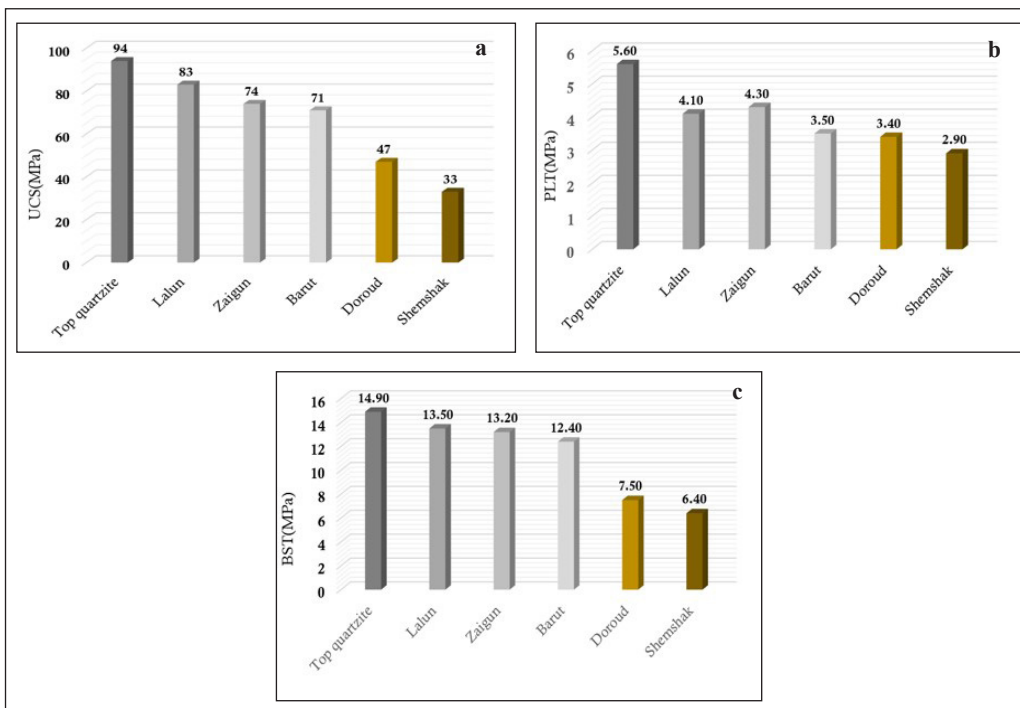
شکل ۱۱- دستگاه آزمون برزیلین و نمونه‌های آزمایش شده.

Figure 11. Brazilian test device and tested samples.

تک محوره به آن اعمال بار صورت گرفت (شکل ۱۳). نکته دارای اهمیت در این آزمایش، هم‌مرکز شدن نمونه و میله اعمال بار و محافظه عبور میله است که اگر هم‌محور نباشند، شکست سنگ به طور صحیح رخ نمی‌دهد (جعفری و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج آزمایش پانچ نشان می‌دهد که تغییرات شاخص پانچ استوانه‌ای در ماسه‌سنگ‌های البرز مرکزی از ۱/۷۵ مگاپاسکال در سازند شمشک تا ۴/۲ مگاپاسکال در کوارتزیت راسی متفاوت است (شکل ۱۴).

همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، مقاومت کششی سنگ در سازندهای کوارتزیت راسی و زاگون بیشترین مقدار بوده و با افزایش کانی‌های فلدسپار، حضور سیمان‌های غیر سیلیکاته و کانی‌های نامقاوم کاهش می‌یابد و در سازند شمشک به کمترین میزان خود می‌رسد.

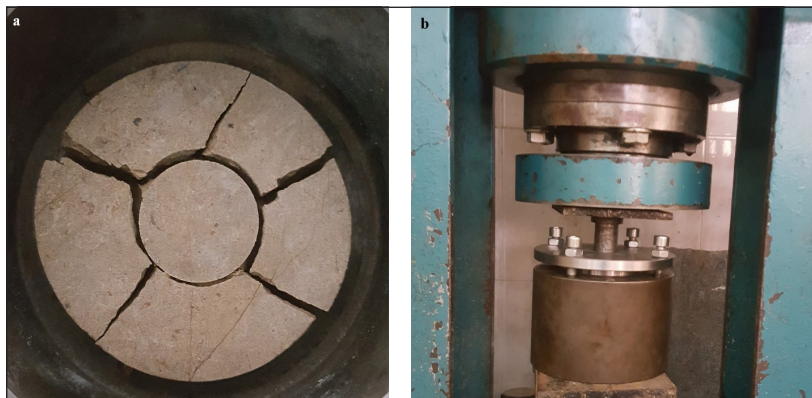
— شاخص پانچ: در آزمایش پانچ نمونه‌های دیسکی شکل با ستبرای حدوداً ۱۰ و قطر ۵۴ میلی‌متر تهیه شد و در قالب آزمون قرار داده و به کمک دستگاه آزمون تراکم



شکل ۱۲- (a) میزان مقاومت محصور نشده، (b) بار نقطه‌ای و (c) برزیلین در سازندها.

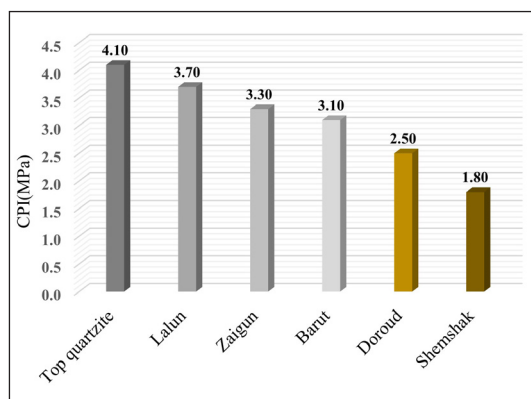
Figure 12. a) Amount unconfined compressive strength, b) point load test, c) Brazilian test in the formations.





شکل ۱۳- آزمون پانچ و نمونه تحت آزمایش قرار گرفته.

Figure 13. Punch test and tested sample.



شکل ۱۴- شاخص پانچ در سازندهای بررسی شده.

Figure 14. Punch index in the studied formations.

ارتباط پارامترهای به دست آمده از اهمیت زیادی برخوردار است. از این رو، در اینجا به ارتباط و همبستگی پارامترهای مکانیکی سنگ پرداخته می‌شود. روابط همبستگی زیادی برای مقاومت تراکم تک‌محوری ارائه شده است که هر یک با ضریب تعیین متفاوتی به بررسی ارتباط این دو پارامتر پرداخته‌اند (جدول ۷).

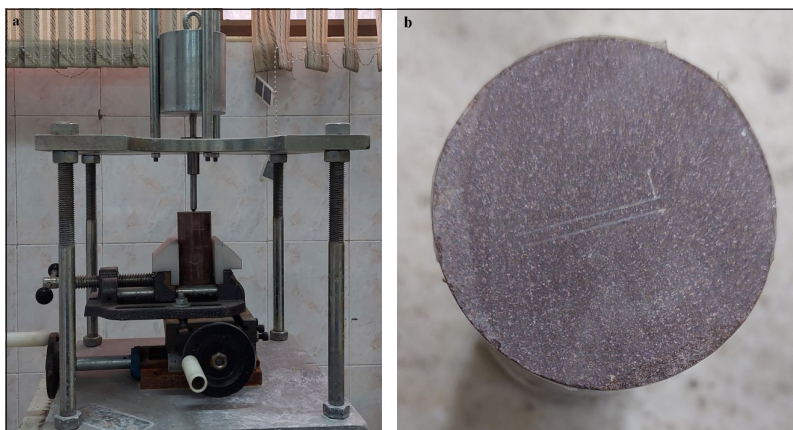
بین پارامترهای مقاومت تک‌محوری و شاخص بار نقطه‌ای در سازندهای مورد آزمایش، همبستگی نسبتاً خوبی برقرار است. این همبستگی از نوع خطی و با  $R^2=0.75$  می‌باشد که ارتباط مستقیم بین این دو پارامتر به تصویر می‌کشد (شکل ۱۶).

آزمایش برزیلی افزون بر این که در برآورد مقاومت کششی استفاده می‌شود، در روابط تجربی زیادی برای تخمین مقاومت تراکمی تک‌محوری سنگ به کار رفته است. از معروف‌ترین روابط بین این دو پارامتر می‌توان به رابطه شوری (Sheorey, 1997) اشاره کرد. ایشان بر این باور هستند که مقاومت تراکم محصور نشده حدوداً ۱۰ برابر کشش برزیلی است اما این گونه روابط تغییرات بالایی را در مناطق مختلف نشان می‌دهند. پژوهش‌های زیادی در زمینه ارتباط این دو پارامتر ارائه شده است که در جدول ۸ به برخی از آن‌ها اشاره شده است. ارتباط این دو پارامتر در ماسه‌سنگ‌های البرز مرکزی یک ارتباط مثبت با  $(R^2=0.90)$  است که ارتباط خوبی را نشان می‌دهد (شکل ۱۷).

– **شاخص سرشار:** آزمون سایش سرشار روشی برای تعیین میزان سایندگی سنگ است. به طور کلی مبنای این آزمایش، میزان ساییده شدن نوک یک پین با سختی مشخص است که به وسیله یک وزنه ۷ کیلوگرمی تحت بار استاتیک قرار گرفته (شکل ۱۵) و در طول یک مسیر ۱۰ میلی‌متری اندازه‌گیری می‌شود. البته طول مسیر آزمایش باید متناسب با قطر ذرات تشکیل‌دهنده سنگ در نظر گرفته شود. برای رسیدن به دقت مناسب، آزمون سرشار بر روی ۵ نمونه انجام شده است. فاصله مسیر عبور میله بر روی سنگ باید مطابق با دستورالعمل آزمایش رعایت شود. قطر سایندگی نوک میله به وسیله میکروسکوپ مناسب بررسی و اندازه‌گیری شد. از آنجا که آزمایش بر روی نمونه‌های بریده شده انجام شده است، شاخص اصلاح شده برای سنگ‌ها نیز محاسبه شد. اصلاح شاخص زمانی صورت می‌گیرد که آزمایش بر روی سطح نمونه‌هایی انجام شود که سنگ با دستگاه برش خورده باشد. برش با دستگاه سبب از بین رفتن زبری سطح مورد آزمایش می‌شود. از آنجا که آزمایش سرشار در اصل بر روی سطح شکست تازه سنگ انجام می‌شود، بایستی اصلاح بر روی آن صورت گیرد و این اصلاح با ضرب  $1/14$  در نتایج سرشار به دست می‌آید. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش سرشار، رده‌بندی ماسه‌سنگ‌های موضوع این پژوهش به شرح جدول ۶ برای هر دو حالت معمولی و اصلاح شده انجام گرفته است.

#### ۳-۴- همبستگی پارامترهای مکانیکی سنگ

پس از انجام آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج،



شکل ۱۵- دستگاه آزمون سرشار و نمونه آزمایش شده.

Figure 15. Cerchar test device and tested sample.

جدول ۶- رده‌بندی سازندها بر اساس شاخص سرشار.

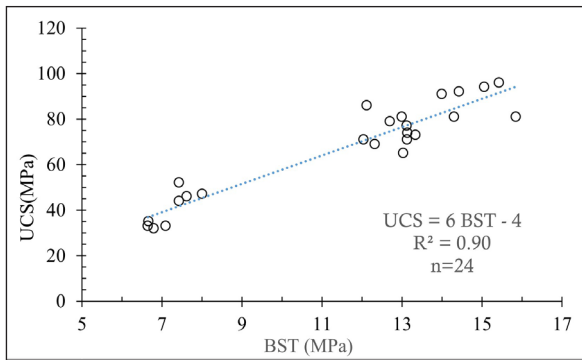
Table 6. Classification of formations based on the Cerchar Abrasivity Index.

نام سنگ	CAI <sub>s</sub>	CAI	رده بندی بر اساس شاخص سرشار (CAI <sub>s</sub> )	رده بر اساس شاخص سرشار اصلاح شده (CAI)
کوارتزیت راسی	3.917	4.465	سنگ با سایش بالا	سنگ با سایش خیلی بالا
زاگون	2.099	2.392	سنگ با سایش متوسط	سنگ با سایش متوسط
لالون	1.047	1.194	سنگ با سایش پایین	سنگ با سایش پایین
باروت	0.729	0.83	سنگ با سایش خیلی پایین	سنگ با سایش خیلی پایین
دورود	0.519	0.592	سنگ با سایش خیلی پایین	سنگ با سایش خیلی پایین
شمشگ	0.301	0.344	سنگ با سایش شدیداً پایین	سنگ با سایش خیلی پایین

جدول ۷- برخی روابط تجربی بین مقاومت تک محوره و شاخص بار نقطه‌ای.

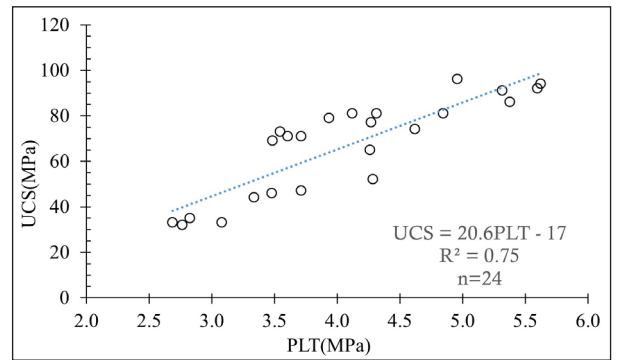
Table 7. Some experimental relationships between uniaxial compressive strength and point load index.

پژوهشگر	نوع سنگ	رابطه	R <sup>2</sup>
Cargill and Shakoor (1990)	Sandstone, limestone	UCS = 23 PLI + 13	
(Kahraman (2001	Limestone	UCS = 8.41 PLI + 9.51	0.85
(Sabatakakis et al. (2009	Sandstone, limestone	UCS = 28 PLI	0.72
(Singh et al. (2012	Limestone	UCS = 22.3 PLI	0.68
(Kamani and Ajalloeian (2019	Limestone	UCS = 23.534 PLI - 16.533	0.76
(Sadeghi et al. (2022	Limestone	UCS = 11.406 IS50 + 13.456	0.75



شکل ۱۷- همبستگی بین مقاومت محصور نشده با آزمون برزیلین.

Figure 17. Correlation between unconfined compressive strength and Brazilian test.



شکل ۱۶- همبستگی بین مقاومت محصور نشده با شاخص بار نقطه‌ای.

Figure 16. Correlation between unconfined compressive strength and point load index.

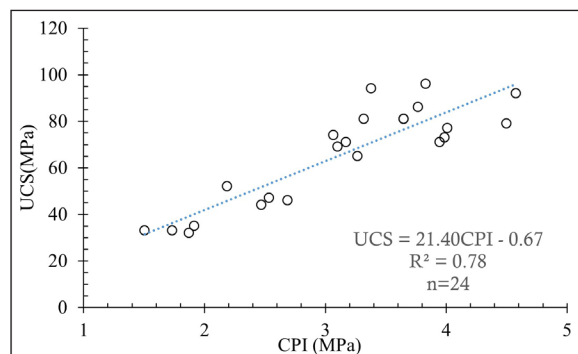
جدول ۸- برخی روابط تجربی بین مقاومت تک محوره و برزیلین

Table 8. Some experimental relationships between uniaxial compressive strength and Brazilian test.

پژوهشگر	نوع سنگ	رابطه	R <sup>2</sup>
Brady and Brown (2004)	Limestone	UCS = 8 BTS	
Farah (2011)	Limestone	UCS = 5.11 BTS - 0.92	0.68
Nazir et al. (2013)	Limestone	UCS = 9.25 BTS <sup>0.947</sup>	0.9
Karaman et al. (2015)	Limestone	UCS = 7.02 BTS	0.99
(Sadghi et al. (2022)	Limestone	UCS = 5.29 BTS+18.03	0.69

شده توسط اولوسی و همکاران (Ulusay et al., 2001) که برابر ۵/۱ و ضریب تبدیل ۷/۴ که توسط جلالی و همکاران (Jalali et al., 2019) ارائه شد، بالاتر است. در شاخص پنج قطر بین بارگذاری با سنگ از اهمیت زیادی برخوردار است.

آزمایش پنج به همراه مقاومت تراکم تک محوری بر روی نمونه‌های ۶ سازند انجام شد. نتایج این دو آزمایش تحت تحلیل رگرسیون قرار گرفت و ضریب همبستگی بین این دو پارامتر به دست آمد که ضریب تعیین برابر ۲۱/۴۰ می‌باشد (شکل ۱۸). ضریب به دست آمده در مقایسه با ضریب‌های ارایه



شکل ۱۸- همبستگی بین مقاومت محصور نشده با شاخص پنج استوانه‌ای.

Figure 18. Correlation between unconfined compressive strength and cylindrical punch index.

## ۵- نتیجه گیری

نتایج آزمون سایش سرشار نشان می‌دهد سنگ‌هایی که درصد کوارتز و سیمان سیلیکاته بالاتری دارند، از شاخص CAI بالاتری برخوردار هستند. در سازندهای ماسه سنگی البرز مرکزی کوارتزیت راسی بیشترین مقدار شاخص سرشار را از خود نشان می‌دهد و بر اساس رده‌بندی در گروه سنگ‌هایی با سایندهایی بالا و خیلی بالا قرار می‌گیرد. بر همین اساس، سازند شمشک ماسه‌سنگی با سایندهایی به شدت پایین است.

در این پژوهش، ۶ سازند ماسه‌سنگی از پهنه ساختاری- رسوبی البرز مرکزی مورد مطالعه قرار گرفت که از دیدگاه سنگ‌شناسی، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه مطابق با طبقه‌بندی فولک در رده کوارتزآرنایت تا آرکوز قرار می‌گیرند. این پژوهش نشان می‌دهد که سازندهایی که سیمان سیلیسی و درصد کوارتز بیشتری دارند، از ویژگی‌های مکانیکی بهتری برخوردار هستند به طوری که کوارتزیت راسی بالاترین و سازند شمشک کمترین مقدار را از خود نشان می‌دهند.

## کتابنگاری

جعفری، ا.، نیکودل، م.، ر.، احمدی، م.، ۱۳۸۹، ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی سنگ‌ها با استفاده از نتایج آزمایش پانچ بلوکی و پانچ استوانه‌ای. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و ششم، شماره ۱، ص ۱۶۹-۱۸۳.

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، نشر سمر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۸۶.

درویش زاده، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر. ص ۴۳۴.

سهندهی، م.، ر.، سهیلی، م.، ۱۳۹۲، نقشه زمین‌شناسی ایران، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

## References

- Abdollahi, A., 2016. Tectonic-Mechanical Properties of the Alborz Region, Iran. Ph.D. thesis, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Iran.
- Aghanabati, A., 2004. *Geology of Iran. first ed. Samar, Geological Survey of Iran, 586p. Tehran. (In Persian)*
- Akesson, U., Stinch, J., Lindqvist, J.E., and Goransson, M., 2001. Relationship between texture and mechanical properties of granites, Central Sweden, by use of image-analyzing techniques. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 60: 277–284. <https://doi.org/10.1007/s100640100105>.
- Alavi, M., 1996. Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz Mountain system in northern Iran. *Geodynamics*, 21: 1–33, [https://doi.org/10.1016/0264-3707\(95\)00009-7](https://doi.org/10.1016/0264-3707(95)00009-7).
- Azhar, M. U., Zhou, H., Yang, F., Younis, A., Lu, X., Fang, H., and Geng, Y., 2020. Water-induced softening behavior of clay-rich sandstone in Lanzhou Water Supply Project, China. *Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12: 557-570. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.07.017>.
- Azhar, M.U., Zhou, H., Yang, F., Adnan Younis, A., Xinjing Lu, X., Fang, H., and Yijun Geng, Y., 2022. Estimation of Brittleness Indexes from Petrographic Characteristics of Different Sandstone Types (Cenozoic and Mesozoic Sandstones), Markazi Province, Iran, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55: 1955–1995. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02934-4>.
- Beavis, F.C., 1985. *Engineering Geology*. Blackwell, Melbourne. 231 pp.
- Bell, F.G., 1978. The physical and mechanical properties of the Fell sandstone. *Engineering Geology* 12: 1–29. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(78\)90002-9](https://doi.org/10.1016/0013-7952(78)90002-9).
- Bell, F.G., and Lindsay, P., 1999. The petrographic and geomechanical properties of some sandstones from the Newspaper Member of the Natal Group near Durban, South Africa. *Engineering Geology*, 53: 57–81. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00081-7](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00081-7).
- Benaafi, M., Hariri, M., Shaibani, A., Abdullatif, O., and Makkawi, M., 2018. Integrated geomechanical, petrographical and petrophysical study of the sandstones of the Wajid Group, SW Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, 143: 162-177. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.03.011>.
- Berberian, M., and King, G.C.P., 1981. Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Science*, 18: 210–265, <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- Boggs, S., 2016. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. INDIA: PEARSON, 2016. - 5th Edition: p. 553.
- Brady, B.H.G., and Brown, E.T., 2004. *Rock Mechanics for Underground Mining*. Kluwer Academic Publishers, New York. p. 645.
- Broch, E., and Franklin, J.A., 1972. The point load test strength test. *international journal of Rock mechanics and Mineral Science*, 9: 669-697. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(72\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(72)90030-7).
- Brosch, F.J., Schachner, K., Blumel, M., Fasching, A., and Fritz, H., 2000. Preliminary investigation results on fabrics and related physical properties of an anisotropic gneiss. *Journal of Structural Geology* 22: 1773–1787. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(00\)00106-1](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(00)00106-1).
- Cargill, J.S., and Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 27: 495–503. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)91001-N](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)91001-N).



- Chatterjee, R., and Mukhopadhyay, M., 2002. Effects of rock mechanical properties on local stress field of the Mahanadi basin, India-results from finite element modelling. *Geophysical research letters*, 29, 28-1-28-4. <https://doi.org/10.1029/2001GL013447>.
- Darvishzadeh, A., 2004. *Geology of Iran. first ed. Amir-e-Kabir, 434p.Tehran. (In Persian)*.
- Deere, D.U., and Miller, R., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock: Technical Report on Air Force Weapons Lab. 65-116, New Mexico.
- Farah, R., 2011. Correlations between Index Properties and Unconfined Compressive Strength of Weathered Ocala Limestone. UNF Theses and Dissertations. Paper 142.
- Franklyn, B.V.H., 1989. Krynine, Pettijohn, and Sedimentary Petrology. *Journal of Geological Education*, 37: 241-242.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co., Austin.
- Gunsallus K.L., and Kulhawy, F.H., 1984. A comparative evaluation of rock strength measures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining sciences*, 21: 233–248. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(84\)92680-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(84)92680-9).
- Jafari, E., Nikudel, M. R., and Ahmadi, M., 2010. Evaluation of strength characteristics of rocks using block and cylindrical punch test results. *Journal of science university of Tehran*, 36: 169-183. (In Persian).
- Jalali, S.H., Heidari, M., Zarrinshoja, M., and Mohseni, N., 2019. Predicting of uniaxial compressive strength of some igneous and metamorphic rocks by block punch index and cylindrical punch index tests. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 119: 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.04.013>.
- Jeng, F., Weng, M., Lin, M., and Huang, T., 2004. Influence of petrographic parameters on geotechnical properties of tertiary sandstones from Taiwan. *Engineering Geology*, 73: 71-91. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2003.12.001>.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 38: 981–994. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(01\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(01)00039-9).
- Kamani, M., and Ajalloeian, R., 2019. Evaluation of the mechanical degradation of carbonate aggregate by rock strength tests, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 11, 121-134.
- Karaman, K., Kesimal, A., and Ersoy, H., 2015. A comparative assessment of indirect methods for estimating the uniaxial compressive and tensile strength of rocks. *Arabian Journal of Geosciences*. 8: 2393–2403. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1384-0>.
- Montoto, M., 1983. Petrophysics: The petrographic interpretation of the physical properties of rocks. *Proceedings of the 5th International Congress on Rock Mechanics*, Melbourne, 1: 93–98.
- Nazir, R., Momeni, E., Armaghani, D.J., and Mohdamin, M.F., 2013. Correlation between unconfined compressive strength and indirect tensile strength of limestone rock samples. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18: 1737–1746.
- Nouri, M., Khanlari, G. R., Rafiei, B., Sarfarazi, V., and Zaheri, M., 2022. Estimation of Brittleness Indexes from Petrographic Characteristics of Different Sandstone Types (Cenozoic and Mesozoic Sandstones), Markazi Province, Iran, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55:1955–1995. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02934-4>.
- Räisänen, M., 2004. Relationships between texture and mechanical properties of hybrid rocks from the Jaal – Iitti complex, southeastern Finland. *Engineering Geology*, 74: 197–211. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.03.009>.
- Ronov A.B., 1968. Probable chances in the composition of sea water during the course of geologic time. *Sedimentology*, 10: 5–43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1968.tb01909.x>.
- Sabatatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G., and Papanakli, S., 2009. Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 97: 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.12.004>.
- Sadeghi, E., Nikudel, M. R., Khomehchiyan, M., and Kavussi, A., 2022. Estimation of Unconfined Compressive Strength (UCS) of Carbonate Rocks by Index Mechanical Tests and Specimen Size Properties: Central Alborz Zone of Iran. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55:125–145. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02532-w>.
- Sahandi, M. R., and Sohaili, M., 2014. *Geological map of Iran, scale 1:1000000, Geological survey and mineral explorations of Iran. (In Persian)*.
- Shakoor, A., and Bonelli, R. E., 1991. Relationship between petrographic characteristics, engineering index properties, and mechanical properties of selected sandstones. *Bulletin of Engineering Geology* 28. - 1991. - pp. 55–71. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.xxviii.1.55>
- Sheorey, P.R., 1997. *Empirical Rock Failure Criteria*. Rotterdam: Balkema, 176p.
- Singh, T.N., Kainthola, A., and Venkatesh, A., 2012. Correlation between point load index and uniaxial compressive strength. for different rock types. *Rock Mechanic and Rock Engineering*. 45(2), 259–264. <https://doi.org/10.1007/s00603-011-0192-z>.
- Tamrakar, K.N., Yokota, S., and Shrestha, D.S., 2007. Relationships among mechanical, physical and petrographic properties of Siwalik sandstones, Central Nepal Sub-Himalayas. *Engineering Geology*, 90: 105-123. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.10.005>.
- Ulusay, R., Gokceoglu, C., Sulukcu, S. 2001. Draft ISRM suggested method for determining block punch strength index (BPI), *Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38:1113–1119. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(01\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(01)00078-8).
- Ulusay, R., Türeli, K., and Ider, M.H., 1994. Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic

- characteristics using correlation and multivariate statistical techniques. *Engineering Geology*. 38:135-157. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0013-7952(94)90029-9).
- Wang, Z., Li, W., Wang, Q., Liu, S., Hu, Y., and Fan, K., 2019. Relationships between the petrographic, physical and mechanical characteristics of sedimentary rocks in Jurassic weakly cemented strata. *Environmental Earth Sciences*, 78: 78-91. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8130-6>.
- Williams, H., Turner, F. J., Gilbert, C. M., Turner, F. J., 1982. *Petrography: an introduction to the study of rocks in thin sections*. First edition, San Francisco: W.H. Freeman and Co. 626p.
- Wilmsen, M., Fürsich, F.T., Seyed-Emami, K., Majidifard, M., and Taheri, T., 2009. The Cimmerian Orogeny in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the Foreland. *Terra Nova*, 21: 211-218, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2009.00876>.