

## بررسی موردی کاربرد بتن خودتراکم حاوی مواد منبسط کننده در واحد پسماند-مشهد

ابراهیم اکرمی<sup>۱</sup>، مصطفی رستمی<sup>۲</sup>، مریم مغنی نژاد<sup>۳</sup>، حمید سپهری<sup>۴</sup>

۱- رئیس هیئت مدیره شرکت بنیان بتن

۲- مدیر تحقیق و توسعه شرکت بنیان بتن (مسئول مکاتبات و ارائه دهنده)

۳- مدیر کنترل کیفیت شرکت بنیان بتن

۴- کارشناس واحد تحقیق و توسعه شرکت بنیان بتن

Bonyanbeton\_randd@yahoo.com

m\_rostami\_engi@yahoo.com

Maryam\_moghanninezhad@yahoo.com

Hamid\_sephri@yahoo.com

0511-6223000

0511-6223000

0511-6223000

0511-6223000

### چکیده

از جمله پروژه هایی که توسط شرکت بنیان بتن انجام شده است تعیین طرح اختلاط بتن خود تراکم برای بتن ریزی در دیوارهای پروژه پسماند مشهد می باشد. بتن ریزی دیوارها در این پروژه به دلیل خصوصیات سازه ای مقاطع (عدم دسترسی به کل حجم قالب در ارتفاع، انجام بتن ریزی در داخل یک باکس فلزی) امکان هرگونه متراکم کردن بتن را غیرممکن می ساخت. از سوی دیگر با توجه به در تماس بودن جداره فلزی این دیوار با محل تخلیه بارهای ساختمانی، کارفرما خواستار بتنی بدون جمع شدگی بود. برای دست یابی به تمامی موارد خواسته شده طرح بتن خودتراکم حاوی مواد منبسط کننده ارائه گردید. به منظور بررسی خصوصیات بتن خودتراکم حاوی مواد منبسط کننده از آزمایش های جریان اسلامپ، قیف V، جعبه L و مقاومت فشاری استفاده شده است. همچنین جهت تعیین نقش مواد منبسط کننده، به مقایسه بین میزان جمع شدگی بتن خودتراکم با و بدون مواد منبسط کننده پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم، منبسط کننده، جمع شدگی، مقاومت فشاری

## ۱. مقدمه

یکی از اهداف مهندسين در کشورهای مختلف، همواره این بوده است که بتنی تولید کنند تا رفتاری شبیه مایع نیوتنی داشته باشد یعنی خود به خود متراکم و تراز شود و در عین حال با حفظ نسبت آب به سیمان پدیده هایی مانند آب انداختن، جداشدگی، جمع شدگی و کاهش مقاومت اتفاق نیفتد [۱].

بتن در اثر تبخیر، رطوبت خود را از دست داده و جمع میشود. چون خروج رطوبت در سرتاسر عضو یکسان نیست، تغییر رطوبت متفاوت، جمع شدن بتن را به همراه دارد و پیامد آن به وجود آمدن تنشهای داخلی است. این تنش ها بسیار حائز اهمیت و دلیلی برای عمل آوردن بتن در شرایط مرطوب هستند [۲].

علت ایجاد ترک پلاستیک، تمایل بتن به جمع شدگی در اثر تبخیر آب سطحی یا کاهش دمای بتن می باشد. در صورت مقید بودن بتن (اصطکاک با زمین زیر آن، چسبندگی به جداره قالب و...)، تمایل به جمع شدگی باعث ایجاد تنش های کششی در بتن می شود و با توجه به این که مقاومت اولیه بتن ناچیز است، ترک ایجاد می شود. در بعضی موارد، ترک ها می توانند به حدی گسترش یابند که کل ضخامت قطعه بتنی را فرا گیرد [۳]. بعلاوه ترک های ناشی از تنش های کششی حاصل از جمع شدگی می توانند شبکه هایی برای ورود عوامل خارجی مخرب باشند که باعث کاهش دوام بتن و در نتیجه کل سازه در دراز مدت می شود [۴و۵].

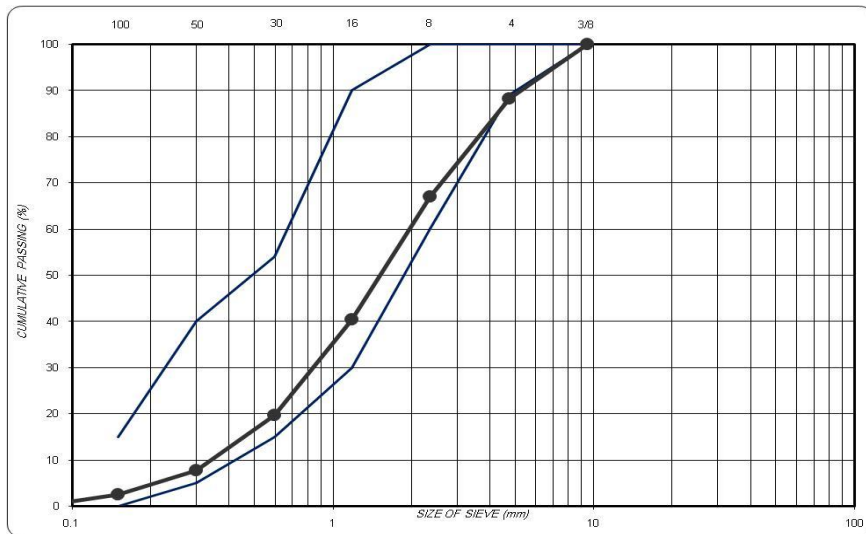
کیفیت بتن و شرایط محیطی، در جمع شدن بتن موثرند. در یک بتن با ترکیب نامناسب، زمانی که ریزدانه ها فضای بین درشت دانه ها را پر نمی کنند، خمیر سیمان متشکل از سیمان، آب و حباب هوا جایگزین می گردد. افزایش خمیر سیمان، با جمع شدگی زیادی همراه است و در ساعات اولیه ی بتن ریزی که بتن هنوز تازه و خمیری است، ترک های خمیری ظاهر می شوند. با زیاد شدن مقدار سیمان و بخصوص نسبت آب به سیمان، جمع شدگی افزایش می یابد. بتن ریزی در هوای گرم و خشک و نیز وزش باد شدید بر سطح بتن سبب افزایش ترک ها می شود.

## ۲. مصالح مصرفی

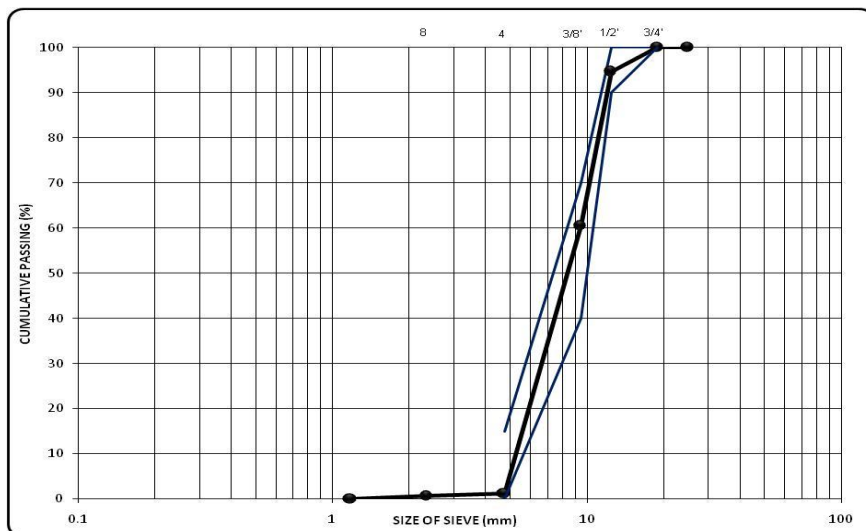
دانه بندی ماسه و شن مصرفی مطابق ملزومات استاندارد ملی ایران میباشد [۶]. مصالح سنگی ریزدانه مصرفی دارای مدول نرمی ماسه ۳/۷۵ و SE آن برابر ۷۸ درصد بوده و حداکثر بعد درشت دانه مصرفی ۱۲/۵ میلیمتر می باشد. منحنی دانه بندی ماسه و شن به ترتیب در شکل های (۱) و (۲) ترسیم شده است. برای افزایش میزان کارایی مخلوط های بتنی، از فوق روان کننده با نام تجاری FOSROC335 که بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر می باشد استفاده شده است. سیمان مصرفی در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ II، تولید شده در کارخانه سیمان مشهد انتخاب گردید. ترکیب شیمیایی سیمان در جدول (۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی سیمان مصرفی

| ترکیب شیمیایی | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mgo   | CaO    | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | LOI   |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------------------|-------|
| سیمان         | ٪۲۱/۱۸           | ٪۵/۲۵                          | ٪۳/۵۵                          | ٪۲/۶۵ | ٪۶۲/۸۸ | ٪۰/۵۷             | ٪۰/۴۵            | ٪۲/۹۱           | -                | -                             | ٪۱/۰۵ |



شکل ۱- منحنی دانه بندی ماسه



شکل ۲- منحنی دانه بندی شن

### ۳. فاز آزمایشگاهی

با توجه به مصالح موجود با ایجاد تغییر در نسبت مصالح سنگی (درشت دانه و ریزدانه) و میزان فوق روان کننده، ۴ طرح اختلاط بتن خود تراکم پیشنهاد گردید. بعد از انجام آزمایشات مربوط به بتن خودتراکم ( جریان اسلامپ ، جعبه L و...) طرح اختلاط زیر بعنوان طرح پیشنهادی بتن شاهد خودتراکم معرفی گردید. نتایج این طرح اختلاط در جدول (۲) مشاهده می گردد.

جدول ۲- نسبت مصالح طرح اختلاط

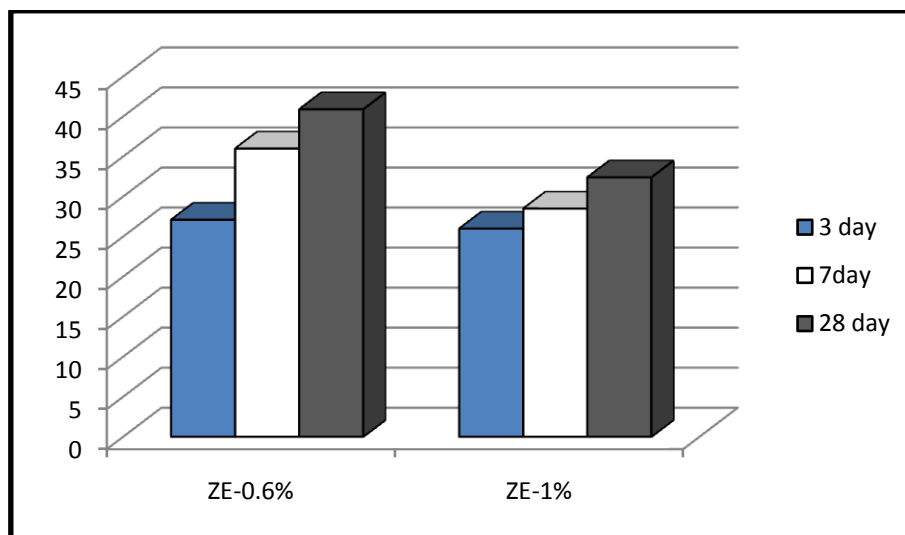
| سیمان<br>(kg) | $\frac{W}{C}$ | فوق روان کننده<br>% | ماسه<br>(kg) | شن<br>(kg) | پودرسنگ<br>(kg) | میکروسیلیس<br>(kg) |
|---------------|---------------|---------------------|--------------|------------|-----------------|--------------------|
| ۴۷۵           | ۰/۳۵          | ۱/۲                 | ۱۱۵۰         | ۴۲۳        | ۲۱۲             | ۲۳/۷۵              |

ابعاد قالب های مکعبی استفاده شده برای تعیین مقاومت فشاری نمونه های  $15 \times 15 \times 15$  سانتی متر در نظر گرفته شده و مقاومت فشاری نمونه ها در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شده است. جهت تشخیص نحوه عملکرد مواد منبسط کننده در بتن، بتنی مطابق با طرح شاهد ساخته شد و مواد منبسط کننده نیز (با توجه به میزان مصرف پیشنهادی) به آن اضافه گردید. بعد از مصرف ماده منبسط کننده مشاهده شد که بتن از حالت خودتراکم اولیه خارج شده است اما با افزودن فوق روان کننده بیشتر به طرح و ادامه اختلاط این مشکل برطرف گردید و بتن به حالت خودتراکمی ولی با لزجت بیشتر و روانی کمتری از نمونه شاهد بازگشت. مطابق با طرح نمونه شاهد بر روی این بتن نیز آزمایشات بتن خودتراکم صورت پذیرفت. نکته قابل توجه این است که با توجه به نرمی بالای ماده ZE-1 شرکت ژیکاوا میزان مصرف فوق روان کننده طرح بتن حاوی آنتی شریکیج نسبت به طرح شاهد آن افزایش می یابد.

بسته به میزان انبساط و مقاومت فشاری مورد نیاز، شرکت سازنده، میزان مصرف ماده منبسط کننده ZE-1 را بین ۰/۶ تا ۲ درصد وزنی مواد سیمانی مصرفی پیشنهاد می کند. در این تحقیق دو میزان ۰/۶ و ۱ درصد انتخاب گردید. با توجه به جدول (۳) و شکل (۳) مشاهده می شود که با افزایش میزان مصرف آنتی شریکیج مقاومت فشاری نیز کاهش می یابد. بنابراین حداقل میزان مصرف ZE-1 (۰/۶ درصد وزنی مواد سیمانی) انتخاب گردید.

**جدول ۳- مقاومت فشاری نمونه های آزمایشگاهی حاوی ۰/۶ و ۱ درصد ZE-1**

| مقاومت فشاری | ZE-0.6% | ZE-1% |
|--------------|---------|-------|
| ۳ روزه       | ۲۷/۰۶   | ۲۶    |
| ۷ روزه       | ۳۶      | ۲۸/۵  |
| ۲۸ روزه      | ۴۰/۸۸   | ۳۲/۴  |



**شکل ۳- مقاومت فشاری نمونه های آزمایشگاهی حاوی ۰/۶ و ۱ درصد ZE-1**

#### ۴. فاز اجرایی

بعد از انجام فاز مطالعاتی - آزمایشگاهی و اعلام نتایج به کارفرما و عدم مشاهده جمع شدگی در نمونه های بتنی گرفته شده، فاز عملیاتی یا اجرایی پروژه پسماند آغاز گردید. طرح ارائه شده به اپراتور بچینگ با اندکی ساده سازی و ایجاد سهولت در توزین مصالح، مطابق با جدول (۴) ارائه شد.

جدول ۴- طرح اختلاط اجرایی توسط بچینگ

| سیمان<br>(kg) | $\frac{w}{c}$ | فوق روان کننده<br>% | ماسه<br>(kg) | شن<br>(kg) | پودرسنگ<br>(kg) | میکروسیلیس<br>(kg) | منبسط کننده<br>(kg) |
|---------------|---------------|---------------------|--------------|------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| ۴۷۵           | ۰/۳۵          | ۱/۴                 | ۱۱۵۰         | ۴۲۰        | ۲۱۵             | ۲۵                 | ۳                   |

از آنجا که بتن خودتراکم در مقایسه با بتن معمولی حساسیت بیشتری نسبت به تغییر ویژگی های اولیه دارد. بنابراین باید بر تمامی مراحل تولید، حمل و ریختن بتن نظارت دقیق صورت پذیرد. فرآیند دپوی مواد اولیه بتن خودتراکم همانند بتن معمولی می باشد ولی به علت اینکه بتن خودتراکم در مقابل تغییرات این مواد حساسیت بیشتری دارد نکات زیر باید ملاحظه گردد: سنگدانه ها باید به گونه ای دپو شوند که سایزها و انواع مختلف آنها با هم مخلوط نشوند و به منظور به حداقل رساندن نوسان رطوبت سطحی آن ها، در مقابل عوامل جوی حفظ گردند. همچنین شرایط جوی نباید باعث از بین رفتن فیلر مصالح گردد. شیب بندی دپو باید به گونه ای باشد که آب اضافی مصالح و آب باران به راحتی از آن خارج گردد.

ظرفیت دپوی مصالح باید به میزان کافی باشد زیرا توقف تولید و ایجاد وقفه در عملیات بتن ریزی عوارض جدی به دنبال خواهد داشت. توصیه شده است که میزان مواد اولیه لازم قبل از شروع بتن ریزی در محل تولید دپو گردد. جهت دپوی سیمان و مواد افزودنی التزام زیادتری نسبت به بتن عادی وجود ندارد. [۷]

با توجه به مجهز نبودن بچینگ به سنسورهای تعیین درصد رطوبت مصالح و در نتیجه عدم تعیین دقیق درصد رطوبت مصالح سنگی در طول مدت ساخت بتن خودتراکم، میزان آب اختلاط به صورت تدریجی به مخلوط خشک بتن اضافه گردید تا زمانی که با نظر کارشناسان مجرب، حدود روانی مورد نظر تامین گردد. جهت اطمینان از یکنواختی مصالح سنگی در طول مدت ساخت بتن، تمامی مصالح سنگی از دپوهای مشخص تعیین شده از قبل که مشابه مصالح سنگی مورد استفاده در طرح های آزمایشگاهی بودند، استفاده گردید.

## ۵. بررسی نتایج

### ۱- بتن تازه

نتایج آزمایش های بتن خودتراکم از قبیل جریان اسلامپ، قیف V و جعبه L برای طرح های آزمایشگاهی و اجرایی در جدول (۵) ارائه شده است. به علت استفاده از حجم بالای ماسه در داخل طرح اختلاط و عدم توانایی در کنترل میزان رطوبت ماسه بطور دقیق، همان طور که ملاحظه می گردد نتایج طرح ساخته شده توسط بچینگ با طرح ساخته شده آزمایشگاهی متفاوت می باشد ولی هر دو طرح از نظر شکل ظاهری و نتایج آزمایشات در محدوده تعیین شده استانداردهای بتن خودتراکم می باشند. لازم به ذکر است طرح شاهد جدول (۵) بیانگر طرح آزمایشگاهی بتن خودتراکم بدون مواد منبسط کننده ZE-1 می باشد.

جدول ۵- نتایج آزمایش بتن تازه خودمتراکم

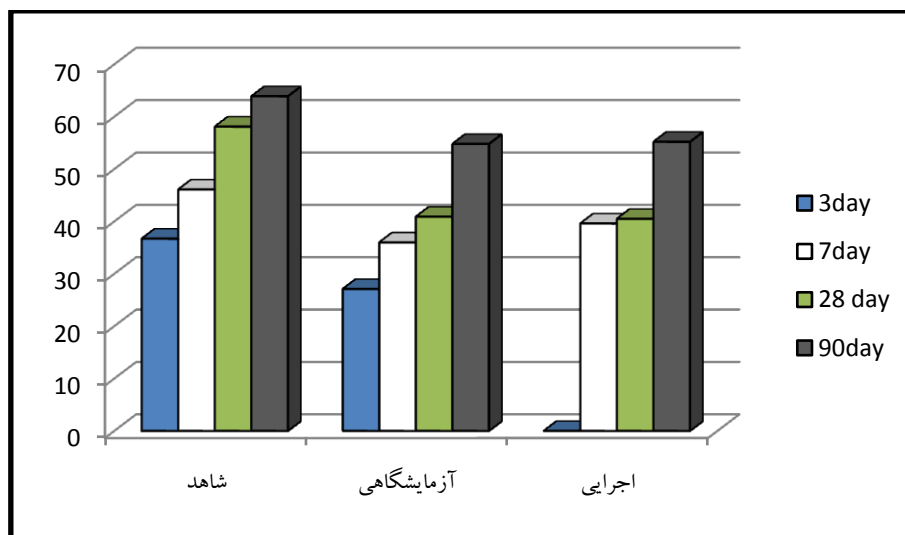
| نام آزمایش                     | یکای اندازه گیری | طرح شاهد | طرح حاوی منبسط کننده | اجرای |
|--------------------------------|------------------|----------|----------------------|-------|
| جریان اسلامپ                   | Cm               | ۷۸       | ۵۸                   | ۶۵    |
| T50 cm                         | Sec              | ۲/۵۳     | ۲/۲۰                 | ۲/۱۰  |
| V <sub>0</sub>                 | Sec              | ۸/۹۰     | ۴/۶۱                 | ۴     |
| V <sub>5min</sub>              | Sec              | ۱۶/۵۶    | ۱۲/۸۳                | ۱۲/۲۵ |
| h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub> | -                | ۰/۹۹     | ۰/۹۶                 | ۱     |

## ۲- بتن سخت شده

در جدول (۶) و شکل (۴) نتایج مقاومت فشاری نمونه شاهد و نمونه های آزمایشگاهی و اجرایی طرح های حاوی ماده منبسط کننده ارائه شده است.

جدول ۶- مقاومت فشاری نمونه های بتنی بر حسب MPa

| سن نمونه | طرح شاهد | طرح حاوی منبسط کننده |        |
|----------|----------|----------------------|--------|
|          |          | آزمایشگاهی           | اجرایی |
| ۳ روزه   | ۳۶/۷     | ۲۷/۰۶                | -      |
| ۷ روزه   | ۴۶/۰۸    | ۳۶                   | ۳۹/۶   |
| ۲۸ روزه  | ۵۸/۰۴    | ۴۰/۸۸                | ۴۰/۴۸  |
| ۹۰ روزه  | ۶۳/۸۶    | ۵۴/۸                 | ۵۵/۲   |



شکل ۴- مقاومت فشاری نمونه های بتنی بر حسب MPa

همانطور که مشاهده می شود مقاومت فشاری نمونه شاهد در تمام سنین از مقاومت فشاری نمونه های حاوی مواد منبسط کننده ZE-1 بیشتر می باشد. علت این امر را می توان به وجود حباب هوا در نمونه های حاوی آنتی شرینگیج دانست. برای مشاهده نحوه توزیع مصالح سنگی در داخل نمونه های بتن سخت شده و میزان هوای موجود در داخل بتن خودتراکم، نمونه های مکعبی ۱۵×۱۵ سانتی متری با روش دو نیم کردن، با استفاده از دستگاه جک مقاومت فشاری شکسته شد. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می شود توزیع سنگدانه های درشت و ریز به نحو مطلوبی می باشد به عبارتی در تمام ارتفاع دو نمونه برش خورده مقادیر درشت دانه و ریز دانه موجود می باشد که نشان دهنده ارائه یک طرح اختلاط خودتراکم مناسب است. همانطور که ملاحظه می شود استفاده از مواد منبسط کننده در داخل بتن خودتراکم سبب ایجاد حباب های هوا شده است. حضور حفره های هوای بیشتر از نمونه شاهد در درون نمونه های حاوی آنتی شرینگیج خود گواهی بر علت کاهش مقاومت فشاری آن می باشد. واضح است که با افزایش حباب های هوا در داخل بتن مقاومت فشاری آن نیز کاهش می یابد.



ب- با منبسط کننده



الف- بدون منبسط کننده

شکل ۵- توزیع حباب های هوا در نمونه های بتن

نمونه های آزمایشگاهی و اجرایی گرفته شده بصورت روزانه مورد کنترل چشمی قرار گرفته شدند. در تمامی طرح های حاوی ماده آنتی شیرینکیج هیچ گونه آفتی مشاهده نشده ولی در طرح شاهد بعد از گذشت ۲۴ ساعت، شاهد افت میلیمتری سطح بتن نسبت به سطح اولیه خودش هستیم. نکته قابل توجه دیگر این است که بعد از شکست نمونه های بتن حاوی آنتی شیرینکیج، حباب های هوای موجود در آن ها کاملاً قابل رویت می باشند. این مقدار (تعداد) حباب های هوا نسبت به نمونه شاهد بسیار بیشتر می باشند.

#### ۶. نتیجه گیری

استفاده از مواد منبسط کننده باعث افزایش لزجت مخلوط بتن خودتراکم شده در نتیجه مصرف فوق روان کننده را افزایش می دهد همچنین این مواد باعث افزایش هوای محبوس درون بتن می شود در نتیجه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می گردد. استفاده از مواد منبسط کننده مانع از ایجاد جمع شدگی در بتن خودتراکم می شود. (بنابراین مواد منبسط کننده می توانند جایگزین مناسبی به جای الیاف جهت جلوگیری از ایجاد جمع شدگی در بتن خودتراکم باشند.) جهت دقت بیشتر در ساخت بتن های خاص مانند بتن خودتراکم پیشنهاد می گردد که منبع تغذیه مجزایی در بچینگ تعبیه گردد تا مواد افزودنی با توزین دقیق تری به بتن اضافه شوند. جهت دقت بیشتر در توزین مصالح سنگی و میزان آب مصرفی در ساخت بتن پیشنهاد می گردد که دپوی مصالح به سنسورهای تعیین کننده درصد رطوبت مجهز گردند.

#### ۷. قدردانی

با سپاس فراوان از مدیریت شرکت بنیان بتن مشهد، بویژه مسئولین محترم آزمایشگاه بتن که بدون همیاری آنان، انجام این پژوهش میسر نبود.

## ۸. مراجع

۱. کاکاوند، ا. "بتن خودتراز". دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، تهران - دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - (۱۳۸۲).
۲. قدوسی، پ.، رئیس قاسمی، ا.م.، پرهیزکار، ط. "بررسی جمع شدگی خمیری بتن های حاوی میکروسیلیس". نشریه فنی و مهندسی مدرس، شماره ۱۵ - (۱۳۸۳).
۳. حکیمی، ح.، حق پرست، س.ع. "بررسی اثر الیاف بازیافتی PET در کنترل ترک های پلاستیک بتن". پنجمین همایش ملی مدیریت پسماند، مشهد - سازمان شهرداریها و دهرداریهای کشور - (۱۳۸۹).
۴. مهدی پور، ا.، لیبر، ن.ع.، شکرچی زاده، م.، امینی، ک. "بررسی ارتباط میان خصوصیات رفتارشناسی، جمع شدگی و مکانیکی کامپوزیت سیمانی خودتراکم مسلح به الیاف". ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اردیبهشت - (۱۳۹۰).
۵. قدوسی، پ.، شیرزادی جاوید، ع.ا. "تأثیر قید در جمع شدگی و نشست خمیری مصالح تعمیری بر پایه بتن خودتراکم". مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس، دوره دهم، شماره ۴ - (۱۳۸۳).
۶. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. "استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲، سنگدانه های بتن، ویژگیها". تجدیدنظر دوم. (۱۳۸۱).
۷. اکرمی، ا.، مروتی، ج. "ملاحظات کاربردی در تولید و اجرای بتن خودتراکم". اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، ۱۰ اسفند - (۱۳۸۵).