



بررسی مقاومت نمونه های مکعب بتنی با اندازه های متفاوت در سرعت های متفاوت بارگذاری

حمیدرضا تدین فر^{۱*}، مهدیه معیری^۲

۱- عضو هیئت علمی موسسه غیرانتفاعی بیهق سبزوار

۲- دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه حکیم سبزواری

خلاصه

بتن یکی از پرکاربردترین مصالح موجود در صنعت ساخت و ساز می باشد؛ که مقاومت فشاری بتن به عنوان اساسی ترین مشخصه ماده در طراحی سازه های بتن آرمه بکار می رود. در این پژوهش آزمایشگاهی تاثیر سرعت بارگذاری و تاثیر اندازه نمونه ها بر مقاومت فشاری بتن بصورت تجربی آماری مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور بر اساس یک طرح اختلاط ثابت اقدام به تهیه ۹ نمونه مکعبی با ابعاد $5 \times 5 \times 5$ ، $10 \times 10 \times 10$ و $15 \times 15 \times 15$ سانتی متر و با مقاومت 35 مگاپاسگال شد که تمامی نمونه ها بصورت ۷ روزه عمل آوری شدند و در نهایت توسط دستگاه جک فشاری بتن با نرخ های بارگذاری ۱، ۲ و ۴ مگا پاسکال بر ثانیه آزمایش شدند که با کاهش سرعت بارگذاری، کاهش مقاومت فشاری در نمونه های کوچکتر از مکعب استاندارد کمتر، مشاهده شد.

کلمات کلیدی: سرعت بارگذاری بتن، اندازه نمونه ها، مقاومت فشاری، پدیده خستگی.

۱. مقدمه

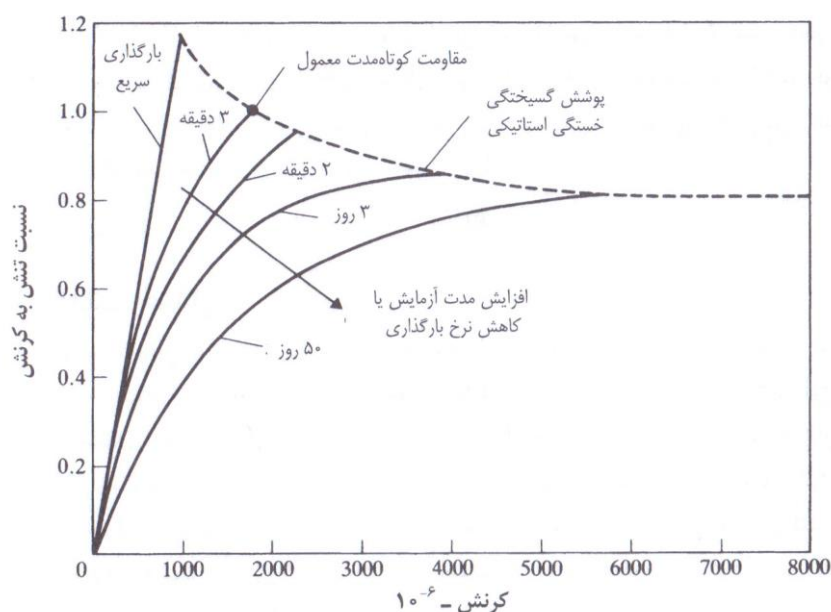
تمامی مواد دارای ویژگی ذاتی ماده می باشند. این ویژگی های ذاتی، هنگامی که مستقل از اندازه نمونه باشد، بصورت منحصر به فرد در نظر گرفته می شود. هر چند عقیده رایجی که مقاومت فشاری بتن را یک ویژگی منحصر به فرد می داند، اشتباه است چرا که مقاومت فشاری بسته به اندازه نمونه ها و سرعت بارگذاری آنها به علت ویژگی های شکست آن متفاوت است. مقاومت فشاری نمونه های بتنی از طریق آزمایش فشاری تک محوری تعیین می شود. که بار به تدریج افزایش می یابد تا نمونه ظرف مدت ۲ تا ۳ دقیقه بشکند. در عمل اغلب اعضای بتنی تحت بار مرده به مدت نامعین و گاه تحت بارهای تکراری و ضربه ای قرار می گیرند بنابراین جالب آن است که ارتباط بین مقاومت بتن تحت شرایط نمونه های آزمایشگاهی و تحت شرایط بارگذاری واقعی مشخص گردد. بنابراین شرایط بارگذاری تاثیر مهمی بر مقاومت فشاری بتن دارد. مقاومت فشاری تابع نسبت آب به سیمان و درجه هیدراتاسیون سیمان می باشد. در یک دمای هیدراتاسیون معین، درجه هیدراتاسیون و مقاومت تابعی از زمان هستند. به طور کلی در تمام منابع و مراجع از تاثیر نسبت آب به سیمان با مقاومت بحث شده است اما درخصوص شرایط بارگذاری کمتر به آن پرداخته شده است لذا این پژوهش به این موضوع می پردازد. [۱]

* Email: Tadayonfar@gmail.com



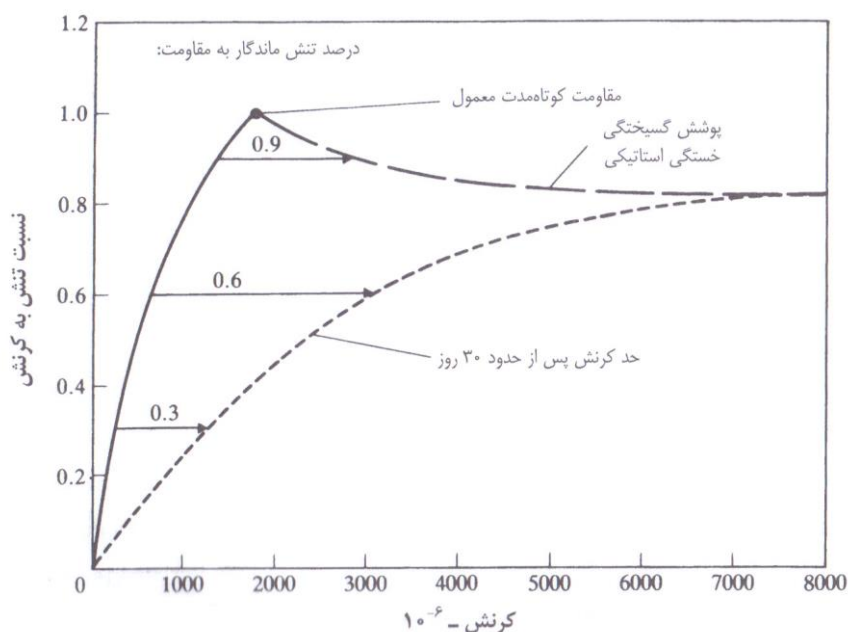
در این زمینه تلاش‌های مختلفی توسط محققان صورت گرفته است. (Murdock&Kesler (1957 اظهار داشته اند که تغییرات مقاومت بر اثر شکل و اندازه در بتن‌هایی با مقاومت بالا کمتر از تغییرات برای بتن با مقاومت پایین می باشد. (Mansur&Islam (2002 و همچنین (Burtscher&Kollager (2004 نیز اظهار داشتند که با افزایش اندازه نمونه‌ها مقاومت آن کاهش می‌یابد. [۲]

تمامی مشخصات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مصالح بکار برده شده، طرح اختلاط و نحوه اختلاط، مدت زمان و نحوه عمل‌آوری، شرایط محیطی در عملکرد بتن تأثیر بسزایی دارد؛ که در ادامه اقدام به بررسی برخی از عوامل شده است. سرعت بارگذاری و اندازه‌ی نمونه‌ها از عوامل مؤثر در افزایش مقاومت فشاری بتن می‌باشد. در روش استاندارد، مقاومت فشاری در یک آزمایش کوتاه مدت یعنی ۲ تا ۴ دقیقه‌ای تعیین می‌شود. مدت آزمایش از این جهت که مقاومت به نرخ بارگذاری بستگی دارد، مهم است. به این دلیل هردو استاندارد BS EN 12390-3:2002 و ASTM C 39-05 نرخ‌های ثابت بارگذاری را برای تعیین مقاومت فشاری مشخص کرده‌اند. در شکل ۱، اعمال تدریجی بار تصاعدی با کاهش نرخ بارگذاری (افزایش مدت زمان آزمایش)، منجر به مقاومت‌های ثابت شده کمتری نسبت به حالت آزمایش استاندارد می‌شود. از طرف دیگر، در صورتی که بار بسیار سریع اعمال شود، مقاومت بالاتری ثبت شده و مقدار کرنش در لحظه شکست (ظرفیت کرنش) کوچک خواهد بود. در نتیجه، بتن در نرخ‌های سریع بارگذاری، ماهیت شکنندگی بیشتری را نسبت به نرخ‌های پایین‌تر بارگذاری در هنگام خزش نشان می‌دهد و ریز ترک خوردگی، ظرفیت کرنش را افزایش می‌دهد و هرچه ابعاد نمونه‌ی مورد نظر کوچک‌تر باشد طبق قانون اثر اندازه مقاومت بیشتری در مقایسه با ابعاد بزرگتر خواهیم داشت. [۲]، [۳]



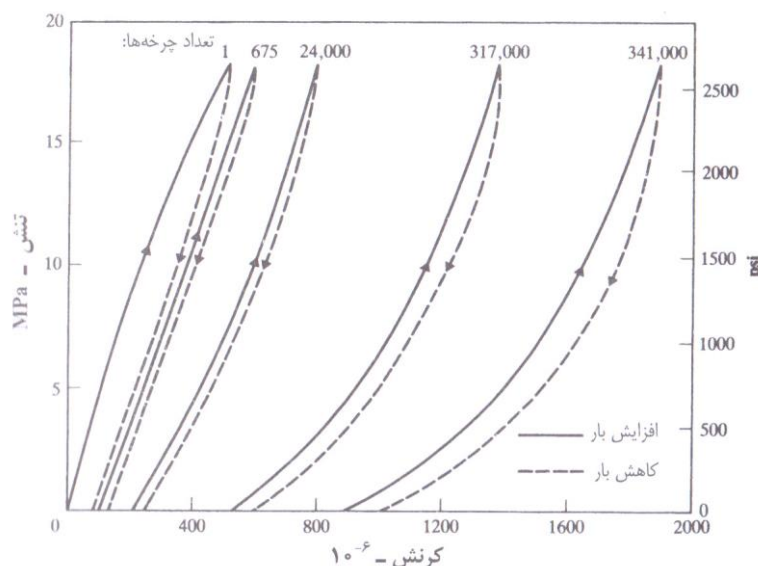
شکل ۱- تأثیر مدت زمان آزمایش (نرخ بارگذاری) بر مقاومت و ظرفیت کرنشی تحت فشار [۴]

پدیده مشابهی تحت بار دائمی اتفاق می‌افتد (شکل ۲). در این حالت، یک بار خاص با نرخ نسبتاً بالا اعمال شده و سپس ثابت نگه داشته می‌شود. بار دائمی بیش از مقدار مرزی حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت کوتاه بوده و نهایتاً منجر به شکست بتن می‌شود. شکست در تنش‌های کمتر از مقدار مرزی رخ نخواهد داد و بتن به خزش ادامه می‌دهد. همچنین شکست استاتیکی تحت کشش در تنش‌های بزرگتر از ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت کوتاه مدت اتفاق خواهد افتاد، اما ظرفیت کرنش کششی بسیار کمتر از حالت تحت فشار خواهد بود. [۳]



شکل ۲- تاثیر تنش دائمی بر مقاومت و ظرفیت کرنشی بتن تحت فشار [۴]

شکل زیر نشان می‌دهد که تحت تاثیر کاهش و افزایش بار با افزایش تعداد چرخه های بار، تغییری در شکل منحنی تنش-کرنش وجود دارد. در ابتدا، تقعر منحنی بارگذاری رو به محور کرنش، سپس مستقیم و در نهایت تقعر رو به محور تنش خواهد بود. اندازه تقعر روبه محور تنش با افزایش کرنش الاستیک و در نتیجه با کاهش مدول الاستیسیته سکانت منعکس می‌گردد. این خصلت میزان قریب الوقوع شکست بتن در اثر خستگی را نشان می‌دهد. [۳]



شکل ۳- رابطه تنش-کرنش بتن تحت بارگذاری فشاری دوره ای [۳]



۲. مواد و روش (ساخت نمونه ها)

همانطور که اشاره شد هدف از این تحقیق بررسی میزان سرعت بارگذاری و اندازه ی نمونه ها بر مقاومت فشاری بتن می باشد برای این منظور بر اساس استاندارد ASTM C39 [۵] اقدام به تهیه ی ۹ نمونه ی بتنی درآزمایشگاه ژرف نگار پای بست در سبزوار شد، مقدار ضریب هم ارز ماسه ای مطابق استاندارد ASTM D2419_95 [۶] برابر ۰/۸۹، ضریب نرمی ماسه برابر ۲/۶٪ و درصد شکستگی مطابق استاندارد ASTM D5821 [۷] برای مصالح با سایز ۱۶-۸ و ۱۶-۳۲ میلی متر به ترتیب برابر ۸۸٪ و ۸۵٪ می باشد؛ که در جدول یک طرح اختلاط نمونه ها و سایر مشخصات مصالح آورده شده است. کلیه ی مصالح به کاربرده شده از نوع شکسته بوده که قبل از استفاده کاملاً شسته و در هنگام تهیه ی بتن کلیه ی سنگدانه ها دارای وضعیت اشباع با سطح خشک می باشد. سیمان مصرفی، سیمان تیپ ۲ کارخانه ی سیمان جوبین مطابق با استاندارد ASTM C150 [۸] می باشد که در جدول (۲) برخی از ویژگی های فیزیکی این مصالح آورده شده است؛ در ادامه به منظور تعیین میزان کارایی از آزمایش اسلامپ مطابق استاندارد ASTM C143 [۹] استفاده می شود. درصد جذب آب شن و ماسه مطابق آزمایش به دست آمده برابر با ۱۱/۶۲ و ۱۳/۰۱ است.

جدول ۱- طرح اختلاط و مشخصات مصالح [۱۵]، [۱۹]

نوع مصالح	وزن (کیلو گرم)	ضریب هم ارزی ماسه	ضریب نرمی ماسه	شکستگی سنگدانه
سیمان	۸/۹	-	-	-
ماسه	۱۰/۱۱	۰/۸۹	۲/۶٪	-
شن (۱۶-۸)	۷/۷۳	-	-	۸۸٪
شن (۳۲-۱۶)	۱۰/۱۱	-	-	۸۵٪
آب مصرفی	۳/۳	-	-	-

جدول ۲- ویژگی های فیزیکی سیمان [۱۰]

سیمان	سطح مخصوص بلین (سانتی متر مربع بر گرم)	وزن مخصوص (گرم بر سانتی متر مکعب)	مقاومت ۲۸ روزه (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	زمان گیرش حداقل (دقیقه)	زمان گیرش حداکثر (دقیقه)
تیپ ۲	۲۸۰۰	۳/۱۵	۳۱۵	۴۵	۳۶۰

۳. عمل آوری نمونه ها

روش های عمل آوری برای افزایش مقاومت بتن، دما و انتقال رطوبتی از داخل به خارج بتن را کنترل می کنند. مطابق استاندارد BS EN 12390-1:2000، نمونه مکعبی در قالب هایی با قابلیت استفاده مجدد ترجیحاً با پایه چفت و بست دار قالب گیری می شود. استاندارد BS EN 12390-2:2000، پرکردن قالب را در لایه های ۵۰ میلی متری مشخص کرده است. تراکم هر لایه با حداقل ۳۵ ضربه (مکعب های ۱۵۰ میلیمتری) یا ۲۵ ضربه (مکعب های ۱۰۰ میلیمتری) و با کمک یک کوبه مربعی فولادی حاصل می شود. سپس نمونه ها تا سن آزمایش تعیین شده در استاندارد BS EN 12390-2:2000 عمل آوری می شوند. قالب نمونه مکعبی تنها ۲۴ ساعت بعد از ساخت باز می شود و نمونه ها تا زمان مشخص برای آزمایش در مخزن نگهداری می شوند. بهترین درجه حرارت جهت عمل آوری بتن دمای ۲۰ درجه سانتی گراد می باشد. چرا که مشاهده شده که افزایش درجه حرارت عمل آوری باعث تسریع واکنش های شیمیایی هیدراتاسیون می گردد. بنابراین بدون اینکه اثرات نامساعدی بر مقاومت بعدی داشته باشد، بر مقاومت اولیه اثر مفید خواهد داشت اما درجه



حرارت زیاد باعث می شود که مقاومت اولیه خیلی بیشتر گردد ولی امکان ندارد بطور نامطلوب بر مقاومت ۷ روزه به بعد اثر بگذارد. [۱۲]

در این بررسی کلیه ی نمونه های مکعبی به مدت ۷ روز درون حوضچه آب آهک اشباع با دمای فوق الذکر عمل آوری شده که به منظور کنترل دمای آب هر روز اقدام به ثبت دما در سطح نمونه های بتنی شده است که در کلیه ی موارد دمای سطح آب همواره در محدوده 20 ± 2 درجه ی سانتی گراد قرار داشته است و این شرایط نگهداری استاندارد سبب مقاومت بالقوه بتن می شود. [۳]، [۱۱]، [۱۷]



شکل ۴- حوضچه عمل آوری نمونه های بتنی در شرایط استاندارد



شکل ۵- نمونه های بتنی مکعبی ساخته شده با ابعاد ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی متر

۴. آزمایش نمونه های بتنی

سرعت بارگذاری بتن همواره بر روی مقاوت فشاری بتن تاثیرگذار می باشد به گونه ای که با افزایش سرعت بارگذاری کمیت عددی مربوط به مقاومت فشاری نیز افزایش می یابد. این اختلاف به دلیل بروز پدیده ی خستگی در بتن می باشد، بطور کلی وقتی در بتن مدت زمان بارگذاری برای اعمال یک بار ثابت افزایش می یابد میزان خستگی در بتن محسوس تر می باشد. [۱۱]

در شکل های ۶ و ۷ برگه های اصالت کالیبراسیون مورد تایید سازمان ملی استاندارد ایران برای جک فشاری بتن با ظرفیت ۲۰۰ تن جهت بارگذاری نمونه ها ارائه شده است. سرعت بارگذاری ۲،۱ و ۴ مگاپاسکال بر ثانیه اختیار گردید. (شکل ۸)



دانشگاه حکیم سبزواری

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



شماره فرم: FLA70

تاریخ بازنگری: 96/03/03

شماره بازنگری: 00

موسسه پژوهشی معیار سازه برتر

Meyar Saze Barta Researching Institute

آزمایشگاه مرجع کالیبراسیون



MEYAR SAZE BARTAR
شماره ثبت ۲۲۳۱

Calibration Date: 97.08.03

Certificate NO: 97-3845-F

Page 1 of 2

CUSTOMER SPECIFICATION

Customer Name

شرکت مهندسین مشاور ژرف نگار پای بست

Address

سبزوار - خیابان پاسداران - خیابان دانش آموز - بین ۴ و ۶

Receipt Date

97.08.03

Issue Date

97.08.26

Due Date(According to customer request)

مشخصات متقاضی

نام متقاضی

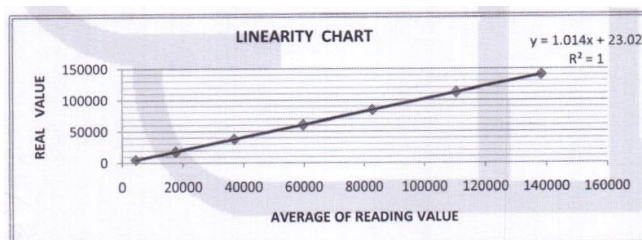
آدرس

تاریخ پذیرش

تاریخ صدور

تاریخ انقضا(بنا به درخواست مشتری)

شکل ۶ - کالیبراسیون جک مقاومت فشاری بتن آزمایشگاه ژرف نگار پای بست



END OF CALIBRATION REPORT

پایان گزارش کالیبراسیون

شکل ۷ - منحنی کالیبراسیون جک مقاومت فشاری بتن آزمایشگاه ژرف نگار پای بست



شکل ۸ - درجه تنظیم نرخ بارگذاری جک فشاری بتن

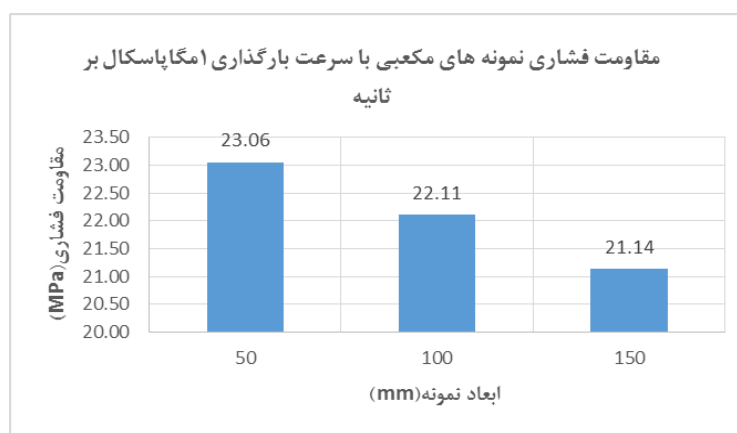


شکل ۹ - بارگذاری نمونه های مکعبی

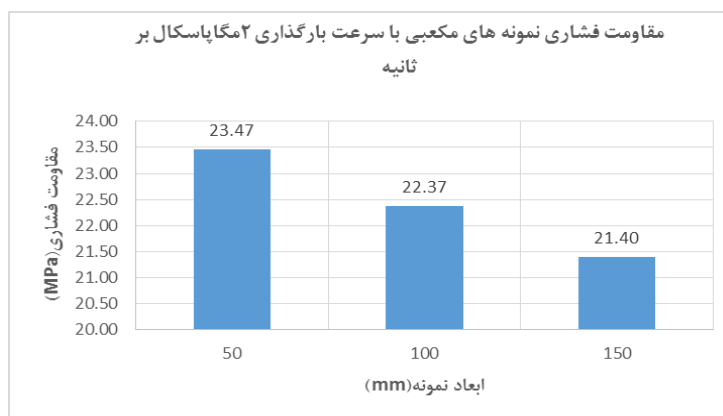


همانطور که در اشکال زیر مشاهده می‌گردد با افزایش اندازه نمونه‌ها در مجموع مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد.

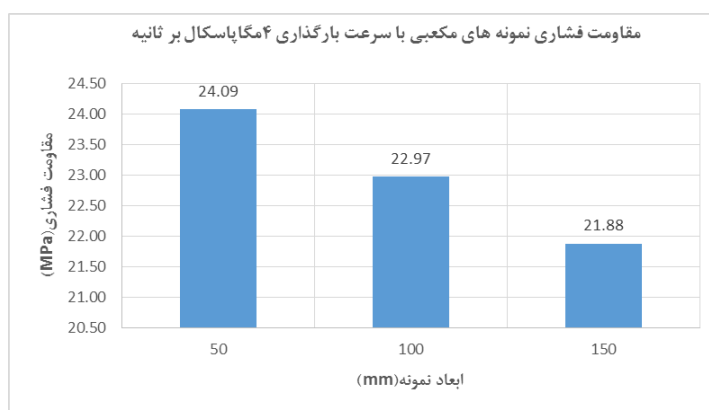
براساس تئوری احتمال با افزایش ابعاد نمونه، احتمال وجود ترک در بتن بالا می‌رود درحالی‌که بتن تحت فشار است ولی گسیختگی آن در اثر کشش بوجود آمده و گسترش ترک‌ها در بتن می‌باشد، به همین علت با افزایش احتمال وجود ترک‌ها با افزایش ابعاد نمونه احتمال شکست بتن در مقاومت‌های پایین‌تر بالا می‌رود.



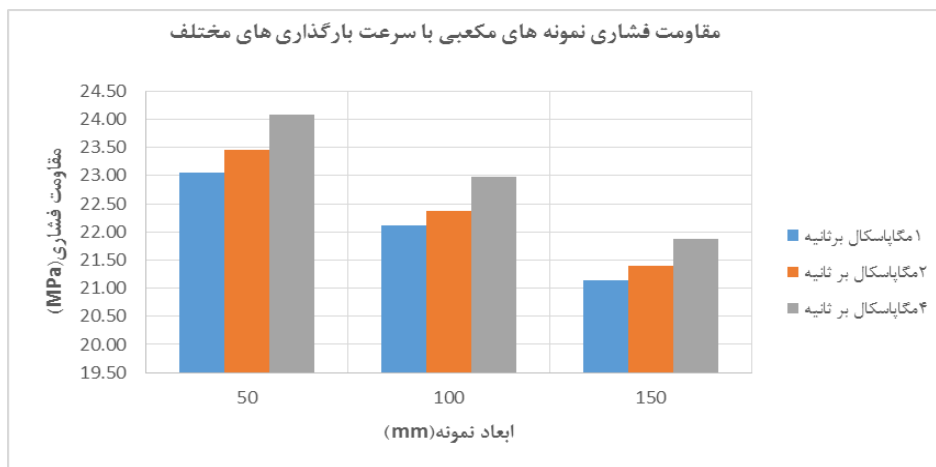
شکل ۱۰- مقاومت فشاری با سرعت ۱ مگاپاسکال بر ثانیه



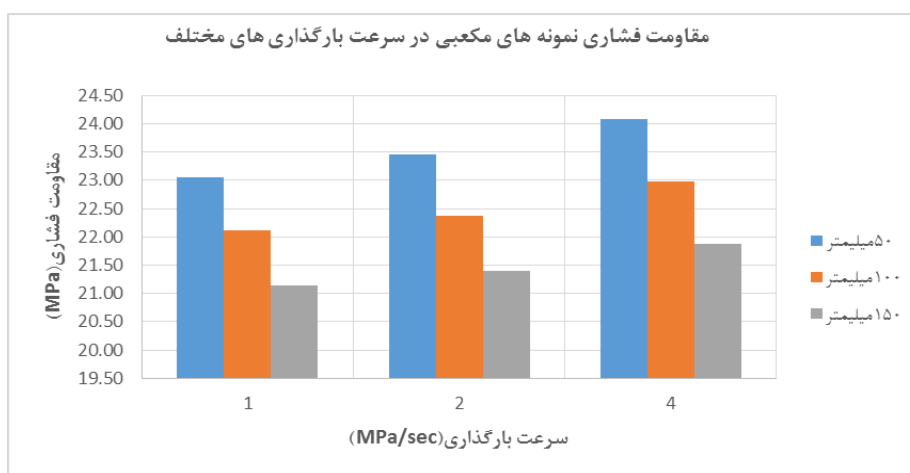
شکل ۱۱ - مقاومت فشاری با سرعت ۲ مگا پاسکال بر ثانیه



شکل ۱۲ - مقاومت فشاری با سرعت ۴ مگا پاسکال بر ثانیه



شکل ۱۳- تاثیر ابعاد نمونه بر مقاومت فشاری



شکل ۱۴- تاثیر سرعت بار گذاری بر مقاومت

۵. بررسی کارآیی و روانی بتن

به منظور تعیین کارآیی بتن اقدام به انجام آزمایش اسلامپ شد که مقدار عددی آن برابر ۵ سانتی متر بدست آمد.

۶. نتیجه گیری

با توجه به آزمایشات انجام شده، عامل اندازه و سرعت بارگذاری بر مقاومت نمونه ها بتنی موثر بوده و نتایج زیر حاصل شد:

- مقاومت فشاری بتن ومدت زمان شکست بتن ارتباط معکوسی باهم دارند.
- با کاهش سرعت بارگذاری، مقاومت فشاری بتن به طور محسوسی کاهش می یابد. دلیل بروز مقاومت پایین در نمونه های بتنی در سرعت های بارگذاری پایین وقوع پدیده خستگی در بتن می باشد.
- مقاومت فشاری بتن در مکعب های با ابعاد کوچکتر از مکعب استاندارد (۱۵۰ میلی متر)، کاهش کمتری را نسبت به مکعب استاندارد در سرعت های کمتر نشان می دهد.



۷. مراجع

۱. کتاب ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)، پروفسور همتا، پروفسور مونته ئیرو؛ دکتر علی اکبر رمضانپور، دکتر پرویز قدوس، دکتر اسماعیل گنجیان- چاپ دوم، ۱۳۸۵.
۲. شادی اکنونی، علی اکبر میرنامی، محمد رضا توکلی زاده. "بررسی تاثیر شکل و اندازه بر مقاومت نمونه های بتنی".
۳. تکنولوژی بتن، آدام نویل، جی جی بروکس؛ ترجمه ی دکتر علی اکبر رمضانپور، مهندس نگین اعرابی- چاپ چهارم، ویراست دوم، ۱۳۹۵.
4. Based on H. Rush, Research toward a general flexural theory for structural concretes, ACI Journal, Vol.57, 9. 1, pp. 1_28 (July1960)
5. ASTM C39/C39M, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, Annual Book of ASTM standards, 2014
6. ASTM (1998) ASTM D2419_95, standard test method for sand equivalent value of soils and fine aggregate. 1998 Annual Book of ASTM standards, Volume 04.03, American Society for testing and Materials, Philadelphia, PA.2001.
7. C150, A.S.T.M., 2012. Standard Specification for Portland cement.
8. Standard, A.S.T.M. (2010). Standard test method for Slump of Hydraulic_ cement concrete. ASTM C, 143, C143M_2010.
9. ASTM D.5821 standard test method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate. American Society for testing and materials, Philadelphia, 19103_1187.
۱۰. مبحث پنجم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲
۱۱. رسول احمدی، نوید همت پورفرخی، حامد ابراهیمی کیا. (۱۳۹۶)، "بررسی تاثیر سرعت بارگذاری بر روی مقاومت فشاری بتن" جلد دو شماره ی ۶ سال ۹۶.
۱۲. تکنولوژی بتن پیشرفته (مواد تشکیل دهنده)، جان نیومن، بان سنگ چو؛ دکتر حمید اسکندری نداف و دکتر غلامرضا تدین فر، مهندس انیس قانعی - چاپ اول، ۱۳۹۶.
۱۳. طراحی و کنترل مخلوط های بتن، استیون اچ کسماتکا، ویلیام سی پانارس، علی رضا خالو، محمود ایراجیان - چاپ دوم - ویرایش سیزدهم.
۱۴. مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲
۱۵. تکنولوژی و طرح اختلاط، دکتر داود مستوفی نژاد - چاپ ششم ۱۳۸۲
۱۶. مهندس حسن موسوی. (۱۳۹۰)، "عوامل موثر برمقاومت فشاری و دوام بتن". شماره ۴۵ ماهنامه علمی- تخصصی فناوری سیمان.
۱۷. بتن شناسی (خواص بتن)، پروفسور نویل، دکترهرمز فامیلی - چاپ اول ۱۳۷۵.
۱۸. رضا لطفوی، سید فتح الله ساجدی. (۱۳۹۵)، "تاثیر نرخ بارگذاری بر مقاومت فشاری بتن با مقاومت بالا".
- سومین کنفرانس سراسری نوآوری های اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی
۱۹. آزمایشگاه تکنولوژی بتن، دکتر حمید اسکندری نداف، مهندس مرتضی طیبی نیا-چاپ اول ۱۳۹۶.