پایدارسازی بسترهای سست با استفاده از ژئوسنتتیک ها

انرژی عناصر آینده

(ژئوساخت)

فهرست مطالب

۱- مقدمه

۲- ژئوتکستایل بافته

۳- ژئوگرید

۴- مراحل اجرای پروژه های پایدارسازی بستر

۵- فاکتورهای مؤثر بر روی مقاومت برشی خاک مسلح شده

۶- مکانیسم های تسلیح ژئوسنتتیک

۷- دو کاربرد کلیدی ژئوسنتتیک در راه سازی

۸- طراحی ژئوسنتتیک ها جهت مسلح کردن بسترها

- ظرفیت باربری
- کنترل تغییرشکل الاستیک
- طول انکراژ و Pull out
- طول گسترش جانبی

مقدمه

در بیست سال گذشته ژئوتکستایل های بافته شده و بافته نشده و ژئوگریدها کاربردهای بسیاری در مهندسی عمران داشته‌اند. نوع ژئوتکستایل و ژئوگرید با توجه به کاربرد آن مشخص می شود:

- ژئوتکستایل هایی که به عنوان لایه جداکننده و فیلتر به کار می روند.
- ژئوگریدهایی که به عنوان لایه مسلح کننده به کار می روند.

لایه مسلح کننده نقش بسزایی را در برقراری استحکام خاکریز و کلیه مصالح خاکی بازی می‌کند. اصلی ترین حوزه کاربرد مسلح کننده ها به صورت زیر می باشد:

۱- ایجاد ثبات در خاکریزهایی که روی بستر نرم ایجار می شوند مانند فونداسیون راه و دایک ها و یا موج شکن ها.

۲- تسلیح خاکریز در سازه های شیبدار مانند برخی از سازه های حائل.

استفاده از مصالح ژئوسنتتیک مسلح کننده در سازه های دائمی و موقت برای بالا بردن مقاومت برشی خاک، روز به روز در حال افزایش است. واقعیت افزایش تعداد سازه هایی که باید بر روی بستر ضعیف ساخته شوند، به توسعه تکنیکهای تسلیح خاک سرعت بخشیده است. در سالهای اخیر تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده است که منتج به روشهای طراحی قابل اطمینانی برای آنالیز اینگونه سازه ها گردیده است. به نقل از Jewell (1982) قاعده کلی تسلیح بستر این است که وقتی خاک در یک جهت خاص مسلح می شود، مقاومت برشی خاک بطور قابل توجهی افزایش می یابد. این نتیجه افزایش تنشهای نرمال در سطح گسیختگی همزمان با کاهش تنشهای برشی در خاک می باشد.

تفاوت استفاده وعدم استفاده از عنصر مسلح کننده در تثبیت بستر سست

ژئوتکستایل های بافته (woven geotextile)

این ژئوتکستایل ها از تک رشته های به هم بافته شده (Mono filament) یا چند رشته ای های به هم بافته شده (Multi filament) ویا نوارهای منسوج بریده شده (Slim Film Fabric) ساخته می شود. تهیه این دسته از ژئوتکستایل ها در دومرحله انجام می گیرد که عبارتست از:

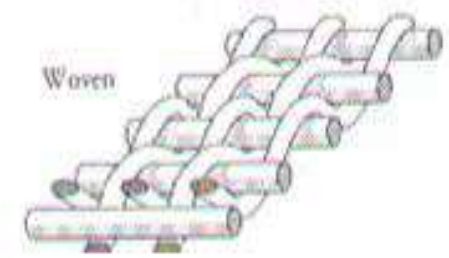
۱- تولید وعمل آوردن الیاف

۲- بافت الیاف

دراین روش تولید ژئوتکستایل ، تاروپودها توسط ماشین های استاندارد بافنده ، درهم بافته می شوند. ژئوتکستایل های بافته شده مقاومت بالایی درجهت تار وپود دارند وافزایش طول وکش آمدن آن ها درگسیختگی کم است.

ژئوتکستایل بافته

یک طرح شماتیک از ژئوتکستایل بافته



ژئوتکستایل های تک رشته ای نسبت به انواع دیگرنفوذپذیری بهتری دارند وبرای استفاده به عنوان زهکش،کنترل فرسایش خاک ویا جداسازی مناسب هستند.

ژئوتکستایل های چند رشته ای دارای مقاومت بالایی هستند واصولا به عنوان مسلح کننده کاربرد دارند همچنین این دسته از ژئوتکستایل های بافته شده قیمت بیشتری نسبت به سایرین دارند.

ژئوتکستایل های تشکیل شده از نوارهای منسوج جهت کنترل رسوبات ومحصورکردن لای ولجن ، پایداری جاده ها مورداستفاده قرار می گیرند.

ژئوگرید

ژئوگریدها شبکه‌های توری رو باز از جنس الیاف و پلیمرهای با مدول الاستیسیته بالا مانند : p.v.c ، پلی‌اتیلن و یا پلی پروپیلن هستند. عمده کاربرد آن ها به طور کلی مسلح کردن لایه‌های مختلف که امکان لغزش بین آنها زیاد است، می باشد. ژئوگریدها درلایه‌های خاکی در پی‌ها و یا لایه‌های آسفالتی راه‌سازی و فرودگاه‌ها به کار می‌روند همچنین در لایه‌های سطوح دارای پوشش قیر در مهندسی هیدرولیک جهت جلوگیری از نفوذ آب استفاده می‌شوند.

مهمترین نقش جهت چسباندن دو لایه‌ای که در میان آنها از ژئوگرید استفاده شده است را منافذ درشت لایه‌های ژئوگرید ایفا می‌کنند.

خواص فیزیکی ژئوگریدها عبارتند از: نوع ساختار، نوع اتصال، اندازه سوراخ، ضخامت، جرم واحد سطح ، درصد سطح باز. همه این خواص فیزیکی به صورت مستقیم قابل اندازه گیری هستند.

جرم ژئوگرید درواحد سطح از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم بر متر مربع تغییر می کند، همچنین درصد سطح باز ژئوگرید ها در محدوده ۴۰ تا ۹۵ درصد قرار می گیرد. قطر شبکه ها معمولا از ۱ تا ۱۰ سانتیمتر متغیر است.

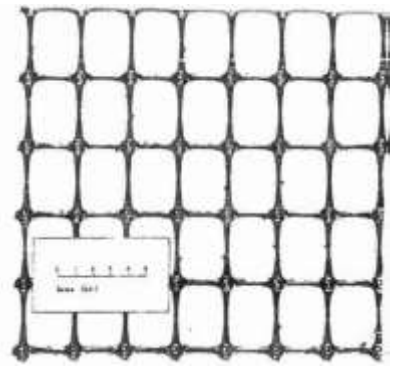
برای ساخت این محصولات ابتدا در ورقه های پلیمری سوراخ هایی به ابعاد مورد نظر ایجاد می شود،سپس ورقه های سوراخ شده از میان غلتک هایی عبور داده می شوند که سرعت چرخش آن ها با یکدیگر متفاوت است، غلتک های اولیه باسرعت چرخش کمتر وغلتک های بعدی با سرعت بیشتری می چرخند. باعبوراین ورقه ها ازمیان غلتک ها به تدریج یک تنش کششی طولی درسراسر آن هابه وجود می آید.

پس ازعبور ورقه های پلیمری ازمیان غلتک ها،ورقه های ژئوگرید تولید می گردند. تنش کششی باقیمانده درنوارهای ژئوگرید باعث می شوداین نوارها در جهت حرکت ورقه تغییرشکل یافته وکشیده شوند. درمحصولات ژئوگرید با این شیوه تولید، سوراخ های دایره ای شکل که درابتدا بر روی ورقه های پلیمری ایجاد شده اند، به تدریج به سوراخ های بیضی شکل تبدیل می شوند.

چنانچه درطی روند تولید ژئوگرید ،غلتک ها در یک جهت ورقه های پلیمری را تحت کشش قراردهند ، ژئوگرید های به اصطلاح یک جهته ویا تک محوره تولید می شود.

نوع دیگر از ژئوگریدها به ژئوگریدهای دوجهته یا دومحوره موسوم هستند .درساخت این ژئوگریدها در ابتدا در ورقه های پلی پروپیلن یا پلی استر سوراخ های مربعی شکل با ابعاد یکسان ایجاد می شوند. لبه های داخلی سوراخ های مربعی شکل به خصوص در گوشه ها دارای زائده ماهیچه ای شکل می باشد. انتخاب این نوع شکل هندسی به استحکام شبکه ژئوگرید به خصوص در نقاط پیوند وگره ها کمک می کند.سپس ورقه های تولید شده درجهت طولی و پس از آن در جهت عرضی توسط غلتک ها تحت کشش قرارمی گیرند. سوراخ های مربعی پس از این مراحل تبدیل به چشمه هایی مستطیل شکل می شوند. بدیهی است با اعمال کشش در دوجهت ، استحکام ومقاومت محصول تولید شده در هردوجهت افزایش می یابد.

ژئوگریدهای یک جهته در محل هایی به کارگرفته می شود که جهت اصلی تنش بزرگتر در محیط به کارگیری ژئوگرید شناخته شده است.کاربرد ژئوگریدهای دوجهته در محل هایی است که جهت مقاومت مورد انتظار از ژئوگرید ثابت نبوده ویا در دوجهت مختلف باشد.



ژئوگرید دو جهته

ژئوگرید یک جهته

ژئوگرید ها نسبت به ژئوتکستایل ها از از سختی بیشتری برخوردار بوده وبه دلیل داشتن فضای خالی در میان خود، مصالح با آن ها بهتر قفل می شوند، ازاینرو مهمترین کاربرد آن ها عمل تقویت وتسلیح لایه های خاکریز است.

مهمترین موارد کاربرد ژئوگرید را می توان به شرح ذیل خلاصه نمود:

۱- به کارگیری در تسلیح لایه های مختلف خاکریز در راه ها ، فرودگاه ها، راه آهن، پی سازه ها

۲- به کارگیری در تسلیح لایه های مختلف درخاکریزی شیروانی ها

۳- به کارگیری در تسلیح لایه های مختلف خاکریز در دیوارهای خاک مسلح

مراحل اجرای پروژه های پایدارسازی بستر

با توجه به محاسبات در کل می توان کل پروژه اجرای تحکیم بستر را به مراحل ذیل تقسیم کرد

۱. طراحی و تعیین مصالح ژئوسنتتیک مورد نیاز مطابق با شرایط سایت
۲. تهیه مواد و ذخیره سازی در پروژه
۳. آماده سازی بستر
۴. نصب لایه ژئوسنتتیک
۵. خاکریزی

فاکتورهای مؤثر بر روی مقاومت برشی خاک مسلح شده

۱- صلبیت تقویت کننده؛

۲- جهت مصالح تقویت کننده؛

۳- میزان اصطکاک بین خاک و تقویت کننده؛

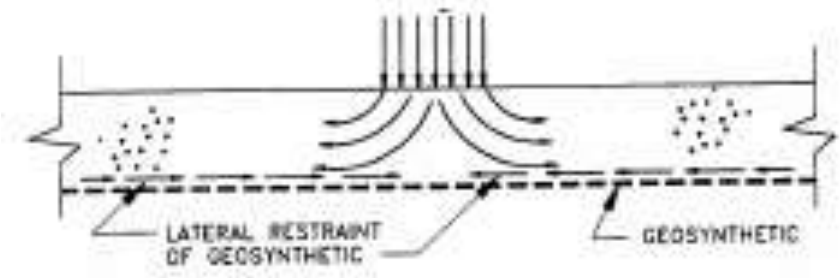
۴- خزش تقویت کننده در عمر مفید سازه؛

۵- خوردگی در عمر مفید سازه.

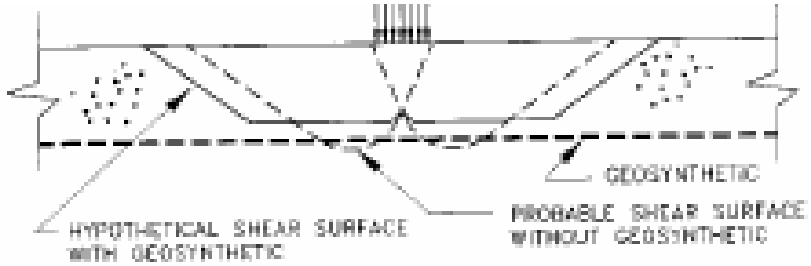
مکانیسم های تسلیح ژئوسنتتیک

۱. گیردار سازی جانبی (Lateral Restraint)
۲. افزایش ظرفیت باربری (Bearing Capacity Increase)
۳. پشتیبانی غشاء کشش(Tension Membrane Support)

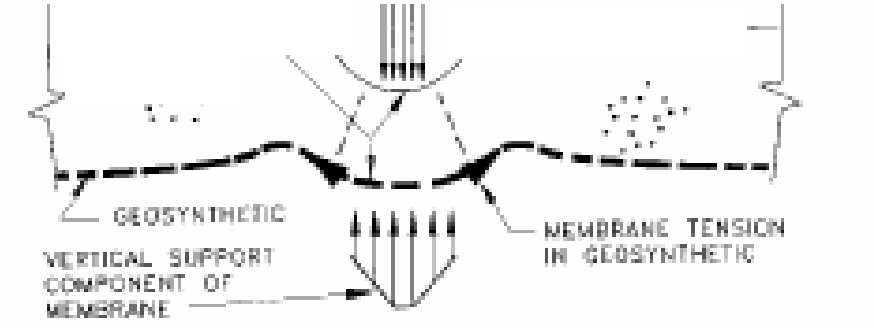
چگونگی تاثیر لایه ژئوسنتتیک در تسلیح و تثبیت بستر



چگونگی تاثیر لایه ژئوسنتتیک در گیردار سازی جانبی



چگونگی تاثیر لایه ژئوسنتتیک در افزایش ظرفیت باربری



چگونگی تاثیر لایه ژئوسنتتیک در پشتیبانی غشاء کشش

دو کاربرد کلیدی ژئوسنتتیک در راه سازی

۱- تسلیح لایه اساس

ناشی از اضافه کردن یک ژئوسنتتیک در زیر یا بین یک اساس برای افزایش ظرفیت باربری می‌باشد.

- افزایش عمر مفید پروژه
- تامین قابلیتهای سیستم قدیمی با کاهش سطح مقطع

- مزایای تسلیح اساس:

- ژئوسنتتیک قرار داده شده به عنوان عنصر کششی در کف یا بین مصالح شن و ماسه لایه اساس و یا زیراساس عمل می کند
- عمر مفید پروژه را به شدت افزایش می دهد
- سطح مقطع خاکریزی را کاهش می دهد
- به هم خوردگی بستر روسازی به حداقل می رسد
- در مصرف مصالح صرفه جویی می شود

۲- گیردارسازی بستر روسازی

در این حالت که لایه ژئوسنتتیک بین لایه اساس و زیراساس و یا سطح زمین طبیعی با لایه زیراساس طوری عمل می کند که ماشین آلات خاکریزی بتوانند به راحتی عملیات اجرایی را انجام دهند.

- مزایای گیردارسازی بستر:

- ژئوسنتتیک به عنوان یک عنصر کششی در بین لایه های خاکریز راه عمل می کند.
- عمر مفید پروژه را افزایش می دهد
- سطح مقطع خاکریزی کاهش پیدا می کند.
- دستخوردگی لایه های خاکی کاهش پیدا می کند.
- قابلیت دسترسی و عملیات سازه ای در خاکهای نرم فراهم می شود.

- یک سکوی متراکم مناسب با خصوصیات یکسان فراهم می گردد.

در کل مزایای استفاده از مواد ژئوسنتتیک جهت تحکیم بستر در مقایسه با روشهای سنتی به صورت زیر می‌باشد:

۱. عدم نیاز به خاکبرداری اولیه:

با استفاده از ژئوتکستایل نیازی به خاکبرداری اولیه نمی باشد و تنها با پهن کردن آن می توان لایه های بعـدی را ایجـاد کرد. در روش سنتی بایستی حداقل ۱/۵-۱ متر خاکبرداری کرد تا به لایه های مقاوم تر رسید.

۲. کاهش ضخامت لایه های خاکریزی :

یکی از عملکرد های ژئوتکستایل جدایش لایه های سست زیرین بستر از لایه خاکریزی است که این مسـاله باعـث عـدم اختلاط مصالح درشت دانه در مصالح سست زیرین وکاهش ضخامت لایه خاکریزی خواهد شد.

۳. کاهش زمان و انرژی لازم در رسیدن به تراکم بهینه:

باتوجه به کاهش ضخامت لایه های خاکریزی انرژی و زمان مورد نیاز برای برای تراکم مورد نظر کمتر خواهد بود.

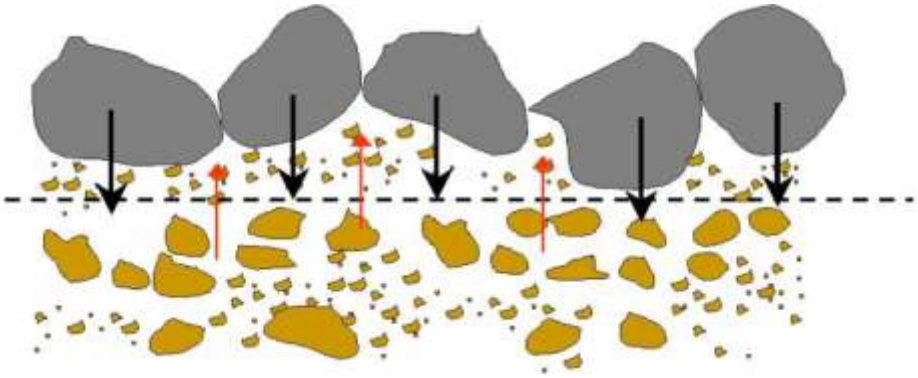
۴. کاهش هزینه های اجرایی با توجه به موارد فوق:

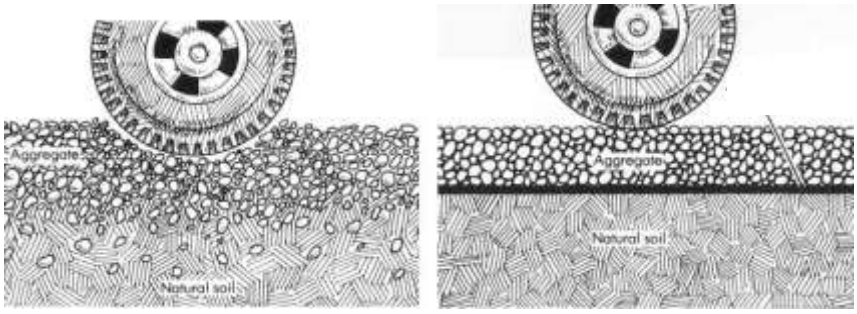
حدود ۲۵-۲۰ درصد از هزینه های اجرایی به دلیل حذف خاکبرداریها و خاکریزیهای اضافه ،کاسته می شود.

۵. جهت عبور و مرور ماشین آلات پوشش رویی ژئوتکستایل را می توان با ریختن چند سانتیمتر خاک ایجاد کرد.

۶. عدم اختلاط خاک مخلوط با خاک ریز دانه:

ژئو تکستایل با جدایش خاک مخلوط و خاک سست ریز دانه عملیات زهکشی را نیز انجام می دهد.





۷. افزایش سرعت اجرا با خاکریزی و جایگذاری لایه ژئوسنتتیک به صورت توأمان

۸. پخش تنشها

ژئوگرید استفاده شده باعث پخش شدن تنشها در سایت می شود و بدین ترتیب تنشهای کمتری به بستر سست منطقه که از ظرفیت باربری پایینی برخوردار است منتقل می شود.

۹. حداقل خاکریزی در روش سنتی دو برابر روش فوق است .

در روش سنتی بعد از انجام عملیات تحکیم بستر و حجم بالای خاکریزی حتی با استفاده از بتن مسلح به عنوان پوشش در نهایت سیستم و فونداسیون به پایداری بهینه نخواهد رسید.

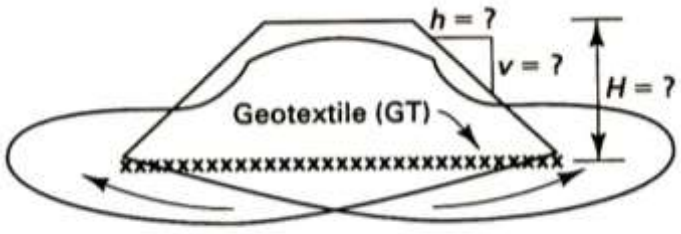
طراحی ژئوسنتتیک ها جهت مسلح کردن بسترها

در طراحی برای مسلح کردن بسترهای سست به وسیله ژئوسنتتیک باید فاکتور های زیر در نظر گرفته شود.

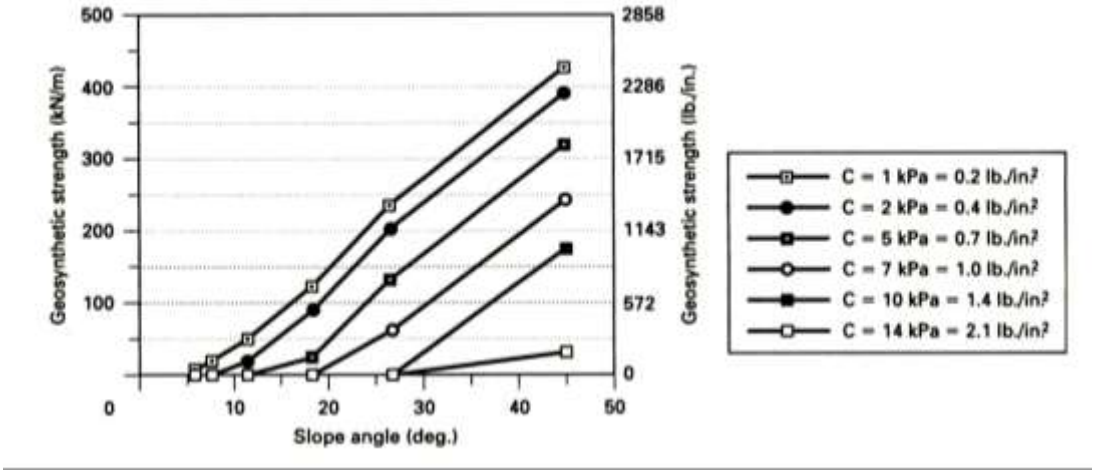
۱- ظرفیت باربری
۲- تغییر شکل الاستیک
۳- طول انکراژ
۴- گسترش جانبی

- **ظرفیت باربری**

در ابتدا برای تعیین مقاومت کششی ژئوسنتتیک مورد نیاز با توجه به اطلاعات اولیه خاک(C) وشیب خاکریز ، وضعیت بارگذاری از نمودار (تصویر۱) استفاده شده است. این نمودار جهت تعیین مقاومت کششی ژئوسنتتیک با استفاده از شیب خاکریز و اطلاعات پایه خاک بخصوص چسبندگی می باشد. دراین روش طراحی ضریب اطمینان کلی ۱,۳ در نظرگرفته شده است.



(a) Bearing capacity



چارت محاسبه مقاومت کششی مورد نیاز ژئوسنتتیک (ارتفاع خاکریزتا ۴ متر و بار ۱۳Kpa)

پس از تعیین Treq ، با در نظر گرفتن پارامترهای مربوط به مصالح ژئوسنتتیک ، Tallow یا مقاومت کششی مورد نیاز برای تحمل این بار از فرمول های زیر قابل محاسبه است.

ضرایب کاهنده تنش

این ضرایب برای دوام ژئوسنتتیک درنظر گرفته شده است:

$$\text{Tallow} = \text{Tult}\left(\frac{1}{FSid * FScr * FScd * FSbd}\right)$$

Fsid : ضریب کاهنده تنش بر اثر خسارت ناشی از نصب

FScr : ضریب کاهنده تنش بر اثر خسارت ناشی از خزش

FScd : ضریب کاهنده تنش بر اثر خسارت ناشی از فرسایش و هوازدگی

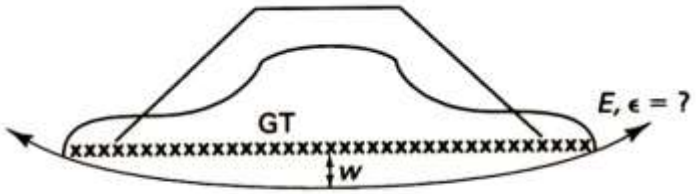
FSbd : ضریب کاهنده مقاومت ناشی از تماس با خاکهای اسیدی و قلیایی

Tallow = Tult (1/(1.5×1.32×1×1))

(FSID=1.5 , FSCR=1.32 , FSCD=1, FSbd= 1)

- **کنترل تغییرشکل الاستیک**

مقدار تغییرشکل الاستیک ژئوسنتتیک باعث تحمل تغییرشکل خاکریزی توسط این مصالح خواهد شد. مطابق شکل زیر اگر مدول ژئوسنتتیک نتواند تغییرشکل خاکریز را تحمل کند، در کل پایداری خاکریز تحت تاثیر قرار می گیرد. عموماً مقدار تغییر طول ماکزیمم مجاز در تنش مورد نیاز ۱۰٪ می باشد.



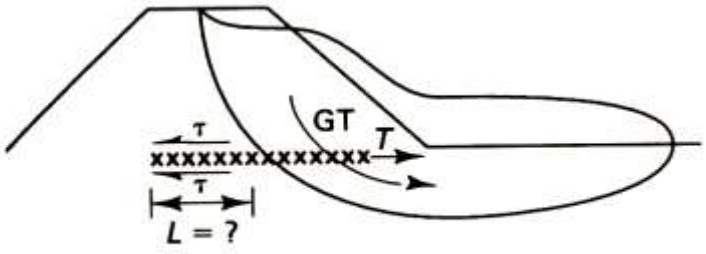
(c) Elastic deformation

Eallow = 10* Tallow

البته موارد فوق بر اساس مدول ساختاری ژئوسنتتیک می باشد و در محل همپوشانی تمهیدات اجرایی ویژه باید لحاظ گردد. این بدین معنی است که تغییرشکل مصالح مصرفی باید بین ۱۰ تا ۱۱ درصد باشد.

- **طول انکراژ و Pull out**

طراحی باید به گونه ای انجام گیرد که مطابق شکل ذیل خاکریز از کناره ها لغزش نکند ، به همین دلیل از فرمول ذیل استفاده می گردد.



(d) Pullout or anchorage

$$L_{reg} = \frac{Tact}{2E(C+\sigma v TAN\ \phi)}$$

در این فرمول:

Lreq : طول لازم برای انکراژ پشت صحنه لغزشی

Tact : تنش محاسبه شده در ژئوسنتتیک

C: چسبندگی خاک مورد استفاده در خاکریزی

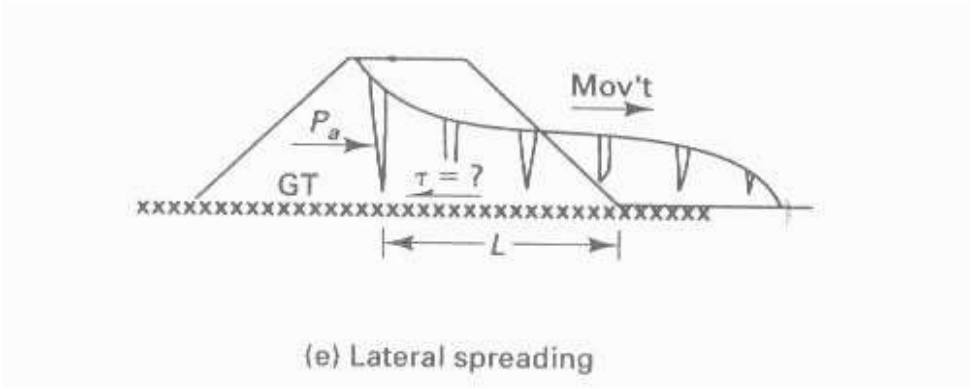
ϕ: زاویه اصطکاک داخلی

σV : میزان بار عمودی وارد بر خاکریز

E : ضریب انکراژ خاک با ژئوسنتتیک

- **طول گسترش جانبی**

برای به دست آوردن طول گسترش ژئوسنتتیک در طرفین خاکریز ابتدا فاصله افقی وقوع ترک های کششی تا پاشنه خاکریز (L) را با استفاده از روابط زیر استخراج می کنیم سپس با در نظر گرفتن حالت بحرانی که مرکز دایره لغزش بر روی پاشنه شیب قرار داشته باشد وبا توجه به مقدار L طول گسترش ژئوسنتتیک در طرفین خاکریز به دست می آید.



(e) Lateral spreading

$Pa = \tau L$

$Pa = (\sigma ave \ tan\delta) L \quad \rightarrow \quad 0.5 \gamma H^2 Ka = (0.5 \gamma H tan\delta) L$

$\rightarrow \ tan\delta = H Ka / L$

در رابطه فوق داریم :

δ : زاویه اصطکاک لازم خاک با ژئوسنتتیک

$Tan\delta = E(tan\phi)$: که در آن ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاکریز و E ضریب برشی ژئوسنتتیک وخاک می باشد

H: ارتفاع خاکریز

L: شعاع گسترش جانبی

$Ka = Tan^2(45 - \phi/2)$: ضریب فشارمحرک خاک