

۹۴۰۹



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران (مکانیک خاک و پی)

بررسی مقاومت بیرون کشیدگی (Pull-out) مهار- شبکه  
(Grid- Anchor) در خاکهای ماسه ای

توسط:

عبداله صدر

استاد راهنما:

دکتر نادر هاتف

۱۳۸۷ / ۳ / ۲۸

اسفند ۱۳۸۶

۹۴۵۰۱

مهر اطلاعیه  
مهر اطلاعیه  
مهر اطلاعیه

به نام خدا

بررسی مقاومت بیرون کشیدگی (Pull-out) مهار- شبکه (Grid-Anchor)

در خاکهای ناسه ای

به وسیله ی:

عبداله صدر

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه بعنوان بخشی  
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی راه و ساختمان-ژئوتکنیک

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر نادر هاتف، استاد بخش راه و ساختمان (رئیس کمیته)

دکتر ارسلان قهرمانی، استاد بخش راه و ساختمان

دکتر قاسم حبیب آگهی، استاد بخش راه و ساختمان

دکتر مجتبی جهان اندیش، دانشیار بخش راه و ساختمان

اسفند ماه ۱۳۸۶

تقدیم به

پدر و مادر فداکار

و

خواهر و برادران مهربانم

## سپاسگزاری

خدای را شاکرم که به این حقیر توان و همت انجام این تحقیق را عطا نمود. اگرچه زبان از رکذ اهتیا محو و الطاف الهی قاصر است اما امیدوارم که در تمامی مراحل زندگی لطف خود را همچنان که تله بل لحدوبه شامل حالم نماید.

از زحمات استاد بسیار گرامیم جناب آقای دکتر هائف و همچنین از اساتید مشاور فرستحه هالاسر ، نارورسد گرامی، جناب آقای دکتر قهرمانی، آقای دکتر بیبحی هگا و آقای رستکد ناهجش یدنا لامکرکشته و قدردانی را دارم.

## چکیده

بررسی مقاومت بیرون کشیدگی (Pull-out) مهار- شبکه (Grid-Anchor)

در خاکهای ماسه ای

به وسیله ی:

عبدالله صدر

با گسترش روز افزون استفاده از ژئوسینتتیک ها در سازه های خاکی ، نیاز به مسلح کننده هایی با قابلیت بهتر بیش از پیش احساس می شود. در این پایان نامه ، یک سیستم ژئوگرید ابداعی موسوم به مهار- شبکه (Grid-Anchor) معرفی و آزمایش می شود. این سیستم از ژئوگرید معمولی و تعدادی مهار که به آن متصل شده اند ، تشکیل یافته است. بررسی تجربی همراه با مطالعه نرم افزاری با استفاده از کد اجزا محدود انجام شد. مشاهده گردید که مقاومت نهایی بیرون کشیدگی مهار- شبکه بیشتر از ژئوگرید معمولی است. با انجام مطالعه ی لیلحت اثر گروه مهار روی مقاومت نهایی ژئوگرید بررسی شد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ ژئوسینتتیک های مورد استفاده در آزمایش بیرون کشیدگی
۲	۱-۲-۱ ژئوتکستایل
۲	۲-۲-۱ ژئوممبرین
۳	۳-۲-۱ ژئوگرید
۴	۳-۱ هدف تحقیق
۴	۴-۱ روش تحقیق
۴	۱-۴-۱ مطالعه آزمایشگاهی
۴	۲-۴-۱ مطالعه نرم افزاری
۴	۳-۴-۱ مطالعه تحلیلی
۶	فصل دوم: انواع مسلح کننده و کاربردهای آن
۶	۱-۲ مقدمه
۷	۲-۲ ژئوسینتتیکها برای تسلیح خاک
۸	۳-۲ انواع ژئوسینتتیکها
۸	۱-۳-۲ ژئوتکستایلها
۸	۱-۱-۳-۲ کاربرد ژئوتکستایلها
۱۰	۲-۳-۲ ژئوگریدها
۱۰	۱-۲-۳-۲ خواص ژئوگرید
۱۱	۱-۲-۳-۲ کاربرد ژئوگرید
۱۱	۳-۳-۲ ژئوممبرین ها
۱۱	۱-۳-۳-۲ کاربرد ژئوممبرین ها
۱۲	۴-۳-۲ ژئونت ها
۱۲	۱-۴-۳-۲ کاربرد ژئونت

۱۲	۵-۳-۲ ژئوسل ها
۱۳	۶-۳-۲ ژئوکامپوزیت ها
۱۴	فصل سوم : معرفی آزمایش بیرون کشیدگی
۱۴	۱-۳ مقدمه
۱۴	۲-۳ اجزا تشکیل دهنده دستگاه
۱۷	فصل چهارم : مروری بر مطالعات پیشین
۱۷	۱-۴ مقاومت نهایی بیرون کشیدگی ژئوسینتتیکها
۱۸	۱-۱-۴ مقاومت اصطکاکی
۱۸	۲-۱-۴ مقاومت باربری
۲۱	۳-۱-۴ اثر تداخل و ابعاد ذرات خاک در رابطه مقاومت نهایی
۲۳	۲-۴ روابط تحلیلی
۲۳	۱-۲-۴ Abramento روابط تحلیلی
۳۰	۲-۲-۴ Bergado روش تحلیلی
۳۰	۳-۲-۴ Teixeira روش تحلیلی
۳۲	۴-۲-۴ Moraci روش تحلیلی
۳۳	۳-۴ روشهای عددی
۳۴	۱-۳-۴ روش تفاضل محدود
۳۵	۲-۳-۴ روش عناصر محدود
۳۶	۴-۴ عوامل موثر بر نتایج آزمایش بیرون کشیدگی
۳۶	۱-۴-۴ شرایط هندسی و مرزی
۳۶	۱-۱-۴-۴ زبری دیوار جلو
۳۶	۲-۱-۴-۴ اثر مرز بالایی
۳۷	۳-۱-۴-۴ اثر فاصله ژئوسینتتیک از شکاف
۳۷	۴-۱-۴-۴ اثر عرض نمونه
۳۸	۵-۱-۴-۴ اثر طول نمونه
۳۹	۶-۱-۴-۴ اثر دیوار جلو
۴۰	۲-۴-۴ ویژگیهای خاک مورد آزمایش
۴۰	۱-۲-۴-۴ اثر دانه بندی
۴۱	۲-۲-۴-۴ اثر سایز ذرات خاک
۴۲	۳-۲-۴-۴ اثر دانسیته خاک



۴۲	۴-۲-۴-۴ اثر ارتفاع لایه خاک
۴۳	۳-۴-۴ اثر تنش نرمال
۴۵	۴-۴-۴ اثر سختی مسلح کننده
۴۷	۵-۴-۴ اثر اتساع
۵۱	۶-۴-۴ اثر اعضای طولی و عرضی در ژئوگرید
۵۳	۵-۴ مقاومت بیرون کشیدگی مهارها
۵۳	۱-۵-۴ روش های تجربی
۵۶	۲-۵-۴ روشهای عددی
۵۶	۳-۵-۴ روشهای تحلیلی
۶۰	<b>فصل پنجم : مطالعه تجربی</b>
۶۰	۱-۵ مقدمه
۶۰	۲-۵ خاک مورد آزمایش
۶۳	۳-۵ ویژگیهای ژئوگرید و مهار- شبکه مورد آزمایش
۶۴	۴-۵ دستگاه مورد استفاده
۶۶	۵-۵ روش اجرا
۶۷	۶-۵ نتایج آزمایش و تحلیل داده ها
۷۳	<b>فصل ششم : مطالعه نرم افزاری</b>
۷۳	۱-۶ مدلسازی
۷۵	۲-۶ نتایج تحلیل عددی
۸۲	<b>فصل هفتم : مطالعه تحلیلی</b>
۸۲	۱-۷ تعیین مقاومت نهایی ژئوگرید
۸۳	۲-۷ تعیین مقاومت نهایی مهار- شبکه
۸۳	۱-۲-۷ آنالیز دو بعدی با فرض عملکرد صفحه ای
۸۴	۲-۲-۷ آنالیز دو بعدی مهارهای مکعبی با در نظر گرفتن اثرات سه بعدی
۸۸	۳-۲-۷ روش سطح مقطع معادل
۹۰	<b>فصل هشتم : نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۹۲	<b>منابع و ماخذ</b>

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۲	شکل ۱-۲-۱. انواع ژئوتکستایلها
۳	شکل ۱-۲-۲. ژئوممبرین
۳	شکل ۱-۲-۳. انواع ژئوگرید
۱۲	شکل ۱-۳-۲. ژئونت
۱۲	شکل ۲-۳-۲. ژئوسل
۱۶	شکل ۱-۲-۳. برش (شکل بالا) و پلان (شکل پایین) دستگاه بیرون کشیدگی
۱۹	شکل ۱-۱-۴. معیار گسیختگی عمومی (General)
۱۹	شکل ۲-۱-۴. معیار گسیختگی پانچینگ
۲۰	شکل ۳-۱-۴. مقایسه روابط ۷-۱-۴ و ۸-۱-۴
۲۳	شکل ۱-۲-۴. شرایط مرزی و هندسی در آنالیز Abramento
۲۵	شکل ۲-۲-۴. سلسله رفتار ژئوسینتتیک در آزمایش بیرون کشیدگی
۲۷	شکل ۳-۲-۴. مفهوم Elongation
۲۹	شکل ۴-۲-۴. تنش محوری، نرمال و برشی بر اساس روابط تحلیلی Abramento
۳۰	شکل ۵-۲-۴. مقایسه روش تجربی و تحلیلی
۳۱	شکل ۶-۲-۴. مدل ژئوگرید جهت تعریف نحوه انتقال نیرو
۳۳	شکل ۷-۲-۴. مکانیسم گسیختگی تشکیل شده پشت یک عضو عرضی
۳۳	شکل ۸-۲-۴. مفهوم سطح مقطع معادل
۳۳	شکل ۹-۲-۴. نمایی از برش عرضی یک ژئوگرید
۳۵	شکل ۱-۳-۴. مدل در روش عناصر محدود
۳۶	شکل ۱-۴-۴. اثر زبری دیوار جلو روی مقاومت بیرون کشیدگی
۳۶	شکل ۲-۴-۴. اثر مرز بالایی
۳۷	شکل ۳-۴-۴. اثر فاصله نمونه از شکاف
۳۸	شکل ۴-۴-۴. اثر عرض نمونه

- شکل ۴-۴-۵. اثر طول نمونه روی مقاومت نهایی بیرون کشیدگی ----- ۳۹
- شکل ۴-۴-۶. اثر صلبیت دیوار جلو روی طولی از ژئوگرید که در مقاومت شرکت میکند - ۳۹
- شکل ۴-۴-۷. نتیجه آزمایش روی خاک نوع A ----- ۴۱
- شکل ۴-۴-۸. نتیجه آزمایش روی خاک نوع B ----- ۴۱
- شکل ۴-۴-۹. اثر اندازه ذرات روی مقاومت باربری اعضای عرضی ----- ۴۲
- شکل ۴-۴-۱۰. اثر تنش نرمال روی طول بسیج شده در برابر مقاومت ( $L_x$  طولی از نمونه که در برابر بیرون کشیدگی بسیج شده و  $L_0$  طول کل مسلح کننده است) ----- ۴۴
- شکل ۴-۴-۱۱. فرض توزیع نیروی کششی در طول نمونه در هر روش ----- ۴۵
- شکل ۴-۴-۱۲. مقایسه تنش نهایی بیرون کشیدگی از هر روش ----- ۴۵
- شکل ۴-۴-۱۳. اثر سختی بر رفتار بیرون کشیدگی ژئوگریدها ----- ۴۶
- شکل ۴-۴-۱۴. اثر فشار سربار روی مقاومت ظاهری اندرکنش ----- ۴۷
- شکل ۴-۴-۱۵. مقایسه نتایج رابطه ۴-۲-۸ و نتایج تجربی ----- ۴۹
- شکل ۴-۴-۱۶. اثر تشدید اتساع مقید شده در نمونه های نواری ----- ۴۹
- شکل ۴-۴-۱۷. اتساع مقید و آزاد در نمونه های نواری ----- ۵۰
- شکل ۴-۴-۱۸. جابجایی خاک بالای نمونه ای که با عرض دستگاه هم اندازه است ----- ۵۰
- شکل ۴-۴-۱۹. تطابق رابطه ۴-۲-۱۱ با نتایج تجربی ----- ۵۱
- شکل ۴-۴-۲۰. اثر اعضای عرضی روی تنش نرمال در حوالی نمونه ----- ۵۲
- شکل ۴-۴-۲۱. تغییرات تنش نرمال در حوالی نمونه فاقد اعضای عرضی ----- ۵۲
- شکل ۴-۵-۱. نمایی از مهار قائم ----- ۵۳
- شکل ۴-۵-۲. اثر پارامترهای هندسی روی مقاومت نهایی مهار ----- ۵۴
- شکل ۴-۵-۳. رفتار نیرو-جابجایی مهارهای قائم ----- ۵۴
- شکل ۴-۵-۴. مکانسیم گسیختگی مهارهای سطحی و یا عمق متوسط ----- ۵۵
- شکل ۴-۵-۵. مکانسیم گسیختگی مهارهای عمیق ----- ۵۵
- شکل ۴-۵-۶. تعیین  $K_p \cos \delta$  ----- ۵۷
- شکل ۴-۵-۷. تعیین مقاومت فشار جانبی فعال به روش Ovesen ----- ۵۸
- شکل ۴-۵-۸. رابطه مقدار  $A_s/A_0$  با  $h/H$  ----- ۵۸
- شکل ۴-۵-۹. لحاظ اثر سه بعدی در روش Ovesen ----- ۵۸
- شکل ۴-۵-۱۰. شکل شماتیک نیروهای تاثیر گذار بر مقاومت نهایی مهار مکعبی ----- ۵۹
- شکل ۵-۲-۱. منحنی دانه بندی خاک مورد آزمایش ----- ۶۰
- شکل ۵-۲-۲. دستگاه آزمایش برش مستقیم ----- ۶۱

- شکل ۵-۲-۳. نتایج آزمایش برش مستقیم ----- ۶۱
- شکل ۵-۲-۴. دستگاه و نتایج آزمایش تراکم ----- ۶۲
- شکل ۵-۳-۱. نمایی از ژئوگرید (مطابق با ابعاد بکار رفته در آزمایش) ----- ۶۳
- شکل ۵-۳-۲. نمایی از مسلح کننده ابداعی (مهار - شبکه) ----- ۶۴
- شکل ۵-۴-۱. دستگاه مورد استفاده در این تحقیق ----- ۶۵
- شکل ۵-۴-۲. جزئیات دستگاه بیرون کشیدگی و کوبه ----- ۶۶
- شکل ۵-۶-۱. رفتار ژئوگرید تحت تنشهای نرمال متفاوت ----- ۶۸
- شکل ۵-۶-۲. رفتار مهار- شبکه تحت تنشهای نرمال متفاوت ----- ۶۸
- شکل ۵-۶-۳. مقایسه دو مسلح کننده در تنش نرمال ۴ کیلوپاسکال ----- ۶۹
- شکل ۵-۶-۴. مقایسه دو مسلح کننده در تنش نرمال ۸ کیلوپاسکال ----- ۶۹
- شکل ۵-۶-۵. مقایسه دو مسلح کننده در تنش نرمال ۱۲ کیلوپاسکال ----- ۷۰
- شکل ۵-۶-۶. مقایسه دو مسلح کننده در تنش نرمال ۱۸ کیلوپاسکال ----- ۷۰
- شکل ۵-۶-۷. مقایسه ثابت اندرکنش ظاهری در ژئوگرید و مهار- شبکه ----- ۷۱
- شکل ۵-۶-۸. ایجاد تنشهای نرمال موضعی بر اثر اتساع مقید شده ----- ۷۱
- شکل ۵-۶-۹. بررسی رابطه تنش نهایی بیرون کشیدگی با تنش نرمال ----- ۷۲
- شکل ۶-۱-۱. مدل مش بندی شده ژئوگرید ----- ۷۴
- شکل ۶-۱-۲. مدل مش بندی شده مهار- شبکه ----- ۷۴
- شکل ۶-۱-۳. فرم تغییر شکل یافته مدل ----- ۷۵
- شکل ۶-۲-۱. پیشگویی رفتار بیرون کشیدگی ژئوگرید تحت کلیه تنشهای نرمال ----- ۷۶
- شکل ۶-۲-۲. پیشگویی رفتار بیرون کشیدگی مهار- شبکه تحت کلیه تنشهای نرمال ----- ۷۶
- شکل ۶-۲-۳. مقایسه رفتار مهار- شبکه و ژئوگرید در تنش نرمال ۴ کیلوپاسکال ----- ۷۷
- شکل ۶-۲-۴. مقایسه رفتار مهار- شبکه و ژئوگرید در تنش نرمال ۸ کیلوپاسکال ----- ۷۷
- شکل ۶-۲-۵. مقایسه رفتار مهار- شبکه و ژئوگرید در تنش نرمال ۱۲ کیلوپاسکال ----- ۷۷
- شکل ۶-۲-۶. مقایسه رفتار مهار- شبکه و ژئوگرید در تنش نرمال ۱۸ کیلوپاسکال ----- ۷۸
- شکل ۶-۲-۷. مقایسه رفتار مهار- شبکه با دو روش نرم افزاری و تجربی در تنش  
نرمال ۴ کیلو پاسکال ----- ۷۸
- شکل ۶-۲-۸. مقایسه رفتار مهار- شبکه با دو روش نرم افزاری و تجربی در تنش  
نرمال ۸ کیلو پاسکال ----- ۷۸
- شکل ۶-۲-۹. مقایسه رفتار مهار- شبکه با دو روش نرم افزاری و تجربی در تنش  
نرمال ۱۲ کیلو پاسکال ----- ۷۹

- شکل ۶-۲-۱۰. مقایسه رفتار مهار- شبکه با دو روش نرم افزاری و تجربی در تنش  
 ۷۹----- نرمال ۱۸ کیلو پاسکال
- شکل ۶-۲-۱۱. مقایسه رفتار ژئوگرید با دو روش نرم افزاری و تجربی در تنش  
 ۷۹----- نرمال ۴ کیلو پاسکال
- شکل ۶-۲-۱۲. مقایسه رفتار ژئوگرید با دو روش نرم افزاری و تجربی در تنش  
 ۸۰----- نرمال ۸ کیلو پاسکال
- شکل ۶-۲-۱۳. مقایسه رفتار ژئوگرید با دو روش نرم افزاری و تجربی در تنش  
 ۸۰----- نرمال ۱۲ کیلو پاسکال
- شکل ۶-۲-۱۴. مقایسه رفتار ژئوگرید با دو روش نرم افزاری و تجربی در تنش  
 ۸۰----- نرمال ۱۸ کیلو پاسکال
- شکل ۶-۲-۱۵. مقایسه ثابت اندرکنش بدست آمده از هر دو روش  
 ۸۱-----
- شکل ۶-۲-۱۶. منحنی جابجایی نقاط روی نمونه (کشیدگی) از محل اعمال بار  
 ۸۱-----
- شکل ۷-۱-۱. مقایسه مقاومت نهایی از روش تجربی و تحلیلی  
 ۸۳-----
- شکل ۷-۲-۱. مقایسه فرض مهار صفحه ای با نتایج تجربی  
 ۸۶-----
- شکل ۷-۲-۲. مقایسه فرض مهار مکعبی در گروه مهار با نتایج تجربی  
 ۸۷-----
- شکل ۷-۲-۳. اثر فاصله اعضای عرضی در مقاومت نهایی ژئوگرید  
 ۸۸-----
- شکل ۷-۲-۴. مقایسه مقاومت نهایی مهار- شبکه به روش سطح مقطع معادل  
 با نتایج تجربی  
 ۸۹-----

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱	جدول ۱-۲-۴ خصوصیات مواد و هندسه آزمایش بیرون کشیدگی مورد استفاده در آنالیز
۶۲	جدول ۱-۲-۵. ویژگیهای خاک مسلح شده در آزمایش
۶۳	جدول ۱-۳-۵. ویژگیهای فیزیکی و هندسی ژئوگرید
۶۴	جدول ۲-۳-۵. ویژگیهای فیزیکی و هندسی مهار
۸۲	جدول ۱-۱-۷: مقادیر پارامترهای بکار رفته در روابط تحلیلی
۸۴	جدول ۱-۲-۷: مقاومت نهایی مهار بر اساس رابطه ۴-۵-۹ برای کلیه تنشهای نرمال
۸۴	جدول ۲-۲-۷: مقایسه نتایج آزمایشگاهی مهار- شبکه با نتایج تحلیلی (رابطه ۴-۵-۹)
۸۵	جدول ۳-۲-۷. مقاومت بیرون کشیدگی هر مهار در گروه مهار به کمک رابطه ۴-۲-۷
۸۶	جدول ۴-۲-۷. مقایسه بین روشهای تحلیلی و نتایج آزمایشگاهی
۸۸	جدول ۵-۲-۷. مقایسه مقاومت نهایی مهار- شبکه به روش مقطع معادل با نتایج تجربی

## فصل اول : مقدمه

### ۱-۱ مقدمه

ژئوسینتتیکها جهت مسلح سازی توده خاک در سه دهه اخیر مورد استفاده فراوانی قرار گرفته اند. ژئوسینتتیکها در بسیاری از اعضای سازه ای نظیر دیوارهای حائل مسلح، شیبهای مسلح، خاکریز روی خاک نرم و فنداسیون استفاده می شوند. ژئوسینتتیکها با افزایش مقاومت کششی خاک، تغییر شکلهای افقی را افزایش داده و سبب افزایش پایداری خاک می شوند. در بسیاری از مواقع کاربرد ژئوسینتتیکها نه فقط یک راه حل مهندسی که روشی با در نظر گرفتن جوانب اقتصادی است و لذا محاسبه فاکتورهای طراحی نظیر زاویه اصطکاک بین خاک و ژئوسینتتیک اهمیت زیادی خواهد داشت. هنگام طراحی ژئوسینتتیکها باید دقت داشت که مسلح کننده مقاومت مهاری مناسبی داشته باشد. در غیر این صورت اندر کنش بین خاک و ژئوسینتتیک سبب گسیختگی خاک مجاور شده و ژئوسینتتیک بیرون کشیده می شود. از این نوع گسیختگی به نام بیرون کشیدگی "Pull-out" نام برده می شود. در این نوع گسیختگی ژئوسینتتیک در کشش بوده و جابجایی نسبی بین خاک و ژئوسینتتیک در طول آن متغیر بوده و به نقطه اعمال بار کششی در مسلح کننده بستگی دارد. به عبارت دیگر اگر مقاومت اندرکنش بین خاک و مسلح کننده کمتر از مقاومت خاک بتهایی باشد، مسلح کننده مانند یک صفحه ضعف عمل خواهد کرد.

برای تعیین مشخصات این نوع گسیختگی دو نوع آزمایش انجام می شود: آزمایش برش مستقیم و آزمایش بیرون کشیدگی .

در آزمایش برش مستقیم مقاومت اصطکاکی تابع مقاومت برشی بین خاک- ژئوسینتتیک و خاک-خاک (در ژئوگرید) است. در حالیکه در آزمایش بیرون کشیدگی تابع زبری سطح و کشسانی و بهم پیوستگی ژئوسینتتیک است.

پارامترهای اندرکنش خاک-ژئوسینتتیک بوسیله ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خاک (چگالی، شکل و اندازه ذرات، دانه بندی)، خواص مکانیکی (مقاومت کششی) و هندسه ژئوسنتتیک و شرایط مرزی (دستگاه مورد استفاده) تحت تاثیر قرار می گیرد.

در این پایان نامه، یک نوع مسلح کننده جدید با نام مهار-شبكة (با شماره ثبت ۳۳۹۸۹) معرفی می شود. مهار- شبکه "Grid-Anchor" از ژئوگرید و تعدادی مهار (انکر) که به آن

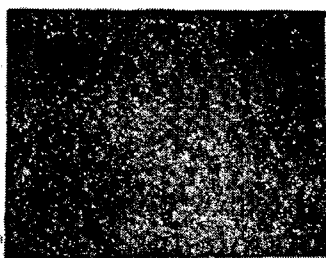
متصل شده اند، تشکیل شده است. با انجام یک سری آزمایش بیرون کشیدگی و نیز مدلسازی نرم افزاری آزمایش بیرون کشیدگی، به بررسی رفتار این دو مسلح کننده و نیز میزان کارایی مهار- شبکه پرداخته شد و در نهایت تلاش شد که بوسیله روابط تحلیلی مقاومت نهایی مهار- شبکه تخمین زده شود.

## ۲-۱ ژئوسینتتیکهای مورد استفاده در آزمایش بیرون کشیدگی

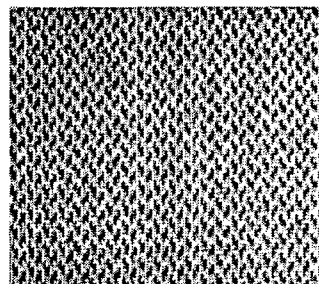
در گذشته از انواع مسلح کننده های فلزی جهت بهبود مشخصات خاک استفاده می شد، اما در سه دهه اخیر استفاده از مسلح کننده های غیر فلزی بخصوص ژئوسینتتیکها شیوع زیادی پیدا کرده است. مهمترین مزیت این گونه مسلح کننده ها دوام زیاد ، مقاومت مناسب در برابر عوامل خورنده و همچنین خاصیت کشسانی آنهاست. ژئوسینتتیکها از الیاف مشتقات نفتی بویژه پلی پروپیلن، پلی اتیلن و پلی استر بدست می آیند. ژئوتکستایل "Geotextile"، ژئوممبرین "Geomembrane" و ژئوگرید "Geogrid" سه دسته عمده ژئوسینتتیکها هستند که آزمایش بیرون کشیدگی روی آنها انجام می شود.

### ۱-۲-۱ ژئوتکستایل

این دسته از ژئوسینتتیکها کاربرد گسترده ای در مهندسی ژئوتکنیک دارند ، که از مهمترین این موارد میتوان به جدا سازی مصالح ، زهکشی و تسلیح اشاره کرد. ژئوتکستایلها در دو فرم بافته شده و بافته نشده عرضه می شوند. در حالت دوم هیچ گونه جهت گیری خاصی در الیاف به چشم نمی خورد. (شکل ۱-۲-۱)



بافته نشده



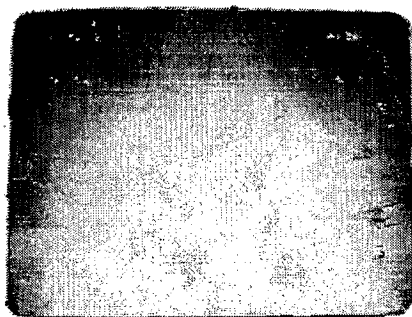
بافته شده

شکل ۱-۲-۱. انواع ژئوتکستایلها



### ۱-۲-۲ ژئو ممبرین

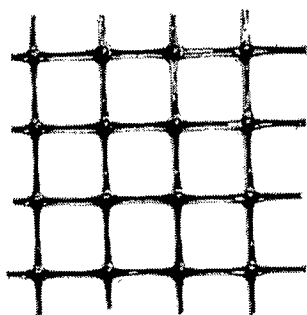
این نوع ژئوسینتتیکها اغلب برای ایجاد یک سطح غیر قابل نفوذ بکار می روند و به دو فرم سطح صاف و سطح زبر بکار می روند. (شکل ۱-۲-۲)



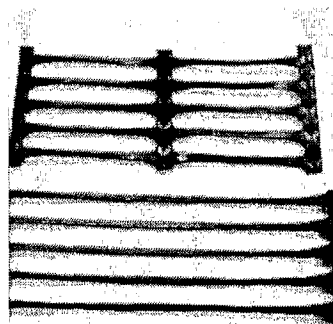
شکل ۱-۲-۲. ژئوممبرین

### ۱-۲-۳ ژئوگرید

ژئوگریدها بین انواع ژئوسینتتیکها از شکل ظاهری متفاوتی برخوردار بوده و شامل مقدار قابل ملاحظه ای از حفرات خالی هستند و فقط جهت تسلیح ( شیبهای خاکی ، دیوارهای حائل و پی ها) بکار می روند. اندازه حفرات باید به گونه ای باشد که دانه های درشت خاک بتوانند ب راحتی از آن عبور کنند. بدین جهت توصیه شده است که اندازه حفرات از ۳،۵ برابر بزرگترین سائز ذرات کوچکتر نباشد. ژئوگریدها دارای دو دسته اعضا طولی و عرضی بوده که عضو دوم در ژئوگریدها منحصر بفرد بوده و سبب می شود که ژئوگریدها علاوه بر مقاومت اصطکاکی واجد مقاومت باربری " Bearing resistance " شبیه حالت بیرون کشیدگی در دیوارهای حائل باشند. ژئوگریدها به صورت تنها اعضا طولی " Uniaxial " نیز در بازار عرضه می شوند. (شکل ۱-۲-۳)



ژئوگرید تک محوره



ژئوگرید دو محوره

شکل ۱-۲-۳. انواع ژئوگرید

### ۳-۱ هدف تحقیق

با توجه به گسترش روز افزون استفاده از مسلح کننده ها در سازه های خاکی، نیاز به طراحی مسلح کننده هایی با قابلیت بیشتر احساس می شود. هدف این تحقیق بر شماری ویژگیها و همچنین میزان کارایی مسلح کننده جدید (مهار- شبکه) در مقایسه با ژئوگریدهای متداول و موجود در بازار است. مهمترین راهکار جهت بررسی میزان کارایی یک ژئوسینتتیک و نیز مطالعه رفتار اندرکنش آن با خاک، آزمایش بیرون کشیدگی است. مقایسه مقاومت نهایی و نیز رفتار مهار- شبکه حین آزمایش بیرون کشیدگی با ژئوگرید، می تواند کارایی این مسلح کننده را مشخص سازد.

### ۴-۱ روش تحقیق

#### ۴-۱-۱ مطالعه آزمایشگاهی

آزمایش بیرون کشیدگی یا به روش کنترل جابجایی و یا کنترل نیرو انجام می شود. در این تحقیق جهت مطالعه آزمایشگاهی یک دستگاه بیرون کشیدگی به روش کنترل جابجایی طراحی و ساخته شد و ژئوگرید و مهار- شبکه تحت تنشهای نرمال متفاوتی مورد آزمایش قرار گرفتند. در هر آزمایش، جابجایی و نیروی بیرون کشیدگی در ابتدای نمونه و تا گسیختگی ناشی از بیرون کشیدگی ثبت می شد.

#### ۴-۱-۲ مطالعه نرم افزاری

آزمایش بیرون کشیدگی به کمک نرم افزار قدرتمند تجاری "PLAXIS" به صورت دو بعدی شبیه سازی شد. پارامترهای هندسی و فیزیکی بکار رفته عیناً مطابق با روش تجربی بود. با توجه به محدودیتهای روش تجربی، به کمک مدل کامپیوتری اطلاعات بیشتری را در ارتباط با رفتار مسلح کننده حین بیرون کشیدگی می توان بدست آورد.

### ۱-۴-۳ مطالعه تحلیلی

تا کنون روابط تحلیلی متعددی جهت پیشگویی رفتار مسلح کننده ها و نیز مهارها در آزمایش بیرون کشیدگی (بوژه مقاومت نهایی بیرون کشیدگی) از سوی محققین استخراج شده است. در این مطالعه سعی بر آن شد که از این روابط تحلیلی برای تخمین مقاومت نهایی بیرون کشیدگی مهار- شبکه بکار رود.

## فصل دوم: انواع مسلح کننده و کاربردهای آن

### ۲-۱ مقدمه

استفاده از مسلح کننده ها در سازه های خاکی به هزاران سال پیش باز می گردد. کاوشهای باستان شناسی کاخ پرسپولیس از وجود تسمه های فلزی و همچنین الیاف زیر پی عمارت خبر می دهد. در مصر باستان از نی به عنوان مسلح کننده در زیر ساختمان استفاده می شد. با توسعه استفاده از مواد مشتق شده از نفت در قرن بیستم، جایگزینی مسلح کننده های عمدتاً فلزی با مسلح کننده های پلیمری موسوم به ژئوسینتتیک آغاز شد. مهمترین دلیل استفاده و رشد سریع ژئوسینتتیکها عدم زوال و پوسیدگی آنها در برابر عوامل محیطی و شیمیایی، کاربرد سریع و آسان و همچنین خاصیت انعطاف پذیری آنهاست. در سال ۱۹۷۰ تنها ۶ تا ۵ نوع ژئوسینتتیک در دسترس بود در حالیکه امروزه بیش از ۶۰۰ نوع محصولات متفاوت ژئوسینتتیک در جهان شناخته شده است. مصرف سالانه این محصولات پلیمری چیزی حدود ۱۰۰۰ میلیون متر مربع در جهان به ارزش ۱۵۰۰ میلیون دلار می باشد. در کمتر از ۳۰ سال ژئوسینتتیک ها انقلاب عظیمی در مهندسی عمران ایجاد کردند و جای مواد سنتی را گرفتند. در مواردی استفاده از ژئوسینتتیک ها می تواند به طور موثری سبب افزایش ضریب اطمینان، بهبود اجرا و کاهش هزینه ها در مقایسه با طرحهای سنتی و قدیمی باشد.

اغلب ژئوسینتتیک ها از پلیمر های مصنوعی مثل پلی اتیلن، پلی استر، پلی پروپیلن و پلی وینیل کلرید ساخته شده اند. این مواد مقاومت بالایی نسبت به فساد شیمیایی و بیولوژیکی دارند. البته فیبرهای طبیعی مثل کتان هم می توانند بعنوان ژئوتکستایل و ژئوگرید (از انواع ژئوسینتتیک که در قسمت های بعد به آنها پرداخته می شود)، بویژه برای کارهای موقتی مورد استفاده قرار گیرند.

ژئوسینتتیک ها عموماً بوسیله ۳ مشخصه زیر شناسایی می شوند:

۱) پلیمر

۲) نوع فیبر

۳) جرم بر واحد سطح یا ضخامت