



تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2ND NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

بررسی اثر میکروسیلیس و دوام بتن حاوی متاکائولن در کرناتاسیون بتن

زهرة حیدری

دانشجو کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه، دانشگاه آزاد واحد نیشابور

چکیده

استفاده روزافزون از سازه های بتن مسلح وعدم توجه مطلوب به مسئله پایایی این سازه ها باعث شده است که امروزه شاهد آن باشیم که سازه های بتن مسلح اجرا شده عمر مفید کمتری نسبت به عمر طراحی داشته باشند. این امر باعث شده تا سالیانه هزینه های بسیار زیادی جهت تعمیر و نگهداری این قبیل سازه ها صرف شود. از جمله عوامل مهم در بحث تخریب سازه های بتن مسلح، بحث خوردگی آرماتورهای در بتن می باشد. بطور کلی خوردگی آرماتور در اثر دو عامل نفوذ یون کلر و وقوع پدیده کرناتاسیون ایجاد می شود مهم ترین افزودنی مورد استفاده در کشور میکروسیلیس می باشد در عین حال با توجه به گسترش استفاده از پوزولان ها در سطح دنیا بررسی عملکرد پوزولان های جایگزین نظیر متاکائولن اهمیت خاصی پیدا کرده است. با انجام آزمایش های مقاومت فشاری و جذب آب و حجم حفرات و جذب آب موئینه و مقاومت الکتریکی و نتایج به دست آمده از این آزمایش ها نشان می دهد که متاکائولن در بهبود پارامتر های دوام بتن بهتر از میکروسیلیس عمل کرده است و می توان از متاکائولن برای مقاومت در مقابل فرایند کرناتاسیون بهره برد.

کلمات کلیدی: بتن مسلح، میکروسیلیس، متاکائولن، کرناتاسیون بتن

۱- مقدمه

در میان مصالح ساختمانی که در طرح های مهندسی عمران در دنیا مورد استفاده قرار می گیرند بتن بیشترین کاربرد را دارد. دلایل این ویژگی بتن زیاد است لیکن از مهم ترین آنها می توان مقرون به صرفه بودن، وجود منابع فراوان مواد تشکیل دهنده، سازگاری با محیط و مقاومت مطلوب را نام برد. دوام بتن از جمله مسائلی است که امروزه در مباحث توسعه پایدار از اهمیت بالایی برخوردار بوده و عمر سازه های شهری راتحت الشعاع خود قرار می دهد. هدف از مطالعات مربوط به دوام بتن پیدا کردن راه حل های افزایش عمر مفید آن و یا حفاظت بتن در برابر عوامل سوء کاهنده مقاومت و عملکرد سازه می باشد. در سال های اخیر سازه های بتنی بسیاری در مناطق مختلف دنیا در اثر عوامل مختلفی از جمله خوردگی آرماتور در بتن به عنوان رایج ترین این خرابی ها در سازه های بتن مسلح دچار آسیب دیدگی و یا خرابی های زودرس شده اند. پدیده کرناتاسیون در بتن به عنوان یکی از این عوامل به تنهایی منجر به تخریب بتن نمی شود اگر چه که ممکن است موجب تغییراتی شامل جمع شدگی بتن و یا کاهش تخلخل و افزایش مقاومت فشاری بتن شود اما آنچه که باعث می شود تا از کرناتاسیون به عنوان یک عامل مخرب نام برده شود این است که کرناتاسیون تاثیر بسیار مهمی روی خوردگی آرماتور دارد. در واقع کرناتاسیون موجب می شود تا PH بتن از حالت عادی پایین تر آید و با از بین رفتن لایه محافظ آرماتور شرایط برای شروع خوردگی آرماتور کاملاً

تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2ND NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

فراهم شود. گذشته از شرایط محیطی و آب و هوایی خصوصیات فیزیکی وریزساختار بتن هم در روند کربناسیون نقش به سزایی دارد و اینجاست که توجه همه مهندسين و دست اندرکاران ساخت و ساز سازه های بتنی را به خود جلب می کند. زیرا کنترل و یا جلوگیری کردن از شرایط محیطی کاری اجتناب ناپذیر است اما کنترل کیفیت بتن و ساخت بتن پایا امریست که بر عهده مهندسين می باشد. از عوامل مؤثر بر کربناتاسیون می توان به مواردی همچون: طول دوره کربناتاسیون، عیار سیمان، نسبت آب به سیمان، نوع پوزولان، غلظت دی اکسید کربن در هوا، رطوبت، شرایط عمل آوری، میزان تراکم بتن و تنش های وارده به بتن اشاره کرد که میزان پایایی و دوام سازه در مقابل این پدیده رامی توانند متغیر کنند. به طور کلی فرایند خوردگی آرماتور در بتن رامی توان به دو مرحله زمانی تقسیم بندی نمود: ۱- دوره آغازین ۲- دوره توسعه خوردگی

در دوره آغازین، فولاد غیر فعال و بدون خوردگی باقی می ماند. ولی با زباین رفتن این شرایط و رسیدن عوامل خوردنده به سطح آرماتورها در نهایت خوردگی آغاز می شود. نفوذ و تجمع یون کلر و پیشروی جبهه کربناتاسیون تا سطح آرماتورها، مکانیزم های حاکم در این فاز هستند. ولی در دوره توسعه خوردگی، لایه محافظ روی آرماتورها از بین رفته و از بین رفتن آرماتورهای تواندا تا انهدام سازه پیش برود. در این مرحله نفوذ پذیری در برابر اکسیژن و مقاومت الکتریکی مکانیزم های غالب خواهند بود. از جمله موارد دیگری که باید مورد توجه قرار داد، استفاده روز افزون از افزودنی های بتن و استفاده از پوزولان ها به منظور دستیابی به خصوصیات مکانیکی و پایایی مطلوب می باشد. از جمله این پوزولان های می توان به میکروسیلیس اشاره نمود که با توجه به تاثیرات مثبت این پوزولان بر خصوصیات مکانیکی بتن، تمایل زیادی جهت مطالعه در مورد تاثیر این پوزولان بر خصوصیات پایایی بتن بویژه تاثیر آن بر کربناتاسیون بتن نیز بوجود آمده است. با توجه به موارد ذکر شده می توان به لزوم بررسی بیشتر پدیده کربناتاسیون بتن و تاثیر افزودنی های نظیر میکروسیلیس بر این پدیده پی برد. میکروسیلیس از جمله افزودنی های شناخته شده و پر کاربرد می باشد که اثرات مثبت آن بر بهبود خصوصیات مکانیکی و دوام بتن مشخص شده است. با این حال میکروسیلیس، خاکستر بادی، روباره و غیره محصولات فرعی صنایع دیگر هستند به همین جهت اقدام خاصی در خصوص بهینه سازی آن ها نمی توان انجام داد. بنابراین الزامات و معایب ذکر شده شناخت و استفاده از نسل جدید پوزولان ها را ضروری می سازد.

تحقیقات متعددی نشان می دهد که متاکائولن خواص پوزولانی قابل توجهی دارد. با توجه به اثبات خاصیت پوزولانی متاکائولن توسط محققین، استفاده از آن به عنوان یک افزودنی معدنی در بتن مورد توجه قرار گرفت و تعدادی از محققین اثر این ماده را بر خواص بتن تازه و سخت شده بررسی نمودند. تعداد کمی هم شروع به بررسی اثر این ماده بر روی دوام بتن و از جمله مقاومت آن در برابر کربناتاسیون کردند.

از دلایل ظرفیت بالای پوزولان متاکائولن، نیاز زیاد این ماده به CH برای تشکیل H-A-C ذکر شده است. متاکائولن با مصرف CH حاصل از هیدراتاسیون سیمان و با تشکیل مقادیری از H-S-C باعث چگال تر شدن ساختار خمیر سیمان هیدراته می شود. پرتلندایت موجود در ناحیه انتقال و ناحیه خمیری در آب قابل حل بوده و در محیط های خورنده شیمیایی آسیب پذیر است و متاکائولن با مصرف این ماده باعث چگال تر شدن ناحیه انتقال و خمیر شده و پیوستگی بین خمیر و سنگدانه را بهبود می بخشد، بنابراین دارای پتانسیل زیادی برای بهبود دوام بتن می باشد. همچنین به دلیل پایین تر بودن میزان نسبت Si/Ca در H-S-C اضافی تولید شده طی واکنش های پوزولانی متاکائولن نسبت به H-S-C معمول، اعتقاد بر این است

که این محصول دارای قابلیت بیشتری برای مقید کردن یون های قلیایی در حفرات است. اگرچه H-S-C ثانویه تولیدی دارای چگالی کمتری نسبت به ژل H-S-C اولیه است ولی در پرکردن و تقسیم حفرات موئینه بزرگ به حفرات موئینه کوچک و غیرممتد موثر است و اندازه حفرات را بهبودمی بخشد. بنابراین اعتقاد بر این است که استفاده از متاکائولن نفوذپذیری بتن در مقابل گاز دی اکسید کربن را نیز به شدت کاهش داده و مانع بروز پدیده کربناتاسیون می شود.

تحقیقات نشان می دهد که واکنش پوزولانی متاکائولن خیلی سریع و در سنین اولیه آغاز می شود و درصد واکنش های پوزولانی انجام شده در سنین اولیه نسبت به مواد پوزولانی دیگر، مانند خاکستر بادی و حتی میکروسیلیس بالاتر است به طوری که در تحقیق انجام شده توسط پون (Poon) مشاهده شده است که میزان مشارکت در واکنش پوزولانی در سن ۳ روز برای متاکائولن ۱۵٪ و برای میکروسیلیس ۱۰٪ بوده است.

از میان روش های متنوعی که برای افزایش دوام بتن و به دست آوردن بتن های با خواص فوق العاده به کار می رود، استفاده از متاکائولن نسبتاً روش جدیدی است. افزودنی متاکائولن به لحاظ ریزدانه بودن قابلیت روان کنندگی بتن را داراست. علاوه بر آن در جهت بالا بردن مقاومت مکانیکی بتن تاثیر چشمگیری دارد. آنچه این ماده را بیشتر حائز اهمیت می گرداند بالا بردن مقاومت شیمیایی بتن است.

باتوجه به وجود شرایط و آب و هوای مهاجم در مناطق مختلف کشورمان و همچنین مستعد بودن این مناطق از کشورمان برای پدیده کربناتاسیون و همچنین صنعتی شدن بیشتر این مناطق نسبت به قبل که این فرایند را سرعت می بخشد، لازم است که تحقیقاتی برای ساخت بتن هاوسازه های بادوام با عمر طولانی صورت گیرد تا از افزایش هزینه های تخریب و بازسازی سازه ها جلوگیری بعمل آید. از طرفی افزایش روز به روز اهمیت مسائل زیست محیطی و مباحث توسعه ی پایدار و همچنین وجود منابع عظیم متاکائولن و میکروسیلیس و سایر پوزولان ها در کشور این امکان و نیاز وجود دارد که از این پوزولان ها برای ساخت سازه هایی مقاوم و بادوام در کشور بهره گیریم و از تولید بیشتر گازهای گلخانه ای جلوگیری بعمل آوریم. از این رودر این تحقیق بر آن شدیم که نقش متاکائولن در بهبود پارامترهای دوامی و تاثیر میکروسیلیس را مطالعه کرده و اثر آن ها را در کاهش عمق کربناتاسیون بررسی کنیم تا بتوانیم در صنعت ساختمان از آن ها بهره گیریم.

۲- عوامل موثر بر کربناتاسیون

عوامل موثر بر کربناتاسیون رامی توان به طور کلی در سه گروه عوامل درونی و ساختاری، عوامل بیرونی و محیطی و عوامل اجرایی تقسیم بندی نمود.

۲-۱- عوامل درونی و ساختاری

- طول دوره کربناتاسیون
- نوع ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی سیمان
- عیار سیمان در بتن
- نسبت آب به سیمان



تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2ND NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

- نسبت ماسه به سیمان
- نوع سنگدانه ها
- پوزولان ها

۲-۲- عوامل بیرونی و محیطی

- غلظت دی اکسید کربن در محیط پیرامون بتن
- دما
- رطوبت نسبی
- میکرو اقلیم

۳-۲- تاثیر شرایط اجرایی بر کربناتاسیون

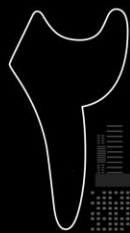
- عمل آوری
- تراکم بتن
- اسلامپ
- وجود نواحی آسیب دیده و ترک در سطح بتن
- بارگذاری و تنش های موجود در سازه

۳- تاثیر میکروسیلیس بر کربناتاسیون

معمولا مشاهده می شود که در صورت اضافه نمودن پوزولان ها به سیمان موجود، کاهش در عمق کربناتاسیون بوجود می آید. البته میزان این تاثیر مثبت به نوع پوزولان و ترکیب شیمیایی آن به ویژه از نظر محتوای سیلیس فعال که مصرف کننده هیدروکسید کلسیم (CH) بتن و در نتیجه کاهنده قلیائیت بوده و همچنین محتوای CaO موجود در ترکیب پوزولان که افزایش قلیائیت بتن پوزولانی است وابسته است. همچنین اصلاح ساختار منفذی و کاهش نفوذپذیری در اثر اضافه کردن پوزولان هامی تواند در کاهش عمق کربناتاسیون موثر باشد. اما در صورتی که پوزولان ها جایگزین بخشی از سیمان شوند از آنجاییکه با کاهش میزان سیمان پرتلند میزان CH تولید شده کم می شود و از طرفی در اثر واکنش های پوزولانی CH تولید شده نیز مصرف می شود. به طور کلی با افزایش میزان جایگزینی پوزولان ها بجای سیمان انتظار می رود که شاهد کاهش قلیائیت بتن و افزایش کربناتاسیون باشیم البته این موضوع در درصد های زیاد جایگزینی بیشتر به چشم می خورد.

۴- معرفی خواص بتن حاوی متاکائولن

متاکائولن یکی از جدیدترین پوزولان ها در تولید بتن محسوب می شود. مواد خام ورودی در تولید متاکائولن، رس کائولن می باشد. کائولن یک ماده ی معدنی بسیار ریز سفید و رسی است که در دمای ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه بیش تر آب جذب شده ی خود را از دست می دهد. دمایی که در آن کائولینیت که اصلی ترین جزء تشکیل دهنده ی کائولن است، به واسطه ی دی



تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2ND

NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

هیدراکسیونیزاسیون آب از دست می دهد، بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. به منظور تولید متاکائولن، رس کائولن را تا محدوده ی دمایی ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه حرارت می دهند. متاکائولن به عنوان یک محصول با پایه ی سیلیسی می باشد که در واکنش با $Ca(OH)_2$ (۲) در دمای معمولی ژل H-S-C تولید می کند. متاکائولن همچنین دارای آلومینا می باشد که با CH_3 واکنش داده و فازهای آلومیناتی حاوی $3AH_3C, 2ASH_2C, 4AH_4C$ را تولید می کند.

۵- تشریح آزمایش ها و ارائه نتایج

آزمایش مقاومت فشاری: مقاومت فشاری بتن مهم ترین مشخصه ی مکانیکی بتن می باشد. در این تحقیق آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد BS بر آزمون های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی متر انجام گرفته است. مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه ی طرح های اختلاط مختلف در نمودار (۱) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود مقاومت فشاری کلیه ی طرح های اختلاط حاوی متاکائولن و میکروسیلیس از آزمون شاهد بیشتر است. دلیل این افزایش بهبود ریزساختار بتن با انجام واکنش های ثانویه ی پوزولان ها می باشد. به طوری که آزمون شاهد ۲ کم ترین و آزمون ی SF ۱۰ بیش ترین مقدار مقاومت فشاری را در سن ۲۸ روز دارا می باشد. میزان مقاومت فشاری در بین آزمون های حاوی میکروسیلیس و متاکائولن با افزایش درصد جایگزینی پوزولان مقاومت فشاری افزایش می یابد. با این حال افزایش مقاومت فشاری آزمون های حاوی میکروسیلیس بیش تر از آزمون های حاوی متاکائولن در سن ۲۸ روز می باشد. در درصد جایگزینی مشابه ۵ درصد، آزمون ی SF ۵ با افزایش ۷ درصد در هر دو سن ۷ و ۲۸ روز نسبت به آزمون ۵ MK مقاومت فشاری بیش تری دارد. با این حال هر دو آزمون با ۴۲ درصد، افزایش مقاومت یکسانی از سن ۷ به ۲۸ روز داشته اند. در درصد جایگزینی مشابه ۱۰ درصد نیز آزمون ی SF ۱۰ در هر دو سن ۷ و ۲۸ روز به ترتیب ۷ و ۲۷ درصد افزایش مقاومت فشاری نسبت به آزمون ی MK ۱۰ عملکرد بهتری داشته است. همچنین بیشترین روند افزایش مقاومت از سن ۷ به ۲۸ روز در بین آزمون های حاوی پوزولان مربوط به آزمون ی SF ۱۰ با ۵۲ درصد و کم ترین آن مربوط به آزمون های SF ۷، ۵ و MK ۱۵ با ۳۰ درصد افزایش مقاومت می باشد.

جدول ۱ آنالیز شیمیایی سیمان و پوزولان های مصرفی

L.O.I	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	نوع مواد سیمانی
۲	۰/۶	۰/۵	۱/۶	۱/۸	۶۳	۳/۵	۵	۲۱	سیمان
۱/۵۸	-	-	۰/۰۵	۱/۶	-	۰/۷۲	۱/۱۳	۹۳/۱۶	میکروسیلیس
۰/۵۷	۰/۱۲	۰/۰۱	-	۰/۱۸	۰/۲	۰/۹۹	۴۳/۸۷	۵۱/۸۵	متاکائولن

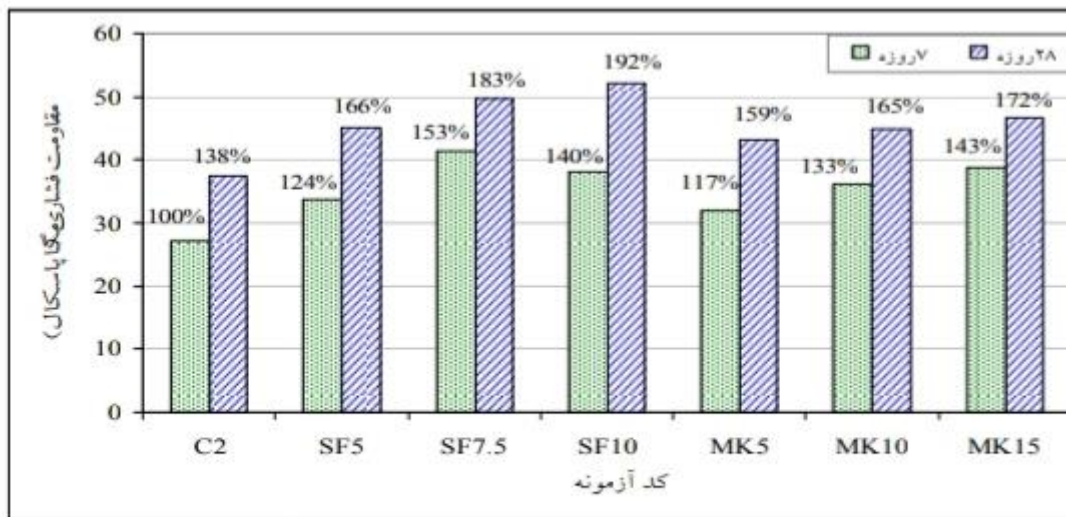
جدول ۲ مشخصات نسبت‌های اختلاط

اسلامپ (cm)	فوق روان کننده (kg/m ³)	پوزولان جایگزین (kg/m ³)	عیار سیمان (kg/m ³)	کد آزمونه
۷	۰/۲	-	۴۰۰	C2
۶	۱/۲	۲۰	۳۸۰	SF5
۵	۱/۴	۳۰	۳۷۰	SF7.5
۸	۱/۶	۴۰	۳۶۰	SF10
۵	۰/۸	۲۰	۳۸۰	MK5
۵/۵	۱/۴	۴۰	۳۶۰	MK10
۸	۱/۶	۶۰	۳۴۰	MK15

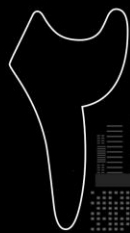
C: سیمان

SF: میکروسیلیس

MK: متاکائولن



نمودار ۱ نتایج مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزهی طرح‌های اختلاط مختلف

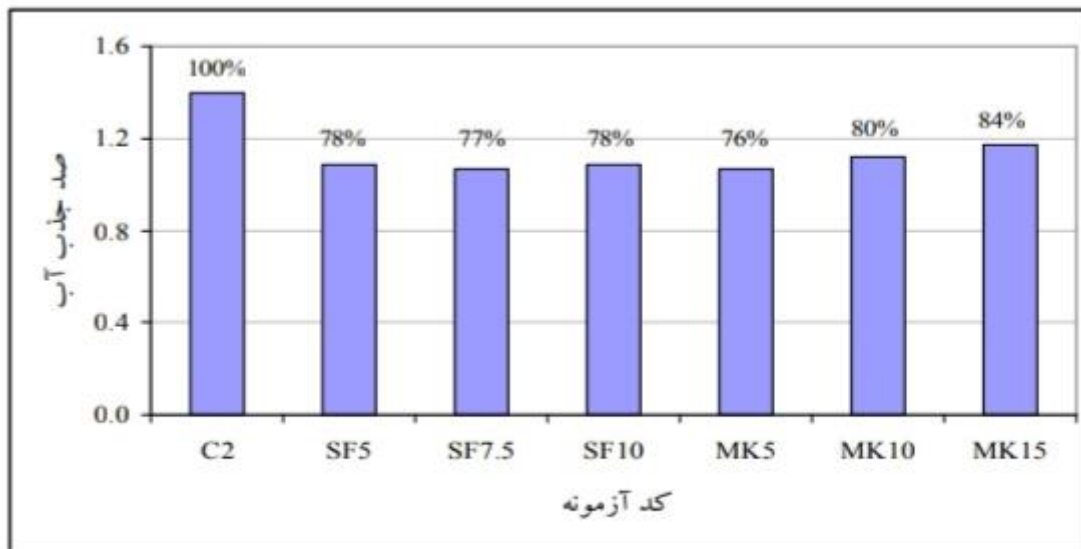


تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2ND

NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING



نمودار ۲ نتایج تعیین جذب آب طرح‌های اختلاط مختلف

آزمایش جذب آب: آب می‌تواند هم به صورت مایع و هم بخار از طریق حفرات مویینه به درون جسم متخلخل وارد شود. منظور از جذب روندی است که طی آن بتن آب را به درون منافذ و حفرات مویینه می‌کشاند. میزان جذب کل معیاری برای پایایی بتن محسوب می‌شود. این آزمایش مطابق استاندارد ASTM C642 انجام شده و نتایج آن در نمودار (۲) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان جذب آب کلیه‌ی نمونه‌های حاوی پوزولان کم‌تر از نمونه‌ی شاهد می‌باشد. نمونه‌های حاوی میکروسیلیس در هر سه درصد جایگزینی مقادیر جذب آب یکسانی را نشان می‌دهند. در بین نمونه‌های حاوی متاکائولن نیز نمونه‌ی ۵MK مقدار جذب آب کمتری را نسبت به درصد‌های دیگر جایگزینی دارد. مقایسه‌ی درصد‌های جایگزینی مشابه ۵ و ۱۰ درصد با اختلاف ناچیز ۲ درصد نشان از میزان جذب آب تقریباً یکسان نمونه‌های ۵MK، ۵SF و ۱۰MK، ۱۰SF دارد. دلیل عدم تاثیرگذاری درصد‌های بیش‌تر جایگزینی پوزولان‌های میکروسیلیس و متاکائولن می‌تواند مربوط به عمل‌آوری کوتاه مدت باشد که پوزولان‌ها امکان تاثیرگذاری و انجام کامل عمل هیدراتاسیون را در کوتاه مدت نداشته‌اند.

آزمایش تعیین حجم حفرات: نفوذ پذیری یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت و پایایی بتن می‌باشد که رابطه‌ی مستقیمی با تخلخل دارد. بنابراین بررسی حجم حفرات بتن اهمیت خاصی دارد. در این تحقیق حجم حفرات نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM C642 تعیین شده است. نتایج این آزمایش در نمودار (۳) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود حجم حفرات نمونه‌ی شاهد نسبت به دیگر نمونه‌های حاوی پوزولان بیشترین مقدار را دارد. نمونه‌ی ۵SF در بین نمونه‌های حاوی میکروسیلیس بیش‌ترین حجم حفرات را دارد. در حالی که در بین نمونه‌های حاوی متاکائولن با افزایش درصد جایگزینی متاکائولن حجم حفرات بتن کاهش می‌یابد به طوری که نمونه‌ی ۱۵MK با ۲۲ درصد کاهش نسبت به نمونه‌ی شاهد دارای کمترین میزان حجم حفرات می‌باشد. در هر دو درصد جایگزینی مشابه



تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

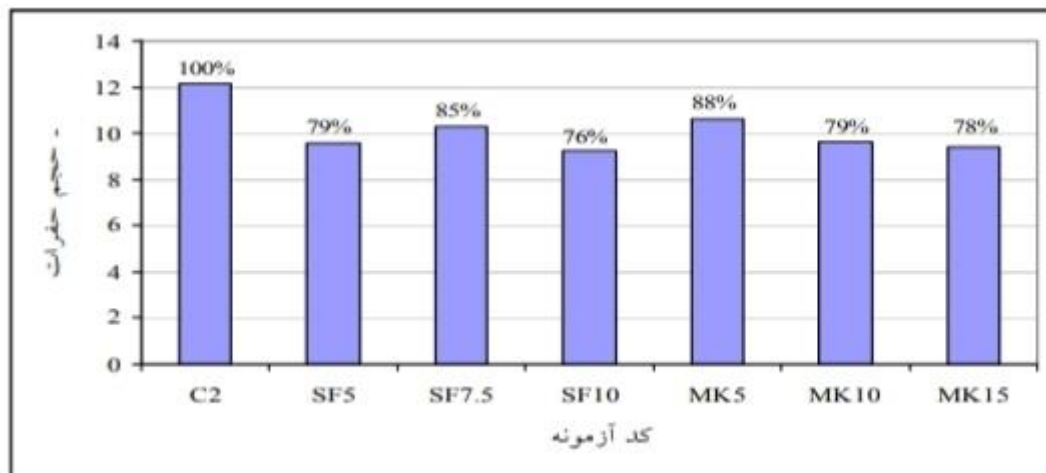
دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2ND

NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

۱۰۵ درصد نیز آزمون‌های حاوی میکروسیلیس به ترتیب با ۳ و ۹ درصد کاهش نسبت به درصد مشابه آزمون‌های حاوی متاکائولن حجم حفرات کمتری را دارا هستند.

آزمایش جذب آب مویینه: جذب آب مویینه نیز یکی از پارامترهای مهم ارزیابی دوام بتن می باشد. این آزمایش بر اساس استاندارد CPC-RILEM-۱۱,۲ انجام شده است و نتایج آن در نمودار (۴) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود آزمون‌های شاهد بیشترین مقدار جذب آب مویینه را در بین طرح‌های اختلاط مختلف دارا می باشد. آزمون‌های SF ۷,۵ با ۱۲ درصد کاهش نسبت به آزمون‌های حاوی میکروسیلیس دارای جذب آب مویینه بیشتری می باشد. جذب آب مویینه آزمون‌های حاوی متاکائولن نیز با افزایش درصد جایگزینی کاهش می یابد به طوری که آزمون‌های MK ۱۵ با ۴۰ درصد کاهش نسبت به آزمون‌های شاهد دارای کمترین میزان جذب آب مویینه می باشد. در درصد جایگزینی مشابه ۵ درصد با اختلاف ناچیز ۲ درصد آزمون‌های حاوی هر دو پوزولان جذب آب مویینه تقریباً یکسانی داشته اند. ولی در درصد جایگزین‌های مشابه ۱۰ درصد آزمون‌های MK ۱۰ با ۲۱ درصد کاهش نسبت به آزمون‌های SF ۱۰ مقدار جذب آب مویینه کمتری داشته باشد.



نمودار ۳ نتایج تعیین حجم حفرات طرح‌های اختلاط مختلف

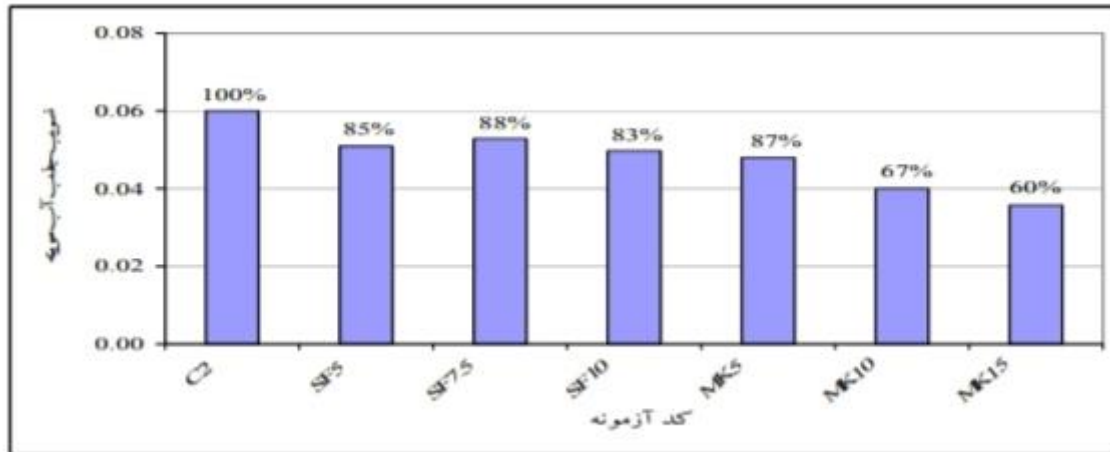


تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2ND

NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING



نمودار ۴ نتایج تعیین جذب آب مویینه طرح‌های اختلاط مختلف

آزمایش مقاومت الکتریکی: آزمایش مقاومت الکتریکی در این تحقیق بر اساس روش Impedance Spectroscopy انجام شده است (شکل ۱). نمودار (۵) بیانگر نتایج مقاومت ویژه ی الکتریکی طرح های مختلف در سنین ۲۸ و ۳۶۵ روز می باشد. همان طور که مشاهده می شود مقاومت ویژه ی الکتریکی کلیه ی طرح های اختلاط حاوی پوزولان در هر دو سن بیشتر از نمونه ی شاهد می باشد. در نمونه های حاوی پوزولان نیز با افزایش درصد جایگزینی پوزولان مقدار مقاومت ویژه ی الکتریکی نیز در هر دو سن افزایش می یابد به طوری که نمونه های SF ۱۰ و MK ۱۵ به ترتیب در بین طرح های حاوی میکروسیلیس و متاکائولن دارای بیشترین مقاومت الکتریکی می باشند. نکته ی قابل توجه این است که در سن ۲۸ روزه کلیه ی طرح های حاوی میکروسیلیس مقاومت الکتریکی بیشتری نسبت به طرح های متاکائولن دارند در صورتی که در سن ۳۶۵ روز این روند برعکس می شود و طرح های حاوی متاکائولن مقاومت الکتریکی بیشتری دارند. بنابراین مشاهده می شود که نرخ افزایش مقاومت ویژه ی الکتریکی از سن ۲۸ به ۳۶۵ روز در نمونه های حاوی متاکائولن بیشتر از نمونه های حاوی میکروسیلیس می باشد.

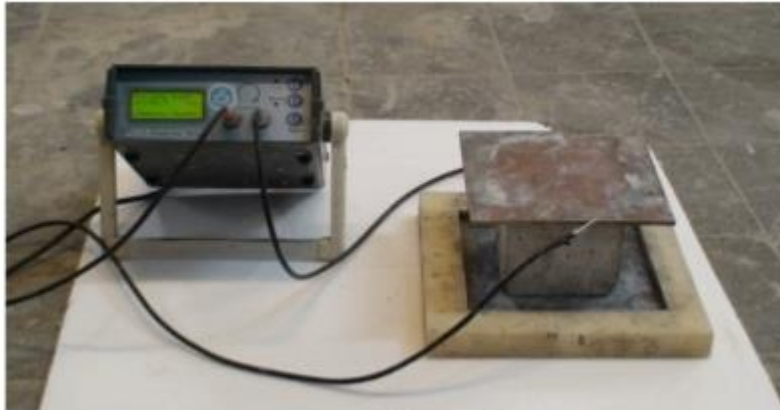


تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

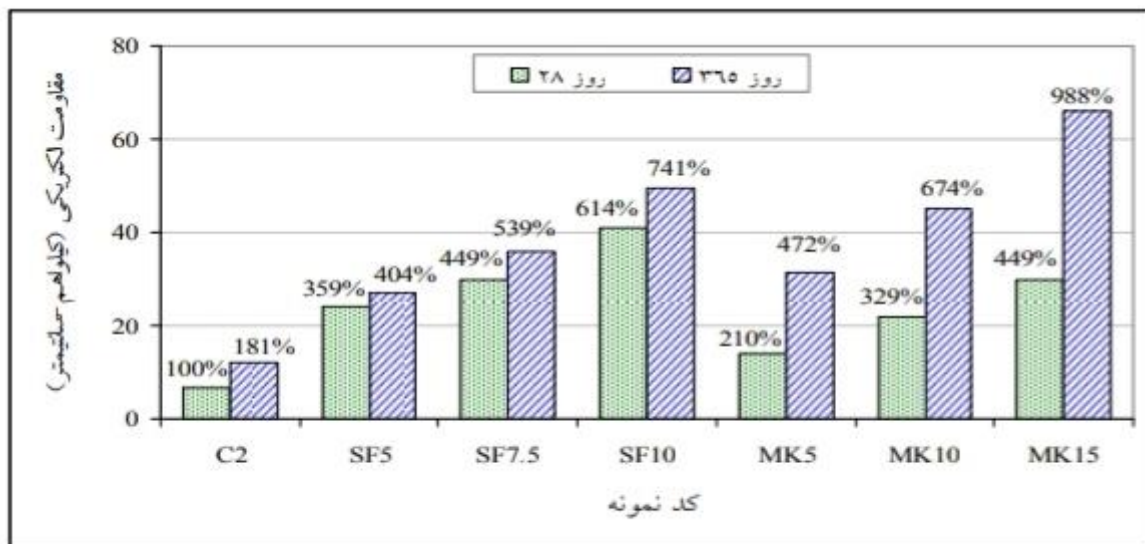
دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2ND

NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING



شکل ۱ دستگاه اندازه گیری مقاومت الکتریکی



نمودار ۵ نتایج مقاومت الکتریکی طرح های اختلاط مختلف

۶- نتیجه گیری

در مجموع براساس آزمایش های انجام شده در قالب تحقیق حاضر عملکرد نمونه های حاوی پوزولان بهتر از نمونه ی شاهد بوده است. دلیل این عملکرد انجام واکنش های ثانویه ی پوزولان های مصرفی $OH(Ca)$ (۲) و تولید $H-S-C$ است که موجب متراکم تر شدن ریزساختار بتن و کاهش تخلخل و نفوذپذیری بتن می شود و نتیجه ی آن بهبود خصوصیات مکانیکی و دوام بتن می باشد.

استفاده از میکروسیلیس باعث کاهش میزان قلیائیت بتن شده و با مصرف هیدروکسید کلسیم بتن بویژه در صورت جایگزینی بجای سیمان می تواند سرعت کربناته شدن بتن را افزایش دهد.



تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2

2ND NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

نتایج آزمایش های جذب آب و تعیین حجم حفرات نشان می دهد که نمونه های حاوی متاکائولن و میکروسیلیس عملکرد تقریباً یکسانی داشته اند. در صورتی که نتایج آزمایش جذب مویینه نشان از عملکرد بهتر نمونه های حاوی متاکائولن در مقایسه با میکروسیلیس به خصوص در درصد جایگزینی های ۱۰ و ۱۵ درصد دارد.

در بحث مقاومت الکتریکی نمونه های حاوی میکروسیلیس در کوتاه مدت عملکرد بهتری نسبت به متاکائولن داشته اند در صورتی که عملکرد بلند مدت نشان از افزایش قابل ملاحظه ی مقاومت الکتریکی نسبت به سن ۲۸ روز دارد و درمقایسه با میکروسیلیس هم عملکرد بهتری داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده درصد جایگزینی بهینه برای میکروسیلیس ۷/۵ تا ۱۰ درصد و برای متاکائولن ۱۰ تا ۱۵ درصد می باشد.

مراجع

شکرچی زاده، محمد، ساداتی، حامد، قاسم زاده، فرنام، "بررسی اثر میکروسیلیس بر کرناتاسیون سازه های بتن مسلح"، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت ها، آبان ماه ۱۳۸۸

باقری، قاسم، یعقوبیان، سمانه، خلیلیان پور، امیرحسین، "بررسی دوامی بتن های حاوی متاکائولن در مقابل پدیده کرناتاسیون"، همایش بین المللی معماری، عمران و شهرسازی، تهران- تیرماه ۹۴

شکرچی زاده، محمد، ولی پور، مهدی، پرگر، فرهاد، "بررسی خواص انتقال در بتن های توانمند حاوی پوزولان متاکائولن درمقایسه با میکروسیلیس"، نشریه مهندسی عمران فردوسی، سال بیست و پنجم، شماره یک، ۱۳۹۲