

Improvement of normal and self-consolidating C50 concrete mix design Code C

Mohammad Ebrahim Komaki ^[1], Amir Reza Ghodrati Dolatshamloo ^[1*],
Naser Zarif Moghaddam ^[2], Mahdi Eslami ^[1]

- 1 – Students in Department of Civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad
University, Mashhad, Iran
2 – Teaching in Department of civil engineering, Mashhad Branch, Montazeri
Technical College of Mashhad, Iran

E-mail: ^[1] Ebrahimk1998@yahoo.com
^[1*] Ghodrati.amirreza@yahoo.com (Corresponding Author)
^[2] Nasser_zarif@yahoo.com
^[1] Islamimahdi8@gmail.com

Abstract

Concrete industry is one of the most important industries. Not using optimized cement in performing concrete species and also using unappropriated concrete in terms of durability and compressive strength is one of the biggest concerns of this industry. According to the vision 1404 minimum compressive strength of concrete for designing and constructions is 50 Mega-Pascal, which needs optimizing concrete mix designs. In this research several self-consolidating and normal concrete mix design were performed. Primary indicators in optimizing concrete mix designs are using optimized cement in concrete to reduce contaminants and to delay initial setting time and also reducing water per cement ratio to increase concrete durability. In performing mix designs the aim was to ameliorate workability and penetration resistance with reducing size of aggregates. Overall four optimized mix designs were obtained which can be used according to temperature and distance.

Key words: C50 concrete, Optimized mix design, Self-consolidating concrete, 1404 document

بهبود بخشی طرح مخلوط بتن رده مقاومتی C50 خودتراکم وعادی

کد C

محمد ابراهیم کمکی^[1]، امیر رضا قدرتی دولت شاملو^[1*]، ناصر ظریف مقدم^[2]، مهدی اسلامی^[1]

- ۱ - دانشجوی رشته عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد
- ۲ - مدرس رشته عمران دانشکده فنی شهید منتظری مشهد

E-mail: ^[1] Ebrahimk1998@yahoo.com

^[1*] Ghodrati.amirreza@yahoo.com

^[2] Nasser_zarif@yahoo.com

^[1] Islamimahdi8@gmail.com

چکیده

صنعت بتن از زیر ساخت‌های اصلی ساخت و ساز کشور است. عدم مصرف بهینه سیمان در ساخت بتن و همچنین مصرف بتن‌های نامناسب از نظر دوام و مقاومت فشاری از اصلی‌ترین معضلات این صنعت در کشور محسوب می‌شود. با توجه به سند جامع ۱۴۰۴ حداقل مقاومت فشاری بتن‌های مصرفی در طراحی و ساخت سازه‌ها ۵۰ مگاپاسکال خواهد بود. این مهم نیازمند بهینه سازی اجرایی طرح‌های مخلوط بتن می‌باشد. در این تحقیق چندین طرح مخلوط بتن رده مقاومتی C50 در دو نوع خودتراکم و عادی ساخته شد. شاخص‌های اصلی در بهسازی طرح‌های مخلوط آزمون‌ها استفاده بهینه از سیمان به منظور کاهش آلاینده‌گی و به تاخیر انداختن زمان گیرش بتن و همچنین کاهش نسبت آب به سیمان به منظور افزایش دوام بتن می‌باشد. در طرح‌های مخلوط سعی بر این بود تا با ریز کردن بافت بتن علاوه بر افزایش کارایی، نفوذپذیری را نیز بهبود بخشیم. حاصل این تحقیق چهار طرح مخلوط بهینه است که با توجه به دمای هوا و همچنین فاصله زمانی تا محل بتن‌ریزی می‌توان بر حسب نیاز از آن‌ها استفاده نمود.

کلمات کلیدی : بتن رده مقاومتی C50، طرح مخلوط بهینه، بتن خودتراکم، سند چشم انداز ۱۴۰۴

مقدمه

صنعت بتن از زیر ساخت‌های اصلی ساخت و ساز کشور است. عدم مصرف بهینه سیمان در ساخت بتن و همچنین مصرف بتن‌های نامناسب از نظر دوام و مقاومت فشاری از اصلی‌ترین معضلات این صنعت در کشور محسوب می‌شود. تولید سیمان یکی از صنایع آلاینده محیط زیست محسوب می‌شود. به نحوی که به ازای هر تن کلینکر سیمان تقریباً یک تن گاز مونواکسیدکربن وارد جو می‌شود. [۱] با توجه به سند جامع ۱۴۰۴ حداقل مقاومت فشاری بتن‌های مصرفی در طراحی و ساخت سازه‌ها ۵۰ مگاپاسکال خواهد بود. [۲] این مهم نیازمند بهینه‌سازی اجرایی طرح‌های مخلوط بتن می‌باشد. تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص بهینه‌سازی طرح‌های مخلوط صورت گرفته که در این بین محققین نقش نسبت آب به سیمان و دانه‌بندی مصالح را مهم و با اهمیت‌تر از سایر پارامترهای موثر در مقاومت فشاری می‌دانند.

هنرمند و همکارانش در سال ۱۳۸۹ به بررسی تأثیر روان‌کننده‌ها بر کاهش عیار سیمان و کیفیت بتن پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که با کاهش عیار سیمان (در محدوده ۳۴۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب) در نسبت آب به سیمان ثابت، سبب بهبود خواص مقاومتی و دوامی بتن می‌گردد. علت این امر کاهش حجم خمیر سیمان و در نتیجه کاهش تخلخل در واحد حجم بتن است. [۲] در روش طرح مخلوط بتن که در سال ۱۳۸۶ به چاپ رسیده است گزارش شده است که در یک نسبت آب به سیمان برابر، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. [۳]

Singh و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به بررسی تأثیر نسبت آب به سیمان در رشد مقاومت ملات سیمان پرداختند. در تحقیق آن‌ها به کاهش مقاومت فشاری با افزایش نسبت آب به سیمان اشاره شده است. [۴] Zivica در تحقیق خود در سال ۲۰۰۹ بر روی تأثیر نسبت آب به سیمان کم، افزایش چشم‌گیر مقاومت فشاری و کاهش تخلخل و منافذ بتن را گزارش کرده است. [۵] Felekoglu و همکارانش نیز در تحقیق خود در سال ۲۰۰۷ افزایش مقاومت فشاری را با کاهش نسبت آب به سیمان گزارش کرده‌اند. [۶]

در این تحقیق سعی بر این بود تا با مصالح سنگی استان خراسان رضوی جهت دستیابی به بتن‌های اجرایی و قطعات پیش‌ساخته در دو نوع خودتراکم و عادی رده مقاومتی C۵۰ طرح‌های مخلوط مناسب ارائه شود.

برنامه آزمایشگاهی

مصالح مصرفی در ساخت آزمون‌ها به شرح ذیل می‌باشد.

۱ - سیمان پرتلند نوع ۲ زاوه تربت

۲ - مصالح سنگی آهکی با مشخصات زیر

مصالح سنگی	چگالی	جذب آب
بادامی	۲,۵۶	۱,۶
نخودی	۲,۶	۱,۸
ماسه	۲,۶۴	۲,۵

جدول ۱ - چگالی و جذب آب مصالح سنگی

شماره الک	درصد مانده تجمعی	درصد عبوری
3/8	0	100
4	0	100
8	27	73
16	50	50
30	69	31
50	83	17
100	89	11
زیر الک	100	0

جدول ۲ - دانه بندی ماسه

شماره الک	درصد مانده تجمعی	درصد عبوری
3/8	11	89
4	94	6
8	100	0
16	100	0
30	100	0
50	100	0
100	100	0
زیر الک	100	0

جدول ۳ - دانه بندی نخودی

شماره الک	درصد مانده تجمعی	درصد عبوری
3/8	96	4
4	100	0
8	100	0
16	100	0
30	100	0
50	100	0
100	100	0
زیر الک	100	0

جدول ۴ - دانه بندی بادمی

۳ - فوق روان کننده نرمال بر پایه پلی کربوکسیلات

۴ - فوق روان کننده دیرگیرکننده

۵ - پودرسنگ آهکی با عبوری از الک ۲۰۰، ۴۶ درصد

در طی یک برنامه آزمایشگاهی دقیق و حساب شده ۱۶ طرح مخلوط که از نظر فنی و اقتصادی کیفیت لازم را دارا بودند، محاسبه شدند. در ابتدا برای محاسبه دقیق طرح مخلوط‌های بتنی در محیط نرم افزار اکسل، برنامه‌ای طبق روش طرح مخلوط ملی نوشته شد. این برنامه امکان بررسی دقیق نمودارهای دانه بندی به همراه n‌های (ضریب موجود در رابطه اصلاح شده فولر تامسون) گوناگون را دارد. امکان پیش بینی چگالی مخلوط‌های بتنی در حالت تازه و امکان لحاظ نمودن انواع تغییرات رطوبت مصالح از

دیگر توانایی‌های این برنامه است. به دلیل عدم تمایل برای مصرف از انواع پوزولان و سرباره در طرح‌های مخلوط، ساده‌سازی و اجرایی‌سازی طرح‌های مخلوط، فقط از یک نوع فوق‌روان کننده (نوع یک) بر پایه رزین‌های پلی‌کربوکسیلات با مواد جامد ۴۰ درصد در این طرح‌ها استفاده شد. همه طرح‌های مخلوط در حجم ۳۰ لیتری در آزمایشگاه ساخته شدند. (جدول ۵)

نام طرح ها	سیمان (kg/m3)	آب (kg/m3)	ماسه (kg/m3)	نخودی (kg/m3)	بادامی (kg/m3)	پودر سنگ (kg/m3)	فوق روان کننده (kg/m3)
E1	389.7	141.20	1078	483	311	0	1.23
E2	425.8	145.22	1056	418	358	0	1.30
E3	497.5	163.19	995	479	253	0	1.33
E4	598	168.81	853	467	301	0	2.99
E5	580.5	192.57	828	453	292	0	2.9
E6	445.4	137.21	1074	418	340	0	2.89
E7	550	147.25	957	427	336	0	1.93
E8	470	137.41	1062	413	336	0	2.63
E9	527.1	161.74	1031	354	616	0	2.51
E10	469.8	137.67	1062	236	513	0	2.7
E11	469.7	137.33	1062	413	336	0	3.30
Sc1	459	144	1125	552	0	134	3.68
Sc2	434	136.79	1151	565	0	137	3.48
Sc3	469	147	1114	547	0	132	3.76
Sc4	490.1	154.28	1093	536	0	127	3.92
Sc5	490.1	154.28	1038	536	0	186	3.92

جدول ۵ - طرح‌های مخلوط بتن

در بتن‌های خودتراکم ساخته شده که تعداد ۵ طرح را به خود اختصاص می‌دهند، علاوه بر فوق‌روان کننده‌ی عادی که قبلاً ذکر شد، از فوق‌روان کننده‌ی دیگری (نوع ۲) نیز استفاده شده است که خاصیت حفظ اسلامپ بیشتری دارد و مناسب اختلاط‌های طولانی در دمای بالای تابستان است. برای کسب مقاومت فشاری ۵۰ مگاپاسکال با مصالح بومی شهر مشهد و با توجه به کیفیت سیمان‌های پرتلند نوع ۲ که اغلب مورد مصرف در مراکز تولید بتن است، نیاز به کاهش شدید نسبت آب به سیمان داریم. به همین سبب مصرف فوق‌روان کننده بر پایه پلی‌کربوکسیلات اجتناب‌ناپذیر است. در فرایند ساخت بتن‌ها، ابتدا به مدت یک دقیقه مصالح به صورت خشک ترکیب و سپس تمام آب به همراه فوق‌روان کننده به مخلوط اضافه گردید. عمل اختلاط حداقل ۱۲ دقیقه، به علت بالا بودن درصد مواد جامد روان‌کننده برای رسیدن به اسلامپ مناسب و همچنین انسجام و یکپارچه‌گی مطلوب ادامه یافت.

به دلیل بهبود بخشی به منحنی دانه‌بندی و مترکم‌تر ساختن بافت دانه‌ها بر خلاف طرح‌های کنونی اجرای بتن در کارخانه‌های بتن، ناچار به استفاده از مصالح نخودی (۱۲،۵ تا ۴ میلی‌متر) شدیم. مهندسين اجرا بر این باورند که پمپ‌پذیری بتن‌های حاوی مصالح نخودی و بطور کلی بافت‌های زبر پایین است. اما در طرح‌های ساخته شده در این تحقیق برای رسیدن به بتن رده مقاومتی C۵۰ اجرایی، به دلیل بالا بودن عیار سیمان‌ها و همچنین مصرف فوق‌روان کننده در حالی که ماسه و بادامی درصد شکستگی پایین‌تر از ۶۰ درصد را دارا می‌باشد، می‌توان به بتن پمپ‌پذیری بالا علاوه‌بر استفاده از نخودی در طرح‌های مخلوط دست یافت.

در کلیه‌ی طرح‌های مخلوط سعی بر این بود تا با ریزترکردن بافت و متوازن‌سازی مصرف سیمان و سطح مخصوص سنگدانه‌ها، استفاده بهینه را از سیمان ببریم. لازم به ذکر است که افزایش سطح مخصوص کلی سنگدانه‌ها و درواقع کاهش مدول نرمی ترکیبی مصالح، سبب افزایش اسلامپ‌ها گردید و تعدادی از طرح‌های مخلوط اسلامپ‌های ۲۲ سانتیمتر و بیشتر از آن را نیز تجربه کردند.

به دلیل حساسیت نقش سیمان در این تحقیق از سیمان های تازه موجود در بازار بهره جستیم. توصیه می شود در تولید بتن رده مقاومتی C50 از سیمان های مرغوب و تازه استفاده شود. باید افزود که بر روی مصالح سنگی هیچگونه شست و شوی اضافی صورت نگرفته و مصالح به همان شکل که در بازار موجود بودند استفاده شد.

در طرح های SCC5 و E11، ۷۰ درصد مقدار فوق روان کننده از نوع دو است. که در ابتدا به آن اضافه گردید و پس از ۳۰ دقیقه باقیمانده فوق روان کننده که از نوع یک است، به مخلوط اضافه گردید.

نتایج آزمایشگاهی و تفسیر آنها

نتایج حاصل از آزمون های T50، قیف V و جعبه L بر روی آزمونهای خودتراکم مطابق جدول ۶ آمده است. [۷،۸]

نام طرح ها	نسبت انسداد جعبه L (h_2/h_1)	نتایج آزمون قیف V (sec)	نتایج آزمون T50 (sec)
SCC1	0.9	5	2.9
SCC2	0.94	6	2.5
SCC3	0.89	4.78	3
SCC4	0.88	6.3	4.1
SCC5	0.93	7	5

جدول ۶ - نتایج آزمونهای جعبه L، قیف V و T50

آزمون مقاومت فشاری در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه بر روی آزمونهای مکعبی ۱۵ سانتی متری انجام شد و نتایج آن در جدول زیر آمده است. [۹]

لازم به ذکر است که کلیه آزمونها قبل از انجام آزمون مقاومت فشاری به مدت ۲ ساعت با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در اون قرار داده شده اند.

نام طرح ها	3 روزه (MPa)	7 روزه (MPa)	28 روزه (MPa)
E1	25.7	32.4	38.4
E2	28.8	36.5	41.4
E3	28	33.5	37.2
E4	30.6	38.1	44
E5	23	27.5	33.4
E6	31.8	39.3	45.4
E7	32.6	41.2	47
E8	40.2	48.3	53.7
E9	27.4	34.4	39.4
E10	34.4	41.2	45
E11	41	47.3	53
SCC1	35.2	43.4	48
SCC2	33.7	41.5	45.7
SCC3	37.5	45.2	50.5
SCC4	40.9	46.7	55.4
SCC5	43.3	49.5	58.9

جدول ۷ - نتایج آزمون مقاومت فشاری

نتایج

در آزمون‌های E10 و E11 مشاهده می‌شود که با ریزتر کردن بافت سنگدانه‌ها می‌توان مقاومت فشاری بالاتری بدست آورد. از مقایسه نتایج این دو آزمون می‌توان به این نکته‌ی مهم پی‌برد که با متراکم‌تر کردن بافت دانه‌ها و در واقع ریزتر کردن بافت سنگدانه‌ها برای دستیابی به بتن پرمقاومت می‌توان گام موثری برداشت. همچنین نتایج حاصله از آزمون‌های E6 و E5 با توجه به این که آزمون E5 عیار بالاتری داشته اما مقاومت کمتری دارد، نشان می‌دهد که استفاده از عیارهای بالای سیمان برای دستیابی به بتن رده مقاومتی C50 علاوه بر غیر اقتصادی بودن، امری غیر فنی محسوب شده و نتیجه مطلوب بدست نمی‌آید. علت متناسب نبودن مقدار سیمان مصرفی و مقاومت فشاری بدست آمده می‌تواند عدم توازن مقدار سیمان مصرفی و سطح مخصوص کلی سنگدانه‌ها باشد. همانطور که در نتایج آزمون‌های E6, E8, E10 و E11 دیده می‌شود، علارغم مصرف کمتر سیمان نسبت به طرح‌های E5 و E4 مقاومت‌های بهتری بدست آمده است. با توجه به این نتایج بطور یقین می‌توان گفت که با توجه به مصالح موجود در عیارهای ۴۴۰ تا ۴۷۰ کیلوگرم در متر مکعب با دانه‌بندی موجود، توازن در بین عیار سیمان و بافت سنگدانه‌ها بوجود می‌آید. ضمناً با کاهش نسبت آب به سیمان در این طرح‌ها و بهبود کیفیت مواد افزودنی می‌توان به مقاومت‌های بالاتری دست یافت.

نتایج حاصل از آزمون‌های خودتراکم نشان می‌دهد که مقدار سیمان مصرفی می‌تواند تا ۴۹۰ کیلوگرم در مترمکعب افزایش یافته و متناسب با آن مقاومت فشاری افزایش یابد. مقایسه طرح‌های SCC4 و SCC5 نشان می‌دهد که افزایش پودرسنگ در بتن خودتراکم تا ۱۰ درصد باعث بالا رفتن مقاومت فشاری آن می‌گردد. به دلیل عدم استفاده از پوزولان و همچنین میکروسیلیس در این تحقیق استفاده از عیار بالای سیمان اجتناب ناچیز است.

بطور کلی می‌توان از طرح‌های SCC4 و E8 در قطعات پیش ساخته، در فصل‌های نسبتاً معتدل و پروژه‌هایی که مسافت طولانی تا محل تهیه بتن را نداشته باشند، استفاده کرد. در فصل‌های سرد سال توصیه می‌شود از فوق‌روان کننده‌های زودگیر بر پایه پلی‌کربوکسیلات در این طرح‌ها به شیوه‌ایی که مطرح شد استفاده شود. طرح‌های SCC5 و E11 که از حفظ اسلامپ خوبی بهره می‌برند، برای فصل‌های گرم سال و مکان‌های دور از محل تهیه بتن مناسب هستند.

تشکر و قدردانی

کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه شرکت ابرکاوش مشهد انجام گرفت. از کلیه‌ی عوامل این شرکت جهت همکاری در این تحقیق نهایت سپاس و قدردانی را داریم.

مراجع

- ۱ - هنرمند هانی، کلهری موسی، تدین محسن، تأثیر روان کننده‌ها بر کاهش عیار سیمان و کیفیت بتن، مجله تحقیقات بتن، شماره ۲، ص ۴۹-۵۷، سال ۱۳۸۹
- ۲ - سند نهایی چشم انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران
- ۳ - مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه روش ملی طرح مخلوط بتن، ص ۴۷۹-، سال ۱۳۸۸
- 4 - Singh S.B., Munjal P., Thammishetti N., Role of water/cement ratio on strength development of cement mortar, Journal of Building Engineering, 4, 2015, 94-100.
- 5 - Zivika V., Effects of the very low water/cement ratio, Journal of Construction and Building Materials, 23, 2009, 3579-82.
- 6 - Felekoglu B., Turkel S., Baradan B., Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete, Journal of Building and Environment, 42, 2007, 1795-1802.
- ۷ - استاندارد ۳۲۰۳-۹ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
- ۸ - استاندارد ۳۲۰۳-۱۰ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
- ۹ - استاندارد ۳۲۰۶ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران