نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۷، شماره ۱ (بهار ۱۳۹۶)، ۴۷-۵۷ پیاپی ۸۶

بررسی خواص مکانیکی و برخی شاخص‌های دوام بتن حاوی ریزالیاف ولاستونیت و پوزولان میکروسیلیس

امیر طریقت *[1] و اویس افضلی‌ننیز [2]

[1] دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران
[2] دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

(دریافت: ۹۵/۱/۲۹، پذیرش: ۹۵/۸/۱۵، نشر آنلاین: ۹۵/۸/۱۶)

چکیده

تحقیقات اخیر در صنعت ساخت و ساز جایگزینی کلی یا جزئی سیمان توسط پوزولان‌ها و مواد معدنی را موجه می‌سازد. تولید و استفاده از این مواد می‌تواند با مزیت‌های اقتصادی، زیست محیطی و فنی مانند ذخیره انرژی، کاهش حرارت هیدراسیون، حفاظت از محیط زیست و یا بهبود دوام در مقابل حملات شیمیایی مختلف همراه شود. ولاستونیت ماده‌ای معدنی است که اخیراً به عنوان جایگزین مناسب قسمتی از سیمان در بتن مطرح شده است. با این که وجود منابع عظیمی از این ماده در ایران به ثبت رسیده، ولی تاکنون در کشور ما تحقیقی در خصوص جایگزینی این ماده در بتن انجام نشده و اطلاعات کمی از تأثیر این ماده بر خصوصیات مکانیکی و دوام بتن در دسترس است. از این رو در این تحقیق آزمایشگاهی به منظور بررسی اثر جایگزینی مقادیر مختلف ماده معدنی ولاستونیت بر برخی از خواص مکانیکی و دوام بتن، ۲۷ طرح مخلوط در سه نسبت آب به مواد سیمانی مختلف ساخته شد. در برخی طرح‌ها از پوزولان میکروسیلیس نیز به دلیل ضعف ولاستونیت در مقاومت کوتاه مدت استفاده شد. ولاستونیت به صورت درصد وزنی به میزان ۵٪ و ۲۰٪ و میکروسیلیس نیز در درصدهای ۷٪ و ۱۰٪ جایگزین سیمان شده است. به منظور تعیین خواص مکانیکی و شاخص‌های دوام آزمایش‌های مربوطه در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز برروی نمونه‌های بتنی انجام شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند طرح‌هایی که در آن‌ها ۵ درصد ولاستونیت به همراه میکروسیلیس با سیمان جایگزین شده است، بهترین عملکرد را در آزمایش‌های مکانیکی و دوام داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: بتن، خواص مکانیکی، دوام، ولاستونیت، میکروسیلیس

۱- مقدمه

صنعت سیمان به عنوان یکی از صنایع پرمصرف انرژی از زمان‌های دور با مشکل حفاظت از محیط زیست مواجه است. تحقیقات نشان می‌دهند که استخراج بی‌رویه مواد اولیه خام سیمان باعث کاهش منابع سنگ آهک و تخریب شرایط زیست-محیطی شده است. از طرف دیگر، گاز CO_2 تولیدی در فرآیند تولید سیمان که نزدیک به ۷ درصد کل دی اکسید کربن جهان را به خود اختصاص می‌دهد، موجب گرم شدن هوای کره زمین و تشدید آثار مخرب پدیده گلخانه‌ای می‌شود (Villa و همکاران، ۲۰۱۰؛ Abdul Aleem و Arumairaj، ۲۰۱۲). تولید کنندگان سیمان درصدد هستند تا هم مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید سیمان و هم مقدار گاز انتشار یافته در روند تولید سیمان را کاهش دهند و به فکر موادی برای جایگزینی سیمان هستند (Juenger و همکاران، ۲۰۱۱).

امروزه استفاده از پوزولان‌های مختلف (شامل میکروسیلیس، خاکستر بادی، پوزولان‌های طبیعی و غیره) عملکرد جهانی پیدا کرده است. تولید و استفاده از این مواد می‌تواند با مزیت‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی مانند ذخیره انرژی، کاهش حرارت هیدراسیون، حفاظت از محیط زیست و یا بهبود دوام در مقابل حملات شیمیایی مختلف همراه شود (Karol و همکاران، ۲۰۱۳، Madlool و همکاران، ۲۰۱۳). در کشور ما نیز به علت وجود منابع عظیم مواد معدنی، نیاز به پژوهش‌های گسترده در خصوص امکان جایگزینی مواد معدنی در کنار پوزولان‌های مصنوعی شناخته شده و پرکاربردی مانند میکروسیلیس با سیمان احساس می‌شود. یکی از موادی که می‌تواند به عنوان جایگزین مناسب سیمان در بتن مورد استفاده قرار گیرد و وجود

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس:
آدرس ایمیل: tarighat@srttu.edu (ا. طریقت)، afzalioveys@yahoo.com (ا. افضلی‌ننیز)

Archive of SID
www.SID.ir

منابع آن در ایران به ثبت رسیده است، ولاستونیت است. در ادامه به معرفی مختصر دو ماده استفاده شده در این تحقیق، میکروسیلیس و ولاستونیت، می‌پردازیم.

مؤسسه بتن آمریکا (ACI) میکروسیلیس را چنین تعریف می‌کند: یک ماده بسیار ریز کروی متشکل از سیلیس غیر کریستالی (آمورف) که از کوره‌های قوس الکتریکی به عنوان محصول جانبی صنایع سیلیکون یا آلیاژهای حاوی سیلیکون تولید می‌شود (ACI، ۲۰۰۰). در واقع میکروسیلیس بخار SiO_2 تولیدی در دمای $2000^{o}C$ کوره است که این بخار در دمای پایین‌تر به ذرات بسیار ریز و کروی متشکل از سیلیس غیر کریستالی (آمورف) اکسیده و متراکم می‌شود (Siddique، ۲۰۱۱).

ولاستونیت یک ماده معدنی با پایه سیلیکات کلسیم است. این ماده معدنی در درجه حرارت بالای ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در ماگمای داغ زمین طی واکنش زیر تشکیل می‌شود:

$$SiO_2 + CaCO_3 \rightarrow CaSiO_3 + CO_2$$

ولاستونیت‌ها دارای کریستال‌های سوزنی شکل و رشته‌ای با وزن مخصوص ۲/۹ و درجه سختی ۵ هستند. این ماده عموماً سفید رنگ است. . از خصوصیات دیگر آن ضریب ارتجاعی بالا (۲۰۰ GPa) و دمای ذوب در حدود ۱۵۴۰ درجه سانتی‌گراد است(Maxim و McConnell؛ ۲۰۰۵؛ Crooks؛ ۱۹۹۹؛ Zussman؛ ۱۹۹۷). ذرات معدنی به شرط دارا بودن نسبت طول به قطر کافی و چسبندگی مناسب خواص خوبی به ملات مورد نظر می‌دهند. ریز الیاف ولاستونیت پس از استخراج با چشم غیر مسلح به صورت پودری سفید رنگ با طول به قطرهای مختلف به دست می‌آید. میکروالیاف ولاستونیت (WMFs)[1] بسیار ارزان‌تر از میکروالیاف فولادی وکربنی هستند. این میکروالیاف طولی برابر μm ۶۰۰-۴۰۰ و قطری برابر μm ۱۵۰-۲۵ دارند. بالاترین نسبت طول به قطر قابل دستیابی در این الیاف ۲۰ است (Mathur و Goel، ۲۰۰۷).

از ولاستونیت در صنایع گوناگون از جمله صنعت سرامیک به منظور تقویت آن در مقابل شکست در اثر سرما و همچنین در صنعت رنگ به عنوان یک ماده پرکننده که باعث بهبود پارامترهای مقاومتی، پوششی و صرفه‌جویی قابل ملاحظه در مواد رنگی می‌شود، استفاده شده است (Vakifahmetoglu و همکاران، ۲۰۰۹؛ Nikonova و همکاران، ۲۰۰۳).

پژوهش‌های انجام شده پیرامون استفاده از این مواد در بتن بسیار نادر می‌باشد که در ادامه به نتایج همین تعداد اندک پژوهش انجام شده، اشاره شده است. در تحقیقی که توسط رنسینچانگ و کومار[2] انجام شده است اثر ولاستونیت با و بدون میکروسیلیس به عنوان جایگزین قسمتی از سیمان پرتلند بر روی نمونه‌های ملات و بتن بررسی شد. رنسینچانگ و کومار گزارش کردند که براساس این تحقیق آزمایشگاهی، مواد سیمانی میکروسیلیس و ولاستونیت پتانسیل بالایی برای استفاده در بتن دارند. بر اساس پژوهش‌های آن‌ها نمونه حاوی ۱۰ درصد ولاستونیت و ۷/۵ درصد میکروسیلیس بالاترین مقاومت فشاری را بعد از نمونه حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس داشت (Ransinchung و Kumar، ۲۰۱۰).

در مطالعه دیگر رنسینچانگ و همکارانش، پنج نمونه مخلوط بتنی (شامل طرح شاهد و ۴ طرح دیگرکه در آن‌ها ولاستونیت با و بدون میکروسیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان استفاده شد) را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این پژوهش به بررسی جذب آب اشباع، میزان جذب آب، ضریب جذب آب و پارامترهای نفوذ یون کلرید پرداختند. مشاهد شد که مشارکت ولاستونیت به میزان ۱۵ درصد و میکروسیلیس به میزان ۷/۵ درصد در بتن، به طور قابل ملاحظه‌ای موجب بهبود در میزان جذب آب می‌شود که این به خاطر کاهش در منافذ و بهبود ریزساختار بتن است (Ransinchung و همکاران، ۲۰۰۹).

بررسی رفتار مخلوط‌های سیمانی نشان داده که در خمیر سیمان با مقدار بهینه از میکروسیلیس و ۱۱/۵ درصد حجمی رشته‌های کوچک ولاستونیت به سهولت می‌توان به مقاومت خمشی بالای ۲۸ MPa رسید (Beaudoin و Low، ۱۹۹۳). هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر دو ماده ولاستونیت و میکروسیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان بر روی خواص مکانیکی، جذب آب مویینه و سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از بتن است.

۲- مطالعه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح

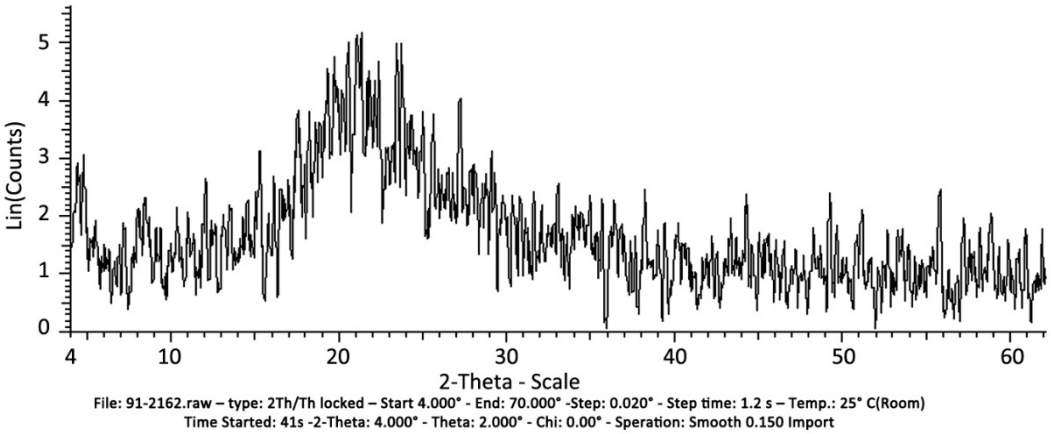
سیمان استفاده شده در ساخت نمونه‌های بتنی از نوع سیمان پرتلند تیپ ۱-۴۲۵ تولید کارخانه سیمان تهران است. پودر میکروسیلیس، محصول شرکت فروآلیاژ ایران و ولاستونیت مورد استفاده در این تحقیق از معدنی در خراسان جنوبی تهیه شده است. به منظور اطمینان از اجزای تشکیل دهنده مواد سیمانی استفاده شده در تحقیق، آزمایش فلورسانس اشعه ایکس[3] (XRF) برروی این مواد (سیمان، میکروسیلیس و ولاستونیت) در محل آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. اکسیدهای این مواد در جدول (۱) آورده شده است. آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD)[4] نیز در محل آزمایشگاه یاد شده انجام شد. براساس نتایج این آزمایش میکروسیلیس مصرفی دراین پروژه آمورف است. نتایج این آزمایش برای میکروسیلیس و ولاستونیت مصرفی در در شکل‌های (۱) و (۲) آورده شده است.

1.Wollastonite micro-fibres
2. Ransinchung and Kumar

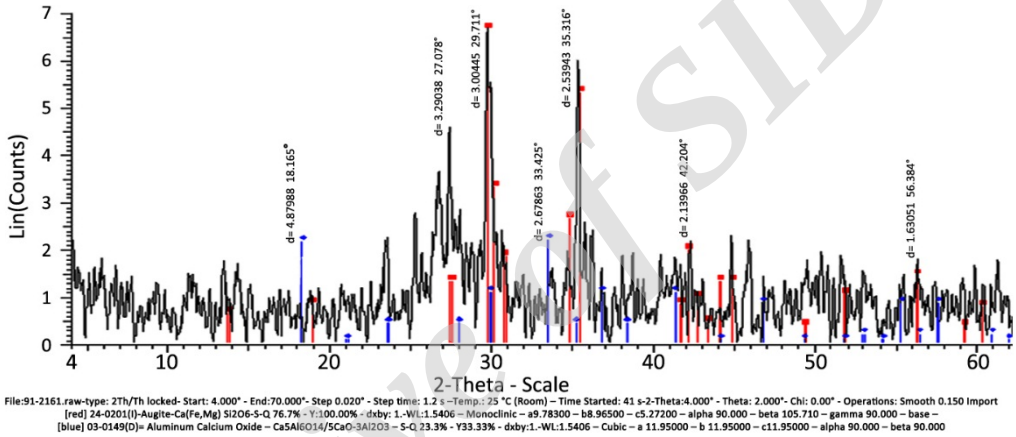
3. X-Ray Florescence
4. X-Ray Diffraction

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- نمودار پراش اشعه ایکس میکروسیلیس مصرفی در این تحقیق



شکل ۲- نمودار پراش اشعه ایکس ولاستونیت مصرفی در این تحقیق

مصالح درشت دانه مورد استفاده از نوع شن شکسته با حداکثر قطر ۱۰ میلی‌متر و وزن مخصوص ۲۵۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده‌اند. وزن مخصوص ماسه مورد استفاده نیز ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. همچنین منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در ناحیه مورد قبول استاندارد ASTM (ASTM C33، ۲۰۰۸؛ ASTM C125، ۲۰۰۸) قرار دارد. آب مورد استفاده در این مطالعه آب آشامیدنی شهر تهران است. ماده فوق روان‌کننده مصرف شده در این تحقیق فوق روان کننده با نام تجاری GLENIUM 51P بوده که بر پایه پلیمرهای پلی‌کربکسیلیک اتر[5] اصلاح شده قرار دارد.

فوق روان‌کننـده به صورت مایع و همراه با آب در ساخت نمونه‌ها مصـرف گردید. همچنین از فوق روان‌کننده به نحوی استفاده شد تا میزان اسلامپ ۲۰±۱۰۰ میلی‌متر برای همه نمـونه‌ها به دست آید.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی سیمان، میکروسیلیس و ولاستونیت

ترکیب شیمیایی (٪)	سیمان	میکروسیلیس	ولاستونیت
SiO_2	۲۱/۳۲	۹۱/۷	۵۱/۶
Al_2O_3	۳/۸۳	۱/۲	۱۲
Fe_2O_3	۲/۷۶	۱/۱	۵/۶
CaO	۶۲/۰۲	۰/۸	۲۲/۷
MgO	۳/۴۴	۰/۹	۱/۸
TiO_2	۰/۴۴	<۰/۱	۰/۷
P_2O_5	۰/۰۵	۰/۱	۰/۲
MnO	۰/۲	۰/۱	۰/۱
Na_2O	۰/۱۲	۰/۷	۰/۷
K_2O	۰/۷۳	۱/۰	۲/۸
L.O.I	۲/۸۸	۲/۰۲	۱/۴۹
SO_3	۲/۰۹	۰/۲	۰/۲

۲-۲- ساخت نمونه‌های بتنی

در این تحقیق آزمایشگاهی ۲۷ طرح مختلف، با جایگزینی ولاستونیت به مقدار صفر، ۵ و ۲۰ درصد و میکروسیلیس به

5.Polycarboxylic ether

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار صفر، ۷ و ۱۰ درصد وزنی سیمان در ۳ نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵، ۰/۴ و ۰/۴۵ در نظر گرفته شد. هر نسبت آب به مواد سیمانی شامل ۹ طرح می‌باشد. در این تحقیق، ۳ طرح به عنوان طرح‌های شاهد در نظر گرفته شدند. در حالی که در سایر مخلوط‌ها بخشی از سیمان پرتلند با میکروسیلیس و ولاستونیت جایگزین شده است. مجموع عیار مواد سیمانی در تمام طرح‌ها ۴۵۰ kg/m^3 است. (منظور از مواد سیمانی مجموع سیمان، میکروسیلیس و ولاستونیت است). نام‌گذاری طرح‌ها در نمودارها بدین صورت است که برای مثال در طرح W/C40SF7Wol5 نسبت آب به مواد سیمانی برابر ۰/۴، درصد جایگزینی میکروسیلیس و ولاستونیت به ترتیب برابر ۷ و ۵ درصد وزنی سیمان است. طرح مخلوط‌های استفاده شده در این تحقیق در جدول (۲) آورده شده است. برای ساخت نمونه‌ها از قالب‌هایی به شرح زیر استفاده شده است: از قالب‌های مکعبی با ابعاد mm ۱۰۰ برای ساخت نمونه‌های آزمایش مقاومت فشاری، جذب مویینه و اولتراسونیک، از قالب‌های استوانه‌ای با ابعاد mm۲۰۰× mm ۱۰۰ برای ساخت نمونه‌های آزمایش مقاومت کششی و از قالب‌های منشوری‌به ابعاد mm۱۰۰×mm۱۰۰×mm۴۰۰ برای ساخت نمونه‌های آزمایش مقاومت خمشی استفاده شده است. لازم به ذکر است در طرح‌هایی که میکروسیلیس و ولاستونیت وجود دارد، این مواد با آب طرح مخلوط به صورت دوغاب در آمده و به مخلوط اضافه می‌شود. در صورت مناسب بودن اسلامپ (اسلامپ بین ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر است) بتن درون قالب ریخته می‌شود. پس از طی ۲۴ ساعت قالب‌ها باز شده و نمونه‌ها به منظور عمل‌آوری تا سن مورد نظر درون حوضچه آب قرار داده شده‌اند. در خصوص نمونه‌های ۹۰ روزه، این نمونه‌ها بعد از ۲۸ روز از آب خارج شده و تا رسیدن به سن ۹۰ روز در دمای محیط نگهداری شده‌اند.

جدول ۲- طرح مخلوط‌های استفاده شده در این تحقیق

شماره طرح	فوق‌روان کننده kg/m^3	ماسه kg/m^3	شن kg/m^3	سیمان kg/m^3	آب kg/m^3	Wol kg/m^3	Sf kg/m^3	Sf (%)	Wol (%)	w/c
طرح ۱	۰/۹	۱۲۲۷/۶	۵۲۶/۷	۴۴۰/۵	۱۵۴/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۳۵
طرح ۲	۱/۱	۱۲۷۹/۱	۵۴۸/۷	۴۳۰/۹	۱۶۰/۶	۲۲/۵	۰	۰	۵	۰/۳۵
طرح ۳	۱/۶	۱۲۵۴	۵۳۸	۳۶۰	۱۵۷/۵	۹۱/۸	۰	۰	۲۰	۰/۳۵
طرح ۴	۲/۰۳	۱۲۴۲/۷	۵۳۳/۲	۴۱۴/۷	۱۵۶/۱	۰	۳۱/۲	۷	۰	۰/۳۵
طرح ۵	۲/۴	۱۲۵۴	۵۳۸	۳۹۶	۱۵۷/۵	۲۲/۵	۳۱/۵	۷	۵	۰/۳۵
طرح ۶	۲/۷	۱۲۵۴	۵۳۸	۳۲۸/۵	۱۵۷/۵	۹۰	۳۱/۵	۷	۲۰	۰/۳۵
طرح ۷	۲/۶	۱۲۴۰/۲	۵۳۲/۱	۴۰۰/۵	۱۵۵/۷	۰	۴۴/۵	۱۰	۰	۰/۳۵
طرح ۸	۲/۹۵	۱۲۳۲/۷	۵۲۸/۹	۳۷۶	۱۵۴/۸	۲۲/۱	۴۴/۲	۱۰	۵	۰/۳۵
طرح ۹	۳/۲	۱۲۵۴	۵۳۸	۳۰۵/۶	۱۵۲/۸	۸۷/۳	۴۳/۶	۱۰	۲۰	۰/۳۵
طرح۱۰	۰/۶	۱۲۲۵/۴	۵۲۵/۱	۴۴۵/۱	۱۷۸/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۴
طرح ۱۱	۰/۶	۱۲۳۹	۵۳۱	۴۲۲/۵	۱۸۰	۲۲/۵	۰	۰	۵	۰/۴
طرح ۱۲	۱/۰۹	۱۲۲۷/۸	۵۲۶/۲	۳۵۶/۸	۱۷۸/۴	۸۹/۲	۰	۰	۲۰	۰/۴
طرح ۱۳	۱/۱۵	۱۲۰۴/۳	۵۱۶/۱	۴۰۶/۸	۱۷۵	۰	۳۰/۶	۷	۰	۰/۴
طرح ۱۴	۱/۱۷	۱۲۱۳	۵۱۹/۸	۳۸۷/۶	۱۷۶/۲	۲۲/۱	۳۰/۸	۷	۵	۰/۴
طرح ۱۵	۱/۹	۱۲۱۸	۵۲۲	۳۲۲/۹	۱۷۷	۸۸/۵	۳۱	۷	۲۰	۰/۴
طرح ۱۶	۱/۴۶	۱۲۰۸/۱	۵۱۷/۷	۳۹۴/۹	۱۷۵/۵	۰	۴۳/۹	۱۰	۰	۰/۴
طرح ۱۷	۱/۶۶	۱۲۱۳	۵۱۹/۸	۳۷۴/۵	۱۷۶/۲	۲۲/۱	۴۴/۱	۱۰	۵	۰/۴
طرح ۱۸	۲/۶۵	۱۲۱۳	۵۱۹/۸	۳۰۸/۴	۱۷۶/۲	۸۸/۲	۴۴/۱	۱۰	۲۰	۰/۴
طرح ۱۹	۰	۱۲۲۳	۵۲۴	۴۵۰	۲۰۲/۵	۰	۰	۰	۰	۰/۴۵
طرح۲۰	۰	۱۲۱۲	۵۱۹/۳	۴۱۸/۷	۲۰۰/۷	۲۲/۳	۰	۰	۵	۰/۴۵
طرح ۲۱	۰/۸	۱۲۰۲/۳	۵۱۵/۱	۳۵۳/۹	۱۹۹/۱	۸۸/۵	۰	۰	۲۰	۰/۴۵
طرح ۲۲	۰/۹	۱۱۹۹/۸	۵۱۴/۱	۴۱۰/۶	۱۹۸/۷	۰	۳۰/۹	۷	۰	۰/۴۵
طرح ۲۳	۱/۱۵	۱۱۸۶/۳	۵۰۸/۳	۳۸۴/۱	۱۹۶/۴	۲۱/۸	۳۰/۵	۷	۵	۰/۴۵
طرح ۲۴	۱/۴۵	۱۱۸۶/۳	۵۰۸/۳	۳۱۸/۷	۱۹۶/۴	۸۷/۳	۳۰/۵	۷	۲۰	۰/۴۵
طرح ۲۵	۰/۷	۱۲۰۴/۶	۵۱۶/۱	۳۹۹	۱۹۹/۵	۰	۴۴/۳	۱۰	۰	۰/۴۵
طرح ۲۶	۰/۷	۱۱۹۲/۵	۵۱۰/۹	۳۷۳	۱۹۷/۵	۲۱/۹	۴۳/۹	۱۰	۵	۰/۴۵
طرح ۲۷	۱/۲۵	۱۱۹۷/۳	۵۱۳	۳۰۸/۴	۱۹۸/۳	۸۸/۲	۴۴/۱	۱۰	۲۰	۰/۴۵

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۳- آزمایش‌ها

آزمایش‌های مربوط به تعیین خواص مکانیکی شامل مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه، مقاومت کششی و خمشی ۲۸ روزه به ترتیب با کمک‌گیری از استانداردهای BS 1881:Part 116، ASTMC496 و ASTMC78 و آزمایش تعیین جذب مویینه در سن ۲۸ روز و با کمک‌گیری از ASTMC1585 انجام شد. در این آزمایش حداکثر زمان اندازه‌گیری جذب آب نمونه ۶۴ دقیقه در نظر گرفته شده است. میزان جذب آب توسط خاصیت مویینگی (I بر حسب میلی‌متر) بر اساس رابطه (۱) تعیین می‌شود:

$$I = \frac{m_t}{a/d} \qquad (۱)$$

که در آن:

m_t = میزان تغییر جرم نمونه در زمان t (بر حسب گرم)

a = میزان سطح در تماس با آب (بر حسب میلی‌متر مربع)

d = وزن مخصوص آب (بر حسب گیلوگرم بر متر مکعب)

آزمایش اولتراسونیک در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز بر روی نمونه‌های مکعبی و بر اساس استاندارد ASTM C597-09 انجام شده است. سرعت عبور صوت از رابطه (۲) به دست می‌آید. در این رابطه l طول نمونه و t زمان عبور صوت از نمونه می‌باشد.

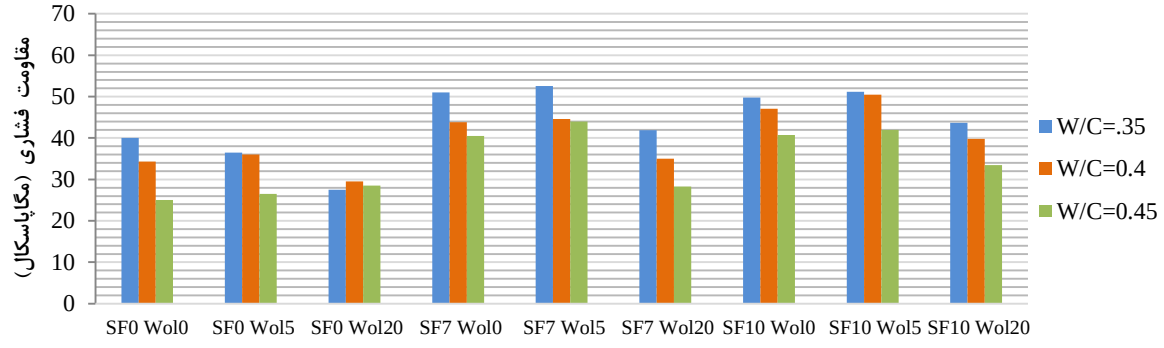
$$V = \frac{l}{t} \qquad (۲)$$

۳- بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی به دست آمده

۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری

در این تحقیق، آزمایش مقاومت فشاری برای هر سه نسبت آب به مواد سیمانی و در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰روز برروی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰ cm انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری برای تمام طرح‌های ساخته شده، در شکل‌های (۳) تا (۵) آورده شده است. با توجه به نتایج در طرح مخلوط-هایی که سیمان به ترتیب با ۵ و ۲۰ درصد ولاستونیت جایگزین شده است مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته است. ولاستونیت یک ماده معدنی می‌باشد و آمورف نیست و در نتیجه برای شرکت در واکنش‌ها فعال نیست. افزایش سطح جایگزینی ولاستونیت از ۵ درصد به ۲۰ درصد وزن مواد سیمانی سبب افت مقاومت فشاری شده است. این موضوع به دلیل بالا بودن میزان جایگزینی سیمان و اثر رقیق‌کنندگی است که به افزایش تخلخل در بتن می‌انجامد.

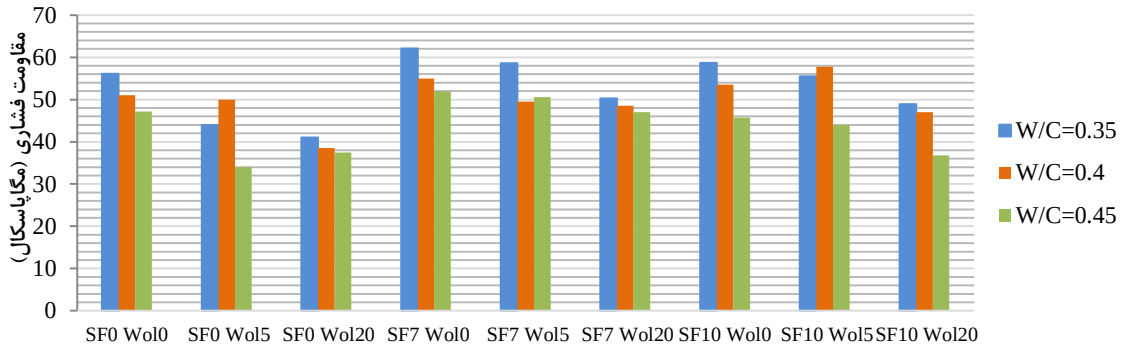
شکل ۳- مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف



شکل ۴- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- مقاومت فشاری ۹۰ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف

نتایج طرح‌هایی که در آن‌ها فقط ۵ درصد ولاستونیت با سیمان جایگزین شده است، نشان می‌دهد که عملکرد ولاستونیت در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴ (در مقایسه با دو نسبت آب به مواد سیمانی دیگر) بهتر بوده است، زیرا در این نسبت آب به مواد سیمانی، علاوه بر پخش بهتر ریزالیاف ولاستونیت و کم شدن اثر رقیق‌کنندگی، فضای لازم جهت انجام واکنش‌های پوزولانی وجود دارد. همان طور که در نمودارها مشاهده می‌شود در تمام نسبت‌های آب به مواد سیمانی جایگزینی سیمان با ۷ یا ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۵ درصد ولاستونیت سبب بهبود مقاومت فشاری شده است، چنان که مقاومت فشاری بتن حاوی ۵ درصد ولاستونیت و ۷ درصد میکروسیلیس نسبت به بتن حاوی ۷ درصد میکروسیلیس نیز بهبود یافته است. به طور کلی به کارگیری ۵ درصد ولاستونیت در کنار ۷ یا ۱۰ درصد میکروسیلیس مقاومت فشاری را حداقل ۸ درصد در سن ۹۰ روز (طرح W/C45SF10Wol5 در مقایسه با طرح شاهد W/C45SF0Wol0) و حداکثر ۷۵ درصد در سن ۷ روز (طرح W/C35SF10Wol5 در مقایسه با طرح شاهد W/C35SF0Wol0) افزایش داده است. نقش ولاستونیت و میکروسیلیس از دو جهت مهم است، یکی مشارکت میکروسیلیس در واکنش‌های پوزولانی و تشکیل ژل سیلیکاتی که منجر به بهبود ساختار حفرات، کاهش تخلخل و افزایش استحکام ناحیه انتقال بین سنگدانه و خمیر سیمان می‌شود و دیگری نقش پرکنندگی این دو ماده که به دلیل ریزی بالا می‌توانند به عنوان پرکننده عمل کرده و حفرات ریز موجود در ساختار بتن را پر نمایند. همچنین با حضور پوزولان فعال میکروسیلیس در کنار ولاستونیت، ریزالیاف هیدراته نشده ولاستونیت نیز می‌تواند وارد عمل شده و به عنوان پرکننده در تحمل بار نقش داشته باشند. به طور کلی مقاومت فشاری تمام نمونه‌های بتنی با افزایش سن افزایش پیدا می‌کند که این موضوع نشان از پیشرفت و تکمیل فرآیند هیدراسیون و واکنش‌های پوزولانی نمونه‌ها با افزایش سن دارد. همچنین با تشکیل ژل سیلیکاتی بیشتر ناحیه انتقال بین خمیر و سنگدانه بهبود یافته و باعث افزایش مقاومت فشاری شده است.

۳-۲- آزمایش مقاومت کششی

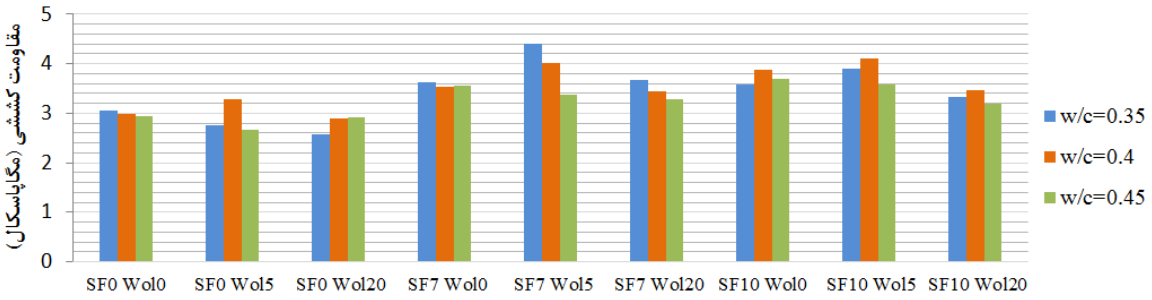
همان طوری که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، تقریباً همان رویه‌ای که در مقاومت فشاری وجود داشته است برای مقاومت کششی نیز وجود دارد. به طور کلی مقاومت کششی به واکنش‌های پوزولانی، اثرات آن بر روی ناحیه انتقال و اثرات پرکنندگی پوزولان بستگی دارد. طرح‌های حاوی ولاستونیت مقاومت کششی کمتری نسبت به نمونه شاهد به دست آورده‌اند و با افزایش میزان جایگزینی ولاستونیت از ۵ به ۲۰ درصد این کاهش مقاومت بیشتر شده است. جایگزینی سیمان با ۷ و ۱۰ درصد میکروسیلیس سبب افزایش مقاومت کششی می‌شود. این افزایش بدلیل واکنش پوزولانی می‌باشد، که در نتیجه این واکنش پوزولانی هیدروکسید کلسیم موجود در بتن کاهش پیدا کرده و ضمن بهبود ناحیه انتقال در بتن، باعث افزایش مقاومت کششی می‌گردد. طرح مخلوط‌های حاوی ۷ درصد میکروسیلیس و ۵ درصد ولاستونیت بیشترین مقاومت کششی کسب نموده‌اند که دلیل آن در قسمت نتایج آزمایش مقاومت فشاری توضیح داده شد. در تحقیق حاضر نیز نسبت نتایج مقاومت کششی به فشاری در طرح‌های مختلف بین ۰/۰۸ و ۰/۱۲ است.

۳-۳- آزمایش مقاومت خمشی

مقاومت خمشی یا مدول گسیختگی بتن، بر اساس گسیختگی تیرهای بتنی بدون آرماتور در اثر خمش، تعیین می‌شود. در این تحقیق آزمایش مدول گسیختگی در سن ۲۸ روز انجام شد. در این آزمایش از نمونه‌های منشوری با ابعاد ۱۰۰mm×۱۰۰mm×۴۰۰mm استفاده شد. نتایج آزمایش مقاومت خمشی در شکل (۷) آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶- مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف

شکل ۷- مقاومت خمشی ۲۸ روزه برای نسبت های آب به مواد سیمانی مختلف

همان طور که مشاهده می‌شود، مدول گسیختگی تمام طرح‌های حاوی هر دو ماده ولاستونیت و میکروسیلیس از مدول گسیختگی نمونه‌های شاهد بیشتر شده است. به گونه‌ای که در تمام نسبت‌های آب به مواد سیمانی بیشترین مدول گسیختگی در طرح‌های حاوی ۷ درصد میکروسیلیس و ۵ درصد ولاستونیت حاصل شده است. این افزایش مقاومت خمشی را می‌توان با توجه به کاهش تخلخل ناشی ازنقش پرکنندگی ولاستونیت و میکروسیلیس، پیشرفت هیدراسیون و افزایش ژل سیلیکاتی ناشی از واکنش پوزولانی توجیه نمود. اثر مثبت مشارکت ولاستونیت بر مقاومت خمشی زمانی بیشتر به چشم می‌آید که طرح‌های حاوی ۷ درصد میکروسیلیس و ۵ درصد ولاستونیت با طرح‌های که حاوی فقط ۷ درصد میکروسیلیس می‌باشند مقایسه شوند. تأثیر ولاستونیت بر مدول گسیختگی به مراتب بیشتر از مقاومت فشاری و حتی مقاومت کششی بوده است به عنوان مثال جایگزینی سیمان با فقط ۵ درصد ولاستونیت سبب افزایش مقاومت خمشی شده است که این موضوع به دلیل نقش مثبت ریزالیاف ولاستونیت در خمش می‌باشد. ولاستونیت به صورت توده‌های تیغه‌ای و معمولاً به شکل الیافی و سوزنی است و رشته‌ای بودن کریستال‌های ولاستونیت می‌تواند سبب بهبود مقاومت خمشی شود. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از ۵ درصد ولاستونیت در کنار ۷ یا ۱۰ درصد میکروسیلیس مقاومت خمشی را بین ۲۹ تا ۴۵ درصد افزایش داده است.

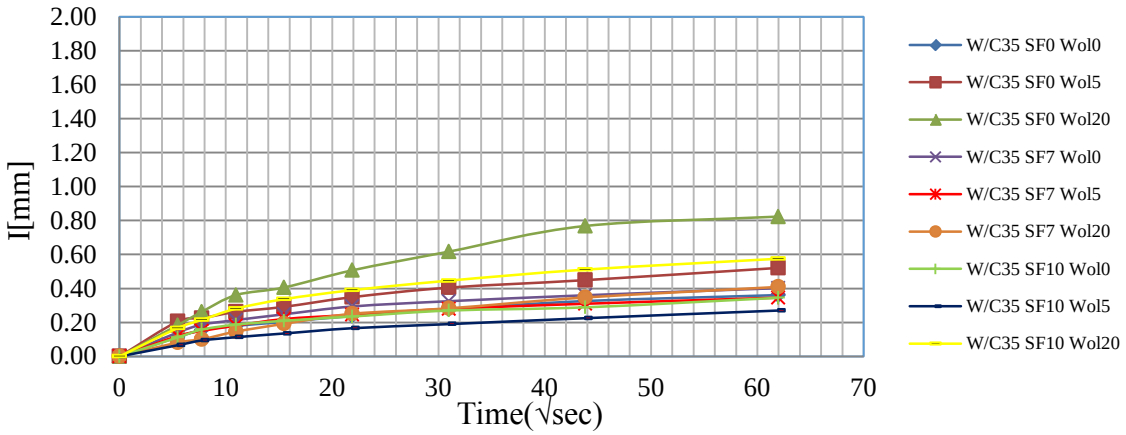
۳-۴- آزمایش جذب مویینه

یکی از راه‌های جذب آب در بتن، خاصیت مویینگی حفرات بتن است. بسته به میزان نسبت آب به مواد سیمانی و درجه هیدراسیون خمیر سیمان، قطر فضاهای مویینه متفاوت است. کارایی بتن در معرض محیط‌های بسیار مهاجم تا حد زیادی تابعی از میزان قابلیت نفوذ مایعات می‌باشد. در این تحقیق آزمایش جذب مویینه در سن ۲۸ روز و به مدت ۶۴ دقیقه انجام شده است. میزان جذب آب توسط خاصیت مویینگی (I) بر اساس رابطه (۱) محاسبه شده است.

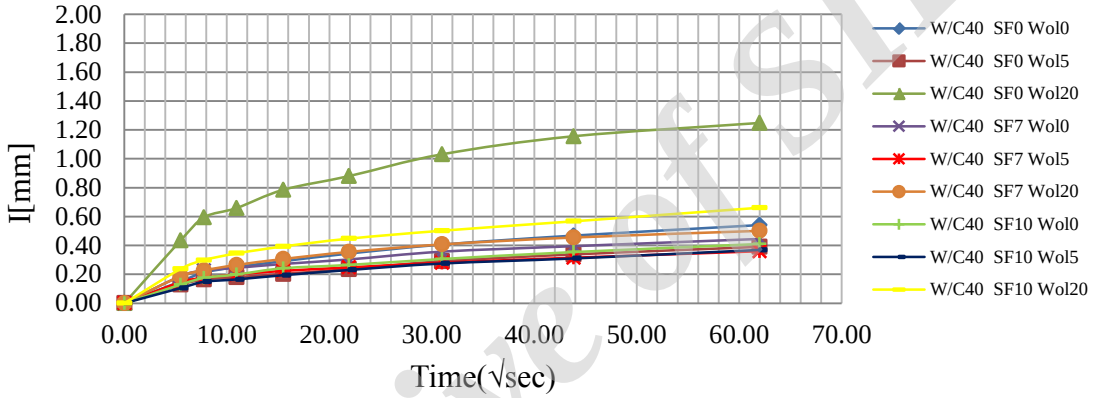
نتایج آزمایش جذب مویینه در شکل‌های (۸) تا (۱۰) آورده شده است. در این نمودارها محور افقی جذر زمان و محور عمودی میزان جذب آب بر حسب میلی متر (I) را نشان می‌دهد. برای مقایسه میزان آب جذب شده توسط خاصیت مویینگی در طرح‌های مختلف می‌توان شیب نمودارها در طرح‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد، بدیهی است که هرچه میزان شیب نمودار در طرحی کمتر باشد میزان جذب آب توسط خاصیت مویینگی در آن طرح کمتر است. مقایسه شیب نمودار جذب مویینه در طرح‌های حاوی فقط میکروسیلیس با طرح‌هایی که در آن‌ها میکروسیلیس و ولاستونیت درکنار هم استفاده شده است نشان می‌دهند که این دو ماده در کنار هم و در سطح جایگزینی ۵ درصد ولاستونیت، عملکرد بهتری از خود به جای گذاشته‌اند و میزان جذب مویینه در این طرح‌ها کاهش یافته است به گونه‌ای که طرح W/C35 SF10 Wol5 کمترین میزان جذب آب توسط خاصیت مویینگی را داشته است.

Archive of SID

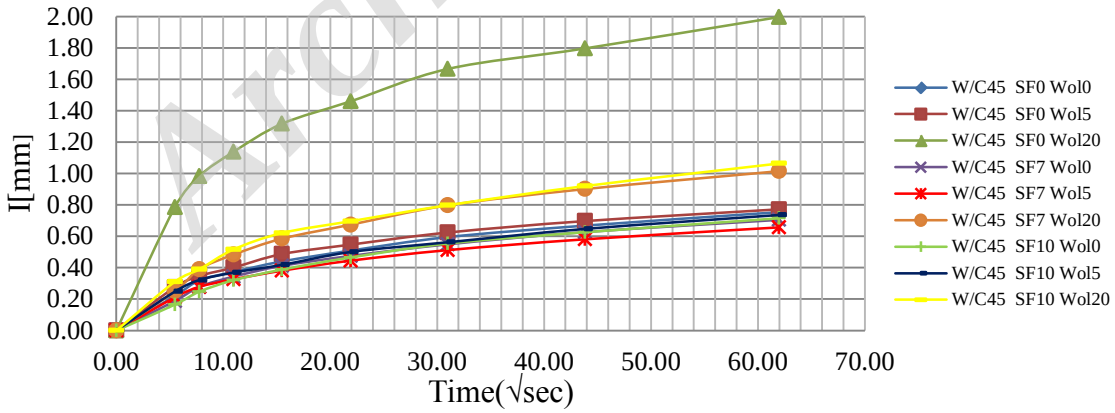
www.SID.ir



شکل ۸- مقایسه میزان آب جذب شده توسط خاصیت مویینگی در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵



شکل ۹- مقایسه میزان آب جذب شده توسط خاصیت مویینگی در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴



شکل ۱۰- مقایسه میزان آب جذب شده توسط خاصیت مویینگی در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵

در تمام طرح‌هایی که حاوی پوزولان میکروسیلیس بوده‌اند میزان جذب آب در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش یافته است. این موضوع بدین دلیل است که فعالیت پوزولانی میکروسیلیس در جریان هیدراسیون سیمان موجب می‌شود کریستال‌های هیدروکسید کلسیم آزاد به سیلیکات کلسیم هیدراته شده تبدیل شود، همچنین خاصیت پرکنندگی میکروسیلیس باعث توزیع یکنواخت و همگن محصولات به دست آمده از هیدراسیون در مخلوط می‌شود و در نهایت ترکیب هر دو خاصیت پرکنندگی و

Archive of SID

www.SID.ir

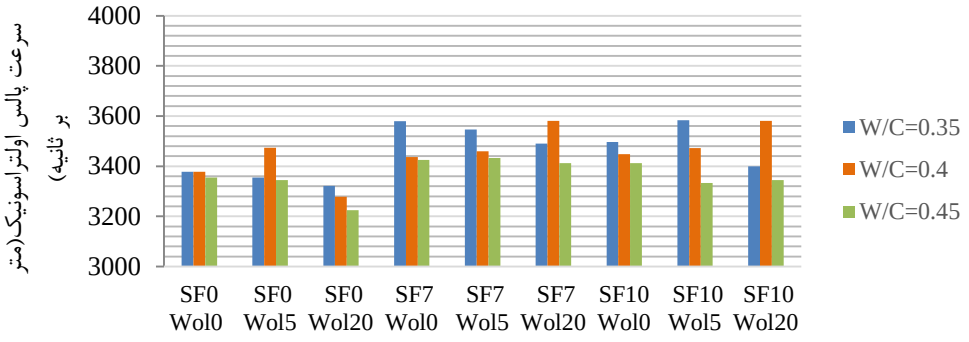
پوزولانی میکروسیلیس سبب به وجود آمدن جسمی متراکم و کم تخلخل و با میزان حفرات کم‌تر می‌گردد.

با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود که جایگزینی ۲۰ درصد ولاستونیت با سیمان نتوانسته میزان آب جذب شده توسط خاصیت مویینگی را کاهش دهد به گونه‌ای که بیشترین میزان جذب آب توسط خاصیت مویینگی در نمونه‌های حاوی ۲۰ درصد ولاستونیت مشاهده شده است. علت این موضوع می‌تواند به بالا بودن درصد جایگزینی سیمان و نیز عدم کاهش منافذ بتن بخاطر کم بودن تمایل ولاستونیت برای شرکت در واکنش‌ها در این درصد جایگزینی نسبت داده شود. همچنین ولاستونیت بیشتر (۲۰ درصد) در سنین کم باعث تخلخل بیشتر و در نتیجه جذب آب بیشتر می‌شود. این در حالی است که جایگزینی ۵ درصد ولاستونیت با سیمان سبب کاهش شیب نمودار جذب مویینه در نسبت‌های آب به مواد سیمانی ۰/۴ و ۰/۴۵ نسبت به نمونه شاهد شده است. این کاهش شیب نمودار به معنی کاهش میزان جذب آب در این طرح و یا به عبارتی به معنی کاهش قطر و میزان حفرات مویینه بتن است. ولاستونیت توزیع اندازه حفرات مویینه را تغییر داده و ریزالیاف هیدراته نشده ولاستونیت سبب ایجاد حفرات بسته‌ای شده که خاصیت مویینگی خوبی ندارند. با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی میزان جذب آب طرح‌ها افزایش پیدا کرده است، علت آن نیز این می‌باشد که با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی تخلخل بیشتر شده که این امر منجر به افزایش میزان جذب آب توسط خاصیت مویینگی می‌شود.

۳-۵- آزمایش اولتراسونیک

این آزمایش جزء آزمایش‌های غیر مخرب بتن بوده و به عنوان ابزاری برای آزمایش مصالح و تعیین کیفیت، مقاومت و تعیین عیوب و ترک‌های ساختار بتن استفاده می‌شود. به منظور ارزیابی کیفیت مصالح با این روش لازم است اندازه‌گیری سرعت امواج اولتراسونیک با دقت بسیار بالایی انجام پذیرد. به طور کلی اندازه‌گیری سرعت امواج در بتن برای تعیین میزان همگنی آن، تشخیص وجود حفرات، درزها و ترک‌ها در بتن، تغییر خصوصیات بتن نسبت به زمان (مثل هیدراسیون) و تعیین کیفیت بتن می‌باشد. هرچه سرعت امواج اولتراسونیک بالاتر باشد، میزان حفرات و منافذ بتن کمتر بوده و یا به عبارتی ذرات به یکدیگر نزدیک‌تر بوده، امواج در زمان کوتاه‌تری طول نمونه را طی کرده و در نتیجه خواص مکانیکی و دوام آن بهبود پیدا می‌کند. در این تحقیق آزمایش اولتراسونیک روی نمونه‌های بتنی با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰mm در سن ۷، ۲۸ و۹۰ روز و طبق استاندارد ASTM C 597 انجام گرفت. همان طور که در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) مشاهده می‌شود سرعت امواج اولتراسونیک در سن ۷ روز در اکثر طرح‌های حاوی ولاستونیت و میکروسیلیس در مقایسه با طرح‌های شاهد بیشتر به دست آمده است. این موضوع نشان دهنده اثر پرکنندگی این دو ماده در نمونه‌ها و همچنین تشکیل ژل سیلیکاتی بیشتر در سنین اولیه و اثر واکنش پوزولانی می‌باشد که منجر به کاهش تخلخل در نمونه‌ها و افزایش تراکم آن‌ها شده است و در نتیجه امواج با سرعت بالاتر و در زمان کمتری طول نمونه را طی می‌کنند. نتایج به دست آمده در این قسمت با نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مقاومت فشاری، کششی و خمشی همخوانی دارد به طوری که سرعت پالس عبوری در نمونه‌های حاوی ۷ و ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۵ درصد ولاستونیت بیشتر از سایر نمونه‌ها است.

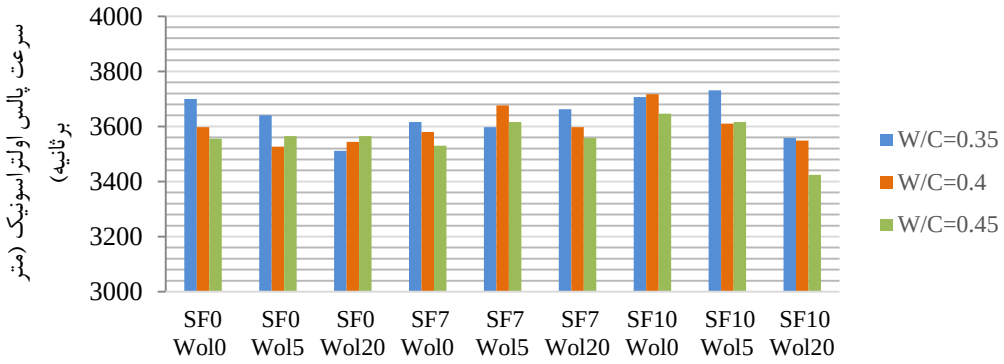
این موضوع به دلیل اثر پوزولانی میکروسیلیس و دیگری نقش پرکنندگی این مواد است که ذرات میکروسیلیس و ولاستونیت مابین ذرات درشت سیمان معمولی قرار گرفته و حفرات ریز موجود در ساختار بتن را پر نمایند. به طور کلی با افزایش میزان نسبت آب به مواد سیمانی در اکثر طرح‌ها سرعت پالس عبوری کاهش یافته که این به دلیل بالا رفتن میزان تخلخل و حفرات موجود در بتن است که سبب می‌شوند امواج در زمان طولانی‌تری طول نمونه را طی کنند.



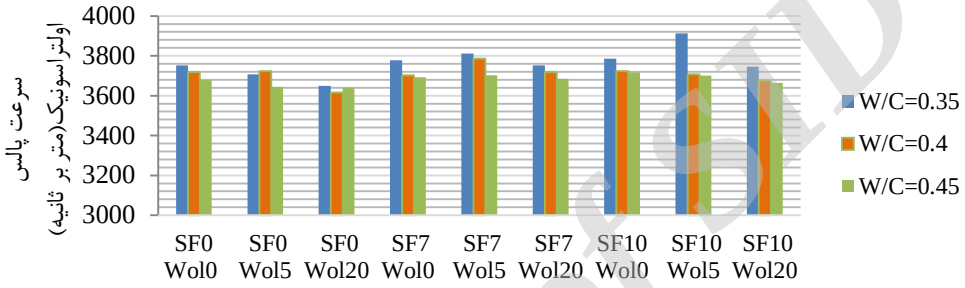
شکل ۱۱- اولتراسونیک ۷ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۲- اولتراسونیک ۲۸ روزه برای نسبت های آب به مواد سیمانی مختلف



شکل ۱۳- اولتراسونیک ۹۰ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف

به طور کلی با افزایش سن مشاهده می‌شود که اختلاف سرعت صوت عبوری از نمونه‌های مختلف کم شده است و در سن ۹۰ این اختلاف به حداقل رسیده است. دلیل این موضوع کامل‌تر شدن واکنش‌ها و در نتیجه کاهش هیدروکسید کلسیم خمیر سیمان و پر شدن فضاهای خالی طرح‌های مختلف با گذشت زمان است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر استفاده از ماده معدنی ولاستونیت در کنار پوزولان میکروسیلیس به عنوان جایگزین قسمتی از سیمان بر خواص مکانیکی و برخی پارامترهای دوام بتن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که جایگزینی سیمان با ولاستونیت به میزان ۵ و ۲۰ درصد، سبب کاهش مقاومت فشاری و کششی می‌شود و با افزایش میزان جایگزینی این کاهش مقاومت بیشتر هم می‌شود. همچنین نتایج آزمایش مقاومت فشاری وکششی طرح‌هایی که در آنا فقط ۵ درصد ولاستونیت با سیمان جایگزین شده است نشان داد که عملکرد ولاستونیت در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴ بهتر بوده است. با این حال این نتیجه در نوع خود جالب توجه است؛ چرا که در مقایسه با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵، مقاومت فشاری و کششی بهبود پیدا کرده است. این موضوع می‌تواند به عنوان یک نقطه قوت درمواردی که نیاز به استفاده از آب به سیمان‌های بالاتر است مد نظر قرار گیرد. استفاده از ۷ یا ۱۰ درصد میکروسیلیس در کنار ولاستونیت سبب افزایش قابل توجه مقاومت فشاری و کششی شده است. تأثیر ولاستونیت بر مدول گسیختگی به مراتب بیشتر از مقاومت فشاری و حتی مقاومت کششی بوده است که این موضوع به دلیل نقش مثبت ریزالیاف ولاستونیت در خمش می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ۵ درصد ولاستونیت در کنار ۷ یا ۱۰ درصد میکروسیلیس مقاومت خمشی را بین ۲۹ تا ۴۵ درصد افزایش داده است. استفاده از ۵ درصد ولاستونیت سبب کاهش شیب نمودار جذب مویینه در نسبت‌های آب به مواد سیمانی ۰/۴ و ۰/۴۵ نسبت به نمونه شاهد شده است. این کاهش شیب نمودار به معنی کاهش میزان جذب آب در این طرح و یا به عبارتی به معنی کاهش قطر و میزان حفرات مویینه بتن است. در طرح‌هایی که حاوی فقط پوزولان میکروسیلیس بوده‌اند نیز میزان جذب آب در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافته است. همچنین مقایسه شیب نمودارهای آزمایش جذب مویینه نشان می‌دهد که ولاستونیت و میکروسیلیس در کنار هم و در سطح جایگزینی ۵ درصد ولاستونیت، عملکرد بهتری ازخود به جای گذاشته‌اند به نحوی که طرح W/C35 SF10 Wol5

Archive of SID

www.SID.ir

کمترین میزان جذب آب توسط خاصیت مویینگی را داشته است. درآزمایش اولتراسونیک مشاهده گردید که در تمام طرح‌ها با افزایش سن، سرعت صوت عبوری از نمونه‌ها نیز بیشتر شده است. سرعت امواج اولتراسونیک در نمونه‌هایی با نسبت آب به سیمان کم، بیشتر از سایر نمونه‌هاست و با افزایش نسبت آب به سیمان سرعت امواج اولتراسونیک کاهش می‌یابد. همچنین نتایج به دست آمده در آزمایش اولتراسونیک با نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مقاومت فشاری، کششی و خمشی هم‌خوانی دارد به طوری که سرعت پالس عبوری در نمونه‌های حاوی ۷ و ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۵ درصد ولاستونیت بیشتر از سایر نمونه-ها است.

۵- مراجع

AbdulAleem MI, Arumairaj PD, "Geopolymer concrete: A review", International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, 2012, 1 (2), 118-122.

ASTM C33, "Standard specification for concrete aggregates", Annual book of ASTM Standards, 2008.

ASTM C125, "Standard terminology relating to concrete and concrete Aggregates", Annual book of ASTM Standards, 2008.

Beaudoin JJ, Low NMP, "Flexural strength and microstructure of cement binders reinforced with wollastonite micro-fibres", Cement and Concrete Research, 1993, 905-916.

Crooks AF, "Wollastonite in south australi", Department of Primary Industries and Resources, Australia, 1999.

Juenger MCG, Winnefeld F, Provis JL, Ideker JH, "Advances in alternative cementitious binders", Cement and Concrete Research, 2011, 41, 1232-1243.

Karol MA, Muller U, and Gardei A, "Properties and performance of silane: blended cement systems", Materials and Structures, 2013, 46 (9), 1429-1439.

Madlool N, Saidur R, Rahim NAM, Kamalisarvestani, "An overview of energy savings measures for cement industries", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 19, 18-29.

Mathur R, Goel P, "Influnce of wollastonite on mechanical properties of concrete", Journal of Scientific & Industrial Research, 2007, 66, 1029-1034.

Maxim LD, McConnell EE, "A review of the toxicology and epidemiology of wollastonite", Inhal Toxicol, 2005, 17, 451-466.

Nikonova NS, Tikhomirova LN, Belyakov AV, Zakharov AL, "Wollastonite in silicate matrices", Glass and Ceramics, 2003, 60 (10), 38-42.

Ransinchung GD, Kumar B, "Investigations on pastes and mortars of ordinary Portland cement admixed with wollastonite and micro silica", Journal of Materials in Civil Engineering, 2010, 22 (4), 305–313.

Ransinchung GD, Kumar B, Kumar V, "Assessment of water absorption and chloride ion penetration of water pavement quality concrete admixed with wollastonite and microsilica", Construction and Building Materials, 2009, 23, 1168-1177.

Farmington H, "Cement and concrete terminology", Reported by ACI Committee 116, American Concrete Institute, US, 2000.

Vakifahmetoglu C, Park J, Korkusuz F, Ozturk A, Timucin M, "Production and properties of apatite-wollastonite ceramics for biomedical applications", Interceram Journal, 2009, 58, 86-90.

Siddique R, "Utilization of silica fume in concrete, Review of hardened properties", Resources, Conservation and Recycling, 2011, 55, 923-932.

Villa CE, Pecina T, Torres L, Gómez L, "Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite", Construction and Building Materials, 2010, 24, 2084-2090.

Zussman HD, "Rock Forming Minerals, Single Chain Silicates", 2nd Edition, Vol. 2A, Geological Society, London, UK, 1997.

Archive of SID

www.SID.ir

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 47 (2017), Issue 1 (Spring), 47-57.

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of Mechanical Properties and Durability indices of Concrete containing Wollastonite and Silica-Fume

Amir Tarighat *, Oveys Afzali Naniz

Faculty of of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Received: 17 April 2016; **Accepted:** 05 November 2016

Keywords:
Concrete, Mechanical Properties, Durability indices, Wollastonite, Silica- Fume

1. Introduction

Currently, concrete based on Portland cement (PC) is the most used construction material. However, Portland cement is not without problems. Manufacturing of Portland cement consumes 10-11 EJ of energy annually, approximately 2-3% of global primary energy use. Furthermore, Portland cement production results in approximately 0.87 of carbon dioxide for every tons of cement produced (roy, 1999; Damtoft et al., 2008). Recent researches on construction industry show an increasing interest in partial replacement of cement by pozzolans and minerals. Production and use of these materials can be accompanied by economic, environmental and technical advantages such as saving energy, reducing heat of hydration, environmental protection or improvement of the durability against chemical attacks (Kargol et al., 2013; Madlool et al., 2013). Wollastonite is a natural mineral that has been recently proposed as an alternative part of cement in concrete (Ransinchung and Kumar, 2010). There is little information about the effect of this material on mechanical properties and durability of concrete. In this study the effect of different replacement percentages of wollastonite and silica fume with cement on concrete properties was evaluated.

2. Methodology

2.1. Materials and mix proportions

The cementitious materials used in this study were ordinary Portland cement (OPC), silica fume (SF) and wollastonite. Broken gravel with maximum grain size of 10 mm and specific gravity of 2560 kg/m^3 were used as the coarse aggregate. The superplasticizer used is GLENIUM 51P based on Polycarboxylic ether. The dosage of superplasticizer changed due to the effect of the different levels of silica fume and wollastonite. Three water/binder ratio including 0.35, 04 and 0.45 were used. The mass percentages of (5 and 20) and (7 and 10) have been replaced with cement in the mixtures containing wollastinite and silica fume, respectively.

2.2. Testing

To evaluate the effects of different replacement percentages of wollastonite and silica fume on the mechanical properties and durability of concrete, durability indices (absorption of water according to ASTMC1585, and ultrasonic velocity according to ASTM C597-09) and mechanical tests(compressive strength, tensile strength and modulus of rupture according to BS 1881:Part 116, ASTMC496 and ASTMC78, respectively) were done.

* Corresponding Author
E-mail addresses: tarighat@srttu.edu (Amir Tarighat), Afzalioveys@yahoo.com (Oveys Afzali).

Archive of SID

www.SID.ir

3. Results and discussion

3.1 *mechanical properties*

Results indicate decreasing in compressive strength of mixtures with 5 and 20 replacement levels of wollostonite. Compressive and tensile strength of concrete has improved in all water/binder ratios with using 7 and 10 replacement percentage of silica fume and 5 replacement percentage of wollastonite. Therefore, the inclusion of silica fume in concrete mixture, mainly affects strength of concrete. Result show wollastonie affect on flexural strength of concrete is much greater than compressive and tensile strength. For example the replacement of cement with 5% of wollastonite improved modulus o rupture, this is due to positive role of wollastonite microfibers on flexural strength.

Figs. 1 and 2 show the result of tensile and flexural tests.

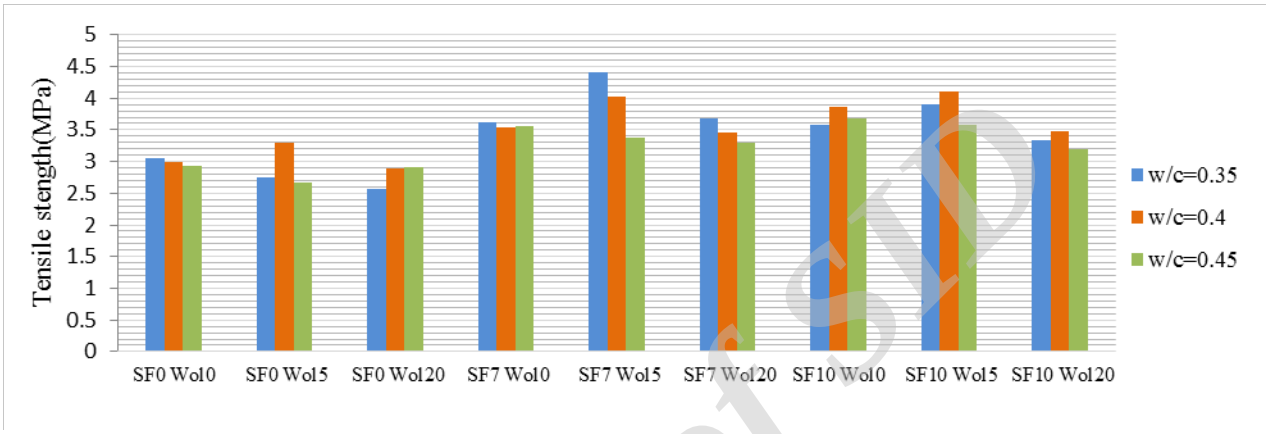


Fig. 1. Tensile strength at the age of 28 days

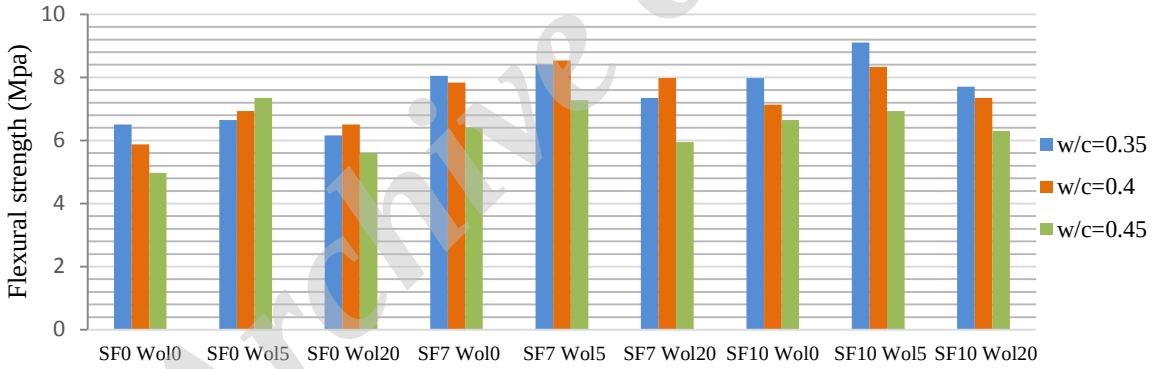


Fig. 2. Flexural strength at the age of 28 days

3.2. Durability

Comparing the results of absorption of water in all mixes show that using wollostonite (at level of 5%) and silica fume had better performance and reduced capillary pores of concrete. ultrasonic pulse velocity (UPV) test are sensitive tool to analyze variations in homogeneity and density of the concrete. Result of UPV test show with increasing in water/binder ratio in all mixes the velocity is decreased, this is due to increasing porosity of concrete with increasing the amount of water /binder ratio.

4. Conclusions

Reducing resources, environmental pollution, energy demand, high production cost of cement has necessitated cement industry and engineers to search alternative materials. Wollastonite is a natural mineral that has been recently proposed as an alternative part of cement in concrete. Although the massive resources of this material have been registered in Iran, no research has been done on substitution of wollastonite in concrete. In this study the effect of different replacement percentages of wollastonite and silica fume with cement on concrete properties was evaluated. The tests results indicate that the use of wollastonite and silica

Archive of SID

www.SID.ir

fume have improved the properties of concrete in many cases in compare with control mixes. Best results are obtained for mixes with 5 percent of wollastonite and 7 and 10 percent of silica fume.

5. References

Roy D, "Alkali-activated cements opportunities and challenges", Cement and Concrete Research, 1999, 249-254.

Damtoft JS, Lukasik J, Herfort D, Sorrentino D, Gartner EM, "Sustainable development and climate change initiatives", Cement and Concrete Research, 2008, 38 (2), 115-127.

Kargol MA, Muller U, Gardei A, "Properties and performance of silane: blended cement systems", Materials and Structures, 2013, 46 (9), 1429-1439.

Madlool N, Saidur R, Rahim NA, Kamalisarvestani M, "An overview of energy savings measures for cement industries", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 19, 18-29.

Ransinchung GD, Kumar B, "Investigations on pastes and mortars of ordinary Portland cement admixed with wollastonite and micro silica", Journal of Materials in Civil Engineering, 2010, 22 (4), 305-313.

Archive of SID

www.SID.ir