

تأثیر میکروسیلیس بر گیرش و مقاومت فشاری ملات‌های سیمانی

الیار ظفرخواه^۱، سید فرزانه کاظمی^۱، محمدرضا توکلی‌زاده^۲

۱- دانشجوی کارشناسی عمران-عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیئت علمی گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

fa_ka9@stu-mail.um.ac.ir

خلاصه

در این مقاله تأثیر میکروسیلیس بر روی زمان گیرش و مقاومت فشاری ملات‌های سیمانی بدون استفاده از روان‌کننده برای رسیدن به روانی مطلوب بررسی می‌شود. هدف بررسی ویژگی‌های ملات‌های سیمانی حاوی میکروسیلیس می‌باشد. این پژوهش آزمایشگاهی بر روی ۵ گونه ملات مختلف با نسبت‌های مختلف وزنی میکروسیلیس با روش‌های استاندارد انجام پذیرفت. نتیجه این که با افزایش میکروسیلیس در صورت عدم استفاده از روان‌کننده، مقاومت فشاری و کارایی ملات کاهش یافته و زمان گیرش و غلظت نرمال ملات افزایش می‌یابند.

کلمات کلیدی: ملات سیمان، میکروسیلیس، مقاومت فشاری، میز سیلان، زمان گیرش

مقدمه

سیمان پرتلند یکی از بهترین مواد چسباننده‌ای است که در تولید بتن به کار می‌رود. ملات ماسه-سیمان یکی از رایج‌ترین ملات‌های ساختمانی است، اما گاهی اوقات به منظور بهبود بعضی از ویژگی‌های آن (زمان گیرش، کارایی، جمع‌شدگی، مقاومت، نگهداشت و...) و یا به منظور کاهش مصرف سیمان و در نتیجه کاهش هزینه، مواد افزودنی به سیمان اضافه می‌شوند و یا جایگزین بخشی از سیمان می‌گردند. مقدار و تأثیر مواد افزودنی روی ویژگی‌های ملات می‌بایست به وسیله آزمایش تعیین شوند.

میکروسیلیس یکی از این مواد افزودنی است که به رنگ خاکستری سبزرنگ متمایل به آبی یافت می‌شود و محصولی از عملیات احیای کوارتز ناخالص با زغال‌سنگ در یک کوره قوس الکتریکی در کارخانه تولید آلیاژ سیلیس یا فروسیلیس است. میکروسیلیس به شکل غباری اکسید شده از کوره با دمای 2000°C به هوا برمی‌خیزد. این غبار سرد، متراکم شده و در کیسه‌های پارچه‌ای بزرگ جمع‌آوری می‌شود. میکروسیلیس بسیار ریز بوده و با ذراتی به قطر کوچک‌تر از $1\mu\text{m}$ یافت می‌شود و تقریباً ۱۰۰ برابر کوچک‌تر از سیمان است. [۱]

کاربرد میکروسیلیس در بتن به منظور بهبود بخشیدن به بعضی از خواص بتن می‌باشد. برخی از این خواص عبارتند از: بهبود جداشدگی و آب‌نداختگی، بهبود پرداخت‌پذیری، کاهش خزش و تراوایی و جذب آب، کاهش واکنش قلیایی سنگدانه، افزایش مقاومت در برابر حمله سولفات و... [۱].

پژوهش‌های پیشین

در یک پژوهش که توسط محققین مرکز تحقیق سیمان ایران صورت گرفته، بیان شده است که به علت سطح ویژه بالای میکروسیلیس، با افزایش آن، کارایی ملات سیمان کاهش خواهد یافت. لذا باید برای جبران این کاهش کارایی از روان‌کننده یا فوق روان‌کننده استفاده نمود [۲]. در این وضعیت می‌توان نسبت آب به سیمان را نیز کاهش داد. در نتیجه با افزایش میکروسیلیس عموماً مقاومت فشاری افزایش خواهد یافت.

در پژوهشی که توسط دکتر هرمز فامیلی و دکتر علیرضا باقری با عنوان «بررسی کیفیت دوده‌ی سیلیسی تولید داخل کشور و تعیین میزان تأثیر آن روی خواص بتن تازه و سخت شده» انجام شده است، محققین به این نتایج رسیده‌اند که: «کاربرد دوده‌ی سیلیسی افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار آب مخلوط دارد. این افزایش را می‌توان ۰/۸ لیتر به ازاء هر یک کیلوگرم میکروسیلیس دانست. با افزایش میکروسیلیس در صورت ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان $w/(c+s)$ مقاومت افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.» [۳]

پژوهش کنونی

در تحقیق کنونی، هدف بررسی تأثیر میکروسیلیس بر روی غلظت نرمال، زمان گیرش و مقاومت فشاری ملات سیمان، در صورت عدم استفاده از روان‌کننده است. با توجه به اینکه روانی و زمان گیرش و مقاومت یک ملات با میزان آب مصرفی و مصالح چسباننده در رابطه است، ابتدا روانی متعارف

ملات‌ها با استفاده از استاندارد ASTM تعیین شد. سپس آزمایش‌های گیرش و مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مربوطه انجام پذیرفت.

آزمایش غلظت نرمال (ASTM-C187-86)

این آزمایش برای تعیین مقدار آب لازم جهت تهیهی خمیر سیمان با غلظت نرمال انجام می‌شود. نتایج این آزمایش در آزمایش‌های دیگر مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

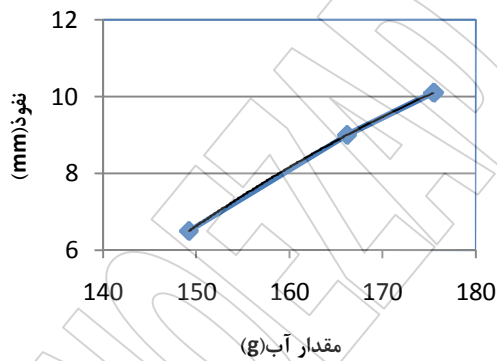
وسایل مورد استفاده در این آزمایش عبارتند از: دستگاه استاندارد ویکات با قطر انتهای نفوذ کننده $10\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ، ترازو با دقت ± 0.1 گرم. همچنین دما و رطوبت محیط آزمایشگاه باید استاندارد باشد (دما باید بین ۲۰ تا ۲۷/۵ درجه سانتیگراد باشد. رطوبت نسبی آزمایشگاه نیز نباید کم‌تر از ۵۰ درصد باشد).

نحوه‌ی انجام آزمایش غلظت نرمال

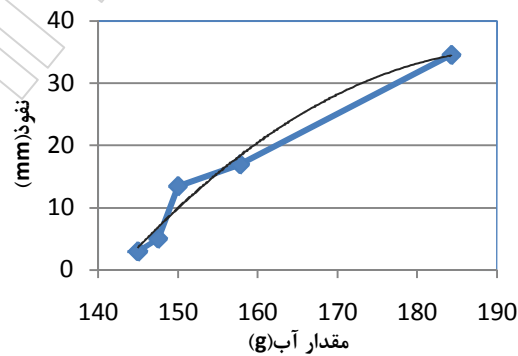
حداقل ۳ مرتبه آزمایش غلظت نرمال را برای هر نمونه‌ی ملات مطابق ASTM انجام می‌دهیم. به‌دست آوردن مقدار نفوذ باید در کم‌تر از ۳۰ ثانیه بعد از آماده‌شدن مخلوط انجام شود. اگر سوزن ۳۰ ثانیه پس از رها کردن به مقدار $10\text{mm} \pm 1\text{mm}$ در خمیر نفوذ کند، غلظت خمیر، نرمال بوده است. برای ملات‌های حاوی میکروسیلیس مراحل کار مانند ملات سیمان ۱۰۰٪ است، با این تفاوت که مقداری میکروسیلیس جایگزین همان مقدار سیمان می‌شود. به عبارت دیگر همواره مجموع وزنی سیمان و میکروسیلیس مقداری ثابت خواهد بود.

چون رسیدن به نفوذ مورد نظر امری دور از دسترس می‌باشد، لذا لازم است حداقل ۳ مرتبه آزمایش غلظت نرمال را انجام دهیم و با استفاده از روش‌های محاسباتی و رسم بهترین خط درون‌یاب، مقدار آب را به ازای نفوذ حدود ۱۰ میلی‌متر به‌دست آوریم. با رسم این خطوط درون‌یاب به این نتیجه رسیدیم که درون‌یابی درجه دوم دارای دقت بیشتری می‌باشد.

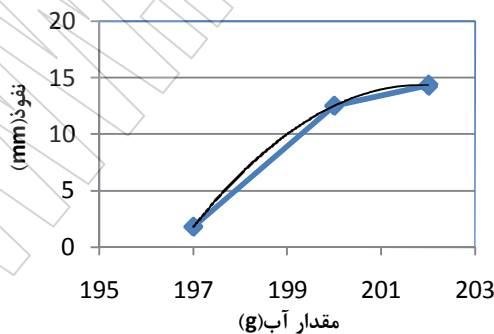
آنچه در ادامه می‌آید، نتایج آزمایش غلظت نرمال است. شکل‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی نتیجه‌ی آزمایش غلظت نرمال برای نمونه‌های حاوی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد میکروسیلیس هستند. شکل ۶ نشان‌دهنده‌ی نتیجه‌گیری نهایی آزمایش غلظت نرمال است که غلظت نرمال در برابر درصد میکروسیلیس را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار شکل ۶ پیداست با افزایش مقدار میکروسیلیس غلظت نرمال افزایش می‌یابد.



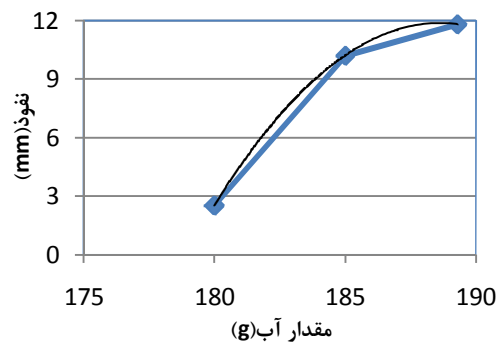
شکل ۲- نمودار آزمایش غلظت نرمال برای سیمان ۹۵٪



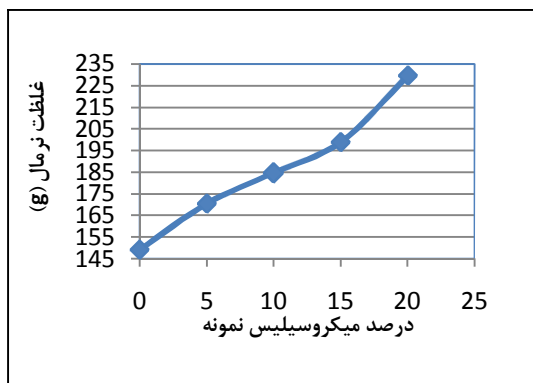
شکل ۱- نمودار آزمایش غلظت نرمال برای سیمان ۱۰۰٪



شکل ۴- نمودار آزمایش غلظت نرمال برای سیمان ۸۵٪

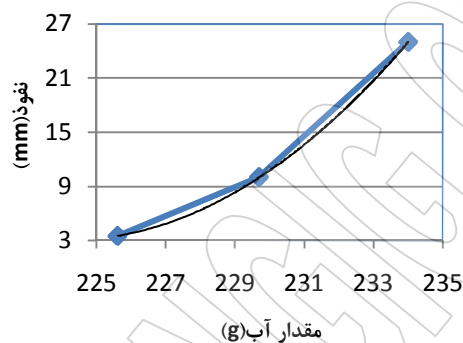


شکل ۳- نمودار آزمایش غلظت نرمال برای سیمان ۹۰٪



شکل ۶- نتایج آزمایش غلظت نرمال؛ غلظت نرمال آب در برابر درصد میکروسیلیس نمونه

جدول ۱ نتیجه‌ی آزمایش غلظت نرمال را به صورت فشرده نشان می‌دهد. شکل ۶ بر اساس داده‌های جدول ۱ رسم شده است.



شکل ۵- نمودار آزمایش غلظت نرمال برای سیمان ۸۰٪

جدول ۱- نتایج آزمایش غلظت نرمال

درصد میکروسیلیس نمونه	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰
غلظت نرمال (گرم)	۱۴۹/۲	۱۷۰/۵	۱۸۴/۵	۱۹۸/۹	۲۲۹/۷

آزمایش زمان گیرش (مطابق ASTM C191-82)

وسایل مورد استفاده در این آزمایش عبارتند از: دستگاه استاندارد ویکات با قطر انتهای نفوذ کننده ۱mm و ترازو با دقت ± 0.1 گرم. در این آزمایش، دما و رطوبت محیط آزمایشگاه باید استاندارد باشد (دما بین ۲۰ تا ۲۷/۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی آزمایشگاه نیز نباید کم‌تر از ۵۰ درصد باشد).

نحوه‌ی انجام آزمایش زمان گیرش

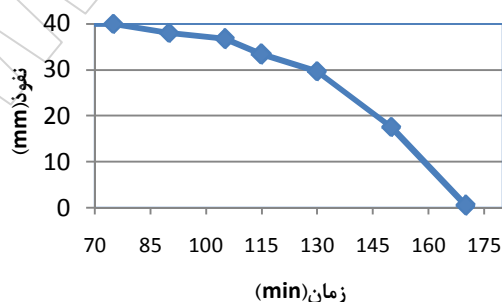
با میزان آب تعیین شده در آزمایش غلظت نرمال، ملات را می‌سازیم. بلافاصله پس از قالب‌گیری، نمونه‌ی آزمایش را در اتاق رطوبت گذاشته و پس از ۳۰ دقیقه خارج می‌کنیم. در این هنگام نفوذ سوزن ویکات (با قطر ۱ میلی‌متر) را در مدت زمان ۳۰ ثانیه تعیین می‌نماییم. پس از آن تا رسیدن به گیرش نهایی، هر ۱۵ دقیقه یک بار نمونه را از اتاق رطوبت خارج می‌کنیم و مقدار نفوذ را محاسبه می‌نماییم. زمان گیرش اولیه هنگامی است که سوزن ویکات ۲۵ میلی‌متر در داخل نمونه نفوذ کند. گیرش نهایی هنگامی روی می‌دهد که نفوذ سوزن ویکات ۱ میلی‌متر باشد.

چون رسیدن به نفوذ ۲۵mm و یا ۱mm امری دور از دسترس است، میزان نفوذ را برای زمان‌های مختلف بدست می‌آوریم. آن‌گاه با استفاده از درون‌یابی، ۲ مقدار نفوذ، قبل و بعد از ۲۵mm یا ۱mm، مقدار آب مورد نیاز را به ازای نفوذهای ۲۵mm و ۱mm بدست می‌آوریم که به ترتیب همان گیرش‌های اولیه و نهایی هستند.

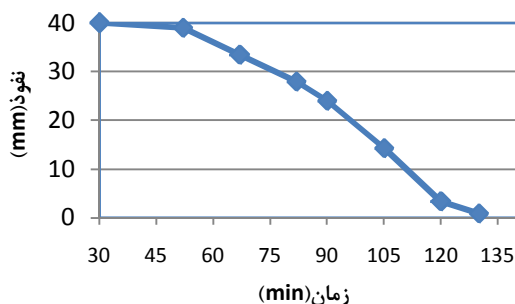
در انجام این آزمایش باید به این نکته دقت کرد که چون ملات کاملاً همگن نباشد، لازم است مقدار نفوذ را در هر مرتبه برای حداقل سه نقطه محاسبه کنیم و میانگین آن‌ها را مورد استناد قرار دهیم.

برای نمونه‌های حاوی میکروسیلیس مراحل کار مانند ملات حاوی ۱۰۰ درصد سیمان است، با این تفاوت که مقداری میکروسیلیس جایگزین همان مقدار سیمان می‌شود، به طوری که مجموع وزنی سیمان و میکروسیلیس مقداری ثابت خواهد بود.

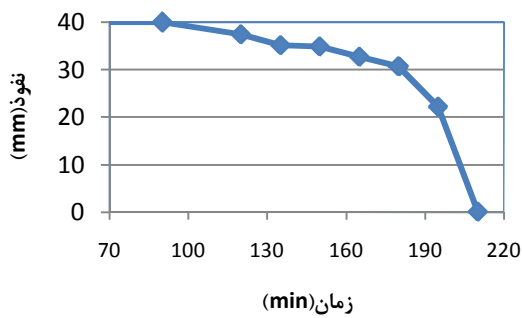
در نهایت با رسم نمودارها، طبق آنچه گفته شد، زمان گیرش اولیه و نهایی را بدست می‌آوریم. شکل‌های ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی میزان نفوذ سوزن ویکات (بر حسب میلی‌متر) در مقابل زمان (بر حسب دقیقه) برای نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد میکروسیلیس هستند. در جدول ۲ برای هر نمونه زمان گیرش اولیه و نهایی مشخص شده است. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نیز به ترتیب نمودارهای زمان گیرش اولیه و نهایی را بر حسب درصد میکروسیلیس نمونه نشان می‌دهند.



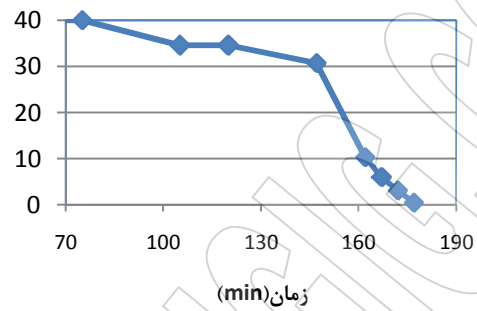
شکل ۸- نمودار آزمایش زمان گیرش برای سیمان ۹۵٪



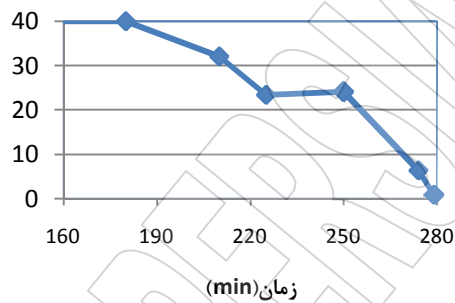
شکل ۷- نمودار آزمایش زمان گیرش برای سیمان ۱۰۰٪



شکل ۱۰- نمودار آزمایش زمان گیرش برای سیمان ۸۵٪



شکل ۹- نمودار آزمایش زمان گیرش برای سیمان ۹۰٪

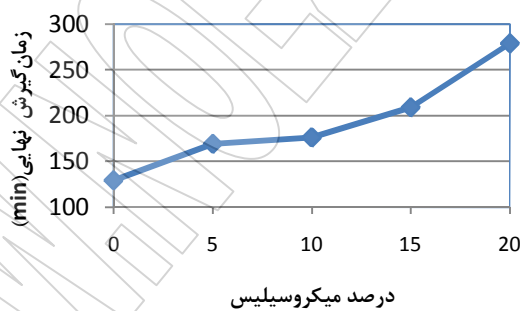


شکل ۱۱- نمودار آزمایش زمان گیرش برای سیمان ۸۰٪

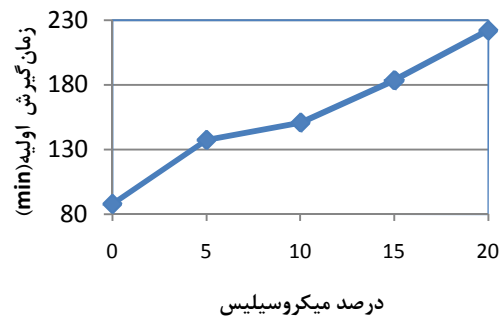
نتایج نهایی آزمایش زمان گیرش در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- نتایج نهایی آزمایش زمان گیرش برای نمونه‌های تهیه شده

درصد میکروسیلیس نمونه	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	۸۸	۱۳۷/۶۷	۱۵۰/۸۱	۱۸۳/۳۸	۲۲۲/۱۱
زمان گیرش نهایی (دقیقه)	۱۲۹/۳۲	۱۶۹/۴۱	۱۷۶/۰۵	۲۰۹/۴۳	۲۷۸/۸۵



شکل ۱۳- نمودار زمان گیرش نهایی (بر حسب دقیقه) برای نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف میکروسیلیس



شکل ۱۴- نمودار زمان گیرش اولیه (بر حسب دقیقه) برای نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف میکروسیلیس

آزمایش تعیین مقاومت فشاری (مطابق ASTM C109-90)

وسایل مورد نیاز این آزمایش، ترازو با دقت ± 0.1 گرم، قالب‌های ساخت نمونه، میز و قالب سیلان و تخم‌خاک می‌باشند. برای شکستن نمونه‌ها از ماشین آزمایش که باید از نوع هیدرولیکی و یا ماریچی باشد، استفاده می‌شود. دمای محیط آزمایشگاه باید دمای استاندارد بوده و رطوبت محیط آزمایشگاه نباید کمتر از ۵۰٪ باشد. زمان بارگذاری با توجه به استانداردهای ASTM، ۰/۸ کیلونیوتن بر ثانیه در نظر گرفته شد.

نسبت اجزای نمونه‌های مقاومت فشاری ملات مورد استفاده از یک قسمت وزنی سیمان و ۲/۷۵ قسمت وزنی ماسه‌ی دانه‌بندی تشکیل می‌شود، برای تمامی سیمان‌های پرتلند از نسبت آب به سیمان ۰/۴۸۵ استفاده می‌شود و برای سیمان‌های دیگر باید مقدار آب مخلوط توسط آزمایش سیلان تعیین گردد. بنابراین مقدار مصالح مورد استفاده برای ساخت ۶ نمونه بر اساس جدول ۳ است.

جدول ۳ - میزان مصالح لازم برای ساخت نمونه‌ها

سیمان	۵۰۰ گرم
ماسه	۱۳۷۵ گرم
آب برای سیمان پرتلند	۲۴۲ گرم (w/c=۰/۴۸۵)
آب برای سیمان‌های دیگر	از آزمایش سیلان

بنابراین برای تعیین آب نمونه‌های حاوی میکروسیلیس جهت آزمایش فشاری، باید آزمایش سیلان را انجام دهیم.

آزمایش سیلان

برای هر نمونه مطابق ASTM-C230 آزمایش سیلان را انجام می‌دهیم. در این آزمایش، یک دقیقه پس از آماده‌شدن ملات، قالب را برداشته و فوراً میز سیلان را به وسیله‌ی چرخاندن دسته‌ی آن، از ارتفاع ۱۳ میلی‌متری رها می‌کنیم. این عمل ۲۵ بار در مدت ۱۵ ثانیه تکرار می‌شود. مقدار سیلان برابر افزایش قطر قاعده ملات می‌باشد و به صورت درصدی از قطر اولیه بیان می‌گردد. برای هر نمونه، سه ملات آزمایشی با درصدهای مختلف آب ساخته و آزمایش سیلان را برای آن‌ها انجام می‌دهیم. تصویر دستگاه میز سیلان در شکل ۱۴ آمده‌است. با رسم نمودار و درون‌یابی مقدار آبی را که به ازای آن سیلان 110 ± 5 باشد، می‌یابیم. مقادیر سیلان برای نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد میکروسیلیس به ترتیب در جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ آمده‌است.



شکل ۱۴ - دستگاه آزمایش سیلان

جدول ۵ - آزمایش سیلان برای نمونه ۹۰٪ سیمان

تاریخ انجام جمعه ۸۷/۳/۱۰	
سیمان	سیمان پرتلند ۱۵۰ گرم میکروسیلیس ۱۶/۶۷ گرم
ماسه	۴۵۸/۳۳ گرم
آب	۱۶۷ گرم
قطر نهایی	۲۰/۹۷ سانتی‌متر
درصد افزایش قطر	۱۰۹/۷٪ (قابل قبول)

جدول ۴ - آزمایش سیلان برای نمونه ۹۵٪ سیمان

تاریخ انجام جمعه ۸۷/۳/۱۰	
سیمان	سیمان پرتلند ۱۵۸/۳۳ گرم میکروسیلیس ۸/۳۳ گرم
ماسه	۴۵۸/۳۳ گرم
آب	۱۶۰ گرم
قطر نهایی	۲۱/۲۵ سانتی‌متر
درصد افزایش قطر	۱۱۲/۵٪ (قابل قبول)

جدول ۷ - آزمایش سیلان برای نمونه ۸۰٪ سیمان

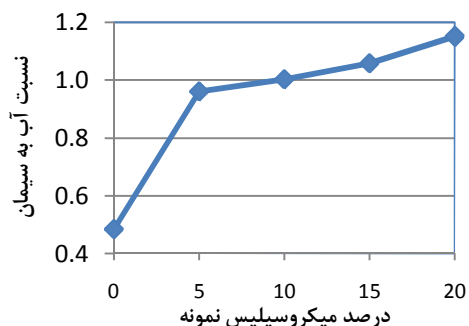
تاریخ انجام جمعه ۸۷/۳/۱۰	
سیمان	سیمان پرتلند ۱۳۳/۳۳ گرم میکروسیلیس ۳۳/۳۳ گرم
ماسه	۴۵۸/۳۳ گرم
آب	۱۹۲ گرم
قطر نهایی	۲۰/۸۰ سانتی‌متر
درصد افزایش قطر	۱۰۸٪ (قابل قبول)

جدول ۶ - آزمایش سیلان برای نمونه ۸۵٪ سیمان

تاریخ انجام جمعه ۸۷/۳/۱۰	
سیمان	سیمان پرتلند ۱۴۱/۶۷ گرم میکروسیلیس ۲۵ گرم
ماسه	۴۵۸/۳۳ گرم
آب	۱۷۶/۳ گرم
قطر نهایی	۲۰/۶۵ سانتی‌متر
درصد افزایش قطر	۱۰۶/۵٪ (قابل قبول)

تذکر: به دلیل این که مقدار مجاز سیلان 110 ± 5 درصد می‌باشد و در آزمایش‌های انجام شده با یک بار انجام آزمایش به مقدار مجاز سیلان رسیده‌ایم، بدون نیاز به رسم نمودار و تکرار آزمایش، مقدار سیلان برای ملات‌ها به دست آمده است.

در نتیجه با افزایش مقدار میکروسیلیس، آب مورد نیاز برای رسیدن به سیلان مورد نظر افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش سیلان در جدول ۸ و نمودار شکل ۱۵ نشان داده شده‌است.



جدول ۸ - نمودار نتایج آزمایش سیلان

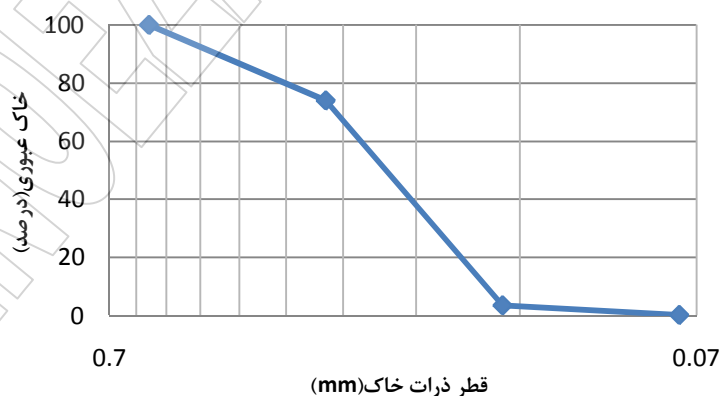
درصد سیمان نمونه	نسبت آب به سیمان
۱۰۰	۰/۴۸۵
۹۵	۰/۹۶
۹۰	۱/۰۰۲
۸۵	۱/۰۵۷۸
۸۰	۱/۱۵

شکل ۱۵ - نتیجه آزمایش سیلان: نسبت آب به سیمان در برابر درصد میکروسیلیس نمونه

دانه بندی ماسه‌ی مورد استفاده در آزمایش مقاومت فشاری، در جدول ۹ و نمودار شکل ۱۶ آمده‌است.

جدول ۹ - دانه‌بندی ماسه‌ی مورد استفاده

قطر الک	درصد عبوری
۰/۶	۱۰۰
۰/۳	۷۴/۰۶
۰/۱۵	۳/۵۴
۰/۰۷۵	۰/۲۲



شکل ۱۶ - نمودار دانه‌بندی ماسه‌ی مورد استفاده

آماده کردن نمونه‌ها

آماده کردن نمونه‌ها باید مطابق استانداردهای ASTM صورت‌پذیرد. به محض تکمیل شدن قالب‌گیری نمونه‌ها، آن‌ها را روی صفحه‌ی پایه به صورت روباز به مدت ۲۰ تا ۲۴ ساعت در اتاق رطوبت قرار می‌دهیم. پس از آن نمونه‌ها را در آب-آهک مستقر می‌کنیم.

تعیین مقاومت فشاری

به محض خارج کردن نمونه‌ها از مخزن آب-آهک و خشک کردن سطح آن‌ها، سطح بارگذاری و ارتفاع و وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شوند. اکنون نمونه‌ها را تحت آزمایش فشاری قرار می‌دهیم. مقاومت فشاری هر ملات با میانگین گیری مقاومت ۶ نمونه‌ی ساخته شده به دست می‌آید. خطای مجاز برای زمان شکستن نمونه‌ها، « 12 ± 24 ساعت» می‌باشد.

تذکر: بار را باید بر روی وجوه صاف نمونه، که در تماس با بدنه‌ی قالب بوده‌اند، اعمال کرد.

جدول ۱۰ و نمودار شکل ۱۷ نشان‌دهنده‌ی مقاومت فشاری در ازای درصد سیمان نمونه می‌باشند. از روی این جدول و نمودار، مشخص است که با افزایش میکروسیلیس مقاومت فشاری کاهش می‌یابد.

جدول ۱۰- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

درصد سیمان نمونه	مقاومت فشاری میانگین (MPa)
۱۰۰	۱۳/۴۸۰۶۵۲۰۴
۹۵	۱۳/۲۵۱۳۹۵۵۸
۹۰	۱۱/۵۰۱۵۰۶۹۸
۸۵	۱۱/۴۹۶۵۶۵۵۲
۸۰	۱۰/۶۴۹۷۰۱۸۵



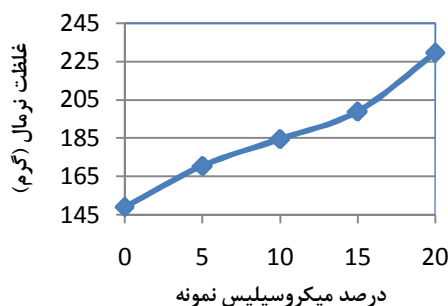
شکل ۱۷- نمودار مقاومت فشاری بر حسب مقدار میکروسیلیس

فصل نتیجه‌گیری

- غلظت نرمال: با افزایش مقدار میکروسیلیس، مقدار آب لازم برای رسیدن به غلظت نرمال افزایش می‌یابد. مقادیر در جدول ۱۱ و نمودار شکل ۱۸ ثبت شده‌است.

جدول ۱۱ - غلظت نرمال به ازای درصدهای مختلف میکروسیلیس

درصد میکروسیلیس نمونه	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰
غلظت نرمال (گرم)	۱۴۹/۲	۱۷۰/۵	۱۸۴/۵	۱۹۸/۹	۲۲۹/۷

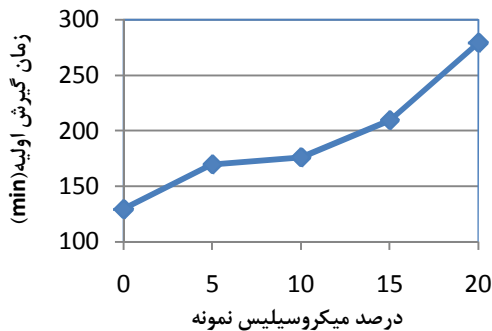


شکل ۱۸- نتیجه آزمایش غلظت نرمال؛ غلظت نرمال در برابر درصد میکروسیلیس نمونه

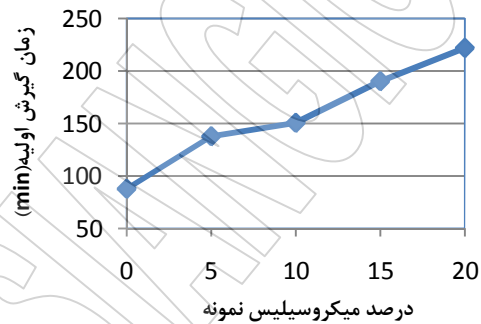
- زمان گیرش: با افزایش میکروسیلیس زمان گیرش افزایش می‌یابد، نتایج آزمایش زمان گیرش در جدول ۱۲ و نمودارهای شکل‌های ۱۹ و ۲۰ ثبت شده‌است.

جدول ۱۲- زمان گیرش اولیه و نهایی برای درصدهای مختلف میکروسیلیس

درصد میکروسیلیس نمونه	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	۸۸	۱۳۷/۶۷	۱۵۰/۸۱	۱۸۳/۳۸	۲۲۲/۱۱
زمان گیرش نهایی (دقیقه)	۱۲۹/۳۲	۱۶۹/۴۱	۱۷۶/۰۵	۲۰۹/۴۳	۲۷۸/۸۵

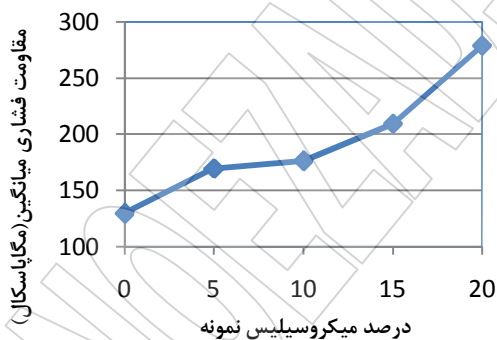


شکل ۲۰- زمان گیرش نهایی بر حسب درصد میکروسیلیس



شکل ۱۹- زمان گیرش اولیه بر حسب درصد میکروسیلیس

- مقاومت فشاری : با افزایش میکروسیلیس مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. مقادیر مقاومت فشاری در جدول ۱۳ و نمودار ۲۱ ثبت شده است.



شکل ۲۱- مقاومت فشاری میانگین بر حسب درصد میکروسیلیس نمونه

جدول ۱۹- مقاومت فشاری برای درصدهای مختلف میکروسیلیس

درصد سیمان نمونه	مقاومت فشاری میانگین (MPa)
۱۰۰	۱۳/۴۸۰۶۵۲۰۴
۹۵	۱۳/۲۵۱۳۹۵۵۸
۹۰	۱۱/۵۰۱۵۰۶۹۸
۸۵	۱۱/۴۹۶۵۶۵۵۲
۸۰	۱۰/۶۴۹۷۰۱۸۵

قدردانی

پژوهش‌گران بر خود لازم می‌دانند که از گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی به خاطر ایجاد موقعیت مناسب برای انجام تحقیقات آزمایشگاهی، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند. هم‌چنین از زحمات مسئولین آزمایشگاه مصالح و بتن قدرانی به عمل می‌آید.

مراجع

1-ASTM Annual book (C187-86, C191-82, C109-90, C230)

۲- طراحی و کنترل مخلوط‌های بتنی، استیون اچ کسماتکا و ویلیام سی پانارس، ترجمه‌ی علی‌رضا خالو و محمود ایراجیان

۳- بررسی خواص مکانیکی و شیمیایی ملات سیمان حاوی نانوسیلیس در مقایسه با ملات حاوی میکروسیلیس، مصطفی خانزادی، محمود حبیبیان

۴- بررسی کیفیت دوده‌ی سیلیسی تولید داخل کشور و تعیین میزان تأثیر آن روی خواص بتن تازه و سخت شده، دکتر هرمز فامیلی و دکتر علی‌رضا باقری