

## بررسی اثرات ترکیب VMA و پودر سنگ آهک بر خواص بتن تازه و سخت شده خودتراکم

سید وحید عاقبت خواه\*

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خراسان رضوی، گروه عمران، نیشابور، ایران

حمید وارسته پور

استادیار موسسه آموزش عالی صنعت آب و برق

### چکیده

بتن خود تراکم در سال ۱۹۸۸ در کشور ژاپن، به عنوان بتنی با قابلیت روانی بالا، که بدون نیاز به ویبراتور اجرا می شود، تعریف شده است بطور کلی sec از نظر ماده ای که جهت اصلاح گرانروی در آن به کار می رود به سه دسته تقسیم می شود؛ دسته اول: بتن خود تراکم نوع پودری. دسته دوم: بتن خود تراکم نوع دارای VMA. دسته سوم: بتن خود تراکم نوع ترکیبی. در این تحقیق ۵ طرح بتن خود تراکم با VMA و پودر سنگ آهک و ترکیب هر دو ساخته شد که از VMA با درصدهای ۰،۰۵، ۰،۱، ۰،۱۵، ۰،۲ و بر حسب وزن سیمان، به عنوان جایگزین پودر سنگ آهک در طرح ها استفاده شد تا امکان اصلاح گرانروی بررسی شود. مخلوط های طرح شده در حالت تازه تحت آزمایش های رئولوژی مختلف از قبیل جریان اسلامپ، T 50، قیف V، قیف V ۵ دقیقه، حلقه J، و جعبه L قرار گرفتند تا از نظر خصوصیات خودتراکمی در محدوده استاندارد کنترل شوند. پس از تأیید شدن در این قسمت، طرح ها برای تعیین مقاومت فشاری در سن ۷ و ۲۸ روزه تحت آزمایش قرار گرفتند و مقایسه اثرات VMA و پودر سنگ آهک با نسبت های مختلف در آزمایش های بتن تازه و سخت شده مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان می دهد افزایش VMA در طرح ها باعث ایجاد حباب شده و وزن مخصوص حداکثر ۱۲،۹ درصد کاهش و مقاومت فشاری حداکثر ۶۰ درصد کاهش پیدا کرده است.

واژه های کلیدی: بتن خود تراکم- پودر سنگ آهک-VMA- لزجت- مقاومت.

\* نویسنده مسئول: vahid.aghebatkhah@gmail.com

## ۱- مقدمه

و نقش اساسی مواد تأمین کننده لزجت، در این پژوهش به ساخت بتن خود تراکم با استفاده از پودر سنگ آهک و VMA پرداخته و اثرات آن را بر روی خواص بتن تازه و سخت شده خود تراکم بررسی شده است.

## ۲- مشخصات مصالح

## ۱-۲- سنگدانه

دانه بندی ماسه نسبت به دانه بندی شن بر مشخصات رفتار شناسی بتن خود تراکم تأثیر بیشتری دارد. همچنین حجم سنگدانه و اندازه درشت دانه باید به نحوی انتخاب شود که میان ملزومات مورد نیاز بتن سخت شده و بتن تازه تعادل برقرار کند. نسبت شن به ماسه در بتن های خود تراکم تا حدی کمتر از بتن های معمولی است با کاهش نسبت شن به ماسه قابلیت عبور بتن افزایش یافته و امکان بروز پدیده انسداد کاهش می یابد.

به طور کلی چنانچه جنس سنگدانه ها مرغوب و منحنی دانه بندی مطلوب باشد، مصرف سیمان و همچنین مواد قوام آور برای رسیدن به خصوصیات خود تراکمی کاهش یافته و این امر موجب اقتصادی شدن ساخت بتن می شود. [4]

## ۱-۱-۲- شن

در ساخت بتن های SCC حداکثر اندازه معمولی دانه ها ۱۶ تا ۲۰ میلی متر می باشد. به هر حال سنگدانه های تا حدود ۴۰ میلی متر نیز می تواند در SCC بکار رود. استفاده از سنگدانه های شکسته سبب افزایش مقاومت SCC می شود. [5] شن مورد استفاده در این تحقیق شن نخودی شکسته با حداکثر اندازه سنگدانه ۱۲٫۵ میلیمتر، وزن مخصوص خشک  $2,646 \text{ gr/cm}^3$ ، درصد جذب آب ۰٫۹۴٪ و دانه بندی شن براساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲ در نمودار شماره ۱ مشاهده می گردد.

## ۲-۱-۲- ماسه

ماسه در ادبیات فنی آمریکا و اروپا تعاریف مختلفی دارد. در ایران نیز الکت شماره ۴ به عنوان مرز بین شن و ماسه است. هر چند در ایران ماسه ها معمولاً درشت تر از ماسه های ذکر شده در منابع اروپایی و آمریکایی است. [5] ماسه استفاده شده از نوع طبیعی با ارزش ماسه ای ۸۱٪، وزن مخصوص خشک  $2,595 \text{ gr/cm}^3$  و

لرزاندن بتن برای متراکم نمودن آن و کاهش میزان فضای خالی در مخلوط بتن از ضروریات روش سنتی تولید و اجرای بتن معمولی است. صعوبت لرزاندن بتن در قطعات بتنی با آرما توریبندی متراکم و اشکال هندسی پیچیده و با ابعاد و اندازه های کوچک، مشکلات ناشی از استقرار وسایل و نیروی فنی در محل برای لرزاندن بتن، خطر سقوط کارگران از ارتفاع در هنگام استفاده از لرزاننده، آلودگی صوتی و عوارض زیست محیطی، بیماری سندرم سفید انگشتان دست کارگران مسئول لرزاندن بتن، هزینه های لرزاندن بتن و مشکلاتی از این دست، محققین را بر آن داشت تا بر روی تولید بتنی مطلوب که بدون نیاز به لرزاندن و با حفظ دانه بندی، بتواند به تراکم مناسب برسد، تحقیق نمایند. نتیجه این تلاش ها ابداع بتن خود تراکم بود که در سال ۱۹۸۶ توسط اوکامورا پیشنهاد و در سال ۱۹۸۸ در کارگاه تولید شد. [1]

برای بالا بردن کارایی بتن از فوق روان کننده استفاده می شود. در بتن های خود تراکم میزان استفاده از فوق روان کننده نسبت به بتن های معمولی بیشتر بوده و خطر جداشدگی بوجود می آید. لذا در بتن های خود تراکم، دانه بندی سنگدانه ها اهمیت بیشتری پیدا می کند. برای جلوگیری از جداشدگی و حفظ یکپارچگی بتن از افزایش نسبی ریزدانه و فیلر استفاده می شود و در مواردی می توان از نوعی اصلاح کننده لزجت به عنوان افزودنی کمک گرفت. همچنین می توان با تلفیق دو روش مذکور به طور همزمان از ریزدانه و اصلاح کننده لزجت استفاده کرد. [2]

برای تأمین لزجت مورد نیاز بتن تازه در بعضی موارد استفاده از مواد قوام آور ضروری است. مواد قوام آور، پلیمرهای قابل حل در آب هستند که غلظت مخلوط با آب را افزایش داده، علاوه بر آن توانایی خمیر سیمان در نگهداری مواد تشکیل دهنده سوسپانسیون را افزایش می دهند و در مقیاس میکروسکوپی باعث افزایش پایداری، لزجت، چسبندگی و اصطکاک درونی می شوند. هدف ظاهری استفاده از مواد قوام آور، افزایش توانایی خمیر سیمان در تشکیل سوسپانسیون و توانایی نگهداری ذرات سنگدانه به صورت مخلوط معلق است. [3]

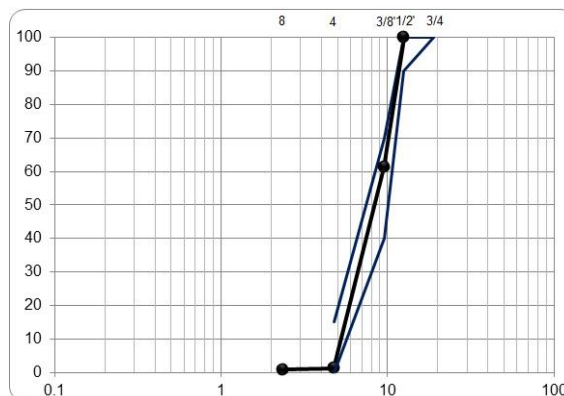
از آنجایی که استفاده از پودر سنگ و ماده افزودنی شیمیایی اصلاح کننده لزجت (VMA) که معمولاً وجه تمایز بتن معمولی و خود تراکم محسوب می شود با توجه به خصوصیات بتن خود تراکم

کردن آن و حرکت آن نیاز به انرژی اضافه برای فائق آمدن بر تنش جاری شدن بتن می باشد. [5] در این تحقیق برای ساخت آزمایشگاهی نمونه‌ها از فوق روان کننده RB-PC386 بر پایه پلی کربوکسیلات با وزن مخصوص  $1,1 \text{ gr/cm}^3$  در ۲۵ درجه سانتیگراد که محدوده مصرف آن در بتن خود تراکم از ۰,۱ تا ۰,۵ درصد وزن سیمان می باشد، استفاده شده است.

## ۲-۴- آب

از آنجاییکه PH آب مصرفی در بتن نباید از ۴,۵ کمتر و از ۸,۵ بیشتر باشد در این تحقیق از آب آشامیدنی شهر مشهد استفاده شده است.

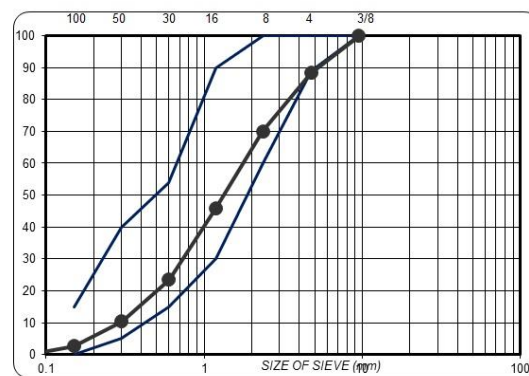
جذب آب ۲,۴۸٪ استفاده شده و دانه بندی براساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲، در نمودار شماره ۲ مشاهده می گردد.



نمودار ۱- دانه بندی شن

## ۲-۵- ماده اصلاح کننده لزجت - VMA

ماده اصلاح کننده لزجت (Viscosity modifying admixture) ماده ای است که لزجت خمیر سیمان را بهبود می بخشد. متأسفانه غالباً این مواد باعث افزایش تنش تسلیم نیز می گردند. این امر باعث می شود میزان استفاده از روان کننده‌ها برای اصلاح تنش جاری شدن افزایش یابد. اما این میزان بیشتر روان کننده غالباً باعث کاهش لزجت نمی شود. لذا با ترکیبی از VMA ها و فوق روان کننده‌ها می توان به بتنی دست یافت که تنش تسلیم کم اما لزجت کافی باشد. این مواد دارای وزن مولکولی بسیار بالا می باشند که به وسیله پیوند هیدروژنی لزجت آب را بالا می برند. [5] استفاده از مواد قوام آور، تأثیر افزودنی فوق روان کننده بر روانی ملات را کاهش می دهد. ترکیبهای مختلف افزودنیهای فوق روان کننده و قوام آور، تأثیر زیادی بر لزجت ملات خودتراکم ندارند. استفاده از مواد قوام آور باعث افزایش مقاومت در برابر جدایش استاتیکی و دینامیکی ملات خودتراکم می شود. اگرچه استفاده ی بیش از حد آن موجب کاهش کارپذیری خواهد شد. [6] در این تحقیق از VMA نوع پودری ساخت داخل کشور با محدوده مصرف ۰,۱ تا ۰,۵ درصد وزن سیمان استفاده شده است.



نمودار ۲- دانه بندی ماسه

## ۲-۲- سیمان

به طور کلی تمامی انواع سیمان های استاندارد می تواند در بتن خود تراکم به کار رود. انتخاب نوع سیمان بستگی به پارامترهای مورد انتظار بتن مثل مقاومت، دوام و... دارد. دامنه عمومی میزان مصرف سیمان (۳۵۰-۴۵۰) کیلوگرم بر مترمکعب می باشد. [5] در این تحقیق از سیمان تیپ ۲ مشهد با چگالی  $3,1-3,15 \text{ gr/Cm}^3$  و بلین  $2850 \text{ Cm}^2/\text{gr}$  استفاده شده است.

## ۲-۳- فوق روان کننده

فوق روان کننده از اجزای اصلی بتن خودتراکم می باشد. به این معنی که ساخت بتن خودتراکم بدون استفاده از فوق روان کننده ها ناممکن است. فوق روان کننده ها لزجت و تنش جاری شدن بتن را کاهش می دهند. تنش جاری شدن بتن معمولی بسیار بالاست. این امر به این معناست که سیال مورد نظر (بتن معمولی) نمی تواند حالت خودترازی مناسبی داشته باشد. بنابراین برای تراز

## ۲-۶- مواد پرکننده

استفاده از پرکننده‌ها به جهت پرکردن خلل و فرج بتن و افزایش استحکام ملات است. پودر سنگ آهک سبب افزایش درصد جذب آب می شود که با آزمایشات مکرر باید به نسبت بهینه ای از فوق روان کننده و پرکننده دست یافت که با این مقدار افزایش آب سبب جداشدگی بتن نشود. پرکننده ها در سطح مخصوص و بسیاری

مقایسه با انرژی زیادی که در برخی موارد به بتن معمولی اعمال می شود، باعث بروز تغییراتی می گردد. در مقایسه با بتن معمولی، نسبت های حجمی در بتن خودتراکم کاملاً متفاوت است. نسبت حجمی سنگدانه های درشت در این نوع بتن به طور قابل ملاحظه ای کمتر می باشد که این مسئله سبب افزایش اهمیت ماتریس خمیر سیمان می گردد، که ساختار این ماتریس نیز در پی اضافه شدن مواد پرکننده و افزودنی های شیمیایی تغییر می کند.

[8]

### ۵- جزئیات طرح اختلاط بتن خود تراکم

۵ طرح با نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۴۴ به طوریکه مقدار جریان اسلامپ در تمامی طرح ها در محدوده بین ۶۵ تا ۷۰ سانتیمتر باشد انتخاب گردید که شامل یک طرح با استفاده از پودر سنگ آهک و یک طرح با استفاده از VMA و سه طرح با ترکیبی از پودر سنگ آهک و VMA می باشد مقادیر مصالح مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۱) نمایش داده شده است.

با توجه به اینکه وجود پودر سنگ آهک و VMA در بتن خود تراکم باعث افزایش لزجت و قوام می شود ابتدا طرح ۱ فقط با پودر سنگ آهک و طرح ۵ فقط با VMA ساخته شد و با کاهش پودر سنگ آهک در طرح های ۲، ۳، ۴ و ۵ نسبت به طرح ۱، VMA افزایش پیدا می کند و همچنین شایان ذکر است با توجه به کاهش وزن مخصوص بتن بدلیل کاهش پودر سنگ آهک از طرح ۱ به بعد وزن شن و ماسه به نسبت در صد شن و ماسه در طرح ۱، حدود ۲،۵ درصد افزایش یافته است حدود مقادیر حجمی استفاده شده، در جدول (۲) نمایش داده شده است. [9].

جدول ۱- مقادیر مصالح مورد استفاده

| نوع طرح | شن<br>$kg/m^3$ | ماسه<br>$kg/m^3$ | سیمان<br>$kg/m^3$ | پودر سنگ آهک<br>$kg/m^3$ | آب<br>$kg/m^3$ | فوق روان کننده<br>$kg/m^3$ | VMA<br>$kg/m^3$ |
|---------|----------------|------------------|-------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|-----------------|
| Sec1    | ۶۹۰            | ۱۰۰۰             | ۴۰۰               | ۱۷۰                      | ۱۷۶            | ۳                          | ۰               |
| Sec2    | ۷۰۷            | ۱۰۲۵             | ۴۰۰               | ۱۲۷،۵                    | ۱۷۶            | ۳                          | ۰،۲             |
| Sec3    | ۷۲۴            | ۱۰۵۰             | ۴۰۰               | ۸۵                       | ۱۷۶            | ۳                          | ۰،۴             |
| Sec4    | ۷۴۲            | ۱۰۷۵             | ۴۰۰               | ۴۲،۵                     | ۱۷۶            | ۳                          | ۰،۶             |
| Sec5    | ۷۵۹            | ۱۱۰۰             | ۴۰۰               | ۰                        | ۱۷۶            | ۳                          | ۰،۸             |

فاکتورهای دیگر با هم فرق دارند. سوال اصلی در استفاده از پرکننده ها، در نوع و میزان استفاده از آنها در ترکیب SCC مطرح است. [5] در این تحقیق از پودر سنگ آهک با وزن مخصوص  $(gr/Cm^3)$  ۲،۷ - ۲،۹ به عنوان پرکننده استفاده شده است.

### ۳- مقدار پودر

معمولاً در بتن SCC از پودر و یا مواد چسبنده بیشتری نسبت به بتن معمولی استفاده می شود. این امر به دو دلیل است؛ SCC در دهه ۱۹۸۰ به عنوان بتن پر مقاومت ابداع و استفاده شد و از طرف دیگر برای پایداری بتن تازه در برابر خطر شدن ذرات و رسوب کردن (نشست ذرات بزرگتر)، مقدار بیشتری از مواد پودری مورد نیاز است. خمیر مواد چسبنده به صورت لیزکننده سنگ دانه درشت عمل می کند و باعث جاری شدن سنگدانه ها بدون مسدود شدن می شود. اما این مخلوط بتن به هر حال از مقاومت فشاری زیادی برخوردار است. عموماً در SCC مقدار مواد پودر به طور میانگین حدود  $kg/m^3 \pm 50$  است. [7]

### ۴- ریزساختار بتن خود تراکم

به طور کلی تفاوت در ریزساختار بتن خود تراکم را می توان با ۳ عامل مرتبط دانست: اولین مورد اجزاء و نسبت های اختلاط در بتن خود تراکم، به ویژه حضور مقادیر زیاد مواد پودری و پرکننده می باشد. دومین مورد مصرف مقادیر زیاد فوق روان کننده برای دستیابی به روانی بالای مورد نیاز در بتن خود تراکم و سومین مورد عدم اعمال لرزش برای انجام عملیات تراکم بتن می باشد، که در

جدول ۲- حدود مقادیر حجمی

| مقادیر استفاده شده |          |        |          |        | شرح  |
|--------------------|----------|--------|----------|--------|--|
| Sccl               | Sccl2    | Sccl3  | Sccl4    | Sccl   |  |
| 0.9                | 0.98     | 1.09   | 1.22     | 1.38   | نسبت حجمی آب به پودر                                     |
| ۳۷,۱٪              | 35.4%    | 33.7%  | 32%      | 30.3%  | حجم خمیر باید بین ۳۴ تا ۴۰ درصد حجم کل مخلوط باشد        |
| ۲۸,۷٪              | 29.5%    | 30.2%  | 31%      | 31.7%  | مقدار سنگدانه درشت باید بین ۲۸ تا ۳۵ درصد حجم مخلوط باشد |
| 570 kg             | 527.5 kg | 485 kg | 442.5 kg | 400 kg | کل مقدار پودر باید ۳۸۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد    |

## ۶- روش ساخت مخلوط‌ها

ابتدا مصالح مورد نیاز را با ترازوی دیجیتال با دقت ۰,۱ گرم وزن کرده و در ظرف‌های مخصوص به طور جداگانه قرار داده. در آغاز کار، شن و ماسه را در مخلوط‌کن ریخته تا به مدت ۲ دقیقه مخلوط شود سپس سیمان را داخل مخلوط‌کن ریخته تا به مدت ۱ دقیقه میکس شود. بعد از آن پودر سنگ آهک را به مخلوط اضافه کرده و پس از ۱ دقیقه،  $\frac{1}{3}$  آب طرح را با تمامی فوق روان کننده مخلوط کرده و به مخلوط اضافه می‌شود و پس از ۱ دقیقه میکس،  $\frac{2}{3}$  باقیمانده آب طرح یکنواخت به مخلوط اضافه می‌شود و ۱ دقیقه میکس شده و در نهایت VMA را به مخلوط اضافه می‌شود و به مدت ۲ دقیقه با بتن مخلوط کرده و بدین ترتیب بتن مورد نظر حاصل می‌شود.



شکل ۲- آزمایش اسلامپ



شکل ۳- آزمایش حلقه J



شکل ۴- آزمایش قیف V



شکل ۵- آزمایش جعبه L

## ۷- آزمایش‌های بتن تازه

در شکل‌های ۱ تا ۴ تصاویر مربوط به آزمایش‌های بتن تازه (آزمایش اسلامپ (Slump Flow)، اسلامپ T<sub>۵۰</sub>، قیف V- (Funnel V) جهت سنجش معیار پرکنندگی بتن خود تراکم آزمایش حلقه J - (J Ring) و جعبه L - (L box) جهت سنجش معیار گذرندگی و قیف V 5min جهت سنجش معیار مقاومت در برابر جدا شدگی) نشان داده شده است.

شکل ۱- آزمایش اسلامپ T<sub>۵۰</sub>

## ۱-۷- نتایج آزمایش های بتن تازه

با توجه به جدول ۳، نتایج بدست آمده مطابق حدود استاندارد Efnarc می باشد. [10] با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش های بتن تازه با تغییرات مقادیر پودر سنگ آهک و VMA از طرح یک تا پنج، همه طرح ها شرایط قابل قبول برابری دارند ولی طرح ۳ شرایط بهتری نسبت به طرح های دیگر داشته و در پارامترها به شرح ذیل، حدود قابل قبولی دارد؛

۱- روانی  
 ۲- توان عبور  
 ۳- مقاومت در برابر جدا شدگی  
 ۴- لزجت (ویسکوزیته)

همچنین با مشاهده ی جدول ۴ می توان گفت که طرح ۳ نسبت به طرح های دیگر دارای لزجت کمتر و روانی و قابلیت عبور بتن بیشتر می باشد.

جدول ۳- نتایج آزمایش های بتن تازه

|                            | Slump flow |                 | J-Ring(cm)     |     | L-Box                 |                       |       | V-Funnel |                      |
|----------------------------|------------|-----------------|----------------|-----|-----------------------|-----------------------|-------|----------|----------------------|
|                            | Dia(cm)    | T <sub>50</sub> | Dia(cm)        | ΔH  | T <sub>20</sub> (sec) | T <sub>40</sub> (sec) | ΔH    | V        | V <sub>5</sub> (min) |
| Sec1                       | ۶۶         | ۲,۸۱            | ۶۵             | ۰,۹ | ۱,۸                   | ۲,۱۵                  | ۰,۸   | ۶,۹۳     | ۷,۸۴                 |
| Sec2                       | ۶۳         | 2.56            | ۶۱             | ۰,۶ | ۱,۵                   | ۲,۹۳                  | ۰,۸۳  | ۷,۱۱     | ۸,۳۰                 |
| Sec3                       | ۶۸         | ۲,۳             | ۶۷             | ۰,۵ | ۱,۳۴                  | ۲,۲۲                  | ۰,۹۱  | ۸        | ۱۰,۶۳                |
| Sec4                       | ۶۶         | ۲,۴۸            | ۶۱             | ۱,۱ | ۱,۶                   | ۲,۳۵                  | ۰,۸۴  | ۷,۳۱     | ۸,۳۵                 |
| Sec5                       | ۶۵         | ۳               | ۶۱             | ۱   | ۱,۷                   | ۲,۷۵                  | ۰,۸۲  | ۶,۲۵     | ۷,۱۵                 |
| حدود قابل قبول Efnarc 2002 | ۶۵-۸۵      | ۲-۵             | کمتر از اسلامپ | ≤ 1 | -                     | -                     | ۰,۸-۱ | ۶-۱۲     | ۰-۳                  |

جدول ۴- علل محتمل نتایج پایین تر از معیار پذیرش آزمایش ها [۱۰]

| شماره | آزمایش                       | واحد | مقدار کمتر از | علت احتمال                |
|-------|------------------------------|------|---------------|---------------------------|
| ۱     | جریان اسلامپ                 | mm   | 650           | لزجت زیاد، تنش تسلیم زیاد |
| ۲     | جریان اسلامپ T <sub>50</sub> | sec  | 2             | لزجت کم                   |
| ۳     | حلقه ج                       | mm   | 10            | لزجت کم، جداشدگی          |
| ۴     | قیف V                        | sec  | 8             | لزجت کم                   |
| ۵     | قیف V <sub>5min</sub>        | sec  | -             | نتایج مشکوک               |
| ۶     | جعبه L                       | -    | 0.8           | لزجت زیاد                 |

جدول ۵- نتایج مقاومت فشاری

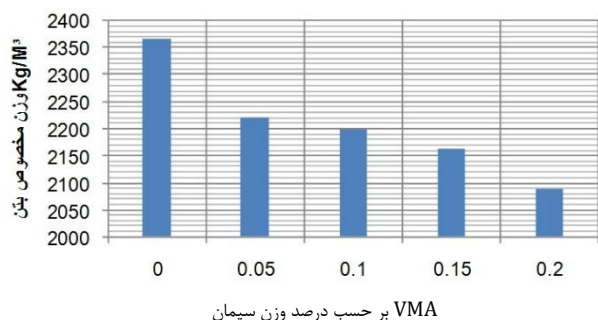
| نوع طرح | مقاومت فشاری ۷روزه<br>کیلوگرم بر سانتیمتر مربع | مقاومت فشاری ۲۸روزه<br>کیلوگرم بر سانتیمتر مربع | وزن مخصوص<br>کیلوگرم بر متر مکعب |
|---------|--|---|----------------------------------|
| Sec1    | ۳۱۳  | ۳۳۰   | ۲۳۶۶                             |
| Sec2    | ۲۲۹  | ۲۲۲   | ۲۲۲۰                             |
| Sec3    | ۱۷۵  | ۱۷۹   | ۲۲۰۰                             |
| Sec4    | ۱۶۴  | ۱۷۵   | ۲۱۶۴                             |
| Sec5    | ۱۲۱  | ۱۴۴   | ۲۰۸۹                             |

## ۸- آزمایش بتن سخت شده

بعد از ساخت، بتن در قالب های مکعبی ۱۵\*۱۵\*۱۵ سانتی متر، جهت آزمایش مقاومت فشاری و یخبندان و قالب های مکعبی ۱۰\*۱۰\*۱۰ سانتی متر جهت آزمایش جذب آب ریخته و بعد از ۲۴ ساعت از قالب بیرون آورده و در محیط آب نگهداری شد.

## ۸-۱- آزمایش مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ۱۵\*۱۵\*۱۵ سانتیمتر در سن ۷روزه و ۲۸روزه در جدول ۵ نمایش داده شده است.



نمودار ۵- نسبت VMA با وزن مخصوص

### ۸-۲- آزمایش جذب آب

پس از ۲۸ روز نمونه های مکعبی  $10 \times 10 \times 10$  از حوضچه آب خارج شد و براساس استاندارد ملی شماره ۱۲۷۲۸ (آزمون جذب آب کل (نهایی) جدول [10]) ، پس از توزین جهت آزمایش جذب آب به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه اون با دمای  $5 \pm 10.5$  درجه سانتیگراد قرار داده شد و مجدداً توزین شدند که نتایج حاصل در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۶- درصد جذب آب نمونه ها

| نوع طرح | Secc1 | Secc2 | Secc3 | Secc4 | Secc5 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| درصد    | ۳,۸٪  | ۴,۸٪  | ۷,۷٪  | ۶,۱۵٪ | ۷,۲۱٪ |

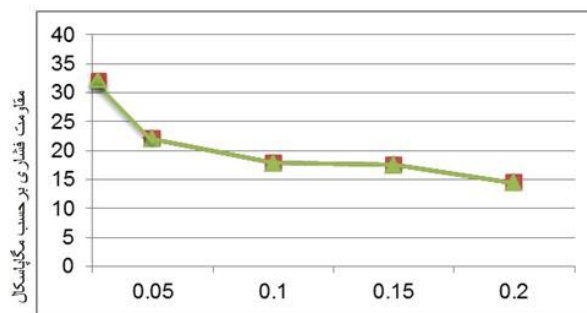
با توجه به نتایج آزمایش جذب آب مشاهده می گردد؛ طرح ۱ که بدون VMA می باشد، کمترین جاب و جذب آب را دارد.

طرح ۳ که ترکیبی از VMA و پودر سنگ آهک بوده و به علت اینکه جاب ها بیشتر در سطح بتن جمع شده اند، نفوذپذیری زیاد داشته و بیشترین درصد جذب آب را دارد. و در مجموع با افزایش VMA و کاهش پودر سنگ آهک و جاب های ایجاد شده در اثر وجود VMA، از طرح ۲ تا ۵ باعث افزایش درصد جذب آب شده است.

### ۸-۳- آزمایش یخبندان و ذوب

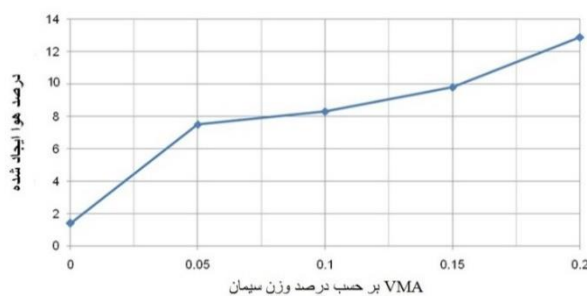
پس از ۲۸ روز نمونه های مکعبی  $15 \times 15 \times 15$  از حوضچه آب خارج شد و براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۷۲۸ (آزمون تعیین مقاومت جدول در برابر یخبندان و آب شدگی در مجاورت نمک یخ زدا) [5] ، پس از اندازه گیری دقیق وزن و سطح مقطع، نمونه ها جهت آزمایش یخبندان و آب شدگی در مجاورت نمک یخ زدا در دستگاه مخصوص آزمایش یخبندان و ذوب قرار داده شد. نتایج آزمایش یخبندان و ذوب در جدول (۷) نمایش داده شده است.

لازم به ذکر است که نسبت آب به سیمان در مقاومت و دوام بتن رابطه معکوس دارد، هرچه، نسبت آب به سیمان کمتر باشد، مقاومت و دوام بتن بیشتر خواهد شد. وجود هوای تصادفی ناشی از عدم تراکم کافی موجب ضعف مشخصات مکانیکی بتن می شود به طوری که هر یک درصد هوا تقریباً پنج درصد افت مقاومت فشاری را به همراه دارد. لذا با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش بتن سخت شده، با کاهش پودر سنگ آهک و افزایش VMA از طرح یک تا پنج، میزان درصد هوا در بتن افزایش یافته و وزن مخصوص و در نتیجه مقاومت به شدت کاهش یافته و همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود نسبت آب به پودر از طرح ۱ تا طرح ۵ سیر صعودی و حجم خمیر از طرح ۱ تا طرح ۵ سیر نزولی دارد و از آنجایی که نسبت حجم آب به پودر در طرح ۱ کمتر از طرح های دیگر می باشد می توان گفت که این امر باعث بهبود خواص مکانیکی طرح ۱ نسبت به طرح های دیگر و به ترتیب باعث کاهش خواص مکانیکی در طرح های ۲، ۳، ۴ و ۵ شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش بتن سخت شده با تغییرات مقادیر پودر سنگ آهک و VMA از طرح یک تا پنج، درصد میزان جاب افزایش و وزن مخصوص و در نتیجه مقاومت به شدت کاهش یافته که در نمودارهای ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است.



مقدار VMA بر حسب درصد وزن سیمان

نمودار ۳- نسبت VMA با مقاومت فشاری ۲۸ روزه



نمودار ۴- نسبت VMA با درصد هوای ایجاد شده

جدول ۷- نتایج آزمایش یخبندان و ذوب

| نوع طرح                              | Sec1 | Sec2 | Sec3 | Sec4 | Sec5 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| افت وزنی در واحد سطح $\text{kg/m}^2$ | ۰,۰۱ | ۰,۰۵ | ۰,۵۲ | ۰,۱۶ | ۰,۱۷ |

با افزایش VMA و کاهش پودر سنگ آهک و حباب‌های ایجاد شده در اثر وجود VMA، از طرح ۲ تا ۵ باعث کاهش مقاومت در برابر یخبندان بتن شده است. در مجموع نتایج بدست آمده از آزمایش یخبندان نشان می‌دهد که براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۷۲۸ همه طرح‌ها حدود قابل قبولی در مقاومت در برابر یخبندان دارند.

با توجه به نتایج آزمایش یخبندان و ذوب و به طوری که سطح همه طرح‌ها با شرایط یکسان صاف و پرداخت گردیده است، مشاهده می‌گردد؛ طرح ۱ که بدون VMA می‌باشد. کمترین حباب و بیشترین مقاومت در برابر یخبندان را دارد. (شکل ۶)

طرح ۳ که ترکیبی از VMA و پودر سنگ آهک بوده و نیز با توجه به آزمایش‌های بتن تازه دارای لزجت کمتر و روانی بیشتر از طرح‌های دیگر می‌باشد و به همین جهت حباب‌ها بیشتر در سطح بتن جمع شده‌اند (شکل ۷) و با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش درصد جذب آب که نفوذپذیری طرح‌های دارای VMA زیاد بوده و همچنین وجود حباب‌های بزرگ در طرح‌ها، باعث خرد شدن بیشتر سطح بتن و در نتیجه کاهش مقاومت در برابر یخبندان شده است.

**۹- اثرات VMA بر وزن مخصوص تازه بتن خود تراکم**

با مشاهده نتایج بدست آمده نکته قابل توجه در جدول ۵ این است که با افزایش VMA، وزن مخصوص بتن به شدت کاهش یافته که برای بررسی این قضیه آزمایش‌های سنجش وزن مخصوص بتن تازه بیشتری جهت مشخص شدن بیشتر اثرات VMA در بتن خود تراکم با تغییرات در نوع VMA و فوق روان کننده و سیمان و نسبت آب به سیمان انجام گرفت.

در این مرحله ۹ طرح بتن خود تراکم با تغییرات در نوع و مقدار آب، سیمان، فوق روان کننده، پودر سنگ آهک و VMA، به طوری که مقدار جریان اسلامپ در تمامی طرح‌ها در محدوده بین ۵۵ تا ۶۰ سانتیمتر باشد ساخته شد. سپس هر طرح بتن خود تراکم ساخته شده را در ظرف مربوط به سنجش وزن مخصوص بتن تازه ریخته و قبل از اضافه کردن VMA وزن آن اندازه‌گیری و پس اضافه کردن VMA و میکس کردن مخلوط بتن خود تراکم مجدداً وزن مخصوص بتن تازه اندازه‌گیری و ثبت گردید و همانطور که در جدول ۸ نمایش داده شده است، بعد از اضافه شدن VMA وزن مخصوص در همه طرح‌ها کاهش یافت.



شکل ۶- سطح بتن طرح ۱

شکل ۷- سطح بتن طرح ۳

جدول ۸- اثرات VMA بر وزن مخصوص تازه بتن خود تراکم

| Sec 9 | Sec 8 | Sec 7 | Sec 6 | Sec 5 | Sec 4 | Sec 3 | Sec2*        | Sec  | مشخصات مصالح                           |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|------|--|
| ۰,۳۷  | ۰,۳   | ۰,۳   | ۰,۳   | ۰,۴   | ۰,۳۷  | ۰,۵۵  | ۰,۴          | ۰,۳۷ | w/c                                    |
| نخودی | نخودی | نخودی | نخودی | نخودی | نخودی | نخودی | بادامی نخودی | نخود | نوع شن                                 |
| -     | -     | ۶     | ۶     | ۳,۴   | -     | -     | ۳            | ۳    | فوق روان کننده نوع ۱ (برحسب کیلوگرم)   |
| ۳,۴   | ۳,۴   | -     | -     | -     | ۳     | -     | -            | -    | فوق روان کننده نوع ۲ (برحسب کیلوگرم)   |
| ۲۱    | -     | ۴۲,۵  | ۴۲,۵  | -     | ۴۲,۵  | ۴۲,۵  | ۴۲,۵         | ۴۲,۵ | پودر سنگ آهک (برحسب درصد وزن سیمان)    |
| -     | -     | ۰,۱۵  | ۰,۱۵  | -     | ۰,۱۵  | ۰,۱۵  | ۰,۱۵         | ۰,۱۵ | VMA پودری نوع ۱ (برحسب درصد وزن سیمان) |
| ۰,۰۲  | ۰,۱   | -     | -     | ۰,۲   | -     | -     | -            | -    | VMA پودری نوع ۲ (برحسب درصد وزن سیمان) |
| ۴۰۰   | ۴۰۰   | -     | ۴۰۰   | ۴۰۰   | ۴۰۰   | ۴۰۰   | ۴۰۰          | ۴۰۰  | سیمان تیپ ۲ مشهد (برحسب کیلوگرم)       |
| -     | -     | ۴۰۰   | -     | -     | -     | -     | -            | -    | سیمان تیپ ۲ بخورد (برحسب کیلوگرم)      |
| ۲۳۷۵  | ۲۳۸۱  | ۲۳۸۵  | ۲۳۹۰  | ۲۳۹۰  | ۲۳۷۵  | ۲۳۷۰  | ۲۳۷۷         | ۲۳۶۰ | وزن مخصوص قبل از اضافه کردن VMA        |
| ۲۱۰۰  | ۲۱۱۹  | ۲۱۱۵  | ۲۱۵۰  | ۲۱۵۰  | ۲۱۱۰  | ۲۲۲۰  | ۲۱۴۵         | ۲۰۹۹ | وزن مخصوص بعد از اضافه کردن VMA        |

\* در طرح ۲ شن ترکیبی است از ۲۰ درصد بادامی حداکثر ۱۹ میلیمتر و ۸۰ درصد نخودی



## ۱۰- نتیجه گیری

- ۱- در آزمایشات انجام گرفته با افزایش VMA از صفر تا ۰,۲ درصد وزن سیمان با گام ۰,۰۵ و کاهش پودر سنگ آهک از ۴۲,۵ درصد تا صفر درصد وزن سیمان با گام ۱۰,۶، مشاهده میگردد که با افزایش VMA وزن مخصوص حداکثر ۱۲,۹ درصد کاهش و مقاومت فشاری حداکثر ۶۰ درصد کاهش پیدا کرده است. که وجود هوا در بتن های دارای VMA باعث کاهش وزن مخصوص و در نتیجه کاهش مقاومت شده است که می توان گفت به ازای هر یک درصد هوا ۴,۷ درصد مقاومت کاهش پیدا کرده است.
- ۲- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۸ مشخص گردید که استفاده هر ۲ نوع VMA در طرح ها با وجود تغییرات در نسبت و نوع آب به سیمان، شن، فوق روان کننده، پودر سنگ آهک و حتی بدون استفاده از فوق روان کننده باعث ایجاد هوا و کاهش وزن مخصوص و مقاومت فشاری گردید.
- ۳- در طرح های حاوی VMA جهت خروج هوای ایجاد شده، باید تا حدودی از ویریه استفاده کرد که برای مقاطعی که امکان ویریه زنی ممکن نیست مناسب نمی باشد.
- ۴- به طور کلی وجود VMA اثر منفی در جذب آب، مقاومت فشاری و یخبندان گذاشته است، بطوریکه کمترین مقاومت فشاری را طرح دارای VMA و فاقد پودر سنگ داشته است و با افزایش VMA و کاهش پودر سنگ باعث افزایش نسبت آب به پودر، و در نتیجه افزایش درصد جذب آب بتن و نیز کاهش مقاومت در برابر یخبندان شده است.
- ۵- کاهش نسبت آب به مواد پودر در طرح ۱ باعث بهبود خواص مکانیکی (مقاومت فشاری، جذب آب و یخبندان و ذوب) شده است.
- ۶- کاهش نسبت آب به مواد پودر در طرح ۱ باعث بهبود وزن مخصوص و مقاومت فشاری شده و معیارهای قابل قبول آزمایش- های بتن تازه و سخت شده را دارد و طرح بهینه می باشد.

## ۱۱- مراجع

- [1] سحاب، محمد و [دیگران]. «بررسی آزمایش های ارزیابی بتن خود تراکم و پیشنهاداتی جهت اصلاح و بهبود آنها» صنعت مقاوم سازی و بهسازی صفحه ۲۴.

- [2] بختیاری، سعید و [دیگران]. بررسی رفتار بتن های معمولی و خود تراکم در برابر آتش و پارامترهای موثر. تهران: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱۳۹۱. صفحه ۲۹
- [3] امدادی، آرزو و [دیگران]. «تاثیر مواد افزودنی شیمیایی بر خصوصیات رفتاری بتن خود تراکم» اولین کارگاه تخصصی بتن خود تراکم، اسفند ۱۳۸۵، صفحه ۱۹۲
- [4] شکرچی زاده و [دیگران]. «تاثیر دانه بندی سنگدانه بر خواص بتن خود تراکم تازه و سخت شده» اولین کارگاه تخصصی بتن خود تراکم، اسفند ۱۳۸۵، صفحه ۱۵۷
- [5] تدین، محسن و [دیگران]. «اثر پودر سنگ آهکی و ماده اصلاح کننده لزجت و دانه بندی بر پارامترهای رئولوژی بتن خودتراکم» مجله مهندسی ساختمان و علوم مسکن، شماره ۱۹، دوره دهم. صفحات ۲۶، ۲۷، ۲۸.
- [6] شکرچی زاده، محمد. و [دیگران]. «تاثیر افزودنی های فوق روان کننده به همراه مواد قوام آور در خصوصیات رفتاری بتن تازه خودتراکم». دومین کنفرانس ملی بتن ایران. ۱۳۸۹، صفحه ۸
- [7] قدوسی، پرویز. و [دیگران]. بتن خودتراکم. تهران: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ۱۳۹۳. صفحه ۱۱
- [8] (رمضانیان پور، علی اکبر. کاظمیان، علی). بتن خود تراکم. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. (۱۳۹۲). صفحه ۸۳
- [9] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان - وزارت راه و شهرسازی ۱۳۹۲ صفحه ۹۷
- [10] Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. fnarc. February 2002.
- [11] استاندارد ملی ایران. شماره ۱۲۷۲۸. (جداول پیش ساخته - ویژگی ها و روش های آزمون) چاپ اول. تصویب ۱۳۸۸ (پیوست ث).

## Effect of Investigation viscosity modifying admixtures and Lime stone Powder Combination on Fresh and Hardened Properties Self Compacting concrete

S. V. Aghebatkhah \*

Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran  
H. Varaste Pour

Assistant professor of higher education institute of water and electricity industry

### Abstract

By 1988 in Japan, SCC (Self-Compacting Concrete) is developed and defined as a high capable flowability concrete without requirement of vibrator runs. Generally, SCC based on the materials used to modify its viscosity, can be divided into three categories; first: the powder type SCC, second: the VMA (Viscosity Modifying Admixtures) type SCC and the third group that includes a mixture of SCC. In this research, 5 SCC projects were built using the VAM-type SCC and lime stone powder-type SCC, separately and also using the combination of both VMA-type SCC and lime stone powder-type SCC. In order to determine the possibility of viscosity in the projects, the VAM-type SCC has been used in the following percentages: 0.05, 0.1, 0.15 and 0.2 based on which the weight of cement are used as a substitute for lime stone powder-type SCC. The new mixtures were tested using different rheological states experiments such as the Slump, T 50, V-Funnel, V-Funnel at T: 5 Minutes, J-Ring and L-Box to set the standard range of self-compacting characteristics. After approval, in this section, the Projects were examined to determine the compressive strength at the age of 7 and 28 days. In addition, the effects of the VMA-type SCC and lime stone powder-type SCC with different proportions, were evaluated and compared in the fresh and hardened concrete experiments. The results showed an increase in the VMA-type SCC, in the subject of making bubbles and also a decrease in the specific gravity up to 12.9 percent, as well as the compressive strength has fallen up to 60 percent in maximum.

**Keywords:** Self Compacting concrete, Lime Stone Powder, Viscosity Modifying Admixtures, Viscosity, Strength.

---

\* Corresponding Author: vahid.aghebatkhah@gmail.com