مطالعه‌ی آزمایشگاهی تأثیر فرآورده‌های میکروسیلیس بر روی خواص بتن سخت شده

احمد ملکی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران
فردین اسماعیلی، کارشناس ارشد عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران
پست الکترونیک:
maleki_civil@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۳/۱۸

چکیده:

امروزه بتن به عنوان یکی از پرمصرفترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. میکروسیلیس و فرآورده‌های آن در حال حاضر به عنوان یکی از بهترین مواد افزودنی معدنی بتن شناخته می شود. میکرو سیلیس عمدتاً برای بهبود خواص بتن سخت شده به کار می‌رود. اگرچه تاکنون آزمایش‌های گوناگونی در مورد این موضوع انجام گرفته است ولی این مقاله در نظر دارد تأثیر دیگر فراورده‌های سیلیس را بر روی خواص بتن سخت شده بررسی کند که شامل مقاومت فشاری، نفوذپذیری و ذوب-یخبندان بتن سخت شده می‌باشد. در این راستا سه نسبت اختلاطی در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفته است: نسبت اول بدون مواد افزودنی و با عیار ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب سیمان، نسبت اختلاط دوم با وجود ۱۰ درصد پودر میکروسیلیس و یک درصد فوق روان کننده و نسبت اختلاط سوم با ۱۰ درصد میکروژل. براساس کار آزمایشگاهی انجام یافته در این پژوهش و با جمع بندی نتایج خواص بتن سخت شده می‌توان بیان کرد، استفاده از پودر و ژل میکروسیلیس مقدار مقاومت فشاری را به ترتیب ۳۷,۵ و ۵۶ درصد افزایش داد. میزان نفوذ آب در مقایسه با نسبت اول، در نسبت دوم ۵۰ درصد افزایش یافته و در نسبت سوم ۲۵ درصد کاهش یافته است. نتایج نشان دهنده‌ی مطلوب بودن تأثیرات دراز مدت ژل میکروسیلیس بر کیفیت بتن سخت شده از جمله دوام آن است. در حالیکه پودر میکروسیلیس، تأثیر نامطلوبی بر میزان نفوذپذیری و ذوب-یخبندان بتن داشت.

کلیدواژگان: بتن، میکروسیلیس، نفوذپذیری، ذوب-یخبندان سریع.

۱- مقدمه:

در سال‌های اخیر استفاده از میکروسیلیس و محصولات ارائه شده‌ی آن توسط شرکت‌های تولید کننده‌ی مواد شیمیایی ساختمان، پیشرفت روز افزونی در پروژه‌های عمرانی داشتند. در هر پروژه با توجه به اهداف مورد نیاز نظیر مقاومت فشاری بالا و یا دستیابی به بتن نفوذناپذیر و مقاوم در برابر یخزدگی، همچنین روانی و دمای بتن تازه، مقادیر متفاوتی از میکروسیلیس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

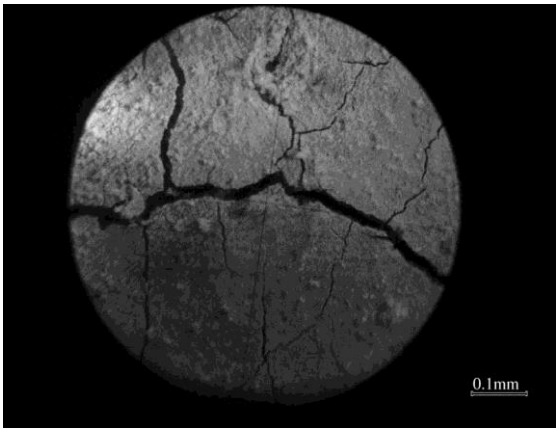
در ادامه این تحقیق بررسی نحوه‌ی تأثیر استفاده از میکروسیلیس به صورت پودر و یا به شکل محصولات مختلف ارائه شده، پودر، دوغاب و یا ژل میکروسیلیس، با مقایسه پارامترهایی نظیر آزمایش اسلامپ و درصد هوا انجام شده است. برای بررسی این موضوع با تعریف بتن شاهد بدون هرگونه افزودنی و بتن‌های نمونه با بکارگیری پودر میکروسیلیس و یا محصولات آن، پارامترهای عنوان شده در بالا که دارای خلا تحقیقاتی می‌باشند مورد مقایسه قرار گیرند. بنابراین، مطالعه‌ی آزمایشگاهی تأثیر

فرآورده‌های مختلف سیلیس بر روی خواص بتن سخت‌شده و دستیابی به بهترین گزینه در بین افزودنی‌های متفاوت میکروسیلیس بعنوان هدف اصلی این مقاله می‌باشد.

تحقیقات پیشین

در تحقیقی، تأثیر میکروسیلیس و پودر سنگ آهک بر مقاومت فشاری بتن با مقاومت بالا مورد بررسی قرار گرفته است. در فاز آزمایشگاهی این تحقیق، ۸۱ نمونهٔ مکعبی به ابعاد ۷۰*۷۰*۷۰ میلی‌متر با ۲۷ طرح اختلاط ساخته شد[۱]. در مقاله‌ای دیگر در سال ۱۳۸۳، ابتدا کاربرد میکروسیلیس در بتن حجیم مطرح شده و سپس اشاره‌ای به مزیت‌های کاربرد الیاف فولادی در بتن حجیم شده و در انتها نیز برای اجرای بتن حجیم روش بتن پیش آکنده پیشنهاد گردیده که کاهش هزینه‌ها، رفع مشکل حرارت زائی، ایمنی بیشتر و افزایش کیفیت بتن حاصله به همراه سهولت اجرا، از مزایای این روش بتن‌ریزی می‌باشد [۲].

آقای خزائنی و همکارانش در سال ۱۳۹۱در مقاله‌ای تأثیر افزایش دمای اولیه بر نفوذ یون کلر و ریز ساختار بتن‌های حاوی میکرو سیلیس را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌های خوردگی نشان داد که در دمای بالا مقاومت بتن در برابر خوردگی کاهش یافته و نفوذ یون کلر افزایش پیدا می‌کند. در حالیکه با افزوده شدن میکروسیلیس به طرح، مقاومت الکتریکی افزایش و نفوذ یون کلر در نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند[۳]. در تحقیق دیگری، مشخصه‌های ترک بتن سبک سازه‌ای حاوی میکروسیلیس بصورت آزمایشگاهی و آماری بررسی شده است که در معرض دمای بالا قرار گرفته بودند. بعد از گرم کردن آنها به ترتیب با دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، مقاومت فشاری آنها مشخص شده است. بر اساس تحلیل و آزمایش نمونه‌ها، شدت دما بعنوان پارامتر مؤثر بر روی مقاومت فشاری و مشخصه‌های ترک مشخص شد. در شکل ۱ الگوی ترک یکی از نمونه‌های آزمایش شده در این تحقیق نشان داده شده است [۴].



شکل ۱– مدل ترک بتن (LW 400 S30) در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد [۴]

تهیه و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

در این قسمت ابتدا تهیه و ساخت نمونه‌های آزمایش و ۳ نسبت مورد مطالعه شرح داده شده سپس نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی خواص بتن سخت شده به طور مجزا شرح داده شده است. با توجه به مشخصات و انتظاراتی که وجود دارد، مصالح سنگی با نسبت‌های اختلاط مندرج در جدول ۱، در تهیه‌ی بتن، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بر همین اساس مخلوطهای آزمایشی با توجه به مقادیر وزنی مواد متشکله‌ی بتن که با توجه به محاسبات طرح به دست آمده‌اند [۵]، تهیه و به منظور انجام آزمایش‌های لازم، نمونه‌گیری از مخلوط بتن تازه به تعداد کافی انجام گردید. در ساخت نسبت دوم از ده درصد پودر میکروسیلیس به همراه یک درصد فوق روان کننده و در نسبت سوم از ده درصد ژل میکروسیلیس استفاده شده است. ضمناً وزن های مصالح تشکیل دهنده در یک متر معکب بتن در جدول شماره ۲ ارائه گردیده است. اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM C39:2012 انجام شده که شامل: ابعاد، وزن، حجم، سطح و وزن مخصوص بتن سخت شده است. این استاندارد، شکل، ابعاد و رواداری ساخت آزمونه‌های بتنی به شکل مکعب، استوانه و منشور و قالب‌های لازم برای تولید آنها را مشخص می-کند. ابتدا، برای تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن سخت شده در سنین مختلف، مقاومت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بارگذاری هیدرولیکی از نوع دیجیتال تمام اتوماتیک انجام پذیرفته و محدوده سرعت بارگذاری طبق استاندارد ASTM C39:2012 بین ۰/۰۵ ±۲۵۰ مگاپاسکال در ثانیه می‌باشد. در آزمایش نفوذپذیری بتن سخت شده، مقدار عمق و نفوذ آب در بتن بر اساس زمان و فشار معین تحت فشار ۱۰ بار و میزان آب وارد شده اندازه‌گیری می‌شود. در آزمایش ذوب و یخبندان، نمونه‌های تهیه شده طبق روش B استاندارد ASTM C666 و در درون دستگاه سرد کننده به حالت یخ زدگی برده می‌شود و سپس در درون آب گرم قرار می‌گیرند تا مرحله آب شدن را طی کنند. در هر روز به تعداد ۳ چرخه عمل یخ زدگی و ذوب یخ انجام شد. پس از اینکه تعداد چرخه‌های آزمایش به انتها رسید مقدار کاهش وزن نمونه‌ها و افت مقاومت اندازه گیری می‌شود. این آزمایش جزو آزمایش‌های دوام بتن بوده و بر مبنای کاهش مدول دینامیکی در اثر سیکل‌های یخ زدن و آب شدن، فاکتور دوام محاسبه می‌شود.

جدول ۱– نسبت‌های اختلاط کلی مصالح سنگی در طرح

مشخصات نمونه	درصد اختلاط وزنی مصالح سنگی
ماسه	۴۴
شن ریزدانه	۳۹
شن درشت دانه	۱۷

جدول ۲- وزن های مصالح تشکیل‌دهنده $1m^3$ بتن تازه در حالت اشباع مصالح سنگی با سطح خشک (به روش وزنی)

عنوان	شن درشت kg	شن ریز kg	ماسه kg	سیمان تیپ ۲ kg	پودر میکروسیلیس kg	ژل میکروسیلیس kg	فوق روان کننده kg	آب اختلاط kg
نسبت ۱	۳۲۸	۸۷۶	۸۷۶	۳۵۰	---	---	---	۱۷۸
نسبت ۲	۳۲۸	۸۷۶	۸۱۶	۳۵۰	۳۵	---	۳٫۸۵	۱۸۵
نسبت ۳	۳۲۸	۸۷۶	۹۴۵	۳۵۰	---	۳۵	---	۱۳۵

آزمایش های انجام شده بر روی بتن سخت شده

۴-۱- بررسی تاثیر فرآورده‌های میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن سخت شده

متداولترین آزمایش از بین کلیه آزمایشات بتن سخت‌شده، آزمایش مقاومت فشاری می‌باشد. در این بخش برای تعیین مقاومت فشاری، ابتدا بتن تازه در قالب‌های استوانه‌ای همانند شکل ۲ ریخته شده و بعد از عمل آوری آنها در آزمایشگاه، نتایج آزمایش آنها توسط جک فشاری به صورت جدول ۳ لیست شده است، که مقاومت فشاری نسبت دوم در حدود ۳۷٫۵ درصد و نسبت سوم در حدود ۵۶ درصد در مقایسه با نسبت اول افزایش یافته است. بنابراین ژل میکروسیلیس بیشتر از پودر آن باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده است.

شکل ۲- نمونه‌برداری از بتن برای آزمایش بتن سخت‌شده

جدول ۳- مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای برای همه نسبت‌ها

عنوان	میانگین مقاومت فشاری سه نمونه ۲۸ روزه استوانه‌ای ۳۰×۱۵ سانتی-متری بر حسب kg/cm^2	نسبت آب به سیمان
نسبت اول	۲۹۳	۰٫۵۱
نسبت دوم	۴۰۳	۰٫۴۸
نسبت سوم	۴۵۷	۰٫۳۵

۴-۲- بررسی تاثیر فرآورده‌های میکروسیلیس بر نفوذ پذیری بتن سخت شده

در این قسمت، آزمایش نفوذپذیری تحت فشار آب (شکل۳) مطابق استاندارد CRD C48 برای نمونه‌های ساخته شده با نسبت‌های اختلاط انجام شده که نتایج حاصله در جدول ۴ آمده است. با توجه به جدول ۴ مشهود است که استفاده از پودر میکروسیلیس در اختلاط بتن، میزان نفوذ آب را نسبت به حالت بدون مواد افزودنی در حدود ۲ میلی‌متر یا ۵۰ درصد افزایش داده در حالیکه با استفاده از ژل میکروسیلیس میزان نفوذ آب به مقدار ۱ میلی‌متر یا ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین ژل میکروسیلیس تاثیر مناسبی بر روی میزان نفوذ آب دارد.

جدول ۴- نتایج آزمون نفوذپذیری بتن طبق استاندارد CRD-C48

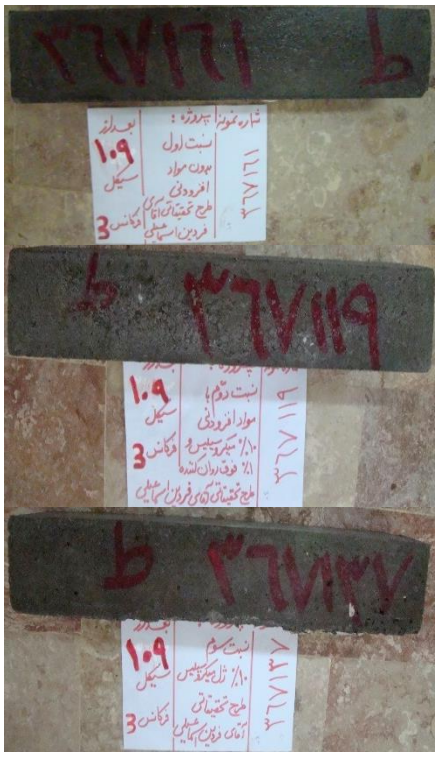
ردیف	مشخصات نمونه	فشار آب وارد بر نمونه (bar)	زمان تحت بار نمونه (روز)	میزان نفوذ آب(mm)
۱	نسبت اول	۷	۷	۴
۲	نسبت دوم	۷	۷	۶
۳	نسبت سوم	۷	۷	۳

۴-۳- بررسی تاثیر فرآورده‌های میکروسیلیس بر مقاومت بتن در برابر ذوب و یخبندان

در این آزمایش، نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM C666 و در درون دستگاه سرد کننده به حالت یخزدگی برده می‌شود و سپس در درون آب گرم قرار می‌گیرند تا مرحله‌ی آب شدن را طی کنند. پس از اینکه تعداد چرخه‌های آزمایش به انتها رسید مقدار کاهش وزن نمونه‌ها و افت مقاومت اندازه گیری می‌شود. مقایسه‌ای بین هر سه نسبت در ۱۰ فرکانس برای سیکل‌های صفر، ۳۶، ۷۳، ۱۰۹، ۱۴۶، ۱۸۲، ۲۱۷، ۲۵۲، ۲۸۷ و ۳۰۰ انجام شده که در شکل‌های ۳ تا ۶ نمونه‌های بتنی به ترتیب در سیکل‌های صفر، ۱۰۹، ۲۱۷ و ۳۰۰ نشان داده شده و سپس در جداول ۵ تا ۷ و منحنی‌های ۷ تا ۹ نتایج آزمایش تعیین مقاومت بتن در برابر ذوب و یخبندان در سیکل‌ها لیست شده است.

شکل ۳– نمونه بعد از صفر سیکل در نسبت‌های اول، دوم و سوم

شکل ۵– نمونه بعد از ۲۱۷ سیکل در نسبت‌های اول، دوم و سوم



شکل ۴– نمونه بعد از ۱۰۹ سیکل در نسبت‌های اول، دوم و سوم

شکل ۶– نمونه بعد از ۳۰۰ سیکل در نسبت‌های اول، دوم و سوم

با توجه به شکل‌های ۳ تا ۹ و جدول‌های ۳ تا ۵ می‌توان گفت، فرکانس اولیه در نسبت‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۴۸۲۰، ۳۰۸۲ و ۴۸۷۰ می‌باشد و فرکانس آنها در سیکل نهایی برابر ۴۰۹۰، ۲۲۰۱ و ۴۴۶۳ می‌باشد که به ترتیب در حدود ۱۷،۸، ۴۰ و ۹ درصد نسبت به فرکانس اولیه کاهش یافتند. بنابراین استفاده از پودر میکروسیلیس تأثیر نامطلوبی بر روی فرکانس بتن سخت شده‌ی قرار گرفته در برابر ذوب و یخبندان دارد. از طرف دیگر، در اختلاطی که از ژل میکروسیلیس استفاده شده، مقدار فرکانس در سیکل نهایی تنها ۹ درصد کاهش یافته که این نشانگر تأثیر مثبت ژل میکروسیلیس بر فرکانس بتن است. همچنین در طی سیکل‌های ذوب و یخبندان، ظاهر نمونه در نسبت دوم، در مقایسه با دو نسبت دیگر، زودتر دچار ریزش لبه‌ها شده و در نهایت در لبه‌های آن افتادگی، پریدگی و زبری رخ داده است.

در حالت کلی، مهمترین پارامتر مورد بررسی در این آزمایش، مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی P_n می‌باشد که مقدار آن در سیکل ۳۶ برای نسبت‌های اول، دوم و سوم به ترتیب برابر ۹۹، ۹۸ و ۹۹ و در سیکل ۳۰۰ برابر ۷۲، ۵۱ و ۸۴ می‌باشد که به ترتیب در حدود ۲۷، ۴۸ و ۱۵ درصد کاهش یافته‌اند. بنابراین استفاده از پودر میکروسیلیس در بتن باعث کاهش مدول استاتیکی دینامیکی نسبی و ژل میکروسیلیس باعث افزایش آن می‌گردد.

جدول ۵- نتایج آزمایش تعیین مقاومت بتن در برابر ذوب و یخبندان در نسبت اول با فرکانس اولی ۴۸۲۰

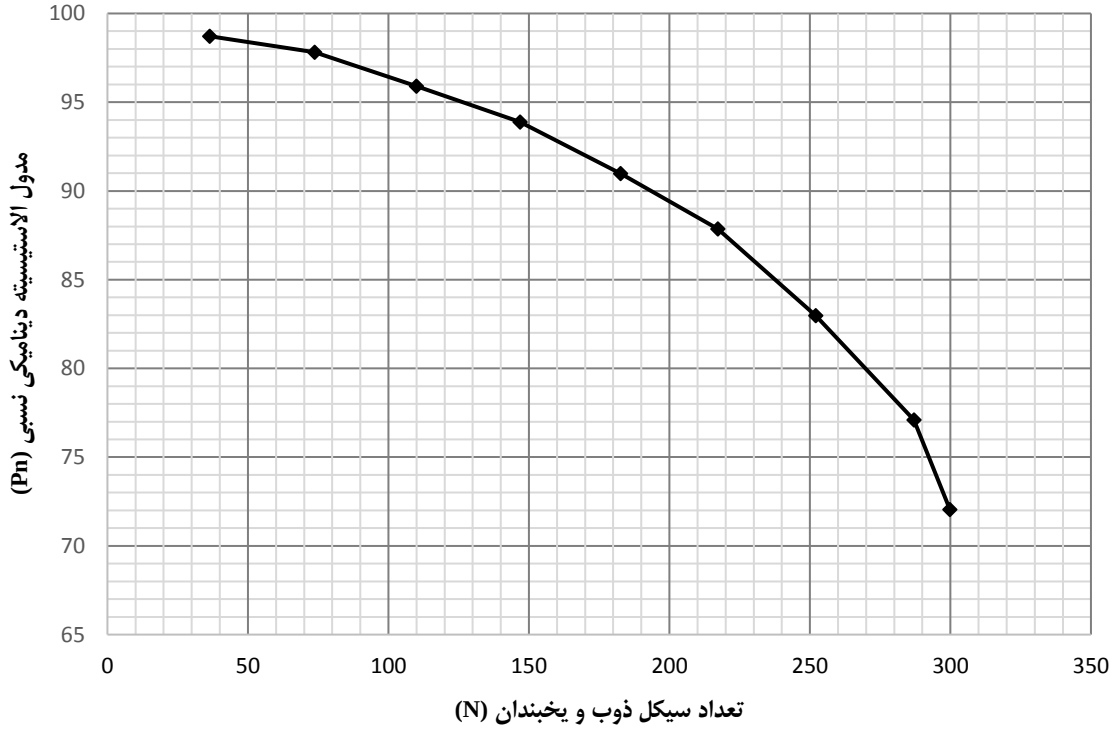
تعداد سیکل ذوب		فرکانس اصلی بعد از n سیکل	وزن نمونه (gr)	ابعاد نمونه بعد از آزمایش			Pn	تشریح ظاهری نمونه
				طول(cm)	عرض(cm)	ارتفاع(cm)		
۳۶		۴۷۹۵	۷۷۷۸	۴۰/۴	۱۰/۲	۷/۸	۹۹	سالم
۷۳		۴۷۷۱	۷۷۷۵	۴۰/۴	۱۰/۲	۷/۸	۹۸	سالم
۱۰۹		۴۷۲۳	۷۷۷۰	۴۰/۴	۱۰/۲	۷/۸	۹۶	سالم
۱۴۶		۴۶۷۳	۷۷۶۴	۴۰/۴	۱۰/۲	۷/۸	۹۴	سالم
۱۸۲		۴۵۹۸	۷۷۵۱	۴۰/۳	۱۰/۱	۷/۸	۹۱	نسبتا سالم
۲۱۷		۴۵۲۱	۷۷۳۴	۴۰/۳	۱۰/۱	۷/۷	۸۸	نسبتاً سالم، کمی ریزش در لبه نمونه
۲۵۲		۴۳۹۲	۷۷۰۹	۴۰/۳	۱۰/۱	۷/۷	۸۳	نسبتاً سالم، کمی ریزش در لبه نمونه
۲۸۷		۴۲۳۰	۷۶۹۰	۴۰/۲	۱۰/۰	۷/۷	۷۷	نسبتاً سالم، کمی ریزش در لبه نمونه
۳۰۰		۴۰۹۰	۷۶۶۴	۴۰/۱	۱۰/۰	۷/۷	۷۲	ریزش در سطح و لبه نمونه

جدول ۶- نتایج آزمایش تعیین مقاومت بتن در برابر ذوب و یخبندان در نسبت دوم با فرکانس اولی ۳۰۸۲

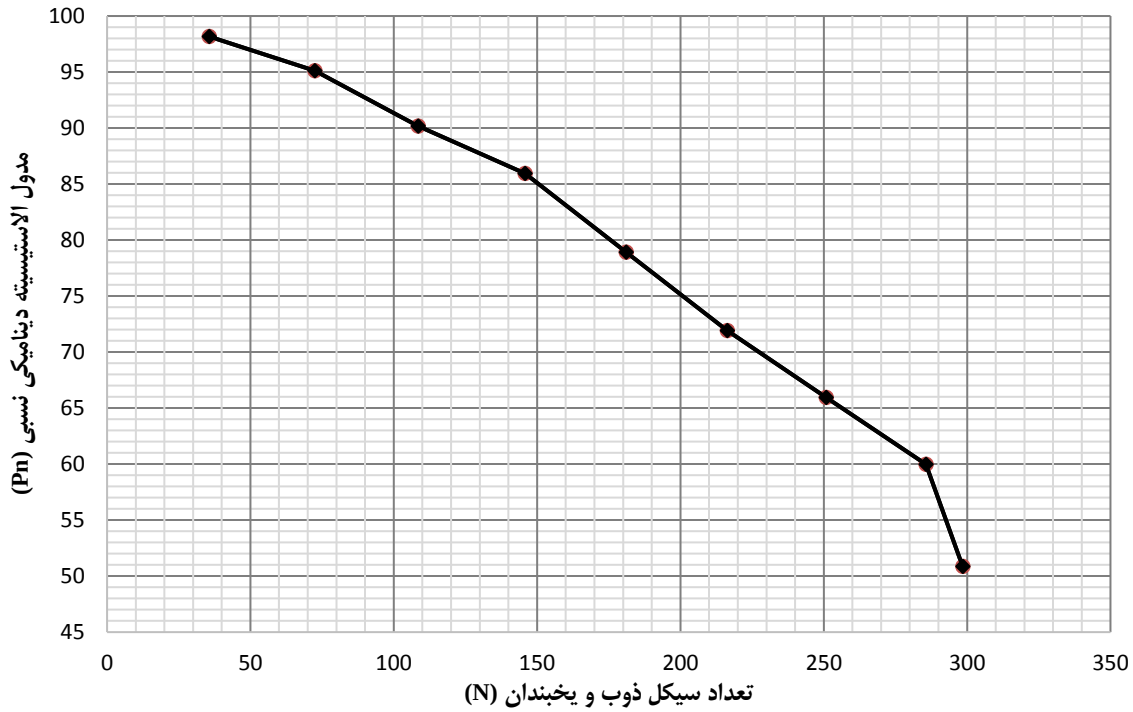
تعداد سیکل ذوب	فرکانس اصلی بعد از n سیکل	وزن نمونه (gr)	ابعاد نمونه بعد از آزمایش			Pn	تشریح ظاهری نمونه
			طول(cm)	عرض(cm)	ارتفاع(cm)		
۳۶	۳۰۵۱	۷۴۴۴	۴۰/۴	۱۰/۲	۷/۶	۹۸	سالم
۷۳	۳۰۰۴	۷۴۳۴	۴۰/۴	۱۰/۲	۷/۶	۹۵	نسبتاً سالم، کمی ریزش در سطح نمونه
۱۰۹	۲۹۲۴	۷۴۲۱	۴۰/۴	۹/۹	۷/۶	۹۰	نسبتاً سالم، کمی ریزش در سطح نمونه
۱۴۶	۲۸۵۸	۷۴۰۶	۴۰/۴	۹/۹	۷/۶	۸۶	نسبتاً سالم، کمی ریزش در سطح نمونه
۱۸۲	۲۷۳۹	۷۳۸۰	۴۰/۴	۹/۹	۷/۶	۷۹	ریزش در سطح و لبه نمونه
۲۱۷	۲۶۱۵	۷۳۴۱	۴۰/۳	۹/۸	۷/۵	۷۲	ریزش در سطح و لبه نمونه
۲۵۲	۲۵۰۴	۷۲۹۴	۴۰/۲	۹/۸	۷/۵	۶۶	افتادگی و پریدگی دانه ها در لبه نمونه
۲۸۷	۲۳۸۷	۷۲۲۱	۴۰/۱	۹/۷	۷/۴	۶۰	سطح نمونه کاملاً پوسته و زبر شده
۳۰۰	۲۲۰۱	۷۱۴۰	۳۹/۹	۹/۵	۷/۲	۵۱	سطح نمونه کاملاً پوسته و زبر شده

جدول ۷- نتایج آزمایش تعیین مقاومت بتن در برابر ذوب و یخبندان در نسبت سوم با فرکانس اولی ۴۸۷۰

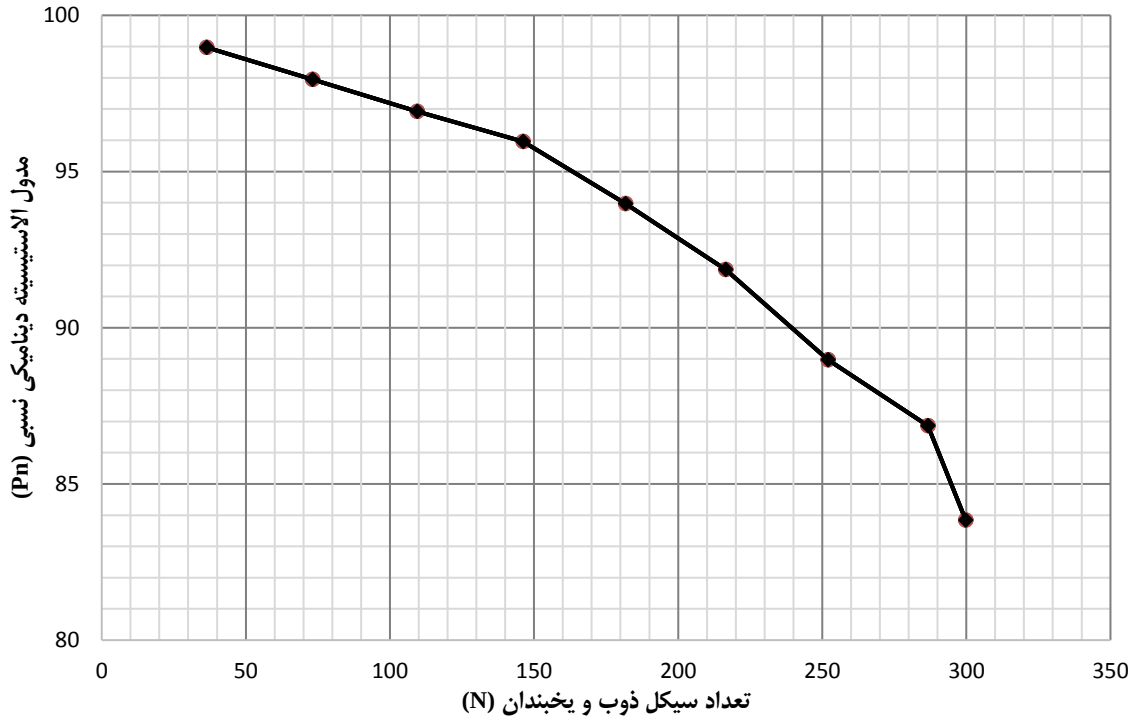
تعداد سیکل ذوب	فرکانس اصلی بعد از n سیکل	وزن نمونه (gr)	ابعاد نمونه بعد از آزمایش			Pn	تشریح ظاهری نمونه
			طول(cm)	عرض(cm)	ارتفاع(cm)		
۳۶	۴۸۴۵	۸۲۹۰	۴۰/۴	۱۰/۴	۷/۹	۹۹	سالم
۷۳	۴۸۲۱	۸۲۸۷	۴۰/۴	۱۰/۴	۷/۹	۹۸	سالم
۱۰۹	۴۷۹۶	۸۲۸۴	۴۰/۴	۱۰/۴	۷/۹	۹۷	سالم
۱۴۶	۴۷۷۲	۸۲۸۰	۴۰/۴	۱۰/۴	۷/۹	۹۶	سالم
۱۸۲	۴۷۲۲	۸۲۷۵	۴۰/۴	۱۰/۴	۷/۹	۹۴	سالم
۲۱۷	۴۶۷۱	۸۲۶۷	۴۰/۴	۱۰/۳	۷/۹	۹۲	نسبتاً سالم
۲۵۲	۴۵۹۴	۸۲۵۱	۴۰/۳	۱۰/۳	۷/۹	۸۹	نسبتاً سالم
۲۸۷	۴۵۴۲	۸۲۳۰	۴۰/۳	۱۰/۳	۷/۹	۸۷	نسبتاً سالم، کمی ریزش در لبه نمونه
۳۰۰	۴۴۶۳	۸۲۰۶	۴۰/۳	۱۰/۳	۷/۹	۸۴	نسبتاً سالم، کمی ریزش در لبه نمونه



شکل ۸- نمودار تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی با سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن در نسبت اول



شکل ۹– نمودار تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی با سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن در نسبت دوم



شکل ۱۰– نمودار تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی با سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن در نسبت سوم

نتیجه‌گیری

۱- استفاده از فرآورده‌های میکروسیلیس به طور قابل توجهی مقدار مقاومت فشاری بتن سخت شده را افزایش می‌دهد، بطوریکه استفاده از پودر و ژل میکروسیلیس مقدار مقاومت فشاری را به ترتیب ۳۷,۵ و ۵۶ درصد افزایش می‌دهد.

۲- نفوذپذیری بتن یکی از خواص مهم بتن در رابطه با دوام بتن است، که این خاصیت، تسهیلاتی را فراهم می‌کند که آب یا سیالات دیگر بتوانند از میان بتن جریان پیدا کرده و مواد مضر و آسیب رسان را با خود به درون بتن حمل نمایند. بطوریکه نفوذپذیری ویژگی ریزساختاری بتن است که میزان قابلیت بتن را برای عبور سیالی با ویسکوزیته مشخص تحت گرادیان فشار نشان می‌دهد. میزان نفوذ آب در نسبت دوم ۵۰ درصد افزایش یافته و در نسبت سوم ۲۵ درصد کاهش یافته است. باتوجه به اینکه غیرقابل نفوذ بودن بتن مورد توجه می‌باشد بنابراین نسبت سوم بهترین مورد در بین سه نسبت اختلاط می‌باشد.

۳- با توجه به نتایج آزمایش ذوب و یخبندان بتن سخت شده و روند کسب آنها در ۱۰ فرکانس و ۳۰۰ سیکل، در نسبت‌های اختلاطی اول تا سوم، فرکانس اولیه نسبت به فرکانس نهایی به ترتیب در حدود ۱۷,۸، ۴۰ و ۹ درصد کاهش یافته است. از طرف دیگر، در طی سیکل‌های ذوب و یخبندان، ظاهر نمونه در نسبت دوم، در مقایسه با دو نسبت دیگر، زودتر دچار ریزش لبه‌ها شده و در نهایت در لبه‌های آن افتادگی، پریدگی و زبری رخ داده است. همچنین، مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی Pn در نسبت‌های اول، دوم و سوم به ترتیب در حدود ۲۷، ۴۸ و ۱۵ درصد کاهش یافته‌اند. بنابراین، با توجه به نتایج مدول الستیسته دینامیکی نسبی، می‌توان اظهار داشت که تأثیرات ژل میکروسیلیس بر کیفیت بتن ازجمله دوام آن بسیار مثبت بوده در حالیکه تأثیرات پودر میکوسیلیس معکوس بوده است.

۴- در کل، نتایج فوق نشان دهنده‌ی مطلوب بودن تأثیرات دراز مدت ژل میکروسیلیس بر کیفیت بتن سخت شده از جمله دوام آن است. در حالیکه استفاده از پودر میکروسیلیس، مقاومت فشاری بتن سخت شده را افزایش داد اما تأثیر نامطلوبی بر میزان نفوذپذیری و ذوب یخبندان آن داشت.

۵- مصرف پودر میکروسیلیس علاوه بر معضلات زیست محیطی و سلامتی و انبارداری و نحوه‌ی استفاده آن، بعلت مخلوط نشدن کامل بصورت کلوخه در بتن باقی مانده و منجر به کاهش کیفیت بتن می‌شود. پخش شدگی مؤثر میکروسیلیس در بتن یکی از نکات بسیار مهم استفاده از این افزودنی می‌باشد به طوری که بازده این محصول را نسبت به پودر میکروسیلیس افزایش می‌دهد. بهمین دلیل توصیه می‌شود مصرف میکروسیلیس بصورت ژل باشد.

مراجع:

[۱]. مستوفی‌نژاد، داود، رئیسی، محمد، "بررسی تأثیر میکروسیلیس و پودر سنگ آهک بر مقاومت فشاری بتن با مقاومت بالا به روش منحنی‌های هم پاسخ"، اولین کنگره مهندسی ملی عمران، ۲۲-۲۳ اردیبهشت، ۱۳۸۳، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

[۲]. اسماعیلی، علیرضا، "کاربرد میکروسیلیس و الیاف فولادی در بتن حجیم و روش اجراء آن (سد و مخازن بتنی و...)"، یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ۱-۴ دی‌ماه، ۱۳۸۳، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان.

[۳]. خزائنی، گرشاسب، خانزادی، مصطفی، فصحتی، علی، "تأثیر افزایش دمای اولیه بر دوام بتن های حاوی میکروسیلیس– مقاومت بتن در برابر خوردگی"، مجله عمران مدرس، دوره دوازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۱.

[4]. Tanyildizi, H, (2013), “Variance analysis of crack characteristics of structural lightweight concrete containing silica fume exposed to high temperature”, Construction and Building Materials, Vol. 47, pp. 1154–1159.

[5]. ASTM C125, "Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates”, American Society for Testing and Materials, 2007, 5 pages.

An Experimental Study of the Effects of Silica Fume Products on Properties of Hardened Concrete

Ahmad Maleki
Assistant Professor, Department of Civil Engineerin, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
Fardin Esmaeili
Master of Science in Civil Engineering- Structure, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maraghe Iran

Abstract:

Today, concrete is known as one of the most used building materials in the world. Silica fume and its products are now known as one of the best mineral additives in concrete. Silica fume is mainly used to improve the properties of hardened concrete so when using Silica fume concrete properties after hardening usually more significant. But although various experiments have been conducted on the subject. But this thesis is considering other products of silica impact on the hardened concrete properties have been investigated, including compressive strength, permeability and Thawing -freezing of hardened concrete. Three mixing ratio is tested in the laboratory: 1- without additives and 350 kg per cubic meter of cement, 2- with 10% Silica fume powder and one percentage lubricant, 3- with 10% of the micro gel. Based on lab work conducted in the research and the gathering of results can be explained by the properties of hardened concrete, the use of powder and gel of Silica fume increased compressive strength of 37.5 and 56 percent respectively. Water penetration rate, in the second ratio increase 50 percent and in the third ratio decreased 25 percent, compared to the first ratio. The results indicate the desirability of Silica fume gel long-term impact on the quality of hardened concrete including its durability. While the silica fume powder, could adversely affect the permeability and Freezing-Thawing of concrete.

Keywords: Concrete, Silica fume, Permeability, Rapid Freezing-hawing