

## Investigation of the Effect of Different Aggregates on the durability of Self-Compacting Concretes Exposed to Sulfate using "Friction-Transfer" Test

M. Naderi<sup>1</sup>, A. Rashvand Aveh<sup>2</sup>, A. Saberi Varzaneh<sup>3</sup>

1- Professor, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Master, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3- PhD, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

### ABSTRACT

Despite the fact that in most operating conditions, concrete components, compaction and curing affect the performance of concrete, but premature failure of concrete structures due to problems with the durability of concrete structures also occurs a lot. Due to the lack of information on the effect of type and strength of aggregates on the durability of self-compacting concrete, in this article, using the tests of "friction transfer" and "drilled core" to investigate the effect of strength of different aggregates on the reliability of concrete Self-compacting has been exposed to sodium sulfate. 9 types of stones with the names of travertine, granite, basalt, andesite, marble, green stone tuff, crystal green tuff, rhyolite and limestone have been used to make self-compacting concretes. Compressive strength tests of self-compacting concretes cured with water and sodium sulfate solution were performed at ages 7, 14 and 28. The results showed that the volume change of rocks with higher water absorption percentage was less and there is a direct relationship between the compressive strength of self-compacting concretes treated in water and sodium sulfate solution with the strength of the parent rock. We also see an increase in compressive strength of self-compacting concrete placed in sodium sulfate solution at a young age compared to samples placed in water. There is also a linear relationship with a high correlation coefficient between the results of the friction transfer test and the core correction test. Compressive strength of crystalline green tuff, green tuff, andesite, rhyolite, travertine, lime, marble, granite and basalt are 31.76, 33.12, 39.92, 43.43, 48.41, 51.97, 59.66, 62.17 and 75.41 Mpa, respectively. With increasing compressive strength, the results of friction transfer test also increased so that for the mentioned rocks are equal to 132.4, 146.9, 155.9, 168, 176.3, 185.3, 189.8, 5 / 198 and 9/207 Nm.

### ARTICLE INFO

Receive Date: 22 November 2021

Revise Date: 21 February 2022

Accept Date: 20 May 2022

### Keywords:

Friction-Transfer  
Various Stones  
Strength  
Self-Compacting Concrete  
Sulfate

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2022.316371.2648>

\*Corresponding author: Ali Saberi Varzaneh.

Email address: [ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir](mailto:ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir)

## بررسی اثر سنگدانه های مختلف بر دوام بتن های خود متراکم در معرض سولفات با استفاده از آزمون "انتقال اصطکاک"

محمود نادری<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل رشوند آوه<sup>۲</sup>، علی صابری ورزنده<sup>۳</sup>

۱- استادیار، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران،

۲- ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۳- دکتری، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

### چکیده

علی رغم اینکه در بیشتر شرایط بهره برداری، اجزای تشکیل دهنده بتن، فشردگی و عمل آوری آن در عملکرد بتن تاثیر گذار می باشند، ولی شکست زودرس بتن به دلیل مشکلات دوام سازه های بتنی نیز بسیار اتفاق می افتد. با توجه به عدم وجود اطلاعات مربوط به تاثیر نوع و مقاومت انواع سنگ ها بر دوام بتن خود متراکم، در این مقاله با بکارگیری آزمون نوین و درجای "انتقال اصطکاک" و مقایسه با نتایج آزمون استاندارد "مغزه گیری" اقدام به بررسی تاثیر مقاومت سنگدانه های مختلف بر پایداری بتن های خود متراکم در معرض سولفات سدیم گردیده است. از ۹ نوع سنگ با نام های تراورتن، گرانیت، بازالت، اندزیت، مرمریت، توف سبز سنگی، توف سبز بلورین، ریولیت و آهک برای ساخت بتن های خود متراکم استفاده شده است. آزمایشات مقاومت فشاری بتن های خود متراکم عمل آوری شده در آب و محلول سولفات سدیم در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز انجام پذیرفت. از نتایج بدست آمده مشاهده شد که تغییر حجم سنگ های با درصد جذب آب بالاتر، کمتر بوده و رابطه مستقیم بین مقاومت فشاری بتن های خود متراکم عمل آوری شده در آب و محلول سولفات سدیم با مقاومت سنگ مادر وجود دارد. همچنین شاهد افزایش مقاومت فشاری بتن های خود متراکم قرار گرفته در محلول سولفات سدیم در سنین پایین در مقایسه با نمونه های قرار گرفته در آب می باشیم. در ضمن رابطه خطی با ضریب همبستگی بالا بین نتایج آزمون انتقال اصطکاک با آزمون مغزه گیری وجود دارد. مقاومت فشاری سنگ های توف سبز بلورین، توف سبز، اندزیت، ریولیت، تراورتن، آهک، مرمریت، گرانیت و بازالت به ترتیب برابر ۳۱/۷۶، ۳۳/۱۲، ۳۹/۹۲، ۴۳/۱۴، ۴۸/۴۱، ۵۱/۹۷، ۵۹/۶۶، ۶۲/۱۷ و ۷۵/۴۱ مگاپاسکال می باشد. با افزایش مقاومت فشاری، نتایج آزمون انتقال اصطکاک نیز افزایش داشته بطوریکه برای سنگ های مذکور به ترتیب برابر ۱۳۲/۴، ۱۴۶/۹، ۱۵۵/۹، ۱۶۸/۱، ۱۷۶/۳، ۱۸۵/۳، ۱۸۹/۸، ۱۹۸/۵ و ۲۰۷/۹ نیوتن متر می باشد.

کلمات کلیدی: انتقال اصطکاک، سنگ های مختلف، مقاومت، بتن خود متراکم، سولفات.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	<a href="https://doi.org/10.22065/jsce.2022.316371.2648">https://doi.org/10.22065/jsce.2022.316371.2648</a>	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2022.316371.2648	۱۴۰۱/۱۲/۲۹	۱۴۰۱/۰۲/۳۰	۱۴۰۱/۰۲/۳۰	۱۴۰۰/۱۲/۰۲	۱۴۰۰/۰۹/۰۱
نویسنده مسئول: علی صابری ورزنده ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir					پست الکترونیکی:	

## ۱- مقدمه

با توجه به اینکه بخش اعظمی از کیفیت بتن به اجزای متشکله آن بستگی دارد، لذا نوع و مقاومت سنگدانه ها که بیشترین حجم بتن را تشکیل می دهند، از اهمیت بالایی برخوردارند. سنگدانه ها حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهند و یکی از مهمترین عامل ها بر مقاومت بتن در نظر گرفته می شوند. همچنین سنگدانه ها باعث قطع اتصالات منافذ در شبکه مویرگی خمیر سیمان می گردند. البته با توجه به اینکه در هنگام اعمال بارهای فشاری به بتن، معمولاً شکستگی در ناحیه ضعیف بین سنگدانه و خمیره سیمان رخ می دهد لذا مقاومت بالقوه سنگدانه ها به طور کامل کمکی به مقاومت بتن نمی نماید [۱-۶].

تحقیقات انجام شده در گذشته بیانگر این است که سنگدانه ها تأثیرات فراوانی را بر مشخصات مکانیکی بتن ها دارند. در تحقیقی روی تأثیر اندازه سنگدانه ها بر مقاومت بتن مشخص گردید که سنگدانه ها تأثیر فراوانی در مقاومت بتن های متخلخل دارند. البته، سنگدانه های با قطر بزرگتر از ۷ میلی متر به طور قابل توجهی بر مقاومت فشاری بتن تأثیر نمی گذارند [۷-۸]. در تحقیقی دیگر مشاهده شد که با افزایش اندازه متوسط قطر سنگدانه ها، مقاومت فشاری بتن رو به افزایش می رود [۹]. برخی از محققان برای روند کسب مقاومت نمونه های بتنی حاوی کوارتز، گرانیت و ماسه رودخانه ای یک مدل خطی ارائه داده اند [۱۰]. نتایج منتشر شده در یک تحقیق نشان می دهد که سنگدانه های گرانیت، بتنی با مقاومت بالاتر از سنگدانه های مرمر تولید می کنند. البته تأثیر این نوع سنگدانه ها در بتن های با مقاومت بالای ۴۰ مگاپاسکال مشهود می باشد. در تحقیق مذکور نیز ذکر شده است که بتن حاوی سنگ گرانیت دارای مقاومت فشاری ۳۰/۱ مگاپاسکال و بتن حاوی سنگ مرمر دارای مقاومت فشاری ۲۹/۵ مگاپاسکال می باشد که اختلاف آن ها حدود ۲ درصد می باشد [۱۱]. علاوه بر این، نوع سنگدانه تأثیر بیشتری در مقاومت فشاری بتن های با مقاومت بالا نسبت به بتن های با مقاومت معمولی دارد [۱۲].

در مناطق گسترده ای از ایران و به خصوص در سواحل جنوبی کشور که بتن در معرض آب دریا قرار دارد، حمله سولفات ها از عوامل اصلی مخرب بتن می باشند. از عوامل اصلی مربوط به پایایی بتن می توان به نوع مصالح، ساختار بتن، تراکم، پرداخت و عمل آوری اشاره نمود. تراکم نامناسب بتن به دلیل عدم ویریه قابل قبول در قسمت های محدود بین میلگردها و قالب ها به عنوان یکی از عوامل اصلی دوام کم سازه در معرض سولفات ها می باشد. حمله سولفات ها به بتن یک فرایند بسیار پیچیده است و عوامل فراوانی می توانند بر مقاومت بتن به سولفات ها تأثیر بگذارند، مانند نوع سیمان، نوع سولفات و مدت زمان قرار گرفتن بتن در معرض حمله سولفات ها. به طور کلی حمله سولفات ها باعث می شود که یون های سولفات با هیدروکسید کلسیم و آلومینات کلسیم هیدراته شده واکنش نشان داده و تبدیل به اترینگایت شده که باعث انبساط، ترک خوردگی، خرابی و تخریب بتن خواهد شد [۱۳-۱۵]. برخی از محققین روی اثر خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن های خودمتراکم در برابر حمله سولفات مطالعه نمودند و اشاره نموده اند که با استفاده از مقدار کافی خاکستر بادی، می توان به طور موثر مقاومت بتن در برابر حمله سولفات ها را افزایش داد [۱۶-۱۷].

در میان سولفات ها، سولفات منیزیم از دیگر سولفات ها دارای ضرر بیشتری است زیرا فقط با آلومینات کلسیم هیدراته واکنش نمی دهد بلکه در عین حال باعث می شود که سیلیکاتهای کلسیم هیدراته کاملاً تجزیه شده و به یک توده ترک خورده تبدیل شوند [۱۸-۱۹]. نتایج یک تحقیق نشان می دهد که مواد افزودنی معدنی مانند خاکستر بادی یا مواد افزودنی اضافی می تواند در بتن حاوی سیمان پرتلند استفاده شده و برای بهبود پایایی بتن مانند مقاومت در برابر سولفات مفید باشد [۲۰]. در یک تحقیق دیگر روی تأثیر سولفات ها بر بتن خود متراکم نتیجه گرفته شد که افزودن زئولیت در مقایسه با متاکاولین به ترتیب باعث افزایش ۱ و ۵ برابری مقاومت بتن در برابر حملات یون های کلرید و سولفات منیزیم می گردد [۲۱]. در تحقیقی روی مقاومت فشاری ملات های خود متراکم حاوی درصد های مختلف خاکستر بادی مشاهده شد که افزایش مقدار خاکستر بادی باعث کاهش مقاومت فشاری می گردد اما مقاومت ملات در برابر حمله سولفات ها افزایش می یابد [۲۲]. در بسیاری از تحقیقات، خراب شدن بتن در محیط های سولفات به عنوان دو پدیده طبقه بندی می شوند: حمله شیمیایی سولفات ها یا حمله فیزیکی آن ها. در برخی موارد نیز حمله سولفات ها به دو دسته آسیب های داخلی و خارجی بیان می شوند [۲۳-۲۵].

در این تحقیق با استفاده از آزمون های "انتقال اصطکاک" [۲۶] و "مغزه گیری" [۲۷] تاثیر سنگدانه های مختلف بر دوام بتن خود متراکم در مقابل حمله سولفات سدیم ارائه گردیده است. برای ساخت بتن ها از سنگ های تراورتن، گرانیت، بازالت، اندزیت، مرمریت، توف سبز سنگی، توف سبز بلورین، ریولیت و آهک استفاده شده است. آزمایشات مقاومت فشاری بتن های خود متراکم عمل آوری شده در آب و محلول سولفات سدیم در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز انجام پذیرفت. در تحقیقات قبلی از آزمون "انتقال اصطکاک" برای ارزیابی مقاومت فشاری بتن های معمولی و الیافی، ملات های معمولی و الیاف و ملات های اصلاح شده با پلیمر [۲۸-۳۴] استفاده شده است.

## ۲- کارهای آزمایشگاهی

در این قسمت در خصوص مصالح مصرفی، آماده سازی نمونه ها و آزمایش های انجام پذیرفته توضیحات ارائه شده است.

### ۲-۱ مصالح مصرفی

با توجه به هدف تحقیق، سنگدانه های مورد نیاز که در شکل ۱ قابل مشاهده می باشند به صورت قطعه سنگ از مناطق مختلف اطراف استان قزوین تهیه و در آزمایشگاه به سنگدانه های با دانه بندی مورد نظر تبدیل شدند. به منظور حفظ یکپارچگی بتن و جلوگیری از جداسازی در بتن از خاکستر بادی محصول شرکت نامیکاران استفاده شد. سولفات سدیم به صورت پودر جامد و در بسته های یک کیلو گرمی تهیه گردید.



شکل ۱: سنگ دانه های مصرفی برای ساخت بتن های خود متراکم.

دانه بندی سنگ های مادر مختلف که در آزمایشگاه شکسته شدند در جدول ۱ نشان داده شده است. دانه بندی سنگدانه ها طبق استاندارد ASTM C136/C136M-14 [۳۵] انجام شد. قطر بزرگترین سنگدانه مصرفی با توجه به ابعاد قالب مکعبی ۱۰۰ میلی متری برابر ۹/۵ میلیمتر انتخاب شد. سیمان استفاده شده برای ساخت بتن های خود متراکم از نوع تیپ ۲ با چگالی ۳۰۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. جذب آب و چگالی شن و ماسه بر اساس استانداردهای ASTM C128 [۳۶] و ASTM C127 [۳۷] به دست آمد. آب مورد استفاده

برای ساخت بتن از آب شرب شهر قزوین می باشد. با توجه به ثابت بودن نسبت آب به سیمان، جهت به دست آوردن اسلامپ مورد نیاز برای بتن های با سنگدانه های مختلف از نسبت های متفاوت فوق روان کننده محصول شرکت نامیکاران قزوین استفاده شد.

جدول ۱: دانه بندی سنگدانه ها

درصد تجمعی عبور کرده	درصد تجمعی مانده	درصد وزنی مانده روی الک	جرم مانده روی الک (gr)	اندازه الک	
				ASTM (in)	BS (mm)
۱۰۰	۰	۰	۰	۳/۸	۹
۷۸/۲۶	۲۱/۷۴	۲۱/۷۴	۳۵۸	#۴	۴/۷۵
۶۰/۹	۳۹/۱	۱۷/۳۶	۲۸۶	#۸	۲/۳۶
۴۱/۷۸	۵۸/۲۲	۱۹/۱۲	۳۱۵	#۱۶	۱/۱۸
۲۱/۷۴	۷۸/۲۶	۲۰/۰۴	۳۳۰	#۳۰	۰/۶
۱۰/۴۴	۸۹/۵۶	۱۱/۳	۱۸۶	#۵۰	۰/۳
۰	۱۰۰	۱۰/۴۴	۱۷۲	#۱۰۰	۰/۱۵

به منظور تعیین وزن نمونه ها از ترازوی با دقت ۰/۱ گرم استفاده شد. به منظور تعیین حجم نمونه ها نیز از دستگاه ارشمیدس استفاده گردید. برای تعیین وزن و حجم نمونه ها ابتدا نمونه های بتنی به مدت ۲۴ ساعت در محلول سولفات عمل آوری شد تا نمونه حالت اشباع داشته باشد. سپس وزن نمونه ها در حالت اشباع با سطح خشک با استفاده از ترازوی با دقت یک دهم گرم تعیین شد. در مرحله بعد با استفاده از دستگاه ارشمیدس حجم ظاهری نمونه ها تعیین گردید. مراحل فوق یک روز در میان خوانده و میزان تغییرات حجم و وزن نمونه ها یادداشت گردید. در جدول ۲ وزن، حجم، چگالی و جذب آب تمامی سنگدانه ها نشان داده شده است.

جدول ۲: چگالی و جذب آب سنگدانه ها

سنگ مادر	وزن اشباع با سطح خشک (gr)	وزن خشک (gr)	حجم اشباع با سطح خشک (cm <sup>3</sup> )	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	جذب آب (%)
گرانیت	۵۴۸/۲	۵۴۶	۲۰۸/۸	۲/۶۱۵	۰/۴۰۳
مرمریت	۶۲۱/۸	۶۱۵/۸	۲۳۶/۷	۲/۶۱۰	۰/۱۶۲
اندزیت	۵۸۸/۱	۵۸۶/۸	۲۱۹/۹	۲/۵۴۵	۱/۶۶۴
ریولیت	۴۰۳/۳	۳۹۰	۱۵۰/۴	۲/۵۹۳	۲/۳۶۰
توف سبز بلورین	۶۲۱/۴	۶۰۶	۲۴۲/۸	۲/۴۹۵	۲/۵۴۱
توف سبز سنگی	۴۶۷/۲	۴۴۱/۵	۱۹۸/۷	۲/۲۲	۵/۸۲۱
تراورتن	۶۸۷/۷	۶۷۷/۲	۲۶۷/۱	۲/۵۳۵	۱/۵۵۱
آهک	۶۲۰/۸	۶۱۵/۵	۲۳۴	۲/۶۳۰	۰/۸۶۱
بازالت	۶۱۲/۱	۶۰۸/۷	۲۲۸	۲/۶۲۰	۰/۵۵

## ۲-۲ روش های آزمایشگاهی

## ۱-۲-۲ آزمون "انتقال اصطکاک"

این روش شامل مغزه گیری با قطر ۵۰ میلی متر به صورت جزئی تا عمق ۲۵ میلی متر از سطح بتن و اعمال نیروی پیچشی توسط یک آچار پیچش سنج معمولی به صورت یکنواخت و تا مرز گسیخته شدن نیم مغزه می باشد. نحوه انجام آزمون انتقال اصطکاک در شکل ۲ قابل مشاهده می باشد.



ب) اعمال لنگر پیچشی با ترکمتر



الف) سفت نمودن دستگاه انتقال اصطکاک



ج) شکست مغزه

شکل ۲: آزمون انتقال اصطکاک

در این روش سطح شکست زیر سطح بتن است و در نتیجه نتایج آزمون نسبت به روش های تعیین سختی سطح یا روش هایی که به طور غیر مستقیم از روی خواص بتن مقاومت فشاری آن را تعیین می کنند از اعتبار بیشتری برخوردار است. به طوریکه دقت زیاد، ضریب تغییر کم و هزینه اندک، روش انتقال اصطکاک را نسبت به سایر روش های تعیین مقاومت در جای بتن ممتاز می سازد.

گستره کاربرد و مزایای آزمون انتقال اصطکاک در ادامه توضیح داده شده است.

- آزمون انتقال اصطکاک می تواند یک تخمین دقیق و قابل قبول از مقاومت درجای بتن و سنگ ارائه نماید این روش همچنین می تواند جهت اندازه گیری مقاومت چسبندگی سیستم های ترمیمی محافظتی و پوششی با حداقل ضخامت ۵ میلی متر با موفقیت انجام گیرد.

- آسیب های ناشی از این روش بسیار جزئی بوده و می تواند توسط ملات، بتن یا سیمان و به صورت دستی ترمیم گردد.

- دقت حاصل از روش انتقال اصطکاک از دیگر روش های نیمه مخرب بهتر است.

- آزمون انتقال اصطکاک می تواند به سادگی و با سرعت در مکان های خشک و مرطوب، سرد و گرم و یا موقعیت های زیر آب انجام پذیرد.

- این روش می تواند با موفقیت در کنترل کیفیت بتن درجا، ارزیابی زمان قالب برداری، ارزیابی ساختمان های موجود، فعالیت های تحقیقاتی بر روی مقاومت بتن درجا و بررسی نوع اجرا و چسبندگی سیستم های ترمیمی مورد استفاده در صنعت بتن، به کار گرفته شود.

## ۲-۲-۲ آزمون "مغزه گیری"

برای اندازه گیری مقاومت فشاری بتن و سنگ، مغزه ها به وسیله دستگاه مته الماسه گرفته می شود که به صورت استوانه ای می باشد. طبق استاندارد، مغزه ها باید کلاهدک گذاری گردیده [۲۷ و ۳۸] و در محیطی مرطوب تحت آزمایش فشاری قرار گیرند. و یا بنا بر استاندارد ACI318 [۳۹]، در حالت خشک آزمایش شوند. تحقیقات نشان می دهد که آزمایش در حالت خشک، مقادیر مقاومت را معمولا ۱۰ درصد بیشتر از حالتی که مغزه در حالت مرطوب آزمایش می شوند، بدست می دهد. برای تعیین مقاومت فشاری مغزه ها از جک فشاری هیدرولیکی با دقت ۰/۱ تن استفاده شد.

همچنین قالب های مورد استفاده برای اندازه گیری مقاومت فشاری بتن ها از نوع فلزی به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر می باشد. نمونه های بتنی در هر دو محلول آب شرب و سولفات سدیم در سنین ۷ و ۱۴ و ۲۸ روز تحت آزمایش تعیین مقاومت فشاری قرار گرفتند.

## ۲-۳- ساخت نمونه ها

با توجه به اینکه عوامل موثر در حمله سولفات و کسب مقاومت به صورت عمده عبارتند از نسبت آب به سیمان، دانه بندی و نوع سیمان لذا با هدف به حداقل رسانی تاثیر عوامل در نتایج آزمایشات سعی در انتخاب طرح اختلاطی بود که با ثابت بودن پارامترهای ذکر شده در بالا حدود مقرر شده در آزمایشات بتن خود متراکم را تامین کند. لذا با توجه به تاثیر کم مقدار فوق روان کننده روی حمله سولفات ها، مقدار فوق روان کننده بین نمونه های مختلف به عنوان متغیر اختیار شده است. نمونه های تهیه شده در دو مخزن شامل آب شرب و محلول سولفات سدیم به منظور عمل آوری قرار داده شدند. طرح های اختلاط مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: نسبت های مخلوط بتن های خودتراکم

نوع سنگ	سنگدانه Kg/m <sup>3</sup>	سیمان Kg/m <sup>3</sup>	نسبت خاکستر بادی به سیمان	نسبت فوق روان کننده به آب	آب Kg/m <sup>3</sup>	نسبت آب به سیمان	نسبت آب به پودر
ریولیت	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۳۵	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸
آذرین	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۴۲	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸
توف سبز بلورین	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۳۵	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸
توف سبز سنگی	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۳۵	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸
مرمریت	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۴۲	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸
گرانیت	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۳۹	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸
تراورتن	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۳۵	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸
آهک	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۳۵	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸
اندزیت	۱۶۴۷	۴۵۰	۰/۳۳	۰/۰۴۲	۲۳۹	۰/۵۳	۰/۳۹۸

در شکل ۳ انجام آزمایشات جریان اسلامپ، زمان جریان اسلامپ تا ۵۰ سانتی متر و آزمایش V Funnel قابل مشاهده است. نتایج آزمایشات روی بتن تازه در جدول ۳ نشان داده شده است. از آنجا که منظور از انجام این تحقیق، مقایسه بین بتن های ساخته شده با سنگ های مختلف می باشد، لذا سعی بر این است تا عوامل تاثیر گذار در مقاومت و تراکم بتن برای تمامی بتن ها ثابت نگه داشته شود. سنگدانه ها با توجه به شکل و بافت سطحی خود رفتار های مختلفی در آزمایش اسلامپ نشان می دهند. زمان آزمایش اسلامپ برای تمامی نمونه ها در زمان ۴۰ ثانیه پس از اتمام عمل اختلاط انجام پذیرفته است. در این مرحله مخروط اسلامپ بدون هرگونه لغزشی به صورت قائم برداشته شده و زمان با استفاده از کرنومتر اندازه گیری شده است. همچنین درجه دستگاه V Funnel بدون هرگونه لغزشی به صورت قائم برداشته شد.



ب) آزمایش جریان اسلامپ تا ۵۰ سانتی متر



الف) آزمایش جریان اسلامپ





شکل ۷: آزمایش قیف

شکل ۳: آزمایشات بتن تازه

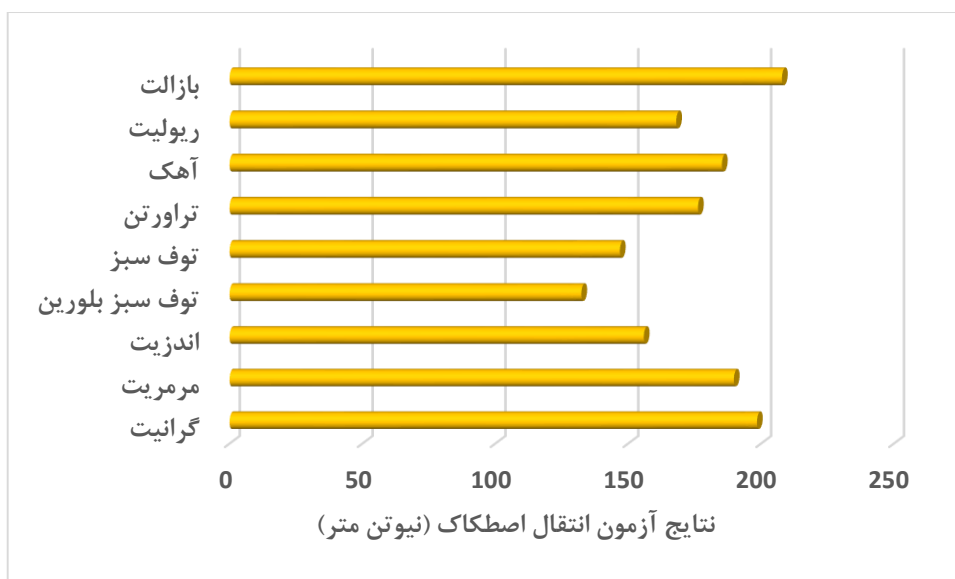
جدول ۳: نتایج آزمایش روی بتن تازه

نوع سنگ دانه بتن	جریان اسلامپ (mm)	زمان جریان اسلامپ تا قطر ۵۰ سانتیمتر (s)	زمان تخلیه بتن پس از ۱۰ ثانیه (s)	زمان تخلیه بتن پس از ۶۰۰ ثانیه (s)
بازالت	۵۹/۵	۵	۲۱/۵	۳۰/۴
گرانیت	۶۶	۴	۱۳/۴	۱۹/۱
مرمریت	۶۴/۵	۴/۲	۱۱/۵	۱۸/۹
تراورتن	۶۱/۷	۴/۵	۱۷/۱	۲۲/۵
اندزیت	۶۳/۵	۴/۳	۱۶/۳	۲۲/۶
توف سبز بلورین	۶۷	۴	۱۵/۶	۲۱/۵
توف سبز سنگی	۶۵	۴	۱۶/۳	۲۰/۲
آهک	۶۲	۴/۵	۱۵/۶	۱۹/۲
ریولیت	۶۱	۴/۸	۱۶	۲۲

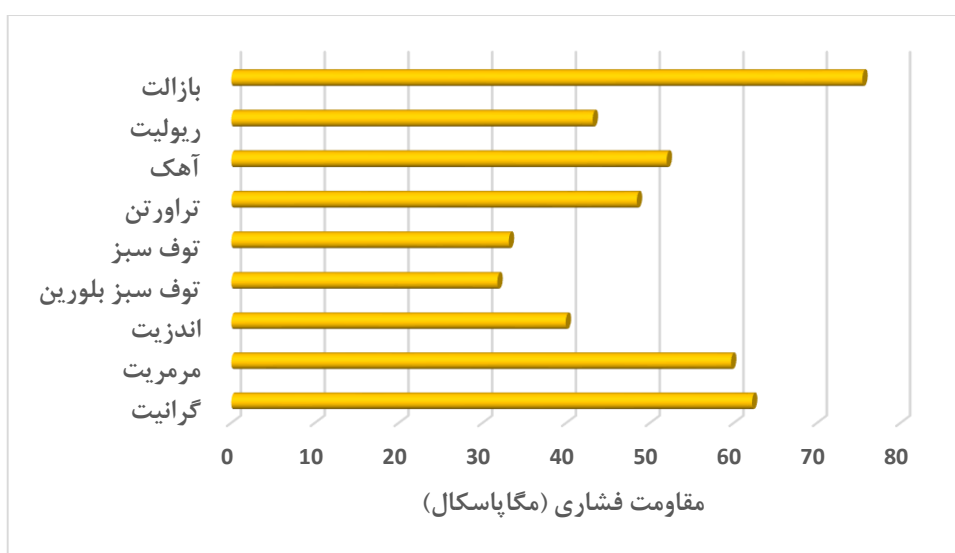
### ۳- نتایج و تحلیل آن‌ها

#### ۳-۱ مقاومت فشاری سنگ‌ها حاصل از آزمون انتقال اصطکاک و مغزه‌گیری

نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک روی سنگ‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در شکل ۵ نیز نتایج مقاومت فشاری مغزه‌های گرفته شده از سنگ‌های مختلف قابل مشاهده است.



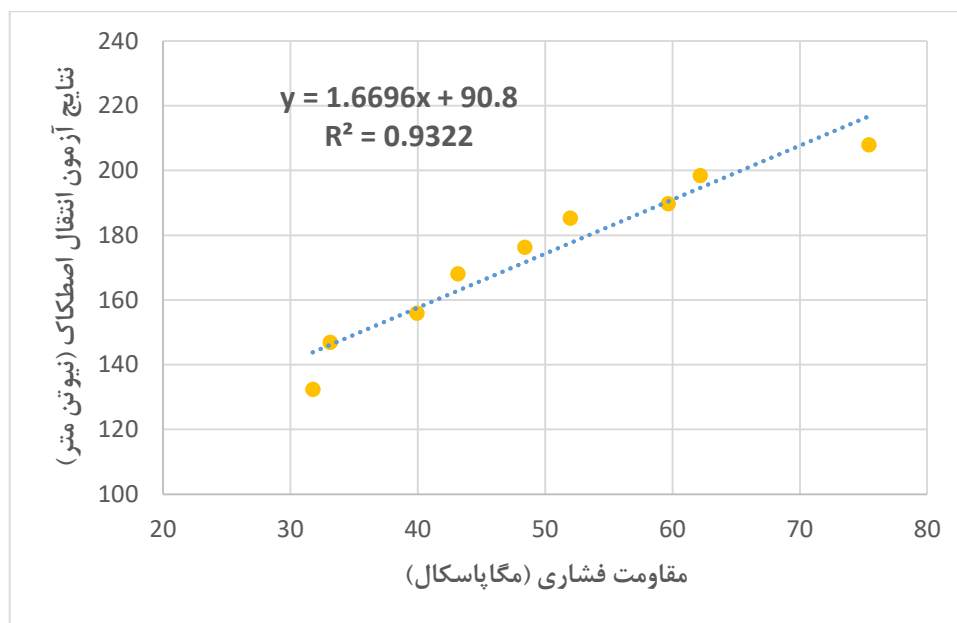
شکل ۴: مقاومت سنگ های مختلف حاصل از آزمون انتقال اصطکاک



شکل ۵: مقاومت فشاری مغزه ها

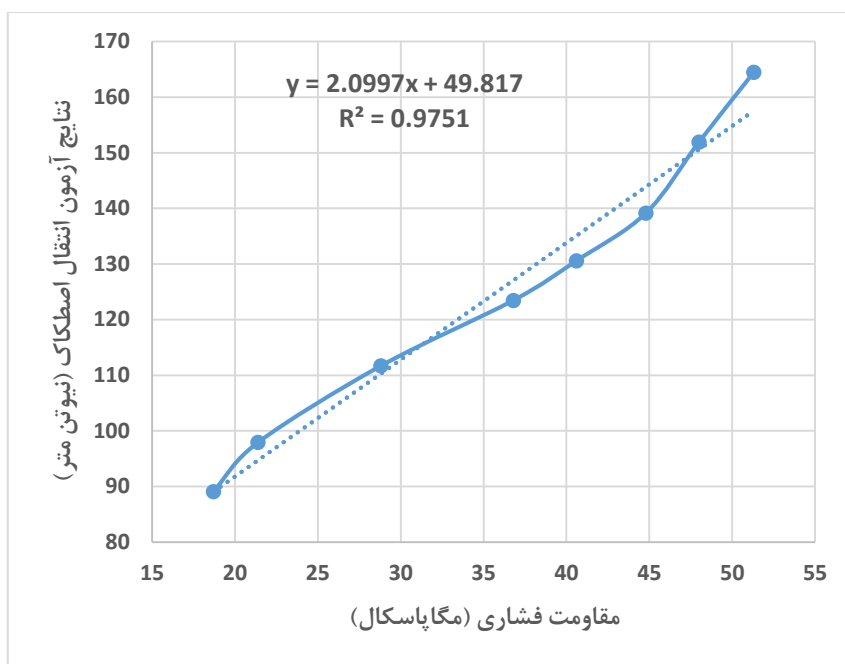
در شکل ۴ که مربوط به مقاومت سنگ های مختلف حاصل از آزمون انتقال اصطکاک می باشد مشاهده می شود که بیشترین مقاومت حاصل از آزمون انتقال اصطکاک، مربوط به سنگ بازالت و کمترین مقاومت برای سنگ توف به دست آمده است. نسبت مقاومت این دو سنگ برابر با  $1/57$  می باشد. مقاومت سنگ ها حاصل از آزمون انتقال اصطکاک به ترتیب از زیاد به کم برای سنگ های بازالت، گرانیت، مرمریت، آهک، تراورتن، ریولیت، اندزیت، توف سبز و توف سبز بلورین می باشد. همچنین از شکل ۵ مشاهده می شود که بیشترین مقاومت فشاری مربوط به سنگ بازالت و کمترین مقاومت فشاری برای سنگ توف به دست آمده است. نسبت مقاومت فشاری این دو سنگ برابر با  $2/37$  می باشد. مقاومت فشاری سنگ ها به ترتیب از زیاد به کم برای سنگ های بازالت، گرانیت، مرمریت، آهک، تراورتن، ریولیت، اندزیت، توف سبز و توف سبز بلورین به دست آمده است. در بخش های بعدی، ارتباط بین مقاومت سنگ ها با مقاومت فشاری بتن های خودمتراکم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

برای مقایسه نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک با آزمون مغزه گیری، مقاومت فشاری سنگ های مختلف با نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک در شکل ۶ نشان داده شده است. از شکل ۶ مشاهده می شود که یک رابطه خطی بین مقاومت فشاری حاصل از آزمون مغزه گیری با نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک وجود دارد که برابر است با  $y=1.67x+90.8$ . مطابق شکل ۶ ضریب تعیین برابر با ۹۳/۲ درصد می باشد. در نتیجه می توان با استفاده از آزمون انتقال اصطکاک به صورت درجا مقاومت فشاری انواع سنگ ها را مشخص نمود.



شکل ۶: رابطه نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک با آزمون مغزه گیری

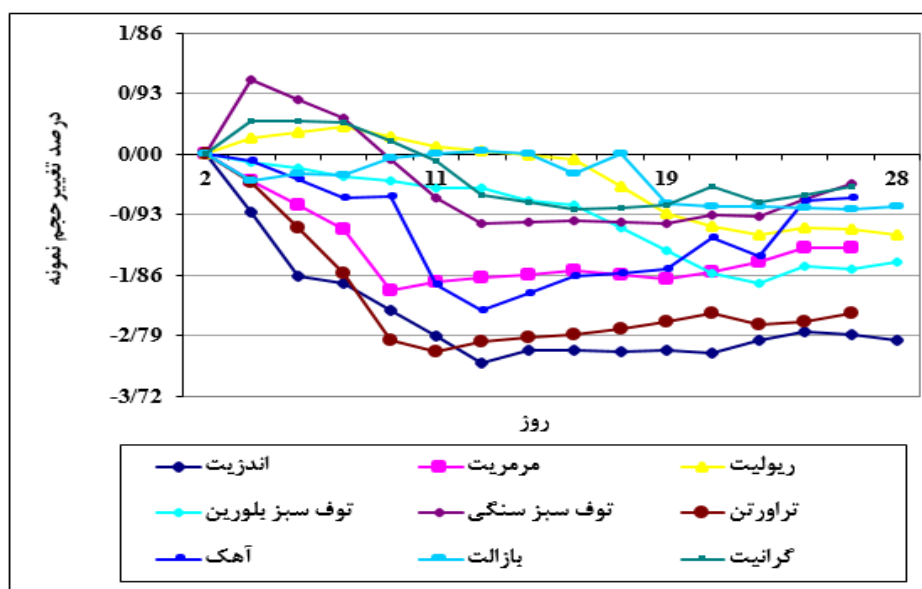
همچنین به جهت نشان دادن کاربرد آزمون انتقال اصطکاک برای اندازه گیری مقاومت فشاری مصالح، در این قسمت نتایج به دست آمده از مقایسه مقاومت فشاری بتن های با مقاومت ۱۵ تا ۵۰ مگاپاسکال با نتایج آزمون درجای انتقال اصطکاک ارائه شده است. برای انجام این آزمون نمونه های مکعبی با مقاومت های ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ مگاپاسکال ساخته شد و در زیر جک قرار گرفتند. سپس تعداد دیگری از نمونه ها هم زمان تحت آزمون انتقال اصطکاک قرار گرفتند. نتایج به دست آمده در شکل ۷ قابل مشاهده می باشد. از شکل ۷ مشاهده می شود که ضریب همبستگی بین مقاومت فشاری بتن های دارای مقاومت فشاری مختلف با نتایج آزمون انتقال اصطکاک برابر ۹۷ درصد می باشد. لذا می توان با به کارگیری آزمون انتقال اصطکاک، با دقت مناسبی، مقاومت فشاری بتن های معمولی با مقاومت های مختلف را مورد ارزیابی قرار داد. مزیت این روش این می باشد که در هر مکانی چه داخل خشکی و چه داخل آب، و در هر شرایط آب و هوایی و در هر زمان که لازم باشد قابل اعمال می باشد.



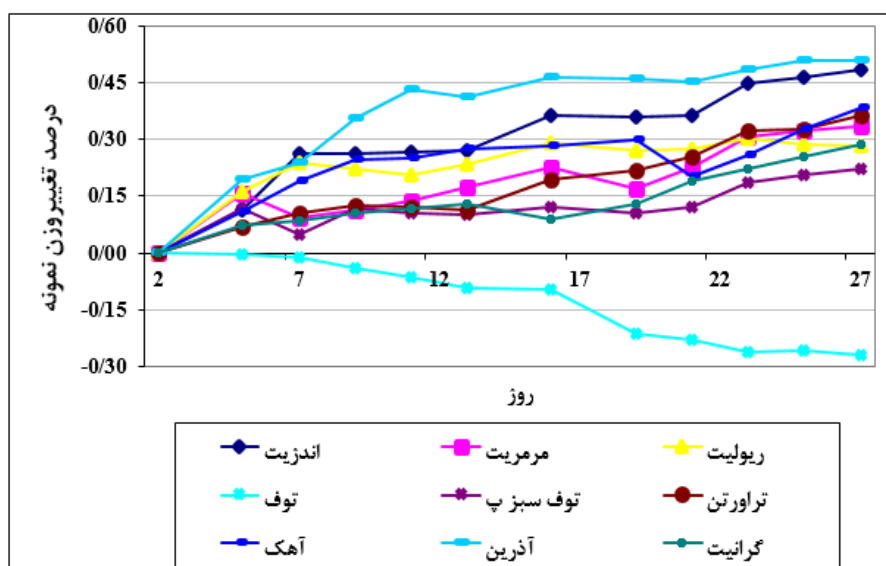
شکل ۷: رابطه نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک با مقاومت فشاری بتن های معمولی

### ۳-۲ تاثیر سولفات سدیم

در شکل های ۸ و ۹ به ترتیب نتایج حاصل از تغییر حجم و وزن نمونه های بتن خود متراکم ساخته شده از سنگ های مختلف در محلول سولفات سدیم نشان داده شده است. آزمایشات به صورت یک روز در میان انجام پذیرفت. سپس درصد تغییرات حجم و وزن نمونه ها نسبت به مقادیر اولیه محاسبه و در اشکال زیر ارائه گردیدند.



شکل ۸: درصد تغییر حجم نمونه ها



شکل ۹: درصد تغییر وزن نمونه ها

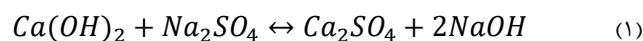
نتایج به دست آمده از تعیین مقدار تغییر در حجم و وزن نمونه ها نشان می دهد که سنگ های با درصد جذب آب بالاتر، تغییرات کمتری از نظر حجم نمونه مواجه هستند. یکی از دلایل این امر را می توان وجود حفرات زیاد در سنگ دانه ها در نظر گرفت که با تشکیل محصولات حاصل از کریستاله شدن سولفات این حفرات پر شده در نتیجه تغییرات حجمی با زمان پر شدن این قسمت از بتن، کم می باشد. در مقابل تغییرات وزن نمونه ها از نوعی پراکنندگی برخوردار است به طوری که سنگ های مانند توف سبز که دارای بیشترین درصد جذب آب هستند کمترین تغییر را در وزنشان دارا می باشند. همانطور که مشاهده می شود میزان تغییرات حجم نمونه ها با گذشت زمان افت پیدا نموده است و در سن ۱۴ روز تقریباً به صورت افقی شده است.

در جدول ۴ مقاومت فشاری بتن های خود متراکم ساخته شده از سنگ های مختلف در شرایط عمل آوری در محلول سولفات سدیم و آب قابل مشاهده است. همچنین به دلیل درک بهتر مقایسه های انجام گرفته، مقادیر مذکور بصورت گراف نیز در شکل های ۱۰ و ۱۱ ارائه گردیده است. با توجه به جدول ۴ مشاهده می شود که بتن عمل آوری شده در محلول سولفات در برخی نمونه ها در سنین اولیه نه تنها کاهش مقاومت از خود نشان نداده است بلکه مقداری افزایش در مقاومت فشاری نیز مشاهده شده است. البته این افزایش با گذشت زمان کاهش یافته است. یک دلیل این امر را می توان رسوب محلول سولفات و یا کریستاله شدن سولفات سدیم در نمونه دانست که در سنین کم باعث پر شدن منافذ و در نتیجه تولید جسمی متراکم تر می گردد.

بیشترین تاثیر سولفات روی بتن های خود متراکم ساخته شده از سنگ نوع بازالت می باشد به گونه ای که مقاومت فشاری ۷ روزه بتن خود متراکم عمل آوری شده در آب برابر ۲۶/۴ مگاپاسکال می باشد در صورتیکه مقاومت فشاری همین بتن در سولفات سدیم برابر ۱۹/۵ مگاپاسکال می باشد که باعث کاهش حدود ۲۶ درصدی در مقاومت فشاری شده است. همچنین بتن خود متراکم ساخته شده با سنگ توف سبز نیز در همه سنین بر اثر تاثیر سولفات سدیم دچار کاهش مقاومت فشاری شده است. به گونه ای که مقاومت فشاری بتن خود متراکم ساخته شده با سنگ توف سبز در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب برابر ۲۳/۹، ۳۶/۷ و ۴۱/۱ مگاپاسکال می باشد در صورتیکه مقاومت فشاری همین بتن در معرض سولفات در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب برابر است با ۲۲/۸، ۳۴/۹ و ۳۷/۶ مگاپاسکال. به عبارتی سولفات سدیم باعث کاهش مقاومت فشاری بتن های خود متراکم ساخته شده با سنگ توف سبز در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب به مقدار ۴/۷، ۴/۱ و ۸/۶ درصد گردیده است.

در تحقیق دیگری علت تاثیر زیاد سولفات روی بتن ساخته شده با سنگ های توف، به دلیل نفوذپذیری بالای بتن های ساخته شده با این نوع سنگ می باشد [۴۰] که باعث نفوذ سولفات به داخل بتن و دچار واکنش های مضر می گردد. البته قابل ذکر می باشد که برای

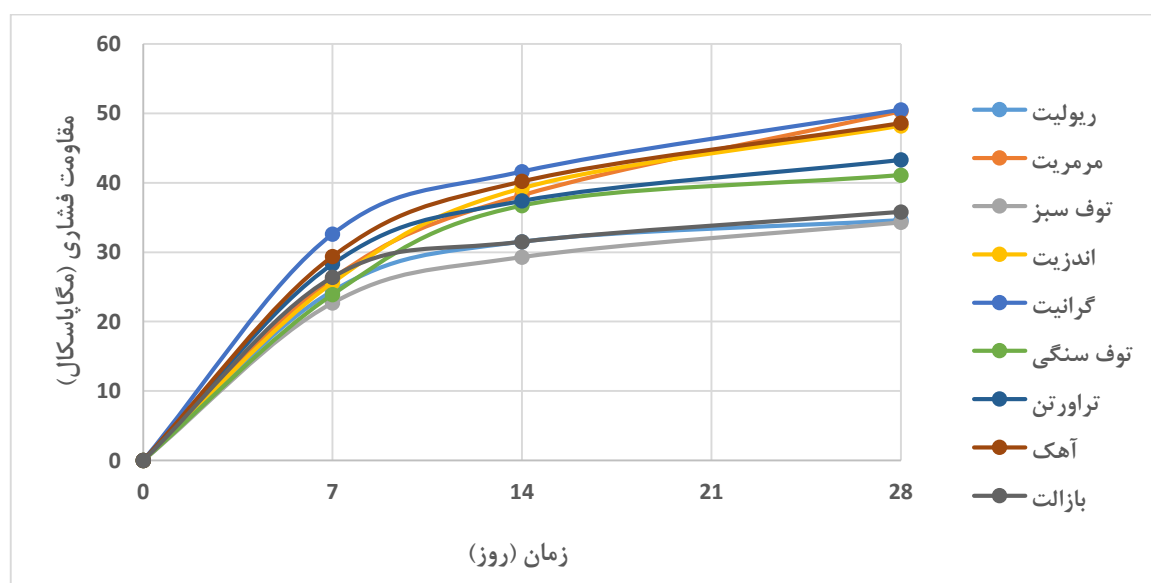
دستیابی به نتایج دقیق تر می بایست از تصویربرداری الکترونی استفاده گردد. محصول این واکنش سولفات کلسیم خواهد بود. دو جزء خمیر سیمان یعنی آلومینات کلسیم هیدراته شده و هیدروکسید کلسیم، با یون های سولفات محلول واکنش می دهند. محصولات جامد واکنش حجم بزرگتری در مقایسه با ترکیبات اولیه دارند به طوری که شکستگی در خمیر سیمان روی می دهد. واکنش سولفات سدیم با هیدروکسید کلسیم در معادله ۱ قابل مشاهده است.



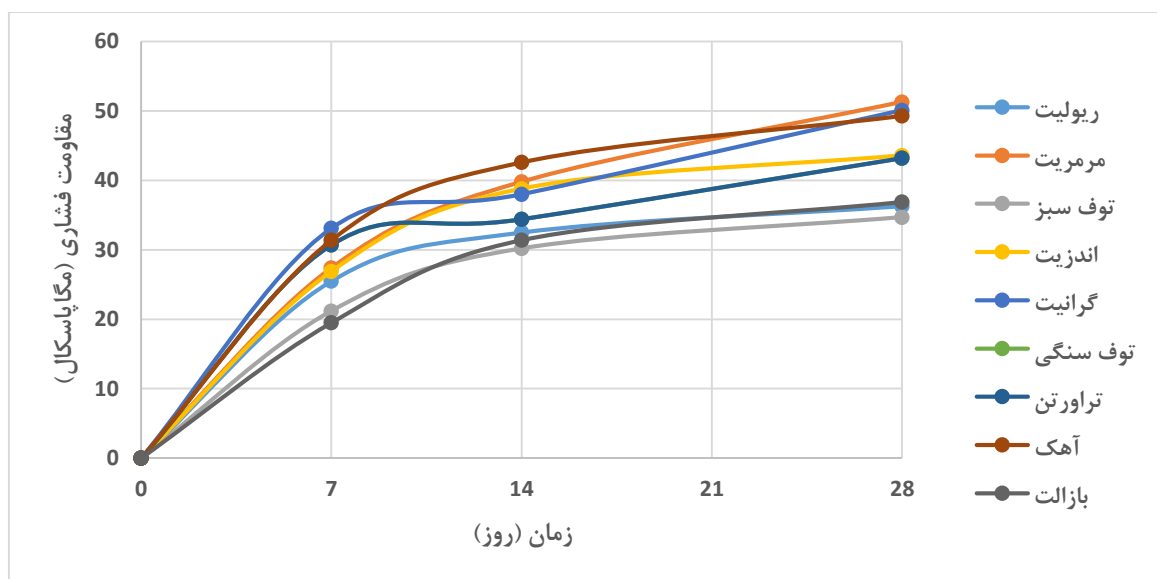
واکنش از سمت چپ تا راست تا زمانی ادامه می یابد که غلظت هیدروکسید سدیم به حدی برسد که واکنش متوقف شود. در صورت تشکیل NaOH بیشتر، واکنش از راست به چپ انجام می پذیرد که به صورت شوره زدن روی بتن دیده می شود.

جدول ۴: مقاومت فشاری بتن های خود متراکم ساخته شده از سنگ های مختلف

نوع سنگ	بتن عمل آوری شده در سولفات (مگاپاسکال)			بتن عمل آوری شده در آب (مگاپاسکال)		
	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
ریولیت	۲۵/۵	۳۲/۵	۳۶/۳	۲۴/۴	۳۱/۵	۳۴/۶
مرمریت	۲۷/۴	۳۹/۸	۵۱/۳	۲۶/۲	۳۸/۲	۵۰/۳
توف سبز بلورین	۲۱/۲	۳۰/۲	۳۴/۷	۲۲/۷	۲۹/۳	۳۴/۳
اندزیت	۲۶/۹	۳۸/۸	۴۳/۶	۲۵/۶	۳۹/۲	۴۸/۲
گرانیت	۳۳/۱	۳۸	۵۰/۱	۳۲/۶	۴۱/۶	۵۰/۵
توف سبز سنگی	۲۲/۸	۳۴/۹	۳۷/۶	۲۳/۹	۳۶/۷	۴۱/۱
تراورتن	۳۰/۷	۳۴/۴	۴۳/۲	۲۸/۳	۳۷/۴	۴۳/۳
آهک	۳۱/۴	۴۲/۶	۴۹/۳	۲۹/۴	۴۰/۲	۴۸/۶
بازالت	۱۹/۵	۳۱/۴	۳۶/۹	۲۶/۴	۳۱/۵	۳۵/۸

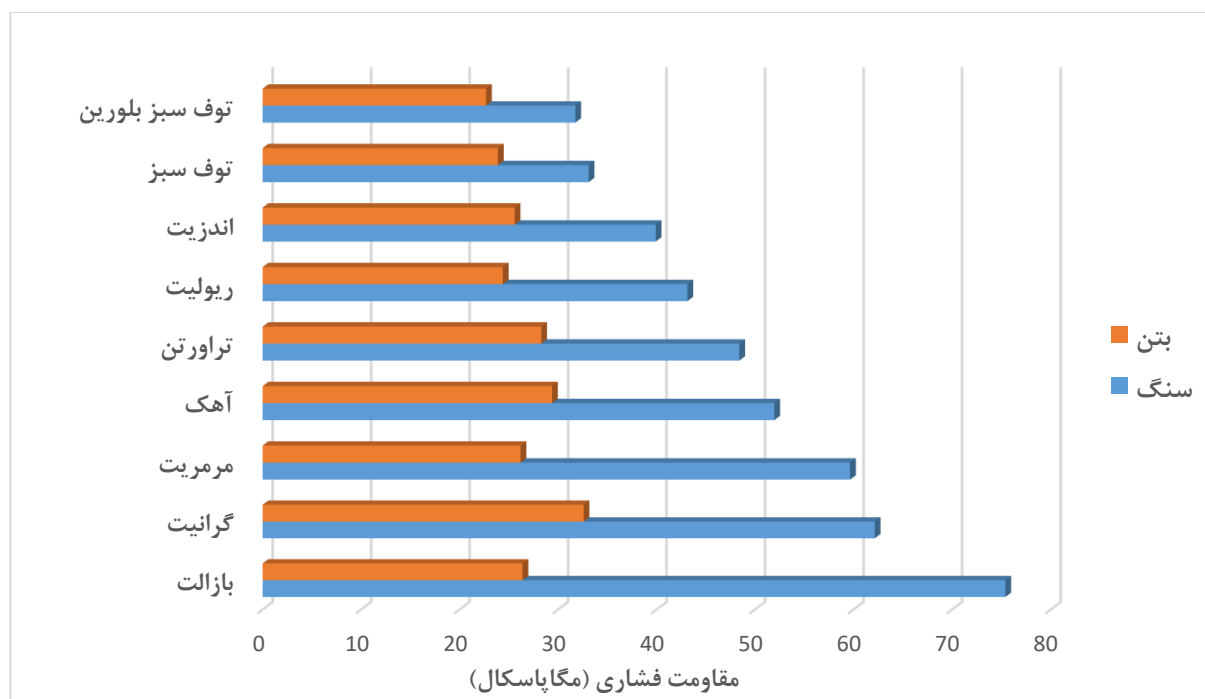


شکل ۱۰: مقاومت فشاری نمونه های عمل آوری شده در آب



شکل ۱۱: مقاومت فشاری نمونه های عمل آوری شده در سولفات

در شکل ۱۲ مقاومت فشاری سنگ های مختلف و بتن های خود متراکم ساخته شده با این سنگ ها نشان داده شده است. از شکل ۱۲ مشاهده می شود که در اکثر موارد، رابطه مستقیم بین مقاومت فشاری سنگ با مقاومت فشاری بتن خود متراکم ساخته شده با همان سنگ وجود دارد. به عبارتی با افزایش در میزان مقاومت سنگدانه، مقاومت بتن نیز افزایش می یابد اما میزان این افزایش زیاد نمی باشد. البته مشاهده می شود که سنگ بازالت دارای بالاترین مقاومت فشاری می باشد اما بتن خود متراکم ساخته شده با این سنگ، دارای مقاومت فشاری کمتری نسبت به بقیه نمونه ها است. سنگ بازالت با توجه به ماهیت ورقه ای بودن در هنگام شکستن دارای مقاومت بتن پایین بوده و لذا مناسب امر بتن سازی نمی باشد.



شکل ۱۲: مقایسه مقاومت فشاری سنگ های مختلف و بتن های ساخته شده با آن سنگ ها

## ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از آزمون های انتقال اصطکاک و مغزه گیری، تاثیر مقاومت و نوع سنگدانه های مختلف بر دوام بتن خود متراکم در مقابل سولفات سدیم ارائه شده است. برای ساخت بتن ها از سنگ های گرانیت، مرمریت، اندزیت، ریولیت، تراورتن، آهک، توف سبز، توف سبز بلورین و بازالت استفاده گردید. همچنین نتایج مقاومت فشاری بتن های دارای مقاومت مختلف با نتایج آزمون انتقال اصطکاک مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصله نتیجه گیری می شود که:

- یک رابطه خطی قوی با ضریب تعیین  $95/2$  میان مقاومت فشاری حاصل از آزمون مغزه گیری با نتایج به دست آمده از آزمون انتقال اصطکاک وجود دارد. لذا می توان با به کارگیری آزمون انتقال اصطکاک، مقاومت فشاری سنگ ها را با استفاده از معادله  $y=1.67x+90.8$  محاسبه نمود.

- رابطه مستقیم بین مقاومت فشاری بتن های خود متراکم با مقاومت فشاری سنگ های به کار رفته در داخل بتن وجود دارد به گونه ای که با افزایش مقاومت فشاری سنگ ها، مقاومت فشاری بتن نیز افزایش داشته است. کمترین و بیشترین مقاومت فشاری به ترتیب مربوط به بتن های خود متراکم حاوی سنگ دانه های توف سبز بلورین و گرانیت می باشد.

- با بررسی مقدار تغییر در وزن و حجم نمونه های بتن خود متراکم قرار گرفته در معرض سولفات سدیم، مشاهده می شود که سنگ های با درصد جذب آب بالاتر، با تغییرات کمتری از نظر حجم نمونه مواجه هستند.

- مقاومت فشاری سنگ های صخره از مقاومت فشاری بتن های خود متراکم ساخته شده با سنگدانه های همان سنگ ها بیشتر است. این رفتار می تواند به دلیل وجود دو فاز دیگر، یعنی خمیر سیمان و ناحیه مرزی ضعیف بین خمیر سیمان و سنگدانه ها باشد که مقاومتی کمتر نسبت به سنگ صخره دارند.

- بیشترین تاثیر سولفات سدیم روی بتن ساخته شده از سنگ بازالت می باشد به گونه ای که مقاومت فشاری ۷ روزه بتن عمل آوری شده در سولفات سدیم باعث کاهش ۲۶ درصدی شده است.

- بتن های خود متراکم عمل آوری شده در محلول سولفات سدیم در برخی نمونه ها در سنین اولیه نه تنها کاهش مقاومت از خود نشان نداده بلکه مقداری افزایش در مقاومت مشاهده شده است. یک دلیل این امر را می توان رسوب محلول سولفات و یا کریستاله شدن سولفات سدیم در نمونه ها دانست که در سنین کم باعث پر شدن منافذ و تولید جسمی متراکم تر می گردد.

- یک رابطه خطی قوی با ضریب تعیین  $97$  درصد میان مقاومت فشاری حاصل از بتن های دارای مقاومت مختلف با نتایج آزمون انتقال اصطکاک وجود دارد. لذا می توان با به کارگیری آزمون انتقال اصطکاک، مقاومت فشاری بتن های معمولی را با استفاده از معادله  $y=2.099+49.82$  محاسبه نمود.

## مراجع

- [1] S.A. Zareei, F. Ameri, F. Dorostkar, M. Ahmadi, Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: evaluating durability and mechanical properties, *Case stud. Construct. Mater.* 7 (2017) 73–81.
- [2] V. Afroughsabet, T. Ozbakkaloglu, Mechanical and durability properties of highstrength concrete containing steel and polypropylene fibers, *Construct. Build. Mater.* 94 (2015) 73–82.
- [3] A. Mardani-Aghabaglou, M. Tuyan, K. Ramyar, Mechanical and durability performance of concrete incorporating fine recycled concrete and glass aggregates, *Mater. Struct.* 48 (8) (2015) 2629–2640.
- [4] T. Akçaoğlu, M. Tokyay, T. Çelik, Effect of coarse aggregate size and matrix quality on ITZ and failure behavior of concrete under uniaxial compression, *Cement Concr. Compos.* 26 (6) (2004) 633–638.
- [5] J. Zhang, L. Wang, M. Sun, Q. Liu, Effect of coarse/fine aggregate ratio and cement matrix strength on fracture parameters of concrete, *Eng. Mech.* 21 (1) (2004) 136–142.



- [6] J. Xu, F. Li, A meso-scale model for analyzing the chloride diffusion of concrete subjected to external stress, *Construct. Build. Mater.* 130 (2017) 11–21.
- [7] F. Yu, D. Sun, J. Wang, M. Hu, Influence of aggregate size on compressive strength of pervious concrete, *Construct. Build. Mater.* 209 (2019) 463–475.
- [8] P.K. Sindhu, D. Rajagopal, Experimental investigation on maximum strength of pervious concrete using different size of aggregates, *Int. J. Innov. Sci. Eng. Technol.* 2 (10) (2015) 706–708.
- [9] A. Fabien, M. Choinska, S. Bonnet, A. Pertu'e, A. Khelidj, Experimental study of aggregate size effects on mechanical behaviour and permeability of concrete, in: *Proc. 2nd Int. Conf. On Microstructure-Related Durability of Cementitious Composites*. Amsterdam, 2012, pp. 412–420.
- [10] M. Abdullahi, Effect of aggregate type on compressive strength of concrete, *Int. J. Civ. Struct. Eng.* 2 (3) (2012) 791–800.
- [11] T.Y. Tsado, A comparative analysis of concrete strength using igneous, sedimentary and metamorphic rocks (crushed granite, limestone stone and marble stone) as coarse aggregate, *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2 (9) (2013) 774–785.
- [12] K.R. Wu, B. Chen, W. Yao, D. Zhang, Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete, *Cement Concr. Res.* 31 (10) (2001) 1421–1425.
- [13] G.G. Liu, J. Ming, X.W. Zhang, A.B. Ma, Study on the durability of concrete with mineral admixtures to sulfate attack by wet-dry cycle method, *Adv. Mater. Res.* 295–297 (2011) 165–169.
- [14] J. Zelic, I. Radovanovic, D. Jozic, The effect of silica fume additions on the durability of Portland cement mortars exposed to magnesium sulfate attack, *Mater. Technol.* 41 (2) (2007) 91–94.
- [15] F.M. Kilinckale. The effect of MgSO<sub>4</sub> and HCl solutions on the strength and durability of pozzolan cement mortars, *Cem. Concr. Res.* (1997) 27 (12) 1911–1918.
- [16] N. Ghafoori, M. Najimi, H. Diawara, M.S. slam, Effects of class F fly ash on sulfate resistance of Type V Portland cement concrete under continuous and interrupted sulfate exposures, *Constr. Build. Mater.* 78 (2015) 85–91.
- [17] G.G. Liu, J. Ming, X.W. Zhang, A.B. Ma, Study on the durability of concrete with mineral admixtures to sulfate attack by wet-dry cycle method, *Adv. Mater. Res.* 295–297 (2011) 165–169.
- [18] P.K. Acharya, S.K. Patro, Acid resistance, sulphate resistance and strength properties of concrete containing ferrochrome ash (FA) and lime, *Constr. Build. Mater.* 120 (2016) 241–250.
- [19] L. Jiang, D. Niu, Study of deterioration of concrete exposed to different types of sulfate solutions under drying-wetting cycles, *Constr. Build. Mater.* 117 (2016) 88–98.
- [20] Q. Nie, C. Zhou, X. Shu, Q. He, B. Huang, Chemical, mechanical, and durability properties of concrete with local mineral admixtures under sulfate environment in Northwest China, *Materials* 7 (5) (2014) 3772–3785.
- [21] Magnesium Sulfate (MgSO<sub>4</sub>) Attack and Chloride Isothermal Effects on the Self-consolidating Concrete Containing Metakaolin and Zeolite. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. Kianoosh Samimi1 • Ali Akbar Shirzadi Javid2. 2020. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00398-6>.
- [22] Effect of sea water and MgSO<sub>4</sub> solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash/silica fume. Ahmet Benli b,†, Mehmet Karatas a, Elif Gurses a. *Construction and Building Materials* 146 (2017) 464–474.
- [23] Maes M, Mittermayr F, De Belie N (2017) The influence of sodium and magnesium sulfate on the penetration of chlorides in mortar. *Mater Struct* 50(2):153.
- [24] Neville A (2004) The confused world of sulfate attack on concrete. *Cem Concr Res* 34(8):1275–1296.
- [25] Santhanam M (2001) Studies on sulfate attack – mechanisms, test methods and modeling. PhD Dissertation Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- [26] M., Naderi, “Friction-Transfer Test for the Assessment of in-situ Strength & Adhesion of Cementitious Materials”, *Construction & Building Materials*, 19 (6) (2005) 454-459.
- [27] ASTM C42 / C42M-20, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [28] Saberi Varzaneh, A., and Naderi, M. (2021) Numerical and experimental study of in-situ methods to evaluate the mechanical properties of fiber-reinforced mortars. *AUT Journal of Civil Engineering*. Published Online.
- [29] Saberi Varzaneh, A., and Naderi, M. (2021) Study of bond strength between polymer-modified mortars/concrete and their mechanical properties using “friction-transfer” and “pull-off” methods. *Mechanics of Advanced Composite Structures*. Published Online.
- [30] Saberi Varzaneh, A., and Naderi, M. (2020) DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF REPAIR MORTARS USING IN SITU METHODS UNDER DIFFERENT CURINGS. *EUREKA: Physics and Engineering*. Vol 3, No2.
- [31] Saberi Varzaneh, A., and Naderi, M. (2020) In situ evaluation of the mechanical properties of pozzolanic concrete containing fibers. *Journal of Critical Reviews*. Vol 7, Issue 4.

- [32] Saberi Varzaneh, A., and Naderi, M. (2020) Experimental and Finite Element Study to Determine the Mechanical Properties and Bond Between Repair Mortars and Concrete Substrates. Journal of applied and computational mechanics. Published Online.