

## لینک های مفید



عضویت  
در خبرنامه



کارگاه های  
آموزشی



سرویس  
ترجمه تخصصی  
STRS



فیلم های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سرویس های  
ویژه

**40%**

۴۰٪ تخفیف

به مناسبت سالروز تاسیس

مرکز اطلاعات علمی



## بررسی تاثیر نانو سلیس در بتن متراکم سبک حاوی لیکا و بتن فاقد نانو

جواد افرو مند<sup>1</sup>، دکتر محمد ذونعمت کرمانی<sup>2</sup>

کارشناس ارشد مهندسی مدیریت ساخت<sup>1</sup>

javadafromand@chmail.ir

استادیار دانشگاه باهنر کرمان<sup>2</sup>

### چکیده:

به علت استفاده از سازه های بتن در شرایط اقلیمی مسئله آسیب دیدگی این نوع سازه ها و در نتیجه تغییر و نگهداری آنها، یکی از موضوعات اصلی کارشناسان را تشکیل می دهد. در مقیاس، نانو ذرات خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی را در مقایسه با دیگر مواد از خود نشان داده اند. بتن خودمتراکم یک فن آوری جدید در عرصه ساخت و ساز دنیا می باشد که بدون نیاز به هیچ لرزاننده ی خارجی و داخلی و فقط با استفاده از نیروی وزن، قالب را پر نموده و همزمان یکنواختی خود را حفظ می کند. و همچنین در صنعت پیشرفته تکنولوژی نانو فن آوری هم به نوبه خود در صنعت بتن تغییراتی شگرفی ایجاد نموده است و با تولید مصالح نانویی در زمینه افزایش مقاومت و دوام بتن تغییرات بسزایی به چشم دیده می شود. لذا در این تحقیق سعی شده تا علاوه بر دستیابی به طرح اختلاط مشخصی جهت ساختن بتن خودمتراکم، با تغییر و اضافه کردن نمونه پودر، ژل و محلول کلئیدی نانو سیلیس تولید داخل کشور توسط شرکت های دانش بنیان و همچنین استفاده از مصالح سبک دانه (رس منبسط شده) لیکا بعنوان جایگزینی برای درصدی از سیمان و مصالح سنگی مصرفی در بتن ساخته شده، به مشخصات مکانیکی مطلوبی دست یابیم و برخی از خواص مکانیکی آن را بررسی نماییم. در این مجال در پژوهش فوق به بررسی تاثیر نانو سلیس بر بتن سبک متراکم و سبک حاوی محلول نانو سیلیس در سنین متفاوت و مقایسه آنها با خواص مقاومتی نمونه شاهد بدون نانوسلیس می پردازیم.

**روش تحقیق:** روش انجام تحقیق به صورت مطالعات کتابخانه ای، میدانی و آزمایشگاهی می باشد که با توجه به تجزیه و تحلیل داده های آزمایشگاهی و آماری به نتایج مربوط به فرضیات دست پیدا می کنیم.

**یافته ها:** نتایج حاصل بیانگر مناسب بودن مشخصات مکانیکی بتن خودمتراکم سبک حاوی پودر نانو سیلیس نسبت به بتن خودمتراکم سبک فاقد و نمونه های حاوی ژل و محلول کلئیدی نانو سیلیس می باشد.

**کلید واژه:** بتن خودمتراکم، نانو سیلیکا (پودر، ژل و محلول کلئیدی)، دانه های رس منبسط شده (لیکا)، خواص مکانیکی بتن



#### مقدمه:

امروزه در پی گسترش صنعت ساخت و ساز در کشور و به دنبال زیانهای جانی و مالی گسترده که در اثر حوادث طبیعی همچون زلزله هر از گاهی از گوشه و کنار این سرزمین به گوش می رسد، افزایش دقت و ایمنی در تولید و سپس اجرای سازه های مهندسی امری ضروری می باشد. از جمله راهکارهای مناسب می توان به دستیابی به ترکیبات جدیدی از مصالح ساختمانی جهت تسهیل پروژه های پیچیده به منظور افزایش ضریب اطمینان و ایمنی ساخت آنها از طریق مکانیزه کردن امور و کاهش دخالت نیروی انسانی اشاره نمود و همچنین به نظر می رسد که در تقلیل هزینه های مالی در طرحهای پرخرج مؤثر واقع گردد. بتن از جمله پرمصرف ترین مصالح ساختمانی در دنیا شناخته می شود. با گسترش استفاده از بتن، ویژگی هایی همچون دوام، کیفیت، تراکم و بهینه سازی آن از اهمیت ویژه ای برخوردار می شوند. بتن خودتراکم بتنی بسیار سیال و روان و مخلوطی همگن است که بسیاری از مشکلات بتن معمولی نظیر جداسدگی، آب انداختن، جذب آب، نفوذپذیری و ... را مرتفع نموده و علاوه بر آن بدون نیاز به هیچ لرزاننده (ویبره) داخلی یا ویبره ی بدنه قالب، تحت اثر وزن خود متراکم می شود. این ویژگی کمک شایانی به اجرای اعضای ساختمانی با فشردگی زیاد آرماتور خواهد نمود. این بتن که برای اولین بار در سال 1986 توسط محققین و مهندسين ژاپنی ابداع گردید، که تاکنون تحت آزمایشهای گوناگونی قرار گرفته است. بتن خود تراکم در طرح اختلاط و ساختارش تفاوت چندانی با بتن معمولی ندارد. البته موادی برای بهبود خواص آن به جهت نیل به خود تراکم شوندگی به آن افزوده می شود، خواص بتن تازه و بتن سخت شده ی خود تراکم بستگی زیادی به طرح اختلاط آن دارد. از آن جهت که امروزه از این بتن در پروژه های مهم عمرانی و در حجم وسیع استفاده می شود، مطالعه و تحقیق پیرامون بتن خود تراکم به جهت رفع نواقص و مشکلات تولید و کاربرد آن و پیشبرد نقاط قوت و تواناییش در آینده ای نه چندان دور ضرورتی آشکار و هدفی یافتنی است. تعامل علم نانو تکنولوژی با علم بتن می تواند نقطه عطفی در صنعت ساخت و ساز ایجاد کند. هدف نهایی از بررسی بتن در مقیاس نانو، یافتن نسلی جدید از مصالح ساختمانی با عملکردهای بالا و با خواصی جدید و متفاوت نسبت به خواص مصالح معمولی است. (دغلاوی و امیری وانانی، 1387)

بتن های خود متراکم نوعی بتن جدید است که به آسانی در قالب جریان یافته و از میان آرماتورها به سهولت عبور کرده و در شرایط طبیعی و تحت اثر وزن خود بدون نیاز به هیچ گونه ویبره داخلی و یا خارجی سخت و متراکم می شوند؛ اضافه کردن نانو سیلیس به مواد اصلی تشکیل دهنده بتن و طراحی آن با نسبتهای مختلف نانو سیلیس منجر به ایجاد بتن با عملکرد و خصوصیات بهتر خواهد شد.

این تحقیق بدنبال پاسخ به سوال ذیل است:

آیا استفاده از نانو سیلیکا در بهبود خواص، طراحی و ساخت بتن خود متراکم تأثیرگذار می باشد؟

#### 1-1: تعریف مفاهیم پایه:

**1-2 سیمان:** سیمان محصولی است که از کلینکر پودر شده، شامل سیلیکات ها و آلومینات های کلسیم و بعضی سولفات های کلسیم که بعنوان افزودنی ها هستند، بدست می آید و از جمله مصالحی است که تقریباً در همه جا در دسترس می باشد. مواد آهکی (سنگ، شیل) و مواد رسی (خاک رس، سرباره کوره آهن گدازی) دو ماده اصلی در ساخت سیمان پرتلند می باشد. هنگامی که سیمان با آب مخلوط می شود، برای زمان نسبتاً کوتاهی خمیر سیمانی با خاصیت پلاستیکی تولید می گردد. در این مرحله بدون آنکه آسیبی در میان باشد می توان مواد را به هم زد و مجدداً مخلوط نمود. لیکن هنگامی که واکنش بین سیمان و آب ادامه می یابد مخلوط حالت پلاستیکی خود را از دست می دهد که به این دوره اولیه سخت شدن، گیرش اولیه گویند.

### 3-1 میکرو سیلیس

میکروسیلیس یکی از محصولات فرعی کوره قوس الکتریکی است که در هنگام تولید فلز سیلیس و یا آلیاژهای فروسیلیس بوجود می آید. در طول دهه اخیر با آغاز گسترش تولید بتن خودتراکم، میکروسیلیس اولین ماده ای بود که به عنوان پرکننده اجزای متشکله بتن و به عنوان یک چسبنده مؤثر مورد استفاده قرار گرفت. پرکردن خلل و فرج بین ذرات سیمان با استفاده از ذرات ریز میکروسیلیس باعث کاهش تخلخل بتن می شود.

### 4-1 نانوسیلیس

نانوفناوری با ساختارهای متنوعی از مواد سروکار دارد که ابعادی در محدوده یک میلیارد متر است. منظور از یک ماده نانوساختار، جامدی است که کریستال های تشکیل دهنده آن در مقیاس نانومتر قرار داشته باشد. پیشوند نانو به معنای یک میلیارد (10<sup>-9</sup>) است. به دلیل اندازه بسیار کوچک اجزاء تشکیل دهنده ساختار و نسبت سطح به حجم زیاد، این مواد توجه و علاقه زیادی را به سوی خود جلب نموده است. نانوسیلیسها در محدوده وسیعی از سطح ویژه از 50 تا 1000 متر مربع بر گرم تولید می شوند. از سوی دیگر روشهای تولید نانوسیلیسها بسیار متنوع بوده و در یک گروه بندی کلی می توان آنها را به سلهای نانوسیلیس، نانوسیلیسهای پیروژنیک، نانوسیلیسهای رسوبی و ژل های نانوسیلیس تقسیم نمود. مسلماً نمی توان انتظار داشت که نانوسیلیس با سطح مخصوص 50 متر مربع بر گرم همان اثری را بر خواص بتن داشته باشد که نانوسیلیس با سطح مخصوص 1000 متر مربع بر گرم بر بتن می گذارد. از سوی دیگر خواص نانوسیلیسهای تولید شده در روشهای مذکور متفاوت بوده و می تواند رفتار آنها را تحت تأثیر قرار دهد. به عنوان مثال در برخی از انواع نانو سیلیس ها این مواد در حالت کلوخه ای هستند و در برخی به شکل تک ذرات مجزا از یکدیگر حضور دارند.

### 3-2: اثرات کاربرد نانو سیلیس در بتن:

منافذ و واکنش های شیمیایی بتن در مقیاس نانو صورت می گیرد، لذا نانو ساختار بتن، شایسته توجه بیشتر است تا بتوانیم بتنی با نانو ساختار متراکم، حداقل اندازه و مقدار منافذ بسازیم که بر دوام بتن نیز تأثیر گذار باشد. اخیراً نانو تکنولوژی برای کاهش نفوذ پذیر و تراش بتن کاربرد داشته و مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. تحقیقات انجام شده توسط محققان نشان داد که مقاومت فشاری 7 روزه و 28 روزه سیمان حاوی نانو سیلیس تغییرات حرارتی، نشان دهنده افزایش واکنش پذیری سیمانهای حاوی میکرو سیلیس می باشد.

افزودن نانو سیلیس بر روی گیرش سیمان نیز مؤثر می باشد و زمان گیرش اولیه را کاهش می دهد. با افزودن نانو سیلیس به سیمان، ملات سیمان متراکم تر شده و نفوذ پذیری نسبت به معمولی بتدریج کاهش می یابد. گیرش اولیه نمونه های حاوی نانو سیلیس نسبت به نمونه های حاوی دود سیلیس به دلیل کاهش نفوذپذیری (متراکم بودن ساختار نانو سیمانها) بیشتر می باشد. (رضوی 1384) نانو سیلیس همان فرمول سیلیکافیوم (SiO<sub>2</sub>) را دارد ولی بسیار نرم تر و ریزتر از آن است و واکنش قوی تری با آب دارد. بنابراین مقدار نانو سیلیس در بتن را بایستی به شدت کنترل کرد. لکن، اگر نان سیلیس به خوبی پخش شود چسبندگی و لزجت بتن را افزایش می دهد که به معلق شدن ذرات سیمان و سنگدانه کمک می کند و مقاومت تفکیک ذرات بتن را بهبود می بخشد و ذرات نانو بعنوان مراکز بلور سازی هیدرات های سیمان عمل می کنند بنابراین هیدراسیون را تسریع می بخشد. (Mondal 2003) این مطلب مخصوصاً در ساختن و تولید بتن های سبکی که طبعاً میزان خلل و فرج در آنه بیش از بتنهای معمولی ایست حائز اهمیت است. در همین راستا ثابت شده است که نانو ذرات سیلیس در بالا بردن مقاومت نسبت به سیلیکافیوم با ارزش تر هستند و اکسید سیلیس در مقیاس نانو، نه تنها همچون یک پرکننده برای بهبود ریز ساختار رفتار می کند بلکه شبیه یک فعال کننده برای بالا بردن واکنش های پوزولانی نیز عمل میکند. محلول نانو سیلیس دی اکسید سیلیس SIO<sub>2</sub> است که اندازه ذرات آن در ابعاد نانو



متر می باشد محلول نانو سیلیس متشکل از ذراتی است که گلوله شکل با قطر کمتر از 100nm با به صورت ذرات خشک پودر یا به صورت معلق در مایع محلول قابل انتشار می باشند، که مایع آن معمول ترین نوع محلول است. نانو سیلیس معلق کاربردهای چند منظوره مانند خاصیت ضد سایش، ضد حریق، ضد انعکاس سطوح از خود نشان می دهد.

## 2-2: تأثیر نانوسیلیس بر خواص رئولوژیکی مواد پایه سیمانی

جایگزینی سیمان با نانو سیلیس چه در حالت سل و چه در حالت پودری نیاز آبی مخلوطهای سیمانی را به شدت افزایش می دهد. مطالعه (اسنف و همکاران، 2008) دلیل این افزایش در نیاز آبی را سطح مخصوص بالای نانوسیلیس دانسته اند که منجر به کاهش آب آزاد موجود در بتن و در نتیجه افزایش اصطکاک بین اجزای بتن می گردد. کاهش شدید کارایی مخلوطهای بتنی سبب شده است که استفاده از درصدهای بالای نانوسیلیس در مخلوطهای سیمانی عملاً امکان پذیر نباشد و حتی برخی پژوهشگران محدودیتهایی نیز برای مقدار نانوسیلیس پیشنهاد دهند. اگرچه نانوسیلیس نیاز آبی را افزایش می دهد، اما تأثیری مطلوب بر پایداری مخلوطهای سیمانی دارد. بررسی انجام شده توسط (باستین و دوگات، 1997) بر روی دواغابهای سیمانی مورد استفاده در مصارف پس تنیدگی حاکی از آن است که جایگزینی 3 درصد سیمان با سیلیس رسوبی دارای اندازه ذره 15 nm و اندازه توده 3/5 میکرومتر آب انداختگی و جداسازی سنگدانه را به شدت محدود می نماید.

## 2-3: تأثیر نانوسیلیس بر مقاومت فشاری مصالح پایه سیمانی

نتایج (کینگ و همکاران، 2006) حکایت از کسب مقاومت سریع تر خمیره های آهکی حاوی نانوسیلیس پودری با سطح مخصوص 160 متر مربع بر گرم در مقایسه با خمیره های آهکی حاوی میکروسیلیس دارند. به عبارتی نمونه حاوی نانوسیلیس عمده مقاومت خود را در سن قبل از 14 روز کسب نموده، در حالی که روند کسب مقاومت برای نمونه حاوی میکروسیلیس تا سن 60 روز ادامه یافته است. در این مطالعه مشاهده شده که اگر چه مقاومت 60 روزه خمیره های حاوی جایگزینی تقریباً برابر میکروسیلیس و نانو سیلیس یکسان است، اما مقاومت 14 روزه خمیره دارای میکروسیلیس با مقاومت 1 روزه خمیره حاوی نانوسیلیس برابر است.

به عبارتی تأثیر گذاری نانوسیلیس در سنین پایین (3 روز) بسیار مشهودتر از سنین بالا (28 روز) است.

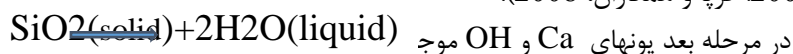
مطالعه مکانیزمهای افزایش مقاومت فشاری توسط نانوسیلیس را دو عامل ذکر شده است (شی و همکاران، 2006):

1- نانوسیلیسها عملکرد پرکنندگی داشته، فضاهای داخلی ریز ساختار سخت شده خمیر سیمان را پر می کنند و بدین ترتیب منجر به افزایش مقاومت می شوند.

2- خصوصیات پوزولانی، که با واکنش نانوسیلیس و هیدروکسید کسیم ژل جدید C-S-H تشکیل می شود و در نتیجه مقاومت بهبود می یابد.

## 2-4: فعالیت پوزولانی نانوسیلیس

سیلیس بی شکل در PH بالا هنگامی که در مجاورت آب قرار می گیرد حل می گردد. روند حل شدن به شکل زیر است (لاگان، 2002. کرپا و همکاران، 2008):



سپس پدیده پلیمریزاسیون و تشکیل ژل C-S-H در فضای منفذی و رسوب محصول هیدراته اتفاق می افتد (کرپا و همکاران، 2008). در مجموع به فرایند واکنشی مذکور عنوان واکنش پوزولانی اطلاق می گردد. برخی مطالعات بر این اعتقاد هستند که تنها آبی که در واکنش پوزولانی سیلیس مصرف می شود، آب موجود و در ترکیب CH است.

لازم به ذکر است که با افزایش مقدار PH سرعت حل شدن سیلیس در فضای منفذی افزایش می یابد و تنها هنگامی می توان انتظار جذب یون کلسیم توسط سیلیس را داشت که سیلیس در فضای منفذی وارد شده باشد (لاگان، 2002). علاوه بر آن روند حل شدن سیلیس وابستگی به تعداد گروه های سیلانول موجود در سطح، اندازه ذرات و مقدار سیلیس دارد (یوگدران و لاگان،



1991). یکی از تأثیرگذارترین مسائل بر واکنشهای پوزولانی اندازه توده ای پوزولانها است. در حقیقت با گذشت زمان و آغاز واکنش پوزولانی به تدریج حجم هیدراته ها در سطح پوزولان افزایش می یابد که این مسئله باعث کاهش سرعت انحلال ذرات سیلیس در فضای منفذی می شود و سرعت واکنش پوزولانی با سرعت نفوذ سیلیس از میان هیدراته ها به فضای منفذی کنترل می شود. بنابراین هرچه اندازه توده ای کوچکتر باشد، سرعت واکنش زایی سیلیس با هیدروکسید کلسیم افزایش خواهد یافت (یانجون و کایدی، 2004).

میکروسیلیس و انواع نانوسیلیسهای پودری موجود غالباً دارای اندازه های توده ای بالا هستند. تفاوت بین بسیاری از نتایج تحقیقات که عملکرد منفی دوده سیلیس را مورد تأکید قرار داده اند نیز به علت همین خاصیت کلوخه ای شدن می باشد (یانجون و کایدی، 2004). تأثیر اندازه ذرات و سطح مخصوص نه تنها در سیلیس بی شکل بلکه در مورد پوزولانهای دیگر نیز مشاهده شده است.

## 5-2: چالشهای نانوتکنولوژی در صنعت بتن

نانوتکنولوژی مانند تمامی تکنولوژی های نو نیاز به یک توجیه اقتصادی دارد، در حال حاضر هزینه های بالای نانو ذرات مانع از توسعه روزافزون این محصولات و استفاده آنها در صنعت می گردد، برای همین بهره برداری از نانو تکنولوژی در صنعت بتن در مقیاس تجاری همچنان به چند محصول قابل عرضه در بازار محدود گردیده است. مشکل دیگر در زمینه استفاده از نانو موادمها توزیع یکنواخت آنها در ماتریس بتن است. معمولاً این مواد در حین افزوده شدن به بتن به صورت کلوخه انباشته می شوند و در مخلوط به خوبی توزیع نمی شوند، البته برای این حل مشکل می توان از دستگاههای مخلوط کن قوی استفاده کرد.

اشکال دیگر در این زمینه جذب آب بسیار بالای ذرات نانو است. این ذرات به علت سطح ویژه بسیار بزرگی که دارند مقدار زیادی آب جذب می کنند و ممکن است بر کارایی بتن تأثیرگذار باشد (گلابچی و همکاران، 1390).

در نهایت چالشهایی هستند که باید قبل از گسترش استفاده از نانو فناوری در صنعت بتن حل شوند مانند توزیع یکنواخت نانو مواد، سازگاری نانو مواد با سیمان، فرآوری، تولید، ایمنی، مسائل مربوط به حمل و نقل، تولید انبوه و هزینه ها، به علاوه معرفی کردن این مصالح جدید به جامعه از طریق زیر ساختهای اجتماعی مستلزم افزایش و درک تأثیر آنها روی محیط زیست و سلامت انسانها می باشد.

## 1-3 بتن خود تراکم:

بتن خودتراکم نسل جدیدی از بتن با خاصیت شکل پذیری بالا و مقاومت کافی در برابر جداسدگی می باشد. این بتن نوع خاصی از بتن می باشد که می تواند به راحتی در داخل قالب جریان یابد و تمام گوشه های قالب و فضاهای بین آرماتورها را بدون نیاز به ویبره کردن و هر گونه عمل فشرده سازی پر نماید. خاصیت پرکنندگی، خاصیت عبور و مقاومت در برابر جداسدگی سه فاکتور اصلی و ضروری بتنهای خود تراکم هستند (مظاهری پور و همکاران، 2011). تعادل بین این سه فاکتور باید به دقت حفظ شود تا

بتوان به خود تراکمی رسید. یکی از اهداف ساختن بتنهای خود تراکم کاهش حجم مواد سیمانی مصرفی در بتن است بتنهای خود تراکم شامل افزودنیهای خاصی از جمله فوق روان کننده، مواد سیمانی جایگزین (پوزولانها) و بهبود دهنده ویسکوزیته در مقایسه با بتنهای معمولی می باشند. همینطور این بتنهای حاوی مواد سیمانی بیشتر، مقدار آب کمتر، مصالح ریزدانه بیشتر و مصالح درشت دانه کمتر در مقایسه با بتنهای معمولی هستند. نسبت آب به سیمان در بتنهای خود تراکم کمتر از بتنهای معمولی است. در حالی که در بتنهای معمولی این نسبت معمولاً بیشتر از 0/4 است اما در بتنهای خودتراکم این نسبت بین 0/25 تا 0/4 در تغییر می باشد. افزودن فوق روان کننده از حیاتی ترین ملزومات ساخت بتنهای خودتراکم می باشد. هر چند که افزودن این ماده باعث بهبود خواص پرکنندگی و عبوری بتن می شود اما مقدار بیش از اندازه این ماده منجر به ناپایداری و جداسدگی در بتن می گردد (صفودین و همکاران، 2012).

## 3-2: کارایی بتن خودتراکم

کارایی، مجسم کننده ویژگیهای رئولوژی بتن با در نظر گرفتن شرایط خاص کارگاهی می باشد. از نظر کارایی، خود متراکم شونده، به صورت توانایی بتن برای جاری شدن فقط تحت شتاب ثقل پس از خروج از پمپ و همچنین قابلیت آن برای پر کردن



فضاهای مورد نظر در قالب به منظور دستیابی به بتنی بی نقص و با کیفیت یکنواخت تعریف می گردد (اسکارندا و پیترسون، 2002).

خود متراکم شوندگی مستلزم ارضاء وظایف زیر برای بتن تازه می باشد:

1- توانایی پرکنندگی

2- مقاومت در برابر جداشدگی

3- توانایی عبور کنندگی

3-3: لیکا:

واژه لیکا از عبارت light expanded clay aggregate (رس منبسط شده) گرفته شده است. در روش تولید این دانه ها، ابتدا خاک رس به عنوان ماده اولیه سبکدانه از معادن خاک رس به واحد فرآوری کارخانه حمل شده، بعد از نمونه گیری و کنترل دقیق مواد شیمیایی و حصول اطمینان از نداشتن مواد شیمیایی و آهکی و پس از آبدهی به صورت گل رس وارد کوره گردان می شود. وقتی گل رس در درجه حرارتی حدود 1200 درجه سانتی گراد قرار می گیرد، گازهای ایجاد شده دانه ها را منبسط می کند و هزاران سلول هوای ریز درون آنها تشکیل می شود. با سرد شدن مصالح، حباب های هوا به صورت فضاهای منفک باقی مانده و سطح آنها سخت می شود. لیکا ظرفیت جذب زیادی دارد و قادر است آب جذب شده را در موقع مناسب به خمیر سیمان منتقل کرده و موجب عمل آوری داخلی بتن شود (جنسون، 2007).

1-4: با توجه به مطالعات انجام گرفته تأثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مخلوطهای سیمانی را می توان به شکل زیر بیان نمود:

- استفاده از نانو ذرات سیلیس نیاز آبی مخلوطهای سیمانی را افزایش می دهد و برای غلبه بر این مشکل پیشنهاد شده است که از فوق روانساز استفاده گردد.
- ذرات نانو با پخش خوب لزجت را افزایش داده و به معلق ماندن سیمان و سنگدانه در بتن کمک می نمایند.
- نانو ذرات سیلیس مقاومت در برابر جداشدگی سنگدانه و کارایی را بهبود می بخشند.
- در بسیاری از مطالعات فرض گردیده که ذرات نانو سیلیس ریز ساختار مصالح پایه سیمانی را به واسطه عملکرد پرکنندگی فضای بین ذرات سیمان بهبود می بخشند (خاصیت پرکنندگی).
- ذرات نانو در شتاب بخشی به هیدراسیون سیمان نقش مؤثری ایفا می کنند.
- غالباً مقاومت کوتاه مدت مخلوطهای حاوی نانوسیلیس بیشتر از مخلوطهای معمولی یا مخلوطهای حاوی مقادیر مشابه میکروسیلیس در نسبتهای آب به مواد سیمانی برابر است.
- مقادیر زیادی کریستال  $\text{Ca(OH)}_2$  در اثر واکنش هیدراسیون بین سیمان و آب تولید می شود. این کریستالها که به صورت شش وجهی بوده و در ناحیه بین سنگدانه ها و خمیر سیمان قرار دارند به عنوان یک عامل مخرب در مقابل خصوصیات مکانیکی بتن عمل می کنند. نانو سیلیس بخاطر سطح ویژه بالا، دارای فعالیت خیلی زیاد بوده و می تواند با کریستالهای  $\text{Ca(OH)}_2$  به سرعت وارد واکنش شود و ژل  $\text{C-S-H}$  را تولید کند. بنابراین اندازه و مقدار این کریستالها در بتن کاهش می یابد. از طرف دیگر  $\text{C-S-H}$  تولید شده باعث پر شدن حفرات موجود در بتن و بهبود در اتصال بین سنگدانه ها و خمیر سیمان می شود (یکونینگ و همکاران، 2005. جو و همکاران، 2006).
- حضور ذرات نانو منجر به کوچک تر شدن اندازه کریستالهای هیدروکسید کلسیم می شود.
- استفاده از نانو ذرات سیلیس معمولاً منجر به کاهش تخلخل و همچنین کاهش نفوذپذیری در مصالح پایه سیمانی می گردد.

- استفاده از نانو سیلیس به بهبود مقاومت مصالح پایه سیمانی در برابر نفوذ یون کلرید، تراوش آهک، سیکلهای ذوب و انجماد و پدیده کرناسیون در شرایط آسیب رسان کمک می کند.

**4-2 ساخت بتن خود تراکم:** برای ساخت بتن خودتراکم ابتدا با الک کردن و توزین دقیق مصالح مصرفی، مقدار مورد نیاز هر یک از مصالح جهت طرح اختلاط برای ساخت ۷۰ کیلوگرم بتن آماده شد. سپس مصالح آماده شده جهت اختلاط با یکدیگر در دستگاه مخلوط کن (که از قبل داخل آن شسته شده بود) ریخته شده و با یکدیگر مخلوط شدند.

#### 5-1: آزمایشات اثبات بتن خود متراکم سبک:

آزمایش های صورت گرفته بر روی بتن خودمتراکم سبک می باشد. همچنین در مورد شرایط نگهداری نمونه ها و نیز در مورد مصالح و مواد مصرفی توضیحاتی بیان می گردد. برای بدست آوردن طرح اختلاط از روش جرمی مطابق آنچه در فصل پیش بیان شد استفاده گردید. برای این منظور بتن خودمتراکم سبک با وزن مخصوص بین 1300-1900 kg/m<sup>3</sup> ساخته شد. بعد از بدست آوردن طرح اختلاط چهار ترکیب از بتن ساخته شده و برای انجام آزمایش های مورد نظر در شرایط مخصوص قرار گرفتند. برای تعیین خواص مکانیکی آزمایش های مقاومت فشاری (BS 1881 part 116) بر روی بتن خود متراکم سبک انجام گردید. آزمایشات بر روی بتن سازه ای از نوع بتن خودمتراکم سبک مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. با جایگزین کردن و افزودن درصد های مختلف پودر، ژل و محلول کلئیدی 4 طرح اختلاط تهیه شد. برای بررسی دوام و خواص مکانیکی بتن خودمتراکم سبک، نمونه های مورد نیاز از آنها تهیه شده و مورد آزمایش قرار گرفته است.

1 نتایج آزمایشات فیزیکی

2 نتایج آزمایشات بتن تازه

نتایج مربوط به Slump , J-Ring , V-Funnel , L-Box در جدول (1) آورده و همچنین در جدول 1 در ستون آخر مقادیر به دست آمده از آزمایشات با مقادیر پیشنهادی EFNARC مقایسه شده است.

جدول (1) : آزمایشات اولیه طرح اختلاط بتن خودمتراکم و مقایسه آنها با مقادیر توصیه شده

Type of Test	SL1	SLN1	SLN2	SLN3	Recommended Values(26)
Slump (mm)	65	68	73	72	650-800
Slump (T <sub>50</sub> )	3/9	3/7	3/3	3/4	2-5
L-Box(h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub> )	0/89	0/88	0/82	0/83	0/8-1
J-Ring (mm)	9	9	8	8	0-10
V-Funnel minute(s)	6	6	6/8	6/6	6-12

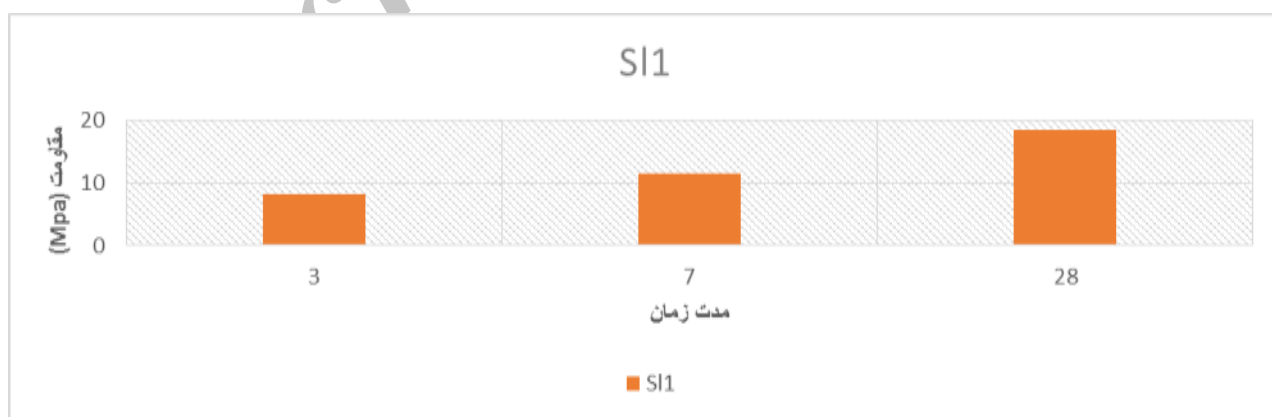


همانطور که در جدول 1-1 مشاهده می شود نتایج آزمایشات انجام شده در همه طرح ها در محدوده ی مجاز قرار دارد.  
**1-5- نتایج آزمایشات بتن سخت شده**

در اختلاطها برای ساخت بتن خودمتراکم سبک و نانو سیلیس دار صرفا نمونه های مکعبی برای تعیین مقاومت فشاری تهیه شده اند. این نمونه ها در زمانهای مختلف 3، 7 و 28 روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. که در زیر به بررسی مقاومت های فشاری می پردازیم. نتایج مربوط به آزمایشات مقاومت فشاری طرح های اختلاط بهینه در جدول (2-4) آورده شده است و مقاومت فشاری مربوط به هر طرح اختلاط در سنین مختلف (3، 7 و 28 روزه) ترسیم شده است.

شماره طرح های منتخب	(Mpa مقاومت فشاری)		
	3 روزه	7 روزه	28 روزه
SL1	8/1	11/5	18/48
SLN1	12/30	19/80	31/82
SLN2	8/9	11/8	18/96
SLN3	10	14/1	22/66

جدول (2): نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نمونه ها در سنین مختلف (3، 7 و 28 روزه)



شکل ( 3): نمودار کسب مقاومت فشاری نمونه طرح SL1 (نمونه شاهد) بدون نانو سیلیس در سنین مختلف



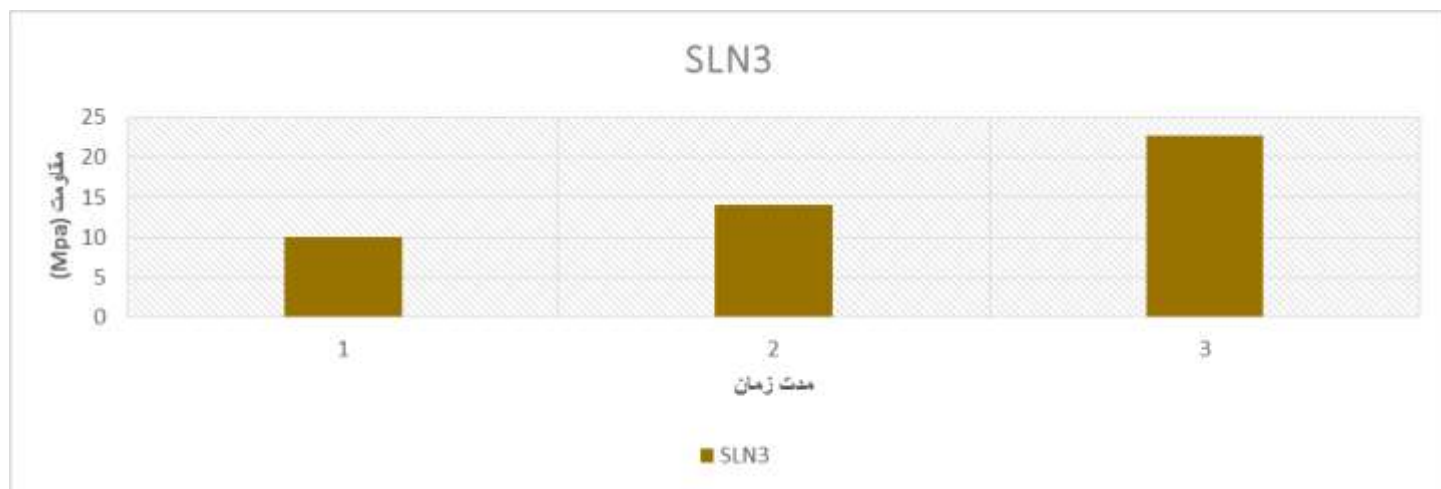
شکل ( 4): نمودار خطی مقاومت فشاری نمونه طرح SL1 (نمونه شاهد) بدون نانو سیلیس در سنین مختلف



شکل ( 5): نمودار کسب مقاومت فشاری نمونه طرح SLN1 حاوی پودر نانو سیلیس در سنین مختلف



شکل (4-4): نمودار خطی مقاومت فشاری نمونه طرح SLN1 حاوی پودر نانو سیلیس در سنین مختلف



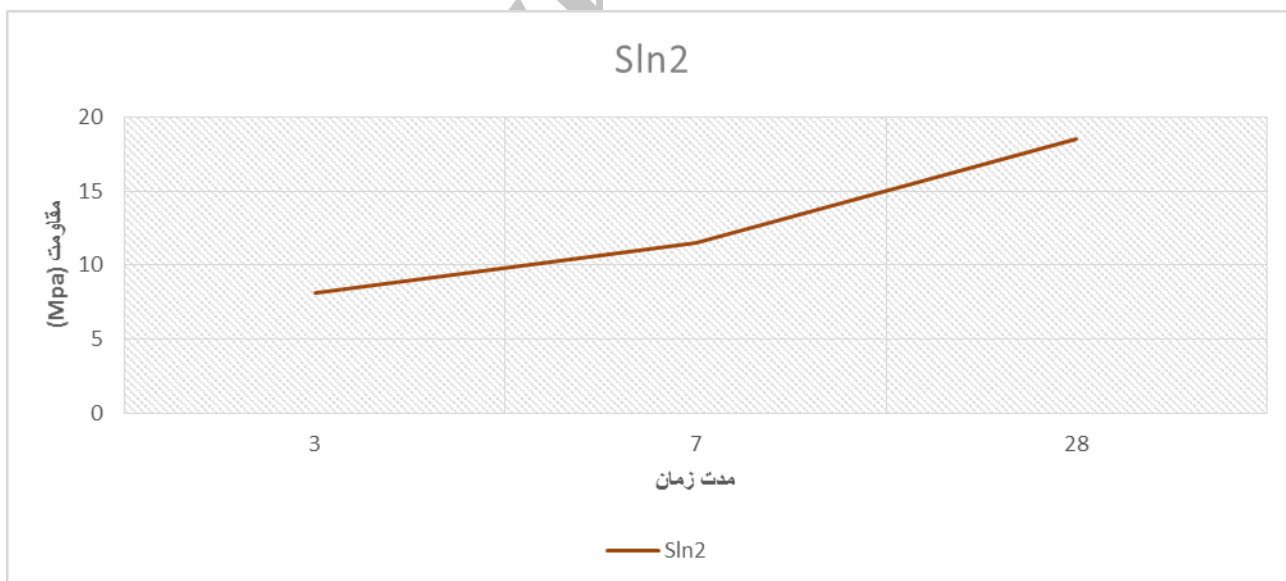
شکل (7): نمودار کسب مقاومت فشاری نمونه طرح SLN3 حاوی محلول کلئیدی نانو سیلیس در سنین مختلف



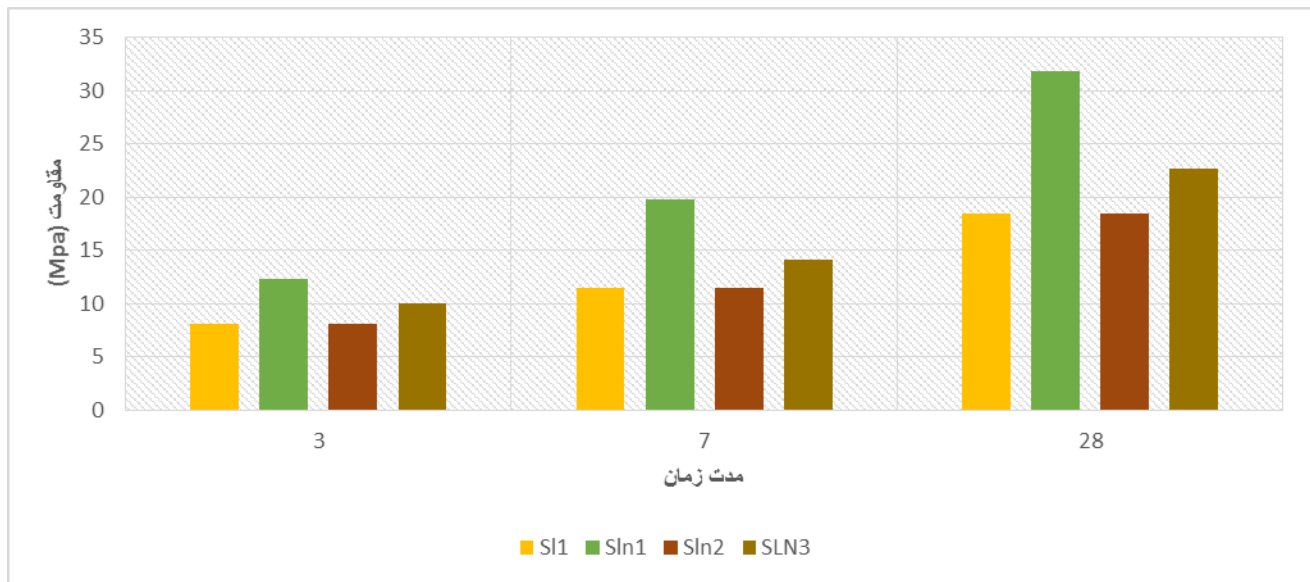
شکل (8) : نمودار خطی مقاومت فشاری نمونه طرح SLN3 حاوی محلول کلئیدی نانو سیلیس در سنین مختلف



شکل (9) : نمودار کسب مقاومت فشاری نمونه طرح SLN2 حاوی ژل نانو سیلیس در سنین مختلف



شکل (10) : نمودار خطی مقاومت فشاری نمونه طرح SLN2 حاوی ژل نانو سیلیس در سنین مختلف



شکل (11) : نمودار مقایسه ای مقاومت فشاری نمونه های منتخب در سنین مختلف

- نمودار های مقایسه ای مقاومت فشاری بتن خودمتراکم سبک بدون نانو و خودمتراکم سبک حاوی پودر نانو سیلیس، خودمتراکم سبک حاوی ژل نانو سیلیس و خودمتراکم سبک حاوی محلول کلئیدی نانو سیلیس نشان داده شده است. همانطور که در شکل 11 مشاهده می شود.
- با افزودن پودر نانو سیلیس (به میزان 2/5 درصد جایگزین وزن سیمان مصرفی) و محلول کلئیدی (به میزان 2/5 درصد جایگزین وزن سیمان مصرفی) در بتن خودمتراکم سبک مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد افزایش می یابد و مقاومت فشاری نمونه حاوی ژل نانو سیلیس (2/5 درصد جایگزین وزن سیمان مصرفی) با مقاومت بتن شاهد تقریباً یک میزان است.
- مقاومت فشاری نمونه SLN1 (حاوی پودر) نسبت به نمونه های SLN2 (حاوی ژل) و SLN3 (حاوی محلول کلئیدی) در سنین مختلف (3، 7 و 28 روزه) بالاتر می باشد.
- مقاومت فشاری نمونه SLN2 (حاوی ژل نانو سیلیس) نسبت به نمونه های SLN1 (حاوی پودر) و SLN3 (حاوی محلول کلئیدی) در سنین مختلف (3، 7 و 28 روزه) پایین تر می باشد.
- با اضافه شدن نانو سیلیس بیش از میزان بهینه نه تنها بر مقاومت آن افزایش، بلکه باعث کاهش مقاومت نیز می باشد. به طوریکه سرعت کسب مقاومت فشاری در نمونه های حاوی ژل نانو سیلیس در تمام سنین کمترین مقدار را داشته است.
- پس با توجه به فرضیه های مطرح شده در فصل اول و بدست آمدن نتایج آزمایشات بتن خودمتراکم حاوی لیکا و نانو





- سیلیس (پودر و محلول کلوئیدی نانو سیلیس) می شود که نتیجه گرفت که:
- استفاده از نانوسیلیس و لیکا در بتن خود متراکم با توجه به وزن بدست آمده نمونه ها که نسبت به نمونه خودمتراکم معمولی (با سنگدانه) میزان تقریبی هر قالب  $15 \times 15$ ، میزان کیلوگرم کاهش داشته است می توان گفت که در تولید انبوه لیکا بر کاهش وزن بتن خود متراکم تأثیر گذار است.
- با توجه و استناد به نتایج بدست آمده از آزمایشات به این نتیجه رسیدیم که بکارگیری نانوسیلیس در بتن خود متراکم سبک مقاومت فشاری بتن را افزایش می دهد.
- نظر به اینکه افزودن نانوسیلیس در بتن خود متراکم باعث افزایش سرعت مقاومت بتن در سنین پایین صورت می پذیرد و بر سهولت اجرای بتن خود متراکم تأثیر دارد.
- استفاده از نانوسیلیس در بتن خود متراکم بر کیفیت و دوام بتن خود متراکم تأثیر دارد.
- در بتن خود متراکم سبک بعلت اسلامپ بالای آن و سرعت پخش دانه بندی می توان گفت که بتن خود متراکم نسبت به نمونه بتن معمولی (شاهد) شکل پذیرتر است.
- بکارگیری نانوسیلیس در بتن خود متراکم سبک بدلیل بالا بردن سرعت مقاوت در سنین مختلف باعث ایجاد طراحی متفاوتی در بتن خود متراکم می باشد.

### نتیجه گیری:

- با توجه به آزمایشات فیزیکی و مکانیکی صورت گرفته بر روی بتن های مذکور در آزمایشگاه نتایج زیر بدست آمد :
- با افزودن پودر نانو سیلیس (به میزان  $2/5$  درصد جایگزین وزن سیمان مصرفی) و محلول کلوئیدی (به میزان  $2/5$  درصد جایگزین وزن سیمان مصرفی) در بتن خودمتراکم سبک مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد افزایش بیشتری را نشان می دهد.
- مقاومت فشاری نمونه حاوی ژل نانو سیلیس ( $2/5$  درصد جایگزین وزن سیمان مصرفی) با مقاومت بتن شاهد تقریباً یک میزان است.
- مقاومت فشاری نمونه حاوی پودر نسبت به نمونه های حاوی ژل و حاوی محلول کلوئیدی در سنین مختلف (3، 7 و 28 روزه) بالاتر می باشد.
- مقاومت فشاری نمونه حاوی ژل نانو سیلیس نسبت به نمونه های حاوی پودر و حاوی محلول کلوئیدی در سنین مختلف (3، 7 و 28 روزه) پایین تر می باشد.
- با اضافه شدن نانو سیلیس بیش از میزان بهینه نه تنها بر مقاومت آن افزایش نمی دهد، بلکه باعث کاهش مقاومت نیز می شود. به طوریکه سرعت کسب مقاومت فشاری در نمونه های حاوی ژل نانو سیلیس در تمام سنین کمترین مقدار را داشته است.
- در بتن خودمتراکم (معمولی، حاوی لیکا و نانوسیلیس) همانند سایر بتن ها با افزایش نسبت آب به پودر از مقاومت فشاری بتن کاسته می شود.
- افزایش میزان آب مصرفی در بتن خودمتراکم (معمولی، حاوی لیکا و نانوسیلیس) نه تنها نقش چندان موثری در افزایش روانی و کارایی بتن نداشته بلکه باعث افزایش احتمال بروز پدیده جداسازی در بتن می گردد.
- افزایش پودر سنگ آهک بعنوان فیلر به میزان 10 درصد وزن سیمان مصرفی تأثیر چندان بر روانی بتن خودمتراکم (معمولی، حاوی لیکا و نانوسیلیس) نداشته و لیکن با افزایش میزان پودر سنگ آهک از این حد مشخص روانی بتن به شدت کاهش می یابد.



- افزایش میزان شن و لیکای مصرفی در بتن خودمتراکم (معمولی، حاوی لیکا و نانوسیلیس) تا حد مشخصی سبب افزایش مقاومت فشاری بتن گردیده و لیکن بعد از گذشتن از این حد به دلیل بروز پدیده جداشدگی و برهم خوردن همگنی بتن مقاومت بشدت کاهش می یابد.
- عموماً در بتن خودمتراکم درصد حجمی ماسه بکاررفته بیشتر از شن در نظر گرفته می شود.
- استفاده از حدود ۱۰٪ سنگ دانه همراه با لیکا و ۲/۵٪ نانوسیلیس جایگزین سیمان بترتیب باعث بهبود حدود ۱۵٪ و ۱۰٪ در مقاومت فشاری می شود.
- بتن خودمتراکم (معمولی، حاوی لیکا و نانوسیلیس) نسبت به تغییرات مقدار آب بسیار حساس است. تغییرات ناچیز هم منجر به آب انداختگی با عدم کارایی کافی در مخلوط های تازه می شود.
- آزمایش پخش جریان اسلامپ می تواند به عنوان معیاری برای درک شهودی میزان کمی آب انداختگی و مقاومت در برابر جداشدگی قلمداد شود.

#### منابع:

- 1-Basanat Z.P "Materials models for structural creep analysis", preprints. Fourth international symposium creep and shrinkage of concrete, (1996). Pp 293- 305
- 2-Yanjun. Y, Cahyadi. JH, Simulation of silica fume blended cement hydration, Materials and Structures, 37(2004), 397-404
- 3-Shih. YJ, Chang. TP, Hsiao. TC, Effect of nanosilica on characteristics of Portland cement composites, Materials Science & Engineering A.424(2006).
- 4-Jensen, O.M., Internal Curing of Concrete, State-of- the- Art Report of RILEM Technical Committee 196-ICC, RILEM Publications S.A.R.L., June 2007, 50 pp
- 5-Yanjun. Y, Cahyadi. JH, Simulation of silica fume blended cement hydration, Materials and Structures, 37(2004), 397-404



6-Langan .BW, Weng. K, Ward. MA, Effect of silica fume and fly ash on heat of hydration of Portland Cement, Cement and Concrete Research.32(2002), 1045-1051

Archive of SID

## لینک های مفید



عضویت  
در خبرنامه



کارگاه های  
آموزشی



سرویس  
ترجمه تخصصی  
STRS



فیلم های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سرویس های  
ویژه

**40%**

۴۰٪ تخفیف

به مناسبت سالروز تاسیس

مرکز اطلاعات علمی