

تأثیر مواد افزودنی بر مشخصات مکانیکی بتن غلتکی و کارایی آن

مجتبی کهندل نیا^۱، رضا مهرعلیزاده^۱، بهار بیهقی^۱، شادی آزاد^۱، دکتر مهدی چینی^۲
(۲)، دکتر محمد شکرچی زاده^۳

۱. کارشناس انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران و دانشجوی کارشناسی دانشگاه تهران

۲. کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۳. عضو هیئت علمی گروه عمران دانشکده فنی، دانشگاه تهران و سرپرست انستیتو

چکیده

یکی از انواع بتن‌های خاص که در روسازی جاده‌ها از آن استفاده می‌شود، بتن غلتکی (RCCP) است و در بحث زمان تراکم و زمان حمل این نوع بتن باید مطالعات گسترده‌ای صورت پذیرد. امروزه توجه به کاربرد رویه‌های بتنی در راهسازی در حال گسترش می‌باشد. از این بین، بتن غلتکی به عنوان یکی از انواع رویه‌های بتنی در کشور، مورد توجه قرار گرفته شده است. یکی از موارد لازم در استفاده از بتن غلتکی، زمان حمل و کار با این بتن می‌باشد. در این راستا، در این تحقیق، شش طرح با استفاده از مواد افزودنی بر پایه سلولزی با نام‌های اختصاری CM و HM، هر کدام در ۲ و ۵ درصد، و یک نوع ژل ژئوپلیمر ساخته شد و تأثیر مواد افزودنی بر زمان وی بی و مقایسه آنها از جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. موضوع مهمی که به خصوص مورد بحث قرار گرفته است، زمان حمل این نوع بتن و تأثیر افزودنی‌ها بر این پارامتر می‌باشد. در نهایت افزودنی CM به مقدار ۲ درصد، بهترین تأثیر را بر روی حفظ زمان وی بی و نیز خواص مکانیکی بتن غلتکی داشت.

واژگان کلیدی: بتن غلتکی - روسازی - وی بی - زمان حمل.

۱- مقدمه

امروزه در روسازی کمتر به روش قدیم از بتن معمولی و آرماتوربندی داخل آن استفاده می‌شود چرا که اجرای آن سخت و هزینه آن بالا می‌باشد. راه حل این موضوع، استفاده از رویه بتن غلتکی می‌باشد که نیازی به آرماتوربندی نیز داخل آن نمی‌باشد. روسازی‌های بتن غلتکی به صورت کلی در گروه روسازی‌های بتنی غیرمسلح در زردار طبقه‌بندی می‌شوند [۱]. استفاده از بتن غلتکی با مقاومت بالا، برتری‌های چشمگیری به بتن معمولی و همچنین رویه‌های آسفالتی دارد.

بتن غلتکی بیشتر در ساخت سد و روسازی مورد توجه قرار گرفته است. این نوع بتن، بتنی سفت می‌باشد که دارای اسلامپ صفر است و باید بتواند وزن غلتک را برای تراکم تحمل کند [۲]. مقدار آب و سیمان در این بتن در مقایسه با انواع بتن‌های دیگر، کمتر می‌باشد. قابلیت باربری بسیار زیاد بتن غلتکی در آب و هوای بسیار نامساعد و شرایط ترافیکی سنگین، دلیل عمده استفاده از آن به عنوان روسازی راه است [۳]. مراحل استفاده از این نوع بتن، میکس کردن، قرار دادن در زمین برای اجرا و متراکم کردن آن است. استفاده بیشتر بتن غلتکی در فرودگاه‌ها، جاده‌ها، ایستگاه‌های گاز می‌باشند که وسایل سنگین از آنها استفاده می‌کنند.

آزمایش مرسوم بر روی بتن غلتکی، آزمایش وی بی است که نتایج آن بسیار حائز اهمیت است. بتنی که طبق استاندارد ACI [۴]، زمان وی بی آن بین ۳۰ تا ۴۰ ثانیه باشد، می تواند مورد استفاده برای تراکم در محل پروژه قرار گیرد. بتنی که زودتر در این بازه قرار گیرد، دارای زمان حمل کم و بتنی که دیرتر به این مقدار برسد، دارای زمان حمل زیاد می باشد.

از نظر تاثیر افزودنی بر مشخصات بتن غلتکی، مطالعات زیادی انجام شده است. کریم پور [۵] بر روی تاثیر سرباره کوره باد بر مشخصات بتن غلتکی مطالعه کرده است. نیلی و همکارانش گزارشی از تاثیر میکروسیلیس و خاکستر بادی بر روی زمان وی بی و دیگر مشخصات بتن داده اند [۶].

در این مقاله، ۳ نوع افزودنی در بتن استفاده شده است و تاثیر آنها را بر زمان وی بی و کارایی بتن مورد بررسی قرار گرفته است. با یک بتن شاهد، فقط تاثیر افزودنی بررسی شده است و همچنین زمان حمل که فاصله بین زمان ساخت بتن تا رسیدن به محل پروژه و اجرای آن می باشد، برای همه طرح ها، مورد مقایسه قرار گرفته شده است. در این مقاله بیش از همه چیز، تمرکز بر همان کارایی بتن و تحلیل نتایج طبق استانداردهای موجود می باشد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی :

برای بدست آوردن نتایج مطلوب برای مقاومت، کارایی و دوام بتن، انتخاب نوع، اندازه و میزان استفاده از آنها بسیار تاثیرگذار می باشد. وزن مخصوص ماسه و شن های نخودی و بادامی به ترتیب برابر با ۲/۵۶، ۲/۵۷ و ۲/۵۷ می باشد و جذب آب آنها به ترتیب ۲/۶، ۱/۹ و ۱/۸ می باشد. نتایج آزمایش دانه بندی سنگدانه های مصرفی در جدول ۱ آورده شده است و حدود بالا و پایین ACI 325.10R [۴] در بتن غلتکی نیز در آن مشخص است. در این مقاله، از سیمان تیپ ۲ فیروزکوه استفاده شده است که مشخصات آن با الزامات موجود در استاندارد ASTM C618 [۷] مطابقت دارد. افزودنی CM و HM بر پایه سلولز می باشند و به صورت صنعتی تهیه گردیده است. ژل نیز ترکیب آب و چند نوع مواد معدنی می باشد که مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱ - دانه بندی سنگدانه ها

سایز الک (میلی متر)	حد پایین درصد عبوری پیشنهادی (%)	حد بالای درصد عبوری پیشنهادی (%)	درصد عبوری سنگدانه (%)
۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹	۸۳	۱۰۰	۸۳
۱۲/۵	۷۲	۹۳	۷۳
۹/۵	۶۶	۸۵	۶۶
۴/۷۵	۵۱	۶۹	۵۲
۲/۳۶	۳۸	۵۶	۳۹
۱/۱۸	۲۸	۴۶	۲۸
۰/۶۰	۱۸	۳۶	۱۹
۰/۳	۱۱	۲۷	۱۳
۰/۱۵	۶	۱۸	۷
۰/۰۷۵	۲	۸	۲

۲-۲- آزمایش‌ها

پس از اختلاط، بلافاصله آزمایش وی‌بی از مخلوط گرفته می‌شد که طبق آیین نامه ASTM C1170 [۸] انجام گردید. روند آزمون تا لحظه‌ای که زمان وی‌بی به ۹۰ ثانیه برسد، ادامه پیدا می‌کرد. روند تغییرات زمان وی‌بی نسبت به زمان مورد هدف و بررسی بود. چگالی تازه بتن در همان ظرف وی‌بی برای تمامی طرح‌ها محاسبه گردید.

۲-۳- طرح اختلاط

مشخصات طرح اختلاط های موجود در این مقاله در جدول ۲ آورده شده است. در همه طرح اختلاط های مورد آزمایش قرار گرفته، نسبت آب به مواد سیمانی به صورت ثابت و برابر با ۰/۳۱ و همچنین مقدار مواد سیمانی برابر با ۳۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. از افزودنی HM در دو درصد ۲ و ۵، و CM در ۲ و ۵ درصد مقدار سیمان استفاده شده است. این مقدار افزودنی را جایگزین آب در طرح شاهد کردیم و طرح‌های شماره ۲ تا ۵ ساخته شده‌اند.

جدول ۲ - نسبت اختلاط طرح‌های آزمایشی

شماره طرح	طرح اختلاط*	سیمان (kg)	ژل (kg)	محلول ۱٪ HM (kg)	محلول ۱٪ CM (kg)	شن نخودی (kg)	شن بادامی (kg)	ماسه (kg)	آب (kg)	آب به سیمان
۱	شاهد	۳۷۵	-	-	-	۲۹۵	۴۹۰	۱۱۷۵	۱۱۵	۰/۳۱
۲	HM2	۳۷۵	-	۷/۵	-	۲۹۵	۴۹۰	۱۱۷۵	۱۰۷/۵	۰/۳۱
۳	HM5	۳۷۵	-	۱۸/۷۵	-	۲۹۵	۴۹۰	۱۱۷۵	۹۶/۲۵	۰/۳۱
۴	CM2	۳۷۵	-	-	۷/۵	۲۹۵	۴۹۰	۱۱۷۵	۱۰۷/۵	۰/۳۱
۵	CM5	۳۷۵	-	-	۱۸/۷۵	۲۹۵	۴۹۰	۱۱۷۵	۹۶/۲۵	۰/۳۱
۶	ژل	۳۷۵	۵۲/۸	-	-	۲۵۵	۴۹۰	۱۱۷۵	۱۰۱	۰/۳۱

*تمامی مقادیر برحسب کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشند.

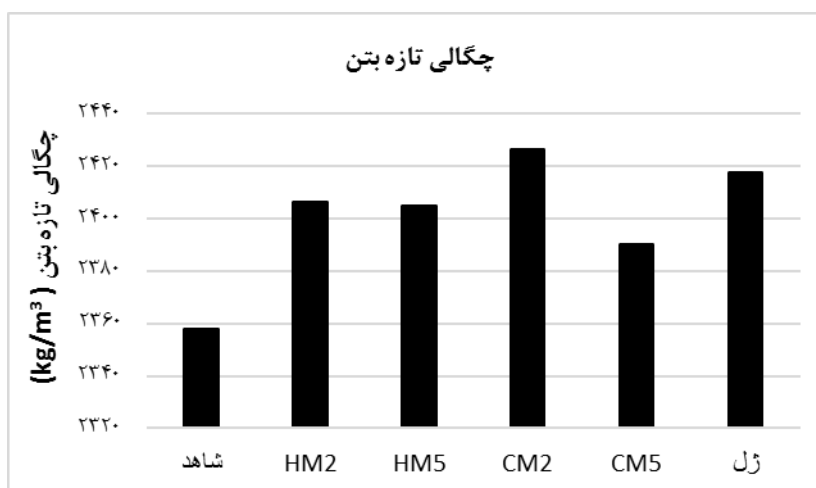
۲-۴- روند اختلاط

در انجام طرح اختلاط ابتدا سنگدانه‌ها و سپس سیمان در میکسر ریخته شد. بعد از آن، آب در میکسر ریخته شد و مخلوط به مدت ۲ دقیقه میکس گشت. افزودنی‌های HM و CM را که بصورت محلول بودند، همراه با آب در میکسر ریخته شدند و ژل پس از ریختن نیمی

از مقدار آب، بطور کامل در میکسر ریخته شد و پس از آن نیمه دیگر آب درون مخلوط ریخته شد. در ادامه، به بحث و بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش های بتن تازه و بتن سخت شده خواهیم پرداخت.

۳- بحث و بررسی نتایج

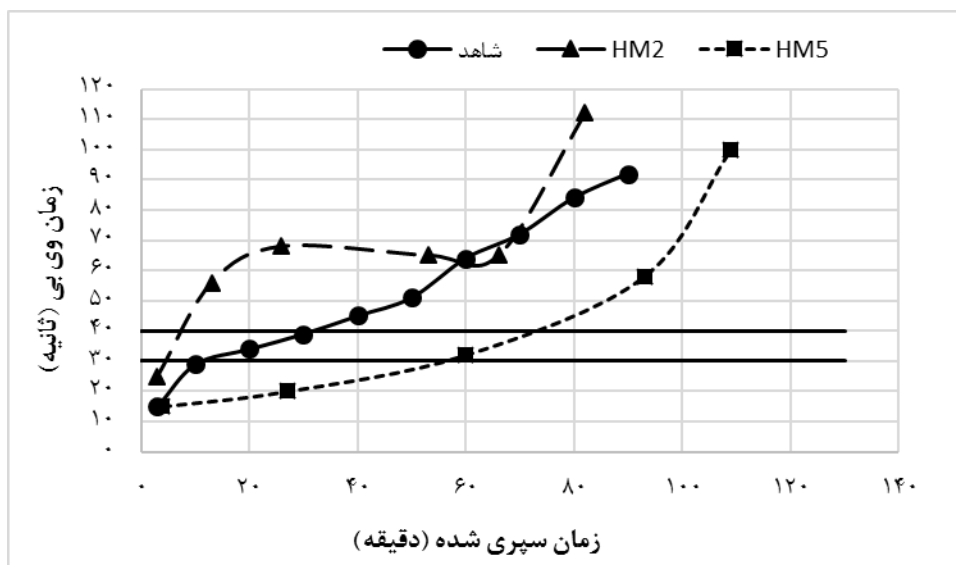
در این قسمت، نتایج آزمایش های انجام شده بر روی طرح های بررسی شده در این مقاله آورده و مورد تحلیل قرار می گیرد. چگالی تازه بتن در شکل ۱ نشان داده شده است که بیشترین مقدار را CM2 نشان می دهد و کمترین آن مربوط به طرح شاهد می باشد.



شکل ۱ - نتایج چگالی بتن تازه

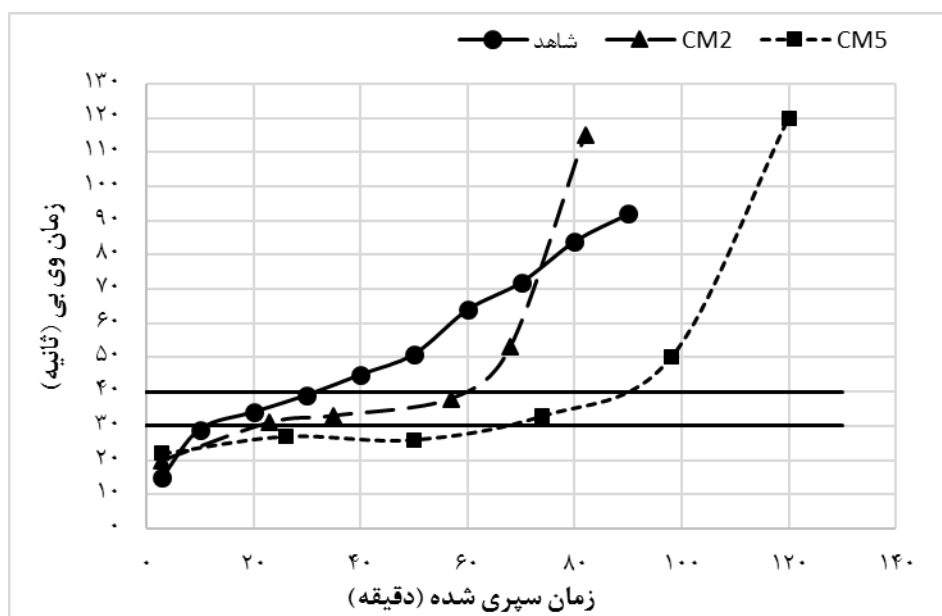
این آزمایش طبق استاندارد ASTM C1170 [۸] انجام گردید. بلافاصله پس از اختلاط بتن، آزمایش وی بی بر روی تمامی طرح ها انجام گردید تا مقدار آن به ۹۰ ثانیه برسد. وی بی بیشتر از ۹۰ ثانیه نشان دهنده ناکارایی بتن می باشد [۸]. بنابراین در این بخش، نمودارهای تغییرات وی بی از لحظه ای که اختلاط صورت می گیرد مورد بررسی قرار گرفته است. این تغییر در نتایج آزمایش را در طی زمان که همان افزایش زمان وی بی می باشد، به کاهش کارپذیری بتن غلتکی نیز می توان یاد کرد. به وی بی که بلافاصله پس از عمل میکس بتن بر روی آن انجام می شود، وی بی صفر می گویند.

طرح شاهد دارای وی بی صفر ۱۵ ثانیه می باشد که ملاک مقایسه با بقیه طرح ها قرار می گیرد. در شکل های ۲ تا ۴، تاثیر یک افزودنی بر روند تغییرات زمان وی بی قابل مشاهده می باشد. شکل ۲ تاثیر افزودنی HM را در ۲ و ۵ درصد بر وی بی نشان می دهد. ۵ درصد افزودنی، زمان حمل را به میزان بسزایی افزایش داده است و میزان ۲ درصد افزودنی، تاثیر منفی بر زمان حمل داشته و وی بی صفر را افزایش داده است.



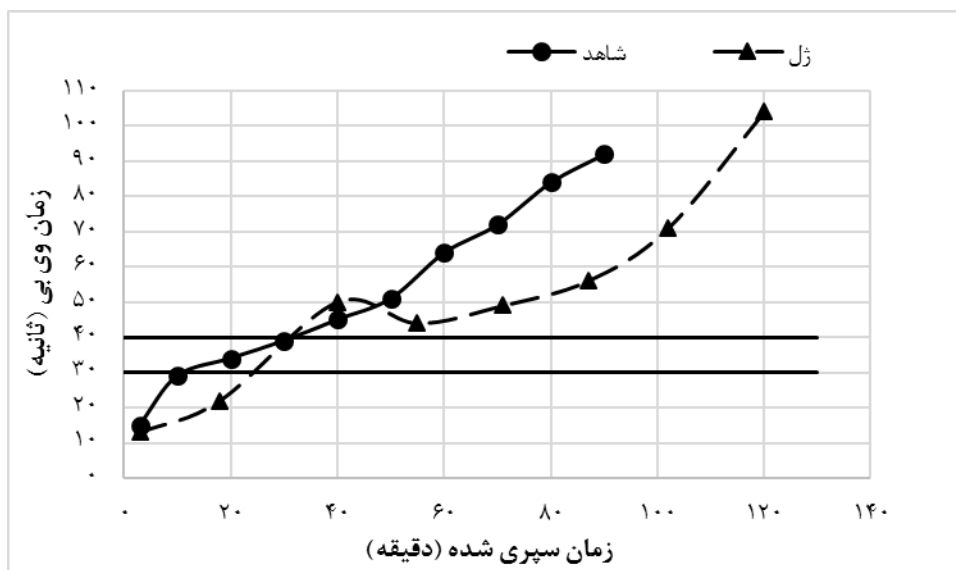
شکل ۲ - تاثیر افزودنی HM بر زمان وی بی

شکل ۳ نشان دهنده تاثیر افزودنی CM بر زمان وی بی می باشد. همانطور که در شکل ۳ قابل مشاهده است، CM ۲ و ۵ درصد هر دو زمان حمل را افزایش داده اند. همینطور بر زمان کارایی بتن نیز تاثیر بسزایی داشته اند که در مقایسه CM2 و CM5 نیز می توان بیان کرد که با زمان حمل کمتر، ۲ درصد CM و با زمان حمل طولانی، ۵ درصد CM مناسب به نظر می رسد.



شکل ۳ - تاثیر افزودنی CM بر زمان وی بی

شکل ۴ نشان دهنده تاثیر ژل بر روی زمان وی بی می باشد. همانطور که در شکل ۴ مشخص است، ژل بر زمان حمل تاثیر گذاشته و زمان وی بی را توانسته در بازه حدود ۴۰ تا ۵۰ ثانیه به مدت زمانی نسبتا طولانی با یک افت وی بی نگه دارد.

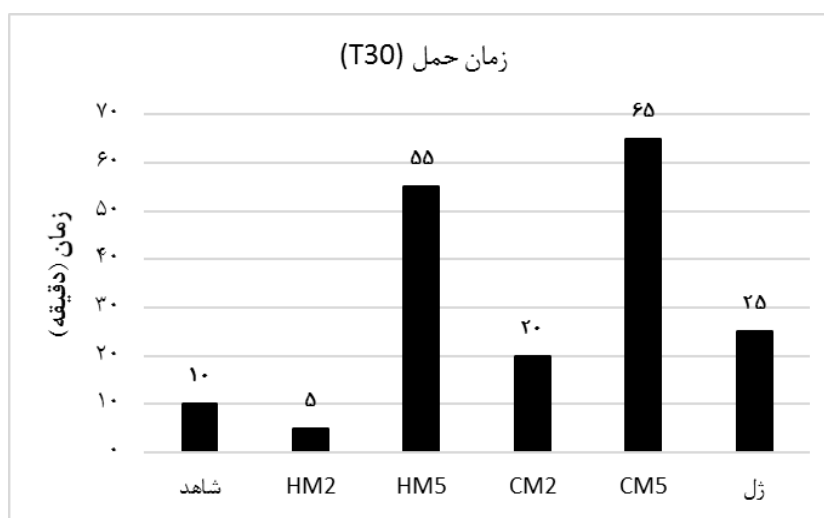


شکل ۴ - تاثیر افزودنی ژل بر زمان وی بی

در این مقاله زمان حمل به زمانی اطلاق می‌شود که بتن از لحظه پایان اختلاط تا لحظه‌ای که وی بی آن به حدی برسد که قابلیت تراکم را داشته باشد، گفته می‌شود. از آنجا که طبق استاندارد ACI کارایی بتن غلتکی در پروژه زمانی است که وی بی آن بین ۳۰ تا ۴۰ ثانیه باشد و معمولاً روند نمودار تغییرات وی بی به زمان صعودی است، اولین لحظه‌ای که بتن به وی بی ۳۰ ثانیه می‌رسد را زمان حمل نامگذاری کرده‌ایم (T30) و این پارامتر در تمامی طرح‌های این مقاله مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته می‌شود.

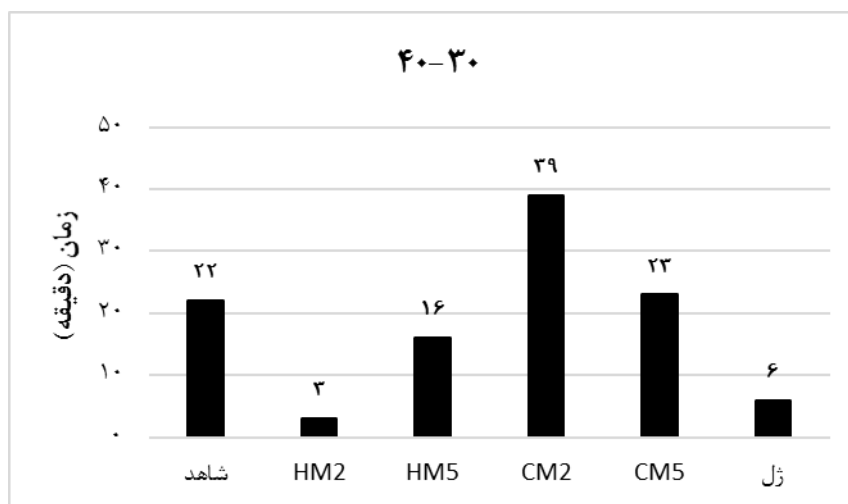
همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود، افزودن ۲ درصد HM زمان حمل را نسبت به طرح شاهد کاهش داده و ۵ درصد HM همین زمان حمل را به حد زیادی افزایش داده است. تاثیر این افزودنی بر طول زمان کارایی بتن (همان زمانی که وی بی بین ۳۰ تا ۴۰ ثانیه می‌باشد)، آنگونه که در شکل دیده می‌شود، قابل توجه نمی‌باشد و نیاز به آزمایش‌های بیشتری می‌باشد.

شکل ۵ نشان‌دهنده مقدار T30، می‌باشد. بالاترین زمان حمل مربوط به طرح CM5 و کمترین آن HM2 و شاهد می‌باشند. از نظر اجرایی، آگاهی به این زمان بسیار حائز اهمیت می‌باشد و باتوجه به تسهیلات موجود، بهتر است گزینه‌ای انتخاب شود که بتوان آن را به صورت عملی اجرا کرد.



شکل ۵ - زمان حمل برای تمامی طرح‌ها

زمان کار که همان زمانی است که عملیات تراکم توسط غلتک قابل انجام می‌باشد زمانی است که زمان وی بی بین ۳۰ تا ۴۰ ثانیه باشد که برای طرح‌های مختلف در این مقاله متفاوت بوده است و در شکل ۶ زمانی که وی بی بین ۳۰ تا ۴۰ ثانیه مانده است آورده شده است. هرچه این زمان بیشتر باشد، زمان بیشتری را برای عمل غلتک‌زنی می‌توان اختصاص داد و بیشترین نتیجه مربوط به طرحی است که افزودنی CM به مقدار ۲ درصد اضافه گردید.



شکل ۶ - زمان مناسب برای عمل غلتک

۴- نتیجه گیری

با توجه به فعالیت‌های آزمایشگاهی انجام شده در انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران، نتایج زیر می‌توانند نتیجه شوند:

- دو موضوع که از نظر اجرایی در مورد بتن غلتکی باید توجه گردد: ۱- زمان حمل (زمانی که فرصت می‌باشد برای رساندن بتن به محل پروژه از محل ساخت بتن) و ۲- زمانی که می‌توان بر روی بتن غلتک زد.
- در این مقاله بطور دقیق و اختصاصی بر روی بررسی تاثیر افزودنی‌ها تلاش شده است و با توجه به نوع و شرایط پروژه می‌توان از طرح مناسب مربوط به آن پروژه استفاده کرد.
- بیشترین زمان حمل در بین طرح‌های آزمایش شده در این مقاله، طرحی می‌باشد که حاوی ۵ درصد افزودنی CM می‌باشد.
- بیشترین زمان برای عمل غلتک بر روی بتن در بین طرح‌های آزمایش شده در این مقاله، طرحی می‌باشد که حاوی ۲ درصد افزودنی CM می‌باشد و بعد از آن، طرحی که حاوی ۵ درصد افزودنی CM می‌باشد.

منابع و مآخذ

- ۱- باقری، ع.، محمودیان، م.، فخری، م.، "تاثیر عمل‌آوری بر خواص بتن‌های غلتکی روسازی راه با و بدون دوده سیلیس"، پژوهشنامه حمل و نقل، پاییز ۱۳۸۵

2- ACI 207.5R-99, "Roller compacted mass concrete", ACI manual of concrete practice, USA, (2004)

- 3- Ville de Montreal" Beton compacte au Rouleau (BCR)" service de 1 "Environnement; DE LA division des laboratoires. June (2002)
- 4- ACI 325.10R-95, "Report on Roller compacted concrete pavements", American concrete institute (ACI), (2001)
- 5- A. Karimpour, "Effect of time span between mixing and compacting on roller compacted concrete (RCC) containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS)", Construction and Building Materials, (2010)
- 6- Mahmoud Nili, M. Zaheri, "Deicer salt-scaling resistance of non-air-entrained roller-compacted concrete pavements", Construction and Building Materials, (2011)
- 7- ASTM C618, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete", (2008)
- 8- ASTM C1170, "Standard test method for determining consistency and density of roller compacted concrete using a vibrating table", (1990)