Archive of SID

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

بررسی کاهش پتانسیل روانگرایی خاک با استفاده از فناوری نانو به روش آزمایشگاهی و مدلسازی عددی

عادل عساکره[۱]، حسین خادمی [۲] ، مهدیه شعبانی[۲]

۱- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه هرمزگان ، بندرعباس ، ایران ، asakereh@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران (خاک و پی) دانشگاه هرمزگان ، بندرعباس ، ایران

khademi_hosein57@yahoo.com-shabani.mhdh@gmail.com

khademi_hosein57@yahoo.com

خلاصه

روانگرایی یکی از نگرانی های اصلی جامعه ژئوتکنیک و کسانی که در حال ساخت و ساز یا توسعه آن هستند، می باشد. پس از دو زمین لرزه بزرگ سال ۱۹۶۴، بسیاری از ساختمان ها مانند یک سیال حرکت کرده و بطور کامل از بین رفتند(شکل ۱) . بعد از آن بود که اثر مخرب روانگرایی مورد توجه مهندسان و زلزله شناسان قرار گرفت. در این مقاله به منظور کاهش پدیده روانگرایی، از دو تثبیت کننده بنام آهک و نانوآهک استفاده شده و پروژه در دو بخش انجام می گیرد. بخش اول، انجام کار آزمایشگاهی و بدست آوردن پارامترهای مورد نیاز خاک قبل و بعد از اضافه نمودن تثبیت کننده، که شامل آزمایشات استاتیکی و دینامیکی میباشد. و بخش دوم شامل آنالیز رونگرایی که با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود صورت میگیرد. پس از انجام آنالیز و گرفتن دو خروجی(در حالت خاک بدون تثبیت کننده و با تثبیت کننده)، میزان تاثیر نانو جهت کاهش روانگرایی و فشار آب حفره ای که یکی از علل بروز پدیده روانگرایی است را با یکدیگر مورد بررسی و مقایسه قرار داده و همچنین از دیدگاه صرفه و صلاح اقتصادی استفاده از نانومواد نیز مورد مطالعه قرار میدهیم.

کلمات کلیدی: نانو ، روانگرایی ، آهک

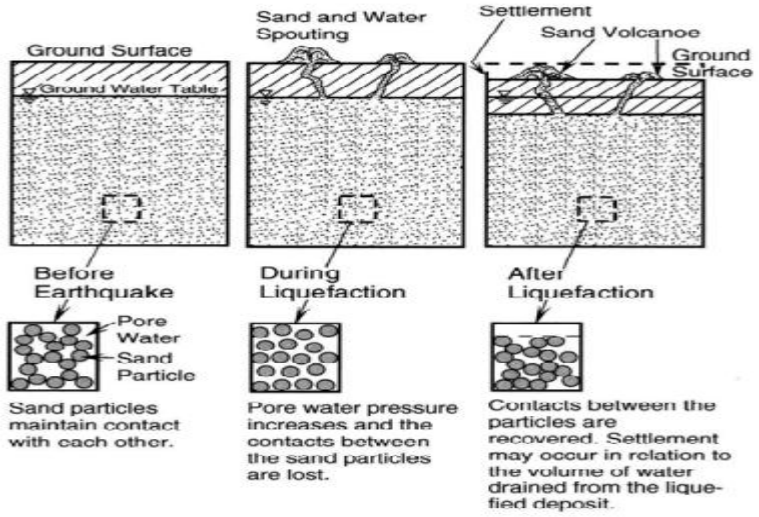
شکل ۱

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

هنگامی که نهشته های خاک اشباع در اثر حرکات لرزه ای به سرعت و به صورت دو سویه تحت برش قرار گیرند، فشار آب در داخل خلل و فرج خاک شروع به افزایش پیدا می کند. در خاک های غیرچسبنده ی اشباع و سست، فشار آب منفذی به سرعت افزایش یافته و ممکن است به حدی برسد که ذرات به صورت مجزا از یکدیگر معلق شوند و برای لحظاتی مقاومت و سختی خاک به طور کامل از بین برود. این پدیده که به اصطلاح به آن روانگرایی خاک گفته می شود، به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: نمایی از شکل گیری پدیده روانگرایی

۱-۲) تاریخچه مطالعات صورت گرفته در مورد روانگرایی

محققان و دانشمندان مختلفی در مورد علل وقوع و پدیده روانگرایی بحث و تحقیق نمودند که از آن جمله میتوان به موارد ذیل اشاره نمود: فلورین و ایوانف (۱۹۶۱) تحت شرایط لرزه‌ای، ستونهای خاکی یکنواخت بدون زهکشی از بستر تحت شرایط لرزه‌ای آزمایش نمودند و فشارهای حفره‌ای را در حین و بعد از تحریکات لرزه‌ای ثبت کردند. ایشیهارا (۱۹۸۵) با دوره کردن تاریخچه مربوط، نتیجه گرفت که روانگرایی باید در یک عمق مشخص در زیر لایه‌ی سطحی رخ دهد قبل از اینکه خرابی دیده‌شود. لیو و کیائو (۱۹۸۴) در آزمایشهای انجام شده با میز لرزان برای خاکهای لایه‌ای، نشان داده بودند که شکل‌گیری غشای آبی و جوشش ماسه‌ای رخ می‌دهد. ککوشو و فوجیتا (۲۰۰۱) در شهر نیگاتا و در حین زلزله ۱۹۶۴، گسیختگی‌های جریان را به تشکیل غشای آبی که هم در سطح لغزش عمل می‌کند و هم به عنوان یک منبع سیال پرفشار برای جریان لوله‌شدگی یا پایپینگ به درون لایه‌های بالایی است؛ نسبت دادند. های و مادابهوشی (۲۰۰۲) لغزشی را در حین یک آزمایش سانتریفیوژ بازسازی نمودند که در آن، لایه‌های خمیری پودرسنگ به عنوان ماده ریزدانه عمل می‌کردند. ککوشو (۱۹۹۹) آزمایشهای میز لرزانی را روی خاکریزهایی که شامل لایه‌های افقی زیرسطحی و کشیده شده در راستای سطحی که پتانسیل لغزش دارد؛ انجام دادند. فیگل و کاتر (۱۹۹۴) نیز پدیده‌ی جوشش ماسه را با انجام آزمایشهای سانتریفیوژ با داشتن رس با ضخامت غیریکنواخت به عنوان لایه‌های سطحی در بالای ماسه روانگرا مطالعه نمودند. نتایج مطالعات دانشمندان ذکر شده روشهایی را جهت مقابله با پدیده روانگرایی به همراه داشت که میتوان از آنها به عنوان روش های متداول و سنتی نام برد. برخی از این روشها عبارتند از:روش تراکم (ارتعاشی و دینامیکی)، روش زهکشی ، روش تحلیل عددی ، روش های فیزیکی و شمیایی از طریق اختلاط ، روش تزریق ، روش اجرای سیمانتاسیون و روش ستون سنگی.

۲. انجام آزمایشات آزمایشگاهی

۱-۲) آزمایش در مورد نمونه خاک سست

از آنجایی که جهت انجام آنالیز روانگرایی خاک نیازمند یک سری پارامترهایی است که بایستی با استفاده از انجام آزمایشات استاتیکی و دینامیکی بدست آورد، لذا نیازمند انجام تست های برش مستقیم و سه محوری است. در مرحله اول، نمونه ای از یک نوع خاک که با استفاده از شکل ظاهری

www.SID.ir

Archive of SID

(ماسه ای و دانه ای بودن و فاقد چسبندگی) و همچنین نوع منطقه ای (نوار ساحلی)، حدس میزنیم که خصوصیات یک خاک روانگرا را دارد را انتخاب کرده و تحت آزمایشات فوق قرار میدهیم (شکل ۳).

شکل ۳

پس از انجام آزمایشات فوق، پارامترهای مورد نیاز جهت انجام آنالیز روانگرایی در مورد خاک سست را بدست آورده، (جدول ۱) بایستی توجه داشته با شیم که در تمامی مراحل آزمایش ابعاد نمونه ها با یکدیگر برابر باشند.

نوع مصالح	Dampang Ratio	Shear moduls(kg/cm2)	C (kg/cm2)	زاویه	ضریب پواسون
ماسه سست	0.72	18.51	0.078	10	0.25

جدول ۱

۲-۲) استفاده از تثبیت کننده آهک

یکی از مصالح رایج که جهت تثبیت خاک در پروژه ها به وفور از آن استفاده میشود، آهک میباشد. آهک از جمله موادی است که کارآیی آن از دوران باستان، توسط بشر شناخته شده است و از آن در ساخت انواع بناها و برای اتصال محکم تر قطعات سنگ یا چوب بکار گرفته می‌شد. زمان درازی است که ایرانیان شفته ی آهکی (ملات دوغاب آهک و خاک)، ساروج (ملات دوغاب آهک و خاکستر) و ملات آهک آبی را می‌شناسند و با آنها ساختمان می‌سازند. پس از جنگ جهانی دوم، در کشورهای صنعتی هم برای پایدار کردن زمین، به ویژه برای پی سازی راه و جلوگیری از روییدن گیاه و رو زدن آب در بستر، شانه‌ها و دامنه‌های راه و خیابان‌های پرواز و ایستگاه‌های هواپیما، شفته ی آهکی مصرف می‌شود. با شفته ی آهکی پی سازی و آب بندی می کنند . در این مرحله از آزمایش، مقدار آهک را به همان خاک استفاده شده در مرحله اول آزمایش، اضافه میکنیم. آهکی که در این مرحله مورد استفاده قرارمدهیم (تصویر ۴) دارای خصوصیات مندرج در جدول ۲ میباشد.

تصویر ٤

فرمول شیمایی	Cao
جرم ملکولی	56.077gr/mol
شکل ظاهری	جامد سفید
چگالی	kg/m3 3350
دمای ذوب	25720 oc
دمای جوش	2850 oc

جدول ۲

www.SID.ir

Archive of SID

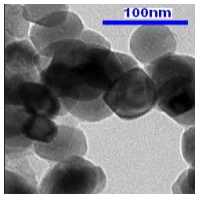
پس از انجام آزمایشات استاتیکی و دینامیکی که همانند مرحله قبل در مورد خاک سست صورت پذیرفت، پارامتر های مورد نیاز جهت آنالیز روانگرایی خاک + آهک را دست می آوریم (جدول ۳)

نوع مصالح	Dampang Ratio	Shear moduls(kg/cm2)	C (kg/cm2)	زاویه	ضریب پواسون
ماسه+آهک	0.65	34.44	0.055	15	0.3

جدول ۳

۳-۲) استفاده از تثبیت کننده نانو آهک

بشر همواره در طول تاریخ برای تثبیت و پایدار نمودن خاک، از تثبیت کننده هایی نظیر آهک ، سیمان و مواد قیری استفاده میکرده است. امروزه با توجه به لزوم سرعت بیشتر و هزینه کمتر در ساخت و سازها، استفاده از فناوری نانو ضروری بنظر میرسد. فناوری نانو یک فناوری نوظهور و یکی از اجزای کلیدی پیشرفتهای فنی قرن حاضر است. بکارگیری مواد با ساختارهایی بر پایه نانومتری، دانش بشر را به سمت توسعه و ارائه راه حل هایی برای تولید محصولات برتر در آینده رهنمون ساخته است. با ظهور علم نوین نانو تکنولوژی و بررسی ویژگیهای منحصر بفرد نانو ذرات، زمینه استفاده از آنها در بسیاری از شاخه های مهندسی فراهم آمد که مهندسی ژئوتکنیک از این امر مستثنی نسیت. یکی از تکنیک هایی که در گذشته کمتر مورد بررسی قرار گرفته است استفاده از مواد نانو برای بهبود پارامترهای خاک می باشد.و مواد افزودنی که اضافه می گردید، شامل آهک، سیمان،کلرید کلسیم و... می شد.با افزودن این مصالح به خاک، می توان افزایش مقاومت ، کاهش تغییرشکل، پایداری توده ، افزایش دوام وکاهش نفوذپذیری را نتیجه گرفت. در کنار مصالح یاد شده، مواد نانو خصوصیات مشابهی را دارا می باشند. هرچند بکارگیری این مواد در مهندسی ژئوتکنیک کمتر مورد مطالعه وبررسی قرار گرفته است. در این مقاله از نانو آهک به عنوان عامل تثبیت کننده استفاده شده است که با توجه به اینکه در ایران یکی از مشکلات اصلی تثبیت خاک ها در پروژه های بزرگ بخصوص در نوار ساحلی کشورمان روانگرایی است، استفاده از نانو مواد میتواند این نقیصه را به مزیت تبدیل کند. نانو موادی که در این آزمایش استفاده شده است محصول شرکت us research nanomaterials کشور ایالات متحده آمریکاست که دارای خصوصیات مندرج در جدول ۴ میباشد (تصویر ۵) .



تصویر ۵

Nano-caco3	فرمول شیمیایی
60 نانومتر	متوسط اندازه ذرات
۹۹ درصد	خلوص ذرات

جدول ٤

در مرحله آخر آزمایش، نانو آهک را به خاک اولیه آزمایش اضافه کرده و مانند حالت قبل مورد آزمایش استاتیکی و دینامیکی قرار داده و پارامتر های مورد نیاز را از آن استخراج میکنیم (جدول ۵). هم اکنون مراحل آزمایش به اتمام رسیده و در مرحله بعد، کار آنالیز روانگرایی را انجام میدهیم.

نوع مصالح	Dampang Ratio	Shear moduls(kg/cm2)	C (kg/cm2)	زاویه	ضریب پواسون
ماسه+نانوآهک	0.57	37.55	0.08	15	0.5

جدول ۵

۳) انجام آنالیز روانگرایی

روش های متداولی جهت تشخیص روانگرایی خاک وجود دارد که از آن جمله میتوان به آزمایش spt اشاره نمود که یکی از متداولترین روشهای موجود میباشد به طوریکه در اکثر پروژه ها از این روش استفاده میگردد. در این روش چنانچه مقدار spt زیر ۲۰ باشد خاک مورد نظر روانگراست. روش دیگری که جهت آنالیز روانگرایی خاک استفاده میگردد استفاده از نرم افزار پی سنج میباشد. که به ندرت استفاده میشود و بیشتر جهت کنترل عدد spt مورد استفاده قرار میگیرد. در این مقاله از روش دیگری جهت آنالیز روانگرایی خاک مورد استفاده قرار گرفته که با استفاده از نرم افزار

www.SID.ir

Archive of SID

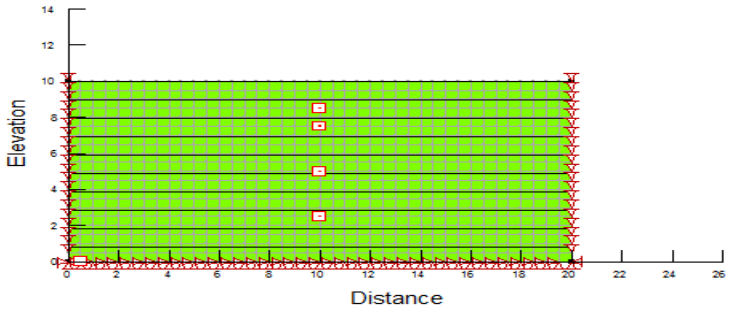
Geostudio بخش QUAKE می باشد. عملکرد نرم افزار فوق بدین شکل است که پارامترهای بدست آمده از آزمایشات استاتیکی و دینامیکی را در نرم افزار گذاشته و با دادن ابعاد و مدل هندسی و همچنین اعمال بار دینامیکی، نرم افزار کار انجام آنالیز روانگرایی را انجام میدهد. یکی از مزیت های استفاده از این نرم افزار نسبت به سایر روشها، مشخص شدن نمودار فشار آب حفره ای میباشد.

۱-۳) ابعاد و مدل هندسی

ابعاد و مدل کلی هندسی مطابق با جدول ۶ بوده که جهت بررسی تاثیر مواد تثبیت کننده بر فشار آب حفره ای، چهار پیزومتر در اعماق مختلف تعبیه گردیده است(جدول و تصویر ۶) .

مدل مصالح	معیار	عمق پیزومتر(m)	ابعاد مدلسازی(m)
الاستیک	موهرکولمب	8.5،7.5،5.5،2.5	0.20*0.10

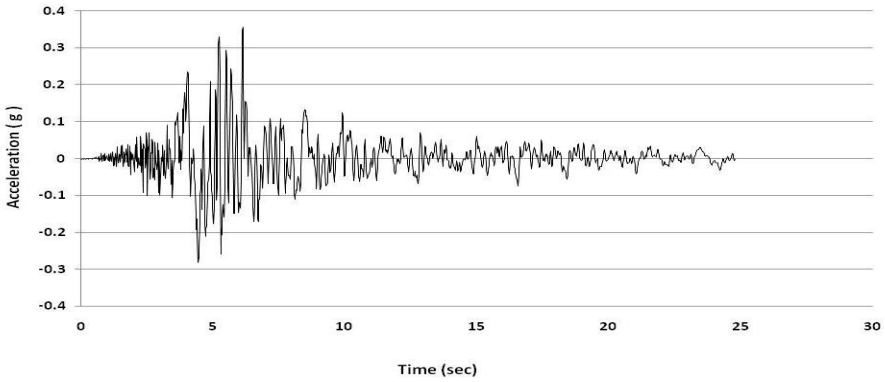
جدول ٦



تصویر ٦

۲-۳) اعمال بار دینامیکی

از آنجایی که روانگرایی در شرایطی اتفاق می افتد که خاک تحت اعمال بار دینامیکی مانند زلزله قرار میگیرد و آب موجود در خاک فرصتی برای خروج ندارد، لذا می بایست بار دینامیکی(زلزله) را به نرم افزار تعریف نموده که در این مقاله از رکورد زلزله لوماپریتا ایالت متحده آمریکا با ماکزیمم شتاب 0.35g در مدت زمان ۲۵ ثانیه استفاده شده است(تصویر ۷) .



تصویر ۷

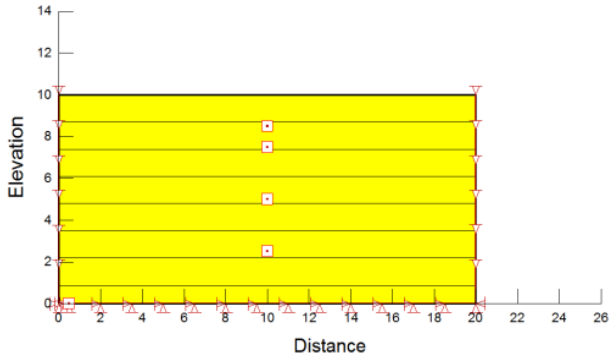
دلیل استفاده از این نوع رکورد ، نزدیکی شتاب این زلزله به بیشترین شدت زلزله اتفاق افتاده در شهر بندرعباس میباشد. مدت زمان زلزله نیز ۴۰ ثانیه بوده ولی چونکه بعد از ۲۵ ثانیه شتاب ها خیلی کم میشود و اثری روی خروجی ندارند و فقط مدت زمان RUN برنامه را زیاد میکند، بنابراین مدت زمان زلزله اعمال شده ۲۵ ثانیه در نظر گرفته شده و از ادامه آن صرف نظر شده است.

www.SID.ir

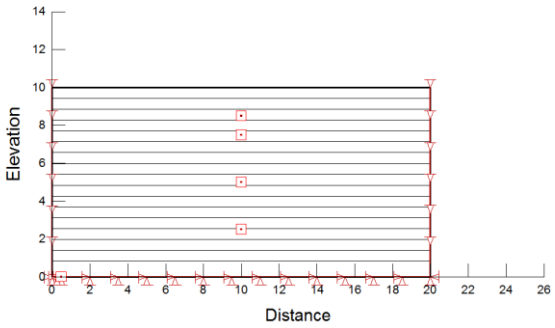
Archive of SID

۳-۳) آنالیز روانگرایی

با اعمال پارامترهای مربوط به خاک سست و گرفتن خروجی(تصویر ۷) مدل مورد نظر کاملا زرد شده که رنگ زرد نشانگر نقاط روانگراست . پس خاک مدلسازی شده کاملا روانگراست. سپس با وارد نمودن پارامترهای مربوط به ماسه و آهک و ماسه و نانوآهک، و گرفن خروجی، مشاهده میکنیم که خروجی مورد نظر کاملا سفید بوده که این خود نشانگر عدم روانگرایی خاک است و هیچ نقطه روانگرایی (زرد) در آن وجود ندارد (تصویر ۸).



تصویر ۷



تصویر ۸

۴-۳) آنالیز فشار آب حفره ای

همنطور که قبلا ذکر شد با قرار دادن ۴ پیزومتر در اعماق مختلف و سپس در مدت زمان مشخص، میزان تاثیر فشار آب حفره ای در سه حالت ماسه سست ، ماسه با آهک و ماسه با نانو آهک مورد آنالیز قرار گرفته که در نمودارهای ۱ تا ۴ و جداول ۷ تا ۹ در زمان ثابت ۲۰ ثانیه قابل مشاهده بوده و مابقی زمانها به دلیل تعدد جداول از آن صرف نظر شده است.

فشار آب حفره ای(kpa)	زمان(s)	عمق پیزومتر(m)	ردیف
۷.۹	۲۰	۲.۵	۱
۵.۱	۲۰	۵	۲
۲.۶۵	۲۰	۷.۵	۳
۱.۵۹	۲۰	۸.۵	۴

جدول ۷ (ماسه سست)

فشار آب حفره ای(kpa)	زمان(s)	عمق پیزومتر(m)	ردیف
۳	۲۰	۲.۵	۱
۲	۲۰	۵	۲
۱	۲۰	۷.۵	۳
۰.۶	۲۰	۸.۵	۴

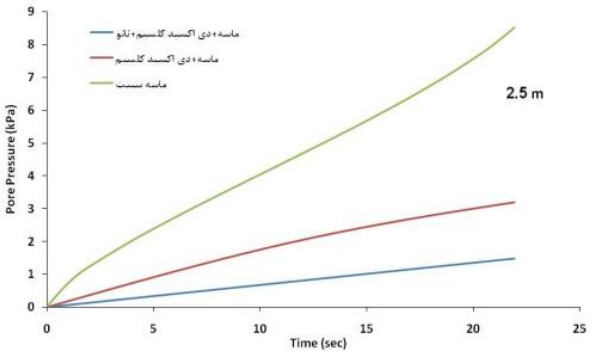
جدول ۸ (ماسه + آهک)

فشار آب حفره ای(kpa)	زمان(s)	عمق پیزومتر(m)	ردیف
۱.۵۴	۲۰	۲.۵	۱
۰.۹	۲۰	۵	۲
۰.۴۹	۲۰	۷.۵	۳
۰.۳	۲۰	۸.۵	۴

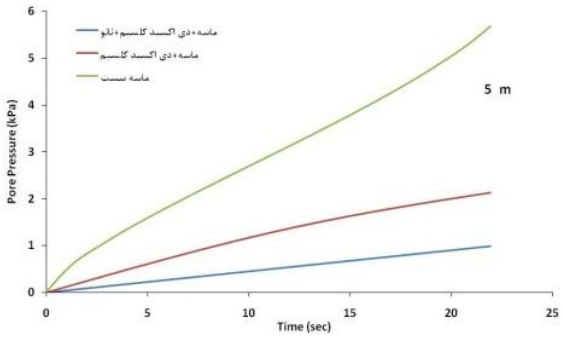
جدول ۹ (ماسه + نانو آهک)

www.SID.ir

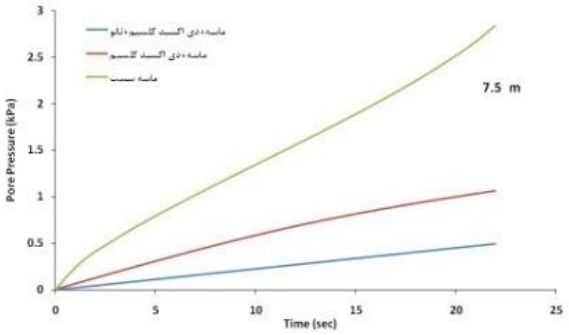
Archive of SID



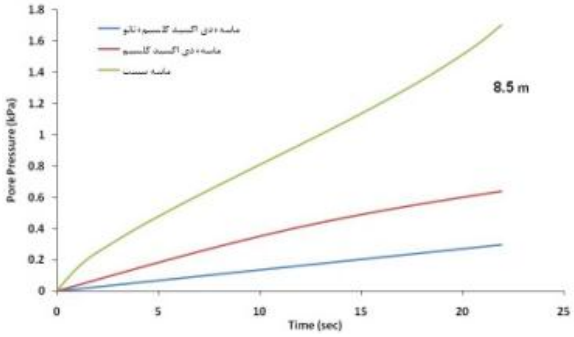
نمودار ۲ (عمق ۲/۵ متر)



نمودار ۱ (عمق ۵ متر)



نمودار ٤ (عمق ۷/۵ متر)



نمودار ۳ (عمق ۸/۵ متر)

۴ . نتیجه‌گیری

۴–۱) روانگرایی

همانطور که در نتایج حاصله از تحلیل روانگرایی مشاهده نمودیم، شکل خروجی(تصویر ۷) که مصالح ماسه سست بوده، خاک مورد نظر روانگراست و کل نمونه خاک زرد شده است. با اضافه نمودن دو تثبیت کننده آهک و نانو آهک و گرفتن خروجی(تصویر ۸) مشاهده میکنیم که تثبیت کننده های فوق به طور کامل خاک را از روانگرایی خارج نموده و آنرا کاملا سفید نموده است که این به دلیل پر نمودن فضاهای خالی بین ذرات و ایجاد چسبندگی بین دانه های ماسه میباشد. اضافه نمودن این دو تثبیت کننده باعث میگردد میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک خاک افزایش پیدا کند که مقاومت ذرات خاک را بالا می برد. همچنین نتایج حاصل از آزمایشات استاتیکی ، بازگو کننده این قضیه میباشد.

۴–۲) فشار آب حفره ای

همانطور که در نمودارهای ۱ تا ۴ مشاهده میکنیم با اضافه نمودن مقدار تثبیت کننده آهک، میزان فشار آب حفره ای تا حدودی کم شده ولی با اضافه نمودن تثبیت کننده نانوآهک، به شدت فشار آب حفره ای کم میشود. همانطور که می دانیم وجود فشار آب حفره ای یکی از دلایل وقوع رخداد روانگرایی است. پس یکی از راههای کاهش این پدیده، کم کردن فشار آب حفره ای میباشد. که با افزودن نانوآهک مشاهده میشود این مقدار به شدت کاهش می یابد. به عنوان نمونه در جدول ۱۰، در زمان ثابت ۲۰ ثانیه مشاهده میکنیم که با افزودن نانو به ماسه سست، توانسته ایم میزان فشار آب حفره ای را تقریبا به یک پنجم برسانیم و میزان روانگرایی خاک را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهیم. در صورتی که در مقایسه با حالت استفاده از آهک، فشار آب حفره ای به مقدار یک دوم می رسید.

ردیف	عمق(m)	زمان(s)	فشارآب حفره ای ماسه سست	فشارآب حفره ای ماسه+آهک(kpa)	فشارآب حفره ای ماسه+نانوآهک(kpa)
1	7.5	20	2.65	1	0.49

www.SID.ir

Archive of SID

2	8.5	20	1.59	0.6	0.3
3	5	20	5.1	2	0.9
4	2.5	20	7.9	3	1.54

جدول ۱۰

۳-۴) صرفه و صلاح اقتصادی

به صرفه و صلاح بودن هر پروژه ای یکی از دغدغه های اصلی کارفرمایان محسوب شده و انجام هر پروژه ای بایستی توجیه اقتصادی داشته باشد. لذا در صورتی که از دید صرفه و صلاح بودن استفاده از نانو مواد به جهت جایگزین با سایر مصالح را در نظر بگیریم، مشاهده میکنیم که با استفاده نانو مواد میزان فشار آب حفره ای و روانگرایی را به میزان یک پنجم رسانده ایم در صورتی که استفاده از آهک، میزان فشار آب حفره ای و روانگرایی به میزان یک دوم میرسد. بنابراین برای رسیدن به مقدار یک پنجم فشار آب حفره ای، که با نانو مواد بدست آمد، بایستی ۲.۵ برابر برابر وزنی آهک بشتری مصرف کنیم. البته ممکن است با درصدهای کمتر از این میزان نانو مواد نیز به چنین مقدار کاهش فشار آب حفره ای دست پیدا کنیم که نیازمند تکرار آزمایش در درصدهای مختلف میباشد. نکته حائز اهمیت دیگر این است که چنانچه پارامترهای خاک با برخی از نانو ذرات چون نانو-آهک و... ارتقا یابند به دلیل اینکه اساس این ذرات خاک طبیعی است بحث آلودگی های زیست محیطی نیز مطرح نخواهد شد.

۵. مراجع

1- Boulanger, R.W., and Idriss, I. M. (1999) “Discussion of "Liquefaction Failure and Remediation: King Harbor Redondo Beach, California” J. Geotech. and Geoenv. Eng., 125(3), 231-233
2-Brennan, A.J., and Madabhushi, S.P. G. (2002) “Effectiveness of vertical drains in mitigation of liquefaction” Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22, 1059–1065.
3-Rollins, K.M., Anderson, J.K.S. (2003) “Vertical Composite Drains for Mitigating Liquefaction Hazard” Proceedings of 13th Intern. Offshore and Polar Eng. Conf. Honolulu, Hawaii, USA.
4-Brennan, A.J., and Madabhushi, S.P. G. (2005) “Effectiveness of vertical drains in mitigation of liquefaction” J. Geotech. and Geoenv. Eng., 131(7), 876-885.
5-Papdimitriou, A., Moutsopouou, M.E., Bouckovalas, G., Brennan, A. (2007) “Numerical investigation of liquefaction mitigation using gravel drains” Proceedings of 4th Intern. Conf. on Earthq. Geotech. Eng., Thessaloniki, Greece
, Department of "effects of carbon nanotube on kaolinite,basic geotechnical behavior"18- M. Taha , T.Ying. , Civil & Structural Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia.
.

۶- نشریه۵۲۵،"راهنمای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک،پیامدها و روش های کاهش مخاطرات آن"معاونت نظارت راهبردی امور نظام فنی.
۷-مرندی،س.م.،حامدیسنگری،ع. (۱۳۸۹) " مطالعه آزمایشگاهی تاثیر ستونهای شنی و زهکشهای شنی دیوارهای در کاهش خطرات ناشی از روانگرایی"، چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، ایران.
۸- شهیدی فرد،امیرحسین."بسترسازی و پی سازی روی خاکهای اشباع "،معاونت فنی ونظارت دفتر فنی گروه مکانیک خاک،فصل ۴ و۶
۹- وفائی ، علی .جانعلیزاده ، عسکر.۱۳۹۲." تاثیر حضور نانو تکنولوژی در مهندسی ژئوتکنیک ".مهندسی عمران وتوسعه پایدار.مشهد.
۵-گنجی،فضل اولی و نوروزنژاد.۱۳۹۱." بررسی تغییرات تنش برشی خاک قبل و بعد از بکاربگیری نانو رس ها"،مجموعه مقالات نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران،دانشگاه صنعتی اصفهان ،ایران،اردیبهشت

www.SID.ir