

بررسی موردی کاربرد بتن خودتراکم در پایه های تقاطع غیر همسطح شاهد- مشهد

مصطفی رستمی^۱، مریم مغنی نژاد^۲، ابراهیم اکرمی^۳، رسول داودی^۴، مسعود رستم زاده^۵

- ۱- مدیر تحقیق و توسعه، مشهد- بزرگراه آزادی - نبش بزرگراه میثاق - شرکت بنیان بتن
- ۲- مدیر کنترل کیفیت، مشهد- بزرگراه آزادی - نبش بزرگراه میثاق - شرکت بنیان بتن
- ۳- مدیر عامل، مشهد- بزرگراه آزادی - نبش بزرگراه میثاق - شرکت بنیان بتن
- ۴- مدیر فنی آزمایشگاه، مشهد- بزرگراه آزادی - نبش بزرگراه میثاق - آزمایشگاه بنیان بتن
- ۵- کارشناس آزمایشگاه، مشهد- بزرگراه آزادی - نبش بزرگراه میثاق - آزمایشگاه بنیان بتن

m_rostami_engi@yahoo.com

چکیده

از جمله پروژه هایی که توسط شرکت بنیان بتن انجام شده است تعیین طرح اختلاط بتن خود تراکم برای بتن ریزی در پایه های تقاطع غیر همسطح شاهد مشهد می باشد. بتن ریزی پایه ها در این پروژه به دلیل خصوصیات سازه ای مقاطع (عدم دسترسی به کل حجم قالب در ارتفاع و تراکم آرماتور) امکان هرگونه متراکم کردن بتن را غیرممکن می ساخت. برای دست یابی به تمامی موارد خواسته شده طرح بتن خودتراکم ارائه گردید. به منظور بررسی خصوصیات بتن خودتراکم از آزمایش های جریان اسلامپ، T50، جعبه L و مقاومت فشاری در این پروژه استفاده شده است. در این مقاله به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از آزمایشگاه و مراحل اجرایی پروژه می پردازیم.

کلمات کلیدی: بتن، خودتراکم، پل، مقاومت فشاری بتن، جریان اسلامپ

Code: 60F

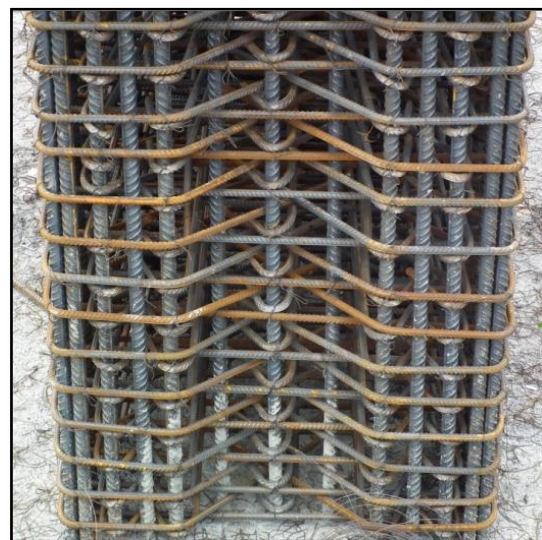
۱. مقدمه

یکی از اهداف مهندسين در کشورهای مختلف، همواره این بوده است که بتنی تولید کنند تا رفتاری شبیه مایع نیوتنی داشته باشد یعنی خود به خود متراکم و تراز شود و در عین حال با حفظ نسبت آب به سیمان پدیده هایی مانند آب انداختن، جداسدگی، جمع شدگی و کاهش مقاومت اتفاق نیفتد [۱]. بتن یکی از رایج ترین و ارزان ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. بتن خودتراکم که اولین بار در اواخر دهه ۸۰ توسط Okamura ساخته شد، گام بلندی در استفاده از بتن با مشخصات رئولوژی و مکانیکی مناسب با شرایط خاص محسوب می گردد. این نوع بتن مشکلات اجرایی در موقعیت های با تراکم آرماتور بالا و همچنین در مقاطعی که عمل ویبره با مشکلات زیادی همراه است را از بین برده و در فراگیرتر شدن استفاده از این مصالح در صنعت ساخت نقش عمده ای داشته است [۲].

در این تحقیق سعی شده است تا با بررسی و مقایسه داده های اساسی حاصل از نتایج آزمایشات و اجرایی کردن این داده ها ارتباط بین صنعت و تحقیقات نمایان گردد. از آنجا که پروژه پایه های تقاطع غیر همسطح شاهد یکی از پروژه های طراحی شده بر اساس بتن خودتراکم می باشد لذا مشخصات کلی این پروژه به اختصار در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول ۱- مشخصات کلی پروژه تقاطع غیر همسطح شاهد

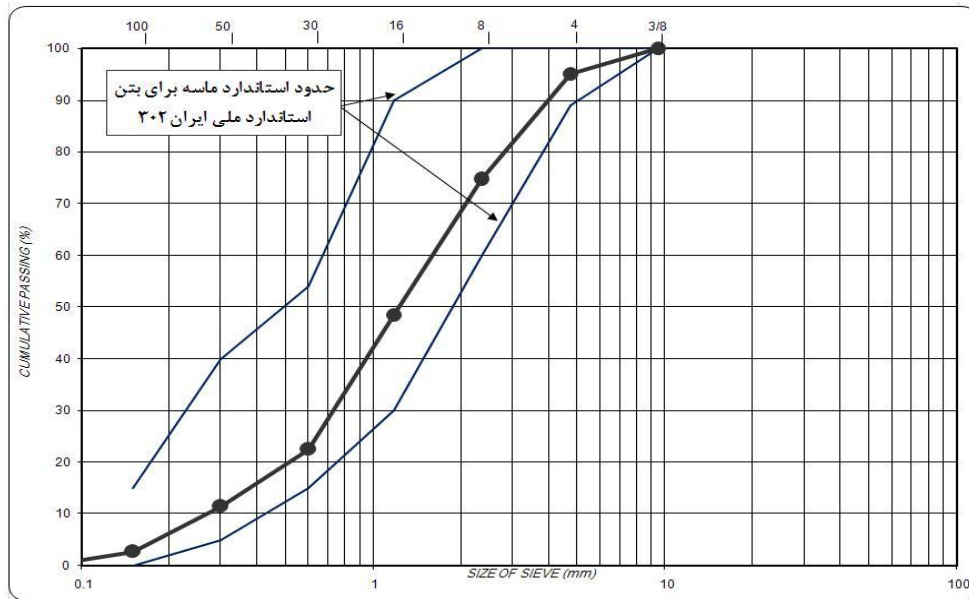
کارفرما	سازمان عمران شهرداری مشهد
حجم بتن ریزی	۴۵۰ متر مکعب
تعداد پایه	۱۴ عدد
ارتفاع پایه	۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵ متر
رده مقاومتی	C30
قطر آرماتور اصلی	۱۶ و ۲۵ میلیمتر



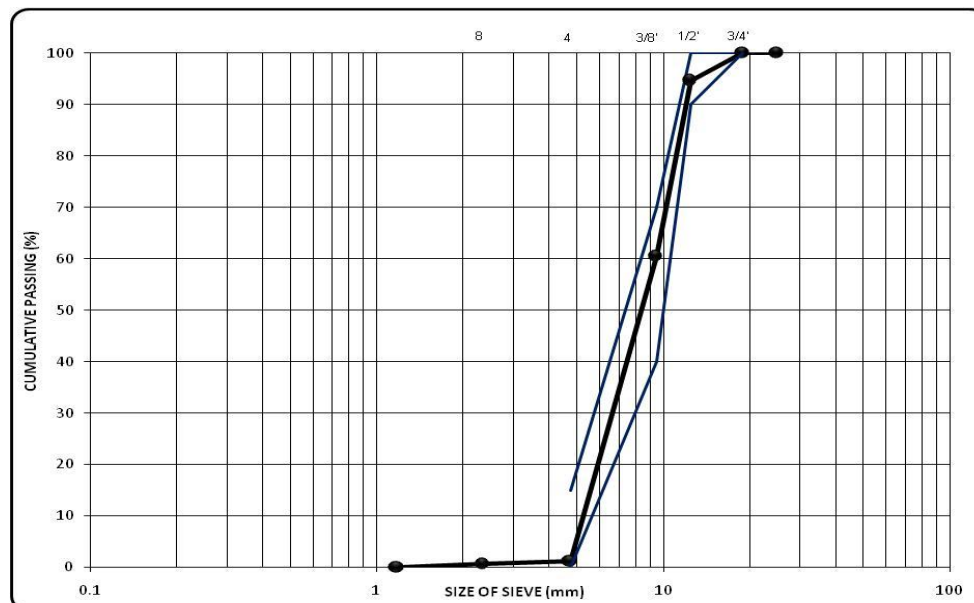
شکل ۱- تراکم آرماتور و ارتفاع پایه های پل تقاطع غیر همسطح شاهد

۲. مصالح مصرفی

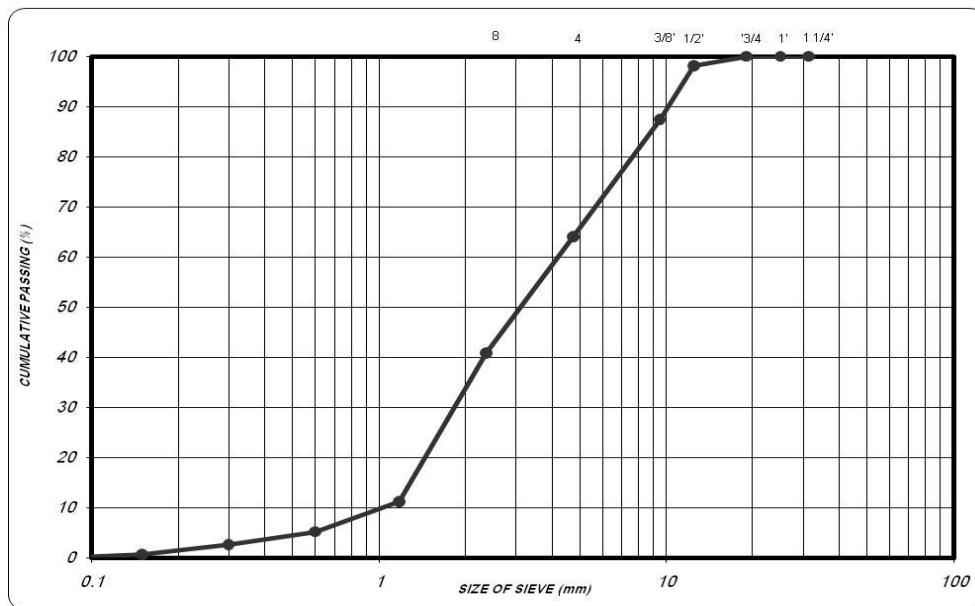
دانه بندی ماسه و شن مصرفی مطابق ملزومات استاندارد ملی ایران بوده و در شکل های (۲)، (۳) و (۴) ترسیم شده است [۳].
آزمایش های تعیین وزن مخصوص حقیقی و درصد جذب آب مصالح سنگی بر اساس استاندارد ASTM C127, C128 انجام شده و در جدول (۲) درج شده است [۴ و ۵]. حداکثر بعد درشت دانه مصرفی ۱۲/۵ میلیمتر می باشد.



شکل ۲- دانه بندی ماسه



شکل ۳- دانه بندی شن (اندازه ۱۲/۵ - ۴/۷۵ میلی متر)



شکل ۴- دانه بندی مخلوط مصالح سنگی

جدول ۲- مشخصات مصالح سنگی

اندازه سنگدانه (mm)	مدول نرمی	وزن مخصوص حقیقی (kg/m^3)	جذب آب (%)
ماسه (۰ - ۴/۷۵)	۳/۴۵	۲۵۸۰	۲/۴
شن (۴/۷۵ - ۱۲/۵)	---	۲۶۹۰	۰/۵

برای افزایش میزان کارایی مخلوط های بتنی، از فوق روان کننده با نام تجاری FOSROC335 که بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر می باشد استفاده شده است. سیمان مصرفی در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ I-425، تولید شده در کارخانه سیمان مشهد انتخاب گردید. ترکیب شیمیایی سیمان در جدول (۳) ارائه گردیده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی سیمان مصرفی

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mgo	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
٪۲۰/۹	٪۴/۴	٪۳/۸	٪۳	٪۶۳/۲	٪۰/۴	٪۰/۶	٪۱/۸

۳. فاز آزمایشگاهی

طرح اختلاط عبارتست از روند انتخاب اجزاء مناسب برای بتن (تعیین مقادیر وزنی، شن، ماسه، سیمان و آب) و تعیین مقادیر نسبی آنها به منظور تولید بتنی اقتصادی که دارای خصوصیات مشخصی مانند کارایی، دوام، مقاومت و... باشد. در تعریف فوق

دو نکته قابل تاکید است: اولاً بتن دارای حداقل خواص مشخص شده باشد و ثانیاً تا حد امکان بصورت اقتصادی تهیه شود که این نکته یک شرط مشترک در مسائل مهندسی می باشد [۶].

با توجه به مصالح موجود با ایجاد تغییر در نسبت مصالح سنگی (درشت دانه و ریزدانه) و میزان فوق روان کننده، چندین طرح اختلاط بتن خودتراکم توسط آزمایشگاه بنیان بتن پیشنهاد گردید. بعد از انجام آزمایش های مربوط به بتن خودتراکم (جریان اسلامپ، T50cm، جعبه L و...) طرح اختلاط زیر بعنوان طرح پیشنهادی بتن خودتراکم معرفی گردید. این طرح اختلاط در جدول (۴) مشاهده می گردد. ابعاد قالب های مکعبی استفاده شده برای تعیین مقاومت فشاری نمونه های ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی متر در نظر گرفته شده و مقاومت فشاری نمونه ها در سنین ۷ و ۲۸ روز تعیین گردیده و سپس بر اساس ضرایب مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، مقاومت معادل استوانه ای آن محاسبه شده است [۷]. نتایج آزمایش های بتن خودتراکم از قبیل جریان اسلامپ، T50cm و جعبه L و آزمایش مقاومت فشاری برای طرح آزمایشگاهی در جدول (۵) ارائه گردیده است.

جدول ۴- نسبت مصالح طرح مخلوط (Kg)

سیمان (kg)	$\frac{W}{C}$	فوق روان کننده %	ماسه (kg)	شن (kg)	پودرسنگ (kg)
۴۰۰	۰/۳۵	۰/۷	۱۱۵۰	۴۲۵	۱۵۰

جدول ۵- نتایج آزمایش های بتن خودتراکم با رده مقاومتی C30 در طرح مخلوط آزمایشگاهی

نام آزمایش	جریان اسلامپ (cm)	T50 (sec)	h_2/h_1	مقاومت فشاری معادل استوانه ای (MPa)
نتایج	۷۰	۲/۶۸	۱	۴۰/۹

۴. فاز اجرایی

بعد از انجام فاز مطالعاتی آزمایشگاهی و اعلام نتایج به کارفرما، فاز عملیاتی یا اجرایی پروژه تقاطع غیر همسطح شاهد آغاز گردید. از آنجا که بتن خودتراکم در مقایسه با بتن معمولی حساسیت بیشتری نسبت به تغییر ویژگی های اولیه دارد، بنابراین باید بر تمامی مراحل تولید، حمل و ریختن بتن نظارت دقیق صورت پذیرد. فرآیند دپوی مواد اولیه بتن خودتراکم همانند بتن معمولی می باشد ولی به علت اینکه بتن خودتراکم در مقابل تغییرات این مواد حساسیت بیشتری دارد نکات زیر باید ملاحظه گردد:

- ✓ سنگدانه ها باید به گونه ای دپو شوند که سایزها و انواع مختلف آنها با هم مخلوط نشوند و به منظور به حداقل رساندن نوسان رطوبت سطحی آن ها، در مقابل عوامل جوی حفظ گردند.
- ✓ شرایط جوی نباید باعث از بین رفتن فیلر مصالح گردد.
- ✓ شیب بندی دپو باید به گونه ای باشد که آب اضافی مصالح و آب باران به راحتی از آن خارج گردد.
- ✓ ظرفیت دپوی مصالح باید به میزان کافی باشد زیرا توقف تولید و ایجاد وقفه در عملیات بتن ریزی عوارض جدی به دنبال خواهد داشت.
- ✓ توصیه شده است که میزان مواد اولیه لازم قبل از شروع بتن ریزی در محل تولید دپو گردد.

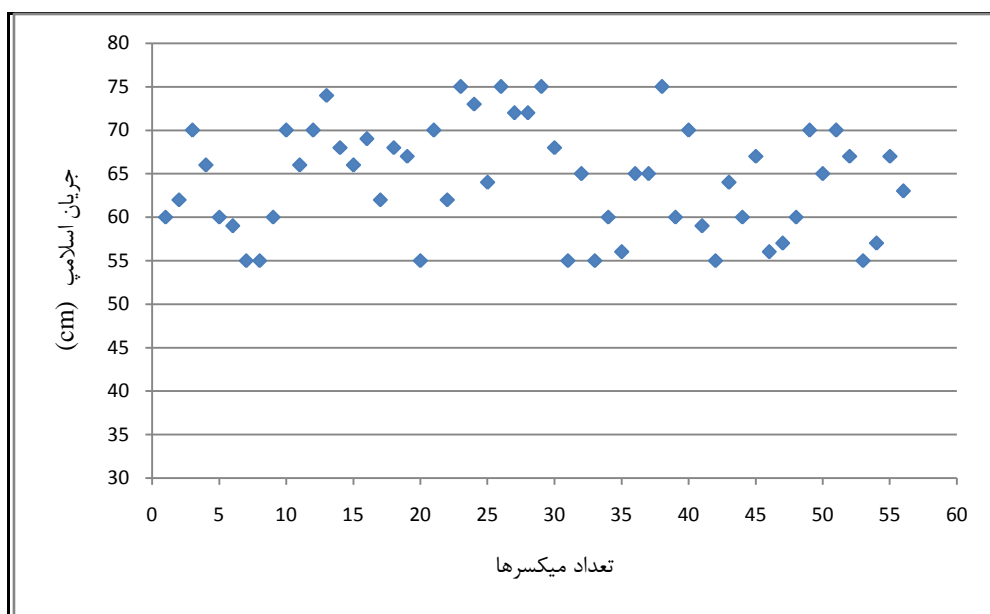
✓ جهت دپوی سیمان و مواد افزودنی التزام زیادتری نسبت به بتن عادی وجود ندارد. [۸ و ۹]

با توجه به مجهز نبودن بچینگ به سنسورهای تعیین درصد رطوبت مصالح و در نتیجه عدم تعیین دقیق درصد رطوبت مصالح سنگی در طول مدت ساخت بتن خودتراکم، میزان آب اختلاط به صورت تدریجی به مخلوط خشک بتن اضافه گردید تا زمانی که با نظر کارشناسان مجرب، حدود روانی مورد نظر تامین گردد. جهت اطمینان از یکنواختی مصالح سنگی در طول مدت ساخت بتن، تمامی مصالح سنگی از دپوهای تعیین شده از قبل که مشابه مصالح سنگی مورد استفاده در طرح های آزمایشگاهی بودند، استفاده گردید.

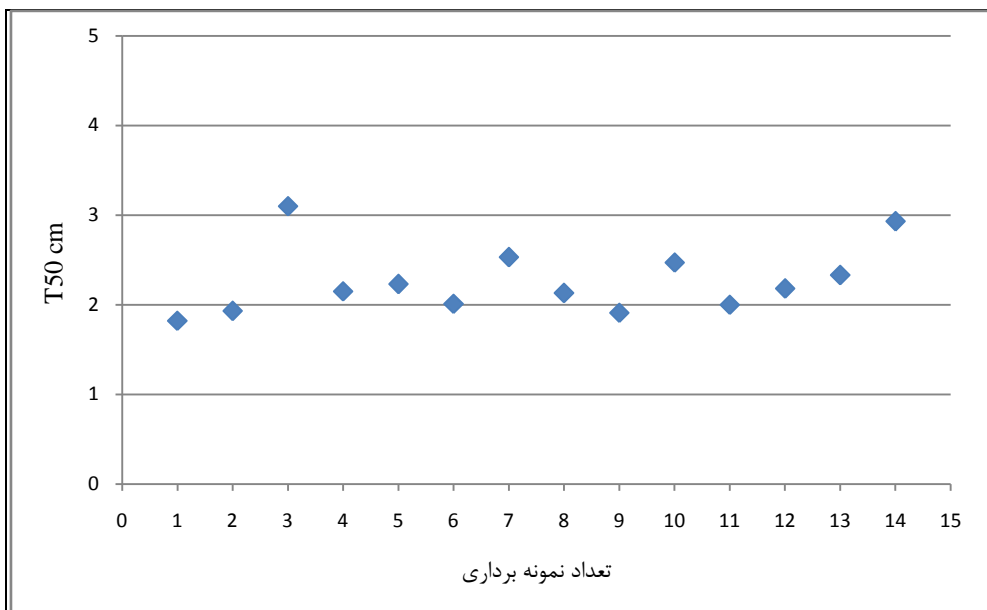
۵. بررسی نتایج

۵-۱- بتن تازه

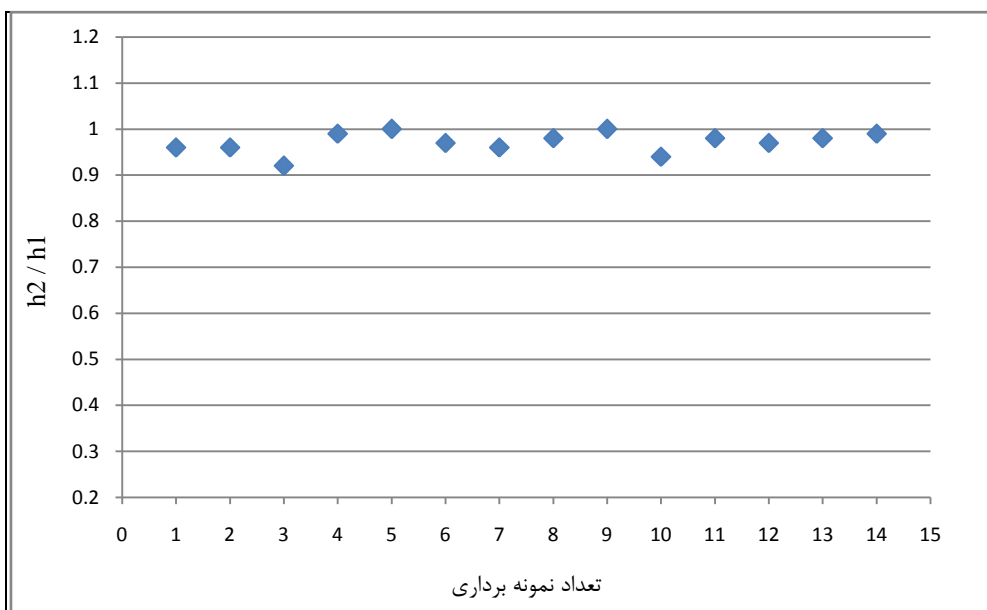
نتایج آزمایش های بتن خودتراکم از قبیل جریان اسلامپ، T50cm و جعبه L برای طرح های اجرایی در جدول (۶) ارائه شده است. بتن ریزی پایه های پل در ۱۴ مرحله صورت پذیرفت، جهت کنترل دقیق بتن در هر مرحله بتن ریزی از تمامی میکسرهای اول آزمایش جریان اسلامپ، T50cm و جعبه L گرفته شد. مقرر گردید متناسب با تراکم آرما تورد در هر پایه، جریان اسلامپ بتن بین ۵۵ تا ۷۵ سانتی متر تنظیم گردد لذا جهت هرچه بالا بردن کیفیت بتن از تمامی میکسرهای آزمایش جریان اسلامپ جهت کنترل روانی صورت پذیرفت که در شکل (۵) ترسیم شده است. نتایج آزمایش های T50 cm و جعبه L مربوط به هر نمونه برداری در شکل های (۶) و (۷) نشان داده شده است. لازم به ذکر است جمع شدگی و جداسدگی بتن تازه هم در فاز آزمایشگاهی و هم در فاز اجرایی به صورت چشمی کنترل گردید.



شکل ۵- نتایج آزمایش جریان اسلامپ بتن خودتراکم (cm)



شکل ۶- نتایج آزمایش T50cm (Sec)



شکل ۷- نتایج آزمایش جعبه L

۵-۲- بتن سخت شده

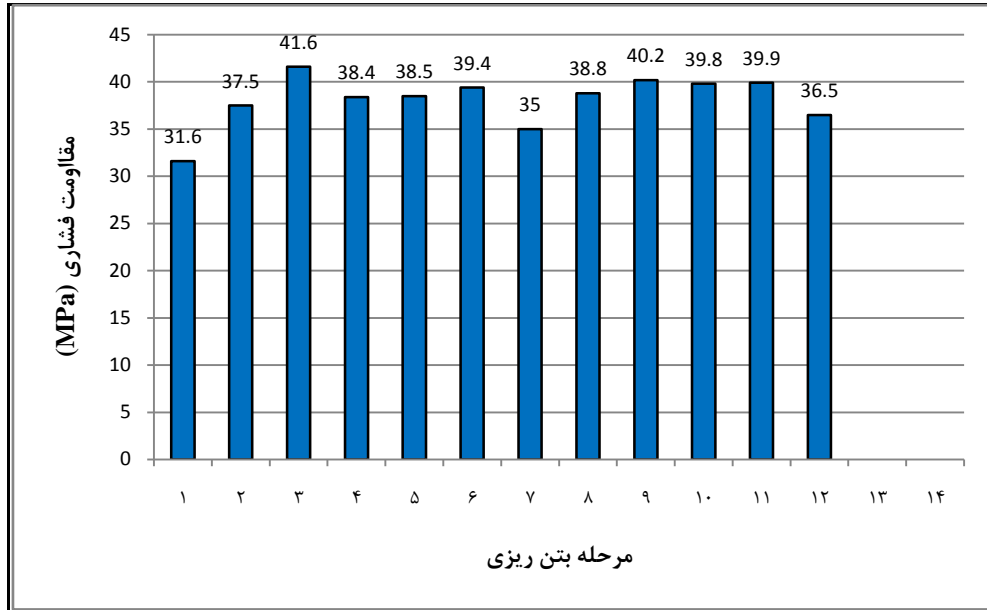
مقاومت فشاری بتن به عنوان یکی از مهمترین خواص برای بتن سخت شده در نظر گرفته می شود که شمای کلی کیفیت بتن را ارائه می دهد. مقاومت فشاری بتن بستگی به نسبت آب به سیمان، سنگدانه های ریز و درشت، آب و مواد افزودنی دارد که نسبت آب به سیمان مهم ترین عامل در مقاومت فشاری بتن می باشد. میزان مقاومت فشاری متوسط هدف طرح اختلاط، با

توجه به بند ۹-۵-۳-۳ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، برای آزمون‌های استوانه‌های 15×30 سانتی متر طبق مقادیر انحراف معیار که برابر ۴ مگاپاسکال می‌باشد، برابر ۳۷ مگاپاسکال محاسبه گردیده است [۷].

مقاومت فشاری بتن به طور عمومی مهمترین عامل نشان دهنده کیفیت آن است. این موضوع به این دلیل است که میزان مقاومت به طور مستقیم به کیفیت خمیر سیمان سخت شده مربوط می‌شود. برای مثال، اگر چه مقاومت به طور مستقیم نشان دهنده ی میزان دوام بتن و یا ایستادگی آن در برابر تغییر شکل نیست، اما به شدت به نسبت آب به سیمان بستگی دارد. این نسبت نیز با کنترل میزان تخلخل بتن روی دوام و مقاومت در برابر تغییر شکل آن تاثیر می‌گذارد. بنابراین، مقاومت بتن می‌تواند به طور وسیعی در کنترل کیفیت آن مورد استفاده قرار گیرد. البته این موضوع بدان معنی نیست که کنترل سایر ویژگی‌های بتن الزامی نیستند [۱۰]. در همین راستا در پروژه پایه‌های تقاطع غیر همسطح شاهد، جهت کنترل کیفیت بتن ارسالی، مقاومت فشاری بتن توسط آزمایشگاه جهاد آزما مورد آزمون قرار گرفته است. نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح‌های اجرایی در جدول (۶) ارائه گردیده و در شکل (۸) مشاهده می‌شود.

جدول ۶- نتایج آزمایش‌های بتن خودتراکم با رده مقاومتی C30 در طرح‌های اجرایی

آزمایش	جریان اسلامپ (cm)	T50 (sec)	h_2/h_1	مقاومت فشاری معادل استوانه ای (MPa) ۷ روزه	۲۸ روزه
۱	۶۰	۱/۸۲	۰/۹۶	۱۹/۳	۳۱/۶
۲	۶۶	۱/۹۳	۰/۹۶	۲۵/۲	۳۷/۵
۳	۵۵	۳/۱۰	۰/۹۲	۲۶/۴	۴۱/۶
۴	۷۰	۲/۱۵	۰/۹۹	۲۵/۲	۳۸/۴
۵	۷۴	۲/۲۳	۱	۲۴/۹	۳۸/۵
۶	۶۲	۲/۰۱	۰/۹۷	۲۶/۸	۳۹/۴
۷	۵۵	۲/۵۳	۰/۹۶	۲۱/۳	۳۵
۸	۶۴	۲/۱۳	۰/۹۸	۲۸/۲	۳۸/۸
۹	۷۲	۱/۹۱	۱	۲۶/۸	۴۰/۲
۱۰	۵۵	۲/۴۷	۰/۹۴	۲۶/۸	۳۹/۸
۱۱	۶۵	۲	۰/۹۸	۲۶/۲	۳۹/۹
۱۲	۵۹	۲/۱۸	۰/۹۷	۲۵/۸	۳۶/۵
۱۳	۵۷	۲/۳۳	۰/۹۸	---	---
۱۴	۶۷	۲/۹۳	۰/۹۹	---	---



شکل ۸- مقاومت فشاری معادل استوانه ای در سن ۲۸ روز بر حسب MPa

جهت دقت بیشتر در ساخت بتن های خاص مانند بتن خودتراکم پیشنهاد می گردد که منبع تغذیه مجزایی در بچینگ تعبیه گردد تا مواد افزودنی با توزین دقیق تری به بتن اضافه شوند. جهت دقت بیشتر در توزین مصالح سنگی و میزان آب مصرفی در ساخت بتن پیشنهاد می گردد که دپوی مصالح به سنسورهای تعیین کننده درصد رطوبت مجهز گردند. در شکل (۹) نمای تمام شده پایه های تقاطع غیر همسطح شاهد نشان داده شده است.



شکل ۹- نمای پایه های یل تقاطع غیر همسطح شاهد

۶. مراجع

- [۱] کاکاوند، ا. (۱۳۸۲). "بتن خودتراز". دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
- [۲] موسوی، س. م. (۱۳۸۸). "تاثیر مشخصات سنگدانه بر ویژگی های رئولوژیکی و مکانیکی بتن خودتراکم مورد کاربرد در سرریز سدهای بتنی". دانشگاه تهران، رشته مهندسی عمران، گرایش سازه های هیدرولیکی.
- [۳] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (۱۳۸۱). "استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲، سنگدانه های بتن، ویژگیها". تجدیدنظر دوم.
- [4] ASTM C127. (2015). "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate." Vol. 4(2).
- [5] ASTM C128. (2015). "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate." Vol. 4(2).
- [۶] نوپل آ. (۱۳۷۸). "بتن شناسی". ترجمه فامیلی ه.، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۷] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۲). "مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه".
- [۸] مظلوم، م. (۱۳۸۵). "ویژگی های مکانیکی کوتاه مدت در بتن های با مقاومت زیاد دارای میکروسیلیس"، فصلنامه فناوری و آموزش.
- [۹] اکرمی، ا.، مروتی، ج. (۱۳۸۵). "ملاحظات کاربردی در تولید و اجرای بتن خودتراکم". اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، ۱۰ اسفند.
- [۱۰] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (۱۳۸۸). "استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۲۲۸۴، مشخصات مواد تشکیل دهنده، تولید و انطباق بتن". چاپ اول.