

بررسی تأثیر عیار سیمان بر رئولوژی و خواص مکانیکی بتن خودتراکم حاوی میکروسیلیس

هرمز فامیلی

استادیار دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

مصطفی خانزادی*

استادیار دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

هادی توتونچی

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده:

امروزه استفاده از بتن‌های توانمند گسترش چشمگیری داشته است و در این بین، نقش بتن خودتراکم قابل توجه است. در چند سال اخیر، استفاده از مواد پوزولانی باعث بهبود خواص بتن شده و نتایج مطلوبی در زمینه تکنولوژی بتن داشته است. در این پژوهش، تأثیر عیار سیمان بر رئولوژی و خواص مکانیکی بتن‌های خود تراکم حاوی میکرو ذرات سیلیس مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده بر روی بتن تازه نشان دهنده بهبود کارایی و قابلیت عبورپذیری بهتر بتن‌های حاوی میکروسیلیس نسبت به بتن مرجع می‌باشد. همچنین نتایج مقاومت فشاری و کششی، حاکی از افزایش چشمگیر مقاومت نسبت به بتن مرجع است، که مکانیسم این تأثیرات را با توجه به آنالیز عکس‌های میکروسکوپ الکترونیکی و نتایج حاصل می‌توان این‌گونه بیان نمود که میکرو ذرات علاوه بر پر کردن خلل و فرج ریز ساختار خمیر سیمان به واسطه واکنش‌های پوزولانی با کریستال‌های هیدرواکسید کلسیم حاصل از هیدراسیون، موجب انسجام و یکنواخت‌تر شدن بیشتر ساختار خمیر سیمان می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بتن خودتراکم، رئولوژی، مقاومت فشاری، میکروسیلیس.

* نویسنده مسئول: khanzadi@iust.ac.ir

۱. مقدمه

بتن به عنوان پرمصرف‌ترین مصالح صنعت ساخت همواره دستخوش تحولات و پیشرفت‌های شگرفی شده است. زمان، هزینه و کیفیت سه عامل مهم در اجرا می‌باشند که تأثیر مهمی در صنعت ساخت دارند. هرگونه پیشرفت یا توسعه‌ای که باعث بهبود این سه عامل گردد، همواره مورد علاقه مهندسان عمران خواهد بود. با توسعه روزافزون سازه‌های بتنی و با تأکید بر مقاومت و دوام از یک طرف و عدم وجود کارگران ماهر از طرف دیگر و گسترش صنعت پیش ساخته بتنی در دنیا موجب گردید بتنی طراحی گردد که برای تراکم و تحکیم خود نیازی به ویرنه کردن در هنگام بتن ریزی نداشته باشد [۱]. استفاده از مواد پوزالانی همراه با مواد افزودنی شیمیایی در سال‌های اخیر این امکان را برای دانشمندان علم تکنولوژی بتن فراهم نموده است که بتوانند بتن‌های خاصی را برای شرایط مختلف طراحی نمایند. در میان مواد افزودنی پوزولانی، میکروسیلیس به دلیل سطح مخصوص بالای ذرات، واکنش‌پذیری نسبتاً مناسبی در آن مشاهده می‌شود [۲].

دکتر اسماعیل گنجیان [۳] در بررسی بر روی میکروسیلیس به صورت غیرمستقیم از دو عیار مختلف ۳۵۰ و ۴۰۰ با نسبت آب به سیمان ثابت به این نتیجه رسید که با افزایش میزان عیار، مقاومت نیز افزایش می‌یابد [۳]. طبیعت واکنش سیمان‌های حاوی دوده سیلیس باعث پر کردن مؤثر تخلخل‌ها و در نتیجه کاهش نفوذپذیری و بهبود خواص مکانیکی بتن می‌شود. به همین دلیل از دوده سیلیس معمولاً در ساخت بتن‌های پرمقاومت (HSC) بهره می‌گیرند [۴، ۵، ۶]. لذا در این پژوهش سعی شده است علاوه بر تأثیر عیار سیمان، اثر میکروسیلیس نیز به عنوان افزودنی بر رئولوژی و خواص مکانیکی بتن خودتراکم ارزیابی شود.

۲. آزمایشات

۲-۱. مواد و مصالح

سیمان: سیمان مصرفی در کلیه طرح اختلاط‌ها، از نوع پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ است که تولید کارخانه سیمان تهران می‌باشد. مشخصات شیمیایی سیمان در جداول ۲-۱ آمده است.

سنگدانه: در این تحقیق از ماسه گرد گوشه رودخانه‌ای با چگالی

ذرات 2550 kg/m^3 و شن با اندازه ذرات ۵-۱۲.۵ میلی‌متر و چگالی ذرات 2630 kg/m^3 ، که هر دو مصول شرکت متوساک واقع در شهریار کرج استفاده شد. لازم به ذکر است که سنگدانه‌ها طبق استاندارد ASTM C136-96 دانه‌بندی شده‌اند. **آب:** آب مصرفی در ساخت و عمل‌آوری بتن، از شبکه آبرسانی دانشگاه علم و صنعت ایران با PH تقریبی ۷/۵ تأمین شد.

میکروسیلیس: میکروسیلیس مصرف شده در این تحقیق محصول کارخانه صنایع فرو آلیاژ ایران (ازنا) بوده که چگالی ذرات آن 2200 kg/m^3 می‌باشد که خواص شیمیایی آن در جدول (۲-۲) آمده است. در چندین مقاله بهترین میزان جایگزینی میکروسیلیس با سیمان، ۱۰ درصد بیان شده است [۳، ۷، ۸].

ماده افزودنی فوق‌روان‌کننده: با توجه به لزوم مصرف ماده افزودنی فوق‌روان‌کننده به جهت ایجاد روانی بالا در مخلوط بتن خود تراکم، از یک ماده افزودنی روان‌کننده ممتاز به نام structuro335، استفاده شد.

ماده افزودنی اصلاح‌کننده لزجت: برای جلوگیری از جداشدگی مصالح نیاز به استفاده از یک ماده اصلاح‌کننده لزجت است که نقش فیلر را ایفا کند. مواد اصلاح‌کننده لزجت مصرفی در این پروژه structuro480 می‌باشد.

۲-۲. نسبت‌های اختلاط

با توجه به هدف این تحقیق با در نظر گرفتن سه عیار سیمان ۴۰۰، ۴۵۰، ۵۰۰ سعی بر این شد تا مابقی نسبت‌های طرح ثابت بماند، از جمله نسبت آب به سیمان که ۰/۴ انتخاب شد همچنین برای رسیدن به اسلامپ قابل قبول در طرح‌های مختلف نیاز به مصرف متفاوت فوق‌روان‌کننده است، لذا اگر این عامل برای هر طرح به طور جداگانه اعمال می‌شد، در آن صورت بررسی رئولوژی دشوار شده و در نتایج آزمایشات مقاومت نیز تأثیر منفی داشت،

EFNARC [۱۰] انجام شد. همچنین از این بتن در قالب‌های مکعبی با ابعاد ۱۰*۱۰*۱۰ به تعداد ۱۲ عدد به منظور آزمایش مقاومت فشاری مطابق با استاندارد ۳۲۰۶ ایران و (BS1881-108,110,1116) و نیز قالب‌های استوانه ای با ابعاد ۲۰*۱۰ به تعداد ۱۲ برای آزمایش تعیین مقاومت کششی در نیم شدن مطابق با استاندارد ۶۰۴۷ ایران و EN 6-ENBS12340 ریخته شد. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و مدت ۶ و ۲۷ روز در آب با دمای 20 ± 2 نگهداری شدند.

۴-۲. نتایج آزمایشات

نتایج آزمایشات جریان اسلامپ و حلقه جی در نمودار (۱-۲) و قیف وی در نمودار (۲-۲) و آزمایش جعبه یو در نمودار (۳-۲) و نیز نتایج ۳،۷ و ۲۸ روزه آزمایش مقاومت فشاری و کششی در نمودار (۲-۴) و (۲-۵) آمده است.

آزمایشات رئولوژی نشان دهنده بهبود روند عبورپذیری و قابلیت پر کردن در نمونه‌های میکرو سیلیس می باشند. این ذرات به دلیل خاصیت فیلر بودن باعث متراکم تر شدن و یکنواخت تر شدن ساختار بتن شده و با افزایش لزجت سبب بهبود کارایی بتن تازه می شوند.

از نتایج مقاومت‌های فشاری و کششی نیز می توان در یافت که مخلوط‌های حاوی میکرو با عیارهای ۴۰۰ و ۴۵۰ و ۵۰۰ به ترتیب ۴۵ و ۸۹/۵ و ۱۳۱ درصد در مقاومت فشاری و نیز ۲۴/۷ و ۱۷/۶ و ۲۰ درصد در مقاومت کششی افزایش داشته‌اند.

۳. مشاهدات عکس‌های میکروسکوپ SEM

نتایج SEM در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. از بررسی ریز ساختار بتن میکرو سیلیسی نسبت به بتن مرجع می توان دریافت که در بتن میکروسیلیسی میزان کریستال‌های اترینگایت و کریستال‌های سیلیکاتی و سوزنی شکل C-S-H نسبت به بتن مرجع به ترتیب کاهش و افزایش یافته است همچنین مقدار کریستال‌های شش ضلعی $Ca(OH)_2$ نیز کمتر شده است، که این امر به علت واکنش ذرات سیلیس با کریستال‌های هیدروکسید کلسیم و تولید کریستال‌های

بنابراین برای مواد افزودنی درصدی از عیار سیمان مطابق جدول (۲-۳) مشخص شد تا در بررسی طرح‌ها با عیار متفاوت میزان فوق روان کننده و اصلاح کننده لزجت با تغییر عیار سیمان به نسبت ثابت اضافه شود.

در این صورت مثلاً در مخلوط عیارهای سیمان با میکروسیلیس ضریب ۱/۳ در صد برای فوق روان کننده در سه عیار ۴۰۰، ۴۵۰، ۵۰۰ ثابت در نظر گرفته شد تا میزان فوق روان کننده مانند نسبت آب به سیمان برای هر سه طرح ثابت بوده و در مقایسه سه طرح فقط رئولوژی مطرح باشد.

در ادامه یک نمونه شاهد از هر عیار ساخته و سپس مخلوطی با جایگزینی ۱۰٪ میکرو آزمایش شد. با این فرضیات، تعداد مخلوط‌های مورد بررسی به ۶ مخلوط رسید. مخلوط‌های بتن به صورت زیر نامگذاری شده است:

حرف اول از سمت چپ (S) نمایانگر کلمه Sample (نمونه) می باشد که در تمامی مخلوط‌ها مشترک است. حرف دوم بعد از حرف (S)، نمایانگر میکروسیلیس (F) می باشد. رقم بعد از حروف نیز به نحوی نمایانگر عیار سیمان مربوط به مخلوط است. به این صورت است که S40 نمایانگر عیار $C = 400 kg$ ، S 45 نمایانگر عیار $C = 450 kg$ و S 50 نمایانگر عیار $C = 500 kg$ می باشد. ویژگی‌ها و ترکیبات مخلوط‌ها در جدول (۲-۴) آمده است.

۳-۲. روش ساخت:

هنگام ساخت ابتدا نصف وزنی شن و ماسه و مواد سیمانی درون میکسر ریخته و به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شدند.

در مرحله بعد ۳/۴ آب اضافه شده بعد از ۲۰ ثانیه اختلاط باقی مانده شن و ماسه و مواد سیمانی اضافه شده و ۲۰ ثانیه مخلوط شدند و در مرحله آخر قسمت دوم آب که بخش مایع مخلوط با آن ترکیب شده است، به تدریج و به مدت ۱۶۵ ثانیه به مخلوط اضافه شد. بتن حدود ۹۰ ثانیه پس از اتمام افزودن قسمت مایع در میکسر مخلوط گردید.

لازم به ذکر است که در مخلوط حاوی میکروسیلیس، قبل از اضافه کردن سیمان به میکسر، میکروسیلیس به مدت ۱ دقیقه کاملاً با سیمان مخلوط شد. [۹] پس از اختلاط آزمایش‌های جریان اسلامپ، حلقه جی و قیف وی و جعبه یو مطابق استاندارد

پایدار C-S-H می باشد که با توجه به این که واکنش انجام شده تسریع یافته و مقدار اترینگایت کمتر شده است. یک واکنش گرمازا می باشد لذا سرعت هیدراسیون نیز

جدول (۱-۲) مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

| عنوان | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | Na ₂ O | K ₂ O |
|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|-------------------|------------------|
| درصد | ۲۰/۰۳ | ۴/۵۳ | ۳/۶۳ | ۶۰/۲۵ | ۳/۴۲ | ۲/۲۳ | - | - |

جدول (۲-۲) خصوصیات شیمیایی میکروسیلیس مصرفی

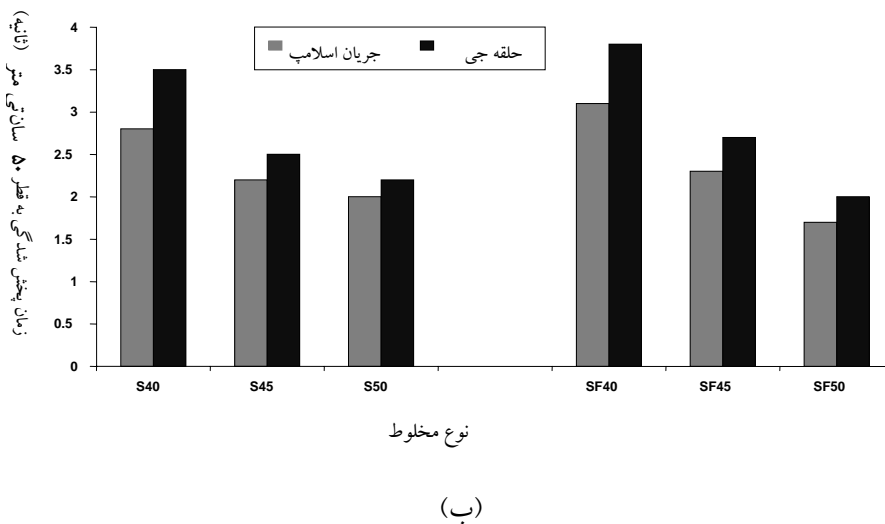
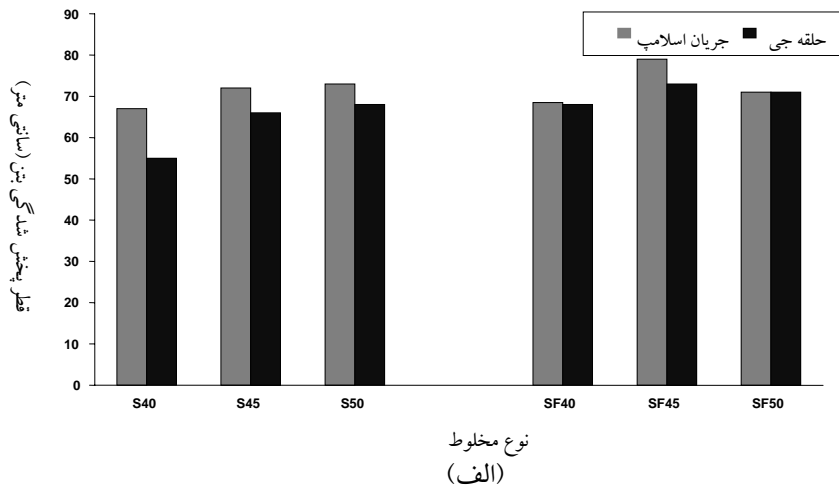
| ترکیب شیمیایی | SiO ₂ | SiC | C | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | K ₃ O | Na ₂ O, P ₂ O ₅ , SO ₃ , Cl |
|---------------|------------------|-----|-----|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| درصد | ۹۳/۶ | ۰/۵ | ۰/۳ | ۰/۹ | ۱/۳ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۹ |

جدول (۳-۲) نسبت های فوق روان کننده و اصلاح کننده لزجت برای هر نمونه

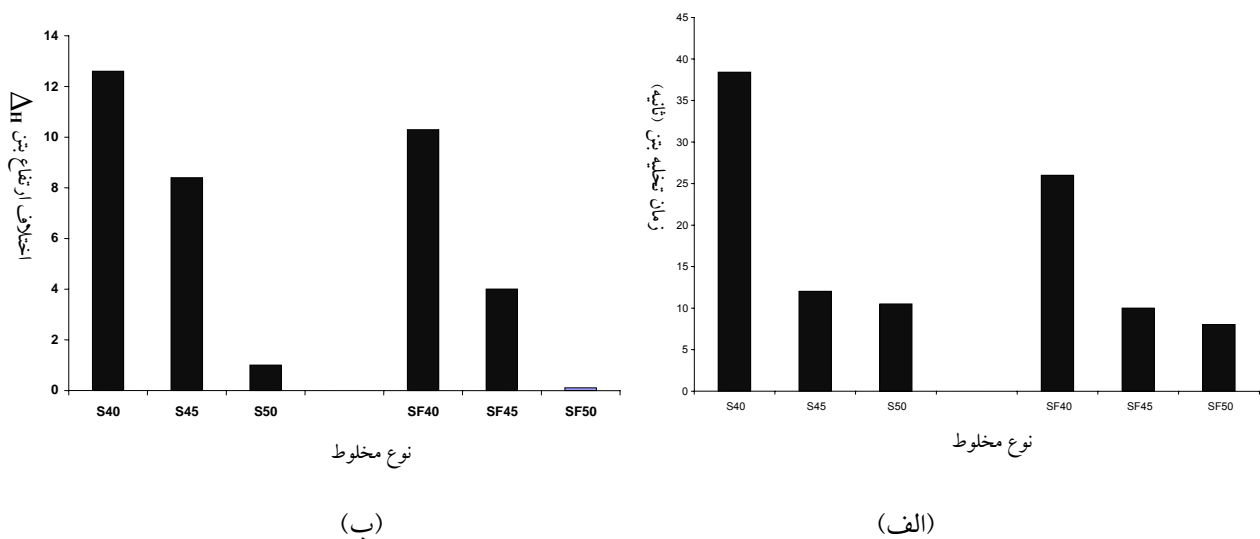
| فوق روان کننده (در صد سیمان) | اصلاح کننده لزجت (در صد سیمان) | نمونه شاهد |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| ۰/۸ | ۰/۵ | نمونه میکروسیلیس ۱۰٪ |
| ۱/۳ | ۰/۸۶ | |

جدول (۴-۲) مقادیر و نسبت های مخلوط های بتن

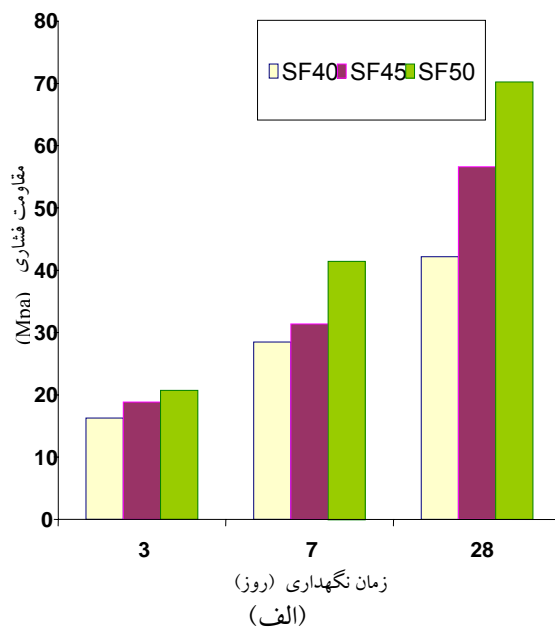
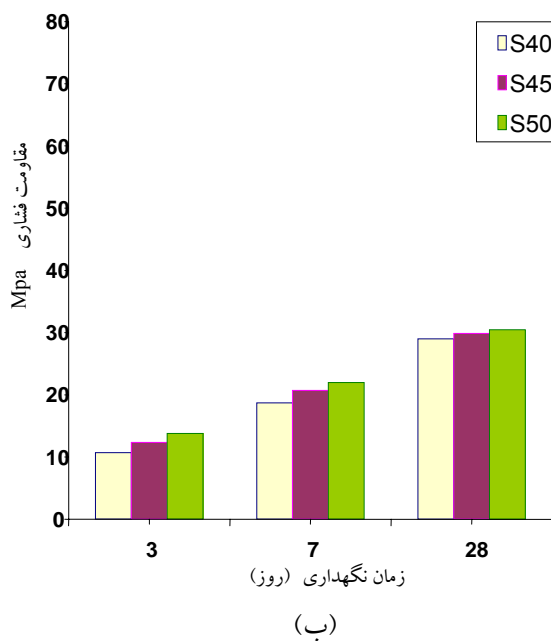
| نام طرح | سیمان kg/m ³ | میکروسیلیس kg/m ³ | نسبت وزنی آب به سیمان | وزن خشک مصالح سنگی kg/m ³ | | آب کل kg/m ³ | افزودنی فوق روان کننده kg/m ³ | مواد اصلاح کننده لزجت kg/m ³ |
|---------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|---------|----------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| | | | | شن | ماسه | | | |
| S40 | ۴۰۰ | ----- | ۰/۴ | ۷۱۴/۵ | ۱۰۳۹/۱۶ | ۱۷۳/۲۸ | ۳/۲ | ۲ |
| SF40 | ۳۶۰ | ۴۰ | ۰/۴ | ۷۲۷/۹ | ۱۰۵۸/۷۵ | ۱۵۵/۵۳ | ۴/۶۸ | ۳/۰۹ |
| S45 | ۴۵۰ | ----- | ۰/۴ | ۶۷۸/۵ | ۹۸۶/۷۷ | ۱۹۲/۱۹ | ۳/۶ | ۲/۲۵ |
| SF45 | ۴۰۵ | ۴۵ | ۰/۴ | ۶۹۳/۶ | ۱۰۰۸/۸۱ | ۱۷۱/۶۱ | ۵/۲۶۵ | ۳/۴۸۳ |
| S50 | ۵۰۰ | ----- | ۰/۴ | ۶۴۲/۴ | ۹۳۴/۳۹ | ۲۱۰/۵۵ | ۴ | ۲/۵ |
| SF50 | ۴۵۰ | ۵۰ | ۰/۴ | ۶۵۹/۳ | ۹۵۸/۸۸ | ۱۸۷/۶۹ | ۵/۸۵ | ۳/۸۷ |



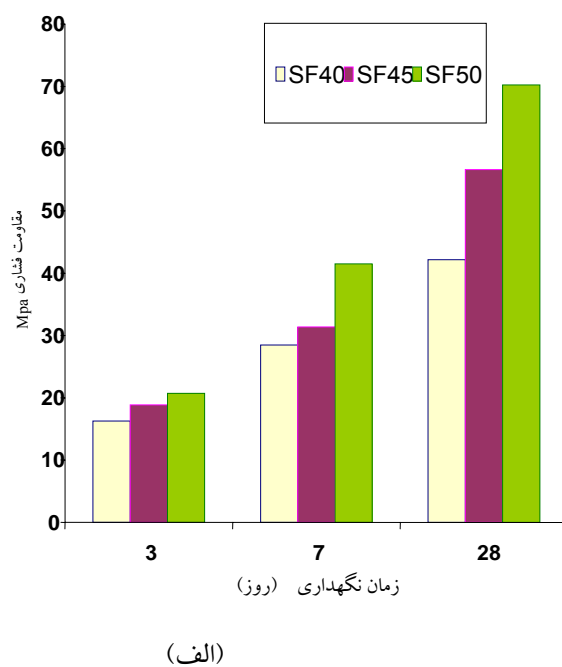
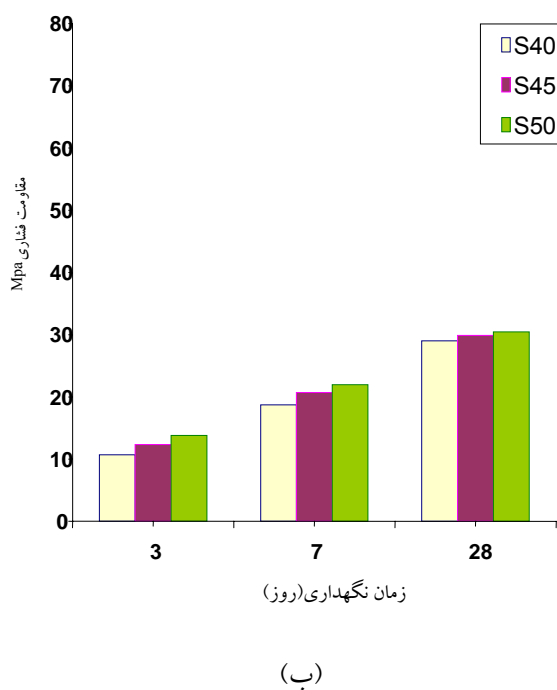
نمودار (۱-۲) در آزمایش جریان اسلامپ و حلقه J، قطر پخش شدگی بتن



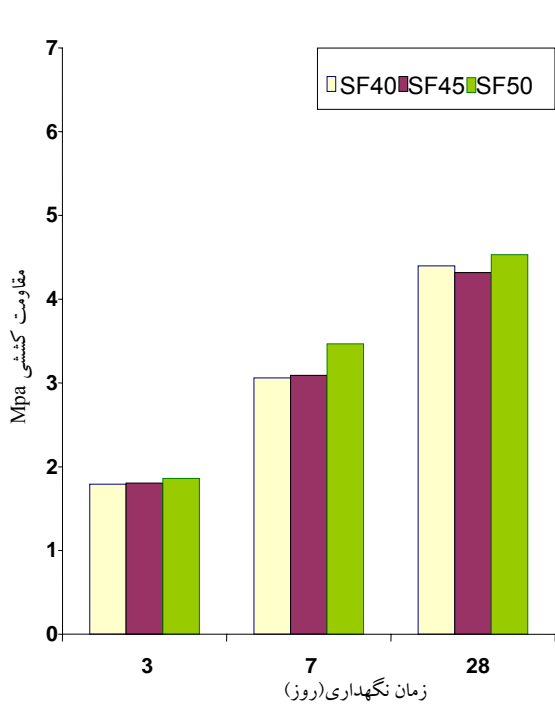
نمودار (۲-۲) زمان تخلیه بتن در آزمایش کیف V (ΔH) زمان لازم جهت پخش شدگی بتن به قطر ۵۰ سانتی متر



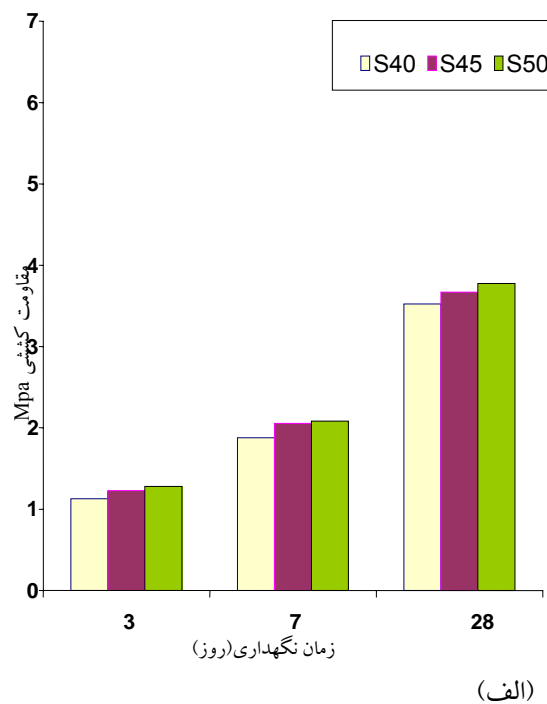
نمودار (۲-۳) اختلاف ارتفاع بتن در دو قسمت جعبه U



نمودار (۲-۴) مقاومت فشاری، بتن مینا با عیار مختلف (الف)، بتن با ۱۰٪ میکروسیلیس (ب)

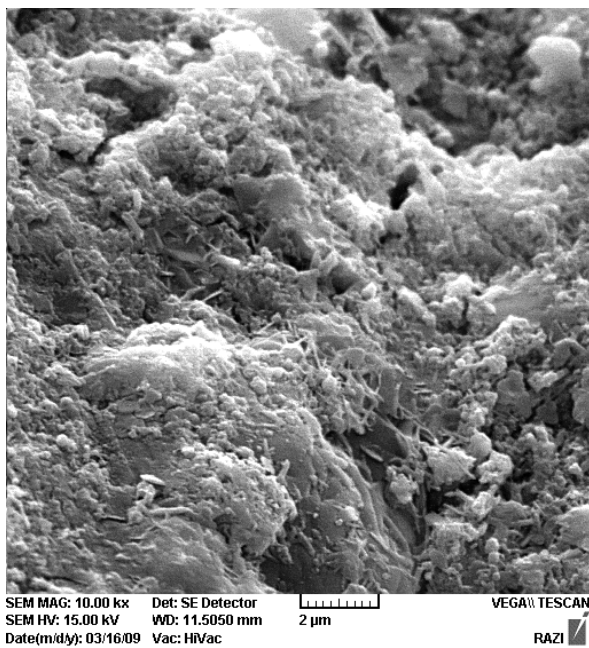


(ب)

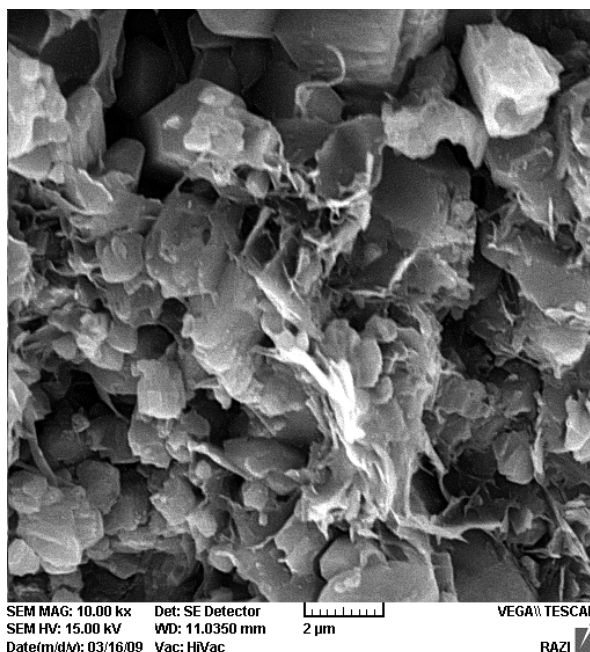


(الف)

نمودار (۲-۵) مقاومت کششی، بتن مینا با عیار مختلف (الف)، بتن با ۱۰٪ میکروسیلیس (ب)



(ب)



(الف)

شکل (۳-۱) عکس SEM از نمونه مرجع (الف)، نمونه میکروسیلیس (ب)

۲- رتولوزی نمونه‌هایی که دارای مواد کمک اضافی بودند به مراتب بهتر از بتن مینا بود.

۳- در این تحقیق، نمونه‌های ساخته شده با عیار ۵۰۰ از دیگر نمونه‌ها روان‌تر بودند و چون نسبت فوق روان کننده مقدار ثابتی اختیار شده بود با این حال نتایج آزمایش‌ها بیانگر این است که

۴. نتیجه گیری

از تحقیق حاضر می‌توان به این نتیجه‌ها رسید:

۱- آزمایش‌های رتولوزی انجام شده بیانگر این مطلب هستند که با افزایش عیار سیمان کارایی و پرکنندگی بتن بهبود می‌یابد.

[2]. Prof. M. Colleparidi, J. J. Ogoumah Olagot, U. Skarp, R. Troli, "Influence of Amorphous Colloidal Silica on the Properties of Self – Compacting Concretes," 2005.

[۳]. ا. گنجیان، خواص مکانیکی و فیزیکی میکروسیلیس ایران، استاد یار دانشکده عمران دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ۱۳۷۸.

[۴]. ع. ا. رمضانپور، م. پیدایش، دوام بتن و نقش سیمان‌های پوزولانی، مرکز تحقیقات. ساختمان و مسکن، ۱۳۷۶.

[۴]. ب. قدوسی و همکاران، فناوری بتن در شرایط محیطی خلیج فارس، مرکز تحقیقات. ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸.

[5]. Taylor, Cement Chemistry, 2nd Edition, Tomas Telford publishing, 1997.

[6]. H. Yazıcı, Effect of Silica Fume and High-Volume Class C Fly Ash on Mechanical Properties, Chloride Penetration and Freeze–Thaw Resistance of Self-Compacting Concrete, Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Dokuz Eylul University, Buca 35160, I_zmir, Turkey, 2007.

[7]. H. Li, M. h. Zhang, J.p. Ou, "Abrasion Resistance of Concrete Containing Nano-Particles for Pavement," School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, 202 Haihe Road, Nan-gang District, Harbin, Heilongjiang 150090, China, Accepted 23 August 2005.

[8]. M. Khanzadi, "Fresh and Early Age Properties of High Flowing Concrete" Phd Thesis ; June 1996.

[9]. Efnarc; "Specification and Guidelines for Self Compacting concrete," February 2002.

استفاده از میکرو سیلیس باعث پائین آمدن کارایی شده و به عبارت دیگر نیاز به مواد فوق روان کننده افزایش یافته است.

۴- آزمایش‌های انجام شده نمایانگر این مطلب بود که آزمایش جریان اسلامپ صرفاً نمی‌تواند مبنای قضاوت بتن خود تراکم از نظر قابلیت پر کردن، قابلیت عبور و خودتراز بودن باشد، چرا که نتایج آزمایش‌های جریان اسلامپ، حلقه J و جعبه یو با یکدیگر متفاوت می‌باشد.

۵- آزمایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های مختلف نشان‌دهنده این است که با افزایش عیار سیمان مقاومت نیز افزایش یافته است و نیز با اضافه شدن میکرو سیلیس مقاومت در سن ۲۸ روزه به طور چشم‌گیری بالا رفته که این افزایش را هیچکدام از نمونه‌ها نداشته است.

۶- از دلایل تأثیرگذار بر روی مقاومت فشاری می‌توان به طریقه اختلاط مواد و میزان مصرف فوق روان کننده و اصلاح کننده لزجت اشاره نمود، چرا که از عوامل مهم در تهیه بتن خود تراکم محسوب می‌شوند.

۵. قدر دانی

از آقای دکتر محسن تدی به‌خاطر راهنمایی‌های ارزشمند ایشان در انجام این پژوهش کمال تشکر را داریم.

۶. مراجع

[1]. H. Okamora, M. Ouchi, "Self-Compacting Concrete," Journal of Advanced Concrete Technology, Vol 1, No 1,5-15, April, 2003.

The effect of Cement content on the rheology and mechanical properties of self-compacting concrete with micro silica

H. Famili

Assistant Professor, Iran University of science and Technology

M. khazadi*

Assistant Professor, Iran University of science and Technology

H. Tutunchi

Student, Iran University of science and Technology

(Received: 2010/12/15, Accepted: 2011/5/10)

Abstract

Nowadays, the application of Self-compacting concrete has been developed extensively in many countries. Recently, the use of pozzolanic material is developing at a high speed and has shown to have desirable effects on the improvement of concrete technology. In this research, the effect of cement content on rheology and mechanic properties has been investigated. The results of rheology test (slump flow, J-rings, V-funnel) indicate that workability and passing ability is improved in micro silica concrete in comparison with base concrete. Also, the results of compressive and tension strength tests have shown a significant improvement. Furthermore, the mechanism of these results considering electronic microscopy analysis can be expressed such that “micro and nano-particles not only act as filler but also increase the uniformity and the consistency of cement paste structure”.

Keywords: self-compacting concrete, rheology, compressive strength, micro silica

* Corresponding author: khazadi@iust.ac.ir