Archive

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

ارزیابی آزمایشگاهی تاثیر نانو اکسید منیزیم بر روی خواص مقاومتی دوغاب ریز شمع

یاسمن نیکوئی دوگاهه[1]، عطا جعفری شالکوهی[2]

۱- کارشناسی ارشد، جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲- استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرانزلی، ایران

yasamannikoee@gmail.com

چکیده

ریزشمع‌ها دارای کاربردهای کششی، فشاری و کششی-فشاری می‌باشند که متناسب با شرایط موجود از آن‌ها استفاده می‌شود. طول و قطر کم، راحتی حفاری، آسانی نصب، در دسترس بودن، قابلیت اجرا در زمین‌های محدود پایین بودن درصد خسارت ناشی از نصب و همچنین ظرفیت باربری این سیستم بهسازی آن را به یکی از مؤثرترین روش¬های تثبیت و تقویت تبدیل کرده است. در این تحقیق سعی شده به‌منظور شناخت هر چه‌بهتر و بیشتر این سیستم، میزان تأثیر استفاده از افزودنی نانواکسیدمنیزیم بر خصوصیات دوغاب مورد استفاده در این شمع¬ها مطالعه گردد. آزمایش مقاومت فشاری، آزمایش ویسکوزیته (مارش)، آزمایش آب اندازی و مقاومت برشی جهت مطالعه اثر این افزودنی بر دوغاب سیمان صورت گرفت. مشاهده گردید نانواکسیدمنیزیم سبب بهبود مقاومت فشاری و برشی شده، اما مقادیر زیاد از حد آن سبب بالا بردن دمای مخلوط و افزایش ویسکوزیته و آب اندازی شده است؛ بر همین اساس نیاز است تا هنگام کاربرد این ماده، به میزان آن در مخلوط دوغاب توجه زیادی نمود.

کلمات کلیدی: ریزشمع، نانواکسیدمنیزیم، خواص مقاومتی، دوغاب.

۱- مقدمه

کاربرد فناوری نانو در تحول سایر فناوری‌ها، تأثیر بسزایی بر سلامت و آسایش مردم دارد. امروزه کشورهای مختلف با بهره‌گیری از فناوری نانو و تلفیق آن با سایر تخصص‌ها به دستاوردهایی رسیده‌اند که از آن جمله می‌توان به هزینه‌های تولید و نگه‌داری کمتر، مصرف انرژی پایین و طول عمر بیشتر اشاره کرد. بتن از پرکاربردترین مصالح ساختمانی است. این ماده مصنوعی بیشترین تولید سالیانه را دارد. همچنان می‌توان مصالح سیمانی و بتنی را از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی دانست؛ بنابراین بتن مانند موتور صنعت ساختمان می‌باشد. ویژگی برجسته این بتن به علت ارزان بودن و مصرف کم انرژی دارای ویژگی‌های خاص خود می‌باشد. بیش از ۹۰ درصد پوسته اصلی زمین اکسید سیمان است ومی توان گفت منبعی غنی از مواد اولیه در دسترس است. تمام تحولات ساختمانی سالانه بر روی بتن به تقریب ۱۰۰ میلیارد دلار است. متخصصان پیوسته در حال انجام آزمایش بر روی کیفیت روزافزون این مصالح هستند. درصورتی که مشخصه و ویژگی‌های ذاتی این مصالح مانند مقاومت با دیگر مصالح کم به نظر می‌رسد. از ویژگی بتن این است که دردمای اتاق این سیال به ماده‌ای جامد و صلب تبدیل می‌شود؛ و در این فرایند ده‌ها ماده شیمیایی وارد چرخه واکش شیمیایی می‌شوند. البته هنوز به صورت کامل شناخته شده نیستند. بتن شاید برخلاف هرنوع ماده دیگر باگذشت زمان بر روی آن دارای خاصیت تداوم و مقاومت بیشتر می‌شونداین ماده پرکاربرد دارای مقیاس چندگانه است. سنگدانه‌های مورد استفاده دربتن در حد میلی‌متری هستند و نکته حایزاهمیت اینکه

www.SID.ir

Archive

این مواد و مصالح با مقیاس‌های متفاوت در کنار هم عمل می‌کنندتابتن حاصل آید. با شناخت ساختار نانو مقیاس می‌توان دریافت که دلیل خزش بتن در مقیاس‌های مختلف چیست و حتی دیگر ویژگی‌های بتن را می‌توان به کمک تفحص در مقیاس نانو درک کرد. با اینکه فناوری نانو اندکی دیر به قلمرو بتن واردشد این تأخیر را می‌توان به دو عامل نسبت داد. یکی نداشتن درک و دانش کامل از ترکیبات شیمیایی و فیزیکی بتن دیگری نحوه بهبود و ارتقای کیفی در ماده‌ای مانند بتن که ماده‌ای مایع و جامد است. تأثیرات آینده فناوری نانو دربتن که باید این اوصاف مورد بررسی قرارگیرد. ۱-ریزدانه‌ها ۲-خمیرسیمان ۳-محدوده گذر بین سطحی ITZ محدوده‌ای که خمیرسیمان، سنگدانه درشت را در بر می‌گیرد. با بوجود آمدن نگرشهایی که بر پایه نانو فناوری است پتانسیلی برای مصالح شناسان فراهم شد تا بتوانند به تغییرات اساسی در ساختار این مواد به وجود آورند. می‌توان گفت همه ویژگی‌های بتن و دیگر مصالح پایه سیمانی، ناشی از فرایند هیدراسیون آن است درک بهتر رفتار و ساختار بتن در مقیاس نانو به ما کمک خواهد کرد تا ویژگی مطلوب بتن بهبود یابد. افزایش دوام، کاهش شکنندگی (تردی)، افزایش مقاومت کششی خاصیتهایی هستند که می‌توان با افزودنی‌های خاص آن‌ها رابرای بتن بدست آورد. افزودن مواد نانو به سیمان ویژگی‌های عملکردی آن را افزایش می‌دهد. قرارگیری حسگرهای میکرو و نانو الکترومکانیکی متخصصان را قادر کرده تا بتوانند ویژگی‌ها و عکس‌العمل‌های بتن را در مراحل مختلف آمیختن، ریختن، گیرش وبارگذاری بررسی کنند این حسگرها درک انسان را از فرایند هیدراسیون بتن و نابود شدن احتمالی و ترک‌ها ارتقاء می‌دهد و علاوه بر این از هیدروژل‌های فعال محیطی در بتن استفاده می‌شود که امکان حسگری و واکنش دهی نسبت به محرک‌های محیطی نظیر رطوبت و دما را فراهم می‌کند.

در سال ۱۹۹۷ اداره‌ی کل فدرال بزرگراه‌های آمریکا (FHWA) گروهی را برای تحقیق و مطالعه بر روی ریزشمع در نظر گرفت. گروه تحقیق برای این مطالعه، شامل پیمانکاران مهندسین مشاور، دانشجویان و کارفرمایان بودند. مدارک به‌دست‌آمده از این مطالعه، حفاری و تزریق ریزشمع نامیده شد. میکرو شمع‌ها مانند ریشه‌های درخت باعث تثبیت خاک می‌شوند. آن‌ها بر این باور بودند که میکرو شمع‌ها دارای کاربردهای کششی- فشاری می‌باشند که متناسب با شرایط خاک موجود در آن منطقه استفاده می‌شود. نتایجی که به دست آورده شد به این صورت بود که استفاده از شمع‌ها در همه‌جا به‌خصوص در مناطق مسکونی که در اطراف محل موردنظر ساخت‌وسازهایی وجود دارد و یا در مجاورت سازه‌های حساس نمی‌تواند شمع‌های کوبشی یا حفاری‌های عمیق به‌منظور بهسازی زمین استفاده کرد بسیار مفید و مؤثر است. در ضمن از آن‌ها می‌توان علاوه بر مقاوم-سازی پی به‌عنوان پی و یا برای پایداری شیب‌ها و یا دوختن دیوارهای ریزشی مخصوصاً در تونل‌ها استفاده کرد، در سال ۱۳۹۱ منصوری‌کیا به این موضوع پرداخت (منصوری کیا، محمد تقی، ۱۳۹۱).

(Rose, 2009) آزمایش‌های آزمایشگاهی بر روی گروه ریزشمع و فونداسیون با ظرفیت بالا با استفاده از گروه ریزشمع انجام داده است. او آزمایش‌های خود را در خاک ماسه‌ای خشک توسط گروه‌های خطی و مستطیلی برای به دست آوردن یافته‌های خود بر اساس فاصله مناسب بین ریزشمع‌ها انجام داده است. والنتینو (۲۰۱۱) برای دست‌یابی به ظرفیت باربری نهائی بالاتر، ریزشمع با رزین‌هایی از جنس پلی‌اورتان ۲۷ را مورد بررسی قرار داده است. او بعد از انجام آزمایشات گوناگون ریزشمع‌ها در فشار و کشش با توجه به روش پیشنهادی بوستمانت و دویکس (۱۹۸۵) رفتار طبیعی پلی‌اورتان را نشان داد. السلفتی (۲۰۱۱) بر روی رفتار و روابط مربوط به اصطکاک جدار ریزشمع‌های قرار گرفته در خاک‌های دانه‌ای مطالعاتی انجام داده است. او مدل نرم‌افزاری خود را با نرم‌افزار جدید ژئوتکنیکی GEO مدل‌سازی کرده است. این نرم‌افزار که هنوز قابل کاربرد برای ما نیست در تمامی مدل‌سازی‌ها و طراحی‌های پروژه‌های عمرانی و ژئوتکنیکی قابل کاربرد است. قسمتی از این نرم‌افزار برخلاف دیگر نرم‌افزارهای قبلی دارای مدل‌سازی دقیق و قابل‌اطمینان مخصوص ریزشمع‌ها می‌باشد. تعیین عمق منطقه تحت تأثیر نوک شمع در عمق خاک یکی از ویژگی‌های این نرم‌افزار است (Valentino, 2011).

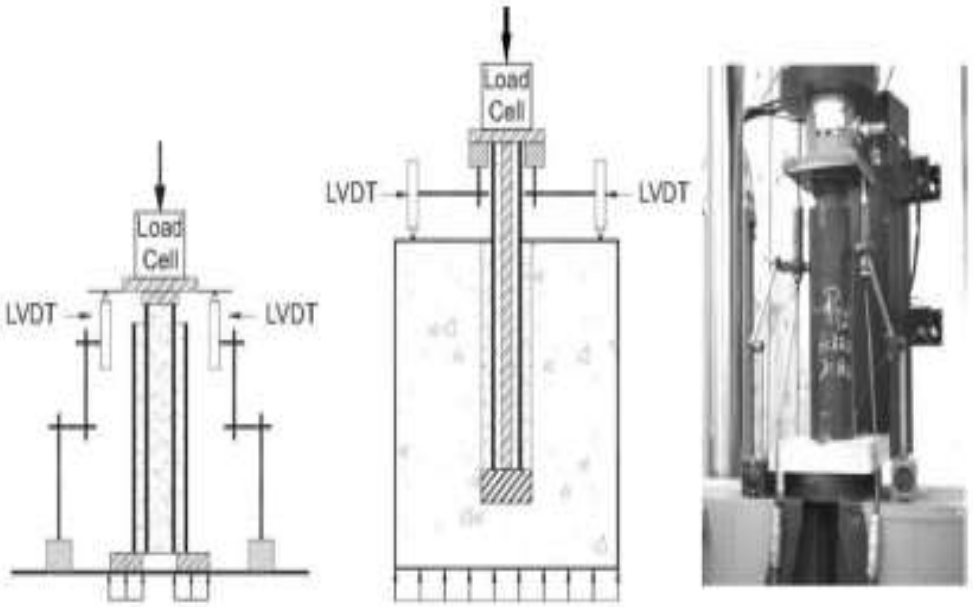
(Veludo et al, 2012) بر روی مقاومت فشاری پیوند دوغاب -ریزشمع تحقیق کرده‌اند. آن‌ها مطالعات تجربی بر روی پارامترهای مؤثر بر سطح مشترک دوغاب-ریزشمع انجام دادند، این پارامترها شامل: قطر سوراخ، طول جایگزینی ریزشمع و

www.SID.ir

Archive

محدوده توده دوغاب تزریقی می‌باشد. ۳۰ نمونه ریزشمع-دوغاب تا حد گسیختگی در تست بارگذاری آزمایش شده‌اند. افزایش مقاومت پیوند با کاهش قطر سوراخ و با افزایش سطح محصورشده دوغاب به نتیجه رسید. در شکل ۲-۱۰ نمونه‌های آزمایش و در شکل ۱ تجهیزات و نحوه‌ی انجام آزمایش آورده شده است.

شکل ۱- نمونه‌های ریزشمع پر شده با دوغاب (Veludo et al, 2012)



شکل ۲- تجهیزات آزمایشگاهی برای آزمایش بارگذاری ریزشمع (Veludo et al, 2012)

(Nakata et al, 2000) با استفاده از آزمایش در مقیاس واقعی تحت بارگذاری استاتیکی قائم و جانبی، مطالعاتی بر روی رفتار قائم ریزشمع تحت بار قائم و ظرفیت خمشی تحت بار جانبی انجام دادند.

www.SID.ir

Archive

(Geosystem, 2002) با استفاده از آزمایش بارگذاری جانبی بر روی گروه ریزشمع‌ها و ریزشمع‌های مشبک، پاسخ جانبی ریزشمع‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش تعداد ریزشمع و نحوه آرایش آن‌ها با بارگذاری در جهت‌های متفاوت موردتوجه قرار گرفت.

(Han & ye, 2006) آزمایشات صحرایی بر روی رفتار تک ریزشمع‌ها تحت بارگذاری فشاری و کششی در رس‌های نرم و تقویت زیر پی انجام دادند. در این آزمایشات واکنش بار جابجایی، مدول الاستیسیته، مقاومت نوک، اندرکنش ریزشمع با رس نرم و مکانیسم انتقال بار در طول ریزشمع بحث شده‌اند.

(مرادی، مجید و میرجلیلی، مجتبی، ۱۳۸۶) به کاربرد دوغاب سیمان ریزدانه به‌عنوان مصالح تزریق، در یک مدل آزمایشگاهی سه‌بعدی بزرگ‌مقیاس پرداختند. این مدل شامل یک مخزن استوانه‌ای به قطر ۱۲۰ و ارتفاع ۱۰۰ سانتیمتر می‌باشد که ماسه با تراکم مشخص در آن ریخته شده و تزریق دوغاب سیمان توسط لوله مشبکی که در مرکز استوانه قرار دارد انجام می‌شود. پس از تزریق به‌منظور بررسی عملکرد تزریق دوغاب سیمان ریزدانه‌بر افزایش مقاومت خاک، نمونه‌گیری از ماسه تزریق‌شده در فواصل مختلف از مرکز تزریق و در اعمال مختلف انجام شده و آزمایش‌های سه محوری و تک‌محوری به روی نمونه‌ها انجام می‌شود. مقایسه نتایج آزمایش‌ها به روی نمونه‌های تزریق‌شده، میزان تأثیر دوغاب سیمان ریزدانه با نسبت‌های مختلف آب به سیمان، در افزایش مقاومت و کاهش نشست پذیری خاک را نشان می‌دهد.

(جانعلی‌زاده، عسکر و همکاران، ۱۳۹۲) بامطالعه موردی، تأثیرات کاربرد ریزشمع بر بهبود خاک شهر بابل، با استفاده از نرم‌افزار المان محدود PLAXIS مورد بررسی قرار داده است. در ابتدا ریزشمع‌هایی با طول و قطر مختلف در،PLAXIS با در نظر گرفتن سطح مشترک خاک و ریزشمع و با دو اندازه مش (ریزودرشت) مدل‌سازی شدند. سپس ظرفیت باربری و نشست خاک بابل که عمدتاً مخلوطی از ماسه به همراه لای می‌باشد، یک‌بار با حضور ریزشمع و بار دیگر بدون آن، محاسبه و آنالیز شد. نتایج آنالیزها بیانگر تاثیر در نظر گرفتن اندرکنش خاک-ریزشمع و مدل کردن سطح مشترک خاک - ریزشمع و اندازه مش در کاهش نشست و افزایش ظرفیت باربری خاک زیر پی می‌باشد. در انتها، نتایج تحلیل ظرفیت باربری و نشست قبل و بعد از اجرای ریزشمع به‌صورت مقایسه‌ای نشان داده‌شده‌اند.

(عربانی، مهیار و رادقی مهرجو، سید مهدی، ۱۳۹۱) به تحلیل اثر رفتار خمیری خاک بر روی پاسخ لرزه‌ای ریزشمع‌ها پرداختند. این تحلیل با استفاده از مدل‌سازی اجزاء محدود در دامنه زمانی انجام شده است. رفتار خاک با استفاده از معیارموهر-کلمب ناپیوسته توضیح داده می‌شود. ریزشمع‌ها و روسازه به‌صورت المان‌های تیر مانند مدل‌سازی می‌شوند. شرایط مرزی به‌گونه‌ای به‌کاررفته که اطمینان حاصل شود که انتقال امواج از طریق مرزهای جانبی به بدنه فرضی خاک صورت گیرد. تحلیل‌ها برای بار هارمونیک انجام شده‌اند؛ بنابراین تحلیل‌ها، رفتار خمیری می‌تواند دارای تأثیر چشم‌گیری بر روی پاسخ لرزه-ای سیستم‌های خاک- ریزشمع‌ها- سازه باشد.

(عالیپور، رسول و همکاران، ۱۳۸۹) در این مقاله به بررسی اثرات بهبود بخش این سیستم بر خصوصیات خاک زیر سازه مخزن آب زیرزمینی به ابعاد ۷×۱۸ متر و مقایسه وضعیت نشست در قبل و بعد از اجرای ریزشمع‌های تزریقی پرداخته‌شده است. نتایج بررسی تحلیل انجام شده بیانگر اثرات محسوس آرایش، طول و قطر ریزشمع‌ها بر کاهش نشست‌های کلی و نشست‌های نامتقارن می‌باشد.

(Abdollahi et al, 2015) در تحقیق خود با استفاده از روش عددی و با به‌کارگیری نرم‌افزار FLAC 3D به بررسی سختی خمشی در گروه ریزشمع‌ها با چیدمان دایره‌ای پرداختند.

(Takashi et al, 2000) با مدل‌سازی آزمایشگاهی و مطالعه بر روی نمونه‌های واقعی ریزشمع به بررسی کارایی و انعطاف‌پذیری ریزشمع‌ها در استفاده برای مقاصد بهسازی پرداختند.

(Sun et al, 2013) روش طراحی برای پایداری شیب‌ها با استفاده از ریزشمع را ارائه دادند. در این تحقیق هدف به دست آوردن فاصله مناسب گروه ریزشمع‌ها برای رسیدن به مقاومت برشی مناسب است؛ بنابراین روش طراحی جدیدی شامل پارامترهایی

www.SID.ir

Archive

از قبیل انتخاب محل مناسب برای اجرای ریزشمع‌ها، انتخاب سطح مقطع مناسب، طول، تخمین ظرفیت برشی ریزشمع، انتخاب فاصله بین ریزشمع‌ها برای تأمین پایداری و ارزیابی مقاومت برشی گروه ریزشمع‌ها ارائه شد. نتایج مشاهده‌شده حاکی از آن است که حرکت شیب‌ها به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

(Ortega et al, 2012) به بررسی تأثیر سیمان سرباره‌ای در بافت و دوام دوغاب بکار رفته در ریزشمع پرداخت. آیین‌نامه به استفاده از نوع خاص سیمان محدود نکرده است. در این تحقیق از سیمان سرباره‌ای استفاده‌شده و با سیمان معمولی مقایسه شده است که نهایتاً نتایج حاکی از آن است که سیمان سرباره‌ای عملکرد بهتری نسبت به سیمان معمولی دارد.

(Veludo et al, 2012) به بررسی مقاومت فشاری ریزشمع در ارتباط با دوغاب پرداختند. در این تحقیق به تـأثیر قطـر طول و جرم ویژه دوغاب در مقاومت نهایی ریزشمع پرداختند. با توجه به مطالعات مقاومت با کاهش قطر و افزایش طول مسلح افزایش می‌یابد.

(Elsaied, 2014) به مطالعه عملکرد پای ستون با ریزشمع در مجاورت شیب‌ها پرداخت. در این تحقیق یک مدل فیزیکی ساخته شده و عکس‌های پی‌درپی تحـت بارگـذاری از آن گرفته‌شده و مشـاهدات در جـداول و نمودارها ثبت شد. نتایج حاکی از آن است که افزایش قابل‌توجهی در مقاومـت خمشـی ریزشمع‌هـا بـا افزایش عمق آن‌ها حاصل می‌شود.

تحقیقات زیادی روی افزودن مواد نانو بر بتن در سال‌های اخیر انجام شده که نشان می‌دهد افزودن نانو ذرات به سیمان منجر به ایجاد خواص مکانیکی مطلوب‌تری می‌شود (اسکریونر و کیر کپارتیک، ۲۰۰۸).

نانو ذرات به دلیل سایز بسیار کوچک خصوصیات ویژه‌ای را در طرح اختلاط بتن از خود بروز می‌دهند (لی هیو و جی لو ۲۰۰۴).

ژنگ (۲۰۰۷) تأثیر مواد نانو را در مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها به‌صورت ریزساختاری بررسی نموده است. در این مطالعه خواص انواع مواد نانو معرفی‌شده و تأثیری که در مقاومت خاک ایجاد می‌کند، بحث گردیده است. مجید و طاها (۲۰۱۲) تأثیر خواص ژئوتکنیکی خاک نرم جزیره پنانگ را که با استفاده از مصالح نانو بهسازی شده بود، بررسی نموده‌اند. در این مطالعه سه ماده نانو اکسید مس، نانو اکسید منیزیم و نانو رس برای بهسازی خاک نرم منطقه پنانگ مورد مطالعه قرار گرفته و اثر این مواد روی نتایج آزمایش تراکم، خصوصیات خمیری و مقاومت فشاری تک‌محوری با استفاده از آزمایش‌های آزمایشگاهی مقایسه گردیده است. در تمامی این موارد حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری خاک کاهش پیدا کرده است. در آزمایش‌های مقاومتی نیز نانورس و نانو اکسید مس تأثیر بیشتری نسبت به نانو اکسید منیزیم داشته است.

لو و همکاران (Luo et al., 2012) جهت بهبود مقاومت خاک نرم، ترکیبی از خاکستر لجن فاضلاب سوزانده شده (SSA) و سیمان به‌عنوان تثبیت‌کننده‌ی خاک مورد استفاده قرار داده‌اند. نسبت ترکیب موردنظر برای SSA و سیمان ۳:۱ بود. رس دارای خاصیت خمیری پایین A6 به‌عنوان خاک اصلاح‌نشده انتخاب گردید.

مجید و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی آزمایشگاهی در زمینه‌ی تأثیر استفاده از نانو مواد در اصلاح و تثبیت خاک نرم پرداختند. خاک‌های نرم از دو منطقه جمع‌آوری‌شده و با سه نوع نانو ماده اصلاح شدند (نانو مس، نانو رس و نانو منیزیم).

پاشا باوندپوری و جهانگیری (۲۰۱۵) با تثبیت خاک توسط آهک و نانو سیلیس رفتار فیزیکی و مکانیکی خاک رس دارای پلاستیسیته بالا را با استفاده از آزمایش‌های آزمایشگاهی مطالعه کرده‌اند.

ناوال و همکاران (۲۰۱۷) خصوصیات خاک منبسط شونده کائولینیت را که با استفاده از دو نوع مواد نانو اکسید منیزیم و نانو اکسید آلومینیوم تثبیت شده بود، توسط مطالعات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده‌اند. گائو و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر نانو اکسید منیزیم را بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک رس بررسی نموده‌اند. میزان متغیر از نانو اکسید منیزیم (۰٪، ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۴٪ و ۶٪ بنا به وزن خاک رس) به شکل آزادانه به نمونه‌های خاک اضافه شدند که شامل میزان‌های مختلفی آب می‌شد (۱۰٪، ۱۶٪ و ۲۲٪). ۱۸ نمونه آماده شدند و تست‌های مقاومت فشاری نامحدود انجام گرفتند. جانعلی زاده چوب بستی و همکاران (۲۰۱۵) مشخصه‌های مکانیکی خاک‌های ماسه‌ای مخلوط شده با سیمان و نانو سیلیس را به‌صورت آزمایشگاهی

www.SID.ir

Archive

بررسی نموده‌اند. تراکم خاک و مقاومت فشاری محصور نشده نمونه‌های تثبیت شده پارامترهای موردبحث در این مطالعه بوده‌اند. ماسه مورداستفاده در این تحقیق از منطقه ساحلی دریای خزر تهیه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن سیمان و نانو سیلیکا سبب بهبود خواص مهندسی ماسه‌ها می‌شود.

موسوی و کرموند (۲۰۱۷) از طریق اضافه نمودن درصد مختلفی از ماده نانوی سی بی آر پلاس در اندازه ۰/۲۵ تا یک درصد وزنی و نیز اختلاط خاک با ۹ تا ۱۰ درصد ماسه سیلیسی به نمونه‌های خاک رس منطقه پاتراجایا، شرایط افزودنی در تغییر پلاستیسیته خاک، ضریب نفوذپذیری، مقدار درصد تورم خاک، کو همچنین وضعیت تراکمی خاک را بررسی نموده‌اند. همچنین این مطالعه نشان داده است که افزودن مقدار کمی از سی بی آر پلاس می‌تواند به‌شدت نفوذپذیری نمونه خاک را کاهش دهد، هرچند با افزایش بیشتر این مواد چندان نفوذپذیری تغییری نکرده است.

جدول ۱- خلاصه تحقیقات صورت گرفته در خصوص ریزشمع‌ها و مصالح نانو

سال تحقیق	نام محققان	دست آورد پژوهش
۲۰۱۷	موسوی و کرموند	افزودن مقدار کمی از سی بی آر پلاس می‌تواند به‌شدت نفوذپذیری نمونه خاک را کاهش دهد، هرچند با افزایش بیشتر این مواد چندان نفوذپذیری تغییری نکرده است.
۲۰۱۷	ناوال و همکاران	خاک منبسط شونده کائولینیت را که با استفاده از دو نوع مواد نانو اکسید منیزیم و نانو اکسید آلومینیوم تثبیت شده بود، توسط مطالعات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده‌اند.
۲۰۱۵	گاتو و همکاران	افزودن سیمان و نانو سیلیکا سبب بهبود خواص مهندسی ماسه‌ها می‌شود.
۲۰۱۵	باوندپور و جهانگیری	با تثبیت خاک توسط آهک و نانو سیلیس رفتار فیزیکی و مکانیکی خاک رس دارای پلاستیسیته بالا را با استفاده از آزمایش‌های آزمایشگاهی مطالعه کرده‌اند.
۲۰۱۴	مجید و همکاران	به بررسی آزمایشگاهی در زمینه‌ی تأثیر استفاده از نانو مواد در اصلاح و تثبیت خاک نرم پرداختند.
۲۰۱۴	الساید	نتایج حاکی از آن است که افزایش قابل‌توجهی در مقاومت خمشی ریزشمع‌ها با افزایش عمق آن‌ها حاصل می‌شود.
۲۰۱۳	سون و همکاران	روش طراحی برای پایداری شیب‌ها با استفاده از ریزشمع را ارائه دادند.
۲۰۱۲	لو و همکاران	جهت بهبود مقاومت خاک نرم، ترکیبی از خاکستر لجن فاضلاب سوزانده شده (SSA) و سیمان به‌عنوان تثبیت‌کننده‌ی خاک مورداستفاده قرار داده‌اند.

مطالعه پیشینه‌ی تحقیق نشان می‌دهد که اثرات نانواکسیدمنیزیم بر رفتار دوغاب میکرو شمع‌ها تاکنون به طور جدی در مقاله و تحقیق معتبری ارائه نشده است. بر همین اساس نیاز است تا خلا تحقیقاتی موجود با انجام یک پژوهش آزمایشگاهی پر گردد. به منظور بررسی تاثیر نانو اکسید منیزیم بر روی بر روی خواص مقاومتی دوغاب ریز شمع نمونه های آزمایشی بتن را در تست های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های دقیق در میان مقالات معتبر چاپ شده و پایان‌نامه‌های ثبت شده، نشان می‌دهد که هنوز تاثیر استفاده از نانواکسید منیزیم بر خواص مقاومتی دوغاب مورد استفاده در ریز شمع مطالعه و ارائه نشده است. بر همین اساس در این تحقیق این جنبه جدید توسط کار آزمایشگاهی مطالعه شده و نتایج حاصل در مطالب پیش‌رو ارائه می‌گردد. در این راستا آزمایش های مختلف تست فشاری، خمشی و کششی را در خصوص نمونه های بتنی بدون نانو اکسید منیزیم و نمونه های بتنی با درصد های مختلف نانو اکسید منیزیم انجام شد.

۲- روش تحقیق

در این بخش اول مواد مورد آزمایش شامل نانو اکسید منیزیم بوده است به‌منظور تأثیر نانو اکسید منیزیم بر روی خواص مقاومتی بتن و اثرات مکانیکی نمونه‌های آزمایشی بتن را در آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نمونه‌ها، آزمایش‌ها و طرح اختلاط‌ها بیان شده‌اند. در این تحقیق از سیمان تیپ ۲ هگمتان برای ساخت نمونه‌ها استفاده شده است. (با توجه به اینکه مناطقی از کشور در معرض حمله سولفات‌ها قرار دارد و سیمان تیپ ۲ هم تا حدودی در برابر این موضوع مقاومت از خود نشان می‌دهد و با توجه به گستردگی استفاده از سیمان تیپ ۲ در کشور از این نوع سیمان در این

www.SID.ir

Archive

تحقیق استفاده شده است). آزمایش‌های شیمیایی انجام‌شده بر روی مصالح سیمان و زئولیت که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است توسط شرکت مهندسین مشاور پی آزما بتن کوهسار انجام پذیرفته است. نانو ذرات استفاده شده در این تحقیق به‌منظور ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر نانو مواد بر روی خواص مقاومتی دوغاب ریز شمع، نانو اکسید منیزیم (Nano-MgO) و نانو رس بوده که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان به نام تجاری Clay montmorillonite K(10) تهیه‌شده است. دراین‌ارتباط مشخصات فیزیکی و شیمیایی نانو اکسید منیزیم مورد استفاده در جدول‌های نشان داده شده است. در جدول ۲ مشخصات فیزیکی نانواکسیدمنیزیم استفاده شده در تحقیقات آزمایشگاهی ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی نانواکسید منیزیم استفاده شده

فرمول مولکولی	شکل ظاهری	رنگ	شرکت یا کشور تولیدکننده	اندازه نانو ذرات	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	نقطه ذوب (C)	نقطه‌جوش (C)	خلوص (٪)
Nano-MgO	جامد	سفید	یو-اس نانو (آمریکا)	۱۵-۲۰nm	۳/۵۸	۲۸۵۰	۳۶۰۰	۹۹/۸

برای انجام مطالعه‌ی آزمایشگاهی بر اساس جدول ۳ نمونه‌ها آماده شدند و بعد از آماده‌سازی مورد آزمایش قرار گرفتند.

جدول ۳- مقادیر وزنی برای ساخت نمونه‌ها

شماره	نام نمونه	نانو اکسید منیزیم (٪)	نسبت ترکیب آب به سیمان (w/c)	مقدار کل آب Cw (٪)
نمونه ۱	C-0.4-0.00	۰	۰/۴	۳۰
	C-0.4-0.05	۵		
	C-0.4-0.10	۱۰		
	C-0.4-0.15	۱۵		
	C-0.4-0.20	۲۰		
نمونه ۲	C-0.5-0.00	۰	۰/۵	۳۰
	C-0.5-0.05	۵		
	C-0.5-0.10	۱۰		
	C-0.5-0.15	۱۵		
	C-0.5-0.20	۲۰		
نمونه ۳	C-0.6-0.00	۰	۰/۶	۳۰
	C-0.6-0.05	۵		
	C-0.6-0.10	۱۰		
	C-0.6-0.15	۱۵		
	C-0.6-0.20	۲۰		

برای ساخت طرح‌ها، نسبت‌های مورد نظر مطابق جدول (۳) درون میکسر ریخته شده و به مدت ۵ دقیقه اختلاط ادامه یافت تا دوغاب یکنواختی حاصل گردد و سپس به‌وسیله‌ی یک پیمانه درون قالب‌ها ریخته شد. قالب‌ها در محیط مرطوب و دمای استاندارد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند و سپس نمونه‌ها از قالب‌ها بیرون آورده شد و برای انجام آزمایشات آماده شدند.

www.SID.ir

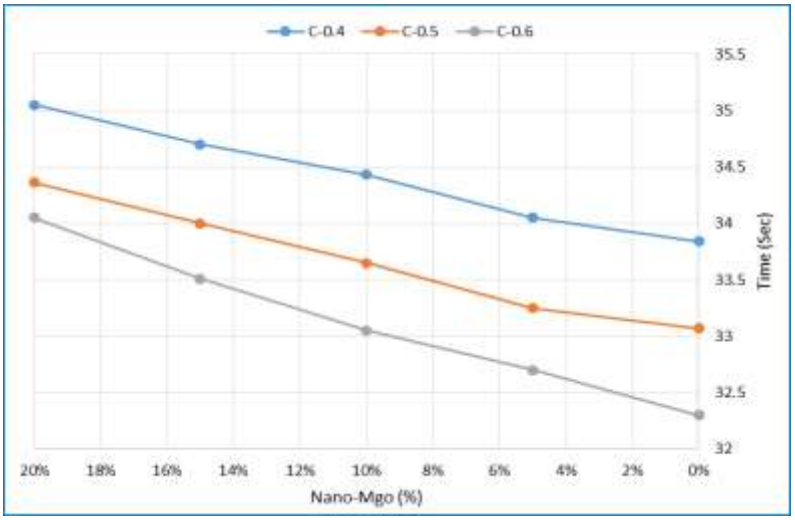
Archive

۳- یافته ها

تاکنون در مطالعات گوناگونی نقش مواد افزودنی به انواع بتن مورد بررسی قرار گرفته است. ابراهیمی‌فرد و جباری در یک تحقیق در سال ۲۰۱۷، کاربرد نانواکسیدمنیزیم بر مشخصات بتن تازه و خصوصیات مکانیکی بتن خودتراکم را بررسی نمودند. ایشان نانواکسیدمنیزیم را با نسبت‌های وزنی ۱ الی ۴ درصد وزن سیمان به بتن تازه و بتن خودتراکم افزودندو سپس با انجام آزمایش‌های لازم دریافتند که مصرف ۴ درصد وزنی سیمان از نانواکسید منیزیم مقاومت فشاری، کششی و خمشی را به ترتیب ۳۵، ۳۰ و ۶۹ درصد در سن ۲۸ روزگی، افزایش می‌دهد. پولات و همکاران (Polat, et al., 2017) نیز در همین سال تاثیر نانواکسید منیزیم بر مشخصات مکانیکی بتن با مقاومت بالا را تحقیق نمودند. ایشان در نسبت اختلاط‌های خود ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد وزنی سیمان، نانواکسید منیزیم به کار بردند. علاوه بر مقاومت فشاری، در سن ۲۸ روزگی، آزمایش غیرمخرب اولتراسونیک را نیز انجام دادند. پس از مقایسه‌ی نتایج، دریافتند که این افزودنی به ترتیب تا ۸/۲ درصد می‌توان مقاومت فشاری را بهبود ببخشد. کدهیم و همکاران در سال ۲۰۲۰ با افزودن مقادیر مختلف وزنی نانواکسیدمنیزیم به دوغاب سیمانی با نسبت آب به سیما ۰/۴۵ به این نتیجه رسیدندن که می‌توان با افزودن نانواکسید منیزیم تا ۲۳/۵ درصد مقاومت فشاری را در دوغاب سیمانی افزایش داد. در تحقیق حاضر با افزودن ۵ الی ۲۰ درصد نانواکسیدمنیزیم به مخلوط بتن می‌توان مقاومت فشاری را از برای دوغاب مورد استفاده در میکروشمع‌ها از ۲ الی ۲۳ درصد بهبود بخشید. پس از ساخت نسبت اختلاط‌های مورد نیاز بر اساس جداول ارائه‌شده در فصل قبل، قیف آزمایش معروف به قیف مارش را با آن پر شده و جهت جلوگیری از خروج مصالح با انگشت مسدود گردیده است. پس از پر کردن قیف به مقدار لازم، سوراخ مسدود شده‌ی آن باز شده و زمان کامل تخلیه‌ی آن از طریق کرنومتر اندازه گیری شد. مشاهده می‌گردد که هم هرچه نسبت آب به سیمان پایین‌تر باشد، مدت زمان خروج دوغاب از قیف بیشتر بوده و افزودن نانواکسیدمنیزیم به آن نیز سبب کند شدن روند می‌گردد. برای طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴، افزودن ۲۰ درصد نانواکسید منیزیم ۱/۲۱ ثانیه روند خروج از قیف را کند نموده است. این افزایش زمان برای ۲۰ درصد مواد افزودنی در طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۶ به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۷۵ ثانیه نتایج آزمایش مارش را کند کرده است. مشخص گردید که میزان تأثیر مواد نانواکسید منیزیم در نسبت اختلاط با آب به سیمان بیشتر، بیشتر بوده است. باید توجه داشت که مدت‌زمان‌های بالاتر از ۳۴ ثانیه ممکن است که دارای کاربرد زیادی در دوغاب میکرو شمع نداشته باشند و به دلیل گرانروی بالا عملیات تزریق شمع را با مشکل مواجه کنند. پس می‌توان این نتیجه را گرفت که افزودن مقدار زیادی نانواکسید منیزیم به طرح اختلاط‌هایی با نسبت آب به سیمان پایین‌تر مشکل‌آفرین بوده و توصیه نمی‌گردد. نحوه‌ی انجام این آزمایش را در آزمایشگاه به تصویر کشیده است. به‌طورکلی، میزان ویسکوزیته با نسبت آب به سیمان و همچنین میزان افزودنی نانواکسید منیزیم رابطه‌ای عکس داشته و برای جلوگیری از بروز مشکلات اجرایی در تزریق دوغاب باشد میزان این گرانروی را تحت کنترل نگه داشت.

www.SID.ir

Archive



نمودار ۱- مقایسه نتایج آزمایش مارش

مطالعه‌ی تحقیقات پیشین و همچنین جستجو در میان مقالات عملی معتبر داخلی و خارجی نشان می‌هد که تاکنون تاثیر میزان نانواکسیدمنیزیم در نتایج آزمایش ویسکوزیته ارائه نشده است. با این حال، در یک تحقیق در سال ۲۰۱۷ توسط پولات و همکاران (Polat, et al., 2017) مشخص گردید که از نانواکسیدمنیزیم به عنوان یک تسریع کننده در گیرش بتن استفاده نمود. در مطالعه‌ی این محققان مشخص شد که نانواکسیدمنیزیم ویسکوزیته کلی مخلوط بتن را افزایش داده و افزودن ۵ و ۷/۵ درصد از این ماده، می‌تواند زمان گیرش اولیه مخلوط بتن را به ترتیب ۲۰ و ۱۰ دقیقه کاهش دهد. این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM C243 (ASTM C243, 2001) صورت پذیرفت. آب اندازی، همانند ویسکوزیته دارای رابطه‌ی عکسی با نسبت آب به سیمان و میزان نانواکسیدمنیزیم می‌باشد. جدول زیر نشان می‌دهد که آب اندازی در زمان‌های بلندتر دارای کاهش بیشتری نسبت به زمان‌های بلندتر داشته و به‌عنوان‌مثال در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴ با افزایش نانواکسیدمنیزیم به ۲۰ درصد برابر با ۰/۶۵ درصد بوده درحالی‌که در زمان ۱۵ دقیقه این متغیر برابر ۰/۵۳ ثبت گردیده است. هرچه میزان مواد نانواکسید منیزیم و نسبت آن بیشتر باشد، درصد آب اندازی کوچک‌تری رخ می-دهد.

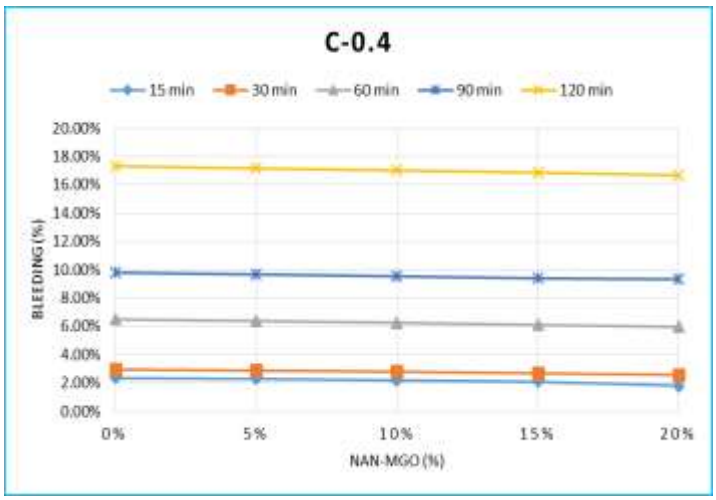
جدول ۴- نتایج آزمایش آب اندازی

زمان					اسم نمونه
120 min	90 min	60 min	30 min	15 min	
17.32%	9.80%	6.50%	2.96%	2.35%	**C-0.4-0.00**
17.15%	9.67%	6.39%	2.89%	2.30%	**C-0.4-0.05**
17.01%	9.54%	6.26%	2.81%	2.20%	**C-0.4-0.10**
16.86%	9.40%	6.11%	2.70%	2.09%	**C-0.4-0.15**
16.67%	9.34%	5.97%	2.58%	1.82%	**C-0.4-0.20**
23.05%	13.01%	9.02%	3.98%	3.03%	**C-0.5-0.00**
22.81%	12.86%	8.89%	3.89%	2.92%	**C-0.5-0.05**
22.62%	12.69%	8.76%	3.78%	2.81%	**C-0.5-0.10**
22.31%	12.43%	8.61%	3.59%	2.65%	**C-0.5-0.15**
22.09%	12.28%	8.43%	3.41%	2.46%	**C-0.5-0.20**
27.88%	17.22%	12.10%	4.25%	3.75%	**C-0.6-0.00**
27.63%	17.01%	11.97%	4.18%	3.68%	**C-0.6-0.05**
27.39%	16.79%	11.82%	4.10%	3.57%	**C-0.6-0.10**
27.18%	16.52%	11.71%	3.98%	3.38%	**C-0.6-0.15**
27.01%	16.28%	11.58%	3.85%	3.14%	**C-0.6-0.20**

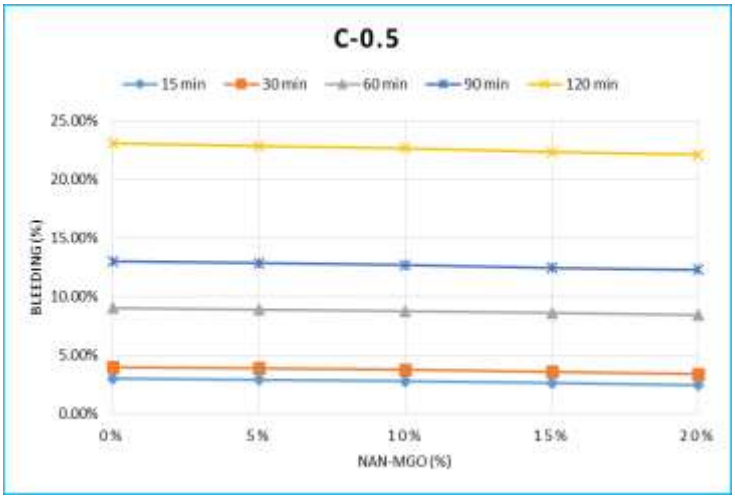
www.SID.ir

Archive

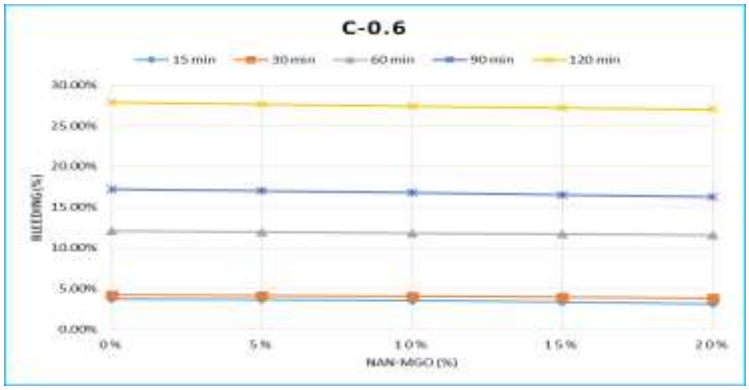
نمودارهای زیر نتایج آزمایش آب اندازی را در قالب نمودار برای هر سه نسبت آب به سیمان نشان می‌دهد. با اندکی اغماض می‌توان نتیجه گرفت که روند کاهش آب اندازی در هر زمان مشخص به نسبت مواد افزودنی برای همه نمونه‌ها ثابت می‌باشد. همچنین هرچقدر نسبت آب به سیمان بالاتر رفته، آب اندازی بیشتری رخ داده است.



نمودار ۲- مقایسه نتیجه آزمایش آب اندازی برای طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴



نمودار ۳- مقایسه نتیجه آزمایش آب اندازی برای طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۵

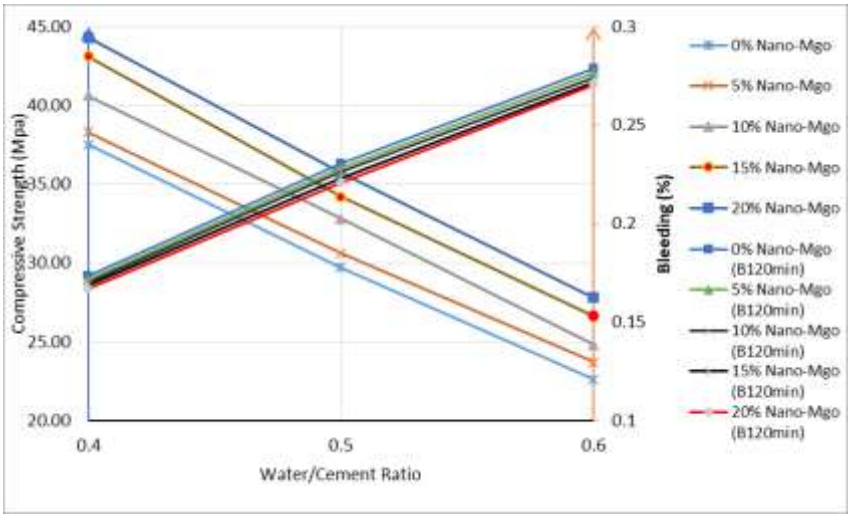


نمودار ۴- مقایسه نتیجه آزمایش آب اندازی برای طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۶

www.SID.ir

Archive

نمودار زیر رابطه‌ی مقاومت فشاری کسب شده در سن ۲۸ روزگی و آزمایش آب‌اندازی در زمان ۱۲۰ دقیقه را نشان می‌دهد. این دو پارامتر با یکدیگر رابطه‌ی عکس داشته و هرچه نسبت آب به سیمان کمتر باشد، مقاومت فشاری بالاتر و میزان آب-اندازی کمتر خواهد بود. در نسبت آب به سیمان بالای ۰/۶، کمترین مقاومت فشاری و بیشترین میزان آب‌اندازی مشاهده شده است. همچنین هرچه مقدار نانواکسیدمنیزیم بیشتری در مخلوط دوغاب به کار رفته باشد، مقاومت فشاری افزایش و آب‌اندازی کاهش می‌یابد. در نتیجه بر اساس انتظار از دوغاب مورد استفاده (میزان مقاومت فشاری و آب‌اندازی) باید درصد مورد افزودنی نانواکسیدمنیزیم را تنظیم نمود.



نمودار ۵- مقایسه نتیجه آزمایش آب اندازی و مقاومت فشاری برای نسبت‌های مختلف آب به سیمان و نانواکسیدمنیزیم

جستجو در میان تحقیقات معتبر و مجلات گوناگون مهندسی عمران نشان می‌دهد که تاثیر نانواکسیدمنیزیم بر روی نتایج آزمایش آب اندازی دوغاب تاکنون ارائه نشده است، اما این آزمایش برای دوغاب صورت گرفته است. کانات و اولگون (Kanat and Olgun, 2019) مشخصات مکانیکی ملات گروت را با افزودن ۱۰ درصد وزنی فوم سیلیکات تحت آزمایش قرار دادند. این افزودنی سبب گردید تا مقاومت فشاری گروت افزایش پیدا نموده اما منجر به کاهش آب اندازی و افزایش غلظت مخلوط دوغاب می‌گردد. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد ۱۰ درصد وزنی فوم سیلیکا در نسبت آب به سیمان ۰/۷۵ منجر به کاهش آب اندازی تا ۲۴ درصد گردید. یکی دیگر از مؤلفه‌های بررسی‌شده در این پایان‌نامه، مقاومت برشی نمونه‌های دوغاب مورد استفاده در میکرو شمع‌ها است. بر همین اساس با توجه به روند توصیف‌شده در فصل قبل، برای نمونه‌های بیست‌وهشت روزه آزمایش تعیین مقاومت برشی صورت گرفته است. شکل این نمونه‌ها به صورت مکعب مستطیل و با ابعاد ۱۰ در ۱۰ به ارتفاع ۲ سانتی‌متر می‌باشد. در هر آزمایش سه نمونه دوغاب روی هم قرار گرفته و به طور همزمان تحت بار برشی و بار قائم قرار می-گیرند. نانواکسیدمنیزیم با مخلوط دوغاب واکنش داده و سبب می‌گردد شیره‌ی دوغاب تولید شده جذب گردد. این پدیده افزایش مقاومت فشاری را در پی داشته و سبب کاهش آب اندازی و افزایش ویسکوزیته دوغاب شود. همچنین با کاهش شیره‌ی بین ذرات، مخلوط دوغاب دچار زیری شده و این زمختی منجر به افزایش اصطکاک و متعاقباً افزایش ضریب اصطکاک مخلوط دوغاب می‌گردد. در مقابل، میکروسیلیس نقش یک ماده‌ی روان‌کننده را داشته و وظیفه‌ی آن افزایش اسلامپ مخلوط بدون کاهش مقاومت فشاری است. این مهم با ثابت نگه داشتن مقدار آب به سیمان رخ داده و این امکان را می‌دهد که در یک نسبت آب به سیمان پایین، اسلامپ مورد نیاز را کسب نمود. بر همین اساس افزودن میکروسیلیس تاثیری بر زبری و زمختی اجزای دوغاب و شیره‌ی مابین آن نداشته و تاثیر آن در زاویه‌ی اصطکاک ناچیز می‌باشد. یکی از موادی که منجر به بهبود خواص دوغاب میکرو شمع‌ها می‌گردد نانواکسیدمنیزیم است. نحوه و میزان استفاده از این مواد مستلزم درک و شناخت عمیق تأثیر آن بر رفتار بتن و دوغاب است. بر همین اساس در این پایان‌نامه، با ساخت نمونه‌های متفاوت حاوی مقادیر مختلف

www.SID.ir

Archive

نانواکسیدمنیزیم و انجام آزمایش‌های لازم، سعی در تعیین میزان تأثیر این ماده بر خواص دوغاب میکرو شمع‌ها گردید. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت، اگرچه نانواکسیدمنیزیم سبب بهبود مقاومت فشاری و برشی شده، اما مقادیر زیاد از حد آن سبب بالا بردن دمای مخلوط دوغاب و در نتیجه افزایش هزینه‌های عمل‌آوری می‌گردد. همچنین با تحت تأثیر گذاشتن ویسکوزیته و آب اندازی، امکان از رده خارج کردن دوغاب را به دلیل افزایش گرانروی محیا می‌نماید. بر همین اساس نیاز است تا هنگام کاربرد این ماده، به میزان آن در مخلوط دوغاب توجه زیادی نمود.

۴- بحث و نتیجه گیری

با مطالعه‌ی مشخصات دوغاب مورد استفاده در میکرو شمع‌ها و همچنین مصالح مصرفی در آن نسبت به ارائه نسبت اختلاط متناسب اقدام شد. سپس مصالح مصرفی مطابق با استانداردهای موجود و مورد نیاز تهیه گردید. با تدوین برنامه آزمایشگاهی، نقشه‌ی راه رسیدن به اهداف تحقیق محیا شد، سپس در محل آزمایشگاه و بر اساس طرح اختلاط تهیه‌شده نسبت به ساخت نمونه‌هایی از مخلوط دوغاب جهت آزمایش‌های مقاومت فشاری، آزمایش ویسکوزیته (مارش)، آزمایش آب اندازی و مقاومت برشی اقدام شد. پس از انجام آزمایش‌های فوق بر اساس استانداردهای موجود، نتایج استخراج‌شده و در قالب جداول و نمودار ارائه گردید. طرح‌های اختلاط با نسبت متغیر مصالح، آب به سیمان و نانواکسیدمنیزیم موردبررسی قرار گرفتند و نتایج حاصله ارائه گردید. پس از ساخت نمونه‌های مورد نیاز و انجام آزمایش‌های مدنظر به کمک تدوین جداول و ارائه نمودارهای مقایسه‌ای جهت بررسی تأثیر مواد افزودنی نانواکسیدمنیزیم در دوغاب مورد استفاده در شمع‌ها، نتایج زیر حاصل شد: مشاهده می‌گردد که برای نسبت اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴ مقاومت فشاری در سن هفت روزه از ۲۴/۴ به ۳۵/۴ و در سن بیست‌وهشت روزه از ۳۷/۵ به ۴۴/۳ مگاپاسکال، برای نسبت اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۵ مقاومت فشاری در سن هفت روزه از ۱۹/۳ به ۲۹/۳ و در سن بیست‌وهشت روزه از ۲۹/۷ به ۳۵/۷ مگاپاسکال، برای نسبت اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۶ مقاومت فشاری در سن هفت روزه از ۱۴/۷ به ۲۲/۵ ۲۹ و در سن بیست‌وهشت روزه از ۲۲/۶ به ۲۷/۸ مگاپاسکال رسیده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که مقاومت فشاری نمونه‌ی دوغاب حاوی ذرات نانو اکسید منیزیم در سنین هفت و بیست‌وهشت روزه بهبود پیدا نموده است. همچنین مقاومت فشاری در نسبت‌های کوچک‌تر آب به سیمان مطابق انتظار بیشتر می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که نانواکسید منیزیم سبب تسریع در گیرش بتن و همچنین افزایش مقاومت فشاری آن می‌گردد. هرچقدر میزان این افزودنی بیشتر باشد میزان بهبود مقاومت فشاری بیشتر و گیرش آن سریع‌تر اتفاق می‌افتد. به دلیل افزایش سرعت گیرش، بهبود مقاومت فشاری در سن هفت روزه بیشتر از سن بیست‌وهشت روزه رخ داده است و در تمامی نمونه‌ها بتن هفت روزه با اکسید منیزیم بیشتر دارای درصد بیشتر افزایش مقاومت فشاری می‌باشد. مشاهده می‌گردد که روند افزایش مقاومت فشاری در هر دو سن برای تمامی نسبت‌های مختلف آب به سیمان تقریباً دارای شیبی مشابه بوده و تنها میزان بهبود متفاوت است. هرچه نسبت آب به سیمان کمتر باشد، میزان کارایی نانواکسید منیزیم بیشتر شده، لکن روال این افزایش یکسان است. مشخص است که در سن هفت روزه، برای نسبت اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴ الی ۰/۶ مقاومت فشاری به میزان تقریباً ۱۰، ۹ و ۸ مگاپاسکال، به ترتیب، افزایش داشته است. این مقدار برای بتن بیست‌وهشت روزه به ترتیب برابر ۷، ۶ و ۵ مگاپاسکال مشاهده گردیده است. مشاهده می‌گردد که سرعت گیرش در نمونه هفت روزه به‌شدت بالا بوده و برای نسبت اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴ الی ۰/۶ مقاومت فشاری با افزایش ۲۰ درصد مواد نانواکسید منیزیم به ترتیب ۴۵، ۵۲ و ۵۳ درصد رشد داشته است. این بدان معنی است که این مواد می‌توانند نقش افزودنی تندگیر شونده را نیز ایفا نمایند و در جاهایی که نیاز به مقاومت فشاری بیشتر در زمان کمتر می‌باشد، کاربرد قابل‌توجهی می‌توانند داشته باشند. البته این نکته حائز اهمیت است که عمل‌آوری این بتن‌ها سخت‌تر شده و دمای مخلوط بتن به‌شدت بالاتر می‌رود که نیازمند دقت در عملیات عمل‌آوری می‌باشد. همچنین تأثیر مواد نانواکسید منیزیم در نمونه‌های بیست‌وهشت روزه نیز چشمگیر می‌باشد به‌طوری‌که برای نسبت اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴ الی ۰/۶ مقاومت فشاری با افزایش ۲۰ درصد مواد نانواکسید منیزیم به ترتیب

www.SID.ir

Archive

۱۸، ۲۰ و ۲۳ درصد رشد داشته است. مشاهده می‌گردد که میزان تأثیر نانواکسید منیزیم در نسبت آب به سیمان بیشتر اندکی بیشتر می‌باشد. مشاهده می‌گردد که هم هرچه نسبت آب به سیمان پایین‌تر باشد، مدت زمان خروج دوغاب از قیف بیشتر بوده و افزودن نانواکسیدمنیزیم به آن نیز سبب کند شدن روند می‌گردد. برای طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴، افزودن ۲۰ درصد نانواکسید منیزیم ۱/۲۱ ثانیه روند خروج از قیف را کند نموده است. این افزایش زمان برای ۲۰ درصد مواد افزودنی در طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۶ به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۷۵ ثانیه نتایج آزمایش مارش را کند کرده است. مشخص گردید که میزان تأثیر مواد نانواکسید منیزیم در نسبت اختلاط با آب به سیمان بیشتر، بیشتر بوده است. باید توجه داشت که مدت‌زمان‌های بالاتر از ۳۴ ثانیه ممکن است که دارای کاربرد زیادی در دوغاب میکرو شمع نداشته باشند و به دلیل گرانروی بالا عملیات تزریق شمع را با مشکل مواجه کنند. پس می‌توان این نتیجه را گرفت که افزودن مقدار زیادی نانواکسید منیزیم به طرح اختلاط‌هایی با نسبت آب به سیمان پایین‌تر مشکل‌آفرین بوده و توصیه نمی‌گردد. به‌طورکلی، میزان ویسکوزیته با نسبت آب به سیمان و همچنین میزان افزودنی نانواکسید منیزیم رابطه‌ای عکس داشته و برای جلوگیری از بروز مشکلات اجرایی در تزریق دوغاب باشد میزان این گرانروی را تحت کنترل نگه داشت. آب اندازی، همانند ویسکوزیته دارای رابطه‌ی عکسی با نسبت آب به سیمان و میزان نانواکسیدمنیزیم می‌باشد. جدول زیر نشان می‌دهد که آب اندازی در زمان‌های بلندتر دارای کاهش بیشتری نسبت به زمان‌های بلندتر داشته و به‌عنوان‌مثال در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴ با افزایش نانواکسیدمنیزیم به ۲۰ درصد برابر با ۰/۶۵ درصد بوده درحالی‌که در زمان ۱۵ دقیقه این متغیر برابر ۰/۵۳ ثبت گردیده است. هرچه میزان مواد نانواکسید منیزیم و نسبت آن بیشتر باشد، درصد آب اندازی کوچک‌تری رخ می‌دهد. با اندکی اغماض می‌توان نتیجه گرفت که روند کاهش آب اندازی در هر زمان مشخص به نسبت مواد افزودنی برای همه نمونه‌ها ثابت می‌باشد. همچنین هرچقدر نسبت آب به سیمان بالاتر رفته، آب اندازی بیشتری رخ داده است. نتایج نشان می‌دهد که مقاومت برشی در حدود ۱۷ الی ۲۲ درصد مقاومت فشاری کسب‌شده‌ی هر نمونه‌ی متناظر است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نحوه تأثیر مواد افزودنی نانواکسیدمنیزیم بر مقاومت برشی مشابه آن در مقاومت فشاری است. مقاومت برشی با نسبت آب به سیمان نسبت عکس و با میزان مواد نانواکسیدمنیزیم نسبت مستقیم دارد و می‌توان اظهار داشت که استفاده از نانواکسیدمنیزیم سبب بهبود مقاومت برشی دوغاب میکرو شمع‌ها می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هرچه نسبت آب به سیمان بالاتر باشد، زاویه‌ی اصطکاک موجود کمتر شده و دلیل این امر افزایش شیره‌ی سیمانی در مخلوط بتن می‌باشد. همچنین، میزان افزودنی نانواکسیدمنیزیم با زاویه‌ی اصطکاک اندازه‌گیری شده رابطه‌ی مستقیم داشته و افزایش درصد نانواکسیدمنیزیم به دوغاب سبب رشد زاویه و در نتیجه ضریب اصطکاک می‌گردد. در نهایت پیشنهاد می شود پس از انجام آزمایش‌های لازم در زمینه‌ی تأثیر مواد نانواکسیدمنیزیم بر خصوصیات دوغاب مورد استفاده در شمع‌ها، جهت تکمیل روند تحقیقات پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد: پیشنهاد می‌گردد تا تأثیر مواد روان کننده و فوق روان کننده همانند میکرو سیلیس نیز بر دوغاب‌های حاوی نانواکسیدمنیزیم بررسی و مطالعه شود. پیشنهاد می‌گردد جهت پی بردن به تأثیر هرچه بیشتر مواد نانواکسیدمنیزیم، چندین نمونه میکرو شمع با نسبت اختلاط‌های معرفی شده در این پایان‌نامه ساخته شده تا در عمل نیز این مشاهدات صورت پذیرد. لازم است تا با بررسی‌های میدانی نسبت به تعیین افزایش هزینه‌های صورت گرفته در خصوص استفاده از نانواکسیدمنیزیم در دوغاب اقدام نمود و به بررسی توجیه اقتصادی آن پرداخت.

۵- مراجع

استاندارد ۲۱۰۸۲، (۱۳۹۵)، اندازه‌گیری مقاومت فشاری ملات‌ها، دوغاب‌ها، رویه‌های یکپارچه و بتن‌های پلیمری مقاوم به مواد شیمیایی، سازمان ملی استاندارد ایران.

جمال احمدی، حسام عزیزی، میثم کو هی (۱۳۹۴). بررسی تاثیر زئولیت در عیارهای مختلف سیمان بر روی مقاومت و نفوذ پذیری بتن، مجله تحقیقات بتن ایران، ۸ (۲)، ۵-۱۸

www.SID.ir

Archive

دکتر مجید حجتی آستانی- پیمان مهدیون- سال (۱۳۹۳). کتاب روشهای اجرای بهسازی و تثبیت خاک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد نکا
دکتر محمود گلابچی، (۱۳۹۰)، دکتر کتایون تقی زاده، احسان سروش نیا، "نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان "، چاپ اول، دانشگاه تهران.
رسول عالیپور - مهدی جامعی و محمود بینا - سال (۱۳۸۹) بررسی موردی استفاده از ریزشمع های تزریقی جهت کنترل نشست در مخازن آبی سنگین در زمین های رسی سست - چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران.
عسکر جانعلی زاده - فرزاد فرخ زاد و مریم عظیمی سال (۱۳۹۲) "بهسازی خاک با استفاده ازریزشمع، بررسی موردی در شهربابل - اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک
کلهری، م.، سایبانی، م. «دوام بتنهای حاوی زئولیت در برابر نفوذ یونهای کلراید و خوردگی»، دومین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، پردیس بندر عباس، ایران، ۱۳۹۱
مجید مرادی و مجتبی میر جلیلی سال (۱۳۸۶) بررسی آزمایشگاهی تزریق سیمان ریز دانه در خاک های ماسه ای سومین کنگره ی مهندسی عمران
مسحی مقدم، م.، (۱۳۸۵)،" ارزیابی عملکرد ریزشمع در کاهش نشست پی های گسترده "، سمینار و پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی تهران واحد تهران مرکز.
منصوری کیا، محمد تقی (۱۳۹۱)،"مزایای استفاده از ریز شمع ها در ساخت و تثبیت سازه های آبی " همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز
مهیار عربانی و سید مهدی رادقی مهرجو - سال (۱۳۹۱) بررسی تأثیر رفتار خمیری بر روی اندرکنش لرزه ای خاک- ریزشمع¬ها- سازه- دومین کنفرانس ملی زلزله - سازه و ژئوتکنیک.
هاشمی طباطبایی، س؛ و سلامت، ا.س.،۱۳۹۲ مطالعه ی خاک های مسئله دار در ایران و ارائه ی راهکارهای بهسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی؛ سازمان مجری ساختمان¬ها و تأسیسات دولتی و عمومی، ص ۱ تا ۴.

A. Elzoghby Elsaied, Performance of footing with single-side micro-piles adjacent to slopes, V 53, Issue 4, pp 903–910, 2014

A. Ghorbani, H. Hasanzadeh shooiili, E. Ghamari, J. Medzviecka, Comprehensive three dimensional finite element analysis, parametric study and sensitivity analysis on the seismic performance of soil–micropile superstructure interaction, V 58, pp 21–36, 2014

Ahmadi B, Shekarchi M. "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material." Cement & Concrete Composites, Vol. 32, pp. 134-141, 2010.

Alsadat sabet F, Libre N.A, Shekarchi M. "Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash." Construction and Building Materials, NO. 44, PP. 175–184, 2013.

Armour, T., Groneck, P., 1998. Micropile Design and Construction Guidelines and Implementation Manual. Report No. FHWA-SA-97-070.

ASTM C243-95, (Withdrawn 2001), Standard test method for bleeding of cement pastes and mortars, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C579-18, (2018), Standard Test Methods for Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacings, and Polymer Concretes, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D2166 / D2166M-16, (2016), Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Bruce, D.A., Bruce, M.E.C., and Traylor, R.P, 1999. High Capacity Micropiles – Basic Principals and Case Histories. GeoEngineering for Underground Facilities. Proc. of the 3rd National Conference of the Geo-Institute of the American Society of Civil Engineers. Geotechnical Special Publication No. 90, Urbana-Champaign, IL, June 13- 17, pp. 188-199.

BS 1377, (1990), Methods of test for soils for civil engineering purposes. General requirements and sample preparation.

Chan Y.N, Ji X. "Comparative study of the initial surface absorption and chloride difusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes." Cement & Concrete Composites, Vol. 21, PP. 293-300, 1999.

Coduto, D.P., 2001. Foundation Design: Principles and Practices. (2nd Edition). New Jersey: Prentice Hall

Federal Highway Administration (1997), "Drilled and Grouted Micropiles, State-of-Practice Review", Report No. FHWA-RD-96- 016/019, United States Department of Transportation khosrovani, A.,1391.

FHWA, Micropile Design and Construction, Dallas: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration 2005

Florence Sanchez, Konstantin Sobolev, "Nanotechnology in concrete – A review", Construction and Building Material Journal, Vol 24, pp 2060–2071, (2010).

Garboczi EJ, "Concrete nanoscience and nanotechnology: Definitions and applications", Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic. pp 81–88, (2009).

www.SID.ir

Archive

Geosystem, L.P.(2002). “Description of full scale tests conducted and data obtained in the three phases of tests conducted for the U.S. Military in Baltimore, M. D. “Federal Highway Administration, Order DTFH61-02-P-00162, Requisition/Reference No.41-08-2011.

J. Han.1 Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, (2006), The University of Kansas, S.-L. Ye. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University.” A field study on the behavior of micropiles in clay under compression or tension”. NRC Canada, Can. Geotech. J. 43: 19–29

J. M. Ortega, A. Albaladejo, J. L. Pastor, I. Sanchez, M.A. Climent, Influence of using slag cement on the microstructure and durability related properties of cement grouts for micropiles, Volume 38, p.84–93, 2012

J. Veludo, E.N.B.S. Jlio, D. Dias-da-Costa, Compressive strength of. micropile-to-grout connections, V 26 Issue 1, pp 172–179, 2012

Jie, Han.And Shu-Lin, ye. (2006), “A field study on the behavior of a foundation underpinning by micropiles,” Can. Geotech.Journal.43, pp.30~42

K. Abdollahi, A. Mortezaei, A new expression for determining the bending stiffness of circular micropile groups, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 77, pp 58–70, 2015.

Kalkan E., 2013. Nonlinear Modeling of Micropile Foundation Systems. University of California Davis.

Kanat, A. & Olgun, M., (2019), Investigation of the Rheological Properties of Microfine Grained Cement and Normal Portland Cement with Silica Fume, Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture Volume 2 Issue 2.

Mohanad Alfach, (2012). “Influence of soil plasticity on the seismic performance of pile foundation-a 3d numerical analysis,” Jordan journal of civil engineering, volume6, no.4.

Pastor, J.L., Oitega, M.J., Climent, M.A. & Sanchez, I., (2018), Skin friction coefficient change on cement grouts for micropiles due to sulfate attack, Construction and Building Materials, Vol. 163, pp:80-86.

Perumalsamy Balaguru, Ken Chong, “Nanotechnology and concrete research oppotunities”, Proceedings of ACI Session on “Nanotechnology of Concrete: Recent Developments and Future Perspectives” Denver, USA, pp 15-28, (2006)

Polat, R., Demirboga, R., & Karagol, F., (2017), The effect of nano-MgO on the setting time, autogenous shrinkage, microstructure and mechanical properties of high performance cement paste and mortar, Construction and Building Materials, Vol. 156, pp:208-218.

Raki L, Beaudoin JJ, Alizadeh R, “Nanotechnology applications for sustainable cement-based products” Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic. pp 119–224, (2009).

Rose A., 2009. Research Projects on Micropile Groups. City University, London.

S. Sun, B. Zhu, J. Wang, Design method for stabilization of earth slopes with micropiles, Soils and Foundations 497-487 (4) 53:2013.

Şahmaran, M., Özkan, N., Keskin, S. B., Uzal, B., Yaman, İ. Ö., & Erdem, T. K. (2008). Evaluation of natural zeolite as a viscosity-modifying agent for cement-based grouts. Cement and Concrete Research, 38(7), 930-937.

Scrivener KL, “Nanotechnology and cementitious materials”, Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic. pp 37–42 (2009).

Scrivener KL, Kirkpatrick RJ, “Innovation in use and research on cementitious material”, Cement and Concrete Research, Vol. 38, Issue 2, pp128-136, (2008).

Sivakumar B., Srinivasa M., 2003. Bearing capacity improvement using micropiles a case study.

Thoburn, S., and Hutchison, F.C., 1985. Underpinning. Surrey University Press, London, England

Tsukada, Y., Miura, K., Tsubokawa, Y., Otani, Y., and You, G.L., 2006. Mechanism of Bearing Capacity of Spread Footings Reinforced with Micropiles. Japanese Geotechnical Society, Vol. 46, No.3, June 2006, pp 367-376.

Valentino R., 2011. Micropiles Made of Reinforced Polyurethane Resins: Load Tests and Evaluation of the Bearing Capacity. EJGE Jornal, Italy.

Valipour, M., Pargar, F., Shekarchi, M., & Khani, S. (2013). Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study. Construction and Building Materials, 41, 879-888.

Veludo J., Júlio E.N.B.S., Dias-da-Costa D., 2012. Compressive strength of micropile-to-grout connections. ELSEVIER, Construction and Building Materials 2 (2012) 172–179.

www.SID.ir