



بتن خودتراکم مقاومت بالا و کاهش خطرهای ساخت و بهبود اجرا

رضا مقیمی¹، سعید ذوالقدری²، قاسم دهقانی اشکذری³، امیر روحانی سروستانی⁴

1- کارشناس ارشد سازه، سرپرست واحد تحقیقات و توسعه شرکت پریفاب

2- مدیر شرکت پریفاب و دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

3- استادیار مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر

4- مدیر فنی شرکت پریفاب



Reza.esmaili.m@gmail.com¹

رضا مقیمی

خلاصه:

با توسعه روز افزون سازه های بتنی و با تاکید بر مقاومت ودوام آن از یکسو و کمبود یا نبود کارگران ماهر که در حال حاضر از معضلات اصلی ساخت و ساز در کشور می باشد از سویی دیگر گسترش صنایع پیش ساخته بتنی در دنیا به همراه زمان، هزینه و کیفیت سه عامل مهم در اجرا موجب گردید که بتنی طراحی شود که برای تراکم و تحکیم خود نیازی به عمل لرزاندن در جریان بتن ریزی نداشته باشد در این تحقیق به علل پیدایش بتن خودتراکم و کاربرد و مزایای آن و بررسی طرح های ساخته شده از این بتن در فاز خمیری و سخت شده پرداخته و شرایط و ویژگی های این بتن مورد بررسی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم، کیفیت ساخت، فاز خمیری و سخت شده، لزجت خمیری، تنش تسلیم.

1. مقدمه

در سازه های بتنی برای رسیدن به مقاومت مورد نیاز و کاهش تخلخل و هوای درون بتن و حصول پایایی، بتن به روشهای مختلف لرزانده می شود. با توسعه روزافزون کارهای بتنی و کمبود نسبی کارگران ماهر و یا سهل انگاری های آنان در کارگاه ها و یا به دلیل مزاحمت های جسمی و روحی و یا هزینه لرزاندن بتن در هنگام ریختن بتن در قالب، بویژه در موضعی که تراکم میلگرد وجود دارد، عمل لرزاندن بطور کامل و صحیح انجام نگرفته و در نهایت مشخصات مکانیکی مطلوب بتن حاصل نمی گردد. لذا ساخت بتنی بدون نیاز به لرزاندن همواره راه حلی برای این معضل به نظر می رسد و از این رو ساختن چنین بتنی رویایی برای تکنولوژیست های بتن بوده است که بتوانند با استفاده از مواد افزودنی شیمیایی مختلف و تغییر در مقادیر مصالح طرح اختلاط، به این مهم دست یابند و بتن را از نقص اجرایی لرزاندن رها سازند. ابداع بتن خود تراکم نتیجه این تلاش ها بوده است. از طرفی دیگر از اهداف بتن خود تراکم رسیدن به بتنی با دوام و طول عمر بیشتر نسبت به بتن های عادی و کاهش هزینه های سازه های بتنی بود، توانایی ها و مشخصات فوق العاده این نوع بتن به سرعت آن را به یکی از انواع پر کاربرد بتن تبدیل کرد. علاوه بر کاهش زمان اجرا و هزینه های آن، تراکم فوق العاده آن و پوشش کامل آرماتورها توسط بتن باعث محافظت بهتر آرماتورها در سازه های بتن مسلح و در نتیجه افزایش طول عمر سازه میگردد. در عین حال در بتن ریزی های سازه های فاقد آرماتور نظیر لایننگ تونل ها و یا در بتن های پر کننده و در مواردی که دسترسی به محل بتن ریزی دشوار یا غیر ممکن است، بتن خود تراکم اگر تنها گزینه مناسب نباشد، بدون شک یکی از بهترین ها است. حال با توجه به توضیحات مبنی بر علل پیدایش این بتن در ادامه به مزایای آن در کاهش خطرپذیری سازه ها پرداخته و سپس خصوصیات، ویژگی ها این نوع بتن به همراه بررسی طرح های ساخته شده در فاز خمیری و سخت شده پرداخته و مورد ارزیابی قرار می گیرد.

2. کاهش خطرات ساخت و اجرا بتن با استفاده از بتن خودتراکم

یکی از مشکلات اصلی اجرای بتن، کمبود و در بعضی موارد نبود کارگر ماهر در هنگام بتن ریزی می باشد و از جمله مشکلاتی که در این امر به وجود می آید می توان به ویریه نامناسب یا عدم امکان استفاده از ویریه اشاره نمود از طرف دیگر مشکلاتی که به علت ساخت بتن در محل، مقدار روانی بتن که همیشه در اجرا با آن مواجه هستیم و عدم پمپ پذیری بتن و یا کارایی نامناسب بتن در هنگام اجرا اشاره کرد همه ی این موارد باعث می گردد بتن ساخته و اجرا شده از عملکرد و کیفیت مطلوبی برخوردار نباشد و این معضل در بلاهای طبیعی خود را نشان می دهد و باعث افزایش خرابی و از عوامل اصلی ناپایداری سازه های بتنی می باشد از این رو برای رفع این مشکل باید از بتنی استفاده نمود که این معایب در آن وجود نداشته باشد. بتن خود تراکم، بتنی که نیاز به هیچ گونه لرزاننده ندارد و مشکلات کمبود کارگر ماهر را مرتفع می نماید و با کارایی بسیار مناسب و پمپ پذیری خوب مشکلات ساخت و اجرا را رفع و باعث ساخت و اجرای بتنی پایا و با عملکرد مناسب می گردد.

3. تاریخچه بتن خودتراکم

بتن خودتراکم نخست در سال ۱۹۸۶ توسط H.Okamura در ژاپن پیشنهاد گردید و در سال 1988 این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد [1]. اولین کارگاه آموزشی که به بررسی مصالح مورد استفاده در بتن خودتراکم اختصاص داشت در اوت ۱۹۹۸ در دانشگاه تکنولوژی Kochi در کشور ژاپن برگزار گردید و مقالات متعددی در ارتباط با توسعه بتن خودتراکم در دنیا ارائه شد [2-5]. در ضمن دستورالعمل هایی در کشورهای مختلف از جمله، (EFNARC) در اروپا، سوئد، فرانسه، هلند و برای آن تهیه شده است [6-9]. یادآور میشود، در ایران نیز کارهای زیادی در زمینه بتن خودتراکم انجام شده است، ضمن اینکه تا کنون دو کارگاه و یک کنگره ملی در مورد بتن خودتراکم برگزار شده است [10-12].

4. خصوصیات بتن خودتراکم در حالت تازه

به طور کلی خصوصیات بتن خودتراکم در حالت تازه را به سه دسته ذیل تقسیم نمود.

- قابلیت جریان و عبور: توانایی جاری شدن بتن خودتراکم و عبور از میان میلگردهای متراکم تحت اثر وزن بتن می‌باشد.
- قابلیت پرکنندگی: توانایی بتن خودتراکم در تغییر شکل عالی هنگام عبور از میان میلگردها که به واسطه آن بتن تمام سطح قالب را به طور همگن و یکنواخت پر نموده و سطح تمام شده کاملاً همتراز با افق خواهد بود.
- قابلیت پایداری: توانایی بتن خودتراکم در برابر جداشدگی، انسداد و قفل شدگی و حفظ یکنواختی غلط در تمام مراحل ساخت و اجرا را گویند [6].

5. کارایی

کارایی مفهومی گسترده و بعضاً پیچیده است، به همین دلیل تعاریف گوناگونی از کارایی در استانداردهای متفاوت ارائه شده‌اند. انجمن بتن آمریکا (ACI) کارایی را خاصیتی از ملات یا بتن تازه تعریف می‌کند که تعیین کننده میزان سهولت و یکنواختی مخلوط هنگام اختلاط، جایگذاری، تراکم و پرداخت می‌باشد. مؤسسه استاندارد انگلستان (BS) آن خاصیت بتن تازه، ملات یا مشابه آن می‌داند که بیانگر سهولت کار پذیری و تراکم کامل بتن است تحت عنوان کارایی معرفی می‌نماید. انجمن مهندسان بتن ژاپن (ACEJ) کارایی را به صورت خاصیتی از بتن تازه یا ملات که بیانگر سهولت اختلاط، جایگذاری و تراکم یا حفظ روانی و مقاومت در برابر جداشدگی است تعریف می‌نماید.

یافته‌های محققان نشان می‌دهد که آزمایش‌های تک پارامتری جهت تعیین کارایی بتن کافی نبوده و انجام آزمایش‌های توأم با افزایش ثابت‌ها برای تعیین کارایی را پیشنهاد نموده است.

6. آزمایش‌های فاز خمیری بتن خودتراکم

در این قسمت به بعضی از آزمایش‌های فاز خمیری بتن خودتراکم و علل کاربرد و نتایج آن اشاره می‌نماییم:

آزمایش جریان اسلامپ و جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر:

یکی از آزمایش‌های رایج برای سنجش رفتار بتن در فاز خمیری، آزمایش جریان اسلامپ جهت تعیین توانایی تغییر شکل بتن تحت اثر وزن خود، در صورتی که قیدی بجز اصطکاک صفحه وجود نداشته باشد، می‌باشد. مبنای اصلی این روش که برای اولین بار در ژاپن برای استفاده در برآورد کارایی بتن‌های اجرا شونده مورد استفاده قرار گرفت تعیین اسلامپ بتن می‌باشد و قطر دایره بتن معیاری برای قابلیت جریان و پرکنندگی آن می‌باشد [6].

آزمایش حلقه J:

این آزمایش به نوعی شبیه سازی عبور بتن از بین موانع به خصوص آرماتورهای متراکم موجود در قالب می‌باشد. از این آزمایش می‌توان برای تعیین ویژگی قابلیت عبور بتن تازه که خود متأثر از دو پارامتر اساسی تنش تسلیم و لزجت خمیری می‌باشد استفاده نمود [6].

آزمایش قیف V شکل و زمان ۵ دقیقه:

این آزمایش در کشور ژاپن توسعه یافته و توسط ozawa و همکاران مورد استفاده قرار می‌گرفته است [13]. مدت زمان خروج بتن از یک قیف V شکل استاندارد اندازه گیری شده و به عنوان معیاری برای تعیین قابلیت پرکنندگی و لزجت خمیری بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمایش می‌تواند به عنوان معیاری برای تعیین جداشدگی بتن مورد استفاده قرار بگیرد. علاوه بر مدت زمان خروج بتن که در این آزمایش اندازه گیری می‌شود نحوه خروج بتن از قیف و یکنواختی بتن خارج شده نیز حائز اهمیت خواهد بود همچنین این دستگاه می‌تواند شاخص خوبی در خصوص میزان همگنی بتن به صورت شهودی باشد [6].

آزمایش جعبه L شکل:

این آزمایش بیانگر قابلیت پرکنندگی و قابلیت عبور بتن خودتراکم می‌باشد. همچنین می‌توان وجود یا عدم وجود جداسدگی بتن را به صورت چشمی مشاهده نمود. این آزمایش به منظور بررسی قابلیت جریان بتن تازه و پدیده انسداد ناشی از حضور میلگردها طراحی شده است [6].

7. کار آزمایشگاهی

سه طرح اختلاط بتن خودتراکم طراحی و ساخته شود و سه آزمایش فاز خمیری (1) آزمایش جریان اسلامپ (2) آزمایش حلقه J (3) آزمایش جعبه L نیز بر روی طرح‌ها انجام گردید و سپس رابطه بین آزمایش‌های مختلف فاز خمیری مورد ارزیابی قرار گرفت و در ادامه بتن ساخته شده در قالب‌های 10*10*10 سانتیمتر ریخته شد و در محیط آب آهک اشباع عمل آوری شد و در سنین 7، 28 و 90 روز آزمایش مقاومت فشاری بر روی آن‌ها صورت پذیرفت و شکسته شد.

8. مشخصات مصالح

جهت ساخت طرح‌های بتن خودتراکم از سیمان تیپ II تولید شرکت سیمان تهران استفاده شده است (جدول 1). فوق روان کننده مورد استفاده از نوع پایه پلی کربکسیلاتی با PH=7 و تولید می‌باشد و از پودر سنگ دانه بندی شده به شرح مصالح سنگی مورد استفاده تولید شرکت پریفاب بوده و آنالیز شیمیایی و دانه بندی آن در جداول زیر آورده شده است. دانه بندی ماسه و شن مورد استفاده در جدول 3 آمده است.

جدول 1- مشخصات فنی سیمان تیپ 2 کارخانه سیمان تهران

	Cement
SiO ₂	22.74
Al ₂ O ₃	5.0
Fe ₂ O ₃	4.0
CaO	63.04
MgO	2.0
SO ₃	2.3
Cl	0.035
Na ₂ O+0.658K ₂ O	1.0
C ₃ S	45.5
C ₂ S	28.0
C ₃ A	6.5
C ₄ AF	12.2
Loss on Ignition	1.3
Insoluble Residue	0.6
Free CaO	1.4
Na ₂ O	--
K ₂ O	--
SiC	--
C	--
P ₂ O ₃	--
Fineness (cm ² /gr)	2900

جدول 2 - دانه بندی فیلر

اندازه‌ی الک (mm)	پودر سنگ آهکی (درصد عبوری)
2/36	--
1/18	--
0/6	--
0/3	100
0/15	40
0/075	11

جدول 3 - دانه بندی سنگدانه ها

اندازه‌ی الک (mm)	شن نوع (درصد عبوری)	ماسه (درصد عبوری)
25	--	--
19	100	--
12/5	65	--
9/5	20	100
4/75	--	94
2/36	--	62
1/18	--	32
0/6	--	16
0/3	--	7/23
0/15	--	1/55

9. جزئیات طرح مخلوط بتن خودتراکم

مقدار مواد سیمانی در تمام طرح ها ثابت می باشد، همچنین درصد آب به مواد سیمانی نیز ثابت در نظر گرفته شده است و درصد فوق روان برای تمام طرح ها یکسان می باشد و همچنین مقدار مواد پودری برای تمام طرح ها ثابت در نظر گرفته شده است. تمام این مقادیر برای مقایسه بهتر طرح ها و نتیجه گیری بهتر اتخاذ شده است. تفاوت طرح ها در نسبت شن به ماسه می باشد.

جدول 4 - جزئیات شش طرح مخلوط بتن خودتراکم

	سیمان (Kg)	پودر سنگ (Kg)	ماسه (Kg)	شن نوع (Kg)	آب (Kg)	فوق روان کننده (Kg)
SCC1	450	150	1100	550	180	6
SCC2	450	150	1050	600	180	6
SCC3	450	150	1150	500	180	6

10. نتایج آزمایش‌های بتن تازه

در شکل های (1-3) تصاویر سه آزمایش رایج فاز خمیری که شامل: (1) آزمایش جریان اسلامپ، (2) آزمایش حلقه J و (3) آزمایش جعبه L شکل نشان داده شده است و نتایج حاصل از آن در جدول 5 ذکر گردیده است. همچنین بمنظور ارزیابی طرح ها در فاز خمیری، نتایج بدست آمده با مقادیر مجاز بتن خودمترکم آئین نامه ائی [6] در جدول 5 مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل 2 - آزمایش حلقه J.



شکل 1 - آزمایش جریان اسلامپ



شکل 3- آزمایش جعبه L

جدول 5- نتایج آزمایش‌های فاز خمیری

نوع طرح	Slump flow		J-Ring (cm)		L-box		
	dia. (cm)	T ₅₀	Slump flow dia. (cm)	ΔH	h ₂ /h ₁ (cm)	T ₂₀ (sec)	T ₄₀ (sec)
SCC1	68	3/6	65	0/4	0/87	3	6/6
SCC2	66	3/9	63	0/8	0/82	3/2	7/3
SCC3	70	2/8	69	0/3	0/93	2	6
[6]	55-88	2-7	Same slump flow	≤1/5	0/8-1	--	--

11. نتایج مقاومت فشاری طرح‌ها

بعد از ساخت، بتن در قالب‌های مکعبی 10*10*10 سانتیمتر جهت آزمایش مقاومت فشاری ریخته و بعد از 24 ساعت از قالب بیرون آورده و در محیط آب آهک اشباع نگهداری شد و در سنین 7، 28 و 90 روز شکسته شد و نتایج آن در جدول 6 آورده شده است.

جدول 6- نتایج مقاومت فشاری طرح ها

نوع طرح	سن نمونه (روز)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)	سن نمونه (روز)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)	سن نمونه (روز)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)
SCC1	7	426	28	568	90	629
SCC2	7	472	28	597	90	643
SCC3	7	403	28	551	90	610

12. نتایج

بتن خود تراکمی تواند مشکلات کمبود کارگر ماهر را مرتفع و با کارایی بسیار مناسب و پمپ پذیری خوب مشکلات ساخت و اجرا را رفع و باعث ساخت و اجرای بتنی پایا و با عملکرد مناسب گردد و خطرات ناشی از بلاهای طبیعی را کاهش دهد. امکان ساخت بتن خودتراکم با مقاومت بالا وجود دارد و این کار با مصالح بومی امکان پذیر می باشد. اجزای بتن خودتراکم برای رسیدن بتن در حد قابل قبول از منظر فاز خمیری بسیار پر اهمیت می باشد و هر کدام از اجزای آن تاثیر زیادی در نتایج فاز خمیری می گذارد. با توجه به تحقیقات صورت پذیرفته بر روی بتن معمولی (ویبره خور)، مشاهده می شود در بتن خودتراکم نیز به مانند بتن معمولی، درصد و نسبت شن در کسب مقاومت فشاری بالاتر بسیار حائز اهمیت می باشد.

13. مراجع

- [1]. Okamura, H, "Waiting for innovation in concrete materials", Cement and Concrete, NO. 475, Sept. 1986. (In Japanese).
- [2]. Japan Society of Civil Engineers, "Recommended Guidelines for Self-Compacting Concrete", Concrete Library 93, Tokyo Japan, 1998
- [3]. Bartos, P.J.M. and Grauers, M., "Self – Compacting Concrete", Concrete, Vol.33, No. 4, pp.9-14, 1999.
- [4]. Ramchandani, V.S., "Superplasticizers in Concrete", Canadian Building Digest. NRC, CBD-203, pp.1-6, 1979.
- [5]. Beaupre, D., "Rheology of High Performance Shotcrete", Ph.D. Thesis, the University of British Columbia, Canada, 1994.
- [6]. EFNARC, "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete", Feb. 2002, pp. 32, <http://www.Efnarc.Org>.
- [7]. Brite Eu Ram, "Guidelines, Task 9, End Product", No. BE96- 3801, 2000.
- [8]. Concrete Quarterly, "Pull-Out Test for Reinforcement", Issue 198-63-RILEM Recommendation TC51-ALC, 78-MCA, Spring 2001.
- [9]. Kahn, Lawrence F., Kurtis, Kimberly E. and Horta, A., "Evaluation of Self – Compacting Concrete for Bridge Structure Applications", Georgia Department of Transportation, URI: <http://hdl.handle.net/1853/7159>, 2005.
10. اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، دانشکده فنی دانشگاه تهران، اسفند ۱۳۸۵
11. دومین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، اردیبهشت 1388
12. کنگره ملی بتن خودتراکم (بتن نسل جدید)، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، اردیبهشت 1390
- [13]. Ozawa, k., sakata, N., Okamura, "Evaluation of self-compactibility of fresh concrete using the funneltest", concrete library of JSCE (june 1995) 59-75.