تاثیر جانمایی ژئوگرید در بهسازی خاک مخلوط ماسه- رس جهت استفاده در لایه های روسازی

فرزانه اسلامی تبار، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی مهندسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.

روزبه دبیری (نویسنده مسئول)، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

E-mail: rouzbeh_dabiri@iaut.ac.ir

دریافت:۱۳۹۶/۰۱/۱۲ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۷

چکیده

تثبیت خاک روشی است که در راهسازی به منظور بهبود توانایی باربری مصالح بکار می‌رود. در حالت کلی، تثبیت خاک عبارت است از بهبود واصلاح خواص فیزیکی مصالح برای تامین تعدادی اهداف از قبل تعیین شده. بهسازی خاکها در حالت کلی به دو صورت شیمیایی و مکانیکی انجام می‌شود. از مصالح ژئوسنتتیک جهت اصلاح خاک ها در دیوار حائل، خاکریزها, زهکشی بهره گرفته می‌شود. استفاده از ژئوگریدها در بسیاری از کاربردهای مهندسی و روسازی راه یک روش موثر در اصلاح خاک به شمار می‌آید. اضافه شدن رس یا سیلت به ماسه در درصدهای مختلف می‌تواند بطور اساسی رفتار ماتریس ماسه و رس را تغییر دهد. هدف اصلی از تحقیق حاضر، بررسی آزمایشگاهی تاثیر جانمایی لایه ژئوگرید و تعداد آن ها در میزان توانایی باربری و مقاومت برشی خاکهای ماسه ای و رسی منطقه باراندوز است. در این مطالعه خاک ماسه‌ای مورد استفاده با خاک رسی با درصدهای (۲۵، ۵۰ و ۷۵) مخلوط گردیده است. تاثیر ژئوگرید به دو صورت مطالعه گردید: مرحله اول، یک لایه در قسمت میانی مصالح قرارداده شده و در مرحله دوم دو لایه در فاصله برابر از یکدیگر استفاده شده و تاثیر آنها در بهبود خصوصیات ژئوتکنیکی مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام تحقیق از آزمون‌های آزمایشگاهی نسبت باربری کالیفرنیا(CBR) و برش مستقیم در هر دو حالت خشک و اشباع براساس استاندارد ASTM بهره گرفته شده و میزان درصد تورم در خاک های ریزدانه اشباع اندازه گیری شده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که حالت بهینه، قرارگیری ژئوگرید، یک لایه و در قسمت میانی مصالح است، زیرا این شرایط باعث بهبود میزان تراکم پذیری مصالح، افزایش میزان توانایی باربری با توجه به نتایج CBR، مقاومت برشی و کاهش میزان تورم در خاکهای اشباع حاوی ریزدانه می‌گردد.

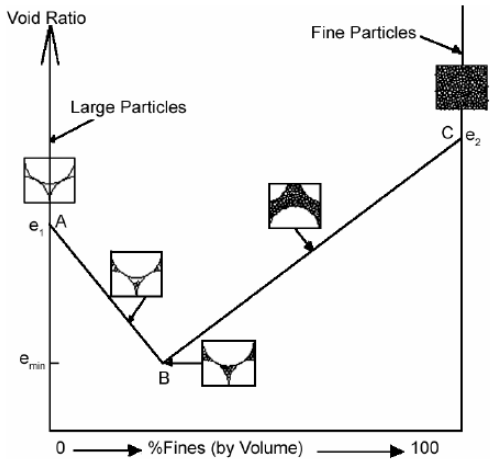
واژه‌های کلیدی: آزمایش برش مستقیم، آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا، روسازی راه، ژئوگرید، مخلوط ماسه- رس.

۱. مقدمه

روسازی راهها به عنوان بخشی از سازه راه نقش بسیار مهمی در عملکرد و تأمین سطح هموار و ایمن دارد. بستر روسازی راه، سطح لایه متراکم شده خاکریزها، برش‌ها و یا زمین طبیعی موجود و یا اصلاح شده است. این بستر طبق مشخصات آماده شده و اولین قشر روسازی راه روی آن قرار می‌گیرد. بستر روسازی، که نهایتاً پی روسازی راه محسوب می شود، کلیه بارهای وارده ناشی از جسم روسازی و وسایل نقلیه روی آن را تحمل می‌کند. بنابراین ساخت روسازی‌های با قابلیت باربری و عمر بالا و کیفیت مناسب و نیز نگهداری آنها در شرایط عملکردی مناسب از اهمیت بسیاری برخوردار است. در صورتی‌که مصالح مناسب برای ساخت لایه‌های بدنه روسازی را در دسترس نباشد، در آن صورت بایستی مصالح موجود در محدوده اجرای راه را تثبیت نمود. روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارند که شامل روش های مکانیکی و شیمیایی هستند. اگرچه امروزه استفاده از مصالح ژئوسنتتیک به عنوان ابزاری جهت تثبیت و بهبود میزان توانایی باربری لایه‌های روسازی راه و راه آهن و حتی بستر خاک زیر پی ها استفاده می‌شود که در بیشتر موارد از از لایه های ژئوتکستایل و ژئوگرید بهره گرفته می‌شود. در ادامه ابتدا به بیان ضرورت تحقیق و سپس مرور ادبیات فنی در زمینه تحقیق پرداخته شده و سپس مراحل مطالعات تحقیقی انجام یافته بیان گردیده است.

۲. ضرورت انجام تحقیق

اضافه شدن رس یا لای به ماسه در درصدهای مختلف می‌تواند بطور اساسی رفتار ماتریس ماسه و رس را تغییر دهد. مطابق شکل ۱ تغییرات درصد تخلخل برحسب درصد ریزدانه قابل مشاهده هست. در قسمت A درصد ریزدانه صفر است و دانه‌های ماسه بخوبی با یکدیگر تماس دارند و می توانند نیرو را منتقل کنند. هنگامی‌که از نقطه A به نقطه B میزان درصد ریزدانه افزایش می‌یابد، در این حالت ریزدانه ها فضای خالی بین دانه های ماسه را پر می‌کنند و باعث کاهش تخلخل و دانسیته نسبی می‌شوند بدون آنکه در باربری شرکت داشته باشند تا اینکه در نقطه B ریزدانه های اضافه شده کاملا فضای خالی بین دانه های ماسه ای را پر می‌کنند. به این مقدار ریزدانه، ریزدانه حدی می‌گویند. با افزایش مقدار ریزدانه و رسیدن به نقطه C، مشاهده می‌گردد که دانه های ماسه بیشتر از یکدیگر جدا می شوند و ذرات ریزدانه نقش مهمتری را ایفا می‌کنند تا اینکه در نقطه C ریزدانه ها نمونه را تشکیل می‌دهند. قابل ذکر است که مقدار حدی ریزدانه به دانه بندی خاک اصلی و خصوصیات ریزدانه بستگی دارد .بطور مثال خاک‌های خوب دانه بندی شده در مقایسه با خاکهای بد دانه بندی شده نسبت تخلخل[1] کمتری دارند و در نتیجه مقدار کمتری ریزدانه می‌تواند دانه های ماسه را کاملاً از هم جدا کند. همچنین ذرات رس نسبت به ذرات لای دارای نسبت تخلخل بیشتری هستند و می‌توانند به صورت مؤثرتری در پر کردن فضای خالی بین دانه‌های ماسه شرکت کنند.



شکل ۱. تغییرات نسبت تخلخل مخلوط ماسه و رس برحسب تغییرات درصد رس [Thevanayagam, 2000]

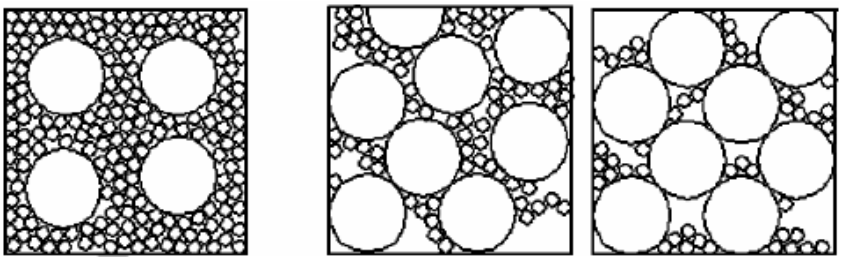
در حالتی‌که ریزدانه ها به طور فعال در باربری نقشی ندارند و کاملاً در فضاهای خالی بین دانه های ماسه قرار گرفته‌اند و تخلخل کلی نمونه را کاهش می دهند با افزایش مقدار ریزدانه به تدریج ذرات رس تعدادی از دانه‌های ماسه را نیز از هم جدا می کنند. این موضوع در شکل ۲-الف دیده می‌شود. سپس با در نظر گرفتن حجم دانه های ریز (fc) به عنوان فضای خالی می توان نسبت تخلخل دانه‌ای[۲] درشت را بصورت زیر تعیین نمود.

$$e_s = \frac{e + fc}{1 - fc} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، e_s نسبت تخلخل دانه‌ای نامیده می‌شود. همچنین، درحالتیکه دانه های ریز فضای خالی بین دانه‌های درشت را کاملاً پر کرده‌اند بطوری‌که دانه های درشت با یکدیگر تماس ندارند. به عبارت دیگر، دانه های درشت به صورت غوطه ور میان دانه های ریز قرار دارند و نمی‌توانند با یکدیگر در باربری ماتریس نقش داشته باشند، بلکه تنها به عنوان انتقال دهنده نیرو بین دانه های ریز اطراف خودشان کار می کنند. این شرایط در شکل ۲-ب نشان داده شده است. برخلاف حالت الف که حجم دانه‌های ریز به عنوان فضاهای خالی در نظر گرفته شده است، در این شرایط حجم دانه‌های درشت برابر صفر در نظر گرفته می‌شود و نسبت تخلخل بین دانه های ریز بصورت زیر تعیین می‌گردد:

$$e_f = \frac{e}{fc} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، e_f نسبت تخلخل بین دانه‌های[۳] ریزدانه نامیده می‌شود. حال در صورتیکه ریزدانه های موجود در خاک از جنس رس باشند علاوه بر آنکه به عنوان پر کننده در بافت خاک عمل می‌کند، می‌تواند با القاء چسبندگی به خاک بافت آن را یکپارچه تر سازند. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، جهت بررسی امکان احداث لایه‌های زیراساس و اساس و خاک بستر در بدنه راه با استفاده از مصالح مذکور در تحقیق حاضر تاثیر جانمایی لایه های های ژئوگرید و تعداد آنها در بهبود میزان توانایی باربری خاک مخلوط ماسه- رس و اثر آن بر تغییرات پارامترهای نسبت های تخلخل حداقل، دانه‌ای و بین دانه‌ای پرداخته شده است .



(ب) (الف)

شکل ۲. تاثیر ریزدانه در ساختار خاک الف-در حالتی‌که درصد ریزدانه کمتر از میزان حدی است، ب- حالتی‌که درصد ریزدانه بیشتر از میزان حدی است. [Thevanayagam, 2000]

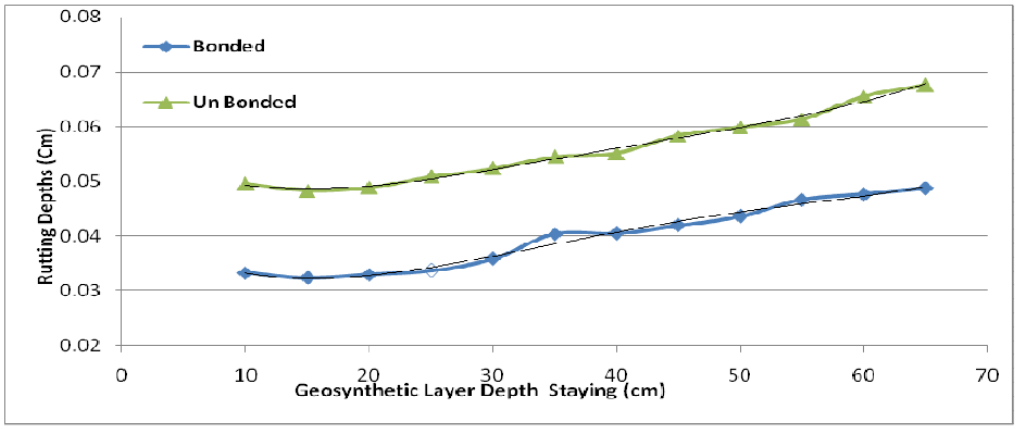
۳. مرور مطالعات گذشته

یکی از مشکلات در صنعت راهسازی تهیه مصالحی است که دارای مشخصات فنی لازم برای استفاده در لایه‌های روسازی باشد. در اغلب مناطق، تهیه چنین مصالحی با برداشت از بستر رودخانه ها و یا معادن و فرآوری انها در کارخانه انجام می‌گیرد که در برخی اوقات فاصله حمل نیز طولانی بوده و هزینه اجرا را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، در بسیاری از مناطق برداشت مصالح مناسب از معادن طبیعی شن و ماسه همانند بستر رودخانه ها باعث آسیب به محیط زیست می‌شود. در صورتی‌که بتوان خاکهای نامناسب محلی را قابل استفاده در لایه های روسازی نمود، از نظر اقتصادی و زیست – محیطی دارای اهمیت زیادی خواهد بود. اگرچه در این زمینه مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته و روش های مختلف مکانیکی براساس تراکم مصالح و شیمیایی برمبنای واکنش شیمیایی بین مصالح و مواد افزودنی بنا نهاده شده است. امروزه به منظور اصلاح و بهسازی توانایی باربری خاکها، به عنوان نمونه در خاک رسی زیر بستر زیر پی ها [Biswas, Kumar Dash and Krishna, 2015; Kazi, Shukla and Habibi , 2015a, 2015b] و مصالح لایه‌های روسازی راه از مصالح ژئوسنتتیک[۴] استفاده می‌شود. در این زمینه می‌توان به کاربرد لایه های ژئوتکستایل[۵] و ژئوگرید[۶] در احداث بدنه راه و لایه های روسازی جهت بهبود باربری مصالح اشاره نمود. در مورد کاربرد ژئوتکستایل در بهسازی مقاومت و باربری لایه‌های روسازی مطالعات عددی و آزمایشگاهی مختلفی صورت گرفته است. بطوری‌که نائینی و میرزا خانلری در سال ۲۰۰۸ و صادقی و دبیری در سال ۲۰۱۵، به ترتیب در مطالعات آزمایشگاهی در جهت بهبود باربری شن و شن همراه با ۱۵ و ۳۰ درصد لای با استفاده از ژئوتکستایل درحالت خشک انجام دادند. آنها در تحقیقات خود مشاهده نمودند که تعداد لایه‌های ژئوتکستایل و محل قرار گیری آنها می تواند در میزان توانایی باربری مصالح تاثیرگذار باشد [Naeinie and Mirzakhanlari, 2008; Sadeghi and Dabiri, 2015].

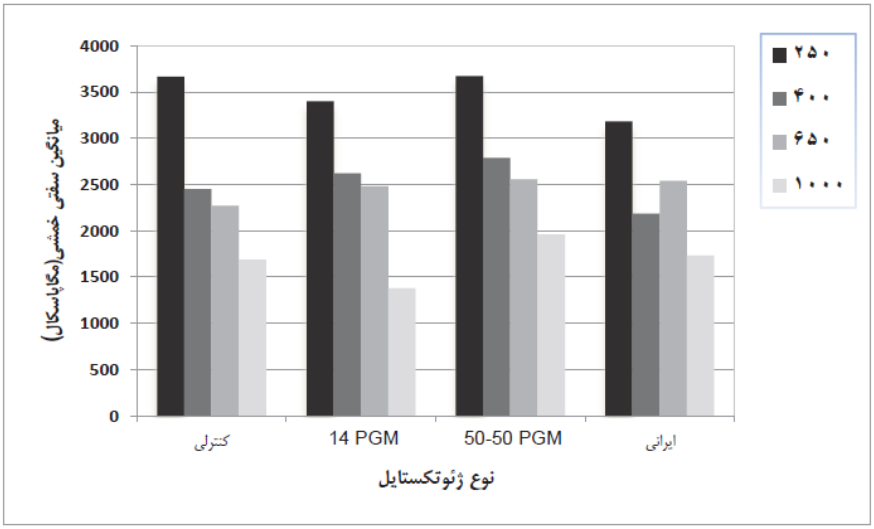
لاتها و مورتی در سال ۲۰۰۷ و کومار و راژکومار در سال ۲۰۱۲ در مطالعه خود جهت بهسازی مصالح نرم بستر راه از ژئوتکستایل استفاده نمودند. ایشان دریافتند که ژئوتکستایل بافته نشده در مقایسه با حالت بافته شده دارای تاثیر کمتری در میزان توانایی باربری است [Latha and Murthy, 2007; Kumar Senthil and Rajkumar, 2012].

همچنین، در مدل سازی عددی صورت گرفته توسط خبیری در سال ۲۰۱۱ و نظری و دبیری در سال ۲۰۱۶ تاثیر جانمایی و تعداد لایه های مسلح کننده ژئوسنتتیک و عمق استقرار آنها در میزان توانایی باربری لایه‌های روسازی تحت بارگذاری دینامیکی ناشی از وسایل نقلیه مورد بررسی قرار گفته است. ایشان در مشاهدات خود دریافتند که با قرار دادن یک لایه مسلح کننده در بدنه راه نزدیک به سطح را میزان نشست و تغییر شکل قائم را کاهش داده و همچنین دریافتند که بهینه ترین موقعیت استقرار لایه مسلح کننده در عمق ۱۰ سانتیمتری نسبت به رویه راه است [Khabiri, 2011; Nazari and Dabiri, 2016] (شکل ۳).

شاهی و همکاران در سال ۲۰۱۰ مطالعه ای بر روی تاثیر لایه ژئوتکستایل بر عمر خستگی رویه های آسفالتی توسط انجام داده اند. ایشان در تحقیقات خود بمنظور افزایش عمر رویه آسفالتی از سه نوع لایه ژئوتکستایل متداول استفاده نموده و آزمایش خستگی را بر رو نمونه های مورد مطالعه صورت گرفت. نتایج تحقیق نشان داده است که که ژئوتکستایل می‌تواند سبب کاهش و یا افزایش میانگین سفتی خمشی نمونه های آزمایشگاهی شود ولی بطور کلی سبب افزایش کیفیت روسازی آسفالتی می شود [Shahie, Ameri and Khani Sanij, 2010]. (شکل ٤)



شکل ۳. تاثیر عمق استقرار لایه ژئوتکستایل و جانمایی آن در اصلاح میزان تغییر شکل قائم در بدنه راه [Khabiri, 2011]



شکل ٤. میانگین سفتی خمشی در برابر نوع نمونه برای کرنش های ۲۵۰، ٤۰۰، ٦۵۰ و ۱۰۰۰ میکرو استرین [Shahie et al. 2010]

در مورد کاربرد لایه های ژئوگرید در بهسازی لایه های روسازی راه نیز تحقیقات مختلفی انجام گرفته است که می‌توان به مطالعه‌های صورت گرفته براساس روش های عددی و آزمایشگاهی اشاره نمود.

عبدی و ارجمند در مطالعه آزمایشگاهی اندرکنش لایه ژئوگرید- رس مشاهده نمودند که مقاومت برشی خاک رس به همراه ژئوگرید به میزان ۱۰ درصد در مقایسه با حالت غیر مسلح افزایش می‌یابد[Abdi and Arjomand, 2010] .

ریموند و اسماعیل در سال ۲۰۰۳، ژیرو و هان در سال ۲۰۰٤، اولیور و دابی و باکلی در سال ۲۰۱٦ و خداکرمی و خاکپور مقدم در سال ۲۰۱۷ در مدل سازی عددی تاثیر لایه ژئوگرید در عمق های مشخص استقرار آن را بر بهسازی توانایی باربری لایه خاک بستر نرم مورد مطالعه قرار داده اند. ایشان مشاهده نمودند که استفاده از لایه ژئوگرید می‌تواند میزان تغییر شکل قائم را بطور مشخص کاهش دهد (شکل ۵) و همچنین بهینه ترین عمق جهت استقرار لایه ژئوگرید را برابر ۲۵ سانتیمتر نسبت به سطح رویه را برآورد نمودند [Reymond and Ismail, 2003; Giroud et al. 2004a, 2004b; Olivier et al., 2016; Khodakarami and Khakpour Moghaddam, 2017].

ویلیام و اوکینه در سال ۲۰۰۸ و کیم و ها در سال ۲۰۱٤ تاثیر لایه ژئوگرید را بر روی مصالح مخلوط رسی، لای دار، شن رس دار در حالت خشک و اشباع مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بدست آمده از تحقیق ایشان بیان کننده آن است که وجود لایه ژئوگرید باعث بهبود توانایی باربری مصالح شده و از وقوع تورم و نشست و تغییر شکل های غیر مجاز جلوگیری نموده

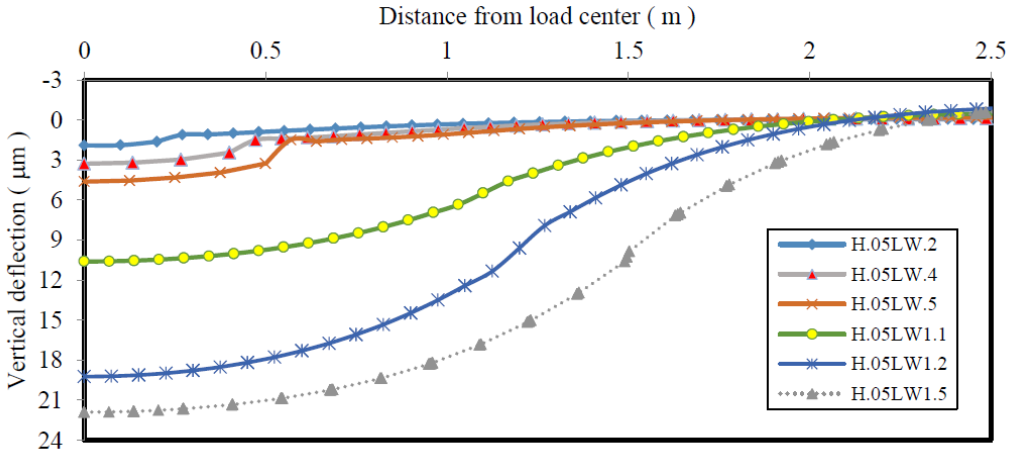
است [William and Okine, 2008; Kim and Ha, 2014].

نائینی و ضیایی موید در سال ۲۰۰۹ و دهول و همکاران در سال ۲۰۱۱ در تحقیقات خود از لایه ژئوگرید برای بهسازی خاکهای رسی نرم در حالت اشباع و غیر اشباع بهره گرفتند و مشاهده نمودند که با افزایش شاخص خمیری میزان CBR کاهش و با قرار دادن لایه ژئوگرید میزان توانایی باربری افزایش می‌یابد [Naenie and Moayed, 2009; Dhule et al. 2011].

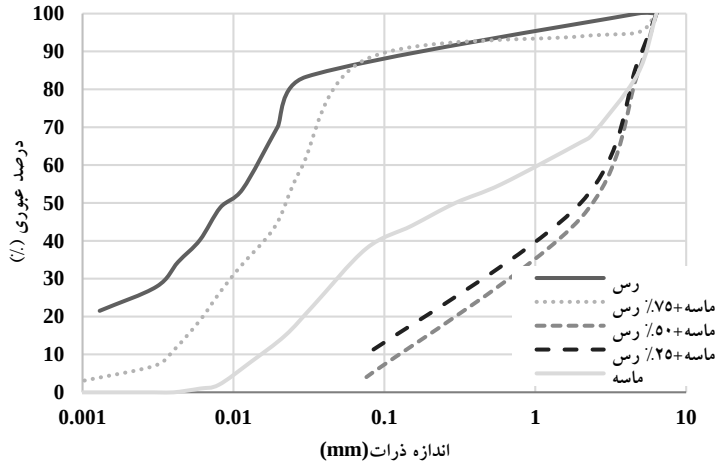
اگرچه در زمینه کاربرد همزمان روشهای شیمیایی با مصالح ژئوسنتتیک در جهت اصلاح مصالح لایه های روسازی راه مطالعاتی توسط عبدی و همکاران در سال ۲۰۱۶ صورت گرفته است. ایشان بطور همزمان تاثیر آهک و ژئوگرید برای تثبیت خاک رس مشاهده نموده است. نتایج تحقیق نشان داده است که افزودن حداقل ۳ درصد آهک به خاک رس باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت فشاری و کاهش نرخ گسیختگی می‌گردد. و تسلیح با ژئوگرید نمونه های تثبیت شده تاثیری بر خصوصیات مقاومت فشاری و شکل پذیری نمونه‌ها نداشته است [Abdi et al. 2016].

٤. مواد و مصالح

در تحقیق حاضر، خاک ماسه‌ای و رسی مورد مطالعه از معدنی نزدیک شهر باراندوز در استان آذربایجان غربی تهیه شده است. خاکهای ماسه ای و رسی با درصدهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ با یکدیگر مخلوط گردیده و منحنی دانه بندی مصالح طبق استاندارد ASTM D421 و ASTM D422[۷] تعیین و برآورد شده است که مطابق شکل ٦ ارائه گردیده و خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح مورد مطالعه مطابق جدول ۱ قابل مشاهده است. همچنین میزان چگالی ویژه مصالح با توجه به درصد مخلوط آنها براساس استاندارد ASTM D854 اندازه گیری شده و مطابق جدول ۲ ارائه شده است. همچنین با توجه به اینکه هدف تحقیق حاضر بررسی تاثیر جانمایی کاربرد ژئوگرید در مصالح مورد مطالعه است، ژئوگردید دو جهته مورد استفاده در مطالعه از نوع پلی استری بوده که دارای نام تجاری Glasgrid-CG بوده که مشخصات فنی آن در جدول ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۵. تاثیر لایه ژئوگرید بر میزان نشست قائم بدنه راه بر روی خاک بستر نرم (عمق استقرار ۵۰ سانتیمتر)، [Khodakarami and Khakpour Moghaddam, 2017]



شکل ٦. منحنی دانه بندی مصالح مخلوط در محدوده مورد مطالعه

جدول ۱. خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح مورد مطالعه

نوع خاک	استاندارد	توصیف	آزمایش	استاندارد	توصیف
ماسه	ASTM D421	(طبق طبقه بندی متحد)SP	ارزش ماسه	ASTM D2419	۷۵ درصد
رس	ASTM D422	(طبق طبقه بندی متحد)CL	شاخص خمیری	ASTM D4318-95a	١٤ درصد

جدول ۲. میزان چگالی ویژه(Gs) ویژه خاکهای مخلوط مورد مطالعه

نوع خاک	Gs
رس	۲/۷۵
ماسه +۷۵٪ رس	۲/٦۸
ماسه+۵۰٪ رس	۲/۵۹
ماسه +٪ ۲۵رس	۲/۵۲
ماسه	۲/٦۵

جدول ۳. مشخصات ژئوگرید به کار رفته در تحقیق حاضر(Glasgrid-GC)

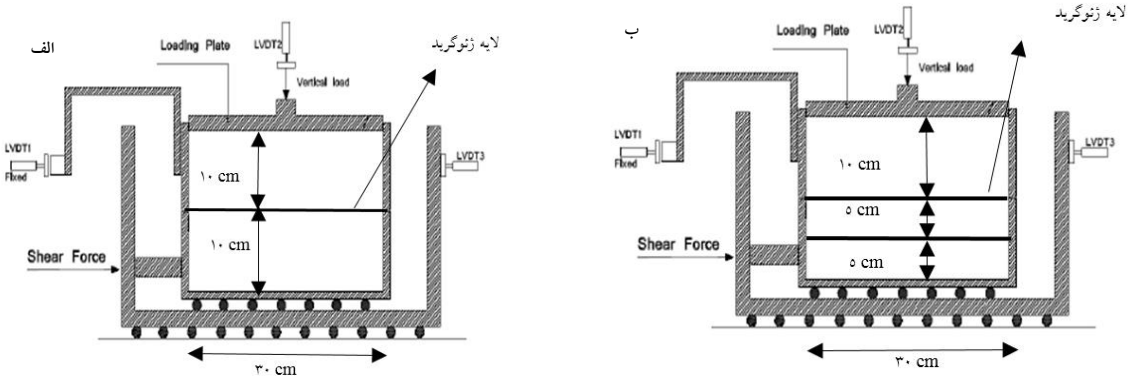
شرح	نشان/ مقدار
مواد اولیه	PET
پوشش	polyester
مقاومت کشش نهایی در جهت طولی	۸۰(KN/m)
مقاومت کشش نهایی در جهت عرضی	۳۰(KN/m)
کرنش در مقاومت کششی اسمی در جهت طولی	۱۲/۵ (٪)
نسبت سطح برش مسلح کننده به سطح برش کلی	۱۰(٪)
ضخامت	۲(mm)

۵. کارهای آزمایشگاهی

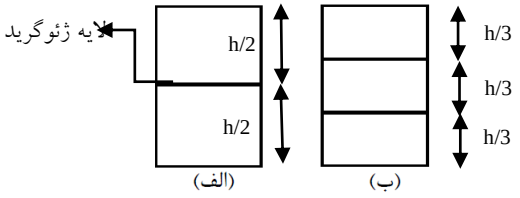
همچنـان کـه در بخش بـالا ذکر گردیـد، هدف از تحقیق حاضـر، بررسی تاثیر جانمایی و تعداد ژئوگردید در خاک های مخلوط ماسه–رس به منظور بهسازی توانایی باربری و افزایش مقـاومت برشـــی جهت کاربرد در احداث لایه های روسازی در بدنه راه است. به این منظور، ابتدا آزمون تراکم آزمایشـگاهی طبق اسـتاندارد ASTM D698 بر روی نمونه‌های مسـلح و غیرمسلح انجام گرفته است. سپس به منظور تعیین میزان توانـایی بـاربری نمونـه‌ها در شـــرایط مسـلح و غیر مسـلح، در مرحله اول آزمون نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) مطابق با اسـتاندارد ASTM D1883 در دو شـرایط خشـک و اشباع (شکلهای ۷ و۸) و در سه انرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ٥٦ ضربه برای هر لایه) انجام گرفتـه اسـت، بگونه ای که مطابق اسـتاندارد سـرعت بارگذاری ۱/۲۷ mm/min انتخاب شـده و عدد CBR برای نفوذ پیسـتون به میزان ۲/۵ و ۵ سـانتیمتر برآورد گردیده است. در حالت اشباع، همچنین میزان تورم احتمالی ایجاد شـده در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه حاصل از آزمایش CBR تعیین شده است بگونه ای که طبق استاندارد پس از انجام تراکم، حلقه گلوئی را برداشـته و سطح خاک صاف می‌گردد، سـپس بـا قراردادن کاغذ صـافی روی نمونه، صـفحه مشبک نصب شده و در ادامه سرباری معادل فشار ناشـی از وزن لایه های زیراسـاس و اسـاس خاکریز وارد نمونـه کـه حداقل آن ٤/٥٤ کیلوگرمی اسـت روی قالب متصـل کرده و اولین قرائت انجام می‌گردد. سپس قالب را بـه مـدت چهـار روز در آب غوطه ور کرده به نحوی که حداقل ارتفاع آب روی نمونه ۲۵ میلی متر شود. البته برای مصالح با زهکشی بسیار خوب می تواند تا ٢٤ ساعت نیز کاهش یابد در پایان نیز گیج تورم قرائت می‌گردد. سـپس نمونـه را از مخزن آب خارج کرده و آب اضـافی را دور می‌ریزند و برای اینکه نمونه زهکشی شود ۱۵ دقیقه نمونه را به حال خود رها می‌کنند و وزنه های سـربار و صـفحه مشبک را برداشته و قالب را وزن می‌کنند. در مرحله دوم، آزمون برش مسـتقیم طبق استاندارد ASTM D5321 نیز در دو شـرایط خشـک و اشـباع در قالب نمونه ۲۰×۳۰×۳۰ سانتیمتر انجام گرفته است (شکل ۹). بگونه ای که سرعت انجام آزمایش ۱ میلیمتر بر دقیقه انتخاب شـده و آزمایش ها تحت تنش های قائم ۱، ۱/۵ و ۲ کیلوگرم بر سـانتیمتر مربع و بصـورت کنترل کرنش انجـام گرفتـه و تـا لحظه گسـیختگی نمونه آزمایش ها ادامه یافته است. نحوه آماده سازی نمونه‌های مسلح شده با لایه‌های ژئوگرید در آزمون نسبت باربری کالیفرنیا[۸] به این ترتیب انجام گرفته است که در حالت اول لایه ژئوگرید در وسـط لایه سـوم در هنگام تراکم قرار داده شـده و در حـالت دوم، دو لایه ژئوگرید یکی در بـالای لایه دوم و دیگری در بالای لایه چهارم در هنگام تراکم جایگذاری شـود. در آزمایش برش مسـتقیم براسـاس اسـتاندارد در حالت اول، یک لایه ژئوگرید در مرز مشترک بین قالب ثابت و متحرک نصب گردیده است. در حالت دوم، یک لایه ژئوگرید در عمق ۵ سـانتیمتری نسـبت به کف قالب و لایه ژئوگرید دوم در فصل مشترک قالب نمونه جایگذاری شـده اسـت. (شکل ۱۰ الف، ب و ج). برنـامـه ریزی و تعداد آزمایش‌های انجام یافته مطابق جدول ٤ قابل مشاهده است.

شکل ۷. انجام آزمون نسبت باربری کالیفرنیا در حالت خشک بر روی نمونه‌های مورد مطالعه

شکل ۸. انجام آزمون نسبت باربری کالیفرنیا در حالت اشباع بر روی نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۹. نحوه مسلح سازی نمونه‌های مورد مطالعه در دستگاه برش مستقیم، الف- یک لایه ژئوگرید، ب- دو لایه ژئوگرید، ج- دستگاه برش مستقیم مورد استفاده در تحقیق حاضر



(ج)

شکل ۱۰. نحوه قرارگیری لایه‌های ژئوگرید در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه در قالب دستگاه نسبت باربری کالیفرنیا ، الف- یک لایه، ب- دولایه، ج- قالب دستگاه نسبت باربری کالیفرنیا

جدول ٤. برنامه آزمون های صورت گرفته بر روی نمونه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر

مصالح / آزمون ها	ماسه	ماسه+۲۵٪ رس	ماسه+۵۰٪ رس	ماسه+۷۵٪ رس	رس	مجموع
تراکم	یک سری ۵ نقطه ای (در سه حالت)	یک سری ۵ نقطه ای (در سه حالت)	یک سری ۵ نقطه ای (در سه حالت)	یک سری ۵ نقطه ای (در سه حالت)	یک سری ۵ نقطه ای (در سه حالت)	۷۵
CBR (اشباع) سه انرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ٥٦ ضربه برای هر لایه)	سه سری (در سه حالت)	سه سری (در سه حالت)	سه سری (در سه حالت)	سه سری (در سه حالت)	سه سری (در سه حالت)	٤٥
CBR (خشک) سه انرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ٥٦ ضربه برای هر لایه)	سه سری (در سه حالت)	سه سری (در سه حالت)	سه سری (در سه حالت)	سه سری (در سه حالت)	سه سری (در سه حالت)	٤٥
برش مستقیم(اشباع) در تنش های قائم (۱ kG/cm2، ۱/۵kG/cm2 و ۲kG/cm2)	یک سری (در سه حالت)	یک سری (در سه حالت)	یک سری (در سه حالت)	یک سری (در سه حالت)	یک سری (در سه حالت)	٤٥
برش مستقیم(خشک) در تنش های قائم (۱ kG/cm2، ۱/۵kG/cm2 و ۲kG/cm2)	یک سری (در سه حالت)	یک سری (در سه حالت)	یک سری (در سه حالت)	یک سری (در سه حالت)	یک سری (در سه حالت)	٤٥

سه حالت:

حالت اول: بدون جایگذاری لایه ژئوگرید

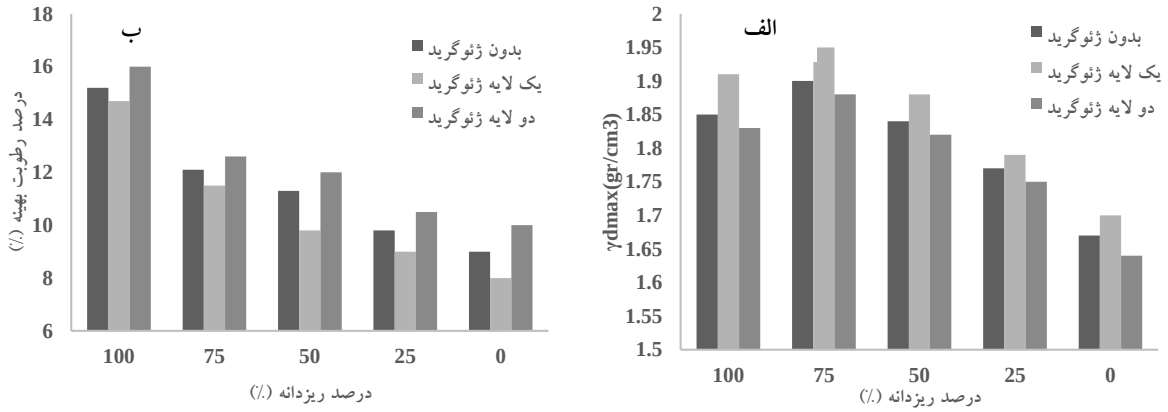
حالت دوم: جایگذاری یک لایه ژئوگرید

حالت دوم: جایگذاری دولایه ژئوگرید

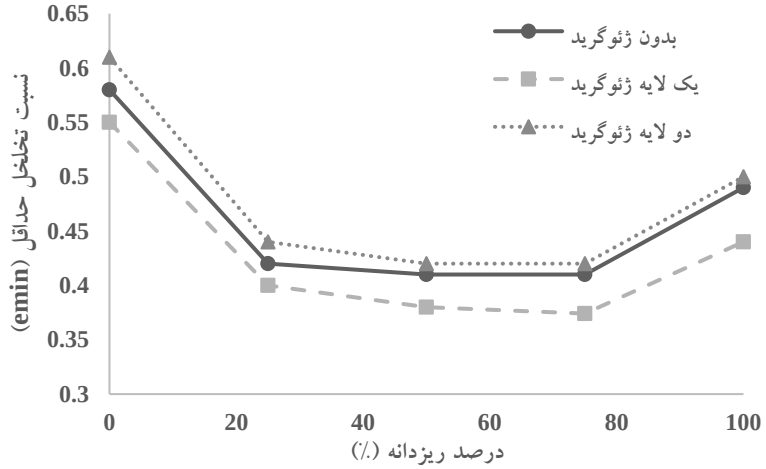
٦. نتایج و بحث

٦-١ نتایج حاصل از آزمایش تراکم

نتایج بدست آمده از آزمایش تراکم مطابق شکل(١١– الف و ب) نشان می دهد که در حالت غیر مسلح، میزان وزن مخصوص خشک حداکثر با افزایش مقدار ریزدانه تا ٧٥ درصد در خاک افزایش یافته و سپس روند کاهشی یافته است و رطوبت بهینه افزایش می‌یابد در حالت مسلح سازی، هنگامیکه یک لایه ژئوگرید قرار داده می‌شود مشاهده می‌گردد که وزن مخصوص خشک حداکثر در تمامی نمونه‌های خاکی مورد مطالعه یک روند افزایشی می‌یابد و بالعکس میزان رطوبت بهینه کاهش می‌یابد. هنگامیکه دو لایه ژئوگرید در نمونه خاکی قرار داده می‌شود یک بهسازی نسبی در میزان وزن مخصوص خشک حداکثر بوجود می آورد ولی در مقایسه با حالت یک لایه دارای میزان کمتری است و در مقابل میزان رطوبت بهینه روند افزایشی از خود نشان می‌دهد. این شرایط با توجه به تغییرات نسبت تخلخل حداقل در نمونه‌های مورد مطالعه مطابق شکل ١٢ قابل بیان است. در حالت غیرمسلح با افزایش میزان درصد ریزدانه تا حدی میزان تخلخل کاهش یافته و سپس روند صعودی یافته است که نتایج تراکم بیان کننده این شرایط است. هنگامی‌که خاک با یک لایه ژئوگرید تسلیح می‌شود، مشاهده می‌گردد که میزان نسبت تخلخل در تمامی نمونه‌ها در مقایسه با حالت غیر مسلح کاهش یافته که بیان کننده بهبود نسبی در میزان تراکم است. ولی با افزایش تعداد لایه های ژئوگرید مشاهده می‌گردد که مقدار نسبت تخلخل در نمونه ها افزایش یافته و یک ناپیوستگی نسبی بین ذارت ایجاد شده است.



شکل ١١. تاثیر لایه‌های ژئوگرید بر نتایج حاصل از آزمایش تراکم، الف- تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر-ب- تغییرات رطوبت بهینه

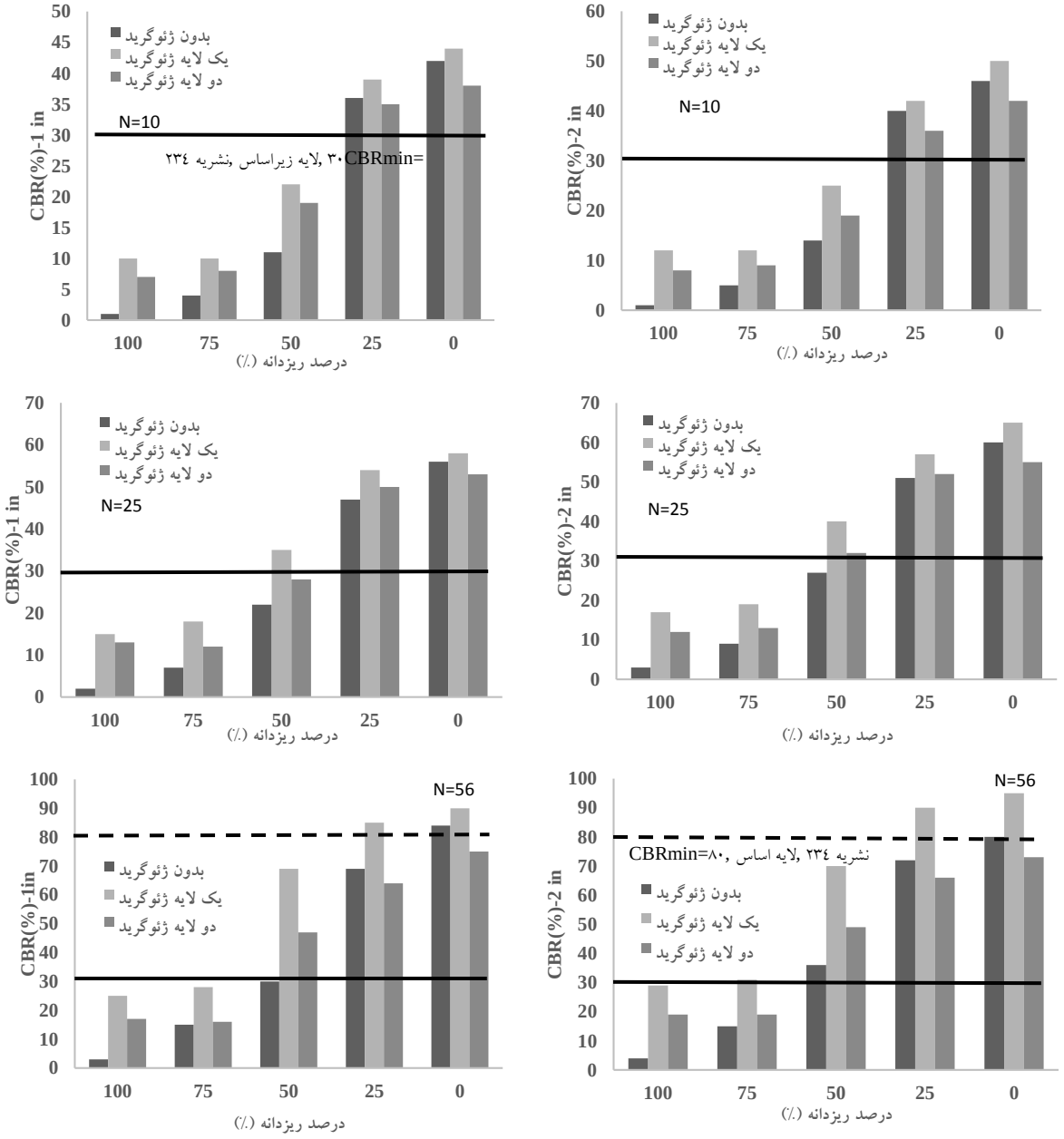


شکل ١٢. تاثیر میزان درصد ریزدانه و لایه‌های ژئوگرید و تعداد آنها بر تغییرات نسبت تخلخل حداقل نمونه‌های مورد مطالعه

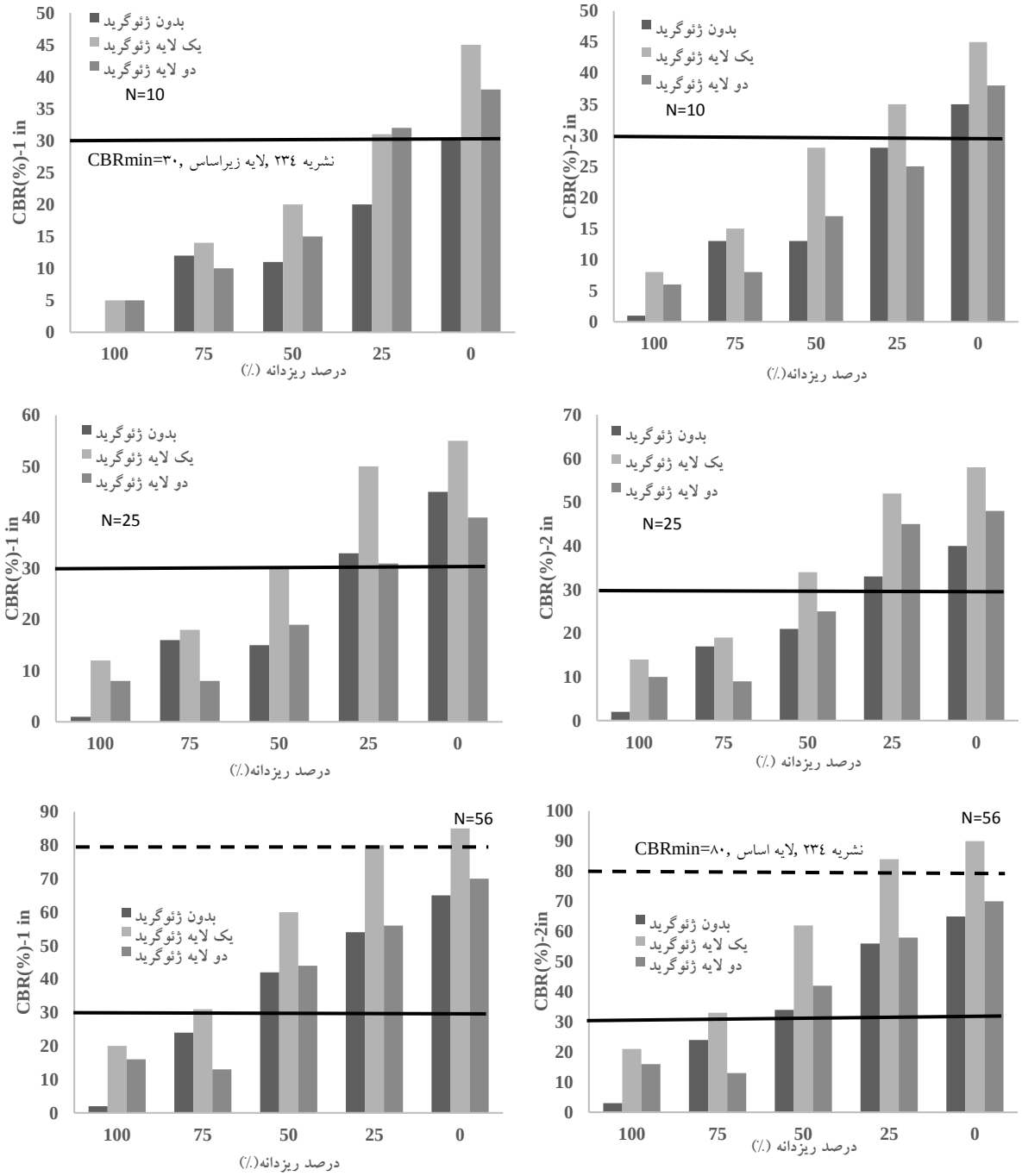
٦-٢ نتایج حاصل از آزمون نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

همانطور که ذکر گردید، آزمون نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) در دو حالت خشک و اشباع در سه انرژی تراکمی متفاوت (١٠، ٢٥ و ٥٦ ضربه برای هر لایه) بر روی نمونه‌های مورد مطالعه در حالت غیر مسلح و مسلح انجام گرفته است و مقادیر نسبت باربری کالیفرنیا برای میزان نفوذ پیستون به اندازه ١ اینچ (٢/٥ سانتیمتر) و ٢ اینچ (٥ سانتیمتر) برآورد شده است که نتایج به صورت شکل های ١٣ و ١٤ ارائه گردیده است. با توجه به نمودارها می‌توان اشاره کرد که در شرایط خشک و در حالت غیر مسلح، با افزایش میزان درصد ریزدانه رسی در نمونه‌های ماسه‌ای میزان CBR کاهش می‌یابد. هنگامیکه در نمونه های مورد مطالعه یک لایه ژئوگرید قرار داده می‌شود مشاهده می‌گردد که میزان نسبت CBR در مقایسه با حالت غیر مسلح در تمامی انرژی های تراکمی افزایش می‌یابد. بطوریکه این افزایش به برای خاک های ماسه‌ای خالص و حاوی ٢٥درصد رس بطور متوسط به میزان ٥درصد، ماسه ای حاوی ٥٠درصد رس تقریبا تا ٢ برابر است. هنگامیکه دو لایه ژئوگرید در نمونه‌ها جایگذاری می‌گردد میزان توانایی باربری بهبود می‌یابد، ولی در مقایسه با حالت یک، لایه دارای میزان کمتری است. نتایج بدست آمده در این مرحله از تحقیق مشابه با مطالعات صورت گرفته توسط نائینی و ضیایی در سال ٢٠٠٩ و ویلیام و اوکینه در سال ٢٠٠٨ است. ایشان در حالت غیر اشباع هنگامیکه یک لایه ژئوگرید در نمونه خاک رسی جایگذاری نموده باعث بهبود میزان توانایی باربری در مقایسه با حالت غیر مسلح شده گردیده است. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اشاره نمود که طبق نشریه ٢٣٤ با جایگذاری یک لایه ژئوگرید در نمونه های ماسه‌ای خالص و حاوی ٢٥ و ٥٠ درصد ریزدانه و در انرژی های تراکمی متوسط و بالا با امکان استفاده در لایه زیراساس و اساس موجود است و از در خاکهای ریزدانه رسی و حاوی ٢٥درصد ماسه نیز با توجه به نتایج در احداث لایه بستر راه استفاده نمود.

در حالت اشباع و در حالت غیر مسلح میزان عدد CBR با افزایش میزان درصد ریزدانه رسی در خاک ماسه ای کاهش می‌یابد. در حالت مسلح هنگامیکه یک لایه ژئوگرید در نمونه ها قرار داده می‌شود مشاهده می‌گردد که در تمامی انرژی‌های تراکمی میزان عدد CBR بهبود می‌یابد. بطوریکه این افزایش به برای خاک های ماسه‌ای خالص و حاوی ٢٥درصد رس بطور متوسط به میزان ٣٨ درصد، ماسه ای حاوی ٥٠درصد رس تقریبا تا ٧٨درصد افزایش است. بنابراین می توان اشاره نمود که از خاکهای ماسه ای حاوی ٢٥ درصد و ٥٠ درصد ماسه در انرژی های تراکمی پایین و متوسط برای کاربرد در احداث لایه های زیراساس و اساس طبق نشریه ٢٣٤ استفاده نمود. همچنین در حالت اشباع از خاکهای ریزدانه رسی و حاوی ٢٥درصد ماسه با توجه به نتایج در انرژی های تراکمی متوسط و بالا در احداث لایه بستر راه بکار برد. هنگامیکه در نمونه های مورد مطالعه دو لایه ژئوگرید جایگذاری می‌شود میزان باربری نسبی مصالح نسبت به حالت غیر مسلح بهبود می‌یابد ولی در مقایسه با یک لایه ژئوگرید دارای میزان کمتری است. نتایج بدست آمده در این شرایط نیز مشابه با مطالعات صورت گرفته توسط نائینی و ضیایی در سال ٢٠٠٩ و ویلیام و اوکینه در سال ٢٠٠٨ است.

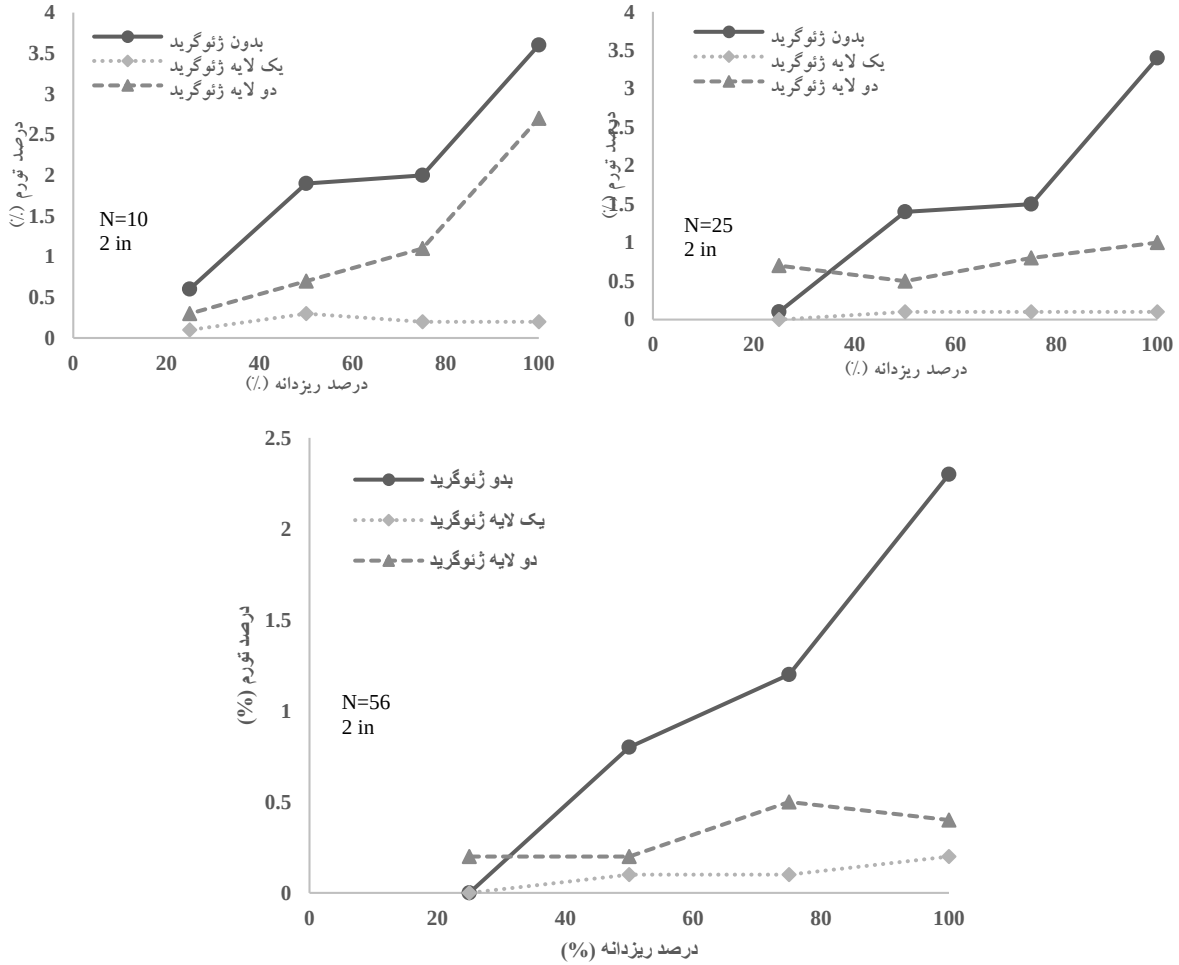


شکل ۱۳. تاثیر لایه های ژئوگرید بر نتایج حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا برای تراکم‌های متفاوت(۱۰، ۲۵، ٥٦ ضربه برای هر لایه) در حالت خشک برای نفوذ های ۱ اینچ (۲/٥ سانتیمتر) و ۲ اینچ (٥ سانتیمتر)



شکل ١٤. تاثیر لایه های ژئوگرید بر نتایج حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا برای تراکم‌های متفاوت(١٠، ٢٥، ٥٦ ضربه برای هر لایه) در حالت اشباع برای نفوذ های ١ اینچ (٢/٥ سانتیمتر) و ٢ اینچ (٥ سانتیمتر)

در ادامه، میزان تورم[9] در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا در میزان نفوذ ۲ اینچ (۵ سانتیمتر) در تمامی سه انرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه برای هر لایه) اندازه گیری شده است که مقادیر آن در شکل ۱۵ قابل مشاهده است. براین اساس می توان دریافت که در نمونه های خاکی غیر مسلح میزان تورم در تمامی تراکم ها با افزایش میزان درصد ریزدانه یک روند افزایشی را طی نموده است. هنگامیکه نمونه ها با یک لایه ژئوگرید مسلح می‌گردند مشاهده می‌شود که میزان تورم بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد بطوریکه این میزان تقریبا بطور متوسط تا ۸۰ درصد است. اگرچه هنگامی‌که دو لایه ژئوگرید در نمونه های خاکی قرار داده می‌شود، میزان تورم نمونه ها کاهش می‌یابد، ولی در مقایسه با حالت یک لایه ای دارای تاثیر کمتری است. هنگامی‌که و دولایه ژئوگرید در بین مصالح قرار داده می‌شود یک ناپیوستگی بین ساختار دانه بندی مصالح ایجاد می‌گردد که باعث ایجاد یک فضای خالی بیشتر بین ذرات می‌شود که در نتیجه میزان جذب آب افزایش می یابد و میزان تورم را در مقایسه با حالت غیر مسلح کاهش می‌دهد، ولی کافی نیست.



شکل ۱۵. تاثیر لایه‌های ژئوگرید و تعداد آنها بر تغییرات میزان تورم در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه

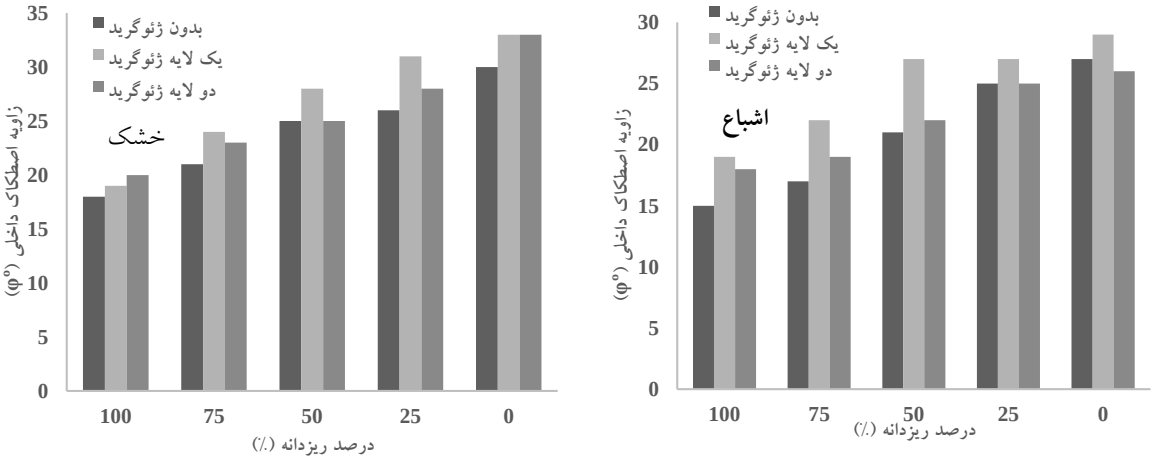
نتایج بدست آمده از آزمون نسبت باربری کالیفرنیا با توجه به تغییرات نسبت تخلخل حداقل (e_{min})و نسبت تخلخل دانه‌ای (e_s) قابل تفسیر است. با مشاهده جدول ۵، می توان تاثیر میزان درصد ریزدانه و تعداد و لایه‌های ژئوگرید بر روی هر دو پارامتر را دریافت. بر این پایه با افزایش میزان درصد ریزدانه در خاک ماسه‌ای فضای خالی بین دانه‌های ماسه را پر می‌کنند و باعث کاهش نسبت تخلخل و دانسیته نسبی می‌شوند بدون آنکه در باربری شرکت داشته باشند که این تغییرات همچنین در شکل ۱۲ ارائه شده است. ولی میزان نسبت تخلخل دانه‌ای افزایش یافته است. به عبارت دیگر ریزدانه‌ها به طور فعال در باربری نقشی ندارند و کاملاً در فضاهای خالی بین دانه‌های ماسه قرار گرفته‌اند و تخلخل کلی نمونه را کاهش می‌دهند. با افزایش مقدار ریزدانه به تدریج ذرات رس تعدادی از دانه‌های ماسه را نیز از هم جدا می‌کنند. که این شرایط بیان کننده کاهش میزان توانایی باربری مصالح با افزایش میزان درصد ریزدانه است. بنابراین با افزایش درصد ریزدانه رسی در خاک ماسه ای مطابق جدول ۵ مشاهده می‌شود که نسبت تخلخل دانه‌ای افزایش یافته که در نتیجه آن در تمام نمونه های حاوی ریزدانه میزان مقاومت فشاری و توانایی باربری در حالت غیر مسلح یک روند کاهشی را نشان می‌دهد. هنگامی که یک لایه ژئوگرید در نمونه‌های خاکی قرار داده می شود نسبت تخلخل حداقل در مقایسه با حالت غیر مسلح کاهش می‌یابد که تاثیر گذار در بهبود نسبی توانایی باربری است که علت آن وجود چشمه‌های لایه های ژئوگرید و افزایش تماس بین آنها و مصالح خاکی است. زمانیکه دو لایه ژئوگرید در مصالح جایگذاری می‌گردد مشاهده می‌شود که مقادیر نسبت تخلخل حداقل نمونه ها در مقایسه با حالت یک لایه ژئوگرید و غیر مسلح افزایش یافته است که بیان کننده ایجاد یک ناپیوستگی نسبی بین ذرات و کاهش تماس آنها با یکدیگر است که باعث می‌گردد که در بهبود میزان توانایی باربری مصالح تاثیر کمتری داشته باشد. زمانیکه ماسه خالص با ۵۰ درصد رس مخلوط می‌گردد بدلیل آنکه یک شرایط مرزی انتقال بین ذرات درشت دانه و ریزدانه بوجود می آید و شرایط حدی در میزان نسبت تخلخل حداقل است. رفتار مصالح براساس نسبت تخلخل بین دانه ای (e_f) قابل تفسیر است. به گونه ای که یک لایه ژئوگرید قرار داده می‌شود، میزان e_f کاهش یافته و بر میزان توانایی باربری و مقاومت فشاری تاثیر می‌گذارد و باعث بهبود آن می‌شود. مطابق جدول ۵ نمونه های رسی و حاوی ۲۵درصد ماسه نیز با توجه به تغییرات e_f مشاهده می‌گردد که وجود یک لایه ژئوگرید باعث بهسازی فضای خالی بین ذارت و در عین حال تراکم پذیری و شکل پذیری محیط بگونه‌ای می‌شود که میزان مقاومت فشاری و برابری نسبی آنها نسبت به حالت غیر مسلح و در مقایسه با حالت دو لایه ای افزایش یابد.

جدول ۵. تاثیر درصد ریزدانه و تعداد لایه‌های ژئوگرید بر روی نسبت تخلخل دانه‌ای (e_s) و نسبت تخلخل بین دانه‌ای (e_f)

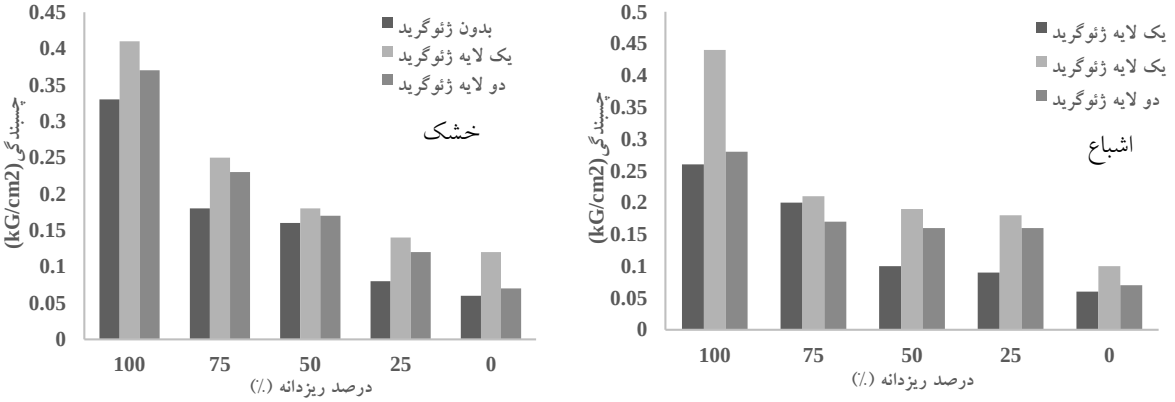
نمونه	بدون لایه ژئوگرید			یک لایه ژئوگرید			دو لایه ژئوگرید		
نسبت تخلخل	e_{min}	e_s	e_f	e_{min}	e_s	e_f	e_{min}	e_s	e_f
ماسه	۰/۵۸	۰/۵۸	-	۰/۵۵	۰/۵۵	–	۰/٦۱	۰/٦۱	–
ماسه+۲۵٪ رس	۰/٤۲	۰/۸۹	-	۰/٤	۰/۸٦	–	۰/٤٤	۰/۹۲	–
ماسه+۵۰٪ رس	۰/٤۱	۱/۸۲	۰/۸۲	۰/۳۸	۱/۷٦	۰/۷٦	۰/٤۲	۱/۸٤	۰/۸٤
ماسه+۷۵٪ رس	۰/٤۱	–	۰/۵۵	۰/۳۷٤	–	۰/۵	۰/٤۲	–	۰/۵٦
رس	۰/٤۹	–	۰/٤۹	۰/٤٤	–	۰/٤٤	۰/۵	–	۰/۵

٦-٣ نتایج حاصل از آزمون برش مستقیم

بمنظور بررسی تاثیر لایه‌های ژئوگرید بر میزان توانایی باربری و مقاومت برشی نمونه‌های مورد مطالعه بصورت مسلح و غیر مسلح آزمون برش مستقیم در دو شرایط خشک و اشباع تحت تنش‌های قائم ۱، ۱/۵ و ۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و با سرعت کند انجام گرفته است. مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه های خاکی در شکل های ١٦ و ١٧ ارائه گردیده است. با توجه به شکل ١٦ می‌توان مشاهده نمود که میزان زاویه اصطکاک داخلی نمونه ها (φ) در هر دو حالت خشک و اشباع با افزایش درصد ریزدانه به دلیل کاهش تماس بین ذرات کاهش یافته است. اگرچه درحالت اشباع مقدار φ در مقایسه با حالت خشک دارای میزان کمتری است. هنگامیکه یک لایه ژئوگرید در قسمت میانی نمونه ها قرار داده می‌شود مشاهده می‌گردد که میزان زاویه اصطکاک داخلی در خاکها به علت وجود چشمه های لایه ژئوگرید و اصطکاک بالا بین ذرات و آن لایه بهبود یافته است. به‌طوری‌که در حالت خشک تقریبا ۵ تا ۲۰ درصد افزایش یافته و در حالت اشباع میزان افزایش تقریبا برابر ۲۰ تا ۳۰ درصد است. در ادامه پس از جایگذاری دو لایه ژئوگرید مشاهده می‌شود که زاویه اصطکاک داخلی نسبت به حالت غیر مسلح افزایش می‌یابد، ولی در مقایسه با حالت یک لایه ای دارای میزان کمتری است که ناشی از ایجاد ناپیوستگی بین ذرات و ماتریس آنها است که باعث ایجاد یک ساختار سست در نمونه‌ها گردیده است. با توجه به شکل ١٧ می‌توان مشاهده نمود که میزان چسبندگی در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه با افزایش میزان درصد ریزدانه رسی دارای روند افزایشی است. در هر دو حالت خشک و اشباع، هنگامیکه یک لایه ژئوگرید در نمونه‌های خاکی قرار داده می‌شود مشاهده می‌گردد که میزان چسبندگی خاک بطور نسبی بهبود می‌یابد. همچنین با قرار دادن دو لایه ژئوگرید نیز بهبود در میزان چسبندگی مشاهده می‌شود ولی در مقایسه با حالت یک لایه دارای میزان کمتری است.



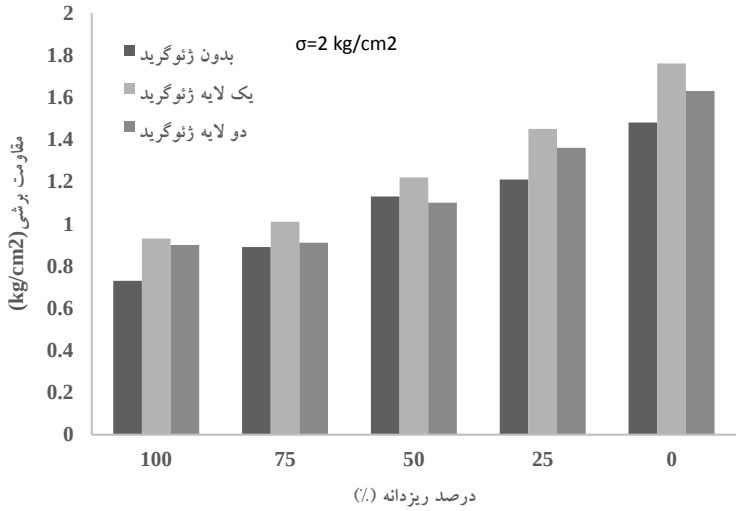
شکل ١٦ . تاثیر لایه‌های ژئوگرید و تعداد آنها بر تغییرات میزان زاویه اصطکاک داخلی در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه(خشک و اشباع)



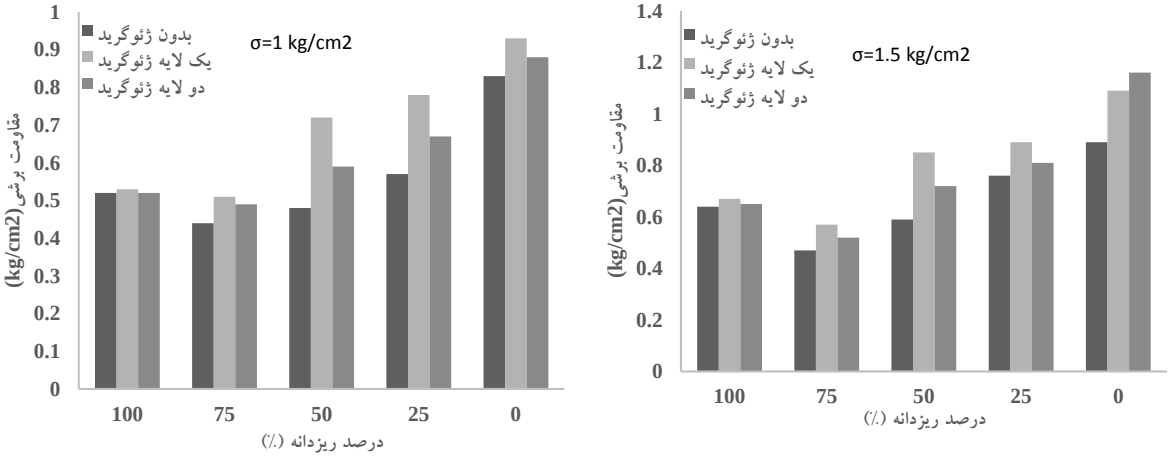
شکل ۱۷. تاثیر لایه‌های ژئوگرید و تعداد آنها بر تغییرات میزان چسبندگی در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه (خشک و اشباع)

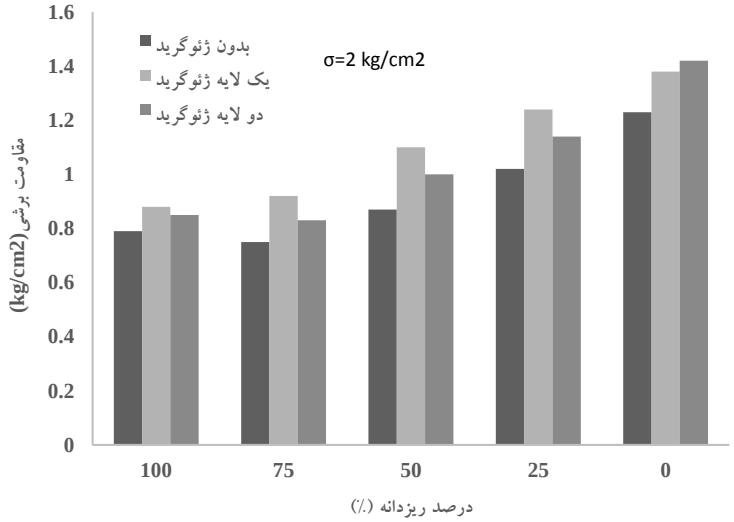
تغییرات مقاومت برشی در لحظه گسیختگی در مقابل جابجایی افقی در نمونه‌های مورد مطالعه حاصل از آزمایش برش مستقیم در حالت‌های خشک و اشباع و تاثیر جانمایی لایه ژئوگرید و تعداد آنها برآن در شکل های ۱۸ و ۱۹ ارائه شده است. همچنین نرخ تغییرات مقاومت برشی در لحظه گسیختگی در اثر تسلیح نمودن مصالح در مقایسه با حالت غیر مسلح تعیین گردیده که در جدول های ٦ و ۷ قابل مشاهده است.

در حالت خشک و بدون تسلیح نمونه‌های خاکی، مقاومت برشی در لحظه گسیختگی با افزایش درصد ریزدانه کاهش یافته است. هنگامیکه در نمونه ها یک لایه ژئوگرید جایگذاری می‌شود میزان مقاومت برشی در لحظه گسیختگی مطابق جدول ٦ مشاهده می‌گردد که نسبت به حالت غیر مسلح افزایش می‌یابد. زمانیکه دو لایه ژئوگرید در نمونه ها قرار داده می‌شود، در حالت کلی مقاومت برشی افزایش می‌یابد نسبت به حالت غیر مسلح ولی در مقایسه با حالت یک لایه دارای میزان کمتری است. در نمونه‌های خشک به دلیل تماس بین ذرات و لایه ژئوگرید و چشمه‌های مربوط به آن کاهش نسبت تخلخل حداقل (e_{min}) باعث شده است که بصورت کلی مقاومت برشی در لحظه گسیختگی افزایش یابد ولی به علت آنکه قرارگیری دو لایه ژئوگرید باعث ایجاد نسبت های تخلخل دانه ای و بین دانه بیشتر در مصالح گردیده است تاثیر کمتری در افزایش میزان مقاومت برشی در لحظه گسیختگی دارد. همچنین مشابه با نتایج آزمون نسبت باربری کالیفرنیا مشاهده می‌گردد که با افزایش در صد ریزدانه رس در خاک ماسه‌ای مقدار نسبت تخلخل دانه‌ای افزایش یافته که در نتیجه آن کاهش میزان توانایی باربری و مقاومت برشی اتفاق افتاده است. در حالتی که ۵۰ درصد ریزدانه رسی در خاک ماسه‌ای موجود باشد وجود دو لایه ژئوگرید باعث کاهش میزان مقاومت برشی می‌شود که به دلیل آنکه ۵۰ درصد ریزدانه به عنوان حد مرزی در نسبت تخلخل بین دانه ای مصالح (e_f)مطابق با جدول ۵ است و هنگام جایگذاری دو لایه ژئوگرید ساختار سست ایجاد می‌نماید باعث کاهش میزان مقاومت برشی در نمونه می‌گردد.



شکل ۱۸. تاثیر میزان ریزدانه و لایه‌های ژئوگرید و تعداد آنها بر مقاومت برشی در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه در حالت خشک





شکل ۱۹. تاثیر میزان ریزدانه و لایه‌های ژئوگرید و تعداد آنها بر مقاومت برشی در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه در حالت اشباع

جدول ٦. میزان تاثیر لایه‌های ژئوگرید و تعداد آنها بر مقاومت برشی نمونه‌های مورد مطالعه در مقایسه با حالت غیر مسلح- حالت خشک

درصد ریزدانه	σ=1 kg/cm2		σ=1.5 kg/cm2		σ=2 kg/cm2	
تسلیح	یک لایه	دولایه	یک لایه	دولایه	یک لایه	دولایه
۱۰۰	٪۵۱	٪٤۱	٪۳٤	٪۳۲	٪۲۷	٪۲۳
۷۵	٪۱۸	٪۱	٪۱۱	٪۳	٪۱۳	٪۲
۵۰	٪٤	-٪۵	٪۸	-٪۱	٪۸	-٪۳
۲۵	٪۱۷	٪۱٤	٪۱٦	٪۱۳	٪۲۰	٪۱۲
۰	٪۲۱	٪۱٤	٪۱۰	٪٦	٪۲۰	٪۱۰

جدول ۷. میزان تاثیر لایه‌های ژئوگرید و تعداد آنها بر مقاومت برشی نمونه‌های مورد مطالعه در مقایسه با حالت غیر مسلح- حالت اشباع

درصد ریزدانه	σ=1 kg/cm2		σ=1.5 kg/cm2		σ=2 kg/cm2	
تسلیح	یک لایه	دولایه	یک لایه	دولایه	یک لایه	دولایه
۱۰۰	٪۲	٪۱	٪٤	٪۱	٪۱۱	٪۷/۵
۷۵	٪۱٦	٪۱۱	٪۲۱	٪۱۱	٪۲۳	٪۱۱
۵۰	٪۵۰	٪۲۳	٪٤٤	٪۲۲	٪۲٦	٪۱۵
۲۵	٪۳۷	٪۱۷	٪۱۷	٪٦/۵	٪۲۱	٪۱۲
۰	٪۱۲	٪٦	٪۲۲	٪۳۰	٪۱۲	٪۱۵

در حالت خشک و بدون تسلیح نمونه‌های خاکی، مقاومت برشی در لحظه گسیختگی با افزایش درصد ریزدانه کاهش یافته است. هنگامیکه در نمونه ها یک لایه ژئوگرید جایگذاری می‌شود میزان مقاومت برشی در لحظه گسیختگی مطابق جدول ٦ مشاهده می‌گردد که نسبت به حالت غیر مسلح افزایش می‌یابد. زمانیکه دو لایه ژئوگرید در نمونه ها قرار داده می‌شود، در حالت کلی مقاومت برشی افزایش می‌یابد نسبت به حالت غیر مسلح ولی در مقایسه با حالت یک لایه دارای میزان کمتری است. در نمونه‌های خشک به دلیل تماس بین ذرات و لایه ژئوگرید و چشمه‌های مربوط به آن کاهش نسبت تخلخل حداقل (e_{min}) باعث شده است که بصورت کلی مقاومت برشی در لحظه گسیختگی افزایش یابد ولی به علت آنکه قرارگیری دو لایه ژئوگرید باعث ایجاد نسبت های تخلخل دانه‌ای و بین دانه بیشتر در مصالح گردیده است تاثیر کمتری در افزایش میزان مقاومت برشی در لحظه گسیختگی دارد. همچنین مشابه با نتایج آزمون نسبت باربری کالیفرنیا مشاهده می‌گردد که با افزایش در صد ریزدانه رس در خاک ماسه‌ای مقدار نسبت تخلخل دانه‌ای افزایش یافته که در نتیجه آن کاهش میزان توانایی باربری و مقاومت برشی اتفاق افتاده است. در حالتی که ۵۰ درصد ریزدانه رسی در خاک ماسه‌ای موجود است وجود دو لایه ژئوگرید باعث کاهش میزان مقاومت برشی می‌شود که به دلیل آنکه ۵۰ درصد ریزدانه به عنوان حد مرزی در نسبت تخلخل بین دانه ای مصالح (e_f)مطابق با جدول ۵ است و هنگام جایگذاری دو لایه ژئوگرید ساختار سست ایجاد می‌نماید باعث کاهش میزان مقاومت برشی در نمونه می‌گردد.

در حالت اشباع و بدون تسلیح نمونه های خاکی، مقاومت برشی در لحظه گسیختگی با افزایش میزان درصد ریزدانه تا ۷۵ درصد کاهش یافته و سپس مقدار آن افزایش یافته است. هنگامی‌که در نمونه‌ها یک لایه ژئوگرید قرار داده می‌شود مقاومت برشی در لحظه گسیختگی مطابق جدول ۷ بصورت عمومی در مقایسه با حالت غیر مسلح افزایش می‌یابد. همچنین، هنگامیکه دو لایه ژئوگرید در نمونه ها جایگذاری می‌شود نیز مقاومت برشی افزایش می‌یابد ولی مشابه به حالت خشک نرخ آن در مقایسه با حالت یک لایه ژئوگرید کمتر است. همانند نمونه‌های خشک در حالت اشباع به دلیل خاصیت شکل پذیری و تراکم پذیری رس از یک سو و چشمه‌های لایه های ژئوگرید

و تماس بین ذرات و آنها از سوی دیگر باعث شده است که بصورت کلی مقاومت برشی در لحظه گسیختگی افزایش یابد ولی به علت آنکه قرارگیری دو لایه ژئوگرید باعث ایجاد ساختار ناپیوسته در بین ذرات مصالح گردیده است در نتیجه تاثیر کمتری در افزایش میزان مقاومت برشی در لحظه گسیختگی دارد. در حالت کلی با مشاهده نتایج حاصل از آزمایش برش مستقیم در تحقیق حاضر می‌توان دریافت که مقاومت برشی نمونه های مسلح شده مورد مطالعه بطور متوسط در شرایط خشک(یک لایه ۱۹/۲ درصد ، دولایه ۱۰/۸ درصد) و در شرایط اشباع (یک لایه ۲۱/۲ درصد ، ۱۸/۳ درصد) افزایش یافته است. با در نظر گرفتن مطالعه آزمایشگاهی صورت گرفته توسط عبدی و ارجمند در سال ۲۰۱۰ که مشاهده نموده است که با جایگذاری یک لایه ژئوگرید در قسمت میانی نمونه خاک رسی میزان مقاومت برشی کل ۱۰ درصد افزایش یافته است و مدل سازی عددی صورت گرفته توسط خبیری در سال ۲۰۱۱ و خداکرمی و خاکپور مقدم در سال ۲۰۱۷ که مشاهده نمودند که بهینه ترین عمق استقرار لایه ژئوگرید در بدنه راه در خاک بستر نرم به ترتیب بین ۱۰ تا ۲۵ سانتیمتر متغیر هست و هرچه لایه ژئوگرید به سطح رویه راه نزدیکتر باشد می‌تواند از میزان نشست و تغییر شکل قائم می‌کاهد. با توجه به اینکه مصالح مورد مطالعه مخلوط ماسه- رس است و ذرات ماسه با قرار گیری در بین چشمه های لایه های ژئوگرید می‌تواند بر نتایج بدست آمده از آزمون برش مستقیم تاثیر گذار باشد. بنابراین نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر با توجه به مطالعات انجام یافته گذشته قابل قبول و استناد است. اگرچه لازم بذکر است که پارامترهای مختلفی همچون ضخامت ژئوگرید، اندازه چشمه ژئوگرید، ضریب پواسون، مدول الاستیسیته ژئوگرید و اندازه ذرات مصالح بر نتایج می تواند تاثیر گذار باشد که پیشنهاد می‌گردد که در تحقیقات آینده در این زمینه ها مطالعات صورت گیرد.

۷. جمع بندی و نتیجه گیری

همچنانکه در بخش‌های گذشته به آن اشاره گردید منظور از تحقیق حاضر بررسی امکان بهسازی و افزایش میزان توانایی باربری خاکهای مخلوط ماسه- رس با کاربرد لایه های ژئوگرید جهت استفاده در احداث لایه های بستر راه ، زیراساس و اساس در بدنه راه است. در این تحقیق همچنین اثر جانمایی و تعداد لایه های ژئوگرید مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مصالح مخلوط یکی از مناسب ترین پارامترها جهت ارزیابی رفتاری تحت اثر بارهای وارده بررسی تغییرات نسبت های تخلخل دانه ای(e_s) و بین دانه ای(e_f) در ساختار و ماتریس ذرات است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اشاره نمود که در حالت غیر مسلح با افزایش میزان درصد ریزدانه در خاک ماسه ای به دلیل ایجاد ساختار سست با توجه به نسبت تخلخل دانه ای که روند افزیشی نشان می‌دهد میزان توانایی باربری و مقاومت فشاری و مقاومت برشی در شرایط های خشک و اشباع کاهش می‌یابد. هنگامیکه یک لایه ژئوگرید در قسمت میانی نمونه های مورد مطالعه قرار داده می‌شود، با توجه به اندرکنشی که لایه ژئوگرید و چشمه های آن با مصالح خاکی مورد مطالعه بوجود آوردند باعث کاهش میزان نسبت تخلخل حداقل گردیده و در نتیجه میزان مقاومت فشاری بطور متوسط با توجه به نتایج آزمون CBR در حالت خشک به اندازه ۱۰درصد و در حالت اشباع به میزان ۳۸درصد افزایش می‌یابد و همچنین مقاومت برشی نمونه‌های مورد مطالعه بطور متوسط در شرایط خشک(یک لایه ۱۹/۲ درصد ، دولایه ۱۰/۸ درصد) و در شرایط اشباع (یک لایه ۲۱/۲ درصد ، ۱۸/۳ درصد) افزایش نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان اشاره کرد که محل بهینه قرارگیری و تعداد لایه ژئوگرید، بصورت یک لایه و در قسمت میانی مصالح است که با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط عبدی و ارجمند و مدل سازی عددی بوسیله خبیری، خداکرمی و خاکپور و اولیویر قابل استناد است. همچنین میزان تورم در شرایط اشباع در مصالح ریزدانه رسی و حاوی ۲۵درصد ماسه زمانیکه یک لایه ژئوگرید قرار داده می‌شود کاهش یافته است. در مقابل، هنگامیکه دو لایه ژئوگرید در مصالح مورد مطالعه جایگذاری گردید، مشاهده شد که بدلیل ایجاد ناپیوستگی و کاهش تماس و اصطکاک بین ذرات و با توجه به افزایش میزان نسبتهای تخلخل حداقل و دانه ای تاثیر کمتری در مقایسه با حالت یک لایه در بهسازی مصالح مورد مطالعه داشته باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در تحقیقات آتی علاوه بر آنکه تاثیر ابعاد چشمه ها، ضخامت لایه های ژئوگرید، تعداد لایه ها، نحوه قرارگیری ترتیب مصالح لایه های خاکی و میزان انرژی تراکم مورد ارزیابی قرار گرفته و رفتار دینامیکی مصالح تسلیح

شـده با ژئوگرید و تاثیر آنها بر خصـوصیات و پاسخ دینامیکی مصالح تعیین گردد.

۸. پی نوشت‌ها

1-Global void ratio
2- Sand skeleton void ratio
3- Integrating void ratio
4- Geosynthetic
5- Geotextile
6- Geogrid
7- American Society for testing and materials
8- California bearing ratio test (CBR)
9-Swelling

۹. مراجع

-Abdi, M. R. and Arjomand, M. A. (2010) "Feasibility study of improving clay- geogrid interaction by using thin layer of sand", Journal of Civil Engineering, Ferdowsi University, Vol. 21, No.2, pp. 85-100. (*In Persian*)

-Abdi, M. R., Mirzaiefar, H., Rafienia, M. and Malekzade, H. (2016) "Lime stabilized clay reinforced with geogrids", Journal of Experimental Research in Civil Engineering, Vol.3, No.1, pp.63-73. (*In Persian*)

-ASTM D421-85 (1985) "Dry preparation of soil samples for particle-size analysis and determination of soil constants", Annual book of ASTM standards, (reapproved 1998).

-ASTM D422-63 (1963) "Standard test method for article-size analysis of soils", Annual book of ASTM standards (reapproved 1998).

-ASTM D 4318-95a (1995) "Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index for soils", Annual book of ASTM standards.

-ASTM D 854-02 (2002) "Standard test method for specific gravity of soil solids by water pycnometer", Annual book of ASTM standards.

-ASTM D 2419-02 (2002) "Standard test method for sand equivalent value of soils and fine aggregate", Annual book of ASTM standards.

-ASTM-D 698-00 (2000) "Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft^3 (600 kN-m/m^3))", Annual book of ASTM standards.

-ASTM D1883-93, (1993) "Standard test method for CBR (California bearing ratio) of laboratory- compacted soils", Annual book of ASTM standards.

-ASTM-D 5321 (2005) "Standard testing method for determining the coefficient of soil and geosynthetic or geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear test method", Annual book of ASTM standards.

-Biswas, A., Kumar Dash, S. and Krishna A. M (2015) "Behavior of geogrid reinforced foundation systems supported on clay subgrades of different strength", International Journal of Geosynthetic and Ground Engineering, Vol.1, No.20, pp. 9-11.

-Dhule, S. B., Valunjkar, S. S., Sarkate, S. D. and Korrane, S. S. (2011) "Improvement of flexible pavement with use of geogrid", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, (EJGE), Vol.16, Bundle C, pp. 269-279.

-Giroud, J. P. and Han, J (2004a) "Design method for geogrid reinforced unpaved roads. i. development of design method", Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, ASCE, Vol.130, No.8, pp.775-786.

-Giroud, J. P. and Han, J (2004b) "Design method for geogrid reinforced unpaved roads. ii. Calibration and application", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.130, No.8, pp.787-797.

-GlasGrid-GC Datasheet, ADFORDS SAINT-GOBAIN Technical Fabrics (www.sgtf.com).

-Iran Highway Asphalt Paving Code (2011) No.234, 1st Edition. (*In Persian*)

-Kazi, M., Shukla, S. K. and Habibi, D. (2015a) "Effect of submergence on settlement and

the CBR value of soft clay", International Journal of Civil Engineering, Vol. 7, No.2, pp.124-130.

-Nazari, R. and Dabiri, R. (2016) "Comparison of geotextile layers effects on static and dynamic behavior of pavement", Journal of Structural Engineering and Geotechniques, Vol. 6, No.2, pp. 15-22.

-Oliver, T., Dobie, M. and Buckley, J. (2016) "Incorporating the benefits of mechanical stabilisation of unbound layers into a mechanistic-empirical analysis tool to improve permanent road performance", In ARRB Conference, 27th, 2016, Melbourne, Victoria, Australia.

-Raymond, G. and Ismail, I. (2003) "The effect of geogrid reinforcement on unbound aggregates", Geotextile and Geomembranes, Vol.21, pp.355-380.

-Sadeghi Azar, K. and Dabiri, R. (2015) "The effects of geotextile layers on bearing capacity of gravel-silt mixture", Trakya University, Journal of Engineering Science, Vol.16, No.2, pp.61-69.

-Shahie, J., Ameri, M. and Khani Sanij, H. (2010) "Evaluation of the effect of geotextile on life fatigue of pavement asphalt in Iran", Journal of Transportation Engineering, Vol.2, No.1, pp.41-51. (*In Persian*)

-Thevanayagam, S. (2000) "Liquefaction potential and undrained fragility of silty soils", Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, pp.8.

-Williams, E. D. and Okine, N. A. (2008) "Effect of geogrid in granular base strength – An experimental investigation", Construction and Building Materials, Vol. 22, pp.2180-2184.

bearing capacity of surface strip footing on geotextile- reinforced sand bed", International Journal of Geosynthetic and Ground Engineering, doi:10. 1007/s40891-014-0006-y.

-Kazi M., Shukla, S. K. and Habibi, D. (2015b) "An improved method to increase the load-bearing capacity of strip footing resting on geotextile-reinforced sand bed", Indian Geotechnical Journal, Vol.45, No.1, pp.98–109.

-Khabiri, M. M. (2011) "Geosynthetic material suitable depth staying to control failure of pavement rutting", Advanced Materials Research, Vols. 255-260, pp. 3454-3458.

-Khodakarami, M. I. and Khakpour Moghaddam, H. (2017) "Evaluating the performance of rehabilitated roadway base with geogrid reinforcement in the presence of soil-geogrid-interaction", Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, Vol.5, No.1, pp.33-46.

- Kim, D. and Ha, S. (2014) "Effects of particle size on the shear behavior of coarse grained soils reinforced with geogrid", Materials, Vol.7, pp. 963-979.

-Kumar Senthil, P. and Rajkumar, R. (2012) "Effect of geotextile on CBR strength of unpaved road with soft subgrade", Electronic Journal Of Geotechnical Engineering, (EJGE), Vol.17, Bundle J, pp.1355- 1363.

-Latha, G. M. and Murthy, V. S. (2007) "Effects of reinforcement form on the behavior of geosynthetic reinforced sand", Geotextiles and Geomembranes, Vol.25, No.1, pp.23-32.

-Naeinie, S. A. and Mirzakhanlari, M. (2008) "The effect of geotextile and grading on the bearing ratio of granular soils", Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE), Vol.13, Bundle J, pp. 1- 10.

Naeinie, S. A. and Ziyaie Moayed, R. (2009) "Effect of plasticity index and reinforcement on

فرزانه اسلامی تبار، درجه کارشناسی در رشته زمین شناسی را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی زمین شناسی را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان کاربرد ژئوگرید و مقاومت مصالح و کاربرد شیمی در زمین شناسی بوده و در حال حاضر کارمند آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی در شهر ارومیه است

روزبه دبیری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران- عمران را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- مهندسی زلزله را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران- ژئوتکنیک از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ژئوتکنیک لرزه ای، بهسازی خاک ها، اصلاح مصالح لایه های روسازی راه، ژئوتکنیک زیست محیطی، مهندسی پی و ابنیه ژئوتکنیکی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز است.