

به نام خدا

کاربرد ژئوسنتتیک‌ها در مهندسی
ژئوتکنیک

تاریخچه خاک مسلح:

- قدمت آن به عهد باستان می‌رسد.

- مفهوم فعلی این ایده و روش تحلیل و طراحی آن توسط یک مهندس فرانسوی به نام ویدال (vidal) در سال ۱۹۶۶ بنا نهاده شد.

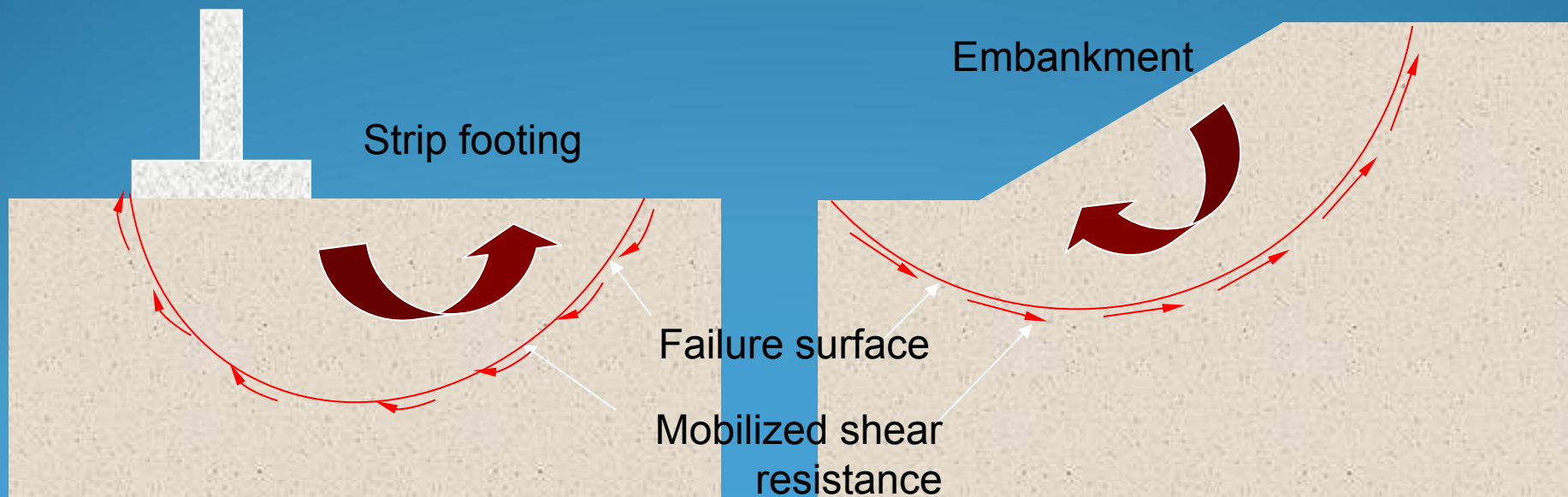
- هزینه بالا، مشکلات اجرایی، زمان اجرا و همچنین ترکیبات شیمیایی که باعث فسادپذیر شدن تسمه‌های فولادی درون خاک می‌گردد، لذا امروزه در پروژه‌های محدودی از این روش برای مسلح نمودن خاک استفاده شود.

- براي رفع اين مشكلات از يك سري منسوجات نفتی كه بعدها از آن به عنوان ژئوسنتتيكها نام برده شد، استفاده شده است.

در تعريف کلی ژئوسنتتيكها منسوجات و يا ورقه‌هایی از الياف نفتی هستند كه خاصيت اصلی آنها فساد ناپذير بودن در مقابل عوامل خورنده درون خاک است، لذا در سالهاي اخير براي رفع اين مشكلات مطالعات زيادي صورت گرفته است.

علت مسلح کردن خاک و اثرات موثر آن

- در حالت اعمال نیروی کششی خاک مقاومت ناچیزی از خود نشان می‌دهد
- بنابراین مسلح‌کننده به عنوان یک عضو کششی سبب افزایش مقاومت کششی خاک می‌شود. از این نقطه نظر خاک مسلح بسیار شبیه به بتن مسلح است
- مسلح‌کننده‌ها به عنوان یک رابط بین دو سمت ناحیه گسیختگی عمل می‌کنند.





معرفی انواع ژئوسنتتیک ها

مقدمه

- علت استفاده از یک سری منسوجات نفتی که بعدها از آن به عنوان ژئوسنتتیکها نام برده شد.
- مواد ژئوسنتتیکها از مواد غیر قابل جذب در طبیعت تشکیل شدهاند که از مشتقات مواد نفتی مثل پلی استر، پلی اتیلن و پلی پروپیلن تولید می شوند.
- مزایا استفاده از ژئوسنتتیکها

تاریخچه

- در زمان فراغنه در ساخت جادهها به کار می رفتند
- ژئوتکستایل های ابتدایی از فیبرهای طبیعی، پارچه یا گیاهان ساخته می شدند
- تشکیل سازمان جهانی ژئوسنتتیک (IGS) در سال ۱۹۸۳ در پاریس

انواع ژئوسنتتیک‌ها

ژئوپایپ‌ها (Geopipes)

ژئومت (Geomat)

ژئوتکستایل (Geotextile)

ژئوممبرین (Geomembrane)

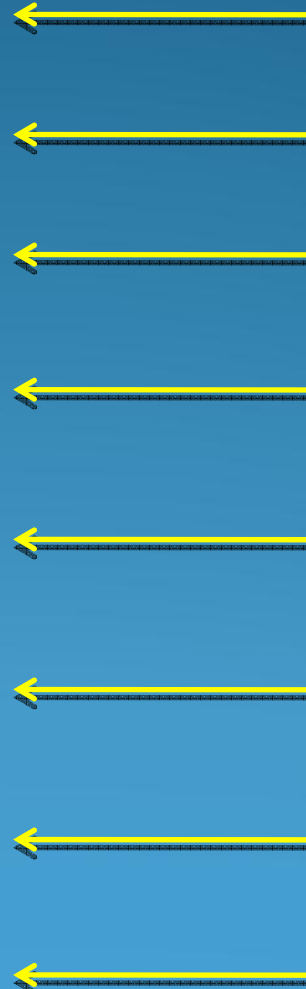
ژئوگرید (Geogrid)

ژئوسل (Geocell)

ژئونت (Geonet)

ژئوکامپوزیت (Geocomposite)

انواع ژئوسنتتیک‌ها



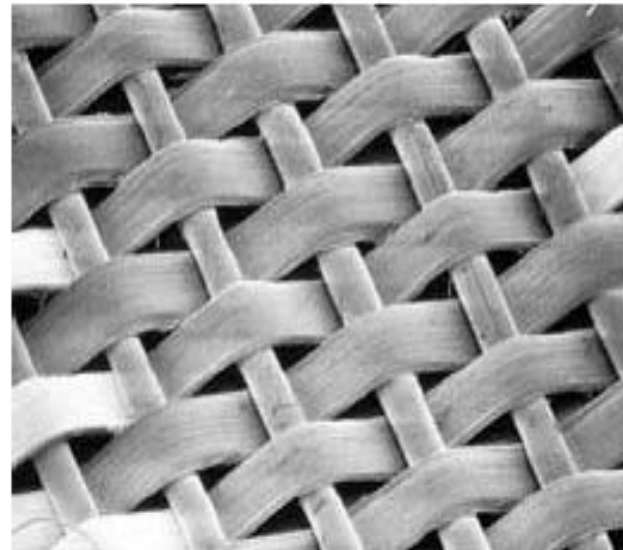
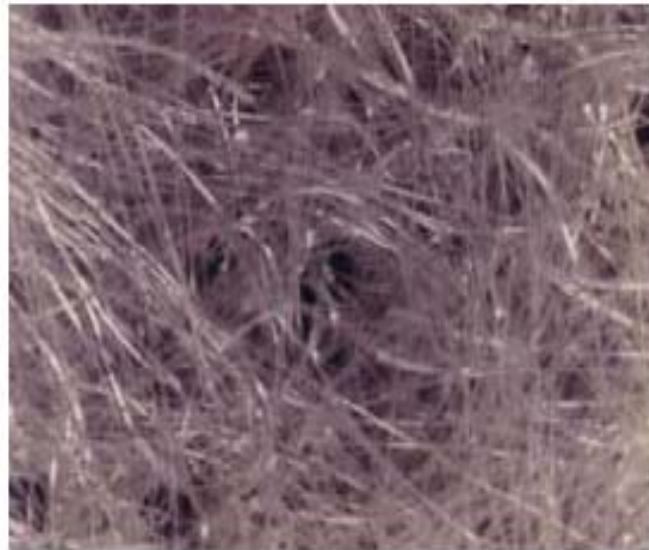
ژئوتکستایل (Geotextile)

- ترجمه تحت الفظی ژئوتکستایل‌ها به معنای پارچه زمین می‌باشد.
- از مشتقات نفت نظیر پلی‌استر، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن و بعضی مواقع از فایبرگلاس ساخته می‌شوند.

ژئوتکستایل‌های بافته شده (Woven geotextiles)

ژئوتکستایل‌های بافته نشده (Unwoven geotextiles)

تقسیم بندی ژئوتکستایل‌ها



ژئوتکستایل ها پنج عملکرد مهم در پروژه های عمرانی می توانند داشته باشند:

زهکشی: آب زیرزمینی در روی ژئوتکستایل های نفوذ ناپذیر میتواند به خوبی جریان پیدا کرده و به سمت نقاط خروجی هدایت شوند.

فیلتر: در صورتی که یک لایه ژئوتکستایل نفوذ پذیر بین دو لایه خاک درشت و ریز قرار داده شود (مانند عمل فیلتراسیون بین هسته رسی و پوسته یک سد خاکی)، زهکشی به راحتی از لایه ریز به لایه درشت انجام شده و از نفوذ دانه های ریز به لایه درشت جلوگیری می شود.

جداسازی: با استفاده از ژئوتکستایل می توان لایه های مختلف خاک را از هم جدا کرد. به عنوان مثال در احداث شاهراهها، بستر رسی را می توان با استفاده از ژئوتکستایل از زیر اساس شنی جدا کرد.

تسلیح: مقاومت کششی ژئوتکستایل باعث افزایش ظرفیت باربری زمین می شود.

کنترل فرسایش: گروه کوچکی از ژئوتکستایل ها وجود دارند که از الیاف فیبری تشکیل شده اند و عمدتاً اینها برای کنترل فرسایش (برای مثال بر روی سطح یک شیروانی) استفاده می شوند.

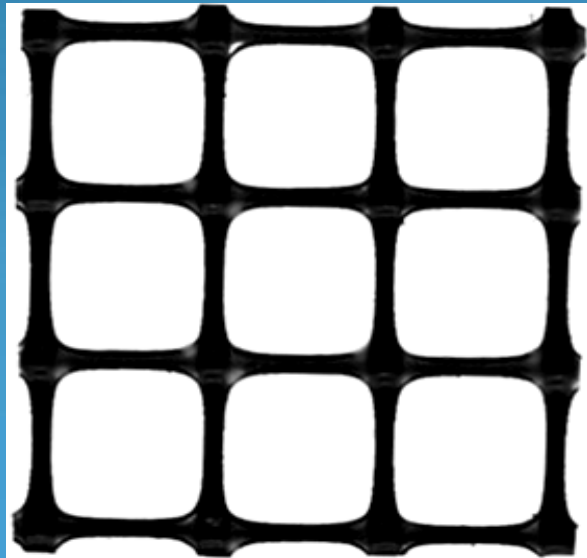
ژئوگرید (Geogrid)

- ژئوگرید به طور وسیعی برای مسلح کردن خاک مورد استفاده قرار می گیرد.
- ژئوگرید از مشتقات نفت نظیر پلی پروپیلین و پلی اتیلن ساخته می شوند.
- ژئوگریدها دارای مقاومت کششی بالایی می باشند و دارای روکش پی وی سی هستند.

ژئوگرید دو محوری (Biaxial geogrid)

ژئوگرید تک محوری (Uniaxial geogrid)

تقسیم بندی ژئوگریدها



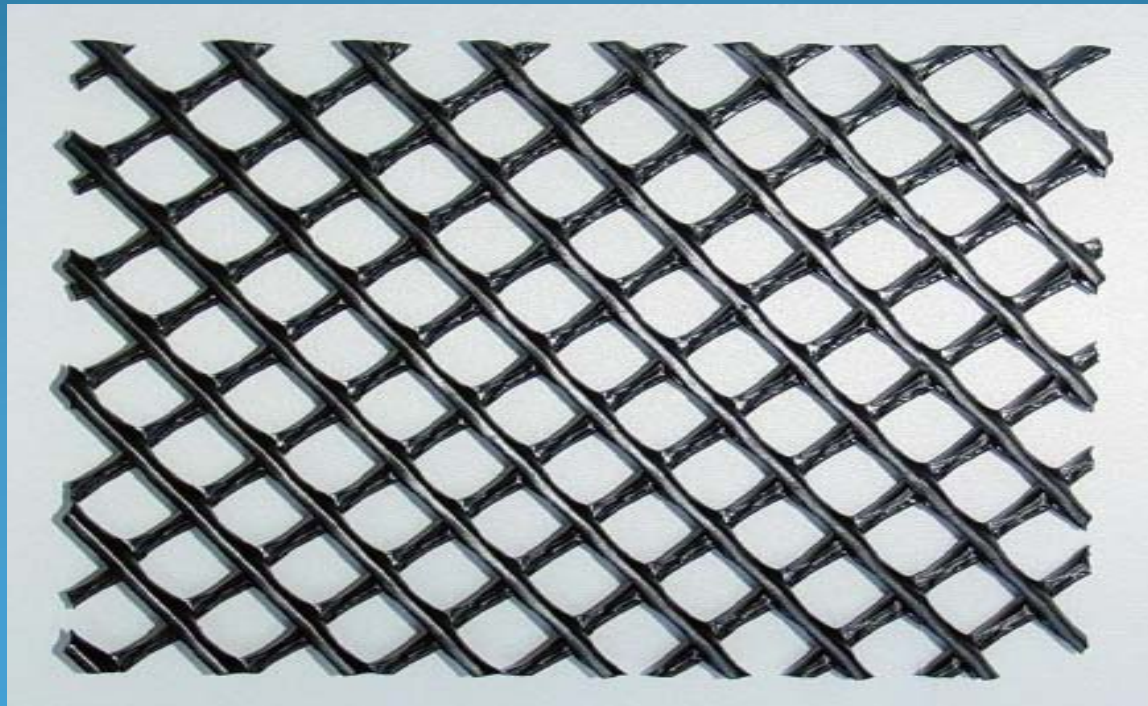
ژئوممبرین (Geomembrane)

- این محصول از مواد پلی اتیلن تشکیل شده‌اند
- ژئوممبرین می‌تواند به تنهایی و یا با انواع پوشش‌ها، چون صفحات بتنی، صفحات ژئوتکستایل و یا سنگ‌ریزه نصب شود.
- مزایا و معایب ژئوممبرین‌های پوشش دار
- کاربرد ژئوممبرین‌ها به عنوان حائل رطوبت و جداکننده



ژئونت (Geonet)

- ژئونت‌ها توری‌هایی هستند که از دو سری نخ که لبه‌های یکدیگر را می‌پوشانند ساخته شده اند و در زاویه‌ای پیوسته از یکدیگر عبور می‌کنند.
- کاربردهای ترکیبی ژئونت‌ها
- تفاوت ساختاری و مقاومتی ژئونت‌ها نسبت به ژئوگریدها



ژئوکامپوزیت (Geocomposite)

- ژئوکامپوزیت‌ها ترکیبی از ژئوتکستایل و ژئوگرید یا ژئوممبرین و ژئوگرید و یا ترکیبی از هر سه مورد می باشد. (به جای ژئوگرید می توان از ژئونت استفاده کرد)
- هدف از ساخت ژئوکامپوزیت‌ها



ژئوسل (Geocell)

- ژئوسلها از یکسری سلول های سه بعدی که در مجاورت هم قرار گرفته اند تشکیل می شود.
- عملکرد اصلی ژئوسلها در تسلیح خاکهای شل می باشد و کاربرد دیگر آن به منظور جلوگیری از فرسایش خاک با پوشش و یا بدون پوشش گیاهی است.



ژئومت (Geomat)

- ژئومت‌ها از الیاف مرکب مصنوعی ساخته شده‌اند تا لایه‌ای بسیار کج و معوج با منافذهای بسیار زیاد را شکل دهد.
- کاربرد ژئومت‌ها در جلوگیری از فرسایش خاک‌های دارای پوشش گیاهی



ژئوپایپها (Geopipes)

- لوله‌های مشبک و یا متخلخل ساخته شده از پلی وینیل کلراید (PVC) و یا پلی اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) می‌باشند.
- جدار این لوله‌ها ممکن است صاف یا موجدار باشد
- کاربرد اصلی ژئوپایپها در عمل زهکشی است.

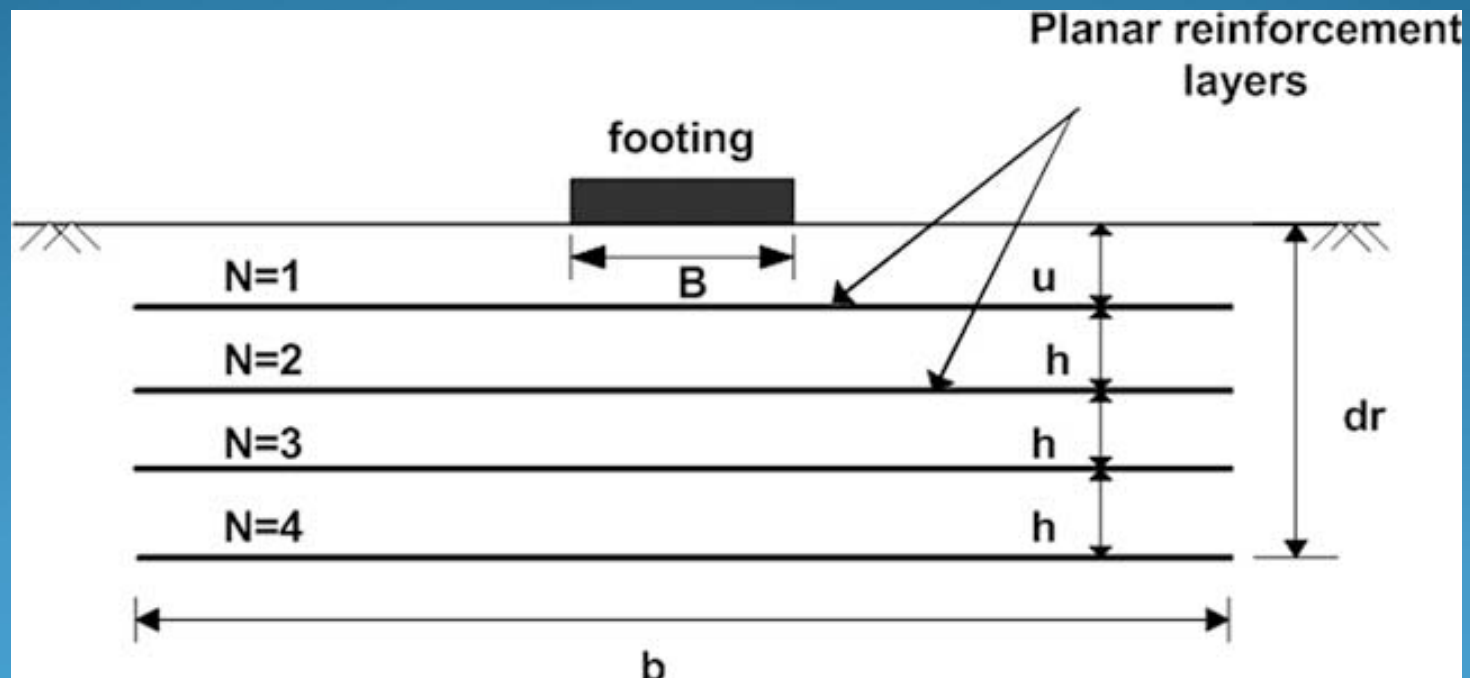


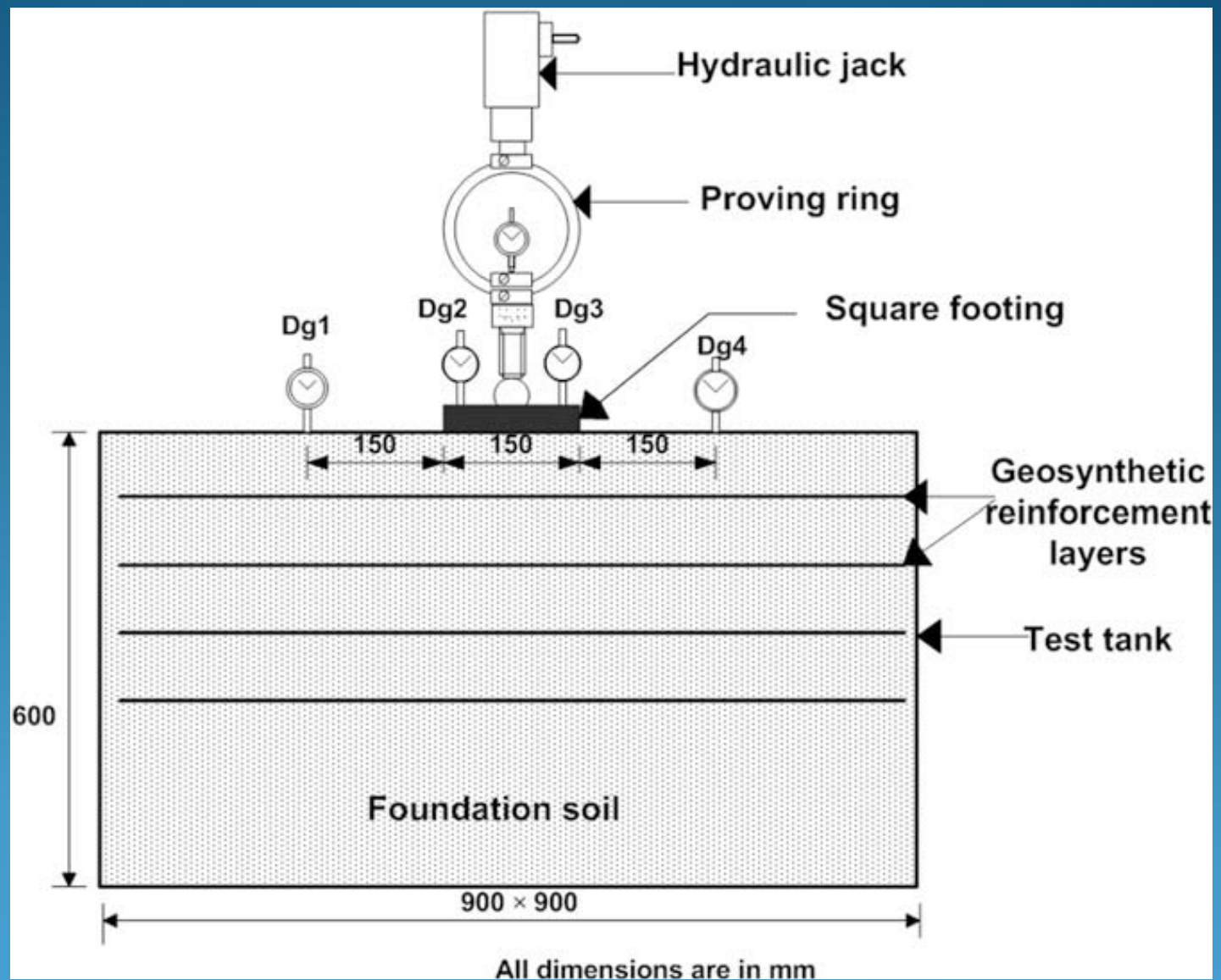
A decorative scroll graphic with a grey body and a vertical tab on the left. The scroll is set against a blue background with wavy lines at the top. The text is written in yellow Persian script.

تسلیح خاک با استفاده از مسلح کننده
صفحه‌ای

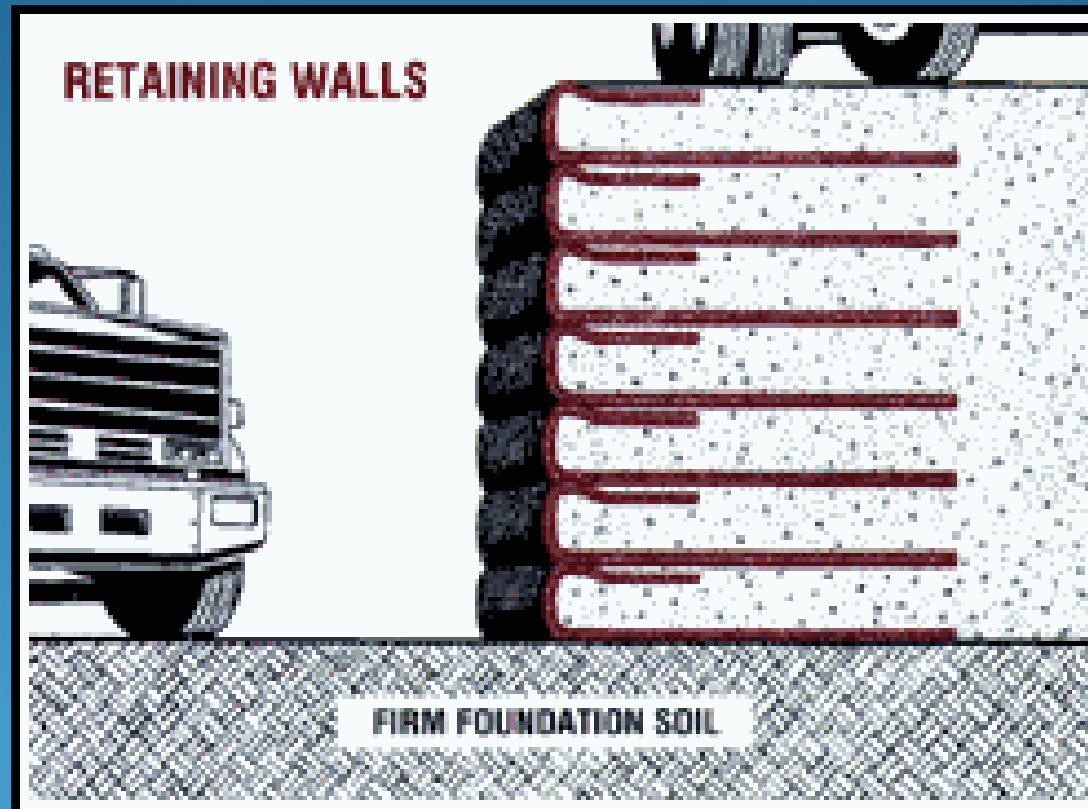
کاربردها

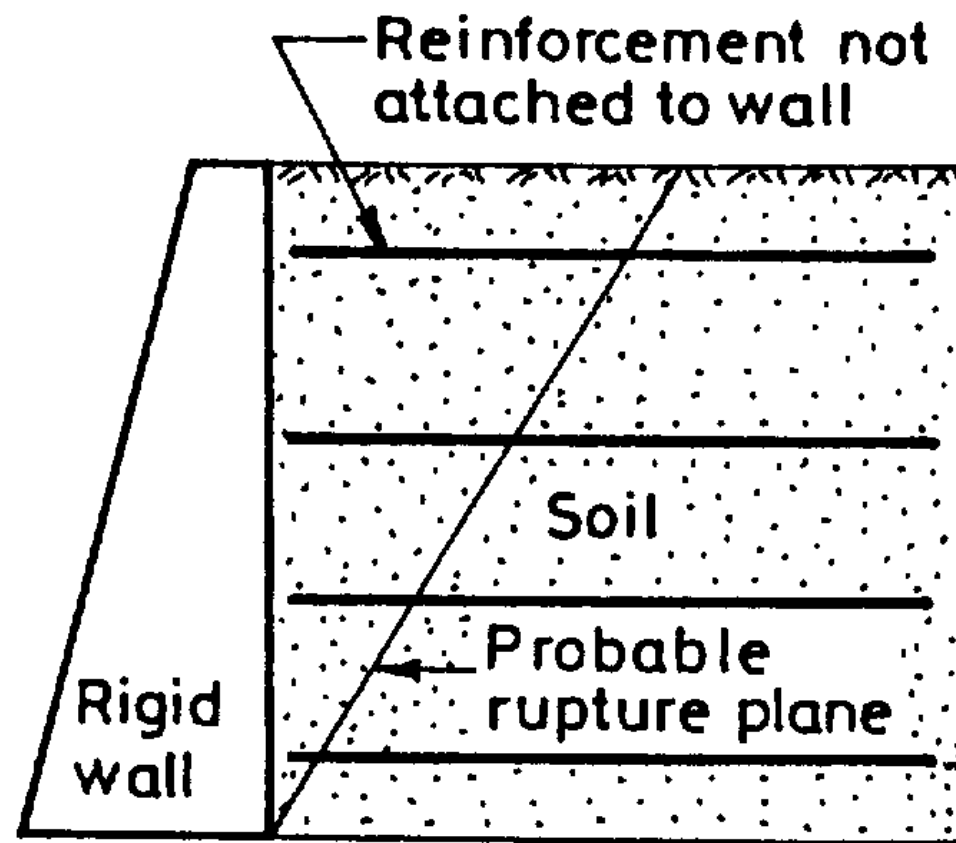
- روش های مختلف تسلیح خاک به جهت افزایش ظرفیت باربری و همچنین کنترل نشست پی ها





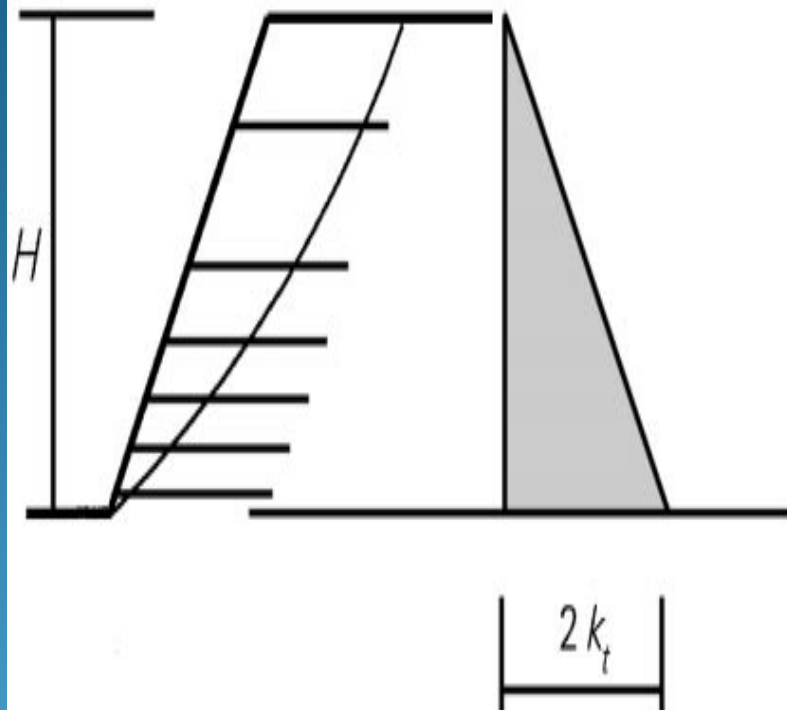
۲- تسلیح خاکریزها، دیوارهای حایل





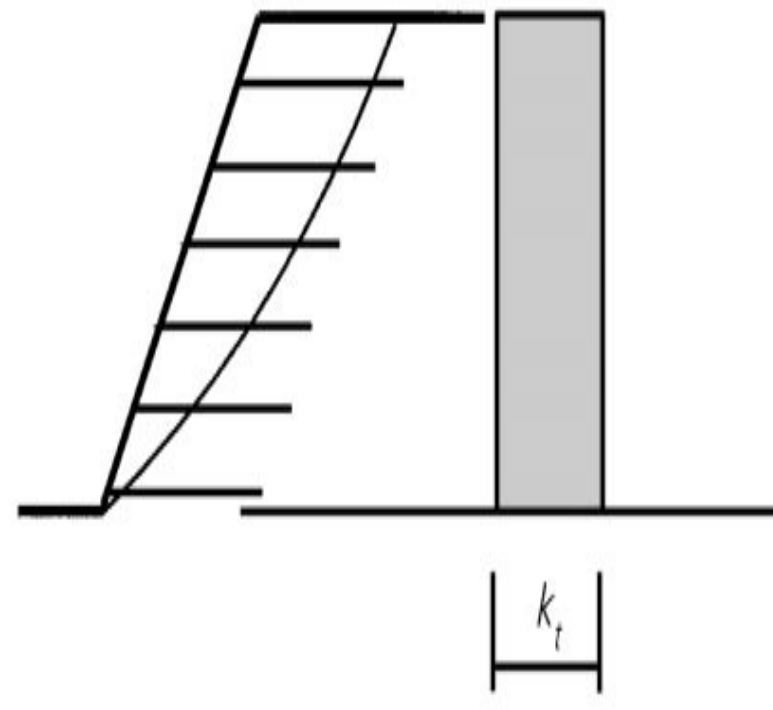
(a)

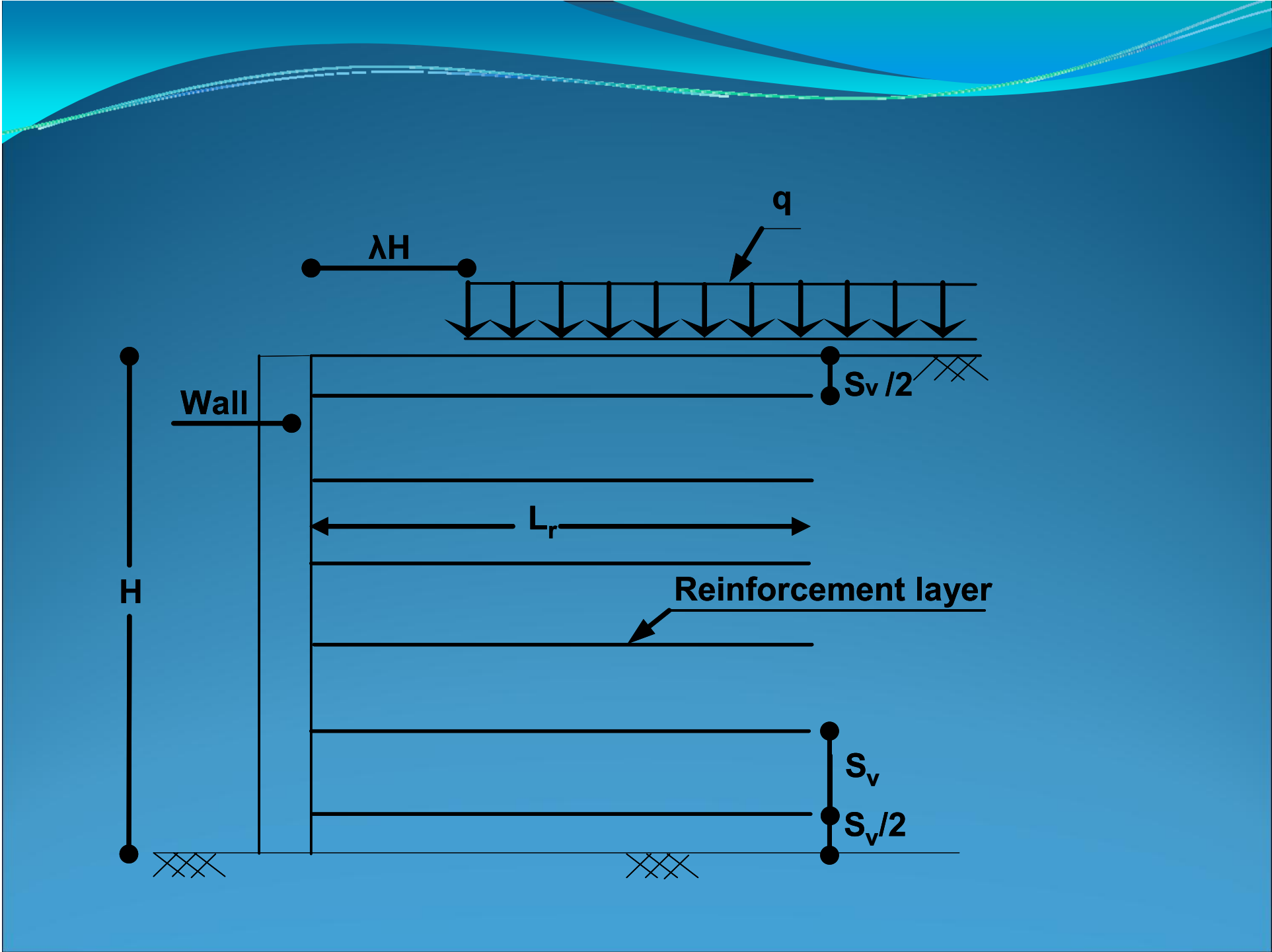
Triangular distribution of reinforcement strength

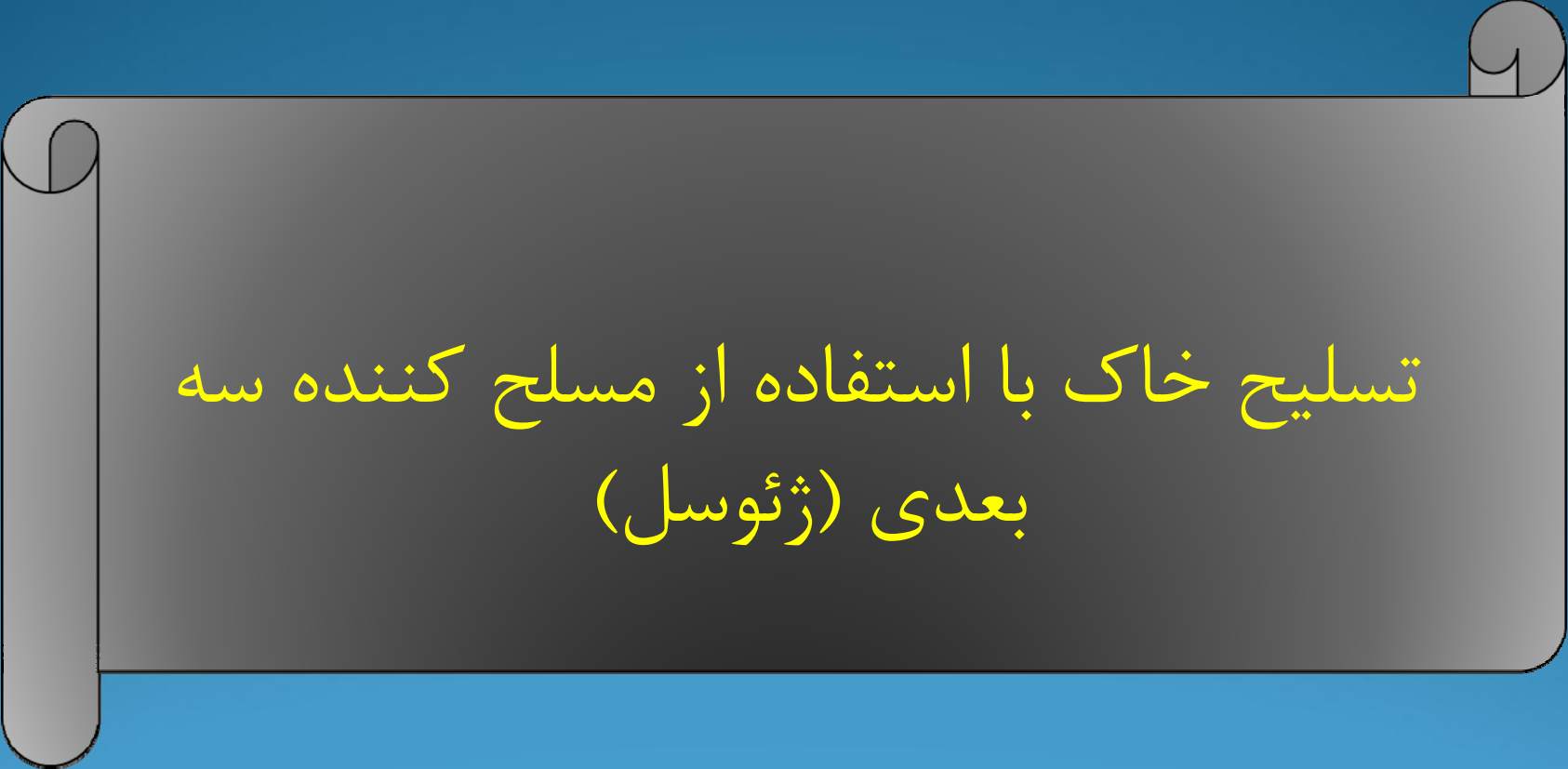


(b)

Uniform distribution of reinforcement strength





A decorative scroll graphic with Persian text. The scroll is dark grey with a lighter grey border and is set against a blue background with wavy lines at the top. The text is written in yellow Persian script.

تسلیح خاک با استفاده از مسلح کننده سه
بعدی (ژئوسل)

تاریخچه استفاده از ژئوسل

- مطالعات و تحقیقات بر روی سیستم‌های محدودکننده لانه زنبوری (CCS) و یا همان ژئوسل‌ها در سال ۱۹۷۵ توسط گروه مهندسی ارتش امریکا شروع شد.
- برای اولین بار شرکت تولیدی Presto ژئوسل‌هایی با استفاده از پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) که دارای وزن کم و مقاومت زیاد با قابلیت انعطاف‌پذیری مناسب بود، تولید کرد.
- تحقیقات بر روی کاربرد ژئوسل در پروژه‌های مختلف در سال ۱۹۸۰ توسط (Bathurst and Jarrett) شروع شد.

معرفی ژئوسل

- ژئوسل‌ها از اتصال نوارهایی همچون ژئوممبرین یا ژئوتکستایل به صورت لانه زنبوری بوجود می‌آیند
- محدود کردن حرکت جانبی خاک دانه‌ای در خانه‌های ژئوسل
- ابعاد هندسی ژئوسل
- ژئوسل‌ها از بافت‌های پلی اتیلن که به صورت پیوسته می‌باشند بدون هیچگونه نقطه جوش مشخص درست می‌شوند.
- پلیمر مورد استفاده در ساخت ژئوسل باید دست نخورده، کاملاً تمیز و در اثر حرارت صدمه ندیده باشد.
- ژئوسل‌ها دارای شکل جمع شده‌ای هستند و برای استفاده از آنها باید دو طرف ژئوسل را گرفته و باز کنیم تا فرم لانه زنبوری آن شکل بگیرد. سپس خاک را داخل آن می‌ریزند.

مشخصات مواد مصرفی در ساخت ژئوسل

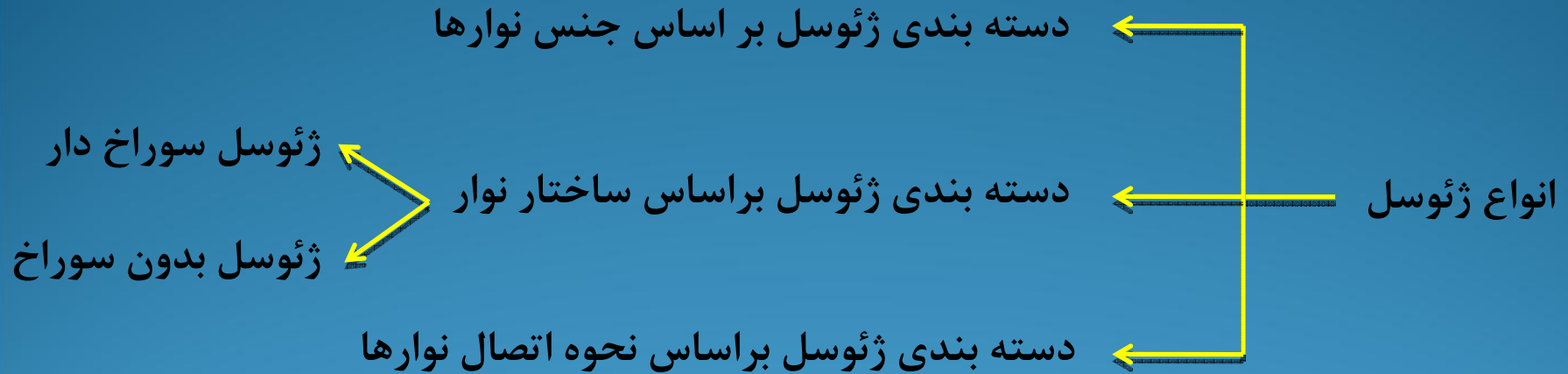
مشخصات مکانیکی

مقاومت کششی
مدول الاستیک
میزان کرنش در لحظه شکست
مقاومت انفجاری
مقاومت ساییدگی
مقدار نفوذپذیری
مشخصات اصطکاکی بافت/بافت و
بافت/خاک
مشخصه خزش

مشخصات محیط زیستی

مقاومت در برابر زمین
مقاومت شیمیایی
مقاومت در برابر اشعه فرابنفش
مقاومت حرارتی

انواع ژئوسل



در ژئوسل‌های سوراخ‌دار، سوراخ‌ها علاوه بر اینکه اجازه زهکشی را از داخل لایه ژئوسل می‌دهد باعث یک اندرکنش و یک نوع قفل و بست بین دانه‌ای را در داخل خود لایه ژئوسل می‌دهد که این عمل باعث می‌شود که ما بتوانیم ارتفاع سلول‌ها را کمتر از حالت بدون سوراخ در نظر بگیریم.

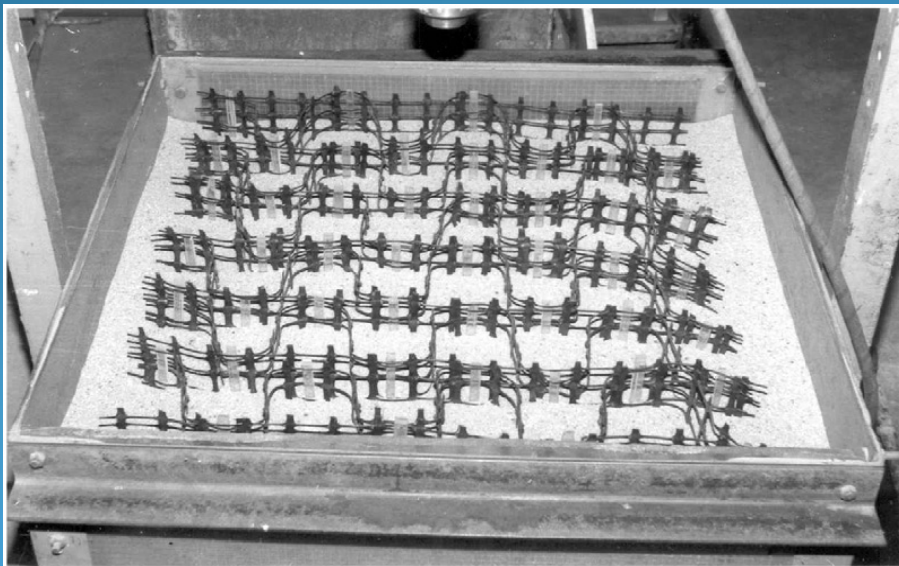


ژئوسل ساخته شده با استفاده از ژئوگرید

- در این نوع ژئوسل‌ها به جای استفاده از ژئوتکستایل و یا ژئوممبرین به عنوان نوارهای ژئوسل از ژئوگرید با سایز حفرات مختلف استفاده می‌شود.

- بدست آوردن مشخصات ژئوگرید توسط استاندارد آزمایش کشش پهنای باند
(American Society for Testing and Materials, 1986)
(ASTM D4595)

- نحوه ساخت این نوع ژئوسل‌ها از ژئوگرید



معرفی ژئووب (Geoweb)

- ژئووب‌ها زیر مجموعه‌ای از ژئوسل است
- شکل ژئووب در اصل مانند همان ژئوسل‌های سوراخدار می‌باشد
- مقاومت هسته داخلی باعث می‌شود که عمق مصالح پرکننده داخل سلول تا مقدار ۵۰ درصد کاهش پیدا کند
- جنس نوارهای ژئووب از پلی اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) می‌باشد که با استفاده از جوش اولتراسونیک (Ultrasonic weld) که یک نوع وسیله جوش مخصوص مواد پلاستیکی است، ساخته می‌شود
- ترکیب دو مقاومت یک مکانیزم با صلبیت بالا و ظرفیت باربری مناسب ایجاد می‌کند.
- کاربرد مهم ژئووب استفاده‌ی از آنها در شیروانی‌ها با پوشش گیاهی است، از کاربرد های دیگر ژئووب می‌توان به پایدار سازی بستر جاده و ریل اشاره کرد.



راهنمای اجرای ژئوسل

- در تمام طول زمانی که داخل لانه‌های ژئوسل پر می‌شود اتصال شبکه ژئوسل با سطح زمین زیر آن در تمام نقاط آن همواره برقرار باشد
- زیر اساس سطح مورد نظر باید کاملاً محکم باشد و از اجرای آن بر روی بستر از جنس خاک نرم و یا ارتباط مستقیم ژئوسل با سطوح صافی از جمله بتن و سنگ صاف خودداری شود.
- مسئله زهکشی یکی از مشکلات اصلی و مهم در مسیرها، جاده‌ها و پارکینگ‌هایی است که در ساخت آنها از مصالح سخت و نفوذ ناپذیر استفاده می‌شود. این مشکل زمانی افزایش می‌یابد که به علت جاری شدن سیل در رودخانه‌ها این مسیرها بستر خوبی برای تشدید این سیل‌ها می‌شوند. به همین دلیل در ساخت اینگونه پروژه‌ها باید از مصالحی استفاده کرد که امکان زهکش کامل را به آب بدهد. استفاده از ژئوسل با نوارهایی که دارای منافذ مناسبی که اجازه زهکشی در جهت افق و قائم را به آب بدهد، در اینگونه پروژه‌ها بسیار مناسب خواهد بود.

برای اجرای پروژه با مسلح کننده ژئوسل باید مراحل زیر به ترتیب انجام شود

❖ نکاتی قبل از شروع به نصب ژئوسل :

- ۱- آماده سازی بستر برای قرار گیری ژئوسل
- ۲- اتصال دو شبکه ژئوسل مجزا از هم قبل از پر کردن
- ۳- اتصال بین شبکه با زمین در تمام طول اجرا ژئوسل
- ۴- استفاده از مصالح دانه ای همچون شن و سنگریزه با دانه بندی یکنواخت در پر کردن داخل سلولها

اندازه مصالح دانه‌ای (mm)	سایز سلول (mm)
۱۰-۱۴	۵۵
۲۰-۴۰	۱۱۰

پیشنهادی توسط شرکت تولیدی Dupont

- ۵- مقداری در حدود ۲۰-۳۰ میلیمتر از همان مصالح اضافه‌تر بر روی سلولها ریخته شود.

- ۶- نشست احتمالی مصالح داخل سلولها بعد از چند هفته

آماده‌سازی بستر:

- برای تحمل بار ترافیکی تنها ژئوسل کافی نمی‌باشد و به بستر مناسب نیاز است
- زمین را باید از سطح مورد نظر تا حدود ۷۰-۸۰ میلیمتر حفاری کرد
- باید سنگ‌های درشت درون زمین را برداشت و به جای آن از مصالح مناسب پر

کرد و دوباره آن ناحیه را متراکم کرد.

پیشنهادی توسط
شرکت تولیدی Dupont

نوع کاربری / بارگذاری	درصد مقاومت CBR در بستر	ضخامت بستر (mm)
ترافیک سنگین	۵/۰ - ۱	۵۲۵
	۱ - ۲	۵۰۰
	۲ - ۴	۳۰۰
	۴ - ۶	۲۰۰
	بالای ۶	۱۵۰
ترافیک سبک	۵/۰ - ۱	۴۰۰
	۱ - ۲	۳۵۰
	۲ - ۴	۲۵۰
	۴ - ۶	۱۵۰
	بالای ۶	۱۰۰
مسیر عمومی	۱ - ۲	۱۵۰
	۲ - ۴	۱۰۰
	بالای ۴	۵۰
مسیر باغ محلی	۱ - ۲	۱۲۵
	۲ - ۴	۷۵
	بالای ۴	۵۰

❖ پهن کردن شبکه ژئوسل بر روی بستر

- شبکه‌های ژئوسل در ابعاد خاصی در بازار ارائه می‌شود
- نحوه نصب و قرارگیری شبکه ژئوسل بر روی بستر
- در هنگام نصب از راه رفتن بر روی شبکه ژئوسل خودداری شود.



❖ پر کردن داخل شبکه ژئوسل

- پر کردن قسمت‌های لبه بیرونی شبکه ژئوسل به صورت دستی
- استفاده از چند تخته چوب بر روی شبکه ژئوسل به منظور جلوگیری از بلند شدن شبکه در هنگام پر کردن سلول‌ها از روی بستر
- پر کردن سلول‌های ژئوسل به دو روش دستی و مکانیکی
- در روش دستی باید بر روی قسمتی که از مصالح پر شده حرکت کرد
- در روش مکانیکی فاصله سقوط مصالح تا زمین بیش از نیم متر نباشد.



کاربرد ژئوسل

- از مزایای ژئوسل نسبت به دیگر مسلح کننده‌ها می‌توان به سرعت اجرای بالا، راحتی اجرای، حمل آسان، هزینه کمتر، نیاز به نیروی کار کمتر و تخصص نچندان زیاد برای اجرای آن اشاره کرد.

- استفاده از ژئوسل در راهسازی
- استفاده از ژئوسل در خاکریزها
- استفاده از ژئوسل در تقویت بستر نرم پی‌های سطحی و عمیق
- استفاده از ژئوسل در پایداری شیروانی‌ها و دیوارهای حائل
- استفاده از ژئوسل در جلوگیری از فرسایش شیروانی‌ها
- استفاده از ژئوسل در لوله‌های عمیق مدفون در خاک
- استفاده از ژئوسل در زمین‌های ورزشی مثل گلف و غیره...

❖ کاربرد در جاده‌های دسترسی

- مسیرهای بسیار ناهموار و پر از دست انداز و زهکشی بسیار ضعیف از مشکلات اساسی و جدی در راه‌های دسترسی
- مشکلات آسفالت کردن چنین مسیرهایی به همراه تعبیه زهکش‌های معمول در راهسازی و مقرون به صرفه بودن استفاده از ژئوسل
- تعبیه کانال‌های زهکش برای خروج آب به بیرون از جاده در هر ۱۰ متر
- به توصیه شرکت تولیدی Dupont مصالح پرکننده سلول‌ها شنهایی به اندازه ۲۵-۳۵ میلیمتر می‌باشد. برای پوشش نیز از همین شن‌ها استفاده می‌شود.



❖ کاربرد در ساخت محل پارکینگ‌ها

- پارکینگ‌های سرباز به دلیل مخلوط شدن روغنی که از وسایل نقلیه بر روی کف پارکینگ ریخته شده در محوطه با آب در هنگام بارندگی باعث آلودگی محیط زیست می‌شود.

- تحقیقات صورت گرفته توسط شرکت تولیدی Dupont در دو محل با استفاده از مصالح جدول زیر

شماره آزمایش	سایز ژئوسل mm	اندازه مصالح پرکننده mm
آزمایش ۱	۵۵	۱۱۰
آزمایش ۲	۱۰-۱۴	۲۵-۳۵

- عملکرد شن داخل سلول‌ها همراه با نوارهای نفوذپذیر آن به عنوان فیلتر طبیعی در هنگام نفوذ آب به داخل ژئوسل و جذب مواد نفتی

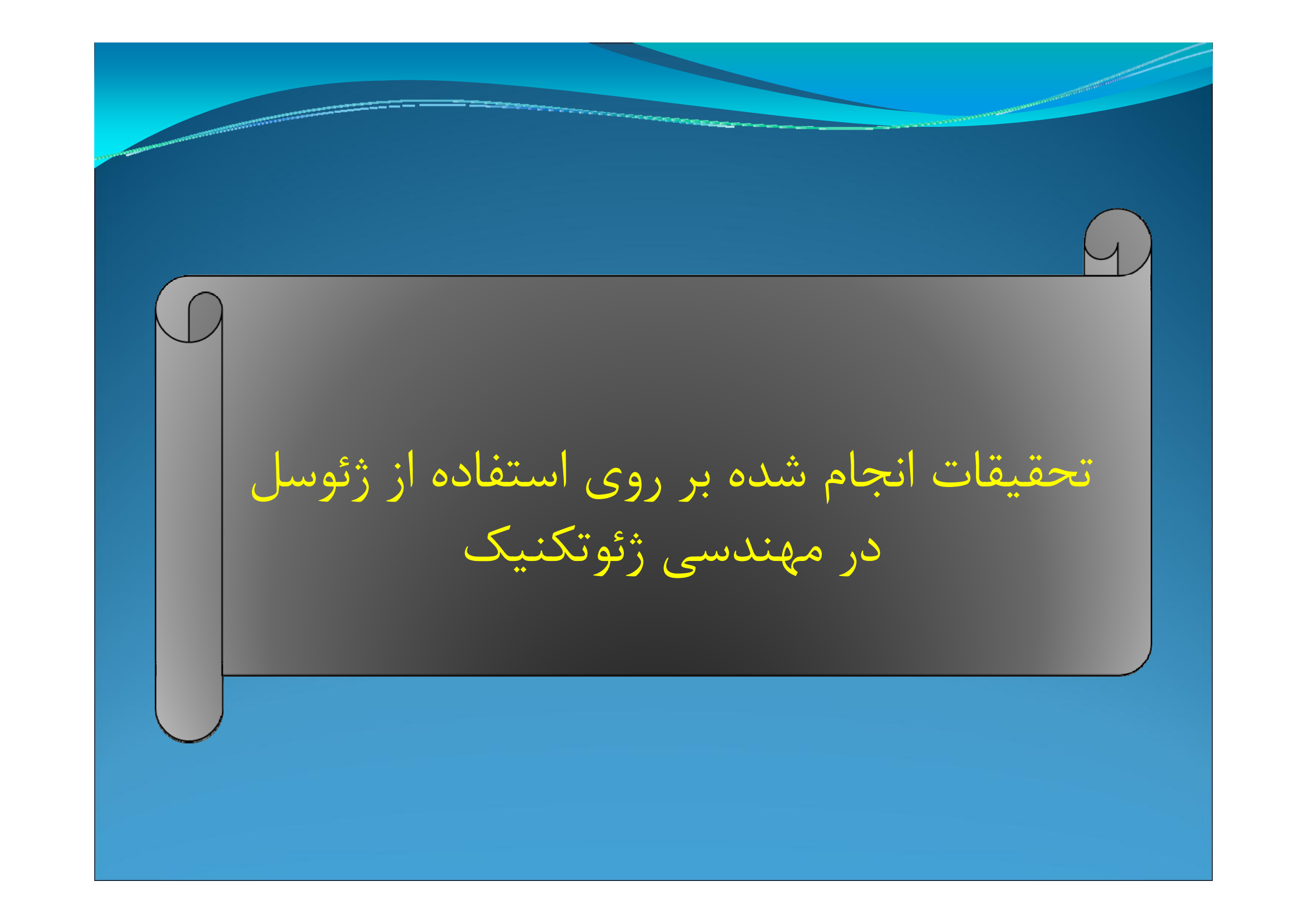
- انجام هر کدام از پروژه‌ها در زمان سه ماه همراه با سه نصاب غیر ماهر برای جای پارک ۱۵ ماشین صورت گرفت.

- نتایج یکسانی از هر دو پروژه گرفته شد و تفاوت بارزی مشاهده نشد.

❖ کاربرد در ساخت محوطه رانندگی خانگی

- یک سطح هموار در کنار محوطه سازی‌های داخل حیاط یکی از عمده مشکلات در محوطه حیاط خانه‌ها که به عنوان محل حرکت ماشین‌ها استفاده می‌شوند
- بنا به پیشنهاد شرکت تولیدی Dupont استفاده از سیستم ژئوسل با سایز ۱۱۰ میلیمتر همراه با مواد پرکننده از شن با اندازه ای در حدود ۲۵-۳۵ میلیمتر علاوه بر صرفه اقتصادی زیبایی خاصی را به محوطه حیاط می‌بخشد
- نحوه اتصال شبکه با لبه باغچه توسط گیره





تحقیقات انجام شده بر روی استفاده از ژئوسل
در مهندسی ژئوتکنیک

تحقیقات انجام شده بر روی استفاده از ژئوسل در مهندسی ژئوتکنیک

- مقدمه
- تسلیح خاک بستر پی‌ها با استفاده از ژئوسل
- تسلیح شیروانی‌ها و ساخت دیوارهای حایل با استفاده از ژئوسل
- تسلیح خاکریزها با استفاده از ژئوسل

مقدمه

در این فصل سعی بر آن شده تا یک گردآوری از کارهای صورت گرفته تا به امروز بر روی استفاده از ژئوسل در تسلیح خاک انجام شود. در قسمت اول در زمینه تسلیح بستر پی‌ها مطالبی آورده می‌شود. بسیاری از خاکها دارای ظرفیت باربری پایینی هستند مانند خاکهای رسی نرم و یا اینکه در پی ماشین آلات دینامیکی به علت اینکه نشست اینگونه پی‌ها به خصوص در پی سکوه‌های پرتاب موشک باید کاملا کنترل شده باشد، استفاده از ژئوسل برای تسلیح بستر اینگونه پی‌ها می‌تواند بسیار مفید واقع شود. در قسمت بعدی این فصل در زمینه تسلیح شیروانی‌ها و استفاده از ژئوسل همچون دیوار حایل مطالبی آورده خواهد شد. در ادامه و در بخش بعدی در مورد تسلیح بستر خاکریزها و استفاده از ژئوسل در پروژه‌های عمرانی بحث خواهد شد و در آخر به دیگر تحقیقات صورت گرفته در مورد آزمایشات صورت گرفته بر روی ژئوسل و پارامترهای موثر آن در بالاتر بردن تاثیر آن در مقاومت خاکهای تسلیح شده پرداخته خواهد شد.

تسلیح خاک بستر پی‌ها با استفاده از ژئوسل

مواردی که در این بخش آورده شده است، به شرح زیر می‌باشد:

❖ پی نواری متکی بر ماسه مسلح شده با ژئوسل

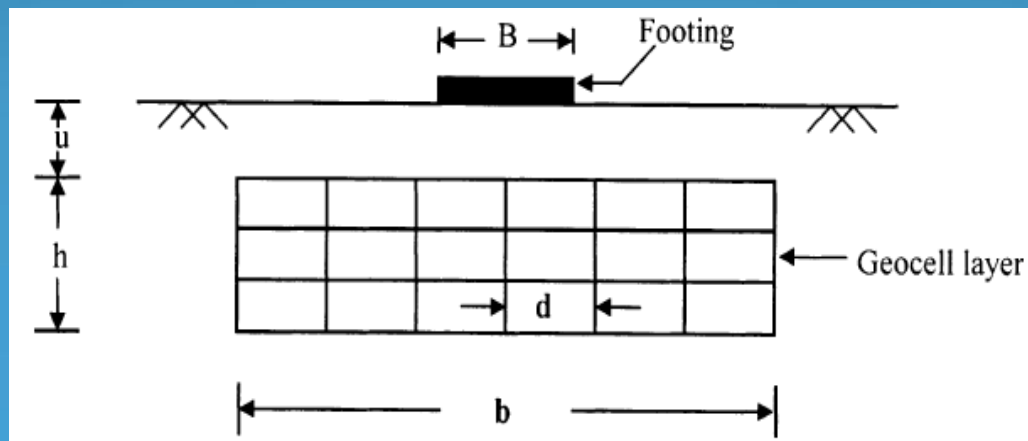
❖ مقایسه ظرفیت باربری پی نواری روی ماسه مسلح شده با ژئوسل و ژئوتکستایل

❖ تاثیر مسلح‌کننده صفحه‌ای اضافه شده به ژئوسل در اصلاح عملکرد پی نواری

❖ رفتار پی‌ها بر روی ماسه مسلح تحت بار دینامیکی-مقایسه ژئوتکستایل صفحه‌ای با سه بعدی در این حالت بارگذاری

❖ پی نواری متکی بر ماسه مسلح شده با ژئوسل

- بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط Dash و همکارانش در سال ۲۰۰۱
- پارامترهایی متغیر اندازه گیری شده: شکل اتصال و قاب ژئوسل ، اندازه سلول‌ها، ارتفاع و عرض لایه ژئوسل، عمق از سطح پی تا بالای ژئوسل، سختی کششی ژئوگرید استفاده شده در ساخت ژئوسل و همچنین دانسیته نسبی ماسه
- ابعاد جعبه و پی مدل آزمایشگاهی و حالت کرنش مسطح
- خاک مورد نظر در طبقه بندی یونیفاید جزو دسته SP (ماسه رودخانه‌ای خشک)
- دیواره‌های ژئوسل با استفاده از ژئوگرید در دو نوع Chevron و diamond



مشخصات مکانیکی و هندسی ژئوگرید مصرفی

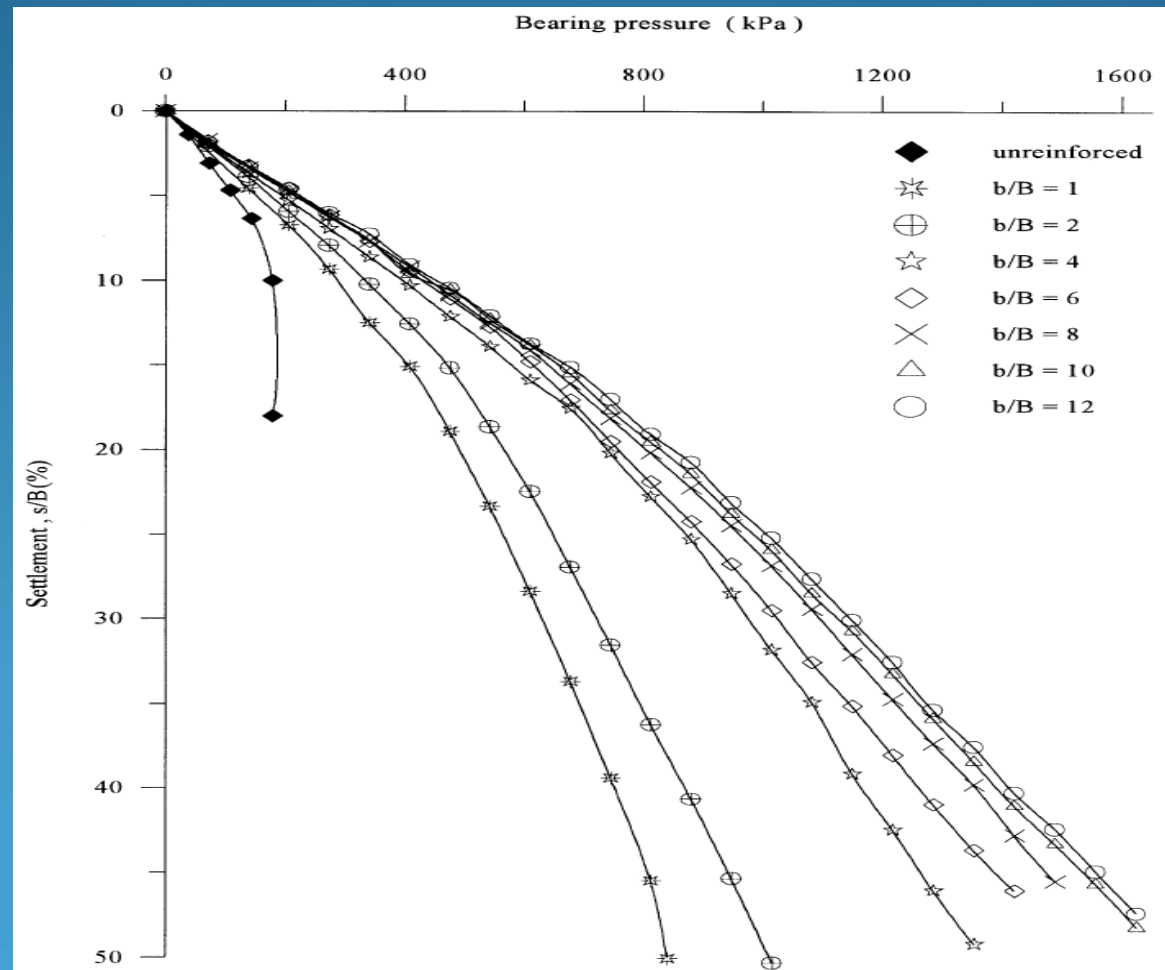
پارامترها	BX	NP-1	NP-2
مقاومت کششی نهایی KN/m	۲۰	۴/۵	۷/۵
کرنش شکست (%)	۲۵	۱۰	۵۵
مدول اولیه KN/m	۱۸۳	۷۵	۹۵
مدول مماسی در ۵٪ کرنش KN/m	۱۶۰	۷۰	۷۰
مدول مماسی در ۱۰٪ کرنش KN/m	۱۲۵	۴۵	۵۰
ابعاد حفره‌ها (mm)	۳۵×۳۵	۵۰×۵۰	۸×۷
شکل حفره‌ها	مربع	مربع	لوزی

BX از مواد پلیمری و دو نوع دیگر از مواد غیر پلیمری ساخته شده است.

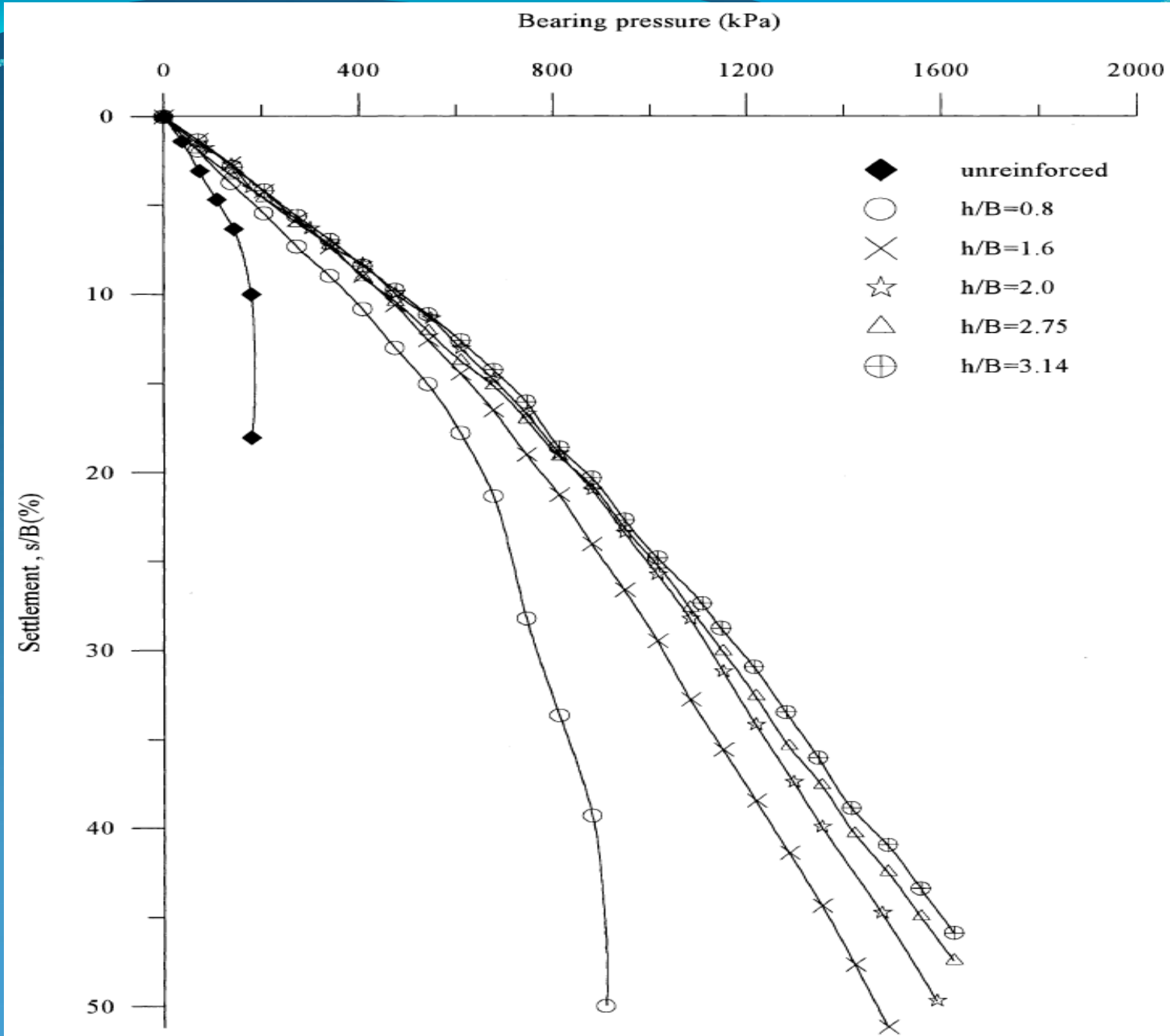
تعداد و جزئیات آزمایش‌های انجام شده

شماره تست	جزئیات
A	خاک غیر مسلح با دانسیته‌های نسبی ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰٪
B	پارامترهای متغیر: diamond و Chevron پارامترهای ثابت: $ID=70\%$ و BX و $u/B=0.1$ ، $b/B=12$ ، $h/B=0.8$ ، $d/B=0.1$
C	پارامترهای متغیر: $d/B=0.1, 1.5, 2.7$ پارامترهای ثابت: Chevron، $h/B=1.2$ ، $u/B=0.1$ ، $b/B=12$ و BX و $ID=70\%$
D	پارامترهای متغیر: $h/B=0.8, 1.6, 2, 2.75, 3.14$ پارامترهای ثابت: Chevron، $d/B=1.2$ ، $u/B=0.1$ ، $b/B=12$ و BX و $ID=70\%$
E	پارامترهای متغیر: $b/B=1, 2, 4, 6, 8, 10, 12$ پارامترهای ثابت: Chevron، $d/B=1.2$ ، $h/B=2.75$ ، $u/B=0.1$ و BX و $ID=70\%$
F	پارامترهای متغیر: $u/B=0, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5$ پارامترهای ثابت: Chevron، $h/B=2.75$ ، $b/B=8$ ، $d/B=1.2$ و BX و $ID=70\%$
G	پارامترهای متغیر: مصالغ ژئوسل: NP-1 و NP-2 و BX پارامترهای ثابت: Chevron، $d/B=1.5$ ، $h/B=1.2$ ، $b/B=8$ و $u/B=0.1$ و $ID=70\%$
H	پارامترهای متغیر: دانسیته نسبی: ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰٪ پارامترهای ثابت: Chevron، $d/B=1.2$ ، $h/B=1.6$ ، $b/B=8$ و $u/B=0.1$ و BX و $ID=70\%$

- نتایج حاصل از تغییرات عرض لایه ژئوسل (تست E)
- در حالت غیر مسلح یک حداکثر فشار تحملی قابل برداشت است.
- در حالت مسلح یک افزایش شیب در نشست معادل ۲۰-۱۵ درصد عرض پی



- نتایج حاصل از تغییرات ارتفاع لایه ژئوسل (تست D)
- با افزایش ارتفاع ژئوسل مقدار فشار تحمل شده توسط پی مسلح نیز در یک نشست یکسان افزایش می‌یابد.
- در ارتفاعی حدود ۲ برابر عرض پی تاثیر افزایش ارتفاع ژئوسل ناچیز می‌شود.
- در ارتفاعی در حدود ۸/۰ عرض پی می‌توان یک مقدار ماکزیمم در نمودار پیدا کرد که نشان از افزایش ظرفیت باربری در حدود ۳-۴ برابر حالت غیر مسلح است.
- استدلال Dash و همکارانش در مورد عدم مشاهده نقطه ماکزیمم در ارتفاع بالاتر از ۸/۰ عرض پی مبتنی بر دو نوع سختی برشی و خمشی و همچنین پدیده چرخش پی با اندازه گیری مقدار نشست در فاصله ۵/۲ برابر عرض پی در اطراف پی

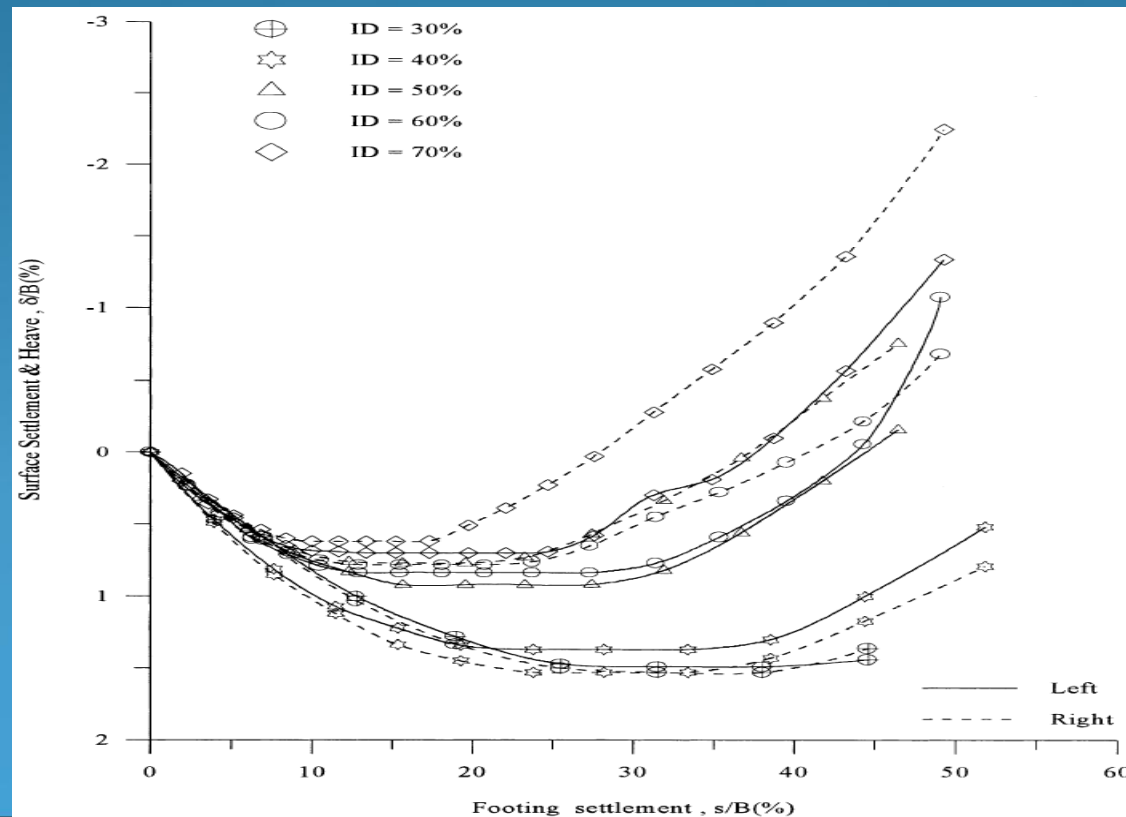


$$I_f = \frac{q}{q_0}$$

- فاکتور اصلاح ظرفیت باربری

- استفاده از q_{ult} به جای q_0 مقدار نشست مورد توجه در فشاری بالاتر از ظرفیت باربری خاک غیر مسلح

- میزان تورم با افزایش دانسیته خاک افزایش می یابد و تا نشستی در حدود ۱/۰ عرض پی در تمامی دانسیته ها ما نشست خواهیم داشت. (تست H)



Dash و همکارانش به طور کلی در آزمایش‌های خود به نتایج زیر رسیدند:

- رفتار فشار - نشست یک پی نواری بر روی خاک مسلح شده با ژئوسل تا نشستی در حدود ۵۰٪ عرض پی تقریباً خطی است. و مقدار باربری آن در حدود ۸ برابر ظرفیت باربری نهایی خاک غیر مسلح می‌باشد.

- یک اصلاح بسیار خوبی در اجرای پی بر روی خاک مسلح شده با ژئوسل که حتی دارای عرضی معادل با عرض پی است ایجاد می‌شود. زیرا ژئوسل باعث انتقال بار به اعماق بیشتری از سطح پی می‌شود و پی سطحی در همچین حالتی مانند یک پی عمیق رفتار می‌کند.

- مقدار تورم خاک می‌تواند با تامین ژئوسل با عرض کافی برای محدود کردن صفحه گسیختگی خاک زیر پی، به طور قابل توجهی کاهش پیدا کند.

- شکل قالب Chevron برای ژئوسل می‌تواند نسبت به قالب diamond دارای منفعت بیشتری باشد.

- بهترین عملکرد ژئوسل در ارتفاعی معادل با ۲ برابر عرض پی اتفاق می‌افتد. ارتفاعی بیش از این تغییر چندانی در بهبود خاک نخواهد داشت.

- عرض بهینه لایه ژئوسل در حدود ۴ برابر عرض پی در نظر گرفته می‌شود، این عرض کافی است برای آنکه تمام سطح فعال برای گسیختگی برشی زیر پی را قطع کند.

- برای رسیدن به بیشترین منفعت باید بالای لایه ژئوسل در فاصله‌ای در حدود $0.1B$ از زیر پی قرار گیرد.

- مقاومت کششی ژئوگرید استفاده شده در ساختن لایه ژئوسل اهمیت چندانی در ارزیابی ژئوسل ندارد. از طرفی دیگر سائز حفرات ژئوگرید نقش مهمی در ظرفیت باربری پی مسلح شده با ژئوسل خواهد داشت.

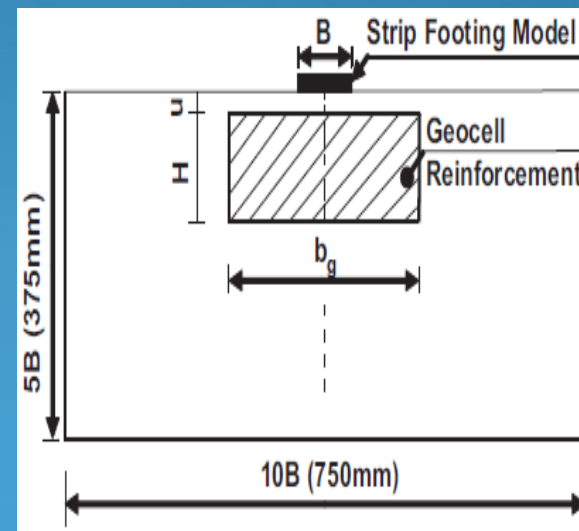
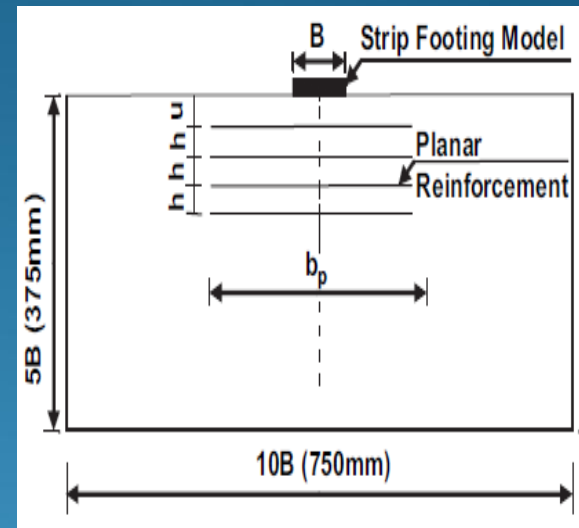
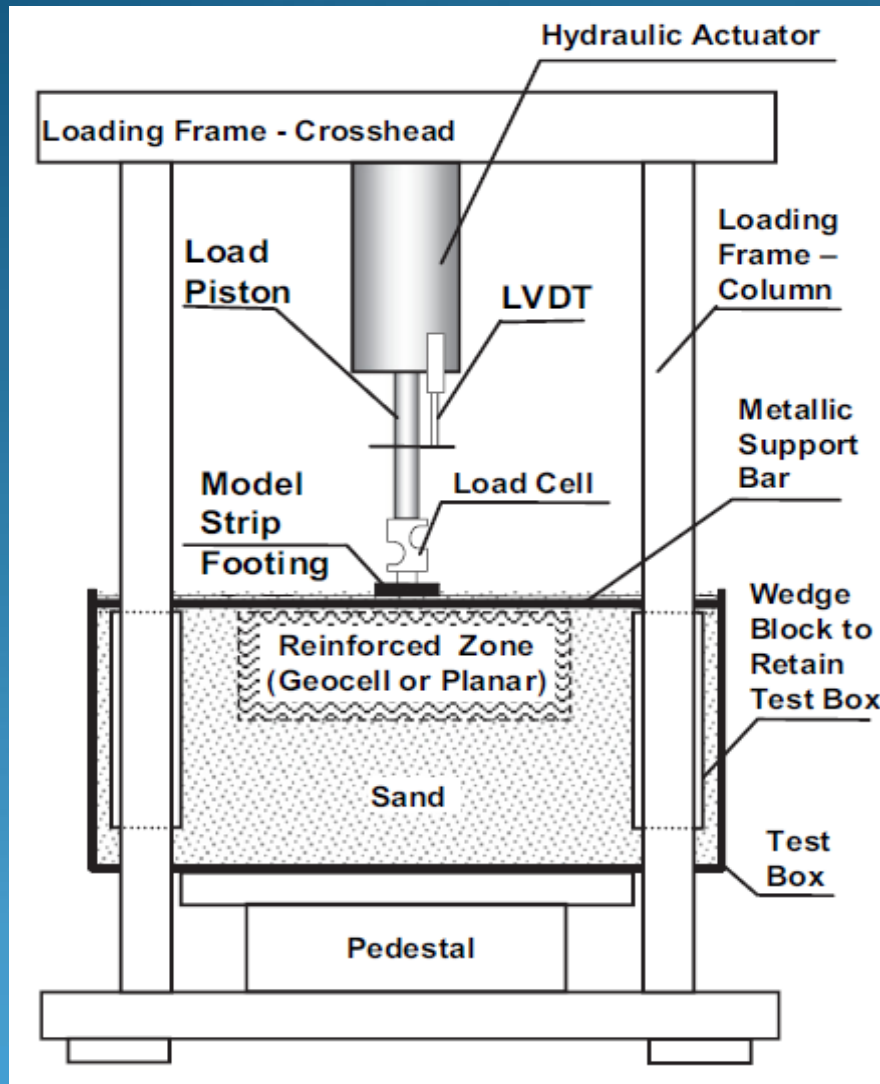
- بهترین اصلاح در اجرای پی زمانی حاصل می‌شود که خاک درون سلول‌ها از خاک متراکمتر تشکیل شود زیرا اتساع حاصل شده شرایط را برای انتقال بار از خاک به ژئوسل را فراهم می‌کند.

- نسبت بهینه h/d (نسبت ارتفاع به قطر سلول ژئوسل) برای تکیه‌گاه پی نواری مقداری در حدود $۶۷/۱$ پیدا شد.

❖ مقایسه ظرفیت باربری پی نواری روی ماسه مسلح شده با ژئوسل و ژئوتکستایل

- بر اساس تحقیقات Moghaddas Tafreshi , Dawson (2009)
- پارامترهای متغیر اندازه‌گیری شده: عرض مسلح کننده، تعداد لایه‌های مسلح کننده صفحه‌ای از ژئوتکستایل و ارتفاع ژئوسل
- ابعاد جعبه و پی مدل آزمایشگاهی و حالت کرنش مسطح
- خاک مورد نظر در طبقه بندی یونیفاید جزو دسته SP (silica sand)
- مسلح کننده ژئوسل بدون سوراخ، جنس دیواره‌های آن مشابه مسلح کننده صفحه‌ای از ژئوتکستایل بافته نشده با تمامی مشخصات فیزیکی و مکانیکی یکسان
- اندازه قطر سلول‌های ژئوسل ثابت و برابر ۵۰ میلیمتر
- $d/B=0.67$ (Dash) و همکارانش در سال ۲۰۰۳ بهترین عملکرد ژئوسل را در نسبت d/B حدود ۸/۰ بدست آوردند (
- زاویه اصطکاک داخلی و دانسیته نسبی به ترتیب ۵/۳۷ درجه و ۷۲ درصد

اجزاء کلی دستگاه آزمایش و پارامترهای هندسی هر دو مدل



تعداد و جزئیات آزمایش‌های انجام شده

سری آزمایش	نوع مسلح‌کننده	N یا H/B	u/B	b_g/B یا b_p/B	توضیحات
۱	بدون مسلح‌کننده	-	-	-	برای ارزیابی مقدار کارایی مسلح‌کننده‌ها
۲	ژئوسل	H/B=0.33	0,0.1,0.25,0.5,1	$b_g/B=4.2$	پیدا کردن مقدار بهینه برای u
۳	ژئوسل	H/B=0.33,0.66,1,1.33	0.1	=2.1,3.2,4.2	تغییر دادن ارتفاع ژئوسل و همچنین عرض لایه ژئوسل
۴	صفحه‌ای	N=1	0.2,0.4,0.6,1,1.2	$b_p/B=5.5$	پیدا کردن مقدار بهینه برای u
۵	صفحه‌ای	N=1,2,3,4	0.35	=2.8,4.1,5.5	تغییر دادن تعداد لایه‌های ژئوتکستایل و همچنین عرض آنها

Moghaddas tafreshi , Dawson

نتایج زیر را از تحقیقات خود گرفتند

- معرفی پارامتر a

- اصلاح بهتر ظرفیت باربری، نشست پی و تورم مسلح کننده ژئوسل نسبت به مسلح کننده صفحه‌ای با خصوصیات و جرم یکسان

- تاثیر افزایش تعداد لایه‌های مسلح کننده‌های صفحه‌ای و همچنین افزایش در ارتفاع و عرض ژئوسل

- عمق بهینه بالاترین لایه از لایه‌های مسلح کننده‌های صفحه‌ای تقریباً برابر ۳۵/۰ برابر عرض پی و برای مسلح کننده ژئوسل عمق بهینه تا بالای ژئوسل ۱/۰ برابر عرض پی، تاثیر لایه ماسه بالای ژئوسل و در زیر پی، در عمقی برابر با عرض پی دیگر فاکتور اصلاح ظرفیت باربری به سمت ۱ میل می‌کند

- **Sitharam and sireesh (2005)** نیز برای ژئوسل با دیواره ژئوگرید به عدد عمق بهینه ۰۵/۰ رسیدند، **Ghosh** و همکارانش در سال ۲۰۰۵ عمق بهینه برای مسلح کننده ژئوتکستایل را بر اثر پی دایره‌ای در رنج بین ۳۵/۰-۳/۰ معرفی کردند.

- با افزایش عرض مسلح کننده تقریباً بیش از ۴/۲ و ۵/۵ برابر عرض پی برای ژئوسل و مسلح کننده صفحه‌ای بهبود چندانی در افزایش ظرفیت باربری پی و همچنین کاهش نشست پی مشاهده نمی‌شود.

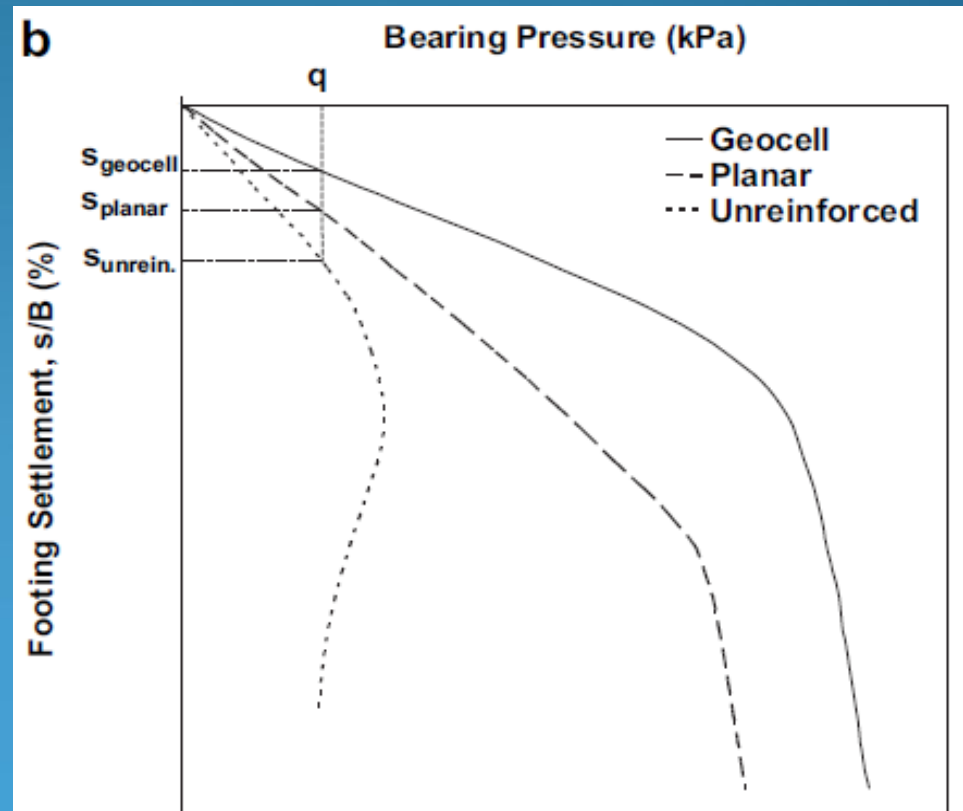
- افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست برای ژئوسل به ترتیب بیشتر از ۲۰۰٪ و در حدود ۷۵٪ و برای مسلح کننده صفحه ای به ترتیب ۱۵۰٪ و ۶۴٪

- Moghaddas Tafreshi and Dawson نشان دادند که یک مسلح کننده صفحه ای برای آنکه عملکردی مشابه با مسلح کننده ژئوسل داشته باشد باید از سه برابر جرم مصالح ژئوتکستایل استفاده شود.

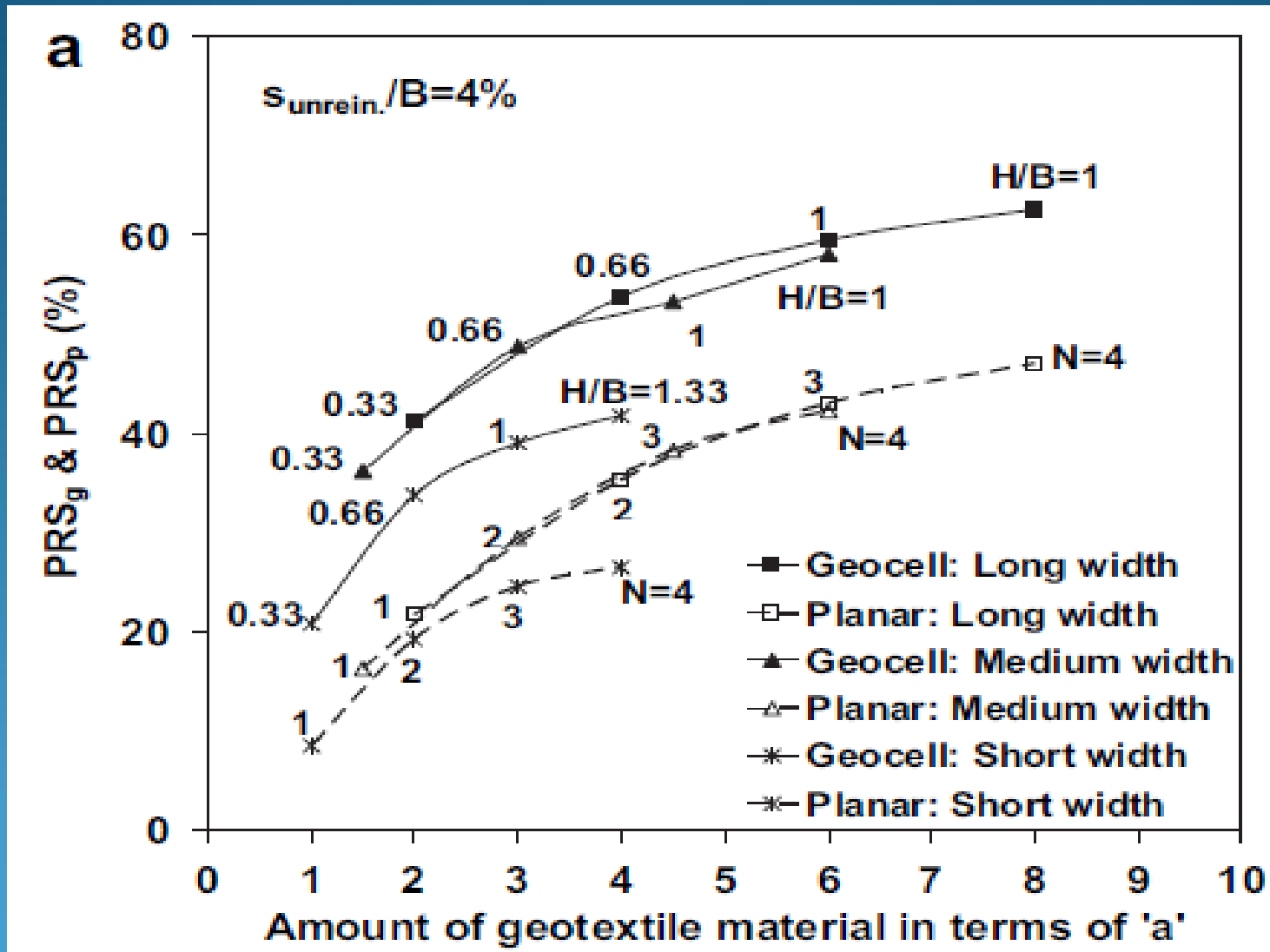
- درصد کاهش در نشست پی PRS

$$PRS_p = \left(1 - \frac{S_{planar}}{S_{unrein}} \right) \times 100$$

$$PRS_g = \left(1 - \frac{S_{geocell}}{S_{unrein}} \right) \times 100$$

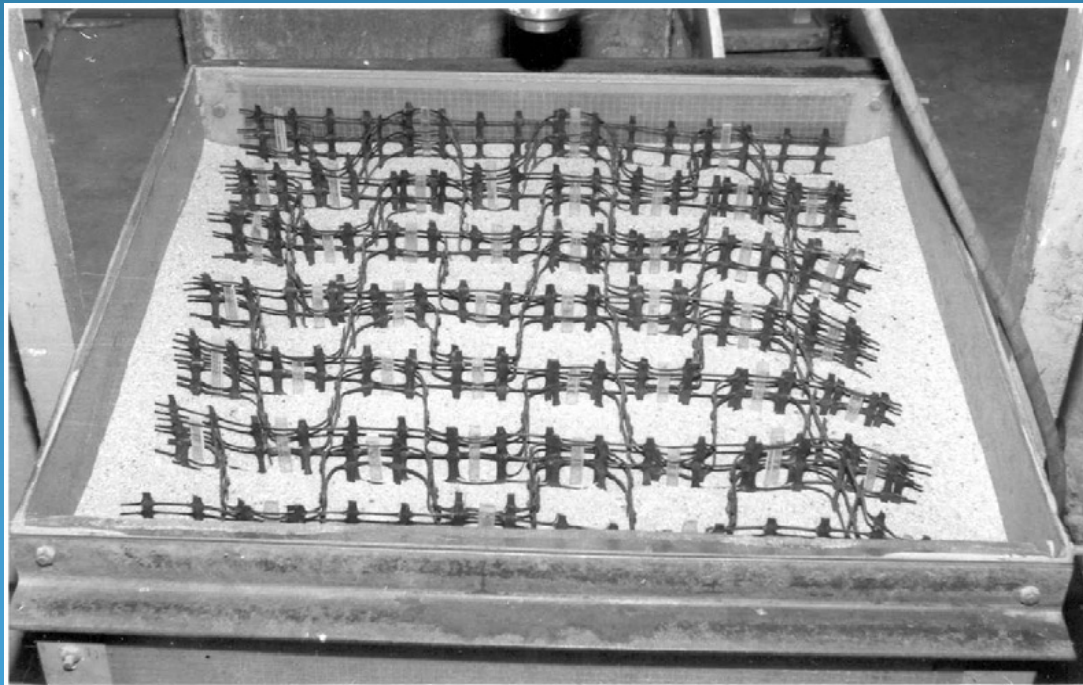
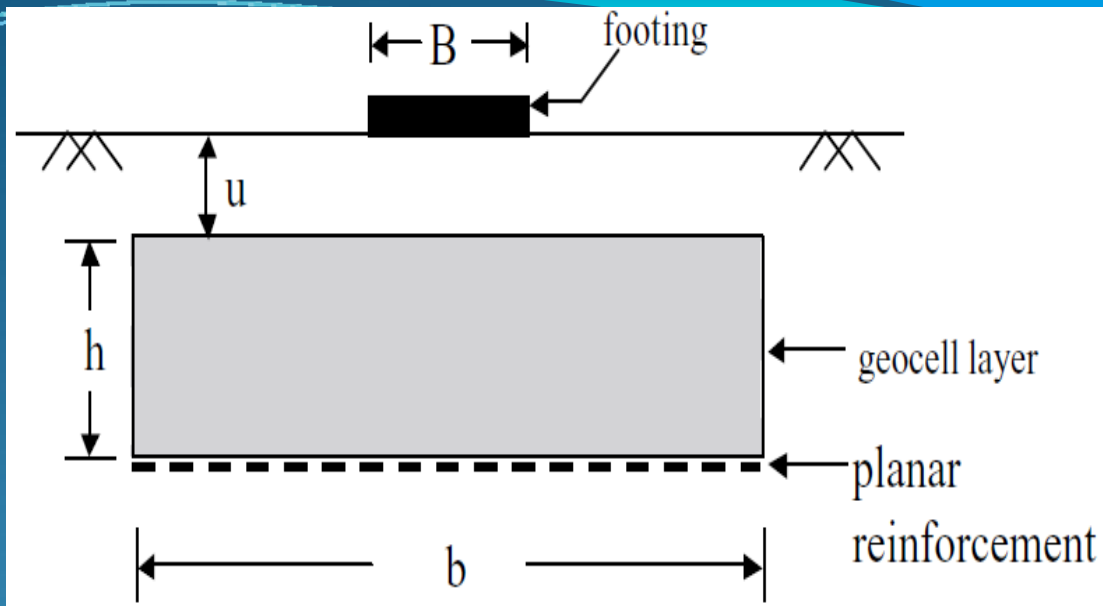


مقایسه‌ی بین مسلح کننده ژئوسل با مسلح کننده صفحه‌ای



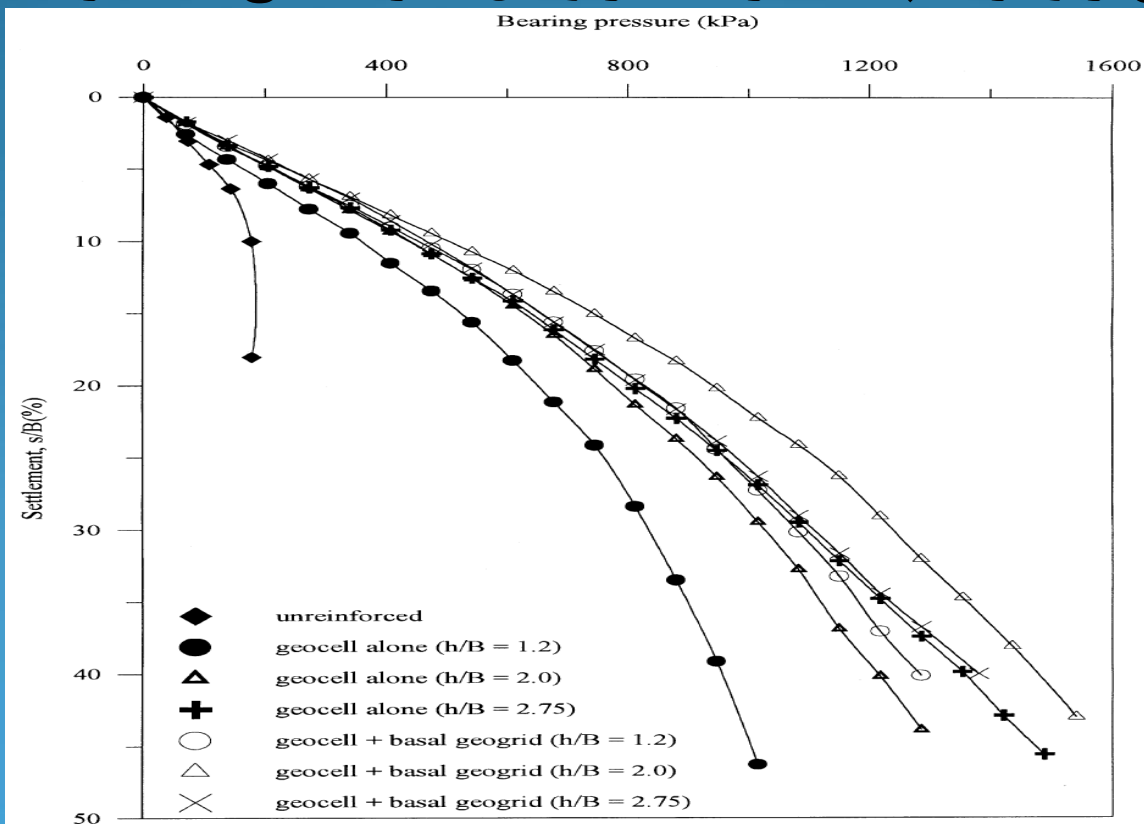
❖ تاثیر مسلح کننده صفحه‌ای اضافه شده به ژئوسل در اصلاح عملکرد پی نواری

- بر اساس تحقیقات Dash و همکارانش در سال ۲۰۰۱
- اندازه و جنس جعبه و پی صلب و جنس ژئوسل مشابه تحقیق قبلی آنها
- دانسیته نسبی ماسه ۷۰ درصد و زاویه اصطکاک داخلی ۴۶ درجه
- دیواره ژئوسل مصرفی از ژئوگرید دو محوری با بازشدگی ۳۵×۳۵ میلیمتر در قالب
Chevron
- بارگذاری استاتیکی و مرحله‌ای تا رسیدن به گسیختگی و یا نشست معادل با ۵/۰ برابر عرض پی ادامه داده شده است.



Dash و همکارانش نتایج زیر را از تحقیقات خود بدست آوردند

- مزایای استفاده از یک لایه ژئوگرید صفحه‌ای در زیر ژئوسل در افزایش ظرفیت باربری و پایداری در مقابل چرخش، کاهش مزیت با افزایش در ارتفاع ژئوسل
- اثر سودمند ترکیب ژئوگرید صفحه‌ای با لایه ژئوسل حداکثر برای $h/B=2$
- علت عدم تاثیر قابل توجه لایه ژئوگرید صفحه‌ای در بالای ژئوسل
- تاثیر اندازه بازشدگی ژئوگرید پایه (در کف ژئوسل) در اصلاح عملکرد خاک دانه‌ای



❖ رفتار پی‌ها بر روی ماسه مسلح تحت بار دینامیکی

- مقایسه ژئوتکستایل صفحه‌ای با سه بعدی در این حالت بارگذاری

- بر اساس تحقیقات Moghaddas Tafreshi and Dawson(2010)

- بارگذاری ترکیبی از بار استاتیک و تناوبی

- پس از اعمال بار استاتیکی که معادل با وزن پی و ماشین می‌باشد یک بارگذاری دینامیکی بر روی پی با تعداد سیکلی بالای ۲۰۰۰۰

- زمان توقف آزمایش

- سایز جعبه آزمایش، اندازه پی، نوع ماسه مصرفی، شکل هندسی مدل‌ها با مسلح کننده‌های صفحه‌ای و سه بعدی و همچنین جنس و خواص فیزیکی ژئوتکستایل مورد استفاده مشابه آزمایش قبلی آنها

تعداد و جزئیات آزمایش‌های انجام شده

Test Series	Type of reinforcement	Type of test	q_{dyn}/q_{stat} (%)	H/B or N	u/B	b_{3D}/B or b_{planar}/B	No. of tests	Purpose of the tests
1	Unreinforced	Static	--	--	--	--	1 + 1 ^a	To arrive at the optimum values of u/B and value of static load, q_{stat}
2	Unreinforced	Repeated	20%, 30% and 50%	--	--	--	3 + 2 ^a	To quantify the improvements due to reinforcements
3	3D-reinforced	Static	--	$H/B = 0.33$	0, 0.1, 0.25, 0.5, 1	$b_{3D}/B = 3.2$	5 + 2 ^a	To arrive at the optimum values of u/B
4	3D-reinforced	Repeated	20%, 30% and 50%	$H/B = 0.33, 0.66, 1.33$	0.1	$b_{3D}/B = 3.2$	9 + 3 ^a	To study the effect of the H/B and intensity of repeated load at optimum values of u/B
5	Planar-reinforced	Static	--	$N = 1$	0.2, 0.4, 0.6, 1, 1.2	$b_{planar}/B = 4.1$	5 + 2 ^a	To arrive at the optimum values of u/B
6	Planar-reinforced	Repeated	20%, 30% and 50%	$N = 1, 2, 4$	0.35	$b_{planar}/B = 4.1$	9 + 3 ^a	To study the effect of the number of reinforced layers (N) and intensity of repeated load at optimum values of u/B

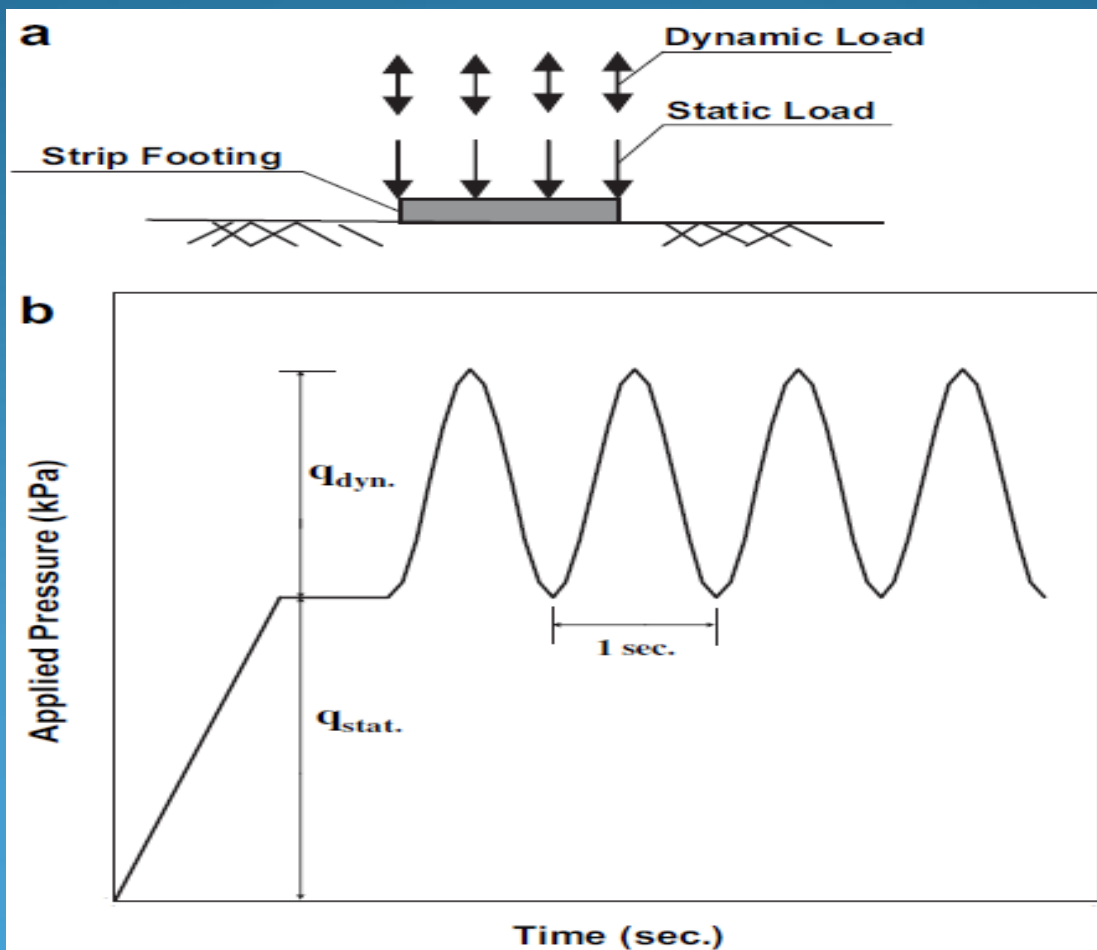
^a Indicates duplicate tests performed to verify the repeatability of the test data.

- فرکانس تحمیلی ماشین بر روی پی برابر 1 Hz می باشد.

- q_{stat} برابر 120 کیلوپاسکال

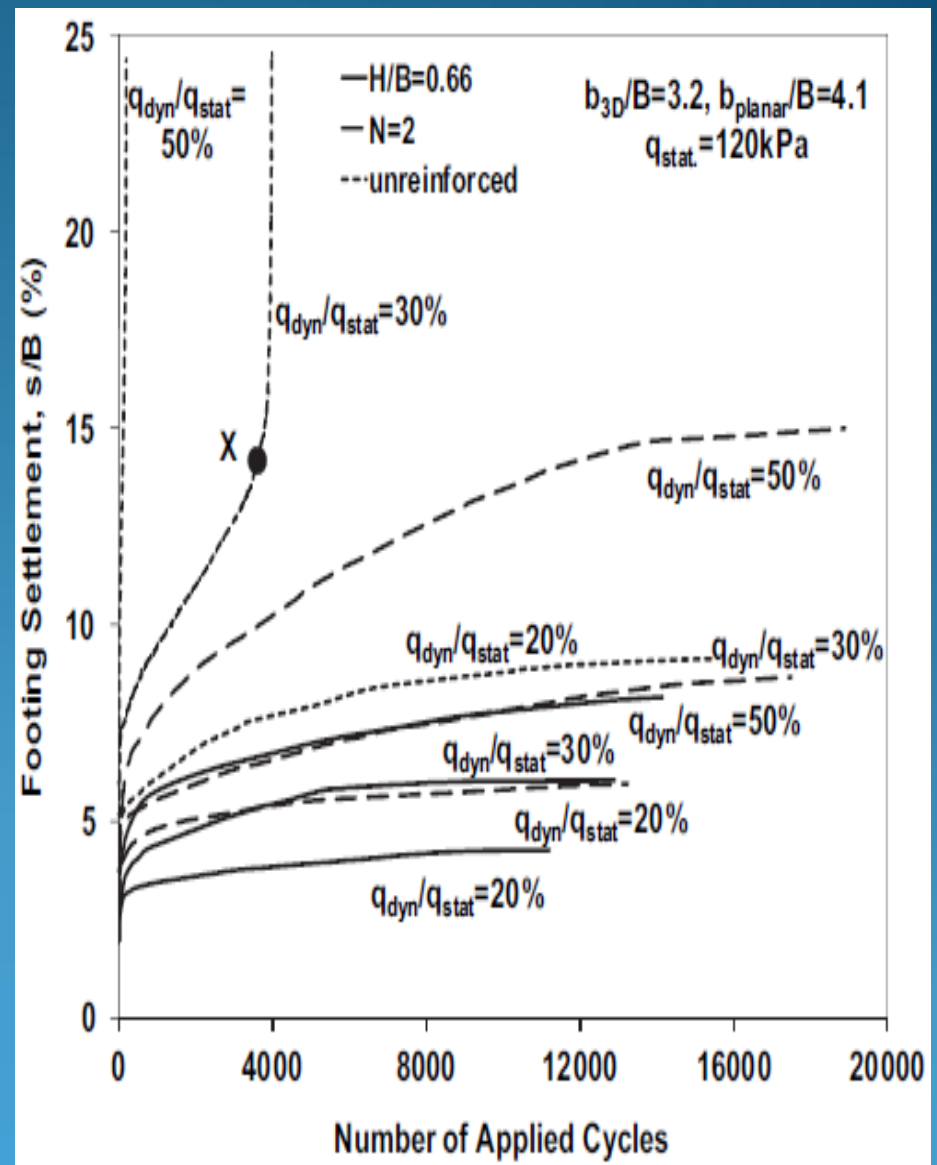
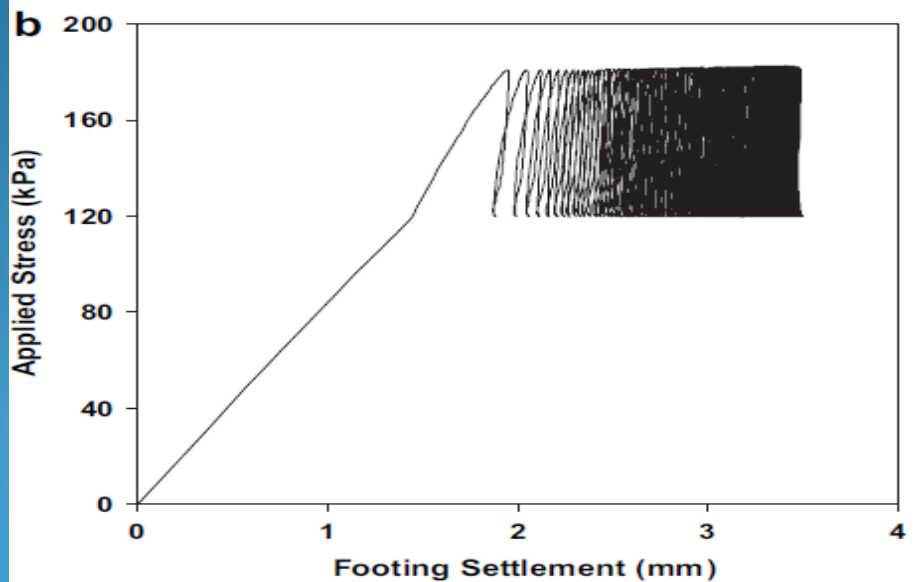
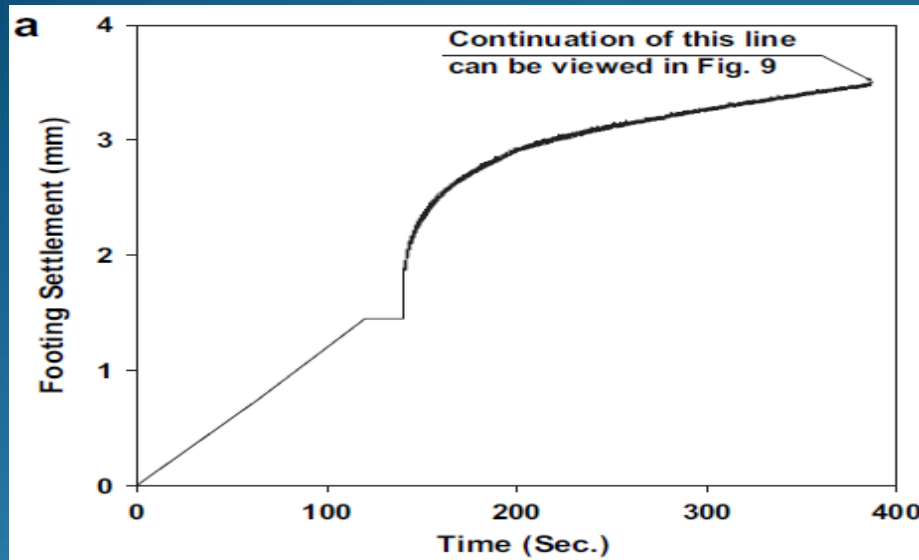
- دامنه بار دینامیکی نیز نسبت $\frac{q_{dyn}}{q_{stat}}$ معادل با 20% ، 30% و 50%

- پارامتر a جهت مقایسه وزنی ژئوتکستایل

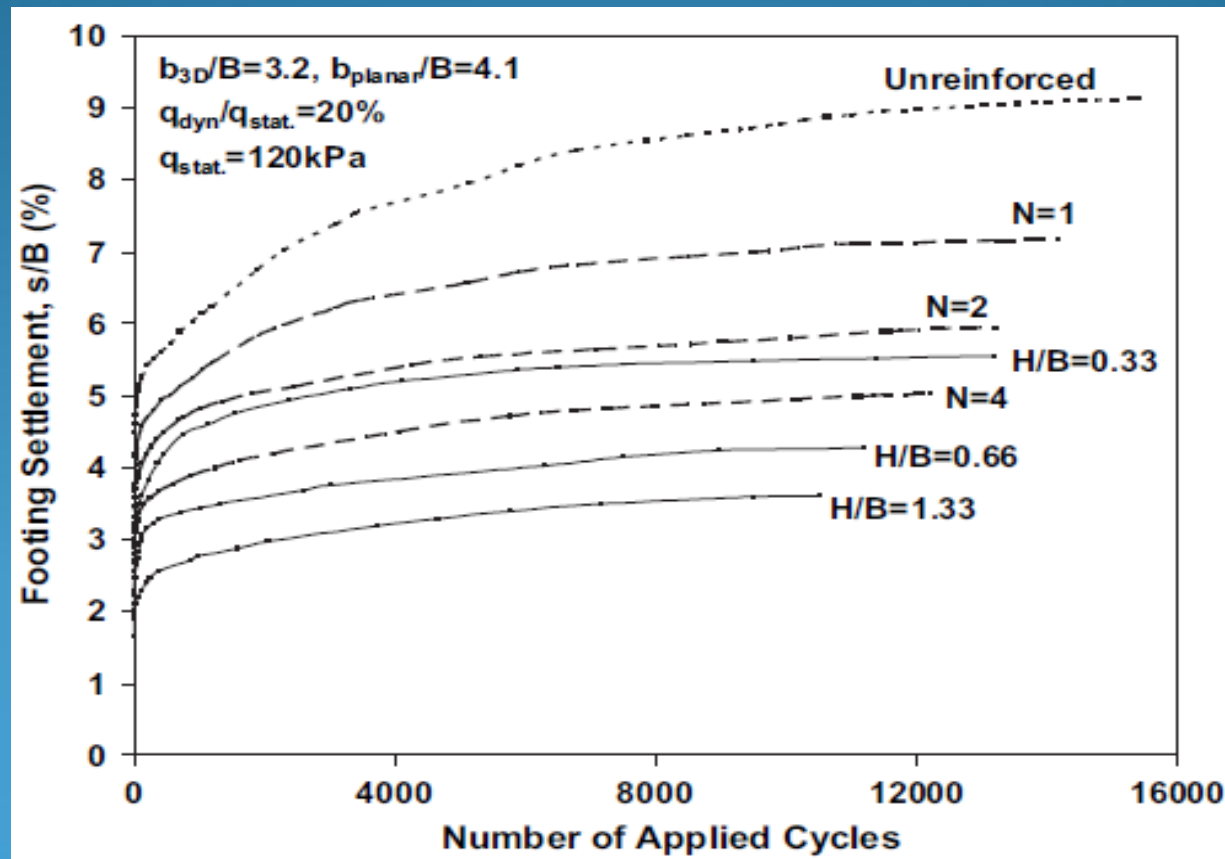


نتایج حاصل از تحقیقات Moghaddas Tafreshi and Dawson (2010)

- نمودارهای نشست - زمان و تنش اعمالی - نشست پی و معرفی پارامتر n_{cr}



رسیدن به حالت plastic shakedown بعد از ۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰ سیکل بسته
 به نوع و جرم مسلح کننده، مقدار بار استاتیکی و دامنه بار تناوبی
 -بزرگترین سهم از نشست پی در ده سیکل اول نسبت ۶/۰-۳۵/۰
 -در یک دامنه مشخص از بارگذاری تناوبی با افزایش تعداد مسلح کننده‌های
 صفحه‌ای و افزایش ارتفاع ژئوسل، نشست پی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد



- افزایش مقدار نشست پی در یک رفتار تقریباً خطی صرف نظر از تعداد لایه مسلح کننده صفحه‌ای و همچنین ارتفاع ژئوسل با افزایش در دامنه بار تناوبی

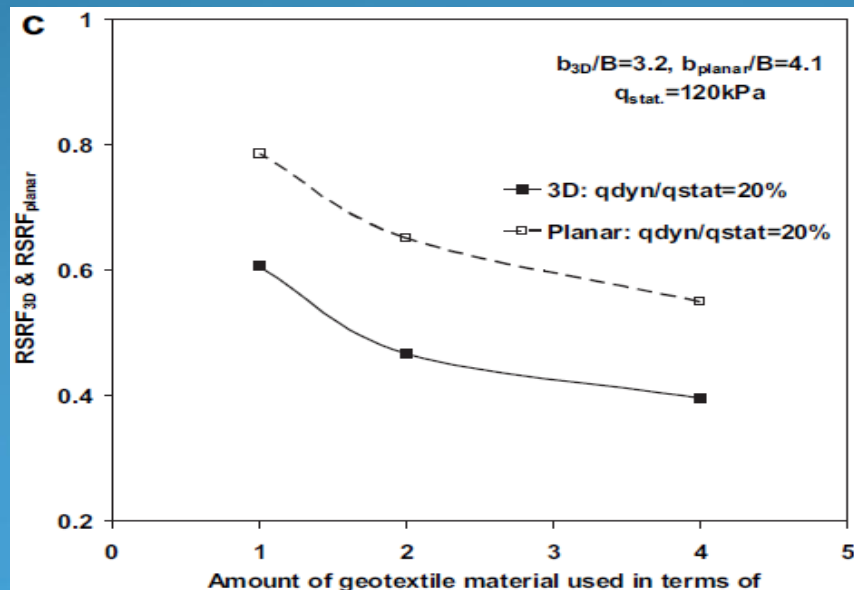
- مقایسه‌ای بین مسلح کننده صفحه‌ای و سه بعدی فاکتور کاهش نشست تحت بارگذاری تناوبی

$$RSRF_{planar} = \frac{(s_{planar})_{max}}{(s_{unrein})_{max}}$$

$$RSRF_{3D} = \frac{(s_{3D})_{max}}{(s_{unrein})_{max}}$$

- کاهش، بیشترین نشست پی تحت بارگذاری تناوبی برای مسلح کننده‌های صفحه‌ای و سه بعدی در یک نسبت جرمی **4a** به ترتیب معادل ۴۵٪ و ۶۰٪

- **plastic shakedown** با سرعت بیشتری برای مسلح کننده سه بعدی نسبت به صفحه‌ای فرا می‌رسد.



- یک مسلح کننده صفحه‌ای دارای عملکرد یکسان نسبت به ژئوسل با جرمی معادل با $۸۵/۲$ برابر جرم ژئوتکستایل مصرفی در ژئوسل

- در مقایسه با مسلح کننده‌های صفحه‌ای بر اساس تغییر شکل پی‌های متکی بر بستر مسلح شده با ژئوسل این تغییر شکل سبب بوجود آمدن یک تنش افقی محدود کننده که خود آن باعث مقاومتر کردن خاک داخل ژئوسل می‌شود، می‌گردد. این سیستم پاسخ منجر به مقاومتر شدن در پی تغییر شکل‌های پلاستیک در تمامی مرحله‌ها می‌شود.

- در مقایسه با بارگذاری استاتیکی، نشست پی تحت اولین سیکل بارگذاری تناوبی پس از بارگذاری استاتیکی تقریباً برای خاک غیر مسلح یکسان است. اما در مورد خاک مسلح شده هنگامی که از مسلح کننده بیشتر و بارگذاری تناوبی سریعتر استفاده شود، این تفاوت نشست افزایش می‌یابد،

- مطالعات دیگری نیز توسط **Sireesh** و **Dash** بر روی مطالعات پی دایره‌ای بر روی بستر ماسه مسلح شده با ژئوسل متکی بر رس نرم در سال ۲۰۰۳ انجام شده که می‌توان به آنها اشاره کرد.

تسلیح شیروانی‌ها و ساخت دیوارهای حایل با استفاده از ژئوسل

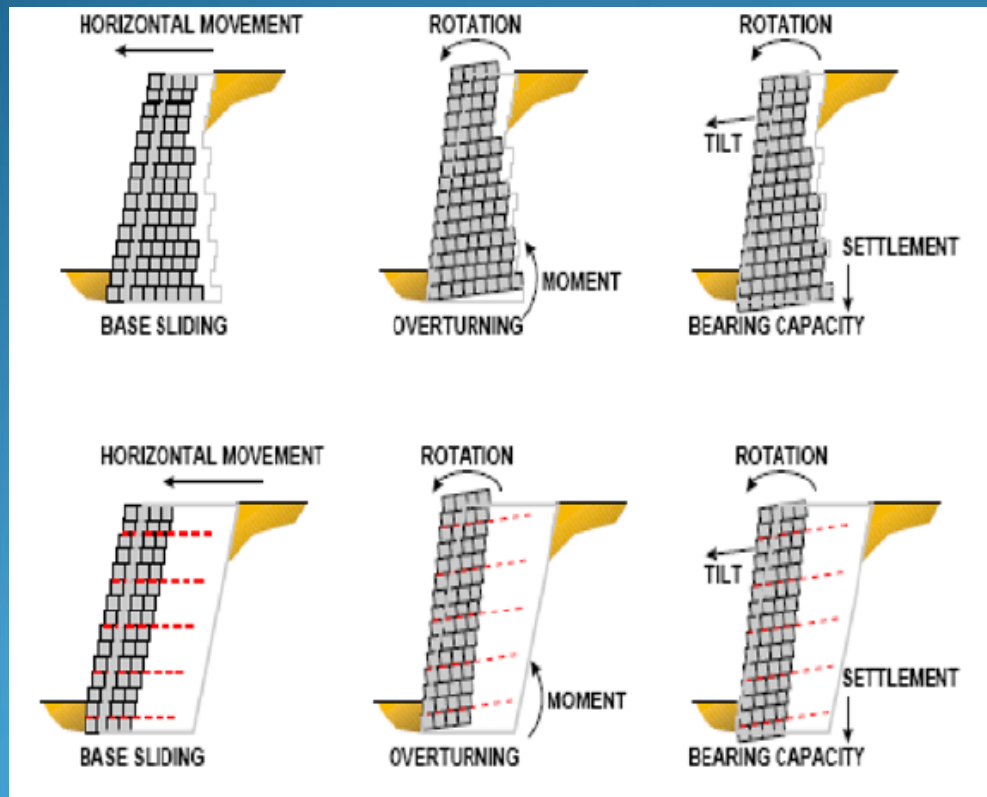
مواردی که در این بخش آورده شده است، به شرح زیر می‌باشد:

- ❖ پایداری دیوارهای حایل خاکی تسلیح شده با ژئوسل
- ❖ مدل‌های آزمایشگاهی بر روی دیوار حایل تسلیح شده با ژئوسل

❖ پایداری دیوارهای حایل خاکی تسلیح شده با ژئوسل

- بر اساس تحقیقات Rourke and Jones (1990)

- دو نوع پایداری برای دیوار حایل: پایداری خارجی و پایداری داخلی



پایداری کلی

لغزش پی

چرخش دیوار

ظرفیت باربری پی دیوار

پایداری خارجی

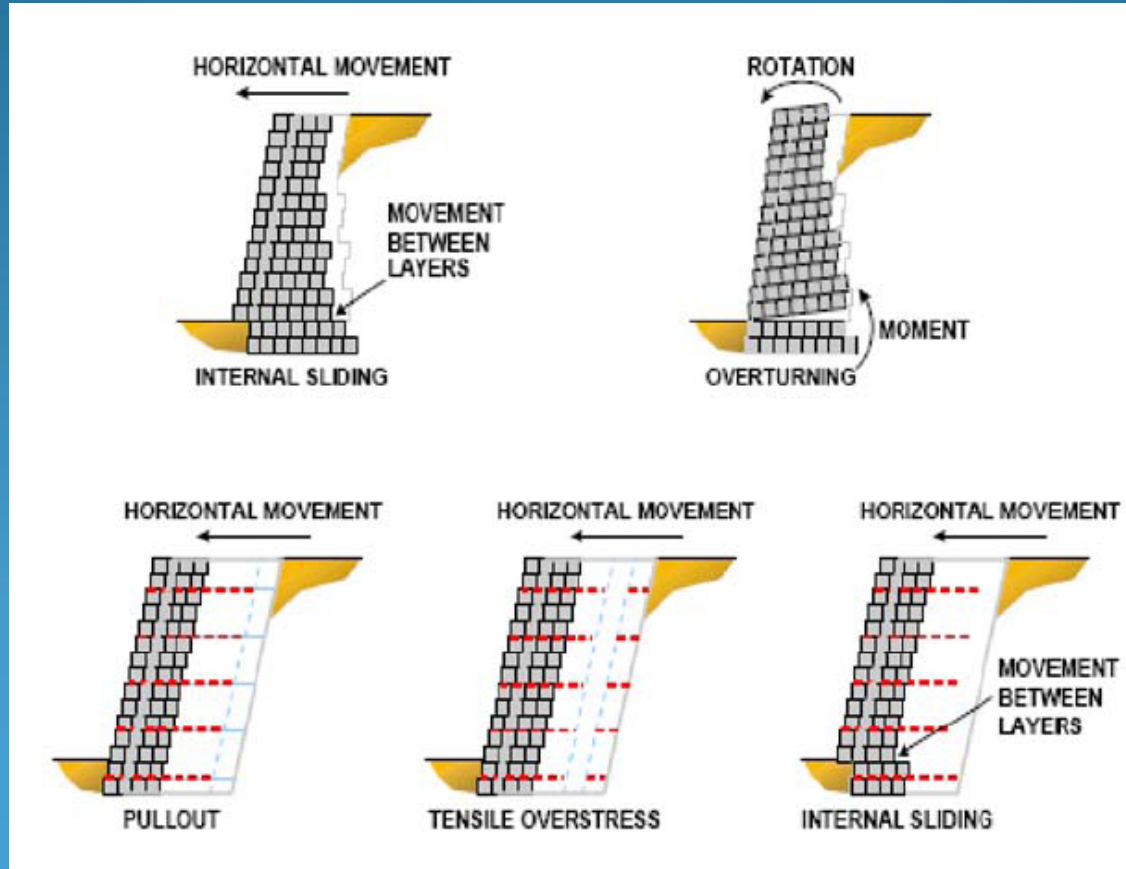
پایداری داخلی

جداشدگی بین لایه‌ها

لغزش لایه‌های ژئوسل

تسلیم کششی لایه‌ها

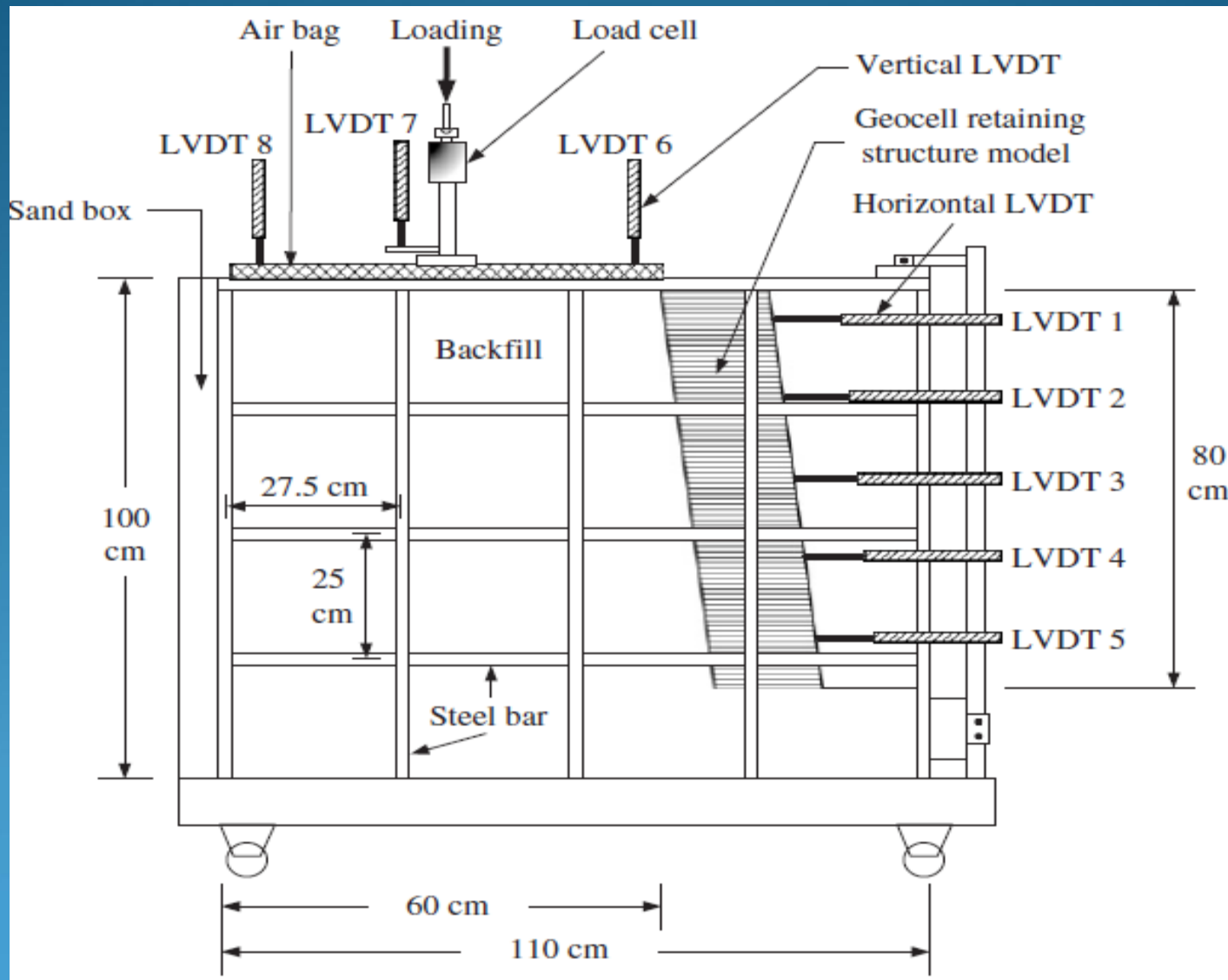
بیرون کشیدگی لایه‌ها



❖ مدل‌های آزمایشگاهی بر روی دیوار حایل تسلیح شده با ژئوسل

- بر اساس تحقیقات (Chen and Chiu (2007)
- نه مدل دیوار حایل ساخته شده از ژئوسل
- متغیرهای اصلی در این آزمایش‌ها: ارتفاع و زاویه سطح بیرونی سازه، نوع سربار و مسلح کننده در دو نوع پایداری خارجی ثقیلی و سطحی
- ماسه یکنواخت با علامت SP
- ارتفاع خاک درون جعبه در تمام آزمایش‌ها برابر ۸/۰ متر
- ابعاد جعبه آزمایش طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱/۱، ۳۴۵/۰ و ۱ متر
- جهت کم کردن اصطکاک دیواره جعبه با مصالح از یک ورق HDPE که با روغن گریس پوشیده شده است
- اگر تغییر مکان جانبی دیوار از ۳٪ ارتفاع دیوار تجاوز کند، دیوار دچار گسیختگی شده است و علت آن در کج شدن صفحه بارگذاری به خاطر نشست خاک

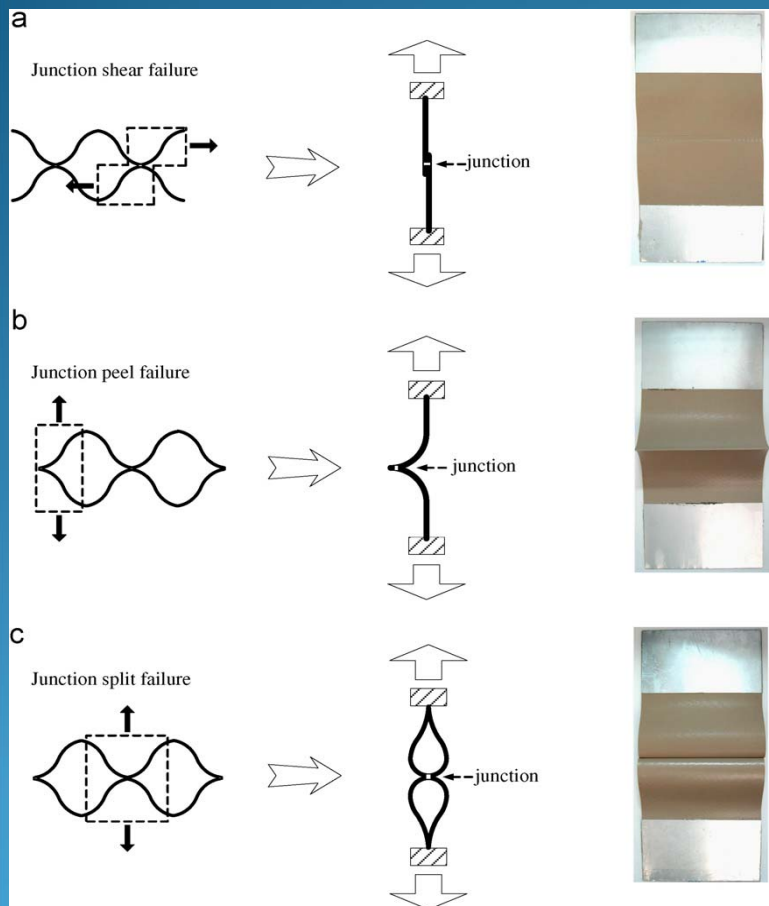
نمای کلی از ابزارهای اندازه گیری و جعبه آزمایش



- تحلیل ابعادی و متغیرهای موثر در رفتار یک دیوار نگهبان ساخته شده با ژئوسل را با خاک ماسه ای در پشت این دیوار
 - Cancelli و همکارانش در سال ۱۹۹۳

$$f(\rho, g, E, \theta, c, \varphi, H, \kappa, \alpha, h, L, T, S_j, P_j, U_j) = 0$$

چهار دسته مقاومت ژئوسل



مقاومت کششی ژئوسل

مقاومت ژئوسل در حالت shear failure

مقاومت ژئوسل در حالت peel failure

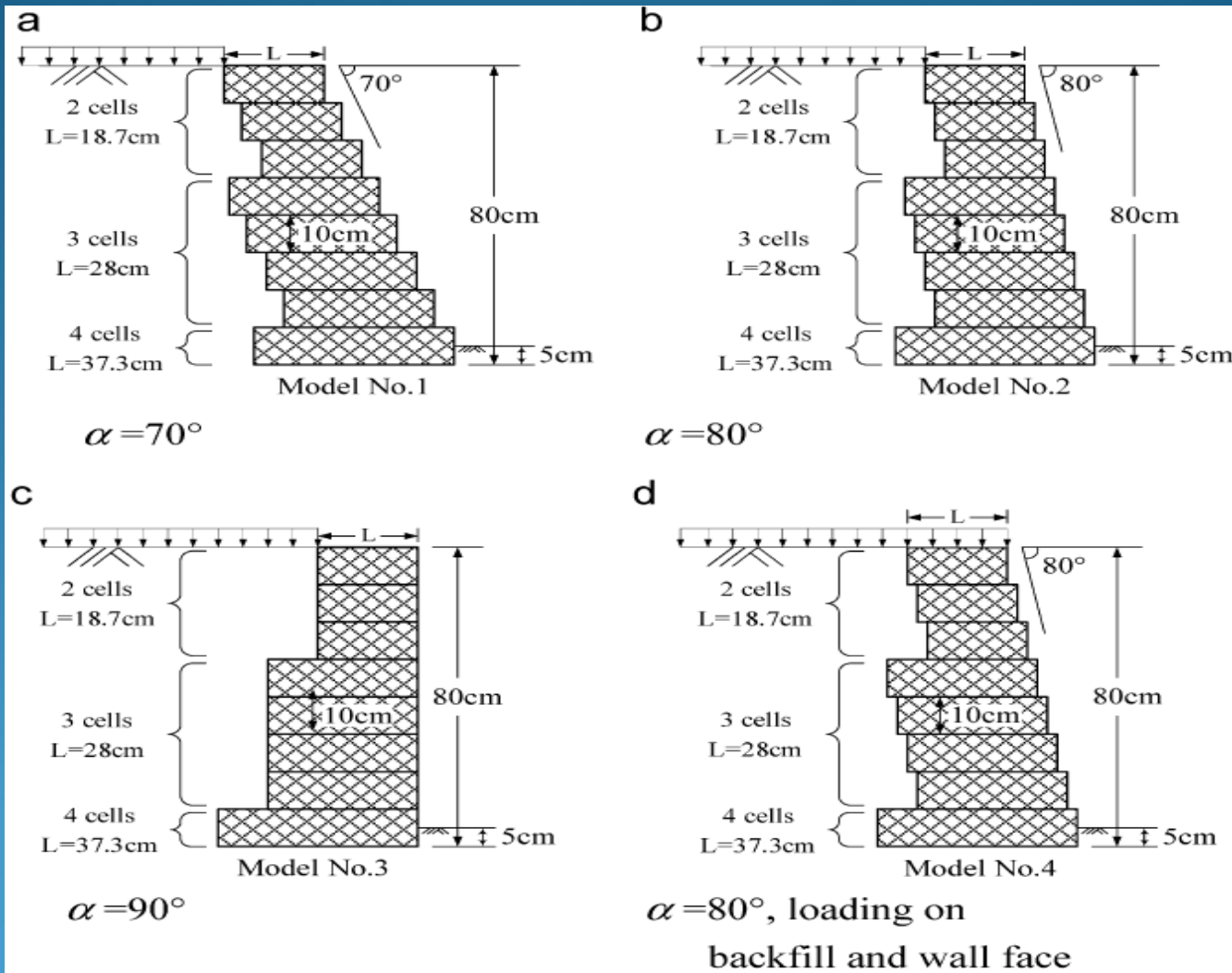
مقاومت ژئوسل در حالت split failure

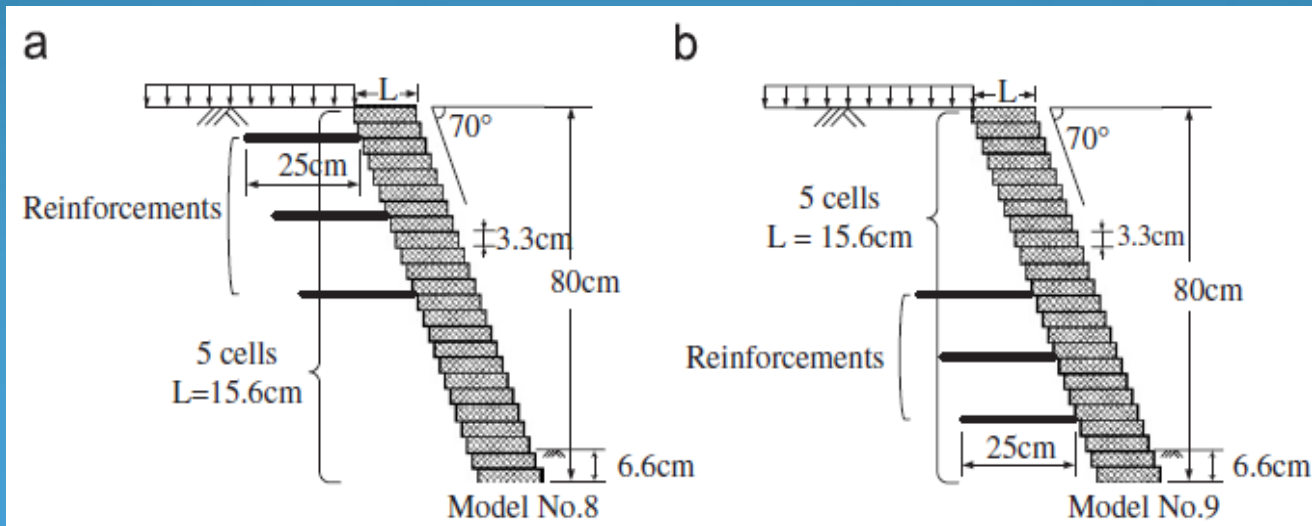
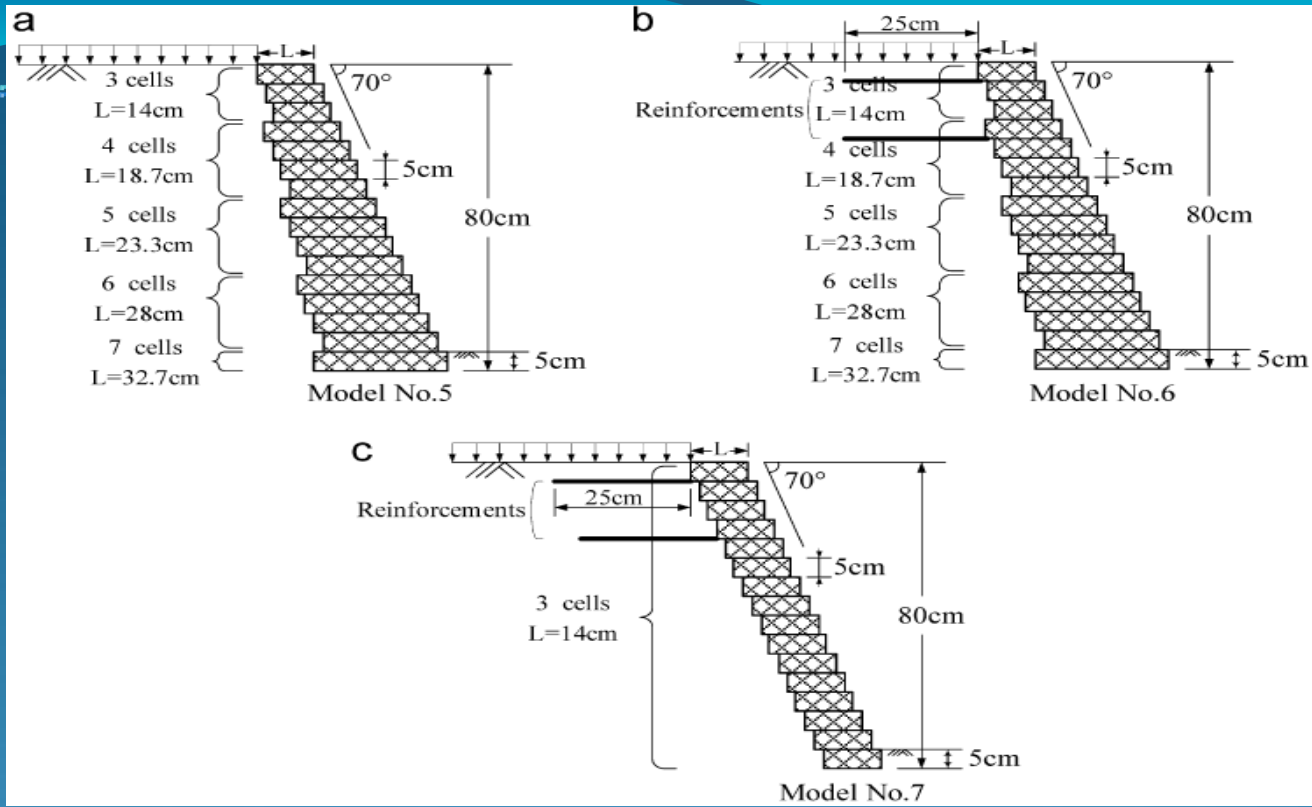
- انتخاب H, ρ, g به عنوان دیمانسیون پایه
- دوازده گروه Π به روش باکینگهام

$$\pi_1 = \frac{E}{\rho g H}, \pi_2 = \vartheta, \pi_3 = \frac{c}{\rho g H}, \pi_4 = \varphi, \pi_5 = \kappa, \pi_6 = \alpha, \pi_7 = \frac{h}{H}, \pi_8 = \frac{L}{H},$$
$$\pi_9 = \frac{T}{\rho g H^2}, \pi_{10} = \frac{S_j}{\rho g H^2}, \pi_{11} = \frac{P_j}{\rho g H^2}, \pi_{12} = \frac{U_j}{\rho g H^2}$$

- برقراری $(\pi_i)_m = (\pi_i)_p$ برای چهار خصوصیت مهم که نشان دهنده مقاومت کششی ژئوسل

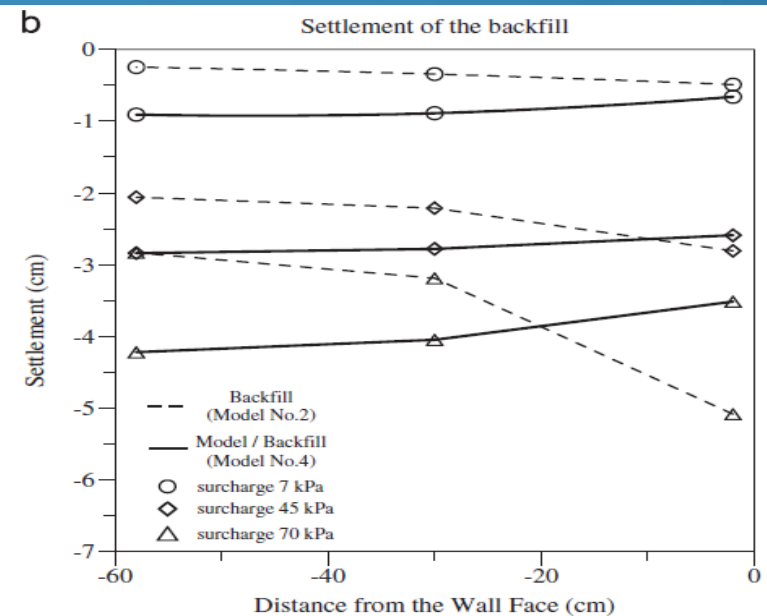
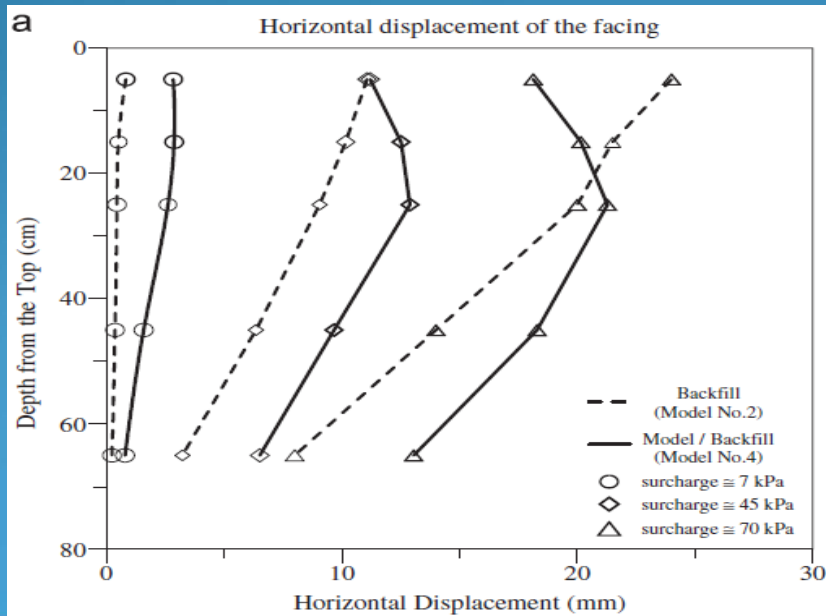
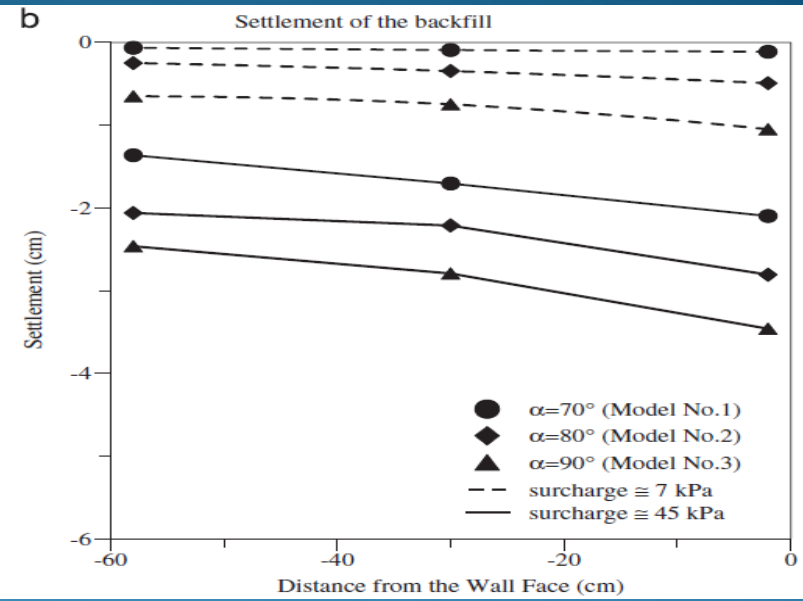
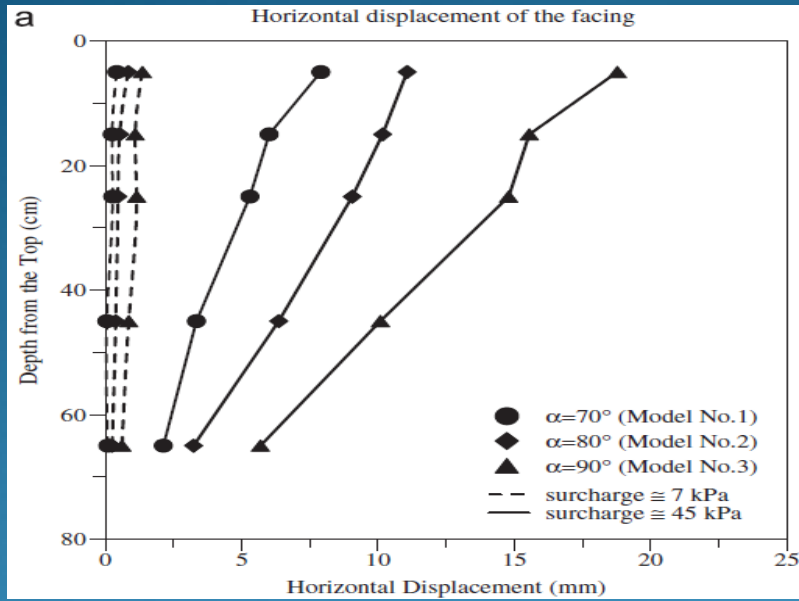
شماره‌های از مدل‌های آزمایشگاهی انجام شده دیوار حایل



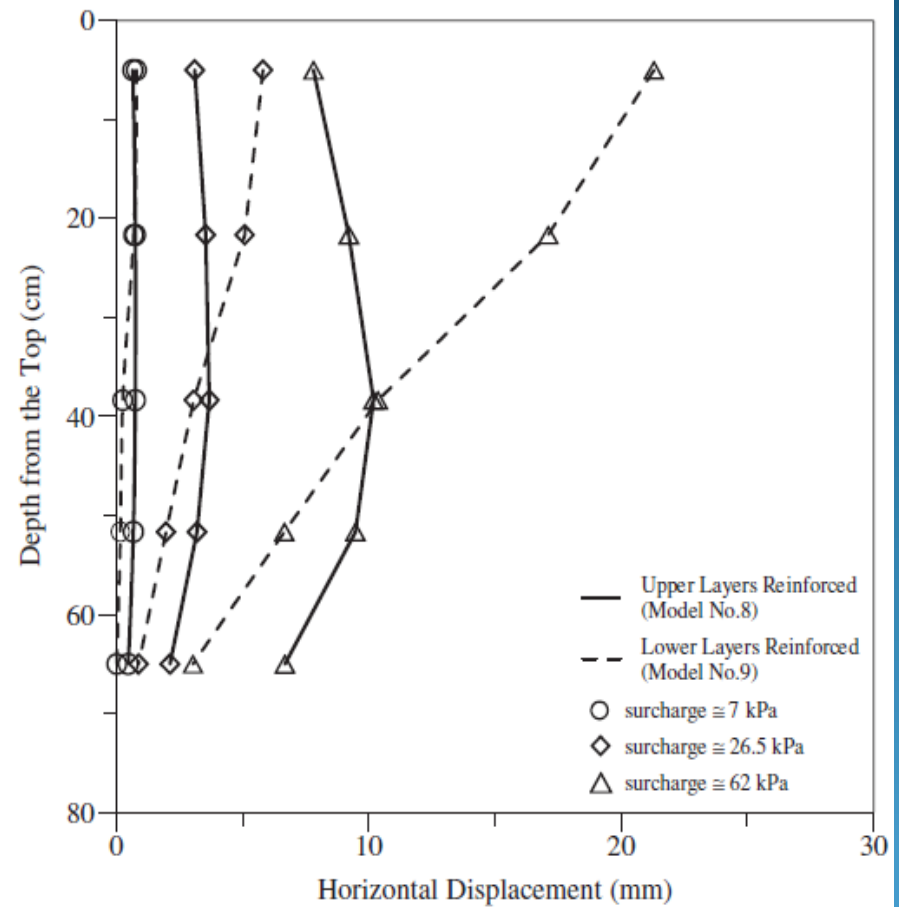
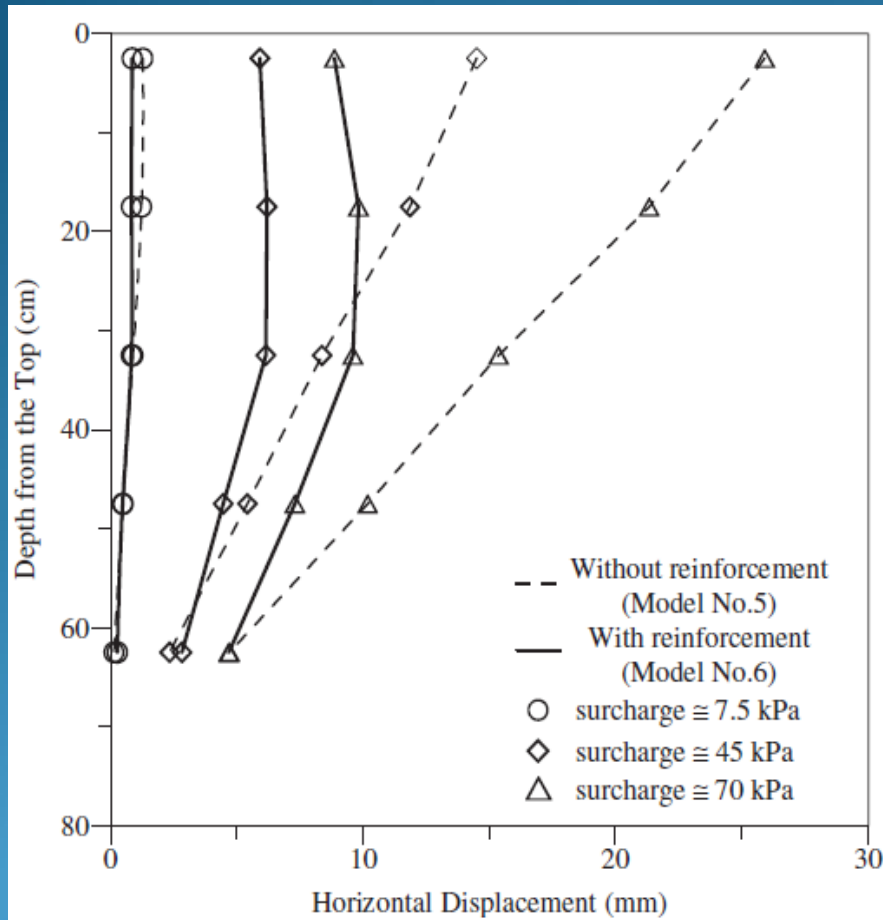


Chen and Chiu (2007) نتایج زیر را از تحقیقات خود گرفتند.

- سربار تنها بر روی خاک پشت دیوار و سربار بر روی دیوار و خاک پشت دیوار



- دیوار نمودارهای سمت چپ وزنی و سمت راست سطحی است
- تسلیح خاک پشت دیوار در هر دو دیوار وزنی و سطحی تاثیر مشابه دارد



تسلیح خاکریزها با استفاده از ژئوسل

مواردی که در این بخش آورده شده است، به شرح زیر می باشد:

❖ عملکرد لایه ژئوسل در بستر خاکریز

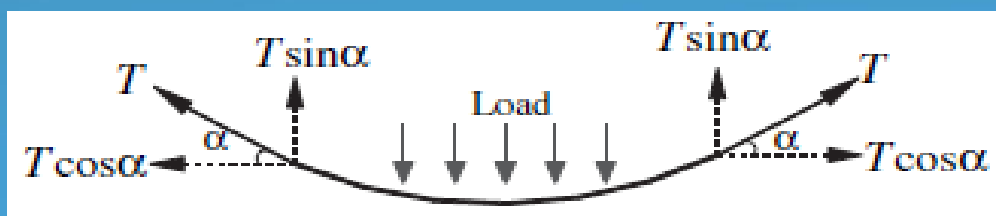
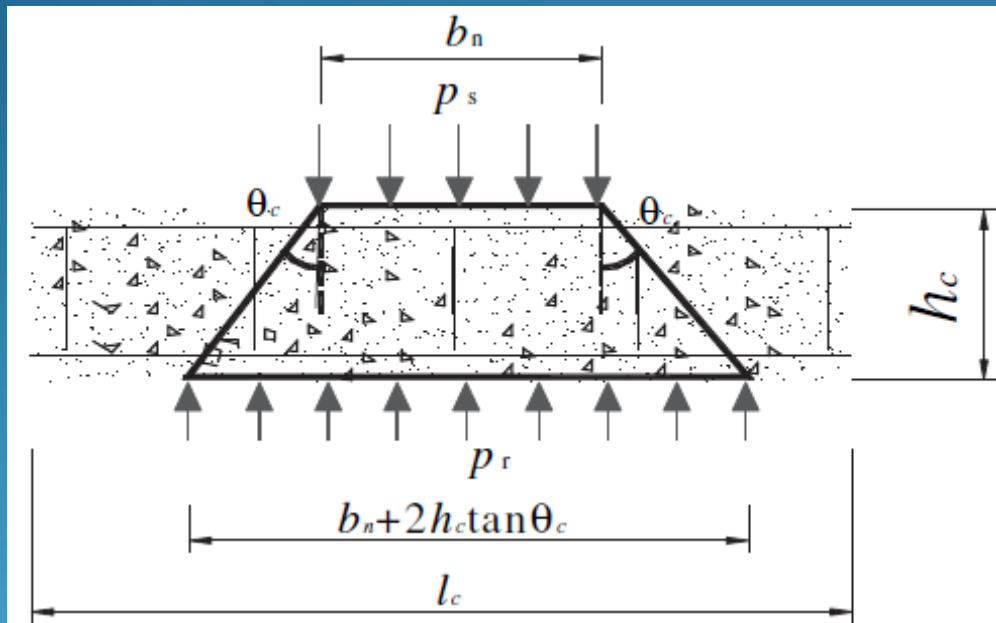
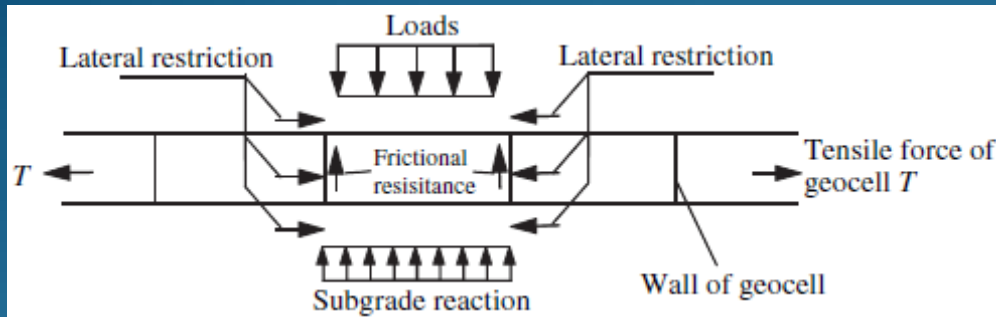
❖ روش کورنر (Koerner's method) در محاسبه ظرفیت باربری

پی بر روی خاک مسلح شده با ژئوسل

❖ محاسبه ظرفیت باربری خاکریز مسلح شده با ژئوسل

عملکرد لایه ژئوسل در بستر خاکریز

در تحقیقات صورت گرفته توسط Zhao و همکارانش در سال ۲۰۰۹

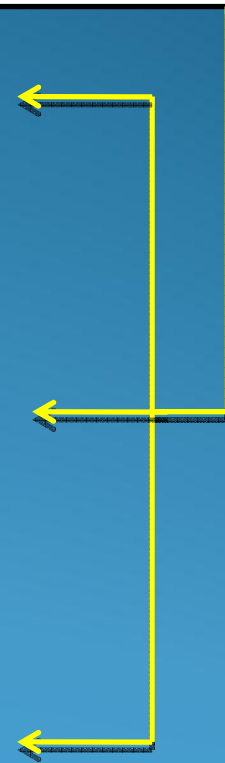


عملکرد اصلی لایه ژئوسل

اثر مقاومت جانبی

اثر توزیع تنش قائم

اثر غشاء و پوسته



روش کورنر (Koerner's method) در

محاسبه ظرفیت باربری پی بر روی خاک مسلح شده با ژئوسل

بر اساس تحقیقات Koerner در سال ۱۹۹۸ با محاسبه افزایش ظرفیت باربری برای پی متکی بر خاک مسلح شده با ژئوسل و اضافه نمودن ظرفیت باربری پی بدون در نظر گرفتن مسلح کننده به آن می توان ظرفیت باربری پی بر روی خاک مسلح شده با ژئوسل را محاسبه نمود. T مقاومت برشی بین ژئوسل و خاک درون آن می باشد.

ϕ معادل با زاویه مقاومت برشی بین خاک و مصالح دیواره سلولها (در حدود ۱۵-۲۰ درجه بین ماسه و HDPE، در حدود ۲۵-۳۵ درجه بین ماسه و ژئوتکستایل بافته نشده) می باشد

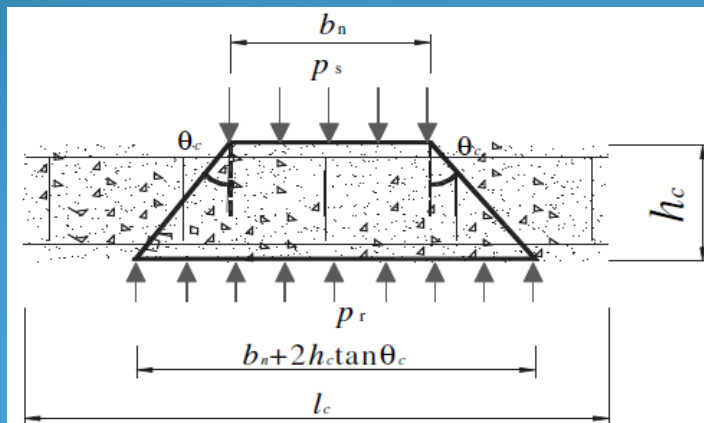
$$\Delta P = 2\tau$$

$$\tau = P \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi$$

محاسبه ظرفیت باربری خاکریز مسلح شده با

ژئوسل

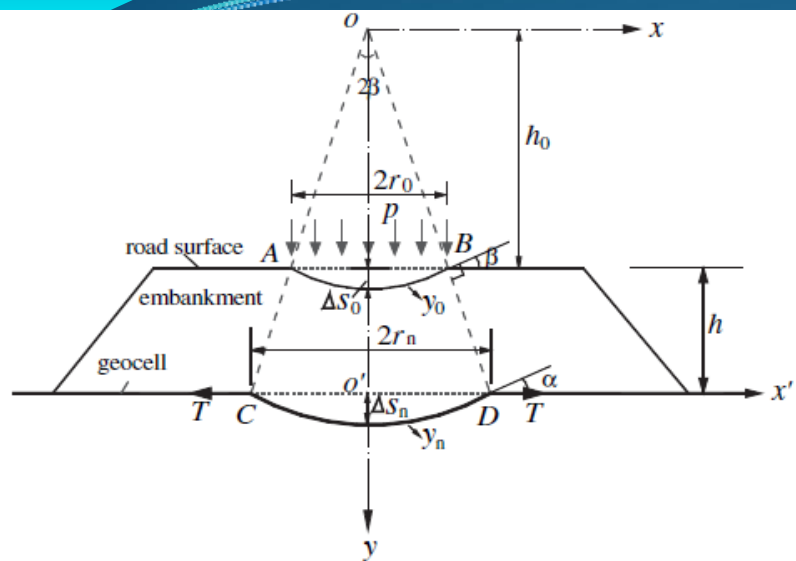
- بر اساس تحقیقات Ling Zhang و همکارانش در سال ۲۰۰۹
- از سه اثری که مسلح کننده در خاکریز دارد، عملکرد اثر مقاومت جانبی به طور مستقیم در افزایش ظرفیت باربری نقشی نداشته و در مقاومت در حرکت جانبی نقش خود را ایفا می کند.
- تقسیم مقدار ΔP به دو قسمت ΔP_1 برای اثر توزیع تنش قائم و ΔP_2 برای در نظر گرفتن اثر غشاء
- محاسبه مقدار افزایش ظرفیت باربری ΔP_1 به علت اثر توزیع تنش قائم



$$P_r = \frac{(b_n + 2h_c \tan \theta_c)}{b_n} \times P_s$$

$$\Delta P_1 = P_r - P_s = \frac{2h_c \tan \theta_c}{b_n} \times P_s$$

- محاسبه مقدار افزایش ظرفیت باربری ΔP_2 به علت اثر غشاء



$$\Delta P_2 = \frac{2T \sin \alpha}{b_n}$$

$$T = E_c \varepsilon h_g$$

- با نوشتن معادله تغییر شکل سطح خاکریز و لایه مسلح کننده ژئوسل و دیفرانسیل گیری از این معادلات نسبت به X مقادیر زاویه α و کرنش کششی ژئوسل ε بدست می آید.

$$\sin \alpha = \left[1 + \left(\frac{r_n}{2\Delta s_n} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\varepsilon = \frac{\widehat{CD} - 2r_n}{2r_n} = \frac{1}{2} \delta + \frac{r_n}{4\Delta s_n} \ln \left[\frac{2\Delta s_n}{r_n} + \delta \right] - 1$$

$$\delta = \left[1 + \left(\frac{2\Delta s_n}{r_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

- مقدار ظرفیت باربری پی خاکریز P_{rs}

$$P_{rs} = P_s + \Delta P = P_s + \Delta P_1 + \Delta P_2 = P_s + \frac{2h_c \tan \theta_c}{b_n} P_s + \frac{2T \sin \alpha}{b_n}$$

- دلیل Ling Zhang و همکارانش با توجه به نتایج آزمایشگاهی بر دقیق تر بودن این روش نسبت به روش کورنر در مقادیر زیاد نشست پی

با تشکر از حسن توجه شما