بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی عمران

بررسی رفتار خمشی تیرهای ساخته شده از بتن خودمتراکم

سید محسن دیبا

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران-سازه

اساتید راهنما

دکترمرتضی زاهدی

دکترعلی اکبر مقصودی

اسفند ۸۶

چکیده :

بتن به عنوان پر مصرف ترین مصالح ساختمانی شناخته می شود که استفاده از آن همچنان در حال ا فزایش است. با گسترش ا ستفاده از بتن، اقتصاد، دوام و کیفیت آن ا همیت ویژه ای می یا بد. بتن خود متراکم صورت جدیدی از کاربرد بتن در علم مصالح ساختمانی است که حدود دو دهه از عمر آن می گذرد. با استفاده از ویژگی های خاص این بتن می توان بر مشکلات ناشی از عدم تراکم مناسب در سازه های بتنی فا ئق آمد. از پی آمدهای عدم تراکم مناسب بتن می توان به کاهش دوام و عمر مفید سازه اشاره داشت. بتن خود متراکم بدون نیاز به هیچ لرزاننده ای تحت اثر وزن خود متراکم شده و کارایی خوبی بدست می دهد. ایده این بتن اولین بار توسط شخصی به نام Okamura در ژاپن مطرح گردید ودر ساخت پل Akashi-Kaikyo بکار گرفته شد. امروزه این بتن درسراسر جهان مورد استقبال زیاد قرار گرفته و مراکز تحقیقاتی متعددی در زمینه های مختلف بر روی آن کار می کنند. اکثر تحقیقات انجام شده تا کنون در مورد ایجاد شیوه های صحیح طرح اختلاط، ابداع روشهای قابلیت خود تراکمی و بررسی ویژگی های تکنولوژیکی این بتن بوده است. رفتار این بتن در اعضاء سازه ای کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیق شامل بررسی رفتار بتن خود متراکم در اعضاء خمشی(تیرها) می باشد که آیا روابط و تئوریهای حاکم در تیرهای بتن مسلح معمولی در تیرهای ساخته شده از این نوع بتن نیز حاکم است یا خیر؟ ۴ عدد تیر از بتن خود متراکم به مقطع ۲۰×۳۰ سانتیمتر و به طول ۳ متربا درصد متفاوت فولادطولی آزمایش شدند. مقاومت بتن مورد استفاده $f_c^{'} = 300\,Kg/Cm^2$ بود. نمونه ها تحت آزمایش خمش قرار گرفته و در هر مرحله از آزمایش نتایج (شامل کرنش در فولادها ، کرنش در بتن و خیز تیر) برداشت شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مشاهده شد تیرهای ساخته شده از بتن خود متراکم مقاومت نهائی بیشتری نسبت به تیرهای بتن مسلح معمولی از خود نشان دادند و کرنش نهائی ودرصد فولاد متعادل دربتن خود متراکم بیش از کرنش نهائی ودرصد فولاد متعادل در بتن های معمولی است. همچنین در تیرهای SCC ترک ها به علت ریز دانه بودن بتن بطور بسیار یکنواخت در طول تیر پخش می شوند.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه ۱

فصل اول : معرفی بتن خودمتراکم و هدف از این تحقیق ۴

۱-۱- معرفی بتن خود متراکم، تاریخچه، مزایا و معایب ۵

۱-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده و هدف از این تحقیق ۸

۱-۳- ویژگی های بتن خود متراکم تازه ۱۳

۱-۳-۱- کارآیی بتن خود متراکم ۱۳

۱-۳-۱-۱- توانایی پرکنندگی ۱۳

۱-۳-۱-۲- مقاومت در برابر جداکنندگی ۱۴

۱-۳-۱-۳- توانایی عبور کنندگی ۱۵

۱-۳-۲- آزمایش های بتن تازه ۱۷

۱-۳-۲-۱- آزمایش جریان اسلامپ ۱۹

۱-۳-۲-۲- آزمایش حلقه J ۲۰

۱-۳-۲-۳- آزمایش قیف V ۲۱

۱-۳-۲-۴- آزمایش جعبه ها L ۲۳

۱-۳-۳- نتایج مورد قبول آزمایشهای بتن تازه ۲۶

فصل دوم : آزمایش ها ۲۷

۲-۱- طراحی تیرها ۲۸

۲-۱-۱- تعیین ابعاد تیر و نحوهٔ بارگذاری ۲۸

۲-۱-۲- مشخصات مکانیکی فولادها مصرفی ۳۱

۲-۱-۳- تعیین آرماتور تیرها و محل کرنش سنج ها ۳۲

۲-۲- اجرای تیرها ۳۶

۲-۲-۱- نصب کرنش سنج الکتریکی بر آرماتورها و آرماتوربندی تیرها ۳۶

۲-۲-۲- قالب بندی و بتن ریزی ۳۹

۲-۲-۳- مراقبت و عمل آوری نمونه ها ۴۵
۲-۲-۴- تعیین مقاومت فشاری بتن ۴۶
۲-۳- آزمایش تیرها ۴۷
۲-۳-۱- آماده سازی تیرها ۴۷
۲-۳-۲- بارگذاری و برداشت اطلاعات ۵۱
۲-۳-۲-۱- تیر SCCB1 ..... ۵۲
۲-۳-۲-۲- تیر SCCB2 ..... ۵۵
۲-۳-۲-۳- تیر SCCB3 ..... ۵۸
۲-۳-۲-۴- تیر SCCB4 ..... ۶۱
۲-۳-۳- نمودار تنش کرنش بتن ۶۵
فصل سوم : تحلیل اطلاعات برداشت شده ۶۷
۳-۱- محاسبه حداکثر کرنش بتن و عمق تار خنثی ۶۸
۳-۲- نمودارها ۷۱
۳-۲-۱- نمودار بار-خیز ۷۱
۳-۲-۲- نمودار بار - عمق محور خنثی ۷۲
۳-۲-۳- نمودار بار - کرنش فولاد کششی و بار حداکثر کرنش بتن ۷۳
۳-۲-۴- نمودار بار- کرنش فولاد فشاری ۷۵
۳-۳- محاسبه بار ترک خوردگی، تسلیم و نهایی و مقایسه با مقادیر آزمایشگاهی ۷۶
۳-۳-۱- بار ترک خوردگی ۷۶
۳-۳-۲- بار تسلیم میلگردها کششی ۷۷
۳-۳-۳- بار نهایی ۷۸
فصل چهارم : نتیجه گیری و پیش بینی ها برای تحقیقات آینده ۸۰
۴-۱- بار ترک خوردگی تسلیم و نهایی ۸۱
۴-۲- کرنش نهایی بتن ۸۱
۴-۳- نحوۀ شکست تیرها و درصد فولاد متعادل ۸۱
۴-۴- نتیجه گیری ۸۲

۴-۵- پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده ۸۲
پیوست الف : محاسبات مربوط به عمق محور خمشی ۸۴
پیوست ب : نمودارها ۱۰۱
مراجع ۱۱۰

فهرست اشکال

عنوان صفحه

۱-۱ آزمایش جریان اسلامپ ۱۹
۱-۲ نحوهٔ انجام آزمایش جریان اسلامپ ۲۰
۱-۳ تصویری از آزمایش J-Ring ۲۰
۱-۴ مشخصات حلقه J ۲۱
۱-۵ قیف V ۲۲
۱-۶ جعبهٔ L و میلگردهای جلوی دریچه ۲۴
۲-۱ نحوهٔ بارگذاری تیر ۲۹
۲-۲ مقطع تیر مورد استفاده ۳۰
۲-۳ نحوهٔ بارگذاری طرز قرارگیری تیر روی تکیه گاه و نحوه اعمال بار ۳۰
۲-۴ نمونه های میلگرد جهت آزمایش کششی ۳۱
۲-۵ دستگاه یونیورسال جهت تست کشش میلگردها ۳۲
۲-۶ جزئیات آرماتور نمونه ها ۳۳
۲-۷ محل نصب کرنش سنجها و نحوه شماره گذاری آنها ۳۵
۲-۸ مراحل نصب کرنش سنجها ۳۸
۲-۹ قفسه آرماتورها ۳۹
۲-۱۰ تصویری از عملیات اختلاط ۴۱
۲-۱۱ آزمایش جریان اسلامپ ۴۲
۲-۱۲ آزمایش V-Funal ۴۲
۲-۱۳ آزمایش L-Box ۴۳
۲-۱۴ نمایی از تیر و نمونه های اجرا شده ۴۴
۲-۱۵ نمایی از تیر SSCB2 پس از بتن ریزی ۴۴
۲-۱۶ نمایی از دو تیر پس از بتن ریزی و تسطیح ۴۵
۲-۱۷ عمل آوری نمونه ها و زیر گونی خیس و پلاستیک ۴۶

۲-۱۸ محل نصب پولکی ها ۴۷
۲-۱۹ پولکی ها نصب شده در تیر ۴۸
۲-۲۰ تیر آماده جهت بارگذاری ۵۰
۲-۲۱ شکست تیر شماره ۱ ..... ۵۳
۲-۲۲ نحوهٔ گسترش ترکها در تیر SSCB1 ..... ۵۳
۲-۲۳ نحوهٔ گسترش ترکها در تیر SSCB2 ..... ۵۶
۲-۲۴ نحوهٔ گسترش ترکها در تیر SSCB3 ..... ۵۹
۲-۲۵ جدا شدن بتن از روی میلگردهای فوقانی ۶۲
۲-۲۶ نحوهٔ گسترش ترکها در تیر SSCB4 ..... ۶۳
۲-۲۷ منحنی تنش کرنش نمونه فشاری ۶۶
۳-۱ نمودار بار خیز در وسط دهانه ۷۱
۳-۲ نمودار بارخیز باری ۵ مرحله اول بارگذاری ۷۲
۳-۳ نمودار بار عمق محور خمشی در وسط دهانه ۷۳
۳-۴ نمودار بار کرنش فولاد کششی در وسط دهانه ۷۴
۳-۵ نمودار بار حداکثر کرنش بتن در وسط دهانه ۷۴
۳-۶ نمودار بار کرنش فولاد فشاری در وسط دهانه ۷۵
۳-۷ نمودار تنش کرنش بتن ۷۷

فهرست جداول

عنوان صفحه

۱-۱ آزمایشهای کارآیی بتن خود متراکم ۱۸
۲-۱ معیارهای قبول بتن خود متراکم ۲۶
۱-۲ مشخصات نمونه ها ۳۳
۲-۲ نتایج آزمایشهای بتن خود متراکم تازه ۴۳
۳-۲ مقاومت فشاری نمونه ها ۴۶
۴-۲ اطلاعات برداشت شده از تیر SSCB1 ..... ۵۴
۵-۲ اطلاعات برداشت شده در مرحله تسلیم تیر SSCB1 ..... ۵۴
۶-۲ اطلاعات برداشت شده از تیر SSCB2 ..... ۵۷
۷-۲ اطلاعات برداشت شده در مرحله تسلیم تیر SSCB2 ..... ۵۷
۸-۲ اطلاعات برداشت شده از تیر SSCB3 ..... ۶۰
۹-۲ اطلاعات برداشت شده در مرحله تسلیم تیر SSCB3 ..... ۶۰
۱۰-۲ اطلاعات برداشت شده از تیر SSCB4 ..... ۶۴
۱۱-۲ اطلاعات برداشت شده در مرحله تسلیم SSCB4 ..... ۶۴
۱۲-۲ تنش ها و کرنش های قرائت شده در مراحل بارگذاری نمونه فشاری ۶۵
۱-۳ کرنش بتن در دورترین بتن تار فشاری تیر SSB1 ..... ۶۹
۲-۳ کرنش بتن در دورترین بتن تار فشاری تیر SSB2 ..... ۶۹
۳-۳ کرنش بتن در دورترین بتن تار فشاری تیر SSB3 ..... ۷۰
۴-۳ کرنش بتن در دورترین بتن تار فشاری تیر SSB4 ..... ۷۰
۵-۳ مقادیر بار ترک خوردگی محاسباتی و آزمایشگاهی ۷۶
۶-۳ مقادیر بار تسلیم و محاسباتی و آزمایشگاهی ۷۷
۷-۳ مقادیر بار نهایی و محاسباتی و آزمایشگاهی ۷۸
۸-۳ کرنش هادر بتن و فولاد در بار نهایی ۷۹

مقدمه

امروزه استفاده از بتن در عملیات عمرانی بدون شک بسیار گسترده است، بطوریکه کمتر می‌توان پروژه‌ای از گرایشهای مختلف را بدون بهره‌گیری از بتن مشاهده کرد. این موضوع سبب شده تا تحقیقات گسترده‌ای جهت استفادهٔ بهینه و اقتصادی از این ماده صورت پذیرد. قسمتی از این تحقیقات با هدف کا هش هزینه‌های بهره‌برداری، کا هش زمان عملیات اجرائی و افزایش کیفیت صورت گرفته است.

بتن با توجه به خصوصیات مربوط به روانی آن، به مقدار مناسبی ویبره‌کردن نیاز دارد تا بتواند فضای خالی داخل بتن را پر کرده و در محل خود به شکل پیوسته‌ای جای گیرد. در بعضی موارد خاص بتن‌ریزی، محدودیتهائی مانندتراکم آرماتورها، کوچک بودن فضای بتن‌ریزی، شکل غیر یکنواخت قالب باعث ایجاد حفره و کرموشدگی بتن شده و تاثیر منفی بر کیفیت سازه بتنی دارد. از سوی دیگر استفاده از نیروی انسانی ماهردر اجرای سازه بتنی، نقش مهمی در کیفیت و دوام این سازه ها ایفا می کند.

با توجه به اینکه ژاپن کشوری زلزله خیز می باشد تمایل به استفاده از آرماتورگذاری متراکم(جهت عملکرد بهتر سازه ای) از یک طرف و کاهش تدریجی در تعداد نیروی کار ماهر در صنعت ساخت و ساز این کشور در اوائل دهه ۸۰ از سوی دیگر، باعث کاهش کیفیت اجرای سازه های بتنی گردید.

این موضوع برای چندین سال مورد بحث و بررسی قرار گرفت، تا اینکه نظریه بتن خود متراکم (Self Compacting Concrete) یعنی بتنی که خودش متراکم شود و احتیاج به تراکم توسط عامل خارجی نداشته باشد، به عنوان راه حلی برای رفع مشکل کیفیت و دوام سازه‌های بتنی توسط Okamuru درسال ۱۹۸۶ مطرح شد.

از آن پس تحقیقات گسترده‌ای در مراکزمختلف در سراسر جهان جهت شناخت ویزگی های این نوع بتن آغازشد. اکثر تحقیقات انجام شده تا کنون، در زمینه بدست آوردن روش های طرح اختلاط، شناخت عوامل مهم در قابلیت خود تراکمی و روش های آزمایش آن بوده و رفتار سازه‌ای این نوع بتن

کمتر مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. به عبارت دیگر عملکرد بتن خود متـراکم در اعـضاء سازه‌ای هنوز شناخته شده نیست. از آنجا که خمش تقریبا در طراحی تمامی اعضاء بتن مسلح نقـش مهمی دارد، بررسی رفتار خمشی بتن خود متراکم از اهمیت ویژه ای برخوردار است. آیا رفتار این نـوع بتن ها در خمش مانند رفتار بتن های معمولی است؟ آیا تئوری ها وروابط حاکم در اعضاء خمشی بتن مسلح معمولی در مورد اعضاء خمشی ساخته شده از بتن خود متراکم نیز صـادق اسـت یـا خیـر؟ آیـا تیرهای بتن مسلح که در آنها از این نوع بتن استفاده شده، مقاومت نهائی مورد انتظار که از روابط بتن مسلح معمولی بدست می آید را دارا هستند؟

به عبارت دیگر در این تحقیق رفتار خمشی تیرهای سـاخته شـده از بـتن خـود متـراکم بررسـی می‌شود. برای این منظور تعداد ۴ عدد تیر از بتن خود متراکم با درصد متفاوت فولاد طـولی سـاخته و تحت آزمایش خمش قرار گرفتند. کرنش فولادها، کرنش بتن و خیز تیر در مراحل مختلف ثبت شده و مورد بحث قرار گرفته است تا با عملکرد این نوع بتن در خمش آشنائی بیشتری صورت گیرد.

این پروژه مشتمل بر ۴ فصل می باشد. فصل اول شامل تحقیقات انجام شده در مـورد ایـن بـتن، هدف از این تحقیق وآزمایش های بتن تازه است. در فصل دوم نحوه انجام آزمایش های سازه ای بیان شده است. فصل سوم به تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمـده از آزمـایش هـا اختـصاص دارد. در فـصل چهارم ضمن نتیجه گیری پیشنهادهایی برای محققین دیگر با توجه به نتیـاج حاصـله ارائـه گردیـده است.

فصل اول

معرفی بتن خود متراکم و هدف از این تحقیق

بتن خود متراکم از سال ۱۹۸۶ جهت افزایش کیفیت و دوام سازه های بتنی در ژاپن مطرح گردید و پروژه های متعددی با استفاده از این بتن اجرا شد[۱]. بتن خود متراکم تازه با توجه به ویژگی هایی که از نظر ساختاری وتکنولوژی دارد می تواند در اثر وزن خود در قالب قرار گرفته و نیاز به هر نوع ویبره را از بین ببرد. در ادامه این مبحث ضمن معرفی بتن خود متراکم و ویژگی های آن، تحقیقات انجام شده در مورد این نوع بتن ها و هدف از این تحقیق بیان می شود.

۱-۱- معرفی بتن خود متراکم، تاریخچه، مزایا و معایب:

بتن خود متراکم (Self Compacting Concrete)، بتنی است که تحت اثر وزن خود روان شده (جریان می‌یابد) و قالب را کاملاً پر کرده، حتی اگر میلگردهای متراکم و انبوهی وجود داشته باشد و نیاز به هیچ عامل خارجی جهت ایجاد تراکم نداشته و حین ساخت ، حمل و بتن‌ریزیی همگنی خود را حفظ می‌کند . چنین بتنی همچنین با نامهای بتن خود تحکیم، بتن ویبره نشده، و بتن خود تراز نیز شناخته شده است. این ترکیب جدید مقاومت بالایی را در برابر جداشدگی دانه ها از خود نشان می دهد و بدون هیچ گونه ویبره کردنی در قالب جای می گیرد.

بتن یکی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی است و در تمامی پروژه‌های عمرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد . برای ساخت یک سازۀ بتنی بادوام و کیفیت مناسب ، عملیات بتن‌ریزی و تراکم بتن باید با دقت بالایی صورت گرفته تا از ایجاد حفره و کرموشدگی بتن جلوگیری شود . برای ایجاد تراکم دربتن معمولی از انواع لرزاننده های خارجی (بسته به نوع عضو سازه‌ای که بتن‌ریزی می‌شود) استفاده می‌گردد. پر واضح است ، عامل موثر دیگر در کیفیت سازۀ بتنی عوامل اجرائی هستند. میزان مهارت نیروی انسانی تاثیر مستقیم بر کیفیت کار اجرائی داشته ، بطوریکه کاهش نیروی کار ماهر یا استفاده از نیروی کاری با مهارت کم باعث کاهش کیفیت عملیات اجرائی می‌شود . از سوی دیگر تمایل به استفاده از آرماتورگذاری با تراکم زیاد (جهت عملکرد بهتر سازه‌ای) و همچنین تمایل به استفاده از آرماتورهای به قطر کمتر و تعداد بیشتر، ایجاد تراکم و در نتیجه کیفیت سازۀ بتنی را دچار مشکل می‌کند.

همانگونه که ذکر شد تمایل به استفاده از آرماتورگذاری با تراکم زیاد از یک سو وکـاهش نیـروی انسانی ماهر در اوائل دهۀ ۸۰ میلادی و از سوی دیگر در ژاپن، باعث کاهش کیفیـت کارهـای اجرائـی گردید. این مشکل برای چندین سال مورد بحث و بررسی قرار گرفـت . محققـان بـه دنبـال یـافتن راه حلی جهت کاهش دخالت نیروی انسانی در عملیات بتن‌ریزی و در نتیجه بالا بردن کیفیـت و سـرعت عملیات اجرائی بودند که نهایتاً در سال ۱۹۸۶ نظریه بتن خود متراکم (SCC) توسـط Okamura مطرح گردید[۱]. در واقع استفاده از بتن خود متراکم به جای بتن معمولی بـه عنـوان راه حلـی بـرای رفع مشکل کیفیت و دوام سازه‌های بتنی پیشنهاد شد.

در بتن های معمولی جهت افزایش روانـی بـتن ازفـوق روان کننـده هـا (Super Plasticizer) استفاده می شود . اصل بسیار مهم برای روانی و عدم جدائی بتنهای (SCC) ، استفاده از ترکیب فوق روان کننده ها به همراه حجم بالایی از مواد پودری است که نیتجـه بـسیار خـوبی را در خـصوصیاتی همچون روانی ، مقاومت به جدا شدگی و مقاومت فشاری نمونه نشان می دهد .

استفاده از این بتن با توجه به حذف ویبره سبب کاهش هزینه ها گشته و به دلیل جاگیری بهتـر در قالبهای منحنی خصوصیات منحصر به فردی را برای کاربردان فراهم می آورد. این موضـوع در پـی ها با آرماتور گذاری متراکم و پیچیده ، بتن ریزی پشت قالب تونل ها ، داخـل شـمعها و .... بـسیار بـا ارزش می باشد و رضایت بسیاری را برای کاربران آن مهیا می کند. رها سازی بتن از ارتفـاع در حالـت معمولی محدود یت های بسیاری دارد . اما با توجه به مقا وت چنین بتن در برابر جـدا شـد گـی، رکورد های بی سا بقه ای در بتن ریزی از ارتفاع به جای گذاشته است. بطورخلاصـه بـتن خـودتراکم این امکان رافراهم نموده تاسازه های بتنی رابا کیفییتی اجرا نمائیم که امکان تولید آن با بتن معمولی وجودنداشته است. این باعث افزایش کیفیت ، صرفه‌جوئی اقتصادی ، کاهش زمان ساخت و در نتیجـه بالا رفتن راندمان نمایی می‌شود[۲].

مزایای استفاده از بتن خود متراکم بصورت زیر خلاصه می شود :

۱- حذف کرموشدگی بتن در نتیجه افزایش دوام و کیفیت سازه بتنی

۲- امکان استفاده از آرماتورگذاری متراکم و پیچیده (درنتیجه بهبود عملکرد در برابر زلزله)

۳- افزایش سرعت اجرای سازه بتنی

۴- کاهش نیروی انسانی مورد نیاز

۵- کاهش آلودگی صوتی

۶- افزایش ایمنی کارگاه

۷- صرف انرژی کمتر

۸- افزایش مقاومت در برابر جدا شدگی دانه ها در نتجیه امکان بتن ریزی از ارتفاع

معایب استفاده از بتن خود متراکم عبارتند از :

۱- افزایش حجم مورد نیاز مواد پودری و فوق روان کننده ها در نتجیه افزایش قیمت واحد بتن

۲- عدم وجود آئین نامه مشخص در زمینه طرح و ساخت این بتن چه در زمینه تکنولوژی و چه در زمینه سازه ای

از پروژه هایی که در ساخت آنها از بتن خود متراکم استفاده شده می توان به مواد زیر ا شاره کرد:

۱- برج Landmark [۵]

۲- پل Akashi-Kaikyo [۱]

۳- منبع گاز LNG [۲]

لازم به ذکر است تمامی پروژه های مذکور در کشور ژاپن اجرا شده است.

۱-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده و هدف از این تحقیق:

امروزه بتن یکی از پر مصرف‌ترین مصالح مورد استفاده در صنعت ساخت و ساز به شمار می‌رود . به همین علت کیفیت اجرای سازه‌های بتنی تاثیر زیادی بر کیفیت صنعت ساختمان دارد. در دوام و کیفیت سازه‌های بتنی دو عامل کارآیی بتن و نیروی انسانی ما هر نقش عمده دارند . در حدود سال‌های ۱۹۸۳ کاهش تدریجی در تعداد کارگران ماهر در صنعت ساخت و ساز ژاپن باعث کاهش کیفیت کار ساخت شد. بنابراین بهترین راه جهت دست‌یابی به سازه‌های بتنی با دوام و کیفیت مناسب استفاده از روشی بود که بوسیلهٔ آن نیاز به نیروی کار ماهر کاهش پیدا کند. در همین راستا استفاده از بتن خود متراکم یعنی بتنی که بدون نیاز به هیچ نوع ویبره کردنی و تنها تحت اثر وزن خود متراکم شده و تمام فضای داخل قالب را پر کند به عنوان راه حل مناسب برای اولین بار توسط Okamura در سال ۱۹۸۶ پیشنهاد شد[۱].

نمونه اول (SCC) در سال ۱۹۸۸ با استفاده از مصالح اولیه موجود در بازار ساخته شد. این نمونه نتایج قابل قبولی در زمینه انقباض بتن، حرارت هیدراتاسیون، دانسیته بتن پس از سخت شدگی و ... داشت. از سال ۱۹۸۸ به بعد تحقیقات گسترده زیادی برای ایجاد شیوه های صحیح طرح اختلاط انجام شد و روشهای متعددی جهت آزمایش خود تراکمی این نمونه بتن ابداع گردید[۲۵].

پس از آن تحقیقات زیادی در زمینه تکنولوژی بتن خود متراکم و تحققات محدودی در زمینه رفتارهای سازه‌ای این نوع بتن صورت گرفت . تعدادی از مطالبات انجام شده در مورد تکنولوژی بتن خود متراکم به شرح زیر است:

Ozawa و Maekawa اولین کسانی بودند که مطالعات اساسی بر روی کارآیی بتن خود متراکم در دانشگاه توکیو در سال ۱۹۸۹ انجام دادند[۳].

در سال ۱۹۹۶ سخنرانی Okamuru در New orlean باعث علاقه‌مندی بیشتر محققان آمریکایی به شناخت هر چه بهتر این نوع بتن شد و مطالعات و تحقیقات بر روی این بتن با سرعت

بیشتری ادامه یافت. این فعالیت ها شامل تحقیقات گسترده در کانادا توسط پروفسور Aictin و تشکیل یک کمیته تحقیقاتی در ژانویه ۱۹۹۷ در RILEM می‌باشد[۹].

Chai در سال ۱۹۹۸ در پایان‌نامه دکتری خود به طراحی و آزمایش بتن های خود متراکم پرداخت [۶].

در سال ۱۹۹۸ Saria به طراحی و ساخت بتن خود متراکم با مقاومت بالا پرداخت[۷]. Saak در سال ۲۰۰۱ یک روش جدید برای ساخت بتن خود متراکم ابداع کرد[۸]. در سال ۲۰۰۳ Okamuru و Ouchi بر روی روش طرح اختلاط و شیوه‌های آزمایش خود تراکمی بتن خود متراکم تحقیق کردند[۱].

Persson در سال ۲۰۰۴ در مورد انقباض و خزش بتن های خود متراکم تحقیقاتی انجام داد[۶]. در سال ۲۰۰۴ گزارشی تحت عنوان طرح اختلاط و آزمایش بتن های خود متراکم با استفاده از مصالح فلوریدا توسط Gurjar ارائه گردید[۱۱]. در سال ۲۰۰۵ یک مطالعه بر روی ویسکوزیته و قابلیت جریان بتن‌های خود متراکم و رابطه بین کارآیی و تمایل به جداشدگی دانه های این نوع بتن توسط Safawi انجام گردید[۱۲].

یک پروژهٔ تحقیقاتی اروپائی برای اندازه‌گیری خصوصیات بتن خود متراکم تازه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ توسط گروهی از محققین انجام گردید و در سال ۲۰۰۵ توسط Schutter به عنوان دستورالعمل آزمایشات بتن خود متراکم تازه ارائه گردید[۱۳]. در سال ۲۰۰۶ یک بررسی اجمالی از خصوصیات مکانیکی بتن خود متراکم سخت شده با استفاده از داده‌های بیش از ۷۰ مطالعهٔ اخیر توسط Pomone انجام گردید[۱۴].

Turkmen در سال ۲۰۰۶ اثرات سنگدانه‌های Pedite و شرایط نگهداری متفاوت روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن خود متراکم را بررسی نمود[۱۵]. در سال ۲۰۰۶ Nguyen ارتباط بین آزمایش L-BOX و پارامترهای تغییر شکل ماده از یک سیال با تنش تسلیم همسان را مورد مطالعه قرار داد[۱۶]. Sahrnaran تاثیر افزودنی‌های شیمیایی و مواد معدنی بر روی خواص

بتن‌های خود متراکم را بررسی کرد[۱۷]. در سال ۲۰۰۶ Felekoglu اثر نسبت آب به سیمان روی خصوصیات بتن خود متراکم تازه و سخت شده را بررسی کرد[۱۸].

از دیگرموارد می توان به راهنمای بتن خود متراکم اشاره کرد که توسط Efnarc درسال ۲۰۰۲ ارائه شد و درسال ۲۰۰۵ هم پیشنهاداتی به آن اضافه شد. Efnarc یک تشکیلات اروپائی است که در بریتا نیا واقع شده و در سال ۱۹۸۹ پایه گذاری شده است. این تشکیلات زیرنظر کمیته اروپایی بتن به فعالیت می پردازد و نتایج کارآن در آینده زمینه ساز استانداردها و آئین نامه های اروپایی می گردد. در زمینه بتن خود متراکم، این موسسه از کارهای انجام شده در دانشگاه paisley استفاده نموده است[۴].

هم اکنون جهت ساخت و اجرای این نوع بتن از استا ندارد های ارائه شده توسط ژاپن و اروپا استفاده می گردد و هنوز ACI آئین نامه ای در این زمینه منتشر نکرده است و آنرا در دست بررسی و تدوین دارد[۲۶].

مطالعات انجام گرفته در زمینه بررسی سازه‌ای ساخته شده از بتن خود متراکم به شرح زیر می‌باشد:

Han تحقیقی با عنوان مطالعهٔ روی رفتار خمشی مقا طع فولادی توخالی پر شده از بتن در سال ۲۰۰۵ انجام داد. در این تحقیق ۳۶ نمونه تیر کامپوزیت پر شده با بتن خود متراکم تست شدند. پارامترهای اصلی در این مطالعه عبارت بودند از: ۱- نوع مقطع (دایره‌ای و مربعی) ۲- مقاومت تسلیم فولاد ۲۸۲- ۲۳۵ مگا پاسکال ۳- نبت قطر یا عرض به ضخامت دیواره D/t (از ۴۷ تا ۱۰۵) ۴- نسبت دهانه برش به عمق (از ۱/۲۵ تا ۶). مقایسه ها بر روی سختی خمشی تیر که با استفاده از روشهای متفاوت از قبیل(EC4-1994 ، BSS400-1979، AISC-LRFD-1999 ، AIJ-1997) بدست آمد و روش پیشنهادی در این تحقیق انجام گردید[۱۹].

در سال ۲۰۰۵ رفتار شاه تیرهای پیش کشیده ساخته شده با بتن خود متراکم توسط Hamilton بررسی گردید. در این تحقیق ۶ تیر پیش کشیده تحت آزمایش قرار گرفتند. ۳ عدد تیر

از بتن خود متراکم و ۳ عدد دیگر از بتن معمولی ساخته شدند. طول انتقال نیروی پیش تنیدگی، خیز منفی و مد های شکست خمشی و برشی بررسی شدند[۲۰].

Yu در سال ۲۰۰۶ رفتار آزمایشگا هی ستونچه های توخالی فولادی با مقطع دایره‌ای پر شـده از بتن را مورد مطالعه قرار داد. رفتار ستونچه های پر شده از بتن خود متراکم و بتن معمولی که بصورت فشاری تا شکست بارگذاری شده‌اند بررسی شـد. چهـار روش انـدازه‌گیـری روی تغییـر شـکل محـوری نمونه‌ها مقایسه شد. ۱۷ نمونه برای بررسی اثرات مقاومت بتن، سوراخهای شیاری و شـرایط بارگـذاری متفاوت روی ظرفیت نهایی و رفتار بار تغییر شکل ستونها آزمایش شدند[۲۱].

در ایران به نظر می رسد برای اولین بار مقصودی در بخش عمران دانـشگاه شـهید بـاهنر کرمـان اقدام به طراحی و برسی خـواص مختلـف ایـن نـوع بـتن از دیـد فنـاوری و سـازه ای نمـود[۳۲-۲۵]. همچنین نامبرده موفق به طراحی و ساخت نانو بتن خود متراکم در کشور گردیـد[۲۷]. ضـمن اینکـه مقصودی پس از موفقیت در طراحی و ساخت بتن خود متراکم با مقاومت بالا برای اولین بار در کـشور و احتمالا دومین گزارش را در اجرائی کردن این نوع بتن در پل هـای پـیش تنیـده دارای بـتن خـود متراکم در دنیا به عرصه ظهوررساند[۳۲]. یادآور می گردد همچنین وی موفـق بـه طراحـی و سـاخت بتن های خود متراکم سبک سازه ای و کنترل ترک های خمیری به کمک کاربرد پلی پروپیلن در بتن خود متراکم گردید[۳۰و۳۱]. در تحقیق دیگری وی به برسی عملکرد این نوع بـتن در اتـصالات سـازه های بتن مسلح دارای بتن خود متراکم پرداخت[۲۶].

همانگونه که مشاهده شد اکثر تحقیقات انجام شده در مورد بتن هـای خـود متـراکم بـه مطالعـه خواص تکنولوژیکی آن پرداخته است، در این تحقیق هدف برسی رفتار این نوع بتن ها در تیرهای بتن مسلح تحت اثر خمش است. آیا بار ترک خوردگی وبار نهائی تیرهـای سـاخته شـده از بـتن SCC بـا تیرهای ساخته شده از بتن معمولی یکسان است؟ آیا روابط استفاده شده در بتن معمولی (در خمـش) در مورد این بتن ها نیز صادق است؟ آیا کرنش بتن خـود متـراکم در حـد نهـائی همـان کـرنش بـتن معمولی در حد نهائی است؟ وغیره....