

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

OPEN ACCESS

Online ISSN 2981-1600

## Investigation of Carbonate Aggregates and the Use of Petrography in Predicting Alkali-Aggregate Reaction (AAR)

#### Habib Rahimi menbar<sup>1</sup>, Mohammad Fathollahy<sup>⊠ 2</sup>

1. Phd. student, Department of Engineering geology, Faculty of science, Tarbiat modares University, Tehran, Iran. E-mail: rahimi1370@yahoo.com

2. Assistant professor, Department of earth science, faculty of science, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: m.fathollahy@uok.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	In order to produce strong and durable concrete, it is essential to accurately assess the alkali reactivity potential of aggregates. Alkali reactions occur gradually over time and are therefore often overlooked in the early stages of a project This
Article history: Received 15 November 2024 Received in revised form 27 November 2024 Accepted 28 December 2024 Keywords: Carbonate aggregate including silica, Aggregate Alkali Reactivity (AAR), Petrography according to ASTM C 295.	research investigates the alkali-aggregate reaction (AAR) potential of concrete aggregates. Petrographic analysis of aggregates, based on ASTM C295, is a simple and rapid method for identifyingminerals that may react with the alkalis in cement. In this study, susceptible aggregates were identified through petrography, and then the accuracy of the results and the importance of petrographic analysis were verified using laboratory methods (ASTM C586 and ASTM C1260) to select suitable materials with minimal cost and time before designing the concrete mix. The results indicate that carbonate aggregates may contain silica and have alkali reactivity potential, necessitating the use of ASR testing methods as well. In addition, the results demonstrate that petrographic analysis is an effective and valuable method for identifying minerals with alkali reactivity potential.

#### Introduction

Alkali Aggregate Reaction (AAR) is a chemical reaction between the active mineral components of some aggregates and the alkalis of cement, sodium oxide (Na2O) and potassium oxide (K2O). This reaction can cause concrete degradation and affect the performance of concrete structures. Although there are some standards for evaluating concrete aggregates based on their petrography are available, it is difficult to distinguish between the degradation potential and harmlessness of different types of aggregates (Fernandes et al., 2013). During the hardening process of concrete, some reactions, such as hydration, are beneficial, but others, such as abnormal internal expansion, which causes cracking and loss of strength, cause serious problems for concrete. This reaction occurs in two modes: the alkali-carbonate reaction (ACR)

and the alkali-silicate reaction (ASR). Alkali silicate reaction is of greater concern than carbonate reaction because silicate-containing mineral aggregates are more common (Farny and Kosmatka, 1997). Signs of damage due to alkali reaction can manifest as a network of knots. cracks, tight delamination, and displacement of various parts of the structure. Damage due to alkali reaction of aggregates is a slow process. One of the methods to detect the presence of this reaction in aggregates is petrography, which predicts the probability of the presence or absence of the reaction is predicted (Fernandes et al., 2013).

In this study, the mineralogy of aggregates has been investigated by focusing on petrography of aggregates and geological description of thin sections. The petrographic studies have been specifically focused on carbonate aggregates and

Cite this article: Rahimi menbar, H., Fathollahy, M. (2024). Investigation of Carbonate Aggregates and the Use of Petrography in Predicting Alkali-Aggregate Reaction (AAR). Journal of Engineering Geology, 18 (4), 609-625. https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.4.1015263

Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-06-02

their potential for reaction in concrete construction has been studied. Then, using supplementary tests such as the rock cylinder method (ASTM C586) and accelerated prism mortar (ASTM C1260), the reliability of petrography in the potential for reactivity was evaluated.

#### **Materials and Methods**

Aggregates are the most important natural materials used in concrete construction. These materials are often selected from natural deposits such as sand, gravel, or crushed stone, which constitute a large volume of concrete (Qemallaj and Golgota, 2015). One of the methods used to describe and classify materials is petrography, which is a method of identifying minerals and other compounds, usually performed on hand samples and thin sections.

In this study, eleven carbonate rock samples (limestone and dolomite) were prepared as parent rock from the quarry and crushed by a laboratory crusher and then screened to various sizes using laboratory sieves. Also, all materials were thoroughly washed before use and were in the S.S.D (saturated state with dry surface) condition. After being crushed by the device, the samples were separated by sieves of different sizes and then the percentage remaining on each sieve was examined by descriptive petrography. Thin microscopic sections were prepared and studied from each type of rock remaining on the sieves. As can be seen from the XRF analysis results of the samples (Table 1), the silica content of most of the samples is less than 5%, except for one sample which has a high silica content of about 21.1%, which may indicate the presence of active silica in aggregates (such as opal, chalcedony, tridymite, cristobalite, and volcanic glasses) (ASTM C295-08). These reactive materials may be present in rocks such as chert, argillite, phyllite, greywacke, schist, gneiss, mylonite, vein quartz, quartzite, sandstone, rhyolite, rhyolite tuffs, dacite, andesite, and other rocks (Gifford and Gillott, 1996).

Table 1. The amount of oxides of the main elements of the studied aggregates, measured by XRF.
--

												-	
XRF	Oxides	Na <sub>2</sub> O	MgO	$Al_2O_3$	SiO <sub>2</sub>	$P_2O_5$	$\mathbf{So}_3$	K <sub>2</sub> O	CaO	$V_2O_5$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Total
B1	%	0.076	8.3	0.42	1.7	0.061	0.3	0.2	45.01	0.008	0.33	43.4	99.805
B2	%	0.093	5.2	0.54	2.6	0.099	0.25	0.26	47.8	0.008	0.37	42.59	99.81
B3	%	0.063	3.9	0.36	1.4	0.055	0.24	0.19	50.2	0.007	0.42	43.01	99.845
B4	%	0.087	5.8	0.4	1.5	0.086	0.26	0.22	48.01	0.008	0.36	43.13	99.861
B5	%	0.1	5.9	2.3	21.1	0.33	0.33	0.42	32.2	0.02	2.08	34.19	98.97
RS1	%	0.07	0.76	0.8	3.7	0.09	0.023	0.33	53.1	0.008	0.83	39.9	99.611
RS2	%	0.053	0.85	0.75	4.5	0.087	0.026	0.3	52.1	0.006	0.78	40.1	99.552
RS3	%	0.056	0.75	0.45	2.7	0.063	0.061	0.19	52.9	Ν	0.64	40.36	98.17
RS4	%	0.055	1.23	0.3	3.1	0.41	0.071	0.19	53.01	0.012	1.06	40.37	99.808
RS5	%	0.087	1.13	0.4	4.6	0.58	0.054	0.2	53.7	0.011	0.95	36.84	98.552
RS6	%	0.23	1.41	2.04	21.1	0.1	0.017	0.59	37.5	0.008	2.09	34.3	99.385

#### **Results and Discussion**

The presence of at least 0.5% of aggregates containing active silica can cause ASR and concrete destruction. According to microscopic and petrological observations of carbonate mineral samples, the amount of active silica in the mixture of each sample has been estimated, and the amount of active silica in the samples is such that this reaction seems likely to occur. The general characteristics of rocks that are susceptible to alkali-carbonate reactivity (ACR) are: fine-grained dolomites, a significant amount of fine-grained calcite, insoluble materials such as clay and silica, homogeneous dispersion of dolomite and calcite within the clay matrix. According to microscopic observations of the mineral samples and considering the significant amount of fine-grained calcite in the texture of all samples and the presence of a very small amount of fine-grained dolomite in each sample, there is a possibility of alkali-carbonate reaction in all samples.

## Conclusions

According to petrographic observations using the ASTM C295 standard method, it is concluded that the aggregates of the borrowed resources does not have the potential to cause alkali-carbonate reaction. And the ASTM C586 and ASTM C1260 tests confirm the petrographic results. Also, alkali-silica reaction is possible due to the presence of microcrystalline chert in some rock groups, which do not have much effect due to their small percentage in the total materials. The results show that calcareous aggregates can contain amounts of silica, so it is necessary to simultaneously control the alkalisilicate reactivity potential when examining the alkali-carbonate reactivity potential. Considering the descriptive nature of the petrographic results and the errors in the experiments, it is generally recommended to use low-alkaline cement in aggregates with siliceous reactivity (equivalent alkalinity in terms of (Na2O+ 0.658\* K2O) Na2O less than 0.6%) and in aggregates with carbonate reactivity (alkalinity of materials in cement in terms of Na2O should not exceed 0.4%).



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

# **بررسی سنگدانههای کربناته و استفاده از پتروگرافی در پیشبینی واکنش قلیایی(AAR)**

حبيب رحيمىمنبر′، محمد فتحاللهى<sup>2⊠</sup>

۱. دانشجوی دکتری زمینشناسیمهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: m.fathollahy@uok.ac.ir ۲. دکتری زمینشناسیمهندسی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: m.fathollahy@uok.ac.ir

چکیدہ	اطلاعات مقاله
برای ساختن بتن مقاوم، ارزیابی دقیق پتانسیل واکنشزایی قلیایی سنگدانهها ضروری است. واکنشهای قلیایی، به تدریج و بعد از گذشت زمان اتفاق میافتد به همین دلیل اکثراً در اوایل کار مورد توجه قرار نمیگیرد. در این تحقیق با تمرکز بر مطالعه مقاطع نازک و مطالعه پتروگرافی سنگدانهها به بررسی و پتانسیل واکنشهای قلیایی (AAR) سنگدانههای بتن پرداخته شد. پتروگرافی سنگدانهها بر اساس استاندارد ASTM C295، یکی از روشهای ساده و سریع است که برای شناسایی کانیهایی که ممکن است با قلیایی موجود در سیمان واکنش	نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸
از روشهای آزمایشگاهی ASTM C586 و ASTM C1260 صحت نتایج و اهمیت انجام پتروگرافی به منظور انتخاب مصالح مناسب با صرف هزینههای اندک در مدت زمان کوتاه قبل از اجرای طرح اختلاط بتن بهره گرفته شد. نتایج مطالعه نشان میدهد که سنگدانههای کربناته میتواند حاوی سیلیس بوده و پتانسیل واکنش قلیایی داشته باشد بنابراین لازم است از روشهای آزمایش ASR هم کمک گرفته شود. همچنین نتایج نشان داد که تشخیص پتروگرافی، روشی مناسب و کمککننده برای تشخیص کانیهای دارای پتانسیل واکنش قلیایی میباشد.	<b>کلیدواژهها:</b> سنگدانه کربناته حاوی سیلیس ، واکنشزایی قلیایی(AAR)، پتروگرافی بر اساس استاندارد ASTM C 295.

#### مقدمه

واکنش قلیایی سنگدانهها (AAR) یک واکنش شیمیایی بین اجزاء معدنی فعال برخی از سنگدانهها و قلیلیایی سیمان، اکسید سدیم (Na<sub>2</sub>O) و اکسید پتاسیم (K<sub>2</sub>O) میباشد. این واکنش میتواند موجب تخریب بتن شده و بر عملکرد سازه بتنی تأثیر بگذارد. اگرچه برخی استاندارهای ارزیابی سنگدانههای بتنی به واسطه پتروگرافی آنها در دسترس است اما تمایز بین پتانسیل تخریب یا بیضرر بودن انواع سنگها مشکل است (Fernandes et al., 2013). در فرایند سخت شدگی بتن، برخی واکنشها مانند هیدراسیون سودمند هستند اما برخی دیگر مانند انبساط غیرعادی درونی که باعث ترک خوردگی و کاهش مقاومت میشود، باعث مشکلات جدی برای بتن میگردد. این واکنش در دو

حالت اتفاق میافتد: واکنش قلیایی کربناته، -Alkali کربناته، Carbonate Reaction (ACR) سیلیکاته، Carbonate Reaction (ACR) و واکنش قلیایی سیلیکاته، Alkali-Silica Reaction (ASR) واکنش قلیایی سیلیکاته بیش از واکنش کربناته نگران کننده است زیرا سنگدانههای معدنی حاوی سیلیکات متداول تر هستند (Farny and Kosmatka, 1997). نشانههای وقوع آسیب در اثر واکنش قلیایی می تواند به صورت شبکهای از ترکها، گرههای نزدیک، ورقهای شدن و جابجایی قسمتهای مختلف سازه نمایان شوند. آسیب ناشی از واکنش قلیایی سنگدانهها یک پروسه آرام می باشد. یکی از راههای تشخیص وجود این واکنش در سنگدانهها پتروگرافی است که در آن

استناد: رحیمیمنبر، ح.، فتحاللهی، م. (۱۴۰۳). بررسی سنگدانههای کربناته و استفاده از پتروگرافی در پیش بینی واکنش قلیایی(AAR). مجله زمین شناسی مهندسی، https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.4.1015263 .۶۲۵-۶۹۹ (۴) ۱۸



818

(Fernandes et al., 2013). واکنشهای قلیایی از نظر محققین مختلف حائز اهمیت بوده و به همین دلیل از زوایای مختلف مورد توجه قرار گرفته است که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد. مطالعات واکنش های قلیایی سیلیکاته بتن (Figueira et al., 2019)، تأثير مكمل هاي سيماني بر (Meesak قليايى and سىلىكاتە واكنشهاي Sujjavanich, 2019; Leemann et al., 2015)، مقايسه روش های کاهش ASR (Islam, 2014) روش های تشخیص و یایش واکنشهای قلیایی (Rivard and Saint-Pierre, 2009; Hanifehzadeh et al., 2019; Courtois et al., 2021; Kongshaug, 2020)، مطالعات موردي مانند نگاهی به فرایند واکنشهای قلیایی در سد آلتو سیرا پرتقال (Custódio et al., 2025)، مدلسازی واکنش های قليايى(Pourbehi, 2018; Gorga et al., 2020)، بکار گیری موادی مانند نانو سیلیکات در کاهش واکنشهای قليايي سيليكاته (Banik et al., Majidi et al., 2023) قليايي سيليكاته Almakrab et al., 2024; کاکھ در بیشتر منابع). اگرچه در بیشتر منابع استفاده از پتروگرافی به عنوان روشی سریع برای تشخیص پتانسیل واکنش قلیایی ذکر شده است اما به نظر میرسد در بیشتر موارد جنبه توصیفی داشته و حد مشخصی برای مقادیر کانی های واکنشزا دیده نمی شود و یا تعیین آن ها قطعی نیست و از طرفی حضور کانیهای سیلیسی در سنگدانههای کربناته مورد بررسی قرار نگرفته است و تحلیل و توصيف يتروگرافي به خوبي انجام نشده است.

در این تحقیق با تمرکز بر پتروگرافی سنگدانه و توصیف زمین شناسی مقاطع نازک به بررسی کانی شناسی سنگدانه ها پرداخته شده است و بررسی های پتروگرافی به طور خاص بر روی سنگدانه های کربناته معطوف شده و احتمال واکنش آن ها در ساخت بتن مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادامه آن ها در ساخت بتن مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادامه با استفاده از آزمایش های تکمیلی همچون روش استوانه سنگی (ASTM C586) و ملات منشوری تسریع شده

(ASTM C1260) به ارزیابی اعتمادپذیری پتروگرافی در احتمال واکنشپذیری پرداخته شد.

زمین شناسی مهندسی، دوره ۱۸، شماره ۴

## مواد و روشها

سنگدانه ها به عنوان مصالح طبیعی، مهم ترین جزء در ساخت بتن بکار برده می شود. این مصالح اغلب از نهشته های طبیعی همچون شن، ماسه و یا خردههای سنگ انتخاب می شود که حجم زیادی از بتن را تشکیل میدهند ( Qemallaj and Golgota, 2015). از جمله روشهای توصيف و طبقهبندی مصالح، بررسی پتروگرافی است که روشی برای شناسایی کانیها و دیگر ترکیبات است که معمولاً در نمونههای دستی و مقاطع نازک صورت می گیرد. هدف از مطالعه پتروگرافی به دست آوردن اطلاعاتی در مورد، محتوای سنگ و کانیهای تشكيلدهنده آن است ( Qemallaj and Golgota, تشكيل 2015). منشأ مواد قليايي شامل دو منبع دروني و بيروني مى باشند. منبع درونى مى تواند شامل كليه مصالح تشكيل-دهنده بتن از جمله سنگدانهها، سیمان، آب و مواد افزودنی معدنی و شیمیایی باشد. آب حاوی املاح قلیایی در صورتی که در تماس با بتن قرار گیرد و بتواند به درون بتن نفوذ کند خود می تواند منبع بیرونی تأمین قلیاییها در بتن تلقی شوند. این واکنشها می توانند سبب انبساط مخرب، ترک خوردگی و خرابی بتن گردند. در این مطالعه بررسیهای پتروگرافی و شیمیایی بر اساس استانداردهای موجود (ASTM) برای شناسایی واکنشزایی قلیایی - سیلیسی و قلیایی- کربناته سنگدانهها برای تأیید حضور یا عدم حضور این ترکیبات در مصالح سازنده بتن بکار برده شده است.

در این مطالعه تعداد یازده نمونه سنگی کربناته (آهک و دولومیت) به صورت سنگ مادر از معدن تهیه و توسط دستگاه سنگ شکن آزمایشگاهی خردایش شده و سپس به وسیله الکهای آزمایشگاهی در اندازههای مختلف دانهبندی شد. همچنین کلیه مصالح قبل از استفاده کاملاً شسته و در

حالت S.S.D (حالت اشباع با سطح خشک) بوده است. نمونهها پس از خرد شدن توسط دستگاه، توسط الکهای با اندازههای متفاوت مورد جدایش قرار گرفته و سپس درصد باقیمانده بر روی هر الک، مورد بررسی پتروگرافی توصیفی قرار گرفته است. از هر نوع سنگ باقیمانده روی الکها مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شده و مطالعه شده است. همانطور که در نتایج آنالیز XRF نمونهها نیز مشاهده می شود (جدول ۱) مقدار سیلیس اغلب نمونهها کمتر از ۵ درصد است به جز یکی از نمونهها که دارای درصد زیاد سیلیس در حدود ۲۱/۱

جدول ۱. مقدار اکسید عناصر اصلی سنگدانههای مورد مطالعه که به روش XRF اندازه گیری شده است. Table 1. The amount of oxides of the main elements of the studied aggregates, measured by XRF.

	XRF	Oxide	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	$P_2O_5$	So <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	$V_2O_5$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Total
	B1	%	0.076	8.3	0.42	1.7	0.061	0.3	0.2	45.01	0.008	0.33	43.4	99.805
	B2	%	0.093	5.2	0.54	2.6	0.099	0.25	0.26	47.8	0.008	0.37	42.59	99.81
	B3	%	0.063	3.9	0.36	1.4	0.055	0.24	0.19	50.2	0.007	0.42	43.01	99.845
	B4	%	0.087	5.8	0.4	1.5	0.086	0.26	0.22	48.01	0.008	0.36	43.13	99.861
les	B5	%	0.1	5.9	2.3	21.1	0.33	0.33	0.42	32.2	0.02	2.08	34.19	98.97
mp	RS1	%	0.07	0.76	0.8	3.7	0.09	0.023	0.33	53.1	0.008	0.83	39.9	99.611
Sa	RS2	%	0.053	0.85	0.75	4.5	0.087	0.026	0.3	52.1	0.006	0.78	40.1	99.552
	RS3	%	0.056	0.75	0.45	2.7	0.063	0.061	0.19	52.9	Ν	0.64	40.36	98.17
	RS4	%	0.055	1.23	0.3	3.1	0.41	0.071	0.19	53.01	0.012	1.06	40.37	99.808
	RS5	%	0.087	1.13	0.4	4.6	0.58	0.054	0.2	53.7	0.011	0.95	36.84	98.552
	RS6	%	0.23	1.41	2.04	21.1	0.1	0.017	0.59	37.5	0.008	2.09	34.3	99.385

در Error! Reference source not found. در Error! Reference source not found.

درصد است که می تواند نشان دهنده وجود سیلیس فعال در سنگدانهها (همچون اپال، کلسدونی، تریدیمیت،

کریستوبالیت و شیشههای آتشفشانی) باشد ( ASTM

C295-08). این مواد واکنشزا در سنگهایی مثل چرت،

آرژیلیت، فیلیت، گریواک، شیست، گنایس، میلونیت،

کوار تزهای رگهای، کوار تزیت، ماسه سنگ، ریولیت، توفهای

ریولیتی، داسیت، آندزیت و نیز سنگهای دیگر می تواند

وجود داشته باشد (Gifford and Gillott, 1996).

آب مصرفی در این طرح آب شهری (شهر تهران) است و سیمان مصرفی، سیمان تیپ ۲ آبیک منطبق بر استاندارد ASTM C 295 است که پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آن

مشخصات فيزيكي	مقدار
Fineness ( Blaine Test, cm2/gr )	3081
Retained on Sieve # 170 (90 µm)	5.7
Autoclave Expansion	0.21
Water or Normal Consistency	23
Initial Setting Time (Vicat Test, minutes)	153
Final Setting Time (Vicat Test, minutes)	212

حدول ۲. مشخصات فيزيكي سيمان

است.

Chemical compound	Amount %	Chemical compound	Amount %						
SiO <sub>2</sub>	20.79	Na <sub>2</sub> O	0.37						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.76	K <sub>2</sub> O	0.68						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.86	Free-CaO (CaO.f)	0.82						
CaO	62.28	Cl	-						
MgO	3.22	Loss on Ignition ( LOI )	1.88						
$SO_3$	1.89	Insoluble Residue (I.R)	0.51						
Bouges compounds									
Tricalcium-silicate	(C3S)	52.67							
Dicalcium-silicate	(C2S)	19.89							
Tricalcium-alumina	te ( C3A )	6.09							
Tetracalcium-aluminof	errite (C4AF)	11.74							

	ċ	مار	سي	ايى	مي	شي	مشخصات	۳.	L	جدوا	
1.1		~	~							0	

C136 دانهبندی میشود. در مرحله دوم دانههای باقیمانده روی هر الک با توجه به نوع سنگ، هوازدگی و استحکام شمارش شد. همچنین دانهها از لحاظ شکل آنها بررسی شده و با شمارش شکلهای موجود در هر جنس، درصد شکلی سنگدانهها (دیسکی- تیغهای- کروی) برای هر الک محاسبه میشود. از مصالح روی الکها نمونه اخذ میشود و پس از تهیه مقطع نازک، درصد کانیها با پتانسیل واکنش-زایی قلیایی- سیلیسی ( عموماً شامل کوارتز آزاد، چرت، اپال، کلسدونی و...) و درصد کانیها با پتانسیل واکنشزایی قلیایی-کربناته (کلسیت دولومیتی شده) محاسبه میشود. مراحل انجام مطالعات بر اساس استاندارد ASTM C295 به شرح زیر است:

## مراحل انجام تحقيق

برای بررسی و شناخت سنگدانههای مستعد واکنش قلیایی، آزمایش پتروگرافی (ASTM C295) و آزمایشهای شیمیایی ASTM C586 ، XRF و ASTM C1260 صورت گرفته است که در زیر شرح داده می شود:

## پتروگرافی، استاندارد ASTM C295

این روش، از روشهای مؤثر و سریع جهت تعیین پتانسیل واکنش پذیری سنگدانهها است (French, 1991). این آزمایش روشی ساده، تکرار پذیر و سریع است. برای این آزمایش ابتدا مصالح قرضه بتن اعم از مصالح شن و ماسهای و یا سنگی بر طبق استاندارد ASTM C117 و



Comple	Clay & Silt	Sand	Gravel		
Sample	(%)	(%)	(%)		
B1	18.72	22.04	59.24		
B2	17.06	25.06	57.87		
B3	31.71	19.29	49.00		
B4	37.64	14.49	47.87		
B5	15.66	24.91	59.43		

## شکل ۱. نمودار دانهبندی سنگدانهها و مقدار اجزاء تشکیل دهنده Fig. 1. The grain size distribution of aggregate

میکروسکوپی مقاطع نازک سنگدانههای باقیمانده بر روی الکها در ادامه ارائه میشود.

## توصيف ماكروسكويي نمونهها

با توجه به شکل ۲، اغلب نمونه ها به رنگ کرم روشن متمایل به خاکستری روشن تا تیره و دارای آثار درزه های بسیار ریز و موازی و بافت ریزدانه، همگن و متراکم هستند. در سطح برخی از نمونه ها آثار جلبکی دیده می شود که در برخی نواحی به شکل نوارهای متحدالمرکز کاملاً قابل مشاهده است. همچنین آثار میکروفسیل نیز در بافت زمینه دیده می شود. آثار دندریتی منگنز در برخی سطوح سنگ ها به همراه پوشیدگی های گچی و کانی های اپاک قابل مشاهده هستند. ریز درزه هایی به موازات هم و با پر شدگی های تیره-رنگ که به احتمال زیاد کانی های اپاک هستند دیده می-شوند. نمونه ها با اسید کلریدریک جوشش دارند. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود گراول حجم عمده دانهها را تشکیل داده است. با توجه به مطالعات نظری انجام شده، منابع قرضه مورد مطالعه، عمدتاً در سه گروه الف) سنگ آهک دولومیتی، ب) ماسه سنگ آهکی و ج) چرت دستهبندی شده است. سنگدانههای گروه الف بطور میانگین ۹۲/۸۵ درصد از کل مصالح را شامل می شود که در حقیقت اصلی ترین سنگدانه در کل منابع قرضه است. سنگدانههای این بخش شامل سنگ آهکهای متنوعی است که در آنها بیوکلاست (فسیل) با زمینههای میکرایتی و کلسیتی مشاهده می شود. همچنین در این میان سنگهای آهکی دولومیتی نیز مشاهده شده است. سنگدانههای گروه ب با سیمان آهکی در مجموع ۱۶/۵ درصد از کل مصالح را به خود اختصاص داده است. توصیفات ماکروسکوپی و نتایج مطالعات



شکل ۲. نمونههای ماکروسکوپی که دارای رنگ کرم روشن تا تیره و متمایل به خاکستری روشن تا تیره هستند Fig. 2. The specimens that are light to dark cream in color and tend toward light to dark gray فسیلی عمدتاً خردههای فسیلی پلاژیک، رادیولار و **توصیف میکروسکوپی** کانی کلسیت (**Error! Reference source not** 

کانی کلسیت ( A -found. ) به مقدار فراوان و پس از آن کوارتز، دولومیت (A -found. A) به مقدار فراوان و پس از آن کوارتز، دولومیت ( B -Error! Reference source not found. ) و کانی-های اپاک در رتبههای بعدی قرار می گیرند. از آنجایی که بیش از ۵۰٪ نمونه از کانی های کربناته تشکیل شده جزو سنگ-های کربناته محسوب می شود و بر اساس تعریف صورت گرفته برای اجزای تشکیل دهنده سنگهای کربناته، شامل اسکلت (دانههای اسکلتی و غیر اسکلتی) و سیمان پرکننده فضای خالی بین دانهها می باشد. سنگها دارای زمینه میکرایتی، اسپارایتی و میکرواسپارایتی هستند که آثار فسیلی در آنها قابل مشاهده می باشد (شکل ۴ – ۸). قطعات

فسیلی عمدتاً خردههای فسیلی پلاژیک، رادیولار و کلسی-فسیلی عمدتاً خردههای فسیلی پلاژیک، رادیولار و کلسی-اسفر و روزنداران (از خانواده میلیولیدها) و آثار جلبکی می-باشند (شکل ۴– B). تراکم آثار فسیلی در متن زمینه دیده میشود (شکل ۴– C). بلورهای دولومیت ریز و دانه شکری میشود (شکل ۴– C). بلورهای دولومیت ریز و دانه شکری مستند که در سیمان زمینه دیده میشوند البته به دلیل ریزدانه بودن سیمان و همچنین بلورهای دولومیت، چندان قابل تشخیص نمی باشند. اما در برخی نواحی پدیده دولومیتی شدن پیشرفت داشته و بلورهای لوزوجهی نواحی مختلف زمینه میتوان ریز درزههایی را مشاهده نمود که با بلورهای کلسیت متبلور پرشدهاند. همچنین آثار درزه-های استیلولیتی نیز در برخی نمونهها دیده میشود که

توسط کانیهای اپاک پر شدهاند (شکل ۴– E). در برخی نقاط پرکردگی حفرات فسیلی توسط متبلور قابل مشاهده است (شکل ۴– F). آثار تخلخل هم در بافت زمینه به صورت پراکنده و اندک مشاهده میشود که بخشی از آنها حجرات فسیلی میباشند که فاقد هرگونه پرکردگی هستند (شکل ۴– F). آثار کانیهای اپاک و همچنین بلورهای ریز کوارتز تخریبی نیز در برخی نواحی دیده میشود (شکل ۴– G). آثار گلوکونیت نیز در برخی نمونهها به صورت پراکنده دیده



شکل ۳. نمونههای رنگآمیزی شده توسط آلیزارین، a- نواحی کلسیتی با بزرگنمایی EA4 (PPL)، d- نواحی دولومیتی با بزرگنمایی (XPL) EA4 Fig. 3. A. Calcite at EA4 magnification (PPL), B: Dolomite at EA4 magnification (XPL)

911

می شود (شکل ۴-H). با توجه به احتمال وجود دولومیت در

بافت زمینه، نمونه با محلول آلیزارین قرمز رنگ آمیزی شد و

با توجه به رنگ گرفتن غالب سنگ می توان نتیجه گرفت که

آثار چندانی از دولومیت در بافت زمینه وجود ندارد. اما در

برخی نمونهها با توجه به رنگ نگرفتن و قرمز نشدن برخی

از سنگ می توان نتیجه گرفت که آثاری از دولومیت دانه

شکری در سیمان سنگ وجود دارد.



شکل ۴. A- سنگ با زمینه اسپارایتی و آسترولینا در نمونه رنگ آمیزی شده توسط آلیزارین، با بزرگنمایی AE4 (PPL)، B- آثار جلبک در نمونه رنگ آمیزی شده توسط آلیزارین، با بزرگنمایی AE4 (XPL)، C و D- آثار دولومیت در نمونه رنگ آمیزی شده توسط آلیزارین، با بزرگنمایی EA10 (XPL و دولومیت لوزوجهی با بزرگنمایی EA4 (PPL)، B-4 درزههای استیلولیتی و ریز درزههای کلسیتی، بزرگنمایی AE4 (XPL)، F- آثار حفرات خالی، G- شکستگی فاقد پرشدگی و آثار کانیهای اپاک با بزرگنمایی AE4 (PPL)، H- گلوکونیت در نمونه رنگ آمیزی شده توسط آلیزارین، با بزرگنمایی EA4 (PPL).

Fig. 4. A. A sample with a matrix of sparite and astrolina in an alizarin-stained specimen, at magnification AE4 (PPL), B: Traces of algae in a sample stained with alizarin, at magnification AE4 (XPL), C & D: Traces of dolomite in the alizarin stained specimen, at EA10 magnification (XPL) and dolomite lozenges at EA4 magnification (PPL), E: Stylolite joints and calcite microjoints, AE4 magnification (XPL), F: pore spaces, G: Unfilled fracture and traces of opaque minerals at AE4 magnification (PPL), H: Glauconite in an alizarin-stained specimen, at magnification EA4 (PPL).

روش استوانه سنگی 9860 ASTM C586 و طول ASTM 2586 در این روش استوانه سنگی به قطر 9mm و طول 35mm یا در این روش استوانه سنگی به قطر 9mm و طول 35mm یا منشورهای به ابعاد 35mm (۲۰ در محلول AOH) معین نرمال و دمای 2°25 غوطهور گردیده و در فواصل زمانی معین طولشان اندازه گیری میشود ( , محلول Fouries کربناتی 1992). این آزمایش برای تشخیص سنگهای کربناتی و 10% درصد در ۴ هفته واکنش پذیر با قلیا، که مطابق با حد انبساط ۱۰/۰ درصد در ۴ هفته میبشنهاد شده است. نتایج این آزمایش برای تشخیص سنگهای فعال قلیایی سیلیسی و مار/۰۰ درصد در ۶ هفته آزمایش برای تشخیص سنگهای فعال قلیایی سیلیسی و ماره در محلول قلیایی سیلیسی در محلول استفاده از نتایج این محلول میشنهاد شده است. نتایج این آزمایش برای تشخیص سنگهای فعال قلیایی سیلیسی در محلول در محلول در محلول در 2012

اين أزمايش توصيه نمي مود (ASTM C586).

روش ملات منشوری تسریع شده ASTM C1260

در این روش سنگدانه ا را بر اساس دانه بندی توصیه شده جدا نموده و آن را با سیمان پرتلند تیپ ۲، برای تهیه نمونه-های منشوری مخصوص به کار می برند. پس از نمونه گیری با آب ۲۳ درجه سانتی گراد، نمونه ها را در محلول سود نرمال ۸۰ درجه سانتی گراد غوطه ور می کنند. پس از ۲۴ ساعت، قرائت اولیه را یادداشت کرده و بعد از آن مقدار انبساط ایجاد شده را تا ۲۵ روز قرائت می کنند. سپس با توجه به انبساط به دست آمده، محدوده مضر بودن یا بی ضرر بودن سنگدانه ها به شرح زیر خواهد بود (Orattan-Bellew et al., 2010): به شرح زیر خواهد بود (۲۰ درصد نمونه باشد، در بیشتر حالات سنگدانه ها بی ضررند.

اگر انبساط بیشتر از ۲/۰ درصد نمونه باشد، سنگدانهها در محدوده زیان آور قرار دارند.
 اگر مقدار انبساط بین ۰/۱ تا ۲/۲ درصد نمونه باشد، سنگدانهها هم در محدوده مشکوک قرار دارند.

برای تشخیص دسته سوم، به اطلاعات دیگری مانند آزمایش پتروگرافی ASTM C295 که برای تعیین درصد مقدار سنگدانههای مستعد میباشد، نیاز است. نتایج به دست آمده از آزمایش ASTM C1260 تأییدی بر صحت نتایج و اهمیت انجام آزمایش پتروگرافی (ASTM C295) بهمنظور انتخاب مصالح مناسب با صرف هزینههای اندک در مدت زمان کوتاه قبل از اجرای طرح اختلاط بتن است.

زمین شناسی مهندسی، دوره ۱۸، شماره ۴

### نتايج و بحث

## پیشبینی واکنشزایی قلیایی بر اساس استاندارد ASTM C295

وجود حداقل ۵/۰ درصد سنگدانههای واجد سیلیس فعال میتواند باعث ایجاد واکنش (ASR) و تخریب بتن گردد. با توجه به مشاهدات میکروسکوپی و سنگشناسی نمونههای معدنی کربناته حاوی سیلیس در نمونهها تخمین زده شده است. خصوصیات کلی سنگهایی که مستعد واکنشزایی قلیایی-کربناته (ACR) هستند عبارتاند از: دولومیتهای قلیایی-کربناته (ACR) هستند عبارتاند از: دولومیتهای حل از قبیل رس و سیلیس، پراکندگی همگن دولومیت و کلسیت در داخل زمینه رسی. مشاهدات میکروسکوپی نشان دهنده کلسیت ریزدانه و وجود میزان بسیار ناچیز دولومیت ریزدانه در نمونهها میباشد که احتمال وقوع واکنش قلیایی-کربناته در نمونهها بصورت کم وجود دارد. در نتیجه روش-هایی نظیر روش ASTM C586 و ASTM C1260 به

پیشبینی واکنشزایی قلیایی بر اساس استاندارد ASTM C586 خلاصه نتایج مربوط به ۶ سنگدانه مختلف در و اختلاف چندانی بین نتایج آن مشاهده نمی شود. بنابراین براساس نتایج مطالعات ( Tavakoli shirazi and azizian, ایست و این 2012) زمان یک ماه برای ارزیابی سنگ مناسب نیست و این میزان در این تحقیق در حدود ۱۱۲ روز ادامه یافت که دیده شد نتایج در این ماهها از یکدیگر کاملاً متمایز شده که نشان-دهنده وجود نوع و کانی های مختلف در سنگدانه های موجود است. جدول ۴. میزان انبساط نمونه سنگ کربناتی به روش استوانه سنگی (ASTM C586) Table 4. Expansion rate of carbonate rock sample by rock cylinder method (ASTM C586) آمده است. همانطور که ملاحظه می شود میانگین انبساط تمام نمونهها از ۲/۱ درصد کمتر است. بنابراین تمام نمونهها

غیرفعال ارزیابی می شود. همانطور که در نمودار !Error

دیدہ میشود، در بازہ **Reference source not found.** 

زمانی کوتاه مدت (۲۱روز) نتایج آزمایش نزدیک به هم بوده

	(ASTM C	سنگی (586	وش استوانه	کربناتی به ر	مونه سنگ	انبساط نہ	ل ۴. میزان	جدول	
Table 4.	Expansion	rate of car	bonate roc	k sample l	by rock c	vlinder	method (	ASTM C	(586)

Samples 1	initial	Average percentage of changes of 3 samples using the stone cylinder method									
	length (cm)	7 days	14 days	21 days	28 days	56 days	84 days	112 days			
R1	3.73	0.0009	0.0010	0.0020	0.0025	0.0030	0.0030	0.0030			
R2	3.68	0.0009	0.0010	0.0015	0.0020	0.0025	0.0025	0.0025			
R3	3.67	0.0000	0.0009	0.0010	0.0015	0.0020	0.0020	0.0020			
R4	3.72	0.0008	0.0010	0.0015	0.0020	0.0025	0.0025	0.0025			
R5	3.72	0.0008	0.0010	0.0015	0.0018	0.0020	0.0020	0.0020			
R6	3.66	0.0002	0.0005	0.0008	0.0010	0.0015	0.0017	0.0019			





شکل ۵. میزان انبساط نمونهها در طول۱۱۲ روز به روش استوانه سنگی Fig. 5. The rate of expansion of samples over 112 days using the cylinder method



جدول ۵. میزان انبساط نمونه سنگ کربناتی (نمونهB) به روش منشور ملات به روش تسریع شده (ASTM C1260) Table 5. Expansion rate of carbonate rock sample (B) by accelerated mortar prism method (ASTM C 1260)

A verage n	percentage of	changes	of 3	mortar	nrieme	using	the s	accelerated method	

Samples	initial length (cm)	Average percentage of changes of 3 mortar prisms using the accelerated method							
		4 days	7 days	11 days	14 days	21 days	28 days	35 days	
B1	28.49	0.045	0.077	0.120	0.145	0.189	0.229	0.257	
B2	28.47	0.034	0.063	0.097	0.128	0.175	0.223	0.250	
B3	28.49	0.034	0.069	0.097	0.125	0.159	0.210	0.230	
B4	28.48	0.025	0.057	0.089	0.130	0.199	0.259	0.301	
B5	28.49	0.025	0.050	0.084	0.112	0.169	0.230	0.278	

شکل ۶. A- میزان انبساط سنگدانههای گروه B به روش

28.48

28.48

0.004

0.004

R 5

R 6

Table 5. Expansion rate of carbonate rock sample (R) using the accelerated mortar prism method (ASTM C1260).												
Samples	initial length (cm)	Average percentage of changes of 3 mortar prisms using the accelerated method										
		4 days	7 days	11 days	14 days	21 days	28 days	35 days				
R 1	28.48	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.014				
R 2	28.47	0.002	0.004	0.006	0.008	0.009	0.010	0.011				
R 3	28.48	0.003	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.015				
R 4	28.48	0.009	0.012	0.019	0.029	0.041	0.051	0.061				

0.011

0.011

0.018

0.016

0.028

0.024

0.034

0.035

0.008

0.007

جدول ۶. میزان انبساط نمونه سنگ کربناتی (نمونه R) به روش منشور ملات به روش تسریع شده (ASTM C1260).



شکل ۶. A- میزان انبساط سنگدانههای گروه B به روش استاندارد (ASTM C1260)، B- میزان انبساط سنگدانههای گروه R به روش استاندارد (ASTM C1260).

Fig. 6. A. Expansion rate of Group B aggregates by standard method (ASTM C 1260), B. Expansion rate of group R aggregates by standard method (ASTM C 1260).

در کل مصالح تأثیر چندانی ندارند. نتایج نشان میدهد که سنگدانههای آهکی میتوانند حاوی مقادیری سیلیس باشند بنابراین لازم است در بررسی پتانسیل واکنشزایی قلیایی كربناته، همزمان پتانسيل واكنشزايي قليايي سيليكاته هم کنترل شود. با توجه به توصيفي بودن نتايج پتروگرافي و خطاهای موجود در آزمایشها، پیشنهاد می شود بصورت کلی برای جلوگیری از واکنشهای قلیایی، استفاده از سیمان کم قلیا در سنگدانه با قابلیت واکنش پذیری سیلیسی(میزان قليايي معادل آن بر حسب (Na<sub>2</sub>O + 0.658\* K<sub>2</sub>O) قليايي معادل آن بر حسب

نتيجەگىرى طبق مشاهدات پتروگرافی به روش استاندارد ASTM C295 چنین برداشت می شود که سنگدانه های منابع قرضه پتانسیل ایجاد واکنش قلیایی-کربناتی را دارا نمی باشند. و آزمایشهای ASTM C586 و ASTM C1260 موید نتایج پتروگرافی میباشند. همچنین واکنش قلیایی- سیلیسی به دلیل دارا بودن چرتهای میکروکریستالین در برخی گروه سنگها محتمل است، که به علت اندک بودن درصد آنها

0.046

0.046

بر حسب Na<sub>2</sub>O نباید از ۰/۴ درصد تجاوز نماید)، توصیه

می شود.

#### References

- Almakrab, A., Elshazli, M. T., Ibrahim, A., & Khalifa, Y. A. (2024). Assessment of Various Mitigation Strategies of Alkali-Silica Reactions in Concrete Using Accelerated Mortar Test. Materials, 17(20), 5124.
- ASTM C117, (1995). Standard Test Method for Materials Finer than.
- ASTM C136, (2005). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of Standards, 4(02).
- ASTM C295-98, (2007). Standard guide for petrographic examination of aggregates for concrete, 187-194.
- ASTM C1260-94, (1994). Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortarbar method), Annual Book of ASTM Standards, 4, 650-653.
- ASTM C586-99, (2004). Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks for Concrete Aggregate (Rock Cylinder Method). Annual book of ASTM standards, 282-285.
- Banik, D., He, R., Lu, N., & Feng, Y. (2024). Mitigation mechanisms of alkali silica reaction through the incorporation of colloidal nanoSiO2 in accelerated mortar bar testing. Construction and Building Materials, 422, 135834.
- Bérubé, M. A., & Fournier, B. (1992). Accelerated test methods for alkali-aggregate reactivity. Advances in Concrete Technology: 583-627.
- Courtois, A., Giannini, E. R., Boule, A., Hénault, J. M., Jacobs, L., Masson, B., ... & Vautrin, D. (2021). Field Assessment of ASR-Affected Structures. Diagnosis & Prognosis of AAR Affected Structures: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 259-ISR, 41-93.
- Custódio, J., Mata, J., Serra, C., Ribeiro, A. B., Tavares de Castro, A., & Batista, A. L. (2025). Insights into the Diagnosis and Prognosis of the Alkali–Silica Reaction (ASR) in Concrete Dams, Highlighting the Case of the Demolished Alto Ceira Dam in Portugal. Buildings, 15(3), 460.

کمتر از ۰/۶ درصد) و در خصوص سنگدانههای با قابلیت

واکنش پذیری کربناتی (میزان قلیای مواد موجود در سیمان

- Farny, J. A., & Kosmatka, S. H., (1997). Diagnosis and control of alkali-aggregate reactions in concrete. Portland Cement Association.
- Fernandes, I., Broekmans, M. A., Nixon, P., Sims, I., dos Anjos Ribeiro, M., Noronha, F., & Wigum, B. (2013). Alkali–silica reactivity of some common rock types. A global petrographic atlas. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 46(2), 215-220.
- Figueira, R. B., Sousa, R., Coelho, L., Azenha, M., De Almeida, J. M., Jorge, P. A. S., & Silva, C. J.
  R. (2019). Alkali-silica reaction in concrete: Mechanisms, mitigation and test methods. Construction and Building Materials, 222, 903-931.
- French, W. J. (1991). Concrete petrography: a review. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 24(1), 17-48.
- Gifford, P. M., & Gillott, J. E. (1996). Alkali-silica reaction (ASR) and alkali-carbonate reaction (ACR) in activated blast furnace slag cement (ABFSC) concrete. Cement and concrete research, 26(1), 21-26.
- Gorga, R. V., Sanchez, L. F. M., Martín-Pérez, B., Fecteau, P. L., Cavalcanti, A. J. C. T., & Silva, P. N. (2020). Finite element assessment of the ASRaffected Paulo Afonso IV dam. Journal of Performance of Constructed Facilities, 34(4), 04020065.
- Grattan-Bellew, P. E., Mitchell, L. D., Margeson, J., & Min, D. (2010). Is alkali–carbonate reaction just a variant of alkali–silica reaction ACR= ASR?. Cement and Concrete Research, 40(4), 556-562.
- Hanifehzadeh, M., Ebad Sichani, M., Gencturk, B., & Padgett, J. E. (2019). Destructive and nondestructive evaluation of reinforced concrete dry casks affected by alkali-silica reactivity damage. Structure and Infrastructure Engineering, 15(10), 1404-1418.
- Islam, M. S. (2014). Comparison of ASR mitigation methodologies. International Journal of Concrete Structures and Materials, 8, 315-326.
- Kongshaug, S. S., Oseland, O., Kanstad, T., Hendriks, M. A., Rodum, E., & Markeset, G.

(2020). Experimental investigation of ASRaffected concrete–The influence of uniaxial loading on the evolution of mechanical properties, expansion and damage indices. Construction and Building Materials, 245, 118384.

- Leemann, A., Bernard, L., Alahrache, S., & Winnefeld, F. (2015). ASR prevention—Effect of aluminum and lithium ions on the reaction products. Cement and Concrete Research, 76, 192-201.
- Majidi, F., Fathollahy, M., & Rahimi menbar, H., (2023). Changes in alkaline silicate reaction (ASR) by changing the amount of silica aggregates and controlling the reaction. Journal of Engineering Geology; 17 (3) :321-334. (In Persian)
- Meesak, T., & Sujjavanich, S. (2019). Effectiveness of 3 different supplementary cementitious materials in mitigating alkali silica

reaction. Materials Today: Proceedings, 17, 1652-1657.

- Pourbehi, M. S. (2018). Numerical modelling of alkali silica reaction in concrete dams (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Qemallaj, R., & Golgota, A. (2015). Petrographic mineralogical analysis of aggregates from devoll hydropower projects. 3(2).
- Rivard, P., & Saint-Pierre, F. (2009). Assessing alkali-silica reaction damage to concrete with non-destructive methods: From the lab to the field. Construction and Building Materials, 23(2), 902-909.
- Tavakoli shirazi, N., & Azizian, Gh. R., (2001). Investigation of the effects of alkali-silica reactions on some concrete dams in Iran. 4th Annual National Iranian Concrete Conference, Tehran, Iran. (In Persian)