

رابطه مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای بتن‌های خودتراکم پر مقاومت حاوی دوده سیلیس

محمد شکیب^۱، علی شکیب^۲، امیر پویا غلامرضایی^۳

۱- کارشناس ارشد سازه - مشاور تکنولوژی بتن واحد بتن آماده بهمن

۲- MBA- مدیر تحقیق و توسعه کلنیک تخصصی بتن

۳- دانشجوی مهندسی عمران دانشگاه قم

چکیده:

در این پژوهش ۲۸ طرح مخلوط یکسان با نسبت آب به سیمان ۰.۴۳ و عیار سیمان ۴۷۵ کیلوگرم در متر مکعب، ساخته و بطور همزمان از هر طرح، آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای گرفته شد. طرح مخلوط بتن خودتراکم حاوی دوده سیلیس با تامین شاخص‌های عبورپذیری، پرکنندگی و پایداری به همراه کسب مقاومت فشاری حداقل در سن ۲۸ روزه، ۴۵ مگاپاسکال، ساخته و تحویل پروژه گردید. رابطه بین مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای و بدست آوردن ضریب تبدیل آنها، جهت استفاده در پروژه‌های آتی، از روی عملگرهای آماری، در این تحقیق نشان داده خواهد شد.

کلمات کلیدی: بتن پر مقاومت، بتن خودتراکم، عبورپذیری، پرکنندگی، پایداری، ضریب تبدیل آزمون‌های مکعبی به استوانه‌ای

۱- مقدمه:

بی تردید بتن خود تراکم یکی از بزرگترین پیشرفت های صورت گرفته در چند دهه ی اخیر در تکنولوژی بتن می باشد. مطالعات اولیه بر روی این بتن توسط آقای Okamura از دانشگاه کوچی ژاپن در سال ۱۹۸۶ انجام گرفت و تا سال ۱۹۸۸ این مطالعات تکمیل و اولین بتن خود تراکم ساخته شد [۱،۲] و در سال ۱۹۸۹ اولین مقاله درباره ی بتن خود تراکم به چاپ رسید [۳]. بتن خود تراکم با خصوصیات منحصر به فرد، جایگاه ویژه ای را برای خود در صنعت بتن سازی فراهم کرده است.

بتن خود تراکم قابلیت آن را دارد که تحت اثر وزن خود جریان یافته و حتی با وجود آرماتورگذاری انبوه می تواند از بین موانع حرکت کرده و تمام گوشه های قالب را پر و تراکم مناسبی را حاصل نماید، که این قابلیت ها منجر به حذف عملیات لرزش و مشکلات ناشی از آن، از جمله جدا شدگی، تراکم ناهمگن در نقاط مختلف سازه و در نتیجه مقاومت فشاری متفاوت در مقاطع مختلف، کرمو شدن بعضی از مناطق به علت غیر قابل دسترس بودن برای عملیات لرزش، مختل شدن حرکت شلنگ لرزاننده در مقاطع با آرماتور گذاری انبوه و... می شود. از سایر محاسن استفاده از این بتن می توان به طول عمر بیشتر قالب ها، ساخت در زمان کوتاه تر، سطوح کار تمام شده بهتر، کاهش آلودگی صوتی، کاهش نیروی انسانی، محیط کار ایمن و آزادی عمل بیشتر برای طراحی مقاطع [۴،۵] اشاره کرد.

تامین پایداری مخلوط بتن تازه خود تراکم با استفاده از تغییر در طرح مخلوط و استفاده از مواد پودری (خنثی یا فعال) می آید. در این پروژه، دوده سیلیس مخلوط شده با آب و پلی کربکسیلات (دوغاب میکروسیلیس) جهت تامین پایداری و افزایش مشخصات مکانیکی بتن استفاده شد.

در مقرارت ملی ساختمان- میحث نهم (طراحی و اجرای ساختمان های بتن آرمه) رابطه بین مقاومت فشاری نمونه های مکعبی و استوانه ای بر اساس رده مقاومتی، به شرح جدول زیر تعیین شده است.

جدول شماره (۱): رابطه بین مقاومت فشاری نمونه های مکعبی و استوانه ای

مقاومت فشاری نمونه مکعبی (MPa)	کمتر از ۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
ضریب تبدیل	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه استوانه ای (MPa)	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

استفاده از قالب های مکعبی بجای قالب های استوانه؛ جهت تسهیل در امر نمونه برداری از یک سو و نیز بدست آوردن ضریب تبدیل نمونه های مکعبی به استوانه به صورت دقیق به دستور مشاور پروژه جهت بهینه کردن طرح مخلوط، ۲۸ سری نمونه گیری از تراک میکسرهای مختلف حمل بتن انجام شد. نمونه های مکعبی و استوانه ای به طور همزمان قالب گیری شدند. نمونه مکعبی (۱۵*۱۵*۱۵ سانتی متر) و نمونه استوانه ای (۱۵*۳۰ سانتیمتر) با رده مقاومتی ۴۵ مگاپاسکال (مقاومت طراحی سازه در سن ۵۶ روز) ، به صورت همزمان نمونه برداری شد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش به ارزیابی مشخصات فیزیکی-مکانیکی آزمون‌های بتن خود تراکم حاوی دوده سیلیس در دو حالت تازه و سخت شده پرداخته شده است. پس از ساخت بتن در بچینگ و حمل ۳۰ دقیقه‌ای بتن، آزمایش‌های بتن تازه نظیر جریان اسلامپ، جعبه L شکل (L box) و قیف V (V-funnel) صورت گرفته و سپس آزمایش‌های بتن سخت شده شامل مقاومت فشاری و جذب آب ۲۴ ساعته برای هر دو آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای اخذ شد.

۲-۱- مصالح مصرفی

در تمامی طرح‌ها از سیمان پرتلند تیپ II کارخانه سیمان دلیجان، نسبت آب به سیمان ۰/۴۳، ماسه ی خوب دانه بندی شده طبق استاندارد ASTM C۳۳ با مدول نرمی ۲.۶ و وزن مخصوص ۲.۶۱ و درصد جذب آب ۱.۹، استفاده شد. حداکثر اندازه ی سنگدانه‌ها ۱۶ میلی متر بوده و از شن و ماسه رودخانه‌ای استفاده شده است. همچنین از میکروسیلیس با وزن مخصوص ۲۱۲۰ kg/m^3 کارخانه ازنا استفاده شد. جهت تامین کارپذیری بتن بدون کاهش لزجت از کاهنده قوی آب با کد تجاری SRTS ۵۰، محصول کارخانه البرز شیمی آسیا استفاده شد.

۲-۲- طرح اختلاط

کارپذیری مطلوب در زمان بتن ریزی و مقاومت مشخصه در سن ۵۶ روز، منجر به ارائه طرح مخلوط به شرح جدول زیر گردید.

جدول شماره ۲- طرح اختلاط و الزامات بتن تازه و سخت شده

حداقل مقاومت مشخصه بتن در سن ۵۶ روزه (MPa)	سنگدانه شن (kg/m^3)	سنگدانه ماسه (kg/m^3)	دوغاب میکروسیلیس* (kg/m^3)	عیار سیمان (kg/m^3)	نسبت آب به سیمان	جعبه L شکل	قیف V شکل (S)	جریام اسلامپ (cm)
۴۵	۶۵۰	۱۱۵۰	۲۰	۴۷۵	۰/۴۳	۰/۹	۱۱-۹	۶۰-۶۵

* دوغاب میکروسیلیس شامل ۴۰٪ وزنی دوده سیلیس فعال (۹۸٪ اکسید سیلیس فعال)، ۱۸٪ کاهنده قوی آب بر پایه پلی-کربکسیلات اتر می‌باشد که در زمان تولید بعد از توزین، توسط پمپ مخصوص در بچینگ تزریق میگردد.

۳- نتایج آزمون‌ها

۳-۱- بتن تازه

پس از ساخت بتن آزمایش‌های بتن تازه نظیر، وزن مخصوص، جریان اسلامپ، جعبه L شکل (L box) و قیف V (V-funnel) صورت گرفته که نتایج آن را در جدول شماره ۳ آمده است.

جدول شماره ۳- نتایج آزمایش‌های بتن تازه

شماره طرح	وزن مخصوص بتن تازه	Slump (cm)	L box	V-funnel
۱	۲۳۸۰	۶۵	۰/۹۷	۱۲
۲	۲۳۸۴	۶۵	۰/۹۵	۱۱
۳	۲۳۶۰	۶۴	/۹۸	۱۱
۴	۲۳۶۵	۶۲	۰/۹۸	۱۳
۵	۲۳۸۵	۶۲	۱	۱۲

"هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران - تهران - ۱۵ مهرماه ۱۳۹۵"

۶	۲۳۶۹	۶۹	۰/۹۴	۱۰
۷	۲۳۸۱	۶۵	۰/۹۵	۱۰
۸	۲۳۸۰	۶۶	۰/۹	۹
۹	۲۳۸۰	۶۵	۰/۹۱	۹
۱۰	۲۳۷۵	۶۷	۰/۹۴	۹
۱۱	۲۳۶۸	۶۷	۰/۹۶	۸
۱۲	۲۳۶۵	۶۳	۰/۹	۱۱
۱۳	۲۳۶۵	۶۵	۰/۸۸	۸
۱۴	۲۳۷۴	۷۱	۱	۷
۱۵	۲۳۷۱	۶۴	۰/۹۳	۱۱
۱۶	۲۳۷۶	۶۰	۰/۸۷	۱۳
۱۷	۲۳۸۱	۶۰	۰/۸۶	۱۱
۱۸	۲۳۸۹	۶۷	۰/۸۹	۷
۱۹	۲۳۸۰	۶۷	۰/۹۶	۸
۲۰	۲۳۶۷	۶۵	۰/۹۱	۱۰
۲۱	۲۳۷۶	۶۴	۰/۹	۱۰
۲۲	۲۳۷۶	۶۵	۰/۹	۱۱
۲۳	۲۳۶۸	۶۴	۰/۹۴	۱۱
۲۴	۲۳۶۴	۶۰	۰/۹۱	۱۳
۲۵	۲۳۸۱	۶۳	۰/۸۵	۱۱
۲۶	۲۳۸۰	۶۳	۰/۸۸	۱۱
۲۷	۲۳۸۰	۶۶	۰/۹۱	۱۰
۲۸	۲۳۷۴	۶۴	۰/۹	۱۱

۳-۲- بتن سخت شده

۳-۲-۱- مقاومت فشاری

آزمونه های مكعبی و استوانه‌ای به صورت همزمان از ۲۸ تراک میکسر اخذ گردید و در سن ۵۶ روزه شكسته شد. قالب های گرفته شده ۲۴ ساعت در پروژه نگهداری و بعد از آن به آزمایشگاه بتن آماده بهمین - قم منتقل گردید. نتایج مقاومت فشاری آزمونه ای مكعبی و استوانه‌ای در جدول شماره ۴ آورده شده است.

جدول شماره ۴- مقاومت فشاری آزمونه های مكعبی و استوانه ای در سن ۵۶ روزه

ضریب تبدیل مكعب به استوانه	مقاومت استوانه ای ۵۶ روزه	مقاومت مكعبی ۵۶ روزه
۰.۹۳	۴۷۹	۵۱۵
۰.۹۴	۴۹۳	۵۲۷
۰.۹۲	۵۱۲	۵۵۸
۰.۹۵	۴۷۵	۵۰۱

"هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران - تهران - ۱۵ مهرماه ۱۳۹۵"

۰.۹۲	۵۰۷	۵۵۳
۰.۹۳	۴۹۰	۵۲۵
۰.۹۰	۴۷۷	۵۲۹
۰.۹۲	۴۶۱	۵۰۳
۰.۹۳	۵۲۳	۵۶۵
۰.۹۲	۴۶۰	۵۰۱
۰.۹۴	۵۳۹	۵۷۲
۰.۹۵	۴۹۹	۵۲۶
۰.۹۶	۵۳۱	۵۵۴
۰.۹۲	۴۹۹	۵۴۰
۰.۹۱	۴۶۹	۵۱۸
۰.۹۳	۴۶۹	۵۰۷
۰.۹۷	۴۸۹	۵۰۴
۰.۹۳	۵۱۶	۵۵۶
۰.۹۴	۵۲۸	۵۶۴
۰.۹۰	۵۲۹	۵۹۰
۰.۹۲	۴۸۶	۵۳۱
۰.۹۶	۴۷۲	۴۹۳
۰.۹۶	۴۶۲	۴۸۲
۰.۹۶	۴۵۰	۴۷۰
۰.۹۱	۴۳۹	۴۸۴
۰.۹۳	۳۸۵	۴۱۳
۰.۹۲	۴۳۸	۴۷۶
۰.۹۳	۴۳۹	۴۷۳

۲-۲-۳: تحلیل آماری

Regression

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
۱	.۹۶۱ ^a	.۹۲۴	.۹۲۱	۹.۸۰۶

a. Predictors: (Constant), مقاومت مکعبی ۵۶ روزه

- ضریب همبستگی حدود ۰/۹۶۱ و مجذور آن ۰/۹۲۴ و مجذور ضریب همبستگی تعدیل یافته نیز ۰/۹۲۱ است که نشان میدهد متغیر مقاومت مکعبی میتواند تا ۹۲ درصد تغییرات متغیر وابسته (مقاومت استوانه ای) را پیش بینی می کند.

ANOVA^b

Model	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Regression	۳۰.۵۶۳.۶۲۴	۱	۳۰.۵۶۳.۶۲۴	۳۱۷.۸۵۰	.۰۰۰ ^a
Residual	۲۵۰۰.۰۹۱	۲۶	۹۶.۱۵۷		
Total	۳۳۰۶۳.۷۱۴	۲۷			

a. Predictors: (Constant), مقاومت مکعبی ۵۶ روزه

b. Dependent Variable: مقاومت استوانه ای ۵۶ روزه

- نتیجه آنالیز واریانس مناسب مدل را تأیید می کند.

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
۱ (Constant)	۳۰.۵۶۲	۲۵.۴۲۹		۱.۲۰۲	.۲۴۰
مقاومت مکعبی ۵۶ روزه	.۸۷۱	.۰۴۹	.۹۶۱	۱۷.۸۲۸	.۰۰۰

a. Dependent Variable: مقاومت استوانه ای ۵۶ روزه

- طبق جدول فوق سطح معنی داری برای ضریب ثابت بالای ۵ درصد است پس مدل رگرسیونی شامل عرض از مبدأ نمی باشد.

- در نهایت معادله رگرسیون عبارتست از: مقاومت استوانه ای = ۰/۹۶۱ * مقاومت مکعبی

۴- نتیجه گیری:

- با توجه به جدول شماره ۱ ، ضریب معرفی شده برای تبدیل مقاومت مکعبی به استوانه‌ای، عدد ۰.۹ در رده مقاومتی ۴۵ مگاپاسکال پیشنهاد شده است. این در حالیست که ضریب بدست آمده از شکستن هم زمان آزمون‌های مکعبی و استوانه ای بر اساس تحلیل های آماری ۰.۹۶۱ حاصل شد.
- در نظر گرفتن ضریب ۰.۹ برای تبدیل مقاومت آزمون های مکعبی به استوانه که در مقررات ملی ایران - مبحث نهم، ارائه شده است برای این پروژه محافظه کارانه خواهد بود.

۵- منابع:

۱- H. Okamura and M. Ouchi, "Self-Compacting Concrete," Journal of Advanced Concrete Technology, vol. ۱, no. ۱, pp. ۵-۱۵, April ۲۰۰۳.

۲-Miao Liu , "Wider Application of Additions in Self-compacting Concrete", A thesis submitted to University College London for the degree of Doctor of Philosophy, July ۲۰۰۹

۳-I.Mamaghani, C.Moretti, D.Sethre , A.Dockter, "Evaluation of Self-Consolidating Concrete (SCC) for Use in North Dakota Transportation Projects" North Dakota Department of Transportation Materials and Research, June ۸, ۲۰۱۰

۴-"The European Guidelines for Self Compacting Concrete" may ۲۰۰۵

۵-"Self Consolidating Concrete", Reported by ACI Committee ۲۳۷

Abstract

In this paper, same ۲۸ mix-designs were made within water-cement ratio of ۰.۴۳ and cement alloy considered ۴۷۰ kg/m^۳, cubical and cylindrical samples were tested in each mix-design simultaneously. Self-compacting concrete mix-design containing silica fume with providing stability, filling and passing indexes were made to reach minimum compressive strength within a ۲۸-day, ۴۰Mpa and delivered to a project. In this paper will be showing a relation between compressive strength of cubical and cylindrical samples and computing their transformation factor through statistical functions for using in the future projects.