Kharazmi University

Journal of Engineering Geology

Journal home page https://jeg.khu.ac.ir

OPEN ACCESS

Online ISSN 2981-1600

Assessment of alkali-silica reaction (ASR) in active aggregates using concrete petrography and the dri index

Seyyed Mahmoud Fatemi Aghda[1]✉, Seyyed Sara Mousavi Herati[2], Mehdi Talkhablo[3], Amir Maziar Rais Ghasemi[4]

1. Professor, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Karaj, Iran. E-mail:fatemi@khu.ac.ir
2. M.SC. Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail:s.r.musavei@gmail.com
3. Assistant Professor, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Karaj, Iran. E-mail:Talkhablou@khu.ac.ir
4. Researcher of Road, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran. E-mail:raissghasemi@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 11 March 2024
Received in revised form 27 August 2024
Accepted 31 August 2024

Keywords:
Aggregate, alkali-aggregate reaction (AAR), alkali-silica reaction (ASR), ASTM C856-4, Damage Grading Index (DRI).

ABSTRACT

The alkali-silica reaction of aggregates is one of the most significant factors in the destruction of concrete structures worldwide. This is due to chemical reactions between alkaline fluids in concrete voids and active silica minerals present in some aggregates. Considering that many physical, chemical and mechanical properties of concrete are related to aggregates, the role of aggregates in concrete is crucial. This research aims to investigate the compatibility of aggregate petrographic studies and accelerated prismatic mortar testing in predicting the reactivity of aggregates and determining the intensity of aggregate reactivity using the DRI index (a semi-quantitative complementary petrographic analysis). The study was carried out on laboratory samples of aggregates from mines around Tehran, using the ASTM C295, ASTM C1260 and ASTM C856-4 tests. The results showed that pyroclastic aggregates, which include sandy tuff, crystalline tuff (dacitic andesite) and glassy tuff, have the potential to cause an alkali-silica reaction due to their glassy background and microcrystalline silica. During the alkaline reaction tests of the aggregates, evidence of gel was found in cracks, holes and cement paste. In addition, the DRI index showed that the fine aggregates of both study areas were in the "slightly damaged" category and the coarse aggregates were in the "severely damaged" category.

Introduction

Understanding the nature of aggregates is critical due to their importance as a common material in concrete and their increasing demand in construction projects. Aggregates used in concrete can have a serious impact on the durability and maintenance of buildings and infrastructure. Unfortunately, the testing and specification of these aggregates prior to construction is often ignored or not given adequate attention. Alkali silica reaction (ASR) is considered to be one of the most detrimental factors that can affect the durability of these aggregates. There is currently no consensus on the most efficient method for testing the alkali reaction of concrete aggregates in structures affected by ASR, although many tests have been developed over the years worldwide. One method for investigating ASR is the Damage Grading Index (DRI) proposed by Grattan-Bell et al 1995. The DRI method assesses damage in concrete using semi-quantitative microscopic studies. This method evaluates the expansion and deterioration caused by ASR and the amount of damage in concretes containing reactive aggregates (Grattan-Bellow, 1995). The DRI method is also useful in investigating the reaction effects in concrete exposed to ASR. In this article, the main components of concrete, the aggregates, have been examined from a geological and mineralogical perspective to identify the active silica that causes the ASR reaction. In addition, this method helps to determine the quality of the rock materials. The

Cite this article: Fatemi Aghda, M., Mousavi Herati, S., Talkhablo, M., Rais Ghasemi, A. M. (2024). Assessment of Alkali-Silica Reaction (ASR) in Active Aggregates Using Concrete Petrography and the DRI Index. Journal of Engineering Geology, 18 (2), 241-261. https//doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.1019661

© The Author(s).

Publisher: Kharazmi University.
DOI: https//doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.1019661

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.1019661]

main objective of this research is to study the characteristics of concrete and to detect the alkali-silica reaction in aggregates and cement paste, and also to establish a correlation between the results of the petrography of aggregates, the results of the accelerated prismatic mortar test and the deterioration index. Therefore, this study examines petrographic studies of aggregates, prismatic expansion of accelerated mortar using the ASTM standard method, and petrographic studies of concrete as index tests according to the ASTM C856-4 standard to identify the active silica that causes the ASR reaction.

Materials and methods

Consumable aggregates

As the materials used for construction purposes in Tehran Province are derived from river materials, the highest concentration of sand and sand units are found in two axes: the Shahryar axis (Karaj River) and the Pakdasht axis (Jajrud River). Therefore, to assess the alkaline reaction capacity, six mines were selected and sampled based on geology, mineralogy and identification of active silica, which is the main factor of ASR reaction.

Physical characteristics

The physical and mechanical properties of the aggregates were determined according to ASTM standards. The average specific weight of the fine and coarse aggregates in the saturated state with a dry surface was determined according to ASTM C 128 and ASTM C 127. The impact and crushing value tests (BSI British Standards Institution BS 812-110, 1990), were carried out and the results are given in Table 1.

Petrographic Examination of Aggregates (ASTM C295)

The macroscopic observations revealed that the aggregates could be grouped into three categories: Group A - sandstone, Group B - limestone and Group C - pyroclastic volcanic aggregates, as shown in Table 2. The condition of the aggregates was also examined in terms of weathering and strength and they were divided into three categories: dense and unweathered, semi-weathered and weathered. The percentage and type of grains with special shapes (disc-blade-spherical) were calculated for both ranges of aggregates, and the results are presented in Tables 3 and 4.

In order to study the mineralogical changes of the aggregates used, a thin section was prepared and subjected to microscopic analysis (ASTM C295). The percentage and type of rock making up the materials were determined, and the percentage of reactive minerals was also calculated.

Expansion Testing through C1260-07 (AMBT)

The silica-alkali reactivity test was carried out using the accelerated prismatic mortar method (ASTM C1260) on aggregates from two selected mines. Prior to the test, petrographic and reactivity studies were carried out on the aggregates. Four mortar bars (25 × 25 × 285 mm) were prepared for each type of aggregate by mixing it with Portland cement and water (as shown in Figure d). The length of the mortar bars was measured at regular intervals for 28 days to monitor expansion, and the changes in length are shown in figure 4 e.

Petrographic Examination of Hardened Concrete (ASTM C856)

After carrying out petrographic and prismatic mortar tests and analyzing the reactivity of the aggregates, a concrete petrographic test (ASTM C856) was carried out to further investigate the alkali-silica reaction.

As part of this investigation, 2.5 * 24 cm sample sections were taken from both test areas and subjected to an accelerated alkaline reaction test (ASTM C1260). The sections were then examined for evidence of damage caused by the alkaline reaction using the concrete petrographic method. The severity of the damage was assessed using the damage severity index (DRI)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.1019661]

developed by Grattan-Bellew in 1992 and later updated by Sanchez in 2017.

Results

Petrographic Examination of Aggregates (ASTM C295)

Petrographic studies have analyzed various microscopic sections including aggregates of quartzite, microcrystalline and sometimes dolomitized limestone, sandy tuff, volcaniclastic tuff, tuff (dacitic andesite), glass tuff and carbonate tuff. In addition, small pieces of quartz of various sizes, dolomitic limestone, calcite andesite fragments with altered glass paste and iron oxide hydroxides were found scattered throughout the field. Approximately 35-40% of the volume of volcanic or pyroclastic fragments contained active forms of silica, 10-15% contained dolomite fragments and 10-15% contained clay minerals, as shown in Figure 4.

Based on the petrographic observations of the aggregates studied in the Tehran mines, quartzite aggregates and microcrystalline limestone were considered to be inactive and healthy aggregates. However, pyroclastic aggregates, which include sandy tuff, crystalline tuff (dacitic andesite) and glass tuff, have the potential to generate an alkali-silica reaction due to their glass base and microcrystalline silica content.

Expansion Testing through C1260-07 (AMBT)

Figure e shows the different expansion rates of mortar bars. According to ASTM C1260 guidelines, if the expansion exceeds 0.1% within 14 days, the aggregate is considered to be reactive. The average expansion results of the prisms made with the No. 1 aggregate and the sand are 0.225 and 0.206 respectively. In both cases, this is greater than the 0.2 limit given in the standard text. In addition, the expansion rate for sand is 0.241 and 0.152, respectively, which exceeds the 0.2 limit mentioned in the standard text. However, for sand the expansion rate falls between 0.1 and 0.2, indicating reactivity potential. The expansion rate in the samples is above the standard limit, indicating the presence of reactive material.

Petrographic Examination of Hardened Concrete (ASTM C856)

In this study we investigated the damage characteristics associated with ASR, which include gel formation in air voids, cracking of aggregates and cement paste, and formation of cracks, joints and reactive products in coarse particles. We examined the reactive halo around aggregates, voids filled with reactive products or particles in each 1 cm x 1 cm square and counted the failure characteristics separately. The characteristic coefficient was multiplied by the above and finally divided by the total area examined. This gives the sum of the results for each defect and the damage severity index. The most common characteristics of "failure" were related to joints with reactive products (OCAG), reactive halos around aggregates or particles (RAP) and voids filled with reactive products (AVG), which can be an extension of ASR. It's worth noting that the identification of cracks in aggregates and paste with and without reactive products (CCA, CCP, CCPG) under the influence of ASR was somewhat difficult. This is because cracks can form in crushed aggregates during processing or weathering before use in concrete. With the alkaline reaction and increased expansion, the existing cracks will start to grow and expand, turning into cement paste at the high expansion level.

Identify the alkali-silica reaction (ASR) of aggregates by uranyl acetate solution test (ASTM C856-04)

One way to detect alkali-silica gel is to use uranyl acetate solution according to ASTM C856-04. Uranyl acetate can highlight the presence of ASR gel in cracks, cement paste, and concrete holes under UV light. This method can help distinguish silica gel from other by-products such as calcium carbonate. You can see the effect of ASR by looking at the pattern of cracking and the presence of reaction edges. The

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.1019661]

laboratory test requires a clean concrete sample, free from dust and traces of carbonate. he polished surface of the concrete sample is washed with distilled water and immersed in uranyl acetate solution. After 5 minutes it is washed again with distilled water and the target areas are observed under ultraviolet (UV) light in a dark place. Alkaline silica gel appears bright yellow-green under UV light. The results of the examination in Figure 10 confirm the gel identified by the stereo microscope.

Confirmation of alkali-silica reaction of concrete aggregates by concrete petrography and DRI test

Petrographic studies of aggregates have shown that pyroclastic aggregates such as sandy tuff, crystalline tuff (dacitic andesite) and glass tuff can cause an alkaline reaction due to the presence of a glass base and microcrystalline silica. These aggregates contain silica. To confirm the relationship between the aggregates and the alkali-silica reaction (ASR), thin sections of the samples studied were prepared and microscopically examined after identifying the alkali-silica gel with uranyl acetate solution. The results showed that the pyroclastic aggregates, which were susceptible to reaction in petrography, caused a destructive alkali-silica reaction due to the presence of unstable silica, chert and crystalline quartz hidden in their structure. Petrographic features were found to be diagnostic for quantifying the progression of ASR. Counting different petrographic features of deterioration helps to better understand the development of ASR distress in concrete samples and how this chemical reaction progresses as a function of the expansion level of the samples. The results of the experiment are shown in Figure 11.

Conclusion

1. The petrography and microscopic observations of the aggregates studied suggest that quartzite aggregates and microcrystalline limestone (Groups A and B) are considered to be inactive and healthy aggregates. However, pyroclastic aggregates (Group C), which include tuff types, have the potential to generate a siliceous-alkaline reaction due to the presence of microcrystalline silica and a glass base. Therefore, before carrying out any civil or industrial projects, the materials should be tested for alkaline reactivity, as these minerals are present in the aggregates of both mines.

2. The results of the accelerated test show that the average of the manufactured prisms over 14 days is 0.2%, which is much higher than the limit set by the standard. The presence of reactive minerals such as siliceous tuff, carbonate tuff, zeolite tuff, siliceous limestone, chert and microcrystalline quartz in the target materials makes the probability of reactivity of these minerals high to medium. As a result, the materials have the potential for silica-alkali reactions. If the results of the Accelerated Mortar Prism Test (ASTM C1260) show an average percent change in length of the tested specimens between 0.1 and 0.2%, additional testing, including the Long Term Test of ASTM C1293, is required.

3. A concrete petrographic test was carried out to ensure that the petrographic results of the aggregates were consistent with the results of the accelerated alkaline reaction. The test also aimed to assess the level of damage using the damage severity index on the samples that had undergone the accelerated test. The damage severity index was used to describe the damage and the results are shown in Table 9. Among the proposed quantitative methods, the damage severity index is the most suitable and effective for quantifying the internal damage caused by ASR.

The study carried out on the lithological investigations showed that the cracking within the aggregate particles occurs due to the expansion in the concrete. The results indicate that the aggregates play a significant role in the overall expansion of the concrete. It can be concluded that the damage severity index is influenced by ASR, which is a tool for evaluating concrete structures. Although the

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.1019661]

efficiency of this method in evaluating degradation mechanisms remains to be proven, it can be said that concrete petrography and the Degradation Rating Index (DRI) are the final confirmation of the potential of the alkali-silica reaction (ASR).

According to Grattan-Bellew, the analysis shows that the aggregates studied from both areas fall into the "slightly damaged" category according to the results of the DRI. In addition, the study presented new experimental evidence on the correlation between various petrographic features and expansion levels. The DRI method was used to estimate the expansion of concrete prisms made from aggregates, and it gave a relatively accurate result. It was also observed that almost all petrographic features, such as cracks in aggregate particles and cement paste, showed a continuous increase with expansion.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]

[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.1019661]

Kharazmi University

Journal of Engineering Geology

Journal home page https://jeg.khu.ac.ir

OPEN ACCESS

Online ISSN 2981-1600

بررسی واکنش قلیایی –سیلیسی سنگدانه های فعال با استفاده از پتروگرافی بتن و شاخص DRI

سید محمود فاطمی عقدا [۱] ✉، سیده سارا موسوی هراتی[۲]، مهدی تلخابلو[۳]، امیرمازیار رئیس قاسمی[۴]

۱. استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه:fatemi@khu.ac.ir

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد، زمین شناسی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه:s.r.musavei@gmail.com

۳. استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه:Talkhablou@khu.ac.ir

۴. پژوهشگر مرکز تحقیقات مسکن، راه و شهرسازی، تهران، ایران. رایانامه:raissghasemi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

کلیدواژه‌ها:

سنگدانه، واکنش قلیایی سنگدانه‌ها (AAR)، واکنش سیلیسی- قلیایی سنگدانه‌ها (ASR)، پتروگرافی بتن.

چکیده

واکنش قلیایی- سیلیسی (ASR) در سنگدانه‌ها، که نتیجه واکنش‌های شیمیایی بین مایعات قلیایی موجود در حفرات بتن و کانی‌های سیلیسی فعال در برخی سنگدانه‌ها است، یکی از عوامل اصلی تخریب سازه‌های بتنی در سراسر جهان محسوب می‌شود. با توجه به تأثیر قابل‌توجه سنگدانه‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی بتن، نقش آن‌ها در بتن بسیار مهم است. هدف این پژوهش، بررسی انطباق مطالعات پتروگرافی سنگدانه‌ها و آزمایش ملات منشوری تسریع شده برای پیش‌بینی واکنش‌پذیری سنگدانه‌ها و تعیین شدت واکنش‌زایی آن‌ها با استفاده از شاخص DRI (یک تحلیل نیمه کمی سنگ‌نگاری مکمل) بود. این پژوهش با استفاده از آزمایش‌های ASTM C295، ASTM C1260 و ASTM C856-4 بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی سنگدانه‌های معادن اطراف تهران انجام شد. نتایج نشان داد که سنگدانه‌های آذرآواری، از جمله توف ماسه‌ای، توف کریستال‌دار (داسیتیک آندزیت) و توف شیشه‌ای، به دلیل داشتن زمینه شیشه‌ای و سیلیس میکروکریستالین، پتانسیل ایجاد واکنش قلیایی- سیلیسی را دارند. نشانه‌های ژل ASR در ترک‌ها، حفره‌ها و همچنین در خمیره سیمان مشاهده شد که به واکنش قلیایی سنگدانه‌ها اشاره دارد. شاخص DRI نشان داد که سنگدانه‌های ریز در هر دو محدوده مطالعاتی در رده "کمی آسیب‌دیده" و سنگدانه‌های دانه‌درشت در رده "بسیار آسیب‌دیده" قرار می‌گیرند. در نهایت، این یافته‌ها با تاکید بر اهمیت واکنش‌پذیری سنگدانه‌ها در تخریب سازه‌های بتنی و با ترکیب مطالعات پتروگرافی و آزمایش‌های تسریع شده نشان می‌دهد که سنگدانه‌های آذرآواری دارای پتانسیل بالای واکنش قلیایی- سیلیسی هستند و ارزیابی واکنش‌پذیری آن‌ها با شاخص DRI می‌تواند به بهبود پیش‌بینی و مدیریت خطرات مرتبط با ASR در بتن کمک کند.

مقدمه

سنگدانه‌ها به عنوان یکی از اجزای اصلی بتن شناخته می‌شوند و شامل قطعات معدنی سنگی با اندازه‌های مختلف هستند. این اجزا تقریباً ۶۰ تا ۷۰ درصد از حجم بتن معمولی را تشکیل می‌دهند(Joo et al., 2023). مواد جامد شامل سنگ، ماسه و سنگ خرد شده، عمده حجم بتن را تشکیل می‌دهند و تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن دارند (Chen et al., 2021). یکی از واکنش‌های مؤثر بر دوام سنگدانه‌های مورد استفاده در بتن، واکنش قلیایی- سیلیسی (ASR) است که به عنوان یکی از مضرترین عوامل تخریب بتن شناخته می‌شود (Kazemi et al., 2022). این واکنش زمانی رخ می‌دهد که سنگدانه‌های بتن با مواد قلیایی موجود در آن

استناد: فاطمی عقدا، م.، موسوی هراتی، س.، تلخابلو، م.، رئیس قاسمی، ا. م. (۱۴۰۳). بررسی واکنش قلیایی -سیلیسی سنگدانه های فعال با استفاده از پتروگرافی بتن و شاخص DRI. مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۸ (۲)، ۲۴۱-۲۶۱. https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.1019661

ناشر: دانشگاه خوارزمی.

© نویسندگان.

CC BY NC

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]

[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.1019661]

واکنش می‌دهند (Miura et al., 2023). در واکنش قلیایی- سیلیسی (ASR)، کانی‌های ناپایدار سیلیسی موجود در سنگدانه‌های بتن با هیدروکسیدهای قلیایی موجود در سیمان واکنش داده و منجر به تشکیل ژل قلیایی- سیلیسی می‌شوند. این ژل با جذب رطوبت از محیط اطراف، باعث افزایش فشارهای انبساطی در داخل سنگدانه و خمیر سیمان می‌شود که این انبساط منجر به ایجاد ترک‌های میکروسکوپی در ساختار بتن و کاهش خواص مکانیکی و دوام آن می‌گردد. در نتیجه، عملکرد سازه‌های بتنی ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد و حتی به خسارت‌های بالقوه منجر شود (Sanchez et al., 2017). علی‌رغم تأثیر مهم ویژگی‌های سنگدانه‌ها بر دوام و نگهداری سازه‌ها و زیرساخت‌های بتنی، آزمایش و تعیین مشخصات سنگدانه‌ها قبل از ساخت معمولاً نادیده گرفته می‌شود یا به اندازه کافی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. این کم توجهی می‌تواند به مشکلات جدی در کیفیت و طول عمر سازه‌های بتنی منجر شود (Sanchez et al., 2017). واکنش‌پذیری سنگدانه‌ها به عواملی مختلفی چون منشاء زمین‌شناسی، ساختار معدنی و بافت آن‌ها بستگی دارد. علاوه بر این، انبساط ساختاری در یک سنگدانه واکنشی تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله انتشار یون‌های مربوطه در ساختار، وضعیت غیراشباع ساختار، منبع و غلظت یون‌ها، رطوبت محیط و دما قرار می‌گیرد (Kazemi et al., 2022). عملکرد ساختاری بتن تحت تأثیر واکنش قلیایی، نه تنها توسط میکروترک‌های ایجاد شده در اثر ژل قلیایی تولید شده، بلکه توسط ویژگی‌های کانی‌شناسی و مورفولوژی سنگدانه‌ها که با گذشت زمان گسترش می‌یابند، تضعیف می‌شود. بنابراین، درک بیشتری از ویژگی‌های کانی‌شناسی و ریزساختاری سنگدانه‌ها بسیار مهم است (Chuanlin et al., 2018).

سنگدانه‌های واکنشی حاوی اشکال بسیار واکنش‌پذیر سیلیس (اوپال، کریستوبالیت، تریدیمیت، شیشه آتشفشانی اسیدی) هستند که مستعد واکنش با مواد قلیایی (پتاسیم و سدیم) می‌باشند. ممکن است سنگدانه‌هایی از یک منشاء یا حتی سنگ بستر یکسان دارای پتانسیل ASR متفاوتی باشند. در طی سال‌ها، آزمایش‌های زیادی برای ارزیابی واکنش احتمالی قلیایی سنگدانه‌های بتن انجام شده است، اما هنوز توافقی در مورد کارآمدترین روش برای سازه‌هایی که از مضرات واکنش قلیایی مصون نیستند، وجود ندارد (Sanchez et al., 2018). مؤثرترین روش برای تشخیص سنگدانه‌های واکنشی، استفاده از پتروگرافی با مقطع نازک نوری و تأیید نتایج غیرقطعی از طریق آزمایش انبساط است. توانایی پیش‌بینی و تشخیص سنگدانه‌های مضر می‌تواند احتمال ترک‌خوردگی را کاهش داده و عمر مفید سازه‌های بتنی را افزایش دهد (Kazemi et al., 2022). یکی از روش‌های بررسی واکنش ASR، شاخص درجه‌بندی خسارت (DRI) است که توسط Grattan-Bellow و همکاران پیشنهاد شده است (Sanchez, 2014). این روش مبتنی بر مطالعات میکروسکوپی نیمه‌کمی برای ارزیابی آسیب در بتن می‌باشد (Grattan- Bellow, 1995). با استفاده از روش DRI، انبساط و خرابی ناشی از ASR و میزان آسیب در بتن‌های حاوی سنگدانه‌های واکنش‌زا ارزیابی می‌شود. روش DRI می‌تواند در هنگام بررسی اثرات واکنش ASR در بتن، اطلاعات مهمی ارائه دهد. اگرچه در حال حاضر DRI به عنوان یک روش استاندارد شناخته نمی‌شود و درجه‌بندی یکنواخت و پذیرفته شده‌ای برای نتایج آن وجود ندارد (Sanchez et al., 2015). این روش امکان دستیابی به یک درجه‌بندی کمی و عینی از خرابی‌های مرتبط با ASR از طریق آزمایش پتروگرافی را فراهم می‌کند (Fourneir et al., 2011). هدف این پژوهش، انجام آزمایش پتروگرافی بر روی سنگدانه‌ها، شناسایی واکنش قلیایی- سیلیسی (ASR) در سنگدانه‌ها و خمیر سیمان، و تعیین ارتباط بین نتایج پتروگرافی سنگدانه، نتایج آزمایش ملات منشوری تسریع‌شده

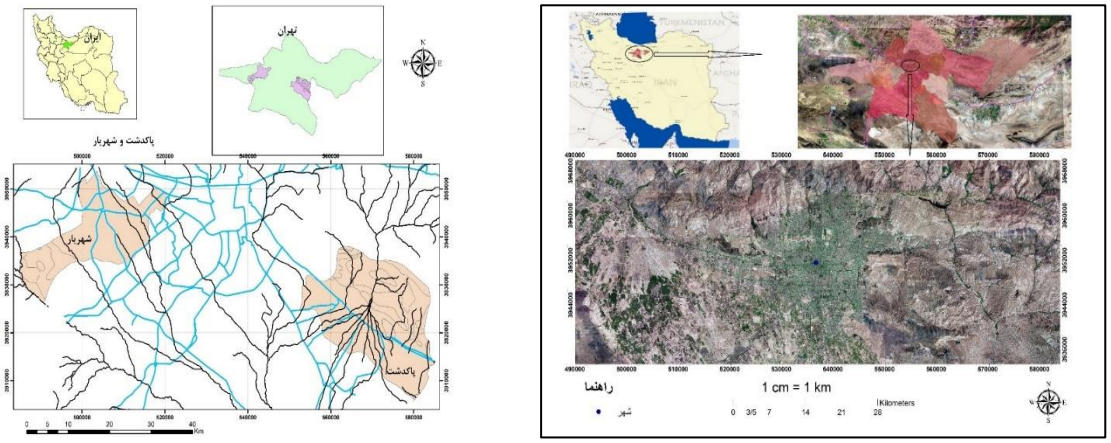
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]

و شاخص خرابی DRI است. در این راستا، سنگدانه‌ها از نظر کانی‌شناسی مورد بررسی قرار می‌گیرند و سپس اثر واکنش ASR به منظور شناسایی سیلیس فعال ارزیابی می‌شود.

زمین شناسی منطقه

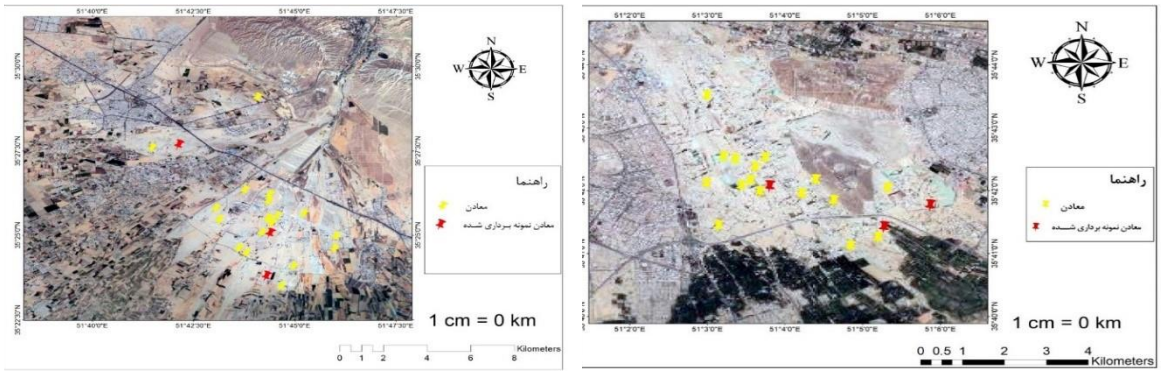
شهر تهران در دامنه جنوبی البرز و بر روی نهشته‌های آبرفتی کواترنر بنا شده است که مصالح مورد استفاده، مصالح رودخانه‌ای هستند که به دلیل موقعیت جغرافیایی و تنوع واحدهای زمین شناسی، پتانسیل بالایی جهت بهره‌برداری از معادن شن و ماسه را دارد. پهنه‌بندی استان تهران به لحاظ ذخایر معدنی به صورت زیر است:

نواحی جنوب شرقی کرج (شهریار)، منطقه کردان، جنوب شرق پاکدشت، جنوب شرقی تهران، شرق آبیک، منطقه رباط‌کریم، شمال دماوند و جنوب ورامین، معادن تولید شن و ماسه، تهران را در سه حوزه مختلف احاطه کرده‌اند. اراضی شهریار در غرب تهران، در مسیر رودخانه کرج دارای غنی‌ترین ذخایر شن و ماسه تهران می‌باشد، که از نظر وسعت، وسیع‌ترین نواحی برداشت شن و ماسه محسوب می‌شود. معادن شن و ماسه پاکدشت بیشتر در امتداد رودخانه جاجرود و شاخه‌های مرتبط با آن گسترش یافته‌اند. در این پژوهش از معادن شهریار و پاکدشت استفاده شده است. شکل ۲ نقشه پراکندگی معادن شهریار و پاکدشت را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه شهر تهران، موقعیت معادن، راه‌های دسترسی و رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Map of Tehran city, indicating mine locations, access roads, and rivers in the area under study



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی معادن شن و ماسه نمونه برداری شده

Fig. 2. Geographical location of the sampled sand and gravel mines

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]

انبساط منشور ملات تسریع شده مطابق با ASTM C1260 و همچنین مطالعات پتروگرافی بتن مطابق با استاندارد ASTM C856-4 به عنوان آزمایش‌های شاخص در نظر گرفته شده‌اند.

خواص فیزیکی

خواص فیزیکی و مکانیکی سنگدانه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک براساس استاندارد ASTM C128 و ASTM C127، آزمایش ارزش ضربه‌ای (BS 812-112:1990)، ارزش فشاری (بخش ۱۱۰ آیین‌نامه BS 812;1900) و جذب آب محاسبه و در جدول ۱ نتایج ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگدانه

Table 1. Physical and mechanical properties of aggregate

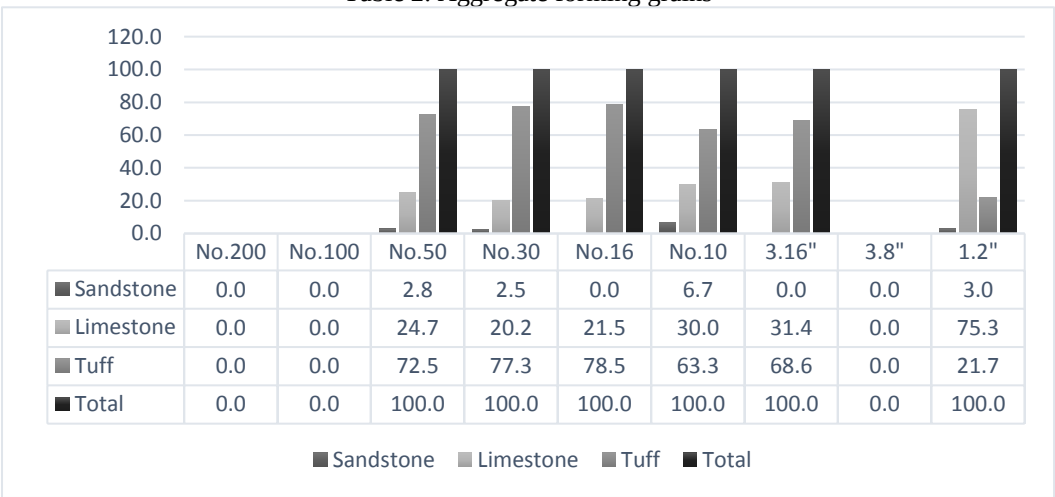
سنگدانه	وزن مخصوص	SSD	ارزش ضربه‌ای ٪	ارزش فشاری ٪	درصد جذب آب ٪
سنگدانه معدن ۱	2.65	2.57	5.7	15.16	1.9
سنگدانه معدن ۲	2.69	2.60	6.2	16.46	2.03

آزمایش پتروگرافی سنگدانه‌ها (ASTM C295)

در این بررسی ابتدا منابع قرضه هر دو معدن طبق استاندارد ASTM C117 و ASTM C136 دانه‌بندی شده و مورد مطالعه ماکروسکوپی قرار گرفتند و سنگدانه‌ها در سه گروه A: ماسه‌سنگ، B: سنگ آهک، و C: سنگدانه‌های آذرآواری – آتشفشانی دسته‌بندی شدند (جدول ۲).

جدول ۲. دانه‌های تشکیل دهنده سنگدانه‌ها

Table 2. Aggregate forming grains



وضعیت سنگدانه‌ها از لحاظ هوازدگی و استحکام مورد بررسی قرار گرفت که سنگدانه‌ها به سه رده سنگ متراکم و غیرهوازده، سنگ نیمه‌هوازده و سنگ هوازده تقسیم شد، و درصد و نوع دانه‌ها با اشکال ویژه (دیسکی- تیغه‌ای- کروی) برای سنگدانه‌های هر دو محدوده محاسبه گردید(جدول ۳).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10119661]

جدول ۳. نتایج مطالعات ماکروسکوپی معدن
Table 3. Macroscopic results of mine

معدن	نوع سنگدانه	تعداد سنگدانه برحسب ٪	غیر هوازده	نیمه هوازده	هوازده	دیسکی ٪	تیغه‌ای ٪	کروی ٪
	ماسه‌سنگ	3.16						
1	سنگ آهک	46.27	0	86.29	13.71	3.30	12.16	84.59
	توف	50.58						
	ماسه‌سنگ	12.28						
2	سنگ آهک	56.80	0	96.70	3.30	5.04	9.69	85.27
	توف	30.92						

با توجه به تغییرات کانی‌شناسی سنگدانه‌های مورد استفاده، از آنها مقطع نازک تهیه و مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفت (ASTM C295) و درصد و نوع سنگ‌های تشکیل دهنده مصالح و در نهایت درصد کانی‌ها با پتانسیل واکنش‌زایی آن‌ها محاسبه شدند که در شکل ۳ ارائه شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10119661]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]

گروه A: ماسه‌سنگ



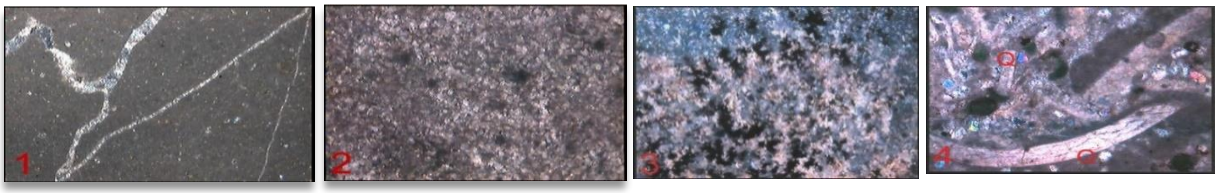
بلورهای کوارتز (Q) نیمه شکل‌دار و قطعات خرده سنگ دگرگونی شیلی (Sh)

بلورهای کوارتز و فلدسپات الکالن (F)

بلور پلی کریستالین کوارتز

بلورهای کوارتز با کنتاکت محدب – مقعر و مضرس. رشد سیمان هم محوری در اطراف بلورهای کوارتز (OW)

گروه B : سنگ آهک



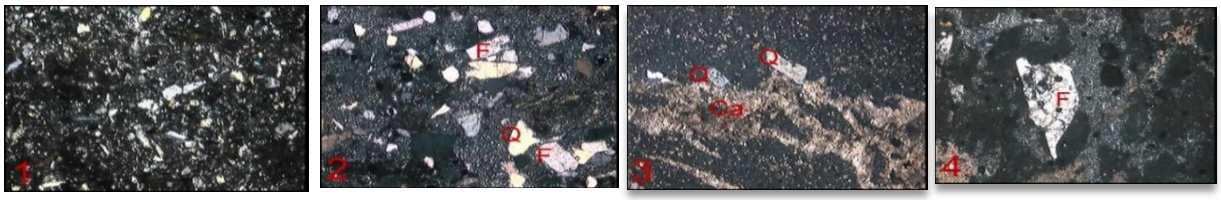
سنگ آهک حاوی قطعات تیره اپک و اکسید آهن

قطعات بیوکلاستی و تک بلورهای کوارتز (Q)

دولومیت‌های بی‌شکل و گاه لوزوجهی

زمینه میکریتی تیره یکدست و رگه‌های نازک پرشده با کلسیت ریزبلور

گروه C: توف



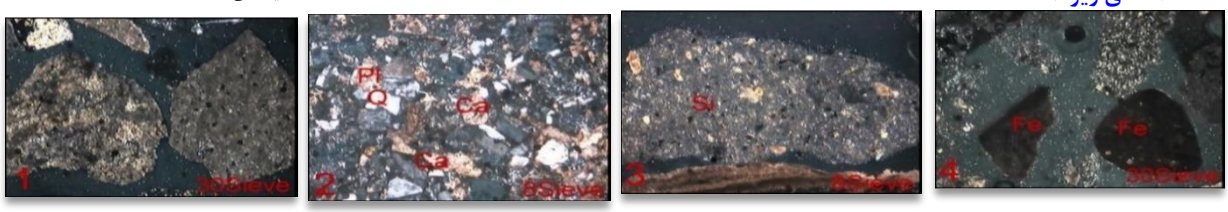
کانی فلدسپات (F)، دارای آثار شکستگی. زمینه شیشه‌ای و سیلیس میکروکریستالین

رگه کلسیتی (Ca)، زمینه شیشه‌ای است و بلورهای کوارتز (Q)

بلورهای فلدسپات (F) و کوارتز (Q) در زمینه میکروکریستالین شیشه

سنگدانه ولکانوکلاستیک دارای کوارتزها و فلدسپاتهای میکروکریستالین. زمینه خمیره شیشه‌ای است

سنگدانه‌های ریزدانه



سنگدانه‌های سیلیسی آمورف آغشته به اکسید اهن (Fe) و سنگدانه سیلیسی میکروکریستالین

سنگدانه توف سیلیسی (Si)

توف ماسه‌سنگی، حاوی قطعات کوارتز (Q)، پلاژیوکلاز (Pl)، قطعات کربناته (Ca)

سنگدانه‌های آهکی کریستالین و میکروکریستالین

شکل۳. مقطع میکروسکوپی سنگدانه‌ها براساس ASTM C295

Fig. 3. Microscopic section of aggregates according to ASTM C295

آزمایش ملات منشوری تسریع شده (ASTM C1260)

میله‌های ملات به ابعاد ۲۵×۲۵×۲۸۵ میلی‌متر با مخلوط کردن سنگدانه‌ها، سیمان پرتلند و آب تهیه شدند (شکل ۴).

برای هر نوع سنگدانه، چهار میله ملات تهیه و آزمایش ملات منشوری تسریع‌شده (AMBT) بر اساس استاندارد ASTM C1260-07 برای اندازه‌گیری انبساط میله‌های ملات انجام شد. این آزمایش برای ارزیابی سریع سنگدانه‌های غیر واکنشی (کمتر از ۰/۱ ٪ انبساط) و سنگدانه‌های واکنشی (بیشتر از ۰/۱ ٪ انبساط) طراحی شده است. پس از ۲۴ ساعت که نمونه‌ها سخت شدند و ۲۴ ساعت عمل‌آوری میله‌های ملات، اندازه‌گیری اولیه طول انجام شد. سپس میله‌های ملات در محلول NaOH غوطه‌ور شده و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. طول میله‌های ملات در فواصل زمانی معین به مدت ۲۸ روز برای بررسی انبساط اندازه‌گیری شد.



شکل ۴. نمونه های میله ملات تسریع شده (ASTM C 1260)

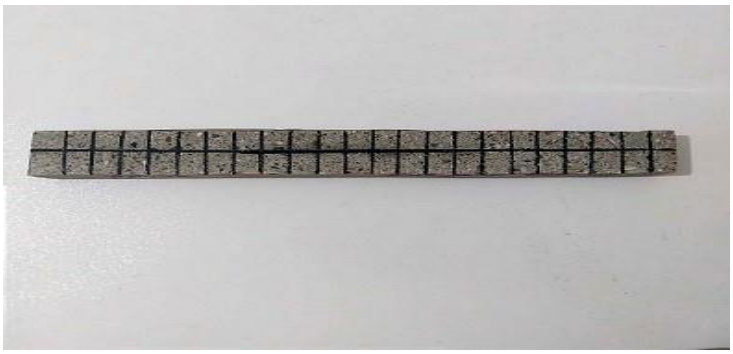
Fig. 4. Accelerated mortar bar specimens (ASTM C 1260)

آزمایش پتروگرافی بتن (ASTM C856)

در این پژوهش، از هر دو ناحیه مورد مطالعه، مقاطعی به ابعاد ۲۴ × ۲/۵ سانتی‌متر از نمونه‌هایی که تحت آزمایش واکنش قلیایی تسریع‌شده (ASTM C1260) قرار گرفته بودند، تهیه شد. این مقاطع برای بررسی شواهد آسیب‌دیدگی ناشی از واکنش قلیایی با استفاده از روش پتروگرافی بتن، مطابق با روش‌های Grattan-Bellew (1995) و Sanchez (2017) مورد مطالعه قرار گرفتند. این روش، که به شاخص شدت خرابی یا آسیب (DRI) شناخته شده است، شامل یک آنالیز میکروسکوپی با استفاده از استریومیکروسکوپ (با بزرگنمایی تقریبی ۱۵-۱۶ برابر) می‌باشد. در این روش، ویژگی‌های آسیب که عموماً با ASR مرتبط هستند، از طریق یک شبکه ۱ سانتی‌متری ترسیم‌شده بر روی سطح یک مقطع بتنی صیقلی شمارش می‌شوند (شکل ۵). سپس تعداد شمارش‌های مربوط به هر نوع ویژگی پتروگرافی با فاکتورهای وزنی ضرب می‌شود که هدف از آن متعادل کردن اهمیت نسبی این ویژگی‌ها در مقایسه با مکانیسم خرابی (مانند ASR) است (جدول ۵). لازم به ذکر است که فاکتورهای مورد استفاده در این روش بر مبنای منطقی، اما به طور نسبی دلخواه انتخاب شده‌اند (Berube et al.,.2012). در نهایت، مجموع نتایج حاصله از هر نوع نقص، شاخص شدت خرابی (DRI) را نشان می‌دهد (جدول ۶) (Villeneuve et al., 2012).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]



شکل ۵. شبکه‌بندی بر روی یک نمونه با سطح صیقلی
Fig. 5. 1 cm² grid drawn on a polished concrete specimen

جدول ۵. ویژگی و فاکتور DRI مطابق با Grattan- Bellew
Table 5. DRI weighing factors proposed as by Grattan- Bellew

شواهد آسیب	مخفف	فاکتور توزین
درزه در سنگدانه‌های درشت	CCA	0.25
درزه باز در سنگدانه‌های درشت	OCA	2
درزه به همراه محصولات واکنشی در ذرات درشت	OCAG	2
سنگدانه درشت بدون مرز	CAD	3
هاله واکنشی در اطراف سنگدانه‌ها یا ذرات	RAP	0.5
درزه در خمیره سیمان	CCP	3
درزه با محصولات واکنشی در خمیره سیمان	CCPG	3
حفرات پرشده با محصولات واکنشی	AVG	0.5

جدول ۶. شاخص شدت خرابی (DRI) براساس Grattan- Bellew
Table 6. Damage Rating Index (DRI) based on Grattan-Bellew

DRI	آسیب
0-350	کمی آسیب دیده
350-600	بسیار آسیب دیده
> 600	به شدت آسیب دیده

نتایج و بحث

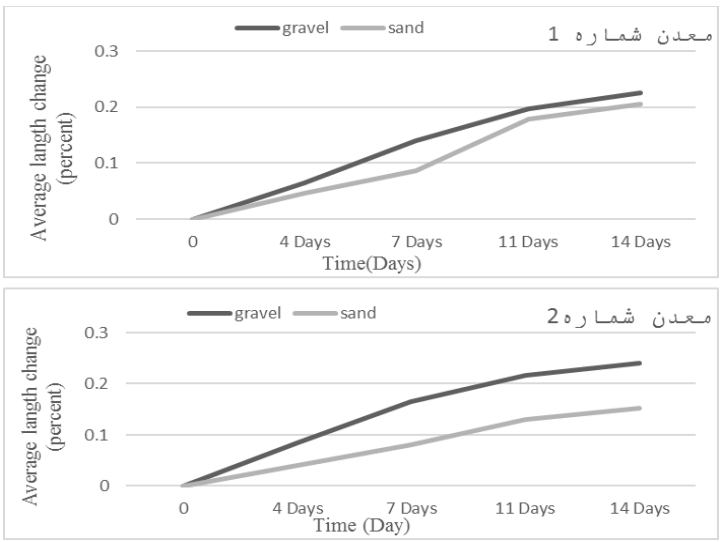
آزمایش پتروگرافی ASTM C295

در بررسی پتروگرافی مقاطع، کانی‌های مستعد واکنش قلیایی-سیلیسی مورد توجه قرار گرفتند و سنگدانه‌ها در سه گروه ماسه‌سنگ، سنگ آهک و سنگدانه‌های آذرآواری-آتشفشانی دسته‌بندی شدند. همچنین، کیفیت فیزیکی سنگدانه‌ها از نظر هوازدگی بررسی و در سه رده سنگ متراکم و غیرهوازده، سنگ نیمه‌هوازده و سنگ هوازده طبقه‌بندی شد (جدول ۳). مقاطع میکروسکوپی مطالعه شده شامل سنگدانه‌های کوارتزیت، سنگ آهک میکروکریستالین و گاه دولومیتی شده، توف ماسه‌ای، ولکانوکلاستیک، توف داسیتیک آندزیتی، توف شیشه‌ای و توف کربناته و قطعات خرده‌سنگی کوارتز در اندازه‌های متفاوت و پراکنده در زمینه آهک دولومیتی، قطعات کلسیت اسپاری، آندزیت با خمیره شیشه‌ای آلتره و اکسید-

هیدروکسیدهای آهن بود. حدود ۴۰-۳۵ درصد حجمی قطعات از نوع ولکانیک یا پیروکلاستیک دارای فرم‌های فعال سیلیس، ۱۰-۱۵ درصد قطعات از نوع دولومیت و ۱۵-۱۰ درصد حجمی قطعات نیز محتوی کانی‌های رسی بود که در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به مشاهدات پتروگرافی، سنگدانه‌های مطالعه شده از معادن تهران نشان داد که سنگدانه‌های کوارتزیت و سنگ‌آهک میکروکریستالین جزء سنگدانه‌های غیرفعال و سالم محسوب می‌شوند. در مقابل، سنگدانه‌های آذرآواری که شامل توف ماسه‌ای، توف کریستال‌دار (داسیتیک آندزیت) و توف شیشه‌ای هستند، به دلیل دارا بودن زمینه شیشه‌ای و سیلیس میکروکریستالین، مستعد واکنش قلیایی-سیلیسی تشخیص داده شدند. بنابراین، معادن مطالعه شده شامل مصالحی با کانی‌های بالقوه واکنش‌زا هستند. وجود سیلیس ناپایدار، زئولیت، چرت و کوارتز نهان بلورین در ساختار این سنگدانه‌ها، می‌تواند در صورت استفاده از این مصالح در بتن، باعث واکنش‌های مخرب قلیایی-سیلیسی شود.

آزمایش انبساط منشور ملات تسریع شده (ASTM C1260)

تغییرات انبساط میله‌های ملات در شکل ۸ نمایش داده شده است. طبق استاندارد ASTM C1260، اگر انبساط در ۱۴ روز بیش از ۰/۱ درصد باشد، سنگدانه به عنوان واکنش‌زا طبقه‌بندی می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از میانگین انبساط ۱۴ روزه منشورهای ساخته شده برای سنگدانه‌های شن معدن شماره ۱، برابر با ۰/۲۲۵ درصد و برای ماسه برابر با ۰/۲۰۶ درصد است که هر دو نوع، بزرگتر از حد ۰/۲ درصد ذکر شده در استاندارد هستند. همچنین، انبساط سنگدانه‌های شن معدن شماره ۲ برابر با ۰/۲۴۱ درصد و برای ماسه برابر با ۰/۱۵۲ درصد است که مقدار انبساط برای شن بیشتر از حد ۰/۲ درصد ذکر شده در استاندارد می‌باشد، ولی برای ماسه در حد بین ۰/۱ و ۰/۲ درصد است. این نتایج نشان می‌دهند که میزان انبساط در نمونه‌ها بیش از حد مجاز استاندارد بوده و بیانگر پتانسیل واکنش‌زایی سنگدانه‌ها است.



شکل ۸. درصد انبساط نمونه منشور ملات بر حسب زمان به روش ASTM C1260

Fig. 8. The expansion percentage of the mortar prism sample in terms of time by the ASTM C1260 method

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]

آزمایش پتروگرافی بتن و شاخص شدت خرابی (DRI)

در این بررسی، ویژگی‌های آسیب ناشی از واکنش قلیایی-سیلیسی (ASR) شامل ژل تشکیل شده در حفره‌های هوا، ترک‌های سنگدانه‌ها و خمیره سیمان، ترک‌های تشکیل شده، درزه‌ها به همراه محصولات واکنشی در ذرات درشت، هاله واکنشی اطراف سنگدانه‌ها، و حفرات پرشده با محصولات واکنشی یا ذرات، به طور جداگانه در هر مربع ۱ سانتی‌متر مربعی مورد بررسی قرار گرفتند. ویژگی‌های خرابی شمارش شده، و در ضریب ویژگی مذکور ضرب شدند و سپس در کل مساحت مورد بررسی تقسیم گردیدند. مجموع نتایج حاصل از هر نقص، شاخص شدت خرابی (DRI) را نشان می‌دهد. نتایج دقیق تعیین DRI از نظر اهمیت نسبی هر یک از ویژگی‌های پتروگرافی در ادامه ارائه شده است.

جدول ۷. بررسی ویژگی‌های آسیب ASR آزمایش پتروگرافی بتن و شاخص شدت خرابی (DRI) معدن ۱
Table 7. analyzing the damage characteristics of ASR of concrete petrography test, and measuring the damage intensity index (DRI) in mine 1

شواهد آسیب	ضریب ویژگی	سنگدانه‌های درشت	جمع کل	سنگدانه‌های ریز	جمع کل
درزه در سنگدانه‌های درشت (CCA)	0.25	3	0.75	5	1.25
درزه باز در سنگدانه‌های درشت (OCA)	2	11	22	6	12
درزه به همراه محصولات واکنشی (OCAG)	2	98	196	66	132
سنگدانه درشت بدون مرز (CAD)	3	7	21	4	12
هاله واکنشی در اطراف سنگدانه‌ها یا ذرات (RAP)	0.5	111	55.5	65	32.5
درزه در خمیره سیمان (CCP)	3	10	30	7	21
درزه با محصولات واکنشی در خمیره سیمان (CCPG)	3	4	12	2	6
حفرات پر شده با محصولات واکنشی (AVG)	0.5	76	38	35	17.5
شاخص DRI			225.15		140.55

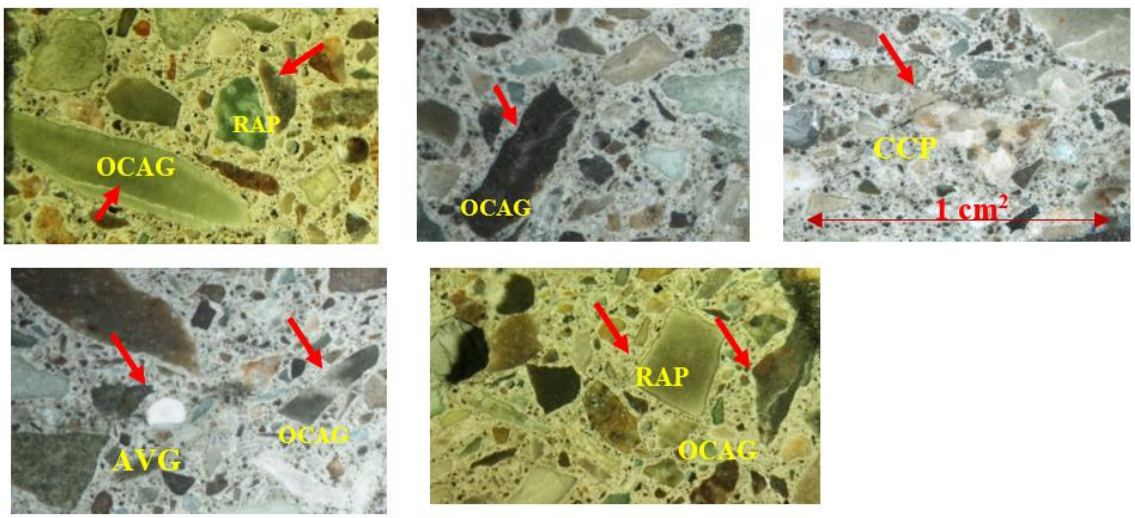
همان‌طور که در جدول‌های ۷ و ۸ و شکل ۹ مشاهده می‌شود، رایج‌ترین ویژگی‌های "خرابی" مربوط به درزه‌های همراه با محصولات واکنشی (OCAG)، هاله‌های واکنشی اطراف سنگدانه‌ها یا ذرات (RAP)، و حفرات پرشده با محصولات واکنشی (AVG) می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده گسترش واکنش قلیایی-سیلیسی (ASR) باشد. شناسایی ترک‌ها در سنگدانه‌ها و خمیره سیمان، چه با محصولات واکنشی و چه بدون آن‌ها (CCA، CCP، CCPG)، تحت تأثیر ASR تا حدودی دشوار بود. این مسئله به این دلیل بود که ترک‌ها در سنگدانه‌ها طی عملیات فراوری یا هوازدگی قبل از استفاده در بتن ایجاد شده بودند و با وقوع واکنش قلیایی و افزایش انبساط، این ترک‌ها رشد کرده و در سطح انبساط بالا به خمیره سیمان رسیده و گسترش پیدا کردند. این ترک‌ها به خصوصیات

کانی‌شناسی و مورفولوژی سنگدانه‌ها بستگی دارند که در حاشیه سنگدانه‌ها ایجاد شده‌اند. ترک‌های موجود در خمیره سیمان، حاصل ترک‌خوردگی سنگدانه‌ها بودند که در سطح انبساط متوسط شروع به رشد کرده و به خمیره سیمان رسیده و در داخل مرز سنگدانه‌ها ادامه یافته بودند.

جدول ۸. بررسی ویژگی‌های آسیب ASR آزمایش پتروگرافی بتن و شاخص شدت خرابی (DRI) معدن 2

Table 8. analyzing the damage characteristics of ASR of concrete petrography test, and measuring the damage intensity index (DRI) in mine 2

شواهد آسیب	ضریب ویژگی	سنگدانه‌های درشت	جمع کل	سنگدانه‌های ریز	جمع کل
درزه در سنگدانه‌های درشت (CCA)	0.25	12	3	5	1.25
درزه باز در سنگدانه‌های درشت (OCA)	2	7	14	5	10
درزه به همراه محصولات واکنشی (OCAG)	2	115	230	71	142
سنگدانه درشت بدون مرز (CAD)	3	13	39	7	21
هاله واکنشی در اطراف سنگدانه‌ها یا ذرات (RAP)	0.5	98	49	53	26.5
درزه در خمیره سیمان (CCP)	3	10	30	6	18
درزه با محصولات واکنشی در خمیره سیمان (CCPG)	3	45	15	3	9
حفرات پر شده با محصولات واکنشی (AVG)	0.5	53	26.5	26	13
شاخص DRI			243.9		144.45



شکل ۹. شواهد آسیب‌دیدگی ناشی از واکنش قلیایی با استفاده از روش پتروگرافی بتن (ASTM C856)

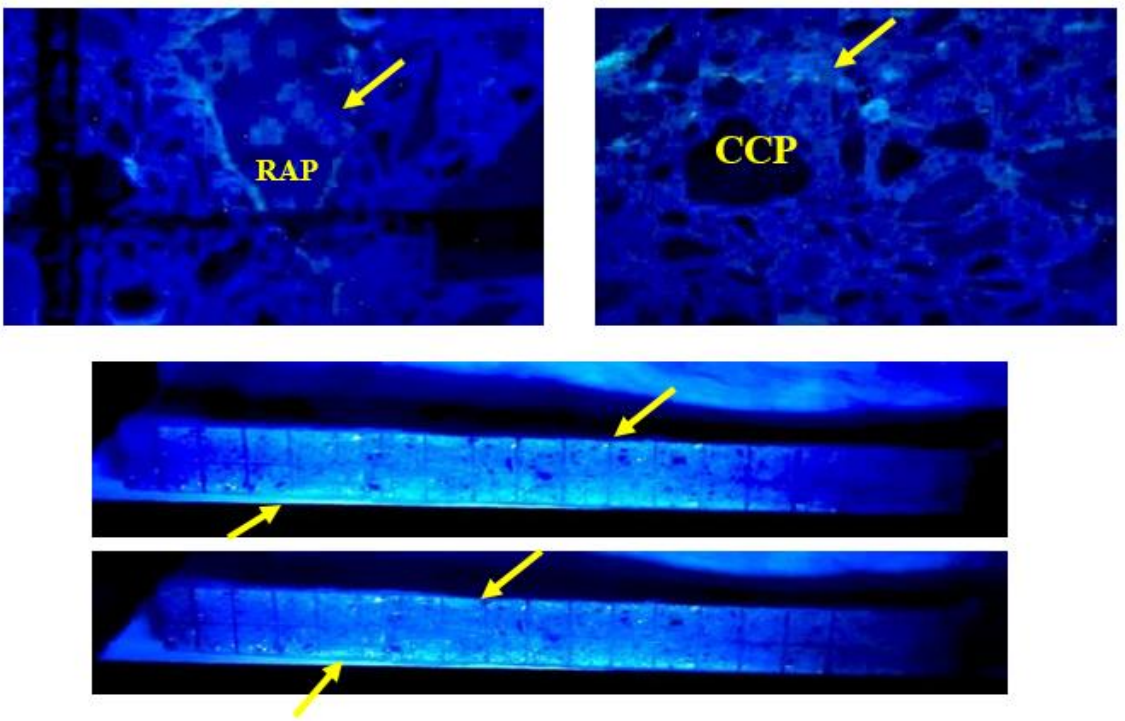
Fig. 9. Evidence of alkali reaction damage using concrete petrographic method (ASTM C856)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10.19661]

شناسایی واکنش قلیایی – سیلیسی سنگدانه‌ها (ASR)، توسط تست محلول اورانیل استات (ASTM C856-04)

برای شناسایی ژل‌های قلیایی- سیلیسی (ASR)، از محلول اورانیل استات مطابق استاندارد ASTM C856-04 استفاده شد. حضور ژل ASR در ترک‌ها، خمیره سیمان و حفره‌های موجود در بتن با استفاده از اورانیل استات و زیر نور فرابنفش (UV)، به رنگ زرد مایل به سبز روشن قابل شناسایی است. این روش به عنوان ابزار نهایی برای تشخیص ژل ASR و رفع ابهامات میان ژل سیلیسی و دیگر فراورده‌های ثانوی مانند کربنات کلسیم استفاده گردید. این آزمایش در آزمایشگاه، روی سطحی از مقاطع صیقلی که عاری از گرد و غبار و آثار کربنات بود، انجام شد. پس از شستشوی سطح صیقلی شده نمونه بتن با آب مقطر، به محلول اورانیل استات آغشته شد و پس از گذشت ۵ دقیقه دوباره با آب مقطر شستشو داده شد. سپس مقاطع در اتاق تاریک، زیر نور فرابنفش (UV) تحت مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند. ژل ASR در لبه مقاطع و اطراف سنگدانه‌های مستعد واکنش توسط استریومیکروسکوپ شناسایی گردید. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، واکنش از حاشیه سنگدانه‌ها آغاز شده و با پیشرفت واکنش، احتمال گسترش آن وجود دارد. این گسترش با افزایش انبساط همراه است و یک افزایش تدریجی در تعداد خرابی‌ها مشاهده می‌شود. این ویژگی‌ها را می‌توان به عنوان نشانگرهای پیشرفت ASR در نمونه‌ها در نظر گرفت.



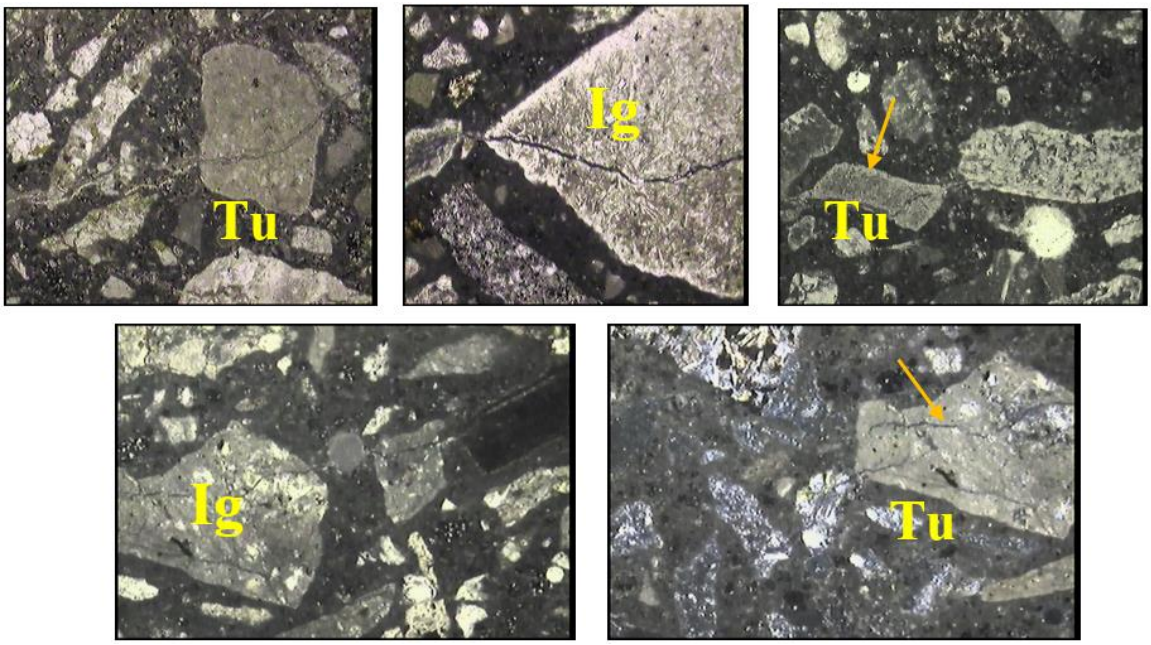
شکل ۱۰. واکنش ASR بر روی سطح صیقلی شده نمونه زیر نور UV با استفاده از آزمایش محلول اورانیل استات

Fig. 10. ASR reaction on the polished surface of the sample under UV light using uranyl acetate solution test

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10119661]

تأیید واکنش قلیایی- سیلیسی سنگدانه‌های بتن توسط آزمایش پتروگرافی بتن و DRI

بررسی‌های سنگ‌شناسی انجام‌شده در آزمایش پتروگرافی سنگدانه‌ها نشان داد که سنگدانه‌های آذرآواری شامل توف ماسه‌ای، توف کریستال‌دار (داسیتیک آندزیت) و توف شیشه‌ای به دلیل داشتن زمینه شیشه‌ای و سیلیس میکروکریستالین، مستعد واکنش قلیایی- سیلیسی هستند. پس از شناسایی ژل قلیایی- سیلیسی با استفاده از محلول اورانیل استات، مقاطع نازکی از نمونه‌های مورد مطالعه تهیه و مجدداً تحت مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که سنگدانه‌های آذرآواری که در پتروگرافی مستعد واکنش بودند، به دلیل داشتن سیلیس ناپایدار، چرت و کوارتز نهان بلورین، باعث ایجاد واکنش مخرب قلیایی- سیلیسی می‌شوند. همچنین مشخص شد که ویژگی‌های سنگ‌نگاری معیاری جهت تعیین کمیت پیشرفت ASR است و شمارش ویژگی‌های مختلف این آسیب به درک بهتر توسعه خرابی در نمونه‌های بتنی و چگونگی پیشرفت این واکنش شیمیایی به عنوان تابعی از سطح انبساط نمونه‌ها کمک می‌کند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. تأیید واکنش قلیایی- سیلیسی سنگدانه‌های بتن توسط آزمایش پتروگرافی بتن و DRI

Fig. 11. Confirmation of alkali-silica reaction of concrete aggregates by concrete petrographic test and DRI

نتیجه‌گیری

این مطالعه شامل سنگدانه‌های واکنش‌پذیر برای درک بیشتر مکانیسم‌های آسیب در بتن به دلیل ASR و تأیید کارایی DRI به عنوان ابزاری برای کمی کردن این آسیب طراحی شد. مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱- سنگ‌نگاری و مشاهدات میکروسکوپی در مورد پتانسیل واکنش‌پذیری سنگدانه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند که سنگدانه کوارتزیت و سنگ‌آهک میکروکریستالین (گروه A و B) جزء سنگدانه‌های غیرفعال و سالم ارزیابی می‌شود، اما سنگدانه‌های آذرآواری (گروه C) که شامل انواع توف می‌باشد، به دلیل دارا بودن زمینه شیشه‌ای و سیلیس میکروکریستالین،

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.10119661]

پتانسیل ایجاد واکنش سیلیسی- قلیایی را دارا است. بنابراین با توجه به حضور این کانی‌ها در سنگدانه‌های هر دو معدن، در صورت اجرای پروژه‌های عمرانی و صنعتی، باید قبل از اجرای پروژه، مصالح از نظر قابلیت واکنش قلیایی بررسی شوند.

۲- نتایج به دست آمده از آزمایش تسریع شده نشان می‌دهد که میانگین ۱۴ روزه منشورهای ساخته شده برابر با ۰/۲ درصد است که به مراتب بزرگتر از حد ذکر شده در استاندارد می‌باشد. با توجه به وجود کانی‌های واکنش‌زا، از قبیل انواع مختلف توف شامل توف سیلیسی، توف کربناتی، توف زئولیتی، آهک سیلیسی، چرت و کوارتزهای میکروکریستالین، که احتمال واکنش‌زایی این کانی‌ها با شدت متوسط تا بالا می‌باشد و نتایج بدست آمده از این آزمایش، مصالح مورد نظر به عنوان مصالح واکنش‌زا شناسایی می‌شوند و پتانسیل واکنش سیلیسی- قلیایی را دارا می‌باشند. اگر نتایج آزمایش منشور ملات تسریع‌شده (ASTM C1260)، میانگین درصد تغییر طول نمونه‌های مورد آزمایش را بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد نشان دهد، آزمایش‌های مکمل از جمله آزمایش درازمدت ASTM C1293 مورد نیاز است.

۳- آزمایش پتروگرافی بتن با هدف بررسی انطباق نتایج پتروگرافی سنگدانه‌ها با نتایج واکنش قلیایی تسریع‌شده و تعیین سطح آسیب با استفاده از شاخص شدت خرابی بر روی نمونه‌هایی که در معرض آزمایش تسریع شده بودند، انجام شد و شاخص شدت خرابی برای توصیف آسیب تعیین گردید که DRI در جدول ۹، ارائه شده است. در میان روش‌های کمی که پیشنهاد شده است، شاخص شدت خرابی برای کمی‌سازی خرابی داخلی ناشی از ASR مناسب و مؤثر است.

جدول ۹. نتایج تشریح شده در مقابل شاخصGrattan-Bellew

Table 9. Results plotted against the Grattan-Bell Index

معدن	سنگدانه‌ها	نتایج تشریح شده	شاخص DRI	شاخص DRI Grattan-Bellew	شدت آسیب
معدن ۱	درشت	234.25	140.55	0-350	کمی آسیب دیده
	ریز	375.25	225.15	350-600	بسیار آسیب دیده
معدن ۲	درشت	240.75	144.45	> 600	به شدت آسیب دیده
	ریز	406.5	243.9		

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که با توجه به حضور انواع مختلف توف، شامل توف سیلیسی، توف کربناتی، توف زئولیتی، آهک سیلیسی، چرت، کوارتزهای میکروکریستالین و فراوانی سنگدانه‌های واکنشی، شواهد فراوانی از واکنش به شکل درزه در سنگدانه‌ها به همراه محصولات واکنشی، حفرات پرشده با محصولات واکنشی، هالهٔ واکنشی در اطراف سنگدانه‌ها یا ذرات، درزه در خمیره سیمان و ویژگی‌های دیگر در نمونه بتن تحت آزمون ASTM C1260 وجود دارد که این مشاهدات از طریق محلول اورانیل استات تأیید می‌کند واکنش سیلیسی- قلیایی (ASR) در بتن رخ داده است. واکنش ASR با وجود محصولات واکنش در ترک‌ها، حفره‌ها و همچنین در خمیره سیمان تأیید شد که نشان‌دهنده واکنش‌پذیری سنگدانه‌ها می‌باشد. بررسی‌های سنگ‌شناسی انجام شده در این مطالعه نشان داد که توسعه ترک‌خوردگی در درون ذرات سنگدانه تابعی از انبساط در بتن است و نتایج نشان می‌دهد که سنگدانه‌ها در انبساط کلی بتن نقش دارند و می‌توان نتیجه گرفت که شاخص شدت خرابی به عنوان یک ابزار ارزیابی خسارت برای سازه‌های بتنی تحت تأثیر ASR می‌باشد، با این

که این روش هنوز نیاز به اثبات کارایی خود در ارزیابی مکانیسم‌های تخریب دارد می‌توان گفت پتروگرافی بتن و شاخص درجه‌بندی خرابی (DRI)، تأیید نهایی برای پتانسیل واکنش قلیایی– سیلیسی (ASR) می‌باشد. همچنین طبق نظر گراتان بللو (Grattan-Bellew)، نتایج شاخص شدت آسیب نشان داد که سنگدانه‌های مورد مطالعه هر دو محدودهٔ، در رده "کمی آسیب‌دیده" قرار می‌گیرند و نتایج تجربی جدیدی در مورد روابط بین ویژگی‌های مختلف پتروگرافی و سطوح گسترش آن ارائه می‌شود. در این مطالعه، روش DRI تخمین نسبتاً خوبی از میزان انبساط منشورهای بتنی ساخته شده با سنگدانه‌ها فراهم کرد و نشان داد که هر ویژگی پتروگرافی، به عنوان مثال ترک در ذرات سنگدانه و خمیر سیمان با انبساط به طور مداوم افزایش می‌یابد.

References

ASTM. (1994). ASTM C1260: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Accelerated mortar-bar method). American Society for Testing and Materials.

ASTM. (1994). ASTM C295: Guide for petrographic examination of aggregates for concrete. American Society for Testing and Materials.

Berube, M. A., Fournier, B., Cote, T. (2012). Using the damage rating index for assessing the expansion of concrete affected by freeze-thaw, sulfate attack, or ASR. ACI Materials Journal, 113 (4), 1-10.

BSI British Standards Institution BS 812-110 (1990) Testing aggregates - Part 110: Testing aggregates Method for determination of aggregate impact value (AIV).

BSI British Standards Institution BS 812-110 (1990) Testing aggregates - Part 110: Methods for determination of aggregate crushing value (ACV).

Caleb Waidner, M. (2016). Identifying Damage, Predicting Expansion, and Determining the Effectiveness of Sealers on Concrete Affected by Alkali-Silica Reaction and Freeze-Thaw. Thesis OF Bachelor of Science in Civil Engineering, University of Arkansas, 86p.

Chen, Y., Feng, J., Li, H., Meng, Z. (2021). Effect of coarse aggregate volume fraction on mode II fracture toughness of concrete. Engineering Fracture Mechanics, 242, 107472.

Chuanlin, Hu, Bishnu, P. Gautam, Dechen, Shang, Fazhou, Wang, Daman, K. Panesar. (2018). Atomic force microscopy characterization of alkali-silica reaction products to reveal their nanostructure and formation mechanism, Ceramics International, Volume 44, Issue 6, PP 7310-7314.

Eun Joo, H,. Takahashi, T. (2023). Analytical and experimental studies on alkali-silica reaction mechanism: Aggregate cracking and chemical composition change of gel. Cement and Concrete Composites, 139, 105003.

Fournier, B, Berube, M. A. (2011). Alkali-aggregate reaction in concrete: A review of basic concepts and engineering implications, Canadian Journal of Civil Engineering, volume 27(2), PP 167-19.

Grattan-Bellew, P.E., (1995). Laboratory evaluation of alkali-silica reaction in concrete from Saunders Generating Station. ACI Materials Journal, Volume 29, PP 1-9.

Grattan-Bellew, P.E., Mitchell, LD., (2006). Quantitative petrographic analysis of concrete –the Damage Rating Index (DRI) method, a review. CANMET international conference on recent advances in concrete technology, The Marc-Andre Berube symposium, Montreal, PQ (Canada).

Kazemi, P., Nikudel, M. R., Khamehchiyan, M., Giri, P., Taheri, Sh., Clark, S. M. (2022). Assessment of Alkali–Silica Reaction Potential in Aggregates from Iran and Australia Using Thin-Section Petrography and Expansion Testing. Materials, 15(12).

Miura, T., Multon, S., Multon, Y. (2023). Influence of the expansive sites distribution on alkali-silica reaction expansion under applied stress: Crack orientation as a key factor for expansion transfer. Cement and Concrete Composites, 144, 105300.

Sanchez, L. F. M., Fournier, B., Jolin M., Bedoya, M. A. B., Bastien, J., Duchesne, J. (2016). Use

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.1019661]

of the Damage Rating Index (DRI) to quantify damage due to alkali-silica reaction in concrete incorporating reactive fine and coarse aggregates. ACI Materials Journal, vol. 113, 395-407.

Sanchez, L. F. M., Fournier, B., Jolin, M., Bastien, J., Mitchell, D. (2017). Tools for assessing damage in concrete affected by AAR coming from fine and coarse aggregates, Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, Volume 10, Issue 1, PP 84 - 91.

Sanchez, L.F.M. (2014). Contribution to the Assessment of Damage in Aging Concrete Infrastructures Affected by Alkali-Aggregate Reaction. Ph.D. thesis. Department of Geology and Geological Engineering, University Laval, 401p.

Sanchez, L.F.M., Drimalas, T., Fournier, B., Mitchell, D., Bastien J. (2018). Comprehensive damage assessment in concrete affected by different internal swelling reaction (ISR) mechanisms. Cement and Concrete Research, Volume 107, PP 274-303.

Sanchez, L.F.M., Fournie, B., Jolin, M., Duchesne, J. (2015). Reliable quantification of AAR damage through assessment of the Damage Rating Index (DRI).Cement and Concrete Research, Volume 67, PP 74-92.

Sanchez, L.F.M., Fournier, B., Jolinb, M., Mitchell, D., Bastienb, J. (2017). Overall assessment of Alkali-Aggregate Reaction (AAR) in concretes presenting different strengths and incorporating a wide range of reactive aggregate types and natures. Cement and Concrete Research, Volume 93, PP 17-31.

Villeneuve, V., Fournier, B. (2012). Determination of the damage in concrete affected by ASR – the damage rating index (DRI). International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Austin (Texas).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1403.18.2.4.2]
[DOI: 10.22034/JEG.2024.18.2.1019661]