

بررسی تأثیر همسانی دانه‌های سنگی بر مقاومت فشاری بتن

سجاد علی مرتضوی کرمانی^۱، محمدرضا حمیدیان^{۲*}، وحیده رحیمی مهر^۳

1- کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده فنی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

alimortazavisajjad@gmail.com

2- *استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران (نویسنده مسئول)

hamidian.m.r.iauk@gmail.com

3- استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

rahimimehr@iauk.ac.ir

چکیده

از موارد تعیین کننده کیفیت بتن، مقاومت فشاری آن است. یکی از موارد موثر بر مقاومت فشاری بتن، خصوصیات ظاهری و قطر سنگدانه‌های آن است و شکل، اندازه و دانه بندی بتن از موارد مورد توجه در ساخت بتن هستند. این مقاله با هدف واکاوی بخشی از ارتباط و چگونگی تأثیر اندازه سنگدانه‌ها بر مقاومت فشاری بتن نگاشته شده است و در پی پاسخ به این سوال است که استفاده از سنگدانه‌ها با قطر مشابه چه تأثیری بر مقاومت فشاری بتن دارد؟ در این راستا سعی شده با روشی آزمایشی، تأثیر همسانی دانه‌های سنگی بر مقاومت فشاری بتن بررسی گردد. به این صورت که بعد از دسته بندی سنگدانه‌ها براساس قطر به 9 قسمت، تعداد 81 نمونه مکعبی بتنی با نسبت وزنی آب به سیمان 0.457 و وزن 1.8 کیلوگرم سنگدانه برای هر نمونه، تهیه شد. نتایج بررسی نشان داد رابطه مستقیمی بین قطر سنگدانه و مقاومت فشاری وجود دارد و زمانی که قطر سنگدانه بین 2.8 تا 4 میلی‌متر است، بیشترین مقاومت فشاری ایجاد می‌گردد و هرچه قطر سنگدانه‌ها کاهش پیدا کند مقاومت فشاری نیز افزایش پیدا می‌کند. در تحقیقی تکمیلی نمونه‌هایی ساخته شد که فضای خالی بین سنگدانه‌ها با خمیر سیمان پر گردید نتایج، حاکی از رابطه معکوس بین قطر سنگدانه و مقاومت فشاری بتن است چنانچه با افزایش قطر سنگدانه‌ها، مقاومت بتن کاهش می‌یابد و زمانی قطر سنگدانه‌ها مابین 22.4 تا 25 میلی‌متر است، بیشترین مقاومت حاصل می‌شود.

کلمات کلیدی: بتن، قطر سنگدانه، سنگدانه همسان، مقاومت فشاری، طرح اختلاط

Experimental study of the sameness effect of aggregates on the compressive strength of concrete

Sajjad Ali-Mortazavi Kermani¹, Mohammad Reza Hamidian*², Vahideh Rahimimehr³

Abstract:

One of the determinants of concrete quality is its compressive strength. One of the factors affecting the compressive strength of concrete is the appearance and diameter of its aggregates, and the shape, size, and granularity of concrete are important factors in concrete production. This paper analyzed part of the relationship and how the size of aggregates affects the compressive strength of concrete, and it seeks to answer the question, what effect does the use of aggregates with the same diameter have on the compressive strength of concrete? In this regard, an experimental method has been used to investigate the effect of the sameness of stone grains on the compressive strength of concrete. This way, after classifying the aggregates based on diameter into nine parts, 81 cubic concrete samples. The results of the investigation showed there is a direct relationship between the diameter of the aggregate and the compressive strength, and when the diameter of the aggregate is between 2.8 and 4 mm, the highest compressive strength is created. As the diameter of the aggregate decreases, the compressive strength increases. In supplementary research, samples were made in which the space between the aggregates was filled with cement paste. The results indicate an inverse relationship between the diameter of the aggregate and the compressive strength of concrete. As the diameter of the aggregates increases, the strength of the concrete decreases and when the diameter of the aggregates is between 22.4 and 25 mm the highest resistance is obtained.

Key words:

Concrete, Aggregate diameter, Sameness aggregate, Compressive strength, Mix design

مقدمه

بتن یک ماده ناهمگن و چند فازی متشکل از آب، سیمان و سنگدانه‌هایی با اشکال و اندازه‌های مختلف است که پس از ترکیب در خمیر سیمان حاصل شده، واکنشی گرماده به نام هیدراتاسیون رخ می‌دهد. به منظور انجام این فعل و انفعال شیمیایی حضور آب در واکنش ضروری است و باید از یخزدگی و همچنین تبخیر بیش از حد آب موجود در

یکی از پر استفاده‌ترین مصالح مورد استفاده در ساخت ساختمان، پل‌ها و سدها بتن است [5]. مواردی همچون در دسترس بودن اجزاء تشکیل دهنده، ساخت آسان، شکل پذیری و پایایی نسبی بالا، اقتصادی بودن ساخت، سبب توجه روز افزون به آن شده است [1].

و ریز بصورت نسبت وزنی برابر، مورد استفاده قرار می‌گیرد و استفاده از سنگدانه‌های ریز در کنار سنگدانه‌های درشت به جهت پر کردن فضای خالی مابین سنگدانه‌های درشت است. تحقیقات بسیاری بر روی تاثیر تغییر قطر سنگدانه‌ها بر روی مقاومت فشاری انجام شده است. به عنوان مثال در پژوهشی محققین به ساخت بتن با طیف پیوسته‌ای از قطر سنگدانه پرداختند و نتایج نشان داد در صورتی که بزرگترین قطر سنگدانه 25 میلی‌متر باشد بیشترین مقاومت فشاری ایجاد میگردد و افزایش درصد سنگدانه درشت سبب افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود [24]. در پژوهش دیگری محققین دریافتند که بتن ساخته شده با بزرگترین قطر سنگدانه‌ی 20 تا 28 میلی‌متر در کنار استفاده از ریزدانه‌ها، بیشترین مقاومت را از خود نشان می‌دهد و پس از آن بتن ساخته شده با بزرگترین قطر سنگدانه‌ی 13.2 تا 19 میلی‌متر در کنار استفاده از ریزدانه‌ها و بتن ساخته شده با بزرگترین قطر سنگدانه‌ی 3.35 تا 10 میلی‌متر مقاومت فشاری بیشتری را از خود نشان می‌دهند [8]. در پژوهش دیگری محققین بیان کردند در کنار استفاده از ماسه، از سنگدانه‌های درشت 30، 20 و 10 میلی‌متر در ساخت بتن استفاده شد و نتایج نشان می‌دهد به ترتیب نمونه‌های ساخته شده از سنگدانه‌های درشت 30، 20 و 10 میلی‌متر بیشترین مقاومت را از خود نشان می‌دهند [25]. در پژوهشی دیگر محققین با ساخت نمونه‌هایی متشکل از سنگدانه ریز 3 میلی‌متر و درشت دانه‌های 10 و 20 میلی‌متر، متوجه شدند نمونه‌های متشکل از سنگدانه درشت 20 میلی‌متر، 45.7 درصد مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه‌های با سنگدانه 10 میلی‌متر از خود نشان دادند [3]. در پژوهش دیگر با ساخت نمونه‌هایی با حداکثر قطر سنگدانه 37.5، 25، 19، 13.2 و 9 میلی‌متر، در کنار استفاده از سنگدانه ماسه مشاهده گردید هر آنچه قطر سنگدانه افزایش پیدا می‌کند مقاومت فشاری نیز بیشتر

بتن جلوگیری کرد که عمل‌آوری بتن به این منظور صورت می‌گیرد و بهترین روش برای عمل‌آوری بتن روش غوطه‌ور کردن آن در آب یا استفاده از دستگاه اتوکلاو است [12]. حدود 70 تا 80 درصد از مقاومت فشاری بتن در 28 روز ابتدایی با انجام واکنش هیدراتاسیون صورت می‌گیرد [11]. مقاومت فشاری بتن به عوامل مختلفی همچون سن بتن، نوع مواد مصرفی، عمل‌آوری آن، نسبت آب به سیمان، سایز سنگدانه‌ها، نسبت اختلاط اندازه سنگدانه‌های درشت و ریز، شکل سنگدانه‌ها و... دارد [2،4،6،9،13،14،15].

به طور کلی بتن را می‌توان به سه فاز شامل سنگدانه، خمیر سیمان و ناحیه‌ی انتقالی تقسیم کرد. ناحیه انتقالی، قطری به اندازه 10 تا 50 میکرومتر دارد که ضعیف‌ترین فاز بتن است و تاثیر نامناسبی بر روی رفتار مکانیکی بتن دارد [1،4،10] و سنگدانه‌ها به عنوان قوی‌ترین فاز در بتن هستند [21-23] که بیشترین حجم از بتن را تشکیل می‌دهند، به نحوی که حدود 70 تا 80 درصد از وزن بتن متشکل از سنگدانه‌ها است، بنابراین مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگدانه‌ها، از جمله بزرگترین قطر آنها تاثیر مستقیمی بر روی مقاومت فشاری بتن و کارایی آن می‌گذارد [1،3،4]. سنگدانه درشت جزء مهم‌ترین اجزاء بتن است [1،13،14،16]. به سنگدانه‌هایی که روی الک شماره 4 (قطری بزرگتر از 4.75 میلیمتر) درشت دانه یا شن و به سنگدانه‌های رد شده از الک شماره 4 (قطرهای کوچکتر از 4.75 میلی‌متر) و مانده روی الک 200 ریزدانه یا ماسه گفته می‌شود [26].

سنگدانه‌ها یا بصورت طبیعی یا بصورت شکسته مورد استفاده قرار می‌گیرند و سنگدانه‌های شکسته به دلیل اصطحکاک بیشتر ایجاد شده در بتن، مقاومت بیشتری را ایجاد می‌نمایند. در اکثر موارد نسبت سنگدانه‌های درشت

میزان شکستگی دانه‌ها، جذب آب، ساختمان حفره دانه‌ها، مقاومت و ... در میان سنگدانه‌ها یکسان باشد. در مرحله بعد سنگدانه‌ها، دانه‌بندی و در 9 گروه با نام‌های A، B، C، D، E، F، G، H و I قرار گرفتند. (شکل 1)

در مرحله بعد، برای دستیابی به طرح اختلاط و ساخت نمونه مکعبی، ابتدا با مراجعه به جدول 3-3-6 مبحث ششم و با داشتن مقادیر اسلامپ بر حسب میلی‌متر و بزرگترین قطر سنگدانه بتن، میزان آب مورد استفاده بدست آورده شد و برای بدست آوردن نسبت وزنی آب به سیمان از جدول الف-4-3-6 مبحث ششم استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا وزن سیمان بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. سپس برای محاسبه وزن سنگدانه درشت، با استفاده از جدول 6-3-6 مبحث ششم حجم سنگدانه درشت در واحد حجم بتن و با داشتن بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه و مدول نرمی سنگدانه ریز بدست آورده شد. در مرحله بعد مقدار ماسه مصرفی با بدست آوردن وزن کل بتن (تخمین وزن اولیه یک متر مکعب بتن از جدول 1-7-6-3) و کسر وزن آب، سیمان و شن مصرفی، محاسبه شد. برای بی‌تاثیر بودن رطوبت آب و جذب آب سنگدانه‌ها، وزن آب موجود در شن و ماسه محاسبه و از وزن آب کم گردید تا وزن اصلاحی شن و ماسه بدست آورده شود؛ به این صورت که حاصل تفریق درصد رطوبت و جذب آب سنگدانه نشان از درصد اضافه شده آب از رطوبت سنگدانه‌ها به بتن است و با ضرب درصد رطوبت سنگدانه‌ها در وزن شن، وزن آب وجود در شن محاسبه می‌شود.

می‌شود [7]. این نتیجه نیز که با افزایش قطر سنگدانه، مقاومت فشاری نیز افزایش پیدا می‌کند در پژوهش‌های دیگری نیز مشاهده شد [5، 7، 17].

نتایج بدست آمده در پژوهش‌های گذشته، اهمیت تغییر قطر سنگدانه‌ها بر روی مقاومت فشاری بتن را نشان می‌دهد، اما عدم استفاده از سنگدانه همسان به تنهایی (عدم وجود سنگدانه‌های ریز در کنار سنگدانه‌های درشت) در ساخت بتن، مسئله‌ای مبهم ایجاد کرده است که در صورتی که تنها از سنگدانه همسان استفاده شود مقاومت فشاری چه تغییری می‌کند. همین امر سبب شد تا در این پژوهش آزمایشگاهی، با ساخت نمونه‌های مکعبی و استفاده از سنگدانه‌های همسان در طیف گسترده‌تری از قطر سنگدانه، تاثیر این متغیر مورد بررسی قرار گیرد و در صورت وجود روابط فی ما بین آنها، چگونگی تاثیر تغییر قطر سنگدانه همسان بر مقاومت فشاری بتن بدست آورده شود.

روش تحقیق

این پژوهش کاربردی، براساس روشی آزمایشی بر پایه‌ی تحقیق با علوم ساختارمند، که شامل دو مرحله عمل و مشاهده نتایج، انجام گرفته است. در این تحقیق سعی شده است با محدود کردن قطر دانه‌های سنگی (همسان کردن سنگدانه‌ها) و ساخت بتن با طیف‌های مختلف سنگدانه‌ها، مقاومت فشاری نمونه‌ها، محاسبه و روابط بین آنها بررسی شود. در این راستا ابتدا از آزمایش دانه‌بندی سنگدانه‌ها بهره گرفته شد. به این صورت که ابتدا بصورت همزمان از یک معدن، مقداری شن و ماسه تهیه گردید تا متغییر جنس،



رنج A و سائز سنگدانه مابین 22.4 و 25 میلی متر



رنج D و سائز مابین قطر 12.5 و 16 میلی متر



رنج G و سائز سنگدانه مابین 6.35 و 9.51 میلی متر



رنج B و سائز سنگدانه مابین 19 و 22.4 میلی متر



رنج E و سائز سنگدانه مابین 11.2 و 12.5 میلی متر



رنج H و سائز سنگدانه مابین 4.75 و 6.35 میلی متر



رنج C و سائز سنگدانه مابین 16 و 19 میلی متر



رنج F و سائز سنگدانه مابین 9.51 و 11.2 میلی متر



رنج I و سائز سنگدانه مابین 2.8 و 4.75 میلی متر

شکل 1: قطر مش‌های الک‌ها و قطر سنگدانه‌های همسان روی هر الک

روز، مقاومت فشاری نمونه‌ها با دستگاه جک هیدرولیکی (شرکت سازنده ابزار خاک تحت لیسانس شرکت controls ایتالیا سال تولید 1385 ه.ش) حاسبه و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای ساخت نمونه‌ها وزن آب 160 ، وزن سیمان 350 و وزن سنگدانه‌ها 1800 کیلوگرم بر متر مکعب، در نظر گرفته شد. (شکل 2) و تعداد 46 نمونه مکعبی بتنی در 8 گروه با نسبت‌هایی که در جدول 1 آورده شده، تهیه شد و در مرحله آخر با قرار دادن آن‌ها در حوضچه آب پس از 28



شکل 2: تصاویر مواد مصرفی در ساخت نمونه‌ها

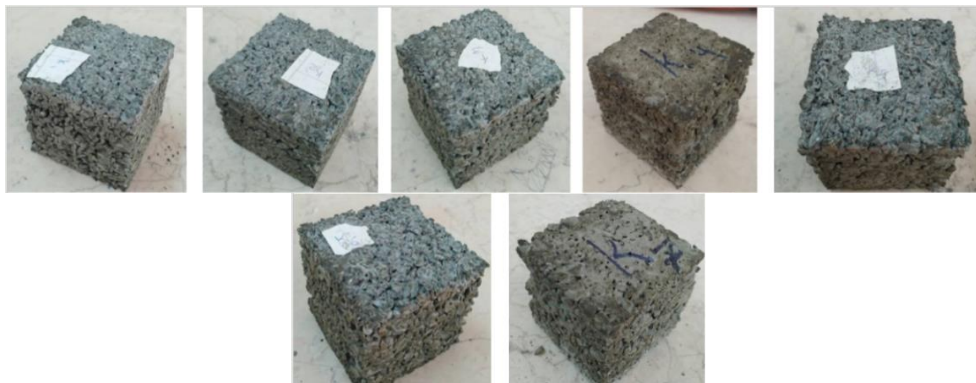


شکل 3: تصاویر آزمون‌های نمونه G

جدول 1: نام نمونه‌ها، تعداد آزمون‌ها، ویژگی سنگدانه هر آزمون و نسبت آب به سیمان

نام نمونه	تعداد آزمون	ویژگی سنگ دانه همسان (میلی متر)	نسبت آب به سیمان	مقدار سنگدانه (کیلوگرم بر متر مکعب)
BT	3	قطر 19 تا 22.4	0.457	1800
CT	5	قطر 16 تا 19	0.457	1800
DT	3	قطر 12.5 تا 16	0.457	1800
E	7	قطر 11.2 تا 12.5	0.457	1800
F	7	قطر 9.51 تا 11.2	0.457	1800
G	7	قطر 6.35 تا 9.51	0.457	1800
H	7	قطر 4.75 تا 6.35	0.457	1800
I	7	قطر 2.8 تا 4.75	0.457	1800

با استفاده از سنگ دانه‌های شن و ماسه به جای سنگدانه‌ی همسان، نمونه‌ی شاهد بتنی K که شامل 7 آزمون است، ساخته شد.



شکل 4: تصاویر آزمون‌های نمونه K

جدول 2: نام آزمون‌ها، تعداد آزمون شاهد، ویژگی سنگدانه آزمون شاهد نسبت آب به سیمان

نام نمونه	تعداد آزمون‌ها	ویژگی سنگ دانه‌ها	نسبت آب به سیمان	مقدار درشت دانه (کیلوگرم بر متر مکعب)	مقدار ریز دانه (کیلوگرم بر متر مکعب)
K	7	ترکیب ماسه و شن	0.457	900	900

روش تحقیق تکمیلی

نسبت آب به سیمان 0.457 جایگزین و استفاده شد (شکل 5) و در مرحله آخر مقاومت فشاری نمونه‌ها با دستگاه جک هیدرولیکی (شرکت سازنده ابزار خاک تحت لیسانس شرکت *controls* ایتالیا سال تولید 1388) محاسبه گردید و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای تکمیل تحقیق تعداد 28 آزمون مکعبی بتنی دیگر نیز در 4 گروه با نسبت‌هایی که در جدول 2 آورده شده، تهیه شد. در این بخش از پژوهش جهت پر کردن فضای خالی مابین سنگدانه‌های درشت از خمیر سیمان با همان



شکل 5: آزمون‌های نمونه A

جدول 3: نام آزمون‌ها، تعداد آزمون‌ها، ویژگی سنگ دانه همسان (میلی متر) و نسبت آب به سیمان (در تحقیق تکمیلی)

نام نمونه	تعداد آزمون	ویژگی سنگ دانه همسان (میلی متر)	نسبت آب به سیمان	مقدار سنگدانه (کیلوگرم بر متر مکعب)
A	7	قطر 22.4 تا 25	0.457	1800
B	7	قطر 19 تا 22.4	0.457	1800
C	7	قطر 16 تا 19	0.457	1800
D	7	قطر 12.5 تا 16	0.457	1800

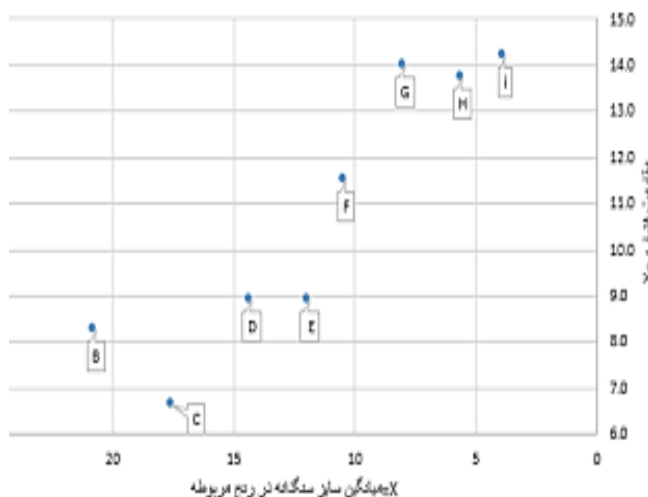
آزمون، طول آزمون در جهت X، طول آزمون در جهت Y و نیروی گسیختگی نمونه‌های Bt، Ct، Dt، E، F، G، H، i، و k مطابق جدول 6 اندازه گرفته شد تا تنش فشاری که برابر با مقاومت فشاری است بدست آید. میانگین مقاومت بدست آمده برای هر 9 نمونه فوق در نمودار 1 ترسیم شده است.

یافته‌های بخش اول

9 نمونه (53 آزمون) پس از 48 ساعت، بعد از خروج از حوضچه و از بین رفتن رطوبت داخل آزمون‌ها، وزن هر

تأثیر همسانی سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن

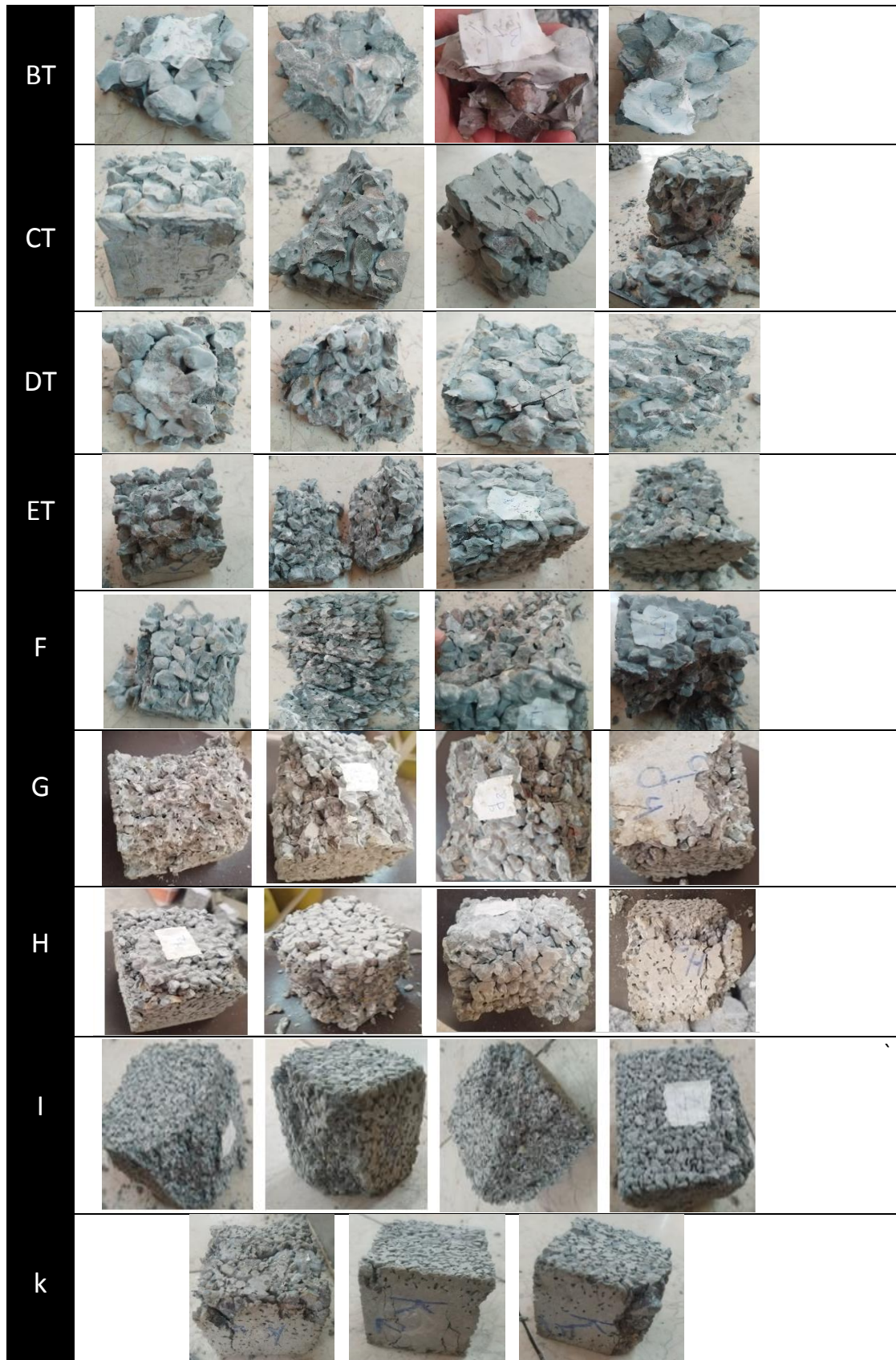
نام نمونه	میانگین سائز سنگدانه در رنج مربوطه	مقاومت فشاری مورد قبول
B	20.7	8.3
C	17.5	6.6
D	14.25	8.9
E	11.85	8.9
F	10.355	11.5
G	7.93	14.0
H	5.55	13.7
i	3.775	14.2
k	13.5	19.1



نمودار 1: مقاومت فشاری مورد قبول و میانگین سائز سنگدانه‌های هر نمونه

جدول 3: مقاومت فشاری آزمونه‌های نمونه‌های H, G, F, E, Dt, Ct, Bt, i و k

مقاومت فشاری (Mpa)	مساحت سطح بارگذاری (m ²)	نیروی گسیختگی (N)	نیروی گسیختگی (Ton)	طول در جهت Z	طول در جهت y	طول در جهت X	وزن نمونه (g)	نام نمونه
6/150578544	0/0103	63350/959	6/46	10/2	10	10/3	1939/5	BT11
7/159806602	0/0103	73746/008	7/52	10/7	10	10/3	1996/8	BT12
11/48501584	0/010605	121798/593	12/42	10/7	10/1	10/5	1968/8	BT13
5/15	0/01	51681/05	5/27	10/22	9/92	10/12	1863/1	CT12
7/10	0/01	77962/87	7/95	10/5	10/5	10/46	2011/5	CT11
5/92	0/01	59526/37	6/07	10/5	9/96	10/1	1942/8	CT13
7/12	0/01	78551/27	8/01	10/1	10/5	10/5	2013/6	CT21
6/85	0/01	70117/55	7/15	10/2	10/1	10/14	2091/9	CT22
7/556494007	0/0106288	80316/4635	8/19	10/56	10/22	10/4	2067/6	DT11
8/902451195	0/010542	93849/6405	9/57	10/5	10/04	10/5	2003/2	DT12
10/29591484	0/010563	108755/7485	11/09	10/44	10/06	10/5	2075/6	DT13
9/350832377	0/0103721	96987/7685	9/89	10/1	10/07	10/3	1982/5	E1
10/69631015	0/01035096	110717/0785	11/29	10/3	10/03	10/32	2012/1	E2
8/650850581	0/0102818	88946/3155	9/07	10/6	10/1	10/18	2080/2	E3
7/672526956	0/010647	81689/3945	8/33	10/48	10/14	10/5	2027/6	E4
8/761005486	0/01033162	90515/3795	9/23	10/3	10/06	10/27	2010/5	E5
8/175865372	0/0102794	84042/9905	8/57	10/5	9/98	10/3	1934/5	E6
10/13891791	0/01033	104735/022	10/68	10/1	10	10/33	1965	E7
9/651625443	0/01048576	101204/628	10/32	10/26	10/24	10/24	2080/6	ET
11/7908749	0/01028	121210/194	12/36	10/4	10	10/28	2095/5	ET2
13/80582084	0/01002982	138469/898	14/12	10/37	9/97	10/06	2062/7	F1
12/00403048	0/01022	122681/1915	12/51	10/22	10	10/22	1990/4	F2
	0/00999996	77668/668	7/92	10/3	9/98	10/02	1949/8	F3
9/051688477	0/01044403	94536/106	9/64	10/34	10/31	10/13	2037/6	F4
11/77127028	0/0103721	122092/7925	12/45	10/44	10/07	10/3	2011	F5
8/345338357	0/0100589	83944/924	8/56	10/22	9/7	10/37	1957/1	F6
10/76825833	0/0102818	110717/0785	11/29	10/32	10/1	10/18	1981/4	F7
13/01369808	0/01012036	131703/3095	13/43	10/25	10/06	10/06	2154/8	G1
16/26561041	0/01037	168674/38	17/2	10/4	10	10/37	2163/4	G2
13/20549824	0/0103224	136312/435	13/9	10/48	10/12	10/2	2126/8	G3
16/32327622	0/01032135	168478/247	17/18	10/3	10/05	10/27	2139/7	G4
15/53074541	0/0104755	162692/3235	16/59	10/5	10/25	10/22	2116	G5
14/22451703	0/0103206	146805/5505	14/97	10/3	10/02	10/3	2080/9	G6
12/52806699	0/01027	128663/248	13/12	10/45	10	10/27	2138/1	G7
	0/01020096	186032/1505	18/97	10/3	10/08	10/12	2105/6	H1
13/76294901	0/01045296	143863/5555	14/67	10/47	10/08	10/37	2140/8	H2
12/56736364	0/0102691	129055/514	13/16	10/36	9/97	10/3	2063/6	H3
14/74221727	0/01064999	157004/4665	16/01	10/42	10/37	10/27	2044	H4
13/77076233	0/010504	144648/0875	14/75	10/5	10/1	10/4	2129/5	H5
13/92566278	0/01048575	146021/0185	14/89	10/13	10/25	10/23	2122/5	H6
13/54914302	0/010712	145138/42	14/8	10/4	10/4	10/3	2051	H7
12/27671586	0/01046429	128467/115	13/1	10/28	10/13	10/33	1970/2	i1
14/10100958	0/01034145	145824/8855	14/87	10/36	10/05	10/29	1990/2	i2
14/5031327	0/01064975	154454/7375	15/75	10/4	10/25	10/39	1994/7	i3
14/71667709	0/0105352	155043/1365	15/81	10/9	10/13	10/4	2026/9	i4
	0/01065816	104735/022	10/68	10/37	10/17	10/48	2006/1	i5
13/4404657	0/01060891	142588/691	14/54	10/3	10/27	10/33	2028/7	i6
11/34038253	0/010403	117973/9995	12/03	10/3	10/1	10/3	2006/6	i7
19/8257265	0/01050621	208293/246	21/24	10/2	10/23	10/27	2158/3	k1
22/23061005	0/0099696	221630/29	22/6	10/17	9/92	10/05	2168/7	k2
19/70620615	0/01025144	202016/99	20/6	10/1	10/16	10/09	2197/1	k3
18/511061	0/01015044	187895/414	19/16	10/1	10/11	10/04	2203/5	k4
18/50648606	0/0104232	192896/8055	19/67	10/1	10/32	10/1	2177/4	k5
18/60426019	0/01036315	192798/739	19/66	10/24	10/15	10/21	2183/8	k6
19/63167695	0/01016048	199467/261	20/34	10/22	10/04	10/12	2142/9	k7



شکل 6 : تصاویر نمونه‌های تست شده

در شکل 7، بر روی نمودارها مقادیر تنش آزمونه‌های هر نمونه مورد بررسی و مقدار میانگین مقاومت فشاری آنها مشخص شده است



شکل 7: نمودار مقادیر تنش آزمونه‌های هر نمونه

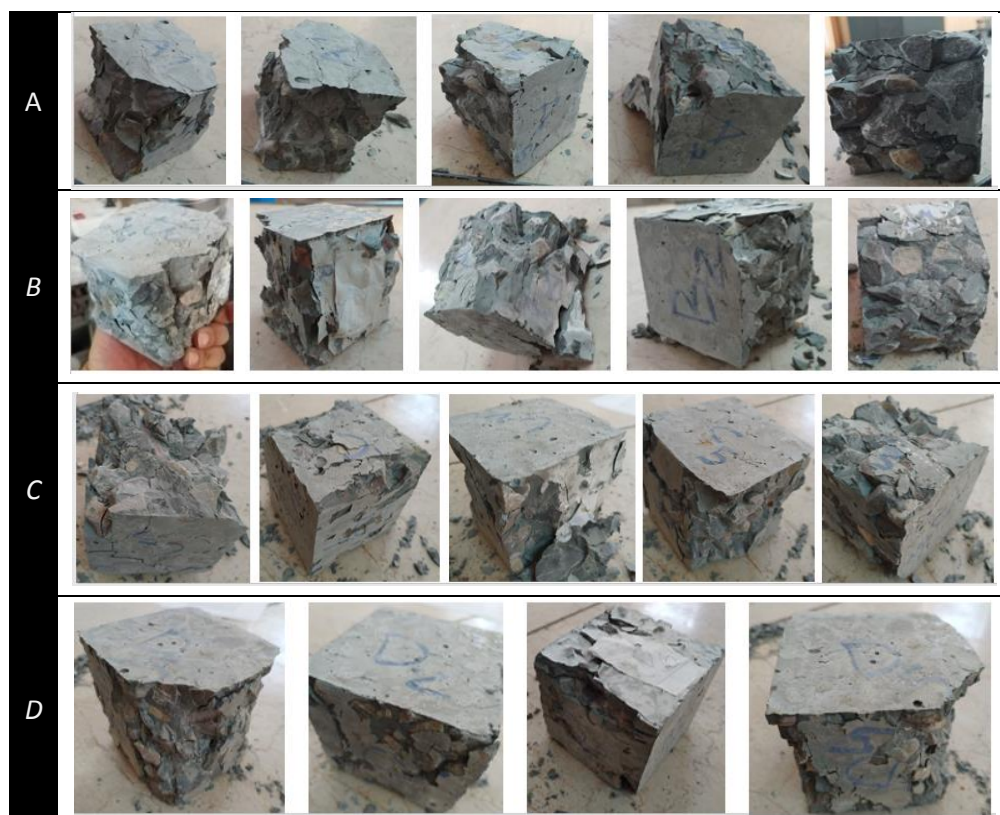
جهت Y و نیروی گسیختگی نمونه های A,B,C,D مطابق جدول 4 در نظر گرفته شد تا تنش فشاری که برابر با مقاومت فشاری است بدست آید. تصاویر نمونه های تست شده و نتایج حاصل از بررسی مقاومت فشاری نمونه ها (در جدول 6 و شکل 8) آورده شده است.

یافته‌ها در تحقیق تکمیلی

بعد از خروج آزمونه‌ها از حوضچه و قرار دادن آنها در محیط اتاق، پس 48 ساعت و از بین رفتن رطوبت داخل آزمونه‌ها، وزن هر آزمونه، طول آزمونه در جهت X، طول آزمونه در

جدول 6: مقاومت فشاری آزمونه‌های نمونه تحقیق تکمیلی

نام نمونه	وزن نمونه (gr)	طول در جهت X	طول در جهت Y	طول در جهت Z	نیروی گسیختگی (Ton)	نیروی گسیختگی (N)	مساحت سطح بارگذاری (m ²)	مقاومت فشاری (Mpa)
A1	2301	9/6	10	10/2	28/62	280666/323	0/0096	29/23607531
A2	2357/1	10/1	10/1	10/1	25/24	247519/846	0/010201	24/26427272
A3	2360	9/8	10/1	10/1	23/77	233104/0705	0/009898	
A4	2347/9	9/9	10/2	10	33/8	331464/77	0/010098	32/82479402
A5	2397/6	10	10/4	10	33/95	332935/7675	0/0104	32/01305457
A6	2414/7	9/7	10/3	10/1	22/94	224964/551	0/009991	
A7	2455/4	10/1	10/4	10	35/38	346959/277	0/010504	33/03115737
B1	2420/5	10	10/2	10	31/83	312145/6695	0/0102	30/60251662
B2	2389/4	10	10/4	10	31/46	308517/209	0/0104	29/66511625
B3	2448/3	10/1	10/2	10/1	31/39	307830/7435	0/010302	29/88067788
B4	2419/4	9/8	10	10/5	31/12	305182/948	0/0098	31/14111714
B5	2404/6	10/1	10/1	10	29/8	292238/17	0/010201	28/64799235
B6	2393/5	9/9	10/2	10	33/58	329307/307	0/010098	32/61114151
B7	240/1	10/2	10	10/1	27/76	272232/604	0/0102	26/68947098
C1	2373/7	9/96	10/24	10	28/29	277430/1285	0/01019904	27/20159236
C2	2417/1	10/1	10/34	10/07	30/91	303123/5515	0/0104434	29/02537023
C3	2336	10/2	10/1	9/96	28/51	279587/5915	0/010302	27/13915662
C4	2416/4	10/2	10/1	10/2	31/01	304104/2165	0/010302	29/51894938
C5	2431	10/16	10	10	32/11	314891/5315	0/01016	30/99326097
C6	2436/4	10	10/09	9/94	33/37	327247/9105	0/01009	32/432895
C7	2491/6	10/08	10/53	10/04	34/39	337250/6935	0/01061424	31/77341887
D1	2365/6	9/9	10/54	9/87	29/55	289786/5075	0/0104346	27/77169297
D2	2434/6	9/95	10/12	10	26/34	258307/161	0/0100694	25/65268646
D3	2358/2	10/08	10/1	10/14	29/85	292728/5025	0/0101808	28/75299608
D4	2381/3	10/1	10/01	10/14	31/83	312145/6695	0/0101101	30/87463719
D5	2410/1	9/73	10/34	9/78	28/37	278214/6605	0/01006082	27/65327881
D6	2432/3	9/86	10/14	9/81	25/53	250363/7745	0/00999804	25/04128554
D7	2400	10/1	9/9	10/08	32/23	316068/3295	0/009999	31/60999395

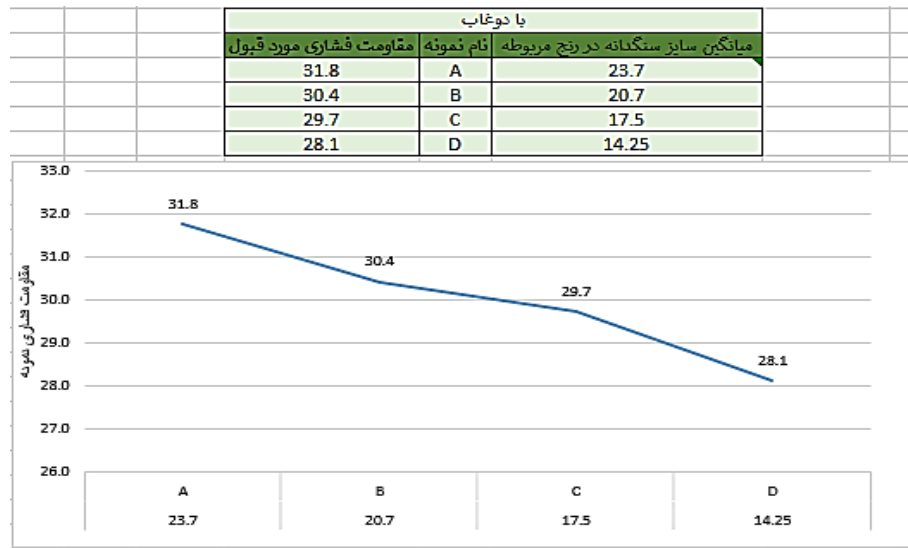


شکل 8: تصاویر آزمون‌های تست شده در تحقیق تکمیلی

اختلاف زیاد در مقدار مقاومت فشاری، از مقدار آنها برای میانگین صرف نظر شد.

میانگین مقاومت بدست آمده برای هر چهار نمونه فوق در نمودار 2 ترسیم شده است.

سپس اقدام به میانگین‌گیری با واریانس 10 درصد از میانگین مقاومت فشاری گردید، آزمون‌هایی که در این رنج (10 درصد واریانس میانگین نمونه) بودند مورد تایید قرار گرفتند. در نمونه A (آزمون‌های 3 و 6) با توجه به مشاهده



نمودار 2: مقاومت فشاری مورد قبول و میانگین سایز سنگدانه‌های هر نمونه در تحقیق تکمیلی

در شکل 9، بر روی نمودارها مقادیر تنش آزمون‌ها مورد بررسی و مقدار میانگین مقاومت آنها در تحقیق تکمیلی مشخص شده است.



نمودار 9: نمودار مقادیر تنش آزمون‌های هر نمونه در تحقیق تکمیلی

نتایج نشان داد که بیشترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌ی k یا شاهد است و پس از آن به ترتیب نمونه‌های i ,

بحث و نتیجه گیری تحقیق اولیه

56.8 و 65.35 درصد مقاومت فشاری کمتری نسبت به نمونه‌ی k از خود نشان دادند.

G, H, F, Dt, E, Bt و Ct دارای بیشترین مقاومت فشاری هستند. نمونه‌های G, H, F, Dt, E, Bt و Ct به ترتیب 26.85، 28.28، 39.82، 53.38، 53.38، 53.38.

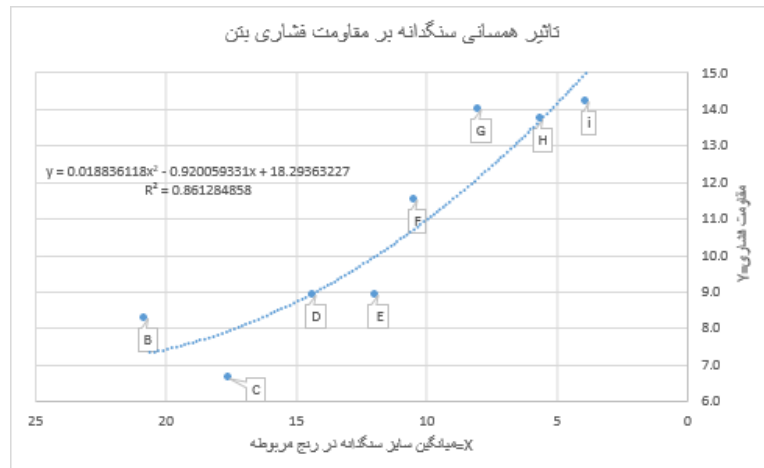
جدول 7 : درصد کاهش مقاومت فشاری هر نمونه نسبت به نمونه‌هایی که از خود مقاومت بیشتری نشان داده‌اند

نام نمونه	مقاومت فشاری	کاهش مقاومت نسبت به شاهد	کاهش مقاومت نسبت به نمونه a	کاهش مقاومت نسبت به نمونه g	کاهش مقاومت نسبت به نمونه h	کاهش مقاومت نسبت به نمونه f	کاهش مقاومت نسبت به نمونه dt	کاهش مقاومت نسبت به نمونه e
Ct	6.6	65.35	53.28	52.62	51.68	42.42	25.66	25.66
Bt	8.3	56.80	41.75	40.94	39.76	28.22	7.32	7.32
E	8.9	53.38	37.15	36.27	35.00	22.55	0.00	-
Dt	8.9	53.38	37.15	36.27	35.00	22.55	-	-
F	11.5	39.81	18.85	17.72	16.07	-	-	-
H	13.7	28.29	3.31	1.96	-	-	-	-
G	14.0	26.85	1.38	-	-	-	-	-
i	14.2	25.83	-	-	-	-	-	-
k	19.1	-	-	-	-	-	-	-

سنگدانه در رنج مربوطه و Y ، مقدار مقاومت فشاری نمونه است.

پس از ترسیم نمودار، رابطه‌ی مابین قطر سنگدانه و مقاومت فشاری، بصورت زیر حاصل گردید. مقادیر X ، میانگین قطر

نمودار 3: رابطه‌ی مابین قطر سنگدانه و مقاومت فشاری بتن



شاهد K) استفاده شده، می‌گردد. چنانچه با کاهش قطر سنگدانه‌های همسان، افزایش مقاومت فشاری در بتن اتفاق می‌افتد.

نتایج بررسی‌ها نشان داد که استفاده از سنگدانه‌های همسان (دارای خواص یکسان و قطر نزدیک به هم) سبب کاهش مقاومت فشاری بتن نسبت به حالتی که از طیف گسترده‌ای از قطر سنگدانه‌ها شن و ماسه (همانند نمونه

بحث و نتیجه گیری در تحقیق تکمیلی

نمونه‌های B ، C و D مقادیر 4.25، 4.45 و 11.44 درصد کاهش مقاومت نسبت به نمونه A دارند.

در بررسی نمونه‌های دسته اول نتایج نشان داد بیشترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه A بود و به ترتیب سایر

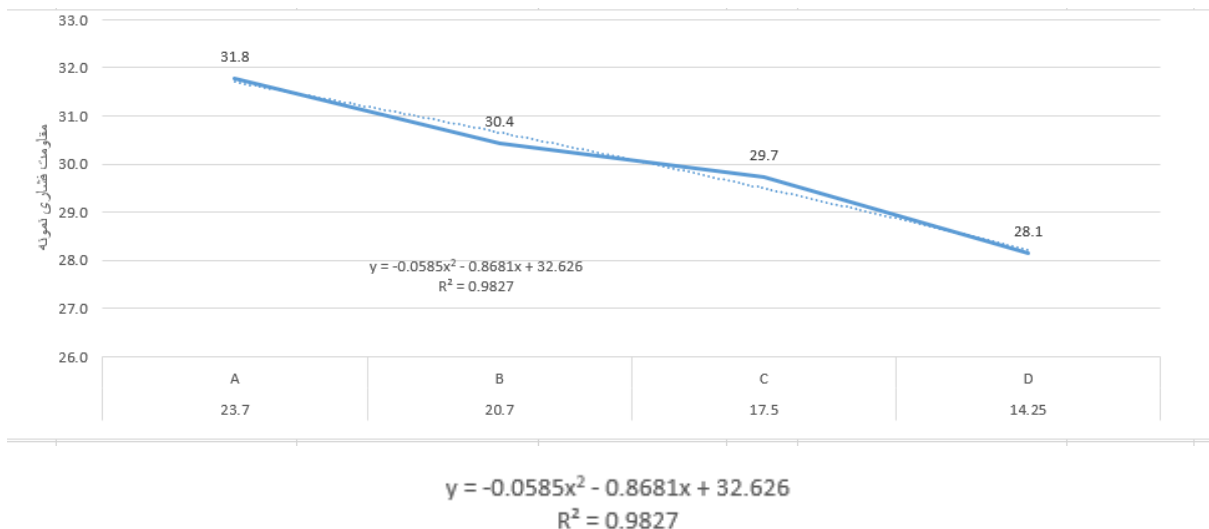
جدول 8: درصد کاهش مقاومت فشاری هر نمونه نسبت به نمونه‌هایی که از خود مقاومت بیشتری نشان داده‌اند

نام نمونه	مقاومت فشاری مورد قبول	کاهش مقاومت نسبت به نمونه A	کاهش مقاومت نسبت به نمونه B	کاهش مقاومت نسبت به نمونه C
A	31.8	-	-	-
B	30.4	4.25	-	-
C	29.7	6.45	2.30	-
D	28.1	11.44	7.51	5.33

گرفت. مقادیر X ، میانگین قطر سنگدانه در رنج مربوطه و Y ، مقدار مقاومت فشاری نمونه است.

پس از ترسیم نمودار، رابطه‌ی مابین قطر سنگدانه و مقاومت فشاری، بصورت زیر برای تحقیق تکمیلی مورد بررسی قرار

نمودار 4: رابطه‌ی مابین قطر سنگدانه و مقاومت فشاری بتن در تحقیق تکمیلی



با افزایش قطر سنگدانه‌های همسان، در حالتی که خمیر سیمان مازاد در طرح اختلاط به بتن اضافه شود مقاومت فشاری بتن افزایش پیدا می‌کند.

در حالتی که خمیر سیمان به بتن به جهت پر کردن فضای خالی بین سنگدانه‌های همسان اضافه شده است افزایش مقاومت فشاری در بتن اتفاق می‌افتد. همچنین

نتیجه گیری

را نشان می‌دهند و هر آنچه قطر سنگدانه‌ها افزایش پیدا کند مقاومت فشاری کاهش پیدا می‌کند.

همانطور که مشاهده شد پژوهشگران قبلی با استفاده از سنگدانه ریز در کنار سنگدانه درشت به این نتیجه رسیدند که با افزایش قطر سنگدانه‌های درشت مقاومت فشاری افزایش پیدا می‌کند. در پژوهش جدید مشاهده شد در صورت استفاده از سنگدانه همسان به جای طیف گسترده‌ای از سنگدانه ریز و درشت، هر آنچه قطر سنگدانه همسان افزایش پیدا کند مقاومت فشاری کاهش می‌یابد اما در حالتی که از خمیر سیمان مازاد بر طرح اختلاط در کنار سنگدانه‌های همسان استفاده شود با افزایش قطر سنگدانه مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.

در پژوهش جدید مشاهده شد که اگر فضای خالی بین سنگدانه‌ها را با خمیر سیمان پر کنیم میانگین مقاومت فشاری حدود 330 تا 450 درصد افزایش پیدا می‌کند (جدول 9). در حالتی که فضای خالی بین سنگدانه‌ها با خمیر سیمان مازاد بر طرح اختلاط پر نشده باشد اتصال سنگدانه‌ها بصورت نقطه به نقطه بوده و چون سطح اتصال سنگدانه‌ها به یکدیگر کم می‌باشد در هنگام بارگذاری تنش در این نقاط افزایش پیدا کرده و در همان محل اتصال سنگدانه‌ها، جداشدگی سنگدانه‌ها رخ می‌دهد و همان طور که در تصاویر عکسهای نمونه‌های پس از شکست (شکل 5) مشاهده می‌شود کمترین آسیب به سنگدانه‌ها وارد شده و محل گسیختگی بتن در ناحیه‌ی انتقالی است. ضعیفترین فاز در بتن فاز ناحیه‌ی انتقالی است [13,14].

در پژوهش آقای صدیق مداح و همکاران بیان شد که بیشترین مقاومت فشاری را آن نمونه‌هایی دارند که بزرگترین قطر سنگدانه 25 میلی‌متر است البته آن پژوهشگران از طیف گسترده‌ای از سنگدانه ریز و درشت استفاده کرده بودند [24]. در پژوهش جدید مشاهده شد که در صورتی که از سنگدانه همسان با خمیر سیمان مازاد بر طرح اختلاط، به جای طیف گسترده‌ای از سنگدانه درشت و ریز استفاده شود، نمونه‌های با سنگدانه درشت 25 میلی‌متر بیشترین مقاومت فشاری را از خود نشان می‌دهند اما در حالتی که از خمیر سیمان مازاد بر طرح اختلاط در کنار سنگدانه همسان استفاده نشود ریزدانه‌ها بیشترین مقاومت را نشان می‌دهند. در پژوهش دیگری محققین دریافتند که بتن ساخته شده با بزرگترین قطر سنگدانه‌ی 20 تا 28 میلی‌متر در کنار استفاده از ریزدانه‌ها، بیشترین مقاومت را از خود نشان می‌دهد و پس از آن بتن ساخته شده با بزرگترین قطر سنگدانه‌ی 13.2 تا 19 میلی‌متر در کنار استفاده از ریزدانه‌ها و بتن ساخته شده با بزرگترین قطر سنگدانه‌ی 3.35 تا 10 میلی‌متر مقاومت فشاری بیشتری را از خود نشان می‌دهند [8]. در پژوهش جدید مشاهده شد که در صورتی که از سنگدانه همسان با خمیر سیمان مازاد بر طرح اختلاط، به جای طیف گسترده‌ای از سنگدانه درشت و ریز استفاده شود، نمونه‌های با سنگدانه درشت 25 میلی‌متر بیشترین مقاومت فشاری را از خود نشان می‌دهند و هر آنچه قطر سنگدانه کاهش پیدا کند مقاومت فشاری نیز کاهش پیدا خواهد کرد اما در حالتی که از خمیر سیمان مازاد بر طرح اختلاط در کنار سنگدانه همسان استفاده نشود ریزدانه‌ها بیشترین مقاومت

جدول 9: درصد افزایش مقاومت فشاری با اضافه کردن خمیر سیمان مازاد به بتن

نام نمونه	قطر سنگدانه همسان	میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های بدون خمیر سیمان	میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های با خمیر سیمان	درصد افزایش مقاومت فشاری
A	22.4 تا 25	-	31.8	-
B	19 تا 22.4	8.3	30.4	366.2
C	16 تا 19	6.6	29.7	450
D	12.5 تا 16	8.9	28.1	333.7

منابع

- [1] B. Chen, J. Liu, Effect of aggregate on the fracture behaviour of high strength concrete, *Constr. Build. Mater.* 18 (2004) 585–590.
- [2] Abdullahi, M. (2012) Effect of aggregate type on Compressive strength of concrete. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 2(3), 791-800.
- [3] Musa M.F. and bin Saim A.A. The Effect of Aggregate Size on The Strength of Concrete. *The Colloquium* 10 (2017) pp.9-11.
- [4] Sengul Ö, Tasdemir C, Tasdemir MA. Influence of aggregate type on mechanical behaviour of normal and high-strength concretes. *ACI Mater J* 2002;99(6): 528–33.
- [5] Sneka, S., Nirmala, M. and Dhanalakshmi, G. (2018) Size Effect of Aggregate in the Mechanical Properties of Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 2093-2096.
- [6] Musa, M. F. and Saim, A. A. (2017) The Effect of Aggregate Size on The Strength of Concrete. *The Colloquium*, 10, 9-11.
- [7] Ajamu, S. O. and Ige, J. A. (2015) Effect of Coarse Aggregate Size on the Compressive Strength and the Flexural Strength of Concrete Beam. *Journal of Engineering Research and Applications*
- [8] Akanu-Ibiam N. Essienubong A.2021. Experimental study on the effect of different coarse aggregate sizes on the strength of concrete. *International Journal of Engineering and Innovative Research*.
- [9] Bamigboye, G. O., Ede, A. N., Egwuatu, C. and Jolayemi, J. (2015) Assessment of Compressive Strength of Concrete Produced from Different Brands of Portland Cement. *Civil and Environmental Research*, 7(8), 31- 38.
- [10] Nemati KM, Monteiro PJM, Scrivener KL. Analysis of compressive stressinduced cracks in concrete. *ACI Mater J* 1998;95(5):617–30.
- [11] Kamaruddin, M. (1995). *Pengenalan Kekuatan dan Ketahanan lasakan Konkrit*. Malaysia: DBP.
- [12] Kamarul Badlishah, K.E. (2000). *Kesan Pengawetan Stim Terhadap Kekuatan Konkrit*. 12 (USM).
- [13] Goble CF, Cohen MD. Influence of aggregate surface area on mechanical properties of mortar. *ACI Mater J* 1999;96(6):657–62.
- [14] Neville AM, Brooks J. *Concrete technology*. England: Longman; 1993
- [15] Zhou FP, Lydon FD, Barr BIG. Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high-performance concrete. *Cem Concr Res* 1995;25(1):177–86.

- [16] Arum C. and Olotuah A.O. Making of Strong and Durable Concrete. Emirates Journal for Engineering Research, 11 (1), 2006, pp 25-31.
- [16] Blackledge, G.F., 1975. Testing Aggregates. Man on the job, Cement and Concrete Association, Wexham Springs pp. 10
- [17] Neetu and Rabbani A. Influence of size of aggregates on the Compressive strength of concrete. International Journal of Engineering Development and Research. 5(3), 2017, pp 27-30.
- [18] Yaqub, M. and I. Bukhari. Effect of size of coarse aggregate on compressive of high strength concrete. 31st Conference on Our World in Concrete & Structures. 16 – 17 August 2006, Singapore.
- [19] Woode A., Amoah D.K, Aguba I.A., P. Ballow. The Effect of Maximum Coarse Aggregate Size on the Compressive Strength of Concrete Produced in Ghana. Civil and Environmental Research, Vol.7, No.5, Pp 12-7.
- [20] Woode A., Amoah D.K, Aguba I.A., P. Ballow. The Effect of Maximum Coarse Aggregate Size on the Compressive Strength of Concrete Produced in Ghana. Civil and Environmental Research, Vol.7, No.5, Pp 7-12
- [21] Goble CF, Cohen MD. Influence of aggregate surface area on mechanical properties of mortar. ACI Mater J 1999;96(6):657–62.
- [22] Aitcin PC, Mehta PK. Effect of coarse aggregate characteristics on mechanical properties of high-strength concrete. ACI Mater J 1990;87(2):103–7.
- [23] Cetin A, Carrasquillo RL. High-performance concrete: influence of coarse aggregates on mechanical properties. ACI Mater J 1998;95(3):252–61.
- [24] . Seddik Meddah M. Zitouni S. Belâabes S. 2010. Effect of content and particle size distribution of coarse aggregate on the compressive strength of concrete. Construction and Building Materials
- [25] . Abd Hamid A. Abas F. 2015. A study on effects of size coarse aggregate in concrete strength. Corresponding author nfaisal.
- استاندارد ملی شماره 4198، سنگدانه‌های بتن، واژه نامه [26]