



کد مقاله: ۱۵۷-۲

بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم (SCC)

سید محمد موسوی خطیر^۱، دکتر مهدی دهستانی کلاگر^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات آیت الله آملی، khatir1man@yahoo.com

۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

چکیده

تولید انواع بتن در صنعت ساختمان سازی از اهمیت بالایی برخوردار می باشد، از آن جمله می توان به بتن خودتراکم اشاره کرد. بتن خود تراکم نوآوری جدید در شاخه بتن های با عملکرد بالا می باشد که بدون نیاز به هیچ لرزاننده داخلی و خارجی در داخل قالب جاری شده و فقط با استفاده از نیروی جاذبه قالب را پر نموده و آرماتورهای موجود در آن را می پوشاند. همان طور که از اسمش پیداست نقش تمرکز مواد در کنار هم را دارد. از جمله راهکارهای مناسب این بتن برای اجرای پروژه های پیچیده است که در مناطق زلزله خیز قرار گرفته اند و طبق آیین نامه های بتن از تراکم زیاد آرماتور برخوردار هستند. امروزه با توجه به گسترش صنعت ساخت و ساز در جهان و به خصوص روی آوردن مهندسان به ساخت سازه های عظیم و بلند مرتبه، افزایش ایمنی در تولید و اجرای سازه امری ضروری به نظر می رسد. در این مقاله سعی بر آن است تا با استفاده از نمونه های مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵ سانتی متری، مقاومت فشاری بتن خودتراکم را توسط جک ملات شکن بدست آید. آزمایشات بکار رفته برای آزمایش بتن خود تراکم آزمایش T-50 و L-Box بوده است و دو مقاومت فشاری از دو طرح اختلاط متفاوت بدست آمد. یکی مقاومت فشاری ۴۶ و دیگری ۴۴ مگا پاسکال می باشد.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم، آرماتور، مقاومت فشاری، جک ملات شکن، فیلر.

۱- مقدمه

بتن خود تراکم، شامل بازه گسترده ای از طرح های اختلاط می باشد که خواص بتن تازه و سخت شده لازم برای کاربری های خاص را دارا می باشد. اگرچه مقاومت هم چنان معیار اصلی موفقیت این بتن می باشد اما ویژگی های بتن تازه آن، بسیار گسترده تر از بتن معمولی و متراکم شده توسط لرزاننده ها می باشد. این خواص مطلوب باید در زمان، محل و بتن ریزی حفظ شوند. بتن خود تراکم در مواردی که شبکه بندی آرماتور ها فشرده است، گزینه ای مطلوب می باشد. علی رغم ویژگی های مطلوب، طرح اختلاط و اجرای این نوع بتن به عوامل متعددی از قبیل دانه بندی مصالح سنگی، نوع مواد افزودنی و همچنین فیلرهای مورد استفاده بستگی دارد [1]. در نظر گرفتن هر یک از معیارهای فوق، کیفیت بتن سخت شده و کار پذیری بتن تازه را تحت تاثیر قرار می دهد. ایمنی و هزینه اقتصادی دو عامل مهم در اجرا می باشند که تاثیر مهمی در صنعت ساخت دارند.

در طی آزمایشاتی که از نمونه های مکعبی با طرح اختلاطی که در جدول ۱-۱ آمده است، خواص مکانیکی بتن خودتراکم (Self-Consolidating Concrete) مورد بررسی قرار می گیرد. مقاومت فشاری حاصل از نتایج این آزمایش از شکست ۶ نمونه مکعبی با ۲ طرح اختلاط می باشد.

۲- تاریخچه

بتن خود تراکم نخست در سال ۱۹۸۶ توسط اوکامورا^۱ در ژاپن پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد [3]. مقالات متعددی در ارتباط با توسعه بتن خودتراکم در دنیا ارائه شد. امروزه بتن خود تراکم همزمان با کشور ژاپن در مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی کشورهای اروپایی، کانادا و آمریکا تحت عنوان *self-consolidating concrete* موضوع بحث، بررسی و اجرای سازه های بتنی است. در ایران نیز استفاده از بتن خود تراکم از چند سال قبل آغاز شده و از مزایای آن بهره گرفته شده است برای مثال می توان از مصرف بتن خود تراکم در تونل رسالت در تهران نام برد.

۳- مواد تشکیل دهنده بتن خودتراکم

همگنی ناکافی ناشی از بتن ریزی به علت تراکم ناکافی و یا جداشدگی دانه ها سنگی می تواند اجرا و ساخت را مورد تردید قرار دهد مطمئناً نیاز به تراکم کافی و جابه جایی آسان بتن در سازه هایی که در آنها با انباشتگی آرماتور روبرو هستیم، منجر به رشد و توسعه و فراگیر شدن بتن خود تراکم در عرصه ساخت و ساز شده است [2]. مواد سازنده *S.C.C* باید شرایط پیش بینی شده در برخی آیین نامه ها (استاندارد *EN206*) را برآورده نمایند [4].

۱- سنگدانه ها (استاندارد *EN12620*): حداکثر اندازه سنگدانه به کار رفته در این نوع بتن بستگی به کاربرد عملی آن دارد ولی عموماً حداکثر اندازه آن به 10mm محدود می شود. سنگدانه ها بطور کلی به دو دسته ماسه (ریزدانه) و شن (درشت دانه) تقسیم می شوند. دانه بندی های دو طرح اختلاط این آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ دانه بندی ثابت طرح های *D1* و *D2*

| شماره الک | شن بادمی (%) | شن نخودی (%) | ماسه (%) |
|-----------|--------------|--------------|----------|
| ۲۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۱۹ | ۹۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۱۲,۵ | ۲۲ | ۹۷ | ۱۰۰ |
| ۹,۵ | ۱۰ | ۷۰ | ۱۰۰ |
| ۴ | ۰ | ۱ | ۸۵ |
| ۸ | ۰ | ۰ | ۶۱ |
| ۱۶ | ۰ | ۰ | ۴۷ |
| ۳۰ | ۰ | ۰ | ۳۶ |
| ۵۰ | ۰ | ۰ | ۲۰ |
| ۱۰۰ | ۰ | ۰ | ۳ |

۲- سیمان (استاندارد *EN1197*): به طور کلی تمامی انواع سیمان های استاندارد می تواند در *S.C.C* به کار رود. انتخاب نوع سیمان بستگی به پارامترهای مورد انتظار بتن مثل مقاومت، دوام و... دارد.

¹ - H.okamura

در این دو طرح اختلاط از سیمان تیپ ۲ کارخانه نکا استفاده شده است. در جدول ۲ آنالیز شیمیایی و مشخصات فیزیکی سیمان آورده شده است.

جدول ۲ آنالیز شیمیایی و مشخصات فیزیکی سیمان

| سیمان تیپ ۲ | پارامترها |
|-------------|----------------------------|
| 21.16 | SiO_2 |
| 4.82 | Al_2O_3 |
| 3.9 | Fe_2O_3 |
| 63.52 | CaO |
| 1.52 | MgO |
| 0.59 | K_2O |
| 0.4 | Na_2O |
| 2.51 | SO_3 |
| 1.32 | LOI |
| 52.66 | C_3S |
| 20.96 | C_2S |
| 6.17 | C_3A |
| 11.87 | C_4AF |
| 295 | $Blaine\ fineness, m^2/kg$ |

دامنه عمومی میزان مصرف سیمان در اینجا ۳۵۰~۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. میزان بیشتر از $500\ kg/m^3$ می تواند سبب افزایش خطر جمع شدگی شود. میزان کمتر از $350\ kg/m^3$ نیز فقط در صورتی قابل قبول می باشد که به همراه مواد پوزولانی، خاکسترهای بادی، دوده سیمی و... به کار رود.

۳- مواد مضاف: مصالح بسیار ریز غیرآلی هستند که به منظور بهبود و یا ایجاد خواص مشخص در بتن به آن افزوده می شوند و بر اساس عملکرد خود به دو دسته تقسیم می شوند:

• مواد مضاف فعال (نوع II) بر استاندارد $EN13263- EN450-BS 6699$ شامل خاکستر بادی، دوده سیلیسی، سرباره کوره ذوب آهن می باشد.

• پودر سنگ: ذرات شکسته بسیار ریز (کوچکتر $0,125mm$ ، سنگ آهک، دولومیت و یا گرانیت است که به منظور افزایش مواد پودری به کار می رود. استفاده از پودرهای دولومیتی بدلیل واکنش های کربنات قلبایی می تواند دوام بتن را با مشکل مواجه نماید.

• پرکننده های شیشه ای: این پرکننده ها از بازیافت شیشه های پودر شده بدست می آیند. اندازه ذرات آن باید کمتر از $0,1mm$ بوده و سطح مخصوص آن باید کمتر از $2500\ cm/gr$ باشد. ذرات بزرگتری تواند باعث ایجاد واکنش های سیلیکاتی-قلیائی شود [5].

۴- مواد افزودنی: موادی هستند که به منظور ایجاد و یا بهبود خواص مشخصی به بتن تازه و یا سخت شده درحین ساخت بتن به آن افزوده می شوند. استفاده از فوق روان کننده ها برای تولید $S.C.C$ به منظور ایجاد کارایی لازم، ضروری می باشد. از انواع دیگر مواد افزودنی می توان به عامل اصلاح لزجت ($V.M.A$) به منظور اصلاح پایداری، مواد افزودنی حباب زا ($A.E.A$) به منظور بهبود مقاومت و در برابر یخ زدگی و آب شدن، کندگیر کننده ها به منظور کنترل گیرش و ... اشاره نمود [6].

۴- نام گذاری نمونه

در این تحقیق ۲ طرح اختلاط با نام های $D1$ و $D2$ مورد آزمایش قرار گرفته شده است که در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ طرح اختلاط این تحقیق

| نسبت آب به سیمان | درصد | مصالح | نام طرح |
|------------------|---|---|---------|
| $w/c = 37.5\%$ | ۸ کیلوگرم ۳ لیتر ۳ کیلوگرم ۸۰ گرم ۸ کیلوگرم ۱۰ کیلوگرم | سیمان آب پودرسنگ فوق روان کننده سنگ ماسه | $D1$ |
| $w/c = 40\%$ | ۷ کیلوگرم ۲٫۸ لیتر ۳ کیلوگرم ۷۰ گرم ۷ کیلوگرم ۱۰ کیلوگرم | سیمان آب پودرسنگ فوق روان کننده سنگ ماسه | $D2$ |

۵- ویژگی های خاص بتن خود تراکم

پیش از آغاز اختلاط بتن کلیه اجزاء تشکیل دهنده $S.C.C$ باید تحت آزمایشهای لازم قرار گرفته و نتایج بدست آمده با حدود و استانداردهایی که در آیین نامه های مربوط به هر ماده قابل دسترسی است، کنترل شود.

هیچ روشی به تنهایی یا ترکیبی از روشها نمی تواند بطور جامع خواص $S.C.C$ را پوشش دهد و هر یک توابع خاص خود را دارد. به بیانی دیگر هیچ روش آزمایشی به تنهایی یافت نشده که تمام جنبه های کارایی مناسب را تأیید نماید [7]. پس هر طرح اختلاط باید با بیش از یک روش آزمایش کنترل شود تا پارامترهای مختلف کارایی مورد بررسی قرار گیرد. روشهای مختلف پیشنهادی آزمایش $S.C.C$ در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴ روشهای آزمایش S.C.C

| | | |
|------|-----------------------------|-------------------------|
| ردیف | روش | ویژگی مورد سنجش |
| ۱ | جریان اسلامپ | قابلیت پرکنندگی |
| ۲ | جریان اسلامپ $cm50 \cdot T$ | قابلیت پرکنندگی |
| ۳ | حلقه J | قابلیت گذرندگی |
| ۴ | قیف V | قابلیت پرکنندگی |
| ۵ | قیف $min5VT$ | مقاومت در برابر جداشدگی |
| ۶ | جعبه L | قابلیت گذرندگی |
| ۷ | جعبه U | قابلیت گذرندگی |
| ۸ | جعبه $Fill$ | قابلیت گذرندگی |
| ۹ | غریبال سنجش پایداری GTM | مقاومت در برابر جداشدگی |
| ۱۰ | آریمت | قابلیت پرکنندگی |

۶- برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق دو آزمایش اسلامپ $T50\text{ cm}$ و جعبه L ($L\text{ BOX}$) جهت تهیه بتن خودتراکم انجام پذیرفت. نحوه آزمایش اسلامپ، چگونگی تهیه وسایل مقاوت فشاری نهایی نمونه های ساخته شده با استفاده از قالب های مکعبی 10×10 و 15×15 ، در دو طرح اختلاط $D1$ و $D2$ پس از ۲۸ روز توسط جک ملات شکن شکانده شدند. جدول ۵ مقاوت فشاری نهایی دو طرح اختلاط مورد نظر را نشان می دهد.

جدول ۵ مقاوت فشاری نهایی دو طرح اختلاط

| نام طرح | مقاومت فشاری نهایی |
|---------|--------------------|
| $D1$ | 46.35 MPa |
| $D2$ | 38.5 MPa |

۷- نتیجه گیری

بتن خودتراکم در طرح اختلاط و ساختارش تفاوت چندانی با بتن معمولی ندارد. البته موادی برای بهبود خواص آن به جهت نیل به خود تراکم شونده گی به آن افزوده می شود. خواص بتن تازه و بتن سخت شده خود تراکم بستگی زیادی به طرح اختلاط آن دارد. از آن جهت که امروزه از این بتن در پروژه های مهم عمرانی و در حجم وسیع استفاده می شود. مطالعه و تحقیق پیرامون بتن خودتراکم به جهت رفع نواقص و مشکلات تولید و کاربرد آن و پیشبرد نقاط قوت و توانایی اش در آینده های نه چندان دور ضرورتی آشکار و هدفی دست یافتنی است. در ژاپن و کشورهای اروپایی با آزمایش ها و کاربردهای مختلف بتن S.C.C در پروژه های گوناگون، مزیت های استفاده از این بتن در ساخت بزرگراه ها و سازه های مرتبط با آن را به اثبات رسانده اند. در این مقاله سعی شده است که با آزمایشاتی با استفاده از نمونه های مکعبی دو طرح اختلاط $D1$ و $D2$ مورد عرضیابی قرار گیرد. همچنین مقاوت فشاری نهایی $D1$ را بتن خودتراکم مقاوت بالا و $D2$ را بتن خودتراکم با مقاوت فشاری نهایی پایین تر در نظر می گیریم.

- 1-The European Guide lines for Self-compacting concrete Specification, production and Use, May 2005
- 2- Kamal Henri khayat, Dimitri Feys, 2010, Technology & Engineering proceedings of S. C. C 2010, montreal, Canada, September, 26- 29.
- 3- Okamura H., Ozawa K., Mix Design for Self-Compacting Concrete, Concrete Library of Japanese Society of Civil Engineers, June 25, 1995, p. 107-120
- 4- Specification and Guide lines for Self-compacting concrete Enforce February 2005.
- 5-N.Lachemi Develop ment of cost-Effective Self-compactivy Concrete, *Act Materials journal* Vol. 100 , No. 5,October 2003.

۶- امیرعباس کوچکعلی ، حسین صدارت ، بتن خود تراکم و کاربرد ذرات سیلیس، تکنولوژی بتن شماره ۲ آذر ۸۲.

۷- محسن علی حمزه ، مصطفی شمشیری ، بتن خود تراکم و ویژگیهای آن ، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس دانشجویی عمران ۱۳۸۳.