Archive of SID

دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
کرمانشاه، ۹ و ۱۰ مهر ماه ۱۳۹۳

بررسی خواص ژئوتکنیکی ماسه ۱۶۱ فیروزکوه تحت افزودنی نانو سیلیس و آهک

ایمان برزگربفروئی[۱]، مجید مرادی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه عمران دانشگاه تهران

I.barzegar12@gmail.com

خلاصه

اصلاح رفتار خاک به کمک افزودنی‌ها به عنوان یکی از روش‌های بهبود خواص مهندسی خاک همواره مدنظر مهندسین ژئوتکنیک بوده است. در سال‌های اخیرآشکار شدن خصوصیات منحصر به فرد نانو ذرات، استحکام دهنده‌ها و تقویت‌کننده‌های نانویی باعث شده استفاده از آنها در بسیاری از شاخه های مختلف از جمله مهندسی ژئوتکنیک مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق از سه نوع افزودنی آهک، نانو سیلیس، میکرو سیلیس استفاده شده است. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر آهک ، میکرو سیلیس و نانو سیلیس بر تغییرات درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک و مقاومت تک محوری ماسه ۱۶۱ فیروکوه در دوره های مختلف عمل آوری می باشد. نتایج حاصل نشان داده است که افزودن همزمان آهک با میکروسیلیس یا نانو سیلیس موجب افزایش چشمگیر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه شده است. با مقایسه روند تغییرات مقاومتی ماسه حاوی آهک تحت افزودنی میکروسیلیس و نانوسیلیس مشاهده می شود که تاثیر افزودن نانو سیلیس نسبت به میکرو سیلیس در درصدها و دوره های عمل آوری یکسان بسیار محسوس تر می باشد.

کلمات کلیدی: نانوسیلیس، میکروسیلیس، آهک، تک محوری، تراکم

۱–مقدمه

اصلاح پارامترهای رفتاری خاکهای مختلف یکی از مسائل مهم پیش روی پژوهشگران در مهندسی ژئوتکنیک می باشد. اضافه نمودن پاره ای از افزودنی ها به خاک، به عنوان یکی از روشهای مؤثر در بهبود برخی از مشخصه های رفتاری خاک مانند پارامترهای مقاومتی، نفوذپذیری و خودترمیمی، به ویژه در بعضی از سازه های ژئوتکنیکی نظیر سدهای خاکی، خاکریزهای جاده ها، شیروانی های مصنوعی، مراکز دفن زباله و.. همواره مد نظر بوده است. افزودنی های متداول همچون سیمان، آهک، کلسیم کلرید، خاکستر بادی، قیر، گوگرد در مطالعات پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. در کنار آن، نانومواد که حائز ویژگی های منحصر به فردی هستند و استفاده از آنها در دیگر شاخه های علوم مهندسی منجر به تحولاتی بنیادی شده است، در مهندسی ژئوتکنیک نیز مورد توجه قرار گرفته است. نانو تکنولوژی واژه ای است کلی که به فناوری پیشرفته ای در مقیاس حدود ۱ تا ۱۰۰ نانو متر اطلاق می شود. مواد در محدوده ی نانو اغلب رفتار فیزیکی بسیار متفاوتی با اتم ها و مواد توده ای از خود نشان می دهند. خصوصیات مواد نانو مقیاس را نمی توان ضرورتاً با توجه به ویژگیهای مواد در مقیاسهای بزرگتر پیش بینی کرد. یکی از مهمترین خواص نانو ذرات نسبت سطح به حجم بسیار بالای آن ها می باشد. به عبارتی اتم های موجود در سطح ، کسر بالای اتم های تشکیل دهنده ی یک ذره را تشکیل می دهند، لذا این نسبت علیرغم اندازه و شکل تقریبا یکنواخت اتم ها، باعث خواص کاملا متفاوت نانو ذرات در مقایسه با مواد بالکی شده است[۱]. افزایش نسبت سطح به حجم نانو ذرات باعث می شود که عملکرد اتم های واقع در سطح ، اثر بسیار بیشتری نسبت به اتم های درون حجم ذرات در خواص آنها داشته باشند. در نتیجه به دلیل داشتن سطح ویژه بسیار بالا و بارهای سطحی ، حتی درصورت استفاده بسیارکم از این ذرات در محیط خاک، رفتار فیزیکی- شیمیایی و خصوصیات مهندسی خاک را به طور ویژه و قابل توجه تحت تأثیر قرار می دهند[۲].

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، گرایش خاک و پی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

www.SID.ir

Archive of SID

۲- مطالعات آزمایشگاهی

در این مطالعه تغییر خصوصیات مهندسی ماسه۱۶۱ فیروزکوه تحت تاثیر آهک به همراه نانو سیلیس و میکرو سیلیس مورد بررسی قرار گرفته است که مشخصات مصالح مورد استفاده در این تحقیق در ذیل آورده شده است.

۲-۱- مصالح مورد استفاده

• آهک

آهک مورد استفاده از نوع آهک شکفته می باشد که ترکیبات شیمیایی آن در جدول۱. آمده است .

جدول۱- مشخصات آهک

ترکیب شیمیایی	رنگ	اندازه بزرگترین ذره	$Ca(OH)_2$	CaO	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3
CaOH2	سفید	0.075 mm	94%	2.2%	0.4%	0.4%	0.3%

• نانو سیلیس

نانو سیلیس مورد استفاده از نوع نانو ذرات آمورف می باشد که مشخصات آن در جدول ۲ . آمده است.

جدول۲- مشخصات نانو سیلیس

ترکیب شیمیایی	رنگ	اندازه ذرات	درصد خلوص	سطح مخصوص	چگالی واقعی	چگالی حجمی
SiO_2	سفید	۲۰ تا ۳۰ نانو متر	99%	600-180 m^2/gr	2.4 gr/cm^3	0.1 gr/cm^3

• میکرو سیلیس

میکرو سیلیس مورد استفاده از نوع آمورف میباشد که مشخصات آن به شرح جدول۳. می باشد.

جدول۳ - مشخصات میکروسیلیس

ترکیب شیمیایی	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	درصد باقیمانده روی الک ۳۲۵ (۴۵میکرومتر)	سطح مخصوص
SiO_2	90.11%	2.87%	1.27%	1.31%	2.03%	20.65 m^2/gr

توجه شود که نانو سیلیس و میکرو سیلیس مورد استفاده از نوع آمورف می باشد . سیلیس کریستاله در مقایسه با سیلیس آمورف (بی شکل) با سایر ترکیبات شیمیایی به سختی واکنش می دهد. ساختار سیلیس کریستاله منظم و به صورت مکعب های سازمان یافته می باشند (هر یک نانو متر شامل حدود ۲۰ واحد از این مکعب ها می باشد) که شکستن پیوند بین مولکولهای داخل مکعب کریستالی و همچنین پیوند بین مکعب ها نیازمند انرژی بالایی می باشد که برای سیلیس آمورف بسیار پایین تر است . همچنین در حین واکنش سیلیس با آهک شکفته در صورت آمورف بودن سیلیس دسترسی به عمق ساختار آمورف در ذرات بیشتر می باشد و در نتیجه مقدار سیلیس بیشتری برای واکنش دهی با آهک شکفته موجود می باشد[۳،۸].

www.SID.ir

Archive of SID

ورود کلسیم هیدرکسید (آهک شکفته) به داخل محلول آب و سیلیس آمورف باعث بالا رفتن PH محلول و در نتیجه پیوند بین سیلیس و اکسیژن به راحتی شکسته می شود [۴].

• ماسه ۱۶۱ فیروزکوه

ماسه ۱۶۱ فیروزکوه پرکاربردترین ماسه برای انجام مطالعات آزمایشگاهی می باشد. مشخصات این ماسه در جدول۴. شرح داده شده است.

جدول۴- مشخصات ماسه ۱۶۱ فیروزکوه

نوع ماسه	Gs	emax	emin	ϕ	Cc	Cu	D50(mm)
۱۶۱ فیروزکوه	۲.۶۶	۰.۹۷	۰.۶۱۷	32	0.97	2.58	0.3 mm

۲-۲-شرح انجام آزمایش ها

با توجه به اینکه اختلاط خاک وافزودنی در درصد رطوبت بهینه خاک صورت می گیرد، ابتدا درصد رطوبت بهینه با آزمایش پروکتور استاندارد بدست آورده شد، به این صورت که بر طبق استاندارد ASTM خاک را طی سه لایه در قالب پروکتور به حجم ۹۴۵ سانتی متر مکعب ریخته و در هر لایه ۲۵ ضربه توسط چکشهای مخصوص ۵ پوندی که از ارتفاع ۱۲ اینچی رها می شود به خاک اعمال شده است و این مراحل را با افزایش درصد رطوبت تکرار کرده تا با انجام محاسبات، نمودار وزن مخصوص خشک بر حسب درصد رطوبت نمونه را رسم کرده و درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک ماکزیمم بدست آید[۵]. آزمایش پروکتور استاندارد روی نمونه ماسه با۳٪-۵٪ و۷٪ درصد آهک انجام شد تا رطوبت بهینه برای تهیه ی نمونه ماسه حاوی درصد های متفاوتی از آهک بدست آید تا در ادامه با سنجش مقاومت نمونه ها درصد بهینه آهک برای اختلاط ماسه و آهک با نانو و میکرو سیلیس بدست آید.

جدول۵- تست های انجام شده

آزمایش	تراکم	تک محوری	تک محوری			
هدف آزمایش	وزن مخصوص خشک بیشینه و رطوبت بهینه	تعین درصد بهینه آهک	بررسی رفتار ماسه حاوی آهک با افزودن نانو و میکروسیلیس			
روش عمل آوری		عمل آوری خشک	عمل آوری مرطوب			
زمان عمل آوری	آنی	۷ روزه	۳ روزه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
ماسه + ۳٪ آهک	۱ تست	۳ تست				
ماسه + ۵٪ آهک	۱ تست	۳ تست	۲ تست	۲ تست	۲ تست	۲ تست
ماسه + ۷٪ آهک	۱ تست	۳ تست				
ماسه + ۵٪ آهک + ۰.۵٪ نانو سیلیس			۲ تست	۲ تست	۲ تست	۲ تست
ماسه + ۵٪ آهک + ۱٪ نانو سیلیس			۲ تست	۲ تست	۲ تست	۲ تست
ماسه + ۵٪ آهک + ۲٪ نانو سیلیس			۲ تست	۲ تست	۲ تست	۲ تست
ماسه + ۵٪ آهک + ۰.۵٪ سیلیس			۲ تست	۲ تست	۲ تست	۲ تست
ماسه + ۵٪ آهک + ۱٪ سیلیس			۲ تست	۲ تست	۲ تست	۲ تست
ماسه + ۵٪ آهک + ۲٪ سیلیس			۲ تست	۲ تست	۲ تست	۲ تست

دلیل انتخاب درصدهای مذکور برای آهک از یک طرف با توجه به رعایت حداقل مقداری است که برای اختلاط با نانو و میکرو سیلیس مورد نیاز می باشد(ترکیبات اولیه کلینکر که در ادامه به سیمان تبدیل می شود.٪اکسید سیلیکات و ٪کربنات کلسیم وجود دارد [۳]و از آنجا که موضوع مورد بحث

www.SID.ir

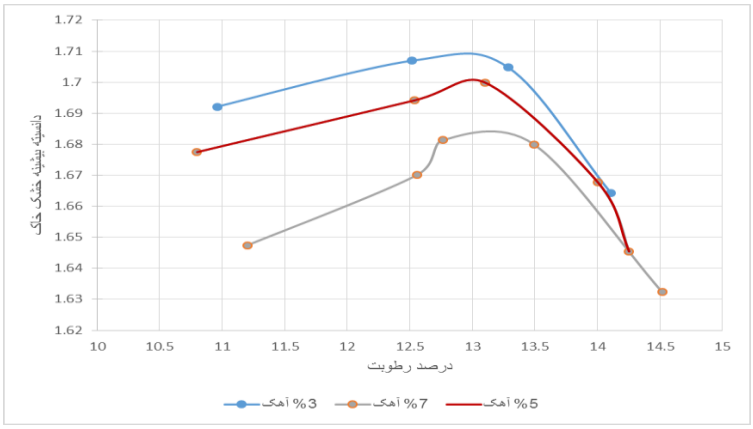
Archive of SID

سیلیس می باشد در نتیجه باید به مقدار کافی آهک در مخلوط خاک وجود داشته باشد) و از طرفی رعایت حد بیشینه ی آن برای مقرون به صرفه بودن طرح اختلاط می باشد. آزمایش مقاومت فشاری تک محوری محدود نشده نیز بر طبق استانداردASTM انجام شده است . روند تهیه نمونه بدین صورت است که نمونه خاک با درصدهای متفاوت

افزودنی در درصد رطوبت بهینه تهیه گردیده و پس از سپری شدن دوره های عمل آوری مختلف آزمایش تک محوری روی آنها انجام شده است. جدول۵. جزئیات آزمایش ها را به طور کامل بیان می دارد.

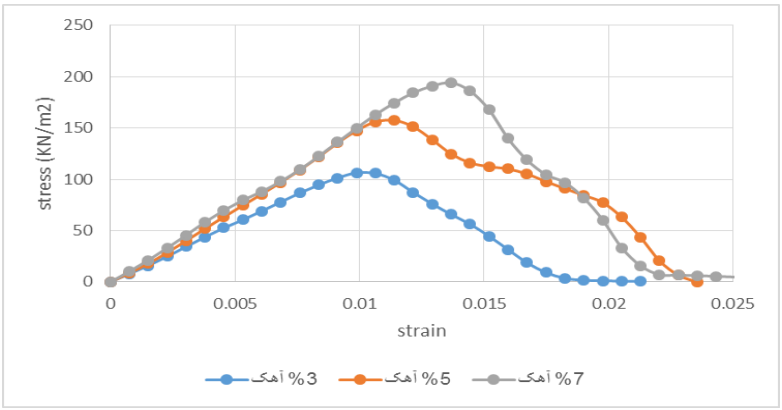
۳–نتایج و تفسیر داده ها

مطابق با شکل۱. با افزایش درصد آهک، دانسیته خشک بیشینه کاهش می یابد که این مشاهده حاکی از کمتر بودن وزن مخصوص آهک شکفته نسبت به ماسه می باشد اما طبق مشاهدات می توان بیان داشت که اضافه نمودن آهک به ماسه تغییر محسوسی در رطوبت بهینه مخلوط ایجاد نمی نماید. اضافه کردن میکرو و نانو سیلیس به ماسه نیز سبب کاهش وزن مخصوص بیشینه خشک و افزایش رطوبت بهینه می گردد[6].



شکل۱. نمودار دانسیته خشک بیشینه نسبت به درصد رطوبت

نمونه های حاوی آهک برای سنجش درصد بهینه آهک در آزمایش تک محوری محصور نشده مورد استفاده قرار گرفته اند که نتایج به صورت میانگینی از مجموعه تست های انجام شده در هر درصد اختلاط در شکل۲. نمایش داده شده.



شکل۲. مقاومت تک محوری مخلوط ماسه و آهک

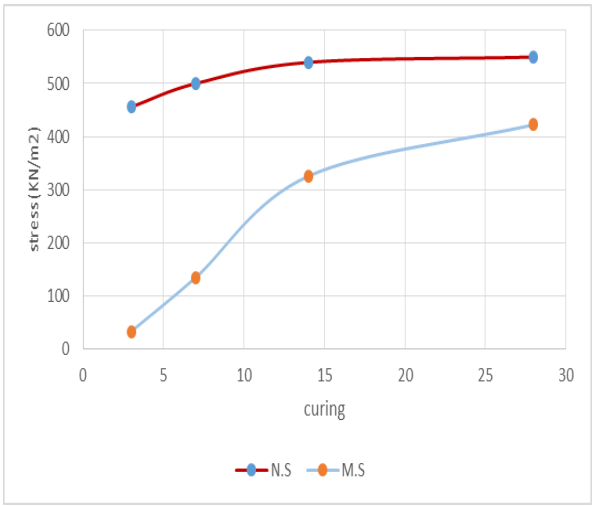
www.SID.ir

Archive of SID

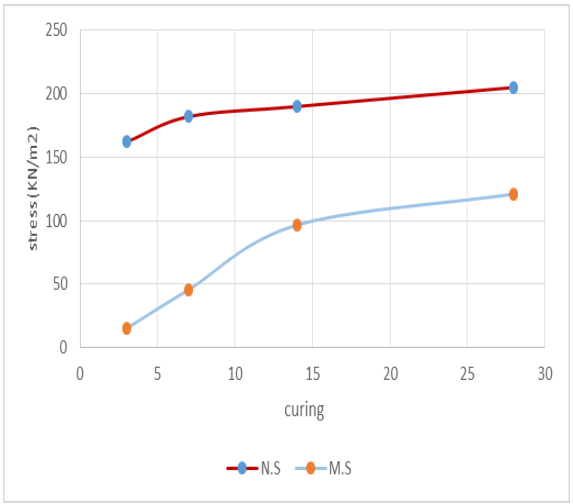
در ادامه با انتخاب درصد بهینه آهک فاز جدیدی از تست های تک محوری محصور نشده انجام شده است که جزئیات آن مطابق با بخش دوم تستهای تک محوری جدول شماره-۵ می باشد. نتایج بدست آمده در جدول شماره-۶ آورده شده است. نمودار مقاومت فشاری تک محوری در مقابل کیورینگ های متفاوت برای درصد های مختلف افزودنی در شکل۳. تا ۵ نشان داده شده است. همانطور که از نمودار ها برداشت می شود در عمل آوری های پایین تفاوت زیادی بین مقاومت نمونه حاوی نانو سیلیس با میکرو سیلیس می باشد که با گذشت زمان این اختلاف کاهش می یابد اما به هیچ عنوان صفر به نمیرسد[7] و در پایان عمل آوری ۲۸ روزه شیب پیشرفت هر دو افزودنی با هم برابر می شود. این نکته ناشی از واکنش کامل نانو سیلیس و عدم واکنش کامل میکرو سیلیس در دراز مدت می باشد. همانطور که در سیمانته شدن دانه های سیمان مشاهده می شود که بعد از گذشت ۱ سال تنها عمق نفوذ سیمانته شدن در دانه سیمان با قطر ۶۰ میکرو متر حدود ۸ میکرو متر می باشد[3]. همچنین مشاهده می شود عمده ی واکنش نانو سیلیس در همان ۳ روز ابتدای عمل آوری رخ میدهد و در ادامه پیشرفت واکنش به کندی رخ می دهد اما واکنش میکرو سیلیس تا عمل آوری ۱۴ روزه به طور محسوسی مشاهده می گردد.

جدول۶- نتایج تست تک محوری

	مقاومت فشاری تک محوری KN/m2			
زمان عمل آوری	۳ روزه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
طرح اختلاط				
ماسه + ۵٪ آهک + ۰.۵٪ نانو سیلیس	162	182	190	205
ماسه + ۵٪ آهک + ۱٪ نانو سیلیس	456	500	540	550
ماسه + ۵٪ آهک + ۲٪ نانو سیلیس	1085	1422	1496	1651
ماسه + ۵٪ آهک + ۰.۵٪ میکروسیلیس	15	45.5	96.5	121
ماسه + ۵٪ آهک + ۱٪ میکرو سیلیس	33	134.5	325.5	422.5
ماسه + ۵٪ آهک + ۲٪ میکروسیلیس	100	404.5	802	981.5



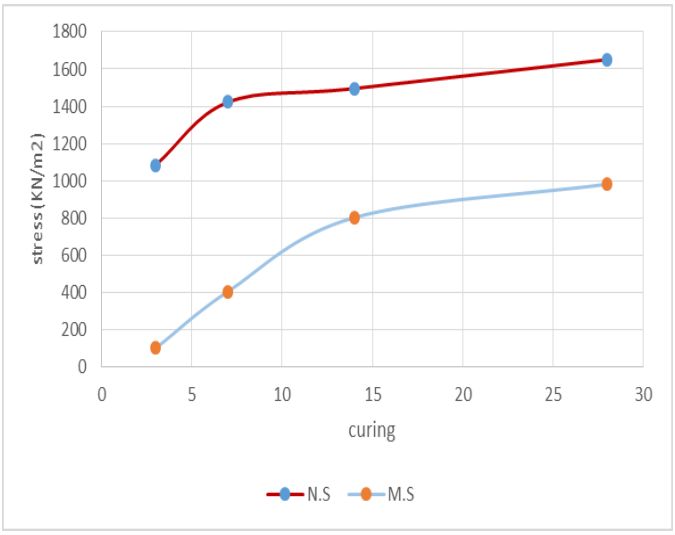
شکل۳. مقاومت تک محوری با ۱٪ افزودنی



شکل٤. مقاومت تک محوری با ۰.۵٪ افزودنی

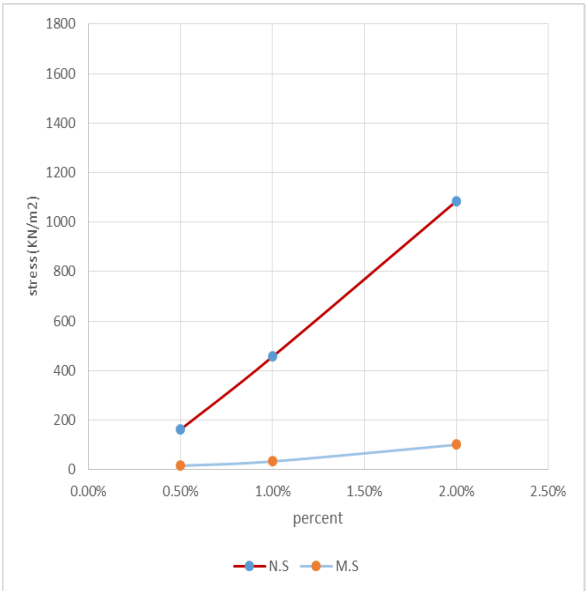
www.SID.ir

Archive of SID

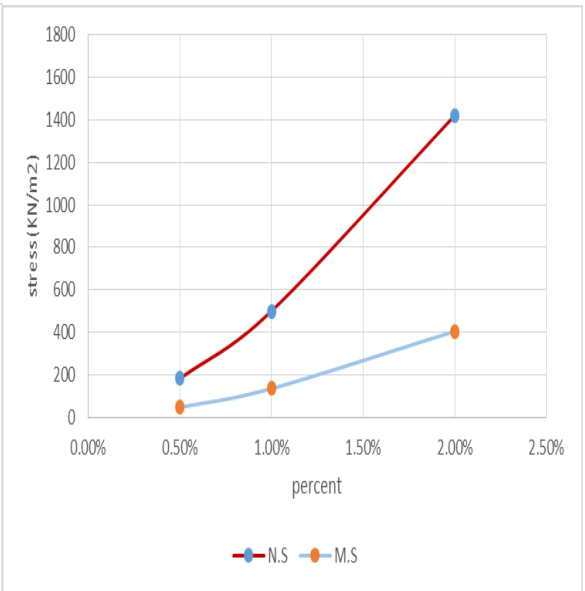


شکل۵. مقاومت تک محوری با ۲٪ افزودنی در کیورینگ های متفاوت

مقاومت تک محوری در مقابل درصد های مختلف افزودنی را در کیورینگ های متفاوت درشکل۶. تا ۹ نشان داده شده است. همانطور که ملاحضه می شود در بازه عمل آوری یکسان با افزایش درصد افزودنی تفاوت بین مقاومت ها به طور محسوسی افزایش می یابد . این تفاوت در عمل آوری های کوتاه مدت بسیار محسوس تر می باشد و نشان از قدرت واکنش پذیری نانو سیلیس در کوتاه مدت دارد. همچنین می توان بیان داشت با مقایسه عمل آوری های متفاوت روند کاهش اختلاف مقاومت بین نمونه های نانو و میکرو در درصد افزودنی ۰.۵٪ کمتر از ۲٪ می باشد . به عبارتی با پیشرفت واکنش نسبت به زمان نزدیک شدن مقاومت نمونه حاوی میکروسیلیس به نانو سیلیس در درصد های بالای افزودنی محسوس تر می باشد. این مشاهده بیان می دارد که مقدار ۵ ٪ آهک برای واکنش کامل با ۲٪ نانو سیلیس کافی نمی باشد. در نتیجه می توان برای مقرون به صرفه بودن مقدار نانو سیلیس را محدود تر نمود.



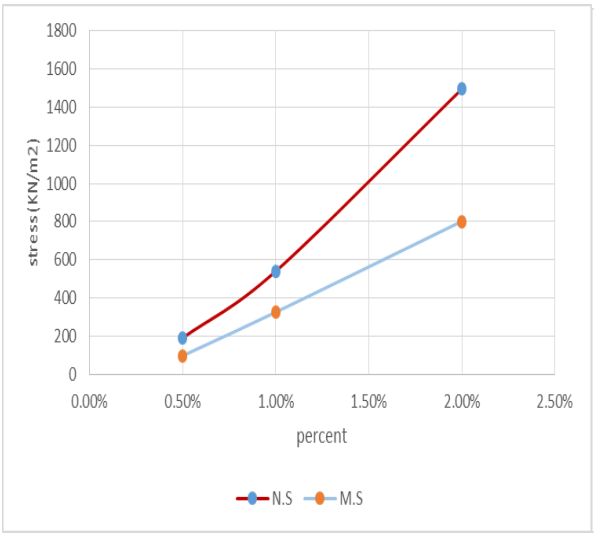
شکل٦. مقاومت تک محوری ۳روزه در درصدمتفاوت افزودنی



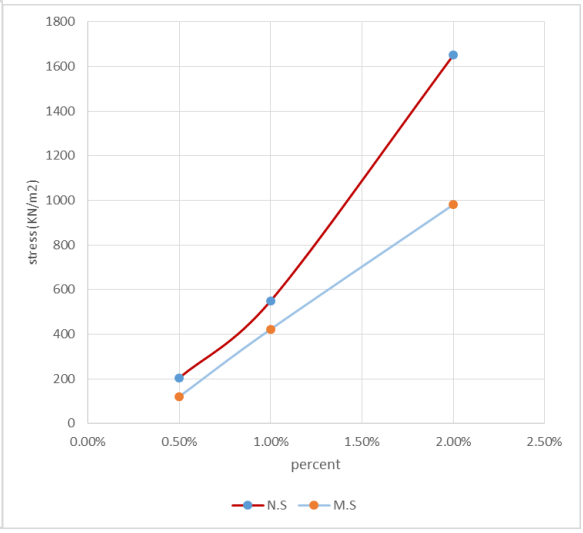
شکل۷. مقاومت تک محوری ۷روزه در درصدمتفاوت افزودنی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۸. مقاومت تک محوری ۱٤روزه در درصد متفاوت افزودنی



شکل۹. مقاومت تک محوری ۲۸روزه در درصد متفاوت افزودنی

۴–نتایج

۱–با افزایش درصد آهک، دانسیته خشک بیشینه کاهش می یابد که این مشاهده حاکی از کمتر بودن وزن مخصوص آهک شکفته نسبت به ماسه می باشد.

۲–در عمل آوری های پایین تفاوت زیادی بین مقاومت نمونه حاوی نانو سیلیس با میکرو سیلیس می باشد که با گذشت زمان این اختلاف کاهش می یابد اما به هیچ عنوان صفر به نمیرسد.

۳–در پایان عمل آوری ۲۸ روزه شیب پیشرفت واکنش هر دو افزودنی با هم برابر می شود که این مشاهده حاکی از عدم واکنش کامل میکرو سیلیس در دراز مدت می باشد.

۴–عمده ی واکنش نانو سیلیس در همان ۳ روز ابتدای عمل آوری رخ می دهد و در ادامه پیشرفت واکنش به کندی رخ می دهد اما واکنش میکرو سیلیس تا عمل آوری ۱۴ روزه به طور محسوسی مشاهده می گردد.

۵–مراجع

1-Zhang, Guoping. "Soil nanoparticles and their influence on engineering properties of soils." Advances in Measurement and Modeling of Soil Behavior. ASCE, 2007.

2- Roddy, Craig W., et al. "Cement compositions and methods utilizing nano-clay." U.S. Patent No. 8,586,512. 19 Nov. 2013.

3- Neville, Adam, and Pierre-Claude Aitcin. "High performance concrete—An overview." aterials and structures 31.2 (1998): 111-117.

4- Panwar, Er Pratibha, and N. K. Ameta. "Stabilization of Dune Sand with Bentonite and ime."

5-Cetin, Hasan, Mustafa Fener, and Osman Gunaydin. "Geotechnical properties of tire- ohesive clayey soil mixtures as a fill material." Engineering Geology 88.1 (2006): 110-120.

6- National Lime Association. "Mixture design and testing procedures for lime stabilized oil." Technical Brief (2006).

www.SID.ir

Archive of SID

7-Zhang, Min-Hong, Jahidul Islam, and Sulapha Peethamparan. "Use of nano-silica to increase early strength and reduce setting time of concretes with high volumes of slag." Cement and Concrete Composites 34.5 (2012): 650-662.

8- Jo, Byung Wan, Chang Hyun Kim, and Jae Hoon Lim. "Investigations on the evelopment f powder concrete with nano-SiO2 particles." KSCE Journal of Civil Engineering 11.1 (2007): 37-42.

www.SID.ir