تحقیقات بتن
سال ششم، شمارهٔ اوّل
بهار و تابستان ۹۲
ص۱۰۲-۸۷
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۰

روش نوین طرح مخلوط بتن خودتراکم بر پایهٔ مقاومت فشاری

پرویز قدوسی*
دانشیار دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
علی‌اکبر شیرزادی جاوید
دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران
بهپور رحمتی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده
طرح بتن خودتراکم باید به نحوی باشد که علاوه بر داشتن مشخصات مناسب از لحاظ کارایی و رئولوژی، از نظر مقاومت و دوام نیز مشخصات فنی مورد انتظار پروژه را برآورده سازد. به همین دلایل تاکنون روش استاندارد و مورد اجماع در دنیا برای طرح مخلوط بتن خود تراکم بیان نشده است. بنابراین با توجه به عدم لحاظ مقاومت فشاری مشخصه و هدف طرح در بسیاری از روش های موجود، در این مقاله سعی شده روشی جدید برای طرح مخلوط بتن خودتراکم بر اساس مقاومت فشاری مطرح شود. در این تحقیق سعی شده است از پارامترهای مختلف از جمله دانه‌بندی مصالح سنگی (که در بسیاری از مقالات تحت عنوان چگالی انباشتگی ذرات سنگی مد نظر قرار گرفته است)، نسبت حجمی آب به پودر، نسبت آب به سیمان، مقاومت فشاری ۲۸ روزه همزمان مورد توجه قرار گیرد. نتایج طرح‌های ساخته شده در آزمایشگاه با این روش کاملا با مقادیری که قبل از ساخت، مشخص شده بوده‌اند مطابقت دارد و نشان‌دهندهٔ واقعی و معتبر بودن روش مطرح شده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: **بتن خود تراکم، مقاومت فشاری، طرح مخلوط، چگالی انباشتگی ذرات.**

*نویسنده مسؤول: ghoddousi@iust.ac.ir

۱- مقدمه

از زمانی که بتن خودتراکم[1] (SCC) به عنوان یکی از بتن‌های نسل جدید معرفی شده است کاربرد آن به‌دلیل مزایای فراوان (عدم نیاز به تراکم و جاری شدن تحت وزن خود بدون صرف انرژی و عبور از فواصل بین میلگردها) به صورت گسترده‌ای در دنیا در حال گسترش است. به همین دلیل پژوهش‌های زیادی بر روی ویژگی‌های این بتن انجام گرفته است.

یکی از مهمترین ویژگی‌های SCC که بر همهٔ ویژگی‌های دیگر آن اثرگذار است، تعیین نسبت اجزاء مقادیر تشکیل‌دهندهٔ آن است که به طرح مخلوط موسوم است. تفاوت عمدهٔ طرح SCC با بتن معمولی، استفاده از مقادیر بالای مواد پودری و فوق روان‌کننده قوی در بتن خود تراکم است. در حالی‌که در بتن معمولی در بسیاری از اوقات نیازی به استفاده از این مواد نیست. همچنین در SCC به‌دلیل روانی بالا چون احتمال جداشدگی سنگدانه‌های درشت از ملات بسیار زیاد است لذا باید گرانروی مناسب آن تأمین شده باشد تا خطر جداشدگی کاهش یابد. تأمین گرانروی مناسب در بتن خودتراکم با استفاده از مواد شیمیایی اصلاح کننده گرانروی[2] و یا مواد پودری پرکننده حاصل می‌شود. به دلیل همهٔ مطالب و تفاوت‌های ذکر شده در بالا، تاکنون محققان به روش مورد اجماع برای طرح مخلوط بتن خودتراکم نرسیده‌اند [۱].

تاکنون چندین روش برای طرح مخلوط بتن خودتراکم مطرح شده است که هرکدام سعی کرده‌اند به‌نحوی مشکلات طرح مخلوط بتن خودتراکم را برطرف سازند. اولین توصیه‌های مربوط به طرح مخلوط بتن خودتراکم در سال ۱۹۹۵ توسط Okamura و همکارش [۲] با نام روش مستدل طرح مخلوط ارائه شده است. این روش به‌صورت گام به گام نیست بلکه صرفاً چند راهنمایی ارائه شده است و مباحثی مانند اثر دانه‌بندی و مقاومت فشاری مورد نیاز و نسبت آب به سیمان و ترکیب خمیر در این راهنمایی‌ها مد نظر قرار نگرفته است. کمیتهٔ ACI 237 [۳] نیز ضمن ارائهٔ مراحل تعیین اجزاء بتن خودتراکم، توصیه‌هایی نیز جهت کنترل مقادیر به‌دست آمده بیان نموده است که البته این روش دارای ضعف‌های همچون سیستماتیک نبودن است و دانه‌بندی سنگدانه‌ها و توصیه‌های آن به‌طور مشخص مد نظر قرار نگرفته است. کمیتهٔ اروپایی EN [۴] که تا پیش از سال ۲۰۰۵ تنها از طرف مؤسسهٔ EFNARC [۵] توصیه‌هایی دربارهٔ طرح مخلوط بتن SCC مطرح کرده است و از سال ۲۰۰۵ با حضور چندین شرکت مطرح اروپایی توصیه‌نامه‌ای را با ویرایش راهنمای قبلی ارائه نموده است. در این راهنما نیز تنها به ارائهٔ تعدادی توصیه بسنده شده است و به دانه‌بندی مصالح سنگی و نقش آن در طرح مخلوط بتن خودتراکم و ارتباط طرح مخلوط با مقاومت و دوام به‌طور جدی نگریسته نشده است. توصیه‌نامهٔ ژاپنی بتن خودتراکم JSCE [۶] نیز تنها به توصیه‌های اندکی در زمینهٔ طرح مخلوط این بتن بسنده کرده است. روش دیگر روش حداقل حجم خمیر سیمان [۷] است که اساس آن یافتن نسبت بهینهٔ درصد مصالح سنگی درشت‌دانه به کل مصالح سنگی است که در این نسبت مقدار حجم خمیر سیمان در بتن خود تراکم حداقل می شود. این روش گام به گام نیست. به این معنی که مشخص نیست پارامترهایی مانند مقاومت فشاری طرح، نسبت آب به سیمان طرح، نسبت آب به پودر به چه میزان خواهند بود و بیشتر از حد انتظار و نیاز، به مفهوم فاصله بین ذرات سنگی و اثر آن در حجم خمیر پرداخته است. Su [۸] و همکارانش روشی گام به‌گام و منظم را ارائه کرده‌اند و مفهوم واقعی چگالی انباشتگی ذرات در بتن خود تراکم را با فاکتور PF اعمال نموده‌اند. اما نحوهٔ محاسبهٔ فاکتور انباشتگی (PF) دارای ابهام است و خود نویسنگان مقاله هم مقدار این فاکتور را فرض نموده‌اند، محاسبهٔ مقدار سیمان با فرض اینکه هر کیلوگرم سیمان مقاومت ۰/۱۴ مگاپاسکال تولید می‌نماید انجام می‌شود. خود نویسندگان مقاله ذکر نموده‌اند که این عدد صرفاً برای مناطق ژاپن و تایوان است و عمومی نیست. مؤسسهٔ ICAR [۹] (موسسهٔ بین‌المللی تحقیق بر روی سنگدانه‌ها) روشی را مطرح نموده که ویژگی‌های سنگدانه مانند شکل و گردگوشگی و یا تیزگوشه بودن مد نظر قرار گرفته است و در طرح اختلاط لحاظ شده است. اما به همین دلیل که حجم خمیر در این روش بیشتر از روش‌های دیگر طرح اختلاط یا توصیه نامه‌های دیگر است، بنابراین مقدار سیمان و مواد پودری بیشتری استفاده می‌شود. Shen و همکارانش [۱۰] نیز روشی را برای طرح مخلوط بتن

[1] **Self- consolidating concrete (SCC)**
[2] **Viscosity Modifying Agent (VMA)**

خودتراکم ارائه نموده‌اند که سیستماتیک نیست و بعضی از معادلات کاملاً تجربی است و برای همه مواد و مصالح عمومیت ندارد و باید برای هر کشور و مصالح و خصوصیات آن تعیین شود. روش دیگر توسط Santhanam و همکارانش [۱۱] ارائه شده است. از نکات مثبت آن، گام به گام بودن و سیستماتیک بودن است ، اما محدودیت‌هایی دارد از قبیل این‌که گراف مربوط به ارتباط مقاومت فشاری و نسبت آب به پودر با توجه به مصالح منطقهٔ حضور مؤلفین به‌دست آمده است و باید برای منطقه‌ای که قرار است بتن خودتراکم در آن ساخته شود جداگانه رسم شود، فرمول‌هایی که جهت تعیین حجم خمیر با توجه به جریان اسلامپ هدف پروژه ارائه شده است مشخص نیست که همیشه صدق کند و عمومیت داشته باشد.. Ghazi و همکارانش [۱۲] تنها روش طرح مخلوط بتن خودتراکم بر پایه تعیین مقاومت فشاری را ارائه نموده‌اند. مرحله به مرحله بودن تعیین اجزاء بتن خود تراکم ویژگی مثبت آن است اما در این روش نیز رابطهٔ جدی و صحبتی که دانه‌بندی مخلوط سنگدانه را لحاظ کرده باشد به شکل جدی مطرح نشده است. فقط مدول نرمی سنگدانهٔ درشت لحاظ شده است و اثر و ارتباط مقدار جریان اسلامپ و یا آزمایش‌های دیگر کارایی در طرح مخلوط دیده نشده است.

در این مقاله روشی نوین و مقاومت محور برای طرح مخلوط بتن خودتراکم مطرح شده است که سعی دارد ضعف‌های روش‌های موجود دیگر را نماید و با در نظر گرفتن مصالح کشورمان، روشی مناسب برای اقلیم کشورمان تهیه کند.

۲- مراحل روش جدید ارائه شده

در تمامی طرح‌های ساخته‌شده در این مقاله آزمایش‌های بتن تازه شامل جریان اسلامپ، حلقهٔ j ، جعبهٔ L؛ T50 و قیف V وآزمایش‌های بتن سخت‌شده شامل مقاومت فشاری ۲۸ روزه توسط روش استاندارد معتبر [۱۳و۱۴] انجام گرفته است که تمامی این طرح‌ها و نتایج آزمایشات و همچنین مشخصات مصالح استفاده شده در پیوست ارائه شده است. در این مرحله روند گام به گام ارائه شده شرح می‌گردد.

۲-۱- تعیین مقاومت فشاری هدف طرح

باتوجه به طرح ملی مخلوط بتن ایران [۱۵] مقاومت فشاری هدف برابر است با بیشترین مقدار به‌دست آمده از رابطه‌های (۱) و (۲) که به شرح زیر است.

$$f_{cm} = f_c + 1.34\ s + 1.5 \qquad (۱)$$

$$f_{cm} = f_c + 2.33\ s - 4.0 \qquad (۲)$$

که در آن:

f_{cm} = مقاومت فشاری هدف طرح برای نمونهٔ استوانه‌ای بتنی بر حسب N/mm^2 در سن مقاومت مشخصه.

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونهٔ استوانه‌ای بتن بر حسب N/mm^2 در سن مقاومت مشخصه.

s = انحراف معیار (استاندارد) مقاومت فشاری نمونهٔ استوانه‌ای بر حسب N/mm^2 در سن مقاومت مشخصه.

۲-۲- تعیین نسبت آب به سیمان

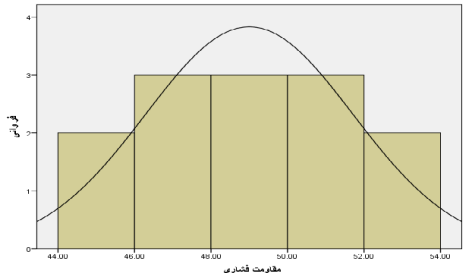
در این گام هدف به‌دست آوردن نمودار مقاومت فشاری به نسبت آب به سیمان است. برای این کار ۱۳ طرح با نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۴۵ (جدول۴ پیوست) و با تغییر در پارامترهای دیگر از جمله توان منحنی دانه‌بندی، مقدار جریان اسلامپ، حجم خمیر، نسبت حجمی آب به پودر جهت به‌دست آوردن پراکندگی و نوع توزیع فراوانی مقاومت فشاری در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده آزمایشات، بازه‌های فراوانی را به دسته‌هایی با بازهٔ ۲ مگاپاسکال تقسیم کرده که فراوانی هریک محاسبه شده است. سپس از طریق نرم‌افزار spss نمودار توزیع فراوانی شکل (۱) و همچنین اطلاعات آماری لازم از جمله میانگین، انحراف معیار، واریانس و ضریب تغییرات محاسبه گردیده است که در جدول (۱) ارائه شده است. در مرحلهٔ بعد ۱۱ طرح با نسبت آب به سیمان‌های متفاوت (جدول ۵ پیوست) در نظر گرفته شده است که با توجه به نمودار توزیع فراوانی در شکل (۱) به‌وسیله نرم‌افزارmatlab تولید اعداد تصادفی انجام گرفته شده است. به نحوی که به ازای هر طرح ۵۰ عدد تولید شده که در مجموع برابر ۵۵۰ نقطه می شود (جدول پیوست) و از برازش بین این نقاط، منحنی نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری ۲۸ روزه به‌دست آمده که این منحنی در شکل ۲ ارائه شده است.

۲-۳- تعیین نسبت حجمی آب به پودر

در این گام هدف نمودار مقاومت فشاری به نسبت حجمی آب به پودر است. برای این کار ۱۲ طرح با نسبت حجمی آب به پودر ثابت ۰/۹ (جدول ۶ پیوست) و با تغییر در پارامترهای دیگر از جمله توان منحنی دانه‌بندی مقدار جریان اسلامپ، حجم خمیر، نسبت آب به سیمان جهت به‌دست آوردن پراکندگی و نوع توزیع فراوانی مقاومت فشاری در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمدهٔ آزمایشات بازه‌های فراوانی را به دسته‌هایی با بازهٔ ۵ مگاپاسکال تقسیم کرده که فراوانی هریک محاسبه شده است. سپس از طریق نرم افزار spss نمودار توزیع فراوانی شکل (۳) و همچنین اطلاعات آماری از جمله میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب چولگی و ضریب اوج آماری محاسبه گردیده است که در جدول (۲) ارائه شده است. در مرحلهٔ بعد ۱۱ طرح با نسبت حجمی آب به پودرهای متفاوت (جدول ۷ پیوست) در نظر گرفته شده است که با توجه به نمودار توزیع فراوانی در شکل (۳) ،به‌وسیله نرم‌افزار matlab تولید اعداد تصادفی شده است به نحوی که به ازای هر طرح ۵۰ عدد تولید شده است که در مجموع برابر ۵۵۰ نقطه می‌شود(جدول پیوست) و از برازش بین این نقاط، منحنی نسبت حجمی آب به پودر به مقاومت فشاری به‌دست آمده است که در شکل (۴) ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات آماری طرح‌های با نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۴۵

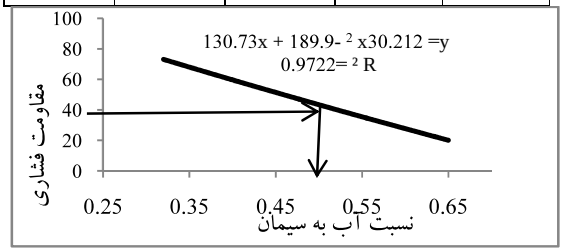
میانگین	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۴۸/۵۷	۸/۵۱	۲/۹۲	۰/۰۶۰۱



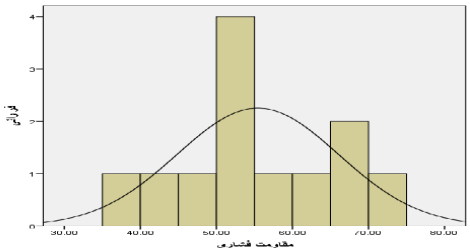
شکل ۱- منحنی نرمال توزیع فراوانی نسبت آب به سیمان ثابت

جدول ۲- اطلاعات آماری طرح‌های با نسبت حجمی آب به پودر ۰/۹

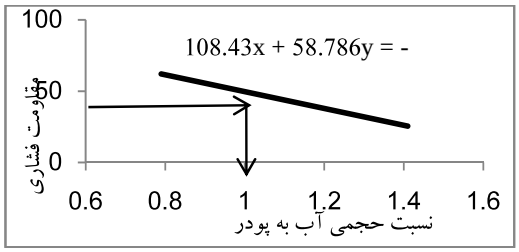
میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	ضریب چولگی	ضریب اوج آماری
۵۵/۴۴	۱۰/۶۴	۰/۱۹۲	۰/۰۰۲۴	-۰/۷۴۹



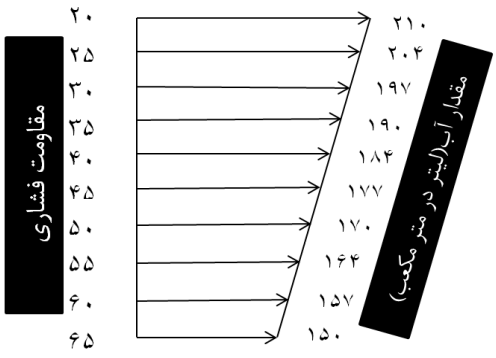
شکل ۲- منحنی نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری ۲۸ روزه



شکل ۳- منحنی نرمال توزیع فراوانی نسبت حجمی آب به پودر ثابت ۰/۹



شکل ۴-منحنی نسبت حجمی آب به پودر به مقاومت فشاری ۲۸ روزه



شکل ۵ - نحوه توزیع مقدار آب آزاد نسبت به مقاومت فشاری

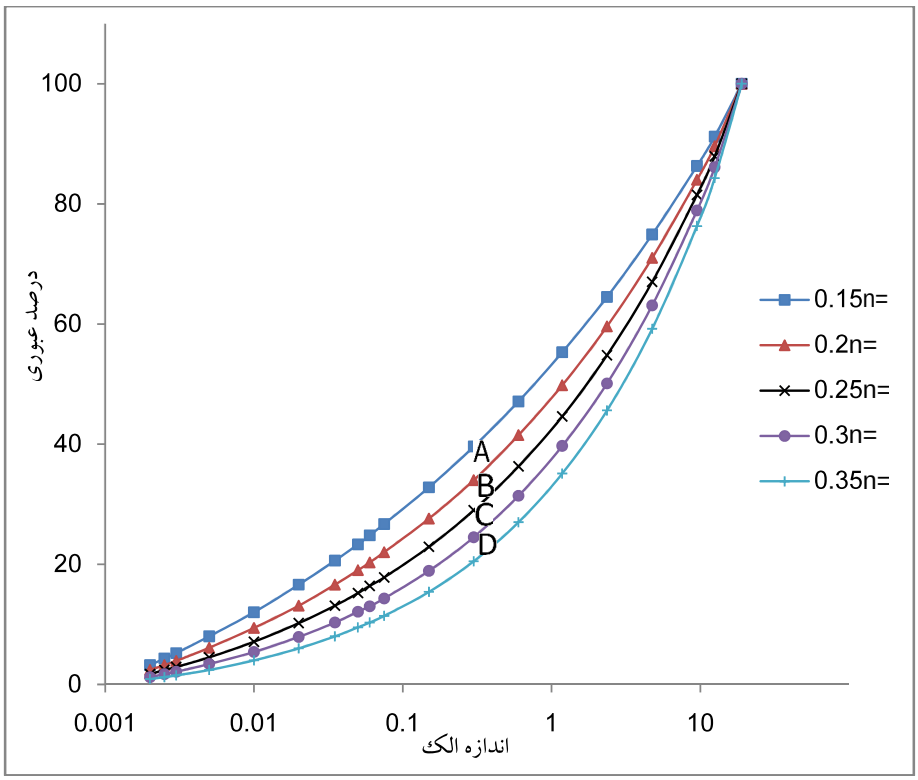
۲-٤- تعیین مقدار آب آزاد

هدف دراین گام یافتن راه حلی برای به‌دست آوردن مقدار آب آزاد با داشتن مقاومت فشاری است. در راهنمای Efnarc [۵] میزان آب بین ۱۵۰ تا ۲۱۰ لیتر در هر متر مکعب بتن خودتراکم محدود شده است. برای همین به صورت خطی این مقدار آب بین مقاومت ۲۰ تا ۶۵ مگاپاسکال توزیع شده است که نحوه توزیع در شکل ۵ ارائه شده است.

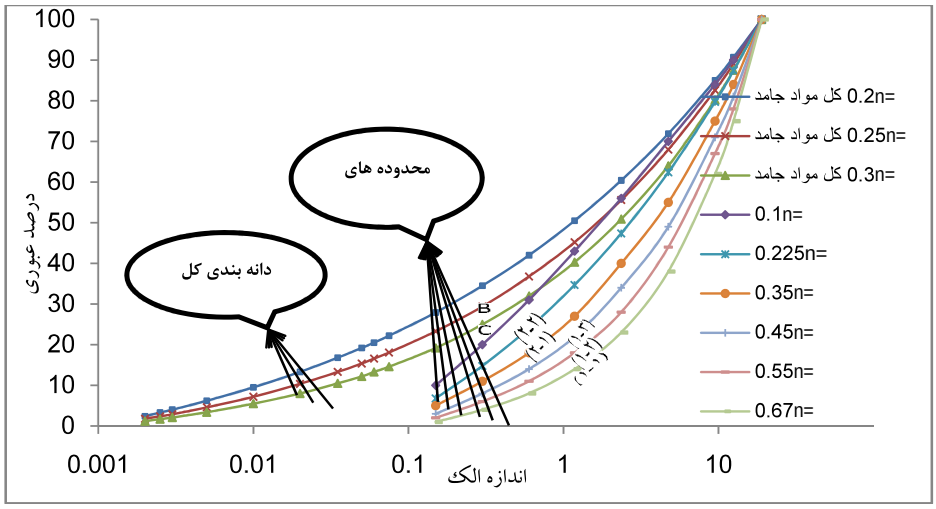
۲-۵- تعیین حجم مصالح سنگی و منحنی دانه‌بندی

در این گام با ترکیب کردن مقادیر مختلف از مصالح موجود در بتن خود تراکم سعی شده است تا بتوان بر نمودارهای با توان‌های مختلف رابطهٔ فولر تامسون اصلاح شده [۱۵] (که در این رابطه با توجه به رسم منحنی دانه‌بندی کل مواد جامد، مقدار کمترین اندازهٔ سنگدانه ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شده است) از جمله ۰/۱۵ ، ۰/۲ ، ۰/۲۵ ، ۰/۳ ، ۰/۳۵ برای کل مواد جامد (سنگدانهٔ درشت، سنگدانهٔ ریز، پودر سنگ و سیمان) منطبق شود که این کار با استفاده از دو نوع پودر با ریزی متفاوت انجام شده است. لازم به ذکر است انطباق بر نمودار با توان منحنی۰/۱۵ و ۰/۳۵ میسر نشده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده توصیه می‌شود که با درنظر گرفتن کاربری قطعه برای دانه‌بندی از ناحیهٔ B و C در شکل (۶) استفاده شود. در طرح مخلوط ملی بتن [۱۵] نمودارهای دانه‌بندی به دو ناحیه و هریک از آن دو ناحیه نیز تقسیم‌بندی شده است و توصیه شده است برای بتن خودتراکم از ناحیه‌های (۱-۲) و (۲-۲) استفاده شود که در شکل(۷) ارائه شده است.

در ادامه با توجه نتایج به‌دست آمده برای هر یک از توان‌های منحنی طرح مخلوط ساخته شده و وزن جامدات در حالت خشک و همچنین وزن بتن تازه محاسبه شده است و چگالی تئوری، چگالی حالت خشک و چگالی



شکل ۶- منحنی‌های دانه‌بندی با توان‌های مختلف فولر تامسون اصلاح‌شده



شکل ۷- مقایسهٔ محدوده‌های دانه‌بندی طرح مخلوط ملی و روش مولف

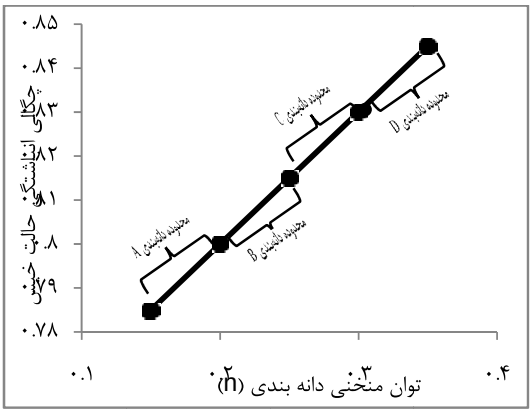
انباشتگی حالت خیس از روش ارائه شده توسط Ghoddusi & shirzadi [۱۶] محاسبه شده است.

در جدول (۸ پیوست) مشخصات طرح مخلوط‌های منطبق بر هر توان منحنی و همچنین نتایج تمامی مقادیر چگالی نظری ، چگالی حالت خشک و چگالی انباشتگی حالت خیس ارائه شده است. همانطور که گفته شد یکی از موارد مهم در طرح مخلوط بتن بحث دانه‌بندی و چگالی انباشتگی است که در این مقاله با توجه به به‌دست آوردن چگالی انباشتگی در حالت خیس از این پارامتر برای محاسبهٔ مقدار سنگدانه استفاده شده است.

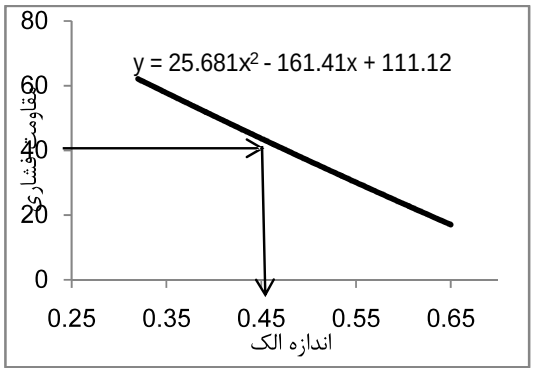
$$\phi = \frac{W}{R_W\gamma_W + R_C\gamma_C + R_P\gamma_P + R_{agg}\gamma_{agg}} \qquad (۳)$$

که در آن:

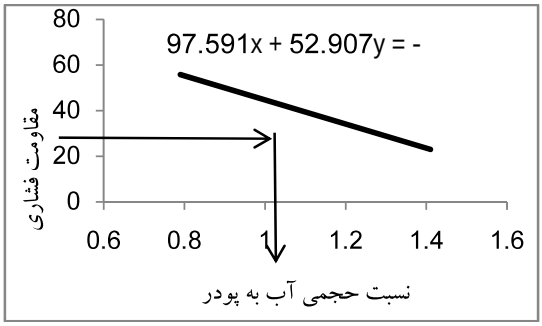
Φ برابر چگالی انباشتگی، $W_{concrete}$ برابر وزن بتن، R_w ، R_c ، R_p و R_{agg} به ترتیب برابر سهم حجمی آب، سیمان، پودر سنگ و سنگدانه (شن و ماسه) است به کل مواد جامد. γ_w، γ_c، γ_pو γ_{agg} به ترتیب برابرند با وزن مخصوص آب، سیمان، پودرسنگ و سنگدانه.



شکل ۸- ارتباط بین توان منحنی دانه‌بندی (**n**) و چگالی انباشتگی حالت خیس



شکل ۹- منحنی اصلاح شده نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری ۲۸ روزه



شکل ۱۰- منحنی اصلاح‌شده نسبت حجمی آب به پودر به مقاومت فشاری ۲۸ روزه

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول (۸ پیوست) وتفسیر آنها جهت استفاده از چگالی انباشتگی حالت خیس نتایج، در شکل(۸) خلاصه شده است. همچنین با توجه به شکل(۸)، حجم سنگدانه از رابطهٔ (۴) قابل محاسبه است و با داشتن وزن مخصوص سنگدانه وزن سنگدانه محاسبه می‌شود.

$$V_{agg} = \phi \times \left(1 - \left(V_c + V_p\right)\right) \qquad (۴)$$

که در آن V_{agg} ، V_c و V_p به ترتیب برابر حجم سنگدانه، سیمان و پودر سنگ است.

۳-اصلاح روش ارائه شده بر پایهٔ طرح مخلوط‌های آزمایشی

جهت اعتبارسنجی روش مطرح شده ۵ طرح آزمایشی ساخته‌شده و آزمایشات مربوط به بتن تازه و بتن سخت شده بر روی آنها صورت گرفته است که مشخصات و نتایج این طرح‌ها در پیوست(جداول ۹ و ۱۰) ارائه شده است. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد بعضی طرح‌ها دارای کمبود سیمان و پودر جهت بهبود خواص بتن تازه می‌باشند، همچنین جهت افزایش مقاومت، احتیاج به اصلاح مقادیر و کاهش نسبت آب به سیمان بوده است. به همین جهت اعداد نمودار نسبت آب به سیمان به اندازهٔ ۱۵٪ و اعداد نمودار نسبت حجمی آب به پودر به اندازهٔ ۱۰٪ کاهش داده شده و مجدد منحنی‌ها پس از اصلاح رسم شده است که حاصل این اصلاح در شکل ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود. سپس همان ۵ طرح آزمایشی ساخته شده است که مشخصات و نتایج در جداول (۱۱ و ۱۲پیوست) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می شود با اصلاحاتی که انجام شده، مقدار سیمان و پودر و در نتیجه حجم خمیر افزایش یافته است که موجب بهتر شدن نتایج رئولوژی و خواص بتن تازه می‌شود و همچنین با توجه به کاهش نسبت آب به سیمان، می‌توان به مقاومت هدف رسید.

٤- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده موارد زیر در این تحقیق قابل بیان است:

– روش ارائه شده بر پایهٔ مقاومت فشاری هدف طرح به‌خوبی قادر به محاسبه و تعیین مقادیر اجزاء بتن خود تراکم می باشد.

- کمینه مقدار سیمان در طرح مخلوط بتن خودتراکم ۳۵۰ کیلوگرم بر مترکعب در نظر گرفته شود و در صورتی که در طرح مقدار سیمان کمتر از ۳۵۰ شده است، مجدداً طرح اصلاح شود.

- جهت رسیدن به رئولوژی مناسب در طرح‌ها کمینه مقدار حجم خمیر برابر ۰/۳۲ لحاظ شود.

۵- مراجع

[۱]. قدوسی، پ، شیرزادی جاوید ،ع، تأثیر قید در جمع‌شدگی و نشست خمیری مصالح تعمیری بر پایهٔ بتن خودتراکم، عمران مدرس، دورهٔ دهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۸۹، ۲۵-۳۲.

[2]. Okamura, h., and Ozawa, k., "Mix design for self-compacting concrete", library of JSCE, 25, 107-120.

[3]. ACI Committee 237, "Self-Consolidating Concrete", 2008, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mi.

[4]. EN, "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use", European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, 2005.

[5]. EFNARC,"Specification Guidelines for Self-Compacting Concrete", Farham, UK: European Federation of Producers and Contractors of Specialist Products for Structures, 2001.

[6]. JSCE, "Recommendations for Self-Compacting Concrete", Concrete Engineering Series, Japanese Society of Civil Engineers, 1999.

[7]. Bui, v.k., and Montgomery, d.,"Mixture proportioning method for self-compacting high performance concrete with minimum paste volume", proceeding of the first

international *RILEM* symposium on self-compacting concrete, Stockholm, Sweden, 373-384.

[8]. Su N., Hsu K. and Chai H.," asimple mix design method for self-compacting concrete", cement and concrete rescearh, vol. 31, 2001, pp. 1799-1807.

[9]. ICAR Institute," Aggregates in Self-Consolidating Concrete", Research Report 108-2f, March, 2007.

[10]. Shen, j., yurtdas, I, m diagana, c., and li, a." contribution to mix design method of self-compacting concrete (sccs): case of pre-cast industry", proceeding: SCC 2010 conference, 2010, pp 76-85.

[11]. Nanthagopalan, P. and Santhanam, M.," A Simple snd Systematic Mix Design Procedure for Self-Compacting Concrete", SCC 2010 Conference Proceeding, Montreal, Canada, 2010.

[12]. Ghazi, F. and Rand S.A.J "New Method for Proportioning Self-Consolidating Concrete Based on Compressive Strength Requirements", ACI Materials Journal, September-October, 2010. pp 490-497.

[13]. BS Standard 1881: Part 116, ″ Standard Test Method for Compressive Strength of Cubic Concrete Specimens ″.

[14]. PCI, ″Interm Guidelines for the Use of Self-Consolidating Concrete Institute Member Plants″. PCI, 2003.

[۱۵]. راهنمای روش ملی طرح مخلوط بتن، مرکز تحقیقات ساختمان مسکن.

[16]. Ghoddousi, P., Shirzadi Javid, A. A., Sobhani, J., " Effects of particle packing density on the stability and rheology of self-consolidating concrete containing mineral admixtures", Construction and Building Materilas, 53, 102-109.

پیوست:

جدول ۴- مشخصات و نتایج طرح‌های با نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۴۵

طرح	آب	سیمان	پودر	Vw/Vp	w/c	حجم خمیر	توان منحنی	جریان اسلامپ	قیف V	T50	J ring	L box	مقاومت ۲۸ روزه
۱	۱۵۷	۳۵۰	۱۵۰	۰/۹۴	۰/۴۵	۳۲۴	۰/۳	۶۱۰	۸/۲	۲	۱۰	۰/۸۲	۴۸/۶
۲	۱۸۰	۴۰۰	۱۵۰	۰/۹۸	۰/۴۵	۳۶۳	۰/۳	۶۲۰	۶/۵	۳/۵	۹	۰/۸	۵۰/۱
۳	۲۰۲	۴۵۰	۱۵۰	۱/۰۳	۰/۴۵	۴۰۲	۰/۳	۶۰۰	۲/۶۴	۱/۵	۱۰	۰/۸	۵۰/۴
۴	۱۸۰	۴۰۰	۵۰	۱/۲۳	۰/۴۵	۳۲۶	۰/۳	۶۲۰	۴	۱/۲	۱۰	۰/۸	۴۹/۶
۵	۱۸۰	۴۰۰	۱۰۰	۱/۰۹	۰/۴۵	۳۴۵	۰/۳	۶۰۰	۳/۲۴	۱/۳	۱۰	۰/۸	۴۷/۷
۶	۱۸۰	۴۰۰	۲۰۰	۰/۸۹	۰/۴۵	۳۸۲	۰/۳	۶۰۰	۷/۱	۱/۵	۱۰	۰/۸	۴۶/۱
۷	۲۲۵	۵۰۰	۱۵۰	۱/۰۴	۰/۴۵	۴۴۰	۰/۳	۶۰۰	۷	۱/۸	۱۰	۰/۸	۴۸/۵
۸	۱۸۰	۴۰۰	۱۵۰	۰/۹۸	۰/۴۵	۳۶۳	۰/۲	۶۲۰	۶	۳	۹	۰/۸	۴۶
۹	۱۸۰	۴۰۰	۱۵۰	۰/۹۸	۰/۴۵	۳۶۳	۰/۱	۶۰۰	۶	۱/۱۵	۱۰	۰/۸۲	۵۲/۳
۱۰	۱۸۰	۴۰۰	۱۵۰	۰/۹۸	۰/۴۵	۳۶۳	۰/۳	۷۰۰	۴/۴	۱/۴۵	۷	۱	۵۲/۵
۱۱	۱۸۰	۴۰۰	۱۵۰	۰/۹۸	۰/۴۵	۳۶۳	۰/۳	۷۸۰	۴/۱	۰/۹	۲	۱	۵۱/۷
۱۲	۱۸۵	۴۱۱	۱۵۰	۰/۹۹	۰/۴۵	۳۶۳	۰/۳	۷۰۰	۳/۳۶	۰/۹۶	۵	۰/۸	۴۴
۱۳	۱۹۰	۴۲۲	۱۵۰	۱	۰/۴۵	۳۷۵	۰/۳	۸۰۰	۱/۹۳	۰/۹	۵	۱	۴۳/۹

جدول ۵- مشخصات و نتایج طرح‌های با نسبت آب به سیمان مختلف

طرح	آب	سیمان	پودر	Vw/Vp	w/c	حجم خمیر	توان منحنی	جریان اسلامپ	قیف V	T50	J ring	L box	مقاومت ۲۸ روزه
۱	۱۵۷	۴۵۰	۱۵۰	۰/۷۹	۰/۳۵	۳۵۷	۰/۳	۶۲۰	۱۱/۷	۴/۴	۱۰	۰/۸	۶۵/۸
۲	۱۶۰	۴۰۰	۱۵۰	۰/۸۷	۰/۴	۳۴۳	۰/۳	۶۲۵	۱۰	۳/۱	۱۰	۰/۸۱	۵۸/۱
۳	۱۸۰	۴۰۰	۱۵۰	۰/۹۸	۰/۴۵	۳۶۳	۰/۳	۶۲۰	۶/۵	۲/۵	۹	۰/۸	۵۰/۱
۴	۲۰۰	۴۰۰	۱۵۰	۱/۰۹	۰/۵	۳۸۳	۰/۳	۶۰۰	۳/۸	۱/۵	۱۰	۰/۸۵	۴۵
۵	۲۲۰	۴۰۰	۱۵۰	۱/۲	۰/۵۵	۴۰۳	۰/۳	۶۰۰	۳/۲	۰/۶	۱۰	۰/۹۱	۳۲/۷
۶	۲۴۰	۴۰۰	۱۵۰	۱/۳۱	۰/۶	۴۲۳	۰/۳	۶۰۰	۲/۸	۰/۴	۹	۱	۲۶/۲
۷	۲۶۰	۴۰۰	۱۵۰	۱/۴۲	۰/۶۵	۴۴۳	۰/۳	۶۰۰	۲/۲	۰/۳	۹	۱	۲۱/۹
۸	۱۴۸/۱	۴۰۰	۱۰۰	۰/۹	۰/۳۷	۳۱۳	۰/۳	۶۳۰	۱۳/۳۶	۳/۵۲	۱۰	۰/۸	۶۵/۱
۹	۱۶۰	۵۰۰	۵۰	۰/۹	۰/۳۲	۳۳۸	۰/۳	۶۲۰	۱۲/۸	۳/۹۶	۱۰	۰/۸۲	۷۳/۳
۱۰	۱۹۶	۴۵۰	۲۰۰	۰/۹	۰/۴۴	۴۱۴	۰/۳	۶۰۰	۳/۳۹	۲	۹	۱	۵۷/۹
۱۱	۱۸۴/۶	۳۵۰	۲۵۰	۰/۹	۰/۵۳	۳۹۰	۰/۳	۶۳۰	۴/۷۶	۰/۵۱	۹	۰/۸۶	۳۸/۶

جدول۶- مشخصات و نتایج طرح‌های با نسبت حجمی آب به پودر ثابت ۰/۹

طرح	سیمان	پودر	آب	Vw/Vp	W/C	توان منحنی	جریان اسلامپ	T50	V	Lbox	Jring	مقاومت ۲۸ روزه
۱	۴۵۰	۱۵۰	۱۸۰	۰/۹	۰/۴	۰/۳	۶۲۰	۲/۰۵	۸/۴۰	۰/۹۱	۹	۵۹/۸
۲	۴۰۰	۱۰۰	۱۴۸/۱	۰/۹	۰/۳۷	۰/۳	۶۳۰	۳/۵۲	۱۳/۳۶	۰/۸	۱۰	۶۵/۱
۳	۵۰۰	۵۰	۱۶۰	۰/۹	۰/۳۲	۰/۳	۶۲۰	۳/۹۶	۱۲/۸۰	۰/۸۲	۱۰	۷۳/۳
۴	۵۰۰	۲۰۰	۲۱۰/۵	۰/۹	۰/۴۲	۰/۳	۶۰۰	۱/۶۸	۳	۰/۹۵	۸	۵۴/۲
۵	۴۵۰	۲۰۰	۱۹۶	۰/۹	۰/۴۴	۰/۳	۶۰۰	۲	۳/۳۹	۱	۸	۵۳/۵
۶	۴۵۰	۷۵	۱۵۴	۰/۹	۰/۳۴	۰/۳	۷۱۰	۳	۱۰/۶	۰/۸۲	۱۰	۶۷/۵
۷	۳۵۰	۲۵۰	۱۸۴.۶	۰/۹	۰/۵۳	۰/۳	۷۰۰	۱	۳/۴۹	۰/۹۳	۱۰	۴۱
۸	۴۰۰	۲۰۰	۱۸۰	۰/۹	۰/۴۵	۰/۳	۶۰۰	۱/۵	۷/۰۹	۰/۸۵	۱۰	۴۶/۱
۹	۴۵۰	۲۰۰	۱۹۶	۰/۹	۰/۴۴	۰/۳	۶۹۰	۰/۸۶	۵/۰۲	۰/۹	۱۰	۵۰/۱
۱۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۴۸/۱	۰/۹	۰/۳۷	۰/۳	۷۰۰	۳/۵۵	۱۲	۰/۸	۱۰	۶۲/۶
۱۱	۴۵۰	۲۰۰	۱۹۶	۰/۹	۰/۴۴	۰/۲	۶۰۰	۱/۸۶	۵/۷۷	۰/۸۲	۱۰	۵۳/۵
۱۲	۳۵۰	۲۵۰	۱۸۴/۶	۰/۹	۰/۵۳	۰/۲	۶۳۰	۰/۵۱	۴/۷۶	۰/۸۶	۹	۳۸/۶

جدول ۷- مشخصات ونتایج طرح‌های با نسبت حجمی آب به پودر مختلف

طرح	سیمان	پودر	آب	Vw/Vp	W/C	توان منحنی	جریان اسلامپ	T50	قیف V	Lbox	Jring	مقاومت ۲۸روزه
۱	۴۵۰	۱۵۰	۱۵۷	۰/۷۹	۰/۳۵	۰/۳	۶۲۰	۴/۴	۱۱/۷۰	۰/۸	۱۰	۶۵/۸
۲	۴۰۰	۱۵۰	۱۶۰	۰/۸۷	۰/۴	۰/۳	۶۲۰	۳/۱	۱۰	۰/۸	۱۰	۵۸/۱
۳	۳۵۰	۲۰۰	۱۷۵	۰/۹۴	۰/۵	۰/۳	۶۰۰	۱/۳۷	۴/۳۰	۰/۹۱	۹	۴۰/۴
۴	۴۰۰	۱۵۰	۱۸۰	۰/۹۸	۰/۴۵	۰/۳	۶۲۰	۲/۵	۶/۵	۰/۸	۹	۵۰/۱
۵	۵۰۰	۱۵۰	۲۲۵	۱/۰۴	۰/۴۵	۰/۳	۶۰۰	۱	۲/۲	۰/۹	۸	۴۸/۵
۶	۴۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۱/۰۹	۰/۵	۰/۳	۶۰۰	۱/۵	۳/۳۸	۰/۸۵	۱۰	۴۵
۷	۴۵۰	۱۰۰	۲۰۷	۱/۱۵	۰/۴۶	۰/۳	۶۳۰	۰/۸	۱/۹	۱	۹	۵۰/۲
۸	۴۰۰	۱۵۰	۲۲۰	۱/۲	۰/۵۵	۰/۳	۶۰۰	۰/۶	۳/۲	۰/۹۱	۱۰	۳۲/۷
۹	۴۰۰	۵۰	۱۸۰	۱/۲۳	۰/۴۵	۰/۳	۶۱۰	۱/۲	۴	۰/۸	۱۰	۴۹/۶
۱۰	۴۰۰	۱۵۰	۲۴۰	۱/۳	۰/۶	۰/۳	۶۰۰	۰/۴	۲/۸	۱	۹	۲۶/۲
۱۱	۴۰۰	۱۵۰	۲۶۰	۱/۴۱	۰/۶۵	۰/۳	۶۰۰	۰/۳	۲/۷	۱	۹	۲۱/۹

جدول ۸- مشخصات و نتایج طرح‌های انتخاب شده منطبق بر توان‌های منحنی

طرح	منطبق بر n	W/C	S/A	سیمان	پودر		چگالی انباشتگی حالت خیس	چگالی حالت خشک	چگالی تئوری
۱	۰/۲	۰/۴۵	۰/۶۵	۴۵۰	۲۰۰	درشت	۰/۷۹۸	۰/۶۶۷	۰/۷۷۸
۲	۰/۲۵	۰/۴۵	۰/۶۵	۴۰۰	۱۰۰		۰/۸۱۳	۰/۶۷۱	۰/۸۰۰
۳	۰/۳	۰/۴۵	۰/۶	۳۵۰	۵۰		۰/۸۲۹	۰/۶۸۱	۰/۸۲۳
۴	۰/۲	۰/۴۵	۰/۷	۴۰۰	۱۰۰	ریز	۰/۸۰۲	۰/۶۶۴	۰/۸۰۰
۵	۰/۲۵	۰/۴۵	۰/۷	۴۰۰	۵۰		۰/۸۱۲	۰/۶۶۷	۰/۸۰۰

جدول ۹- مشخصات طرح مخلوط‌های آزمایشی

طرح	مقاومت مشخصه	انحراف معیار	مقاومت هدف	n	W/C	Vw/Vp	سیمان (kg)	پودر (kg)	آب (kg)	سنگدانه (kg)
۱	۲۰	۳/۵	۲۶	۰/۳	۰/۶۱	۱/۳۸	۳۳۲	۱۱۰	۲۰۲/۶	۱۸۲۱
۲	۳۰	۴	۳۷	۰/۲۵	۰/۵۳	۱/۲۲	۳۵۴	۱۰۹	۱۸۷/۶	۱۷۷۴
۳	۴۰	۴	۴۷	۰/۲	۰/۴۷	۱/۰۵	۳۷۱	۱۲۷	۱۷۴/۲	۱۷۱۳
۴	۵۰	۳/۵	۵۶	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۸۹	۳۹۷	۱۵۰	۱۶۲/۶	۱۷۱۲
۵	۵۸	۴	۶۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۷۴	۴۲۹	۱۷۶	۱۵۰	۱۷۰۳

جدول ۱۰- نتایج آزمایشات بر طرح مخلوط‌های آزمایشی

طرح	جریان اسلامپ (mm)	T50 (s)	حلقه J (mm)	جعبه L (%)	قیف V (s)	مقاومت فشاری (Mpa)
۱	۶۴۰	۱	۱۵	۰/۶۵	۵/۹	۲۶/۲
۲	۶۹۰	۱	۱۳	۰/۶۵	۷/۲	۳۶/۵
۳	۷۲۰	۰/۹	۱۲	۰/۷	۸/۵	۴۵
۴	۶۸۰	۱.۹	۱۵	۰/۶	۹	۵۳/۲
۵	۶۵۰	۲	۱۵	۰/۵	۱۰/۱	۵۹/۸

جدول ۱۱- مشخصات طرح مخلوط‌های آزمایشی با استفاده از منحنی‌های اصلاح شده

طرح	مقاومت مشخصه	انحراف معیار	مقاومت هدف	n	W/C	Vw/Vp	سیمان	پودر	آب	سنگدانه
۱	۲۰	۳/۵	۲۶	۰/۳	۰/۵۸	۱/۳۵	۳۴۹	۱۰۴	۲۰۲/۶	۱۸۱۴
۲	۳۰	۴	۳۷	۰/۲۵	۰/۵	۱/۱۵	۳۷۵	۱۱۶	۱۸۷/۶	۱۷۵۲
۳	۴۰	۴	۴۷	۰/۲	۰/۴۳	۰/۹۶	۴۰۵	۱۴۰	۱۷۴/۲	۱۶۸۲
۴	۵۰	۳/۵	۵۶	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۷۹	۴۵۲	۱۶۵	۱۶۲/۶	۱۶۶۳
۵	۵۸	۴	۶۵	۰/۳	۰/۳	۰/۶۲	۵۰۰	۲۲۰	۱۵۰	۱۶۱۱

جدول ۱۲- نتایج آزمایشات بر طرح مخلوط‌های آزمایشی با استفاده از منحنی‌های اصلاح شده

طرح	جریان اسلامپ	T50	حلقه J	جعبه L	قیف V	مقاومت فشاری
۱	۶۶۰	۱/۱	۸	۰/۹۵	۶/۲	۲۹/۸
۲	۷۰۰	۱	۸	۰/۹۲	۷	۴۰/۲
۳	۷۰۰	۰/۹	۱۰	۰/۸۷	۸	۵۰
۴	۶۵۰	۱/۶	۱۰	۰/۸	۱۰	۵۸/۲
۵	۶۵۰	۱	۱۰	۰/۸	۱۰/۸	۶۷/۷

جدول۱۳- اعداد تولید شده توسط نرم‌افزار **Matlab** برای منحنی نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری

نسبت آب به سیمان										
0.53	**0.44**	**0.32**	**0.37**	**0.65**	**0.6**	**0.55**	**0.5**	**0.45**	**0.4**	**0.35**
39.39224	59.46791	71.487	66.16368	22.91084	25.27859	32.9569	45.8554	51.55848	58.24458	66.86938
38.56949	56.24318	73.46239	68.72802	22.27087	26.16133	31.25616	44.96706	48.55881	55.83089	69.44748
38.54703	58.08675	70.75129	60.63126	21.00024	26.49161	34.03091	44.94281	50.27371	56.01893	61.3073
37.38411	56.88406	70.96251	66.80566	19.82845	26.73513	33.13053	43.68718	49.15497	58.0872	67.51481
40.15182	58.46629	73.28562	65.73062	24.03262	25.73211	32.88953	46.67554	50.62676	60.96439	66.434
38.39706	56.77996	76.51734	62.51297	21.20634	25.90324	33.42243	44.78088	49.05813	56.66154	63.19909
37.51152	58.81414	71.6843	64.24221	22.0186	28.73982	33.06652	43.82474	50.95034	58.79408	64.93761
40.65864	59.27945	74.07961	65.77782	22.5462	23.36567	31.37994	47.22276	51.38317	57.6784	66.48146
38.25759	61.0939	72.82645	72.17924	22.03035	28.99805	32.47239	44.6303	53.07099	60.18827	72.91719
37.7027	57.53782	75.64558	70.57885	20.86188	26.62366	32.49522	44.03116	49.7631	56.0646	71.30823
38.15251	53.91043	71.01381	62.42948	21.36333	27.45512	31.95406	44.51683	46.38887	58.16085	63.11516
37.30831	56.33356	73.36835	71.10407	21.7567	24.1114	35.05849	43.60533	48.64289	59.13264	71.83626
36.89365	60.42729	74.45988	66.53509	23.59701	25.45948	31.47213	43.15761	52.45091	60.15697	67.24278
42.44799	55.89966	75.61043	64.97526	20.91227	25.85102	32.02164	49.15477	48.23927	60.98604	65.67459
41.12191	59.69287	76.54165	66.51399	22.80036	26.73053	31.70169	47.72297	51.76774	58.2606	67.22158
39.06849	58.13144	73.48039	64.69451	22.25413	24.10383	31.05363	45.50583	50.31529	55.31231	65.39234
36.68496	60.58047	70.16881	64.8544	21.63166	26.79192	32.43046	42.93229	52.5934	56.71268	65.55309
37.28159	54.24151	71.74174	68.04711	20.68719	24.67783	32.31572	43.57648	46.69685	56.11597	68.76291
38.33108	57.53115	71.0715	67.88753	21.57397	26.28307	34.84533	44.70964	49.75689	62.49286	68.60248
39.80561	55.6465	78.23414	67.90367	21.80053	27.01873	32.35084	46.30172	48.00378	56.94948	68.6187
36.57088	63.32553	72.00771	66.42844	20.21396	26.61047	31.20786	42.80912	55.14687	59.49811	67.13556
35.05079	59.43963	74.87038	62.7112	22.12052	27.55875	34.94822	41.16783	51.53217	57.74038	63.39839
36.39251	60.47278	72.89607	66.51893	20.95647	27.46267	34.43115	42.61652	52.49321	59.76076	67.22654
39.10806	55.92573	75.16539	68.32514	21.79186	25.38308	32.37804	45.54856	48.26352	56.67054	69.04243
39.19617	57.02569	71.69441	66.06719	22.28578	26.52262	30.5882	45.6437	49.28671	55.47924	66.77238

ادامهٔ جدول۱۳- اعداد تولید شده توسط نرم‌افزار **Matlab** برای منحنی نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری

نسبت آب به سیمان										
0.53	**0.44**	**0.32**	**0.37**	**0.65**	**0.6**	**0.55**	**0.5**	**0.45**	**0.4**	**0.35**
39.28807	57.39165	70.35632	67.14696	20.86197	25.01477	32.07658	45.74292	49.62713	55.44166	67.85794
38.40153	59.94935	70.31411	66.53802	21.56924	24.5411	32.48135	44.78571	52.00632	59.01241	67.24573
38.87982	57.38157	74.32483	64.49969	22.30168	27.36069	33.08708	45.30213	49.61775	57.7685	65.19648
37.87465	59.20888	72.92765	65.68137	19.79346	26.20006	32.33382	44.21682	51.31753	57.73359	66.38449
39.91316	54.07188	72.88844	63.5425	23.08872	26.13107	33.32173	46.41785	46.53906	60.75261	64.23415
36.52566	57.23981	76.27945	66.85754	24.68192	27.3435	33.24948	42.76028	49.48589	58.64495	67.56696
39.29317	56.36342	73.9121	62.83072	23.00085	26.94623	30.94641	45.74843	48.67066	58.4697	63.51855
37.30711	54.95765	73.71525	62.98543	21.53767	26.63952	31.37086	43.60404	47.36301	61.06731	63.67409
38.08985	58.84774	76.63294	63.49855	22.39182	27.76912	31.66089	44.44918	50.98159	56.5965	64.18996
39.44209	58.4261	71.61124	59.27525	20.71127	27.36692	31.98799	45.90922	50.58939	59.40195	59.94401
40.1829	57.96246	74.76237	67.94559	24.05474	26.50091	32.25052	46.7091	50.1581	59.66073	68.66084
36.89744	55.41173	75.05304	65.74333	22.9794	25.33357	32.71748	43.16171	47.78539	57.64451	66.44678
40.52043	60.00359	72.78839	63.60651	22.80343	25.38227	28.45277	47.07353	52.05677	58.50307	64.2985
39.60563	58.55334	73.75274	67.8109	20.89499	27.69614	32.05922	46.0858	50.70774	55.92111	68.52543
38.49662	57.34203	70.85263	61.71406	22.26712	24.17709	34.44205	44.88837	49.58097	55.95454	62.39591
38.30261	57.94271	70.89019	64.89773	21.25939	26.1693	31.20437	44.6789	50.13973	58.296	65.59665
38.26851	57.41119	73.52016	64.62234	21.54265	23.75412	34.00919	44.64208	49.64531	59.44985	65.31978
38.13826	54.63459	74.81618	65.7315	21.24595	27.48077	33.19119	44.50145	47.0625	62.93213	66.43488
38.63511	57.36706	78.72753	65.71894	20.72303	27.28149	32.65933	45.03791	49.60425	56.85362	66.42226
38.67813	56.3489	71.90005	63.38899	20.85727	26.20146	32.95582	45.08436	48.65716	58.45011	64.07981
39.85839	56.07307	73.69325	65.04055	21.65916	26.1111	30.50562	46.35871	48.40058	57.94582	65.74023
40.92613	55.74248	73.12683	64.77382	19.95066	23.07961	32.58147	47.51157	48.09306	54.4873	65.47207
39.31128	56.90453	69.24215	66.34181	22.59718	26.9294	34.9489	45.76798	49.17401	57.2796	67.04847
38.28053	54.16364	72.37851	67.26284	21.76483	23.4484	32.83789	44.65506	46.62441	54.74585	67.97443
39.55239	59.69898	69.53256	67.2945	22.70224	23.28921	32.75801	46.02831	51.77343	55.78965	68.00627

جدول ۱۴- اعداد تولید شده توسط نرم‌افزار **Matlab** برای منحنی نسبت حجمی آب به پودر به مقاومت فشاری

نسبت حجمی آب به پودر										
1.41	**1.3**	**1.23**	**1.2**	**1.15**	**1.09**	**1.04**	**0.98**	**0.94**	**0.87**	**0.79**
21.73621	23.60886	53.37855	31.10641	53.44991	43.31969	52.15813	49.87885	36.83225	56.7947	63.09834
23.74199	26.17864	49.46553	33.49626	49.49566	44.26521	50.94593	47.19049	34.26497	59.46636	63.33522
22.27662	24.65318	51.39696	33.04583	49.69561	40.38814	51.71354	50.60036	38.80935	54.28516	70.35383
22.49616	24.705	46.49463	30.9195	52.34187	43.59708	46.21524	49.26841	40.99588	56.01343	62.92249
22.13155	28.13775	49.79905	34.64651	51.92503	41.068	45.64335	48.82905	43.02406	54.19736	61.40481
22.80196	26.45433	51.45209	34.25919	46.72281	45.08904	44.62812	47.89431	40.66098	59.4109	66.56292
22.10842	27.09328	45.39929	34.32178	45.44264	47.50703	50.0193	50.29053	37.2749	62.44715	72.94554
27.6144	28.1822	50.67243	31.63373	46.7923	46.18801	57.00925	44.37547	41.2525	56.11769	65.89081
19.50819	26.60421	49.03896	35.32685	45.80555	42.94104	50.71976	48.86484	37.13561	59.55716	66.89558
18.09845	27.43523	46.70124	34.35517	50.3849	40.20821	46.14145	48.41455	37.72417	56.41581	62.46582
19.56146	27.73147	49.4842	38.98484	48.92351	49.29064	51.0525	47.27236	38.57966	58.44096	71.74954
19.6585	28.82495	43.7493	35.36412	49.05772	51.0246	45.05756	52.12391	36.97673	62.09456	66.24416
21.01104	27.26706	43.03451	35.59826	45.97567	45.35412	44.15406	47.82315	39.64549	58.50165	67.68378
21.55461	29.36677	45.96882	32.83272	52.61972	42.09091	50.68886	51.77641	37.89407	54.63773	62.4167
21.45198	26.2507	46.54389	29.4724	51.5639	48.51997	46.12668	53.12592	39.6045	55.23793	68.83495
23.00981	26.09266	45.98082	31.77004	49.92182	43.25832	49.46405	49.61357	39.11238	57.53275	67.18288
22.69805	30.01504	44.27651	30.80162	53.36967	43.61934	52.79122	50.96141	39.25895	57.45997	61.692
23.44012	25.05703	50.48928	31.28718	47.48723	47.60486	49.7238	52.08303	38.99789	55.20884	65.94122
25.54565	26.1936	44.68144	34.0907	51.4872	40.92916	51.33631	49.8489	43.83414	58.70328	64.19874
24.40744	28.26269	49.94006	31.30519	51.28153	39.24955	43.60083	51.77715	42.09941	62.32924	66.18823
19.26916	26.53593	52.02835	30.45761	51.28406	46.23629	50.51829	46.185	40.56449	57.26129	64.90963
17.12534	29.3504	49.59313	31.67457	47.93647	46.17768	55.02439	53.54324	36.31526	57.41689	65.12516
23.74908	28.5189	49.88727	32.29696	51.21449	45.2796	50.15097	47.03153	35.87292	50.7486	62.12941
18.1367	26.85381	48.43326	33.72544	48.60185	46.45964	43.79892	44.42909	34.92911	55.51372	64.65114
22.03686	24.4561	45.02547	30.31351	47.4175	48.18046	47.88023	54.3931	47.65421	53.44753	68.52395

ادامهٔ جدول ۱۴- اعداد تولید شده توسط نرم‌افزار **Matlab** برای منحنی نسبت حجمی آب به پودر به مقاومت فشاری

نسبت حجمی آب به پودر										
1.41	**1.3**	**1.23**	**1.2**	**1.15**	**1.09**	**1.04**	**0.98**	**0.94**	**0.87**	**0.79**
21.97274	27.47075	49.46481	33.49493	46.46515	47.85192	46.97465	49.90549	43.10759	56.81027	71.99992
26.46598	23.09963	52.56445	32.89545	53.4213	43.32911	49.66857	51.49203	41.11557	59.85506	61.67594
21.7581	26.74821	54.96304	36.01778	47.57425	47.38032	49.75708	48.9736	37.68721	63.18656	74.24844
20.85992	28.01283	48.27268	32.16598	49.66329	45.50913	49.73712	46.93534	37.20793	64.1056	71.22312
22.38344	26.67772	44.57919	32.36311	46.44844	43.51433	47.39014	40.57118	41.92491	57.7097	66.39881
22.40393	28.17257	50.11324	29.76558	49.27774	41.49315	46.67167	52.04199	44.758	57.03079	64.72962
22.0436	30.77194	50.7609	29.22971	40.168	46.9013	46.70121	49.21104	35.68486	60.82988	63.31724
20.65233	28.27181	48.89979	33.47787	46.82616	43.96078	51.10408	49.48807	39.14865	59.73676	68.75936
19.39353	26.79853	46.05524	32.07499	45.77245	45.13646	42.84663	51.35771	40.16529	60.65536	63.33163
22.54887	27.63885	55.84571	33.96195	47.05122	42.66971	47.86754	45.69884	34.85325	60.69886	64.15864
19.14694	27.1541	42.32012	30.46375	49.53803	40.4434	49.3249	47.83811	42.74246	53.15691	68.94005
19.78389	23.25189	48.02657	37.4811	49.19015	45.50425	46.50845	53.65767	39.24538	59.9044	67.34918
24.62916	25.26625	45.52236	33.00621	56.23526	44.81739	49.95598	51.95388	45.7245	57.79433	68.98671
21.59058	25.63259	49.65878	32.65898	49.65987	43.25845	45.32568	48.51237	39.6542	56.3568	62.3652
21.85792	25.00257	47.21548	28.48585	49.87459	40.95145	44.15874	48.21578	37.6589	55.87452	60.6598
20.9856	24.99892	48.26985	31.45125	47.14785	45.28745	47.52858	50.12569	37.7874	56.3654	63.4859
21.54872	25.6523	49.11125	29.85964	46.66665	44.41448	44.3278	46.96587	37.42515	54.69854	62.5989
21.85796	26.3625	49.00254	28.65948	50.65658	40.7878	47.98524	50.9685	38.25896	53.26845	62.5879
21.45262	26.01589	47.85215	30.36989	46.58964	40.65842	48.98567	48.98745	37.54216	53.39874	65.6598
21.36548	26.15783	49.03025	30.78458	49.48485	45.69875	47.54698	48.25785	37.85962	55.3698	61.3569
23.19022	25.9548	47.96583	30.48989	47.2589	42.87451	45.85214	50.23655	36.3656	57.69746	63.6574
24.65262	27.99874	52.12548	36.00145	53.3697	48.65487	54.02159	51.26589	44.32587	67.95201	76.36584
25.12351	28.00155	52.39548	36.48579	53.98751	48.02655	53.98452	52.02486	43.02548	69.21084	77.65821
24.9802	28.23781	53.10245	37.25411	53.04892	47.87416	53.02458	51.08745	43.98025	68.01542	78.01263
25.01485	28.34012	52.82546	36.78502	54.00254	48.0037	54.10245	51.98632	44.03658	69.21054	78.03265

A New Method of Mix Design for Self-Consolidating Concrete Based on Compressive Strength

P. Ghoddousi*
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology
A.K. Shirzadi Javid
PhD. Studendt, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology
B. Rahmati
MSc. Student, Iran University of Science and Technology

(Received: 2014/2/9 - Accepted: 2014/4/30)

Abstract :

Self- consolidating concrete (SCC) mix design should consider the appropriate characteristics in terms of workability, rheology, strength and durability simultaneously. Because of this, already standard method in the world for SCC mix design has not been expressed. In this paper, a new method of SCC mix design based on compressive strength is presented. various parameters such as aggregate gradation, packing density, volumetric ratio of water to powder, water to cement ratio, 28-day compressive strength is considered. Results of mix designs made in the laboratory are perfectly accordant with the values of target, so the proposed method is a real and valid.

Keywords: Self-consolidating concrete; compressive strength; mix design; particle packing density.

* Corresponding author: ghoddousi@iust.ac.ir