فصل ۱

مقدمه

۱-۱-خاک مسلح :

خاک مسلح روش نسبتاً جدیدی است که نخستین بار توسط هنری ویدال، مهندس فرانسوی در سال ۱۹۶۳ ابداع شد. دیوار حایل نخستین نمونه خاک مسلح بود که در سال ۱۹۶۵ در فرانسه بنا شد و پس از آن در سال های ۶۹-۱۹۶۸ اجرای یک پروژه طولانی دیوار های حایل بر روی شیب های ناپایدار در جنوب فرانسه، فرصت انجام بررسی های تحقیقاتی و پیشرفت های فنی را فراهم نمود.

خاک مسلح مجموعه ای از خاکریز (نوع خاک آن معمولاً دانه ای است)، عناصر مسلح کننده (به صورت تسمه، میلگرد، شبکه و غیره) و اجزای پوسته می باشد. عناصر مسلح کننده به گونه ای در خاکریز جای داده می شوند که منجر به کاهش کرنش کششی حاصله شوند. خاک های دانه ای عموماً در برابر فشار مقاوم هستند، اما در مقابل کشش ضعیف می باشند. در خاک مسلح وجود عناصر مسلح کننده درجهت کرنش کششی باعث بهبود رفتار خاک می شود. دیوار های خاک مسلح در گروه دیوار های انعطاف پذیری قرار دارند و بخش های اصلی آن ها عبارتند از (شکل ۱-۱) :

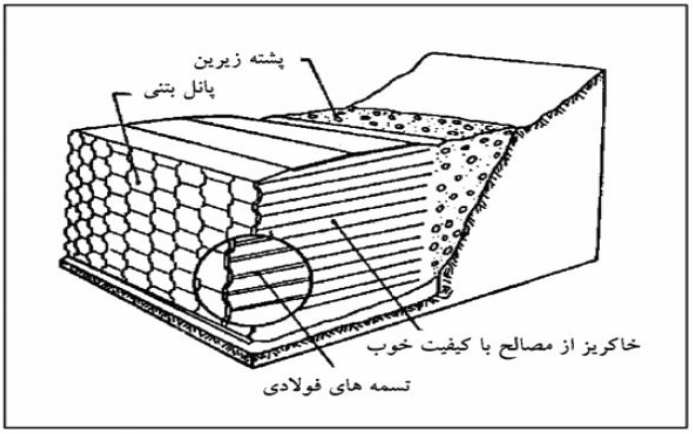
۱ -خاکریز: عموماً از خاک دانه ای استفاده می شود.

۲ -عناصر مسلح کننده: در بیشتر موارد از تسمه های باریک و پهن که در فواصل معینی قرار داده شده اند، استفاده می شود.

۳ -پوسته: قطعات پوسته به یک انتهای عناصر مسلح کننده متصل هستند و وجه خارجی دیوار را پوشش می دهند. نسبت عرض به ارتفاع در دیوار های خاک مسلح معمولاً بزرگ بوده و در نتیجه بر خلاف دیوار های حایل معمولی، پدیده تمرکز تنش در پنجه دیوار دیده نمی شود. به همین دلیل برای بستر های با ظرفیت باربری کم مناسب هستند.

درصد زیادی از حجم دیوار خاک مسلح را خاک تشکیل می دهد. (اگر ازحجم المان پوسته صرفه نظر شود، مقدار آن به بیش از ۹۹٪ می رسد)، در نتیجه سازه بسیار انعطاف پذیری است که قابلیت شکل پذیری و مقاومت در برابر نشست های نا مساوی در آن زیاد می باشد.

درخاک مسلح با استفاده از عناصر مسلح کننده که در خاک قرار گرفته اند و ابتدای آنها به عناصر پوسته متصل شده است، عناصر پوسته و به تبع آن خاکریز مهار می شود. در این روش خاکریز از یک سو روی اجزای پوسته فشار جانبی اعمال کرده و از سوی دیگر، اندرکنش آن با تسمه ها باعث مهار خاک می شود [2].



شکل 1-1 – دیوار خاک مسلح [2]

۱-۲-ساز و کار و رفتار خاک مسلح

ساز وکار اصلی انتقال تنش بین عنصر مسلح کننده و خاک بر پایه دو مفهوم به شرح زیر می باشد:

- اصطکاک بین سطح تماس عنصر مسلح کننده و خاک.
- مقاومت مقاوم (پاسیو) خاک اطراف عنصر مسلح کننده در امتداد عرضی نسبت به امتداد حرکت.

انتقال تنش درخاک به تسمه ها، ورق ها و میلگرد های مسلح کننده از طریق اصطکاک و در ژئوگریدها انتقال تنش هم از طریق اصطکاک و هم از طریق فشار مقاوم خاک انجام می گیرد[2].

۱-۳-هدف

هدف از این تحقیق بررسی رابطه بین دانه بندی و اندازه متوسط ذرات خاک (D_{50})، و ابعاد چشمه های ژئوگرید در اندرکنش خاک و ژئوگرید است. بدین منظور آزمایش های برش مستقیم را روی خاک هایی با دانه بندی متفاوت و مسلح شده با ژئوگرید های با جنس یکسان و ابعاد چشمه متفاوت انجام داده و میزان تغییر مقاومت برشی در حالت مسلح به غیر مسلح مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور از تنش های قائم ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلو پاسکال استفاده گردیده است.

در این تحقیق دو پارامترهای بی بعد، نسبت مقاومت های برشی (ضریب اتصال) و نسبت منافذ که از تقسیم ابعاد چشمه ژئوگرید به D_{50} خاک حاصل می شود مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به اینکه ژئوگرید ها در تسلیح سازه های خاکی مورد استفاده قرار می گیرد و دانه بندی سازه های خاکی مختلف می باشد، نتایج این تحقیق می تواند به عنوان یک دیدگاه برای انجام پروژه های تسلیح خاک مورد استفاده قرار گیرد.

یکی دیگر از نتایج این تحقیق مشخص شدن زاویه اصطکاک داخلی خاک و زاویه اندرکنش خاک-ژئوگرید در حالات مختلف، و تغییرات زاویه اندرکنش خاک-ژئوگرید در برابر تغییرات اندازه متوسط ذرات خاک می باشد.

فصل ۲

ژئوسنتتیک ها

۲-۱-تاریخچه استفاده از ژئوسنتتیک ها

از هزاران سال پیش تا چند دهه اخیر، تمام پیشرفت های مهندسی وتکنیکی بشر بر اساس بکارگیری اصول و مصالح ساده بوده است. تنها در چند دهه اخیر مفهوم مصالح مرکب [1] توسعه یافته و پتانسیل بالای آنها بعنوان مصالح مهندسی شناخته شده است. مزیت اساسی مصالح مرکب در آن است که خصوصیات هر یک از اجزا بصورت منفرد که بعضاً به تنهای کارایی به خصوصی ندارند در آنها ترکیب شده و محصولاتی با خواص مفیدتر ایجاد می شود. انسانها نیز از گذشته های دور از طبیعت درسهای مفیدی آموخته به طوری که خانه های خود را با ترکیبی از گل و کاه می ساختند. بدیهی است که کاه عامل مسلح کننده در کل ترکیب بوده و مقاومت کششی مجموعه را افزیش می دهد.

استفاده از پارچه برای کمک به جاده سازی بر روی زمین های نرم به رومیان باستان نسبت داده می شود. آنها در روشی که بسیار شبیه تکنیک های امروزی است حصیر ها را بر روی زمین های باتلاقی قرار داده و سپس روی آن را با سنگدانه می پوشاندند. مطالعات باستان شناسان نشان میدهد که حتی قبل از آن، یعنی از حدود دو هزار وپانصد سال پیش از میلاد مسیح نیز قرار دادن شاخه درختان بر روی زمین های باتلاقی و نرم برای احداث راه متداول بوده است. برای هزاران سال در خاورمیانه و خاور دور جهت مسلح کردن سازه های خاکی بزرگ از نی بوریا و بامبو استفاده می کردند. همینطور مقاوم کردن خاک بوسیله کوبیدن شمع هایی از جنس درختان کرنا و بامبو در فواصل منظم در گلهای ساحلی نرم هنوز هم یکی از عمده ترین تکنیکهای کاربردی برای تثبیت پی ساختمان در کشور های گرمسیری است. در مثال هایی که ذکر شد خاک و سنگ با دیگر مواد طبیعی ترکیب می شود. در چند دهه اخیر خصوصاً بعد از سال ۱۹۴۰ استفاده از مواد مصنوعی نیز معمول شده که معروفترین آنها مواد پلیمری است. امروزه گروهی از مصالح که از پلیمر ها ساخته شده و در مهندسی عمران بکار میروند اصطلاحاً ژئوسنتتیک ها [2] نامیده می شوند. ژئو به معنای زمین و قسمت دوم یعنی سنتتیک به این دلیل انتخاب شده که اغلب این مواد ساخته دست بشر و مصنوعی

1- Composite
2- Geosynthetic

می باشند. بنابراین اصطلاح ژئوسنتتیک برای این مواد انتخاب شده است. مواد بکار رفته در ساختمان آنها اساساً از جنس پلاستیک بوده ولی لاستیک ها، فایبر گلاس ها و سایر مواد نیز گاهاً بکار می روند.

ژئوسنتتیک ها در مهندسی عمران، زمین شناسی، معدن و محیط زیست بیشترین کاربرد را دارند و اغلب به همراه خاک و سنگ بکار میروند تا خصوصیات آن را اصلاح نمایند. برای مثال توسط ژئوسنتتیک ها می توان ظرفیت باربری خاک و قابلیت زهکشی آن را تقویت نمود. ژئوسنتتیک ها به پنج گروه کلی ژئوتکستایل ها[1]، ژئوگرید ها[2]، ژئونت ها[3]، ژئوممبرین ها[4] و ژئوکامپوزیت ها[5] تقسیم می شوند [1].

2-1-1-ژئو تکستایل ها : عموماً جز منسوجات شمرده می شوند که به جای الیاف مصنوعی (عموماً پلی پروپیلن یا پلی استر) بافته می شوند. این محصولات پلیمری انعطاف پذیر و متخلخل هستند. ویژگی اصلی آنها تخلخل شان است. امروزه ژئوتکستایل ها در زمینه مسلح سازی خاک کار برد گسترده ای پیدا کرده اند.

2-1-2-ژئوگرید ها: ورقه های شبکه مانند پلیمری هستند که برای بهبود خواص فیزیکی شان در زمان تولید در یک جهت یا دو جهت کشیده می شوند. کاربرد اصلی آنها مسلح سازی خاک است، بر این اساس مقاومت کششی در آن ها از عوامل حاکم در طراحی می باشد.

2-1-3-ژئونت ها : محصولات پلیمری توری مانند هستند که تا حدی مشابه ژئوگرید بوده اما روش تولید آنها متفاوت می باشد. بیشترین کار بری آن در زمینه زهکشی است.

2-1-4-ژئوممبرن ها : صفحات نازک پلیمری نفوذ ناپذیری هستند که به عنوان آب بند استفاده می شوند.

1-Geotextiles
2- Geogrids
3- Geonets
4-Geomembran
5-Geocomposites

2-1-5-ژئوکامپوزیت ها: محصولات حاصله از مجموعه گروه های بالا به صورت لایه ای یا ترکیبی است، که برای کاربرد های خاص مواد افزودنی دیگری هم بدان اضافه می شوند [1].

۲-۲-مزایای ژئوسنتتیک ها

تحقیقات نشان میدهد که ژئوسنتتیک ها در زمره متنوع ترین و مقرون به صرفه ترین مواد ساختمانی هستند و از این مواد در تمام موارد مهندسی عمران، زمین شناسی، محیط زیست، مهندسی بنادر و مهندسی هیدرلیک استفاده می شود. از دلایل عمده کاربرد ژئوسنتتیک ها سرعت پیشرفت محصولات وابسته به آنهاست. برخی دیگر از دلایل این امر عبارتند از این که ژئوسنتتیک ها:

- واقعاً مورد نیازند.
- می توانند به سرعت نصب شوند.
- عموماً جایگزین مواد خام می شوند.
- با کاربرد مناسب از بسیاری از مشکلات طراحی می کاهند.

ژئوسنتتیک ها اغلب به همراه مصالح معمولی مرسوم مورد استفاده قرار می گیرند اما نسبت به مواد قدیمی تر دارای مزایای زیر هستند :

- **صرفه جویی در فضا** : مواد ژئوسنتتیک ورقه ای شکل نسبت لایه های متراکم خاک، فضای کمتری را اشغال می کنند.
- **کنترل کیفیت مواد**: خاک و مصالح متراکم، مواد ناهمگونی هستند که ممکن است در محل دچار تغییرات زیادی شوند در حالی که ژئوسنتتیک ها مواد تقریباً همگونی هستند که در شرایط کاملاً کنترل شده در کارخانه تولید می شوند تا تغییر پذیری آنها به حداقل برسد. از طرف دیگر ژئوسنتتیک ها در کارخانه ها تولید و بصورت ورقه های بزرگی آماده استفاده می شوند که این کار باعث می شود تعداد درز و شکاف و اتصالات در سازه کمتر شود. اتصالات مواد در کارخانه و در

محل بوسیله تکنیسنهای مجرب کنترل می شوند. در حالیکه موادی مثل خاک و مواد قدیمی که در محل ساخته می شوند توسط عواملی مثلا از قبیل هوا و نحوه استفاده و جابجایی (جایگذاری در محل) دچار تغییرات می شوند.

- **صرفه جویی در هزینه**: قیمت خرید، هزینه های جابجایی و بکارگیری آنها نسبت به مواد قدیمی کمتر است.
- **مزایای تکنیکی**: ژئوسنتتیک ها طوری انتخاب شده اند که برای بکارگیری در یک عملیات اجرایی بهینه مناسب هستند.
- **زمان ساخت**: ژئوسنتتیک ها می توانند خیلی آسان و سریع مورد استفاده واقع شوند و در حالیکه برای ساخت و ساز های کوتاه مدت انعطاف پذیری کافی دارند، می توانند در آب و هوای بسیار متغیر بکار گرفته شوند.

دسترسی خوب وصرفه اقتصادی مواد: موارد استفاده زیاد از ژئوسنتتیک ها و سهولت حمل آنها، قیمت رقابتی و دسترسی این مواد را تضمین می کند.

حساسیت محیطی: سیستم ژئوسنتتیک با استفاده از مواد طبیعی صدمات زیست محیطی ناشی از عملیات مهندسی را کاهش می دهد [2] .

۲-۳- استاندارد ۱۹۹۶- ASTM ژئو سنتتیک ها را اینگونه معرفی می نماید :

ژئو سنتتیک ها محصولات مسطحی هستند که از مواد پلیمری ساخته شده اند و بعنوان یک بخش جدایی ناپذیر در پروژه های مهندسی عمران به همراه خاک، سنگ، زمین یا سایر مصالح مرتبط با مهندسی ژئوتکنیک بکار می روند. استفاده از ژئو سنتتیک ها در داخل خاک باعث اصلاح و تقویت برخی خصوصیات خاک نظیر مقاومت برشی، قابلیت زهکشی، فیلتراسیون و... می شود. در حقیقت با استفاده از این محصولات

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی زمین را به نحوی که شرایط پروژه ایجاب می کند می توان تغییر داد و به این طریق نیاز های طرح را بهتر برآورده نمود.

استفاده از ژئوسنتیک ها حداقل یکی از اهداف زیر را دنبال می کند:

الف – جدا سازی [1]

ب- تسلیح[2]

ج- فیلتراسیون[3]

د- زهکشی[4]

ه- حفاظ گاز ها و مایعات[5] [1].

۲-۴-ژئوگرید ها

ژئوگرید ها، بخشی از ژئوسنتتیک ها هستند که به سرعت توسعه یافته اند (شکل ۲ -۱). ژئوگرید ها شبکه ای پلیمری هستند که کاربرد اصلیشان در مسلح کردن خاک است. این محصولات در برخی موارد برای جدا سازی دانه های سنگی با اندازه بزرگ نیز بکار می روند. این مصالح در حدود سال ۱۹۶۸ یعنی زمانی که ژاپنیها پی بردند که شبکه های پلی اتیلنی که از بریتانیا تحت نام Netlon صادر می شوند می توانند آسیب های ناشی از زلزله و بارندگی شدید بر روی خاکریز ها را کاهش دهند، معرفی شدند [1].

1- Separation

2 -Reinforcement

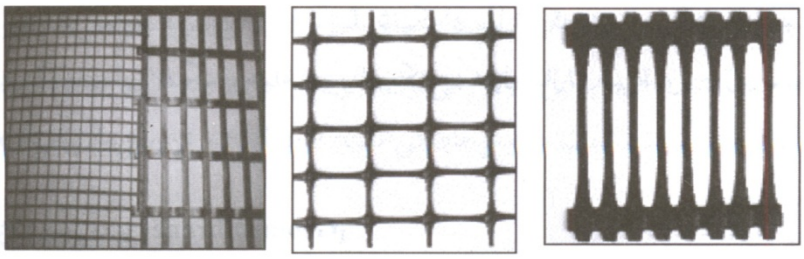
3- Filtration

4- Drainage

5- Fluid/Gas Containment

شکل 2-1- ژئوگرید [1]

برای تولید ژئوگرید ها بیشتر از الیاف پلی پرو پیلن یا پلی اتیلن با دانسیته بالا استفاده می شود. بر اساس نحوه تولید، ژئوگرید ها اشکال متفاوتی می توانند داشته باشند. روش متدوال ساخت ژئوگرید به این صورت است که ابتدا بر روی ورق های پلیمری سوراخ هایی با فواصل منظم ایجاد شده و سپس آنها را در یک یا دو جهت می کشند. کشش در سرعت و دمای کنترل شده بخصوصی انجام می گیرد تا از گسیختگی جلوگیری شود. کشیدن ورق باعث افزایش مدول الاستیسیته، مقاومت کششی وکاهش حساسیت نسبت به خزش می شود. وقتی که کشش در یک جهت باشد شبکه تقویت شده تک محوری با سوراخ های بیضی شکل ساخته می شود (شکل ۲-۲-الف) و زمانیکه کشش در دو جهت باشد، یک شبکه تقویت شده دو محوری با سوراخ های مربعی گرد گوشه ایجاد می شود (شکل ۲-۲-ب، ج).



(ج) (ب) (الف)

شکل 2-2- الف- سوراخ های بیضی شکل -ب وج- سوراخ های مربعی گرد گوشه [1]

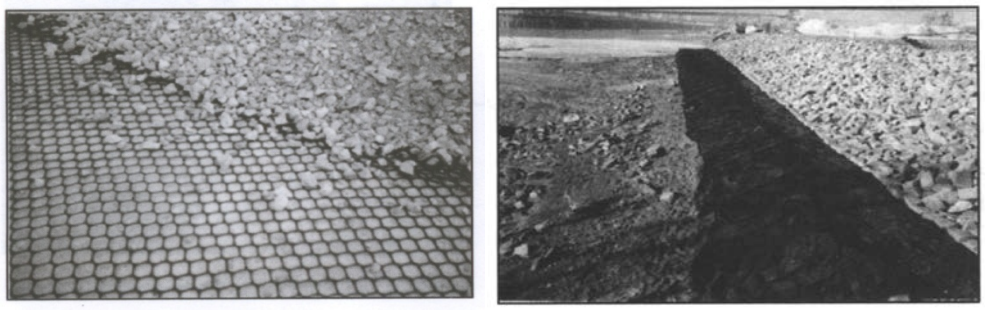
در روش دیگر ژئوگرید ها از تسمه های پلیمری ساخته می شود. تسمه به صورت شبکه ای بر روی یکدیگر قرار داده شده و در نقاط تقاطع از حساسیت بالایی برخوردار است، زیرا انتقال تنش از تسمه های عرضی به

تسمه های طولی از طریق نقاط اتصال صورت می گیرد [1]. در ادامه در خصوص ژئوگرید ها بیشتر بحث خواهد شد.

۲-۴-۲-کاربرد ژئوگریدها

ژئوگرید ها به لحاظ کیفیت به چندین دسته تقسیم می شوند که نمونه مرغوب آن ژئوگرید با کیفیت بالا است که نسبتاً مقاومت بالا وحساسیت خزش پایینی دارند. از جمله موارد کاربرد ژئوگرید ها عبارتند از:

-زیر خرده سنگ ها در جادهای بدون پوشش و نیز برای زهکشی آنها (شکل ۲-۳).

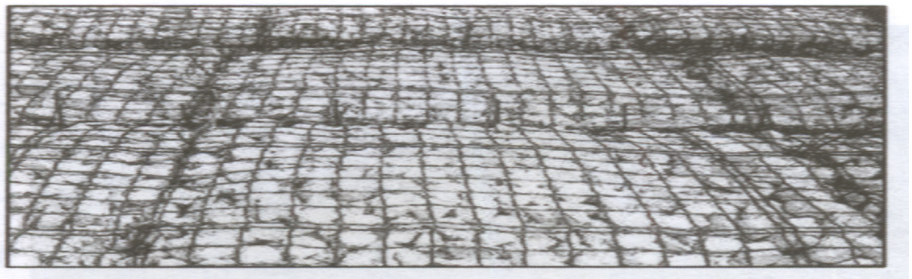


شکل 2-3- کاربرد ژئوسنتتیک با خرده سنگ [1]

-زیر شن های راه آهن.

- زیر مکان هایی با بار اضافی موقتی یا ساختمان های موقتی.

-تقویت خاکریز ها و سد های خاکی (شکل ۲-۴).



شکل 2-4- کاربرد ژئوسنتتیک برای تقویت جدار خاکریز ها [1]

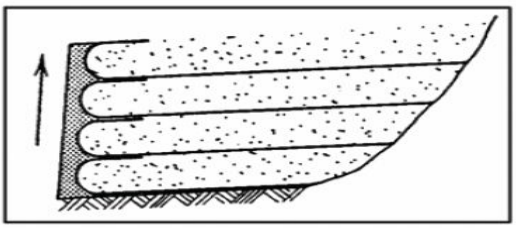
- تعمیر و تثبیت شیب ها (شکل ۲-۵).

شکل 2-5- استفاده از ژئوگرید برای تثبیت شیب [1]

۲-۴-۱-کاربرد ژئوگرید ها در دیوار حائل مسلح

تکنولوژی دیوار های ژئوسنتتیک برگرفته شده از ایده خاک مسلح است. این دیوار ها به شکل های متفاوت و با استفاده از انواع ژئوسنتتیک ها طراحی و اجرا می شوند. معروفترین نمونه این دیوار ها عبارتند از:

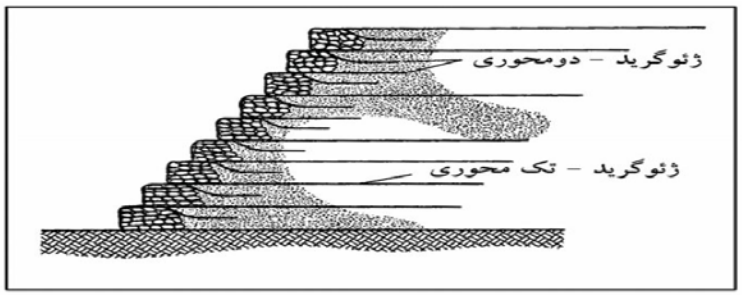
الف-دیوارهای ژئوتکستایل: در این دیوار ها خاکریز به صورت لایه به لایه اجرا می شود و هر لایه بین صفحات ژئوتکستایل قرار گرفته و وجه دیوار عموماً برای حذف اثر منفی اشعه مافوق بنفش پوشش می شود (شکل۲-۶).



شکل 2-6-دیوار ژئوتکستایل [2]

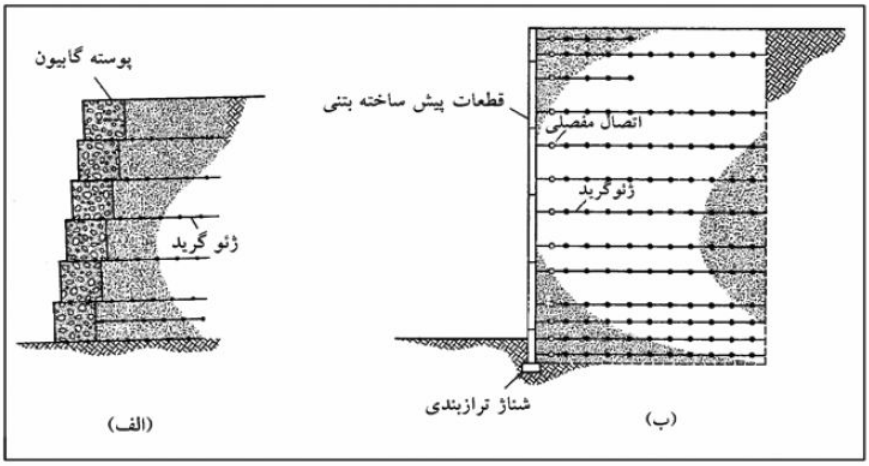
ب-دیوار های ژئوگرید: در این دیوار ها با استفاده از ژئوگرید دیوار های حائلی مشابه دیوار های ژئوتکستایل اجرا می شود. به دلیل وجود سوراخ های ژئوگرید امکان رشد سبزه در فاصله بین سوراخ ها و یا پشت آنها

وجود دارد. از سویی تاثیر اشعه مافوق بنفش هم کمتر است و در نتیجه وجه خارجی این دیوار ها عموماً پوشش داده نمی شود (شکل ۲-۷).



شکل 2-7-دیوار ژئوگرید [2]

ج-دیوار های مسلح با ژئوگرید: این دیوار ها تلفیقی از ایده خاک مسلح و دیوار های حایل ژئوسنتتیکی هستند. برای اجرای این دیوار ها از ژئوگرید برای مسلح سازی خاکریز دانه ای استفاده شده است (شکل ۲-۸).



شکل 2-8- دیوار مسلح شده با ژئوگرید. (الف) پوسته گابیون، (ب) پوسته با قطعات پیش ساخته بتنی [2]

مزایا:

۱ -سیستم سازه ای دیوار های ژئوسنتتیک انعطاف پذیر هستند. در مقابل نشست های نا مساوی و همچنین نیروهای زلزله مقاومتر هستند.

۲ -حجم عملیات خاکی وحفاری پشت دیوار کمتر است.

۳ -پدیده خوردگی بتن و فولاد در دیوار های ژئوسنتتیک مشاهده نمی شود.

۴ -خاکریز پشت دیوار می تواند شامل ریز دانه باشد.

۵ -در دیوار های ژئوتکستایل عملیات زهکشی به راحتی قابل انجام است.

۶ -احتیاج به تجهیزات سنگین برای اجرای دیوار نیست و در اجرای آن می توان از نیروی کار غیر ماهر استفاده کرد.

معایب:

۱ -پدیده خزش در ژئوسنتتیک ها وجود دارد.

۲ -به مسائل دوام و پایایی آنها باید توجه کافی داشت. به عنوان مثال در مورد دیوار های ژئوتکستایل باید وجه خارجی دیوار از آثار اشعه مافوق بنفش حفاظت شود [2].

2-5-مشخصات مکانیکی ژئوسنتتیک ها

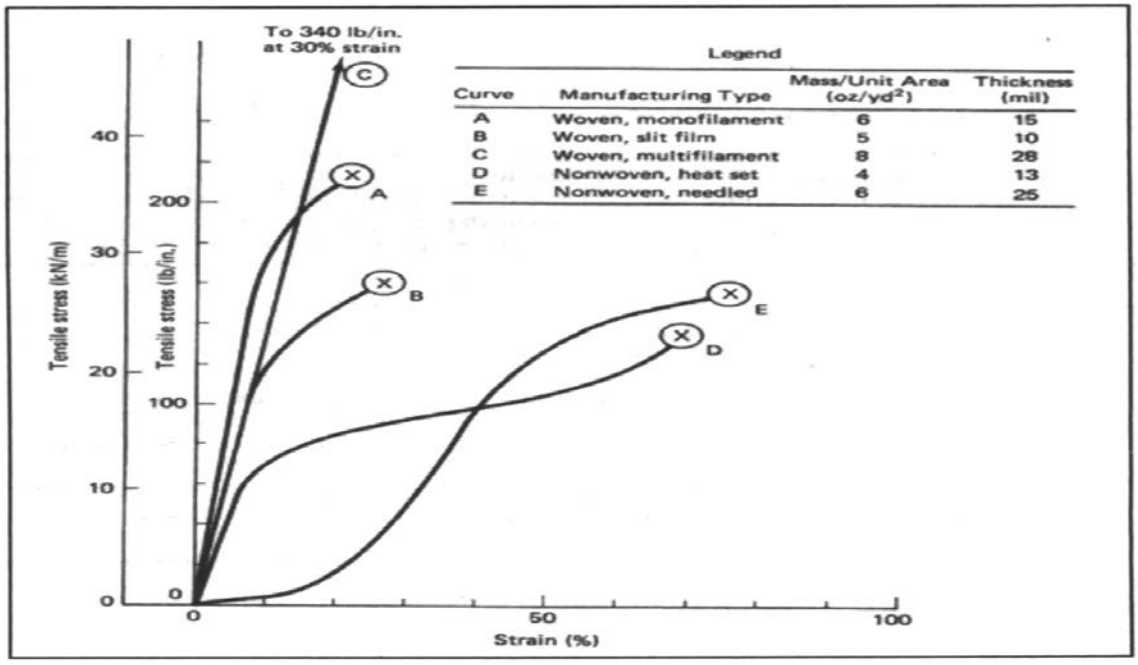
خواصی که در این قسمت شرح داده می شود، مقاومت در مقابل تنشهای مکانیکی ناشی از شرایط ساخت را نشان می دهد.

2-5-1-مقاومت کششی

یکی از مهمترین خواص ژئوسنتتیک ها بخصوص ژئوگرید ها و ژئوتکستایل ها مقاومت کششی آن ها است. به طور کلی تمام کاربرد های ژئوسنتتیک ها به مقاومت کششی آن ها چه به صورت عملکرد اولیه (در کار های تسلیح) و چه به صورت عملکرد ثانویه (به صورت جدا کننده، فیلتر یا زهکشی) بستگی دارد. مقاومت کششی برای ژئوگرید های تک محوره در جهت ماشینی آنها و در ژئوگرید های دو محوره در جهت مقطع و

جهت ماشینی بسیار مهم است. به این خاطر تیرک های طولی برای محصولات تک محور و تیرک های عرضی و طولی برای محصولات دو محوره با اهمیت است.

صورت کلی آزمایش به این صورت است که ژئوسنتتیک به وسیله گیره ها و فک ها گرفته شده در دستگاه مخصوص تست قرار می گیرد. آنگاه ژئوسنتتیک تا حدی کشیده می شود تا پاره شود. در خلال این فرآیند می توان بار و تغییر شکل را محاسبه نمود و با استفاده از این دو مقدار نمودار تنش در مقابل کرنش را رسم کرد (شکل ۲-۹). با توجه به منحنی تنش (که عموماً به صورت بار بر عرض واحد داده می شود) در مقابل کرنش (که با استفاده از تقسیم تغییر شکل به عرض اولیه محاسبه می شود) چهار مقدار قابل محاسبه است:



شکل-2-9- نمودارتنش - کرنش چند ژئوتکستایل [1]

الف- ماکزیمم تنش کششی (بستگی به مقاومت ژئوسنتتیک دارد).

ب- کرنش در لحظه پارگی (عموماً به صورت ماکزیمم کشیدگی بیان می شود).

ج- دوام (عموماً برابر با مساحت زیر منحنی تنش-کرنش است).

د- مدول یا سختی (که شیب اولیه مماس بر منحنی تنش –کرنش است) [1].

۲-۵-۲-مقاومت برشی خاک -ژئوگرید

یکی از انواع آزمایش های عملکردی که بر روی ژئوسنتتیک ها بخصوص ژئوگرید ها انجام می گیرد یک نوع اصلاح شده از آزمایش برش مستقیم معمول در مهندسی ژئوتکنیک است. در این آزمایش ژئوگرید وادار به لغزیدن از میان خاکی می شود که در یک جعبه تحت تنش نرمال قرار دارد. آزمایش تحت تنش های نرمال مختلف تکرار می شود تا مکان هندسی نقاطی که پوش گسیختگی نامیده می شود به دست آید. این منحنی از رسم تنش نرمال در مقابل ماکزیمم تنش برشی بدست آمده و فضای تنش موهر-کولمب نامیده می شود. از طریق این نمودار پارامتر های مقاومت برشی ژئوگرید در مقابل خاک بکار گرفته شده یعنی C و δ بدست می آید [1].

فصل ۳

مروری بر پیشینه موضوع

۳-۱-مقدمه

در زمینه تسلیح خاک با ژئوسنتتیک محققان اثر پارامتر های مختلف را روی رفتار خاک بررسی نموده اند. این پارامتر ها شامل دانه بندی، تنش های قائم، دانسیته، تراکم، مقاومت ژئوسنتتیک ها، شکل و اندازه حفرات آنها می باشد. در این زمینه دو آزمایش اصلی برش مستقیم و آزمایش بیرون کشش وجود دارد. محققان با انجام این آزمایش ها رفتار خاک را با تغییر پارامتر های مختلف مورد بررسی قرار داده اند که در ذیل خلاصه ای از برخی از این تحقیقات ارائه شده است.

Jewell و همکاران در ۱۹۸۵ مطالعاتی در زمینه اندرکنش بین خاک و ژئوگرید انجام داده اند. در این تحقیق مقاومت لغزشی مستقیم اندرکنش خاک و ژئوگرید بصورت مجموعه ای از سطح مشترک خاک و ژئوگرید به علاوه خود خاک در درون حفرات ژئوگرید بیان شده است. این مدل بصورت زیر بیان می شود:

$$f_{ds}\ tan\varphi_{ds} = \alpha_{ds}\ tan\delta + (1-\alpha_{ds})tan\varphi_{ds} \qquad (1-3)$$

که در آن:

f_{ds} :ضریب مقاومت لغزشی مستقیم. φ_{ds} : زاویه اصطکاک خاک در برش مستقیم.

δ : زاویه اصطکاک درسطح تماس خاک - ژئوگرید.

α_{ds} : سطحی از شبکه که در برش مستقیم خاک شرکت می کند.

این رابطه به صورت زیر نیز بیان می شود:

$$f_{ds} = 1-\alpha_{ds}\left(1-\frac{tan\delta}{tan\varphi_{ds}}\right) \qquad (2-3)$$

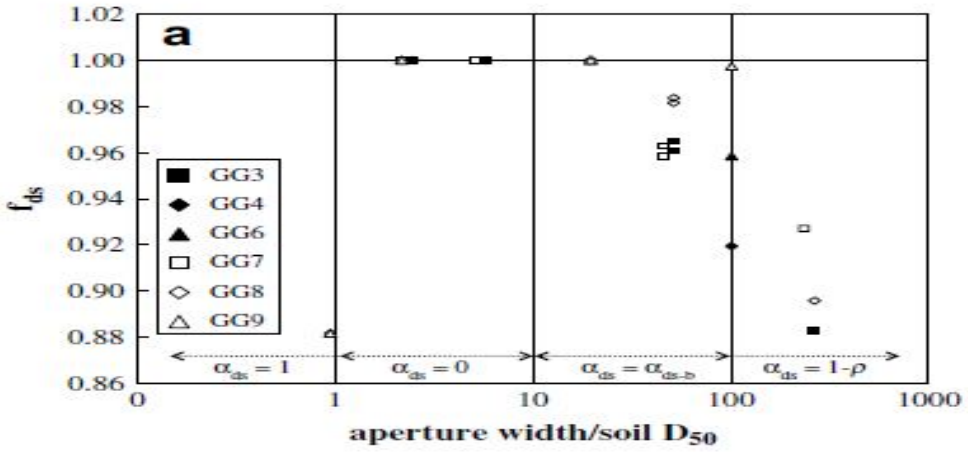
با داشتن α_{ds} ، φ_{ds} وδ می توان f_{ds} را محاسبه کرد. α_{ds} به نسبت اندازه ذرات خاک، حفرات و ژئوگرید بستگی دارد. برای خاک ریز α_{ds} برابر نسبت سطح نوار های ژئوگرید به کل مساحت ژئوگرید است که این مقدار مساوی۱ منهای درصد مساحت حفرات است. برای خاک های زبر و درشت تماس بین ژئوگرید

و خاک محدود به سطوح بالایی نوار های عرضی است، چونکه سطوح گسیختگی بالای گره ها قرار دارد. اگر ذرات ریزتر بوده (اندازه تقریبی خود حفرات) محل های گسیختگی کاملاً درون حفرات قرار می گیرند و α_{ds} به صفر کاهش می یابد. برای خاک هایی که ذرات بسیار بزرگی دارند که درون حفرات نفوذ نمی کنند مقاومت برشی ممکن است توسط تماس ذرات با سطوح ژئوگرید تامین شود که در این حالت α_{ds} برابر ۱ می شود [10].

مدلی که Jewell در ۱۹۸۵ ارائه کرد با نتایج حاصل از آزمایشات منطبق است. در ابتدا مقادیر برای اندرکنش های مختلف خاک- ژئوگرید های PET yarn با رابطه (۳-۲) محاسبه شد. آن رابطه به صورت زیر اصلاح شده است.

$$f_{ds} = 1 - \alpha_{ds}\left(1 - {}^{\tau_{soil-plan\ reinforcment}}/_{\tau_{soil}}\right) \qquad (3-3)$$

حداکثر مقاومت برشی داخلی خاک (τ_{soil}) و مقاومت حداکثر برشی خاک مسلح $(\tau_{soil-plan\ reinforcment})$ مستقیماً از نتایج آزمایش بدست می آید. نسبت α_{ds} به نسبت اندازه ذرات خاک به اندازه چشمه ها اشاره دارد. شک ل ۳-۱ مقادیر تئوری f_{ds} را در برابر نسبت $\left(\frac{aperture\ with}{soil\ D_{50}}\right)$ نشان می دهد.



شکل 3-1 –مقادیر f_{ds} تئوری در برابر نسبت عرض ژئوگرید به اندازه متوسط ذرات[8]