مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۲- شماره ۶- سال ۱۳۹۶
www.ElitesJournal.ir

بررسی تاثیر سرعت بارگذاری بر روی مقاومت فشاری بتن

رسول احمدی[1*]، نوید همت‌پورفرخی[2]، حامدابراهیمی کیا[3]
۱- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۲- کارشناس عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد
۳- کارشناس عمران، دانشگاه لرستان

*rasool123166@yahoo.com

ارسال: دی ماه ۹۶ پذیرش: بهمن ماه ۹۶

خلاصه

بتن یکی از پرکاربردترین مصالح موجود در صنعت ساخت و ساز می‌باشد که ایده‌ال مدنظر سال ۱۴۰۴ بر این بوده که مقاومت متوسط بتن را افزایش دهیم که تحقق این امر منوط به تامین زیرساخت‌های فراوان و نیز بررسی جوانب و عوامل مختلف تاثیرگذار بر بتن می‌باشد. برای این منظور بر اساس یک طرح اختلاط ثابت قصد به تهیه‌ی ۱۴ نمونه‌ی مکعبی شد که تمامی این نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز در درون آب با دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد عمل‌آوری شدند و در نهایت توسط دستگاه جک فشاری با نرخ بارگذاری بین ۰.۱ تا ۴ مگاپاسکال بر ثانیه نمونه‌ها تست شدند. در ادامه پس از وزن نمونه‌ها اقدام به ثبت میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها شد که این نتیجه حاصل شد که با افزایش سرعت بارگذاری بتن در بهترین حالت مقاومت فشاری بتن به مقدار ۱۴.۲۷ درصد افزایش می‌یابد، این در حالتی است که با افزایش سرعت بارگذاری مدت زمان شکست نمونه‌ها به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: سرعت بارگذاری، بتن، مدت زمان شکست بتن

۱. مقدمه

بتن یکی از پرکاربردترین مصالح موجود در صنعت ساخت و ساز است که سهولت در ساخت و فراوانی مصالح در حجم بالا منجر به استفاده روز افزون از این مصالح شده است، این مصالح علی‌رغم عملکرد بسیار مطلوب در برابر نیروهای فشاری دارای عملکرد ضعیفی در برابر نیروهای کششی و خمشی است. امروزه به منظور برطرف کردن این ضعف و نیز ارتقاء این کمیت اقدام به مسلح کردن این اجزاء توسط میلگردها، کامپوزیت‌ها، الیاف‌ها و پلیمرها [۱، ۲و۳] می‌شود. مقاومت فشاری بتن عبارت است از حداکثر مقاومت اندازه‌گیری شده بتن در برابر بارهای محوری می‌باشد که معمولاً این پارامتر در نمونه‌های ۲۸ روزه اندازه‌گیری می شود[۷] ایده‌ال مد نظر سال ۱۴۰۴ افزایش مقاومت متوسط فشاری و دوام بتن‌های بکار برده شده در سازه‌های بتنی می‌باشد که تاکنون مطالعات فراوانی به منظور ارتقای خصوصیات مکانیکی بتن و شناخت دقیق رفتار آن انجام شده است، چرا که تمامی مشخصات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مصالح بکار برده شده، طرح اختلاط و نحوه‌ی اختلاط، مدت زمان و نحوه‌ی عمل آوری، شرایط محیطی در عملکرد بتن تاثیر بسزایی دارد؛ که در ادامه اقدام به بررسی برخی از عوامل شده است. یکی از اصلی‌ترین عوامل در افزایش مقاومت فشاری نسبت آب به سیمان می‌باشد که هر چه کمیت عددی این پارامتر در بتن افزایش یابد مقاومت فشاری بتن بدلیل افزایش خاصیت موئینگی و ایجاد میکروترک‌ها و حفراتی در نمونه ی بتنی، کاهش

می‌یابد. [۴، ۵ و ۶] از سوی دیگر وجود این حفرات باعث می‌شود، زمانی که واکنش هیدراتاسیون در سطح ذرات سیمان شروع می‌شود، فرآورده‌های ژل مانند هیدراتاسیون در آب به دور از سطح ذرات سیمان رسوب می کنند که با وجود یک فضای بزرگ برای فرآورده‌های خارجی هیدراتا سیون، فرآورده‌های خارجی هیدراتا سیون ابعاد بزرگی دارند .از قانون اثر اندازه میدانیم که ذرات بزرگتر مقاومت پایین‌تری در مقایسه با ذرات با اندازه کوچکتر دارند. به طور کلی روند اختلال در پروسه‌ی هیدراتاسیون در بتن‌های که رطوبت نسبی آنها کمتر از ۸۰ درصد و یا دمای بتن به زیر نقطه‌ی انجماد می‌رسد کسب مقاومت بتن به طور کامل متوقف می‌شود[۷] گیرش بتن الزاماً بدلیل ترکیب سیمان و آب و ایجاد پدیده‌ی بنام هیدراتاسیون بوده که منجر به گیرش و سخت‌شدگی بتن می‌شود.[۸] سیمان‌های مختلف دارای سرعت واکنش‌زایی مختلفی هستند که این امر منجر به کسب روند مقاومتی بتن می شود به گونه‌ی که روند کسب مقاومت سیمان تیپIII نسبت به سایر سیمان‌ها بیشتر است. همچنین سیمان‌های که دارای مقادیر بیشتری C_3s و C_2s هستند دارای مقاومت اولیه‌ی ۳، ۷ و ۲۸ روزه بیشتری خواهند بود.[۹] استفاده از سرعت امواج التراسونیک روش دیگری به منظور بررسی نوع سیمان مصرفی در تعیین زمان گیرش بتن می‌با شد به گونه‌ای که سرعت عبور امواج در بتن‌های حاوی سیمان تیپII بیشتر از سیمان‌های پوزولانی بوده که این افزایش سرعت امواج به دلیل تراکم بیشتر بتن می‌باشد. همچنین در بتن‌های با نسبت آب به سیمان بالا سرعت امواج کمتر از بتن‌های با نسبت آب به سیمان پایین می‌باشد، که نشان از اختلاف مقاومت بتن می‌باشد[۱۰] مقاومت نهایی بتن‌های تولید شده با سنگ‌دانه شکسته بیشتر از بتن‌های حاوی سنگدانه‌ی گردگوشه بوده و در دو طرح اختلاط با مشخصات مصالح مصرفی یکسان، بتنی که حاوی سنگدانه‌ها با قطر بیشتر هستند دارای مقاومت نهایی بیشتری هستند.[۶] امروزه بتن‌های دارای مواد افزودنی سهم وسیعی از بتن‌های تولید شده را به خود اختصاص داده‌اند که هر کدام از این مواد تاثیر بسیار چشمگیری در مقاومت نهایی بتن ایجاد می‌کند. کاهش نسبت آب به سیمان همواره منجر به افزایش مقاومت فشاری بتن می شود این کاهش نسبت آب به سیمان یا از طریق تقلیل میزان آب مصرفی یا افزایش سیمان مصرفی و یا با استفاده از مواد روان‌کننده و مکمل‌های بتنی انجام می شود، این در حالی است که استفاده از مواد افزودنی که بر پایه روان سازها می‌باشند با حفظ کارایی منجر به تقلیل نسبت آب به سیمان می‌شود. [۱۱ و ۱۲] از دیگر مواد پرکاربرد در بتن، الیاف‌ها می‌باشند، که به دوسته‌ی الیاف‌های ماکرو و میکرو تقسیم [۱۳] که تاثیر بسیار چشمگیری در خصوصیات مکانیکی بتن دارد.[۱۱،۱۲،۱۴ و ۱۵] به طور کلی عمل‌آوری بتن توسط آب و بخارآب انجام می‌شود که عمل‌آوری با بخارآب منجر به کسب مقاومت نهایی زودرس بتن می‌شود، در بحث عمل‌آوری بتن توسط آب یکی از اصلی‌ترین عوامل دمای آب می‌باشد که مناسب‌ترین دما برای عمل‌آوری ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد.[۱۶] یکی دیگر از عوامل تعیین‌کننده در کمیت عددی مقاومت فشاری بتن ، سرعت بارگذاری می‌باشد که در این تحقیق به بررسی این پارامتر پرداخته شده است.

۲. مواد و روش

▪ ساخت نمونه‌ها

همانطور که اشاره شد هدف از این تحقیق بررسی میزان سرعت بارگذاری بر روی مقاومت فشاری بتن می‌باشد، برای این منظور براساس استاندارد ASTM C39 [۱۷] اقدام به تهیه‌ی ۱۴ نمونه‌ی بتنی شد، مقدار ضریب هم ارز ماسه‌ای(SE) مطابق استاندارد ASTM D2419-95 [۱۸] برابر ۸۹ ،۰ ضریب نرمی ماسه برابر ۲.۶٪ و درصد شکستگی مطابق با استاندارد ASTM D5821 [۱۹] برای مصالح با سایز ۸-۱۶ و ۱۶-۳۲ میلی‌متر به ترتیب برابر ۸۸٪ و ۸۵٪ می‌باشد که در جدول (۱) طرح اختلاط نمونه‌ها و سایر مشخصات مصالح آورده شده است. کلیه‌ی مصالح بکار برده شده از نوع شکسته بوده که قبل از استفاده کاملاً شسته و در هنگام تهیه‌ی بتن کلیه‌ی سنگدانه‌ها دارای وضعیت اشباع با سطح خشک (S.S.D) می‌باشند. سیمان مصرفی، سیمان تیپ II کارخانه سیمان دورود و مطابق با استاندارد ASTM C150 [۲۰] می‌باشد که در جدول (۲) برخی از ویژگی‌های

فیزیکی این مصالح آورده شده است. در ادامه به منظور تعیین میزان کارایی بتن از آزمایش اسلامپ مطابق با استاندارد ASTM C143 [۲۱] استفاده می‌شود.

جدول ۱- طرح اختلاط و مشخصات مصالح مصرفی

نوع مصالح	وزن(Kg)	ضریب هم ارز ماسه‌ای	ضریب نرمی ماسه	شکستگی سنگدانه
سیمان	۳۷۰	–	–	–
ماسه (۰-۴)	۶۸۵	۰.۸۹	٪۲.۶	–
شن (۸-۱۶)	۳۴۲	–	–	٪۰.۸۸
شن (۱۶-۳۲)	۸۱۴	–	–	٪۰.۸۵
آب مصرفی	۱۵۲	–	–	–

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سیمان تیپ II

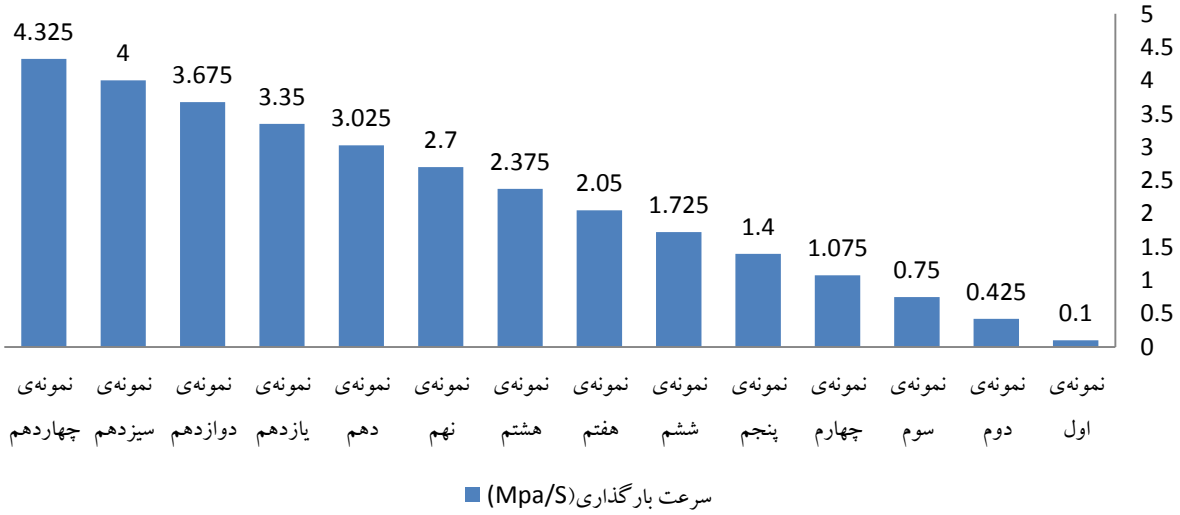
سطح مخصوص($\frac{cm^2}{gr}$)	حداکثر انبساط آزمایش اتوکلا	زمان گیرش با آزمایش ویکات (دقیقه)	
		حداقل	حداکثر
۲۸۰۰	٪۶	۶	۴۵

- **عمل‌آوری نمونه‌ها**

بهترین درجه حرارت جهت عمل‌آوری بتن دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد[۱۶] که در این بررسی کلیه‌ی نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متر به مدت ۲۸ روز درون حوضچه‌های آب در دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد عمل‌آوری شده که به منظور کنترل دمای آب هر روز اقدام به ثبت دمای آب در سطح نمونه‌های بتنی شده است که در کلیه‌ی موارد دمای سطح آب همواره در رنج ۲±۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داشته است.

- **تست نمونه‌های بتنی**

سرعت بارگذاری بتن همواره بر روی مقاومت فشاری بتن تاثیرگذار می‌باشد به گونه‌ی که با افزایش سرعت بارگذاری کمیت عددی مربوط به مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد[۲۲] این اختلاف به دلیل بروز پدیده‌ی خستگی در بتن می‌باشد، به طور کلی وقتی در بتن مدت زمان بارگذاری برای اعمال یک بار ثابت افزایش یابد میزان خستگی در بتن محسوس‌تر می‌باشد. در شکل (۱) و (۲) به ترتیب نتایج مربوط به نرخ بارگذاری و تست نمونه‌های بتنی مشاهده می‌شود، که دارای بازه‌ی بارگذاری گسترده‌ای می‌باشد تا به این واسطه تاثیر مقاومت بتن در سرعت‌های بارگذاری بالا و پایین به خوبی مشخص شود.



شکل ۱- نرخ سرعت بارگذاری نمونه‌های بتنی

شکل ۲- تست نمونه‌های بتنی

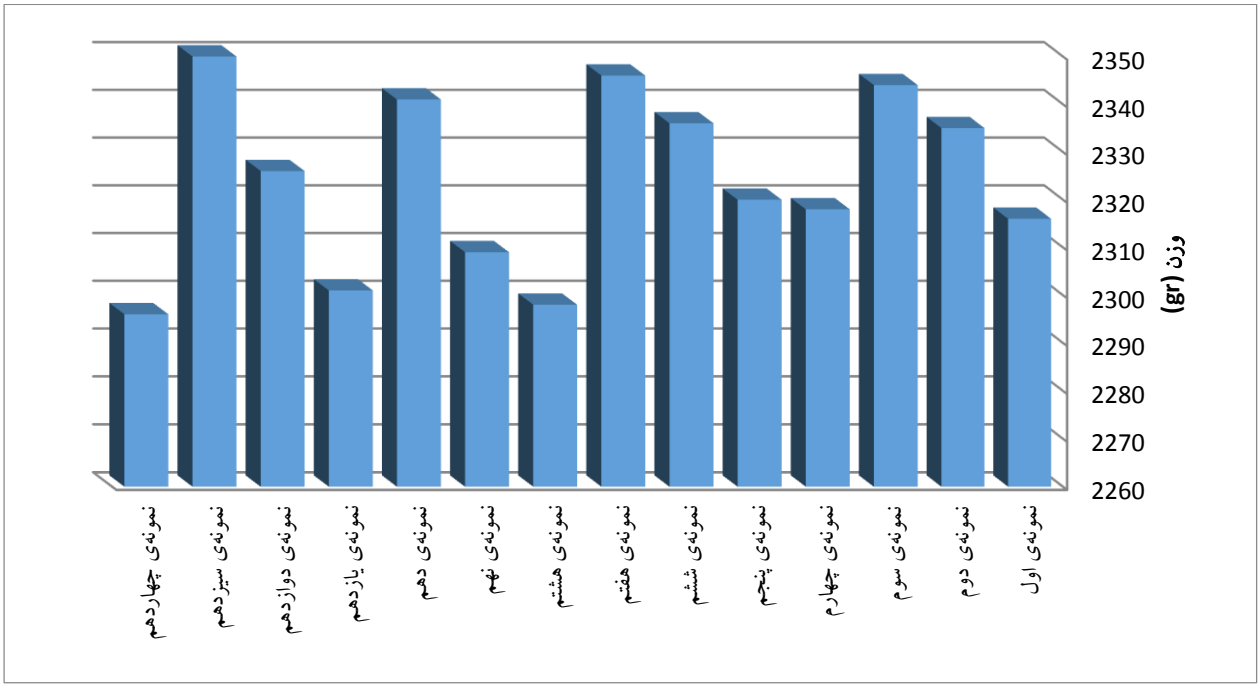
۳. نتایج

- **اسلامپ**

به منظور تعیین کارایی بتن تازه اقدام به انجام آزمایش اسلامپ شد که مقدار عددی آن برابر با ۱۱ سانتی‌متر می‌باشد.

- **وزن**

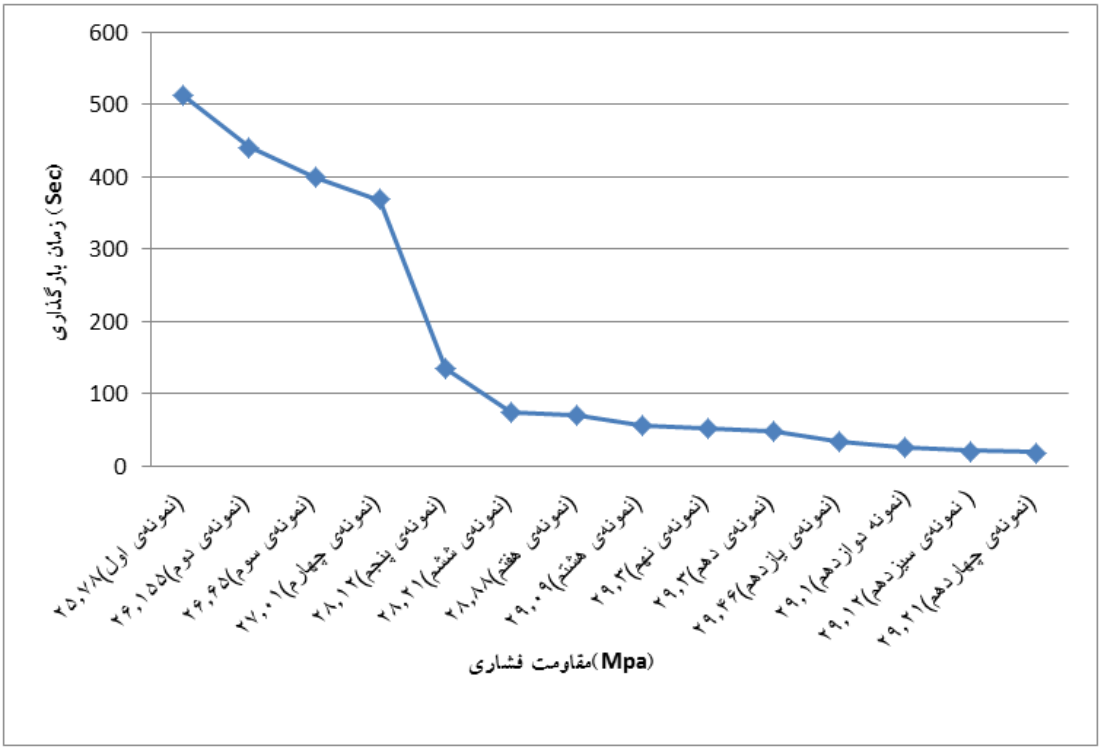
همواره ارتباط مستقیم بین وزن مخصوص بتن‌های معمولی [۲۳] و بتن‌های الیافی [۱۱] با مقاومت فشاری بتن وجود دارد دارد، از سوی دیگر بین انرژی تراکم و وزن مخصوص بتن هم ارتباط وجود دارد [۲۳] که می‌توان نتیجه گرفت که انرژی تراکمی بر روی مقاومت بتن تاثیر گذار است. در شکل (۳) نتایج مربوط به وزن نمونه‌ها آورده شده است، همانطور که مشاهده می شود ماکزیمم اختلاف بین وزن نمونه‌ها با متوسط وزن نمونه‌ها برابر ۲۶ گرم بوده که کمیت عددی این مقدار اختلاف بسیار ناچیز بوده که تقریباً می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.



شکل۳- وزن نمونه‌ها

- **مقاومت فشاری و مدت زمان شکست نمونه**

در شکل (۴) نتایج مربوط تاثیر سرعت بارگذاری بر مقاومت فشاری و مدت زمان شکست نمونه ارائه شده است، همانطور که مشاهده می‌شود ارتباط مستقیم بین میزان سرعت بارگذاری با افزایش میزان مقاومت فشاری و مدت زمان شکست نمونه‌ها می‌باشد این روند افزایش مقاومت زمانی که نرخ بارگذاری به مقدار ۱.۴ مگاپاسگال بر ثانیه می‌رسد به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در نمونه‌های که سرعت بارگذاری از مرز ۳ مگاپاسگال بر ثانیه تجاوز می‌کند میزان تغییر در پارامتر مقاومت فشاری تقریباً یکنواخت می‌باشد این در حالی است که با افزایش سرعت بارگذاری همواره مدت زمان شکست نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می شود حداکثر میزان افزایش مقاومت فشاری در نرخ بارگذاری ۳.۳۵ مگاپا سگال بر ثانیه رخ می‌دهد که این میزان افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌ی اول با نرخ بارگذاری ۰.۱ مگاپاسگال برثانیه برابر ۱۴.۲۷٪ می‌باشد این در حالی است که مدت زمان شکست این نمونه برابر ۶.۴۴٪ نسبت به نمونه‌ی اول می‌باشد.



شکل ۴- تاثیر سرعت بارگذاری بر مقاومت فشاری و مدت زمان شکست نمونه‌ها

۴. نتیجه گیری

وزن بتن ارتباط مستقیمی با انرژی مورد نیاز جهت تراکم و مقاومت فشاری دارد به گونه‌ای که با کاهش وزن مخصوص بتن و انرژی مورد نیاز جهت تراکم بتن، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. در این بررسی با توجه به یکسان بودن طرح اختلاط، شرایط ساخت، مدت زمان و نحوه‌ی عمل‌آوری و نیز وزن نمونه های بتنی، تنها عامل تاثیرگذار در مقاومت فشاری و مدت زمان شکست نمونه‌های بتنی سرعت بارگذاری می‌باشد، که در ادامه برخی از این نتایج آورده شده است.

۱- مقاومت فشاری بتن و مدت زمان شکست بتن ارتباط معکوسی با هم دارند.

۲- با افزایش سرعت بارگذاری مقاومت فشاری افزایش و مدت زمان شکست بتن به طور محسوسی کاهش می‌یابد.

۳- دلیل بروز مقاومت پایین در نمونه‌های بتنی در سرعت‌های بارگذاری پایین وقوع پدیده‌ی خستگی در بتن می‌باشد.

۴- در میان بازه‌ی بارگذاری ۰.۱ تا ۴.۳۲۵ مگاپاسکال بر ثانیه ماکزیمم مقاومت بدست آمده در نرخ بارگذاری ۳.۳۵ مگاپاسکال بر ثانیه می‌باشد.

۵- روند افزایش مقاومت فشاری برای بتن‌های با نرخ بارگذاری بالاتر از **۳.۳۵** مگاپا سکال بر ثانیه یکنواخت نیست، این عدم یکنواختی در روند افزایش بدلیل سرعت خیلی بالای بارگذاری می‌باشد.

۵. مراجع

1-Pei Meishan, Wang Dujin, Hu Xianbo, Ying Zhao, Xu Yizhung, Wu Jingguang, et al. Performance characteristics of subdenier.

2- A.A. Ramezanianpour, M. Esmaeili , S.A. Ghahari , M.H. Najafi. Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability,and physical and mechanical characteristic of concrete for applicationin sleepers(2013). Construction and Building Materials 44 ,no 411–418

3- Fallah, S., & Nematzadeh, M. (2017). Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume. *Construction and Building Materials*, *132*, 170-187.

4-H.A Toutanji, T El-Korchi, "The Influence Of Silica Fume On The Compressive Strength Of Cement Paste And Mortar", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 7, pp. 1591-1602.1995.

5- Bungey. J. H., Millard. S. G., (1996), " Testing Of concrete in structures, ", Third Ed. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall.

۶- بررسی تاثیر جداگانه ی اجزای تشکیل دهنده ی بتن بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه ی آن. فائزه السادات خادمی، محمود اکبری، سیّد سروش خادمی. دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، تبریز.اردیبهشت،۱۳۹۴.

۷- انجمن سیمان پرتلند، انجمن سیمان کانادا، (طراحی و کنترل مخلوط‌های بتنی)، مترجم اردشیر اطیابی، انتشارات جویبار، ۱۳۸۹.

8-"Concrete Construction", October 1994. [Online]. Available: http://www.concreteconstruction.net/howto/relationship-between-seven-and-28-day-strengths_o.

۹- تکنولوژی بتن پیشرفته، مترجمین :دکتر رمضانیانپور و همکاران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران،۱۳۸۴.

۱۰- ارزیابی مقاومت بتن در سنین اولیه با استفاده از روش التراسونیک.فاطمه شهابی. دانشگاه گیلان، دانشکده فنی و مهندسی.پایان‌نامه،۱۳۸۹.

۱۱- بررسی اثر الیاف A-glass و مکمل بتنی ACP در بهبود مدول طاقت و مقاومت خمشی تراورس بتنی پیش‌تنیده.رسول احمدی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.پایان نامه،۱۳۹۵.

۱۲- بررسی تاتیرالیاف پلیمری ماکرو در ترکیب با پودر میکروسیلیس و فوق روان کننده بر روی خصوصیات مکانیکی بتن. ابوذر صالح، جاوید یعقوب‌منش، رسول احمدی، وحیدسرخه. دومین کنفرانس بین المللی و سومین همایش ملی کاربرد فناوری‌های نوین در علوم مهندسی،۱۳۹۴.

13- Abbas U. Materials development of steel-and basalt fiber-reinforced concretes (Master's thesis, Institutt for konstruksjonsteknikk).

14- Ramezanianpour AA, Esmaeili M, Ghahari SA, Najafi MH. Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers. Construction and Building Materials 2013; 44:411-8.

15- Fallah, S., & Nematzadeh, M. (2017). Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume. Construction and Building Materials, 132, 170-187.

۱۶- ارزیابی و تحلیل تاثیر درجه حرارت آب عمل‌آوری و الیاف پلیمری MEX بر روی خصوصیات مکانیکی بتن (پیشنهادی برای روسازی صلب). رامین رضوی نصب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود. پایان‌نامه، ۱۳۹۶.

17- ASTM C39/C39M, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, Annual Book of ASTM Standards, 2014.

18- 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, 19103-1187.

19- ASTM D. 5821 Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. 2001.

20- Cl50, A.S.T.M., 2012. Standard Specification for Portland Cement.

21- Standard, A. S. T. M. (2010). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. ASTM C, 143, C143M-2010.

۲۲- تاثیر نرخ بارگذاری بر مقاومت فشاری بتن با مقاومت بالا. رضا لطفوی، سیدفتح اله ساجدی. سومین کنفرانس سراسری نوآوری های اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی.۱۳۹۵.

۲۳- محمدی یعقوب، سیف اللهی فرید. بررسی تاثیر نانو سیلیس بر خواص مکانیکی(مقاومت فشاری و نفوذپذیری)بتن غلتکی درسدها. سد و نیروگاه برق آبی. ۱۳۹۴; ۲ (۷) :۱۳-۲۴.