فصل اول

پیشگفتار

1-1 مقدمه

بتن یکی از مهمترین و پرکاربردترین مصالح در صنعت ساختمان محسوب شده و ضرورت توسعه آن نیز روز به روز افزایش می یابد. همچنین امروزه در پی گسترش صنعت ساخت و ساز در کشور و نیاز به ایجاد سازه های حیاتی، افزایش دقت و ایمنی در تولید و اجرای سازه های مهندسی امری ضروری می باشد. از جمله راهکارهای مناسب می توان به دستیابی به تکنیک ها وترکیبات جدیدی از مصالح ساختمانی جهت تسهیل پروژه های پیچیده به منظور افزایش ضریب اطمینان و ایمنی ساخت آنها از طریق مکانیزه کردن امور و کاهش دخالت نیروی انسانی اشاره نمود، که مورد مذکور در تقلیل هزینه های مالی ساخت و نگهداری طرحهای پرخرج، نقش بسزایی خواهد داشت. با گسترش استفاده از بتن، ویژگیهایی همچون دوام، کیفیت، تراکم و بهینه سازی آن از اهمیت ویژه ای برخوردار می شوند. بتن خودتراکم (SCC) بتنی سیال و روان و مخلوطی همگن است که بسیاری از مشکلات بتن معمولی نظیر جداشدگی، آب انداختن، جذب آب، نفوذپذیری و ... را مرتفع نموده و علاوه بر آن بدون نیاز به هیچ لرزاننده ای (ویبره)، تحت اثر وزن خود متراکم می شود. این ویژگی کمک شایانی به اجرای اعضای ساختمانی با فشردگی زیاد آرماتور خواهد نمود. لذا مطالعه و تحقیق پیرامون بتن خودتراکم به جهت رفع نواقص ومشکلات تولید وکاربرد آن وپیشبرد نقاط قوت و تواناییش در آینده ای نه چندان دور ضرورتی آشکار است.

یکی از عواملی که باعث شناخته شدن بتن به عنوان مصالحی ممتاز شده است، امکان ساخت بتن از مصالح متفاوت از جمله ضایعات می باشد. استفاده از مواد بازیافتی متفاوت در بتن، علاوه بر تاثیرات مختلفی که بسته به خواص ماده می تواند داشته باشد، به پاکسازی و کاهش آلودگی محیط زیست نیز کمک شایانی می نماید.

با توجه به این که پلاستیک های ضایعاتی همواره در محیط زیست باقی می ماند، لذا همواره یکی از بزرگترین چالش های زیست محیطی در اطراف کلان شهرها در هر کشوری بازیافت و استفاده مجدد از این ضایعات انبوه می باشد. پلاستیک ها انواع مختلفی دارند. یکی از آنها PVC یعنی پلی وینیل کلراید می باشد که به شکل های مختلف از جمله لوله در سراسر جهان تولید شده و مورد استفاده انبوه قرار می گیرد. به دلیل عدم تجزیه ضایعات PVC دفن شده در گورستان زباله ها و تمام شدن مکان های مناسب برای دفن زباله، این روش دیگر راه حل مناسبی برای این معضل نیست، لذا اتخاذ یک راهکار مناسب ضروری به نظر می رسد.

در چند دهه اخیر مطالعاتی برای استفاده مجدد از پلاستیک های فرسوده انجام شده است. خصوصیات جالب پلاستیک هـای ضایعاتی (چگالی کم، خاصیت الاستیک بالا، سختی کم) باعث شده که از آن استفاده های مفیدی در عرصه مهندسـی عمـران به عمل آید. یکی از راهکارهای پیشنهادی برای بازیافت و استفاده مجدد از این پلاستیک های ضـایعاتی در عرصـه مهندسـی عمران، می تواند بهره برداری در تولید آسفالت و بتن باشد. هرچند امکان سنجی استفاده از پلاستیک های خرد شده در تهیـه بتن به وفور در مطالعات محققین به چشم می خورد اما قریب به اتفاق این تحقیقات پیرامون PET یعنی پلی اتیلن ترفتـالات می باشد. لذا بررسی تاثیر ضایعات PVC بر خواص انواع بتن از جمله بتن خودتراکم جالب توجه بوده و از این حیث مسیر پژوهش برای علاقه مندان باز می باشد.

2-1 هدف

اگر چه بتن یک ماده مطرح و پر استفاده در مصالح ساختمانی است اما دارای نقاط ضعفی می باشد که عبارتنداز:

1. مقاومت کششی پایین
2. جذب انرژی کم
3. شکل پذیری پایین
4. انقباض و جمع شدگی در بتن و در پی آن ترک خوردگی ناشی از این پدیده های وابسته به زمان
5. ترک های ناشی از عمل آوری نا مناسب و سخت شدگی بتن

با توجه به ماهیت PVC، انتظار می رود با جایگزین کردن ضایعات خرد شده لوله های PVC به جـای ماسـه رودخانـه ای برخی از این نواقص بتن تا حدی مرتفع شود. البته با مشاهده کارهای انجام شـده توسـط محققـین پیشـین در زمینـه کـاربرد پلاستیک های دیگر در بتن، می توان دریافت که اضافه کردن پلاستیک به بتن باعـث کـاهش چشـمگیری در مقاومـت هـای فشاری و کششی خواهد شد ولی میزان کاهشی که در مقاومت های فشـاری و کششـی رخ مـی دهـد در تحقیقـات مختلـف متفاوت بوده و معطوف به درصد خاصی نمی شود. همچنین این کاهش شامل مدول الاستیسیته هم می شود ولی مقـدار آن از کاهشی که در مقاومت های فشاری و کششی رخ می دهد، کمتر خواهد بود.

هدف از انجام این تحقیق، در ابتدا بدست آوردن حداکثر درصد مجاز جایگزینی ذرات PVC با ماسه، در شرایط حفظ خواص خودتراکمی بتن می باشد. در گام بعد بررسی نحوه و میزان تغییرات در خواص مهندسی بتن خود تراکم، به ازای درصد های مختلف این ضایعات که جایگزین بخشی از حجم ماسه می شود مد نظر می باشد.

3-1 ساختار پایان نامه

این تحقیق شامل 6 فصل است. فصل اول، پیشگفتار، شامل 3 بخش مقدمه، هدف و ساختار پایان نامه می باشد. در قسمت مقدمه دلایل لزوم تحقیق در مورد بتن حاوی ضایعات PVC ارائه گردیده و در قسمت هدف، مقصود از انجام این تحقیق تشریح شده و در قسمت ساختار پایان نامه به مطالب فصول مختلف این پایان نامه اشاره شده است. فصل دوم در مورد بتن خود تراکم می باشد و شامل مقدمه ای است که در آن شرح بسیار مختصری از خصوصیات، تعاریف، تولید و کاربرد بتن خود تراکم در جهان امروز همراه با مزایای این بتن ارائه شده است. در ادامه در این فصل ضمن معرفی طرح اختلاط بتن خود تراکم و خصوصیات و ویزگی های بتن تازه، مختصری به بررسی کارهای انجام شده در زمینه بتن خود تراکم پرداخته شده است. فصل سوم شامل مقدمه ای درباره علل بازیافت و استفاده مجدد از لوله های PVC فرسوده و مشکلات محیط زیستی ناشی از سوزاندن و دفن کردن این ضایعات می باشد. همچنین راهکارهای پیشنهادی برای استفاده مجدد از این ضایعات انبوه بیان گردیده است. در نهایت توضیحاتی در مورد پیشینه نه چندان پرقدمت استفاده از PVC در بتن و تاثیر ذرات PVC بر خواص مهندسی بتن (مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، انقباض و مقاومت در برابر نفوذ یون کلر) ارائه شده است. در فصل چهارم برنامه آزمایشگاهی مورد نظر ارائه گردیده است. بخش اول مربوط به معرفی مشخصات و خصوصیات مصالح مصرفی در طرح اختلاط های ساخته شده در این پایان نامه می باشد. بخش دوم روش انجام آزمایشات مربوط به بتن تازه می باشد که با توجه به مشخصات استاندارد EFNARC انجام شده است که به علت محدود بودن وسایل آزمایش در آزمایشگاه، از موارد بالا فقط آزمایش های، جریان اسلامپ، جریان اسلامپ 50cm، جعبه L شکل و قیف V شکل انجام شده است. بخش سوم مربوط به آزمایشهایی است که برای بتن سخت شده انجام گرفته است که عبارتنداز مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، و انقباض و همچنین نیز مختصری در مورد آزمایش غیر مخرب اولتراسونیک توضیح داده شده است.

فصل پنجم نیز شامل ارائـه و تجزیـه و تحلیـل نتـایج بدسـت آمـده از آزمایشـات مربـوط بـه بـتن تـازه (جریـان اسـلامپ، جریان اسـلامپ 50cm، قیـف V شـکل و جعبـه L شـکل) و بـتن سـخت شـده (مقاومـت فشـاری، مقاومـت کششـی، مدول الاستیسیته، انقباض و اولتراسونیک) می باشد. نتایج در قالب نمودارها و جداول نمایش داده شده اند. در فصل ششم نیز نتایج کلی بدست آمده از بررسی ها و آزمایش ها به همراه پیشنهادات برای کار های آینده ارائه گردیده است.

فصل دوم

بتن خودتراکم

2-1- مقدمه

یک نوع جدید بتن با کارایی بالا(HPC)[1]، بتن خودتراکم(SCC)[2] است که دارای مقاومت در برابر جداشدگی و تغییر شکل پذیری بالا است. این نوع خاص از بتن در میان تقویتها و گوشه های قالب بدون نیاز به ویبره و تراکم در حین بتن ریزی، جریان می یابد. در مقایسه با سایر بتنها، بتن خودتراکم دارای مشخصات قابل توجهی مانند جریان پذیری بالا، مقاومت دربرابر جداشدگی و قابلیت ممتاز خودتراکمی بدون نیاز به ویبره را دارد [1].

بتن خودتراکم برای کاربردهای بتن ریزی در محل و کارهای پیش ساخته می تواند استفاده شود. بتن خودتراکم منجر به سازه های بتنی با دوام می گردد و باعث کاهش سروصدای تراکم و صرفه جویی در نیروی کار ماهر می شود [2].

از نظر رفتار رئولوژیکی یک بتن خودتراکم (SCC) موفق، توسط تنش تسلیم پایین برای ظرفیت بالای تغییر پذیری آن مشخص می شود و ویسکوزیته[3] متعادل، تضمین کننده مخلوط یکنواخت از ذرات معلق تشکیل دهنده بتن است.

به طور کلی، بتن خودتراکم دارای مولفه های اساسی مشابه با بتن معمولی و بتن با کارایی بالا است. اگرچه به علت میزان بالای پرکننده، پودر سنگ آهک و خاکستر بادی، جنبه های میکروسکوپی آن متفاوت خواهند بود. عموما، بتن خودتراکم شامل میزان بالای مواد سیمانی و نسبت آب به سیمان پایین تر از بتن های معمولی است و می تواند مقاومت بالایی را ایجاد نماید. میزان خمیر SCC به علت کاهش اندازه و میزان درشت دانه ها بالا است [3].

2-2- پیشینه بتن خودتراکم

دوام سازه های بتنی از سال 1983 یک موضوع قابل توجه در ژاپن بوده است. ساخت سازه های بتنی با دوام نیازمند متراکم کردن کافی توسط نیروی کار ماهر می باشد [4]. یک راه برای دستیابی به سازه های با دوام، در استفاده از بتن خودتراکم است. در شکل(2-1) لزوم استفاده از بتن خودتراکم شرح داده شده است. بتن خودتراکم اولین بار در سال 1988 برای رسیدن به سازه های بتن بادوام طراحی شد. از آن زمان به بعد تحقیقات زیادی برنوع بتن مورد استفاده در ژاپن انجام شد [5]. پیشگامان در زمینه طراحی بتن خودتراکم اوکامورا[4] و اوچی[1][5] هستند که در روش پیشنهادی آنها، میزان درشت-

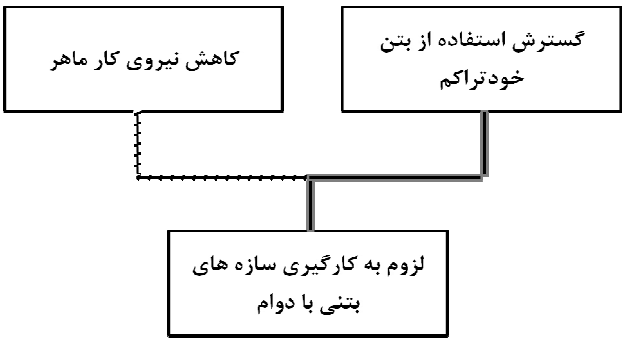
[1] High performance concrete

[2] Self-compacting concrete

[3] Viscosity

[4] Okamura

دانه 50% میزان چگالی کل و میزان ریزدانه 50% میزان چگالی ملات است، جدول(2-1).



شکل2-1- لزوم به کارگیری بتن خودتراکم [5]

جدول 2-1- ترکیب بتن خودتراکم [2]

بتن خودتراکم	هوا	هوا	هوا	هوا
	درشت دانه	درشت دانه	درشت دانه	درشت دانه
	ملات	ماسه	ماسه	ماسه
		خمیر	پودر	سیمان
				پرکننده
			آب	آب
			فوق روان کننده	فوق روان کننده

یکی از مثال های کاربردی بتن خودتراکم، پل معلق Akashi-Kaikyo در ژاپن است، شکل(2-2). این پل در آوریـل 1998 افتتاح شد.

شکل 2-2- پل معلق Akashi-kaikyo در ژاپن[4]

[1] Ouchi

میزان بتن به کارفته در پایه های پل حدود 290000 مترمکعب برآورد شده است. بتن به کار رفته در مواردی به فواصل 200متر پمپ شده و از ارتفاع پنج متر بتن ریزی شده است. با به کارگیری این بتن، مدت ساخت پل از 2/5 سال به 2 سال کاهش یافته است. درواقع 20% در زمان ساخت صرفه جویی شده است.

از دیگر کاربردهای بتن خودتراکم، مخزن گاز نیتروژن LNG متعلق به شرکت گاز اوزاکا است که بتن ریزی آن در ژوئن 1998 کامل شده است. حجم بتن ریزی آن حدود 12000 مترمکعب است. با استفاده از بتن خودتراکم در این پروژه، تعداد کارگران از 150 به 50 نفر کاهش یافت و تعداد دفعات بتن ریزی از 14 به 10 بار رسید . همچنین ساخت آن 4 ماه زودتر از زمان پیش بینی شده پایان یافت [4].

برج LANDMARK در شهر یوکاهامای ژاپن از دیگر مثال های استفاده بتن خودتراکم در ساخت سازه های بتنی است. ستون های 9 طبقه اول این برج با استفاده از بتن خودتراکم اجرا شده است. ارتفاع این برج 296 متر و دارای 70 طبقه است. در مجموع برای پرکردن 66 ستون در نه طبقه ابتدای آن 885 متر مکعب بتن خودتراکم مورد استفاده قرار گرفت شکل(2-3).

شکل 2-3- برج LANDMARKدر ژاپن

2-3- مقایسه مزایا و معایب بتن خودتراکم با بتن معمولی

استفاده از بتن خودتراکم، در دهه های اخیر افزایش یافته است که علت آن مزایای اقتصادی و صرفه جویی در نیروی کار است.

بتن خودتراکم باعث کاهش هزینه ی نیروی کار و بهبود کارایی سازه ها در سایت و افزایش سرعت ساخت سازه ها می شود.

استفاده از بتن خودتراکم باعث بتن ریزی آسان تر و بهبود دوام بتن و سطح تمام شده بهتر برای سازه ها می گردد.

با استفاده از بتن خودتراکم به دلیل کاهش ویبره در عملیات بتن ریزی، سروصدای ناشی از عملیات تراکم و صداهای مزاحم کاهش می یابد. بتن خودتراکم اجازه آزادی بیشتری در حین طراحی سازه ها را می دهد و از آن برای مقاطع نازک بتنی می توان استفاده کرد [6].

در کنار مزایای گفته شده، بتن خودتراکم دارای محدودیتها وضعف های مشخصی است. یکی از این محدودیتها، هزینه بالای مواد به کاررفته در بتن خودتراکم، به علت استفاده از فوق روان کننده و مواد افزودنی وهمچنین افزایش آزمایشهای لازم برای کنترل کیفیت وکارایی بتن خودتراکم تازه است [7] .

همچنین بتن خودتراکم در صورت استفاده از پودر سنگ آهک به عنوان پرکننده، مقاومت کمتری نسبت به بتن های معمولی در برابر خطر حمله سولفاتها خواهد داشت [8] .

2-4- ویزگی های بتن خودتراکم تازه

کارایی بتن خودتراکم به گونه ای است که فرایند بتن ریزی و جای دهی آن بدون نیاز به عملیات تراکم یا لرزش داخلی یا خارجی انجام می پذیرد. این نوع بتن علی رغم داشتن روانی وقابلیت تراکم و پرکنندگی خوب از پایداری مناسبی برخوردار است.

طراحی یک مخلوط بتن خودتراکم، احتیاج به تعیین میزان بهینه سنگدانه و خواص رئولوژیکی خمیر سیمان برای رسیدن به خواص جریان پذیری بالا دارد. خمیر سیمان یک مخلوط معلق از ذرات سیمان در آب است. کیفیت سازه های بتنی به طور مستقل بستگی به کیفیت هر یک از اجزاء تشکیل دهنده مخلوط بتن دارد. تنش تسلیم خمیر باید بیشتر از حداقل بحرانی برای تضمین جلوگیری از جداشدگی سنگدانه به هنگام ثابت بودن مخلوط باشد. به علاوه ویسکوزیته خمیر باید به اندازه کافی بالا باشد تا از جداشدگی در حین بتن ریزی جلوگیری کند و در عین حال فراهم کننده جریان پذیری مطلوب است. حداقل تنش بحرانی و ویسکوزیته خمیر به خواص سنگدانه ها(چگالی، توزیع اندازه ذرات و نوع ذرات) دارد، علاوه برآن تنش بحرانی و ویسکوزیته خمیر به حداکثر تنش برشی مورد انتظار در مدت بتن ریزی بستگی دارد. کیفیت بتن همچنین به رفتار رئولوژیکی بتن تازه در مدت بتن ریزی در سایت بستگی دارد [9 و 10].

یک ارتباط کلی بین رفتار رئولوژیکی خمیر سیمان و تغییرات سازه ای بررفتار تیکسوتروپی[1] بتن حاکم است. تیکسوتروپی

[1] Tixotropy

بیان کننده وضعیت انتقال بین مواد جامد و ژل سیمان در نتیجه تغییرات مکانیکی است. مطابق با تعریف بارنس[11]، تیکسوتروپی یک کاهش تدریجی در ویسکوزیته تحت تنش های برشی که در نتیجه یک استراحت تدریجی در سازه وقتی تنش ها از سازه حذف می شوند، ایجاد می شود [9] .

رفتار تیکسوتروپی بتن خودتراکم تازه مطابق با تعریف رئولوژیکی با تقریب مناسب توسط مدل بینگهام با پارامترهای تنش تسلیم و ویسکوزیته تعریف می شود. قانون جریان بینگهام بیان کننده رفتار تغییرات ذرات معلق تحت تنش های برشی است. رابطه بینگهام به صورت $\tau= \tau f +\gamma\times\eta$ تعریف می شود. τf تنش تسلیم، و یک مولفه قابل تغییر که نسبت تنش برشی اعمال شده τ به بار وارده است که توسط γ مشخص می شود وη بیان کننده ویسکوزیته است. تنش تسلیم میزان انرژی لازم برای اعمال به مخلوط معلق برای شروع به جریان یافتن را مشخص می کند [12] .

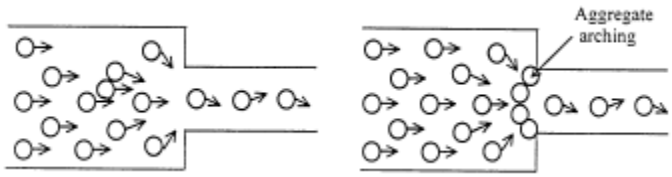
برای طراحی بتن خودتراکم با شرایط یاد شده، بتن خودتراکم تازه سه ویژگی مشخص شده زیر را باید دارا باشد:

- قابلیت جریان پذیری(Passing Ability) : توانایی جاری شدن بتن خودتراکم وعبور از تراکم آرماتورها تحت وزن خود.
- قابلیت پرکنندگی(Filling Ability) : توانایی بتن خودتراکم در داشتن تغییر شکل عالی در هنگام عبور از میان آرماتورها که بواسطه آن می تواند تمام سطح قالب را به طور همگن و یکنواخت پر کند و سطحی همتراز با افق بسازد.
- قابلیت پایداری(Segragation Resistance) : مقاومت بتن خودتراکم در برابر انواع جداشدگی وبروز پدیده انسداد و قفل شدگی و حفظ همگنی خود در تمام مراحل ساخت و اجرا و بتن ریزی.

قابلیت جریان وعبور : عامل تاثیرگذار در قابلیت جریان میزان تنش تسلیم یا به عبارتی دیگر تنش جاری شدگی است. ماکزیمم تنشی را که باید به بتن وارد شود تا در آستانه جریان قرار گیرد تنش جاری شدگی گویند. هرچه میزان تنش تسلیم بتن تازه کم باشد، بتن بهتر می تواند جریان یابد. تنش تسلیم بتن نیز تحت تاثیر اصطکاک بین اجزای تشکیل دهنده بتن و ویژگی های خمیر سیمان قرار دارد. از این رو با کاهش اصطکاک درونی اجزای تشکیل دهنده، میزان تنش تسلیم نیز کاهش می یابد. قابلیت عبور بتن تازه تابعی از هردو پارامتر اساسی تنش تسلیم و لزجت می باشد. لزجت، عامل مقاومت کننده در برابر جریان است. میزان تنش تسلیم و لزجت باید در محدوده ای باشد که بتن توانایی حرکت تحت اثر وزن خود و امکان عبور از میان آرماتورهای متراکم را داشته باشد[13].

در شکل (2-4) رفتار بتن به هنگام عبور از مجراهای باریک مشخص شده است.

قابلیت پرکنندگی: قابلیتی که در بتن خودتراکم وجود دارد که بواسطه آن می تواند در برخورد با تراکم آرماتورها توانایی تغییر شکل عالی داشته باشد و تمام سطح قالب را به صورت یکنواخت پرکند، ودر نهایت سطحی که می سازد همتراز با افق باشد.



شکل 2-4- چگونگی انسداد سنگدانه ها [14]

برای دستیابی به توانایی پرکنندگی مناسب بتن خودتراکم، باید بتوان تا حد امکان، اصطکاک بین ذرات تشکیل دهنده بتن را کاهش داد. یکی از راههای کاهش میزان اصطکاک استفاده از سنگدانه هایی است که تا حد امکان گردگوشه باشند تا لغزش آنها بر روی یکدیگر آسان تر انجام پذیرد. همچنین با افزایش فاصله بین ذره ها توسط کاهش میزان سنگدانه و افزایش حجم خمیر سیمان، احتمال برخورد سنگدانه ها با یکدیگر کاهش خواهد یافت. برای داشتن خمیر سیمان با توانایی تغییر شکل عالی استفاده از فوق روان کننده ها ضروری است.

قابلیت پایداری : قابلیتی است که بتن خودتراکم را در برابر انواع جداشدگی محافظت می کند و عامل یکپارچگی آن در مراحل ساخت، حمل، بتن ریزی و تراکم می شود. انواع ناپایداریهای محتمل در بتن تازه شامل جداشدگی خمیر سیمان از مخلوط بتن، آب انداختگی، جداشدگی درشت دانه ها از مخلوط بتن، بروز پدیده انسداد و ته نشین شدن سنگدانه ها بعد از بتن ریزی و مواردی نظیر آن می باشد [13].

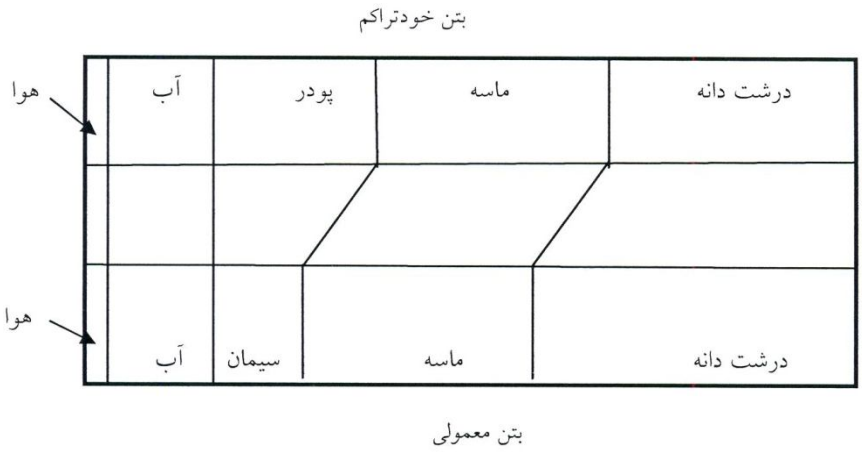
2-5- طرح اختلاط بتن خودتراکم

اصولا هدف از مطالعه خواص بتن، انتخاب صحیح مواد متشکله است. در انتخاب نسبت های مخلوط باید روش انتقال بتن، پمپ نمودن، زمان گیرش، میزان آب انداختن و سهولت پرداخت نمودن سطح بتن در نظر گرفته شود. اما این نکته قابل توجه است که این انتخاب بخشی از فرایند طراحی سازه در ارتباط با عملکرد مورد نیاز بتن بوده و به جزئیات نسبتهای موادی که عملکرد آن را تضمین می نمایند، مربوط نیست. بلکه درطراحی دو ضابطه مقاومت و دوام بتن برای انتخاب در نظر گرفته می شوند.

بنابراین انتخاب نسبت های مخلوط عبارتند از فرایند انتخاب مواد متشکله مناسب و تعیین مقادیر نسبی آنها با این هـدف کـه بتن تولید شده حتی الامکان اقتصادی بوده و دارای برخی از حـداقل خـواص مـورد نیـاز، بـه ویـژه مقاومـت، دوام و روانـی باشد[15].

مخلوط بتن خودتراکم بسیار تحت اثر مشخصات مواد و طرح اختلاطهای آنها می باشد. یک روش طرح اختلاط منطقی از بتن خودتراکم با استفاده از ترکیب مواد مورد نیاز است [4] .

مطالعات برای توسعه بتن خودتراکم، شامل مطالعات پایه بر کاربرد عملی بتن توسط اوزاوا[1] و مائکووا[2][16] انجام شد. طرح اولیه بتن خودتراکم اولین بار در سال 1981 با استفاده از مواد موجود تکمیل شد. در شکل(2-5) بتن خودتراکم با بتن معمولی براساس مواد موجود مقایسه شده اند.



شکل2- 5- مقایسه طرح مخلوط بتن خودتراکم و بتن معمولی براساس مواد موجود [5]

با توجه به انقباض، سخت شدن و خشک شدن، گرمای هیدراتاسیون، متراکم تر شدن بتن و دیگر خواص آن، کـارایی طـرح اولیه تایید شد.

روش دستیابی به بتن خودتراکم نه تنها شامل تغییر شکل پذیری بالای خمیر و ملات است، بلکه همچنین شامل در نظرگرفتن مقاومت در برابر جدا شدگی بین درشت دانه و ملات نیز مـی باشـد. اوکامـارا[1] و اوزاوا[2] [17] روشـی را بـرای دسـتیابی بـه خودتراکمی پیشنهاد کردند.

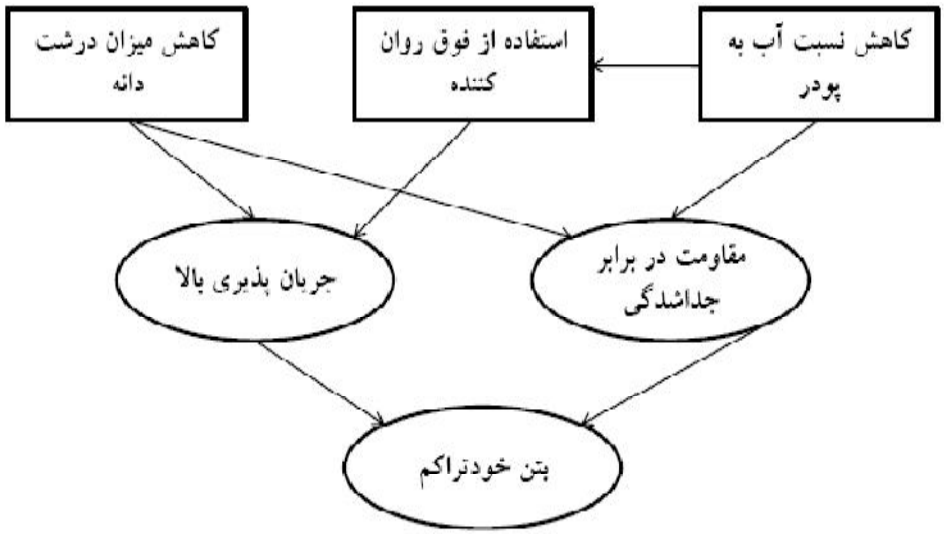
[1] Ozawa

[2] Maekowa

- محدود کردن میزان سنگدانه ها
- کاهش نسبت آب به پودر
- استفاده از فوق روان کننده

در شکل(2- 6) رابطه این سه ویژگی خودتراکمی مشخص شده است.

به هنگام تغییر شکل بتن به ویژه در نزدیک موانع، برخورد و تماس بین اجزاء سنگدانه ها افزایش می یابد، به گونه ای که فاصله نسبی بین اجزاء کاهش می یابد و پس از آن تنش های داخلی افزایش می یابد . براساس تحقیقات انجام شده، نیروی لازم برای جریان پذیری توسط افزایش تنش های داخلی مصرف می شود که منجر به انسداد اجزاء سنگدانه ها می گردد. کاهش میزان درشت دانه به پایین تر از سطح عادی که باعث صرف انرژی بیشتر می شود، در کاهش این نوع انسداد موثر



شکل2- 6- رابطه سه ویژگی بتن خودتراکم با خودتراکمی [18]

است. ویسکوزیته بالای خمیر برای جلوگیری از انسداد مورد نیاز است. وقتی بتن تغییر شکل می دهد خمیر با ویسکوزیته بالا از افزایش تنش های داخلی به دلیل عملکرد اجزاء درشت دانه نیز جلوگیری می کند . تغییر شکل پذیری بالا تنها توسط استفاده از فوق روان کننده و کاهش میزان آب به پودر بدست می آید [5] .

براساس طرح اولیه و اصلی اوکامارا و اوزاوا، در کل سه نوع روش طراحی بتن خودتراکم می تواند وجود داشته باشد:

---

[1] Okamura

[2] Ozawa

1- روش پودری: در این روش تولید بتن خودتراکم با افزایش حجم پودری در بتن امکان پذیر است.

2- روش استفاده از فوق روان کننده و اصلاح ویسکوزیته: در این روش برای تولید بتن خودتراکم از یک عامل چسباننده و لزج ساز در بتن استفاده می شود که خاصیت ویسکوزیته مخلوط را افزایش می دهد.

3- روش ترکیبی : در این روش برای تولید بتن خودتراکم با ترکیب دو روش گفته شده، یعنی هم افزایش مواد پودری و هم استفاده از فوق روان کننده و ماده لزج ساز در بتن می باشد.

براساس تحقیقات انجام گرفته، درحال حاضر، طراحی بسیاری از اختلاطها براساس روش دوم و سوم می باشد. همچنین در کاربرد روش دوم تحقیقات برخی دانشمندان نشان داده است که حساسیت بتن خودتراکم نسبت به تغییرات رطوبت کم مثل تغییر رطوبت سنگدانه، تغییرات قابل توجهی درآزمایشات بتن تازه رخ خواهد داد [19] .

براساس استاندارد اروپا، طرح اختلاط انتخابی برای بتن خودتراکم، باید معیارهای کارایی خواسته شده برای بتن درهردو حالت تازه و سخت شده را تامین کند. برای رسیدن به ترکیبی از بتن خودتراکم که خصوصیات بتن تازه را تامین کند:

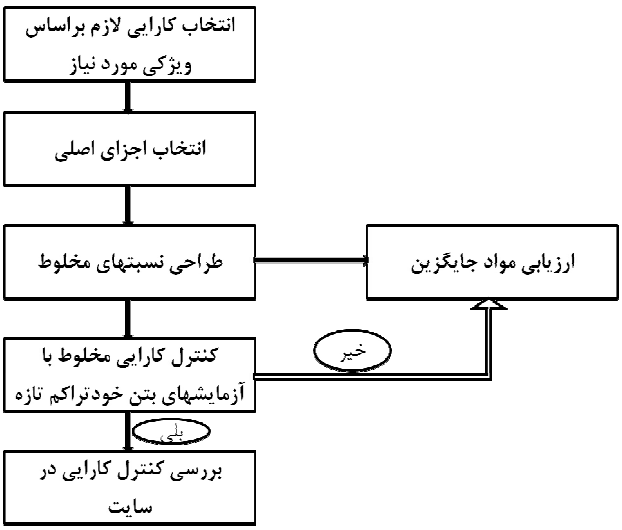
- جریان پذیری ولزجت خمیر کنترل و تنظیم شود و توسط انتخاب مناسب و نسبتهای مناسب سیمان و افزودنی ها، توسط محدود کردن نسبت آب به پودر و افزودن فوق روان کننده ودر صورت دلخواه افزودنی های اصلاح کننده لزجت.
- به منظور کنترل افزایش دما و ترک های انقباضی و مقاومت، میزان پودر که از نسبت مناسب سیمان نوع1 و یا 2 به همراه ریز دانه است در سطح مناسبی ثابت نگه داشته شود.
- خمیر وسیله ای برای انتقال سنگدانه است، بنابراین حجم خمیر باید بیشتر از حجم حفره های سنگدانه باشد. به علت اینکه تمامی اجزاء سنگدانه ها تک تک، توسط لایه ای خمیر پوشانده می شوند، خمیر جریان پذیری را افزایش می دهد و اصطکاک بین سنگدانه ها را کم می کند.
- نسبت درشت دانه به ریزدانه در مخلوط کاهش می یابد تا بدین ترتیب درشت دانه، توسط لایه ای از ملات پوشانده شوند. این موضوع موجب کاهش قفل و بست سنگدانه ها می گردد، وقتی بتن از بین بازشوها و شکاف ها عبور می کند توانایی عبوری بتن خودتراکم را افزایش می دهد.

اصل طراحی اختلاط بتن خودتراکم در مقایسه با بتن های معمولی به طور خلاصه عبارتند از:

- کاهش میزان درشت دانه

- افزایش میزان خمیر
- کاهش میزان آب به پودر
- افزایش فوق روان کننده
- گاهی اوقات افزودن، افزودنی های اصلاح کننده ویسکوزیته

با توجه به بررسی های انجام شده، هیچ روش استاندارد و ثابتی برای طراحی مخلوط بتن خودتراکم وجود ندارد. طرح اختلاطها اصولا براساس حجم طراحی می شوند زیرا اهمیت آنها برای پرکردن حفره های بین اجزاء سنگدانه ها است. بعضی از روش ها سعی در تنظیم اجزاء تشکیل دهنده برای بهینه کردن دانه بندی دارند. روش های دیگر در درجه اول پایداری و جریان پذیری خمیر را ارزیابی و بهینه می کنند و سپس اصطکاک ملات را بررسی می کنند، قبل از اینکه درشت دانه ها افزوده شوند و کل مخلوط بتن خودتراکم کنترل شوند. روش کلی طرح اختلاط بتن خودتراکم براساس پیشنهاد استاندارد اروپایی،EFNARC،به صورت زیر است :



شکل2-7 - روش کلی طرح اختلاط بتن خودتراکم [20]

با توجه به تحقیقات انجام گرفته برطراحی مخلوط بتن خودتراکم، آیین نامه اروپایی،EFNARC، برای هر یک از اجزای تشکیل دهنده مخلوط بتن خودتراکم، بازه ای را در نظر گرفته است. این محدودیتها در جدول(2-2) مشخص شده است [20]

جدول 2-2- محدودیتهای پیشنهادی مخلوط بتن خودتراکم آیین نامه EFNARC [6]

ترکیب مخلوط	
طرح مخلوط	درشت دانه<۵۰٪
	نسبت آب به سیمان =۰/۸تا۱
	مجموع میزان پودر :۴۰۰تا ۶۰۰ Kg/m^3
	مقدار ماسه>۴۰٪ حجم ملات
	ماسه<۵۰٪ حجم خمیر
	ماسه>۵۰٪ وزن مجموع سنگدانه
	آب آزاد<۲۰۰لیتر
	خمیر>۴۰٪ حجم کل مخلوط

2-6- اجزاء تشکیل دهنده بتن خودتراکم

2-6-1- سنگدانه ها

حداکثر اندازه دانه های مصرفی عموما بین 12 تا 20 میلی متر است، اگرچه دانه های بزرگتر هم استفاده می شود. فاصله میلگردها عامل مهمی در تعیین حداکثر اندازه درشت دانه ها است. میزان رطوبت، جذب آب و دانه بندی سنگدانه ها باید مطابق با تولید بتن خودتراکم برای دستیابی به کیفیت مطلوب تعیین شود. استفاده از سنگدانه های شسته یک محصول مناسب تر خواهد بود [20] . شکل و توزیع اجزاء سنگدانه ها بسیار مهم بوده و بر انسداد و میزان حفره ها نیز اثر خواهد داشت. استفاده از سنگدانه های شکسته با ایجاد قفل وبست بهتر، باعث بهبود مقاومت می گردند و استفاده از سنگدانه های گردگوشه به دلیل کاهش اصطکاک بین سنگدانه باعث روانی بهتر مخلوط می شود و افزایش جریان پذیری منجر به کاهش اصطکاک داخلی می گردد.

برخورد و تماس بین اجزاء سنگدانه، باعث تنش های داخلی و در نتیجه باعث انسداد اجزاء سنگدانه ها می شود. کاهش میزان درشت دانه به پایین تر از سطح عادی در کاهش این نوع انسداد موثر است [5] .

2-6-2- ریز دانه ها

میزان ریز دانه برخواص بتن خودتراکم تازه بسیار موثرتر از درشت دانه ها است. ریز دانه های کمتر از0/125 میلی متر باید درمحاسبه میزان نسبت آب به پودر محاسبه گردد. حجم بالای خمیر در مخلوط بتن خودتراکم به کاهش اصطکاک داخلی بین

اجزاء ریز دانه کمک می کند، اما یک دانه بندی مناسب همیشه لازم است. بسیاری از روش های طراحی مخلوط بتن خودتراکم از ریزدانه ها برای بهینه کردن دانه بندی درشت دانه که باعث ایجاد خمیر می شود، استفاده می کنند [20] .

2-6-3- سیمان

انتخاب صحیح سیمان بستگی به نوع کاربرد مخلوط و ویژگی های مخلوط مورد نظر دارد. مقدار مناسب سیمان در بتن خودتراکم 350 تا 500 کیلوگرم بر مترمکعب است. سیمان در افزایش حالت خمیری مخلوط نقش مهمی دارد. در مصرف سیمان باید دقت کرد بیشتر از مقدار سیمان گفته شده استفاده نشود زیرا باعث بالارفتن حرارت ناشی از هیدراتاسیون و انقباض می گردد. استفاده از مقدار سیمان کمتر از این مقدار چسبندگی و ویسکوزیته خمیر را از بین می برد [6] .

2-6-4- افزودنی ها

در مخلوطهای بتن های خودتراکم تازه به علت خواص ویژه خودتراکمی، معمولا برای تامین و نگهداری خاصیت چسبندگی و مقاومت در برابر چسبندگی از مواد افزودنی استفاده می شود. همچنین استفاده از مواد مضاف پودری منجر به تنظیم میزان سیمان جهت کاهش حرارت ناشی از هیدراتاسیون و ترک های انقباضی ناشی از آن می گردد. براساس پیشنهاد اروپا، میزان پودر مورد استفاده در بتن خودتراکم 380 تا 600 کیلوگرم بر مترمکعب است. مواد پودری مورد استفاده در بتن های خودتراکم برحسب واکنش آنها با به صورت زیر طبقه بندی می شوند[20] :

جدول 2- 3- انواع مواد پودری مورد استفاده در بتن خودتراکم [20]

نوع1	خنثی یا نیمه خنثی	فیلر های معدنی (پودر سنگ آهک، دولومیت و...)
نوع 2	پوزولانی	خاکستر بادی و میکروسیلیس
	هیدرولیکی	سرباره کوره آهن گدازی

2-6-5- پرکننده های معدنی

توزیع اندازه ذرات، شکل و جذب آب پرکننده های معدنی تحت تاثیر میزان آب مصرفی است و بنابراین برای استفاده در مخلوطهای خودتراکم مناسب هستند. پرکننده ها برای بهبود بخشیدن فشردگی ذرات و رفتار جریان پذیری خمیر سیمان در

مخلوطهای بتن خودتراکم استفاده می شوند. کربنات کلسیم یا همان پودر سنگ آهک که با پایه پرکننده معدنی است به طـور گسترده در بتن خودتراکم استفاده می شود که برای بهبود خواص رئولوژیکی بتن خودتراکم مناسب هستند [20] .

استفاده از پودر سنگ آهک قابلیت شکل پذیری خمیر بتن خودتراکم راافزایش می دهد. وقتی که حجم زیادی از این پرکننده به اختلاط اضافه شود، خواص مورد نیاز خودتراکمی در یک نسبت پایین تر آب به (سیمان+پرکننده) بدست آمده، کـه همـین عامل سبب افزایش چسبندگی اختلاط و اجتناب از جدایی دانه ها و افزایش مقاومت می شـود، بـه عبـارتی هرچـه خاصـیت خودتراکمی بیشتر شود مقاومت بدست آمده نیز بیشتر خواهد شد.

اگر از پودر سنگ آهک در بتن خودتراکم استفاده شود، علی رغم کم بودن خلل و فرج در سطح آن در مقابل حمله سـولفاتها آسیب پذیر خواهد بود که علت آن وجود پودر سنگ آهک است که باعث حل شدن CO_2 در آب و در نتیجه خسارت بتن می شود [21].

2-6-5-1- خاکستر بادی

خاکستر بادی به عنوان یک ماده مضاف موثر برای تولید بتن خودتراکم و کاهش حساسیت آن به تغییرات آب است . اگرچـه، میزان زیاد استفاده از خاکستر بادی، یک خمیر با چسبندگی بیشتر ایجاد می کند، ولی در مقابل جریان بـالای بـتن خـودتراکم مقاومت می کند [20].

2-6-5-2- میکروسیلیس

میکروسیلیس با سطح بالای ریز دانه و به ویژه سطح کروی ذرات آن منجر به چسـبندگی خـوب و بهبـود مقاومـت در برابـر جداشدگی می شود . اگرچه میکروسیلیس در کاهش و یا جذب آب انداختگی موثر بوده، اما این خود می تواند منجر به پوسته پوسته شدن سطح نهایی گردد [20] .

2-6-5-3- سرباره کوره آهن گدازی

سرباره کوره(GGBS)، حرارت هیدراتاسیون بسیار کمی تولید می کند. GGBS در برخی سیمان ها وجود دارد ولی تنها در برخی از کشورها از آن استفاده می شود. مقدار زیاد سرباره کوره پایدرای بتن خودتراکم را تحت تاثیر قرار می دهد زیرا باعث افزایش زمان گیرش گردیده و خطر جداشدگی ر ا افزایش می دهد [20].

2-6-5-4- سایر مواد مضاف مورد استفاده در بتن خودتراکم

متاکائولن، پوزولانهای طبیعی، سرباره سرد شده توسط هوا و دیگر پرکننده ها می توانند در بتن خودتراکم استفاده شوند، اما باید اثرات آنها در درازمدت و کوتاه مدت بر بتن، قبل از استفاده به خوبی بررسی شوند [20].

2-6-6- استفاده از مواد افزودنی در بتن

از مهمترین مواد افزودنی، فوق روان کننده ها و یا کاهنده های میزان آب در بتن خودتراکم هستند. فوق روان کننده ها و یا کاهنده های آب با کاهش میزان آب مصرفی، با حفظ جریان پذیری، جداشدگی را کاهش می دهند. مواد افزودنی اصلاح کننده ویسکوزیته(VMA) نیز در کاهش جداشدگی و حساسیت مخلوط به علت تغییرات سایر مولفه ها به ویژه میزان رطوبت نیز استفاده می شوند. انتخاب ماده افزودنی برای کارایی بهینه تحت تاثیر خواص فیزیکی و شیمیایی خمیر نسبت به ماده افزودنی است [20].

2-7- آزمایش های بتن خودتراکم تازه

امروزه کارایی مورد نیاز برای سازه های بتنی بسیار پیچیده و گوناگون است. بتن مورد نیاز باید دارای خواص متفاوتی مانند جریان پذیری زیاد، خودتراکمی، مقاومت بالا، کارایی بالا، سرویس دهی بالاتر و عمر خدمت پذیری بیشتر برای سازه های بتنی باشد [22] .

بررسی و شناخت ویژگی های رفتار شناسی (رئولوژی[1]) بتن تازه و انجام آزمایشات مناسب روی آن به منظور مدلسازی شرایط سخت اجرا، می تواند در بهبود خصوصیات بتن اجرا شده موثر باشد.

براساس استاندارد اروپاییEFNARC، برای طراحی بتن خودتراکمی که دارای خصوصیات بتن خودتراکم تازه باشد باید توسط آزمایشهای بتن تازه، سه اصل مورد نیاز برای بتن خودتراکم مناسب کنترل گردد.

- قابلیت پرکنندگی : توانایی بتن برای پرکردن قالبها تحت وزن خودش را گویند. برای اصلاح قابلیت پرکنندگی، حجم فوق روان کننده و نسبت آب به پودر باید کنترل گردد.
- قابلیت عبوری : توانایی عبوری از بین موانع تحت اثر وزن خودش، بدون وارد کردن نیروی اضافی را گویند. برای اصلاح قابلیت عبوری میزان حجم سنگدانه های درشت باید تنظیم گردد.

---

[1] Rheology