



Namatek

True Education

Soil Reinforcement

www.namatek.com

مسلح کردن خاک

فهرست مطالب

۱. مسلح کردن خاک چیست؟
۲. نحوه مسلح کردن خاک
۳. هدف از مسلح کردن خاک چیست؟
۴. انواع روش ها و تکنیک های مسلح کردن خاک
۵. موارد مورد استفاده در مسلح کردن خاک
۶. کاربرد مسلح کردن خاک
۷. چالش های مسلح کردن خاک
۸. مزایای مسلح کردن خاک

به لطف تکنیک های نوآورانه، امروزه دیگر امکان ساخت و ساز در انواع طبقات وجود دارد؛ از سازه های ساده گرفته تا شاهکارهای معماری، دانش بشر به منظور تجزیه و تحلیل و مطالعه، تحکیم و مسلح کردن خاک با یکدیگر همکاری می کنند. ژئوتکنسین ها به منظور طراحی پایه ای سازه ها در دفاتر طراحی، ویژگی های خاک را بررسی و تعیین می کنند. مسلح کردن خاک، اگرچه به صورت کلی فرآیندی نامرئی است؛ اما سنگ بنای هر سازه ای خواهد بود که بر روی خاک هایی که استحکام کمی دارند، ساخته می شود. پیشرفت های تکنولوژیکی فعلی در مسلح کردن خاک به سمت راه حل های فنی، اقتصادی تر و سازگارتر با محیط زیست پیش می روند. در این مقاله به بررسی مسلح کردن خاک، نحوه آن، روش های انجام تقویت خاک و هدف از مسلح کردن خاک می پردازیم.

مسلح کردن خاک چیست؟



مسلح کردن خاک، روشی برای تقویت خاک با استفاده از عناصر کششی مانند ژئوتکستایل، ژئوممبران، نوارهای فلزی یا میلگرد است. این روش به

منظور افزایش مقاومت و سختی خاک در برابر بارهای مختلف مانند وزن ساختمان و بارهای جانبی انجام می شود. در مهندسی ژئوتکنیک، مسلح کردن خاک در مناطق با خاک سست یا فرسایش پذیر که قادر به تحمل بارهای ساختمانی نیستند، از اهمیت بالایی برخوردار است. این روش به زمین کمک می کند تا در برابر بار، مقاومت بیشتری از خود نشان دهد؛ درست برعکس روش های قدیمی که عملکرد بالایی نداشته و به زمان نسبتاً طولانی ای برای بازیابی خاک نیاز داشتند. تکنیک های مهندسی مختلفی به منظور افزایش استحکام خاک استفاده می شوند؛ مانند ژئوگرید (Geogrid) و ژئوتکستایل (geotextile) که ترکیبی از پرکننده های زمین و نوارهای تقویت کننده هستند. این تکنیک ها قادر به تحمل استحکام کششی زیادی هستند. تسلیح خاک یک تکنیک مدرن است که در پروژه های مختلف به منظور جلوگیری از شکست شیب خاک استفاده می شود و ظرفیت باربری خاک را افزایش می دهد. در این روش، خاک از طریق توزیع مواد معدنی و مغذی، تقویت و احیا می شود. تکنیک های مسلح کردن خاک معمولاً در مناطقی که خاک نرم دارند، استفاده می شود؛ زیرا این نوع خاک توانایی و مقاومت کافی در برابر ساختمان ها را ندارد.

کلاس های مسلح کردن خاک

سازه های خاک مسلح شده به ۳ کلاس تقسیم می شوند:

- دیوارهای زمینی با تثبیت مکانیکی
- شیب ها و خاکریزهای تقویت شده
- پایه های تقویت شده

نحوه مسلح کردن خاک



خاک را با قرار دادن عناصر کششی در آن، تقویت می کنند تا استحکام و پایداری طبیعی آن بهبود یابد. این امر با ترکیب عناصر تقویت کننده با سطوح در سنگدانه ها و زیر پایه توده خاک انجام می شود. هنگامی که فشار روی توده خاک اعمال شود، سبب ایجاد فشار روی آرماتور شده که بار کششی ایجاد خواهد کرد و پس از این فرآیند می تواند در برابر حرکت خاک مقاومت کرده و پشتیبانی اضافی ایجاد کند. با انجام این عملیات، خاک، مسلح شده و مقاومت برشی بسیار بیشتری به نسبت جرم خاک و به تنهایی ایجاد خواهد کرد.

هدف از مسلح کردن خاک چیست؟

اهداف مسلح کردن خاک، عبارت اند از:

- مسلح کردن خاک با قرار دادن عناصر کششی در خاک به منظور افزایش پایداری و استحکام خاک انجام می شود.

- مسلح کردن خاک یک تکنیک مقرون به صرفه است که برای بهبود مقاومت کششی و باربری خاک، استفاده می شود.
- به منظور بهبود خواص مهندسی و مکانیکی خاک انتخاب شده است.
- بستر خاک مسلح شده، سبب افزایش ظرفیت باربری خاک و کاهش نشست تفاضلی بستر خاک می شود.
- استفاده از زمین با شیب های خاکریزی تندتر، نیاز به وسعت بیشتری از زمین را کاهش می دهد.

انواع روش ها و تکنیک های مسلح کردن خاک



روش های مسلح کردن خاک به منظور افزایش پایداری و ظرفیت باربری خاک و همچنین جلوگیری از حرکت و فرسایش آن مورد استفاده قرار می گیرند. این روش ها به چهار دسته عمده تقسیم می شوند:

نیلینگ خاک یا میخ کوبی (Soil Nailing)



نیلینگ خاک، تکنیکی است که معمولاً به منظور تقویت زمین مجاور گودبرداری و با نصب میله های فولادی با استفاده از میخ ها و با فاصله نزدیک صورت می گیرد. در این روش، ساخت و ساز از بالا به پایین شروع می شود. برش های عمودی یا شیب دار را می توان به منظور حفاری باز و با استفاده از میخ های خاک سفت و سخت به عنوان تقویت کننده ایجاد کرد. به این نوع برش ها، دیوارهای خاکی میخ دار نیز گفته می شود. روکش دیوارها معمولاً به شکل پنل های کرت تقویت شده با مش سیم است، اگرچه ممکن است از صفحات فلزی و سایر پنل ها نیز استفاده شود.

میخ های خاک در شیب ۲۰ تا ۲۵ درجه و به صورت افقی نسبت به زمین نصب می شوند. هرچه به عمق برش نزدیکتر می شویم، شیب ها به ۱۰ تا ۱۵ درجه کاهش می یابند. نیلینگ خاک روشی مؤثر و اقتصادی برای ساخت دیوار حائل به منظور تکیه گاه در گودبرداری، بزرگراه ها و پل ها است. میخ ها تحت فشار کششی، برشی و لنگر خمشی قرار می گیرند.

شرایط مساعد خاک در نیلینگ به صورت زیر است:

• خاک ریزدانه سفت تا سخت

- خاک های دانه ای متراکم تا بسیار متراکم با انسجام ظاهری
- سنگ هوازده بدون خاک های یخبندان

سیستم مهاربندی یا انکراژ (Soil Anchorage)

سیستم انکراژ شامل تاندون های پیش تنیده دائمی تزریق شده با سیمان است که در خاک برای مهار خاک استفاده می شوند. این مهارها داخل سوراخ های حفاری شده در جداره های گود قرار می گیرند و با پیش تنیده شدن به المان های مقاوم تبدیل می شوند. از این روش برای افزایش ظرفیت باربری خاک استفاده می شود و نیروی پیش تنیدگی در این سیستم وجود دارد.

ژئوسنتتیک (Geosynthetics)

ژئوسنتتیک ها موادی پلیمری هستند که در مهندسی ژئوتکنیک و خاک مسلح به عنوان فیلتر، زهکش و مسلح کننده استفاده می شوند. انواع مختلفی از ژئوسنتتیک ها شامل موارد زیر هستند:

- ژئوتکستایل
- ژئوگرید
- ژئوممبران
- ژئونت
- ژئوکامپوزیت
- ژئوسل
- ژئومت

این مواد برای افزایش مقاومت کلی خاک، پایداری، جلوگیری از فرسایش و کمک به زهکشی به کار می روند. این موارد در زمینه های مهندسی بسیار حیاتی هستند؛ زیرا به عنوان موارد زیر استفاده می شوند:

- زهکش
- تقویت کننده
- موانع و کاربردهای کنترل فرسایش
- ژئوتکستایل یک نوع ماده نساجی قابل نفوذ است که از پلیمرهای پلی استر (Polyester) یا پلی پروپیلن (Polypropylene) تولید می شود. این مواد به منظور موارد زیر استفاده می شوند:
- افزایش استحکام کلی خاک
- پایداری
- جلوگیری از فرسایش
- کمک به زهکشی

طیف وسیعی از ژئوتکستایل ها را می توان با استفاده از فرآیندهای مختلف ساخت و پلیمرهای مختلف تولید کرد. آن ها می توانند به صورت بافته یا بافته نشده نیز باشند. ژئوتکستایل های بافته شده از در هم آمیختن دو یا چند الیاف (در زاویه قائمه) ساخته می شوند. این در حالی است که بافته نشده ها با یک اتصال مکانیکی یا پانچ سوزنی تولید می شوند.

ژئوگریدها یک ماده ژئوسنتتیک با ساختار مشبک هستند که دارای دهانه های مربع شکل یا مستطیل شکل و بزرگتر از ضخامت دنده ها هستند. ضخامت دنده ها در حدود ۵ تا ۱۵ میلیمتر و جرم آن ها از ۲۰۰ تا ۱۵۰۰ گرم متغیر است. به همین ترتیب، ژئونت ها (Geonets) شباهت زیادی به

ژئوگریدها دارند، با این حال آن ها دارای روزنه های زاویه دار ماسه ای هستند و به جای داشتن دهانه هایی به شکل مربع یا مستطیل از متوازی الاضلاع تشکیل شده اند.

پنل فیسینگ (Facing Panels)

پنل فیسینگ شامل سازه های مسلح شده خاک به صورت عمودی است. این پنل ها معمولاً از بتن مسلح یا فولاد تشکیل شده اند و توسط مکانیزم بهم پیوسته به هم متصل می شوند. بتن استفاده شده در این پنل ها دارای عیار بالا است و از این روش بیشتر در پل ها و زیرگذرها استفاده می شود. میلگردها یا مش ها نیز برای افزایش هم پیوستگی ساختار در داخل خاک قرار می گیرند. این تکنیک شامل مراحل قالب بندی، آرماتوربندی، بتن ریزی و پایدارسازی خاک است. این تکنیک ها به منظور افزایش پایداری و ایمنی سازه ها و زمین های ساختمانی استفاده می شوند و هر کدام دارای مزایا و کاربردهای خاص خود هستند.

موارد مورد استفاده در مسلح کردن خاک

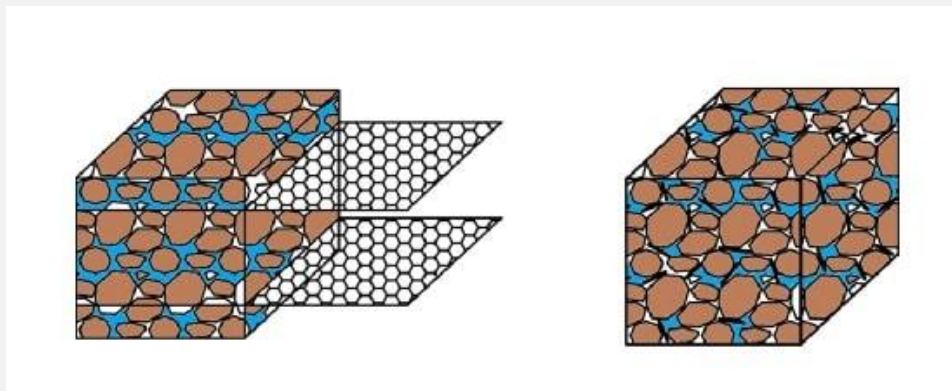
2 نوع ماده اصلی وجود دارد که به منظور مسلح کردن خاک استفاده می شود:

۱. خاک یا ماتریس پر

۲. سیستم تقویتی یا لنگر

که این مواد بر اساس خواص و ویژگی های خاک مورد استفاده قرار خواهند گرفت و در ادامه به صورت مشروح به بررسی آن ها می پردازیم.

خاک یا ماتریس پر



از نظر تئوری می توان از هر خاکی در زمین استفاده کرد؛ بنابراین، می توان خواص برشی خاک را افزایش داد. به طور کلی، خاک مورد استفاده معمولاً از خاک هایی است که به صورت بدون چسبندگی یا اصطکاکی چسبنده درجه بندی می شوند. با این حال، در موارد بسیاری خاک هایی با انسجام خالص با موفقیت به کار گرفته می شوند.

استفاده از خاک های بدون چسبندگی چند مزیت دارد:

- پایدار هستند.
 - تخلیه رایگان دارند.
 - مستعد یخ زدگی نیستند.
 - برای عناصر تقویت کننده، حالت خورندگی ندارند.
- نقطه ضعف این نوع خاک ها، هزینه بر بودن آن ها است؛ زیرا سازش بین مزایای خاک های بدون چسبندگی و مزایای اقتصادی خاک های چسبنده، سبب می شود تا خاک های اصطکاکی منسجم تر، ترجیح داده شوند.

سیستم تقویتی یا لنگر



طیف گسترده ای از مواد را می توان به عنوان مسلح کننده خاک استفاده کرد که عبارت اند از:

- فولاد
- شیشه
- بتن
- الیاف
- چوب
- آلومینیوم
- لاستیک
- ترموپلاستیک ها

این آرماتورها می توانند اشکال ساختاری مانند موارد زیر را داشته باشند:

۱. نوارها

۲. لنگرها

۳. تخته ها

۴. زنجیره مواد

۵. طناب

۶. یا ترکیبی از این مواد

به صورت مشابه، تقویت کننده های کامپوزیت را می توان با ترکیب مواد و اشکال مختلف متناسب با شرایط خاک توسعه داد. الزامات اصلی مواد تقویت کننده عبارت اند از:

- استحکام
- پایداری
- دوام
- جا به جایی
- ضریب اصطکاک
- سازگاری با خاک

عواملی همانند هزینه ها و میزان در دسترس بودن نیز از دیگر عواملی است که در نظر گرفته می شود.

۱) نوارها

این ها عناصر خطی انعطاف پذیری هستند که ضخامتی کمتر از عرض خود دارند. آن ها می توانند از موارد زیر تشکیل شوند:

- مس
- پلیمرها
- آلومینیوم
- الیاف شیشه

• بامبو

نوارهای فولادی گالوانیزه یا روکش شده به صورت طرح های ساده یا به شکلی با پروژه هماهنگ می شوند تا اصطکاک حاصل بین حالت پر شدن و حالت تقویت کردن را افزایش دهند.

2) شبکه ها

از شبکه ها نیز به عنوان عنصر تقویت کننده استفاده می شود. آن ها از فولاد تشکیل شده اند.

3) ورق

این آرماتور ممکن است از الیاف یا فلزاتی مانند ورق فولادی گالوانیزه و فلزات منبسط شده تشکیل شود.

کاربرد مسلح کردن خاک



کاربردهای زیادی در مسلح کردن خاک وجود دارد که برخی از آن ها را در ادامه بررسی خواهیم کرد.

تعمیرات خرابی شیب

زمین لرزه های بزرگ و کوچک و خرابی های حاصل از این شیب های طبیعی اغلب در مناطقی اتفاق می افتد که محیط نیاز به ترمیم شیب به شکل هندسی اولیه خود دارد. این امر می تواند به دلیل جاذبه های گردشگری فنی، اقتصادی یا دلایل هنری باشد. ژئوگریدها امکان استفاده از خاک یکسان زمین لرزه را به منظور ایجاد دوباره شیب فراهم می کند. از این رو به جای وارد کردن خاکی با ویژگی های مکانیکی بهتر که پیامدهای هزینه بر دارد، راه حلی ارائه می دهد. مزیت شیب تقویت شده با ژئوگرید این است که می توان آن را به راحتی با گیاهان پوشاند تا با محیط اطراف خود یکپارچه شود.

تعمیرات برش شیب

نصب سازه های زیرزمینی مانند خطوط لوله، اغلب مستلزم ایجاد یک شیب به منظور محافظت از مناطق ارزشمند است که در آن قدرتی تحمیلی برای ترمیم برش ها به وضعیت اولیه آن ها وجود دارد. این امر ممکن است منجر به مسائل ژئوتکنیکی شود؛ زیرا خاک حفاری دارای ویژگی های پایین تری نسبت به خاک اصلی موجود در شیب است. ژئوگریدها، پایداری خاک را بهبود می بخشند و در نتیجه امکان بازسازی شیب را بدون روش های گران قیمت فراهم می کنند.

خاکریزها و باندهای شیب دار

در بسیاری از مواقع، کمبود فضا یا مواد پر کننده برای ساخت خاکریزها و باندها با شیب تند وجود دارد. ساختار مسلح کردن خاک با ژئوگرید، راه حلی ایمن و اقتصادی را ارائه می دهد که دارای کاربردهای زیر است:

- نوارهای جلوگیری کننده از سر و صدا در امتداد بزرگراه ها، راه آهن و مواردی از این قبیل

- خاکریزهای حفاظت کننده در برابر انفجار

- افزایش حجم موجود در محل دفن زباله

- انقباض سدهای خاکی به منظور آبگیری به صورت جامد یا مایع

تکیه گاه های پل و دیوارهای بال

تکیه گاه پل و دیوارهای پل، اغلب سازه های نگهدارنده زمین هستند که سنگین ترین بارها را تحمل می کنند. علاوه بر بارهای عمودی و افقی زیاد توسط عرشه پل، بارهای دینامیکی حاصل از ترافیک و حتی بارهای لرزه ای، طراحی کلی را به چالش می کشند. خاک های نرم در بخش بالایی سطح آب و اثرات محیطی به رفع مشکلات بیشتری کمک خواهند کرد.

همانند سایر کاربردها، سازه های خاکی تقویت شده با ژئوگرید، سازه های نگهدارنده ای قوی و در عین حال انعطاف پذیری را ارائه می کنند. تکیه گاه های پل و دیوارهای بال را می توان با هدف مقاومت در برابر تمامی بارهای پیش بینی شده با توجه به ایمنی و کیفیت پایین خاک، طراحی کرد.

خاکریزهای راه و راه آهن

خاکریزهای راه و راه آهن، معمولاً سازه های بزرگ و مرتفعی هستند که به میزان قابل توجهی خاک و زمین پر شده نیاز دارند. هزینه حمل و نقل این خاک از معادن می تواند قابل توجه باشد و به برخی از راه های جایگزین نیاز داشته باشد. به عنوان مثال، طراحی شیب های پله ای یا استفاده از پر کردن خاک با کیفیت پایین می تواند راه حل جایگزینی خوبی باشد.

چالش های مسلح کردن خاک



طرح های مسلح کردن خاک همواره با توجه به ویژگی های خاک (مانند بافت و ظرفیت تحمل آن) شخصی سازی می شوند. تنوع خاک ها و تغییرات بار بسیار زیاد است و ممکن است دچار چالش های بسیاری شود. برخی از چالش های پیش روی مسلح کردن خاک را در ادامه بررسی می کنیم.

خاکریز روی پی های ضعیف

چالش اصلی خاکریزها، روی پایه های ضعیف تر مانند فرودگاه های نزدیک زمین های نرم یا شنی، تقویت خاک و تثبیت آن است.

دیوارهای نگهدارنده

ژئوتکستایل ها با انواع مختلفی از کاربردهای دیوار مانند پر کردن در محل به منظور تقویت دیوارهای نگهدارنده، ترکیب می شوند. ژئوتکستایل، جایگزینی برای روش های سنتی مانند سازه های بتنی ریخته شده در محل برای دیوارهای حائل فراهم می کند.

تثبیت سطح زیرین

برای خاک های نرم و ارگانیک، مقاومت کششی کم است. هزینه های مورد نیاز به منظور پر کردن زمین به صورت سنتی می تواند تا ۵۰ درصد بیشتر از هزینه تقویت خاک با روش ژئوتکستایل باشد. از ژئوتکستایل ها می توان برای پخش کردن یکنواخت بار در خاک و کاهش جا به جایی ذرات ریز خاک استفاده کرد.

دوره پایه تقویتی

با افزایش مقاومت کششی مواد پایه دانه ای، ظرفیت باربری کلی خاک نرم بهبود می یابد. استفاده از ژئوتکستایل ها با افزایش ظرفیت باربری آن در ساختار پایه دانه ای، استحکام کششی را افزایش می دهد. معمولاً برای این کار از شبکه استفاده می شود.

شیب ها

لایه هایی از ژئوتکستایل ها به صورت روش هایی روی زمین قرار می گیرند تا خاک را شیب دار کنند. این امر باعث افزایش کلی مقاومت کششی بدون ایجاد خطر لغزش یا چرخش خاک خواهد شد.

مزایای مسلح کردن خاک



مسلح کردن خاک یک تکنیک مقرون به صرفه در مقایسه با سایر تکنیک های ساختمانی است. مزایای عمده خاک مسلح عبارت است از:

- گنجاندن آرماتور در خاک، مقاومت برشی خاک را بهبود بخشیده و در نتیجه قابلیت ساختاری آن را افزایش می دهد.
- گنجاندن آرماتور، استفاده از خاک هایی که کیفیت پایین تری دارند را قادر می سازد تا به عنوان اجزای سازه ای مورد استفاده قرار گیرند.
- زمان ساخت و ساز را می توان با استفاده از تکنیک های مسلح کردن خاک کاهش داد.