

# بررسی آزمایشگاهی تاثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مکانیکی و دوام بتن خودتراکم در مواجهه با محیط‌های کلریدی

رضا فرازمندفر<sup>۱\*</sup>، علی هوشمند آیینی<sup>۲</sup>، محسن فلاحتکار گشتی<sup>۳</sup>

۱. کارشناس ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی واحد رشت.
۲. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودبار.
۳. استادیار گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی واحد رشت.

Email: rfarazmandfar@gmail.com

تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

## چکیده

بتن خود تراکم به دلیل ویژگی‌های برجسته اش مانند خواص مکانیکی و دوام برتر شناخته شده است. خوردگی میلگرد در اثر نفوذ یون‌های کلرید در عناصر بتن مسلح از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بنابراین این موضوع در بتن خود تراکم باید بررسی شود. از مواد پوزولانی می‌توان در بتن خود تراکم برای افزایش مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر استفاده کرد. در این تحقیق آثار مواد پوزولانی شامل میکرو سیلیس، نانو سیلیس، خاکستر بادی، خاکستر پوسته برنج و همچنین پودر سنگ آهک بر ویژگی‌های مکانیکی و دوام بتن خود تراکم قرار داده شده در محیط کلریدی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که نانو سیلیس ویژگی‌های مکانیکی و دوام بتن خود تراکم را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، بتن خود تراکم حاوی ترکیبی از نانو سیلیس و مواد پوزولانی دارای خواص بهتری نسبت به نمونه حاوی نانو سیلیس است.

**واژگان کلیدی:** نانوسیلیس، بتن خودتراکم، دوام، محیط‌های کلریدی.

## مقدمه

بالای مکانیکی، کارایی و دوام و همچنین با توجه به ویژگی‌هایی چون شکل‌پذیری بالا، جریان پذیری کنترل شده و مقاومت در برابر آب انداختگی و جداسازی در رده

بتن خود تراکم از گروه بتن‌های با کارایی بالاست که جزء بتن توانمند محسوب می‌شود. بتن خودتراکم با توجه به مشخصات

توجه در این زمینه نانوسیلیس می باشد [7]. افزودن نانو سیلیس به بتن موجب افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی، کاهش زمان گیرش و کاهش نفوذ پذیری و همچنین مقاومت بالاتر در برابر حمله های شیمیایی می شود. آزمایش هایی که روی نانو سیلیس انجام شده، نشان داده اند که این ذرات نه تنها برای محیط زیست مشکل ساز نیستند بلکه نتایج بهتری در مقایسه با میکرو سیلیس ارائه می کنند [8].

هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی تاثیر نانوسیلیس، مواد پوزولانی شامل ( میکروسیلیس، پوسته شلتوک برنج، خاکستر بادی)، پودر سنگ آهک و فوق روان کننده از ویژگی های مکانیکی و دوام بتن خودتراکم در محیط کلریدی است. مشخصات مورد بررسی شامل مقاومت فشاری، خمشی، جذب آب می باشد.

### مشخصات مواد و مصالح:

نانوسیلیس مورد استفاده به صورت محلول در آب است که ماده جامد ۳۰ درصد از آن را تشکیل می دهد. مشخصات نانوسیلیس مورد استفاده شامل قطر ذرات ۵۰ نانومتر، ویسکوزیته ۳ CPS، رنگ شیری شفاف، PH برابر با ۱۰ و چگالی آن برابر با  $1/03 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$  است.

در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ کارخانه سیمان اصفهان مورد استفاده قرار گرفته است. مدت گیرش اولیه و نهایی سیمان به ترتیب برابر ۹۰ و ۲۴۰ بوده و چگالی آن نیز برابر  $3150 \text{ kg/m}^3$  است [9].

میکروسیلیس مورد استفاده با نام تجاری Vand Silica Fume و با نرمی بلین  $200,000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  از یک شرکت معتبر تهیه شد. ترکیبات شیمیایی این ماده در جدول (۱) ارائه شده است. خاکستر بادی مورد استفاده از نوع کم کلسیم می باشد که از یک شرکت معتبری تهیه شده است. مشخصات شیمیایی عناصر و اکسید های موجود در خاکستر بادی در جدول (۱) ارائه شده است.

خاکستر پوسته شلتوک برنج مورد استفاده از سوزاندن پوسته برنج در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد بدست آمده است. ترکیبات شیمیایی خاکستر پوسته شلتوک برنج در جدول (۱)

علاقه مندان بسیاری قرار گرفته است. این بتن به راحتی می تواند از بین ازدحام میلگردها عبور کرده و حجم قالب را پر کند و همچنین تحت اثر وزن خود می تواند بدون آب انداختگی و جداسازی می تواند تراکم پیدا کند. روانی بالای بتن خود تراکم زمینه را بدون اعمال هیچگونه لرزش برای پر کردن قالب فراهم کرده است. بتن خود تراکم در واقع می تواند اشکالات عمده بتن معمولی را به راحتی و آلا ببخشد و همچنین از اهمیت بالا و زیادی در صنعت ساختمان و بتن برخوردار است، موضوع بسیاری از پژوهشگران مهم به ویژه در اروپا و ژاپن، بتن خود تراکم می باشد و همین موضوع نشانگر اهمیت دو چندان این مطلب را دارد [1-2-3].

در بتن های خودتراکم، برای پر نمودن فضای بین آرماتورها و دست پیدا کردن به تراکم کافی، بتن تازه باید هر ۲ حالت چسبندگی خوب و سیالیت بالا را همزمان دارا باشد، چون که تنها سیالیت بالا کافی نیست، در واقع زمانی که بتن برخوردار از چسبندگی بالا نباشد، وقتی که بتن در نزدیکی یک مانعی در جریان باشد، سنگدانه های درشت امکان دارد توسط مانع توقف پیدا کند و شروع به بریدن ملات بتن کند و جریان بتن را متوقف می کند [4]. در سال ۱۹۷۵ و ۱۹۷۶ برخی از بتن ها که دارای چنین شرایطی بودند مورد مطالعه قرار گرفته است. در آن موقع هیچ یک از مصالح مدرن که عامل اصلاح کننده لزجت و مبنای فوق روان کننده ها بوده اند، به صورت دسترس نبوده است [5]. کاربرد بتن خود تراکم به خاطر ویژگی های مذکور در حالت بتن تازه و همچنین پس از گیرش به صورت جهانی، در حال گسترش است [6].

با توجه به ریز ساختار بتن و وجود حفراتی در ابعاد نانو در آن، استفاده از نانو ذرات می تواند در پر کردن تخلخل های بسیار ریز خمیر سیمان و افزایش مقاومت و به ویژه دوام بتن موثر باشد. در بسیاری از موارد که عامل مخرب بتن در محیط خارج وجود دارد، نفوذ پذیری بتن نقش بسیار مهمی در پایداری و سرعت تخریب خواهد داشت. استفاده از نانو پودرهایی مانند نانو ذرات کلسیم هیدراته در این زمینه می تواند بسیار موثر باشد، از سوی دیگر این ذرات با انجام واکنش هایی می توانند ترکیبات شیمیایی خمیر را نیز تغییر دهند. یکی از موارد جالب

مشخصات فنی آن هم شامل شکل ظاهری است که به رنگ مایع قهوه‌ای رنگ است و پایه شیمیایی آن هم که از جنس دیسپرسیون پلیمری نمک کربوکسیلیک است. درشت دانه مورد استفاده از نوع گردگوشه رودخانه‌ای و با بیشترین اندازه ۱۲/۵ میلی‌متر می‌باشد که از شرکت لوله سازی شمال تهیه شده است. وزن مخصوص آن  $2630 \text{ kg/m}^3$  و جذب آب ۲/۱۴ درصد می‌باشد. منحنی دانه‌بندی شن در شکل (۱) ارائه شده است.

ارائه شده است. پودر سنگ آهک از کارخانه‌ای در قزوین تهیه شده است و همه ذرات پودر سنگ آهک از الک شماره ۵۰ گذرانده شده است. ترکیبات شیمیایی پودر سنگ آهک در جدول (۱) ارائه شده است. آب مورد استفاده برای ساخت و عمل آوری نمونه‌ها از نوع آب شرب شهر رشت با مقادیر بسیار کم ناخالصی می‌باشد. مشخصات آب مصرفی لزوم ASTM C94 را برآورده می‌کند. [10] فوق روان‌کننده مورد استفاده بر پایه بر پایه کربوکسیلیک که از شرکت وند شیمی تهیه شده است.

جدول ۱. آنالیز ترکیبات شیمیایی مصالح مورد استفاده

| Limestone powder | Rice husk ash | Wind ash | Microsilis | Cement | Chemical composition (%) of the amount |
|------------------|---------------|----------|------------|--------|--|
| 8.20             | 89.90         | 55.9     | 93/86      | 21/32  | Si O <sub>2</sub>                      |
| 1.53             | 0.46          | 27.8     | 1.32       | 3/83   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>         |
| 0.96             | 0.47          | 7.09     | 0.87       | 2/98   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>         |
| 71.39            | 1.01          | 3.95     | 0.49       | 62/02  | Ca O                                   |
| 1.27             | 0.79          | ...      | 0.97       | 3/44   | Mg O                                   |
| ...              | ...           | ...      | 0.31       | 0.12   | Na <sub>2</sub> O                      |
| ...              | 4.50          | 1.55     | 1.01       | 0.73   | K <sub>2</sub> O                       |
| ...              | ...           | ...      | 0.53       | ...    | Si C                                   |
| ...              | ...           | ...      | 0.34       | ...    | C                                      |
| ...              | ...           | ...      | 0.16       | ...    | P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>          |
| ...              | ...           | 0.33     | 0.10       | 2.09   | SO <sub>3</sub>                        |
| ...              | ...           | ...      | 0.04       | ...    | Cl                                     |
| ...              | ...           | 2.25     | ...        | 0.44   | TiO <sub>2</sub>                       |
| ...              | ...           | 0.09     | ...        | ...    | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>          |
| ...              | 0.10          | ...      | ...        | ...    | CO <sub>2</sub>                        |
| ...              | 0.14          | ...      | ...        | 0.2    | MnO                                    |
| ...              | 2.45          | ...      | ...        | 0.05   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>          |
| ...              | <LLD          | ...      | ...        | ...    | S                                      |
| 16.18            | ...           | ...      | ...        | ...    | Mn                                     |
| 0.47             | ...           | ...      | ...        | ...    | Other compounds                        |

Table 1. Analysis of the chemical composition of the materials used

شکل ۱ نمودار دانه بندی الف) درشت دانه و ریزدانه، ب) ماسه (بر پایه استاندارد ASTM C33) [11]

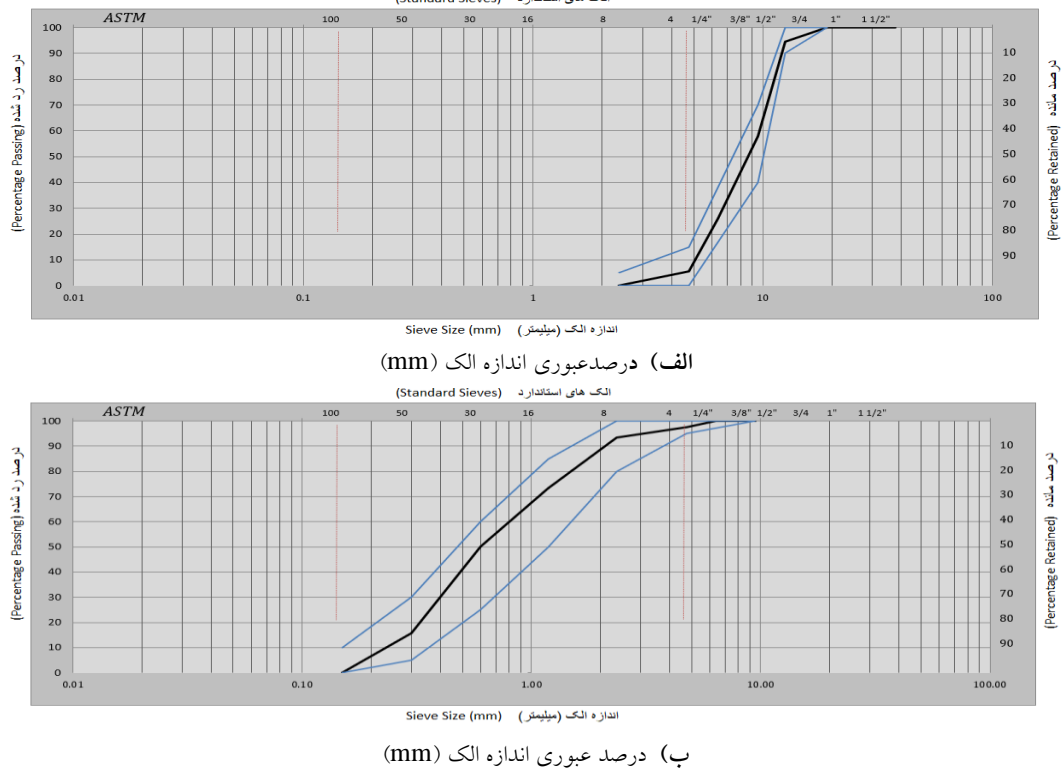


Figure 1: Granulation chart a) coarse and fine, b) sand (based on ASTM C33 standard) [11]

محاسبه شد. آزمایش استاندارد تعیین مقدار هوای مخلوط بتن تازه به روش فشاری طبق استاندارد ASTM C231 [14] انجام شد. برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن در کارگاه طبق استاندارد ASTM C1876 بطور معمول از مقاومت سنج های چهار شاخه ای بهره گیری می شود [15].

### ارائه نتایج و بحث

همان گونه که از نتایج دیده می شود، نمونه ها شرایط پذیرش بتن خودتراکم را دارند. باید اینطور شرح داد که بتن کنترل یا شاهد به طور خالص  $67/8$  سانتی متر جریان اسلامپ آن است و زمانی که نانو به آن اضافه می شود جریان اسلامپش به  $66$  سانتی متر می رسد. به همین صورت وقتی حدود  $10$  درصد مواد فوق روان کننده افزوده می شود جریان اسلامپ آن تغییری نمی کند اما با افزودن  $30$  درصد خاکستر باده جریان اسلامپ به  $69/5$  سانتی متر تغییر پیدا می کند. حال با افزودن  $40$  درصد پودر سنگ آهک جریان اسلامپش به  $67/5$  سانتی متر کاهش پیدا می کند لکن با افزایش  $20$  درصد خاکستر پوسته شلتوک برنج به  $68/5$  سانتی متر می رسد و همچنین شاهد تغییرات دیگری در قیف  $V$  و جعبه  $L$  هستیم که در جدول (۲) می توان مشاهده کرد.

ماسه مورد استفاده از نوع رودخانه ای با مدول نرمی  $2/82$ ، جذب آب  $3/26$  درصد و وزن مخصوص  $2520 \text{ kg/m}^3$  می باشد. منحنی دانه بندی ماسه در شکل (۲) ارائه شده است.

### آزمایش ها

$V$  Funnel,  $L$  Box, جریان اسلامپ به ترتیب بر اساس استانداردهای  $ACI 318$  و طبق موسسه EFNARC انجام شد. آزمایش مقاومت فشاری بر اساس استاندارد  $ASTM C109$  [12] برای نمونه های به ابعاد  $10 \times 10 \times 10$  انجام شد. آزمایش مقاومت خمشی بر اساس استاندارد  $ASTM C348$  [13] روی نمونه های منشوری  $7 \times 7 \times 28$  سانتی متری انجام شد. آزمایش امواج اولتراسونیک بر اساس استاندارد  $ACI 228.2R-98$  توسط دستگاه پاندیت روی نمونه های به ابعاد انجام شد. آزمایش جذب آب با توجه به معیارهای استاندارد  $ASTM C642$  بر سطح نمونه های مکعبی به ضلع ده سانتی متر و در سن  $28$  روزه به انجام رسید. از هر اختلاط دو نمونه مکعبی تولید شده و جذب آب نهایی بر پایه میانگین گیری از مقادیر جذب آب حاصل شده از نمونه ها ارزیابی شد. در آخر آزمایش ها، واپسین توزین به عنوان وزن اشباع مرقوم شده و مقدار جذب آب

جدول ۲ نتایج آزمایش‌های بتن تازه

| L Box<br>H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub> | V funnel<br>according<br>S to | Slump<br>flow<br>cm | Row             |
|---|-------------------------------|---------------------|-----------------|
| 0.94                                    | 6.2                           | 67/8                | SCC (Control) ۱ |
| 0.79                                    | 6.9                           | 66                  | scc+nano ۲      |
| 0.82                                    | 5.7                           | 66                  | SF10NS03 ۳      |
| 0.98                                    | 8.2                           | 69.5                | FA30NS04 ۴      |
| 0.90                                    | 7.1                           | 67.5                | LS40NS05 ۵      |
| 0.93                                    | 6.6                           | 68.5                | RH20NS03 ۶      |

Table 2. Results of fresh concrete tests

شکل ۴ نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین مختلف در محیط کلریدی

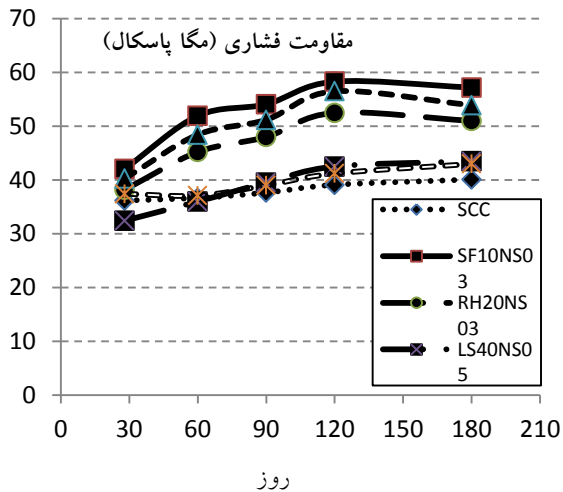


Figure 4. Compressive strength diagram of samples at different ages in chloride environment

### مقاومت فشاری

مقاومت فشاری نمونه‌هایی که میکروسیلیس و نانوسیلیس دارد از همه بیشتر است. زیرا سیلیس بیشتری دارد به همین دلیل مقاومت فشاری بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. سپس نمونه‌های حاوی FA مقاومت فشاری بیشتری داده است. زیرا اول میکروسیلیس، بعد از خاکستر بادی سیلیس بیشتری دارد بعد از آن خاکستر پوسته شلتوک برنج است زیرا سیلیس زیادی دارد اما  $Al_2O_3$  آن کمتر است. از طرفی دیگر دانه‌های خاکستر پوسته شلتوک برنج درشت تر است پس نمی‌تواند در واکنش تأثیری داشته باشد.

شکل ۵. نسبت مقاومت فشاری در محیط کلریدی به آبی برای نمونه‌ها

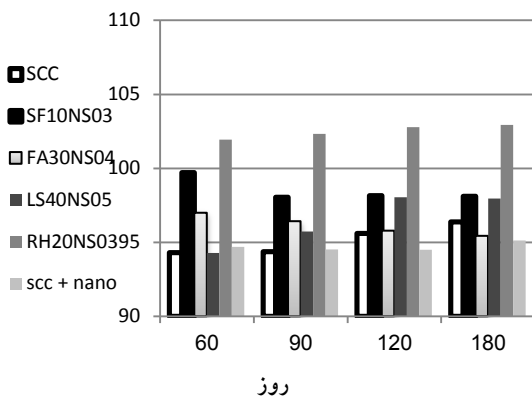


Fig. 5. The ratio of compressive strength in chloride to water environment for the samples

احتمال داده می‌شود به دلیل درشتی دانه‌ها دارای خلل و فرج بیشتری است و در آن خلل و فرج‌ها، کریستال‌های نمک تشکیل می‌شود. این باعث می‌شود مقاومت فشاری در محیط کلریدی بیشتر از آب خالص بدست می‌آید.

### مقاومت خمشی

نتایج مربوط به مقاومت خمشی نمونه‌های مورد مطالعه در شکل (۶) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که بیشترین مقاومت خمشی از نمونه SF10NSO<sub>3</sub> بدست آمده است. زیرا میکروسیلیس آن بیشتر است و سیلیس بیشتری دارد به همین دلیل مقاومت خمشی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.

شکل ۳. نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین مختلف در محیط آبی

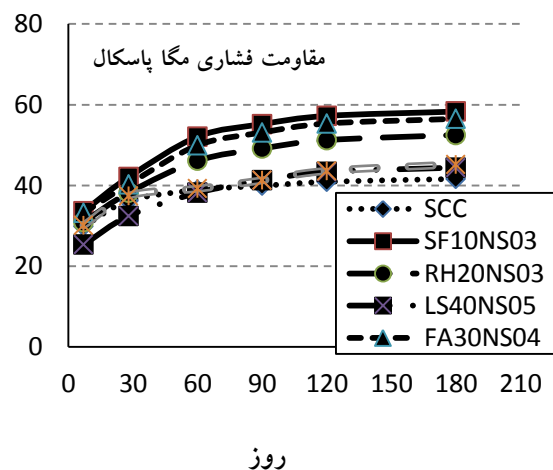


Fig. 3. Compressive strength diagram of samples at different ages in water environment

شکل ۶ نتایج مقاومت خمشی نمونه‌ها

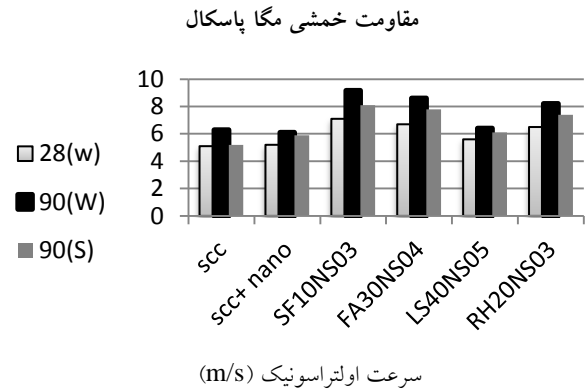
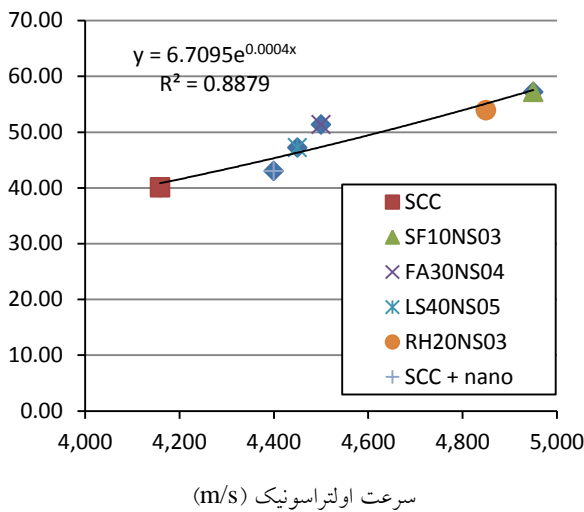


Figure 6. Bending strength results of the samples

شکل ۸ نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها در برابر سرعت امواج مافوق صوت در محیط کلریدی در سن ۱۸۰ روز



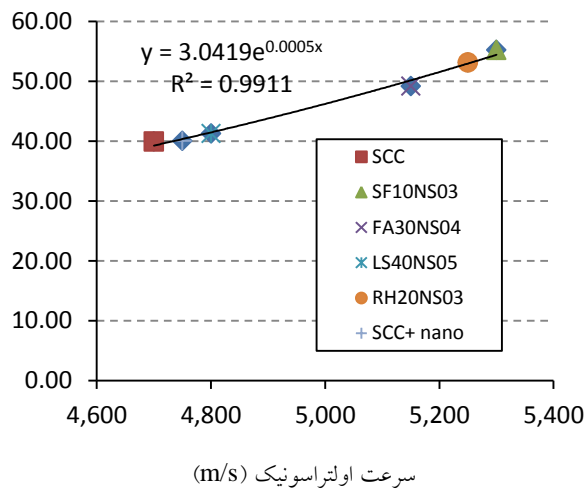
مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۱۸۰ روز در محیط نمکی (مگاپاسکال)

Fig. 8. The graph of compressive strength of the samples against the velocity of ultrasonic waves in chloride environment at the age of 180 days

### آزمایش امواج اولتراسونیک

نمودار همبستگی بین سرعت امواج اولتراسونیک عبوری مقاومت فشاری نمونه‌های بتن قرار گرفته در محیط کلریدی در شکل (۷) نشان داده شده است.

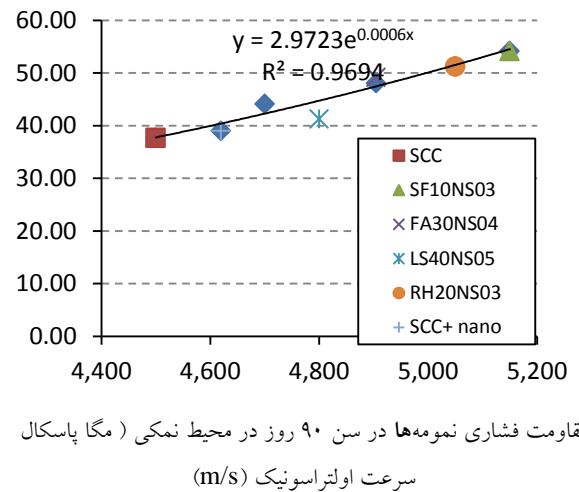
شکل ۹ نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها در برابر سرعت امواج مافوق صوت در محیط آبی در سن ۹۰ روز



مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۹۰ روز در محیط نمکی (مگاپاسکال)

Fig. 9. The graph of the compressive strength of the samples against the speed of ultrasonic waves in the water environment at the age of 90 days

شکل ۷ نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها در برابر سرعت امواج مافوق صوت در محیط کلریدی در سن ۹۰ روز



مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۹۰ روز در محیط نمکی (مگاپاسکال)

Fig. 7. The graph of the compressive strength of the samples against the speed of ultrasonic waves in chloride environment at the age of 90 days

ملاحظه می‌شود رابطه بین این دو متغیر از نوع شیمیایی با ضریب همبستگی بالا  $R^2=0.9694$  می‌باشد.

### مقدار هوای بتن تازه



Figure 12. The results of testing the air content of fresh concrete

### مقاومت الکتریکی

با توجه به شکل (۱۳ و ۱۴) نمونه‌های بتن دارای SF10NSO<sub>3</sub> در محیط آبی و کلریدی مقاومت الکتریکی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها در سن ۹۰ و ۱۸۰ روزه دارد.

جدول ۲. طبقه بندی بتن بر اساس مقاومت الکتریکی

| (Ohm-cm) resistance | corrosion rate |
|---------------------|----------------|
| < 5,000             | Very much      |
| 5,000 – 10,000      | very           |
| 10,000 – 20,000     | Medium to low  |
| > 20,000            | little         |

Table 2 classification of concrete based on electrical resistance

شکل ۱۳. نمودارهای مقاومت الکتریکی نمونه‌های ۱۸۰ روزه در محیط‌های نمکی و آبی

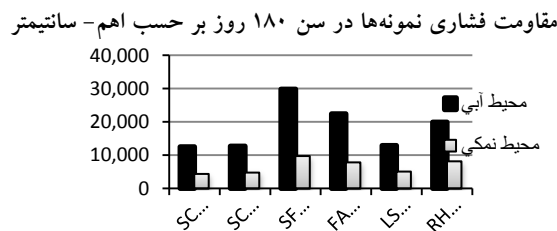


Fig. 13. Electrical resistance diagrams of 180-day samples in saline and water environments

شکل ۱۴. نمودارهای مقاومت الکتریکی نمونه‌های ۹۰ روزه در محیط‌های نمکی و آبی



Fig. 14. Electrical resistance diagrams of 90-day samples in saline and water environments

شکل ۱۰. نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها در برابر سرعت امواج مافوق صوت در محیط آبی در سن ۱۸۰ روز  
مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۹۰ روز در محیط نمکی (مگا پاسکال)

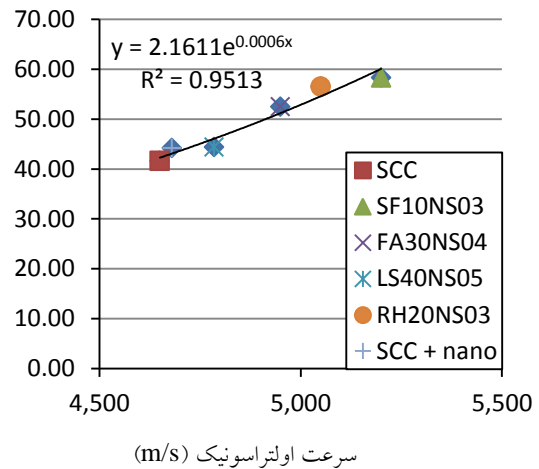


Fig. 10: The compressive strength of the samples against the speed of ultrasonic waves in the water environment at the age of 180 days

### آزمایش جذب آب

در شکل (۱۱) مقادیر جذب آب نمونه‌های قرار گرفته در محیط آب خالص و حاوی نمک ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین مقادیر جذب آب مربوط به نمونه‌های قرار گرفته در محیط آبی بیشتر از محیط کلریدی است. این نتیجه می‌تواند ناشی از تشکیل کریستال‌های نمک در خلل و فرج نمونه‌های بتن قرارگرفته در محیط کلریدی می‌باشد. در نمونه‌های قرار گرفته در محیط کلریدی، کریستال‌های نمک در خلل و فرج بتن تشکیل می‌شود. بنابراین این نوع نمونه‌ها درصد تخلخل و درصد جذب آب کمتری نسبت به نمونه‌های قرار گرفته در محیط آب خالص می‌باشند.

شکل ۱۱. نمودار جذب آب برای دو محیط آبی و نمکی در ۶ طرح مختلف

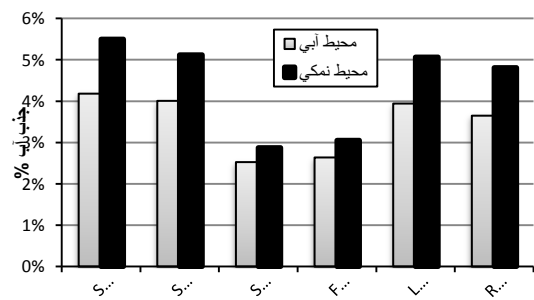


Fig. 11. water absorption diagram for two water and salt environments in 6 different designs



## نتیجه گیری

به لحاظ تحقیقات و آزمایش‌هایی که در این تحقیق به عمل آمده می‌توان چنین فهمید:

۱- مقاومت فشاری بتن خودتراکم دارای نانوسیلیس با اضافه نمودن مواد پوزولانی بیشتر می‌شود و اندازه افزایش در بتن خود تراکم دارای میکروسیلیس در حالت بیشترین بوده است. بطوریکه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن خودتراکم کنترل ۳۶/۱۹ مگاپاسکال، بتن دارای میکروسیلیس و نانوسیلیس ۴۲/۰۶ مگاپاسکال بود که رشد ۱۶ درصدی را نشان می‌دهد. این افزایش برای خاکستر بادی ۱۱ درصد، خاکستر پوسته شلتوک برنج ۵ درصد حاصل شد.

۲- اثر محیط کلریدی در مقاومت فشاری ۱۸۰ روزه به صورت نسبت مقاومت محیط خورنده به محیط معمولی سنجیده شده است. این مقدار برای بتن خودتراکم حاوی نانوسیلیس ۹۵ درصد، بتن حاوی میکروسیلیس ۹۸/۱ درصد، بتن حاوی خاکستر بادی ۹۵/۴ درصد، بتن حاوی خاکستر پوسته شلتوک برنج ۹۷/۱ درصد و برای پودر سنگ آهک ۱۰۶ درصد بودند. نتایج حاکی از آن است نانوسیلیس در مقاومت خوردگی و دوام بتن تاثیر مهمی دارد.

۳- اضافه نمودن نانوسیلیس موجب بهبود دوام خمشی در نمونه‌ها می‌شود و در ترکیب با مواد پوزولانی تاثیر بهتری بدست می‌آید. نمونه دارای پودر سنگ آهک و نانوسیلیس دارای نتیجه‌هایی مشابه نمونه دارای نانوسیلیس به صورت تنهاست. نمونه دارای میکروسیلیس و نانوسیلیس، بالاترین افزایش مقاومت خمشی نسبت به نمونه کنترل و برابر ۴۵ درصد را در سن ۹۰ روزگی بدست می‌آورد. در واقع محیط‌های خورنده موجب کم شدن مقاومت کششی همه نمونه‌ها شده است.

۴- نانو سیلیس به همراه موادهای پوزولانی در محیط‌های کلریدی موجب کم شدن پتانسیل خوردگی شده است. نتیجه‌های کاهش پتانسیل خوردگی برای بتن دارای نانوسیلیس بصورت تنها، نانوسیلیس به همراه SF, FA, LS, و RH به ترتیب برابر ۲/۰۶، ۳۱/۰۷، ۲۵/۰۱، ۸/۰۷ و ۲۰/۰۳ بوده اند که نشانگر این بوده که میکروسیلیس، بیشترین و پودر سنگ آهک کمترین اثرگذاری را دارند.

۵- تحقیق‌های بدست آمده از مقاومت الکتریکی نشانگر این بوده که دوده سیلیس برترین پوزولان برای دافع و پیشگیری و ممانعت از خوردگی بتن در محیط‌های کلریدی است.

۶- از بین پوزولان‌هایی که برای استفاده کردن در این تحقیق هستند، خاکستر پوسته ی شلتوک برنج بیشترین حساسیت را در مقابل انقباض دارد.

## مراجع

- [1] K.H. Khayat, "Workability, Testing and Performance of Self Consolidated Concrete", ACI Materials Journal, V.96 No. 3, May-June, 1999, pp 346-352.
- [2] K.H. Khayat, J. Assaad., J. Daczko, "Comparison of Field-oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self-Consolidated Concrete," ACI Material Journal, V. 101 No. 2, March-April, 2004, pp 168-176.
- [3] L.A. Mata, "Implementation of Self-Compacting Concrete (SCC) for Prestressed Concrete Girders" Master of Science Thesis North Carolina State University November 2004.
- [4] "Brite Euram Proposal No BE963801 SCC" 2000
- [5] V. Corinaldesi, G. Moriconi., "Durable fiber reinforced self compacting concrete" 2003.
- [6] Frank Dehn, Klaus Holschemacher, Dirk Weibe, "Self compacting concrete (SCC) time development of the material properties and Bond behaviour", Lacer No. 5, 2000.
- [7] Aminian, N., Zahouri, Sh. & Zahouri, Sh., 2008. Concrete from structure to architecture, from resistance to beauty. The first national concrete conference, the conference center of Iran National Library and Documentation Organization
- [8] Saak , A. & Jennings, I. S., 2001. New Methodology for Designing Self - Compacting Concrete. Materials Journal, pp. 429-439.
- [9] WWW.isfahancement.com
- [10] ASTM C94/C94M-14b. Standard specification for ready mix concrete; 1994.
- [11] ASTM C33. Standard Specification for Concrete Aggregates. USA: ASTM; 2005.
- [12] ASTM C 109 . Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars ( Using 2 - in or [ 50 - mm ] Cube Specimens ). USA : ASTM ; 2005.
- [13] ASTM C 348 . Standard of tested method for flexural strength of hydraulic cement mortar . USA: ASTM ; 2005 .
- [14] ASTM C 231 . Standard of Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete with the Pressure of Methods . USA : ASTM; 2005.
- [15] Edited with R . mr Winston Revie , " U h l l i g ' s Corrosion Hands of books " , Second Editions . , I S B N 0 - 471 - 15 777 - 5 © 2000 John Wiley & Sons ,In



# Experimental study of the effect of nano-silica on the mechanical properties and durability of self-compacting concrete placed in chloride environments

Reza Farazmandfar<sup>1\*</sup>, Ali Hooshmand Aini<sup>2</sup>, Mohsen Falahatkar Gashti<sup>3</sup>

1. M.Sc. of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Institute of Higher Education of ACECR, Rasht, Iran

2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University- Roudbar Branch, Iran

3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Institute of Higher Education of ACECR, Rasht, Iran

rfarazmandfar@gmail.com

## Abstract:

In recent years, nanotechnology has attracted the attention of many scientists and researchers, which is due to the use of nanoscale particles and their unique physical and chemical properties. On the other hand, cement is a material that binds concrete components together and is widely used in construction projects. As a result, the use of nanomaterials in the production of cement and concrete can improve civil infrastructures, because the lifespan of structures and mechanical resistance are determined by infrastructures and mass transfer on a nano scale. On the other hand, the concrete industry also takes into account its needs in terms of strength, resistance, high efficiency and durability, as well as the problem of corrosion of reinforcements in concrete due to the penetration of chlorine ions, which is one of the biggest challenges of stability and durability in reinforced concrete structures is one of the important users of nanostructure materials. Self-compacting concrete (SCC) is known for its outstanding characteristics such as superior mechanical and durability properties. Corrosion of rebar due to penetration of chloride ions in the reinforced concrete elements is of particular importance. Therefore, this issue in the SCC must be investigated. Pozzolanic materials could be used in the SCC to increase the resistance of concrete against chlorine ion penetration. In this research, effects of pozzolanic materials including micro silica, nano silica, fly ash, rice husk ash, as well as limestone powder on the mechanical and durability characteristics of self-compacting concrete placed in chloride environment have been studied. To check the performance of the above mixtures, properties such as compressive and bending strength, water absorption, expansion and contraction value, electrochemical corrosion potential, ultrasonic, chlorine ion penetration and electrical resistance of the samples located in the environmental conditions of ordinary water and destructive saline with 3% salt It has been evaluated for 180 days. Based on the results obtained from research and experiments, nanosilica improves the mechanical properties of self-compacting concrete, such as durability and compressive and bending resistance against corrosive environments. It was observed in designs containing nanosilica and pozzolanic materials, the said samples have better properties than samples with nanosilica alone. In the meantime, the design containing nanosilica and microsilica showed the best resistance results in addition to the durability of concrete compared to other samples in the conditions of a destructive salt environment, and among the pozzolans that are used in this research, rice paddy husk ash is the most sensitive. against contraction, which is very important. The use of nanomaterials in the production of cement and concrete can improve civil infrastructures, because the lifespan of structures and mechanical resistance are determined by infrastructures and mass transfer at the nanoscale. On the other hand, the concrete industry also considers its needs in terms of strength, resistance, durability and high efficiency, as well as the problem of corrosion of reinforcements in concrete due to the penetration of chlorine ions, which is one of the biggest challenges of durability and stability in reinforced concrete structures, one of the most important users is the structure of nano materials. The results show that nano-silica increases the mechanical and durability characteristics of self-compacting concrete. Moreover, the SCC containing combination of nano-silica and pozzolanic materials has better properties than the one containing nano-silica.

**Keywords:** nano-silica, self-compacting concrete, durability, chloride environment