

## مقایسه نرخ واکنش پوزولانی سل های نانوسیلیس در مقایسه با نانوسیلیس های پائروژنیک

علیرضا باقری\*

استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

طیبه پرهیزکار

استادیار مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

سیدحسام مدنی

دانشجوی دوره دکتری مهندسی سازه دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

امیرمازیا رئیس قاسمی

کارشناس ارشد مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

### چکیده

دو گروه عمده از نانوسیلیس ها در مطالعات مواد پایه سیمانی مورد بررسی قرار گرفته اند: نانوسیلیس های پائروژنیک و سل های نانوسیلیس. روش های مختلف تولید این مواد منجر به برخی تفاوت ها در خصوصیات آن ها می گردد. به عنوان مثال سل های نانوسیلیس ذرات مجزای پایدار در محیط آبی بوده و سائز کلوخه ای برای آن ها متصور نیست، در حالی که در روش تولید نانوسیلیس های پائروژنیک ذرات به هم فیوز شده و کلوخه های اولیه با ابعادی تا ۱۰۰ نانومتر را ایجاد می کنند، کلوخه های اولیه نیز به هم چسبیده و توده هایی با ابعاد از چند میکرومتر تا چند صد میکرومتر را تولید می نمایند. مطالعه حاضر به مقایسه فعالیت پوزولانی یک نانوسیلیس پائروژنیک با نام تجاری اروزیل ۲۰۰ و یک سل نانوسیلیس با نام تجاری لوازیل ۲۰۰/۳۰ پرداخته و تأثیر این مواد را بر درجه هیدراسیون سیمان مورد بررسی قرار می دهد. شایان ذکر است که نانوسیلیس های مورد بررسی دارای سطح ویژه برابر ۲۰۰ مترمربع بر گرم بوده اند. نتایج نشانگر آن هستند که علی رغم سائزهای بزرگ کلوخه ای نانوسیلیس پائروژنیک، این ماده دارای واکنش پوزولانی سریع تر نسبت به سل نانوسیلیس در خمیره های آهکی و سیمانی اند. نتایج همچنین نشان می دهند که نانوسیلیس ها در سن ۱ روز اثر سریع کنندگی بر هیدراسیون سیمان داشته اما پس از سن ۷ روز درجه هیدراسیون سیمان برای حالت جایگزینی بخشی از سیمان با نانوسیلیس ها نسبت به خمیره کنترل کاهش یافته است. کاهش درجه هیدراسیون سیمان می تواند به دلیل جذب قابل توجه آب در ساختار نانوسیلیس ها و بالطبع کاهش آب در دسترس برای هیدراسیون سیمان باشد.

واژه های کلیدی: نانوسیلیس های پائروژنیک، سل های نانوسیلیس، واکنش پوزولانی، درجه هیدراسیون، هیدروکسید کلسیم

## ۱. مقدمه

با مورد توجه قرار دادن تفاوت‌های نانوسیلیس‌های پایروژنیک و سل‌های نانوسیلیس، به‌ویژه تفاوت قابل توجه در وضعیت کلوخه‌ای این مواد [۱۰]، انتظار می‌رود این دو نوع نانوسیلیس دارای نرخ واکنش پوزولانی متفاوت از یکدیگر باشند. در مطالعه حاضر نرخ واکنش پوزولانی نانوسیلیس‌های پایروژنیک و سل‌های نانوسیلیس در سطح ویژه برابر ۲۰۰ مترمربع بر گرم مورد مقایسه قرار گرفته است. درجه هیدراسیون سیمان و زمان‌های گیرش خمیره‌های سیمانی حاوی نانوسیلیس‌ها و خمیره کنترل نیز تعیین گردیده و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱-۲. مواد و تجهیزات

در مطالعه حاضر اروزیل ۲۰۰ و Levasil 200/30 به ترتیب به‌عنوان معرف نانوسیلیس‌های پایروژنیک و سل‌های نانوسیلیس مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. اروزیل ۲۰۰ محصول شرکت دگوسا بوده و مطابق اطلاعات تولیدکننده دارای سطح ویژه ۲۰۰ مترمربع بر گرم و متوسط سایز ذرات ۱۲ نانومتر است. برای استفاده از اروزیل ۲۰۰ در خمیره‌های سیمانی این ماده با آب و با غلظت وزنی ۱۰٪ مخلوط شده، مقدار سود لازم برای تنظیم pH در حد ۱۰ به سوسپانسیون اضافه شده و به مدت ۱ ساعت سوسپانسیون با یک همزن دور بالا با سرعت دورانی ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مخلوط شده است. برای استفاده از نانوسیلیس در خمیره‌های آهکی این ماده در غلظت ۱۵ درصد با آب مخلوط گردیده، pH در ۱۰ تنظیم گردیده و سوسپانسیون حاصله به مدت ۱ ساعت مخلوط شده است. سل نانوسیلیس دارای سطح ویژه ۲۰۰ مترمربع بر گرم و سایز متوسط ذرات ۱۵ نانومتر بوده و از شرکت H.C. Stark با غلظت وزنی ۳۰٪ تهیه شده است. سیمان استفاده شده سیمان تیپ ۲ تولید شرکت سیمان تهران است. ویژگی‌های نانوسیلیس‌ها و سیمان در جدول ۱ ارائه گردیده است.

مطالعات حرارتی ترموگراویمتری با دستگاه NETZCH STA449C روی ۵۰-۷۵ میلی گرم از نمونه‌ها در آتمسفر نیتروژن انجام شده است. نمونه‌ها تا دمای ۱۰۰۵ درجه سانتی گراد با نرخ ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه حرارت داده شده‌اند.

در سالیان اخیر به دلیل مشابهت‌های ساختاری با دوده سیلیسی محققین توجهی جدی به بررسی تأثیر نانوسیلیس‌ها بر خواص مواد پایه سیمانی کرده‌اند. نانوسیلیس‌ها مزیت‌هایی همچون خلوص بالاتر سیلیس، ذرات ریزتر و درصد بالاتر سیلیس آمورف نسبت به دوده سیلیسی با سطح ویژه متداول ۲۰ مترمربع بر گرم [۱] دارند، لذا انتظار می‌رود که این مواد در بهبود برخی از خواص مواد پایه سیمانی عملکرد مناسب‌تری نسبت به دوده سیلیسی داشته باشند. دو گروه اصلی از نانوسیلیس‌های استفاده شده در مطالعات مواد پایه سیمانی شامل سل‌های نانوسیلیس و نانوسیلیس‌های پایروژنیک می‌شوند.

نانوسیلیس‌های پایروژنیک معمولاً به‌واسطه واکنش تراکلرید سیلیسیم، هیدروژن و اکسیژن در کوره‌های دمای بالا تولید می‌گردند [۲]. در روش تولید این مواد به دلیل حرارت بالای کوره‌ها ذرات به هم فیوز شده و کلوخه‌های اولیه با سایزهای تا ۱۰۰ نانومتر را تشکیل می‌دهند، کلوخه‌های اولیه نیز به واسطه نیروهای سطحی به هم متصل شده و کلوخه‌هایی (توده‌هایی) با ابعادی از چند میکرومتر تا چندصد میکرومتر را ایجاد می‌نمایند.

سل‌های نانوسیلیس معمولاً از روش پلیمریزاسیون و هسته‌زایی اسیدسیلیسیک در محیط آبی تولید گردیده و بر خلاف نانوسیلیس‌های پایروژنیک که در شکل کلوخه‌های بزرگ وجود دارند، این مواد پخش پایدار نانوذرات سیلیسی مجزا از یکدیگر در آب بوده و حالت کلوخه‌ای برای آن‌ها متصور نیست. مسلماً تفاوت در خواص نانوسیلیس‌های پایروژنیک و سل‌های نانوسیلیس منجر به تفاوت در تأثیرگذاری و عملکرد این مواد در مواد پایه سیمانی می‌گردد.

Porro et al 2005 و [۳] Chandra and Bergqvist 1997

[۴] واکنش پوزولانی سریع‌تر سل‌های نانوسیلیس را در مقایسه با

دوده سیلیسی در خمیره‌های سیمانی گزارش کرده‌اند. Korpa et

al 2008 [۵] و Wu and young 1984 [۶] همچنین واکنش

سریع‌تر نانوسیلیس‌های پایروژنیک را در مقایسه با دوده سیلیسی

را گزارش نموده‌اند. نیز درجه هیدراسیون بالاتر فازهای  $C_3A$  و

$C_3S$  سیمان را Stein and Stevels 1964 [۷] و Kurdowski

et al 1982 [۸] و Beedle et al 1989 [۹] برای استفاده از

نانوسیلیس‌های پایروژنیک گزارش کرده‌اند.

جدول ۱- خصوصیات مواد مصرف شده

سیمان	سل نانو سیلیس	نانو سیلیس پایروژنیک	خصوصیات
۲۱/۸۵	۳۰	>۹۹/۸	$SiO_2$
۴/۶	-	-	$Fe_2O_3$
۴/۵۵	-	-	$Al_2O_3$
۶۰/۳۶	-	-	$CaO$
۳/۸	-	-	$MgO$
۱/۷۸	-	-	$SO_3$
۰/۸	۰/۱۵*	-	$Na_2O + .658K_2O$
۱/۱۹	<۲/۵	<۱	L.O.I
۰/۵	۷۰	<۱/۵	Moisture content
۰/۳۱۴	۲۰۰	۲۰۰	Surface area( $m^2 / gr$ )
۳۱۵۰	۱۲۰۵	۵۰	Density( $gr / l$ )
-	۹	-	pH

\* بر اساس اطلاعات تولید کننده تنها شامل NaOH می‌شود.

## ۲-۲. آماده سازی خمیره‌ها

سانتی متر در دو لایه قالب گیری شده و در هر لایه نمونه‌ها به مدت ۲۰ ثانیه تحت ویریه قرار گرفته‌اند. در ۲۴ ساعت اول نمونه‌ها تحت پوشش مرطوب قرار گرفته تا از تبخیر سطحی آب نمونه‌ها جلوگیری شود. پس از آن نمونه‌ها در مخزن‌های آب اشباع از آهک تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شده‌اند.

در سنن تعیین شده نمونه‌ها شکسته شده و از وسط نمونه‌ها مقداری از خمیره برداشته شده و پودر گردیده است. پودر حاصله با استون شسته شده و در کوره با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ ساعت حرارت داده شده است. بدین ترتیب رطوبت موجود در نمونه‌ها کاملاً تبخیر شده و از هیدراسیون بیشتر آن‌ها جلوگیری می‌گردد. در سنن مورد نظر نمونه‌های خشک شده تحت آزمایش ترموگراویمتری قرار گرفته‌اند.

خمیره‌های آهکی با اختلاط هیدروکسید کلسیم و نانو سیلیس در نسبت وزنی ۱/۸۵ (نسبت مولار آهک به سیلیس برابر ۱/۵) و نسبت آب به مواد جامد برابر ۲ تهیه شده‌اند. خمیره‌ها در مخلوط کن ملات برای ۳ دقیقه مخلوط شده و پس از ۱ دقیقه توقف مخلوط کردن به مدت ۳ دقیقه دیگر مخلوط ادامه یافته است. نمونه‌ها در ظروف کاملاً درزبندی شده تا زمان انجام آزمایش نگهداری شده‌اند. پیش از انجام آزمایش ترموگراویمتری خمیره‌ها با استون شسته شده و تحت جریان گاز نیتروژن خشک شده‌اند تا از هیدراسیون بیشتر آن‌ها جلوگیری شود.

خمیره‌های سیمانی در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۲۷ شامل ۳ درصد سیمان جایگزین شده با نانو سیلیس تهیه شده‌اند. شایان ذکر است با توجه به آن که هیچ عامل روان‌سازی در این مطالعه استفاده نشده است مقدار بالاتر جایگزینی به علت کاهش قابل توجه در کارایی خمیره‌ها عملاً امکان‌پذیر نبوده است. یک خمیره کنترل نیز بدون جایگزینی سیمان با نانو سیلیس در نسبت آب به سیمان ۰/۲۷ ساخته شده است. خمیره‌ها در مخلوط کن ملات به مدت ۳ دقیقه مخلوط شده و پس از ۱ دقیقه توقف، مخلوط کردن به مدت ۴ دقیقه دیگر ادامه یافته است. خمیره‌ها در قالب‌های مکعبی با بعد ۵

## ۲-۳. تعیین واکنش پوزولانی نانو سیلیس‌ها در خمیره‌های آهکی

از آزمایش ترموگراویمتری برای سنجش واکنش پوزولانی نانو سیلیس‌ها در خمیره‌های آهکی استفاده شده است. در این رابطه مقدار واکنش پوزولانی بر اساس نسبت هیدروکسید کلسیم

مصرف شده به هیدروکسید کلسیم اولیه با انجام اصلاحات روی فاز کربناته سنجیده شده است.

## ۴-۲. تعیین مقدار درجه هیدراسیون سیمان و هیدروکسید کلسیم خمیره های سیمانی

آزمایش ترموگراویمتری برای سنجش درجه هیدراسیون سیمان و مقدار هیدروکسید کلسیم خمیره های سیمانی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه فرض شده که سیلیس آمورف در واکنش با هیدروکسید کلسیم آبی به صورت ترکیب شیمیایی مصرف نموده و آب موجود در ساختار CSH حاصله آب موجود در هیدروکسید کلسیم است. همچنین فرض شده است که هیدراسیون ۱ گرم سیمان حدود ۰/۲۳ گرم آب غیر قابل تبخیر تولید می نماید. برای محاسبه آب غیر قابل تبخیر ( $W_n(t)$ ) تغییر وزن نمونه بین دماهای ۱۰۵ و ۱۰۰۵ درجه سانتی گراد تعیین گردیده و این تغییر وزن نسبت به وزن نمونه در دمای ۱۰۰۵ درجه سانتی گراد نرمالیزه شده است. شایان ذکر است که اثر کربناسیون نیز در محاسبه مقدار آب غیر قابل تبخیر لحاظ شده است.

درجه هیدراسیون سیمان در خمیره ها به صورت ذیل محاسبه گردیده است:

$$\Gamma_{TG} = \frac{W_n(t)}{m_c \cdot W_n(\infty)} \quad (1)$$

$\Gamma_{TG}$ : معرف درجه هیدراسیون سیمان.

$W_n(t)$ : مقدار آب غیر قابل تبخیر در زمان مورد نظر.

$W_n(\infty)$ : میزان آب غیر قابل تبخیر برای هیدراسیون کامل سیمان (برابر با ۰/۲۳).

$m_c$ : نسبت وزنی سیمان به مواد سیمانی (۰/۹۷) برای خمیره های حاوی نانوسیلیس و ۱ برای خمیره کنترل).

برای سنجش مقدار هیدروکسید کلسیم، تغییر وزن نمونه ها به علت تجزیه هیدروکسید کلسیم در نمودارهای ترموگراویمتری تعیین گردیده و وزن هیدروکسید کلسیم نسبت به وزن سوخته (وزن نمونه در ۱۰۰۵ درجه سانتی گراد) مشخص شده است. بدین منظور از نمودارهای DSC برای تعیین ابتدا و انتهای تغییر فاز هیدروکسید کلسیم استفاده شده اند. در محاسبه مقدار هیدروکسید کلسیم در این مطالعه اثر کربناسیون لحاظ گردیده است.

## ۵-۲. تعیین زمان های گیرش خمیره های سیمانی

زمان های گیرش خمیره های سیمانی توسط دستگاه ویکات و طبق دستورالعمل ASTM C191 [۱۱] تعیین شده اند. شایان ذکر است که هر چند طبق استاندارد مذکور زمان گیرش نمونه ها در غلظت برابر اندازه گیری می شوند، لیکن با توجه به این که در مطالعه حاضر خمیره ها برای سنجش سایر خواص همچون تعیین واکنش پوزولانی و درجه هیدراسیون سیمان در نسبت های آب به مواد سیمانی برابر ساخته شده اند، لذا زمان های گیرش در نسبت آب به مواد سیمانی برابر تعیین شده اند.

## ۳. نتایج

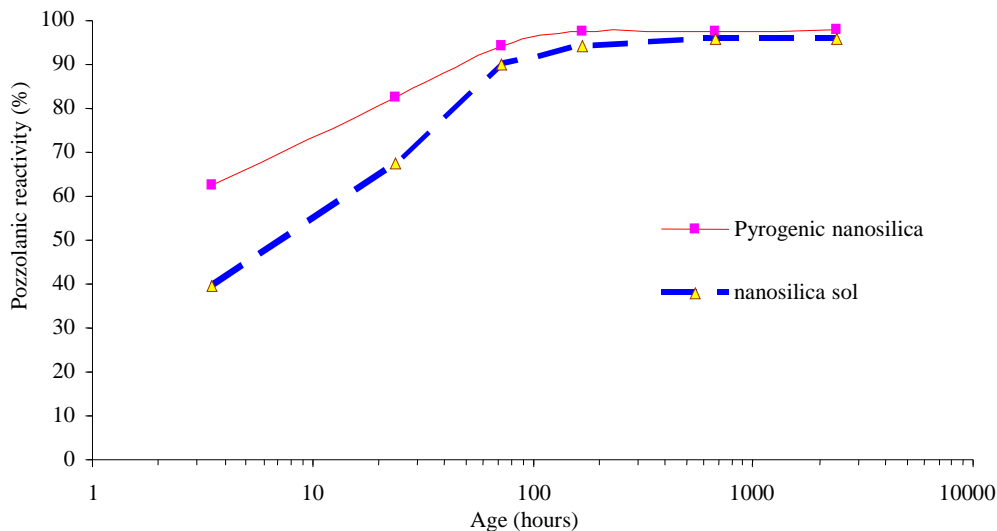
### ۳-۱. واکنش پوزولانی نانوسیلیس ها در خمیره های آهکی

میزان مصرف آهک (واکنش پوزولانی) اروزیل ۲۰۰ و Levasil 200/30 در خمیره های آهکی در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج نشانگر آن هستند که علی رغم حالت کلوخه ای اروزیل ۲۰۰، این ماده دارای نرخ مصرف آهک بالاتر نسبت به سل نانوسیلیس می باشد. هر دو ماده در سن ۳/۵ ساعت بخش قابل توجهی از واکنش پوزولانی خود را انجام داده اند. در این سن اروزیل ۲۰۰ میزان ۶۰٪ از هیدروکسید کلسیم را مصرف نموده، در حالی که سل نانوسیلیس با سطح ویژه مشابه تنها حدود ۴۰٪ از آهک را در این سن مصرف کرده است. در سن ۲۴ ساعت واکنش پوزولانی سل سیلیس تقریباً برابر با واکنش پوزولانی نانوسیلیس پایروژنیک در سن ۳/۵ ساعت می باشد. در این سن اروزیل ۲۰۰ حدود ۸۲٪ از آهک را مصرف نموده که حدود ۱۵٪ بیشتر از آهک مصرفی سل سیلیس در این سن است. در سن ۷۲ ساعت واکنش پوزولانی دو نوع نانوسیلیس تقریباً تکمیل شده و بیش از ۹۰٪ آهک توسط نانوسیلیس ها مصرف شده است.

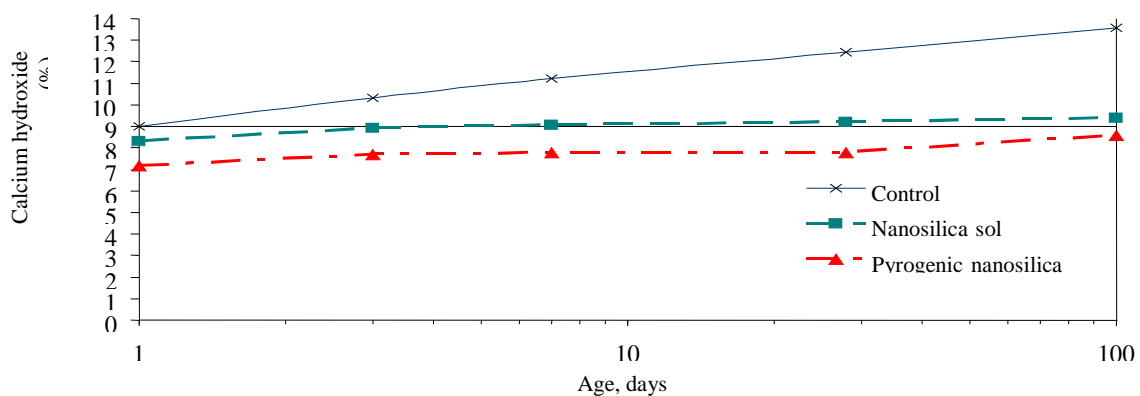
### ۳-۲. واکنش پوزولانی نانوسیلیس ها در خمیره های سیمانی

مقدار هیدروکسید کلسیم خمیره های سیمانی حاوی نانوسیلیس در مقایسه با خمیره کنترل در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشانگر آن هستند که نانوسیلیس پایروژنیک دارای نرخ واکنش بالاتر نسبت به سل نانوسیلیس در ۲۴ ساعت اول بوده و مقدار

هیدروکسید کلسیم بیشتری را مصرف نموده است. مقدار هیدروکسید کلسیم مصرفی بیشتر نانوسیلیس پایروژنیک نسبت به سل نانوسیلیس در سایر سنین تا سن ۱۰۰ روز نیز مشهود است. این نتایج مویب نتایج واکنش پوزولانی خمیره‌های آهکی بوده و نشانگر سرعت بالاتر واکنش پوزولانی نانوسیلیس‌های پایروژنیک در مقایسه با سل‌های نانوسیلیس‌اند.



شکل ۱- واکنش پوزولانی نانوسیلیس‌ها در خمیره‌های آهکی



شکل ۲- مقدار هیدروکسید کلسیم خمیره‌های سیمانی حاوی نانوسیلیس‌ها و خمیره کنترل

تسریع کنندگی این مواد بر هیدراسیون سیمان در سنین اولیه است. با گذشت زمان و در سن ۳ روز سیمان در خمیره‌های حاوی نانوسیلیس دارای درجه هیدراسیون برابر با خمیره کنترل بوده و پس از ۷ روز کاهش درجه هیدراسیون سیمان نسبت به خمیره کنترل مشهود است. درجه هیدراسیون کمتر سیمان در خمیره‌های سیمانی حاوی نانوسیلیس‌ها نسبت به خمیره کنترل احتمالاً به علت جذب قابل توجه آب در ساختار نانوسیلیس‌ها است که از مقدار آب لازم برای هیدراسیون سیمان می‌کاهد، لذا درجه هیدراسیون سیمان به دلیل آب قابل دسترس کمتر در خمیره‌های حاوی نانوسیلیس‌ها نسبت به خمیره کنترل کاهش می‌یابد. یافته

### ۳-۳. درجه هیدراسیون سیمان در خمیره‌های سیمانی

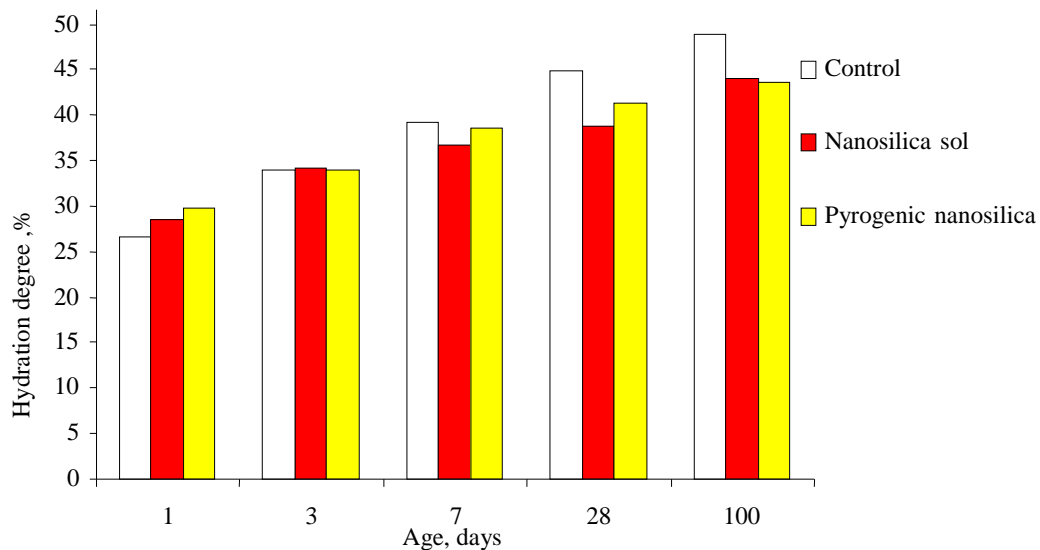
درجه هیدراسیون سیمان در خمیره‌های سیمانی در شکل ۳ ارائه گردیده است. نتایج نشانگر آن هستند که سیمان در خمیره حاوی نانوسیلیس پایروژنیک در اغلب سنین دارای درجه هیدراسیون بالاتری نسبت به سیمان در خمیره حاوی سل نانوسیلیس‌اند. البته در درازمدت و در سن ۱۰۰ روز خمیره‌های حاوی سل نانوسیلیس و نانوسیلیس پایروژنیک درجه هیدراسیون سیمان برابری دارند.

خمیره‌های حاوی هر دو نوع نانوسیلیس درجه هیدراسیون بالاتر نسبت به خمیره کنترل در سن ۱ روز دارند که این حاکی از اثر

فوق در توجیه نتایج گزارش شده بسیاری از محققین روی اثر نانوسیلیس بر خواص مقاومتی مواد پایه سیمانی که افزایش قابل توجه مقاومت در سنین اولیه و اثر بخشی کمتر در سنین بالاتر را گزارش نموده اند [۱۲-۱۵]، حائز اهمیت است.

### ۳-۴. زمان های گیرش

نتایج زمان های گیرش در جدول ۲ ارائه شده است. همان طور که مشخص است جایگزینی بخشی از سیمان با نانوسیلیس ها سبب سریع تر این ماده است.



شکل ۳- درجه هیدراسیون سیمان در خمیره های سیمانی

جدول ۲- زمان های گیرش خمیره های سیمانی

خمیره	زمان گیرش اولیه	زمان گیرش نهایی	تفاوت دو زمان گیرش
کنترل	۲۰۶	۲۹۸	۹۲
حاوی سل سیلیس	۱۷۲	۲۳۰	۵۸
حاوی سیلیس پایروژنیک	۷۵	۱۱۲	۴۷

می تواند از آب در دسترس برای هیدراسیون سیمان کم کند. مکانیزم فوق در توجیه نتایج گزارش شده محققین مختلف روی اثر نانوسیلیس بر خواص مقاومتی مواد پایه سیمانی، که افزایش قابل توجه مقاومت در سنین اولیه و اثر بخشی کمتر در سنین بالاتر را گزارش نموده اند، حائز اهمیت است.

نانوسیلیس ها اثر تسریع کنندگی بر زمان های گیرش اولیه، نهایی و بازه بین این دو زمان در خمیره های سیمانی نسبت به خمیره کنترل داشته و اثر نانوسیلیس پایروژنیک در کاهش این زمان ها بیشتر از سل نانوسیلیس است.

### ۴. نتیجه گیری

نتایج ترموگراویمتری خمیره های آهکی و سیمانی نشان می دهد که علی رغم حالت کلوخه ای نانوسیلیس های پایروژنیک، این مواد دارای سرعت واکنش بالاتری نسبت به سل های نانوسیلیس در سطوح ویژه برابر هستند.

جایگزینی بخشی از سیمان با نانوسیلیس ها اثر تسریع کنندگی بر هیدراسیون سیمان در سنین اولیه (سن ۱ روز) داشته است. اگرچه از سن ۷ روز کاهش درجه هیدراسیون سیمان نسبت به خمیره کنترل مشهود است. کاهش درجه هیدراسیون سیمان احتمالاً به دلیل جذب آب قابل توجه در ساختار نانوسیلیس ها است که

[7]. H.N. Stein, J.M. Stevels, "Influence of silica on the hydration of  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ," Journal of Applied Chemistry, Vol.14, pp.338-346, 1964.

[8]. W. Kurdowski, W. Nucun-Wczelik, "The tricalcium silicate hydration in the presence of active silica," Cement and Concrete Research, Vol.13, pp 341-348, 1983.

[9]. S.S. Beedle, G.W. Groves, S.A. Rodger, "The effect of fine pozzolanic another particles on hydration of  $\text{C}_3\text{S}$ ," Advances in Cement Research, Vol.2, No.5, pp.3-8, 1989.

[10]. A. Bagheri, T.Parhizkar, H. Madani, A.M. Raisghasemi, "the influence of different preparation methods on aggregation status of pyrogenic nanosilicas utilized in cement mixtures," Materials and Structures, accepted article, DOI 10.1617/s11527-012-9889-z, 2012.

[11]. American Society for Testing and Materials., "Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle," ASTM C191, 2004.

[12]. J.V. Agullo, V.C. Ligerio, D.P. Rico, M.J.G. Cases, A.G. Martinez, J.M.M. Royo, J.G. Moreno, "Mortar and concrete reinforced with nanomaterials," Proceeding of nanotechnology in construction, Vol.3, pp.383-388, 2009.

[13]. B.W. Jo, C.H. Kim, J.H. Lim, "Characteristics of cement mortar with nano- $\text{SiO}_2$  particles," ACI Materials Journal, Vol.104, No.4, 2007.

[14]. J.E. Otterstedt, P. Greenwood, "Some important, fairly new uses of colloidal silica /silica sol," ed: H.E. Bergna, W.O. Roberts, Colloidal Silica, Fundamentals and applications, Boca raton, Taylor and Francis group, pp. 757-764, 2006.

[۱۵]- صدرممتازی، ع، فصیحی، ع، میرگذارلنگرودی، م، ع، "استفاده از نانوسیلیس جهت بهبود خواص سیمان‌های کامپوزیت حاوی دوده سیلیسی،" مجموعه مقالات هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، شیراز، ۱۳۸۸.

## ۵. تشکر و قدردانی

نویسندگان لازم می‌دانند از حمایت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن برای انجام این مطالعه قدردانی نمایند. همچنین از خانم‌ها جعفری‌پور و فیروزیار برای انجام تست‌های ترموگراویمتری سپاسگزاری می‌شود.

## ۶. مراجع

[1]. ACI Committee 234., "Guide for the use of silica fume in concrete," ACI Manual of Concrete Practice, Part1, Farmington Hills, American Concrete Institute, 2001.

[2]. U. Brinkmann, M., Ettliger, D., Kerner, R., Schmoll, "Synthetic Amorphous Silica," Colloidal Silica, Fundamentals and applications, ed: Bergna, H.E., Roberts, W.O., Taylor and Francis group, Boca raton, pp. 575-588, 2006.

[3]. Chandra,S., Maiti,S.C. "Improved properties of cement mortar and concrete with colloidal silica," Proceeding of sixth NCB international seminar on cement and building materials, New Delhi, ed: in: National Council for Cement and Building Materials, The Council, pp. 24-27, 1998.

[4]. A. Porro, J.S. Dolado, I. Campillo, E. Erkizia, Y.de. Miguel, Y. Ibara, de. Saez, A. Ayuela, "Effect of nanosilica additions on cement pastes," Proceeding of Applications of Nanotechnology in Concrete Design, Dundee, ed: R.K. Dhir, M.D. Newlands, L.J. Csetenyi, Thomas Telford, pp. 87-96, 2005.

[5]. A.Korpa, R. Trettin, K.G. Bottger, J. Thieme, C. Schmidt, "Pozzolanic reactivity of nanoscale pyrogene oxides and their strength contribution in cement-based systems," Advances in Cement Research, Vol.20, no.1, pp.35-46, 2008.

[6]. Wu,Z.Q., Young,J.F., "The hydration of tricalcium silicate in presence of colloidal silica", Journal of Materials Science, Vol.19, pp. 3477-3486, 1984.

## The rate of pozzolanic reactivity of pyrogenic nanosilicas as compared with nanosilica sols

A. Bagheri\*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, K.N.Toosi University of Technology

T. Parhizkar

Assistant Professor, Building and Housing Research Center

S.H. Madani

PhD student, Department of Civil Engineering, K.N.Toosi University of Technology

A.M. Raisghaeseemi

Building and Housing Research Center

( Received: 2012/4/12, Accepted: 2012/6/28)

### Abstract

Pyrogenic nanosilicas and nanosilica sols are two types of nanosilicas, which have been investigated in numerous studies of cement-based materials. Different production process of these materials leads to different characteristics of them. For instance, nanosilica sols are monodispersed particles in water; while, in the production process of pyrogenic nanosilicas, particles fuse together and form primary aggregates with sizes up to 100 nanometers. The primary aggregates also bind together and form agglomerates with sizes from a few micrometers up to a few hundred micrometers. This article presents the results of an investigation on the rate of lime consumption of the product Aerosil 200 (a pyrogenic nanosilica with surface area of 200 m<sup>2</sup>/g) and Levasil 200/30 (a nanosilica sol with surface area of 200 m<sup>2</sup>/g and concentration of 30%). The results show that despite the agglomeration state of the pyrogenic nanosilica, this material has faster pozzolanic reactivity than the nanosilica sol in lime and cement pastes. The results also indicate that the nanosilicas have accelerating influence on the hydration degree of cement at early ages. However, by progress of hydration and from 7 days lower hydration degree of cement compared to the plain paste was observed. It appears that considerable water absorption of nanosilicas is responsible for the lower available water for hydration of cement and consequently lower hydration degree of cement.

**Keywords:** pyrogenic nanosilica, nanosilica sol, pozzolanic reactivity, hydration of cement, calcium hydroxide.

---

\* Corresponding author: bagheri@kntu.ac.ir