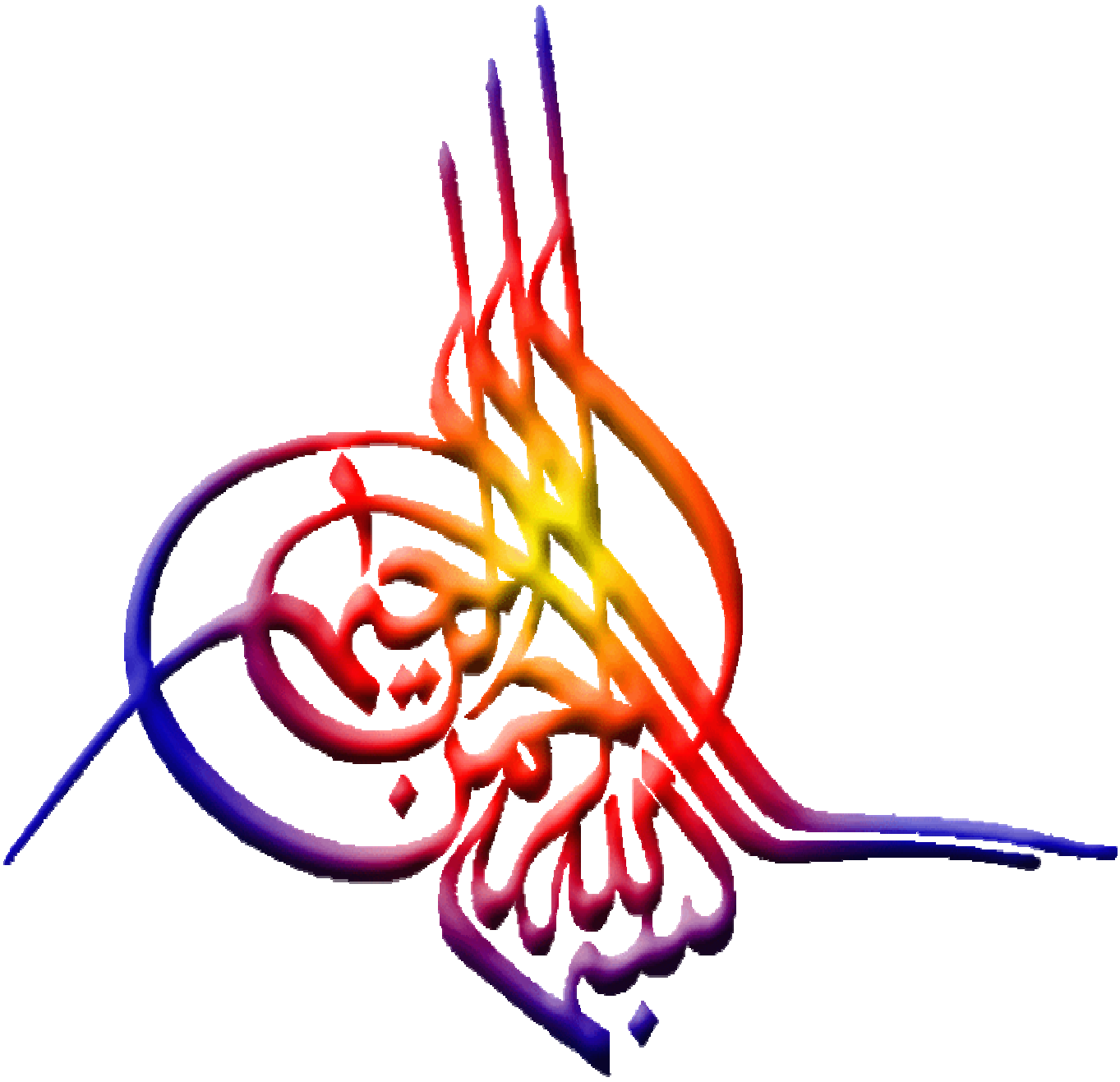


دانشکده: عمران و معماری
گروه: عمران

بررسی مقایسه‌ای باربری قطعات بتن خود متراکم الیافی در تونل‌های انحرافی آب

دانشجو: محسن احمدنژاد

اساتید راهنما:
دکتر احمد احمدی
دکتر مرتضی حسینعلی بیگی

استاد مشاور:
مهندس پیام شفیق

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
دی‌ماه ۱۳۸۸

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: عمران و معماری

گروه: عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای محسن احمدنژاد سرحمامی

تحت عنوان: بررسی مقایسه‌ای باربری قطعات بتن خودتراکم الیافی در تونل‌های انحرافی آب

در تاریخ.....۸۸/۱۰/۱۵..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه....بسیار خوب.....مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر احمد احمدی		مهندس پیام شفیق	
دکتر مرتضی حسینعلی بیگی			

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
دکتر بهروز حسنی		مهندس عباس محمدی	
دکتر علی کیهانی			

تقدیم به :

همسر و فرزندان عزیزم

با تشکر و قدردانی از اساتید ارجمند

جناب آقای دکتر احمد احمدی

و

جناب آقای دکتر مرتضی حسینعلی بیگی

پیوست شماره ۳

دانشجو تائید می‌نماید که مطالب مندرج در این پایان‌نامه نتیجه تحقیقات خودش می‌باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد.

زمستان۱۳۸۸

چکیده :

ساخت قطعات تونل‌های انحراف آب با استفاده از بتن خودمتراکم حاوی الیاف به منظور سرعت بخشیدن به اجرای پروژه‌های آب رسانی و بالا بردن کیفیت بتن و افزایش دوام سازه تونل می‌باشد. در دو دهه اخیر بتن خودتراکم که یکی از انواع نوین بتن است به عنوان انقلابی بزرگ در اجرای سازه‌های بتن‌آرمه مطرح گردیده است. این بتن با امتیازاتی ویژه نظیر عدم نیاز به تراکم، عبور از میان شبکه آرماتوربندی حجیم و فشرده، جریان‌پذیری در میان قالب‌های با اشکال خاص و کارآیی و دوام بالا توانسته است جایگاهی خاص را در صنعت ساخت و ساز سازه‌های بتن‌آرمه پیدا نماید. از سویی دیگر استفاده از انواع مختلف الیاف‌های موجود نظیر الیاف‌های فولادی، پلی‌پروپیلن و.... موجب بهبود خواص مکانیکی نظیر مقاومت کششی، کنترل ترک خوردگی، مقاومت سایشی، مقاومت در برابر ضربه و عدم جداشدگی اجزای بتن گردیده است. بنابراین استفاده از بتنی که هم خاصیت خودتراکمی داشته و نیز حاوی الیاف باشد مزایای متنوعی را برای سازه‌های بتنی نظیر تونل‌های انحراف آب به همراه خواهد داشت.

در مورد موضوع یاد شده تاکنون در داخل ایران تحقیقات جامعی به طور آزمایشگاهی با استفاده از بتن خودتراکم حاوی الیاف صورت نپذیرفته است. این در حالی است که فعالیت‌هایی که در سطح بین المللی انجام گرفته است عمدتا به کاربرد الیاف به ویژه الیاف فولادی در بتن معمولی (نرمال) محدود می‌شود.از جمله کارهای نوین انجام شده، می‌توان به ارزیابی عرض ترک بتن الیافی در لاینینگ تونل که توسط اقای برنادینو و همکاران در سال ۲۰۰۹ در دانشگاه پلی‌تکنیک تورین ایتالیا و همچنین طراحی لاینینگ تونل با استفاده از بتن الیافی توسط آقای سورلی و همکاران در سال ۲۰۰۵ در دانشگاه برشا در ایتالیا اشاره نمود.

هدف از این مطالعه بررسی خصوصیات بتن خود متراکم الیافی و مقایسه ظرفیت باربری این بتن با بتن معمولی بمنظور کاربرد در تونلهای انتقال آب میباشد. بدین منظور آزمایشات متعدد و متنوعی طراحی و اجرا گردید. بعضی از نتایج مهم این تحقیق بشرح ذیل میباشند.

رابطه مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن‌های خودتراکم مورد مطالعه به صورت $fcu_{28} = 1.6\ fcu_{7}$ می‌باشد، به عبارتی سن ۷ روزه در حدود ۶۲٪ از مقاومت ۲۸ روزه را کسب می کند که می‌تواند تاثیر فوق روان‌کننده (پی-۱۰) باشد. در صورتی که در بتن‌های معمولی بتن‌ها در سن ۷ روزه ۷۰ الی ۸۰ درصد مقاومت ۲۸ روزه را کسب می‌کنند. رابطه مقاومت گسیختگی و مدول‌الاستیسیته و مقاومت کششی استوانه‌ای بتن‌های خودمتراکم حاوی الیاف با مقاومت فشاری استاندارد ۲۸ روزه $f_r = 1.37\sqrt{f_c}$ و $E = 4698\sqrt{f_c}$ و $f_{ct} = 0.88\sqrt{f_c}$ می‌باشد که در مقایسه با آبا ۱۱۷٪ و۶٪و ۶۰٪ بیشتر از بتن عادی می‌باشد که دلیل این امر وجود الیاف در بتن خودمتراکم بوده و همچنین به خاطر کاهش درصد هوا در بتن خودمتراکم نسبت به بتن معمولی حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد منجر به افزایش این مقاومت‌ها می‌گردد. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد با اضافه کردن الیاف به میزان۰/۱درصد وزن سیمان و میله‌گرد نمره ۱۰، بهترین مقاومت خمشی و کمترین میزان ترک حاصل می‌شود.

فهرست صفحه

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ بتن خودمتراکم ۳

۱-۲-۱ خواص بتن خودمتراکم ۳

۱-۲-۲ تاریخچه بتن خودمتراکم ۴

۱-۲-۳ مراحل تولید بتن خود متراکم ۵

۱-۲-۴ حمل و نقل بتن خودمتراکم ۶

۱-۲-۵ کنترل کیفیت ۶

۱-۲-۶ محیط‌زیست، سلامتی و ایمنی ۶

فصل دوم: بررسی تحقیقات انجام شده ۷

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ پروژه تحقیقاتی خواص بتن خودمتراکم ۹

۲-۲-۱ انتخاب و خواص مواد خام اساسی ۹

۲-۲-۱-۱ سنگدانه‌ها ۹

۲-۲-۱-۲ سیمان و فیلرها ۹

۲-۲-۱-۳ مواد افزودنی ۱۰

۲-۲-۲ طرح اختلاط ۱۰

۲-۲-۳ خواص بتن تازه ۱۲

۲-۲-۳-۱ نتایج آزمایش‌ها روی بتن تازه مخلوط‌های خودمتراکم و مرجع ۱۲

۲-۲-۴ خواص بتن سخت شده ۱۳

فهرست صفحه

۲-۲-۴-۱ مقاومت فشاری ۱۳

۲-۲-۵ نکاتی در مورد پروژه فوق ۱۷

۲-۳ مصالح مصرفی در ساخت بتن خودمتراکم حاوی الیاف پروپیلن ۱۸

۲-۳-۱ سیمان و پرکننده‌ها ۱۸

۲-۳-۲ میکروسیلیس یا دوده سیلیس ۱۸

۲-۳-۲-۱ دلایل بهبود و دوام بتن حاوی میکروسیلیس ۱۹

۲-۳-۳ فوق روان‌کننده ۲۰

۲-۴ طرح اختلاط بتن خودمتراکم ۲۱

۲-۴-۱ نیازهای کلی در طرح اختلاط ۲۱

۲-۴-۱-۱ حجم زیادی از خمیر ۲۱

۲-۴-۱-۲ حجم زیادی از ریز دانه‌ها(کوچکتر از ۸۰ میکرومتر) ۲۱

۲-۴-۱-۳ مصرف بالای فوق روان‌کننده ۲۲

۲-۴-۱-۴ امکان استفاده از ماده ویسکوزیته(نگهدارنده آب) ۲۲

۲-۴-۱-۵ حجم کمی از سنگدانه درشت ۲۳

۲-۵ نکات مهم برای سازندگان بتن پیش ساخته ۲۳

۲-۵-۱ منافع تولید کنندگان بتن پیش ساخته ۲۴

۲-۶ محدودیت‌های بتن خودمتراکم ۲۶

۲-۷ آزمایش بتن خودمتراکم تازه ۲۷

۲-۷-۱ آزمایش روانی اسلامپ، T_{50} ۲۸

۲-۷-۱-۱ اصول آزمایش ۲۸

۲-۷-۱-۲ وسایل مورد نیاز ۲۹

فهرست صفحه

۲-۷-۱-۳ روند انجام آزمایش ۳۰

۲-۷-۱-۴ نتایج آزمایش ۳۰

۲-۷-۱-۵ گزارش آزمایش ۳۱

۲-۷-۱-۶ ارزش‌های قابل قبول پیشنهادی ۳۲

۲-۷-۲ آزمایش L-Box ۳۲

۲-۷-۲-۱ اصول کلی آزمایش ۳۳

۲-۷-۲-۲ وسایل مورد نیاز ۳۳

۲-۷-۲-۳ روند انجام آزمایش ۳۴

۲-۷-۲-۴ نتایج آزمایش ۳۴

۲-۷-۲-۵ گزارش آزمایش ۳۶

۲-۷-۲-۶ ارزش‌های قابل قبول پیشنهادی ۳۶

۲-۷- ۳ آزمایش stability sieving (GTM) ۳۷

۲-۷-۳-۱ اصول کلی آزمایش ۳۸

۲-۷-۳-۲ وسایل مورد نیاز برای آزمایش ۳۸

۲-۷-۳-۳ روش انجام آزمایش ۳۸

۲-۷-۳-۴ مراحل انجام آزمایش ۳۸

۲-۷-۳-۵ نتایج آزمایش ۳۹

۲-۷-۳-۶ گزارش آزمایش ۳۹

۲-۷-۳-۷ ارزش‌های قابل قبول پیشنهادی ۴۰

۲-۷- ۴ آزمایش U-BOX ۴۰

۲-۷-۴-۱ روش انجام آزمایش ۴۰

فهرست | صفحه

۲-۷- ۵ آزمایش قیف V | ۴۱
۲-۷-۵-۱ روش انجام آزمایش قیف V | ۴۱
۲-۷- ۶ حلقه J | ۴۲
۲-۷- ۶-۱ روش انجام آزمایش | ۴۳
۲-۷- ۷ نکاتی در رابطه با آزمایش‌های بتن خودمتراکم تازه | ۴۴
۲-۸ الیاف | ۴۵
۲-۸-۱ تاریخچه الیاف | ۴۷
۲-۸-۲ انواع الیاف و الیاف فولادی | ۴۸
۲-۸-۳ مزایا و معایب افزودن الیاف | ۵۴
۲-۱۰ مزایای بتن الیافی | ۵۵
۲-۱۴ خلاصه‌ای از خواص بتن خودمتراکم و الیاف | ۵۷
فصل سوم: روش اجرای آزمایش | ۵۸
۳-۱ مقدمه | ۵۹
۳-۲ هدف از آزمایش و تشریح متغیرهای مورد استفاده | ۵۹
۳-۳ مصالح مصرفی در این تحقیق | ۵۹
۳-۳-۱ آب | ۵۹
۳-۳-۲ سیمان | ۶۰
۳-۳-۳ پودر سنگ آهک | ۶۱
۳-۳-۴ فوق روان‌کننده مصرفی | ۶۱
۳-۳-۵ میکروسیلیس | ۶۲
۳-۴ نحوهٔ اجرای آزمایش | ۶۳

فهرست صفحه

۳-۴-۱ سرند کردن شن و ماسه ۶۳

۳-۴-۲ تعیین ضریب نرمی ماسه ۶۳

۳-۴-۳ تعیین وزن مخصوص ماسه و شن ۶۴

۳-۵ طرح اختلاط بتن خودمتراکم ۶۴

۳-۶ آزمایش‌های بتن خودمتراکم تازه ۶۸

۳-۶-۱ آزمایش روانی اسلامپ ۶۸

۳-۶-۲ آزمایش حلقه جی-شکل ۶۹

۳-۶-۳ آزمایش جعبه ال-شکل ۷۰

۳-۷ آزمایش‌های بتن خودمتراکم سخت‌شده ۷۱

۳-۷-۱ آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن سخت‌شده ۷۱

۳-۷-۲ آزمایش کششی غیرمستقیم(آزمایش برزیلی) ۷۲

۳-۷-۳ آزمایش تعیین مدول الاستیسیته ۷۴

۳-۷-۴ آزمایش تعیین مقاومت خمشی ۷۶

۳-۸ تشریح طرح‌های صورت پذیرفته ۸۰

۳-۸-۱ طرح اول ۸۰

۳-۸-۲ طرح دوم ۸۰

۳-۸-۳ طرح سوم ۸۱

۳-۸-۴ طرح چهارم ۸۱

۳-۸-۵ طرح شانزدهم ۸۱

۳-۹ ساخت بتن خودمتراکم و بررسی تأثیر افزودن الیاف پروپیلین ۸۲

۳-۱۰ عملکرد ساختاری بدنه ۸۳

فهرست صفحه

۳-۱۱ طرح سازه‌ای تیرها ۸۴

۳-۱۱-۱ آرماتوربندی، قالب‌بندی و بتن‌ریزی تیرهای قوسی ۸۵

۳-۱۱-۲ عمل‌آوری تیرها ۸۷

۳-۱۱-۳ آزمایش تیرها ۸۷

۳-۱۲ روند تهیهٔ بتن خودمتراکم الیافی و غیرالیافی ۹۲

فصل چهارم: بررسی نتایج حاصل از آزمایش ۹۵

۴-۱ مقدمه ۹۶

۴-۲ بررسی مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی ۹۶

۴-۳ بررسی مقاومت کششی در آزمایش کشش غیرمستقیم (برزیلی) ۹۷

۴-۴ بررسی مدول گسیختگی نمونه‌های منشوری ۹۸

۴-۵ بررسی مدول الاستیسیته ۹۹

۴-۶ بررسی مقاومت فشاری، بتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روزه ۱۰۰

۴-۷ بررسی مقاومت کششی غیرمستقیم(آزمایش برزیلی)، بتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روزه ۱۰۱

۴-۸ بررسی مدول گسیختگی، بتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روزه ۱۰۱

۴-۹ بررسی مدول الاستیسیته، بتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روزه ۱۰۲

۴-۱۰ بررسی رابطه بین مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه ۱۰۳

۴-۱۱ بررسی رابطه بین جذر مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مدول‌گسیختگی ۱۰۴

فهرست صفحه

۴-۱۲بررسی رابطه بین مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مقاومت کششی‌استوانه‌ای ۱۰۶

۴-۱۳ بررسی رابطه بین جذر مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مدول‌الاستیسیته ۱۰۷

۴-۱۴ نتایج بار وارده وخیز حاصل در نمونه‌های قوسی ۱۰۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری ۱۱۰

۵-۱نتیجه‌گیری ۱۱۱

۵-۲ براساس آزمایش‌های صورت پذیرفته در این تحقیقات نتایج زیر به‌طور خلاصه بدست آمد ۱۱۱

۵-۳ با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق پیشنهادات زیر برای تحقیقات بعدی ارائه می‌شود ۱۱۳

فهرست منابع ۱۱۴

منابع ۱۱۵

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی سه خاصیت اصلی بتن، شامل روان‌پذیری[۱]، شکل‌پذیری[۲] و مقاومت در برابر جداشدگی[۳] انجام شده‌است که این تحقیقات منجر به تولید بتن جدیدی تحت عنوان بتن خودمتراکم[۴] در صنعت ساخت بتن شده‌است. بتن خودمتراکم مشکلات مربوط به ساخت بتن‌معمولی از جمله ناتوانی در پرکردن کامل قالب، ناتوانی دراحاطه‌کردن کامل آرماتورها در سازه‌های بتن‌مسلح، مشکلات مربوط به عملکرد تجهیزات ویبراسیون و سروصدای ناشی از آنها، را به‌همراه ندارد. در حال حاضر بتن خودمتراکم مقبولیت خوبی را جهت بتن‌ریزی در سازه‌های بتن‌مسلح با آرماتورگذاری متراکم و مناطق کم‌عرض و باریک جهت دستیابی به بتن بادوام و پایا در سطح جهانی، به دست آورده است.

انواع الیاف‌ها (الیاف شیشه، پروپیلین، فولادی، آزبست، نایلونی و...) در بهبود خواص بتن موثرند. این الیاف در جهات مختلف اتصالاتی را بوجود می‌آورند و از گسترش ترک جلوگیری می‌نمایند. بنابراین رشته‌های الیاف بطور فعال در محدودکردن عرض ترک‌ها وارد عمل شده و با تشکیل ریزترک‌های زیاد همکاری می‌نمایند و در نتیجه قابلیت بهره‌برداری بتن افزایش می‌یابد.

از این‌رو در این پژوهش هدف آن است که تاثیر افزودن الیاف و پروپیلین با درصدهای وزنی مختلف، بر مقاومت فشاری و خمشی بتن‌های خودمتراکم و در پایان امکان بکارگیری این مواد در نگهداری تونل‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

۱ – ۲ بتن خودمتراکم

1-Filling ability
2-Passing ability
3-Resistance to segregation
4-Self Compacting Concrete

بتن خودمتراکم بتنی است که تحت اثر وزن خود، متراکم شده و به لرزاننده[۵]، برای ایجاد تراکم احتیاج ندارد. با تنظیم مصالح دانه‌ای و با استفاد از مخلوطی از ترکیبات شیمیایی و معدنی، این بتن طوری عمل می‌کند که بتن‌های استاندارد معمولی قادر به آن نیستند. این مخلوط شامل ماده کاهش‌دهنده آب[۶] و تنظیم‌کننده چگالی مخلوط است که می‌تواند جوابگوی مقررات *ASTM C494* [۸]باشد. از مصالح پرکننده[۷] اغلب برای جایگزینی مصالح ریزدانه و تنظیم ویسکوزیته استفاده می‌شوند. مصرف بالای ماده کاهش‌دهنده آب مخلوطی را با روانی بالا برای تقلیل نسبت آب به پودر به وجود می‌آورد (از نقطه نظر بتن خودمتراکم به موادی پودر گفته می‌شود که کوچکتر از ۰/۰۱ اینچ باشد که شامل مصالح بسیار ریز و سیمان، خاکستر، پودرآهک، تفاله و خاکسترکوره و بخار سیلیکا[۸] است.)

بدون استفاده از مواد تنظیم‌کننده ویسکوزیته[۹] مخلوط تبدیل به دانه‌های مجزا می‌شود. در هر حال تنظیم‌کننده ویسکوزیته مخلوط، سبب افزایش ویسکوزیته گشته که این خود باعث کاهش جداشدگی دانه‌ها می‌گردد مخلوط به دست آمده اگر به طور درست طراحی شود بتن خودمتراکم نام دارد[۴].

۱-۲-۱ خواص بتن خودمتراکم

این مخلوط باید به آسانی جریان یابد[۱۰]، به طور کامل فضای بین آرماتورها را پر کند[۱۱]، وابستگی بتن به لرزاندن[۱۲] را کم نماید ، دارای پایداری خوب بوده و در مقابل جداشدن و ته‌نشینی دانه‌ها و عرق‌کردن بتن مقاومت نماید[۱۳]. بتنی که دارای خواص فوق باشد ، به طور چشمگیری مصرف لرزاننده و مواد
متراکم‌کننده را تقلیل می‌دهد و درنتیجه سبب افزایش کیفیت و دوام محصولات بتنی می‌گردد. مشکلات لرزاندن ناقص بتن تا قبل از سفت شدن آن به چشم نمی‌آید. خاصیت دیگر بتن خودمتراکم

1-Vibrator
2-High Range Water Reduce (HRWR)
3-Filler
4-Silica Fume
5-Viscosity Modify Admixture (VMA)
6-Filling ability
7-Passing ability
8-Vibration
9-Resistance to segregation

این است که آنها *Thixo* هستند. به این معنا که این مخلوط قبل از ویبره‌کردن به صورت مایع بوده و پس از آن به وضعیت نیمه جامد در می‌آیند. باید توجه داشت که بتن خودمتراکم با بتن‌جاری[۱۴] متفاوت است[۶].(توضیح داده شده در *ACI 212 , ASTM 1017*)

۱-۲-۲ تاریخچه بتن خودمتراکم

با این که مواد اصلی استفاده شده در بتن خودمتراکم در بازار موجود بوده اما مصرف این نوع بتن از سال ۱۹۸۰ به بعد شروع شده است.

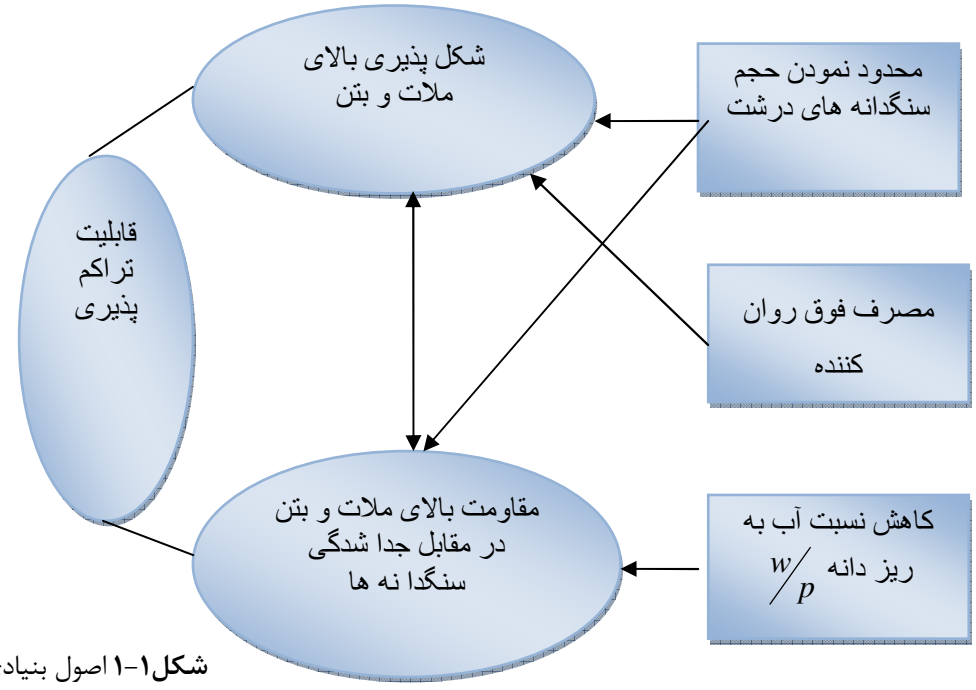
نمونه اولیه این بتن در سال ۱۹۸۶ در ژاپن در پاسخ به تقاضای بالا برای بتن‌های بادوام و کارگران متخصص توسعه یافت. دوام بتن به طور مستقیم به عیار و کیفیت متراکم‌کردن مربوط می‌شود که این خود می‌تواند به مهارت فردی که از وسایل متراکم‌کننده استفاده می‌کند بستگی داشته‌باشد. مشکلات واضح در جذب و نگهداشتن کارگران ماهر موجب مشکلات دوام بتن می‌شود. متأسفانه قسمت‌های زیادی در دنیا مشکلات مشاغل را تجربه می‌کنند که این مشکلات شامل همه کشورها از جمله آمریکا نیز می‌شود ، در نتیجه تحقیقات پیشرفته‌تری در مورد تکنولوژی بتن خودمتراکم از آن پس انجام شد که بیشتر آن‌ها در اروپا انجام گردید. در آمریکا تحقیقات زیادی توسط سازندگان مواد افزودنی به بتن نیز انجام شده است. بعد از ساخته شدن اولین نمونه در پروژه‌های بزرگ بتن‌درجا، بتن پیش‌ساخته با استفاده از بتن خودمتراکم با موفقیت بالایی ساخته شده است. اکنون تقاضای چشمگیری برای انواع بتن از جمله بتن پیش‌ساخته وجود دارد[۱۳].

1-Concrete Flowing

۱-۲-۳ مراحل تولید بتن خود متراکم

در هنگام استفاده از بتن خودمتراکم تغییرات ناچیزی در مراحل تولید لازم می‌باشد. تولیدکنندگان مواد افزودنی بتن خودمتراکم اعلام می‌دارند که این مواد را می‌توان در هنگام مخلوط کردن سایر مواد به آن افزود، ولی پیشنهاد می‌نمایند که باید تا آخرین مرحله مخلوط صبر کرد، و زمان مخلوط کردن باید طولانی‌تر شود[۱۴].

در حال حاضر شیوه‌های مختلفی برای تولید بتن خودمتراکم. در مقایسه با بتن‌معمولی در نظر گرفته‌می‌شود. برای تولید بتن خودمتراکم در روش اول میزان مواد پودری افزایش پیدا می‌کند، در روش دوم، از مواد لزج‌کننده استفاده می‌شود، و در روش سوم ترکیبی از دو حالت قبل بکار گرفته می‌شود. لازم به یادآوری است میزان فوق‌روان‌کننده مصرفی نسبت به بتن‌معمولی در هر سه حالت افزایش می‌یابد.



شکل۱-۱ اصول بنیادی تولید بتن خودمتراکم[۱۴]

جدول ۱-۱ عوامل موثر در طرح اختلاط بتن خود متراکم

نوع پودر بکار رفته	۱
نوع عامل لزج کننده	۲
نوع ترکیب	۳

۱-۲-۴ حمل و نقل بتن خودمتراکم

هنگام حمل نقل بتن خودمتراکم مخلوط به نوع دیگری عمل می‌کند زیرا تمایل به حرکت بیشتری در سطل[۱۵] داشته و در روی تسمه بالابرنده نیز به همین صورت عمل خواهد کرد. هنگام جابه‌جا کردن بتن‌خودمتراکم مسلماً عملیات مخلوط کردن را نباید به طور کلی قطع کرد اما می‌توان به حداقل رساند.

۱-۲-۵ کنترل کیفیت

قبل از شروع به تولید و مصرف بتن خودمتراکم ، کارکنان باید در خصوص بتن‌جدید آموزش دیده و درباره چگونگی حمل آن تعلیم ببینند.

۱-۲-۶ محیط‌زیست، سلامتی و ایمنی

استفاده از بتن خودمتراکم به‌طرز مثبتی فرآیند ساخت را بسیار تغییرداده و منجر به بهسازی محیط‌زیست، سلامتی و ایمنی می‌گردد. استفاده از بتن خودمتراکم هم برای کارگران بتن و هم برای مجاورین، محیط‌زیست بسیار بهبودیافته‌ای را ایجاد می‌کند و نیز منجر به سروصدای کمتر می‌گردد.

1-Bucket

فصل دوم
برسی تحقیقات انجام شده

۲-۱-مقدمه

علیرغم خصوصیات جذاب بتن خودمتراکم، عامل اصلی که موجب متداول نشدن استفاده از این نوع بتن در اکثر کشورها گردیده، فقدان روابط و ضوابط لازم وکافی در این زمینه می باشد.

در این فصل به بررسی تحقیقاتی پرداخته می‌شود که هدف اصلی این فعالیت، جمع‌آوری اطلاعات در مورد خواص بتن خودمتراکم شونده سخت شده‌ای که به سادگی به وسیله مصالح خام محلی در اسکاتلند تولید شده، می‌باشد. برای نیل به این هدف، خواص مهندسی بتن خودمتراکم در نمونه‌های کوچک باید با خواص بتن‌معمولی مقایسه شود. به همین جهت دو مقوله اساسی برای بتن در این تحقیق درنظر گرفته‌شد:

یک مقوله ساختمانی (مقاومت معمولی) و دیگری مقوله مهندسی (مقاومت بالا) با مقاومت مشخصه نمونه مکعبی به ترتیب ۳۵ مگا پاسکال و ۶۰ مگا پاسکال [۱].

بتن مورد مصرف در این تحقیق، در یک کارگاه بتن صنعتی ساخته شد و خواص مکانیکی نمونه‌های تهیه‌شده از جنبه‌های مختلف مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند که بررسی مقاومت فشاری و مقاومت پیوستگی بتن با آرماتور و فولاد گذاری از این جمله‌اند.

آزمایش بتن‌تازه برای کنترل طرح اختلاط و اهداف پذیرش لازم می‌باشد. ابتدا یک تعداد آزمایش‌درجا انجام می‌شود سپس آزمایش‌های بارگذاری برای شکست و گسیختگی بر روی آنها صورت می‌پذیرد. بنابراین دستاوردهای این تحقیق و پژوهش به شرح زیر است:

- **کنترل و بررسی مشخصات بتن خودمتراکم تازه**
- **کنترل و بررسی مشخصات بتن خودمتراکم سخت شده، برای مصارف خارجی.**
- **مقایسه خواص مکانیکی اساسی بتن خودمتراکم سخت شده با همان خواص در بتن معمولی[۲].**

۲-۲-پروژه تحقیقاتی خواص بتن خود متراکم

۲-۲-۱-انتخاب و خواص مواد خام اساسی

۲-۲-۱-۱-سنگدانه‌ها

مصالح سنگی به صورت میکروگرانیت خردشده و بطور پیوسته دانه‌بندی شده، با اندازه ذرات اسمی ۲۰-۵ میلیمتر و از یک ماسه کوارتز خوب دانه‌بندی شده با یک مدول نرمی۲/۷۴ استفاده می‌شود .

چگالی نسبی نمونه سنگدانه درشت (شن) و ماسه به ترتیب ۲/۶۵ و ۲/۵۶ و میزان جذب آب نمونه‌ها به ترتیب ٪۰/۸ و ٪۱ می‌باشد.

جدول ۲-۱ دانه بندی سنگدانه ها[۱۹]

اندازه الک بر حسب میلیمتر	۲۸	۲۰	۱۴	۱۰	۶/۳	۵	۲/۳۶	۱/۱۸	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۷۵
در صدعبوری از الک(۵-۰ میلیمتر)	۱۰۰	۹۵/۶	۵۶/۶	۲۸/۱	۷/۸	۲/۲	۰/۳	-	-	-		-
در صدعبوری از الک(۱۰-۵ میلیمتر)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۳/۶	۹/۶	۰/۲	-	-	-		۰/۷
ماسه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹	۸۵/۶	۶۸/۱	۵۰/۷	۲۱	۰/۷	۰/۱

۲-۲-۱-۲-سیمان و فیلرها

مخلوط‌های بتن خودمتراکم ساخته شده در این بررسی، با سیمان پرتلند[۱۶]و پودر سنگ آهک[۱۷] یا سرباره آهن‌گدازی[۱۸] به‌عنوان پرکننده تهیه می‌شوند. مخلوط‌های مرجع (بتن معمولی ویبره شده) تنها از سیمان پرتلند استفاده شده‌است. سیمان و سرباره آهن‌گدازی استفاده شده مطابق با BS۱۲ در

1-Portland Cement
2-Lime Stone Powder (LSP)
3-GGBS

سال ۱۹۹۶ و BS ۶۶۹۹ در سال ۱۹۹۲ می‌باشد.

تمام مخلوط‌های معرفی‌شده به منظور افزایش کارآیی و مقاومت در مقابل جداشدن سنگدانه‌ها، با یکی از افزودنی‌های معدنی ترکیب می‌شوند. پودرسنگ‌آهک از سنگ‌آهک کربن‌دار با یک میزان درجه خلوص بالا تهیه و ریزتر از سیمان تهیه می‌شود.

۲-۲-۱-۳-مواد افزودنی

یکی از فرآورده‌های جدید فوق‌روان‌کننده با نام ($p10_n$) که بر پایه کوپلیمر طراحی شده، برای این تحقیق استفاده شده است. این ماده وزن مخصوصی برابر۱/۱۱ داشت. فوق‌روان‌کننده مصرفی در یک محدوده متغیر ۱ تا ۱/۸درصد براساس جرم فیلرها (پرکننده ها) استفاده می‌شود.

۲-۲-۲-طرح اختلاط

خلاصه نسبت‌های اختلاط مخلوط‌های خودمتراکم و مخلوط‌های مرجع درجدول (۲-۲) آمده است. با این توضیح که هر نمونه، براساس هرکدام ازطرح اختلاط‌های استفاده‌شده در جدول (۲-۲) و محدوده کاربرد ساختمانی و یا مهندسی با نامهای RH، SCCH، SCCC و RC نامگذاری شد.

جدول ۲-۲ طرح اختلاط استفاده شده[۵]

	بتن مقاومت معمولی		بتن مقاومت بالا	
	RH	SCCH	RC	SCCC
آب	۲۰۰	۱۹۰	۲۲۰	۱۶۰
سیمان پرتلند	۲۹۵	۲۸۰	۵۱۵	۲۸۵
پودر سنگ	-	۲۴۵	-	۲۷۰
پودر=سیمان+پودرسنگ	۲۹۵	۵۲۵	۵۱۵	۵۵۵
ماسه(۵-۰) میلیمتر	۸۴۰	۸۶۵	۶۵۵	۹۴۰
شن (۲۰-۰) میلیمتر	۹۷۰	۷۵۰	۹۳۰	۷۱۵
روان کننده	-	۴/۲	-	۴/۴
فوق روان کننده	_	_	۶/۴	_
نسبت آب به سیمان	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۵۸
نسبت آب به پودر	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۲۹

مخلوط‌های خودمتراکم حجم بالایی از افزودنی‌هایی مانند پودر سنگ‌آهک یا سرباره آهن‌گدازی را در بر می‌گیرد که این مواد روانی و چسبندگی و محدودیت تولید گرما را افزایش می‌دهند. چنین موادی واکنش‌دهندگی کمتری نسبت به سیمان دارند و می‌توانند مشکلات حاصله از افت روانی بتن پر سیمان را کاهش دهند.

اضافه کردن یک یا چند ماده با ساختار مختلف و توزیع دانه‌ها بااندازه مختلف می‌تواند چگالی فشردگی ذره را بهبود بخشد و اصطکاک و ویسکوزیته بین ذره‌ای را کاهش دهد و بنابراین شکل‌پذیری و خودفشردگی را افزایش می‌دهد.

۲-۲-۳-خواص بتن تازه

۲-۲-۳-۱-نتایج آزمایش‌ها روی بتن تازه مخلوط‌های خودمتراکم و مرجع

نتایج آزمایشات خواص مخلوط‌های تازه خودمتراکم و مرجع در جدول (۲-۳) نشان داده شده‌است. آزمایش‌های بتن‌خودمتراکم ، برای مخلوط‌های مرجع که بوسیله آزمایش اسلامپ معمولی براساس استاندارد ۱۸۸۱ انگلستان[۷] مورد سنجش قرارگرفته‌اند نمی‌باشد و همچنین خواص تازه آنها قابل مقایسه با همان خواص بتن خودمتراکم نمی‌باشد. بطوریکه تفاوت اساسی خواص مخلوط‌های بتن خودمتراکم آنها را مجاب می‌سازد که قابلیت روانی و کارآیی بالایی داشته باشند. نسبت حجم درشت‌دانه در مخلوط‌های مرجع بطور قابل‌توجهی بالاتر از مخلوط‌های بتن خودمتراکم می‌باشد، مخلوط‌های بتن خودمتراکم طوری طراحی شدندکه فیلر بیشتری داشته باشند و احجام پودر در SCCH و SCCC به ترتیب ۴۶ درصد و ۳۸ درصد بیشتر از همان احجام درمخلوط‌های مرجع می‌باشد. مخلوط‌های بتن خودمتراکم همچنین شامل ملات بیشتر و درشت‌دانه کمتر می‌باشند که این در افزایش کارآیی موثر می‌باشد، با این حال افزایش در قابلیت روانی بشدت تحت اثر فوق روان کننده $p10_n$ می‌باشد[۷].

جدول ۲-۳ خواص بتن تازه[۵]

	بتن مقاومت معمولی		بتن مقاومت بالا	
	RH	SCCH	RC	SCCC
	جریان اسلامپ			
اسلامپ دردقیقه پنجم	۶۵	۶۵۰	۷۰	۶۹۰
اسلامپ دردقیقه ۶۰	۵۰	۶۰۰	۷۰	۶۴۰
T50 دردقیقه پنجم		۱/۰۲		۱/۹۵
T50دردقیقه ۶۰		۱/۶۶		۱/۸۴
	جعبه ال شکل			
T40 و T20 در دقیقه دهم		۱-۲		۰/۶-۱/۲
h2/h1 در دقیقه دهم		۰/۸۱		۰/۹۹

۲-۲-۴-خواص بتن سخت شده

۲-۲-۴-۱-مقاومت فشاری

نمونه‌های مکعبی استاندارد با اندازه۱۵۰ میلیمتر پس ازگذشت یک روز از بتن‌ریزی قالب‌برداری شدند. نمونه‌ها سپس در آب یا در هوای۲۰ درجه سیلسیوس بوسیله بعمل‌آوردن با ماده محافظ بعمل آورده شدند، تا زمانیکه آزمایش در ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۸ روز انجام شود. نتایج مقاومت فشاری استاندارد ۲۸ روزه در جدول (۲-۴) نشان داده شده است [۱۵]. مقاومت مشخصه نمونه مکعبی ۳۵ مگاپاسکال برای مخلوط‌های ساختمانی و۶۰ مگاپاسکال برای مخلوط‌های مهندسی ثبت شده است.

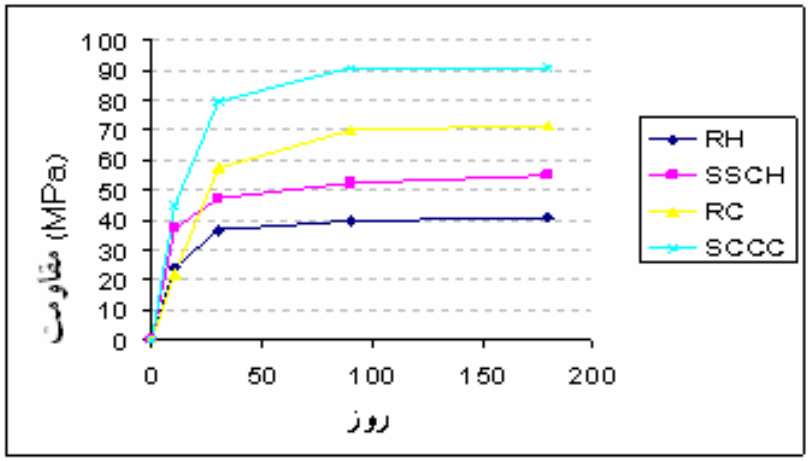
جدول ۲-۴ نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های استاندارد[۱۶]

انواع بتن		متوسط مقاومت فشاری نمونه ها در سن ۲۸ روز(مگاپاسکال)
مقاومت پایین	SCCH	۴۷
	RH	۳۷
مقاومت بالا	SCCC	۷۹/۵
	RC	۶۱/۵

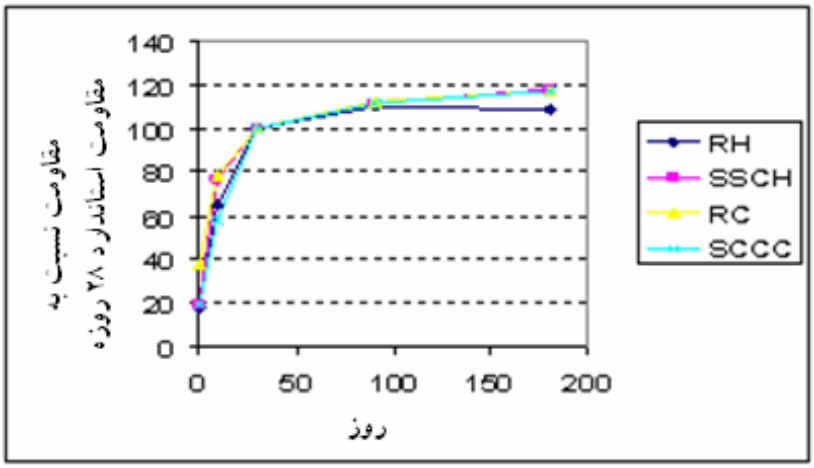
نتایج جدول (۲-۴) نشان می‌دهدکه مقاومت‌های واقعی مخلوط‌های بتن خودمتراکم در حد بالاتر از محدوده نرمال مقاومت‌های طراحی می‌باشند، ولی مخلوط‌های مرجع درحد پایین‌تر از این محدوده قرار داشتند. چنین اختلافاتی در مقاومت واقعی مخلوط بتن خودمتراکم و مخلوط‌های مرجع مقایسه مستقیم این مخلوط‌ها را مشکل می‌سازد.

(شکل (۲-۱) افزایش مقاومت تا ۶ ماه را نشان می‌دهد. نسبت‌های افزایش نسبی مقاومت، تا مقاومت‌های ۲۸ روزه در شکل (۲- ۲) قابل مشاهده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت مقاومت‌های، فشاری بشدت بوسیله نسبت آب به سیمان و نوع فیلرها (موادافزودنی) تحت تاثیر بودند) نتایج وابسته به داده‌های طرح اختلاط داده‌شده درجدول (۲-۳) درشکل های (۲-۱) و (۲-۲) نشان می‌دهدکه در نسبت‌های آب به سیمان مشابه، مقاومت مخلوط‌های بتن‌خودمتراکم که از پودر سنگ‌آهک بعنوان ماده افزودنی استفاده کرده‌اند بطور قابل‌توجهی بالاتر از مقاومت مخلوط‌های مرجع متناظر بودند، این امر باید مورد توجه قرار گیرد با اینحال هر دو نتیجه در محدوده نرمال بودند. افزایش مقاومت نسبتا سریعتر مخلوط‌های SCCH، بویژه در مراحل اولیه، به نظر می رسدکه عمدتا بعلت دارا بودن پودرسنگ آهکی است که ممکن است اثر یک تسریع‌کننده را بر روی هیدراسیون C3S و مقاومت اولیه داشته باشد [۲۰].

مخلوط SCCC که حاوی سرباره آهن‌گدازی به جای پودر سنگ آهک بود، مقاومت پایین‌تری در روزهای اول و هفتم نسبت به مخلوط مرجع متناظر، ازخود نشان می‌دهد. (RC نمونه مرجع مهندسی) اما به طور قابل‌توجهی مقاومت بالاتری را در روز بیست‌وهشتم و بعد از آن از خود نشان داد. این موضوع به سبب واکنش آهسته، اما طولانی (هیدرولیکی و پوزولانی) بین محصولات ناشی از هیدراسیون سیمان وسرباره آهن‌گدازی می‌باشد که بطور قابل‌توجهی بر مقاومت موثراست [۱۷]. نتایج بدست آمده در شکل (۲- ۲) نشان می‌دهدکه هیچ اختلاف قابل‌توجهی در نمودار افزایش رشد مقاومت در هیچ یک از مخلوط‌های مورد مطالعه وجود ندارد[۵].

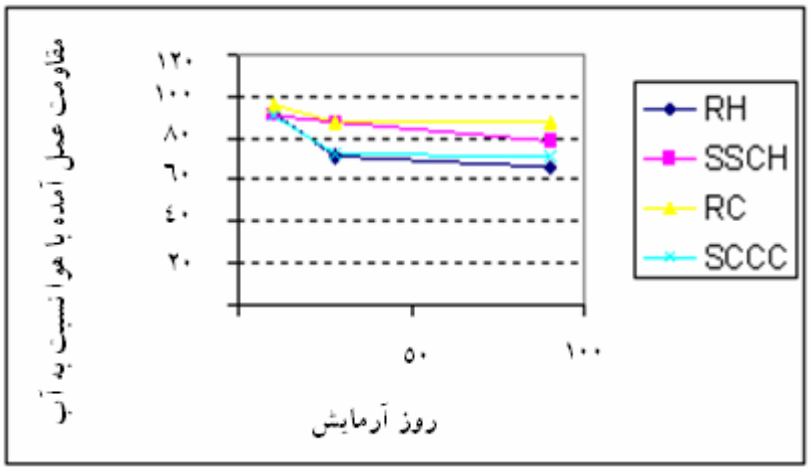


شکل ۲-۱ گسترش مقاومت فشاری[۵]



شکل ۲-۲ مقاومت فشاری در دوره های مختلف نسبت به مقاومت ۲۸ روزه استاندارد[۵]

اثر شرایط بعمل‌آوری بر روی گسترش مقاومت مخلوط‌های خودمتراکم و مرجع مورد آزمایش قرار گرفت و نسبت مقاومت‌های نمونه‌های بعمل آمده با هوا به مقاومت نمونه‌های بعمل آمده با آب در شکل (۲-۳) آمده است.



شکل۲-۳ اثر شرایط بعمل آوری روی مقاومت فشاری[۵]

همانطورکه انتظار می‌رفت مقاومت فشاری نمونه‌های بعمل‌آمده با هوا پایین‌تر از مقاومت نمونه‌های بعمل‌آمده با آب می‌باشد. با این حال میزان کاهش مقاومت بعلت به‌عمل‌آوردن نامناسب در هوا تا حداکثر ۹۰ روز، بسته به تراز مقاومت و نوع ماده افزودنی مورد استفاده در مخلوط‌ها می‌باشد. بنظر می‌رسد که مخلوط‌های بتن خودمتراکم با ماده افزودنی سنگ‌آهک بعنوان مثال SCCH، کمتر تحت تاثیر به‌عمل‌آوری با هوا قرار می‌گیرند و مقاومت نمونه‌های بعمل آورده شده با هوا کمتر نسبت به بتن‌های مرجع به‌عمل آورده شده با هوا کاهش می‌یابد. برای مثال بطوریکه در شکل (۲-۳) دیده می‌شود، نسبت‌های مقاومت نسبی برای SCCH برابر ۸۵ درصد در روز ۲۸ ام و۷۹ درصد در روز ۹۰ ام، در مقابل همین نسبت‌ها برای مخلوط مرجع متناظر آن، (RH) که برابر ۸۵ در روز ۲۸ ام و۷۱ درصد در روز ۹۰ ام می‌باشد، است. این اختلاف می‌تواند به اثر تسریع‌کننده پودر سنگ‌آهک و نیز امکان جلوگیری از افزایش آب مخلوط‌های خودمتراکم نسبت داده شود. برای مخلوط SCCC که به آن سرباره آهن‌گدازی اضافه می‌شود، مقاومت تا حداکثر ۹۰ روز بیشتر تحت تاثیر بعمل آوری با هوا

قرار می‌گیرد وکاهش مقاومت بعلت عمل‌آوری با هوا، بیشتر از مخلوط‌های مرجع متناظر (RC) می‌باشد. چنین اختلافاتی در تاثیرپذیری از شرایط به‌عمل‌آوری برای مخلوط‌های حاوی سرباره آهن‌گدازی نیز معمول می‌باشد، بطوریکه حضور ممتد آب برای انجام واکنش هیدرات‌های سیمان با سرباره آهن‌گدازی لازم می‌باشد.

۲-۲-۵-نکاتی در مورد پروژه فوق

- برای کارآیی و عملکرد موفقیت‌آمیز بتن خودمتراکم لازم است که بتن قابلیت تغییرشکل عالی از خود نشان دهد و ثبات کاملی برای جریان یافتن بتن تحت اثر وزن خودش در میان آرماتورهای متراکم و انبوه، بدون جداشدن دانه‌ها و انسداد بروز دهد.

- تامین پایداری بالا برای محدودکردن آب‌انداختن، جدایی دانه‌ها و نشست سطحی بتن پس از بتن‌ریزی، و تامین خواص یکنواخت بتن سخت‌شده شامل پیوستگی با آرماتورهای کارگذاشته شده مهم می‌باشد.

- عموماً بتن خودمتراکم جاری‌شدن پایین و چسبندگی کافی (چسبندگی متعادل) را بروز داد. بعلاوه آزمایش جریان اسلامپ برای ارزیابی شکل‌پذیری مورد استفاده قرار گرفت، آزمایش جعبه ال‌شکل و جریان اسلامپ باید برای ارزیابی توانایی دستیابی به یک جریان ملایم و بدون انسداد در میان میلگردهای موجود با فواصل محدود مورد استفاده قرار گیرد.

- مخلوط **SCCH** حاوی پودر سنگ‌آهک، به یک مقاومت درجای به میزان قابل توجه‌ای بیشتر از مخلوط مرجع مشابه، (**RH**) دست یافت که احتمالا به علت اثر تسریع‌کننده و متراکم‌کننده ماده افزودنی فیلر می‌باشد.

هیچ اختلاف قابل‌توجهی در یکنواختی خواص بتن‌درجا بین مخلوط‌های بتن خودمتراکم و مخلوط‌های مرجع متناظر وجود ندارد، خواص مخلوط‌های بتن خودمتراکم اندکی یکنواخت‌تر می‌باشد

۲-۳-مصالح مصرفی در ساخت بتن خودمتراکم حاوی الیاف پروپیلن

۲-۳-۱-سیمان و پرکننده ها

در مخلوط‌های بتن خودمتراکم غالباً مصرف مقادیر زیاد مصالح پودری به دلیل رسیدن به یک مقدار تسلیم کافی و چسبندگی مخلوط تازه ضروری می‌باشد، بنابراین شیره‌دهی، جداشدگی و ته‌نشینی کاهش می‌یابد. چون استفاده از مقادیر بالای سیمان هزینه را افزایش می‌دهد و منجر به بالا رفتن حرارت هیدراسیون می‌شود، لذا معمولاً مصالح سیمانی دیگری از قبیل پودر سنگ‌آهک[۱۹] ، سرباره آهن‌گدازی[۲۰] و خاکستر زغال‌سنگ[۲۱] به جای سیمان در مخلوط‌های گوناگون بتن خودمتراکم استفاده می‌شود. مخلوط‌های بتن خودمتراکم ساخته‌شده در این تحقیق با سیمان پرتلند نوعII ، پودر سنگ‌آهک و پودر میکروسیلیس به عنوان پرکننده تهیه می‌شوند.

۲-۳-۲-میکروسیلیس[۲۲] یا دوده سیلیس[۲۳]

میکروسیلیس یا دوده سیلیس هنگام تولید آلیاژ فروسیلیسیم و فلز سیلیسیم، از کوره الکتریکی توسط جمع‌کننده‌های دوده باز یافت می‌شود. بنابراین از محصولات جنبی صنعت آلیاژ فروسیلیسیم و فلزسیلیسیم محسوب می‌گردد. به طور کلی، فلز سیلیسیم با احیای کوارتز توسط زغال سنگ در دمای $۲۰۰۰^{\circ}C$ به دست می‌آید. در هنگام احیا مقداری گازSio حاصل می‌شود، قسمتی از این گاز با هوا ترکیب وsio_2 تشکیل می‌گردد. این ماده عمدتاً از ذرات سیلیس بی‌شکل یا آمورف تشکیل شده که فوق‌العاده ریز هستند.

1-LimeStone Powder(LSP)
1-GGBS
2-Fly Ash
3-Micro silica
4-Silica fume

رنگ میکروسیلیس خاکستری است اما در رنگ‌های سفید تا سیاه نیز یافت می‌شود که بستگی به مقدار کربن دارد. چگالی واقعی آن ۲/۱ تا ۲/۲ است. مهمترین خصوصیات فیزیکی میکروسیلیس اندازه فوق‌العاده ریز ذرات است که حدود یک صدم اندازه ذرات سیمان پرتلند ($0/1\ \mu m$ در مقابل $10\ \mu m$) می‌باشد[۲۱].

از آنجایی که میکروسیلیس فوق‌العاده ریزدانه است، وقتی که با بتن مخلوط می‌گردد ویسکوزیته بتن افزایش یافته و از کارآئی آن کاسته می‌شود، در نتیجه اسلامپ بتن کاهش می‌یابد. بنابراین بر مقدار آب مورد نیاز برای کسب کارآئی معین افزوده می‌گردد، برای جلوگیری از این پدیده می‌توان از ماده افزودنی فوق‌روان‌کننده استفاده نمود به عبارت دیگر استفاده از میکروسیلیس امکان‌پذیر نیست مگر آن که فوق روان‌کننده به کار برده شود[۱۴].

۲-۳-۲-۱-دلایل بهبود و دوام بتن حاوی میکروسیلیس

- افزودن میکروسیلیس به بتن باعث می‌شود که به علت واکنش پوزولانی، منافذ بزرگ به کوچک تبدیل شوند و در نتیجه از نفوذپذیری بتن کاسته گردد. این فرآیند به دلیل تبدیل هیدروکسیدکلسیم [$Ca(OH)_2$] به ژل سیمان (C-S-H) می‌باشد، (یادآوری می‌شود که هیدروکسیدکلسیم و ژل سیمان از فراورده‌های مهم سیمان هیدراته شده محسوب می‌شود). ساختار فیزیکی ژل سیمان نسبت به هیدروکسیدکلسیم، از تراکم و انسجام بیشتری برخوردار است.

- فعالیت پوزولانی میکروسیلیس سبب می‌شود که هیدروکسیدکلسیم آزاد شده یا تولید شده در بتن، مصرف گردد و همچنین به دلیل جایگزینی سیمان با میکروسیلیس مقدار کمتری هیدروکسیدکلسیم تولید می‌شود و در نتیجه مقدار هیدروکسیدکلسیم که عامل مهمی در آسیب‌دیدگی ناشی از تهاجم سولفات محسوب می‌شود، کاهش می‌یابد.

۲-۳-۳-فوق روان‌کننده[۲۴]

فوق روان‌کننده ماده‌ای است که علاوه بر آب، سیمان و سنگدانه به مقدار جزئی به بتن اضافه می‌گردد و باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در کارآیی بتن با نسبت آب به سیمان معین و یا باعث کاهش قابل توجهی در میزان آب مصرفی برای کارآیی مشخص می‌گردد. با کاهش مقدار آب، نسبت آب به سیمان پایین می‌آید و در نتیجه مقاومت بتن بالا می‌رود [۱۵]. مقدار مصرف فوق‌روان‌کننده به نوع فوق‌روان‌کننده و کارخانه تولیدکننده آن بستگی دارد. ولی در حالت کلی می‌توان گفت فوق روان‌کننده‌ها با توجه به توصیه کارخانجات تولیدکننده ، حداکثر تا ۳ درصد وزن مصالح سیمانی در مخلوط بتن مصرف می‌گردند. معمولاً فوق روان‌کننده برای ایجاد یک کارایی معین، میزان آب بتن را بین ۲۵ تا ۳۵ درصد کاهش داده و مقاومت یک روزه را بین ۵۰ تا ۷۵ درصد افزایش می‌دهد [۴].

فوق روان‌کننده‌ها، کشش سطحی آب را به میزان زیاد تغییر نمی‌دهند و عمل آنها بیشتر در افزایش پخش شدن ذرات سیمان در آب می‌باشد. اصولاً فوق روان‌کننده‌ها تاثیری بر جمع‌شدگی، خزش، ضریب ارتجاعی و مقاومت بتن ها برای سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن ندارند. فوق روان‌کننده‌ها در استاندارد **ASTM 494**[۸] به دو نوع کلی **G,F** تقسیم می‌شوند که پایه شیمیایی نوع **F** بر پایه ملامین فرم‌آلدئید و نوع **G** بر پایه ملامین فرم‌آلدئید ولگنو سولفونات می‌باشد. احتمالاً همین ماده دارای تاثیر بیشتری نسبت به ماده دیگر، در پخش ذرات سیمان داشته و معمولاً تا حدی دارای خواص دیرگیرکنندگی نیز می‌باشد.

1-Super Plasticizer

۲-۴-طرح اختلاط بتن خودمتراکم

قبل از اینکه هر نوع بتن خودمتراکم در کارخانه مرکزی بتن تولید شده و در یک محل ساختمانی استفاده شود، مخلوط باید طراحی و آزمایش شود. در حین این ارزیابی، تجهیزات و مصالح محلی مصرفی در کارخانه باید برای دستیابی به اختلاط‌های جدید بتن، ضمن توالی‌های واقعی اختلاط و زمان‌های معتبر اختلاط آن کارخانه و مصالح مصرفی آزمایش شده و نیز برای اجزایی که بتن‌ریزی می‌شوند، مناسب باشند. انواع گوناگون پرکننده‌ها می‌توانند منجر به مقاومت، جمع شدگی و خزش‌های مختلف شوند اما جمع شدگی و خزش معمولاً از آنچه که برای بتن ویبره متعارف می‌باشند بزرگتر نخواهد بود.

۲-۴-۱-نیازهای کلی در طرح اختلاط

۲-۴-۱-۱-حجم زیادی از خمیر

اصطکاک بین سنگدانه‌ها، قابلیت پخش‌شدگی و پرسازی بتن خودمتراکم را محدود می‌کند. این علت همان چرایی است که، بتن خودمتراکم باید حاوی حجم بالایی از خمیر باشد. (سیمان+ مواد افزودنی+ آب کافی+ هوا). به طور نمونه «۳۳۰ تا ۴۰۰ لیتر در متر مکعب»، که در واقع قانونی است که جداشدگی سنگدانه‌ها را حفظ می‌کند.

۲-۴-۱-۲-حجم زیادی از ریزدانه‌ها (کوچکتر از ۸۰ میکرومتر)

برای اطمینان از کارآیی کافی در صورت محدودیت خطر جداشدگی یا شیره‌دهی، بتن خودمتراکم شامل مقدار زیادی از ریزدانه‌ها خواهد بود (حدود ۵۰۰ کیلوگرم در مترمکعب). با وجود این، برای اجتناب از ایجاد گرمای فوق‌العاده زیاد، سیمان پرتلند عموماً به طور جزیی با مواد افزودنی معدنی از قبیل پرکننده سنگ‌آهک یا خاکستر بادی جایگزین می‌شود. (سیمان نباید به عنوان پرکننده استفاده

شود). ماهیت مقدار پرکننده افزوده شده باید برای همراهی با نیازمندی‌های دوام و مقاومت انتخاب شود.

۲-۴-۱-۳-مصرف بالای فوق‌روان‌کننده

فوق‌روان‌کننده‌ها جهت استحصال روانی وارد می‌شوند با وجود این، مصرف بالایی نزدیک به مقدار اشباع، می‌تواند استعداد جداشدگی بتن را افزایش دهد.

۲-۴-۱-۴-امکان استفاده از ماده ویسکوزیته (نگهدارنده آب)

این محصولات عموماً مشتقات سلولز، پلی‌ساکارید یا سوسپانسیون‌های کلوئیدی می‌باشند. این محصولات همان نقش ریزدانه‌ها را بازی می‌کنند: به حداقل رساندن آب انداختگی و جدا شدگی درشت‌دانه‌ها با غلیظ کردن ملات و نگهداری آب در اسکلت. در مورد بتن خودمتراکم، وارد کردن چنین محصولاتی را می‌توان با نسبت بالای آب به بیندر تنظیم نمود. از سوی دیگر ممکن است با نسبت پایین آب به بیندر، فایده کمتری را در اجرای بالای بتن خودمتراکم (مقاومت بالاتر از ۵۰ مگا پاسکال) داشته باشند. وارد کردن عامل ویسکوزیته در مخلوط بتن خودمتراکم باید برای هر حالت مطالعه گردد. فرض می‌شود که مواد ویسکوزیته برای ساختن بتن خودمتراکم نسبت به واریانس‌های آب در مقدار رطوبت سنگدانه‌هایی که در کارخانه مرکزی بتن رخ می‌دهند، حساسیت کمتری دارد. به هر حال، به دلیل کیفیت‌های پایین مواد ویسکوزیته، دست‌یابی دقیق مصرف امری مشکل می‌باشد.

مواد افزودنی بتن‌خودمتراکم به طور چشمگیری بر خواص سخت شدن بتن اثر می‌گذارد. همچنین موادافزودنی می‌تواند تخلخل تولید نماید. به هر حال بهترین روش برای به دست‌آوردن بهترین نسبت مواد تشکیل‌دهنده بتن خودمتراکم همکاری با تولیدکنندگان مواد افزودنی می‌باشد. موادافزودنی اضافه‌شده به بتن‌خودمتراکم اثر تاخیری بر مقاومت بتن داشته و این نکته باید در فرآیند ساخت در ذهن نگهداشته شود. تهیه‌کنندگان مواد افزودنی می‌توانند برحسب شرایط آب و هوایی گوناگون، مواد افزودنی مفید مختلفی را تولید کنند.

۲-۴-۱-۵-حجم کمی از سنگدانه درشت

برای تولید بتن خودمتراکم می‌توان از سنگدانه‌هایی که به طور طبیعی گردگوشه، نیمه‌شکسته و یا شکسته می‌باشند استفاده نمود. با این وجود، همانطور که سنگدانه درشت، نقش مهمی را در قابلیت عبور بتن خودمتراکم در نواحی متراکم ارائه می‌کند، حجم نیز باید محدود گردد. از سوی دیگر، استفاده از سنگدانه درشت، بهینه کردن چگالی فشردگی اسکلت بتن و کاهش حجم ملات مورد نیاز جهت کارآیی را مجاز می‌سازد. عموماً اینگونه گفته می‌شود که حداکثر اندازه سنگدانه [۲۵] بین ۱۰ و ۲۰ میلیمتر قراردارد. زمانی که حداکثر اندازه سنگدانه افزایش می‌یابد، قابلیت عبور کم می‌شود و این امر منجر به کاهش مقدار سنگدانه درشت می‌گردد. بنابراین انتخاب حداکثر اندازه سنگدانه بالاتر زمانی امکان‌پذیر می‌شود که با مقدار آرماتورگذاری کم تنظیم شود. با یکی از مدل‌های *"CBI"* یا نرم‌افزار *"LCPC"* می‌توان حداکثر مقدار سنگدانه را محاسبه نمود. (و نیز حداکثر اندازه سنگدانه را انتخاب نمود).

۲-۵-نکات مهم برای سازندگان بتن پیش‌ساخته

باید توجه داشت که بتن خودمتراکم به طور کلی تغییر تکنولوژی را در ساخت بتن‌های پیش‌ساخته به وجود آورده است ، سازندگان این بتن‌ها باید متوجه پیچیدگی این تغییر قبل از شروع ساخت بتن خودمتراکم باشند. هر تغییری در کارگاه باید به صورت تیمی با بهترین شناخت در مراحل تولید محصولات به روش بتن خودمتراکم باشد نسبت مخلوط بتن خودمتراکم به سادگی نمی‌تواند به یک بتن معمولی موجود برای دست یافتن به خصوصیات بتن خودمتراکم اضافه شود، بلکه این مخلوط باید فقط برای بتن خودمتراکم اضافه شود خوشبختانه مدل‌های موجود به خصوص ACI 211[۱۶] می‌توانند کار را انجام دهند .

1-Dmax

روش پیشرفته‌تر نسبت‌های مخلوط و نوع و میزان پودرهای پرکننده، نوع تنظیم‌کننده ویسکوزیته و پایدارکننده مخلوط، یا هر دوی آنها را تغییر می‌دهد.

روش‌های پیشنهاد شدهٔ دیگر دانه‌های درشت و ریز را ثابت نگه می‌دارد و نسبت آب و سیمان و غلظت ماده کاهش‌دهنده آب را تنظیم می‌نماید.

احتمالاً بهترین روش این است که با تولیدکنندگان مواد افزودنی برای تنظیم نسبت‌های مخلوط با پیروی از اندازه‌گیری مواد برای ساخت بتن همکاری شود.

۲-۵-۱-منافع تولیدکنندگان بتن پیش‌ساخته

تولیدکنندگان بتن پیش‌ساخته با استفاده ازبتن خودمتراکم دارای منافع زیر می‌باشند:

- شرایط محیط کار- صدای کمتر لرزاننده و کاهش خطرات ناشی از به کار بردن لرزاننده دستی[۲۶]
- سرعت جابجائی سبب افزایش تولید می‌گردد.
- راحتی جابجایی باعث کاهش تعداد کارگران در هنگام بتن‌ریزی می‌گردد.
- اعتماد بهتر در ترکیب و تحکیم مناسب.
- کاهش فرسودگی و پارگی که توسط ویبره پدید می‌آید.
- کاهش فرسودگی مخلوط کن[۲۷] که توسط عملیات برشی به وجود می‌آید.
- اصلاح و بهبود کیفیت سطح کار و کاهش سوراخ‌های ریز که در عملیات زیباسازی (نماسازی) تولید اشکال می‌نماید.
- درکارهای تمام شده روباز[۲۸] می‌تواند بکار برده شود.

1-Hand- arm vibration Syndrome

1-Mixer

- استحکام اولیه را افزایش می‌دهد.
- با نسبت آب به سیمان[۲۹] کمتر از ۰/۳۵ سازگار می‌باشد.
- کاهش انرژی مصرفی وسایل لرزاننده و انرژی مورد نیاز برای مخلوط کردن.
- نفوذپذیری کمتر.
- قابلیت پمپاژ عالی.
- مصرف بتن خودمتراکم در بردارنده منافع متعددی در جهت افزایش تولید و کاهش هزینه‌ها و ایجاد وضعیت مطلوب در محیط کار و همچنین دوام کافی می‌باشد و بر مصرف بتن معمولی ارجح است .
- بتن خودمتراکم شامل همان ترکیبات بتن معمولی ویبره‌شده از قبیل سیمان و سنگدانه و آب و مواد افزودنی می‌باشد و البته با نسبت‌های مختلف. در ضمن این نوع بتن نیاز به طرح اختلاط پیشرفته‌تری نسبت به بتن‌معمولی ویبره‌شده و همچنین نیاز به دقت بیشتر در کیفیت بتن تولیدی حداقل در شروع مصرف دارد.
- بیشتر مخلوط‌کن‌های معمولی می‌توانند برای تولید بتن خودمتراکم بکار گرفته شوند. ولی زمان لازم برای مخلوط کردن به هر حال ممکن است طولانی‌تر از زمان مخلوط‌کردن بتن سنتی خودمتراکم شده باشد، که این زمان بستگی به مقدار فیلر و مواد ریزدانه بکار رفته در طرح اختلاط دارد.

2-Expose
3-W/C

- بتن خودمتراکم در صورتیکه خارج از محل کارگاه ساختمانی تولید می‌شود باید توسط تراک میکسر به محل کارگاه ساختمانی حمل شود.

- همه مصالح مرسوم برای شکل‌دادن و قالب‌بندی بتن‌معمولی می‌تواند برای قالب‌بندی بتن خودمتراکم بکار رود، ولی چوب نسبت به پلی وود و فلز نتیجه بهتری را می‌دهد.

- ریختن بتن خودمتراکم می‌تواند با پمپ و بالابر و یا سرسره انجام بگیرد، ولی استفاده از ناودان و قیف توصیه نمی‌شود [۱۵].

۲-۶-محدودیت‌های بتن خودمتراکم

بتن خودمتراکم دارای محدودیت‌هایی می‌باشد که باید مورد توجه قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها به کمبود آزمایش‌های استاندارد برای خواص فیزیکی مربوط می‌شود. برای اینکه بتوان خواص بتن خودمتراکم را به طور دقیق معین کرده و از کیفیت آن اطمینان حاصل شود وجود استانداردهای که قابل قبول و قابل کاربرد توسط بخش صنعت باشد مورد نیاز است. همچنین که با توجه به اطلاعات کم (به جز تحقیقات انجام شده توسط سازندگان مواد افزودنی) و راه کوتاه پیموده شده موانع در مصرف بتن خودمتراکم در آینده نزدیک هم چنان موجود می‌باشد.

یکی دیگر از محدویت‌های تولید بتن خودمتراکم را قیمت بالای مصالح ساختمانی به وجود می‌آورد. نه تنها قیمت بالای موادافزودنی بلکه قیمت آزمایش‌های کنترل‌کیفیت مورد نیاز بتن و ریزدانه‌ها نیز در بالابردن قیمت مؤثرند. به هر حال، سود در تقلیل نیروی کار نیز محتمل می‌باشد.

زمان اختلاط نیز مانند کار نهایی طولانی‌تر خواهد بود. جنبه‌های فیزیکی دیگر بتن خودمتراکم که می‌تواند برای سازندگان بتن پیش‌ساخته[۳۰] مشکل‌ساز باشد باید مورد توجه قرار گیرد. نظر به اینکه بتن خودمتراکم ذاتاً به خودی خود تراز می‌شود، پر کردن قابی که تراز نباشد می‌تواند مشکلات قابل

توجهی را به وجود آورد. همچنین به علت مایع بودن بتن خودمتراکم ، چکه‌کردن قطره، در قالب‌هایی که به طور کامل مهر و موم نشده باشند می‌تواند مشکل به وجود آورد. از طرف دیگر به خاطر طبیعت *Thixotrpic* بسیاری از مخلوط‌های بتن خودمتراکم ، چکه کردن قطره ممکن است یک مشکل مهمی به حساب آورده نشود [۱۸].

چشم‌انداز (آینده) بتن خودمتراکم در صنعت بتن پیش‌ساخته چنین به نظر می‌رسد که بتن خودمتراکم در بتن پیش‌ساخته نمایش کاملاً قوی از خود نشان نداده و برای همه جاها مناسب نمی‌باشد. روش صنعتی ویبره کماکان بکار گرفته می‌شود، یک کاربر بتن پیش‌ساخته باید اطلاع دقیقی از ترکیب و پیچیدگی تعویض کاربرد بتن معمولی به بتن خودمتراکم داشته باشد تا بتواند در کاربرد آن موفق باشد. علیرغم وجود آزمایش های استاندارد مطمئن، دوام طولانی‌مدت خوب بوده و هیچ دلیلی برای غیرقابل پیش‌بینی بودن آن وجود نخواهد داشت رویهم رفته بعضی از مواد بکار برده‌شده بتن خودمتراکم کنونی درگذشته به کار برده می‌شده و دارای سابقه می‌باشد. این تکنولوژی همچنان در حال تکمیل شدن است و هیچ کس دقیقاً نمی‌داند به کجا خواهد رفت.

۲-۷-آزمایش بتن خودمتراکم تازه

در حال حاضر معیار جهانی استانداردی برای پذیرش بتن خودمتراکم وجود ندارد. با این وجود روش‌های متفاوتی برای آزمایش بتن خودمتراکم پیشنهاد شده‌است که متأسفانه هیچ یک نتوانسته است سه خاصیت کلیدی مواد به شرح زیر را به درستی اندازه‌گیری نماید با این وجود چند آزمایش که بارها در گزارشات تکرار شده‌اند به عنوان آزمایشات مورد قبول برای سنجش ویژگی‌های بتن تازه خودمتراکم در نظر گرفته می‌شود.

خواص اصلی بتن تازه به شرح زیر می‌باشد:

- توانایی جاری شدن در قالب[۳۱]

۲- توانایی گذشتن آزادانه از بین آرماتورها[۳۲]

۳- مقاومت در برابر جدا شدن از هم[۳۳]

بعضی از روش‌های جدید پیشنهادی برای آزمایش بدین‌صورت خلاصه شده است.

۲-۷-۱-آزمایش روانی اسلامپ[۳۴]، T50

رفتار روانی بتن خودمتراکم را به صورت تقریبی می توان با انجام تست افت (اسلامپ وT50) مورد ارزیابی قرار داد. این روش هنوز بهترین روش تعیین قابلیت پرکنندگی بتن‌تازه می‌باشد، ولی آزمایش اسلامپ و T50 به خودی خود برای تعیین مناسب بودن عملکرد بتن در مقابل جدایی دانه‌ها کافی نیست.

آزمایش اسلامپ برای مقایسه با معیارهای هدف طرح اختلاط می‌باشد ولی برای یک مصرف‌کننده با تجربه می‌تواند نشان‌دهنده کیفیت بتن در رابطه با جداشدگی و پرکندگی سنگدانه‌ها نیز باشد.

برای بتن خودمتراکم ما نیاز به پخش‌شدگی نهایی بالا و حداکثر زمان افت بتن داریم. دستور العمل‌هایی برای انجام آزمایش افت جریان بتن و T50.

۲-۷-۱-۱- اصول آزمایش

بتن‌تازه به داخل یک قالب به شکل مخروط ناقص ریخته می‌شود وقتی که مخروط به سمت بالا کشیده می‌شود فاصله‌ای که بتن پخش می‌شود، اندازه غلظت بتن را نشان می‌دهد.

1-Filling Ability
2-Passing Ability
3-Resistance to Segregation
4-Slump Flow

۲-۷-۱-۲- وسایل مورد نیاز

- **قالب**: قالب شکل دهنده نمونه از فلز ساخته‌شده و از قبل به خمیر سیمان آلوده نشده‌است. داخل قالب باید صاف و فاقد هر نوع زائده، از قبیل پرچ و بیرون‌زدگی و فرو رفتگی یا دندانه باشد. قالب به شکل یک مخروط ناقص به ابعاد داخلی زیر می باشد:

قطر قاعده بزرگ (پایین): ۲۰۰ ± ۲mm

قطر قاعده کوچک (بالا): ۱۰۰ ± ۲mm

ارتفاع: ۳۰۰ ± ۲mm

بالا و پایین قالب باز و موازی یکدیگر و عمود بر محور می‌باشند. برای قالب باید دو دستگیره نزدیک به بالا و گیره نگهدارنده یا قطعاتی در پایین قالب، نزدیک به کف برای نگهداری ثابت قالب تعبیه شود. یک قالب که بتواند به صفحه پایه با گیره وصل شود قابل قبول است، به شرط اینکه باز کردن گیره باعث حرکت قالب نشود و تداخلی در اندازه گیری افت بتن پیش نیاورد.

- **صفحه زیری:** که صفحه‌ای غیرجاذب و سخت و مسطح با مرکز قطر ۵۰ سانتیمتر می‌باشد که روی آن علامت‌گذاری شده است و قالب بروی آن قرار می‌گیرد.

- **پارچه**

- **خط کش**: یا متر به طول حداقل یک متر.

- **وسیله اندازه‌گیری زمان**[۳۵] : زمان‌سنج که قادر به اندازه‌گیری زمان با دقت یک ثانیه باشد.

۲-۷-۱-۳-روند انجام آزمایش

باید مطمئن شد که صفحه زیرین، افقی و دارای سطحی صاف است و مرکز واحد آن با قطر ۵۰۰ میلیمتر روی صفحه علامت‌گذاری شده است. یک نوع از این صفحه، باید هم در کارخانه بتن‌سازی و هم در کارگاه بکار رود، زیرا جنس سطح این صفحه می‌تواند در نتیجه کار موثر باشد.

صفحه زیرین و مخروط، ابتدا باید توسط آب تمییز و سپس با پارچه خشک شود در این حالت، باید هر دو آنها خیس ولی بدون آب آزاد باشند.

سپس مخروط در مرکز صفحه قرار داده شود.

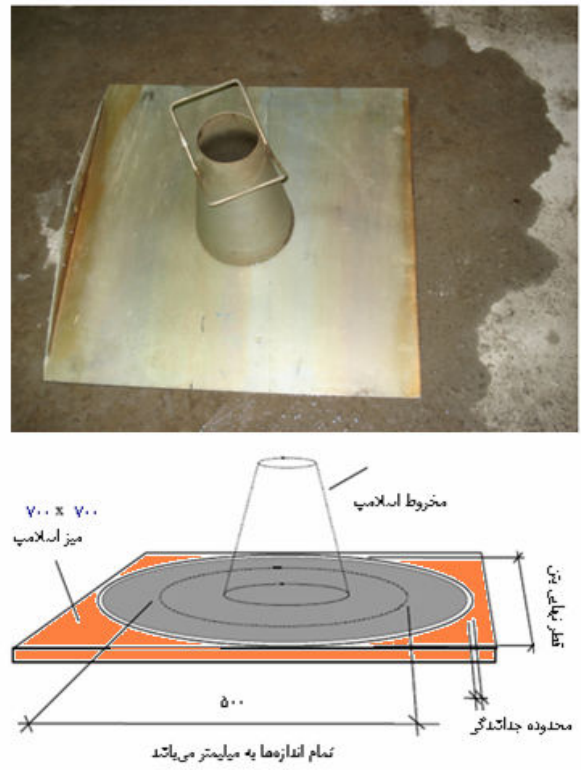
در حالیکه مخروط بروی صفحه زیرین فشار داده می‌شود، مخروط از بالا، از بتن پر می‌شود.

اطمینان حاصل شود که مخروط به صورت عمودی بالا بیاید، زمان‌گیری از هنگامی که مخروط افت شروع با بالاآمدن می‌کند انجام شود.

۲-۷-۱-۴-نتایج آزمایش

تا رسیدن قطر بتن به ۵۰ سانتیمتر، زمان اندازه‌گیری شود (T50).

زمانی که جریان بتن متوقف شد، قطر نهایی بتن[۳۶]، با اندازه‌گیری میانگین دو قطر بیشینه و کمینه در محدوده بتن اندازه‌گیری می شود. شکل ۲-۸ ملاحظه شود .



شکل ۲-۸ آزمایش روانی اسلامپ

توجه شود که آیا سنگدانه‌های درشت به محیط پیرامونی حمل شده‌اند یا خیر؟

اگر سنگدانه‌ها به طور یکنواخت در خمیر سیمان پراکنده نباشند، جداشدگی اتفاق افتاده است .

۲-۷-۱-۵-گزارش آزمایش

گزارش آزمایش باید شامل موارد زیر باشد:

- مشخصات نمونه آزمایش.
- موقعیت اجرای آزمایش.
- تاریخ اجرای آزمایش.
- زمان T50 اندازه‌گیری شده.

- **اندازه قطر نهایی بتن.**
- **یاداشتی مبنی بر اینکه مرز جداشدگی دانه مشاهده شده است.**
- **هر گونه انحراف از روند انجام آزمایش.**
- **اظهار نظر مسئول اجرای آزمایش.**

۲-۷-۱-۶-ارزش‌های قابل قبول پیشنهادی

معیار معمولی برای این آزمایش عبارت اند از:

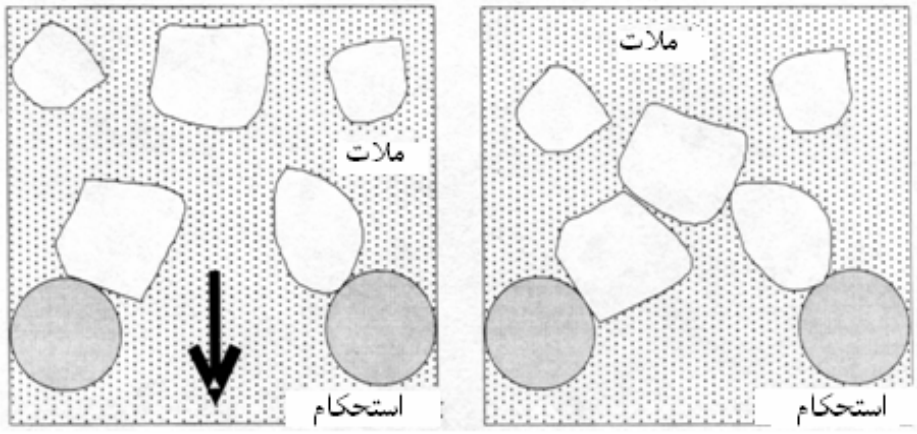
برای بتن ساختمانی : T50<5 (s)

برای بتن سازه‌ای: 60 cm> قطر نهایی بتن

از نقطه نظر عملی، یک پخش‌شدگی یکنواخت، برای نشان‌دادن عدم جداشدگی دانه‌ها کافی نمی‌باشد و به عبارتی، افت جریان بدون وجود بتن با یک هاله‌ای از ملات برای کسب اطمینان از جدایی دانه‌ها ناکافی می‌باشد، ولی وجود بتن با یک هاله‌ای از ملات در جریان انجام آزمایش اسلامپ باید مردود گردد، این نتایج باید در طرح اختلاط لحاظ گردد [۱۹].

۲-۷-۲- آزمایش L-BOX

همانطوری که در بخش معرفی بتن خودمتراکم شرح داده شد، فقط وجود یک سیالیت بالا برای بتن خودمتراکم کافی نیست، و در حقیقت وقتی بتن در نزدیک یک مانع جریان می‌یابد سنگدانه‌های درشت ممکن است توسط مانع متوقف شده و شروع به بریدن ملات بتن نمایند در نتیجه اگر ملات خوب طراحی نشده باشد سنگدانه‌های درشت تمایل به تشکیل یک طاق پیدا می‌کنند وجریان بتن را مانند شکل (۲-۹) متوقف می‌نمایند. برای اندازه‌گیری قابلیت عبور و پرکنندگی بتن‌تازه، از آزمایش L-BOX استفاده می‌شود که شرح و دستورالعمل آن به صورت زیر می‌باشد:



شکل ۲-۹ تشکیل طاق هنگام عبور جریان بتن از ناحیه متراکم

۲-۷-۲-۱- اصول کلی آزمایش

بتن‌تازه در قسمت عمودی L-BOX ریخته می‌شود و زمانی که دریچه لغزنده آن بالا می‌رود، بر اساس پارامترهایی که در ادامه شرح داده خواهد شد، امکان اندازه‌گیری قابلیت‌های پرکنندگی و عبور بتن را فراهم می‌آورد.

۲-۷-۲-۲-وسایل مورد نیاز

- **جعبه ال-شکل،** شکل (۲-۱۰) که از مواد غیر جاذب و سخت ساخته شده است. فاصله بین آرماتورها ۳۴mm برای بتن ساختمانی می‌باشد، ولی قابل تغییر به اندازه‌های دیگر نیز با توجه به فاصله آرماتورها در سازه می‌باشد. جعبه L شکل باید قابلیت باز و بسته‌شدن را به آسانی جهت تمییزکردن سطح داخلی بعد از اجرای آزمایش را داشته‌باشد. بنابراین مهم است که سطح قالب که با بتن در تماس است، با مواد روغنی روغنکاری شود.

همچنین امکان باز کردن قالب L-BOX بعد از سفت شدن بتن نیز وجود دارد. . با بریدن بتن سفت شده و رویت سطح مقطع آن اطلاعات قابل ارزشی می‌توان کسب نمود.

- **پارچه**

- **متر**: یا خط کش مدرج

- **تایمر**: یا ساعت با قابلیت اندازه‌گیری تا یک ثانیه

۲-۷-۲-۳-روند انجام آزمایش

قسمت عمودی جعبه، با قسمت اضافی سوار شده بر آن توسط ۱۲/۷ لیتر بتن پر می‌شود. اجازه داده می‌شود تا بتن ریخته شده در قسمت عمودی، به اندازه یک دقیقه باقی بماند و سپس دریچه لغزنده بالا برده می‌شود. بتن اکنون از قسمت عمودی به قسمت افقی جعبه ال- شکل جریان می‌یابد در مسیر خود بتن مجبور است از میله‌های آرماتور عمودی عبور نماید.

۲-۷-۲-۴- نتایج آزمایش

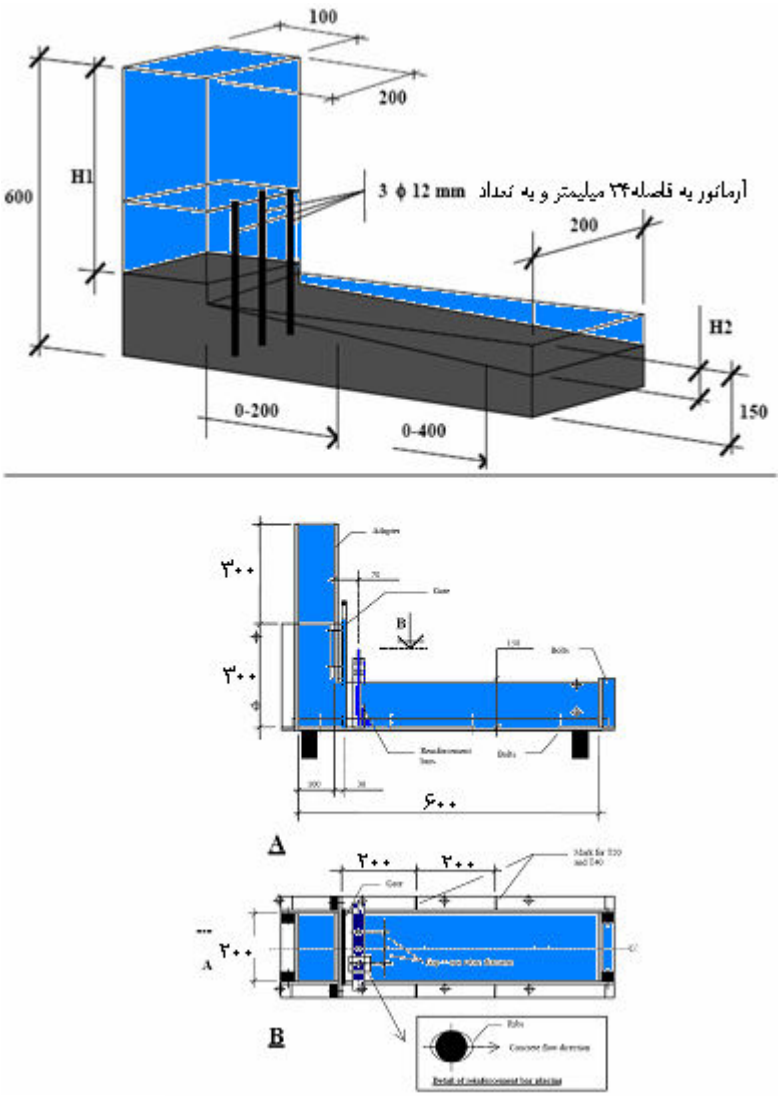
بعد از اینکه دریچه لغزنده بالا رفت پارامترهای زیر اندازه گیری می‌شوند:

- زمان رسیدن ابتدای بتن در قسمت افقی به فاصله ۲۰۰ میلیمتر (T20) که روی جعبه ال-شکل علامت‌گذاری شده است (مشخص شده در شکل (۲ -۱۰).

- زمان رسیدن ابتدای بتن در قسمت افقی به فاصله ۴۰۰ میلیمتر (T40) که روی جعبه ال-شکل علامت‌گذاری شده است (مشخص شده در شکل(۲ -۱۰).

- زمانی که بتن متوقف شد فواصل $h_۲$، $h_۱$ اندازه‌گیری می‌شوند.

- محاسبه $h_۲ / h_۱$



شکل ۲-۱۰ آزمایش جعبه L شکل

هر دو قابلیت جداشدگی سنگدانه‌ها و قابلیت عبور، به وسیله چشم قابل رویت می‌باشند. اگر بتن یک پله در جلو ردیف آرماتورها تشکیل دهد، نشان می‌دهد که بتن مسدود شده است و یا دچار جداشدگی سنگدانه‌ها گردیده است. قابلیت عبور معمولا خود را با جمع‌شدن مصالح در بین میله آرماتورها نشان می‌دهد. اگر مصالح درشت‌تر در کل سطح بتن تا پایان قسمت افقی پراکنده شوند، این بتن می‌تواند به عنوان یک بتن یکنواخت باشد.

۲-۷-۲-۵-گزارش آزمایش

گزارش آزمایش باید شامل موارد زیر باشد:

- مشخصات نمونه آزمایش شده.
- موقعیت اجرای آزمایش.
- تاریخ اجرای آزمایش.
- $T_{۲۰}$
- $T_{۴۰}$
- $h_۱$
- $h_۲$
- محاسبه ارزش قابلیت عبور، $h_۲/h_۱$
- یاداشت مبنی بر وجود مسدودشدگی و یا جدایی سنگدانه‌ها.
- هر گونه انحراف از روند انجام آزمایش.
- اظهار نظر مسئول فنی انجام آزمایش

۲-۷-۲-۶- ارزش‌های قابل قبول پیشنهادی

ارزش قابلیت عبور($h_۲/h_۱$)، به طور معمولی ۰/۸ تا ۱ می باشد. ولی ارزش کمتری مانند ۰/۶ بعضی مواقع دیده شده است که نتایج قابل قبولی را در سازه واقعی داده است. به این دلیل یک نسبت مناسب برای قابلیت عبور در هنگام تهیه طرح اختلاط باید تعیین و برای اجرای کار واقعی بتن‌ریزی داده شود. همچنین برای $T_{۴۰}$ و $T_{۲۰}$ معیاری مشخص نشده است [۱۹].

۲-۷-۳- آزمایش stability sieving (GTM)

به دلایلی که در قسمت‌های قبل شرح داده شد، برای بدست آوردن ترکیبی یکنواخت باید از جداشدگی دانه‌های درشت و آب‌انداختن اجتناب شود. جداشدگی سنگدانه‌های درشت می‌تواند با انجام آزمایش stability sieving که توسط گروه GTM پیشنهاد گردیده است، مورد ارزیابی قرار گیرد و یا بجای آن با اندازه‌گیری فاصله میانگین دو سنگدانه‌ها با قطر بیش از ۸ میلیمتر، که در نزدیکی سطح بتن در یک نمونه استوانه‌ای ۳۰×۱۵ساتیمترکه بدون متراکم‌کردن، بعد از سخت‌شدن شکسته شده، واقع هستند می توان جدایی دانه‌ها را اندازه گرفت. این آزمایش با هدف طبقه‌بندی انواع مختلف بتن‌های خودمتراکم ، با تاکید بر جدایی سنگدانه‌ها انجام می‌شود و این آزمایش، آزمایش‌های جریان اسلامپ و L-box را که برای تخمین قابلیت پرکنندگی در فضای باز و یا محیط بسته انجام می‌شود را با مشخص‌کردن قابلیت جداشدگی تکمیل می‌کند. این آزمایش می‌تواند در آزمایشگاه در زمان تکمیل‌نمودن یک طرح اختلاط بتن و همین‌طور در کارگاه در زمان تحویل بتن انجام بگیرد.

در هنگام طراحی یک طرح اختلاط، این آزمایش، پایداری بتن در مقابل جداشدگی دانه‌ها و آب‌انداختن بتن را کنترل می نماید. (تغییر درصد آب نباید در ایستایی اختلاط اثر بگذارد) [۱۹].

در این مرحله فقط لازم است تا آزمایش stability sieving برای مقادیر مختلف آب بالاتر و کمتر از مقدار هدف انجام و نتایج بدست آمده آنها یاداشت شود.

از منحنی بدست آمده و از معیارهای مشخص شده در زیر با استفاده از متوسط مقادیر stability sieving محدوده‌ای از درصد آب و محدوده‌ای از جریان افت را می‌توان بدست آورد که رفتار خوب اختلاط را، در مقابل جداشدگی دانه‌ها و آب‌انداختن بتن تضمین می‌نماید.

و اینک شرح و دستورالعمل آزمایش stability sieving (GTM): [۱۶]

۲-۷-۳-۱-اصول کلی آزمایش

بتن‌تازه پس از ۱۵ دقیقه توقف در یک سطل، به داخل سرند ریخته می‌شود. بتن عبوری اندازه مقاومت در برابر جداشدگی سنگدانه‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۷-۳-۲- وسایل مورد نیاز برای آزمایش

سطل۱۰ لیتری یا بیشتر با درب و سرند با شبکه ۵ میلیمتر و همراه جمع‌کننده تحتانی، با قطر ۳۵۰ میلیمتر و ترازو با دقت۲۰ گرم و حداقل بار ۲۰کیلوگرم.

۲-۷-۳-۳-روش انجام آزمایش

در آزمایشگاه۱۰ لیتر از اختلاط برداشته شده و به طور مستقیم به داخل سطل ریخته می‌شود. زمان بین مخلوط‌کردن و برداشتن بتن نباید از ۳۰ ثانیه تجاوز نماید.

در کارگاه قبل از برداشتن نمونه از اختلاط آماده برای تحویل توسط تراک‌میکسر، اختلاط باید ابتدا با بالاترین سرعت دورانی تراک‌میکسر در طول یک دقیقه مخلوط شود و سپس نمونه جانشین۱۰ لیتری، بتنی است که از سرسره تراک به داخل سطل ریخته می‌شود. در کارگاه مجهز به کارخانه بتن‌ساز که بتن توسط بالابر ریخته می‌شود، نمونه جانشین شامل ۱۰ لیتر بتنی است که از بالای بالابر، توسط یک کمچه برداشته شده و در سطل ریخته می‌شود.

۲-۷-۳-۴-مراحل انجام آزمایش

- پوشاندن سطل به منظور اجتناب از خشک شدن بتن.
- توقف برای ۱۵ دقیقه.
- وزن کردن مخزن جمع کننده تحتانی و سرند در حالت خالی بودن.
- وزن کردن مخزن جمع کننده تحتانی به تنهایی.

- گذاشتن مخزن جمع کننده تحتانی و سرند بر روی دستگاه توزین.
- کم کردن وزن ظروف.
- کنترل وجود آب تمیز بر روی سطح بتن داخل سطل بعد از ۱۵ دقیقه.
- ۴/۸ کیلوگرم از بتن در قسمت وسط الک ریخته شود.
- وزن واقعی نمونه یاداشت شود.
- پس از سپری شدن دو دقیقه مرحله بعدی انجام می شود.
- کم کردن وزن ظرف.
- بعد از آن مخزن جمع کننده تحتانی، همراه با محتویات آن وزن می شود.

۲-۷-۳-۵-نتایج آزمایش

نسبت r محاسبه شود:

وزن نمونه / وزن مواد عبوری ×۱۰۰=r

۲-۷-۳-۶-گزارش آزمایش

گزارش آزمایش باید مشتمل بر موارد زیر باشد:

- مشخصات نمونه آزمایش.
- موقعیت اجرای آزمایش.
- تاریخ اجرای آزمایش.
- نسبت r اندازه گیری شده.

هر نوع انحراف از روند انجام آزمایش

- اظهار نظر مسئول فنی انجام آزمایش.

۲-۷-۳-۷- ارزش های قابل قبول پیشنهادی

جدول ۲-۵ معیارهای پیشنهادی در آزمایش GTM

طبقه بندی مقاومت در مقابل جدایی دانه‌ها	حدود r
مقاومت بالا در مقابل جدایی دانه‌ها ،احتمال ایجاد حباب هوا در سطح بتن سخت شده	۰٪<٪r <۵٪
مقاومت رضایت بخش در مقابل جدایی دانه‌ها	۵٪<٪r <۱۵٪
مقاومت در مقابل جدایی دانه‌ها در حاشیه قالب همچنان خطر جدا شدگی دانه‌ها وجود دارد	۱۵٪<٪r <۳۰٪
مقاومت بسیار ناچیز در مقابل جدایی دانه‌ها، بتن ناپایدارمی باشد و غیر قابل قبول	٪r <۳۰٪

البته معیار گفته شده، فقط برای بتن خودمتراکم در قسمت‌های عمودی و افقی داده شده است و بعضی از ارزش‌های محدودکننده باید هنگام بتن‌ریزی در کف و دال‌ها مشخص شود.

۲-۷-۴-آزمایش U-BOX

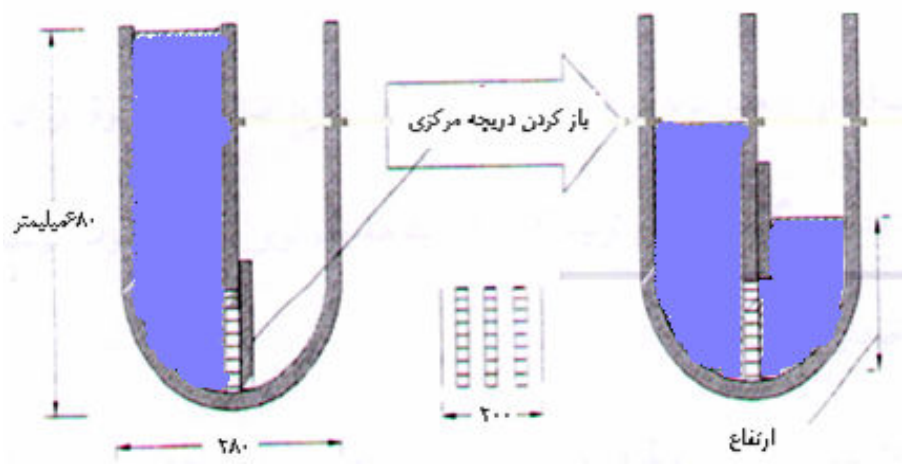
آزمایش U-box توسط گروه تایسی (هایاکاوا ۱۹۹۳)[۳۷] ابداع گردید. این آزمایش به منظور ارزیابی قابلیت پرکنندگی بتن خودمتراکم صورت می‌گیرد عموما در محل دریچه میانی دو قسمت ، میلگردهایی با قطر ۱۳ میلیمتر با فاصله ۵۰ میلِمتر از هم قرار می‌گیرند

۲-۷-۴-۱-روش انجام آزمایش

حدود ۲۰ لیتر بتن مورد نیاز است. دستگاه را در حالت متعادل روی یک سطح صاف قرار دهید اطمینان حاصل کنید که درب کشویی دستگاه به راحتی باز و بسته می شود و سپس آنرا ببندید. بدنه داخلی دستگاه را مرطوب کنید و هرگونه آب اضافی را خارج کنید. یکی از دهلیزهای دستگاه را از بتن

1-Taisei Group (Hayakawa 1993)

پرکرده و یک دقیقه به حال خود رها کنید. حال درب‌کشویی را کشیده و اجازه دهید بتن آزادانه به قسمت دیگر وارد شود. وقتی بتن به حالت استراحت در آمد ، ارتفاع آنرا در قسمتی که ابتدا پر شد ، در دو نقطه اندازه‌گیری نمایید و میانگین آنرا h_1 بنامید .ارتفاع بتن را در قسمت دیگر به همین روش اندازه‌گیری کرده و آنرا h_2 بنامید . اختلاف ارتفاع h_1-h_2 ، ارتفاع پرکنندگی لقب دارد .تمام آزمایش باید در ۵ دقیقه انجام شود .



شکل ۲-۱۱ آزمایش جعبه U شکل

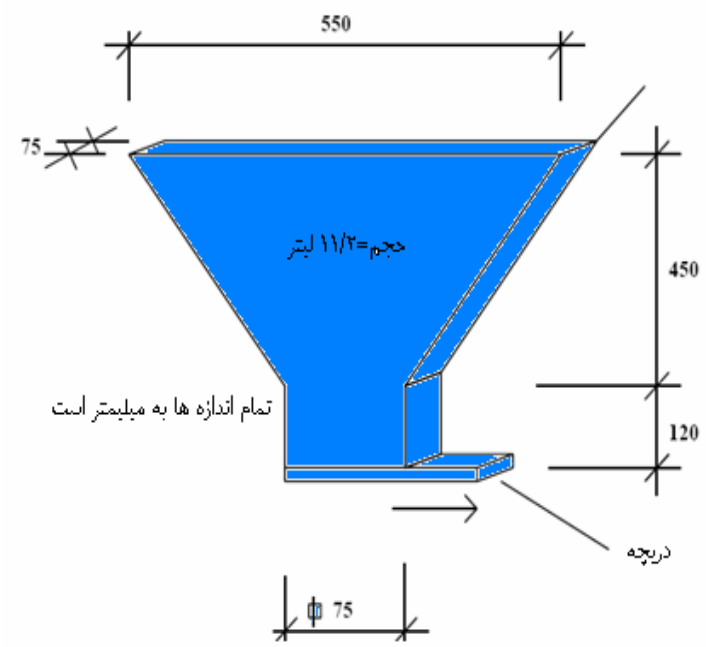
۲-۷-۵-آزمایش قیف[۳۸] V

این آزمایش به منظور اندازه‌گیری قابلیت پرکنندگی بتن با حداکثر اندازه دانه‌ای ۲۰ میلیمتر بکار می‌رود . زمان لازم برای جریان پیداکردن بتن از میان دستگاه اندازه‌گیری شده، و باید حدود تغیرات این زمان بین ۶ تا ۱۲ ثانیه باشد.

۲-۷-۵-۱-روش انجام آزمایش قیف V

حدود ۱۲ لیتر بتن برای انجام آزمایش لازم است. قیف V را به صورت متعادل روی زمین قرار داده و محکم کنید .سطح درونی قیف را تر کنید .درب زانویی دستگاه را باز کنید تا هر گونه آب مازاد تخلیه

شود درب زانویی را بسته و سطلی زیر آن قرار دهید .دستگاه را کاملا از بتن پر کنید.هیچ گونه فشرده کردن ،پر کردن حفره‌ها یا ضربه زدنی به بدنه دستگاه بوسیله بیلچه نباید صورت گیرد .۱۰ ثانیه پس از پرشدن کامل دستگاه ، درب زانویی را باز کنید تا بتن تحت وزن خود به بیرون جریان یابد زمان‌سنج را هنگام بازکردن درب زانویی فعال کنید و زمان تخلیه کامل را ثبت نمایید. این زمان مربوط به آزمایش قیف V می‌باشد. زمان‌سنج هنگامی متوقف می‌شود که بتوان نور را از بالای دستگاه از دریچه تخلیه دید همه آزمایش باید در ۵ دقیقه انجام گیرد.



شکل ۲-۱۲ آزمایش قیف V شکل

۲-۷-۶-حلقه[۳۹] J

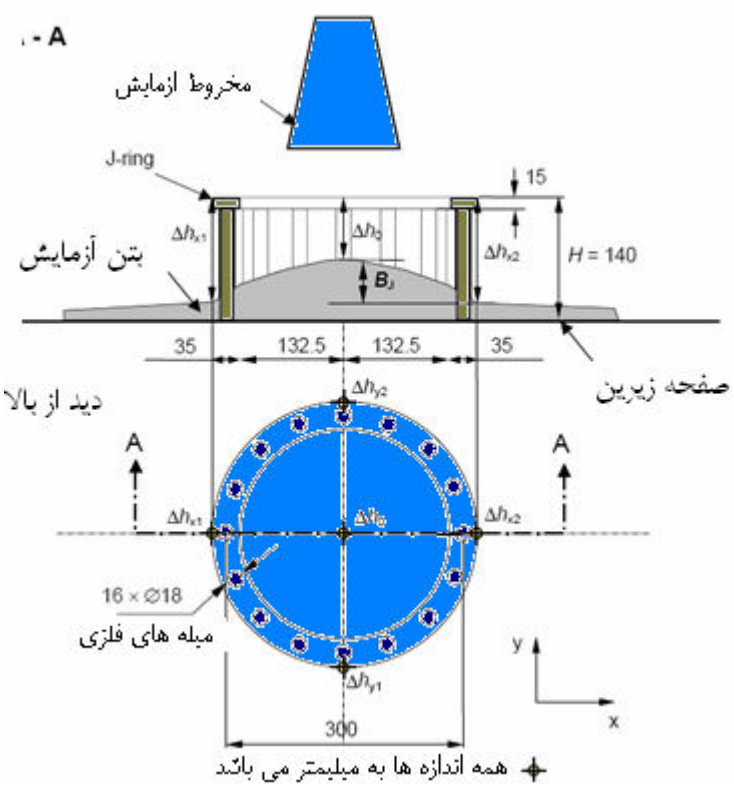
این آزمایش جهت اندازه‌گیری قابلیت گذرندگی بتن بکار می‌رود در حلقه‌ی نشان داده شده در شکل ، قطر و فاصله میان میلگردها اختیاری است طبق توافقات برای آرماتورهای معمولی ۳ برابـر بزرگتـرین اندازه دانه سنگی برای فاصله میان میلگردها منظور می‌شود .قطر حلقه‌ی میلگرد عمودی ۳۰۰

میلیمتر و ارتفاع میلگردها ۱۰۰ میلیمتر می‌باشد . نتایج آزمایش حلقه‌ی J می‌تواند مکمل مناسبی برای آزمایش‌های جریان اسلامپ ، اریمت و قیف V می‌باشد. این آزمایش‌های

ترکیبی توانایی جریان‌یابی و گذرندگی بتن را کنترل می‌کنند پس از اتمام آزمایش ، اختلاف ارتفاع بتن درون و بیرون حلقه J اندازه گیری شود. این مقدار نشانه‌ای برای قابلیت گذرندگی و یا درجه‌ای است که نشان می‌دهد چه حدودی از فاصله بین میلگردها برای عبور بتن قابل استفاده است.

۲-۷-۶-۱-روش انجام آزمایش

حدود ۶ لیتر بتن برای انجام آزمایش مورد نیاز می‌باشد. صفحه‌ی فلزی درون مخروط را تر کنید. صفحه‌ی فلزی را روی یک سطح محکم قرار دهید. حلقه‌ی J را در مرکز صفحه‌ی فلزی قرار دهید سپس مخروط اسلامپ را در مرکز آن نهاده و محکم کنید. مخروط را با پیمانه از بتن پر کنید. از هر گونه ضربه زدن به مخروط جلوگیری شود.مخروط را بطور عمودی بالا کشیده و اجازه دهید بتن آزادانه خارج شود . قطر بتن پهن شده را در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری نموده و میانگین آنها را به عنوان قطر نهایی و بر حسب میلیمتر ثبت نمایید. اختلاف ارتفاع بتن را درون و بیرون حلقه ی میلگردها در ۴ نقطه اندازه گیری نموده و میانگین آنها را به عنوان اختلاف ارتفاع نهایی ثبت کنید.



تصویر ۲-۱۳ آزمایش حلقه J شکل

۲-۷-۷-نکاتی در رابطه با آزمایش های بتن خودمتراکم تازه

✓ کاربرد آزمایش‌های مختلف بر روی بتن خودمتراکم تازه در جدول (۲-۶) خلاصه شده است.

جدول ۲-۶ خلاصه کاربرد آزمایش های مختلف بتن خود متراکم[۲۲]

روش های آزمایش	قابلیت حرکتی	توانایی عبور	بررسی جدایی دانه‌ها	سنجش لزجت
SLUMP FLOW	مناسب ترین	غیر قابل	تا حدودی مناسب	غیر قابل استفاده
T50	غیر قابل	غیر قابل	غیر قابل استفاده	تا حدودی
L-BOX	غیر قابل	مناسب ترین	تا حدودی مناسب	تا حدودی
GTM stability sieving	غیر قابل	غیر قابل	مناسب ترین	غیر قابل استفاده
U-BOX	تا حدودی	تا حدودی	غیر قابل استفاده	غیر قابل استفاده

- ✓ چون بتن خودمتراکم نسبت به تغییرات مصالح به خصوص رطوبت مصالح حساسیت دارد، لذا مصالح باید نسبت به بتن سنتی به دفعات بیشتری آزمایش شود.

شرایط پذیرش در ده آزمایش برای بتن خودمتراکم تازه در جدول (۲-۷) خلاصه شده است.

جدول ۲-۷شرایط پذیرش برای بتن خود متراکم[۲۲]

ردیف	روش آزمایش	واحد	حدود تغیرات اندازه ها	
			حد اقل	حد اکثر
۱	جریان اسلامپ	mm	۶۵۰	۸۰۰
۲	جریان اسلامپT50cm	sec	۲	۵
۳	حلقهJ	mm	۰	۱۰
۴	قیفV	sec	۶	۱۲
۵	قیف V T5min	sec	۰	+۳
۶	جعبه L	h_2/h_1	۰/۸	۱
۷	جعبه U	h_2-h_1	۰	۳۰
۸	جعبهFill	%	۹۰	۱۰۰
۹	غربال سنجش پایداری GTM	%	۰	۱۵
۱۰	اریمت	sec	۰	۵

۲-۸-الیاف

هر چند که از بدو پیدایش بتن ، تحول اندکی در آن بوجود آمده ، لکن طیف وسیع کاربرد بتن عملاً بیانگر این مطلب است که مزایای بیشماری که این مصالح از آن برخوردار است ، سایر موارد آنرا تحت الشعاع قرار می‌دهد.

در طراحی یک پروژه ، بکارگیری مصالح مناسب ، مقاوم و ارزان از مهمترین وظایف یک مهندس به

حساب می‌آید. یکی از مهمترین و ارزانترین مصالح موجود که در دنیا کاربرد وسیعی دارد ، بتن است . مزایایی که بتن از آن برخوردار است باعث شده که مورد علاقه اکثر مهندسین ، طراحان و کارفرمایان باشد. از عمده‌ترین مزایای بتن ، امکان بکارگیری آن در اغلب مناطق جغرافیایی ، استفاده از مصالح طبیعی و ارزان ، دارا بودن هزینه کم در مقایسه با حجم زیاد عملیات ، شکل پذیری آن با توجه به اشکال هندسی طرح ، امکان مکانیزه‌کردن عملیات ، عدم نیاز به نگهداری پر خرج بنا در طول عمر بهره برداری و ... است.

بکارگیری بتن غیرمسلح بعلت تردی[۴۰] آن بغیر از سازه‌های وزنی عملاً کاربرد چندانی ندارد. این عیب عمده بتن درعمل ، با مسلح‌کردن آن بوسیله میله‌های فولادی یا آرماتور برطرف می‌گردد . اما از آنجائی که آرماتور منحصراً بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می‌دهد ، تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع ایزوتروپ و هموژن است ، چندان صحیح نخواهد بود. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و نیز کاهش ضعف شکنندگی و تردی جسم بتن تا حد ممکن، در چند دهه اخیر از رشته‌های نازک و نسبتاً درازی که در تمام حجم بتن ، بطور همگن و در هم پراکنده می‌گردد ، استفاده می‌شود [۱۰].

کاربرد اینگونه رشته‌ها یا الیاف[۴۱] در بتن و بطور کلی در ملات‌ها قدمت تاریخی دارد. انواع الیافی که در ربع قرن اخیر بطور وسیع در بتن و ملات‌های سیمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. الیاف شیشه‌ای[۴۲]، پلی‌اتیلن[۴۳] ، فولادی[۴۴]، آزبست[۴۵] و نایلونی[۴۶] می‌باشد که اثر هر یک از انواع الیاف بر خواص و تکنولوژی بتن مبحث جداگانه و طولانی را به‌خود اختصاص می‌دهد.

1-Brittel
2-Fiber
3-Glass Fiber
4-Polyethylene
5-Steel Fiber
6-Asbest
7-Nylon Fiber

کاربرد الیاف به منظور بهبود بخشیدن به خواص بتن ،کاربرد وسیعی را در سازه‌های بتنی و بتن‌مسلح پیدا کرده است.

اثرات مثبت کاربرد الیاف در بتن ، به شرح ذیل می باشد :

- افزایش مقاومت خمشی
- افزایش مقاومت برشی
- افزایش مقاومت کششی
- افزایش مقاومت در برابر بارهای دینامیکی بویژه بارهای ضربه‌ای
- افزایش در مقاومت مقطع در قبال ترک‌خوردگی
- افزایش در میزان جذب انرژی
- کاهش در میزان انقباض ، خزش و سایش سطحی[۵]

۲-۸-۱-تاریخچه الیاف : [۷]

در زمان‌های گذشته ، از الیاف جهت تقویت ملات‌های ترد و شکننده استفاده می‌شد که مشهورترین و پرطرفدارترین آن که به علت ارزانی قابل دسترسی بوده و هست « کاه » می‌باشد که برای تقویت آجرهای خشتی و ملات کاهگل در اندودها در قبال ترک‌خوردگی که بعد از خشک‌شدن بوجود می‌آید ، بکار رفته و در حال حاضر نیز ارزانترین نوع ملات در مناطق روستایی کشور است . از موی گوساله ، بز و یا موی دم‌اسب نیز برای تقویت مقاومت کششی، خمشی و ترک خوردگی ملات‌های گچی و ساروج در قرون گذشته بطور وسیع استفاده شده است و در حال حاضر از رشته‌های پنبه کوهی (آزبست) برای تقویت سیمان پرتلند استفاده می‌شود.

استفاده از کاه و مخصوصاً موی دم‌اسب و یا بز در بناهای قدیمی ایران بخصوص گنبدها سابقه طولانی

و تاریخی دارد که بصیرت و اطلاع صاحبان فن را در مورد خواص الیاف نشان می‌دهد. کاربرد الیاف

فولادی از اواسط قرن اخیر آغاز گردیده و تاریخ دقیقی در مورد استفاده از این روش در دسترس نیست و لیکن افراد مختلف با استفاده از روش‌های متفاوتی نظیر کاربرد تکه‌های سیم یا بریده‌های فلز در داخل بتن ، امتیاز این نوع روش را به نام خود به ثبت رسانده‌اند.

کاربرد گسترده بتن با الیاف فولادی از اواسط سال ۱۹۶۰ برای رو سازی جاده‌ها ، کف سالن‌های صنعتی، جداره کوره‌ها و .... انجام گرفته است [۷].

تجربیات بدست آمده از بتن‌الیافی ، با استفاده از الیاف فولادی با مصالح سنگی معمولی و سیمان پرتلند، عمدتاً در ایالات متحده بوده است . از کاربرد بتن‌الیافی مخصوصاً بتن با الیاف فولادی در ایران هیچگونه اطلاعی در دست نیست و تنها مورد کاربرد بتن‌الیافی در سرریز سد امیرکبیر است که آنهم توسط شرکت‌های خارجی در حد محدودی اجرا شده است.

مهمترین الیافی که بطور وسیع استفاده می‌شود الیاف شیشه‌ای است که تجارب کاربرد این نوع الیاف همزمان با شوروی و انگلستان در سال ۱۹۵۰ در آمریکا آغاز شد.

کاربرد این تکنیک عمدتاً با استفاده از عمل اسپری الیاف شیشه‌ای و خمیر پرمایه سیمان از دو مجرا که بطور همزمان بر روی یک سطح پاشیده می شود انجام می‌گیرد . بعد از این عمل با استفاده از غلتک و یا ماله‌های لرزان هوای داخل جسم خارج شده و ترکیب خمیر سیمان و الیاف شیشه‌ای تحکیم می‌گردد.

۲-۸-۲-انواع الیاف و الیاف فولادی :

از انواع الیافی که در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان الیاف پلاستیکی ، شیشه‌ای ، طبیعی را نام برد که در اشکال و اندازه‌های مختلف تولید می‌شود .

پارامتر مناسب که یک رشته از الیاف را تعریف می‌کند نسبت ظاهری[۴۷] می باشد که نسبت طول الیاف به قطر معادل الیاف است. (قطرمعادل الیاف،قطر دایره‌ای است که سطح آن برابر با مساحت سطح مقطع الیاف باشد.) مقدار نسبت‌های ظاهری (L/d) معمولاً بین ۳۰ تا ۱۵۰، به طول‌های ۰/۶ تا ۷/۵ سانتیمتر است . الیاف فولادی صنعتی معمولاً از نسبت L/d حداکثر تا ۱۲۵ برخوردار هستند . الیاف شیشه‌ای مخصوص (تارهای بریده شده) دارای قطرهایی بین ۰/۰۰۵تا ۰/۰۱۵ میلیمتر هستند که این نوع الیاف ممکن است در تولید عناصری با الیاف شیشه ای به یکدیگر اتصال یابند که در اینصورت قطر الیاف اتصال یافته به ۰/۰۱۳ تا ۱/۳ میلیمتر می‌شود.

از پلاستیک‌های مخصوصی نظیر نایلون ، پلی پروپیلن[۴۸]، پلی اتیلن[۴۹]، پلی‌استر[۵۰]، ریون[۵۱] نیز الیافی به قطرهای ۰/۰۲ تا ۰/۳۸ میلیمتر ساخته شده است[۱۶].

الیافی که از مواد طبیعی نظیر آزبست و کتان ساخته می‌شود اندازه‌های مختلفی دارند.

الیاف فولادی دارای شکل و قطرهای متفاوتی بوده و نحوه ساخت آن‌ها نیز متفاوت می‌باشد . الیاف فولادی که در حال حاضر در بازارهای جهانی موجود می‌باشند. عمدتاً براساس چهار روش زیر تولید می‌شود :

- الیاف سیمی[۵۲] : کشیدن و بریدن سیم‌های فولادی
- الیاف برشی یا نواری[۵۳] : نورد و برش ورق‌های فولادی
- الیاف ریخته‌گری[۵۴] : با استفاده از مواد مذاب

1-Aspect Ratio
1-Polypropylene
2-Polyethylene
3-Polyester
4-Rayon
5-Drawn and Cut Wire – Wire Fiber
6-Rolled and Sheared Sheets – Sheared Fiber
7-Molten Material – Melt – Extracted Fiber

- الیاف ماشینی : تراشیدن سطح ورق‌های فولادی با استفاده از دستگاه صفحه تراش

در روش اول و دوم الیاف تولیدی ، سطح مقطع دایره‌ای و یا مستطیلی دارند.

در روش ریخته‌گری ،الیاف با شکل هلالی و با سطوح صاف بدست می‌آید . الیاف فولادی که به طریقه ماشین‌کاری تولید می‌شود ، دارای شکل هلالی ، مثلثی ، تاب‌خورده و با یک سطح صاف و سطح دیگر زبر می‌باشند.

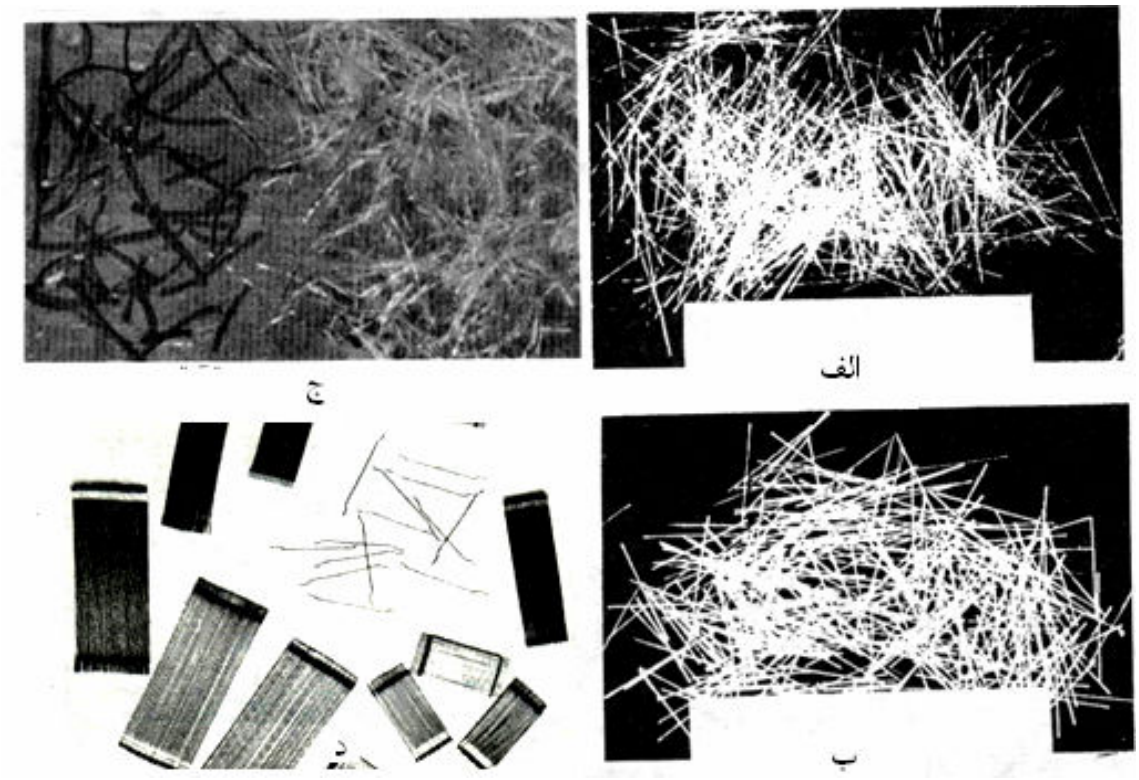
الیاف فولادی با مقطع دایره‌ای معمولاً در قطرهای ۰/۲۵ تا ۰/۸ میلیمتر هستند. الیاف با مقطع مستطیلی (نواری) نیز با ۰/۱۵ تا ۰/۵ میلیمتر ضخامت و ۰/۲۵ تا ۰/۹میلیمتر عرض تولید می‌شوند.

رشته‌های الیاف فولادی با مقطع دایره‌ای از جهت اینکه در حین کاربرد در یکدیگر درگیر نشوند، توسط بعضی تولیدکنندگان بصورت چسبیده بهم تولید می‌شود که عامل چسب طوریست که بعد از تماس با آب خاصیت خود را از دست داده و رشته‌های الیاف از یکدیگر جدا می‌شوند [۱۶].

الیاف فولادی با جنس‌های مختلف ، از لحاظ مقاومت کششی و همچنین بصورت ساده و راست و یا با قلاب انتهایی – به منظور افزایش تنش چسبندگی با بتن – ساخته می‌شود. در جدول (۲-۱۱) خواص انواع مختلف الیاف آورده شده است.

شکل ۲-۱۴ دو نوع الیاف فولادی حاصل از تراشه‌های فولادی

7-molten material_melt_extracted fiber



شکل ۲- ۱۵ الف) الیاف شیشه‌ای ضد قلیایی ب) الیاف پلی‌استر

ج) مقایسه الیاف فولادی و شیشه‌ای د) انواع الیاف فولادی

الیاف پلی پروپیلین

الیاف پلیمری به عنوان مسلح‌کننده ثانویه بتن یا ملات جهت کاهش جمع شدگی و کنترل ترک‌خوردگی و افزایش دهنده دوام در دراز مدت کاربرد دارد.

الف - موارد مصرف

الیاف پلی‌پروپیلین ، جهت کاهش ترک‌خوردگی ناشی از جمع شدگی در کلیه بتن‌ریزی ها می‌تواند مصرف گردد. همچنین موارد زیر را می توان اشاره کرد:

- بتن های کف سالن‌های صنعتی، اتوبان ها و فرودگاهها
- شاتکریت سازه‌های پوسته‌ای، تثبیت خاک و لاینینگ
- پلاستر کاری، سیمانکاری و نماسازی بتنی و سیمانی

- ترمیم کلیه سازه‌های نظامی و هسته‌ای

ب- خواص ویژه

الیاف پلی‌پروپیلین، از لحاظ شیمیایی دارای مواد بی‌اثر بوده و بدون هیچ مشکلی در محیط قلیایی بتن باقی می‌ماند و دارای خواص ویژه زیر می‌باشد:

- باعث افزایش مقاومت ضربه‌ای و سایشی بتن می‌گردد.
- نفوذپذیری را کاهش داده و موجب افزایش دوام می‌گردد.
- ترک‌های ریز و ناشی از جمع شدگی را کاهش می‌دهد.
- چسبندگی را افزایش‌داده و در شاتکریت میزان مواد برگشتی را کاهش می‌دهد.
- دچار خوردگی و فرسودگی نمی‌شود.
- از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد.

پ - مقدار مصرف

بسته به عملکرد موردانتظار جهت جایگزینی آرماتورهای حرارتی و جلوگیری از ترک‌خوردگی یا جمع‌شدگی زودرس و عملکرد مناسب و بهینه بین، ۰/۵ تا ۲ کیلوگرم در هر مترمکعب متغیر می‌باشد.

ت - روش مصرف

معمولاً الیاف در زمان ساخت و اختلاط بتن به همراه دیگر مصا لح به مخلوط خشک یا تازه اختلاط اضافه گردد. توصیه می‌گردد جهت جلوگیری از آسیب‌دیدگی الیاف‌ها بر اثر سایش سنگدانه‌ها، زمان اختلاط پس از اضافه نمودن الیاف به حداقل برسد. روش دیگر مخلوط نمودن الیاف در آب مصرفی قبل از اضافه‌کردن آن به مخلوط خشک می‌باشد.

ث - تذکر مهم: الیاف پلیمری نمایان‌شده بر روی سطوح بتن با تردد سبک از بین می‌روند. بتن‌الیافی کمی سخت‌تر از بتن‌معمولی به نظر می‌رسد ولی کارپذیری آن ثابت می‌باشد، لذا از اضافه‌نمودن آب به آن اجتناب بورزید.

جدول ۲-۸ خواص انواع مختلف الیاف[۲۱]

نوع الیاف	مقاومت کششی Ksi	مدول یانگ $10^{۸}$-3 Ksi	حداکثر تغییر طول(درصد)	وزن مخصوص gr/cm^3	نوع الیاف
آکرلیک	۳۰-۶۰	۰/۳	۲۵-۴۵	۱/۱	Acrylic
آزبست	۸۰-۱۴۰	۱۲-۲۰	~ ۰/۶	۳/۲	Asbestos
کتان	۶۰-۱۰۰	۰/۷	۳-۱۰	۱/۵	Cotton
شیشه	۱۵۰-۵۵۰	۱۰	۱/۵-۳/۵	۲/۵	Glass
نایلون خیلی سفت	۱۱۰-۱۲۰	۰/۶	۱۶-۲۰	۱/۱	Nylon (high tenacity)
پلی استر خیلی سفت	۱۰۵-۱۲۵	۱/۲	۱۱-۱۳	۱/۴	Polyester (high tenacity)
پلی اتیلن	~۱۰۰	-۰/۰۶ ۰/۰۲	~ ۱۰	۰/۹۵	Polyethylene
پلی پروپیلن	۸۰-۱۱۰	۰/۵	~ ۲۵	۰/۹	Polypropylene
ریون خیلی سفت	۶۰-۹۰	۱	۱۰-۲۵	۱/۵	Rayon (high tenacity)
پشم کوهی	۷۰-۱۱۰	۱۰-۱۷	~ ۰/۶	۲/۷	Rock Wool (Scandinavian)
فولاد	۴۰-۴۰۰	۲۹	۰/۵-۳۵	۷/۸	Steel

1 ksi =70.31 kgf/cm^2

بطور کلی کیفیت بتن‌الیافی می‌تواند به عوامل عمده زیر بستگی داشته باشد :

- نسبت‌های مخلوط بتن
- مشخصات هندسی الیاف فولادی

- نسبت طول به قطر الیاف

- مهار مکانیکی و زبری سطح الیاف
- مشخصات فیزیکی و جنس الیاف فولادی

علاوه بر انواع اشکال الیاف فولادی ، می‌توان از الیاف فولادی حلقوی[۵۵] شکل نیز نام برد که در افزایش مقاومت بتن تأثیر بسزایی دارد .

۲-۸-۳- مزایا و معایب افزودن الیاف:

الیاف مختلف مزایا و معایب متفاوتی دارند ، به عنوان مثال ، الیاف ارگانیک [۵۶] (آلی) مانند نایلون و پروپیلن مقاومت چسبندگی کمی دارند و لذا حتی در درصدهای حجمی نسبتاً کم نیز موجب افزایش مقاومت ضربه‌ای بتن می‌گردد . طول این نوع الیاف‌ها نیز عامل مهمی در تعیین مقاومت ضربه‌ای است، اما این نوع الیاف بخاطر کاهش ضریب ارتجاعی بتن معمولاً مقاومت کششی آن‌را افزایش نمی‌دهند.

الیاف کربنی مقاومت بتن حاصل را در دوره های آب‌وهوایی مختلف سال و نیز در شرایط یخزدگی و ذوب یخ محیط حفظ می‌کند ، اما این نوع الیاف ضریب‌ارتجاعی محوری را ممکن است ۱۵٪ الی ۲۰٪ کاهش دهند.

امروزه مشخص شده است که وجود الیاف موجب افزایش کرنش ترک‌خوردگی کششی بتن می‌گردد این موضوع برای ملات سیمان مسلح شده با الیاف پیوسته و ردیف‌شده فولادی[۵۷] ،کربنی و شیشه‌ای در کشش‌مستقیم و نیز برای ملات سیمان مسلح شده با الیاف گسسته و کوچک فولادی ثابت شده است.

الیاف شیشه‌ای و کربنی نسبت به عوامل مخرب در سطح بتن بسیار حساس هستند ، لذا بهتر است

1-Ring Fiber
2-Organic
3-Continuos Aligned

سطح بتن با ملات یا بتن خالص اندود گردد اما الیاف پلیمری این ویژگی را ندارند. شکل‌پذیری بتن مسلح شده با الیاف شیشه‌ای با گذشت زمان کاهش می‌یابد. که این مشکل با افزودن مقدار کمی الیاف با ضریب ارتجاعی کم مانند نایلون و پلی‌پروپیلن جبران می‌گردد. هر چند این امر ممکن است موجب کاهش مقاومت گردد.

عملکرد الیاف پلیمری مانند الیاف نایلونی و پروپیلنی و نیز الیاف کربنی در چسبندگی الیاف با بتن کاملاً مکانیکی است و مقاومت چسبندگی بستگی به عملکرد کلیدی[۵۸] بین بتن و رشته‌های الیاف دارد، اما عملکرد الیاف شیشه‌ای بدلیل حمله قلیایی سیمان و تغییر مشخصات سطح تماس الیاف با بتن، با گذشت زمان تغییر می‌کند. عملکرد الیاف فولادی، ترکیبی از چسبندگی، اصطکاک و قفل‌شدگی[۵۹] مکانیکی الیاف با بتن است هرچند بدلیل عکس‌العمل‌های سطحی ، بعضی اندرکنش‌های شیمیایی نیز می‌تواند رخ دهد.

چقرمگی[۶۰] (تحمل شکست ، طاقت شکست) معرف قابلیت جذب انرژی مصالح در مدت تغییرشکل است، که از مساحت زیر نمودارهای تنش ـ کرنش یا بار – تغییر شکل قابل تعیین می‌باشد [۹] ، وجود الیاف موجب افزایش چقرمگی بتن می‌گردد.

۲-۱۰-مزایای بتن الیافی

بتن معمولی یک ماده نسبتاً ترد و شکننده است ، در حالیکه بتن‌الیافی چون دارای مقاومت زیادتر و خاصیت جلوگیری از ترک خوردگی را دار است ، لذا نسبت به بتن معمولی برتری دارد.

مزایای بتن‌الیافی در مقایسه با بتن معمولی را ، می‌توان بطور خلاصه به شرح ذیل بیان داشت:

1-Keying Action
2-nterlocking
3-Toughness

- مقاومت در مقابل تورق ، سایش و هوازدگی [۶۱] سطح
- مقاومت زیاد در مقابل تنش‌های خستگی
- مقاومت بسیارعالی در مقابل ضربه
- قابلیت کشش عالی (ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی)
- قابلیت باربری زیاد بعد از ترک‌خوردگی
- مقاومت کششی ، خمشی و برشی زیاد
- طاقت خیلی زیاد.

یک مزیت بارز بتن‌الیافی ،ظرفیت‌کاری[۶۲] زیاد آن است [۱۷]. ظرفیت‌کاری در این متن به مفهوم ظرفیت یک جسم به منظور تبدیل کار خارجی به :

الف) انرژی کرنشی ذخیره شدهٔ قابل‌تغییر

ب) کار داخلی، با تشکیل ترک‌های جدید با رهاشدن و تغییرشکل الیاف و یا تولید حرارت می‌باشد.

قابلیت انعطافی که بتن‌الیافی دارد ، همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می‌شود که بتن‌الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد . از آنجا که الیاف در جسم بتن بطور سه بعدی و به بیانی بهتر چندبعدی پراکنده می‌شود ، در صورت تشکیل یک ترک که معمولاً انتظار تغییرشکل می‌رود ، در جهات مختلف ، الیاف اتصالاتی را بوجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می‌نماید. بنابراین رشته‌های الیاف بطور فعال در محدودکردن عرض ترک‌ها وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترک‌های زیاد همکاری می‌نماید و در نتیجه قابلیت بهره‌برداری بتن افزایش می‌یابد[۱۷].

1-Spalling

2-Working Capacity

-۱۱-خلاصه‌ای از خواص بتن خودمتراکم و الیاف

- ✓ هدف از افزودن الیاف بهبود مشخصه‌های بتن و برطرف‌کردن نیازهای ساختمانی می‌باشد.
- ✓ جنس و هندسه الیاف در بهبود مشخصه‌های بتن بسیار مؤثر است.
- ✓ الیاف مختلف کربنی ، پلیمری ، شیشه‌ای و غیره در کنار مزایای خود دارای ضعف‌ها و معایبی هستند.

فصل سوم
روش اجرای آزمایش

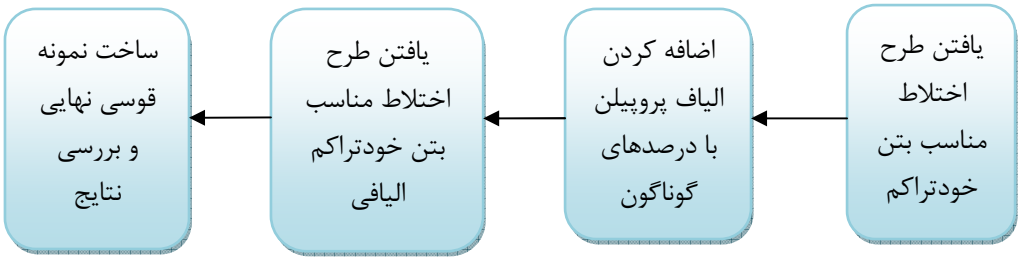
۳-۱ مقدمه

در فصول گذشته به بیان عملکرد بتن خودمتراکم در حالت تازه و سخت‌شده و مزایای استفاده از آن براساس تحقیقات صورت‌گرفته بر روی این موضوع، و همچنین به بیان مزایای استفاده از الیاف پروپیلین پرداخته شد . در این فصل به معرفی جزئیات انتخاب شده برای انجام این تحقیق و نحوهٔ اجرای آن پرداخته می‌شود. در این پژوهش فولادی با الیاف پلی‌پروپیلین با درصدهای متغیر وزنی استفاده گردید تا تأثیر نوع و شکل الیاف و درصدهای مختلف وزنی الیاف بر روی بتن خودمتراکم مورد بررسی قرار گیرد .

۳-۲ هدف از آزمایش و تشریح متغیرهای مورد استفاده

هدف از این آزمایش بررسی تأثیر استفاده از الیاف پروپیلین بر خواص مکانیکی بتن خودمتراکم می‌باشد ، لذا تغییرات اصلی آزمایش در مقدار الیاف بوده بطوریکه نوع بتن خودمتراکم ثابت بود.

خلاصهٔ روند آزمایش به صورت فلوچارت در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱**خلاصه روند آزمایش**

۳-۳ مصالح مصرفی

۳-۳-۱ آب

طبق توصیه آیین‌نامه بتن‌ایران (آبا)[۱] آب‌مصرفی در ساخت بتن باید تمیز و صاف باشد و به طور کلی

آب‌آشامیدنی برای ساختن بتن رضایت‌بخش تلقی می‌شود. در این تحقیق از آب آشامیدنی بابلسر جهت ساخت بتن استفاده گردید.

۳-۳-۲ سیمان

سیمان مصرفی در این تحقیق از نوع پرتلند تیپ دو نکا با وزن مخصوص ۳۱۵۰ kg/m^3 می‌باشد. خواص فیزیکی و شیمیایی این سیمان در جداول ۳-۱ و ۳-۲ ارائه شده است .

جدول ۳-۱ : ***مشخصات فیزیکی سیمان نکا- تیپ دو***

مقدار مشخصه فیزیکی	مشخصات فیزیکی سیمان نکا
۱۰۰ دقیقه	زمان اولیه گیرش
۱۷۰-۲۰۰ دقیقه	زمان نهایی گیرش
۲۰۰ kg/cm^2	مقاومت ۳ روزه
۳۰۰ kg/cm^2	مقاومت ۷ روزه
۴۰۰ kg/cm^2	مقاومت ۲۸ روزه

جدول ۳-۲ : *تجزیه شیمیایی سیمان نکا تیپ دو*

ترکیب شیمیایی	٪	ترکیب شیمیایی	٪
cao	۶۴/۹۲	Na_2o	۰/۳۷
sio_2	۲۲	so_3	۱/۶۷
Al_2o_3	۴/۴۴	k_2o	۰/۵۸
Fe_2o_3	۳/۲	Mgo	۱/۴۲

۳-۳-۳ پودر سنگ‌آهک[۶۳]

در این تحقیق از پودر سنگ‌آهک با وزن مخصوص ۲۸۰۰ kg/m^3 بعنوان عنصر پرکننده (فیلر) استفاده بعمل آمد. پرکننده‌هایی چون پودر سنگ‌آهک به دلیل دارا بودن ذرات بسیار ریز، باعث پرکردن فضای خالی و حفرات موجود بین ذرات سیمانی‌شده و لذا باعث کاهش تخلخل و افزایش درجه توپری بتن می‌گردند، این دسته از عناصر پرکننده به دلیل دارا بودن سطح مخصوص بسیار زیاد، اصطکاک بین دانه‌ایی را افزایش داده و باعث افزایش لزجت بتن می‌گردند، لذا استفاده از فوق‌روان‌کننده‌ها به‌منظور افزایش‌روانی بتن در ساخت چنین بتن‌هایی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد[۲۲].

تجزیه شیمیایی پودر سنگ آهک مصرفی در جدول۳-۳ آورده شده است.

جدول ۳-۳ : **تجزیه شیمیایی پودر سنگ آهک مصرفی**

ترکیبات شیمیایی	درصد تشکیل‌دهنده ترکیب شیمیایی
SiO_2	۰/۳
$CaCO_3$	۹۹/۳
Fe_2O_3	۰/۰۲
Al_2O_3	۰/۱
SO_3	-
MgO	۰/۰۲

۳-۳-۴ فوق روان‌کننده مصرفی

در این پروژه از فوق روان‌کنندهٔ PLASTIMENT-P10 استفاده شده که مشخصات فنی آن در ذیل ارائه شده است.

[۶۳] - *Limestone Powder*

این نوع فوق‌روان‌کننده سومین نسل فوق‌روان‌کننده‌های استفاده شده در بتن است. این محصول تمامی انتظارات و نیازهای مورد انتظار در استاندارد سوئیس (۱۹۸۹) ۱۶۲-*SIA* و استاندارد اروپایی ۲-۹۳۴ *PrEN* را برآورده می‌کند[۱۷]. این محصول می‌تواند در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد حدود ۲-۱ ساعت کارآیی مطلوب بتن خودمتراکم را حفظ نماید. میزان مصرف فوق روان‌کنندهٔ مذکور بسته به مقدار سیمان مصرفی، ریزی دانه‌ای سیمان خواص شیمیایی فوق‌روان‌کنندهٔ مصرفی و پاره‌ای از پارامترهای دیگر بتن ۰/۵ تا ۲ درصد کل پودر مصرفی در مخلوط بتن متغیر بود که مقدار اپتیمم مصرف آن برای هر طرح اختلاط بایستی بدست آید.

جدول ۳-۴ : مشخصات فوق روان‌کنندهٔ *Plastiment-P10*

مقدار مواد جامد(درصد وزنی)	۳۸-۴۰
وزن مخصوص $^{kg}/_{m^3}$	۱۰۶۰-۱۱۰۰
ویسکوزیته در دمای $^{\circ}C$ ۲۵ *(cps)*	۱۵۶-۲۵۰
PH	۵/۵-۷/۵
Chlorides (ppm)	۱۰۰۰<
طبیعت یونی	آنیونی
قابلیت حل شدن	به سرعت در آب حل میشود
ظاهر	مایع کدر

۳-۳-۵

میکروسیلیس

در این تحقیق از میکروسیلیس به شکل پودر تولید شرکت شیمی ساختمان با وزن مخصوص $^{kg}/_{m^3}$ ۲۲۰۰ ، استفاده شد. آنالیز شیمیایی آن به شرح جدول ۳-۵ می‌باشد. در همه طرح‌های محتوی میکروسیلیس، به مقدار ۱۰- ۱۵ درصد وزن سیمان به مقدار پودر اضافه شده است.

جدول ۳-۵ : آنالیز شیمیایی میکروسیلیس مصرفی

ترکیب شیمیایی	٪	ترکیب شیمیایی	٪
cao	۰/۴۹	Na_2o	۰/۳۱
sio_2	۹۳/۶	so_3	۰/۱
Al_2o_3	۱/۳۲	k_2o	۱/۰۱
Fe_2o_3	۰/۳	Mgo	۰/۹۷
C	۰/۳	P_2O_5	۰/۱۶

۳-۴ نحوهٔ اجرای آزمایش

۳-۴-۱ سرند کردن شن و ماسه

با توجه به ابعاد نمونه‌ها، مقاومت بتن موردنظر، همچنین وجود الیاف فولادی در نمونه‌های بتن‌الیافی ، بزرگترین بعد سنگدانه‌ای که برای ترکیب بتن در نظر گرفته‌شد، ۱۰میلیمتر می‌باشد. لازم به ذکر است که ماسه مصرفی از ماسه رودخانه‌ای آمل و شن مصرفی نیز از شن شکسته کوهستانی نزدیک این شهر انتخاب شد. همچنین به علت وجود سنگدانه‌های بزرگتر در دپوی ماسه ، ماسه موجود از الک نمرهٔ ۴ گذرانده شد.

۳-۴-۲ تعیین ضریب نرمی ماسه

به منظور تعیین ضریب نرمی ماسه ، حدود ۲ کیلوگرم از آن ، از الک‌های نمره ۱۰۰،۵۰،۳۰،۱۶،۸،۴ گذرانده شد. مجموع نسبت‌های تجمعی سنگدانه‌های باقیمانده روی الک‌های مزبور معرف ضریب‌نرمی ماسه می‌باشد که مقدار آن برای ماسهٔ موجود برابر۳/۰۴ بدست آمد. نحوهٔ تعیین ضریب نرمی ماسه در جدول ۳-۶ آورده شده است.

جدول ۳-۶ **تعیین ضریب نرمی ماسه**

شماره الک	وزن با ظرف	وزن بدون ظرف	وزن تجمعی	درصد مانده روی همه الک ها
۴	۱۸۴	۴	۴	۰/۲۰
۸	۶۰۴	۴۲۴	۴۲۸	۲۱/۶۰
۱۶	۶۴۵	۴۶۵	۸۹۳	۴۵/۰۷
۳۰	۶۱۷	۴۳۷	۱۳۳۰	۶۷/۱۳
۵۰	۴۰۴	۲۲۴	۱۵۵۴	۷۸/۴۴
۱۰۰	۴۱۲	۲۳۲	۱۷۸۶	۹۰/۱۵
کف الک	۳۷۵	۱۹۵	-----	
مجموع	-----	۱۹۸۱	-----	۳۰۳/۵۹

وزن ظرف = ۱۸۰ gr **ضریب نرمی : $\frac{۳۰۳/۵۹}{۱۰۰} = ۳$**

۳-۴-۳ تعیین وزن مخصوص ماسه و شن

به منظور تعیین وزن مخصوص سنگدانه‌ها ، می‌توان مقداری از آنرا به صورت اشباع و با سطوح خشک(SSD) به آب درون ظرف آزمایش اضافه‌کرد و اضافه حجم ناشی از افزودن این مصالح به آب (که معرف حجم مصالح می‌باشد) را بدست آورد[۱].

نسبت وزن مصالح خشک‌شده در گرمخانه (مصالح فاقد رطوبت جذب شده) به حجم مصالح ، معرف وزن‌مخصوص مصالح می‌باشد ، که این مقدار برای ماسه $۲۵۸۰ kg/m^3$ و برای شن برابر $۲۶۴۰ kg/m^3$ به‌دست آمد.

۳-۵ طرح اختلاط بتن خودمتراکم

با توجه به اینکه جهت رسیدن به تکنولوژی ساخت بتن خودمتراکم نیاز به طرح اختلاطی داریم که نوع مصالح مصرفی و مقدار آب و عیار سیمان در این طرح اختلاط جواب درستی بدهند بدین منظور

برای یافتن طرح اختلاط مناسب ۱۶طرح مورد آزمایش قرار گرفت. در طرح اول بـا توجـه بـه مطالعـات فراوانـی کـه در مقالات معتبر که در این زمینه انجام شـده انـد صـورت گرفـت ، طـرح ابتـدایی شـکل گرفـت و بـا سـاخت نمونـه‌هـا و آزمایش‌های اسلامپ و $T50$ ،$L box$ ،$U box$ و $V funnel$ مشکلات آن طرح نمایان و در طرح هـای بعـدی بـا منطق مهندسی و آزمایش‌های انجام‌شده ، تغییرات اساسی داده و به طرح نهایی ختم گردید . در ذیـل بـه شـرح کامـل طرح‌ها و همچنین نحوه ردشدن طرح‌ها با آزمایش‌های بتن‌تر و دلیل منطقی و روند صعودی پلـه‌ای جهـت رسـیدن بـه طرح اصلی پرداخته می‌شود. در واقع طرح اصلی، بتن خودمتراکم بدون الیاف بوده که مورد مقایـسه بـا سـایر بـتن‌هـای خودمتراکم حاوی الیاف قرار می‌گیرد. همچنین چون کلیه طرح‌ها خود دارای خصوصیات مکانیکی می‌باشند حدالمقـدور کلیه طرح‌های آزمایشی نمونه‌گیری شده، که شامل نمونه‌های فشاری مکعبی ۱۵×۱۵سانتیمتر که نتایج آن مورد بحث قرار خواهد گرفت . تمامی طرح اختلاط‌های آزمایشی بتن خودمتراکم در جدول ۳-۷ و۳-۸ آورده شده است . همچنین نمایش طرح‌های دارای جداشدگی و طرح‌های مناسب در شکل۳-۲ آمده‌است.

شکل ۳-۲ **نمایش طرح‌های دارای جداشدگی و طرح‌های مناسب**

جدول ۳-۷ مقادیر طرح اختلاط‌های آزمایشی بتن خودمتراکم

نوع بتن	طـــــــــــــرح اختلاط									
	نسبت اختلاط									
	سیمان(C) در یک متر مکعب بتن(kg)	**میکروسیلیس (SF) بر حسب درصد سیمان**	**پودر سنگ آهک (LS) بر حسب درصد سیمان**	W/C	**فوق روانساز (SP) بر حسب درصد سیمان**	**ماسه/شن (G/S)**	**درصد شن بکار رفته**		**درصد ماسه بکار رفته**	
							مانده روی الک نمره۴	**مانده روی الک نمره ۳/۸**	**ردشده از الک نمره۴**	**ردشده از الک نمره ۸**
طرح آزمایشی اول	۵۰۰	٪۱۰	٪۴۵	۰/۳۶	۱/۷	۰/۸۲	۷۰	۳۰	۱۰۰	-
طرح آزمایشی دوم	۵۰۰	٪۱۰	٪۴۵	۰/۳۲	۱/۸	۰/۸۲	۱۰۰	-	۱۰۰	-
طرح آزمایشی سوم	۵۰۰	٪۱۵	٪۵۵	۰/۳۶۸	۱/۸	۰/۸۲	۱۰۰	-	۱۰۰	-
طرح آزمایشی چهارم	۴۵۰	٪۱۶۶	٪۶۱	۰/۴۰	۱/۸	۰/۸۲	۱۰۰	-	۱۰۰	-
طرح آزمایشی پنجم	۴۵۰	٪۱۵	٪۵۵	۰/۳۶۸	۱/۸	۰/۸۲	۶۰	۴۰	۱۰۰	-
طرح آزمایشی ششم	۴۵۰	٪۱۵	٪۵۵	۰/۳۶	۱/۸	۱	۱۰۰	-	۱۰۰	-
طرح آزمایشی هفتم	۴۵۰	٪۱۵	٪۴۵	۰/۳۶۸	۱/۸	۰/۸۲	۱۰۰	-	۱۰۰	-
طرح آزمایشی هشتم	۵۰۰	٪۱۵	٪۴۵	۰/۳۶۸	۱/۳	۰/۸۲	۷۰	۳۰	۱۰۰	-
طرح آزمایشی نهم	۵۰۰	٪۱۰	٪۴۵	۰/۳۶۸	۱/۳	۰/۸۲	۷۰	۳۰	۱۰۰	-
طرح آزمایشی دهم	۵۰۰	٪۱۰	٪۴۰	۰/۳۴	۱/۲	۰/۸۲	۶۰	۴۰	۱۰۰	-
طرح آزمایشی یازدهم	۵۰۰	٪۱۰	٪۴۰	۰/۳۴	۱/۲	۰/۸۲	۵۰	۵۰	۱۰۰	-
طرح آزمایشی‌دوازدهم	۵۰۰	٪۱۰	٪۴۰	۰/۳۴	۱/۲	۰/۸۲	۶۰	۴۰	۷۵	۲۵
طرح آزمایشی سیزدهم	۵۰۰	٪۱۰	٪۴۰	۰/۳۴	۱/۲	۰/۸۲	۶۰	۴۰	۵۰	۵۰
طرح آزمایشی چهارده	۴۵۰	٪۱۰	٪۴۰	۰/۳۴	۱/۲	۰/۸۲	۶۰	۴۰	۷۵	۲۵
طرح آزمایشی پانزدهم	۵۰۰	٪۱۵	٪۴۰	۰/۳۴	۱/۲	۰/۸۲	۶۰	۴۰	۵۰	۵۰
طرح آزمایشی شانزدهم	۵۰۰	٪۱۰	٪۴۰	۰/۳۴	۱/۲	۰/۸۲	۶۰	۴۰	۵۰	۵۰

جدول ۳-۸ مقادیر طرح اختلاط‌های آزمایشی بتن خودمتراکم

نوع بتن	طـــــــــــــرح اختلاط								
	مقدار (kg) در یک متر مکعب								
	سیمان (C)	میکروسیلیس (SF)	پودر سنگ آهک (LS)	آب (W)	فوق روانساز (SP)	ماسه (S)		شن (G)	
						ردشده از الک نمره۴	ردشده از الک نمره ۸	مانده روی الک نمره۴	مانده روی الک نمره ۳/۸
طرح آزمایشی اول	۵۰۰	۵۰	۲۲۵	۱۸۰	۸/۵	۷۵۹		۴۳۶	۱۸۶
طرح آزمایشی دوم	۵۰۰	۵۰	۲۲۵	۱۸۰	۹	۷۵۹		۶۲۲	
طرح آزمایشی سوم	۵۰۰	۷۵	۲۷۵	۱۸۴	۹	۷۱۸		۵۸۸	
طرح آزمایشی چهارم	۴۵۰	۷۵	۲۷۵	۱۸۴	۹	۷۱۸		۵۸۸	
طرح آزمایشی پنجم	۴۵۰	۶۷/۵	۲۴۷	۱۶۶	۹	۷۴۷		۳۶۸	۲۴۵
طرح آزمایشی ششم	۴۵۰	۶۷/۵	۲۴۷	۱۶۲	۹	۶۸۲		۶۸۲	
طرح آزمایشی هفتم	۴۵۰	۶۷/۵	۲۰۲	۱۶۶	۸/۱	۷۹۴		۶۱۱	
طرح آزمایشی هشتم	۵۰۰	۷۵	۲۲۵	۱۸۴	۶/۵	۶۹۰		۳۹۹	۱۷۱
طرح آزمایشی نهم	۵۰۰	۵۰	۲۲۵	۱۸۴	۶/۵	۷۰۰		۴۱۰	۱۷۵
طرح آزمایشی دهم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰		۳۵۱	۲۳۴
طرح آزمایشی یازدهم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰		۲۹۲/۵	۲۹۲/۵
طرح آزمایشی‌دوازدهم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۵۲۵	۱۷۵	۳۵۴	۲۳۶
طرح آزمایشی سیزدهم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۴	۲۳۶
طرح آزمایشی چهاردهم	۴۵۰	۴۵	۱۸۰	۱۵۳	۵/۴	۶۰۶	۲۰۲	۳۹۸	۲۶۵
طرح آزمایشی پانزدهم	۵۰۰	۷۵	۲۰۰	۱۷۰	۶	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۴	۲۳۶
طرح آزمایشی شانزدهم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۴	۲۳۶

۳-۶ آزمایشهای بتن خودمتراکم تازه

۳-۶-۱ آزمایش روانی اسلامپ[۶۴]

ابتدا صفحه زیر اسلامپ را در یک سطح صاف قرار داده سپس بتن را درون اسلامپ ریخته و پس از ۱۰ثانیه مخروط اسلامپ بالا کشیده شد(شکل۳-۳).

شکل۳-۳ **نحوه اجرای آزمایش اسلامپ در کارگاه بابلسر**

پس از مراحل فوق زمان رسیدن بتن به قطر ۵۰ سانتیمتر را یادداشت شد و در پایان قطر نهایی بتن به‌دست آمد(شکل۳-۴).

شکل۳-۴ **نحوه اجرای آزمایش جریان اسلامپ و محاسبه قطر نهایی**

[64] *Slump Flow*

۳-۶-۲ آزمایش حلقه جی-شکل

ابتدا صفحه زیر اسلامپ را در یک سح صاف قرار داده و حلقه جی-شکل را روی آن قرار داده شد، بتن را درون اسلامپ ریخته وپس از ۱۰ ثانیه مخروط اسلامپ را بالاکشیده شد(شکل ۳-۵).

شکل۳-۵ **نحوه اجرای آزمایش حلقه جی-شکل در کارگاه بابلسر**

پس از مراحل فوق قطر نهایی بتن یادداشت شد و اختلاف ارتفاع بتن در داخل حلقه و اطراف آن اندازه‌گیری شد(شکل ۳-۶).

شکل۳-۶ **نحوه اجرای آزمایش حلقه جی-شکل و اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع**

۳-۶-۳ آزمایش جعبه ال-شکل

در این آزمایش در ابتدا هر دو دریچه جعبه ال-شکل بسته است و پس از پر کردن جعبه با ۱۲/۷ لیتر بتن دریچه اول را بالا کشیده و زمان رسیدن بتن به فواصل ۲۰ و ۴۰ سانتیمتری اندازه‌گیری شد(شکل۳-۷).

شکل۳-۷ **نحوه اجرای آزمایش جعبه ال-شکل و اندازه گیری زمان رسیدن به فواصل ۲۰ ۴۰ سانتیمتری**

پس از حدود ۶۰ ثانیه ارتفاع بتن در ابتدا و انتهای جعبه اندازه‌گیری ونسبت ارتفاع انتها به ارتفاع بتن در ابتدا محاسبه گردید(شکل۳-۸).

شکل۳-۸ **نحوه اجرای آزمایش جعبه ال-شکل و اندازه گیر T۲۰ ,T۴۰ارتفاع پرکنندگی**

۳-۷ آزمایش‌های بتن خودمتراکم سخت‌شده

۳-۷-۱ آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن سخت‌شده

به طور کلی دو نوع نمونه آزمایش‌فشاری بکار برده می‌شود که عبارت است از: مکعب و استوانه. در انگلیس و آلمان و بسیاری از کشورهای اروپایی نمونه‌های مکعبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در استانداردهای آمریکا، فرانسه و استرالیا نمونه‌های استوانه‌ای شکل توصیه شده‌اند. در این تحقیق از نمونه‌های مکعبی

۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر برای مقاومت‌فشاری استفاده می‌گردد.

برای انجام این آزمایش نمونه‌ها را در قالب‌های فولادی و یا چدنی مکعبی می‌ریزند. مکعب بودن شکل قالب‌ها، اندازه ضلع‌ها و صافی سطوح داخل قالب باید با مشخصات توصیه شده مطابقت نماید.

پس از عمل‌آوری، نمونه‌ها از قالب خارج شده و تا قبل از آزمایش داخل حوضچه آب با دمای $۲۰\pm۲^{\circ}C$ نگهداری می‌شود.

نمونه‌ها قبل از آزمایش از حوضچه خارج شده و سطح آنها خشک می‌شود. سپس نمونه‌های مکعبی مورد آزمایش از جهتی که سطح نمونه در تماس با قالب مکعبی می‌باشد، بین دو صفحه دستگاه (شکل ۳-۹) قرار داده می‌شود. حال نیروی قائمی با سرعت ثابت توسط دستگاه به نمونه مکعبی اعمال می‌شود تا مکعب در اثر نیروی فشاری بپکد و عقربه دستگاه برگردد. نیرو از روی عقربه قرمز رنگی که روی صفحه جک ثابت می‌ماند یادداشت می‌شود و از تقسیم این نیرو به سطح مکعب، مقاومت فشاری نمونه حاصل می‌شود.

$$\text{مقاومت فشاری} = \frac{P}{A}$$

P : بار اعمال شده به نمونه (شکل ۳-۹)

A : مساحت یک وجه مکعب

شکل ۳-۹ **دستگاه اعمال بار و قالب مکعبی**

۳-۷-۲ آزمایش کششی[۶۵] غیرمستقیم(آزمایش برزیلی[۶۶])

در این آزمایش نمونه استوانه‌ای تحت فشار از ناحیه سطح جانبی قرار می‌گیرد به گونه‌ای که نمونه استوانه‌ای حین گسیختگی دو نیم شود. وسائل مورد نیاز عبارت است از:

۱- جک بتن‌شکن

۲- گیره نگهدارنده نمونه به همراه نوارهای چوبی تکیه‌گاهی

۳- نمونه‌های بتنی استوانه‌ای شکل

برای انجام آزمایش موردنظر، نمونه بتنی استوانه‌ای شکل به طور افقی توسط گیره نگهدارنده داخل

[65] *Tensile Strength*
[66] *Split Cylinder*

دستگاه آزمایش قرار می‌گیرد (شکل ۳-۱۰). پس از روشن شدن دستگاه نیرو به نوار تکیه‌گاهی وارد می‌شود و باعث گسیختگی نمونه در جهت قطر می‌شود.

در این تحقیق برای هر طرح اختلاط، ۳ نمونه استوانه‌ای ۱۵×۳۰ سانتیمتر جهت تعیین مقاومت کششی استوانه‌ای برای مقاومت کششی ۲۸،۱۴،۷ روزه آزمایش شد. لازم به تذکر است از نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵×۳۰ پس از تعیین مدول الاستیسیته جهت تعیین مقاومت کششی استفاده گردید.

از آنجائی که تنش مورد استفاده در تعیین مدول الاستیسیته در محدوده خطی قرار دارد لذا هیچگونه ترکی در بین نمونه‌های استوانه‌ای ایجاد نخواهد شد در نتیجه قابل استفاده جهت تعیین مقاومت کششی می‌باشند.

جهت محاسبه مقاومت کششی از فرمول زیر استفاده گردید:

$$F = \frac{2P}{\pi LD}$$

P : بار اعمال شده به نمونه kg (شکل ۳-۱۰)

L : طول نمونه برحسب cm

D : قطر نمونه برحسب cm

F : مقاومت کششی دو نیم شدن برحسب kg/cm^2

به عنوان مثال اگر قرائت دستگاه ۲۲۰KN باشد مقاومت کششی مطابق زیر محاسبه می‌گردد:

$$۲۲۰\times۱۰۰۰ = mg \xrightarrow{g=۱۰} m = p = \frac{۲۲۰۰۰۰}{۱۰} = ۲۲۰۰۰(kg)$$

$$F = \frac{۲\times۲۲۰۰۰}{\pi\times۳۰\times۱۵} = ۳۱/۱۲\, kg/cm^2$$

شکل۳-۱۰ نمونه استوانه‌ای تحت بار در آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم(برزیلی)

۳-۷-۳ آزمایش تعیین مدول الاستیسیته

در این آزمایش نمونه استوانه‌ای ۳۰×۱۵ به صورت قائم در زیر جک بین دو نوار فلزی با فاصله عمودی ۱۵سانتیمتر که یک کرنش‌سنج در آن تعبیه گشته، قرار می‌گیرد و پس از آن نیروی لازم در حد خطی بتن محاسبه می‌گردد. آن‌گاه دستگاه بتن‌شکن بر روی آن نیرو محدود می‌شود. پس از اعمال نیرو، تعداد دورهای کرنش‌سنج را در ۰/۰۰۲ ضرب می‌کنیم. آنگاه تغییر طول برحسب میلیمتر به دست می‌آید (شکل۳-۱۱) .

روش محاسبه مدول الاستیسیته چنین است:

۱- تعیین محدوده تنش خطی بتن (در این تحقیق برابر $F_c = ۰/۴F_c'$ در نظر گرفته شد) F_c باید کمتر از $۰/۵F_c'$ باشد.

۲- تعیین نیروی اعمال‌کننده بر نمونه استوانه‌ای $P = F_c \times A$

۳- تعیین کرنش $\varepsilon = \frac{(x \times ۰/۰۰۲)}{۱۵۰}$

۴- تعیین مدول الاستیسیته $E = \frac{F_c}{\varepsilon}$

F_c : تنش در محدوده خطی بتن

F_c' : مقاومت فشاری بتن

E: مدول الاستیسیته بتن

A: سطح مقطع نمونه

X: قرائت گیج

شکل ۳-۱۱ نمونه استوانه‌ای تحت بار در آزمایش تعیین مدول الاستیسیته

۳-۷-۴ آزمایش تعیین مقاومت خمشی[۶۷]

برای تعیین مقاومت خمشی بتن از نمونه‌های منشوری شکل به ابعاد ۵۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر مطابق با استاندارد *ASTMC78* استفاده می‌شود. جهت انجام این آزمایش، پس از قرار دادن نمونه منشوری موردنظر در زیر دستگاه اندازه‌گیری مقاومت خمشی، دو بار متمرکز توسط دستگاه در نقاط یک سوم دهانه بر نمونه اعمال می‌گردد. بار اعمالی توسط جک هیدرولیکی بطور پیوسته افزایش یافته تا زمانیکه نمونه ترک‌خورده و شکسته شود. سپس بار نهایی گسیختگی از روی عقربه دستگاه قرائت شده و ثبت می‌گردد. نحوه محاسبه مقاومت خمشی بتن در ذیل آورده شده است. همچنین شکل۳-۱۲ نحوه آزمایش فوق را نشان می‌دهد. $f'_r = \frac{pL}{bh^2}$

L: طول‌نمونه

h: ارتفاع مقطع نمونه

b: عرض مقطع نمونه

p: بار متمرکز اعمال شده به نمونه

f'_r : مقاومت‌خمشی بتن

شکل ۳-۱۲ آزمایش تعیین مقاومت خمشی بتن

---

[۶۷] - *Modulus of Rupture test*

شرح آزمایش تعیین مقاومت خمشی *ASTMC78*

نمونهٔ منشوری را داخل دستگاه مخصوص آزمایش خمش قرار می‌دهیم تا شرایط یک تیر دو سر ساده بهمراه بارگذاری در یک سوم میانی دهانه، برای نمونه ایجاد شود. این دستگاه دو تکیه‌گاه، غلتکی به فاصلهٔ ۴۰سانتیمتردر زیر نمونه ایجاد می‌کند و اعمال نیرو نیز از طریق دو فک به فاصلهٔ $\frac{۴۰}{۳}=۱۳/۳۳cm$، در بالای نمونهٔ انجام می‌گردد. نمونه را طوری در دستگاه قرار می‌دهیم که سطح پرداخت شده بالای نمونه، در تماس با تکیه‌گاه‌های پائین و فک‌های اعمال نیرو در بالا نباشد. دستگاه مخصوص آزمایش خمش، دارای پمپ روغنی، دستی می‌باشد. اهرم دستگاه را در دست گرفته و با سرعتی یکنواخت، بصورت آهسته و پیوسته به عقب و جلو هدایت کنید تا بارگذاری روی نمونه آغاز شود. بارگذاری باید با سرعت $۸۶۰\sim۱۲۱۰ RPa/min$ ادامه یابد تا شکست نمونه روی دهد. حداکثر نیروی اعمالی در لحظهٔ شکست را ثبت می‌کنیم و از طریق روابط ارائه شده مقاومت کششی خمشی را محاسبه می‌نمائیم.

در این آزمایش، حداکثر تنش کششی تئوریک در لایه زیرین منشور ایجاد می‌شود که به آن مدول گسیختگی نیز گفته می‌شود.

هنگامیکه این تنش کششی در اثر افزایش تدریجی نیروی p برابر مقاومت کششی بتن شود، نمونه در $\frac{۱}{۳}$ میانی خود حداکثر لنگر خمشی بصورت یکنواخت و خالص (بدون نیروی برشی) وجود دارد، بطور ناگهانی به دو قسمت مطابق شکل ۳-۱۳ شکسته می‌شود.

شکل۳-۱۳: نمونه‌های شکسته شده در یک سوم میانی

همچنین خواص مکانیکی این طرح‌های آزمایشی شامل آزمایش‌های بتن تازه و بتن سخت شده در جدول ۳-۹ ذکر شده است.

جدول ۳-۹ خواص مکانیکی طرحهای آزمایشی بتن خود متراکم تازه و سخت شده

نوع بتن	آزمایشات روی طرح‌های آزمایشی بتن خود متراکم									
	آزمایشات روی بتن تازه								آزمایشات روی بتن سخت شده ۲۸ روزه	
	جریان اسلامپ		جعبه ال-شکل			حلقه جی-شکل		وضعیت همگنی	مقاومت فشاری مکعبی ۱۵ cm (MPa)	مقاومت کششی غیر مستقیم استوانه ای (MPa)
	زمان ۵۰(s)	قطر نهایی(cm)	T40 (s)	T20 (s)	h2/h1(cm)	قطر نهایی(cm)	h2-h1 (cm)			
طرح آزمایشی اول	۶	۶۸	۴۵/۸۳	۱۰/۲۸	۰/۷۵	۶۴	۷	مناسب	(MPa)	۶/۱۲
طرح آزمایشی دوم	۹/۵	۵۸	۲۱/۵۲	۵/۲۸	۰/۷۵	۵۴	۱۰	مناسب	۵۵	۵/۳۶
طرح آزمایشی سوم	۵/۲۸	۶۲	۳/۵	۱/۵	۰/۸۵	۵۹	۴	مناسب	۴۰	۴/۸
طرح آزمایشی چهارم	۲/۶۷	۶۴	۳	۱/۵	۰/۹۷	۶۱	۴	مناسب	۳۵	۴/۴۹
طرح آزمایشی پنجم	۷	۵۹	۲/۴۳	۱/۳۳	۰/۷۷	۵۵	۴	مناسب	۳۱/۱	۴/۲۳
طرح آزمایشی ششم	۴/۸۴	۶۳/۵	۱۷/۲۵	۳/۶۸	۰/۷۷	۶۰	۷	مناسب	۵۹/۵	۵/۸۶
طرح آزمایشی هفتم	۱۰	۶۰	۱/۵	۱/۱۸	۰/۸۴	۵۷	۴	مناسب	۴۵	۵/۰۹
طرح آزمایشی هشتم	۲/۴۹	۷۱	۳	۲	۰/۹۳	۶۸	۳	مناسب	۴۸	۵/۲۶
طرح آزمایشی نهم	۳/۵۷	۶۶	۲/۵۲	۱/۵۲	۰/۹۵	۶۳	۲	مناسب	۴۰	۴/۸
طرح آزمایشی دهم	۳	۶۹	۱/۵	۱	۰/۹۷	۶۶	۳	مناسب	۶۵	۶/۱۲
طرح آزمایشی یازدهم	۴/۶۸	۶۹	۲/۷۷	۱/۶۵	۱	۶۶	۲	مناسب	۵۰	۵/۳۷
طرح آزمایشی‌دوازدهم	۳/۵	۶۷/۵	۲/۶۲	۱	۰/۹۶	۶۴	۲	مناسب	۴۸	۵/۲۶
طرح آزمایشی سیزدهم	۳/۵	۶۸/۵	۶/۷۵	۲/۴۵	۰/۹۷	۶۵	۳	مناسب	۶۸	۶/۲۶
طرح آزمایشی چهاردهم	۳/۸۶	۶۸/۵	۶/۳۰	۱	۰/۹۷	۶۴	۲	مناسب	۵۲	۵/۴۸
طرح آزمایشی پانزدهم	۳	۷۰	۳/۱۵	۱/۲۸	۰/۹۹	۶۷	۳	مناسب	۶۸	۶/۲۶
طرح آزمایشی شانزدهم	۲/۱۷	۷۲	۳	۱/۵	۰/۹۹	۶۹	۲	مناسب	۷۰	۶/۳۶

۳-۸ تشریح طرح‌های صورت پذیرفته

۳-۸-۱ طرح اول

قبل از اینکه به تشریح کامل طرح ها پرداخته شود شایان ذکر است که با توجه به مشاهدات انجام شده و همچنین تحقیقات و مقالات متعدد در مورد افزایش خمیر در ساخت بتن خود متراکم و همچنین دستیابی به معیارهای تعین‌شده برای بتن‌خودمتراکم تازه عیار سیمان باید بین ۴۰۰ الی ۶۰۰ کیلو گرم در هر مترمکعب باشد،که در این تحقیق در کلیه طرح‌ها عیار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم در هر مترمکعب و در بعضی طرح‌ها ۴۵۰ کیلوگرم در هر مترمکعب انتخاب گردید . بعد از اینکه طرح اولیه با مشخصات مندرج در جدول ۳-۷ در یک طرح ۱۵۰ کیلویی ، توسط میکسر آزمایشگاهی ساخته شد توسط آزمایش جریان اسلامپ مورد بررسی قرار می‌گیرد .

جریان اسلامپ به عنوان آزمایش تر اولیه در نظر گرفته می‌شود زیرا از نظر قابلیت حرکتی و بررسی جدایی دانه‌ها که دو رکن اصلی در ساخت بتن خودمتراکم می‌باشند آزمایش مناسب و ساده‌ای است، لذا برای هر طرح اختلاط در ابتدا آزمایش جریان اسلامپ صورت گرفته و اگر در رنج تعین شده بین ۶۵ تا ۸۰ سانتیمتر قرار گرفت آنگاه آزمایش‌های بعدی روی آن انجام می‌شود تا به طرح اصلی منجر شود .

در طرح اول ، اسلامپ بدست آمده دارای قطرمتوسط ۶۸ سانتیمتر بوده که در این حالت جداشدگی وجود نداشت که این حالت در بتن خودمتراکم قابل قبول می‌باشد اما زمان T_{50} زیاد به نظر می‌رسد ، همچنین در آزمایش جعبه ال-شکل نیز زمان مورد نظر زیاد است.

۳-۸-۲ طرح دوم

در این طرح سعی شد با افزایش درصد فوق‌روان‌کننده خواص بتن تازه بهبود یابد که در عمل نتیجه معکوس داشت.همانطور که در جدول مشاهده می‌کنید قطر نهایی به ۵۸ سانتیمتر کاهش یافت که

عملا طرح را مردود می‌نماید.

۳-۸-۳ طرح سوم

در این طرح با افزایش درصد پودرسنگ و میکروسیلیس شاهد این هستیم که خواص بتن تازه به طور چشمگیری بهبود می‌یابد به طور مثال زمان اندازه‌گیری شده در فاصله ۲۰ سانتیمتری(T_{20}) ۱/۵ ثانیه شد که بسیار عالی می‌باشد. همچنین رنج مورد قبول h_2/h_1 در آیین نامه ۰/۶ تا ۰/۷ آمده است که در این طرح ۰/۸۵ می‌باشد.

۳-۸-۴ طرح چهارم

در این طرح با کاهش عیار سیمان از ۵۰۰ به ۴۵۰ شاهد این هستیم که خواص بتن تازه نسبت به طرح قبلی بسیار بهتر شده‌است. در این طرح زمان T_{50} ۲/۶۷ ثانیه است که نشان دهنده روانی فوق‌العاده این طرح است . قطر نهایی اسلامپ نیز ۶۴ سانتیمتر است که در رنج مورد قبول قرار می‌گیرد. همچنین h_2/h_1 در این طرح ۰/۹۷ به دست آمد که فوق‌العاده است.

۳-۸-۵ طرح شانزدهم

در این طرح با کاهش پودرسنگ به ۴۰٪ وزن سیمان و همچنین میکروسیلیس به ۱۰٪ و درصد شن بکار رفته که دراین آزمایش ۶۰ به ۴۰ بوده (۴۰درصد مانده روی الک ۳/۸ و ۶۰ درصد مانده روی الک نمره ۴) مشاهده می‌شود که کارآیی بتن در حد عالی است. برخی از خواص آزمایش شامل قطر نهایی در آزمایش اسلامپ ۷۲ سانتیمتر و زمان T_{50} ۲/۱۷ ثانیه است که نشان دهنده روانی فوق‌العاده این طرح است . همچنین h_2/h_1 در این طرح۰/۹۹ به دست آمد که فوق‌العاده است.

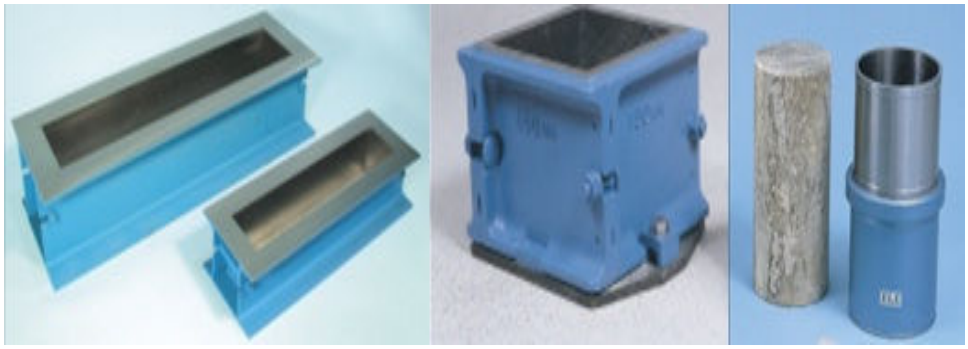
حال با توجه به انجام آزمایش‌های فوق بر روی طرح شانزدهم و اینکه جواب تمامی این آزمایش‌ها در رنج صحیح قرار گرفته است لذا این طرح به عنوان طرح اصلی برای بررسی تاثیر اِلیاف بر روی بتن خودمتراکم برگزیده شد.

جدول ۳-۱۰ مقادیر طرح اختلاط اصلی بتن خود متراکم در یک متر مکعب

نوع بتن	طـــــــــــــــــــرح اختلاط						
	مقدار (kg) در یک متر مکعب						
	سیمان (C)	میکروسیلیس (SF)	پودر سنگ آهک (LS)	آب (W)	فوق روانساز (SP)	ماسه (S)	شن (G)
طرح اصلی	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰	۵۹۰

۳-۹ ساخت بتن خودمتراکم و بررسی تأثیر افزودن الیاف‌پروپیلین

به منظور کنترل طرح و بررسی تأثیر افزودن الیاف ، مطابق طرح اختلاط صورت‌گرفته ، با توجه به امکانات محدود آزمایشگاهی به مقدار مورد نیاز برای آزمایش اسلامپ،J-ring ،L-BOX،مقاومت‌فشاری مکعبی بتن‌خودمتراکم تهیه می‌گردد. در این تحقیق از نمونه‌های فشاری مکعبی ۱۵×۱۵ سانتیمتر، استفاده می‌شود.



شکل۳- ۱۴ **نمای قالبهای استوانه ای مکعبی و منشوری**

۳-۱۰ عملکرد ساختاری بدنه

در این تحقیق برای اولین بار از نمونه قوسی‌شکل با ابعاد ۰/۵×۱/۲۰×۰/۱۰ متری برای آزمایش مقاومت خمشی استفاده شده است. دراین تحقیق تست خمشی را با استفاده از نمونه نسبتا واقعی نازک(۱۰۰ میلیمتر ضخامت) در اثر تلفیقی از فولاد و بتن معرفی می‌کند. شکل۳-۱۵ و ۳-۱۶ نمونه و روش تست را نشان می‌دهد.

شکل۳-۱۵ نمونه مورد آزمایش

شکل۳-۱۶ نحوه اجرای آزمایش

شکل۳-۱۷ بخش‌هایی که پوشش با وظیفه سنگین برای چارچوب‌های فولادی بکار می رود را نشان می‌دهد.

شکل۳-۱۷ پوشش جدید نگهداری

همانطور که مشاهده می‌شود اجرای دقیق کلیه این پارامترها و نظارت بر اجرای دقیق کلیه این پارامترها امری است زمان‌بر و پرهزینه حال آنکه استفاده از بتن خوداتراکم الیافی هم در کاهش هزینه نقش دارد هم اینکه زمان اجرای عملیات و نظارت بر اجرای پروژه را کاهش می‌دهد.

۳-۱۱ طرح سازه‌ای تیرها

در این تحقیقات ۶ تیرقوسی مسلح با ابعاد یکسان به طول ۱۲۰سانتیمتر، عرض ۵۰ سانتیمتر، ارتفاع ۶۰سانتیمتر، قطر دهانه ۱۲۰ سانتیمتر، ضخامت ۱۰ سانتیمتر، فاصله تا مرکز سطح میلگردهای فشاری ۵ سانتیمتر انتخاب گردید. هندسه یکسان تیرها نسبت به بارهای وارده و نیز نحوه آرایش میلگردها در شکل۳-۱۶ نشان داده شده است.

از ۶ قوس مسلح، ۲ تیر در ۳ تیپ(از هر تیپ دو نمونه) با بتن $700\ kg/cm^2$ می‌باشند. خاموت‌ها

درفواصل ۲۵ سانتیمتر قرار گرفتند. قابل ذکر است که خاموت‌های مصرفی در این تحقیق، میلگردهایی به قطر۶ میلیمتر، ۸ میلیمتر و۱۰ میلیمتر می‌باشند.

نحوهٔ دسته‌بندی قوس‌ها و آرایش میلگردها همراه با علامت آنها برای انواع تیرها در جدول۳-۱۱ خلاصه شده است.

جدول۳-۱۱ طرح‌های بکار رفته در نمونه‌های قوسی

	سیمان (kg)	میکروسیلیس (kg)	پودرسنگ‌آهک (kg)	آب (kg)	فوق روان‌کننده(kg)	ماسه (kg)	شن (kg)	قطر میله‌گرد (mm)	الیاف پروپیلن (kg)
طرح اول	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰	۵۹۰	۶	۰/۵
طرح دوم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰	۵۹۰	۶	-
طرح سوم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰	۵۹۰	۸	۰/۵
طرح چهارم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰	۵۹۰	۸	-
طرح پنجم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰	۵۹۰	۱۰	۰/۵
طرح ششم	۵۰۰	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۶	۷۰۰	۵۹۰	۱۰	-

۳-۱۱-۱ آرماتوربندی، قالب‌بندی و بتن‌ریزی تیرهای قوسی

مطابق طرح نشان داده شده در شکل۳-۱۸و شکل ۳-۱۹میلگردهای مورد نیاز تهیه شده، قلاب‌ها و خم‌های مورد نیاز بر روی میلگردها ایجاد شده، خاموت‌ها نیز تهیه‌شده و آرماتوربندی کلی انجام گردید. پس از آن قالب‌ها در اندازه‌های مورد نظر تنظیم‌شده و جداره‌های آن به روغن آغشته گردید تا از چسبیدن بتن به دیواره‌های قالب جلوگیری شود و میلگردهای بسته شده در داخل قالب قرار گرفت. پس از آن بتن‌ریزی انجام گرفت و تا زمانی که تیر به طور کامل پر شود بتن‌ریزی به این شیوه ادامه پیدا کرد(شکل۳-۲۰).

شکل۳-۱۸آرماتوربندی تیرها

شکل۳-۱۹ قالب‌بندی تیرهای قوسی

شکل۳-۲۰ بتن‌ریزی تیرهای قوسی

۳-۱۱-۲ عمل‌آوری تیرها

قالب‌ها پس از گذشت ۲۴ ساعت، باز شده و تیرها در مکان مناسبی در آزمایشگاه قرار گرفتند. به منظور عمل‌آوری مناسب، این تیرها با گونی‌های مرطوب پوشانده شده و تا ۲۸ روز، در این شرایط نگهداری شدند.

۳-۱۱-۳ آزمایش تیرها

آزمایش کلیه تیرها پس از گذشت ۲۸ روز از تاریخ بتن‌ریزی انجام گرفت. قبل از اعمال بار بر روی تیرها، برای مشخص‌شدن مسیر ترک‌ها که بر اثر اعمال بار به وجود می‌آیند، سطح تیر با رنگ سفید پوشانده شد و پس از آن، محل دقیق اعمال بار، محل تکیه‌گاه‌ها، محل قرارگیری خیزسنج در مرکز تیر به طور دقیق تعیین و علامت‌گذاری شدند.

پس از قرار دادن تیر بر روی تکیه‌گاه‌ها از موقعیت صحیح تکیه‌گاه‌ها و محل اعمال بار و تراز بودن تیر و تکیه‌گاه‌ها اطمینان حاصل می‌شود. شکل۳-۲۱ طرح کل این دستگاه بارگذاری، نحوه بارگذاری و چگونگی ایجاد تکیه‌گاه‌ها بر روی تیر را نشان می‌دهد.

شکل۳-۲۱ دستگاه بارگذاری و نمونه آزمایش شده

همانطور که در شکل۳-۲۱ مشاهده می‌گردد بار کل به وسیله یک جک به محفظه‌ای که شامل ماسه به ضخامت ۱۰ سانتیمتر که روی آن با ورقه های چوبی پوشانده شده‌است، وارد می‌شود. همچنین سلول بار[۶۸] کالیبره شده بین جک و تیر فولادی قرار گرفت. بار با رشد ۲ تن و با سرعت متوسط ۳۰ ثانیه در هر گام تا بارنهایی وارد شد و در هر مرحله علاوه بر ثبت مقادیر بار، خیر مرکز تیر، ترک‌های ایجاد شده همراه با مقدار بار اعمالی مربوط به آن ترک با ماژیک علامت‌گذاری شدند. همچنین مقادیر به دست آمده از خیزسنج و بار وارده به تیرهای قوسی بتنی خودمتراکم در جدول۳-۱۲ و ۳-۱۳ موجود می‌باشد. با توجه به مقادیر به‌دست آمده این نتیجه حاصل می‌شود که الیاف پروپیلین در افزایش ضریب باربری موثر است و میزان خیز تیر را کاهش می‌دهد. در شکل۳-۲۲ و شکل۳-۲۳ ترک‌های حاصل از بارگذاری در نمونه قوسی نمایش داده شده است.

1-Load Cell

شکل۳-۲۲ نمای ترک حاصل از بارگذاری

شکل۳-۲۳ نمای ترک حاصل از بارکذاری

جدول۳-۱۲ داده‌های طرح قوسی با الیاف

بار کل(تن)	خیز مرکز تیر(میلیمتر)		
	طرح پنجم	طرح سوم	طرح اول
۰/۲	۰	۰	۰
۱/۱	۱	۲/۹	۳/۲
۳/۳	۱۳	۱۵	۱۷
۴/۱	۱۴/۵	۱۷	۲۳
۵/۸	۲۰	۲۵	۲۹
۶	۲۲/۶	۲۸	۳۶
۶/۳	۲۴/۱	۳۳	۴۴
۷/۱	۲۷/۸	۴۰	۵۱
۷/۹	۳۰/۱	۴۴	-
۸/۲	۳۱	۴۸	-
۸/۳	۳۲/۷	-	-
۸/۵	۳۴/۵	-	-
۸/۷	۳۶	-	-
۸،۸	۳۶/۸۸	-	-
۹	۳۸	-	-
۹/۱	۳۹	-	-
۹/۲	۴۰	-	-

جدول۳-۱۳ داده‌های طرح قوسی بدون الیاف

خیز مرکز تیر(میلیمتر)			بار کل(تن)
طرح دوم	طرح چهارم	طرح ششم	
۰	۰	۰	۰/۲
۵/۲	۴/۹	۲	۱/۱
۱۸	۱۷	۱۵	۳/۳
۲۶	۲۰	۱۸	۴/۱
۳۴	۲۵	۲۲	۵/۸
۴۳	۳۴	۲۴	۶
۴۹	۳۹	۲۶	۶/۳
۵۳	۴۵	۳۰	۶/۹
-	۵۰	۳۳	۷/۳
-	-	۳۵	۷/۷
-	-	۳۷	۸/۰۰
-	-	۳۸	۸.۱
-	-	۴۱	۸/۳
-	-	۴۳	۸/۵
-	-	۴۴	۸/۶
-	-	۴۵	۸.۸

۳-۱۲ روند تهیهٔ بتن خودمتراکم الیافی و غیر الیافی

- **در ابتدا شن و ماسه مورد نیاز در میکسر ریخته شده و به مدت یک دقیقه به صورت خشک مخلوط شد.**

- **میکروسیلیس مورد نیاز با ماسه مخلوط شده و سپس به شن و ماسه موجود در میکسر اضافه شد، زیرا افزودن گرده‌های میکروسیلیس به‌صورت مجزا در هنگام چرخش میکسر باعث می‌شود این گرده‌ها به بیرون پاشیده شوند.**

- **سیمان و پودر سنگ هرکدام جداگانه در میکسر ریخته شده و به منظور ایجاد توزیع همگن فوق روان‌کننده در بتن، محلولی از آب مورد نیاز و فوق روان کننده(که از نوع پی-۱۰ انتخاب شد)، تهیه گردید. این محلول نیز به مصالح موجود در میکسر اضافه می‌گردد و در پایان الیاف به این مواد اضافه می‌شود(شکل۳-۲۴).**

شکل۳-۲۴ **آماده سازی بتن خودتراکم در آزمایشگاه**

- **پس از اختلاط مناسب، نمونه‌های آزمایش جریان اسلامپ، جعبه ال-شکل، حلقه جی-شکل و مقاومت فشاری برداشته می‌شود. نمونه‌های مربوط به مقاومت فشاری پس از ۲۴ساعت از قالب درآمده و تا ۲۸روز در شرایط مرطوب نگهداری گردید(اشکال۳-۲۵ و ۳-۲۶).**

شکل۳-۲۵ **انجام آزمایش اسلامپ در آزمایشگاه**

شکل۳-۲۶ **آزمایش جعبه ال-شکل در آزمایشگاه**

- **پس از مراحل فوق بتن آماده شده در قالب‌های قوسی مدل شده ریخته می‌شود(شکل۳-۲۷).**

شکل۳-۲۷ **بتن ریزی قالب نهایی در کارگاه بابلسر**

- **در شکل ۳-۲۸ نمونه نهایی قابل مشاهده می باشد.**

شکل ۳-۲۸ **نمونه نهایی تیر قوسی**

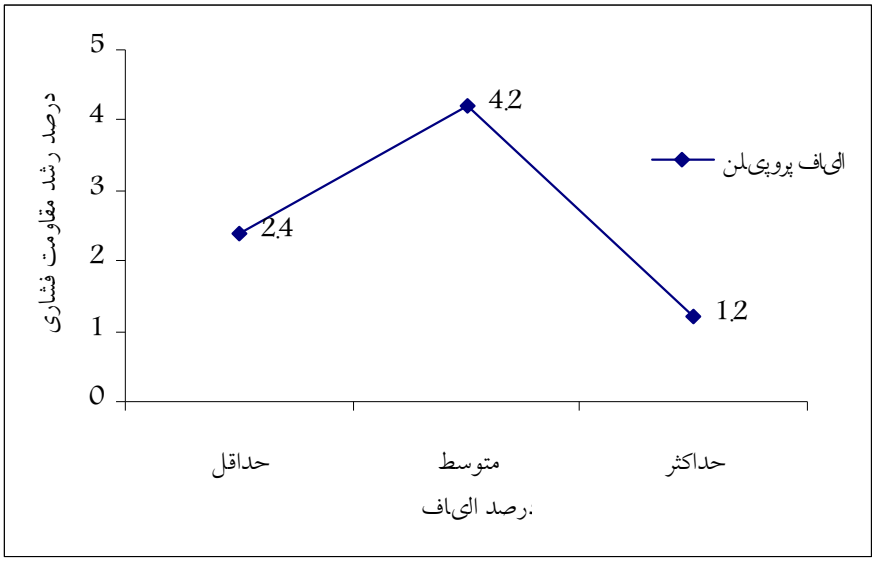
فصل چهارم
بررسی نتایج حاصل از آزمایش

۴-۱ مقدمه

در فصل گذشته متغیرهای مربوط به آزمایش طرح اختلاط و آزمایشات روی نمونه‌های مکعبی، استوانه‌ای و منشوری و همچنین نحوه اجرای آزمایشات مربوط به بتن خودمتراکم تازه شرح داده شد. در این فصل به بررسی و مقایسهٔ داده‌های بدست آمده از آزمایش و تشریح نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود. ابتدا مقاومت فشاری بتن خودمتراکم بدون الیاف و بتن خودمتراکم حاوی الیاف با درصد الیاف مختلف مقایسه می‌شوند. سپس رفتار کششی این دو نوع بتن با درصد الیاف‌های مختلف بوسیله دو نوع آزمایش کشش غیرمستقیم و آزمایش مدول‌گسیختگی تیر منشوری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲ بررسی مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی

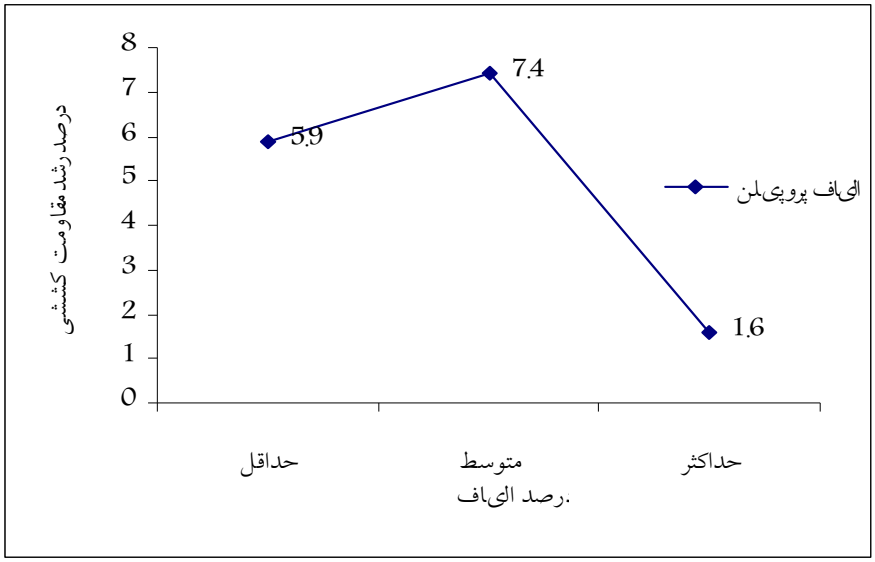
برای بدست آوردن مقاومت فشاری انواع مختلف بتن خودمتراکم حاوی الیاف و بدون الیاف از نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر استفاده شد. نتایج مقاومت‌های فشاری در بازه‌های زمانی۷ روزه و ۲۸ روزه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد الیاف، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد و این روند تا رسیدن به در صد بهینه الیاف(۰/۱٪وزن سیمان)ادامه داشته و پس از آن به دلیل ایجاد خلل و فرج زیاد، روند نزولی پیدا می‌کند. افزایش مقاومت فشاری برای درصد بهینه پلی‌پروپیلین(۰/۱٪وزن سیمان) برابر ۴/۲ درصد می‌باشد. این نتایج در شکل۴-۱ نشان داده شده است.



شکل۴-۱ مقایسه روند رشد مقاومت فشاری نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف ۲۸روزه

۴-۳ بررسی مقاومت کششی در آزمایش کشش غیرمستقیم(برزیلی)

در این آزمایش از نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر استفاده شد که بعداز نمونه‌گیری و رسیدن به سن ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌ها شکسته شد و الیاف نقش موثر خود را در افزایش مقاومت کششی نشان داد . همانند مقاومت فشاری روند افزایش در بتن‌خودمتراکم حاوی الیاف بیشتر احساس می شود. با افزایش درصد الیاف، مقاومت‌کششی افزایش می‌یابد و این روند تا رسیدن به درصد بهینه الیاف(۰/۱٪ وزن سیمان) ادامه داشته و بعد از آن به دلیل ایجاد خلل و فرج زیاد، روند نزولی پیدا می‌کند. چنانچه با استفاده از ۰/۱٪ وزن سیمان الیاف پلی‌پروپیلین مقاومت کششی به میزان ۷/۴ درصد افزایش می‌یابد. این نتایج در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.



شکل۴-۲ مقایسه روند رشد مقاومت کششی نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف ۲۸روزه

پس از آزمایش فشاری و کشش غیر مستقیم موارد زیر مشاهده گردید :

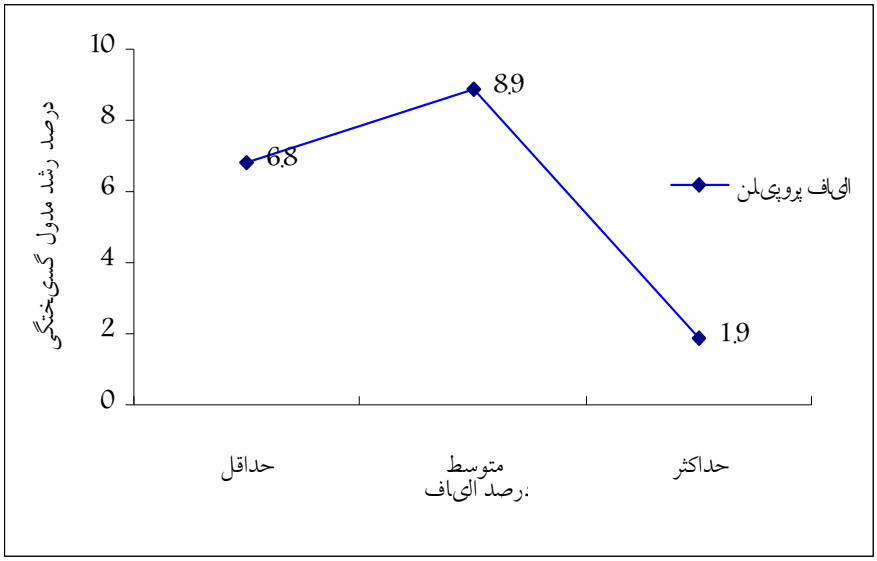
۱) در نمونه‌های الیافی فشار و کشش غیرمستقیم حتی پس از گسیختگی(چون الیاف، اجزاء بتن را بخوبی به هم می‌دوزند)، شکل کلی نمونه حفظ می‌شود.

۲) در کلیهٔ نمونه‌های بتن خودمتراکم، به علت مقاومت بالای آنها و به دلیل استفاده از سنگدانه‌های معمولی و وجود ملات قوی سیمان و میکروسیلیس، شکست نهایی همراه با شکست سنگدانه‌ها همراه بود.

۴-۴ بررسی مدول گسیختگی نمونه‌های منشوری

در این آزمایش تیر ساده غیر مسلح که دارای ابعاد مقطع ۱۰ ×۱۰ سانتیمنر و طول دهانه موثر ۴۲ سانتیمتر بود، مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه مدول گسیختگی از رابطه $f=MC/I$ استفاده می‌شود. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که با افزایش درصد الیاف به طور چشمگیری مدول گسیختگی تیرهای منشوری افزایش می‌یابد و این روند تا رسیدن به درصد بهینه الیاف(۰/۱٪وزن سیمان) ادامه داشته و بعد کاهش پیدا می‌کند. چنانچه با استفاده از ۰/۱٪ وزن سیمان الیاف پلی‌پروپیلین مدول گسیختگی به میزان ۸/۹ درصد افزایش می‌یابد. این روند افزایش در شکل

شماره۴-۳ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل۴-۳ مقایسه روند رشد مدول گسیختگی نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف ۲۸روزه

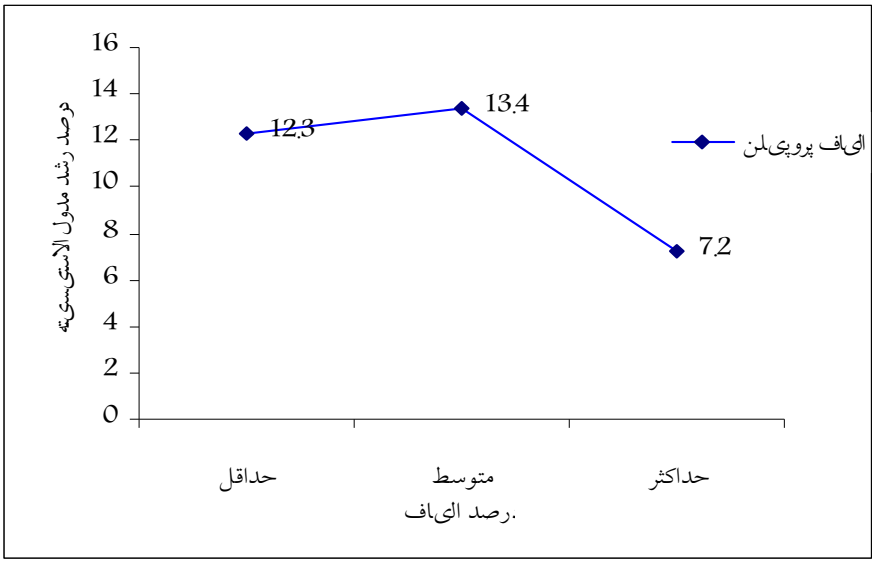
۴-۵ بررسی مدول الاستیسیته[۶۹]

طبق تعریف، مدول الاستیسیته عبارتست از نسبت تنش به کرنش هم جهت با آن(شیب منحنی تنش- کرنش) در بارگذاری تک‌محوری، و یا از نظر کیفی، مقاومت مصالح در برابر تغییر شکل(سختی) است. برخلاف فولاد، مدول الاستیسیته بتن ثابت نیست و تابعی از مقاومت فشاری و چگالی آن می‌باشد. در این آزمایش از نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر استفاده شد که بعداز نمونه‌گیری و رسیدن به سن ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌ها تحت بارگذاری تک محوری تا ۰/۴ Fc قرار گرفتند و کرنش‌های مربوطه بدست آمد. برای محاسبه مدول الاستیسیته از رابطه $E = \sigma / \varepsilon$ استفاده می‌شود. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد الیاف مدول‌الاستیسیته افزایش می‌یابد و این روند تا رسیدن به در صد بهینه الیاف(۰/۱٪وزن سیمان) ادامه داشته و بعد

کاهش پیدا می‌کند. افزایش مدول‌الاستیسیته برای درصد بهینه پلی‌پروپیلین برابر ۱۳/۴ درصد

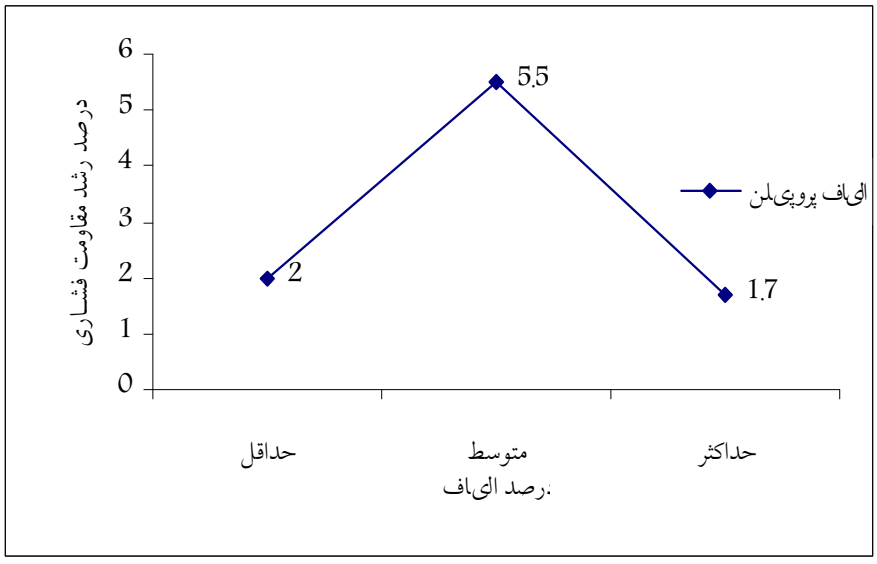
1-Modalus of Elasticity of concrete

می‌باشد(شکل۴-۴).



شکل۴-۴ مقایسه روند رشد مدول الاستیسیته نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف ۲۸روزه

۴-۶ بررسی مقاومت فشاری، بتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روزه



شکل۴-۵ مقایسه روند رشد مقاومت فشاری نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف ۷ روزه

با توجه به آزمایش‌های صورت پذیرفته بر روی درصدهای ۰/۵٪، ۰/۱٪ و۰/۲٪ مطابق با شکل۴-۵ به این

نتیجه می‌رسیم که درصد بهینه الیاف برای افزایش مقاومت فشاری ۷ روزه، ۰/۱٪ می‌باشد. در این درصد بهینه الیاف، مقاومت فشاری به میزان ۵/۵ درصد افزایش می‌یابد.

۴-۷ بررسی مقاومت کششی غیرمستقیم(آزمایش برزیلی) بتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روزه

با توجه به آزمایش‌های صورت پذیرفته بر روی درصدهای ۰/۵٪، ۰/۱٪ و۰/۲٪ مطابق با شکل۴-۶ به این نتیجه می‌رسیم که درصد بهینه الیاف برای افزایش مقاومت کششی غیرمستقیم ۷ روزه، ۰/۱٪ می‌باشد. در این درصد بهینه الیاف، مقاومت کششی غیرمستقیم به میزان ۱۳/۸ درصد افزایش می‌یابد.

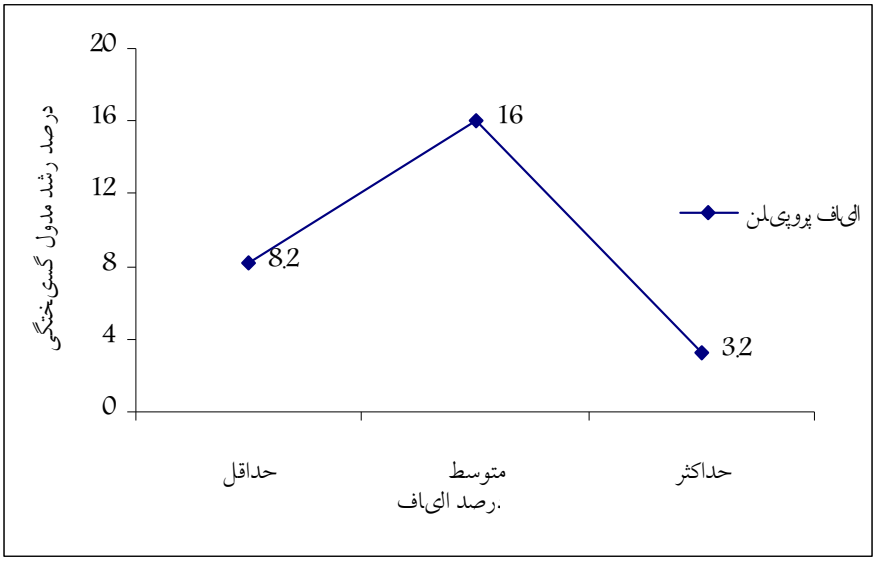
شکل۴-۶ مقایسه روند رشدمقاومت کششی غیرمستقیم نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف ۷ روزه

۴-۸ بررسی مدول گسیختگی، بتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روزه

با توجه به آزمایش‌های صورت پذیرفته بر روی درصدهای ۰/۵٪، ۰/۱٪ و۰/۲٪ مطابق با شکل۴-۷ به این نتیجه می‌رسیم که مطابق با نتایج مقاومت فشاری وکششی، درصد بهینه الیاف برای افزایش

مدول گسیختگی ۷ روزه، ۰/۱٪ می‌باشد. در این درصد بهینه الیاف، مدول گسیختگی به

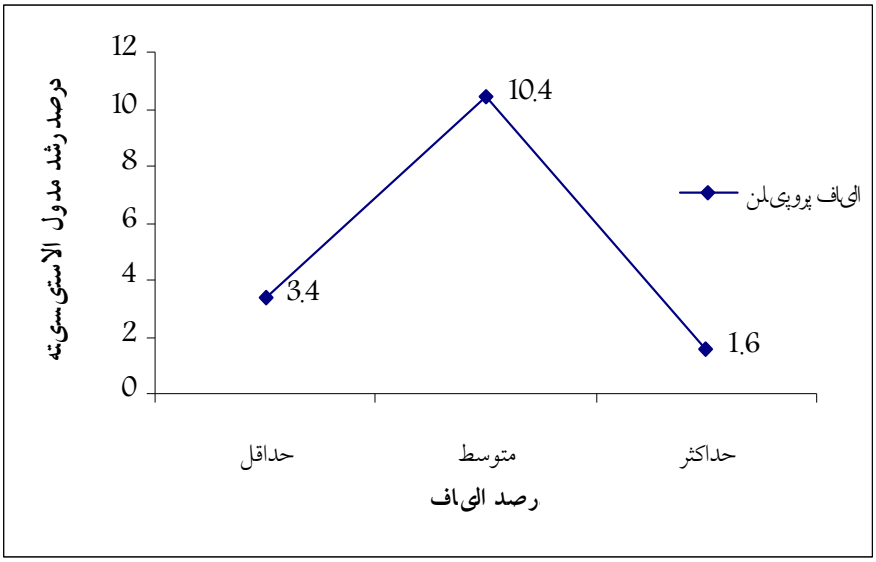
میزان ۱۶ درصد افزایش می‌یابد.



شکل۴-۷ مقایسه روند رشد مدول گسیختگی نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف ۷ روزه

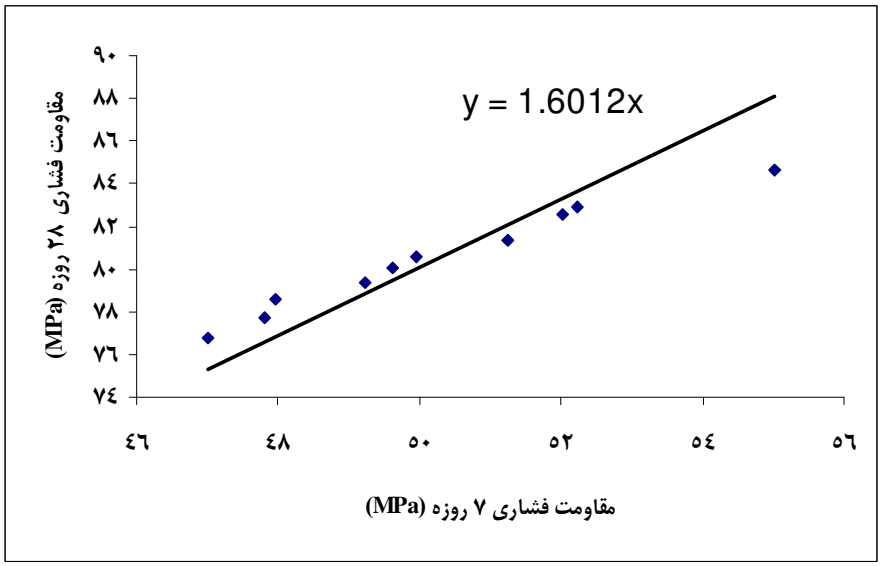
۴-۹ بررسی مدول الاستیسیته، بتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن۷ روزه

با توجه به آزمایش‌های صورت پذیرفته بر روی درصدهای ۰/۵٪، ۰/۱٪ و۰/۲٪ مطابق با شکل۴-۸ به این نتیجه می‌رسیم که مطابق با نتایج مقاومت فشاری وکششی، درصد بهینه الیاف برای افزایش مدول گسیختگی ۷ روزه، ۰/۱٪ می‌باشد. در این درصد بهینه الیاف، مدول الاستیسیته به میزان ۱۰/۴ درصد افزایش می‌یابد.



شکل۴-۸ مقایسه روند رشد مدول‌الاستیسیته نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف ۷ روز

۴-۱۰ بررسی رابطه بین مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه



شکل۴-۹ رابطه مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌های مکعبی در بتن خودمتراکم حاوی الیاف و بدون الیاف

همانطور که از شکل ۴-۹ مشخص است بر اساس نتایج آزمایشات صورت گرفته، رابطه مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه بتن‌های خودمتراکم مورد مطالعه را به صورت زیر در نظر گرفت.

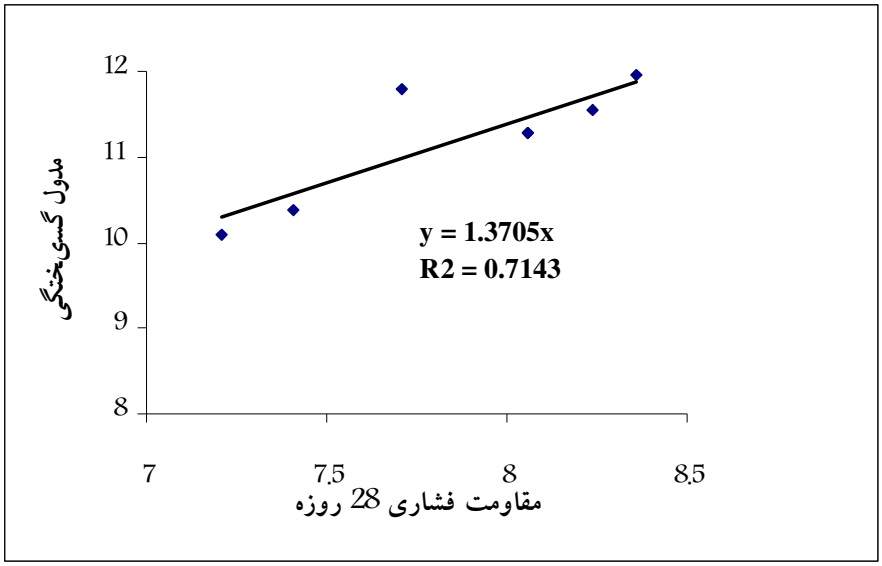
$$fcu\ 28 = ۱/۶\ \ fcu\ 7$$

به عبارتی بتن در سن ۷ روز در حدود ۶۲٪ از مقاومت ۲۸ روزه را کسب کرده‌اند که می‌تواند ناشی از تاثیر فوق روان‌کننده p۱۰ می‌باشد.
در بتن‌های معمولی بتن‌ها در سن ۷ روز ۷۰ الی ۸۰ درصد مقاومت ۲۸ روز، حاصل می‌شود[۲].

۴-۱۱ بررسی رابطه بین جذر مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مدول‌گسیختگی

جدول۴-۱ مقاومت های فشاری و مدول گسیختگی(MPa)

نوع بتن	شماره۱	شماره۲	شماره۳	شماره۴	شماره۵	شماره۶	شماره۷
fc مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد	۶۵	۵۲	۵۵	۵۹/۵	۶۵	۶۸	۷۰
fr مدول گسیختگی	۱۱/۲۸	۱۰/۱	۱۰/۳۸	۱۱/۸	۱۱/۲۹	۱۱/۵۴	۱۱/۹۶



شکل۴-۱۰ رابطه بین جذرمقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مدول گسیختگی

همان‌طور که در شکل۴-۱۰ مشخص است بر اساس نتایج آزمایشات صورت پذیرفته رابطه بین مدول گسیختگی بتن‌های خودمتراکم حاوی الیاف و مقاومت فشاری استاندارد ۲۸ روزه را به صورت زیر بیان کرد:

$$f_r = ۱/۳۷\sqrt{f_c}$$

در مقایسه با رابطه آبا:[۲]

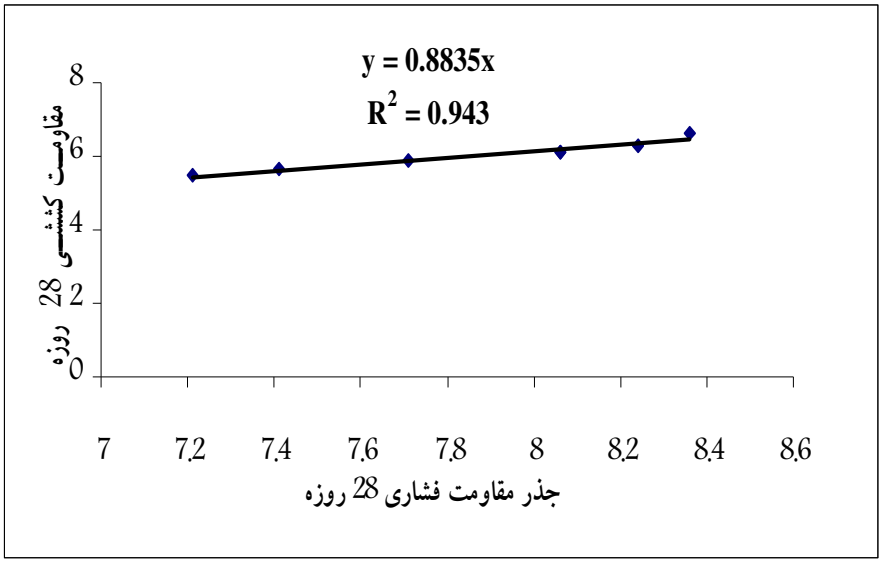
$$f_r = ۰/۶۳\sqrt{\ } f_c$$

مشاهده می‌شود که مدول گسیختگی حدود ٪ ۱۱۷ بیشتر است دلیل این امر، وجود الیاف در بتن خودمتراکم و همچنین ممکن است به خاطر کاهش سنگدانه و افزایش خمیر بتن(که انعطاف‌پذیری بتن را افزایش می‌دهد)باشد که به همراه کاهش درصد هوا در بتن خودمتراکم نسبت به بتن‌های معمولی(حدود۲۰ الی۳۰ درصد)منجر به افزایش کرنش نهایی بتن خودمتراکم می‌گردد.

۴-۱۲ بررسی رابطه بین مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مقاومت کششی استوانه‌ای

جدول۴-۲ مقاومت‌های فشاری و کششی غیر مستقیم(MPa)

نوع بتن	شماره۱	شماره۲	شماره۳	شماره۴	شماره۵	شماره۶	شماره۷
fc مقاومت فشاری	۶۵	۵۲	۵۵	۵۹/۵	۶۵	۶۸	۷۰
$fc\ t$ مقاومت کششی	۶/۱۲	۵/۴۸	۵/۶۴	۵/۸۶	۶/۱۲	۶/۲۷	۶/۶۴



شکل۴-۱۱ رابطه بین جذر مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مقاومت کششی استوانه‌ای

همانطور که در شکل۴-۱۱مشخص است رابطه بین مقاومت فشاری استاندارد و مقاومت کششی استوانه‌ای(fct)را می‌توان برای بتن‌های خودمتراکم حاوی الیاف بر اساس نتایج آزمایشات به صورت زیر نشان داد:

$$f_a = ۰/۸۸ \sqrt{f_c}$$

رابطه ارائه شده توسط آبا به صورت زیر می‌باشد:

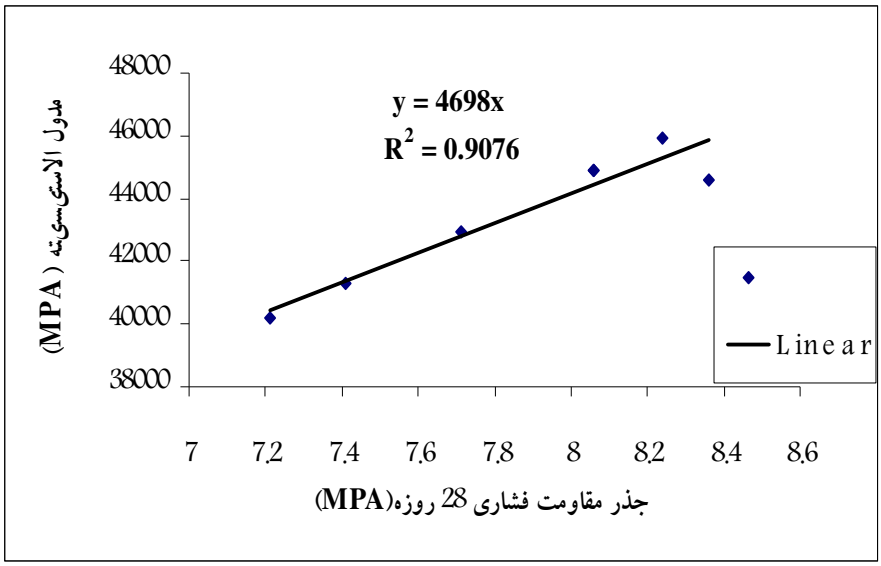
$$f_a = ۰/۵۵ \sqrt{f_c}$$

مشاهده می‌گردد که مقاومت کششی بتن خود متراکم حاوی الیاف حدود٪ ۶۰ بیشتراز بتن معمولی می‌باشد دلیل این امر، وجود الیاف در بتن خودمتراکم می‌باشد.

۴-۱۳ بررسی رابطه بین جذر مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مدول الاستیسیته

جدول۴-۳ مقاومت‌های فشاری و مدول الاستیسیته(MPa)

نوع بتن	شماره۱	شماره۲	شماره۳	شماره۴	شماره۵	شماره۶	شماره۷
fc مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد	۶۵	۵۲	۵۵	۵۹/۵	۶۵	۶۸	۷۰
fr مدول الاستیسیته ۲۸ روزه	۴۴۹۰۶	۴۰۱۶۵/۱	۴۱۳۰۷/۵	۴۲۹۶۴/۱	۴۴۹۰۶	۴۵۹۳۰/۵	۴۴۶۰۱/۱



شکل۴-۱۲رابطه بین جذرمقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد و مدول الاستیسیته

همان‌طور که در شکل(۴-۱۲)مشخص است می‌توان رابطه بین مدول الاستیسیته بتن‌های خودمتراکم حاوی الیاف و مقاومت فشاری استاندارد ۲۸ روزه را به صورت زیر بیان کرد:

$$E = ۴۶۹۸ \sqrt{f_c}$$

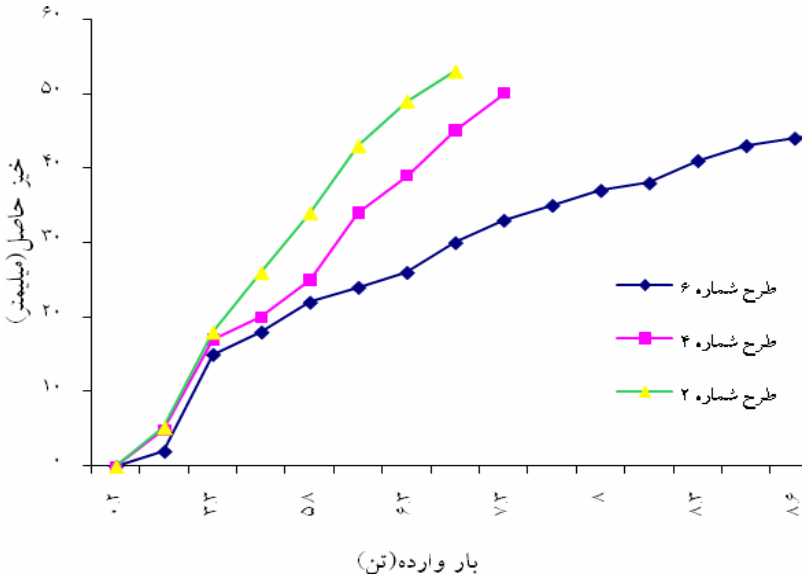
در مقایسه با رابطه آبا:[۲]

$$E = ۵۰۰۰ \sqrt{f_c}$$

مشاهده می‌شود که مدول الاستیسیته حدود ٪ ۶ کمتر است دلیل این امر وجود الیاف در بتن خودمتراکم بوده که باعث جذب انرژی بیشتر ودر نتیجه بالا رفتن مدول الاستیسیته می‌شود.

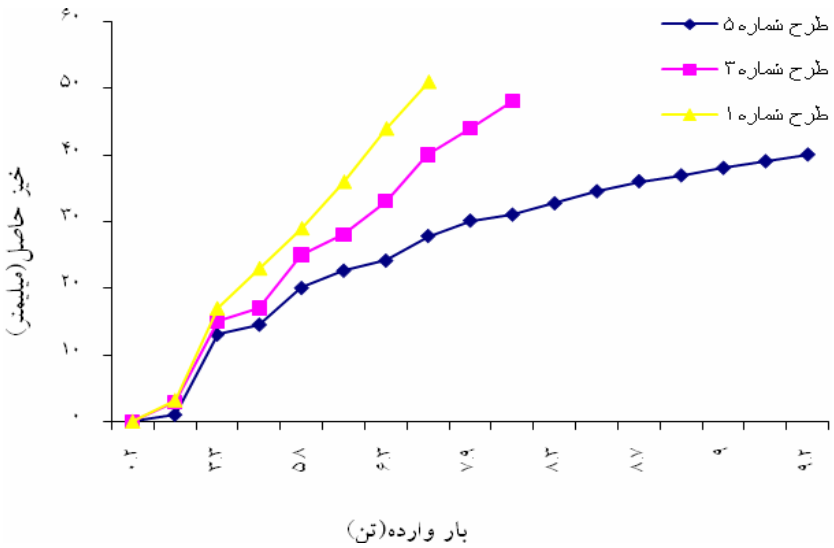
۴-۱۴ نتایج بار وارده وخیز حاصل در نمونه‌های قوسی

با توجه به نتایج حاصل از بارگذاری در نمونه‌های بدون الیاف مطابق شکل۴-۱۳ نمونه طرح ششم که حاوی میله‌گرد نمره ۱۰ بود تحمل بار بهتری را از خود نشان داد.



شکل۴-۱۳ بار – خیز تیر قوسی در نمونه‌های بدون الیاف

در نمونه‌های حاوی الیاف مطابق شکل۴-۱۴ نمونه طرح پنجم که حاوی الیاف و میله‌گرد نمره ۱۰ بود ظرفیت بارگذاری بیشتری را دارا بود.



شکل۴-۱۴ بار – خیز تیر قوسی در نمونه‌های باالیاف

با توجه به نمودارهای فوق، نمونه های حاوی الیاف ظرفیت باربری بیشتری از خود نشان می‌دهند و خیز آنها کمتر از نمونه‌های مشابه بدون الیاف است. ودر حالت کلی نمونه حاوی الیاف که شامل میله‌گرد نمره ۱۰ بود دارای بیشترین ظرفیت باری و کمترین میزان خیز بود. با توجه به نتایج مقاومت فشاری و خمشی بدست آمده امکان استفاده از این نوع نگهداری در تونل‌های راه وانحراف آب وجود دارد.

فصل پنجم
بررسی نتایج حاصل از آزمایش

۵-۱ نتیجه‌گیری

از جمله موضوعات اصلی در رابطه با بتن، نحوه اجرای آن می‌باشد و از دستاوردهای صنعت بتن در ارتباط با این مسئله ابداع بتن‌های خودمتراکم و بدون احتیاج به متراکم کننده می‌باشد.

در زمینه تاثیر شکل و نوع الیاف بر خواص مکانیکی بتن خودمتراکم تاکنون آزمایشاتی انجام نشده است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از الیاف پروپیلن برخواص مکانیکی بتن خودمتراکم بوده، لذا تغییرات اصلی آزمایش در شکل و مقدار الیاف بوده بطوریکه نوع بتن خودمتراکم ثابت می‌باشد.

در این پژوهش از الیاف پروپیلن با درصد های متغیر به وزن سیمان استفاده گردید تا تأثیر شکل الیاف و درصدهای مختلف حجمی الیاف بر روی بتن خودمتراکم مورد بررسی قرار گیرد.

به منظور رسیدن به طرح اختلاط مناسب در رابطه با روانی، همگنی و نتیجتاً مقاومت مناسب با ساخت بتن‌های خودمتراکم مختلف با تغییر نسبت‌های پودر سنگ آهک، نسبت آب به پودر، سنگدانه‌ها و درصد فوق روانساز، نمونه‌های بتن خودمتراکم با قالب‌های کوچک تهیه گردید و ضمن بررسی روانی و همگنی بتن تازه مشخصات بتن سخت شده مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت طرح اصلی بتن خودمتراکم بدست آمد.

۵-۲ نتایج حاصل از خواص مکانیکی نمونه های استوانه ای و مکعبی

۱- با افزایش درصد الیاف، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد و این روند تا رسیدن به درصد بهینه الیاف پروپیلن(۰/۱ ٪ وزن سیمان) ادامه داشته و بعد از آن به دلیل ایجاد خلل و فرج، زیاد روند نزولی پیدا می‌کند. با استفاده از الیاف پروپیلن به میزان ۰/۱ ٪ وزن سیمان، افزایش مقاومت فشاری برابر ۴/۲ درصد است. درصد رشد مقاومت فشاری دربتن خود متراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خود متراکم بدون الیاف در سن ۷ روز از ٪ ۱/۷ تا ٪ ۱۷ و در سن ۲۸ روز از ٪ ۱/۲ تا ٪ ۱۰/۲ متغیر است.

۲- با افزایش درصد الیاف، مدول‌الاستیسیته به طور چشمگیری افزایش می‌یابد و این روند تا رسیدن به درصد بهینه پروپیلن(۰/۱ ٪ وزن سیمان) ادامه داشته و بعد کاهش پیدا می‌کند. در الیاف پروپیلن با استفاده از ۰/۱ ٪ وزن سیمان، افزایش مدول‌الاستیسیته برابر ۱۳/۴ درصد است. درصد رشد مدول‌الاستیسیته دربتن خود متراکم حاوی الیاف، نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روز از ٪ ۱/۶ تا ٪ ۲۷/۹ و در سن ۲۸ روز از ٪ ۷/۲ تا ٪ ۲۶/۳ متغیر است.

۳- با افزایش درصد الیاف، مقاومت کششی افزایش می‌یابد و این روند تا رسیدن به در صد بهینه الیاف (۰/۱ ٪ وزن سیمان) ادامه داشته و بعد از آن به دلیل ایجاد خلل و فرج زیاد روند نزولی پیدا می‌کند.

در الیاف پروپیلن با استفاده از ۰/۱ ٪ وزن سیمان افزایش مقاومت کششی برابر ۷/۴ درصد است. درصد رشد مقاومت کششی غیر مستقیم دربتن خودمتراکم حاوی الیاف نسبت به بتن خودمتراکم بدون الیاف در سن ۷ روز از ٪ ۷/۷ تا ٪ ۲۶/۶ و در سن ۲۸ روز از٪ ۱/۶ تا ٪ ۱۸/۵ متغیر است.

۴-در کلیهٔ نمونه‌های بتن خودمتراکم به علت مقاومت بالای آنها و به دلیل استفاده از سنگدانه‌های معمولی و وجود ملات قوی سیمان و میکروسیلیس، شکست نهایی همراه با شکست سنگدانه‌ها همراه بود.در نمونه‌های الیافی فشاری و کشش غیرمستقیم حتی پس از گسیختگی،(بخاطر آنکه الیاف، اجزاء بتن را بخوبی به هم می‌دوزند) شکل کلی نمونه حفظ می‌شود.

۵-۳ نتایج حاصل از خواص مکانیکی نمونه های قوسی شکل

۱- با ثابت نگه داشتن مقاومت، افزودن الیاف پلی پروپیلن در دهانه‌های برشی، مقاومت ترک خوردگی و مقاومت نهائی برشی تیرها را افزایش می‌دهد. این امر مبین آن است که الیاف پلی‌پروپیلن قبل و پس از ترک خوردگی، در مقاومت جان تیر، نقش مهمی ایفا می‌کنند. با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن در دهانه‌های برشی، خیزهای تیر (تحت بارگذاری یکسان) کاهش می‌یابد. همانطور که مشاهده شد در تیرهای فاقد الیاف، ترک‌ها دارای سرعت رشد بیشتری از تیرهای حاوی الیاف پلی‌پروپیلن می‌باشند و نفوذ بیشتری می‌یابند.

۲- میزان قابلیت تحمل بار خمشی در تیرهای حاوی الیاف نسبت به تیرهای فاقد الیاف بیشتر

می‌باشد. در تیرهای قوسی فاقد الیاف، تیرهایی که حاوی میله‌گردهای نمره ۱۰ می‌باشند دارای تحمل بار به میزان ۸/۸ تن در هر متر می‌باشد که از نظر مقاومت خمشی بهترین نتیجه را دارا می‌باشند.
۳- در تیرهای قوسی حاوی الیاف، تیرهایی که حاوی میله‌گردهای نمره ۱۰ می‌باشند دارای تحمل بار به میزان ۹/۲ تن در هر متر می‌باشد که از نظر مقاومت خمشی بهترین نتیجه را دارا می‌باشند.
۴- با توجه به نتایج بدست آمده نمونه‌های حاوی الیاف از نظر تحمل مقاومت خمشی و کاهش عرض ترک‌ها خواص بهتری را از خود نشان می‌دهند. با توجه به نتایج بدست آمده، نمونه‌های فوق قابلیت کاربرد در نگهداری تونل‌های معدنی، راه و حتی تونل‌های انتقال آب را دارا می‌باشد.

۵-۴ با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق پیشنهادات زیر برای تحقیقات بعدی ارائه می‌شود:

۱- بررسی تاثیر عوامل خورنده از جمله سولفات ها و کلرورها بر مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی در بتن‌های خودمتراکم حاوی الیاف.

۲- تعیین نفوذپذیری بتن خودمتراکم حاوی الیاف و بررسی تاثیر الیاف بر بتن‌های خودمتراکم با رده های مختلف مقاومت

۳- بررسی رفتار بتن خودمتراکم حاوی الیاف در تثبیت شیب‌های سنگی.

۴- بررسی رفتار بتن خودمتراکم حاوی الیاف در پوشش ضد آتش.

۵- کاربردی سازی این طرح برای استفاده در تونل‌های معدنی و راه‌ها و همچنین تونل‌های انحراف آب.

فهرست منابع

منابع:

۱-آیین‌نامه بتن ایران (۱۳۸۲) ،معاونت امور فني ، دفتر تدوين ضوابط و معيارهاي فني-تجديد نظر اول –سازمان مديريت و برنامه ريزي كشور،

۲-طاحوني، شاپور (۱۳۷۹)، طراحي ساختمان‌هاي بتن مسلح بر مبناي آيين‌نامه بتن ايران(آبا) انتشارات دانشگاه تهران .

۳-تعاوني، شاهين (۱۳۷۳)، بتن پيش تنيده-انتشارات دانشگاه تهران.

[4] ACI Committee, (1993), Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*,* American Concrete Institute*, Farmington Hills, Michigan , pp.470-482.*

[5] ACI committee, (1988), Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete*, ACI Struct, pp.563-580.*

[6] ACI committee, (1982), Concrete International*, ACI journal, pp.544-562.*

[7] Al-Zaharani, M., G.J, Al-Sulaimani, (1988), Effect of Polypropylene Fiber Reinforcement on the Properties of Fresh and Hardened Concrete in the Arabian Gulf Enviroment*, Cement and Concrete Research, Vol.18, pp. 561-570.*

[8] ASTM, Standard test method for length change hardened hydraulic cement mortar and concrete*, Annual Book ASTM Standards, p. 236, 2002*

[9] Dehn, F, K, Holschemacher, and D, Weisse, (2000), Self-Compacting Concrete - Time Development of the Material Properties and the Bond Behavior, *LACER No. 5, pp.115-123 .*

[10] Dramix, (1987), Steel Fiber for Concrete Reinforcement*, pp.6-11.*

[11] Harex, (1986), Stahlfa Sertechnic Information GmbH & Co*, KGg. pp1-13.*

[12] Hogan, F.J, and Meusel, J.W, *(1981),* Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast Furnace Slag, Cement, Concrete and Aggregate, *3, No.1, pp.40-52.*

[13] Nakamura, M, (1998), New Mechanical Joint Segment Tunnel Lining System*, Nippon Steel Technical Report, NO77, 78.*

[14] Nan, Su, K.C, Hsu, (2001), A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete*, Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp.1799-1807.*

[15] Okamura, H, (1997), Self-Compacting High-Performance Concrete, *Concrete International, pp.50-54.*

[16] Otter DE, Naaman AE, (1988), Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Under Cyclic Loading. *ACI Mater, 85(4) , pp.61–89.*

[17] Ouchi, M., M. Hibino, and H. Okamura, *(1996)*, Effect of Super Plasticizer on Self-compact Ability of Fresh Concrete, *TRR 1574, pp.37-40.*

[18] Pera, J, Husson, S, and Guilhot, B, (1999) , Influence of Finely Ground Limestone on Cement Hydration*, Cement & Concrete Composites, pp. 99-105.*

[19] Persson, B, (1999), Compatibility Between Floorings on Concrete Concerning Emissions, Moisture and Carbonation Effect of Production Methods in Indoor Environment*, Report TVBM-7149, Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, Lund133 pp.*

[20] Song, P.S, Hwang, S and B.C. Sheu, (2005), Strength Properties of Nylon- and Polypropylene-Fiber-Reinforced Concretes*, Taiwan, Cement and Concrete Research,Vol. 35, pp. 1546-1550.*

[21] Soroushian, P, A.M. Alhozaimy, (1995), Mechanical Properties of Polypropylen Finer Reinforced Concrete and Effects of Pozzolanic Materials*, Cement & Concrete Composites, Vol. 18, pp. 85-92.*

[22] Subramanian, S, and D, Chattopadhyay, (2002), Experiments for Mix Proportioning of Self-Compacting Concrete*, The Indian Concrete Journal, pp.13-20 (2002).*

Abstract:

Reinforced self-Compacting Concrete (RCC) has been used in the construction of conveying water conversion tunnels due to low permeability and durability of RCC in recent decades. The self-compacting concrete is a new type of concrete which has been considered as a great revolution in construction of complicated reinforced concrete structures. This concrete with unique advantages of no need for compacting, ability to flow easily through reinforced net, ability of generating concrete segments with complicated shapes has found special place in building industry.
In the order hand by using different types of fibers such as steel and propylene fibers, the mechanical properties of RCC such as tensile strength, control of cracking, abrasion resistance against impact and no segregation of concrete components have been improved largely.

There are only a few reports for experimental research performed in Iran using self compacting concrete with fibers meanwhile international works mainly limited to the usages of fibers especially steel fibers in normal concrete. Some of new works is the evaluation of the crack width of fiber concrete used in lining of tunnels which carried out by **Bernadino** et al (2009) in Turin University in Italy and the design of lining tunnels by using fiber concrete by Sorely et al (2005) in Bersha University in Italy.
In this study, a comprehensive set of experiments were designed to investigate the properties of RCC, the effects of using fibers in RCC and to compare the load capacity of FRCC with normal reinforced concrete. The results showed that the relation between compressive strength of 7 and 28 days for self-compacting concrete can be represented as $f_{cu28} = 1.6\ f_{cu7}$. This means that RCC in 7 days obtains 62% of strength of 28 days which can be the effect of super plastezier (10pn) while in normal concrete after 7 days it obtains 70 to 80 percent of strength of 28 days. Other findings were the relation between and the compressive strength of 28 days of standard concrete as follows:

$$f_r = 1.37\sqrt{f_c}$$

$$E = 4698\sqrt{f_c}$$

$$f_{ct} = 0.88\sqrt{f_c}$$

showing an increase of 117% and 6% and 60% in ultimate strength, elasticity modulus and tensile strength of FRCC in compare with those of normal concrete. The improvement in the properties of FRCC attributed to the presence of fibers and reduction in parentage of air in RCC. The results also showed that in the case 10 mm reinforcing bars, adding fibers with 0.1% of cement weight provides the maximum flextural strength and minimum number of cracks.