نشریه علمی -پژوهشی مهندسی سازه و ساخت،دوره ۵، شماره ۴، سال ۱۳۹۷،صفحه ۱۵۱ تا ۱۶۱

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی – پژوهشی)

www.jsce.ir

تأثیر مقاومت و جذب آب صخره بر مقاومت فشاری بتن

محمود نادری*[۱]، رضوان ولی بیگی[۲]

۱- استاد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ایران

۲- مدیر گروه عمران، آموزشکده فنی لوشان (پردیس وزارت راه و شهرسازی)، لوشان، ایران

چکیده

ازآنجاکه سنگدانه‌ها در مقایسه با دیگر عوامل تشکیل‌دهنده بتن، بیشترین حجم آن را به خود اختصاص می‌دهند، مشخصه‌های سنگدانه مخصوصاً مقاومت و جذب آب آنها می‌تواند تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر مقاومت نهایی بتن داشته باشد. به همین منظور، بررسی مقاومت صخره‌ای که از سنگدانه‌های آن در بتن استفاده‌شده است می‌تواند در درک بهتر رفتار بتن مؤثر باشد. در این راستا، تحقیقاتی برای مطالعه تأثیر مقاومت صخره بر مقاومت بتن ساخته‌شده از سنگدانه‌های همان صخره انجام و نتایج مربوطه در این مقاله ارائه گردیده است. این نتایج که از بکار گیری آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره (UCS) و استفاده از هشت نوع سنگ صخره به دست آمدند، نشان داد که مقاومت صخره‌ها با مقدار رطوبت آنها مرتبط بوده و با افزایش رطوبت از حالت خشک به اشباع، مقاومت صخره‌ها بین ۲۵ تا ۶۴ درصد کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده گردید که افزایش مقاومت صخره، تا ۱۰ برابر، مقاومت بتن حاصله را تا ۴۶ درصد افزایش می‌دهد. ضریب همبستگی(R2) مربوط به روابط بین مقاومت‌های صخره سنگ‌های مورد بررسی قرار گرفته و بتن‌های حاصل از سنگدانه‌های همان صخره‌ها بین ۰/۴۲ و ۰/۶۸۶ قرار داشت که بیشترین ضریب همبستگی بین مقاومت صخره سنگ‌های اشباع و مقاومت بتن‌های حاصل از سنگدانه‌های همان صخره‌ها مشاهده گردید.

کلمات کلیدی : صخره، سنگدانه، جذب آب، بتن، مقاومت فشاری تک‌محوره.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2017.83494.1154
۱۳۹۶/۰۲/۰۹	۱۳۹۶/۰۸/۱۴	۱۳۹۶/۰۸/۱۹	۱۳۹۶/۰۸/۱۹	۱۳۹۷/۱۰/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2017.83494.1154

*نویسنده مسئول: محمود نادری

پست الکترونیکی: naderi-m@ikiu.ac.ir

# of parent rock strength and water absorption on concrete compressive strength Effect

Mahmood Naderi[1*],Rezvan Valibeigi [2]

1- Prof., Dept. of Civil Engineering, Engineering Faculty, International Imam Khomeini University, Iran
2- Head of Civil Dept., Technical College (Ministry of Road and Urban Development Campus), Lowshan, Iran

ABSTRACT

Since the volume of aggregates in concrete is the highest among the constituent materials, their strength and water absorption can have decisive impact on the concrete ultimate strength. Therefore, it is anticipated that studying the strength of the parent rock can lead to a better understanding of the behavior of concrete. With this in mind, a project was undertaken to investigate the effect of the parent rock strength on the strength of the concrete made with the aggregates of the same rock and the results are presented in this paper. This investigation involved eight different types of rocks which were uniaxially tested to estimate their compressive strengths. The amount of water absorbed by rock samples were determined in a standard manner. The results show that the strength of the parent rocks used in this study were dependant on their moisture content because it was realized that the strength of the rocks decreases, between 25 to 64 percent, with increase in their moisture content from dry to saturate state. It was also seen that an increase of about 10 times in the strength of the parent rock, tends to increase the related concrete strength by about 46 percent. The correlation coefficient (R2) of the relationship between the resistance of rocks was evaluated and concretes made of aggregates of the cliffs was between 0.42 and 0.686. The highest correlation coefficient between the resistance of saturated rock and concrete the resulted from aggregates in the same rocks were observed..

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Received: 29/04/2017
Revised: 01/07/2017
Accepted: 07/08/2017

Keywords:
Concrete,
compressive strength,
Water absorption,
Parent rock,
Aggregate ,

doi: 10.22065/jsce.2017.83494.1154

*Corresponding author: Mahmood Naderi
Email address: naderi-m@ikiu.ac.ir

۱- مقدمه

سنگدانه‌ها حدود سه چهارم حجم بتن را تشکیل می‌دهند، به همین دلیل مطالعه تأثیر انواع سنگدانه و خواص آنها بر ویژگی‌های بتن ساخته شده از آن از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. منبع تشکیل سنگدانه‌ها صخره مادر می‌باشد که یا بوسیله عوامل طبیعی، جوی و سایش و یا بصورت مصنوعی بوسیله دستگاه‌های سنگ‌شکن خرد و شکسته شده و سپس با عبور از الک‌های مختلف، دانه‌بندی و جداسازی گردیده‌اند. بنابراین بسیاری از خواص سنگدانه‌ها، بستگی کاملی به خواص سنگ و صخره اصلی آنها دارد. برای مثال می‌توان ترکیبات شیمیایی، توصیفات سنگ‌شناسی، وزن مخصوص، سختی و مقاومت، ثبات فیزیکی، شیمیایی، بافت منافذ، رنگ و غیره را برای آنها نام برد. اما پاره‌ای از خواص سنگدانه‌ها مانند شکل ذرات و اندازه آنها، بافت سطحی و جذب آب آنها نیز در سنگ اصلی وجود ندارد که این خواص بر کیفیت بتن سخت شده تأثیرات قابل ملاحظه‌ای خواهند داشت. پس به دلایل اشاره شده تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی توده سنگ (سنگ مادر) بسیار ضروری و مهم می‌باشد [۱].

تقریباً تمامی ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های آهک دارای مقاومت خردشدگی کمتر از ۱۰۰ مگا پاسکال می‌باشند و بنابراین برای استفاده در بتُن با مقاومت زیاد نامناسب‌اند. لازم به توضیح است که، ماسه‌سنگ متداول‌ترین سنگ کربناتی است. این سنگ محدوده‌ای از ماسه‌سنگ خالص، شامل کلسیت معدنی تا دولومیت خالص، حاوی دولومیت معدنی، را در برمی‌گیرد. معمولاً ماسه‌سنگ هم دارای کانی‌های کربناتی در نسبت‌های مختلف و هم دارای مقادیر زیادی ناخالصی‌های غیر کربناتی، مانند رس و ماسه است. همچنین ماسه‌سنگ و کوارتزیت شامل دانه‌های سنگی در محدودهٔ اندازهٔ ماسه می‌باشند؛ چنانچه دور دانه‌های ماسه، سنگ شکسته باشد، سنگ مزبور ماسه‌سنگ خوانده می‌شود؛ و چنانچه دانه‌ها اکثراً کوارتز باشد و بین دانه‌ها، سنگ شکسته باشد، سنگ مزبور کوارتزیت خوانده می‌شود [۱].

بعضی از محققین سعی نموده‌اند تا با توجه به تأثیر مقاومت سنگدانه در مقاومت بتن حاصله، مقاومت مورد نیاز سنگدانه را برای رسیدن به مقاومتی خاص از بتن را بصورت تئوری پیش‌بینی نمایند [۲]. همچنین با ساخت بتن با مقاومت بالا، تأثیر نوع سنگدانه بر مقاومت بتن حاصل از آن‌ها را بررسی نموده و نشان داده‌اند که مقاومت بدست آمده از دیاباز و سنگ آهک، بتن‌های با مقاومت بیشتری نسبت به سنگدانه‌های گرانیتی و رودخانه‌ای تولید می‌نمایند [۳]. از تولید بتن با چند نوع سنگدانه شکسته بدست آمده از سنگ‌آهک کوارتزی، سنگ‌آهک دولومیتی و سنگ‌آهک کلسیمی، مشخص گردیده است که بیشترین مقاومت فشاری مربوط به سنگ‌آهک کوارتزی و کمترین آن مربوط به سنگ‌آهک کلسیمی می‌باشد. همچنین عنوان‌شده است که مقاومت بتن با نسبت آب به سیمان پایین و مقدار سیمان بالا، بستگی به کیفیت سنگدانه‌ها داشته و شکست در بتن با مقاومت بالا اغلب در سنگدانه‌ها اتفاق می‌افتد. همچنین بیان‌شده است که سنگدانه‌های ضعیف‌تر بیشترین تأثیرشان در مدول ارتجاعی بتن است تا مقاومت فشاری آنها [۴].

بعضی‌ها با بکار بردن انواع مختلف مصالح سنگی مانند شن سیلیسی، دیاباز، سنگ‌آهک و گرانیت و استفاده از یک طرح اختلاط ثابت به این نتیجه رسیده‌اند که بتن حاوی مصالح سنگی با مقاومت بیشتر مانند گرانیت، دارای بالاترین مقاومت فشاری بوده درحالی‌که بتن ساخته‌شده از مصالح سنگی آهکی بیشترین مدول ارتجاعی را دارا می‌باشد [۳].

در تحقیقی دیگر بامطالعه روی بتن‌های با مقاومت بالا با سنگدانه‌های مختلف به این نتیجه رسیده‌اند که با استفاده از دانه‌بندی گسترده و کاهش ابعاد سنگدانه‌ها، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد [۵]. محققین دیگری نیز بامطالعه بر روی بتن‌های ساخته‌شده با استفاده از سنگدانه‌های بازالت، گرانیت و آهک به نتایج مشابهی رسیده‌اند [۶].

با تحقیق بر روی تأثیر نوع سنگدانه بر روی خواص مکانیکی بتن با مقاومت بالا و استفاده از سنگدانه‌های شکسته آهک، دیاباز، گرانیت و شن رودخانه‌ای نشان داده‌اند که سنگدانه‌های شکسته نسبت به شن رودخانه‌ای با سطح صاف، مقاومت ماتریس بالاتری از خود نشان می‌دهند. باوجود مقاومت بیشتر سنگ گرانیت نسبت به بقیه سنگ‌ها، مقاومت فشاری بتن ساخته‌شده با سنگدانه‌های آهکی، بیشترین مقدار می‌باشد و علت آن را وجود ریزترک‌ها در سنگ گرانیت هنگام شکستن با دستگاه سنگ‌شکن عنوان کرده‌اند [۷].

گفته می‌شود که نقش سنگدانه‌ها در مقاومت بتُن پر مقاومت بیشتر از بتُن معمولی و سبک است [۸]. مشاهده‌شده است که معمولاً مقاومت خَمِشیِ بتُن کمتر از مقاومت خمشی ملات متناظر است ولی از طرف دیگر، مقاومت فشاری بتُن بیشتر از مقاومت فشاری ملات است. این امر نمایانگر آن است که قفل و بست مکانیکی سنگدانه‌ها به مقاومت فشاریِ بتُن کمک می‌کند. از طرف دیگر یک سطح ناصاف‌تر ـ مانند آنچه در دانه‌های شکسته وجود دارد ـ در صورت تمیز بودن منجر به چسبندگی بیشتر ناشی از قفل و بست مکانیکی می‌شود. معمولاً در

سنگدانه‌های ضعیف‌تر و متخلخل و حاویِ کانی‌های غیریکنواخت، چسبندگی بهتری ایجاد می‌شود. به‌علاوه چسبندگی تحت تأثیر سایر خواصّ فیزیکی و شیمیاییِ سنگدانه‌ها که با ترکیبات شیمیایی و شرایط الکترواستاتیکی سطح دانه مرتبط است، نیز قرار می‌گیرد. بررسی مرز بین سنگدانه‌ها و خمیره سیمان حاکی از نفوذ خمیره به درون خلل و فرج سطح سنگدانه‌ها می‌باشد [۹ و ۱۰].

از بررسی تأثیر سنگدانه‌های سبک بر مقاومت بتن حاصله نیز آشکارشده است که چسبندگی این سنگدانه‌ها نسبت به سنگدانه‌های معمولی بهتر بوده و لذا امکان بررسی تأثیر مستقیم مقاومت این سنگدانه‌ها بر مقاومت بتن حاصله را دشوار می‌نماید[۱۱]. پرواضح است که بتُن‌های پر مقاومت نیازمند سنگدانه‌های مقاوم هستند. این ضابطه وقتی معتبر است که مقاومت بلند مدّت بالای بتُن مدِّنظر باشد، به‌طوری‌که مقاومت سنگدانه‌ها برای یک مقاومت زیاد در عمر بسیار کوتاه مهم نخواهد بود. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که در مرحله‌ای با افزایش عیارِ سیمان، دیگر مقاومتِ فشاری بتُن افزایش نخواهد یافت. این تثبیت مقاومت، عمدتاً ناشی از محدودیت مقاومت چسبندگی سیمان و سنگدانه‌ها است [۱۲ و ۱۳]. درصورتی‌که مقاومت سنگدانه‌ها بیش از مقاومت خمیرهٔ سیمانِ سخت شده باشد، تَرَک‌ها در خمیرهٔ سیمان منتشر می‌شوند و برعکس در بتُن‌های دارای سنگدانه‌های ضعیف‌تر تَرَک‌ها به درون سنگدانه‌ها نفوذ می‌کنند. عموماً پذیرفته‌شده است که برای بتُن‌های دارای عملکرد مناسب، هر دو ویژگی، یعنی هم مقاومت سنگدانه‌ها و هم اتّصال سنگدانه‌ها با خمیرهٔ سیمان و خود خمیرهٔ سیمان، باید مورد توجّه قرار گیرند. به‌طوری‌که هرچه چسبندگی سنگدانه‌ها به خمیرهٔ سیمان افزایش‌یافته و همچنین در انتخاب مصالح، مدول الاستیسته و مقاومت سنگدانه‌ها را نزدیک به این خصوصیات در خمیرهٔ سیمان سخت‌شده در نظر گرفته شود، توزیع تنش‌ها یکنواخت‌تر و از تمرکز تنش‌ها جلوگیری می‌شود [۱۴].

نتایج بدست آمده در تحقیقی دیگر به روشنی نشان می‌دهد که تأثیر نوع سنگدانه در بتن‌های با مقاومت بالا بااهمیت‌تر از بتن‌های با مقاومت معمولی است و همچنین واکنش شیمیایی کلسیت موجود در سنگدانه‌ها با هیدروکسید کلسیم موجود در سیمان باعث بهبود مقاومت چسبندگی و درنهایت افزایش مقاومت فشاری بتن شده است [۹، ۱۰ و ۱۵].

مطالعه کارهای بعضی از محققین بیانگر آنست که جایگزینی ۱۰ درصدی پودر سیلیکا مقاومت بتن را در دمای ۶۰۰ درجه به میزان ۱۴/۱ درصد کاهش می‌دهد[۱۶]. همچنین مشاهده‌شده است که با بکارگیری بعضی از سنگدانه‌ها، پودر سیلیکا مقاومت ۷ روزه بتن را کاهش داده است [۱۷]. همچنین گفته می‌شود مقاومت بتن دارای پودر سیلیکا، بستگی به عوامل متعددی دارد [۱۸]. بعضی‌ها هم بر این عقیده هستند که جایگزینی ۱۰ درصد پودر سیلیکا ضمن افزایش مقاومت بتن، باعث افزایش گرمای هیدراسیون می‌شود که در مواقعی بسیار مضر است [۱۹]. در تحقیقی دیگر، افزایش ۱۵ درصدی پودر سیلیکا به بتن دارای پوزولان طبیعی، باعث افزایش مقاومت آن گردیده است [۲۰]. دیده‌شده است که جایگزینی میکرو سیلیس تا ۲۰ درصد باعث رشد مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن شده است [۲۱].

گفته‌شده است که علاوه بر مقاومت سنگدانه‌ها، خواص و ترکیبات شیمیایی آن‌ها به‌منظور ایجاد یک اندرکنش مناسب با مصالح سیمانی و افزایش مقاومت ناحیه انتقال، تأثیر بسزایی بر خواص مکانیکی بتن ایفا می‌کند [۲۲]. همچنین بیان‌شده است که سنگدانه‌های پولکی و کشیده با بافت سطحی صاف و صیقلی مقاومت فشاری بتن با مقاومت بالا را کاهش می‌دهند [۲۳ و ۵].

در تحقیقی روی دو نوع سنگدانه گرانیتی و آهکی علت بالاتر بودن مقاومت فشاری بتن ساخته‌شده با سنگدانه‌های گرانیت را به ترتیب چسبندگی بهتر سنگدانه‌ها با خمیر سیمان ومقاومت سنگدانه و علت بالاتر بودن مدول ارتجاعی بتن ساخته‌شده با سنگدانه گرانیت را هموژن بودن، صلبیت و تراکم بالای بتن دانست. همچنین عنوان‌شده است که نوع سنگدانه نقش مؤثری روی خواص مکانیکی بتن نشان می‌دهد. این تأثیر روی مقاومت فشاری و مدول ارتجاعی بتن بیشتر است [۲۴].

در تحقیقاتی که روی تأثیر رطوبت روی مقاومت هشت نوع صخره سنگ مختلف با دو روش مقاومت فشاری تک‌محوره و روش درجای "انتقال اصطکاک"، انجام‌گرفته است به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش رطوبت صخره، از صفرتا صد درصد، مقاومت انواع متنوع آن‌ها از ۳۱ تا ۵۶ درصد کاهش پیدا می‌کند [۲۶ و ۲۵]. همچنین در بررسی تأثیر مقاومت صخره سنگ بر مقاومت بتن حاصل از سنگدانه‌های همان صخره با روش "انتقال اصطکاک"، این نتیجه حاصل گردید که با افزایش تا ۳ برابری مقاومت صخره سنگ، به‌عنوان منبع تولید سنگدانه، مقاومت بتن حاصله نیز حداکثر ۴۱ درصد افزایش می‌یابد [۲۷].

ازآنجاکه عموماً در بتنی متعارف، مقاومت سنگدانه بیشتر از مقاومت خمیره سیمان است لذا با افزایش مقاومت بتن، نقش سنگدانه در تعیین مقاومت آن پررنگ‌تر می‌شود. از طرف دیگر به دلیل میل به کاهش مقاطع سازه‌ای و افزایش فضای مفید معماری و ... استفاده از

بتن‌های با مقاومت بالا روزبه‌روز در حال افزایش است و لزوم بررسی بیشتر نقش سنگدانه‌ها در بتن احساس می‌شود. در این مقاله به بررسی تأثیر مقاومت فشاری و جذب آب صخره سنگ بر مقاومت فشاری بتن پرداخته شد. بتن مورداستفاده از سنگدانه‌های حاصل از صخره سنگ‌هایی به نام: توف، توف متراکم، ماسه‌سنگ سیلیسی، آندزیت، آهک، تراورتن، گرانیت و مرمریت می‌باشد.

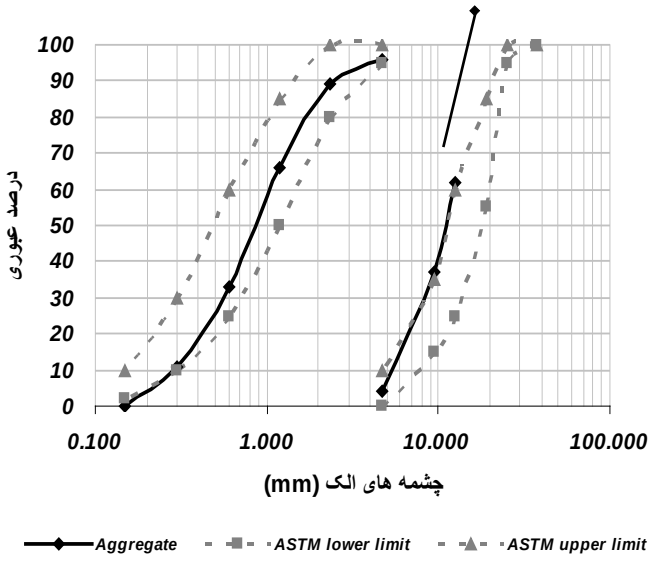
۲- مراحل تحقیق

در ابتدا با انتخاب و جمع‌آوری ۸ نوع صخره سنگ با ویژگی‌های متفاوت، جذب آب آن‌ها طبق استاندارد ASTM D2216 [۲۸] و چگالی سنگ طبق استاندارد ASTM D7263 [۲۹] تعیین گردید که در جدول ۱ قابل‌مشاهده است. در ادامه با استفاده از دستگاه مغزه گیر (کرگیر)، ۳ مغزه از هر نوع سنگ به قطر ۵ سانتیمتر و عمق ۱۰/۵ سانتیمتر، طبق استاندارد ASTM D4543 [۳۰]، ایجاد و با عملیات تسطیح و تراز این اندازه به ۱۰ سانتیمتر رسانده شد. سپس مغزه‌ها در شرایط اشباع، نیمه اشباع و خشک تحت آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره(UCS) قرار گرفت و مقاومت فشاری متوسط هر نوع صخره سنگ در شرط رطوبتی موردنظر بدست آورده شد.

جدول ۱: مشخصات مغزه‌های سنگی.

نام سنگ	آهک	گرانیت	مرمریت	آندزیت	توف متراکم	توف	ماسه‌سنگ سیلیسی	تراورتن
جذب آب (درصد)	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۹۴	۰/۷۸	۳/۳۳	۳/۲۷	۴/۷۹
چگالی (gr/cm^3)	۲/۷۴	۲/۷۵	۲/۷۷	۲/۷۱	۲/۶۱	۲/۴۵	۲/۳۷	۲/۱۲

پس از تعیین مقاومت فشاری تک‌محوره صخره‌های سنگ، با استفاده از پتک سنگدانه‌های لازم تولید و طبق آیین‌نامه ASTM C136 [۳۱] دانه‌بندی شد (نمودار ۱). در این تحقیق از سیمان تیپ ۲ خزر لوشان مطابق با استاندارد ASTM C150 [۳۲] و فوق روان‌ساز Glenium 51P مطابق با استانداردASTM C-494 Type B,D,G [۳۳] و میکرو سیلیس شرکت نامیکاران در ساخت بتن استفاده گردید که آنالیز شیمیایی آن در جدول ۲ آورده شده است. طرح اختلاط مورداستفاده در این تحقیقات، در جدول ۳ نشان داده‌شده است. جهت مطالعه تأثیر مقاومت صخره بر مقاومت بتن حاصل از آن و امکان مقایسه نتایج، طرح اختلاطی ثابت برای تمامی سنگدانه‌ها در نظر گرفته شد.



نمودار ۱: منحنی دانه‌بندی ریزدانه و درشت‌دانه.

نسبت ماسه به شن ثابت و برابر ۰/۶۷ بوده و همچنین برای تمامی نمونه‌های بتنی، شرایط عمل‌آوری یکسان و بصورت غرق در حوضچه آب می‌باشد. حداکثر اندازه سنگدانه‌های مورداستفاده در بتن به ۱۹ میلیمتر محدود گردید. در ادامه به بررسی تأثیر عواملی مانند جذب آب و مقاومت فشاری صخره سنگ‌بر روی مقاومت فشاری بتن پرداخته‌شده است.

جدول ۲: آنالیز شیمیایی میکرو سیلیس.

عناصر تشکیل‌دهنده	H_2O	Sic*	C	Sio_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	CL
درصد وزنی	۰/۰۸	۰/۵	۰/۳	۹۶/۴	۰/۸۷	۱/۳۲	۰/۴۹	۰/۹۷	۰/۳۱	۱/۰۱	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۴

* Silicon carbide

جدول۳: طرح اختلاط بتن (Kg/m^3).

نوع سنگدانه	G	S	A	W	SP	SF	C	SF/C	W/(C+SF)	SP/(C+SF)
آهک	۹۰۲/۳۹۵	۶۰۴/۶۰۵	٪۲/۵	۱۹۲	۹/۹۴	۱۳۹	۵۵۷	٪۲۰	۰/۳	٪۱/۵
گرانیت	۹۰۵/۶۷۶	۶۰۶/۸۰۳								
مرمریت	۹۱۲/۲۴۰	۶۱۱/۲۰۰								
اندزیت	۸۹۵/۸۳۲	۶۰۰/۲۰۷								
متراکم توف	۸۵۹/۷۳۶	۵۷۶/۰۲۳								
توف	۸۰۳/۴۴۸	۵۳۸/۳۱۰								
ماسه‌سنگ سیلیسی	۷۶۵/۷۸۵	۵۱۳/۰۷۵								
تراورتن	۶۹۵/۱۸۱	۴۶۵/۷۷۱								
G=Gravel S=Sand A=Air W=Water SP=Super Plasticizer SF=Silica Fume C=Cement										

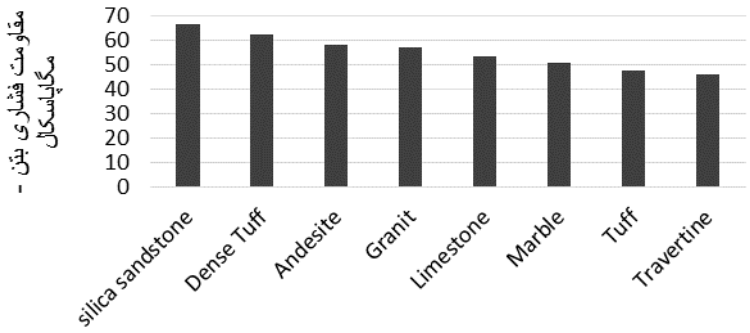
از بتن حاصله برای هر نوع صخره سنگ، ۳ مکعب بتنی ساخته‌شده و در سن ۲۸ روز مورد آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره قرار گرفت. در شکل ۱ انجام آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره روی نمونه‌های سنگی و بتن نشان داده است.

شکل ۱: انجام آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره برای مغزه‌های سنگی و مکعب بتنی.

۳- نتایج بدست آمده و تحلیل آنها

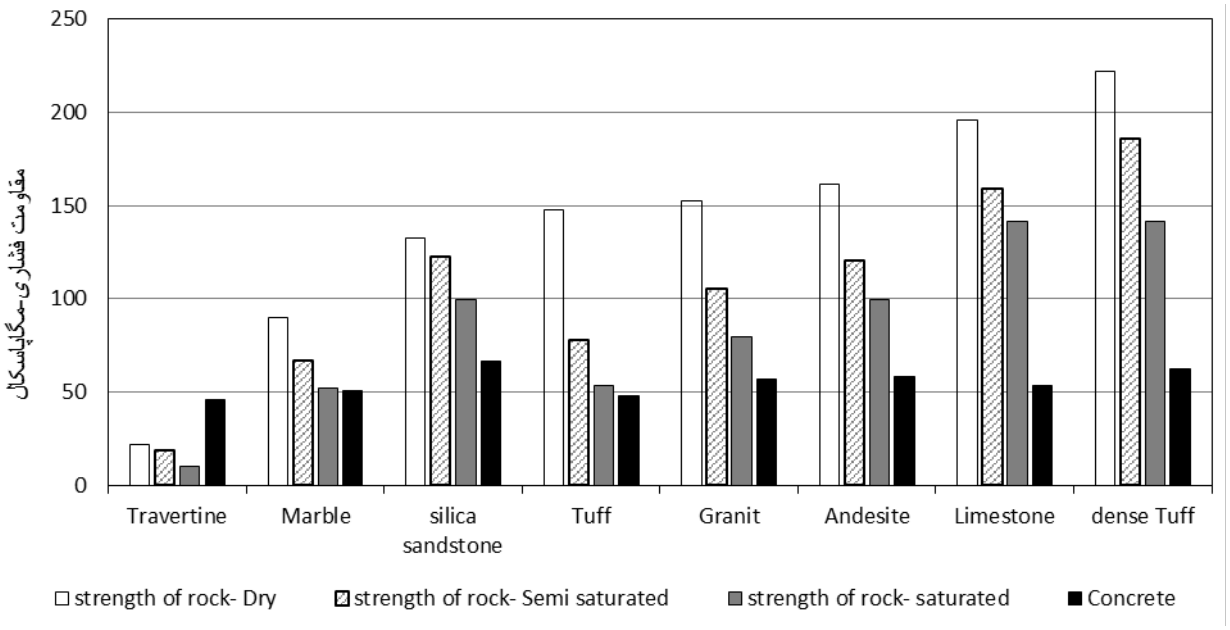
نتایج حاصله از انجام مقاومت فشاری تک‌محوره بر روی مکعب‌های بتنی ساخته‌شده از هشت نوع صخره در شکل ۲ نشان داده‌شده است. همان‌گونه که از این شکل قابل‌مشاهده است، مقاومت‌های بدست آمده بین ۴۶ تا ۶۷ مگا پاسکال متغیر است. همچنین در شکل ۳ مقایسه‌ای بین مقاومت مغزه‌های سنگی در حالت‌های مختلف رطوبتی با مقاومت فشاری بتن صورت گرفته است که بر طبق آن رطوبت و مقدار آن تأثیر بسزایی در مقاومت صخره سنگ‌ها دارد بگونه‌ای که تفاوت در مقاومت صخره سنگ خشک با مقاومت اشباع آن حتی به

حدود صد درصد می‌رسد (بدین معنا که با اشباع شدن صخره، مقاومت آن به کمتر از نصف کاهش می‌یابد). این اختلاف در شکل ۲ در مورد سنگ توف بیش از صد در درصد و در سنگ‌های تراورتن و گرانیت نزدیک به صد در درصد، به‌وضوح قابل‌مشاهده می‌باشد. این یافته مخصوصاً در مورد تعیین مقاومت فشاری بتن‌های اشباع بسیار حائز اهمیت می‌باشد و مقایسه آن با مقاومت متناظر خشک می‌تواند در ظرفیت باربری سازه‌ها در محیط‌های مختلف تعیین‌کننده باشد. البته باید توجه داشت که زمانی شکست حاصل از بارهای وارده در درون سنگدانه رخ می‌دهد که مقاومت خمیر سیمان در بتن سخت شده و مقاومت چسبندگی بین سنگدانه‌ها و خمیره سیمان از مقاومت سنگدانه بیشتر باشد.



شکل ۲: مقاومت فشاری بتن حاصل از سنگدانه‌های مختلف.

همانگونه که از شکل۳ پیداست، مقاومت فشاری تمامی سنگ‌ها بجز تراورتن، از مقاومت فشاری بتن حاصله بیشتر است و دلیل بالاتر بودن مقاومت بتن حاصل از سنگ تراورتن، تخلخل بالای سنگدانه و نفوذ خمیره سیمان به داخل آن و واکنش شیمیایی کلسیت موجود در سنگدانه با هیدروکسید کلسیم موجود در خمیره سیمان بوده که باعث افزایش قابل‌ملاحظه مقاومت فشاری بتن نسبت به مقاومت صخره بین ۲/۱ برابر برای حالت خشک و تا ۴/۶ برابر برای حالت اشباع می‌شود[۹، ۱۰ و ۱۵]. همچنین به دلیل اینکه سنگ مرمر دارای کلسیت زیادی است، لذا مقاومت فشاری بتن ساخته‌شده از آن احتمالاً به دلیل واکنش کلسیت موجود در سنگدانه با خمیره سیمان و بهبود چسبندگی ناحیه انتقال، تقریباً مقاومتی معادل با حداقل مقاومت فشاری سنگ دارد که با فرض اشباع بودن سنگدانه در حین عمل هیدراسیون، بهینه‌ترین استفاده از مقاومت فشاری سنگدانه‌های تراورتن و مرمر شده است و سنگ توف در رده بعدی می‌باشد.



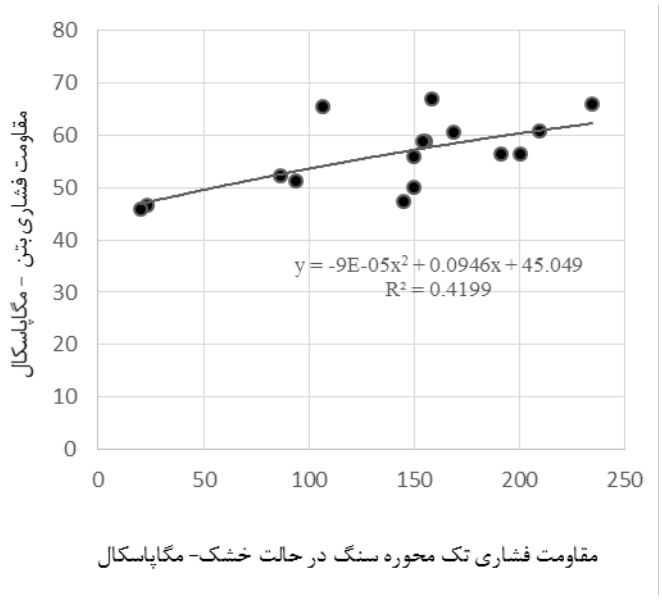
شکل ۳: مقایسه مقاومت فشاری تک‌محوره صخره سنگ در حالات اشباع، نیمه اشباع و خشک با مقاومت فشاری بتن حاصل از آن (۲۸ روزه).

بااینکه سنگ توف متراکم دارای بالاترین مقاومت فشاری می‌باشد ولی بتن حاصله در رده دوم مقاومتی است که دلیل آن اینست که، سنگدانه‌ها در هنگام خرد شدن با پتک بصورت متمایل به ورقه‌ای و پولکی شکسته شدند که این خود باعث کاهش مقاومت می‌گردد [۳ و ۵].

باوجوداینکه سنگ‌آهک در رده دوم مقاومت فشاری است ولی بتن حاصله به دلیل شکست از ناحیه انتقال، که به علت جذب آب پایین و سطح صاف آن می‌باشد، در رده پنجم مقاومت فشاری قرار می‌گیرد.

جهت یافتن ارتباط بین مقاومت صخره سنگ‌های خشک با مقاومت بتن حاصل از سنگدانه‌های همان صخره، شکل ۴ ترسیم گردیده است. همانگونه که از این شکل پیداست، افزایش مقاومت صخره مادر خشک از ۲۲ مگا پاسکال برای سنگ تراورتن تا ۲۲۲ مگا پاسکال برای سنگ توف متراکم مقاومت بتن حاصل از سنگدانه‌های آن را تا حداکثر ۴۵/۶ درصد افزایش می‌دهد.

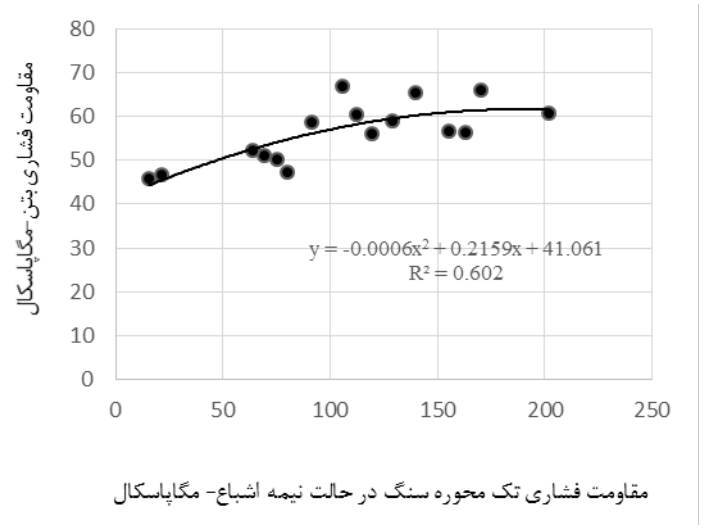
هرچند R^2 (ضریب همبستگی) مربوطه که مساوی ۰/۴۲ است بیانگر رابطه بسیار قوی نمی‌باشد ولی با توجه به مسیرهای ایجاد ترک در بتن به هنگام انجام آزمایش، این رابطه می‌تواند از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار باشد.



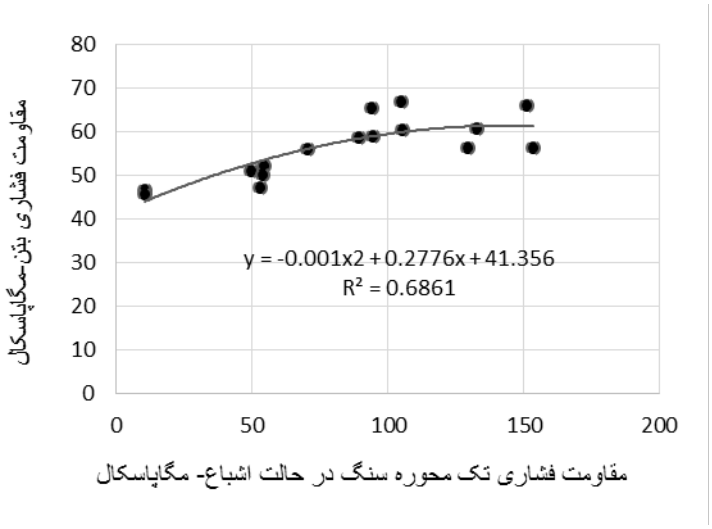
شکل ۴: رابطه بین مقاومت‌های فشاری تک‌محوره صخره سنگ در حالت خشک و بتن حاصل.

همانگونه که از شکل ۵ قابل‌مشاهده است رابطه بین مقاومت صخره سنگها ی نیمه اشباع با مقاومت بتن حاصل از سنگدانه‌های همان صخره، افزایش مقاومت صخره مادر نیمه اشباع، از ۱۹ مگا پاسکال تا ۱۸۶ مگا پاسکال، نیز مقاومت بتن حاصل از سنگدانه‌های آن را تا حداکثر ۴۵/۶ درصد افزایش می‌دهد. با توجه به R^2 مربوطه که مساوی ۰/۶۰۲ است بیانگر رابطه قوی‌تر نسبت به مقاومت خشک صخره سنگ‌ها می‌باشد.

با توجه به R^2 مربوطه (۰/۶۸۶) که از ترسیم مقاومت صخره سنگ‌های اشباع، که بین ۱۰ تا ۱۴۱ مگا پاسکال می‌باشد، در مقابل مقاومت بتن‌های ساخته‌شده از سنگدانه‌های همان صخره‌ها ثبت‌شده است (شکل ۶)، می‌توان چنین استنباط نمود که برای بدست آوردن تأثیر مقاومت هر صخره سنگی بهتر است مقاومت اشباع آن را با مقاومت بتن‌های بدست آمده از همان صخره‌ها بررسی نمود. وجود ارتباط قوی‌تر بین مقاومت صخره اشباع با بتن بدست آمده از مقاومت بتن‌های ساخته‌شده از سنگدانه‌های همان صخره شاید بدلیل اینست که سنگدانه‌های موجود در داخل بتن پیوسته دارای رطوبت قابل‌توجهی می‌باشند.



شکل۵: رابطه بین مقاومت‌های فشاری تک‌محوره صخره سنگ در حالت نیمه اشباع و بتن حاصل.



شکل ۶: رابطه بین مقاومت‌های فشاری تک‌محوره صخره سنگ در حالت اشباع و بتن حاصل.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این مقاله می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که:

۱- مقاومت فشاری تمامی سنگ‌ها بجز تراورتن، از مقاومت فشاری بتن حاصله بیشتر است و دلیل بالاتر بودن مقاومت بتن حاصل از سنگ تراورتن، تخلخل بالای سنگدانه و نفوذ خمیره سیمان به داخل آن و واکنش شیمیایی کلسیت موجود در سنگدانه با هیدروکسید کلسیم موجود در خمیره سیمان بوده که باعث افزایش قابل‌ملاحظه مقاومت فشاری بتن نسبت به مقاومت صخره بین ۲/۱ برابر برای حالت خشک تا ۴/۶ برابر برای حالت اشباع می‌شود.

۲- با افزایش مقاومت صخره سنگ تا ۱۰ برابر، مقاومت بتن ساخته‌شده از سنگدانه‌های همان صخره سنگ تا حداکثر ۴۶ درصد افزایش می‌یابد.

۳- در مقایسه با شرایط خشک، افزایش میزان رطوبت در صخره سنگ‌ها، از صفرتا صد در صد، باعث کاهش مقاومت آنها از ۲۵ تا ۶۴ درصد می‌گردد.

۴- ضریب همبستگی(R2) مربوط به روابط بین مقاومت‌های صخره سنگ‌های موردبررسی قرارگرفته و بتن‌های حاصل از سنگدانه‌های همان صخره‌ها بین ۰/۴۲ و ۰/۶۸۶ قرار داشت.

۵- بااینکه ضریب همبستگی بین مقاومت صخره سنگ‌های خشک و مقاومت بتن‌های حاصل از سنگدانه‌های همان صخره‌ها بدست آمد، بیشترین ضریب همبستگی بین مقاومت صخره سنگ‌های اشباع و مقاومت بتن‌های حاصل از سنگدانه‌های همان صخره‌ها مشاهده گردید.

مراجع

[۱] نادری، محمود. (۱۳۸۸). *روشهای بهبود و تعیین آزمایشگاهی و درجای مقاومت بتن*. تهران: انتشارات روزبهان.

[2] Ta-Peng, Chang. and Neng-Koon, Su. (1996). Estimation of Coarse Aggregate Strength in High-Strength Concrete. Materials Journal, Vol. 93 (1), pp. 3-9.

[3] Aitcin, P. C. and Mehta, P. K. (1990). Effect of Coarse Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. Materials Journal, Vol. 87, pp. 103-107.

[4] Almusallam, A. A. Beshr, H. Maslehuddin, M. and Al-Amoudi, O. S. B. (2004). Effect of silica fume on the mechanical properties of low quality coarse aggregate concrete. Cement & Concrete Composites, Vol. 26, pp. 891–900.

[5] Cetin, Aikut. Carrasquillo, (1998). R. High performance concrete; Influence of coarse aggregates on mechanical properties. ACI MASTER J, Vol. 95(2), pp. 254-261.

[6] Giassio, G. Rocco, C. and Violini, D. (1992). Hight strength concretes incorporating different coarse aggregates. ACI MASTER J, Vol. 95 (2), pp. 242-246.

[7] Tokyay, M. (1998). Effect of aggregate size on mechanical property of high strength concrete. Digest 98, pp. 495-501.

[8] Min-Hong, Zhang. and Odd, E. Gjorv. (1991). Spectrum analysis of the interfacial zone of lightweight aggregate concrete. Materials Journal, Vol. 88 (2), pp.150-158.

[9] Tommy, Y. Lo. Cui, H.Z. (2004). Spectrum analysis of the interfacial zone of lightweight aggregate concrete. Materials Letters, Vol. 58 (25), pp. 3089-3095.

[10] Min-Hong, Zhang. Odd, E. Gjørv. (1992). Penetration of cement paste into lightweight aggregate. Cement and Concrete Research, Vol. 22 (1), pp. 47-55.

[11] Lo,T. Y. and Cui, H. Z. (2004). Effect of porous lightweight aggregate on strength of concrete. Materials Letters, Vol. 58 (6), pp. 916-919.

[12] Perry, C. and Gillott, J.E. (1977). The influence of mortar-aggregate bond strength on the behaviour of concrete in uniaxial compression. Cement and Concrete Research, Vol. 7 (5), pp. 553-564.

[13] Hashin, Monteiro, and Z. P. J. M. (2002). An inverse method to determine the elastic properties of the inter-phase between the aggregate and the cement paste. Cement and Concrete Research, Vol. 32 (8), pp. 1291-1300.

[14] Alexander, Mark. and Mindess, Sidney. (2005). Aggregates in Concrete. Taylor and Francis Publication. pp. 234.

[15] Ozturan,T. and Cecen, C. (1997). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strenghts.Cement and concrete research, Vol 27 (2), pp. 165-170.

[16] Behnood, Ali. and Ziari, Hasan. (2008). Effects of silica fume addition and water to cement ratio on the properties of high-strength concrete after exposure to high temperatures. Cement & Concrete Composites, Vol. 30, pp. 106–112.

[17] Demirbog˘a, Ramazan. O¨ ru¨ng, I˙brahim. and Gu¨ l, ¨stem. (2001). Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes. Cement and Concrete Research, Vol.31, pp. 1627–1632.

[18] Bhanjaa, S. and Senguptab, B. (2003). Modified water–cement ratio law for silica fume concretes. Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 447–450.

[19] Kadri, El-Hadj. and Duval, Roger. (2009). Hydration heat kinetics of concrete with silica fume. Construction and Building Materials, Vol. 23, pp. 3388–3392.

[20] Shannag, M.J. (2000). High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume. Cement & Concrete Composites, Vol. 22, pp. 399-406.

[۲۱] جبل عاملی، بهرام. صداقت دوست، آرش. قائمی، امید. رضا، نوید. (۱۳۹۰). بررسی تأثیرات میکرو سیلیس بر خصوصیات مقاومتی و دوام بتن سبک سازه‌ای و توجیه‌پذیری اقتصادی آن. *فصلنامه صنعت مقاوم‌سازی و بهسازی*، شماره ۱۸، سال ۵، صفحه ۴۵-۵۰.

[۲۲] یزدانی، محمود. یزداندوست، مجید. (۱۳۸۶). تأثیر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی سنگدانه بر خواص مکانیکی بتن. *سومین کنگره ملی مهندسی عمران*، تبریز، ایران.

[۲۳] صدر کریمی، ابوذر. خواهشی بناب،کسگین. (۱۳۸۳). انتخاب شکل، جنس و دانه‌بندی بهینه مصالح سنگی برای بتن توانمند. *اولین کنگره ملی مهندسی عمران*، تهران، ایران.

[۲۴] مدندوست، رحمت. (۱۳۸۲). ارزیابی خواص مکانیکی بتن با مقاومت بالا. *ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، ایران.*
[۲۵] نادری، محمود. ولی بیگی، رضوان. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر جذب آب صخره سنگ‌بر مقاومت آن. *ششمین کنگره ملی مهندسی عمران*، سمنان، ایران.
[۲۶] نادری، محمود. ولی بیگی، رضوان. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر جذب آب صخره سنگ‌بر مقاومت آن با روش انتقال اصطکاک. *ششمین کنگره ملی مهندسی عمران*، سمنان، ایران.
[۲۷] نادری، محمود. ولی بیگی، رضوان. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر مقاومت صخره بر مقاومت بتن با روش انتقال اصطکاک. *مجله تکنولوژی بتن*، شماره ۱۴، سال هشتم، صفحه ۱۷-۲۴.
[28] ASTM D2216-10, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
[29] ASTM D7263 – 09, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens.
[30] ASTM D4543 - 08, Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances.
[31] ASTM C136 - 06 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.
[32] ASTM C150 / C150M - 09 Standard Specification for Portland cement.
[33] ASTM C494 / C494M Type B, D & G. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.