

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر شکل، اندازه و نوع سیمان مصرفی (تیپ ۴۲۵-۱ و ۲) بر روی مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی

حمیدرضا هاشمی^۱، بیت‌اله بدرلو*^۲ و سعید معدنی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قم

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

^۱Email: anatomyhrh@yahoo.com

*Email: badarloo@qut.ac.ir

چکیده: آزمایش مقاومت فشاری بتن یکی از مهمترین آزمایش‌ها برای کنترل کیفیت بتن در سازه‌های عمرانی محسوب می‌شود و بر اساس شرایط کارگاهی و ضوابط آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط، قالب‌هایی با اشکال و ابعاد مختلف (مکعبی و استوانه‌ای) برای تهیه آزمون‌های آزمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از انجام این پژوهش بررسی و تعیین تغییرات ضرایب تبدیل مقاومت آزمون‌ها با اشکال و ابعاد مختلف به یکدیگر برای بتن رده C25 تحت اثر تغییرات سیمان‌های مختلف مصرفی بر روی مقاومت بتن می‌باشد. در این تحقیق برای ساخت آزمون‌ها از سیمان‌های پرتلند نوع ۴۲۵-۱ و ۲ استفاده شده و تعداد ۵۴ آزمون مکعبی و استوانه‌ای شکل با ابعاد و اندازه‌های 200×200×200mm، 150×150×150mm و 150×300mm در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفته است. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص گردید علاوه بر تاثیر شکل و ابعاد آزمون‌ها که بر روی مقاومت و ضرایب تبدیل در آیین‌نامه‌های بتن نیز لحاظ گردیده است، نوع سیمان مصرفی هم بر روی مقاومت و ضرایب تبدیل آزمون‌های بتنی با ابعاد و اشکال مختلف به یکدیگر تاثیر گذار است.

واژه‌های کلیدی: مقاومت فشاری بتن، ضریب تبدیل مقاومت، آزمون مکعبی، آزمون استوانه‌ای

آزمون مقاومت فشاری بتن مهمترین خاصیت و مشخصه بتن نزد طراحان و مهندسان کنترل کیفیت بتن است. اگرچه در عمل بتن اغلب تحت تنش‌های توأم فشاری، برش و کششی در دو جهت قرار می‌گیرد لیکن به علت آسانی تعیین مقاومت فشاری بتن تحت بار محوری این آزمایش در سطح جهان به عنوان نشانه عمومی در مقاومت بتن پذیرفته شده است.

مهمترین عواملی که تاکنون آزمون مقاومت فشاری بتن را تحت تاثیر خود قرار داده عبارتند از: ۱- پارامترهای نمونه ۲- اجزای بتن ۳- پارامترهای بارگذاری، که در ادامه به مطالعاتی که در مورد تاثیر این عوامل بر روی مقاومت بتن صورت گرفته پرداخته شده است. در سال ۱۹۱۸ در نتیجه تحقیقات و آزمایش‌های انجام شده بر روی اثر مشخصات و خواص مصالح بروی مقاومت فشاری بتن در مؤسسه لوپس دانشگاه ایلینوی آبرام ارتباط بین نسبت آب به سیمان و مقاومت بتن را بیان نمود. [۶] اثر شکل، اندازه و رطوبت از پارامترهای مهم آزمون می باشد که تاثیر آن در مقاومت فشاری بتن به طور گسترده مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت و روابط و ضرایب تبدیل مختلفی از آنها ارائه گردید، که برای درک اثر آنها بر روی مقاومت می‌توان به مطالعه ای که توسط (Gonnerman 1925) انجام شده اشاره نمود که با آزمایش بر روی آزمون‌های مکعبی استاندارد ۱۵۰mm و ۲۰۰mm و استوانه‌ای‌های مختلف تحت استاندارد ASTM و ضرایب حاصل از نسبت مقاومت این آزمون‌ها با ضریب متوسط ۸۵ درصد تا ۸۸ درصد به عنوان نتایج پژوهشی و تحقیقاتی خود تعیین و اعلام نموده است. [۱۴] انجام آزمایش مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای تحت اثر شرایط عوامل آوری مختلف و ضرایب تبدیل این آزمون‌ها نسبت به یکدیگر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. (Plow man et al 1974). [۱۷]

در سال ۱۹۹۵ توسط (Elwell and Fu 1995) در طی انجام مطالعاتی خود اظهار داشتند که دو نوع از آزمون‌هایی که برای آزمایش بر روی بتن سخت شده با وجود داشتن تفاوت‌های مختلف که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد آزمون بتنی مکعبی و استوانه‌ای می‌باشد که آزمون استوانه‌ای استاندارد (۱۵۰×۳۰۰mm) عمدتاً در استرالیا، کانادا، فرانسه، نیوزلند و ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفته و آزمون مکعبی (۱۰۰mm و ۱۵۰mm) در منطقه اروپا از جمله انگلیس و آلمان استفاده می‌شود. از طرفی مکعبی‌ها مقاومت فشاری بالاتری از خود نشان داده که نیاز به دستگاه آزمایش با ظرفیت بالاتری خواهند بود و در مقابل آزمون‌های استوانه‌ای آزمون بارگذاری آنها در جهت قالب‌گیری بوده که به عنوان یک مزیت برای آنها در نظر گرفته می‌شود [۱۳]. در سال ۱۹۹۷ توسط (Tokyayand Ozdemir) به اثر شکل و اندازه آزمون‌های بتنی و عوامل موثر آنها بر روی مقاومت فشاری بتن مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۹]. از سال ۲۰۰۰ اثر شکل و اندازه بر روی مقاومت بتن از سوی محققان بیشتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. (Mansur and Islam 2002) در تحقیقات خود بیان نمودند که با افزایش اندازه آزمون مقاومت آن کاهش می‌یابد [۱۳]. در تحقیقات دیگر توسط (Seong et al 2006) اثر شکل، اندازه و بارگذاری بر روی مقاومت فشاری بتن با مقاومت بالا (HSC) و معمولی (NSC) تحت آزمون‌های مکعبی، استوانه‌ای و منشوری شکل مورد بررسی قرار گرفت و در نتیجه اظهار داشتند که اثر اندازه برای مکعب منشوری بیشتر از آزمون استوانه‌ای است و اثر

جهت بارگذاری بر روی مقاومت فشاری بتن مکعب ساخته شده از *NSC* تأثیر ناچیزی نسبت به آزمون ساخته شده از *HSC* دارد. [۱۸] همچنین، در سال های اخیر به اثر شکل، اندازه و بارگذاری بر روی مقاومت بتن تمرکز خاصی صورت گرفته است. که در پی تحقیقات انجام شده توسط (*Arioz et al 2007*) و نتایج بدست آمده از آن عنوان گردید که آزمون های بتنی بزرگتر تمایل بیشتری به خرابی و ناهنجاری های بیشتری در خود دارند که می تواند در تنش های پایین تر منجر به شکست شوند. [۱۱]

و طی تحقیق دیگر توسط (*Del viso carmona et al 2008*) با بیان اینکه اثر شکل و بارگذاری بر مقاومت بتن تحت الگوهای شکستگی آنها در آزمون های مکعبی و استوانه ای متفاوت بوده به طوریکه در استوانه ای سطح شکستگی آنها هسته اصلی بوده و در آزمون مکعبی در قسمت سطح جانبی آنها می باشد که تاثیرات آن در منحنی $\sigma - \epsilon$ مورد توجه است. [۱۲]

اثر شکل و اندازه آزمون بر روی مقاومت بتن توسط (*Zabihi and Eren 2014*) انجام گرفته که نتایج این تحقیق نشان داده که مقاومت فشاری بتن به شدت تحت تأثیر اندازه آزمون ها و اثر جداره ای می باشد که با کاهش نسبت سطح / حجم جانبی آزمون ها مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد و آزمون های مکعبی نسبت به آزمون های استوانه ای از کرنش نهایی بالاتری برخوردار می باشند. [۲۰] با توجه به تحقیقات عنوان شده در خصوص تاثیرات پارامترهای نمونه و بارگذاری بر روی مقاومت فشاری بتن، در سال ۲۰۱۳ برای تخمین مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن بواسطه پارامترهای عمل آوری سریع و مقاومت اولیه مطالعاتی توسط (*Neelakantan et al 2013*) انجام گرفت و نتایج تحقیقات انجام شده نشان داد که برای آزمون های با عمل آوری سریع که تحت انتقال حرارت اند مدل رگرسیون خطی چندگانه و یا نمایی آنها برای تخمین مقاومت ۲۸ روزه بتن دارای دقت بهتر و بالاتری می باشند. [۱۶]

۲- روش تحقیق

در این مطالعه، بررسی رفتار خواص مصالح یعنی اثر سیمان های مختلف بر روی آزمون های بتنی و ضرایب تبدیل آن انجام گرفته و سپس ضرایب بدست آمده با ضرایب عنوان شده در مبحث نهم طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه مقایسه شده است. [۶] در همین راستا با توجه به مقاومت هدف C25، مقاومت فشاری متوسط لازم (f_{cm})، برای طرح مخلوط محاسبه و سپس دو مخلوط با دو سیمان مختلف تهیه و مقاومت آنها تعیین و مورد بررسی قرار گرفته اند، بطوریکه آزمون های مورد نظر مطابق جدول ۱ و ۲ قالب گیری و به روش آب رسانی عمل آوری و مورد آزمایش قرار گرفته که میانگین نتایج مقاومت آنها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۱- طرح مخلوط A

مصلح مصرفی	مقدار (Kg/m^3)	نسبت آب به سیمان	اسلامپ مورد نظر (mm)	f_{cm} (MPa)
سیمان پرتلند نوع ۲	۳۳۰	۰,۵	۹۰-۵۰	۳۱,۳
شن درشت خشک (D25)	۵۳۱			
شن متوسط خشک (D19)	۱۷۹			
شن ریز خشک (D12.5)	۱۷۹			
ماسه ریز خشک (D6)	۸۸۷			
آب آزاد	۱۶۵			
آب برای اشباع نمودن مصالح	۴۷			

جدول ۲- طرح مخلوط B

مصلح مصرفی	مقدار (Kg/m^3)	نسبت آب به سیمان	اسلامپ مورد نظر (mm)	f_{cm} (MPa)
سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵	۳۲۵	۰,۵۹	۹۰-۵۰	۳۱,۳
شن درشت خشک (D25)	۵۲۰			
شن متوسط خشک (D19)	۱۷۳			
شن ریز خشک (D12.5)	۱۷۲			
ماسه ریز خشک (D6)	۸۵۳			
آب آزاد	۱۹۲			
آب برای اشباع نمودن مصالح	۴۴			

۱- برنامه آزمایشگاهی

برنامه آزمایشگاهی در این تحقیق در آزمایشگاه شرکت مهندسی مشاور آباد کیفیت پارس از شرکت های زیر مجموعه گروه بین المللی آباد راهان پارس واقع در استان البرز - کمالشهر - خیابان کارخانه صنعتی نیک کالا انجام گرفته است. بخش آزمایشگاهی در این تحقیق به منظور مطالعه اثر سیمان مصرفی بر روی مقاومت فشاری بتن و ضرایب تبدیل آن در شرایط عمل آوری ثابت می باشد به عبارت دیگر هدف از انجام این پژوهش بررسی و تعیین تغییرات ضرایب تبدیل مقاومت نمونه ها با اشکال و ابعاد مختلف به یکدیگر برای بتن رده C25 تحت تاثیر تغییرات سیمان های مختلف بر روی مقاومت بتن می باشد.

برنامه تجربی، توسط دو طرح مخلوط بتنی مختلف صورت گرفته است. که هدف از این طرح های مخلوط رسیدن به مقاومت هدف و مقاومت فشاری متوسط لازم بوده که مقاومت آنها تعیین و مشخص شدند که در نهایت نتایج حاصله از مقاومت فشاری آزمون های بتنی برای طرح مخلوط A کمتر از ۳۷ مگاپاسکال و برای طرح مخلوط B کمتر از ۴۳ مگاپاسکال می باشد.

قبل از شروع برنامه آزمایشگاهی اصلی، سنگدانه ها مطابق استاندارد ملی ایران آزمایش دانه بندی با الک، تطویل و تورق، تعیین درصد شکستگی، سایش و ضربه، تعیین چگالی و درصد جذب آب بر روی آنها صورت گرفته و علاوه بر آن به منظور حصول اطمینان، تعدادی مخلوط آزمایشی ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. که در جدول ۱ و ۲ نتایج طرح مخلوط های

"هشتمین کنفرانس بین المللی بتن ایران - تهران - ۱۵ مهرماه ۱۳۹۵"

مختلف نشان داده شده است. در این جداول باید توضیح داده شود که D6 و D12.5، D19، D25 به ترتیب علامت اختصاری سنگدانه های با حداکثر اندازه دانه ۲۵، ۱۹، ۱۲٫۵ و ۶ میلیمتر به حالت خشک در هوا است. و همچنین شرایط عمل آوری برای دو طرح مخلوط به روش آبرسانی برای نمونه های بتنی تحت سنین ۳، ۷ و ۲۸ روز انجام شده است.

مقاومت نمونه های بتنی توسط سه قالب مختلف شامل دو قالب مکعبی $200 \times 200 \times 200 \text{mm}$ ، $150 \times 150 \times 150 \text{mm}$ و یک قالب استوانه ای $150 \times 300 \text{mm}$ صورت گرفته است. همچنین نمونه برداری از هر مخلوط برای هر سن و قالب مشخص سه نمونه برداری انجام شده که در مجموع ۵۴ نمونه بتنی از قالب های مکعبی و استوانه ای ساخته و آزمایش شدند.

۲- خواص مصالح مصرفی

همانطور که قبلاً توضیح داده شد دو مخلوط مختلف برای این برنامه آزمایشگاهی طراحی گردید که سنگدانه های شنی و ماسه ای (ریز و درشت دانه) آن از معدن مربوط به شرکت متوساک واقع در استان تهران - شهر شهریار تهیه شده است. همچنین برای اختلاط مصالح با آب آشامیدنی بدون مواد افزودنی مورد استفاده قرار گرفته است.

برای قالب گیری همه نمونه های بتنی، سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱ و ۲ شرکت سیمان تهران استفاده شده است.

همانطور که در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است، برای طرح مخلوط B دارای نسبت بالاتر آب به سیمان ۰٫۵۹ است. و برای طرح مخلوط A دارای نسبت آب به سیمان ۰٫۵ می باشد که این تنوع در نسبت های آب به سیمان و همچنین تفاوت در کسر (جزء، خرده) مربوط به اختلاف سطح مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات ماسه سیمان استاندارد نوع ۴۲۵-۱ و ۲ در دو طرح مخلوط مورد نظر می باشد که باعث شد بتن مقاومت فشاری مختلفی را ارائه دهد.

فرآیند طرح مخلوط ها مطابق مرکز تحقیقات ساختمان مسکن به روش ملی طرح مخلوط بتن انجام شده است. [۹] و همچنین، ساخت و عمل آوری نمونه های بتنی مطابق استاندارد ۵۸۱ و ۲-۱۶۰۸ ملی ایران انجام شده بطوریکه بتن در قالب های مکعبی و استوانه ای در سه لایه ریخته و با استفاده از روش میله زنی متراکم و پرداخت شدند بعد از این فرآیند، قالب های پر شده به اتاق عمل آوری منتقل شده و به مدت ۲۴ ساعت در رطوبت بیش از ۹۰٪ در دمای حدود $23 \pm 2^\circ \text{C}$ نگهداری شدند و بعد از 8 ± 24 ساعت نمونه ها به حوضچه آب با شرایط عمل آوری از پیش مشخص، منتقل و نسبت به سن آزمایش در مکان های خود نگه داشته شدند. [۲۰۱]

۳- روش آزمایش

آزمون مقاومت فشاری بر روی هر دو مکعب و استوانه ای انجام گرفته و برای نمونه های مکعبی این آزمون مطابق استاندارد ۳۲۰۶ ملی ایران و نمونه استوانه ای مطابق با استاندارد بین المللی ASTM C39/C39M(2011) انجام شده است. و همچنین به منظور انجام آزمون مقاومت فشاری بر روی نمونه های استوانه ای در جهت قالب گیری، درپوش یا کلاهک گوگردی ساخته شده است. [۱۰۴]

قبل از نمونه گیری، آزمون روانی برای مخلوط A و B مطابق استاندارد ۲-۳۲۰۳ ملی ایران انجام شده است. و همچنین میانگین چگالی سخت شده آزمون های بتنی برای هر طرح مخلوط مطابق استاندارد ۷۵۱۶ با اندازه گیری وزن آزمون های بتنی سخت شده قبل از انجام آزمون مقاومت فشاری تعیین شده، که نتایج حاصل از این دو آزمون در جدول ۳ نشان داده شده است. [۶۳]

جدول ۳: نتایج چگالی بتن سخت شده و اسلامپ

اسلامپ (mm)	میانگین چگالی بتن سخت شده (Kg/m^3)	طرح مخلوط
۷۰	۲۳۸۸	A
۷۰	۲۴۲۵	B

به منظور به حداقل رساندن خطاهای موجود در نتایج آزمایش ها، تمام فرآیندهای قالب گیری بتن، تراکم و شرایط عمل آوری دقیقاً مطابق استانداردهای مربوطه کنترل شد و علاوه بر این، برای هر وضعیت آزمایش، سه آزمون قالب گیری شد و نتایج مورد استفاده بصورت میانگین نتایج به دست آمده می باشند. که پس از محاسبه نتایج مقادیر میانگین، ضریب تبدیل I_2 (ضریب تبدیل حاصل از مقاومت آزمون مکعبی به ابعاد غیر ۲۰۰ میلیمتر، به مقاومت نظیر مکعبی به ابعاد ۲۰۰ میلیمتر) و ضریب تبدیل I_3 (ضریب تبدیل حاصل از مقاومت آزمون مکعبی به ابعاد ۲۰۰ میلیمتر، به مقاومت نظیر آزمون استوانه ای استاندارد) محاسبه شد و در نهایت، خطوط روند ضرایب تبدیل در مقابل مقطع نمونه های بتنی رسم شدند.

۴- نتایج آزمایش ها

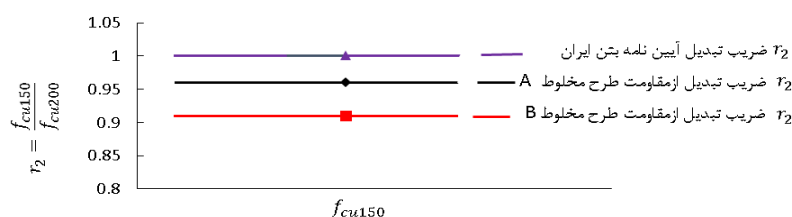
در این بخش، میانگین نتایج آزمون مقاومت فشاری و آنالیزهای مربوطه که بر روی این نتایج انجام گرفته نشان داده شده است. میانگین نتایج مقاومت فشاری تمام آزمون ها برای شرایط عمل آوری با آب در جدول ۴ ارائه شده است.

برای رسم نمودارهای ضرایب تبدیل I_2 و I_3 در مقابل مقاومت آزمون های بتنی، میانگین نتایج مقاومت فشاری و ضرایب تبدیل آن محاسبه و سپس در نمودار مربوطه ترسیم گردید و همچنین در میان تحقیق اصلی تحقیق دیگری مبنی بر رابطه و وابستگی مقاومت نمونه ها تحت سنین ۷ و ۲۸ مورد بررسی قرار گرفت که در طی آن آنالیزهای رگرسیون نیز با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Static نسخه ۱۹ به منظور به دست آوردن یک رابطه مقاومت تحت سنین ۷ و ۲۸ روز آزمون های بتنی حاصل از دو طرح مخلوط انجام شده و معادلاتی در این زمینه ارائه گردیده است.

همانطور که عنوان گردید میانگین نتایج مقاومت آزمون های بتنی و میانگین ضرایب تبدیل I_2 و I_3 در جدول ۴ نشان داده شده و نمودار مربوط به ضرایب تبدیل آن در شکل ۱ و ۲ ارائه شده است. همچنین نمودار خطی مناسب برازش مربوط به مقاومت آزمون های بتنی در شکل ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. و در این نمودار رابطه بین مقاومت آزمون های بتنی برای دو طرح مخلوط A و B تحت سنین ۷ و ۲۸ براساس معادله خطی $y = ax + b$ تعیین شده که مقدار ضریب ثابت x و y نتایج مقاومت آزمون های بتنی مکعبی و استوانه ای برای سنین ۷ و ۲۸ روزه و b, a ضرایب متغیر آن می باشد. همچنین، برای مقاومت مخلوط های مورد نظر ضریب رگرسیون R^2 محاسبه گردیده و در نهایت معادلات ۱، ۲ و ۳ مربوط به آنها ارائه شده است.

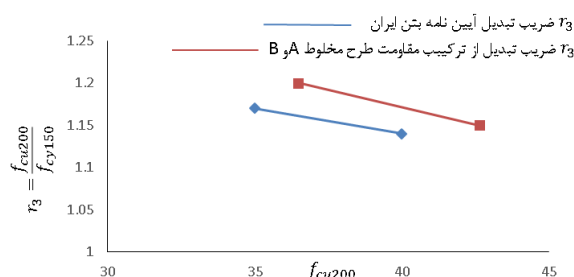
جدول ۴: نتایج میانگین مقاومت آزمون‌های بتنی و ضرایب تبدیل f_{cu200} و f_{cu150}

طرح مخلوط	نمونه	میانگین نتایج مقاومت	ضریب تبدیل f_{cu200}	ضریب تبدیل f_{cu150}
A	Cu150	۳۴,۹۵	۰,۹۶	۱,۲۰
	Cu200	۳۶,۴۸		
	Cy150	۳۰,۵		
B	Cu150	۳۸,۶۷	۰,۹۱	۱,۱۵
	Cu200	۴۲,۶۳		
	Cy150	۳۶,۸۸		



شکل ۱: ضریب تبدیل f_{cu200} ، حاصل از مقاومت طرح مخلوط A و B

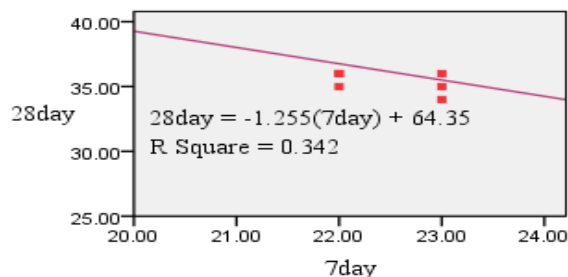
مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ضریب تبدیل f_{cu200} به طور کلی مستقل از مقاومت آزمون بتنی بوده و برای آزمون مکعبی 150mm نیز برابر واحد می باشد؛ در حالیکه نتایج بدست آمده در این تحقیق که در شکل (۱) نمایش داده شده است، نشان دهنده آن است که اولاً ضریب تبدیل f_{cu200} همواره عددی کوچکتر از واحد می باشد و ثانیاً با افزایش مقاومت بتن این ضریب کاهش می یابد که بدین ترتیب ضرایب تبدیل f_{cu200} ارائه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان غیر محافظه کارانه بوده و مقاومت آزمون‌های بتنی را بیشتر از مقاومت واقعی آنها برآورد می نماید.



شکل ۲: ضریب تبدیل f_{cy150} ، حاصل از ترکیب مقاومت طرح مخلوط A و B

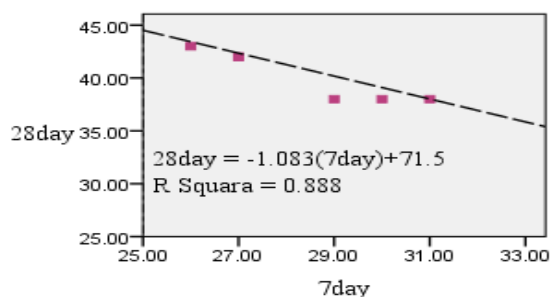
در شکل ۲- ضریب تبدیل f_{cy150} حاصل از ترکیب میانگین نتایج مقاومت دو طرح مخلوط بوده که با تغییر نوع سیمان در طرح مخلوط‌ها مقاومت متفاوت شده و در نتیجه باعث تغییرات مختلف در ضریب تبدیل گردیده بطوریکه در مقاومت بالای ۳۵ مگاپاسکال این ضریب در طرح مخلوط A توسط سیمان نوع ۲ برابر ۱,۲۰ بوده و در مقاومت بالای ۴۰ مگاپاسکال با تغییر سیمان

از ۲ به ۱-۴۲۵ به ۱,۱۵ رسیده که مقایسه آن با ضریب تبدیل آیین نامه بتن ایران این تغییرات حدود ۲-۴ درصد متفاوت می باشد که علت آن علاوه بر اثر شکل و ابعاد نمونه ها، تغییرات نوع سیمان های مصرفی بر روی ضریب تبدیل و مقاومت بتن تاثیر گذاشته است.



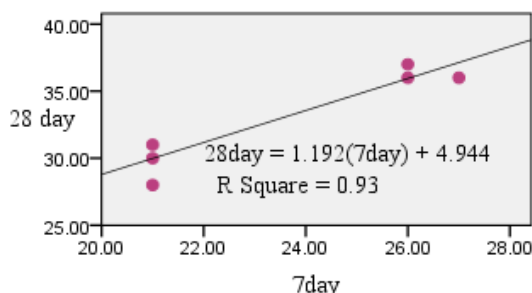
شکل ۳: رابطه مقاومت سنین ۷ و ۲۸ روز حاصل از طرح مخلوط A توسط آزمون های Cu150 و Cu200

در شکل ۳ با توجه به معادله خطی برازش $y = ax + b$ ، رابطه مقاومت آزمون های بتنی در مخلوط A تحت سنین ۷ و ۲۸ روز توسط آزمون های بتنی مکعبی 150mm و 200mm همبستگی خوبی نسبت بهم نداشته و دارای ضریب همبستگی خیلی پایین و غیر قابل قبولی می باشند که علت آن را می توان به تاثیر گذاشتن نوع سیمان مصرفی در روند کسب مقاومت آزمون ها تحت سنین مختلف دانست.



شکل ۴: رابطه مقاومت سنین ۷ و ۲۸ روز حاصل از طرح مخلوط B توسط آزمون های Cu150 و Cu200

با توجه به شکل ۴ همبستگی بین مقاومت آزمون های بتنی تحت سنین ۷ و ۲۸ روز فوق العاده خوب بود که این همبستگی با توجه به ضریب ۰,۸۸۸، یک ضریب همبستگی بطور کامل قابل قبول است و همچنین می توان بیان نمود که علاوه بر اثر قابل توجهی که مقاومت آزمون های بتنی با شکل و ابعاد مختلف بر روی این رابطه گذاشته خود سیمان مصرفی از نوع ۱-۴۲۵ تاثیر زیادی در این ارتباط داشته بطوریکه معادله خطی $y = ax + b$ در این رابطه کاملاً اقناع شده است.



شکل ۵: رابطه مقاومت سنین ۷ و ۲۸ روز حاصل از ترکیب طرح مخلوط A و B توسط آزمون Cy150

همانطور که در شکل های قبلی عنوان گردید اثر نوع سیمان های مصرفی و شکل و ابعاد آزمون ها می توانند بر روی رابطه نمونه های بتنی تحت سنین ۷ و ۲۸ روز تاثیر گذار باشند لیکن در شکل ۵ با توجه به اینکه شکل و ابعاد آزمون فقط بصورت استاندارد استوانه ای Cy150 بود باعث گردید که اثر آن در بازه متفاوت مقاومت آزمون های بتنی تحت سیمان های مختلف تاثیر قابل توجهی در این رابطه بگذارد تا جائیکه ضریب همبستگی آنها به ۰٫۹۳ رسیده است.

همانگونه که قبلاً توضیح داده شد رابطه بین سنین ۷ و ۲۸ روز مقاومت آزمون های بتنی براساس معادله $y = ax + b$ صورت گرفته است. و معادله ۱ رابطه سنین ۷ و ۲۸ روز نتایج مقاومت آزمون های بتنی Cu200 و Cu150 حاصل از طرح مخلوط A می باشد که مقدار ثابت $(y=28day)$ و $(x=7day)$ برای تعداد $(n=12)$ آزمون بتنی مکعبی 200mm و 150mm تحت سنین مقاومت ۷ و ۲۸ روز است. و $a = -1.255$ و $b = 64.35$ ضریب متغیر معادله است. و ضریب R^2 ضریب رگرسیون برابر 0.342 می باشد که نتیجه معادله برابر است:

$$28day = -1.255(7day) + 64.35 \quad (1)$$

برای طرح مخلوط B مقدار ثابت $(y=28day)$ و $(x=7day)$ برای تعداد $(n=12)$ آزمون بتنی مکعبی 200mm و 150mm تحت سنین مقاومت ۷ و ۲۸ روز می باشد و $a = -1.083$ و $b = 71.5$ ضریب متغیر معادله است. و ضریب R^2 ضریب رگرسیون برابر 0.888 می باشد که نتیجه معادله برابر است:

$$28day = -1.083(7day) + 71.5 \quad (2)$$

برای آزمون Cy150 تحت ترکیب مقاومت طرح مخلوط A و B در نظر گرفته شده است که مقدار ثابت $(y=28day)$ و $(x=7day)$ برای تعداد $(n=12)$ آزمون بتنی تحت سنین مقاومت ۷ و ۲۸ روز می باشد و $a = 1.192$ و $b = 4.949$ ضریب متغیر معادله است. و ضریب R^2 ضریب رگرسیون برابر 0.93 می باشد که نتیجه معادله برابر است:

$$28day = 1.192(7day) + 4.944 \quad (3)$$

با توجه به معادلات ارائه شده آنالیز رگرسیون و آزمایش های مربوطه آنها بطور کامل انجام شده و علاوه بر این، مقدار R^2 در معادلات فوق برای همه آزمون های عمل آوری شده از ۰٫۳۴۲ تا ۰٫۹۳ است که یک مقدار متفاوت برای نمودارهای خطی برازش

می باشد. و همچنین در نمودارهای برآزش نشان داده شده برای طرح مخلوط A و B با شکل و ابعادی مختلف یک نمودار خطی را دنبال می کنند لیکن دارای همبستگی متفاوتی هستند.

۵- بحث

در این بخش، نتایج به دست آمده مورد بحث قرار گرفته است. در نتایج این پژوهش، تعدادی نمودار خطی و فرمول های مربوط به آنها به دست آمد و مشخص شده است که علاوه بر تاثیر شکل و ابعاد آزمون های بتنی، نوع سیمان مصرفی هم عمدتاً به عنوان بخشی مهم و اثرگذار بر نرخ افزایش مقاومت بتن و ضرایب تبدیل آن می باشد. بطوریکه مقاومت آزمون هایی که توسط سیمان نوع ۲ بدست آمده است نرخ افزایش مقاومت پایین تری نسبت به آزمون هایی که با سیمان نوع ۴۲۵-۱ می باشد وجود دارد که در همین راستا با توجه مقاومت این آزمون ها به نظر می رسد این حقیقت بر ضرایب تبدیل آزمون های مکعبی و استوانه ای نیز تاثیر گذار است.

یکی از نتایج چشمگیری که در این مطالعه می تواند بیانگر این واقعیت باشد، روندی متفاوت از نتایج حاصله آزمون های بتنی تحت سیمان های مصرفی مختلف است.

نکته ی دیگری که می توان از نتایج مشاهده نمود این است که انواع فرمول های ارائه شده علاوه بر وابستگی به شکل و ابعاد آزمون ها به نوع سیمان مصرفی هم وابسته می باشند. به عبارت دیگر، به نظر می رسد تمامی آزمون ها معادله خطی درجه اول را دنبال می کنند لیکن دارای همبستگی متفاوت اند و به طور کلی می توان گفت که هر عاملی که بتواند مقاومت فشاری آزمون ها را بطرق مختلفی تحت تاثیر قرار دهد می تواند ضرایب تبدیل را نیز تحت تاثیر قرار دهد.

۶- نتیجه گیری

به عنوان نتیجه گیری از این تحقیق آزمایشگاهی، می توان به نکات زیر اشاره کرد:

- در طرح اختلاط A و B تحت شکل و ابعاد مختلف و نوع سیمان متفاوت، نمودار های برآزش یک مدل خاصی را دنبال می کنند و تنها بصورت خطی می باشند.
- با توجه به نتایج آزمون، رفتار ضرایب تبدیل در مقابل مقاومت آزمون های بتنی با تغییر نوع سیمان مصرفی تغییر می کند.
- با توجه به ضریب تبدیل $I_2 = 1$ آیین نامه بتن ایران که یک روند کاملاً خطی وابسته به شکل و ابعاد آزمون های بتنی می باشد لیکن در این تحقیق نشان می دهد ضریب تبدیل I_2 حاصل از طرح مخلوط A و B علاوه بر تاثیر شکل و ابعاد نمونه های بتنی به نوع سیمان مصرفی در جهت کسب مقاومت بتن موثر است. بطوریکه در سیمان نوع ۲ با ضریب تبدیل ۰,۹۶ و در سیمان نوع ۴۲۵-۱ با ضریب تبدیل ۰,۹۱ که همواره عددی کوچکتر از واحد بوده می باشد و در نتیجه با افزایش مقاومت بتن این ضریب کاهش یافته است. که بدین ترتیب ضرایب تبدیل I_2 ارائه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان غیر محافظه کارانه بوده و مقاومت آزمون های بتنی را بیشتر از مقاومت واقعی آنها برآورد می نماید.
- ضریب تبدیل $I_2 = 1,25$ با مقاومت ۲۵ مگاپاسکال بیشتر برای مصارف ساختمانی در نظر گرفته شده و این ضریب با توجه به

"هشتمین کنفرانس بین المللی بتن ایران - تهران - ۱۵ مهرماه ۱۳۹۵"

تحقیق بعمل آمده با کاهش حدود ۴ درصدی با ضریب ۱,۲۰ در مقاومت تقریبی ۳۶ مگاپاسکال صادق است. و همچنین برای مقادیر با مقاومت های بالاتر این کاهش درصدی قابل اغماض نیست.

- ضریب تبدیل I_2 در این مطالعه علاوه بر وابستگی به شکل و ابعاد آزمون های بتنی، به سیمان های مصرفی مختلف هم وابسته است.
- در این تحقیق، رابطه بین مقاومت سنین ۷ و ۲۸ روز در دو طرح مخلوط A و B یک رابطه کاملاً خطی است. و در نتیجه تاثیرات شکل و ابعاد آزمون های بتنی و نوع سیمان های مصرفی می توانند همبستگی متفاوتی را بین آزمون های بتنی تحت سنین مختلف ایجاد نمایند.
- با توجه به نتایج معادلات حاصل از این مطالعه نشان می دهد که رابطه بین مقاومت سنین ۷ و ۲۸ روز برای آزمون های با شکل و ابعاد مکعبی تحت سیمان نوع ۲ دارای همبستگی خیلی پایین و غیر قابل قبولی نسبت مقاومت سنین ۷ و ۲۸ روز تحت سیمان نوع ۴۲۵-۱ می باشد.
- رابطه بین مقاومت سنین ۷ و ۲۸ روز برای آزمون های با شکل و ابعاد استوانه ای تحت هر نوع سیمان دارای همبستگی عالی و فوق العاده بالایی نسبت به مقاومت آزمون های مکعبی با هر نوع سیمان می باشد.
- با توجه به معادلات های حاصل از این تحقیق، می توان عنوان نمود آزمون های استوانه ای Cy150 که مبنای طراحی در سازه های کشور می باشد دارای نتایج دقیق تری نسبت به سایر آزمون های بتنی با شکل و ابعادی مختلف است.
- با توجه به ضریب خوب و بالای رگرسیون حاصل از مقاومت آزمون استوانه ای توسط ترکیب مخلوط A و B و آزمون مکعبی تحت مخلوط B نشان می دهد که معادله خطی $y = ax + b$ کاملاً وابسته به شکل و ابعاد آزمون و نوع سیمان مختلف مصرفی است.
- در این تحقیق با توجه به نتایج نمونه های بتنی نشان می دهد آزمون های مکعبی 200mm کمی نسبت به آزمون های مکعبی 150mm دارای مقاومت بالاتری بوده که این علت به نظر می رسد علاوه بر تاثیر شکل و ابعاد نمونه ها ، نوع سیمان های مختلف مصرفی بر روی مقاومت بتن می تواند اثرگذار باشد.
- با توجه به اینکه در کارهای مهندسی ضریب رگرسیون معمولاً بالاتر از ۰,۹ عالی بوده، لذا در این تحقیق ، رابطه مقاومت آزمون های بتنی Cy150 برای سنین ۷ و ۲۸ روز توسط سیمان های مختلف و رابطه مقاومت آزمون های Cube200 و Cube150 برای سنین ۷ و ۲۸ توسط سیمان نوع ۴۲۵-۱ در نتایج دقیق تر و صادق تر می باشند.
- با توجه به تفاوت ضرایب تبدیل I_2 و I_2 حاصل از این پژوهش نسبت به ضرایب تبدیل آیین نامه بتن ایران پیشنهاد می شود ضرایب تبدیل مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران مجدداً بررسی و بازنگری شوند.

۷- مراجع

- [۱] سازمان ملی استاندارد ایران، بتن- ساخت و عمل آوری آزمون های بتن در آزمایشگاه - آیین کار، سازمان ملی استاندارد ایران، دوره ۲، شماره ۵۸۱، اسفند ۱۳۹۳
- [۲] سازمان ملی استاندارد ایران، بتن سخت شده- قسمت ۲- ساخت و عمل آوری آزمون ها برای آزمون های مقاومت، سازمان ملی استاندارد ایران، دوره ۱، شماره ۱۶۰۸-۲، بهمن ۱۳۹۳ دریافت شده از سایت: <http://www.isiri.org/portal/file/?218504/1608-2.pdf>
- [۳] سازمان ملی استاندارد ایران، بتن سخت شده - تعیین چگالی - روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران، دوره ۱، شماره ۷۵۱۶، شهریور ۱۳۸۳ دریافت شده از سایت: <http://www.isiri.gov.ir/portal/files/std/7516.doc>
- [۴] سازمان ملی استاندارد ایران، تعیین مقاومت فشاری آزمون های بتن، سازمان ملی استاندارد ایران، دوره ۱، شماره ۳۲۰۶، ۱۳۷۱، فایل دریافت شده از سایت: <http://www.isiri.gov.ir/portal/files/std/3206.htm1>
- [۵] سازمان ملی استاندارد ایران، بتن تازه- قسمت ششم- وزن مخصوص- روش آزمون، دوره ۱، شماره ۳۲۰۳-۶، اسفند ۱۳۸۶ فایل دریافت شده از سایت: <http://www.isiri.gov.ir/portal/files/std/3203-6.pdf>
- [۶] سازمان ملی استاندارد ایران، بتن تازه- قسمت دوم- تعیین روانی به روش اسلامپ- روش آزمون، دوره ۱، شماره ۳۲۰۳-۲، اسفند ۱۳۸۶ فایل دریافت شده از سایت: <http://www.isiri.gov.ir/portal/files/std/3203-2.pdf>
- [۷] رمضانیاں پور، علی اکبر و پیدایش منصور؛ تکنولوژی بتن (مصالح، خواص، اجرا)، تهران، جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، صفحه ۱۸۹ و ۱۹۴ تا ۲۱۰، دوره ۱، ۱۳۹۲
- [۸] وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه، تهران، نشر توسعه ایران دوره ۶، مبحث ۹، ۱۳۹۲
- [۹] وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، روش طرح ملی مخلوط بتن، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، دوره ۲، نشریه شماره ض- ۴۷۹، ۱۳۸۸
- [10] ASTM C39/C39M, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Retrieved from: http://www.rangson.com/pdf/astm%20concrete/CON020_C39.pdf, 2011
- [11] Arioiz, O., Ramyar, k., Tuncan, M., Tuncan, A., Scil, I. "Some factors influencing effect of core diameter on measured concrete compressive strength". *ACI Materials Journal*, Vol.104, No.3, PP291-296, 2007.
- [12] Del Viso, J., J. Carmona and G. Ruiz, "Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete". *Cement Concrete Research*, 38(3), pp 386-395, 2008
- [13] Elwell, D.J. and G. Fu, Compression Testing of Concrete: Cylinders vs. Cubes. Transportation Research and Development Bureau, New York State Department of Transportation, Albany, SR-95/119, 1995.
- [14] Gonnerman, H.F., 1925. "Effect of size and shape of test specimen on compressive strength of concrete". *Proceedings. ASTM*, Vol 25, part 2, pp 237-250, 1925.
- [15] Mansur, M.A. and Islam M. M, "Interpretation of concrete strength for Nonstandard specimens", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 151-155 April 2002.
- [16] Neelakantan, T.R, Ramasundaram, S, Shanmugavel, R, Vinoth, R, "Prediction of 28-day Compressive Strength of Concrete from Early Strength and Accelerated Curing Parameters", *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Vol 5, No 2, pp 1197-1201, 2013.
- [17] Plowman, J., W. Smith and T. Sheriff, "Cores, cubes and the specific strength of concrete", *Structures Engineering*, 52(11), pp 421-426, 1974.
- [18] Seong, Tea, Yi, Yang, Ean, Ik and cheolchoi, Joong, "Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete", *Nuclear engineering and Design*, 236, pp 112- 127, 2006.
- [19] Tokyay, M. and M. Ozdemir, "Specimen shape and size effect on the compressive strength of higher strength concrete", *Cement Concrete Research*, 27(8), pp 1281-1288, 1997.
- [20] N. Zabihi and O, Eren, "Compressive strength concrete factors of concrete as affected by specimen shape and size", *Research Journal of Applied sciences, Engineering and Technology* 7(20), pp4251-4257, 2014.