Journal of Structural and Construction Engineering, 9(6), 2022, pp. 81-107

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

influence of soil improvement by Glass fiber in decreasing settlement of strip foundations

Masoud ZabihiSamani [1,], Parvin Dolati[1], Zahra Babaei[2] ,Mostafa Daryabari[1]*

1- Department of Civil Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran
2- Department of Civil Engineering, TehranEast Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Due to the importance of settlement control in strip foundation, especially in soils that do not have the necessary strength, to build structures on such soils, there are various methods to reduce settlement, including these methods, soil improvement using additives. In this research, glass fiber additives have been used to stabilize the clay in order to reduce the settling in the strip foundations due to the improvement of strength parameters. The combination of glass fibers with clay and the effect of using this additive on the stabilization of clay fine-grained clay (CL) were investigated in the laboratory. Soil samples in the natural state as well as in the combined state with different percentages of glass fibers equal to 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1% of the dry weight of the soil are used for laboratory tests including standard compaction test, California load ratio test as well as direct shear. The results show a decrease in unit weight of maximum soil and an increase in optimum moisture content, as well as a California load-bearing ratio by adding this material to the clay. The amount of cohesion and internal friction angle resulting from the direct shear test increase with increasing percentage of glass fibers. After laboratory studies, the effects of using modified soil with improvement depths of one meter, two meters, four meters for strip foundations with widths of 0.75, 1.50 and 2.25 meters with the help of Plaxis2D software show that by increasing the percentage of glass fiber mixing. In fine-grained clay soils, the amount of foundation deposition is reduced, while the reduction of foundation deposition on soil mixed with 0.8% glass fibers is more than soil mixed with 1% glass fibers. The reduction rate of strip foundation with a width of 0.75 m with a mixing percentage of 0.8 glass fibers and a depth of improvement of 4 m is 1.57 cm. Also, the reduction rate of the desired foundation settlement with widths of 1.5 and 2.25 meters is equal to 2.29 and 2.72 cm, respectively.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 16 August 2021
Revise Date: 10 November 2021
Accept Date: 25 November 2021

Keywords:
Glass fibers
clay
soil improvement
Strip foundation
Rey City

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2021.300156.2535

*Corresponding author: *Masoud ZabihiSamani*
Email address: mzabihi@iust.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir
Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

بررسی بهسازی خاک رس شهرری با الیاف شیشه و تاثیر آن در کاهش نشست‌پذیری پی‌های نواری

مسعود ذبیحی سامانی[۱*]، پروین دولتی[۲]، زهرا بابائی[۳]، سید مصطفی دریاباری[۴]

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران

۲- کارشناس‌ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد پرند ، تهران، ایران

۳- کارشناس‌ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد تهران شرق، تهران، ایران

۴- کارشناس‌ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد پرند، تهران، ایران،

چکیده

با توجه به اهمیت کنترل نشست در پی‌های گسترده به ویژه در خاک‌هایی که مقاومت لازم را نداشته، جهت احداث سازه بر روی این گونه خاک‌ها، روش‌های گوناگونی برای کاهش نشست وجود دارد از جمله این روش‌ها، اصلاح خاک با استفاده از مواد افزودنی است. در این پژوهش، از افزودنی الیاف شیشه جهت تثبیت خاک رس به منظور کاهش نشست در پی‌های نواری در اثر بهبود پارامترهای مقاومتی استفاده شده است. الیاف شیشه با خاک رس ترکیب و تأثیر استفاده از این ماده افزودنی در تثبیت خاک ریزدانه رسی (CL) در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های خاک در حالت طبیعی و نیز در حالت ترکیب با درصدهای مختلف الیاف شیشه معادل ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ و ۰/۸ و ۱ درصد وزن خشک خاک برای آزمون‌های آزمایشگاهی شامل آزمایش تراکم استاندارد، آزمایش آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا و همچنین و برش مستقیم، مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج بدست آمده کاهش وزن واحد حجم بیشینه خاک و افزایش رطوبت بهینه و همچنین نسبت باربری کالیفرنیا با افزودن این ماده به خاک رس را نشان می‌دهد. میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی که حاصل از آزمایش برش مستقیم می‌باشد با افزایش درصد الیاف شیشه افزایش می‌یابند. پس از بررسی‌های آزمایشگاهی اثرات استفاده از خاک اصلاح شده با اعماق بهسازی با یک متر، دو متر، چهار متر برای پی نواری به عرض های ۰/۷۵، ۱/۵۰ و ۲/۲۵ متر به کمک نرم‌افزار Plaxis2D نشان‌دهنده این امر است که با افزایش میزان درصد اختلاط الیاف شیشه به خاک ریزدانه رسی میزان نشست پی نواری مورد نظر کاهش یافته است این در حالی است که کاهش نشست پی نواری بر روی خاک مخلوط شده با ۰/۸ درصد الیاف شیشه بیشتر از خاک مخلوط شده با ۱ درصد الیاف شیشه می‌باشد. میزان کاهش نشست پی نواری با عرض ۰/۷۵ متر با درصد اختلاط ۰/۸ الیاف شیشه و عمق بهسازی ۴ متر ۱/۵۷ سانتیمتر می‌باشد. همچنین میزان کاهش نشست پی مورد نظر با عرض‌های ۱/۵۰ و ۲/۲۵ متر به ترتیب برابر با ۲/۲۹ و ۲/۷۲ سانتیمتر است.

کلمات کلیدی: الیاف شیشه، خاک رس، نشست پی‌های نواری، بهسازی خاک

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2021.300156.2535	doi:
۱۴۰۰/۰۵/۲۵	۱۴۰۰/۰۸/۱۹	۱۴۰۰/۰۹/۰۴	۱۴۰۰/۰۹/۰۴	۱۴۰۱/۰۶/۳۱	10.22065/jsce.2021.300156.2535	

*نویسنده مسئول: مسعود ذبیحی سامانی

پست الکترونیکی: mzabihi@iust.ac.ir

۱- مقدمه

اصولاً دستیابی به مصالح مرغوب که به لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد و بتواند بار های اعمال شده را به راحتی تحمل کند، انگیزه اصلی تسلیح خاک می باشد. خاک بعنوان یک محیط دانه ای طبیعت قابلیت تحمل و انتقال نیروهای کششی را نداشته، نیروی برشی بیشتر از تاب نهایی برشی خود را تحمل نمی‌کند و در مقابل بار تغییر شکل داده و نهایتاً دچار گسیختگی شده و یا نشست می‌کند. همچنین به دلیل ماهیت نفوذ پذیری آن و وجود آب در طبیعت همواره در معرض رطوبت قرارداشته و نسبت به تغییرات شرایط اقلیمی حساس می‌باشد. بدین لحاظ تاسیسات بنا شده بر روی آن نیز با تغییر شرایط رطوبت دچار مشکلات عدیده‌ای می‌گردند. بنابراین برای تقویت خواص مکانیکی خاک از مسلح کننده‌ها استفاده می‌شود. در چند دهه اخیر با تولید مصالح جدید جهت تقویت و تسلیح خاک‌ها، انقلاب بزرگی در طرح‌های ژئوتکنیکی ایجاد شده است. کاربرد وسیع این مصالح در زمینه‌های مختلف پروژه‌های عمرانی و همچنین تنوع این مصالح باعث شده است استفاده از این مصالح بر روش های قبلی غلبه کند. از جمله مصالح مسلح‌کننده می‌توان به الیاف مصنوعی شیشه اشاره کرد که مورد بحث این تحقیق نیز می‌باشد. تاکنون مطالعات بسیاری در رابطه با تسلیح خاک‌ها با استفاده از الیاف شیشه انجام شده است. فریدون زینعلی و همکاران به بررسی مشخصه‌های مکانیکی خاک مسلح‌شده با الیاف و تثبیت‌شده با سیمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حضور الیاف به همراه سیمان در خاک موجب افزایش پارامترهای مقاومتی و شکل‌پذیری خاک می‌شود[۱]. غیاثیان و همکاران در سال ۲۰۰۳ بهبود مشخصات مقاومتی ماسه با استفاده از الیاف پلی پروپیلن را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها رفتار تنش-کرنش، مقاومت نهائی و شکل‌پذیری ماسه ریزدانه مسلح‌شده با الیاف پلی پروپیلن بر حسب درصد وزنی و نسبت ابعاد را بررسی کردند. تعدادی آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (CD) تک محوری و CBR انجام شد. نتایج تحقیق نشان داده که افزودن عناصر تسلیح، شکل‌پذیری و مقاومت نهایی نمونه‌ها را افزایش ضریب کشسانی حداکثر را کاهش می‌دهد[۲]. شی[1] و همکاران در سال ۲۰۰۶ در رابطه با خصوصیات مکانیکی نمونه‌های کائولینیت لای‌دار مسلح‌شده با الیاف پلی پروپیلن، از آزمایش‌های سه محوری استفاده کردند. نتایج نشان داده که افزودن الیاف با آرایش تصادفی، بطور قابل ملاحظه‌ای باعث بهبود مقاومت برشی، کرنش گسیختگی، و انرِی کرنشی جذب‌شده می‌گردد. همچنین در تنش همه جانبه معین، در نمونه‌های مسلح‌شده با میزان الیاف پایین (۱و۲ درصد) با افزایش طول و مقدار الیاف، زاویه اصطکاک همواره افزایش می‌یابد[۳]. اسماعیل معصومی و همکاران در سال ۲۰۱۱ بر روی مسلح کردن خاک توسط الیاف پلی پروپیلن تثبیت‌شده با مواد پلیمری تحقیقاتی را انجام دادند. این تحقیق جهت بررسی و اندازه‌گیری تأثیر متغیرهای مختلفی چون نوع الیاف، درصد وزنی (نسبت وزن خشک الیاف به وزن خشک خاک و طول الیاف بر بهبود باربری خاک ماسه‌ای سست تسلیح شده) با توزیع تصادفی، برای اولین بار از الیاف مصنوعی همچون پلی پروپیلن همراه با پلی وینیل الکل و پلی وینیل استات در آزمایش CBR را صورت گرفت. در این پژوهش عملکرد خاک همراه با ترکیب الیاف پلی پروپیلن با اندازه‌های ۶، ۱۲ و ۱۹ میلیمتری با درصد وزنی های ٪۵، ٪۱۰، ٪۱۵ و ٪۲۵ همراه با رزین نشان داد که در حالت بهینه در ترکیب خاک با الیاف پلی پروپیلن، ۶ میلیمتری بادرصد وزنی ٪۱ ترکیب با پلی وینیل استات با بهینه درصد وزنی ٪۶ می باشد[۴]. جان دیوید گیلارد[2] در سال ۲۰۱۳، یک برنامه تحقیقاتی با هدف بررسی عملکرد پلیمرهای تقویت شده فیبر (FRP)[3] در رسوب نرم ارائه نمود. هدف اصلی تعیین و مشخص نمودن خواص استحکام برشی بین FRP کربنی و شیشه‌ای در برابر رس، شناسایی تاثیر انتخاب مواد و جهت‌گیری فیبر و مقایسه این نتایج با عملکرد مواد سیلاب سنگین مانند فولاد و بتن است. مواد FRP در طول دهه‌های اخیر با توجه به خواص مطلوب خود، مانند مقاومت در برابر خوردگی و تخریب نسبت به فولاد و بتن به ویژه در شرایط خشن یا آلودگی خاک مانند برنامه‌های کاربردی آبریز، افزایش چشمگیری داشته است. اولین برنامه آزمایشی، مقاومت برشی متحرک را با استفاده از یک دستگاه جعبه برشی مستقیم بررسی می‌کند. برنامه آزمایشی دوم بر روی کار قبلی از طریق انجام آزمایش‌های بارگذاری استاتیک تحت شرایط بارگذاری محوری و جانبیFRP و شمع فولادی در رس‌های نرم افزاری گسترش می‌یابد. نتایج این آزمایش آزمایشی نشان می‌دهد که برای تمام رابط‌هایFRP که در هر دو آزمون عیب‌یابی و اندازه‌گیری مقیاس کوچک مورد آزمایش قرار گرفته است، مقاومت برشی رابط بالاتر یا حداقل در مقایسه با رابط‌های فولادی است. انتخاب و جهت‌گیری مواد نقش محدودی در عملکرد شمع ایفا می‌کند، زیرا بیشتر شمع‌های

[1] shi
[2] Giraldo
[3] fibre-reinforced polymer

FRPنتایج مشابهی از مقاومت برشی برش را ارائه می‌دهند. یافته‌های ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد که شمع‌های FRP یک جایگزین مناسب برای شمع‌های فولادی هستند. مطالعات بیشتر در قالب مقیاس کامل مقیاس آزمایش بارگذاری مورد نیاز برای تایید نتایج ارائه شده در اینجا مورد نیاز است[۵]. اسماعیل سعد[۴] و همکاران در سال ۲۰۱۶ برای به دست آوردن درک عمیق‌تر و بینش در رفتار مکانیکی از الیاف تقویت شده خاک اشباع‌شده/غیر اشباع تحقیق با عنوان " رفتار مکانیکی خاک رس تقویت‌شده با الیاف غیر اشباع " را انجام دادند. این تحقیق بر روی یک رس از شاخص پلاستیکی کم انجام شد. نمونه‌هایی که با افزودن ۱، ۳ و ۵ درصد فیبر و مقادیر مختلف مکش ماتریس ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال مورد آزمایش قرار گرفتند، یکی از چالش‌هایی که در این تحقیق با آن روبرو شد، نحوه آماده‌سازی نمونه‌های همگن است. یک روش برای تهیه خمیرهای تقویت شده فشرده‌شده با توزیع و مشخصات تراکم فیبر بهبود یافته پیشنهاد شده است و مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش نشان داد که الیاف فرش باعث افزایش مقاومت برشی خاک‌های غیر اشباع شده می‌شوند. همچنین مشخص شد افزایش نسبی قدرت نیز عملکرد ساکن دارد. افزایش فایبرگری دفع شده باعث کاهش هیستریزی خاک شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها بر روی نتایج آزمایش‌های غیر اشباع به عنوان عملکردی از محتوای فیبر و مکش ماتریس انجام شده است. رفتار مدل‌سازی نشان داده شده است که کاملا مناسب با داده‌های تجربی است[۶]. آیینولا[۵] و همکاران در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی نمونه خاک از گمانه‌هایی در آجیبود و چپل که هر دو در دانشگاه ابادان نیجریه واقع شده‌اند اخذ و با نسبت‌های وزنی ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲، ۱/۶، ۲، ۲/۵ و ۳ درصد تثبیت کردند. در این پژوهش آزمایش‌هایی از قبیل دانه‌بندی، تراکم و نسبت باربری کالیفورنیا (CBR) بر روی نمونه‌های خاک اخذ شده انجام شد. پس از آن، تست‌های تراکم و CBR بر روی نمونه‌های خاک تثبیت‌شده انجام شد. نتایج حاکی از بهبود حداکثر چگالی خشک دو خاک و CBR در افزودن الیاف شیشه‌ای است. الیاف شیشه‌ای در خاک بین ۱/۲ تا ۱/۶ درصد نمونه‌های خاک اثر بهینه داشتند. بنابراین، ترکیب فیبر شیشه‌ای در خاک به مقدار لازم باعث افزایش CBR و تراکم خاک می‌شود[۷]. الحدادی[۶] و همکاران در سال ۲۰۱۸ بر روی تراکم‌پذیری خاک‌های رسی تقویت شده با الیاف شیشه انجام دادند. این تحقیق یک مطالعه تجربی در مورد خاک رس تقویت شده توسط فیبر شیشه‌ای برای درمان تورم می‌باشد. برای این منظور، الیاف شیشه، با نسبت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزن خشک خاک با خاک مخلوط شده است. این مطالعه نشان داد که با افزایش نسبت الیاف شیشه ضریب تورم کاهش می‌یابد. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اختلاف زیادی در بهبود نتایج بین نسبت ٪۱ و ٪۲ الیاف شیشه وجود ندارد. این تحقیق مخلوط کردن ۱٪ الیاف شیشه با خاک رس را جهت تراکم و کاهش پتانسیل تورم پیشنهاد می‌کند[۸]. محمدحسین نوری قیداری و همکاران در سال (۱۳۸۷) در پژوهشی به بررسی مشخصه‌های مکانیکی خاک تثبیت‌شده با آهک و الیاف پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حضور الیاف به همراه آهک در خاک موجب افزایش پارامترهای مقاومتی و شکل پذیری خاک شده و گذشت زمان موجب بهبود مشخصات مکانیکی خاک شده است[۹]. در تحقیقی به اثر ضایعات الیاف پلیمری (FRP) بر خصوصیات مقاومتی ماسه تثبیت شده با سیمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که؛ افزودن الیاف تا حد معین موجب افزایش مقاومت برشی ماسه تثبیت‌شده با سیمان می‌شود. همچنین به طور کلی الیاف سبب افزایش مقاومت باقیمانده و تغییر رفتار ترد و شکننده نمونه ها به رفتاری شکل‌پذیر خواهد شد[۱۰]. عطا جعفری شالکوهی و همکاران در سال ۱۳۹۴ بر روی پژوهشی با عنوان " ارزیابی آزمایشگاهی اثر الیاف شیشه برمقاومت فشاری محصور نشده و مقاومت برشی در خاک‌های ماسه‌ای حاوی ریزدانه " مطالعاتی را انجام دادند. در این پژوهش نمونه‌های خاک طبیعی و تسلیح شده باالیاف شیشه پس از آماده‌سازی تحت آزمایشات فشاری محصور نشده و برش مستقیم قرارگرفتند. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که تسلیح خاک با الیاف شیشه، مقاومت فشاری، برشی و پارامترهای مقاومت برشی، چسبندگی و زاویه اصطکاک را بهبود می‌بخشد[۱۱]. علی محمد رجبی و همکاران در سال ۱۳۹۵ بر روی اثر الیاف پلی پروپیلن و الیاف شیشه بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه رس‌دار مطالعاتی را انجام دادند. در این پژوهش ابتدا ازمایش تک محوری بر روی نمونه خاک ماسه رس‌دار که با افزودن ۳۰ درصد رس به ماسه به صورت مصنوعی تهیه شده انجام شده و سپس الیاف مورد نظر با درصدهای مختلف از ۰/۲ تا ۱/۵ درصد به خاک افزوده‌شده و اثر تغییرات درصد الیاف در خاک بر روی مقاومت فشاری نمونه توسط آزمایش تک محوری بررسی شده است. آزمایش مقاومت فشاری تک محوری با اندازه‌گیری کرنش موضعی می‌تواند رفتار این مواد در این

[4] SAAD
[5] Ayininuola
[6] Al-Hadidi

خاک را به خوبی توصیف کند. آزمایشات انجام‌شده بر روی نمونه های مختلف آماده‌شده و در آزمایشگاه با افزایش درصد الیاف، افزایش مقاومت تک محوری و افزایش شکل‌پذیری قابل توجهی را نشان می‌دهد و همچنین مشاهده شد که تاثیر الیاف پلی پروپیلن از الیاف شیشه در افزایش مقاومت تک محوره بیشتر است[۱۲]. با توجه به مطالعات پیشین صورت گرفته حداکثر میزان اختلاط الیاف شیشه با خاک ۱ درصد در نظر گرفته شده است. در این پژوهش پس از بررسی تاثیر بهسازی خاک به وسیله الیاف شیشه بر روی پارامترهای مقاومتی به میزان نشست پی نواری بعد از بهسازی خاک در اعماق مختلف به وسیله نرم‌افزار Plaxis2D خواهیم پرداخت. مجدی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مقاله‌ای با عنوان بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک رس با استفاده از نانو ذرات کائولینیت و با استفاده از ازمایشات تراکم، برش مستقیم و کاساگرانده میزان بهینه افزودن نانوذرات به خاک بدست آمد و آزمایشات نشانگر این مطلب بود که حدود روانی و خمیری خاک با افزایش نانو ذرات افزایش می‌یابد و همچنین شاخص خمیری کاهش می‌یابد، که این اثر مطلوبی برای خاک است[۱۳]. محمد وحید در سال ۲۰۱۸ در مقاله‌ای با عنوان بهبود مشخصات مهندسی خاک با استفاده از افزودنی‌های غیر سنتی به بررسی بهسازی خاک‌های رسی پرداختند. در این مطالعه دو تثبیت‌کننده غیر سنتی، پلیمرها و اسید فسفریک با سه درصد متفاوت (۱ ، ۳ و ۵ درصد) وزن خاک خشک انتخاب شده‌اند. نتایج نشان داد که افزودن اسید فسفریک به خاک رس، تاثیری بر محدوده آتربرگ آن ندارد. به طور کلی، مشاهده شده است که پلیمر به عنوان یک تثبیت‌کننده برای بهبود خاک‌های رسی، به ویژه در مقادیر کمی در حدود (۳٪) بی اثر است اما خاک تحت بهسازی با اسید فسفریک برای همه مقادیر افزودنی مورد استفاده نتایج بهتری کسب کرد[۱۴]. گیاهی در پژوهشی در سال ۲۰۲۱ با عنوان " ارزیابی تثبیت خاک رس با افزودنی لیگنوسولفونات کلسیم، با در نظر گرفتن روش‌های مختلف اختلاط " به بررسی این افزودنی بر روی خاک رس پرداختند. در این پژوهش اثر افزودن درصدهای مختلف از لیگنو بر حدود اتربرگ، خصوصیات تراکمی و مقاومت تک محوری خاک رس مورد بررسی قرار گرفت و همچنین اثر افزودن لیگنو با روش‌های مختلف اختلاط بر مقاومت خاک و مورفولوژی خاک بررسی می‌شود. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزودن لیگنو به طور کلی باعث بهبود خواص مکانیکی خاک می‌شود، شاخص خمیری خاک کاهش، مقاومت و شکل‌پذیری خاک افزایش می‌یابد. برای خاک مورد استفاده در این پژوهش، درصد بهینه از افزودنی لیگنو سولفونات کلسیم ۱٪ وزن خشک خاک تعیین شد که توانست پس از ۲۸ روز عمل آوری مقاومت خاک را از ۳۲۲ به ۸۲۸ کیلوپاسکال (۲/۵ برابر افزایش) برساند. همچنین نحوه‌ی اختلاط نیز بر مقاومت نمونه‌ها تاثیر به سزایی دارد. در تثبیت خاک توزیع مناسب افزودنی در بین ذرات خاک می‌تواند بر خصوصیات مهندسی خاک اثر گذار باشد به عنوان مثال نمونه‌های مخلوط شده به روش‌های مختلف، مقاومت حداکثری‌شان تا ۸۰ ٪افزایش یافته است[۱۵]. مطابق با نتایج تحقیق صورت گرفته توسط غفارپورجهرمی و همکاران در سال ۱۳۹۸ در مقاله ای با عنوان " بررسی تاثیر نانوسیلیس در تثبیت خاک رس و اصلاح مشخصات مکانیکی و حجمی آن در بستر راه " افزایش قابل توجه مشخصات مکانیکی نظیر مقاومت فشاری تک محوری و باربری کالیفرنیا با افزایش نانوسیلیس در کوتاه مدت می‌باشد بطوری‌که با اصلاح سیمان با افزودن ۱۰ درصد نانو سیلیس (بر حسب وزن سیمان)، مقاومت فشاری تک محوری ۲۵ درصد و باربری کالیفرنیا ۴۵ درصد در طی ۷ روز افزایش یافت. این روند در نمونه‌های ۲۸ روزه تا ۶۵ درصد خواهد بود. این نتایج همچنین حاکی از کاهش قابل توجه پتانسیل تورم خاک دارد. در نهایت یک طرح بهینه برای تثبیت بسترهای حاوی رس ضعیف با استفاده از سیمان اصلاح‌شده با نانوسیلیس جهت کاربردهای کوتاه مدت و دراز مدت ارائه می‌شود که در مقاصد عملی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد[۱۶]. ذبیحی و همکاران در سال ۱۳۹۹ در مقاله‌ای با عنوان " بررسی عددی و آزمایشگاهی میزان بهینه بهسازی خاک رس فیروزبهرام با آهک و سیمان و تاثیر آن در کاهش نشست‌پذیری خاک بستر تصفیه‌خانه فاضلاب غرب تهران" به اثر این دو افزودنی پرداختند. در این تحقیق نمونه‌های خاک در حالت طبیعی و نیز در حالت ترکیب با درصدهای مختلف آهک و سیمان معادل ۳، ۶ و ۸ درصد وزن خشک خاک برای آزمون‌های آزمایشگاهی شامل آزمایش حدود آتربرگ، دانه‌بندی، تراکم استاندارد، مقاومت فشاری و نسبت باربری کالیفرنیا، آزمایش‌های سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده و برش مستقیم، مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج کاهش در پلاستیسیته و وزن واحد حجم بیشینه خاک و افزایش رطوبت بهینه، مقاومت فشاری و نسبت باربری کالیفرنیا رس با افزودن این دو ماده را نشان می‌دهد. میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی که حاصل از آزمایش‌های سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده و برش مستقیم می‌باشد با افزایش درصد سیمان و آهک افزایش می‌یابند. صحت‌سنجی تحقیقات با آزمایش بارگذاری صفحه در محل نیز انجام شده است. پس از بررسی‌های آزمایشگاهی اثرات استفاده از خاک اصلاح شده با اعماق بهسازی یک، دو، چهار، شش، هشت و ده متر به کمک نرم‌افزار Plaxis2d نشان می‌دهد که با افزایش عمق بهسازی میزان نشست کاهش یافته که

در مقایسه با نشست بدست آمده از آزمایش بارگذاری صفحه‌ای در حالت طبیعی دارای اختلاف زیادی می‌باشد. اما اختلاف نتایج بدست آمده از نرم‌افزار و آزمایش بارگذاری پس از بهسازی ناچیز می‌باشد[۱۷].

در اکثر مطالعات صورت گرفته در این خصوص تاثیر افزودن مواد افزودنی رایج به خواص فیزیکی و مکانیکی خاک رس در نظر گرفته شده است اما در این زمینه اطلاعات بسیار کمی بر روی خواص مهندسی مواد تثبیت‌کننده با استفاده از الیاف شیشه به عنوان یک ماده افزودنی منتشر شده است. همچنین تاثیر این روش بهسازی بر روی نشست‌پذیری پی های نواری نیز از جنبه‌های جدید این پژوهش می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

برنامه آزمایشگاهی در این تحقیق، شامل مراحل زیر است:

الف) آزمون‌های آزمایشگاهی اولیه شامل دانه‌بندی، حدود آتربرگ و آزمایش‌های تراکم استاندارد

ب) آزمایش برش مستقیم و نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) در مقادیر مختلف الیاف شیشه

جدول ۱- آزمایشات و استانداردهای به کار گرفته شده بر روی نمونه‌های اخذشده از محل پروژه

نوع آزمایش	استاندارد	تعداد نمونه های مورد آزمایش
دانه بندی	ASTM D422	۳
حدود اتربرگ	ASTM D4318	۶
تراکم استاندارد	ASTM D698	۱۸
نسبت باربری کالیفرنیا	AASHTO T193	۱۸
برش مستقیم ۱۰*۱۰	ASTM D3080	۱۸

۳- مشخصات و جانمایی پروژه

این تحقیق به منظور بررسی خاک مسئله‌دار خاک شهرک سیزده آبان در منطقه‌ی شهرری تهران، ساختمان مسکونی شش طبقه در این مطالعات، به منظور بررسی تاثیر الیاف شیشه بر روی خاک مسئله‌دار رسی منطقه مورد مطالعه، ابتدا مقدار مشخصی از خاک، نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل گردید. عمق خاک نباتی در محل مورد نظر ۱۰ سانتی متر بوده و با توجه به این که محل قرارگیری فونداسیون سازه در عمق ۱/۵ متری می‌باشد، خاک نمونه‌گیری شده از عمق ۰ تا ۱/۵ متری برداشت و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۲- مختصات جغرافیایی محل اجرای پروژه

منطقه مورد مطالعه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
منطقه‌ی در آبان سیزده شهرک خاک تهران شهرری	۵۱.۲۸۱۳	۳۵.۳۳۵۱

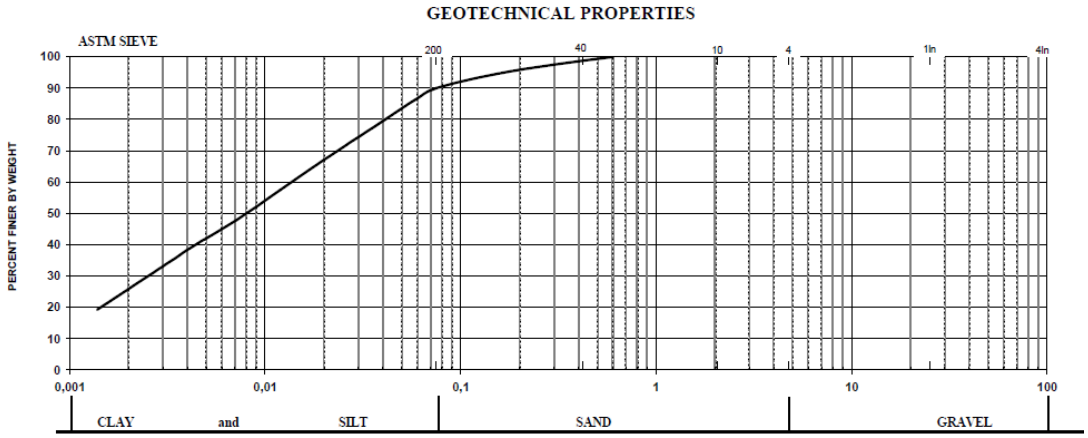
شکل۱- موقعیت جغرافیایی محل اجرای طرح

۴- مصالح مصرفی

مصالح مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: خاک رس کائولینیت و الیاف شیشه همچنین برای آزمایش‌های این پژوهش خاک رس نمونه‌گیری شده از سه چاهک اکتشافی TP-1، TP-2 و TP-3 برداشت گردیده است.

۴-۱ خاک رس

اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده خاک در دامنه وسیعی متغیر است. هدف از آزمایش دانه‌بندی خاک، تعیین توزیع دانه‌های خاک در اندازه‌های مختلف می‌باشد، تا بر اساس اندازه دانه‌ها، خاک طبقه‌بندی و تشریح گردد. بر این اساس از نمونه‌های به دست آمده از خاک محل ساختگاه، جهت تعیین نوع خاک و پارامترهای مرتبط به دانه‌بندی، آزمایش به روش الک بر اساس استاندارد ASTM D422 و در ادامه جهت تکمیل دانه‌بندی، آزمایش هیدرومتری به روش ASTM D422 به عمل آمد[۱۸]. سپس به منظور تعیین مقادیر حدود اتربرگ بر روی خاک طبیعی مطابق استاندارد ASTM D4318 بر روی نمونه‌های اخذ شده از سه چاهک دستی انجام گردید که هدف از این آزمایش، تعیین حد روانی، حد خمیری و دامنه خمیری خاک است. خاک رس مورد استفاده در این تحقیق از منطقه شهرک سیزده آبان در منطقه-ی شهرری تهران تهیه شد. ابتدا دانه‌بندی خاک تهیه شده در عمق ۰ تا ۱/۵ متری انجام شده و سپس حد روانی و حد خمیری خاک اندازه گیری شد. شکل ۲ دانه‌بندی خاک اخذ شده از چاهکTP-1 را نشان می‌دهد. بیش از ٪۹۰ دانه‌های خاک اخذ شده از چاهک TP-1، ٪۹۱ خاک اخذ شده از چاهک TP-2 و ٪۸۸ درصد خاک اخذ شده از چاهک TP-3، ریزتر از ۰/۰۷۵ mm می‌باشد. حد روانی و حد خمیری خاک نمونه گیری شده از چاهک TP-1 به ترتیب، ٪۳۸ و ٪۱۹، خاک نمونه گیری شده از چاهک TP-2 ٪۳۵ و ٪۱۹ و همچنین خاک اخذ شده از چاهک TP-3 ٪۳۳ و ٪۱۷ تعیین شدند که بر این اساس دامنه خمیری خاک در سه چاهک TP-1، TP-2 و TP-3 به ترتیب برابر ٪۱۹، ٪۱۶ و ٪۱۶ محاسبه می‌شود. درطبقه بندی یونیفاید، خاک از نوع CL تعیین می‌شود. با توجه به مشخصات فنی نامطلوب ارائه شده در جدول ۳ که مربوط به خاک طبیعی می‌باشد، روش اصلاح یا بهبود خاک به وسیله افزودن الیاف شیشه به خاک منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل۲- نمودار دانه‌بندی خاک چاهک TP-1 در عمق ۰ تا ۱/۵ متر

جدول ۳- مشخصات فنی خاک طبیعی منطقه مورد مطالعه

محل	عمق	درصد رطوبت	L.L	P.L	P.I	طبقه‌بندی یونیفاید	مدول الاستیسته	γ_{dMax}	W_{OPT}	γ_{dry}	آزمایش برش مستقیم ۷*۷	
	m	%	%			-	(Kg/cm²)	(gr/cm³)	%	(gr/cm³)	φ (Degree)	C (Kg/cm²)
	-	ASTM D۲۲۱۶	ASTM D۴۳۱۸			ASTM D۴۲۲	ASTM D۲۱۶۶	ASTM D۱۵۵۷	ASTM D۱۵۵۷	ASTM D۱۵۵۶	ASTM D۳۰۸۰	
TP-1	۱/۵-۰/۰	۷/۹	۳۸/۰	۱۹/۰	۱۹/۰	CL	۱۳۵/۵۲	۱/۷۵	۱۸/۴	۱/۶۴	۲۶/۰	۰/۲۰
TP-2	۱/۵-۰/۰	۷/۵	۳۵/۰	۱۹/۰	۱۶/۰	CL	۱۳۵/۵۲	۱/۷۷	۱۹/۳	۱/۶۳	۲۷/۲	۰/۲۲
TP-3	۱/۵-۰/۰	۸/۱	۳۳/۰	۱۷/۰	۱۶/۰	CL	۱۳۵/۵۲	۱/۷۳	۱۹/۰	۱/۶۵	۲۸/۳	۰/۱۸

۴-۲ الیاف شیشه

الیاف مورد آزمایش در این تحقیق از نوع الیاف مصنوعی پلیمری شیشه می‌باشد. این الیاف به صورت ورقه‌های طولی است که قبل از مخلوط کردن با خاک در طول‌های مورد نیاز بریده و به صورت رشته‌ای در آمده است. در این تحقیق الیاف شیشه به طول ۱۴ میلیمتر استفاده شده است. مشخصات الیاف به کار رفته به اختصار در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- خصوصیات فیزیکی الیاف شیشه نوع E

مشخصات	واحد	مقدار
قطر	μm	۲۲-۱۸
وزن مخصوص	(KN/m^2)	۰/۶-۰/۴
طول	mm	۱۴
مقاومت کششی	Mpa	۲۶۰۰-۱۹۰۰
مدول یانگ	Mpa	۷۳۰۰۰-۶۸۰۰۰
کرنش حدی کششی	%	۳/۲-۰/۰

۶- مقایسه دانسیته حداکثر خشک و میزان رطوبت بهینه با درصدهای مختلف الیاف شیشه

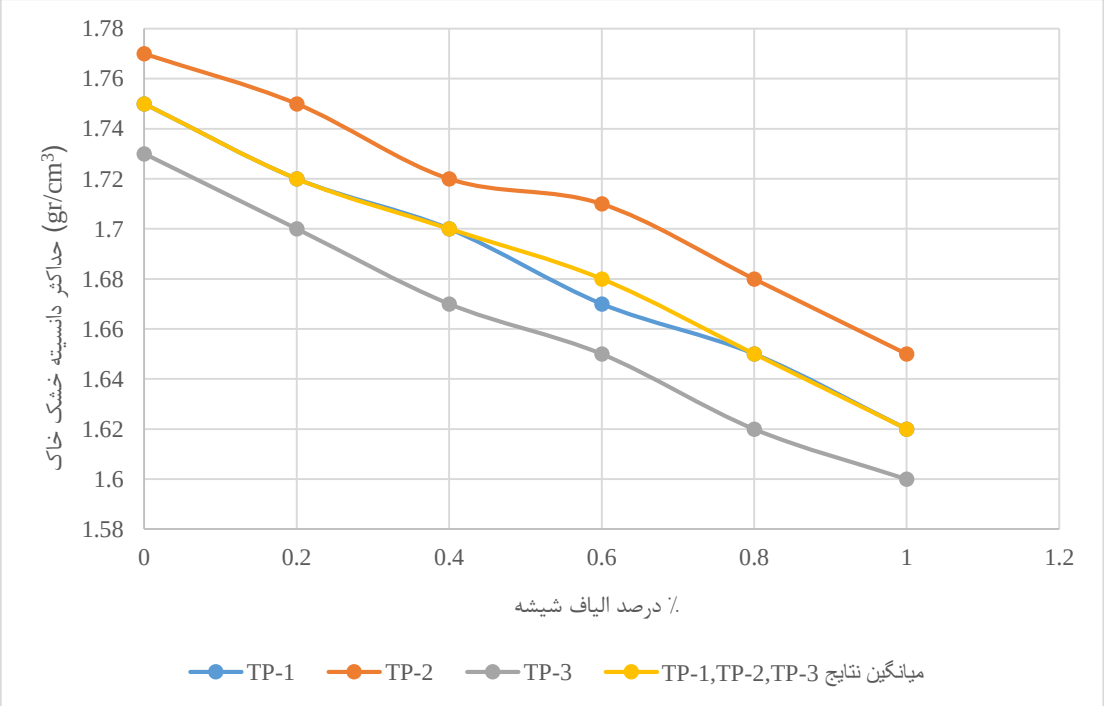
آزمایش تراکم عبارت است از کاهش دادن حجم خاک در اثر خارج ساختن هوا با استفاده از اعمال نیرو می‌باشد که در این حالت اصطکاک بین ذره‌ها بیشتر می‌شود و وزن واحد آن افزایش می‌یابد. این وزن معیار تراکم خاک است. تراکم به منظور افزایش مقاومت نیروی برشی و کاهش نفوذپذیری است که این امر به علت آن است که منافذ خاک کوچکتر می‌شود و در نتیجه عبور آب از این منافذ مشکل‌تر است. با توجه به نوع خاک آزمایش تراکم به روش استاندارد با استفاده از روش A که شامل متراکم کردن خاک داخل قالب ۴ اینچی در سه لایه با ۲۵ ضربه می‌باشد که مطابق با استاندارد ASTM D698 انجام گردید[۱۹]. بر روی نمونه‌های خاک تثبیت شده با درصدهای مختلف الیاف شیشه آزمایش‌های تراکم انجام شده و مقادیر رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک آزمایشگاهی در هر حالت تعیین شد تا برای ساختن نمونه‌ها برای ادامه آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این آزمایش‌ها در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است که در آن‌ها درصد رطوبت بهینه تراکم و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک ارائه شده‌اند. همان طور که مشاهده می شود، نمونه های ترکیب شده با الیاف شیشه منجر به تغییراتی در مقدار چگالی خشک بیشینه می شود و با افزودن مقدار الیاف شیشه، چگالی خشک بیشینه کاهش می یابد. میانگین نتایج آزمایشات تراکم انجام‌شده بر روی سه گمانه حفاری شده نشان‌دهنده این امر بود که با افزایش مقدار الیاف شیشه، مقدار رطوبت بهینه افزایش و حداکثر وزن مخصوص خشک کاهش می‌یابد. بیش‌ترین میزان متوسط کاهش وزن مخصوص مربوط به افزودن ٪۱ الیاف شیشه به خاک طبیعی می‌باشد که منجر به افزایش ٪۶/۵ رطوبت بهینه و کاهش ٪۷/۴۳ وزن مخصوص می‌شود. مطابق با جدول ۵ کمترین میزان دانسیته خشک و بیش‌ترین میزان رطوبت بهینه بر روی نمونه‌های هر سه چاهک اکتشافی پس از افزودن ۱ درصد الیاف شیشه حاصل گردیده است. در TP-1، TP-2 و TP-3 دانسیته خشک حداکثر به ترتیب ۷/۴۳درصد، ۶/۷۸ درصد و ۷/۵۱ درصد کاهش و رطوبت بهینه نیز به ترتیب ٪۶/۳، ٪۵/۷ و ٪۷/۶ افزایش را داشته‌اند.

شکل ۴- قالب و خاک استفاده شده آزمایش تراکم استاندارد

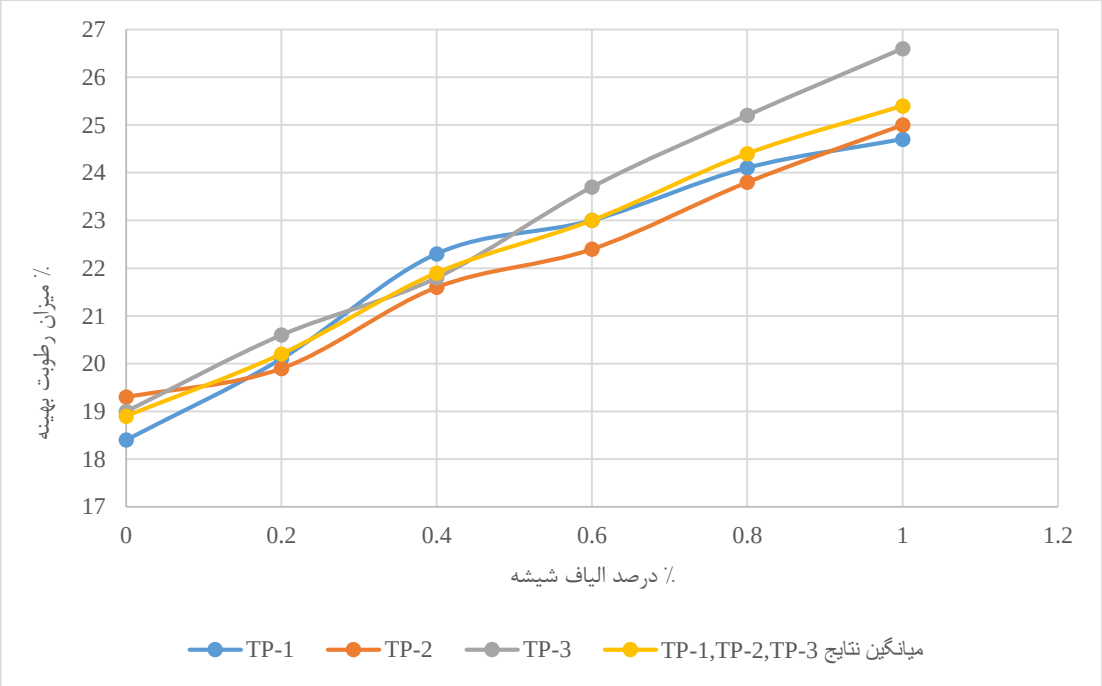
شکل ۵- آزمایش تراکم استاندارد جهت تعیین حداکثر دانسیته خشک و تعیین رطوبت بهینه

جدول ۵- نتایج آزمایش تراکم استاندارد با درصدهای مختلف الیاف شیشه

درصد الیاف	TP-1		TP-2		TP-3	
	رطوبت بهینه	دانسیته خشک حداکثر	رطوبت بهینه	دانسیته خشک حداکثر	رطوبت بهینه	دانسیته خشک حداکثر
	%	gr/cm^3	%	gr/cm^3	%	gr/cm^3
۰	۱۸/۴	۱/۷۵	۱۹/۳	۱/۷۷	۱۹/۰	۱/۷۳
۰/۲	۲۰/۱	۱/۷۲	۱۹/۹	۱/۷۵	۲۰/۶	۱/۷۰
۰/۴	۲۲/۳	۱/۷۰	۲۱/۶	۱/۷۲	۲۱/۸	۱/۶۷
۰/۶	۲۳/۰	۱/۶۷	۲۲/۴	۱/۷۱	۲۳/۷	۱/۶۵
۰/۸	۲۴/۱	۱/۶۵	۲۳/۸	۱/۶۸	۲۵/۲	۱/۶۲
۱	۲۴/۷	۱/۶۲	۲۵/۰	۱/۶۵	۲۶/۶	۱/۶۰



شکل ۶- تغییرات وزن واحد حجم خشک بیشینه و با تغییر درصد الیاف شیشه



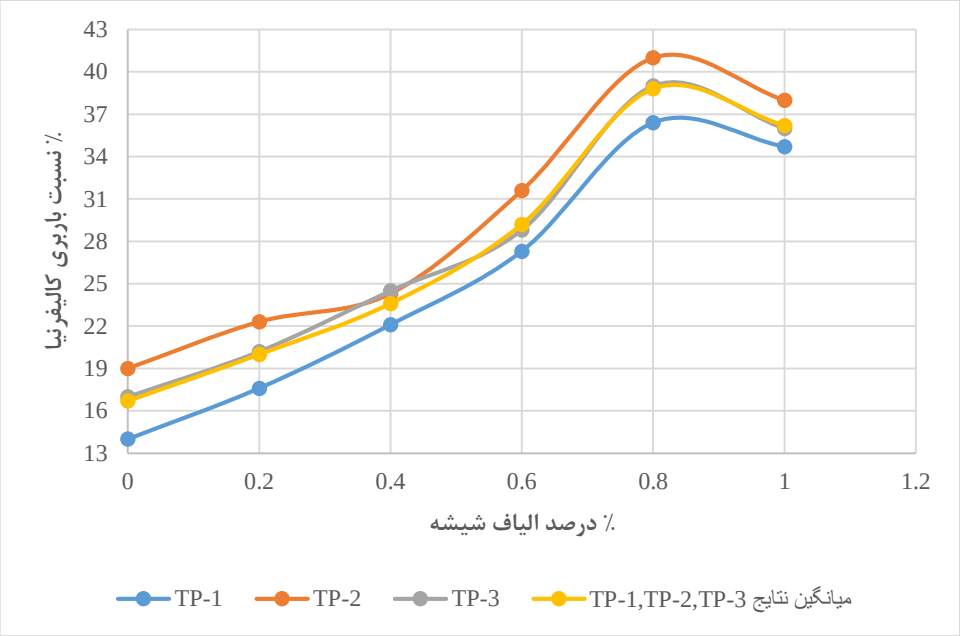
شکل۷- تغییرات رطوبت بهینه با تغییر درصد الیاف شیشه

۷- مقایسه نسبت باربری کالیفرنیا با درصدهای مختلف الیاف شیشه

هدف از آن تعیین ظرفیت باربری مقطع می‌باشد. برای هر مقدار از نفوذ سنبه به داخل خاک، نسبت مقدار بار به بار استاندارد برای همان مقدار نفوذ سنبه در نمونه استاندارد شده به نام نسبت باربری کالیفرنیا یا عدد CBR نامیده می‌شود و مطابق با استاندارد AASHTO T193 است. معمولا مقدار بار برای نفوذ ۲/۵ میلیمتر قرائت می‌شود تا به عنوان معیار سنجش قرار گیرد ولی چنانچه در فاصله نفوذ ۲/۵ میلیمتر تا ۵ میلیمتر مقادیر بزرگتری از آنچه که برای نفوذ ۲/۵ میلیمتر بدست آمد نتیجه شود، بزرگترین مقدار بدست آمده به عنوان عدد CBR در نظر گرفته می‌شود. تراکم نمونه در ۵ لایه و با چکش ۴/۵ کیلوگرم و با ۵۶ ضربه انجام می‌شود [۲۰]. افزودن الیاف شیشه به خاک باعث بالابردن نسبت باربری کالیفرنیا می‌شود این افزایش تا میزان ۰/۸٪ الیاف ادامه دارد و بعد از آن مقدار، تاثیر منفی بر این نسبت گذاشته و باعث کاهش CBR می‌شود. در نتیجه مقدار ۰/۸٪ الیاف، مقدار بهینه برای خاک مورد نظر می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۹ می‌توان مشاهده کرد، افزودن ۰/۸٪ الیاف به خاک طبیعی به طور متوسط موجب افزایش۲/۳۲ برابری نسبت باربری کالیفرنیا نسبت به حالت طبیعی می‌شود. مطابق با جدول ۶ بیش‌ترین میزان نسبت باربری کالیفرنیا حاصل‌شده بر روی نمونه‌های هر سه چاهک اکتشافی پس از افزودن ۰/۸ درصد الیاف شیشه است. در TP-1، TP-2 و TP-3 نسبت باربری کالیفرنیا به ترتیب افزایش ۲/۶، ۲/۱۶ و ۲/۲۹ برابری را تجربه کرده است.

شکل ۸- دستگاه مورد استفاده جهت تعیین ضریب باربری کالیفرنیا CBR

درصد الیاف	CBR (%)		
	2.5mm		
	TP-1	TP-2	TP-3
۰	۱۴/۰	۱۹/۰	۱۷/۰
۰/۲	۱۷/۶	۲۲/۳	۲۰/۲
۰/۴	۲۲/۱	۲۴/۳	۲۴/۵
۰/۶	۲۷/۳	۳۱/۶	۲۸/۸
۰/۸	۳۶/۴	۴۱/۰	۳۹/۰
۱	۳۴/۷	۳۸/۰	۳۶/۰



شکل ۹- نمودار تغییرات نسبت باربری کالیفرنیا نسبت به درصدهای متفاوت الیاف شیشه

۸- مقایسه چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم با درصدهای مختلف الیاف شیشه

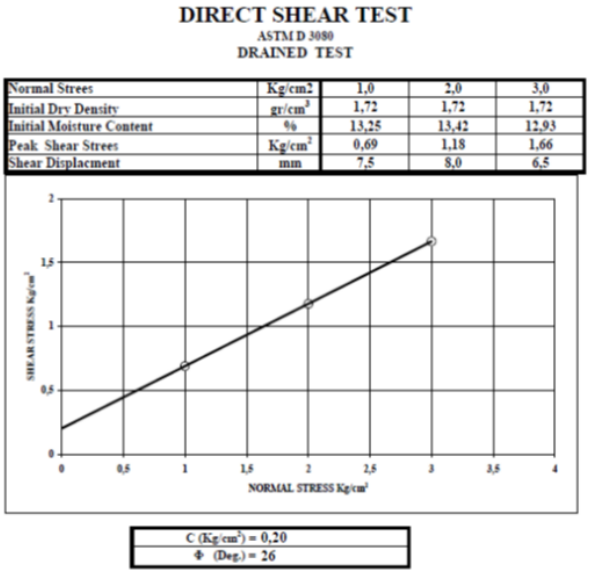
آزمایش برش مستقیم یکی از آزمایشات مهم در مهندسی ژئوتکنیک به منظور تعیین پارامترهای مقاومتی خاک در شرایط تحکیم‌یافته زهکشی‌شده (CD) می‌باشد. در این آزمایش، ابتدا خاک تحت تنش قائم معینی تحکیم‌یافته و سپس ضمن ثابت نگاه داشتن تنش قائم، تنش برشی با سرعت تنظیم‌شده به نمونه خاک وارد می‌شود تا نمونه گسیخته شود. حداکثر تنش برشی برای یک تنش قائم خاص، مختصات یک نقطه را بدست می‌دهد. آزمایش معمولاً با سه تنش قائم مختلف انجام و بدین ترتیب در دستگاه مختصات تنش برشی - تنش قائم سه نقطه بدست می‌آید که با ترسیم بهترین خط عبوری از این نقاط، پارامترهای مقاومتی خاک (Cوφ) تعیین می‌گردند[۲۱]. جهت تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک منطقه مورد مطالعه، آزمایش برش مستقیم مطابق استاندارد ASTM D3080 بر روی نمونه های دست خورده با قالب ۱۰*۱۰ انجام پذیرفت. آزمایش برش مستقیم یکی از آزمایشات مهم در مهندسی ژئوتکنیک به منظور تعیین پارامترهای مقاومتی خاک در شرایط تحکیم یافته زهکشی شده می‌باشد. جهت تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک منطقه مورد مطالعه، آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های مغزه‌گیری شده از آزمایش تراکم استاندارد با قالب ۱۰*۱۰ انجام پذیرفت. نتایج پارامترهای مقاومت برشی که در شکل ۱۶ و ۱۷ ارائه گردیده است نشان می‌دهد که، افزودن الیاف به خاک باعث بالابردن پارامترهای مقاومت برشی خاک می‌شود این افزایش تا میزان ۰/۸٪ الیاف ادامه دارد و بعد از آن مقدار، تاثیر منفی بر مقاومت برشی خاک دارد و باعث کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود. به طوری‌که متوسط بیشترین تاثیر الیاف شیشه مربوط به مخلوط خاک با ۰/۸٪ الیاف می‌باشد که چسبندگی را نسبت به حالت طبیعی خاک ۱/۳۵ برابر و زاویه اصطکاک داخلی آن را به میزان ۱۳٪ افزایش می‌دهد. به عبارتی مقدار ۰/۸٪ الیاف، مقدار بهینه برای خاک مورد نظر می‌باشد. این تغییرات احتمالا ناشی از محصور شدگی بیشتر ذرات خاک توسط مسلح کننده‌ها می‌باشد. با افزودن الیاف مسلح کننده به خاک درگیری بین الیاف و دانه‌های خاک ایجاد و اندرکنش آنها تحت تنش قائم افزایش می‌یابد ولی این افزایش تا یک مقدار معین الیاف ادامه دارد و بعد از آن مقدار تاثیر منفی در اندرکنش خاک و الیاف دارد. مطابق با جدول ۷ بیش ترین میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی بر روی تمامی نمونه‌های آزمایش شده هر سه چاهک، پس از افزودن ۰/۸ درصد الیاف شیشه مشاهده گردید. میزان چسبندگی بدست آمده پس از انجام آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های چاهک‌های TP-1، TP-2 و TP-3 به ترتیب ۱/۲۵، ۱/۳۲ و ۱/۵۰ برابر افزایش و همچنین زاویه اصطکاک داخلی نیز به ترتیب ۴/۳، ۴/۱ و ۳/۸ درجه افزایش را داشته‌اند.

جدول ۷- نتایج آزمایش برش مستقیم ۱۰*۱۰ با درصدهای مختلف الیاف شیشه

درصد الیاف	TP-1		TP-2		TP-3	
	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ
	Kg/cm^2	degree	Kg/cm^2	degree	Kg/cm^2	degree
۰	۰/۲۰	۲۶/۰	۰/۲۲	۲۷/۲	۰/۱۸	۲۸/۳
۰/۲	۰/۲۱	۲۷/۰	۰/۲۳	۲۸/۰	۰/۲۰	۲۹/۱
۰/۴	۰/۲۳	۲۸/۲	۰/۲۴	۲۹/۵	۰/۲۲	۲۹/۸
۰/۶	۰/۲۴	۲۹/۰	۰/۲۶	۳۰/۰	۰/۲۵	۳۰/۶
۰/۸	۰/۲۵	۳۰/۳	۰/۲۹	۳۱/۳	۰/۲۷	۳۲/۱
۱	۰/۲۴	۲۸/۰	۰/۲۷	۲۹/۰	۰/۲۴	۳۱/۲

شکل ۱۰- تهیه نمونه خاک در قالب ۱۰*۱۰ جهت آزمایش برش مستقیم

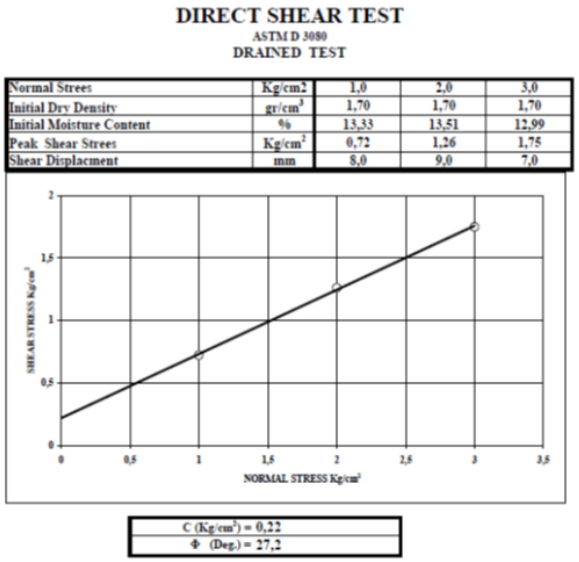
شکل ۱۱- نمونه خاک برش خورده در آزمایش برش مستقیم


DIRECT SHEAR TEST
ASTM D 3080
DRAINED TEST

Normal Strees	Kg/cm2	1,0	2,0	3,0
Initial Dry Density	gr/cm³	1,72	1,72	1,72
Initial Moisture Content	%	13,25	13,42	12,93
Peak Shear Strees	Kg/cm²	0,69	1,18	1,66
Shear Displacment	mm	7,5	8,0	6,5

C (Kg/cm²) = 0,20
Φ (Deg.) = 26

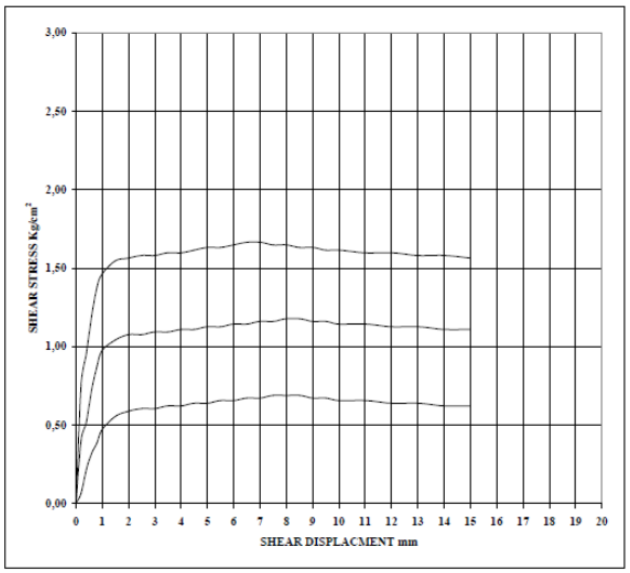
۱۲- دستگاه مختصات تنش قائم - تنش افقی مربوط به آزمایش برش مستقیم در گمانه TP-1 مربوط به خاک طبیعی


DIRECT SHEAR TEST
ASTM D 3080
DRAINED TEST

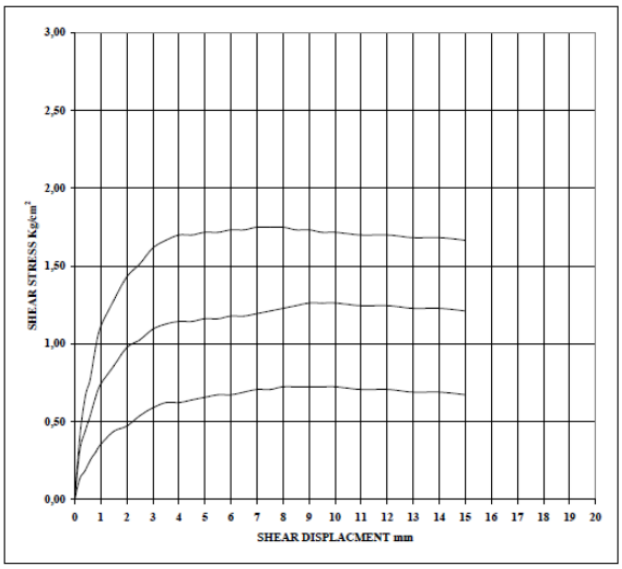
Normal Strees	Kg/cm2	1,0	2,0	3,0
Initial Dry Density	gr/cm³	1,70	1,70	1,70
Initial Moisture Content	%	13,33	13,51	12,99
Peak Shear Strees	Kg/cm²	0,72	1,26	1,75
Shear Displacment	mm	8,0	9,0	7,0

C (Kg/cm²) = 0,22
Φ (Deg.) = 27,2

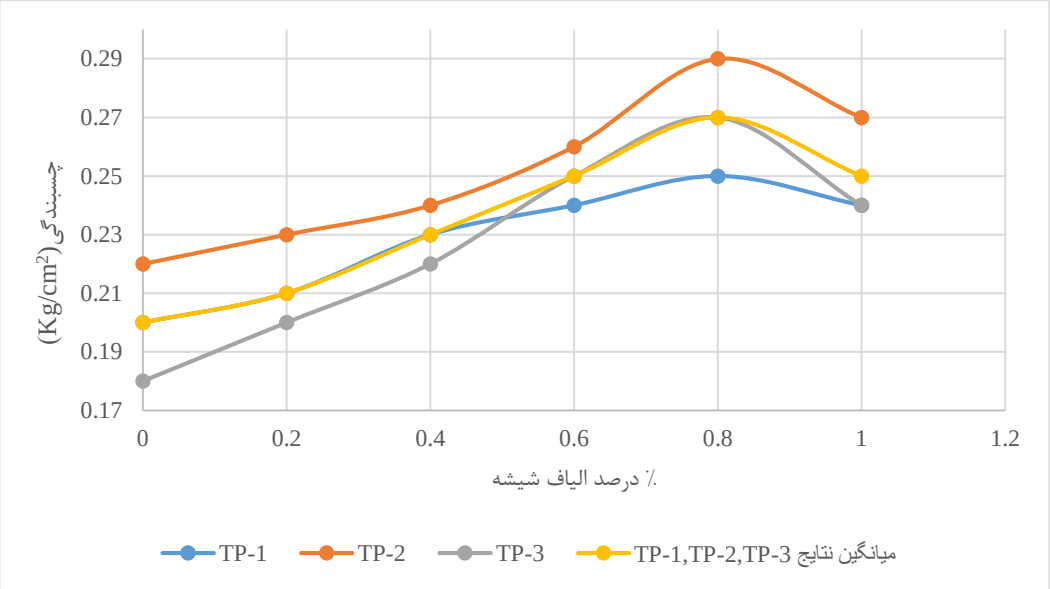
شکل ۱۳- دستگاه مختصات تنش قائم - تنش افقی مربوط به آزمایش برش مستقیم در گمانه TP-2 مربوط به خاک طبیعی



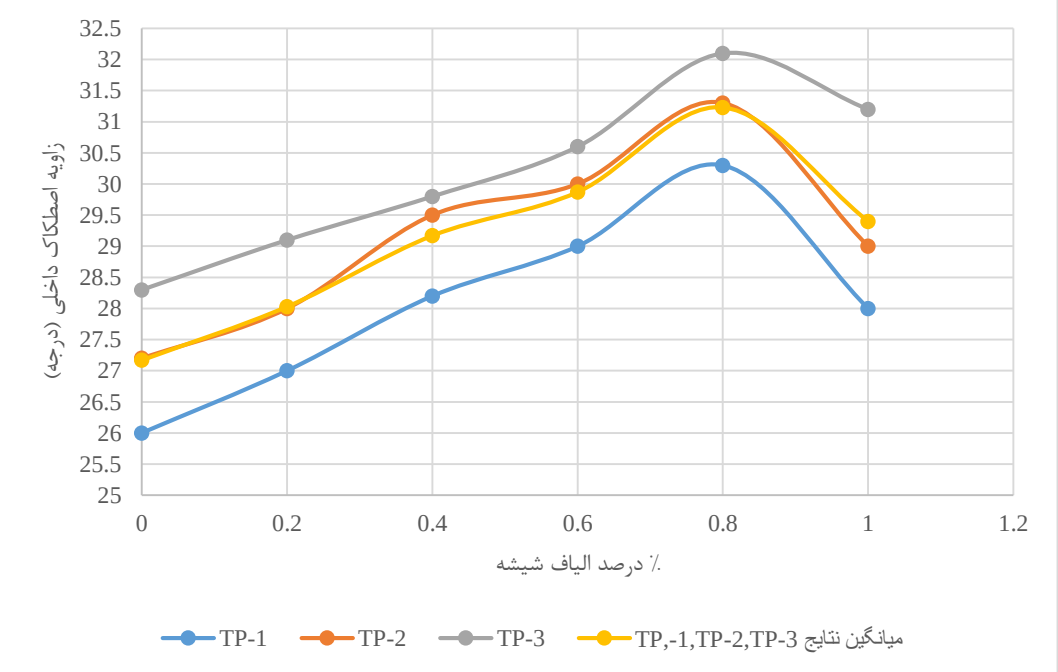
شکل ۱۴- نمودار جابجایی افقی- تنش برشی مربوط به آزمایش برش مستقیم در گمانه TP-1 مربوط به خاک طبیعی



شکل ۱۵- نمودار جابجایی افقی- تنش برشی مربوط به آزمایش برش مستقیم در گمانه TP-2 مربوط به خاک طبیعی



شکل ۱۶- منحنی تغییرات چسبندگی در آزمایش برش مستقیم بر اثر تغییرات درصد الیاف شیشه در نمونه‌های مورد آزمایش



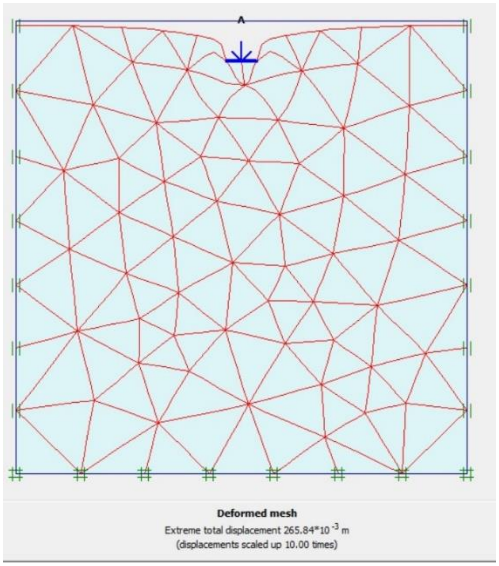
شکل ۱۷- منحنی تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم بر اثر تغییرات درصد الیاف شیشه در نمونه‌های مورد آزمایش

۹- اعتبار سنجی مدل‌سازی

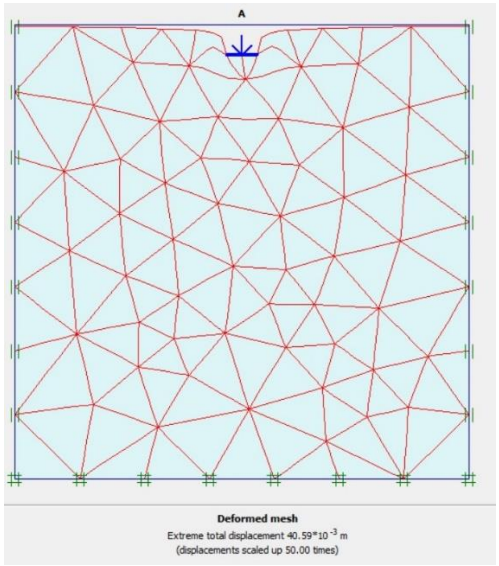
در این قسمت اعتبار نتایج حاصل از مدل‌سازی پی نواری که جهت تعیین نشست خاک مورد استفاده قرار گرفته است، با عرض ۲ متر با نتایج متناظر بدست آمده از مقاله دکتر موتالیک دسای[7] و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۱۷ با عنوان " تحلیل پی نواری با استفاده ازنرم‌افزار PLAXIS 2D " مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. برای این منظور نمودار نشست مدل موجود با انواع مختلف خاک در این مقاله با مدل مقاله مذکور نسبت به فشارهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. در جدول ۸ تا ۱۱ فرضیات مدل‌سازی مقاله موتالیک دسای تشریح

[7] MutalikDesai

گردیده است. همچنین میزان نشست‌پذیری پی‌های نواری مدل‌شده بر روی خاک‌های مختلف با فشارهای متفاوت در جدول ۱۲ و خروجی نرم‌فزار آن نیز در شکل‌های ۱۸ تا ۲۱ آورده شده است.



شکل ۱۸- میزان نشست پذیری پی نواری مدل‌شده در خاک رسی نرم با مشخصات داده شده در مقاله مورد مقایسه



شکل ۱۹- میزان نشست پذیری پی نواری مدل‌شده در خاک رسی ماسه‌ای با مشخصات داده شده در مقاله مورد مقایسه

جدول ۸- فرضیات مدل سازی با خاک رسی نرم در مقاله موتالیک دسای[۲۲]

Parameter	Value
Type of material	Soft Clay
Material Model	Mohr-Coulomb
E50(KN/m^2)	5000
Dry density(KN/m^3)	16
Saturated density(KN/m^3)	17.6
Poisson's Ration	0.3
Cohesion (KN/m^2)	20
Friction angle(φ)	0

جدول ۹- فرضیات مدل سازی با خاک رسی سخت در مقاله موتالیک دسای [۲۲]

Parameter	Value
Type of material	Stiff Clay
Material Model	Mohr-Coulomb
E50(KN/m^2)	5500
Dry density(KN/m^3)	15.56
Saturated density(KN/m^3)	19.45
Poisson's Ration	0.42
Cohesion (KN/m^2)	30
Friction angle(φ)	0

جدول ۱۰- فرضیات مدل سازی با خاک رسی ماسه‌ای در مقاله موتالیک دسای [۲۲]

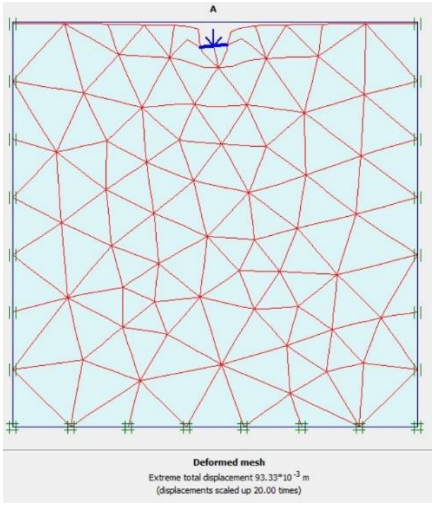
Parameter	Value
Type of material	Sandy Clay
Material Model	Mohr-Coulomb
E50(KN/m^2)	50000
Dry density(KN/m^3)	17
Saturated density(KN/m^3)	20
Poisson's Ration	0.3
Cohesion (KN/m^2)	5
Friction angle(φ)	21

جدول ۱۱- فرضیات مدل سازی با خاک ماسه ای در مقاله موتالیک دسای [۲۲]

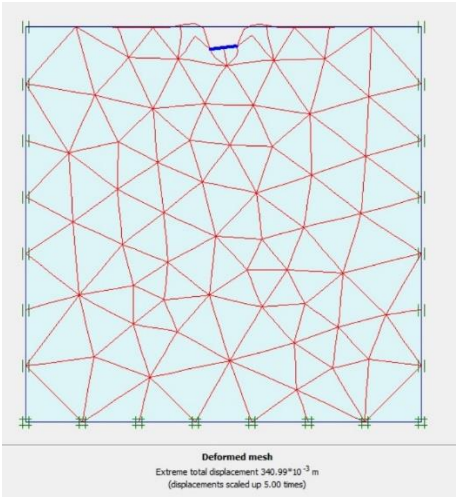
Parameter	Value
Type of material	Sand
Material Model	Mohr-Coulomb
E50(KN/m^2)	40000
Dry density(KN/m^3)	16
Saturated density(KN/m^3)	17.12
Poisson's Ration	0.3
Cohesion (KN/m^2)	0
Friction angle(φ)	30

جدول ۱۲- نتایج نشست پی نواری مدل شده در خاک‌های مختلف با بارهای متفاوت در مقایسه با مقاله موتالیک دسای [۲۲]

نوع خاک	بارگذاری (kN/m^2)	نشست حاصل از صحت سنجی (mm)	نشست بدست آمده در مقاله موتالیک دسای (mm) (۲۲)	درصد اختلاف (%)
Soft Clay	۱۹۷	۲۶۶	۲۶۵	۰/۳۸
Stiff Clay	۳۱۶	۳۴۱	۳۴۰	۰/۲۹
Sandy Clay	۲۹۰	۴۰/۶	۴۰	۱/۴۸
Sand	۵۴۵	۹۳/۳	۹۰	۳/۲۳

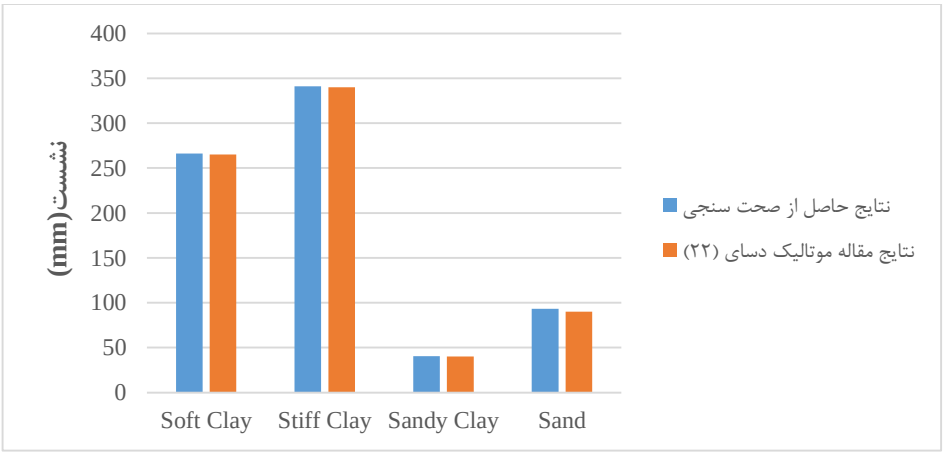


شکل ۲۰- میزان نشست پذیری پی نواری مدل شده در خاک ماسه‌ای با مشخصات داده شده در مقاله مورد مقایسه



شکل ۲۱- میزان نشست پذیری پی نواری مدل شده در خاک رسی سخت با مشخصات داده شده در مقاله مورد مقایسه

با توجه به این که میزان اختلاف نشست‌پذیری پی نواری مدل‌شده با مدل‌سازی صورت گرفته در مقاله موتالیک دسای [۲۲] به عرض ۲ متر در خاک‌های متفاوت کمتر از ۴ درصد می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که، نتایج مدل‌سازی با دقت خوبی نسبت به نتایج قبلی تطابق دارد. همچنین در جدول ۱۲ میزان درصد تفاوت مدل‌سازی انجام‌شده با مقاله موتالیک دسای [۲۲] ارائه گردیده است.

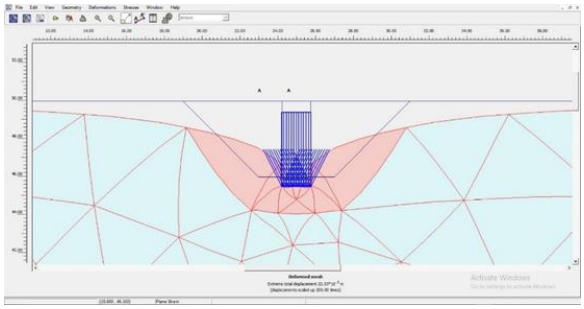


شکل ۲۲- نمودار مقایسه مقدار نشست پی گسترده مدل شده با مقاله استفاده شده

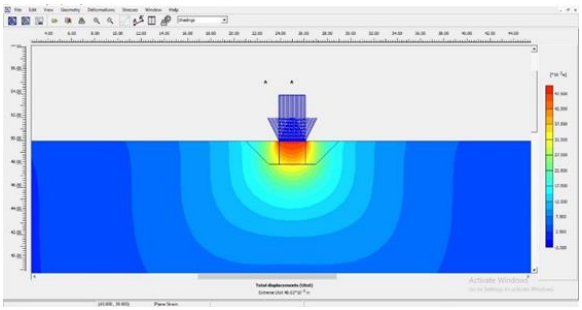
۱۰- تحلیل میزان نشست پی نواری با استفاده از نرم‌افزار Plaxis2D دوبعدی

پس از تحلیل آزمایشات آزمایشگاهی بر روی خاک طبیعی و خاک با درصدهای مختلف الیاف شیشه و مقایسه پارامترهای مقاومتی مورد نظر، از نرم‌افزار Plaxis2D دوبعدی به منظور اندازه‌گیری میزان نشست در زیر پی نواری به عرض‌های ۰/۷۵، ۱/۵۰ و ۲/۲۵ متر و بار نواری وارده ۱/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع با اعماق بهسازی یک متر، دو متر، چهار متر، استفاده گردید که نتایج آن در شکل‌های ۲۵، ۲۶ و ۲۷ قابل ملاحظه می‌باشد. مطابق با نمودارها ارائه شده، با افزایش میزان درصد اختلاط الیاف شیشه به خاک ریزدانه رسی میزان نشست پی نواری مورد نظر کاهش یافته است این در حالی است که کاهش نشست پی نواری بر روی خاک مخلوط‌شده با ۰/۸٪ الیاف شیشه بیشتر از خاک مخلوط شده با ۱٪ الیاف شیشه می‌باشد. میزان کاهش نشست پی نواری با عرض ۰/۷۵ متر با درصد اختلاط ۰/۸ الیاف شیشه و عمق بهسازی ۴ متر ۱/۵۷ سانتیمتر می‌باشد. همچنین میزان کاهش نشست پی مورد نظر با عرض‌های ۱/۵ و ۲/۲۵ متر به

ترتیب برابر با ۲/۲۹ و ۲/۷۲سانتیمتر است. بنابراین بهترین درصد اختلاط الیاف شیشه با خاک ریزدانه رسی مورد نظر جهت کاهش نشست‌پذیری پی نواری با عرض‌های ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ متر، ۰/۸٪ وزن خشک خاک می‌باشد. از دیگر عوامل موثر جهت کاهش نشست می‌توان به عمق بهسازی خاک قرار گرفته در زیر پی اشاره کرد که با توجه به نمودار ۲۵ تا ۲۷ می‌توان چنین نتیجه گرفت که با افزایش عمق بهسازی نشست‌پذیری کاهش یافته که این میزان نشست در عمق بهسازی ۴ متر به کمترین میزان خود می‌رسد. در این پژوهش به دلیل پایین بودن سطح آب زیرزمینی از تحلیل پلاستیک جهت تعیین نشست پی نواری مورد نظر استفاده گردید که این تحلیل در سه مرحله شرایط اولیه، خاکبرداری خاک برجا و سپس جایگزینی خاک بعد از اختلاط خاک طبیعی با درصدهای اختلاط ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ و ۰/۸ و ۱ درصد الیاف شیشه با پارامترهای مقاومتی تقویت‌شده با عمق‌های بهسازی ۱m، ۲m و ۴m صورت پذیرفت. مشخصات خاک استفاده شده، مطابق جدول ۱۳ می‌باشد. لازم به ذکر است که پارامترهای ورودی نرم‌افزار Plaxis2D از قبیل چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی از میانگین نتایج آزمون برش مستقیم در سه چاهک TP-1، TP-2 و TP-3 گرفته شده است. اشکال ۲۳ و ۲۴ میزان نشست پی نواری مورد نظر را در نرم‌افزار Plaxis2D نشان می‌دهد.



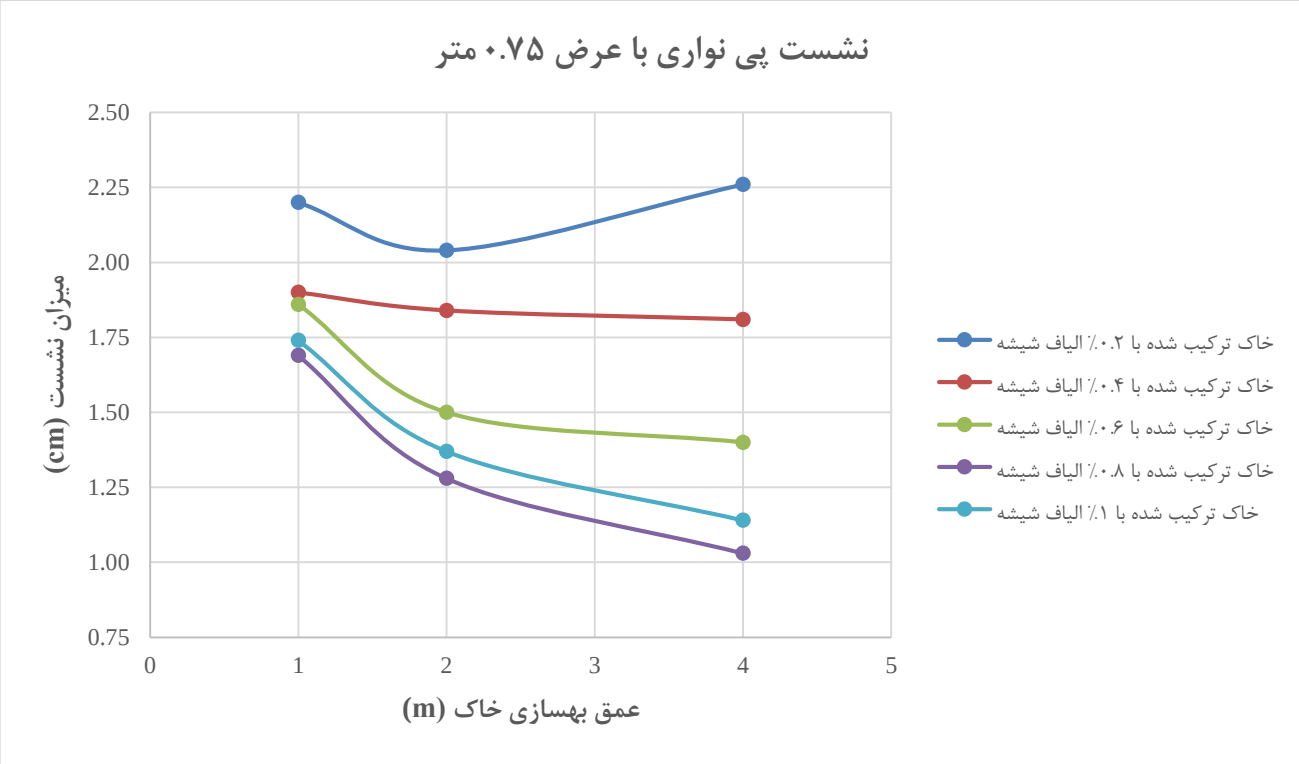
شکل ۲۳- مدل نشست کلی پی با عرض ۱/۵ متر در حالت Mesh با اختلاط ۱٪ الیاف شیشه و عمق بهسازی چهار متر



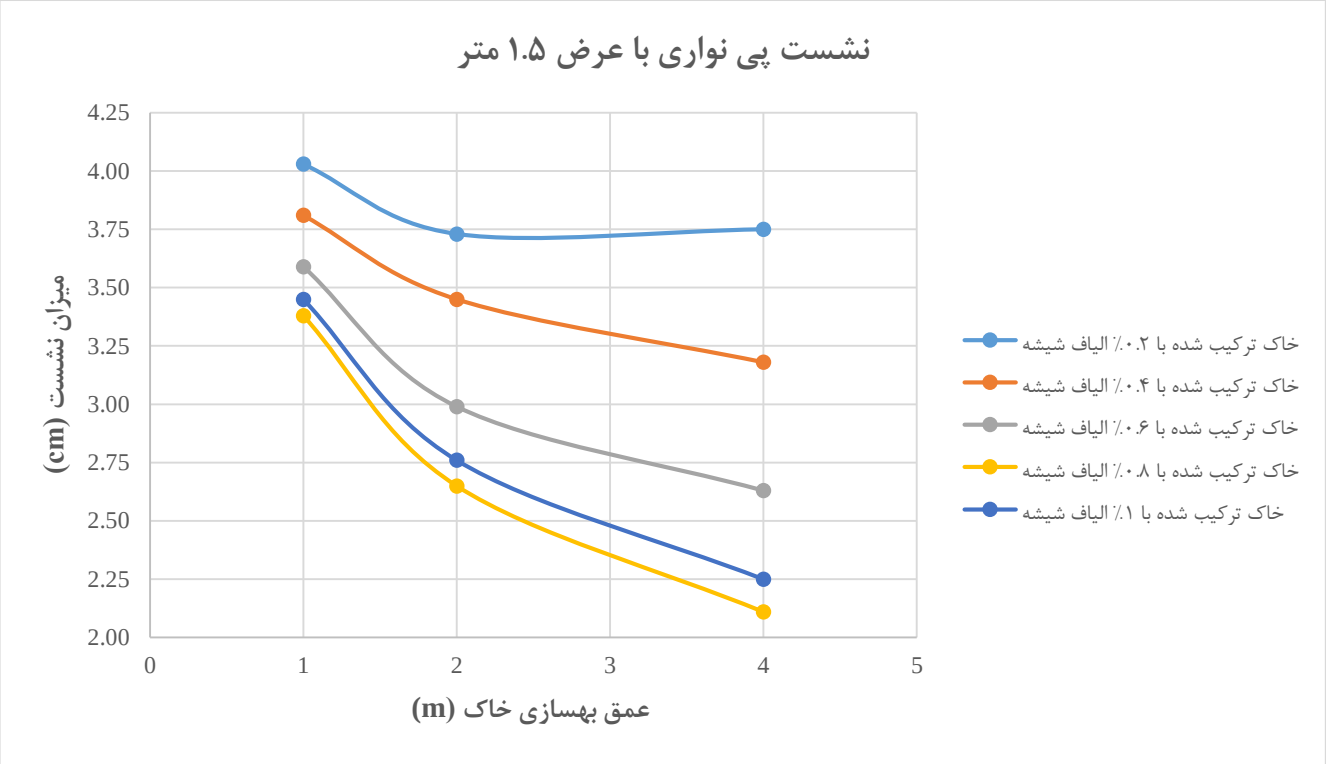
شکل ۲۴- مدل نشست کلی پی با عرض ۲/۲۵ متر در حالت shading با اختلاط ۰٫۴٪ الیاف شیشه و عمق بهسازی دو متر

جدول ۱۳- پارامترهای مختلف بدست آمده خاک از آزمایشات آزمایشگاهی برای ورودی نرم‌افزار Plaxis2D

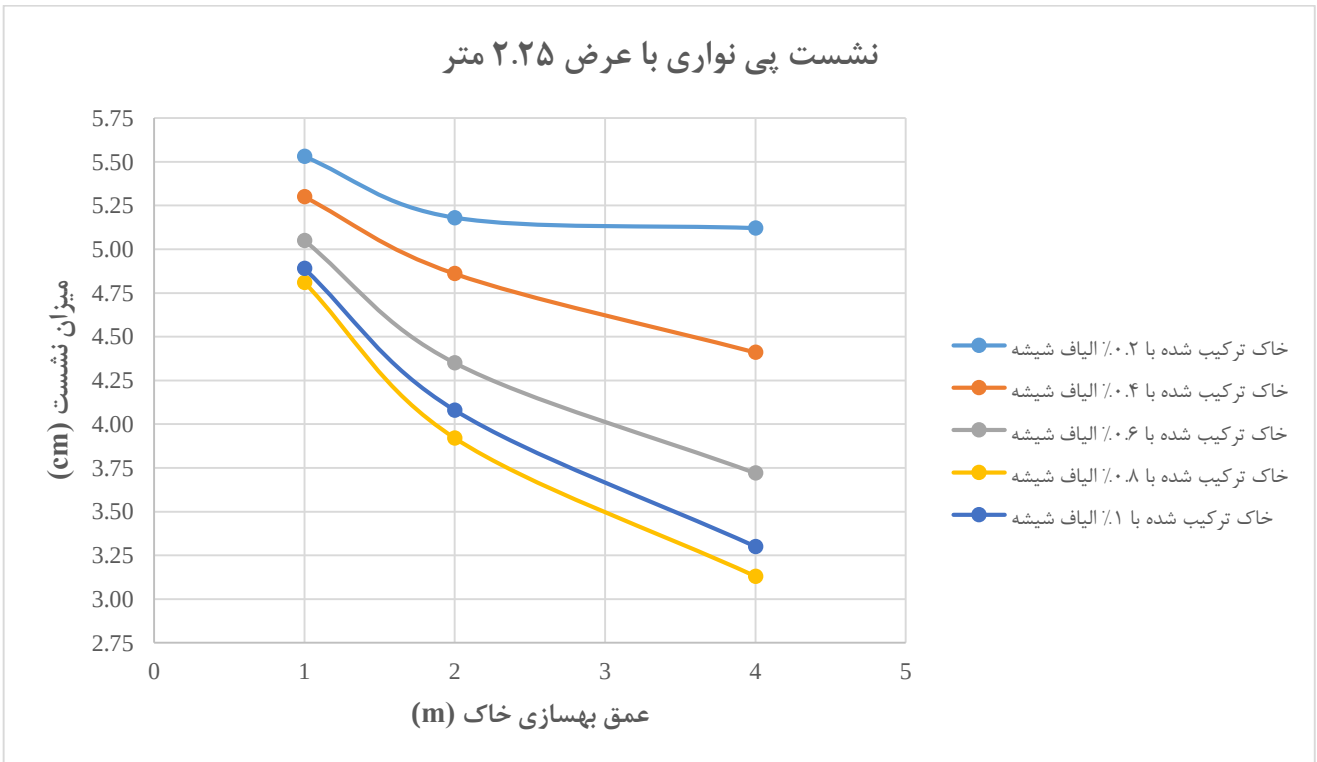
پارامتر	مشخصات					
نوع خاک	CL	شیشه الیاف +CL	الیاف شیشه +CL	الیاف شیشه +CL	الیاف شیشه +CL	الیاف شیشه +CL
		٪۰/۲	٪۰/۴	٪۰/۶	٪۰/۸	٪۱
مدل مورد استفاده	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
وزن مخصوص خشک (KN/m^3)	۱۶/۴	۱۶/۱	۱۵/۹	۱۵/۷	۱۵/۵	۱۵/۴
E_{50} (KN/m^2)	۱۳۵۲۷	۱۶۲۰۰	۱۹۱۱۶	۲۳۶۵۲	۳۱۴۲۸	۲۹۳۲۲
چسبندگی (C) (KN/m^2)	۲۰	۲۱	۲۳	۲۵	۲۷	۲۵
زاویه اصطکاک داخلی (φ)	۲۷/۱۷	۲۸/۰۳	۲۹/۱۷	۲۹/۸۷	۳۱/۲۳	۲۹/۴۰



شکل ۲۵- میزان نشست‌پذیری پی نواری با عرض ۰،۷۵ متر با درصدهای مختلف اختلاط الیاف شیشه با خاک طبیعی در عمق‌های مختلف بهسازی



شکل ۲۶- میزان نشست‌پذیری پی نواری با عرض ۱،۵۰ متر با درصدهای مختلف اختلاط الیاف شیشه با خاک طبیعی در عمق‌های مختلف بهسازی



شکل ۲۷- میزان نشست‌پذیری پی نواری با عرض ۲،۲۵ متر با درصدهای مختلف اختلاط الیاف شیشه با خاک طبیعی در عمق‌های مختلف بهسازی

۱۱- بحث و تحلیل نتایج

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر الیاف شیشه بر روی خاک مسئله‌دار رسی منطقه شهرک سیزده آبان در منطقه‌ی شهرری تهران، ابتدا مقدار مشخصی از خاک واقع در محل ساختگاه مورد مطالعه نمونه‌برداری و آزمایش گردید. جهت شناسایی دقیق اثر الیاف شیشه بر روی خاک مورد نظر، آزمایش‌های آزمایشگاهی متناسب با اهداف تحقیق شامل آزمایش‌های شاخص و مکانیکی بر روی خاک با درصدهای مخلوط ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ و ۰/۸ و ۱ درصد الیاف شیشه انجام گردید. میانگین نتایج آزمایشات تراکم انجام‌شده بر روی سه گمانه حفاری‌شده که نتایج آن مطابق شکل ۶ و ۷ می‌باشد نشان‌دهنده این امر بود که با افزایش مقدار الیاف شیشه، مقدار رطوبت بهینه افزایش و حداکثر وزن مخصوص خشک کاهش می‌یابد. بیش‌ترین میزان متوسط کاهش وزن مخصوص مربوط به افزودن ٪۱ الیاف شیشه به خاک طبیعی می‌باشد که منجر به افزایش ٪۶/۵ رطوبت بهینه و کاهش ٪۷/۴۳ وزن مخصوص می‌شود. همچنین متوسط تغییرات رطوبت بهینه و حداکثر دانسیته خشک خاک حاصل از انجام آزمایش تراکم استاندارد پس از افزودن الیاف شیشه مطابق با جدول ۱۴ می‌باشد.

جدول ۱۴- متوسط تغییرات رطوبت بهینه و حداکثر دانسیته خشک خاک حاصل از انجام آزمایش تراکم استاندارد پس از افزودن الیاف شیشه

متوسط درصد تغییرات رطوبت بهینه خاک مخلوط شده با الیاف شیشه نسبت به حالت طبیعی خاک	متوسط درصد تغییرات حداکثر دانسیته خشک خاک مخلوط شده با الیاف شیشه نسبت به حالت طبیعی خاک	متوسط نتایج		درصد الیاف
		دانسیته خشک حداکثر	رطوبت بهینه	
(%)	(%)	gr/cm^3	%	
-	-	۱/۷۵	۱۸/۹	۰
۱/۳۰	۱/۷۱	۱/۷۲	۲۰/۲	۰/۲
۳/۰۰	۲/۸۶	۱/۷۰	۲۱/۹	۰/۴
۴/۱۰	۴/۰۰	۱/۶۸	۲۳/۰	۰/۶
۵/۵۰	۵/۷۱	۱/۶۵	۲۴/۴	۰/۸
۶/۵۰	۷/۴۳	۱/۶۲	۲۵/۴	۱

همچنین افزودن الیاف به خاک باعث بالابردن نسبت باربری کالیفرنیا می‌شود این افزایش تا میزان ٪۰/۸ الیاف ادامه دارد و بعد از آن مقدار، تاثیر منفی بر این نسبت گذاشته و باعث کاهش CBR می‌شود. در نتیجه مقدار ٪۰/۸ الیاف، مقدار بهینه برای خاک مورد نظر می‌باشد. همانطور که در شکل ۹ می‌توان مشاهده کرد، افزودن ٪۰/۸ الیاف به خاک طبیعی به طور متوسط موجب افزایش۲/۳۲ برابری نسبت باربری کالیفرنیا نسبت به حالت طبیعی می‌شود. میانگین تغییرات نسبت باربری کالیفرنیا خاک حاصل از انجام آزمایش CBR پس از افزودن الیاف شیشه مطابق با جدول ۱۵ می‌باشد.

جدول ۱۵- متوسط نسبت تغییرات ظرفیت باربری کالیفرنیا خاک مخلوط شده با الیاف شیشه نسبت به حالت طبیعی خاک

متوسط نسبت تغییرات ظرفیت باربری کالیفرنیا خاک مخلوط شده با الیاف شیشه نسبت به حالت طبیعی خاک	متوسط نتایج (%) CBR 2.5mm	درصد الیاف
-	۱۶/۷۰	۰
۱/۲۰	۲۰/۰۰	۰/۲
۱/۴۱	۲۳/۶۰	۰/۴
۱/۷۵	۲۹/۲۰	۰/۶
۲/۳۲	۳۸/۸۰	۰/۸
۲/۱۷	۳۶/۲۰	۱

میانگین نتایج پارامترهای مقاومت برشی که در شکل ۱۶ و ۱۷ ارائه گردیده است نشان می‌دهد که، افزودن الیاف به خاک باعث بالابردن پارامترهای مقاومت برشی خاک می‌شود این افزایش تا میزان ۰/۸٪ الیاف ادامه دارد و بعد از آن مقدار، تاثیر منفی بر مقاومت برشی خاک دارد و باعث کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود. به طوریکه بیشترین تاثیر الیاف شیشه مربوط به مخلوط خاک با ۰/۸٪ الیاف می‌باشد که چسبندگی را نسبت به حالت طبیعی خاک ۱/۳۵ برابر و زاویه اصطکاک داخلی آن را به میزان ٪۱۳ درصد افزایش می‌دهد. به عبارتی مقدار ۰/۸٪ الیاف، مقدار بهینه برای خاک مورد نظر می‌باشد. این تغییرات احتمالا ناشی از محصور شدگی بیشتر ذرات خاک توسط مسلح کننده‌ها می‌باشد. با افزودن الیاف مسلح کننده به خاک درگیری بین الیاف و دانه‌های خاک ایجاد و اندرکنش آنها تحت تنش قائم افزایش می‌یابد ولی این افزایش تا یک مقدار معین الیاف ادامه دارد و بعد از آن مقدار تاثیر منفی در اندرکنش خاک و الیاف دارد. متوسط تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی حاصل از انجام آزمایش برش مستقیم ۱۰*۱۰ پس از افزودن الیاف شیشه مطابق با جدول ۱۶ می‌باشد.

جدول ۱۶- متوسط تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی حاصل از انجام آزمایش برش مستقیم ۱۰*۱۰ پس از افزودن الیاف شیشه

متوسط تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک مخلوط شده با الیاف شیشه نسبت به حالت طبیعی خاک	متوسط نسبت تغییرات چسبندگی خاک مخلوط شده با الیاف شیشه نسبت به حالت طبیعی خاک	ϕ degree	C Kg/cm^2	درصد الیاف
-	-	۲۷/۱۷	۰/۲۰	۰
۰/۸۶	۱/۰۵	۲۸/۰۳	۰/۲۱	۰/۲
۲/۰	۱/۱۵	۲۹/۱۷	۰/۲۳	۰/۴
۲/۷	۱/۲۵	۲۹/۸۷	۰/۲۵	۰/۶
۴/۰۶	۱/۳۵	۳۱/۲۳	۰/۲۷	۰/۸
۲/۲۳	۱/۲۵	۲۹/۴۰	۰/۲۵	۱

مطابق با نمودارهای ۲۵، ۲۶ و ۲۷، با افزایش میزان درصد اختلاط الیاف شیشه به خاک ریزدانه رسی میزان نشست پی نواری مورد نظر کاهش یافته است این در حالی است که کاهش نشست پی نواری بر روی خاک مخلوط شده با ۰/۸٪ الیاف شیشه بیشتر از خاک مخلوط شده با ۱٪ الیاف شیشه می‌باشد. میزان کاهش نشست پی نواری با عرض ۰/۷۵ متر با درصد اختلاط ۰/۸٪ الیاف شیشه و عمق بهسازی ۴ متر ۱/۵۷سانتیمتر می‌باشد. همچنین میزان کاهش نشست پی مورد نظر با عرض‌های ۱/۵ و ۲/۲۵ متر به ترتیب برابر با ۲/۲۹ و ۲/۷۲ سانتیمتر است. بنابراین بهترین درصد اختلاط الیاف شیشه با خاک ریزدانه رسی مورد نظر جهت کاهش نشست‌پذیری پی نواری با عرض-های ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ متر، ۰/۸٪ وزن خشک خاک می‌باشد. از دیگر عوامل موثر جهت کاهش نشست می‌توان به عمق بهسازی خاک قرار گرفته در زیر پی اشاره کرد که با توجه به نمودار ۲۵ تا ۲۷ می‌توان چنین نتیجه گرفت که با افزایش عمق بهسازی نشست‌پذیری کاهش یافته که این میزان نشست در عمق بهسازی ۴ متر به کمترین میزان خود می‌رسد. میزان نشست پی‌های نواری با عرض های ۰/۷۵ متر، ۱/۵ متر و ۲/۲۵ متر بر روی خاک طبیعی و خاک مخلوط‌شده با الیاف شیشه و همچنین میزان اختلاف نشست آن بر روی خاک طبیعی و خاک مخلوط‌شده با درصدهای مختلف الیاف شیشه در اعماق بهسازی ۱متر، ۲متر و ۴ متر مطابق با جداول ۱۷ تا ۱۹ می‌باشد.

جدول ۱۷- میزان نشست و اختلاف نشست پی نواری با عرض ۰/۷۵ متر بر روی خاک طبیعی و خاک مخلوط شده با درصدهای مختلف الیاف شیشه

عمق بهسازی	نشست پی نواری با عرض ۰/۷۵ متر										
	نشست پی نواری بر روی خاک طبیعی	خاک مخلوط شده با ۰/۲٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۴٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۶٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۸٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۱٪ الیاف شیشه	
		نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری
m	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
۱	۲/۶	۲/۲۰	۰/۴۰	۱/۹۰	۰/۷۰	۱/۸۶	۰/۷۴	۱/۶۹	۰/۹۱	۱/۷۴	۰/۸۶
۲		۲/۰۴	۰/۵۶	۱/۸۴	۰/۷۶	۱/۵۰	۱/۱۰	۱/۲۸	۱/۳۲	۱/۳۷	۱/۲۳
۴		۲/۲۶	۰/۳۴	۱/۸۱	۰/۷۹	۱/۴۰	۱/۲۰	۱/۰۳	۱/۵۷	۱/۱۴	۱/۴۶

جدول ۱۸- میزان نشست و اختلاف نشست پی نواری با عرض ۱/۵ متر بر روی خاک طبیعی و خاک مخلوط شده با درصدهای مختلف الیاف شیشه

عمق بهسازی	نشست پی نواری با عرض ۱/۵ متر										
	نشست پی نواری بر روی خاک طبیعی	خاک مخلوط شده با ۰/۲٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۴٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۶٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۸٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۱٪ الیاف شیشه	
		نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	شست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری
(m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
۱	۴/۴	۴/۰۳	۰/۳۷	۳/۸۱	۰/۵۹	۳/۵۹	۰/۸۱	۳/۳۸	۱/۰۲	۳/۴۵	۰/۹۵
۲		۳/۷۳	۰/۶۷	۳/۴۵	۰/۹۵	۲/۹۹	۱/۴۱	۲/۶۵	۱/۷۵	۲/۷۶	۱/۶۴
۴		۳/۷۵	۰/۶۵	۳/۱۸	۱/۲۲	۲/۶۳	۱/۷۷	۲/۱۱	۲/۲۹	۲/۲۵	۲/۱۵

جدول ۱۹- میزان نشست و اختلاف نشست پی نواری با عرض ۲/۲۵ متر بر روی خاک طبیعی و خاک مخلوط شده با درصدهای مختلف الیاف شیشه

عمق بهسازی	نشست پی نواری با عرض ۲/۲۵ متر									
	نشست پی نواری بر روی خاک طبیعی	خاک مخلوط شده با ۰/۲٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۴٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۶٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۰/۸٪ الیاف شیشه		خاک مخلوط شده با ۱٪ الیاف شیشه	
		نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری	نشست پی نواری	اختلاف نشست پی نواری
(m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
۱	۵/۸۵	۵/۵۳	۰/۳۲	۵/۳۰	۰/۵۵	۵/۰۵	۰/۸۰	۴/۸۱	۱/۰۴	۴/۸۹	۰/۹۶
۲		۵/۱۸	۰/۶۷	۴/۸۶	۰/۹۹	۴/۳۵	۱/۵۰	۳/۹۲	۱/۹۳	۴/۰۸	۱/۷۷
۴		۵/۱۲	۰/۷۳	۴/۴۱	۱/۴۴	۳/۷۲	۲/۱۳	۳/۱۳	۲/۷۲	۳/۳۰	۲/۵۵

۱۲- نتیجه‌گیری

آزمایش‌های تعیین حدود اتربرگ، تراکم، نسبت باربری کالیفرنیا و برش مستقیم بر روی یک نوع خاک رس تثبیت‌شده با مقادیر مختلف الیاف شیشه انجام گرفته است. در محدوده مقادیر بکار رفته از الیاف شیشه و نوع خاک مورد استفاده در این تحقیق، خلاصه نتایج این تحقیق به شرح زیر است:

۱-جنس خاک، خاک رسی با خاصیت خمیری کم (CL) می‌باشد.

۲- درصد رطوبت بهینه خاک با افزایش الیاف شیشه با درجات مختلف افزایش می‌یابد.

۳- حداکثر وزن مخصوص خشک خاک تثبیت شده با افزایش الیاف شیشه کاهش می‌یابد.

۴- الیاف شیشه باعث افزایش نسبت باربری کالیفرنیای خاک می‌شوند.

۵- نتایج آزمایشات برش مستقیم نشان می‌دهد با افزودن الیاف شیشه، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش می‌یابد.

۶- افزودن الیاف شیشه باعث کاهش نشست پذیری شده که سیمان کاهش بیشتری را در نشست پذیری خاک نسبت به آهک، باعث می‌شود.

۷- بهترین درصد اختلاط الیاف شیشه با خاک ریزدانه رسی مورد نظر جهت کاهش نشست‌پذیری پی نواری با عرض‌های ۰,۷۵، ۱,۵ و ۲,۲۵ متر، ۰,۸ درصد وزن خشک خاک می‌باشد.

۸- با افزایش عمق بهسازی نشست‌پذیری پی نواری کاهش یافته که این میزان نشست در عمق بهسازی ۴ متر به کمترین میزان خود می‌رسد.

۱۳- مراجع

۱- اسدی، م .و زینعلی،.ف (۱۳۸۷)، "بررسی مشخصه های مکانیکی خاک مسلح با الیافو تثبیت شده با سیمان" مجموعه مقالات همایش ملی مقاوم سازی ایران، دانشگاه یزد، یزد، ایران، ۵-۷ شهریور

2- H.ghiassian and gr.poorebrahim. (2003),“Improvement of strength parametersof sand reinforced with polymeric fibers”, Department of civil Engineering, Iran University of science and technology,Iran.

3- Chaosheng tang and bin shi. (2007),“strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil Crack Initiation,”geotextile and geomembranes, 25, pp 194–202.

4- Esmaeil Masoumi,, Seyed Mehdi Abtahi Forooshani, Farzad Abdi Nian “Problematic Soft Soil Improvement with Both Polypropylene Fiber and Polyvinyl Acetate Resin” Geotechnical and Geological Engineering volume 31, pages143–149(2013)Cite this article.
5- Juan David Giraldo Velez “ Experimental study of Hollow Fibre Reinforced Polymer Piles in soft clay “, A thesis submitted to the Faculty of Graduate and Postdoctoral Affairs in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering, Ottawa-Carleton Institute of Civil and Environmental Engineering 2013.
6- S. S. E. SAAD “MECHANICAL BEHAVIOUR OF FIBRE REINFORCED UNSATURATED CLAY “ PhD, UNIVERSITY OF BRADFORD, 2016.
7- Gbenga Matthew Ayininuola, Lukman Olusegun Balogun “Investigation of Glass Fiber Potential in Soil Stabilization “International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) Volume-7 Issue-5, June 2018

8- Maysam Th. Al-Hadidi “The Compressibility of Clayey Soils Reinforced with Fiberglass “International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 7 Issue 2, Febuary 2018

۹- نوری قیداری، م .ح .و اسدی، م .و .وگروسی،س. (۱۳۸۷)، "بررسی مشخصه های مکانیکی خاک تثبیت شده با آهک و الیاف ، "مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، ۵-۷ شهریور

۱۰- حق شنو، ح .و عربانی، م (۱۳۸۷) ،" اثر ضایعات الیاف پلیمری بر خصوصیات مقاومتی ماسه تثبیت شده با سیمان" مجموعه مقالات کنگره ملی مهندس عمران، دانشگاه تهران،تهران، ایران، ۱۷-۱۹ اردیبهشت.

۱۱- عطا جعفری شالکوهی، حامد ترابی خداشهری، پیام عشقی " ارزیابی آزمایشگاهی اثر الیاف شیشه برمقاومت فشاری محصور نشده و مقاومت برشی در خاک های ماسه ای حاوی ریزدانه " سومین کنفرانس بین المللی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، سال ۱۳۹۴

۱۲- علی محمد رجبی, میثم مهدوی یگانه, حسین رشوند فلاری " بررسی و مقایسه ی اثر الیاف پلی پروپیلن و الیاف شیشه بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه رس دار " نهمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران (سال ۱۳۹۵)

۱۳- مجدی،محرم،ارومیه ای،علی،نیکودل،محمدرضا،(۱۳۹۶)،بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک رسی با استفاده از نانو ذرات کائولینیت.

14- Mohanned Waheed, Noor Asmael “Improvement of engineering soil properties using non -traditional additives”. The 3rd International Conference on Buildings, Construction and Environmental Engineering, BCEE3, Volume 162 (2018) MATEC Web Conf., 162 (2018) 01027
15- Amirsaeed giahi, Morteza Jiryaei Sharahi, Bayramali Mohammadnezhad. “Evaluation of a by-product and enviromental-friendly chemical additives for clay soils with different mixing and curing methods”. Amirkabir Journal of Civil Engineering. Amirkabir J. Civil Eng., 53(2) (2021) 153-154 DOI: 10.22060/ceej.2020.16461.6238

۱۶- غفارپورجهرمی.س، یزدی راوندی.ز. " بررسی تاثیر نانوسیلیس در تثبیت خاک رس و اصلاح مشخصات مکانیکی و حجمی آن در بستر راه ". پژوهشنامه حمل و نقل، شماره۵۸ ،بهار ۱۳۹۸. ص ۱۶۹-۱۸۳

۱۷- ذبیحی سامانی.م، دریاباری.م، دریاباری.ا، میرحبیبی.ع. " بررسی عددی و آزمایشگاهی میزان بهینه بهسازی خاک رس فیروزبهرام با آهک و سیمان و تاثیر آن در کاهش نشست‌پذیری خاک بستر تصفیه‌خانه فاضلاب غرب تهران" نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. سال انتشار ۱۳۹۹

18- Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM D422
19-Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM D698
20- Standard Method Of Test For The California Bearing Ratio AASHTO : T193
21- Standard test method for Direct shear test ASTM D 3080, AASHTO T236 and BS 1377-7
22- Dr. V. G. MutalikDesai1, Akshay V. Mutalik Desai " Analysis of Strip Footing using PLAXIS 2D" International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI) | Volume IV, Issue VI, June 2017 | ISSN 2321–2705