بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی تأثیر انواع پوزولان بر دوام بتن خود متراکم در برابر محیط سولفات منیزیم

پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران

گرایش سازه

امید فرشادفر

استاد راهنما

دکتر کیاچهر بهفرنیا

۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مرتبت بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به همه‌ی همراهانم

با تشکر از استاد گرامی جناب آقای دکتر بهفرنیا که با راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان، امکان انجام این تحقیق فراهم شد.

چکیده

بتن خود متراکم (Self Consolidating Concrete (SCC ، بتنی با روانی بسیار بالا است که می‌تواند بدون هیچ‌گونه عملیات متراکم سازی مکانیکی در محل بتن ریزی ریخته شود و تحت وزن خود قالب را پر کند وآرماتورها را در بر گیرد. به طور کلی تفاوت عمده بتن خود متراکم با بتن معمولی در فاز بتن تازه آن است.کارایی بتن خود متراکم با مشخصه‌هایی هم‌چون قابلیت پر کردن قالب، قابلیت عبور از میان فضاهای باریک بین آرماتورها و عدم وقوع پدیده جداشدگی دانه‌ها بیان می‌شود. برآورده نمودن این مشخصه‌ها در این بتن باعث می‌شود که حجم درشت دانه آن نسبت به بتن معمولی کم‌تر و حجم مواد سیمانی آن بیش‌تر باشد. هدف از انجام این تحقیق بررسی و مقایسه‌ی تأثیر پوزولان‌ها در بتن خود متراکم در برابر حمله‌ی سولفات‌ها بوده است. اثرات حمله‌ی سولفات‌ها را می‌توان از سنجش افت مقاومت فشاری و هم‌چنین تغییر حجم و وزن نمونه‌های بتن بررسی نمود. بدین منظور جهت بررسی اثر غلظت یون سولفات منیزیم و هم‌چنین سیکل‌های تر و خشک شدن بر روی دوام بتن، از ۵ محیط شامل محیط‌های دائم مستغرق در آب، سولفات منیزیم ۵٪، سولفات منیزیم ۱۰٪ و هم‌چنین محیط‌های تحت سیکل‌های تر و خشک شدن شامل سولفات منیزیم ۵٪ و ۱۰٪ استفاده گردید. به دلیل اینکه هدف اصلی از انجام این پایان نامه مقایسه‌ی تأثیر پوزولان‌ها بر دوام بتن خود متراکم در محیط سولفاتی با یکدیگر بود، در همه‌ی طرح‌ها از یک نسبت آب به مواد سیمانی (W/CM) ثابت و برابر ۰/۳۸ استفاده گردید. در تهیه‌ی طرح-های بدون الیاف پلی‌پروپیلن، یک طرح بدون مواد پوزولانی، سه طرح با جایگزینی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ میکروسیلیس با سیمان، سه طرح با جایگزینی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ متاکائولین با سیمان، سه طرح با جایگزینی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ متاکائولین با سیمان، در بتن دارای لزج کننده و سه طرح با جایگزینی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ زئولیت با سیمان، ساخته شد. در تهیه‌ی بتن‌های دارای الیاف پلی‌پروپیلن، یک طرح بدون مواد پوزولانی، سه طرح با جایگزینی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ میکروسیلیس با سیمان، سه طرح با جایگزینی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ متاکائولین با سیمان و دو طرح با جایگزینی ۵٪ و۱۰٪ زئولیت با سیمان، ساخته شد. الیاف پلی‌پروپیلن با نسبت حجمی ۰/۱٪ یعنی ۹۱۰ گرم بر متر مکعب در ساخت نمونه‌ها استفاده گردید. تعداد کل طرح اختلاط‌های ساخته شده برابر با ۲۲ طرح گردید. برای مقایسه‌ی طرح‌های اختلاط، تغییرات وزن، حجم و مقاومت فشاری نمونه‌ها قبل و بعد از قرار گیری در محیط‌های مذکور، مورد بررسی قرار گرفت. به جهت بررسی ساختار داخلی انواع بتن‌های قرار گرفته در محیط سولفات منیزیم چهار نوع بتن شامل بتن بدون پوزولان و بتن‌های حاوی سه پوزولان دیگر مورد آزمایش میکروسکوپ الکترونی (SEM) قرار گرفت. هم‌چنین به جهت شناخت عناصر موجود در ترکیبات تشکیل دهنده‌ی بتن‌های مذکور، این بتن‌ها مورد آزمایش EDX قرار گرفت.

به جهت بررسی و تحلیل آماری اطلاعات به دست آمده از آزمایشات، این نتایج توسط نرم‌افزار SAS و با روش تجزیه و تحلیل آنالیز واریانس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد استفاده از میکروسیلیس سبب کاهش دوام بتن در برابر محلول سولفات منیزیم می‌شود. اما در بین دو پوزولان دیگر، متاکائولن بیشتر از زئولیت دوام بتن را در مقابل سولفات منیزیم افزایش می‌دهد. هم‌چنین مشاهده گردید استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن از میزان افزایش حجم و کاهش وزن نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم می‌کاهد.

در این تحقیق اثر اضافه نمودن سه نوع پوزولان شامل میکروسیلیس، متاکائولن و زئولیت بر مشخصات مکانیکی و مشخصات فاز بتن تازه در بتن خود متراکم معمولی و نیز بتن خود متراکم حاوی الیاف پلی پروپیلن و مقایسه نتایج با یکدیگر نیز ارائه شده است. در این تحقیق آزمایشات جریان اسلامپ، V-funnel و T50، جهت اندازگیری مشخصات فاز بتن تازه انجام گردید.

در این پژوهش نشان داده شد در ساخت بتن خود متراکم حاوی متاکائولن استفاده از لزج کننده لازم است. هم‌چنین زئولیت روانی بتن خود متراکم را به شدت کاهش داده اما پایداری آن را افزایش می‌دهد. نشان داده شد الیاف پلی‌پروپیلن روانی بتن خود متراکم را کاهش داده اما لزجت و پیوستگی بتن را افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: بتن خود متراکم، میکروسیلیس، متاکائولن، زئولیت، الیاف پلی‌پروپیلن، سولفات منیزیم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب

چکیده ۱

فصل اول: معرفی بتن خود متراکم و بیان پیشینه‌ی علمی

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- فواید استفاده از بتن خود متراکم ۳

۱-۳- خواص فاز تازه بتن خود متراکم ۴

۱-۴- آزمایشات فاز تازه بتن خود متراکم ۵

۱-۴-۱- آزمایش Slump, T50, VSI ۵

۱-۴-۲- آزمایش V-Funnel ۷

۱-۴-۳- آزمایش U-Type ۸

۱-۴-۴- آزمایش L-Box ۸

۱-۴-۵- آزمایش J – ring ۹

۱-۴-۶- آزمایش Column Segregation ۱۰

۱-۴-۷- آزمایش Sieve Segregation Resistance Test ۱۰

۱-۵- مواد تشکیل دهنده‌ی بتن خود متراکم و مقایسه آن با بتن معمولی ۱۱

۱-۵-۱- مواد سیمانی ۱۲

۱-۵-۲- درشت دانه ۱۳

۱-۵-۳- ریز دانه‌ها ۱۴

۱-۵-۴- افزودنی‌ها ۱۴

۱-۶- طرح اختلاط بتن خود متراکم ۱۵

۱-۶-۱- محاسبه میزان درشت دانه ۱۵

۱-۶-۲- محاسبه میزان مواد سیمانی و آب ۱۶

۱-۶-۳ - حجم خمیر سیمان و ملات ۱۶

۱-۷- عوامل موثر در تخریب بتن ۱۷

۱-۷-۱- مکانیزم حمله‌ی سولفات‌ها بر جسم بتن ۱۸

۱-۸- پارامترهای موثر در حمله‌ی سولفات‌ها ۲۰
۱-۸-۱- اثر سولفات‌های مختلف در تخریب بتن ۲۱
۱-۸-۲- غلظت سولفات ۲۱
۱-۸-۳- دمای محیط ۲۱
۱-۸-۴- نقش pH ۲۲
۱-۸-۵- اثر تر و خشک شدن‌های متوالی ۲۲
۱-۹- آزمایشات استاندارد و تسریع شده‌ی پیشنهادی برای بررسی حمله‌ی سولفات‌ها ۲۲
۱-۹-۱- آزمایش ASTM-C 1012-95a ۲۳
۱-۹-۲- آزمایش ASTM C452-95 ..... ۲۴
۱-۱۰- نقش میکروسیلیس در برابر حمله‌ی سولفات‌ها ۲۴
۱-۱۱- تحقیقات گذشته انجام شده روی بتن خود متراکم ۲۶
۱-۱۲- مروری بر تحقیقات گذشته در خصوص تاثیر افزودنی‌ها بر روی مشخصات بتن ۲۸
۱-۱۲-۱- میکروسیلیس ۲۹
۱-۱۲-۲- متاکائولن ۳۱
۱-۱۲-۳- زئولیت ۳۲
۱-۱۳- مروری بر تحقیقات انجام شده روی دوام بتن خود متراکم در محیط‌های سولفاتی ۳۵
فصل دوم: مشخصات مصالح و وسایل مورد استفاده
۲-۱- مقدمه ۳۹
۲-۲- سیمان ۳۹
۲-۲-۱- واکنش C_3S ۴۰
۲-۲-۲ - واکنش C_2S ۴۰
۲-۲-۳ - واکنش C_3A ۴۰
۲-۲-۴- واکنش C_4AH ۴۹
۲-۳- میکروسیلیس ۴۱
۲-۴- زئولیت ۴۳
۲-۴-۱- خواص جذب سطحی ۴۳
۲-۴-۲- خاصیت تبادل کاتیونی ۴۴

۲-۵- متاکائولین ۴۵
۲-۵-۱- کائولین ۴۵
۲-۵-۲- تکلیس ۴۵
۲-۶- ریزدانه‌ها ۴۷
۲-۷- درشت‌دانه‌ها ۴۸
۲-۸- فوق روان کننده ۴۹
۲-۹- لزج کننده ۵۰
۲-۱۰- الیاف پلی پروپیلن ۵۰
۲-۱۱- ظروف پلی اتیلن ۵۲
۲-۱۲- گرم‌کن ۵۲
۲-۱۳- pH متر ۵۳
۲-۱۴- کولیس دیجیتالی ۵۴
فصل سوم: روش تهیه‌ی طرح‌های اختلاط
۳-۱- مقدمه ۵۵
۳-۲- شماره گذاری طرح‌های اختلاط ۵۶
۳-۳- نحوه‌ی انجام طرح‌های اختلاط ۵۶
۳-۳-۱- انتخاب اسلامپ ۵۶
۳-۳-۲- میزان درشت‌دانه ۵۶
۳-۳-۳- انتخاب مقدار مواد سیمانی و تخمین آب مصرفی ۵۷
۳-۳-۴- میزان ریزدانه ۵۷
۳-۳-۵- کنترل حجم خمیر و ملات بتن ۵۷
۳-۳-۶- اصلاح میزان آب و وزن ریزدانه و درشت‌دانه ۵۸
۳-۳-۷- انتخاب مقدار الیاف پلی‌پروپیلن ۵۹
۳-۴- آزمایشات فاز تازه‌ی بتن خود متراکم ۵۹
۳-۵- بررسی نتایج آزمایشات فاز تازه‌ی بتن خود متراکم ۶۲
۳-۵-۱- اثر نسبت میکروسیلیس به مواد سیمانی ۶۲
۳-۵-۲- اثر نسبت متاکائولن به مواد سیمانی ۶۳

۳-۵-۳- اثر نسبت زئولیت به مواد سیمانی ۶۵
۳-۵-۴- مقایسه‌ی تأثیر پوزولان‌ها در خواص فاز تازه‌ی بتن ۶۶
فصل چهارم: چگونگی ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایشات
۴-۱- مقدمه ۶۹
۴-۲- ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و قالب‌گیری آن‌ها ۶۹
۴-۳- بیرون آوردن نمونه‌ها از قالب و عمل آوری آن‌ها ۷۱
۴-۴- محیط‌های در نظر گرفته شده برای بررسی دوام بتن‌ها ۷۲
۴-۵- آزمایشات در نظر گرفته شده برای طرح‌های اختلاط ۷۳
۴-۶- ساخت محلول‌های آزمایش ۷۴
۴-۷- چگونگی انجام آزمایشات ۷۴
۴-۷-۱- آزمایش میزان کاهش جرم ۷۴
۴-۷-۲- آزمایش میزان افزایش حجم ۷۵
۴-۷-۳- آزمایش تعیین مقاومت فشاری ۷۵
فصل پنجم: ارائه‌ی نتایج و تحلیل آن‌ها
۵-۱- مقدمه ۷۷
۵-۲- نحوه‌ی تخریب ظاهری بتن‌ها ۷۸
۵-۲-۱- تخریب نمونه‌ها پس از گذشت سه ماه ۷۸
۵-۲-۲- تخریب نمونه‌ها پس از گذشت شش ماه ۷۸
۵-۲-۳- تخریب نمونه‌ها پس از گذشت نه ماه ۸۱
۵-۲-۴- تخریب نمونه‌ها تحت سیکل‌های متوالی تر و خشک شدن ۸۴
۵-۲-۵- ارائه‌ی نتایج به دست آمده از بررسی تخریب ظاهری نمونه‌ها ۸۵
۵-۳- بررسی نمونه‌ها با استفاده از آزمایش SEM/EDX ۸۷
۵-۳-۱- ارائه‌ی نتایج حاصل از آزمایش میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) ۸۷
۵-۳-۲- ارائه‌ی نتایج حاصل از آنالیز (EDX) ۸۹
۵-۴- نتایج کلی به دست آمده از آزمایشات ۹۴
۵-۵- نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری ۹۵
۵-۵-۱- مقاومت فشاری نمونه‌های قرار گرفته در آب ۹۵
۵-۵-۲- مقاومت فشاری نمونه‌های قرار گرفته در سولفات منیزیم ۵٪ ۹۶

۵-۵-۳- مقاومت فشاری نمونه‌های قرار گرفته در سولفات منیزیم ۱۰٪ ۹۷
۵-۵-۴- درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم ۵٪ ۹۸
۵-۵-۵- درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم ۱۰٪ ۹۹
۵-۶- تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به مقاومت فشاری ۱۰۰
۵-۶-۱- اثر الیاف پلی‌پروپیلن و لزج کننده ۱۰۰
۵-۶-۲- اثر نسبت میکروسیلیس به مواد سیمانی ۱۰۴
۵-۶-۳- اثر نسبت متاکائولین به مواد سیمانی ۱۰۸
۵-۶-۴- اثر نسبت زئولیت به مواد سیمانی ۱۱۲
۵-۶-۵- اثر غلظت سولفات و پارامتر زمان ۱۱۵
۵-۶-۶- مقایسه‌ی مقاومت فشاری در تمام طرح‌های اختلاط ۱۱۷
۵-۷- نتایج مربوط به تغییرات وزن نمونه‌ها ۱۱۸
۵-۷-۱- میزان تغییر وزن نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم ۵٪ ۱۲۱
۵-۷-۲- میزان تغییر وزن نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم ۱۰٪ ۱۲۲
۵-۸- تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به تغییر وزن نمونه‌ها ۱۲۳
۵-۸-۱- اثر نسبت میکروسیلیس به مواد سیمانی ۱۲۴
۵-۸-۲- اثر نسبت متاکائولن به مواد سیمانی ۱۲۵
۵-۸-۳- اثر نسبت زئولیت به مواد سیمانی ۱۲۷
۵-۸-۴- اثر غلظت سولفات و پارامتر زمان ۱۲۸
۵-۸-۵- اثر الیاف پلی‌پروپیلن و لزج کننده ۱۳۰
۵-۹- نتایج مربوط به تغییرات حجم نمونه‌ها ۱۳۳
۵-۹-۱- میزان تغییر حجم نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم ۵٪ ۱۳۳
۵-۹-۲- میزان تغییر حجم نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم ۱۰٪ ۱۳۴
۵-۱۰- تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به تغییر حجم نمونه‌ها ۱۳۵
۵-۱۰-۱- اثر نسبت میکروسیلیس به مواد سیمانی ۱۳۵
۵-۱۰-۲- اثر نسبت متاکائولن به مواد سیمانی ۱۳۷
۵-۱۰-۳- اثر نسبت زئولیت به مواد سیمانی ۱۴۰
۵-۱۰-۴- اثر غلظت سولفات و پارامتر زمان ۱۴۲

۵-۱۰-۵-اثر الیاف پلی‌پروپیلن و لزج کننده ۱۴۴

فصل ششم: بررسی و تحلیل آماری نتایج آزمایشگاهی

٦-١- مقدمه..... ١٤٧

٦-٢- تعاریف آماری..... ١٤٧

٦-٣- بررسی کلی داده‌ها ١٥٠

٦-٣-١- کاهش مقاومت فشاری ١٥٠

٦-٣-٢- تغییر وزن ١٥٧

٦-٣-٣- تغییر حجم ١٦٣

٦-٤- بررسی تأثیر الیاف و سیکل‌های تر و خشک شدن با استفاده از نمودارهای آماری ١٦٧

٦-٤-١- تأثیر الیاف و سیکل‌های تر و خشک شدن روی تغییر حجم ١٦٧

٦-٤-٢- تأثیر الیاف و سیکل‌های تر و خشک شدن روی تغییر وزن ١٧٠

٦-٥- بررسی همبستگی سه پاسخ کاهش مقاومت فشاری، تغییر حجم و تغییر وزن بتن‌ها با یکدیگر ١٧٢

فصل هفتم: خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

٧-١- خلاصه‌ای از کارهای انجام شده در این پایان‌نامه ١٧٥

٧-٢- نتایج کلی به دست آمده از این تحقیق ١٧٦

٧-٣- پیشنهاداتی جهت تحقیقات بعدی ١٨١

مراجع..... ١٨٢

فصل اول
معرفی بتن خود متراکم و بیان پیشینه‌ی علمی

۱-۱- مقدمه

بتن خود متراکم[1] (SCC) ، بتنی با روانی بسیار بالا است که می‌تواند بدون هیچ‌گونه عملیات متراکم سازی مکانیکی در محل بتن ریزی ریخته شود و تحت وزن خود قالب را پر کند وآرماتورها را در بر گیرد. این بتن که تحت وزن خود متراکم می‌شود، بدون هیچ‌گونه پدیده جدا شدگی دانه‌ها، در محل‌هایی که به دلیل حجم بالای آرماتور بندی امکان عملیات مکانیکی متراکم سازی وجود ندارد، یا در مواردی که محل بتن ریزی جهت متراکم سازی غیر قابل-دسترسی است، استفاده می‌شود. بتن خود متراکم با استفاده از مصالح بتن معمولی ساخته می‌شود و در اغلب موارد از مواد افزودنی همانند مواد افزودنی قوام آور (VMA)[2] و نیز سایر مواد افزودنی شیمیایی و معدنی استفاده می‌شود.

استفاده از بتن خود متراکم، یک فرآیند سودمند در صنعت ساختمان برای حل مشکلات بتن ریزی می‌باشد. بتن خود متراکم تحت تاثیر مهارت کارگران بتن ریز، شکل قالب و تراکم آرماتور نمی‌باشد و با توجه به روانی بسیار بالا و مقاومت در برابر پدیده جدا شدگی دانه‌ها، می‌تواند تا فواصل بیشتری پمپ شود.

ایده ساخت بتن خود متراکم برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ توسط پروفسور اوکامورا[3] داده شد[۱]. اما نمونه

1- Self Consolidating Concrete or Self Compacting Concrete 2-Viscosity Modifying Agent
3- Hajime Okamura

اولیه، در سال ۱۹۸۸ توسط پروفسور اوزاوا[4] در دانشگاه توکیو ژاپن ساخته شد[۲]. از آن پس تحقیقات مختلفی روی بتن خود متراکم انجام شد. این بتن در سازه‌های مختلف در ژاپن استفاده گردیده است.

بتن خود متراکم ساخته شد تا هیچ‌گونه متراکم سازی داخلی یا خارجی برای بتن نیاز نباشد. از نظر فیزیکی می‌توان حالت این بتن را به حالت عسل تشبیه نمود که سطحی بسیار صاف پس از جاگیری در قالب با حفظ همگنی و یک‌نواختی پیدا خواهد کرد. این بتن مانند بتن معمولی شامل سیمان، سنگ‌دانه و آب به‌علاوه افزودنی‌های شیمیایی و معدنی می‌باشد. معمولاً افزودنی‌های شیمیایی را، فوق روان‌کننده‌ها[5] و لزج کننده‌ها (VMA) تشکیل می‌دهند که روی خواص فیزیکی بتن تاثیر دارند. افزودنی‌های معدنی را مواد سیمانی مانند پوزولان‌ها تشکیل می‌دهند که در بعضی موارد در کنار سیمان و یا حتی به عنوان جای‌گزین سیمان، استفاده می‌شوند. به دلیل متفاوت بودن طرح اختلاط بتن خود متراکم با بتن معمولی، همچنان مساله دوام بتن خود متراکم در دراز مدت در حال بررسی می باشد. از این رو در تحقیق پیش رو دوام بتن خود متراکم بدون الیاف و همراه با الیاف حاوی سه نوع پوزولان دوده سیلیسی، متاکائولن و زئولیت در برابر حمله سولفات‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در این فصل ابتدا به معرفی بتن خود متراکم، خواص فاز تازه، آزمایشات متداول و طرح اختلاط آن پرداخته خواهد شد. سپس مکانیزم حمله‌ی سولفات‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. هم‌چنین نقش نوع سولفات، غلظت آن، دمای محیط، pH محیط و سیکل‌های تر و خشک شدن بررسی می‌گردد. سپس آزمایشات استاندارد جهت ارزیابی دوام بتن در برابر سولفات‌ها ارائه خواهد شد و در پایان خلاصه‌ای از تاریخچه‌ی تحقیقات انجام شده روی بتن خود متراکم، پوزولان‌های مورد استفاده در این تحقیق و حمله‌ی سولفات‌ها به این بتن ارائه خواهد گردید.

۱-۲- فواید استفاده از بتن خود متراکم:

استفاده از بتن خود متراکم می‌تواند فواید اقتصادی و فنی برای استفاده‌کننده داشته باشد. کاهش هزینه‌های بتن‌ریزی و بالابردن کارایی بتن از انگیزه‌های استفاده از بتن خود متراکم است. بتن خود متراکم می‌تواند فواید زیر را داشته باشد[۳]:

۱- عدم نیاز به عملیات متراکم سازی، برای بدست آوردن تراکم مناسب، که این موضوع سبب کاهش هزینه‌های خرید و نگهداری تجهیزات لازم خواهد شد. همچنین نیاز به مسطح سازی سطح بتن را کاهش خواهد داد.

۲- ایجاد امکان برای بتن ریزی مناسب بدون تحت تاثیر قرارگرفتن از مهارت حرفه‌ای کارگران بتن ریز.

۳- سرعت بخشیدن به اجرای بتن ریزی و کاهش زمان ساخت و ساز.

4- Ozawa 5- Super Plasticizer

٤- سهولت بخشیدن و آسان نمودن مشکلات بتن ریزی در پرکردن مقاطع با تراکم آرماتور بالا و قالب بندی‌های پیچیده. این امر باعث بالا بردن کیفیت و کاهش هزینه‌های بتن ریزی خواهد شد.

٥- کاهش نقاط بتن ریزی که این امر باعث کاهش نیاز به حرکت دادن پی در پی تجهیزات بتن‌ریزی از جمله تراک‌ها و خطوط پمپ بتن خواهد شد.

٦- کاهش سرو صدای ناشی از بتن ریزی به خصوص در مناطق شهری و در مقاطعی که نیاز به متراکم سازی زیاد دارند.

۷- کاهش حوادث احتمالی به وجود آمده برای کارگران.

۸- افزایش امکان طراحی جزئیات پیچیده برای آرماتوربندی‌ها توسط طراح به علت سهولت بتن ریزی.

۹- به وجود آمدن سطوح صاف و بدون ترک و پدیده آب افتادگی در بتن؛ که سطوح بسیار صاف در بتن برای بتن-های با شرایط معماری ویژه و برای بتن ریزی دیوارها بسیار حایز اهمیت است.

۱-۳- خواص فاز تازه بتن خود متراکم:

به طور کلی تفاوت عمده بتن خود متراکم با بتن معمولی در فاز بتن تازه و حالت پلاستیک آن است. بتن خود متراکم را می‌توان با رابطه بینگهام[۶] در مایعات توضیح داد که تنش برشی در آن از رابطه‌ی (۱-۱) به دست می‌آید[۳]:

$$\tau = \tau_0 + \mu_p * \gamma \qquad (۱-۱)$$

در رابطه بالا τ تنش برشی بر حسب پاسکال، τ_0 تنش تسلیم برشی بر حسب پاسکال، μ_p ضریب لزجت پلاستیک بر حسب (Pa.s) و γ سرعت برش بر حسب (1/s) است. تنش تسلیم مطابق با کم‌ترین میزان برش مورد نیاز برای به جریان افتادن ماده می باشد. با تنش برشی کمتر از این مقدار، مخلوط به جریان نخواهد افتاد. میزان وابستگی تنش برشی و مقدار برش موجود، بستگی به میزان لزجت ماده و به دنبال آن بستگی به مقاومت موجود در ماده در برابر به حرکت افتادن، دارد.

کارایی بتن، سهولت کار با بتن در مراحل ساخت، بتن ریزی، متراکم سازی و پرداخت آن را بیان می-کند.کارایی بتن خود متراکم با سه مشخصه قابلیت پر کردن[۷]، قابلیت عبور[۸] و پایداری[۹] بیان می‌شود که هر کدام با روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری می‌شود.

قابلیت پر کردن توانایی بتن خود متراکم در حرکت کردن و پر نمودن تمام فضاهای داخل قالب تحت وزن خود را بیان می‌کند. قابلیت عبور توانایی بتن خود متراکم در عبور از میان فضاهای باریک بین آرماتورها بدون این‌که

6- Bingham 7- Filling Ability 8- Passing Ability 9- Stability (Non Segregation)

مسیر بتن انسداد یابد را بیان می‌دارد. انسداد مسیر بتن با توجه به جدا شدن دانه‌ها، در قسمت‌های با تراکم آرماتور بالا در اثر فقدان عملیات متراکم سازی مکانیکی، اتفاق خواهد افتاد. بتن خود متراکم در صورتی می‌تواند ظرفیت پر نمودن[۱۰] بالایی به دست آورد، که هر دو مشخصه قابلیت پر کردن و قابلیت عبور مورد نیاز را، تحت اثر نیروی وزن خود تامین نماید.

پایداری یا عدم جداشدگی دانه‌های بتن، توانایی بتن برای دستیابی به یک مخلوط یک‌نواخت و پایدار بدون جدا شدن دانه‌ها و آب انداختن بتن در مسیر حرکت را بیان می‌کند. دو نوع مشخصه پایداری برای بتن خود متراکم مهم می‌باشد: پایداری دینامیکی[۱۱] و پایداری استاتیکی[۱۲].

پایداری دینامیکی، مقاومت بتن در برابر جدا شدن اجزای بتن در هنگام جاگیری در داخل قالب‌ها را بیان می‌کند. این پایداری زمانی‌که بتن نیاز به جابجا شدن بدون امکان فرایند هم زدن را دارد، هم‌چنین برای عبور از لابلای موانع باریک نیاز است.

پایداری استاتیکی مقاومت بتن در برابر پدیده آب انداختگی، جداشدن دانه‌ها و افت سطح بتن پس از عملیات بتن ریزی زمانی‌که بتن هنوز در حالت پلاستیک قرار دارد بیان می‌کند.

در بعضی مواقع از لزج کننده‌ها (VMA) و یا از مقدار مواد سیمانی بیش‌تر برای به دست آوردن پایداری مورد نیاز استفاده می‌گردد. لزج کننده افزودنی است که باعث افزایش خواص مواد سیمانی در فاز بتن تازه شده و سبب جلوگیری از پدیده جداشدگی و شسته شدن مصالح می‌گردد.

۱-۴-آزمایشات فاز تازه بتن خود متراکم:

۱-۴-۱-آزمایش Slump, T50, VSI :

آزمایش اسلامپ و T50 دو آزمایش است برای اندازه‌گیری قابلیت روانی[۱۳] و کارایی بتن خود متراکم که طبق استاندارد ASTM C1611/C1611 M انجام می‌گردد. روش انجام آزمایش مطابق این استاندارد، در زیر آمده‌است[۴]:

مخروط ناقص اسلامپ روی یک صفحه فلزی که مطابق شکل (۱-۱) با دو دایره هم مرکز به قطرهای ۲۰ و ۵۰ سانتیمتر نشانه‌گذاری گردیده، مشابه آزمایش اسلامپ در بتن معمولی، قرار می‌گیرد و از بتن خود متراکم بدون هیچ‌گونه عملیات متراکم سازی پر می‌شود. سطح بتن با میله اسلامپ صاف شده، بتن اضافی برداشته می‌شود و مخروط به صورت قائم بالا کشیده می‌شود. کل مدت زمان این آزمایش از ابتدا تا زمان بالا کشیدن مخروط نباید

10- Filling Capacity 11- Dynamic Stability 12- Static Stability 13- Flow ability

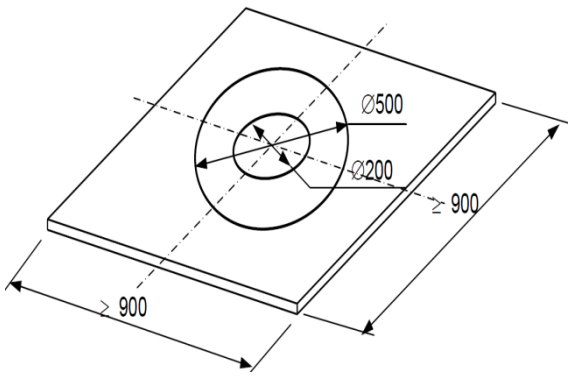
بیش از دو و نیم دقیقه طول بکشد. صبر می‌کنیم تا بتن از حرکت بایستد، سپس مطابق شکل (۱-۲) بزرگ‌ترین قطر بتن پهن شده را اندازه می‌گیریم (d_1). چنانچه سایه‌ای از بتن (دوغاب) دور بتن پخش شده مشاهده گردید، باید جزء قطر اندازه‌گیری شود. سپس قطر عمود بر قطر اندازه‌گیری شده را به عنوان عدد (d_2) قرائت می‌کنیم. اعداد اندازه-گیری شده به ۵ میلیمتر گرد می‌شوند. چنان‌چه اندازه‌های گرفته شده از دو قطر بیش از ۵۰ میلیمتر با هم تفاوت داشته باشد آزمایش باید تکرار گردد. عدد اسلامپ آزمایش طبق رابطه‌ی (۱-۲) برابر خواهد بود با:

$$Slump\ Flow = \frac{1}{2}\ (d_1 + d_2) \qquad (۱-۲)$$

عدد اسلامپ آزمایش حساب شده به عدد ۱۰ میلیمتر گرد خواهد شد.

سرعت حرکت مخلوط بتن خود متراکم به لزجت آن بستگی دارد. در هنگام انجام آزمایش، زمانی‌که از بلند کردن مخروط طول می‌کشد(بر حسب ثانیه) تا بزرگ‌ترین قطر بتن پهن شده به ۵۰ سانتیمتر برسد، با T50 بیان می‌شود که پارامتری است برای بیان کردن لزجت مخلوط بتن خود متراکم. در استاندارد اروپا (EN) عدد مناسب برای بتن خود متراکم در این آزمایش را ۲ تا ۵ ثانیه ذکر می‌کنند.

شکل ۱-۲- آزمایش اسلامپ



شکل ۱-۱

پایداری بتن خود متراکم در آزمایش اسلامپ می تواند با یک آزمایش چشمی اندازه‌گیری و بیان شود. شاخص چشمی پایداری[۱۴] پس از پهن شدن کامل بتن، مطابق با خصوصیات جدول (۱-۱) بیان می‌شود[۳].

14- Visual stability index

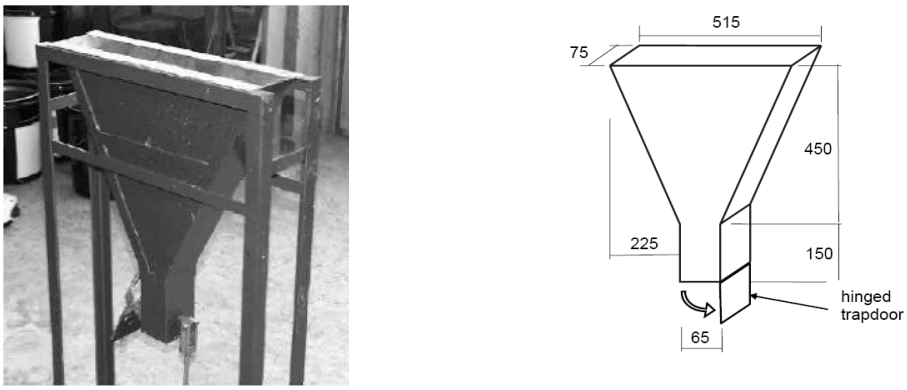
جدول ۱-۱- شاخص چشمی پایداری (VSI) بر اساس ACI 237

توضیح	VSI VALUE
هیچ نشانه‌ای از پدیده آب افتادگی و جدا شدگی دانه‌ها وجود ندارد.	بسیار پایدار = ۰
جدا شدگی در دانه‌ها وجود ندارد وآب افتادگی ناچیزی در بتن مشاهده می-شود.	پایدار = ۱
سایه‌ای از دوغاب با ضخامت کمتر از ^{mm}۱۰ دور بتن پهن شده وجود دارد.	ناپایدار = ۲
پدیده جدا شدگی با سایه دوغاب با ضخامت بیش‌تر از ^{mm}۱۰ دور بتن پهن شده وجود دارد.	کاملاً ناپایدار = ۳

۱-۴-۲- آزمایش V-Funnel:

این آزمایش برای اندازه‌گیری لزجت[۱۵] و قابلیت پر کردن بتن خود متراکم استفاده می‌شود، این آزمایش برای بتن-های با حداکثر اندازه سنگ‌دانه ۲۰ میلیمتر مناسب می‌باشد[۵]. ابعاد و اندازه این وسیله بر گرفته از استاندارد اروپا (EN) در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. برای انجام این آزمایش حدود ۱۲ لیتر بتن نیاز است. قیف نشان داده شده در حالی‌که دریچه پایین آن بسته است از بتن پر شده و سطح بتن صاف می‌گردد، سپس دریچه قیف باز می‌شود. مدت زمانی‌که طول می‌کشد تا بتن از دریچه خارج شود به عنوان عدد آزمایش اندازه‌گیری می‌شود. چنان‌چه بتن شروع به خارج شدن از دریچه بنماید بیان‌گر این است که تنش موجود در بتن بیش از تنش تسلیم آن می‌باشد، به این دلیل این آزمایش نشان دهنده‌ی لزجت مخلوط است. چنانچه مخلوط از دریچه خارج نگردد نشان دهنده‌ی این است که تنش تسلیم بیش‌تر از مقدار نیروی وزن است که به بتن وارد می‌شود. آزمایشات مشابهی با قیف‌های کوچک‌تر برای اندازه‌گیری تاثیر افزودنی‌های معدنی روی خمیر سیمان و میزان روانی آن استفاده می‌گردد. استانداردها عدد مناسب برای این آزمایش را بین ۱۰ تا ۱۲ ثانیه می‌دانند. جزئیات این وسیله در شکل (۱- ۳) آمده است.

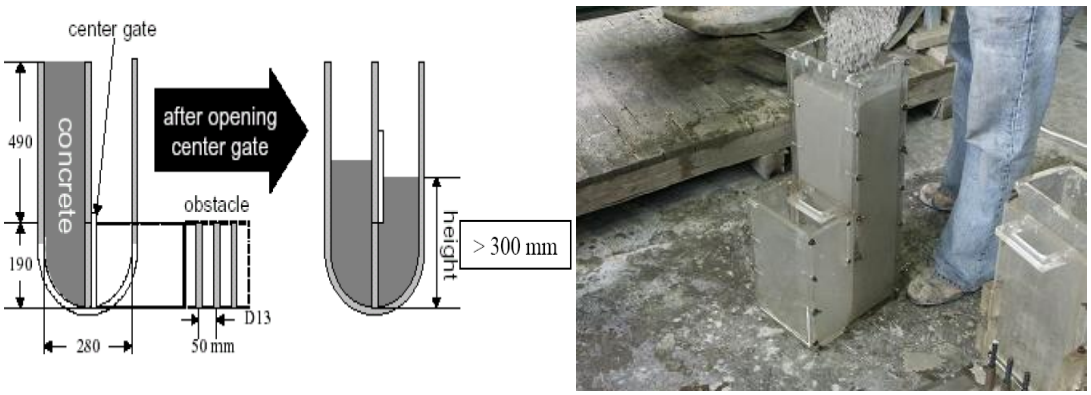
15- Viscosity



شکل ۱-۳ - آزمایش V-Funnel

۱-۴-۳- آزمایش U-Type :

یکی از آزمایشاتی که برای اندازه‌گیری مقدار خود متراکمی بتن استفاده می‌شود، آزمایش U-Type می‌باشد[۶]. در این آزمایش ابتدا یکی از بازوها با بتن پرشده و سپس دریچه‌ی بین دو بازو باز می‌گردد. میزان تراکم پذیری بتن به اندازه ارتفاع بتنی که پس از باز شدن دریچه‌ی حایل، از لابلای آرماتورها رد شده و به بازوی دوم وارد می‌شود، بیان می‌گردد. بتن‌هایی که ارتفاع بتن واردشده به بازوی دوم بیش از ^{mm} ۳۰۰ می‌باشد، می‌تواند به عنوان بتن خود متراکم اطلاق شود. بعضی از محققین، چنان‌چه ارتفاع بتن وارد شده به بازوی دوم، بیش از ۸۵٪ حداکثر ارتفاعی که امکان دارد تا بتن به آن برسد، گردد، بتن را خود متراکم می‌دانند. جزئیات این وسیله در شکل ۱-۴ آمده است.



شکل ۱-۴ - آزمایش U-Type, (Ouchi, M, 2000)

۱-۴-۴- آزمایش L-Box :

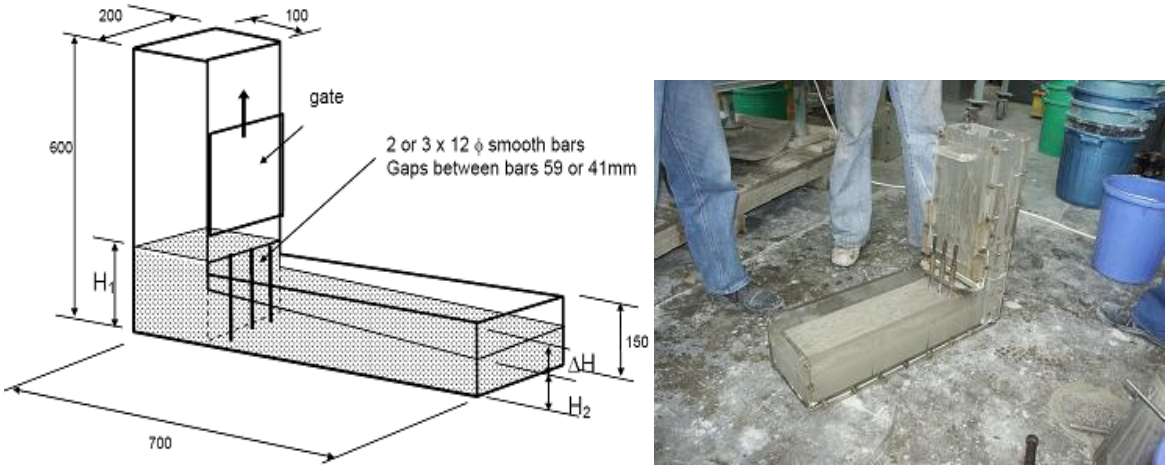
وسیله این آزمایش دو بازوی قائم و افقی است که در محل تقاطع این دو بازو یک دریچه وجود دارد. بازوی قائم از بتن پر شده و پس از باز شدن دریچه، بتن از لابلای آرماتورهای پشت دریچه رد شده و وارد بازوی افقی می‌شود.

ابعاد این وسیله در شکل (۱-۵) نشان داده شده است[۵]. حجم بازوی قائم به اندازه‌ی ۱۲/۶ تا ۱۲/۸ لیتر بتن می‌باشد.آرماتورهای قرارگرفته شامل دوآرماتور باقطر ۱۲ میلیمتر و با فاصله ^{mm}۵۹ برای انجام آزمایش با دو آرماتور، و شامل سه آرماتور با قطر ^{mm}۱۲ و با فاصله ^{mm}۴۱ برای انجام آزمایش با سه آرماتور، می‌باشد.

پس از وارد شدن بتن در بازوی افقی، ارتفاع بتن در انتهای بازو به صورت متوسط اندازه‌گیری می‌شود (H_2 ^{mm}). هم‌چنین ارتفاع بتن پشت دریچه در بازوی اول اندازه‌گیری می‌گردد و با H_1 ^{mm} نشان داده می‌شود. قابلیت عبور بتن با استفاده از معادله (۱-۳) مشخص می‌گردد:

$$PA = H_2 / H_1 \qquad (۱-۳)$$

برای بتن خود متراکم ضریب PA مناسب بین ۰/۸ تا ۱ در آیین‌نامه‌ها ذکر گردیده است.



شکل ۱-۵- آزمایش L-Box

۱-۴-۵- آزمایش J - ring :

J-ring شامل یک رینگ از آرماتورهایی است که به دور مخروط اسلامپ استاندارد قرار گرفته است. مخروط اسلامپ با بتن پرشده و سپس مشابه آزمایش اسلامپ معمولی، مخروط به بالا کشیده می‌شود.

پس از آن قطر نهایی بتن پخش شده اندازه‌گیری می‌شود و تفاوت آن با عدد اسلامپ به عنوان عدد J-ring معرفی می‌گردد. تفاوت عدد اندازه‌گیری شده در آزمایش اسلامپ بتن خود متراکم و این آزمایش به عنوان شاخص توانایی عبور بتن محاسبه می‌گردد. آیین‌نامه‌ها عدد مناسب برای بتن خود متراکم را بین ۰ تا ۱۰ میلیمتر ذکر کرده‌اند. قطر رینگ فولادی ^{mm}۳۰۰، آرماتورها از سایز ^{mm}۱۸ و تعداد آن‌ها با توجه به حداکثر اندازه سنگدانه‌ها در بتن تعیین می‌گردد. جزئیات وسیله این آزمایش در شکل(۱-۶) آمده است[۷].