

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه دکتری Ph.D.

مهندسی عمران - ژئوتکنیک

عنوان:

ظرفیت باربری پی نواری مجاور دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل

استاد راهنما:

دکتر آرش رزم خواه

دکتر حسن قاسم زاده

استاد مشاور:

دکتر مسعود عامل سخی

پژوهشگر:

فواد چنگیزی

۹۴۸۲۷۱۰۰۸۹

تابستان ۱۴۰۱

تشکر و قدردانی

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان مادرم

به همسر عزیزم در فراز و نشیب زندگی و نیز در طی دوران تحصیل، سختیهای زیادی را متحمل شدید

و خانواده‌ام به پاس ایثار و فداکاری هایشان

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بگویم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌تان را سپاس
نتوانم بگویم.

سپاس از تمام آموزگاران که از کودکی تا کنون راهنمایم بوده‌اند، معلم‌م در مدرسه و استادانم در دانشگاه؛
سپاس ویژه دارم از استادان راهنمایم جناب آقایان دکتر رزم‌خواه و دکتر قاسم زاده که با راهنمایی‌های ارزنده خود
این رساله را از کثری‌های فراوان پیراستند. و نیز راهنمائیهای جناب آقای دکتر عامل‌سخی استاد مشاور بنده که
ایشان نیز در خصوص پاره‌ای از موارد نکات ارزنده‌ای را یادآور شدند.
سپاسگزارم سپاس ایند منان که این توفیق را به من عطا فرمود که در این عرصه گام نهم و حاصل بخشی از تلاش
خود را با ارائه این پایان نامه تقدیم دوست داران علم و دانش و اهل تحقیق نمایم.

و در پایان از تمامی عزیزانی که در طول انجام این پروژه مرا یاری کرده‌اند کمال تشکر و قدردانی را ابراز

می‌نمایم.



نشور اخلاق پژوهش

بایاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظریه اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، مادران و انشویان و اعضاء هیئت علمی واحد های دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

- ۱- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.
- ۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهشگران (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.

۳- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.

۴- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

۵- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب‌داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.

۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.

۷- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب تقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.

۸- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.

۹- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه‌ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه‌های غیر علمی می‌آلایند.



تعهدنامه اصالت رساله یا پایان نامه

اینجانب فواد چنگیزی دانش آموخته مقطع دکتری تخصصی در رشته مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک که در تاریخ - از رساله خود تحت عنوان ظرفیت باربری پی نواری مجاور دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل با کسب نمره - از - و درجه - دفاع نموده ام، بدینوسیله متعهد می-شوم:

۱- این رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده ام.

۲- این رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهش و فناوری واحد مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۴- چاپ مقاله جدید مستخرج از رساله به شکل کتاب یا مقاله یا محصول فرهنگی دیگری به نام شخص و نهاد دیگری غیر از پژوهشگر و استاد راهنما و دانشگاه آزاد اسلامی مجاز نخواهد بود.

۵- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می پذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچ گونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: فواد چنگیزی

تاریخ و امضاء: -

بسمه تعالی

در تاریخ: -

دانشجوی دکتری آقای فواد چنگیزی از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره - بحروف - با درجه مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء داوران

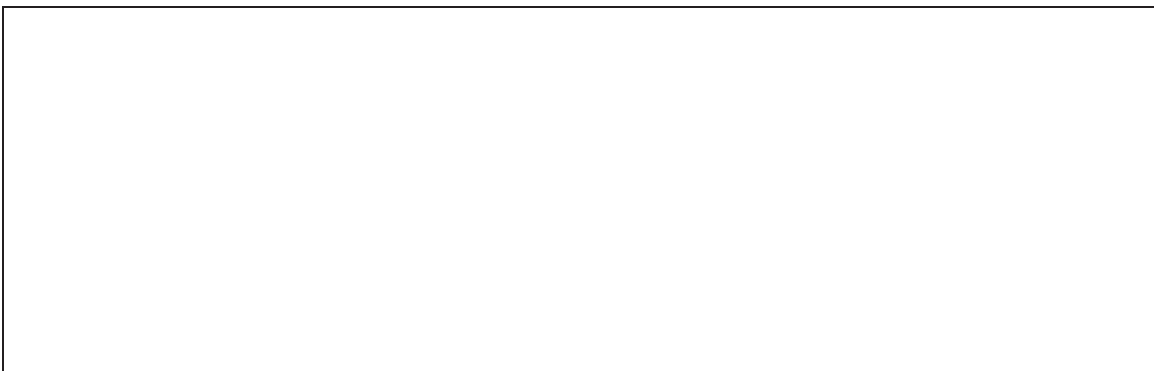
امضاء استاد مشاور

امضاء استاد راهنما

دکتر مسعود عامل سخی

دکتر آرش رزم خواه

دکتر حسن قاسم زاده



بسمه تعالی

دانشکده فنی و مهندسی

(این چکیده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهیه شده است)

نام واحد دانشگاهی: تهران جنوب	کد واحد: ۱۴۱	کد شناسایی پایان نامه: -
عنوان پایان نامه به (فارسی): ظرفیت باربری پی نواری مجاور دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل		
عنوان پایان نامه به (انگلیسی): Bearing capacity of strip foundation adjacent to geocell-reinforced soil wall		
نام و نام خانوادگی دانشجو: فواد چنگیزی	مقطع تحصیلی: دکتری	تاریخ شروع رساله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۹
شماره دانشجویی: ۹۴۸۲۷۱۰۰۸۹	رشته و گرایش تحصیلی: مهندسی عمران - ژئوتکنیک	تاریخ اتمام رساله: -
استاد راهنما اول: دکتر آرش رزم خواه	استاد راهنما دوم: دکتر حسن قاسم زاده	استاد مشاور دوم: -
استاد مشاور اول: دکتر مسعود عامل سخی	نشانی و شماره تلفن و پست الکترونیکی: تهران - خیابان پیروزی - بلوار ابوذر - کوچه چهارم شرقی - پلاک ۱۶ - واحد ۱	تلفن: -
تلفن همراه: ۰۹۰۳۸۲۵۶۵۸۰	پست الکترونیکی: St_f_changizi@azad.ac.ir	چکیده پایان نامه فارسی و انگلیسی (شامل بیان مسئله و هدف، روش ها و ابزارهای اجرا و نتایج به دست آمده):
فارسی: استفاده از مصالح ژئوسنتتیک در بهبود ظرفیت باربری پی تاریخیچه طولانی دارد. همچنین استفاده از مصالح ژئوسنتتیک در سازه نگهبان رایج می باشد. دیوارهای خاک مسلح شده با ژئوسنتتیک به دلیل عملکرد خوب خود در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی مورد توجه مهندسين عمران قرار گرفته است. میان مصالح ژئوسنتتیک ژئوسل در مقایسه با مسلح کننده های صفحه ای به دلیل توانایی در محصور کردن ذرات خاک عملکردی بهتری جهت بهبود ظرفیت باربری خاک دارد. در این تحقیق اثر ژئوسل به عنوان مسلح کننده روی ظرفیت باربری خاک، نشست پی و جابجایی افقی دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل مورد ارزیابی قرار می گیرد. برای این هدف، بوسیله مدلسازی فیزیکی دیوار خاک مسلح و همچنین پی نواری روی خاک پشت دیوار، رفتار دیوار را با تغییر پارامترهایی همچون فاصله سطح خاک تا اولین لایه ژئوسل (u)، فاصله افقی پی تا دیوار (D)، طول و تعداد لایه های ژئوسل مورد مطالعه قرار گرفته است. خروجی آزمایش ها نشان داد که بهترین عملکرد دیوار خاک مسلح را زمانی است که فاصله سطح خاک تا اولین لایه ژئوسل ۰/۱ برابر عرض پی باشد. نتایج نشان دادند که افزایش تعداد لایه های ژئوسل موجب افزایش سختی خاک می شود که همین مسئله موجب افزایش در ظرفیت باربری می شود. با افزایش ۵۰ درصدی تعداد لایه های ژئوسل، جابجایی افقی دیوار تا ۵۰٪ کاهش می یابد و همچنین ظرفیت باربری بین ۵۰٪ الی ۶۰٪ افزایش می یابد. حداقل طول ژئوسل برای جلوگیری از نشست نامتقارن پی از مرکز پی برای هر طرف پی ۱/۳۶ برابر عرض پی بدست آمد. همچنین حداکثر لازم برای رسیدن به حداکثر ظرفیت باربری حدود ۲/۱۶ برابر عرض پی از هر طرف پی می باشد. با رعایت حداقل طول		

ژئوسل، با افزایش فاصله پی از دیوار (D) موجب افزایش در ظرفیت باربری پی و کاهش در جابجایی افقی دیوار می‌شود. با مشاهده فرم گسیختگی دیوار مشخص شده که در $D/H \leq 0.2$ (H ارتفاع دیوار است)، تغییر شکل دیوار به صورت کمانش می‌باشد و برای نسبت‌های بیشتر تغییر شکل دیوار ترکیبی از کمانش و چرخش دیوار به سمت خارج می‌باشد. در نهایت، نتایج روش تحلیلی نشان داد که با در نظر گرفتن اثر محصورکنندگی ژئوسل و همچنین اثر توزیع تنش می‌توان ظرفیت باربری را با دقت خوبی تخمین زد. همچنین نتایج عددی نشان داد که در نظر گرفتن لایه ژئوسل پر شده از ماسه با یک لایه خاک با مقاومت اصلاح شده یک روش مناسب است برای برآورد ظرفیت باربری پی و جابجایی افقی دیوار بوسیله نرم‌افزار پلکسیس دو بعدی.

کلید واژه‌ها:

دیوار خاک مسلح شده، ژئوسل، تغییر مکان جانبی، ظرفیت باربری

انگلیسی:

The use of geosynthetic materials to improve bearing capacity of footing has a long history. Also, the use of geosynthetic materials in the retaining structures has become common. The geosynthetic-reinforced soil (GRS) retaining walls for proper performance under static and seismic loading have been considered by civil engineers. Among geosynthetic materials, the geocell, due to its ability to enclose particle soil, has a good performance in improving bearing capacity of footing compared to planer reinforcement. This study evaluates the effect of geocell as reinforcement on the bearing capacity of the backfill soil, the footing settlement, and the horizontal displacement of the wall facing of the GRS abutment wall. For this purpose, through physical modeling of the abutment wall and strip footing on backfill soil, the behavior of the wall is studied based on changes in the distance of backfill soil surface to the first layer of geocell (u), the distance between the strip footing and the wall facing (D), the length and the number of geocell layers. The output of the experiments showed that the best performance of the geocell-reinforced soil wall can be seen when the distance of the backfill soil surface to the first layer of geocell was 0.1 times the footing width. The results showed that the increase in the number of geocell layers led to enhanced stiffness of backfill, leading to greater bearing capacity of footing. With 50% increase in the number of geocell layers, the horizontal displacement of the wall can be reduced by 60%, and as well as the bearing capacity increases about 50% - 60%. The minimum length geocell layer to prevent the asymmetric settlement of footing was obtained 1.36 times the footing width from the central footing. Also, the maximum length geocell layer to increase the bearing capacity was estimated 2.16 times the footing width. With considering the minimum geocell length, increase in the distance between the footing and the wall facing leads to increase in the bearing capacity of footing and decrease in the horizontal displacement of wall. By observing the form of wall failure, it is determined that at $D/H \leq 0.2$ (H is wall height), the wall deformations were in the form of bulging, beyond which there was a combination of bulging of the facing and rotation about the wall base. Eventually, the results of the analytical method showed that with considering the confinement effect and the stress dispersion effect can be estimated the bearing capacity of the foundation with good accuracy. The numerical results also showed that considering the the sand-filled geocell layer as a soil layer with modified strength is a suitable method for estimate bearing capacity of footing and the horizontal displacement of wall by PLAXIS 2D.

Keywords:

Reinforced-soil wall, Geocell, Horizontal displacement, Bearing capacity

تاریخ و امضاء:

نظر استاد راهنما برای چاپ در پژوهش نامه دانشگاه: مناسب است ☐ مناسب نیست ☐



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

مجتمع / دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه دکتری Ph.D.

مهندسی عمران – ژئوتکنیک

عنوان:

ظرفیت باربری پی نواری مجاور دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل

پژوهشگر:

فواد چنگیزی

امضاء هیأت داوران رساله/ پایان نامه

استاد راهنما (۱): دکتر آرش رزم خواه

استاد راهنما (۲) : دکتر حسن قاسم زاده

استاد مشاور (۱) : دکتر مسعود عامل سخی

داور (۲) :

داور (۱) :

داور (۴) :

داور (۳) :

مدیر گروه : دکتر مهدی نانی

تاریخ دفاع :

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۴	۲-۱ اهمیت و ضرورت تحقیق
۴	۳-۱ اهداف تحقیق
۵	۴-۱ محدودیت‌های تحقیق
۵	۵-۱ جنبه جدید و نوآوری تحقیق
۶	فصل دوم: مروری بر سوابق و تحقیقات انجام شده
۷	۱-۲ مقدمه
۱۰	۲-۲ مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه تسلیح به کمک ژئوسل‌ها
۱۶	۳-۲ مروری بر مطالعات انجام شده بر رفتار دیوارهای خاک مسلح
۴۸	فصل سوم: برنامه آزمایشگاهی جهت بررسی رفتار دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل
۴۹	۱-۳ مقدمه
۴۹	۲-۳ آنالیز ابعادی
۵۲	۳-۳ مصالح مورد استفاده در آزمایش
۵۲	۱-۳-۳ خاک
۵۲	۲-۳-۳ پی نواری
۵۳	۳-۳-۳ مسلح کننده
۵۳	۴-۳-۳ بلوک رویه و اتصال ژئوسل به بلوک‌ها
۵۴	۴-۳ ابزارهای استفاده شده
۵۶	۵-۳ آماده سازی مدل فیزیکی دیوار خاک مسلح
۵۸	۶-۳ روش انجام تحقیق
۶۲	فصل چهارم: نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها
۶۳	۱-۴ مقدمه
۶۳	۲-۴ اثر عمق اولین لایه ژئوسل
۶۳	۱-۲-۴ اثر عمق اولین لایه ژئوسل بر ظرفیت باربری پی
۶۵	۲-۲-۴ اثر عمق اولین لایه ژئوسل بر نشست پی
۶۶	۳-۲-۴ اثر عمق اولین لایه ژئوسل بر جابجایی افقی دیوار

۶۹	۳-۴ اثر فاصله افقی پی از دیوار
۶۹	۱-۳-۴ اثر فاصله افقی پی از دیوار بر ظرفیت باربری پی
۷۱	۲-۳-۴ اثر فاصله افقی پی از دیوار بر جابجایی افقی دیوار
۷۳	۴-۴ اثر تغییر طول لایه ژئوسل در نسبت ثابت D/H
۷۳	۱-۴-۴ اثر تغییر طول لایه ژئوسل در نسبت $D/H = 0.2$ بر ظرفیت باربری پی
۷۴	۲-۴-۴ اثر تغییر طول لایه ژئوسل در نسبت $D/H = 0.2$ بر جابجایی افقی دیوار
۷۵	۵-۴ تغییر نسبت L/H و D/H بر رفتار دیوار
۷۵	۱-۵-۴ اثر تغییر نسبت L/H و D/H بر ظرفیت باربری پی
۷۶	۲-۵-۴ اثر تغییر نسبت L/H و D/H بر جابجایی افقی دیوار
۷۸	۶-۴ مد گسیختگی دیوار خاک مسلح با ژئوسل
۷۸	۱-۶-۴ اثر تغییر نسبت u/B و S_v/H بر مد گسیختگی دیوار
۷۹	۲-۶-۴ اثر تغییر نسبت D/H و L/H بر مد گسیختگی دیوار
۸۲	۷-۴ تجزیه و تحلیل نتایج
۸۶	فصل پنجم: تخمین ظرفیت باربری پی بوسیله رابطه تحلیلی و عددی
۸۳	۱-۵ مقدمه
۸۷	۲-۵ تخمین ظرفیت باربری پی مجاور دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل
۸۷	۱-۲-۵ مقدمه
۸۷	۲-۲-۵ روش تحلیلی تخمین ظرفیت باربری
۹۲	۳-۲-۵ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج تحلیلی
۹۵	۳-۵ شبیه‌سازی دیوار خاک مسلح بوسیله نرم‌افزار پلکسیس
۹۵	۱-۳-۵ روند مدلسازی عددی
۹۶	۲-۳-۵ مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی
۹۸	۳-۳-۵ اثر نسبت‌های D/H و L/H
۱۰۰	۴-۳-۵ اثر ارتفاع ژئوسل
۱۰۱	۵-۳-۵ اثر شیب دیوار
۱۰۵	فصل ششم: نتیجه گیری
۱۰۶	۵-۵ نتیجه‌گیری
۱۰۹	منابع

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۹	شکل (۱-۲) ژئوسل بافته شده به وسیله الف) ژئوگرید ب) ژئونت (Latha & Somwanshi, 2009)
۱۱	شکل (۲-۲) نحوه استفاده ژئوگرید که از چپ به راست نشان دهنده حالت صفحه‌ای، تصادفی و ژئوسل را نشان می‌دهد (Latha & Somwanshi 2009)
۱۱	شکل (۳-۲) تأثیر استفاده از ژئوسل در افزایش ظرفیت باربری: مسلح کننده نمودار سمت راست و چپ به ترتیب ژئونت و ژئوگرید (Latha & Somwanshi 2009)
۱۲	شکل (۴-۲) تأثیر استفاده از ژئوسل در نشست‌های سطحی: (سمت چپ بالا) خاک غیر مسلح، (سمت راست بالا) خاک مسلح با ژئوسل ساخته شده با ژئوگرید، (سمت چپ پایین) خاک مسلح با ژئوگرید، (سمت راست پایین) توزیع تصادفی ژئوگرید (Latha & Somwanshi 2009)
۱۳	شکل (۵-۲) تأثیر عرض و عمق قرارگیری ژئوسل و صفحات ژئوگرید بر افزایش ظرفیت باربری (MoghaddasTafreshi & Dawson, 2010)
۱۴	شکل (۶-۲) اثر عمق قرارگیری ژئوسل بر ظرفیت باربری خاک (MoghaddasTafreshi & Dawson, 2010)
۱۵	شکل (۷-۲) ظرفیت باربری خاک مسلح شده با تعداد لایه‌های مختلف ژئوسل (Moghaddas Tafreshi et al., 2016)
۱۵	شکل (۸-۲) اثر عمق اولین لایه ژئوسل بر ظرفیت باربری (Sherin et al., 2017)
۱۷	شکل (۹-۲) شکل گسیختگی خاک، (a) خاک قبل از لرزش، (b) طول تسمه فلزی ۰/۹ ارتفاع دیوار، (c) طول تسمه فلزی ۰/۷ ارتفاع دیوار، (d) طول تسمه فلزی ۰/۵ ارتفاع دیوار (Yazdandoust, 2017)
۱۸	شکل (۱۰-۲) جابجایی افقی دیوار خاک مسلح در طول مسلح کننده مختلف در شتاب‌های: a) (0.5g) b) (0.6g) c) (0.7g) (Yazdandoust, 2017)
۱۹	شکل (۱۱-۲) جابجایی افقی مسلح کننده در ترازهای مختلف (Benjamin et al., 2007)
۲۰	شکل (۱۲-۲) توزیع تنش افقی خاک پشت دیوار (Won & Kim, 2007)
۲۱	شکل (۱۳-۲) جابجایی افقی دیوار (Wu et al., 2008)
۲۲	شکل (۱۴-۲) فشار تماس در دیوار خاک مسلح (Wu et al., 2008)
۲۳	شکل (۱۵-۲) نمای شماتیم مدل فیزیکی دیوار خاک مسلح (El-Emama & Bathurst, 2007)
۲۳	شکل (۱۶-۲) جابجایی افقی دیوار خاک مسلح تحت شتاب و طول مسلح کننده مختلف و ضخامت دیوار متفاوت (El-Emama & Bathurst, 2007)
۲۴	شکل (۱۷-۲) تغییرات تنش در پشت دیوار خاک مسلح با تغییر طول و فاصله بین مسلح کننده‌ها

- (El-Emama & Bathurst, 2007)
- شکل (۲-۱۸) نمودار توزیع تنش قائم در مسلح کننده (Yang et al., 2009) ۲۴
- شکل (۲-۱۹) توزیع فشار جانبی خاک قبل و بعد از ساخت (Yang et al., 2009) ۲۵
- شکل (۲-۲۰) نمودار جابجایی دیوار در دو تراکم (Ehrlich et al., 2012) ۲۶
- شکل (۲-۲۱) نمودار بار-نشست دیوار در فواصل مختلف پی از دیوار (Xiao et al., 2016) ۲۷
- شکل (۲-۲۲) نمای شماتیک مدل فیزیکی دیوار خاک مسلح (Mirmoradi & Ehrlich, 2016) ۲۸
- شکل (۲-۲۳) نمودار جابجایی دیوار در حالت پای دیوار آزاد، نیمه آزاد و ثابت (Mirmoradi & Ehrlich, 2016) ۲۹
- شکل (۲-۲۴) تنش کششی در طول مسلح کننده (Riccio et al., 2014) ۳۰
- شکل (۲-۲۵) جابجایی افقی دیوار (Rowshanzamir & Aghayarzadeh, 2015) ۳۱
- شکل (۲-۲۶) نشست قائم خاک در فاصله‌های مختلف از دیوار (Rowshanzamir & Aghayarzadeh, 2015) ۳۲
- شکل (۲-۲۷) اثر شیب دیوار بر رفتار دیوار: (الف) جابجایی افقی دیوار، (ب) ماکزیمم نیرو در مسلح کننده، (ج) نشست خاک (Rowshanzamir & Aghayarzadeh, 2015) ۳۳
- شکل (۲-۲۸) بردار جابجایی دیوارهای خاک مسلح با ژئوگریدهای مختلف (Balakrishnan & Viswanadham, 2016) ۳۵
- شکل (۲-۲۹) کرنش بوجود آمده در مسلح کننده (Balakrishnan & Viswanadham, 2016) ۳۷
- شکل (۲-۳۰) میزان کرنش مسلح کننده در ارتفاع دیوار شماره ۱ (Balakrishnan & Viswanadham, 2016) ۳۸
- شکل (۲-۳۱) میزان کرنش مسلح کننده در ارتفاع دیوار شماره ۲ (Balakrishnan & Viswanadham, 2016) ۳۸
- شکل (۲-۳۲) اثر زاویه شیب دیوار بر جابجایی افقی دیوار (Chen & Chiu, 2008) ۳۹
- شکل (۲-۳۳) نشست خاک پشت دیوار در زاویه‌های مختلف (Chen & Chiu, 2008) ۴۰
- شکل (۲-۳۴) انواع دیوار مدلسازی شده (Ling et al., 2009) ۴۱
- شکل (۲-۳۵) جابجایی افقی دیوارها (Ling et al., 2009) ۴۲
- شکل (۲-۳۶) نشست دیوارهای مدل شده (Ling et al., 2009) ۴۳
- شکل (۲-۳۷) نمای شماتیک مدل‌های فیزیکی (Latha & Manju, 2016) ۴۴
- شکل (۲-۳۸) تغییر مکان افقی دیوار در فرکانس و شتاب مختلف برای مدل شماره ۱ (Latha & Manju, 2016) ۴۵
- شکل (۲-۳۹) مقایسه تغییر مکان افقی مدل‌های شماره ۱ و ۳ (Latha & Manju, 2016) ۴۵
- شکل (۲-۴۰) مقایسه تغییر مکان افقی بین دیوارهای شماره ۱ و ۲ (Latha & Manju, 2016) ۴۶
- شکل (۳-۱) نمودار دانه‌بندی خاک ۵۲
- شکل (۳-۲) بلوک‌های رویه دیوار ۵۴

- ۵۴ شکل (۳-۳) (الف) اتصال لایه ژئوسل به بلوک‌های دیوار، (ب) بست کمربندی
- ۵۵ شکل (۴-۳) شماتیک مدل فیزیکی دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل
- ۵۶ شکل (۵-۳) تصویر جعبه بارش به همراه قاب متحرک
- ۵۷ شکل (۶-۳) منحنی دانسیته نسبی بدست آمده از آزمایش‌های بارش ماسه
- ۵۸ شکل (۷-۳) آماده‌سازی مدل فیزیکی دیوار
- ۵۹ شکل (۸-۳) پارامترهای ثابت و متغیر دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل
- ۶۴ شکل (۱-۴) منحنی بار-نشست دیوار در $S_v/H = 0.24$ برای نسبت‌های مختلف u/B
- ۶۴ شکل (۲-۴) منحنی بار-نشست دیوار در $S_v/H = 0.19$ برای نسبت‌های مختلف u/B
- ۶۵ شکل (۳-۴) منحنی بار-نشست دیوار در $S_v/H = 0.16$ برای نسبت‌های مختلف u/B
- ۶۶ شکل (۴-۴) تغییرات نسبت s/B بر حسب تغییرات نسبت u/B در نسبت $S_v/H = 0.16$
- ۶۷ شکل (۵-۴) جابجایی افقی دیوار در نسبت‌های مختلف u/B برای نسبت $S_v/H = 0.24$
- ۶۸ شکل (۶-۴) حداکثر جابجایی افقی دیوار در نسبت $S_v/H = 0.19$ برای نسبت‌های مختلف u/B
- ۶۹ شکل (۷-۴) حداکثر جابجایی افقی دیوار در نسبت $S_v/H = 0.16$ برای نسبت‌های مختلف u/B
- ۷۰ شکل (۸-۴) منحنی بار-نشست دیوار خاک مسلح در نسبت $S_v/H = 0.24$
- ۷۰ شکل (۹-۴) منحنی بار-نشست دیوار خاک مسلح در نسبت $S_v/H = 0.19$
- ۷۱ شکل (۱۰-۴) منحنی بار-نشست دیوار خاک مسلح در نسبت $S_v/H = 0.16$
- ۷۲ شکل (۱۱-۴) جابجایی افقی دیوار در نسبت‌های مختلف D/H برای دیوار در نسبت $S_v/H = 0.16$
- ۷۵ شکل (۱۲-۴) درصد کاهش جابجایی افقی دیوار با کاهش نسبت S_v/H از 0.24 به 0.16 برای طول‌های مختلف
- ۷۶ شکل (۱۳-۴) ظرفیت باربری پی برای نسبت‌های مختلف L/H و D/H
- ۷۸ شکل (۱۴-۴) حداکثر جابجایی افقی دیوار برای نسبت‌های مختلف L/H و D/H در فشارهای مختلف
- ۷۹ شکل (۱۵-۴) مد گسیختگی خاک و تغییر شکل دیوار: (الف) $u/B = 0.3$ ، (ب) $u/B = 0.5$ ، (ج) $u/B = 0.7$ ، (د) $u/B = 1.0$
- ۸۰ شکل (۱۶-۴) الگو و مشخصات هندسی خط گسیختگی در نسبت‌های مختلف D/H : a) $D/H = 0.05$ ، b) $D/H = 0.2$ ، c) $D/H = 0.35$ ، d) $D/H = 0.5$
- ۸۱ شکل (۱۷-۴) تغییر شکل دیوار در با تغییر در نسبت D/H : a) $D/H = 0.05$ ، b) $D/H = 0.5$
- ۸۳ شکل (۱۸-۴) اثر نسبت u/B بر مکانیسم گسیختگی خاک: (الف) $u/B = 0.1 - 0.5$ ، (ب) $u/B = 0.7$ ، (ج) $u/B = 1.0$
- ۸۵ شکل (۱۹-۴) شماتیک گسیختگی دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل
- ۹۱ شکل (۱-۵) شماتیکی از پارامترهای روش تحلیلی
- ۹۳ شکل (۲-۵) شکل (۲-۵) مقایسه ظرفیت باربری پی بدست آمده از روش تحلیلی با نتایج

- آزمایشگاهی: (الف) پی واقع بر سطح زمین افقی، (ب) پی مجاور دیوار
- ۹۴ شکل (۳-۵) مقایسه بار حمل شده پی بدست آمده از مدل‌های آزمایشگاهی و تحلیلی در نسبت‌های مختلف u/B
- ۹۶ شکل (۴-۵) نمای کلی دیوار خاک مسلح در پلکسیس
- ۹۷ شکل (۵-۵) ظرفیت باربری دیوار خاک مسلح بدست آمده از مدل عددی و آزمایشگاهی
- ۹۸ شکل (۶-۵) حداکثر جابجایی افقی دیوار خاک مسلح بدست آمده از مدل عددی و آزمایشگاهی
- ۹۹ شکل (۷-۵) منحنی‌های بار-نشست پی برای نسبت‌های مختلف L/H و D/H : (الف) $L/H = 0.7$ ، (ب) $L/H = 1.0$ ، (ج) $L/H = 1.5$
- ۱۰۱ شکل (۸-۵) منحنی‌های بار-نشست پی مجاور دیوار در ارتفاع مختلف ژئوسل تحت شرایط $L/H = 1.0$ و $D/H = 0.35$
- ۱۰۱ شکل (۹-۵) تغییرات حداکثر جابجایی افقی دیوار در ارتفاع مختلف ژئوسل تحت شرایط $L/H = 1.0$ و $D/H = 0.35$
- ۱۰۲ شکل (۱۰-۵) منحنی‌های بار-نشست پی مجاور دیوار برای شیب‌های مختلف دیوار: (الف) $D/H = 0.2$ ، (ب) $D/H = 0.35$ ، (ج) $D/H = 0.5$
- ۱۰۴ شکل (۱۱-۵) جابجایی افقی دیوار تحت شرایط $L/H = 1.0$ و $D/H = 0.35$ برای شیب‌های مختلف دیوار: (الف) $\alpha = 70^\circ$ ، (ب) $\alpha = 80^\circ$ ، (ج) $\alpha = 90^\circ$
-

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۵۳	جدول (۱-۳) خصوصیات فیزیکی ژئوگرید استفاده شده در ساخت ژئوسل
۶۱	جدول (۲-۳) خلاصه آزمایش‌های دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل
۶۶	جدول (۱-۴) تغییرات نسبت s/B در نسبت‌های مختلف u/B
۷۳	جدول (۲-۴) جابجایی افقی دیوار در نسبت‌های S_v/H برابر ۰/۲۴ و ۰/۱۹
۷۴	جدول (۳-۴) ظرفیت باربری پی برای دیوار در نسبت‌های مختلف L/H و S_v/H
۷۵	جدول (۴-۴) جابجایی افقی حداکثر برای دیوار در نسبت‌های مختلف L/H و S_v/H
۹۵	جدول (۱-۵) مشخصات خاک در مدل عددی
۱۰۰	جدول (۲-۵) حداکثر جابجایی افقی دیوار در نسبت‌های مختلف L/H و D/H در فشارهای مختلف پی

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

در پروژه‌های مختلف راه و ساختمان، به منظور جلوگیری از ریزش خاک و یا نفوذ آب و همچنین پایداری اجزای ساختمانی، از انواع دیوارهای حائل استفاده می‌شود. در حالت کلی متناسب با مصالح مصرفی، شرایط تکیه‌گاهی و تناسب هندسی این دیوارها به دو گروه صلب و انعطاف‌پذیر تقسیم می‌شوند. تکنیک خاک مسلح در اجرای بسیاری از سازه‌ها نظیر: دیوار حائل، دیوار ساحلی، تونل‌ها و دیوارهای پشت پایه کناری پل‌ها استفاده می‌شود. اجزای تشکیل دهنده آن شامل پوسته‌های جانبی از مصالح فلزی با بتن مسلح، تسمه‌های فلزی و یا مواد پلیمری (ژئوسنتتیک) و خاک می‌باشد. خاک مسلح در واقع یک نوع مصالح مرکب و متشکل از خاک و مسلح کننده می‌باشد که کیفیت خاک موجود را بهبود می‌بخشد. دیوارهای خاک مسلح نسبت به سایر دیوارهای حائل دارای مزیت‌هایی از جمله امکان اجرای سریع و ساده خاک مسلح با استفاده از امکانات پیش‌ساختگی، کاهش هزینه‌ها نسبت به سایر دیوارهای حائل و امکان اجرای آن در انواع شیب می‌باشد. انتقال تنش بین عنصر مسلح کننده و خاک بر اساس دو مفهوم است:

الف) اصطکاک بین سطح تماس عنصر مسلح کننده و خاک

ب) مقاومت پسیو خاک اطراف عنصر مسلح کننده نسبت به امتداد حرکت

عناصر مسلح کننده عناصر کلیدی خاک مسلح برای انتقال نیرو از ناحیه محرک به ناحیه مقاوم هستند. یکی از عناصر مسلح کننده تسمه و یا تورهای فلزی می‌باشند که از یک عیب این عناصر خوردگی می‌باشد به همین دلیل امروزه جهت مسلح کردن خاک گرایش به سمت ژئوسنتتیک‌ها بیشتر شده است. ژئوسنتتیک نام مجموعه مصالحی است که از مواد پلیمری ساخته شده و جهت پایداری و بهسازی خاک استفاده می‌شود. امروزه ژئوسنتتیک‌ها به طور گسترده‌ای در مهندسی ژئوتکنیک استفاده می‌شود. از جمله

ژئوسنتتیک مورد استفاده می‌توان به ژئوتکستایل، ژئوگرید، ژئوسل، ژئونت، ژئوممبرین و ژئوکامپوزیت اشاره کرد. ژئوسنتتیک مصرفی برای کارهای ژئوتکنیکی متناسب با کاربری مورد نظر انتخاب می‌شود. دیوارهای ژئوسنتتیک نسبت به دیوارهای حائل دارای مزیت‌هایی می‌باشد که به شرح زیر است:

الف) سیستم سازه‌ای دیوارهای ژئوسنتتیک انعطاف‌پذیرتر است. در مقابل نشست‌های نامتقارن و نیروی زلزله مقاومتر هستند.

ب) پدیده خوردگی بتن و فولاد در دیوارهای ژئوسنتتیک دیده نمی‌شود.

ج) احتیاج به تجهیزات سنگین در اجرای دیوار نیست و در اجرای آن می‌توان از کارگر غیر ماهر استفاده کرد.

د) خاکریز پشت دیوار می‌تواند شامل ریزدانه هم باشد.

در دیوارهای خاک مسلح از ژئوتکستایل و ژئوگرید جهت مسلح سازی استفاده می‌شود. ژئوسل ها مصالحی هستند که در پایدارسازی شیب ها برای کاهش پیامدهای زیست محیطی و کاهش لغزش زمین کاربرد دارد. ژئوسل‌ها به‌عنوان یک عامل تحکیم بستر در کانال‌ها و مسیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، همچنین آن‌ها به‌عنوان یک عامل تقویت‌کننده در زمین‌های سست باتلاقی نیز به شمار رفته و منجر به کنترل فرسایش در شیب‌های تا زاویه ۴۵ درجه خواهند شد. این مصالح جدید درواقع یک عامل مسلح کننده در دیواره‌های شیب‌دار کنار جاده‌ها با امکان ایجاد فضاهای سبز در سلول‌های ژئوسل می‌باشند.

در این تحقیق سعی شده است که بوسیله مدلسازی فیزیکی به ارزیابی تجربی رفتار دیوار خاک مسلح شده بوسیله ژئوسل و ماسه بدانه‌بندی شده با مشخصات فیزیکی مشخص پرداخته شود. از اهداف تحقیق بررسی تغییر مکان افقی دیوار و ظرفیت باربری خاک پشت دیوار در تعداد لایه‌های بهینه ژئوسل می‌باشد که این مهم بوسیله تغییر تعداد لایه‌های ژئوسل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بعد از مشخص شدن تعداد لایه‌های بهینه ژئوسل با تغییر در فاصله افقی پی از لبه دیوار میزان اثر فاصله پی از دیوار بر تغییر مکان افقی دیوار مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین عمق قرار گیری اولین لایه مسلح کننده از بالای دیوار از دیگر عوامل مهم در میزان ظرفیت باربری و نشست خاک پشت دیوار است که در این تحقیق با تغییر عمق اولین لایه مسلح کننده به این مهم پرداخته می‌شود. از نکات حائز اهمیت در رفتار دیوار خاک مسلح طول مسلح کننده است که در این پژوهش با تغییر طول ژئوسل، تغییر مکان افقی دیوار سنجیده می‌شود. در نهایت نحوه گسیختگی خاک و مقایسه آن در حالت‌های مسلح شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از

تکمیل مطالعات آزمایشگاهی، از داده‌های موجود جهت تخمین ظرفیت باربری پی مجاور دیوار خاک مسلح از روش تحلیلی و عددی استفاده می‌شود.

۱-۲ اهمیت و ضرورت تحقیق

در مناطق شهری به علت کمبود فضای کافی، دیوار خاک مسلح به دلیل قائم بودن آن کمترین فضا را اشغال می‌کند، مورد توجه قرار گرفته است. دیوارهای حائل هم در مناطق شهری و هم در راه‌سازی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما مسئله حائز اهمیت در این گونه پروژه‌ها هزینه و مدت زمان اجرا است. از این رو اگر ارتفاع دیوار حائل بیشتر از ۳ متر باشد و یا دیوار حائل نیاز به شالوده عمیق داشته باشد، کاهش هزینه‌های اجرایی در صورت استفاده از سیستم خاک مسلح به طور چشمگیری مشهود است. در دیوارهای خاک مسلح مهمترین عامل مقاومت اصطکاک بین خاک و عنصر مسلح کننده می‌باشد و به همین دلیل در سیستم خاک مسلح از ماسه خوب دانه‌بندی شده استفاده می‌شود. از طرفی امروزه با کاهش خاک با خصوصیات مهندسی مناسب روبه‌رو هستیم و باید استفاده از این نوع دیوارها به سمتی برود که بتوان از خاک همان محل جهت ساخت دیوار استفاده کرد. در این پژوهش از ژئوسل به عنوان مسلح کننده استفاده شده تا از طریق بعد ارتفاع خود ایجاد اصطکاک و مقاومت بیشتری نسبت به مسلح کننده‌های صفحه‌ای ایجاد کند. به عبارتی هدف از این پژوهش بکارگیری یک مسلح کننده جدید (ژئوسل) در دیوارهای خاک مسلح و بررسی رفتار این دیوار مسلح شده و ظرفیت باربری خاک پشت آن می‌باشد. همچنین از دیگر اهداف این پژوهش پی بردن به اثر ژئوسل بر مکانسیم گسیختگی خاک پشت دیوار می‌باشد. امید است که با استفاده از این مسلح کننده جدید بهره‌برداری از دیوارهای خاک مسلح افزایش یابد و با استفاده از یک خاک نامناسب در پشت دیوار و کاهش تعداد لایه‌های مسلح کننده کاهش هزینه اجرای دیوارهای مسلح را به دنبال داشته باشد.

۱-۳ اهداف تحقیق

هدف کلی در این تحقیق ارزیابی رفتار دیوار خاک مسلح شده بوسیله ژئوسل و تغییر مکان افقی دیوار می‌باشد. بررسی رفتار دیوارهای خاک مسلح دارای ابعاد مختلفی است. اما اهداف اصلی در این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

- بدست آوردن اثر تعداد و طول لایه‌های بهینه ژئوسل بر تغییر مکان افقی دیوار

- تعیین عمق اولین لایه مسلح کننده از سطح بالای دیوار
- تعیین ظرفیت باربری خاک پشت دیوار
- بررسی میزان نشست سطح خاک پشت دیوار در تعداد لایه‌های مختلف ژئوسل
- بررسی مکانیسم گسیختگی خاک مسلح شده پشت دیوار بوسیله ژئوسل
- ارزیابی تغییرات تغییر مکان افقی دیوار با تغییر فاصله افقی بارگذاری از لبه دیوار

۴-۱ محدودیت‌های تحقیق

شاید مهمترین محدودیتی که در طول آزمایش با آن روبه‌رو هستیم ایجاد شرایط کرنش مسطح باشد. برای رفع این محدودیت از دو راهکار استفاده شده است. اول جعبه‌ای که مدلسازی در آن انجام می‌گیرد، صلب طراحی شده است و دوم اینکه از یک پی به طولی به اندازه عرض دیوار جهت اعمال بارگذاری استفاده می‌شود. محدودیت بعدی وجود اصطکاک بین ذرات خاک و جداره جعبه آزمایش می‌باشد که جهت محدود کردن اثر این اصطکاک بر نتایج پژوهش از یه ورقه نایلون به ضخامت ۱ میلیمتر استفاده می‌شود. از دیگر محدودیت‌ها تراکم یکسان خاک در آزمایش‌ها است. جهت تراکم خاک با توجه به وزن مخصوص مورد نظر، توده خاک مشخصی در حجم از قبل محاسبه شده‌ای متراکم می‌شوند. شبیه‌سازی زبری پی از دیگر محدودیت‌های آزمایش است.

۵-۱ جنبه جدید و نوآوری تحقیق

در مهندسی ژئوتکنیک ارائه راهکارهای جدید و نوین به طور کلی در راستای افزایش بهره‌برداری و کاهش هزینه و زمان پروژه می‌باشد. تاکنون در دیوارهای خاک مسلح از نوارهای فلزی و ژئوگرید جهت مسلح سازی استفاده شده است. در این تحقیق از یک عنصر مسلح کننده جدید به نام ژئوسل در دیوار خاک مسلح استفاده می‌شود که تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته است. به همین دلیل رفتار دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل ناشناخته می‌باشد که در این پژوهش سعی شده به برخی از پارامتر موثر در رفتار دیوار از جمله تعداد و طول لایه ژئوسل در حالت بهینه، نشست پی، ظرفیت باربری پی مجاور دیوار، جابجایی افقی دیوار و مکانیسم گسیختگی خاک مسلح شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از طرف دیگر در دیوارهای خاک مسلح جهت ایجاد مقاومت اصطکاکی مناسب از مصالح دانه‌ای خوب استفاده می‌شود ولی در این پژوهش از مصالح بد دانه‌بندی شده استفاده می‌شود و امید می‌رود نتایج مناسبی ارائه شود. در واقع این تحقیق سعی دارد تا با مطرح کردن یک مسلح کننده جدید پایداری دیوارهای خاک مسلح افزایش دهد.

فصل دوم:
مروری بر سوابق و تحقیقات انجام شده

۱-۲ مقدمه

ژئوسنتتیک ها موادی هستند که همگام با پیشرفت صنعت پتروشیمی با استفاده از انواع مختلف پلیمرها ساخته می شوند و استفاده از آنها به عنوان مصالحی جدید در طرح های آب و خاک مورد استقبال قرار گرفته است. به طور کلی ژئوسنتتیک عنوانی فراگیر برای توصیف صفحات نازک و انعطاف پذیری است که در داخل توده خاک یا در ارتباط با مصالح خاکی با اهداف مختلفی مانند مسلح سازی، جداسازی، عایق بندی رطوبتی، مهار فرسایش، ایفای نقش صافی فیلتر زهکشی و غیره مورد استفاده قرار می گیرند. در بسیاری از موارد، این ورقه ها ممکن است ترکیبی از وظایف مذکور را به عهده داشته باشند. خواص فیزیکی و مکانیکی ژئوسنتتیک ها هم چون استحکام، نفوذ ناپذیری، مقاومت در برابر فرسایش و از همه مهم تر مقاومت کششی فوق العاده بالای آنها نسبت به وزنشان باعث به وجود آمدن گستره وسیعی از کاربرد این مواد در طرح های عمرانی شده است. از این مصالح در زمینه های مختلف از قبیل بهبود وضعیت خاک، اصلاح موارد زیست محیطی، هیدرولیک و سازه های هیدرولیکی و حمل و نقل استفاده می شود. این مصالح به صورت مصنوعی از مواد لاستیکی و پلاستیکی ساخته می شود و بسته به نوع کاربرد و عملکرد مورد انتظار با اشکال و خواص مختلف تولید می شوند. به علت کاربرد وسیع، سرعت اجرا و قیمت مناسب، تولید و مصرف این مصالح به شدت در حال رشد است. ژئوسنتتیک ها در پروژه های صنعتی، سدسازی، راه سازی، سازه هایی از قبیل دیوار حائل، بهسازی خاک و سایر پروژه ها که با خاک مرتبط هستند کاربرد گسترده ای دارند. در ادامه سعی شده تا مهم ترین اعضای گروه ژئوسنتتیک ها به همراه ساختار فیزیکی و شیمیایی و کاربرد آنها در مهندسی عمران و محیط زیست معرفی شوند.

مهم ترین کاربردهای ژئوسنتتیک ها را می توان به دسته های زیر تقسیم کرد:

• جداسازی؛