بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

گروه عمران گرایش خاک وپی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی سیستم مرکب دیوارهای نگهبان میخکوبی شده– پایدار شده مکانیکی با استفاده از روش المان محدود

استاد راهنما:

دکتر ناصر عرفاتی

دانشجو:

سعید محمّدی لامع

شهریور ماه ۱۳۹۰

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

تقدیم به **پدر** و **مادر** عزیزم...

با تشکر و قدردانی فراوان از زحمات ارزشمند و بی دریغ استاد گرانقدر

آقای دکتر ناصر عرفاتی

و تمامی عزیزانی که در این راه از جان و دل همراهیم کردند...

چکیده

در سالهای اخیر روشهای پایدارسازی شیب ها و دیواره های خاکی توسعه فراوانی یافته و روشهای جدیدتر به تدریج جایگزین روشهای سنتی و قدیمی تر می شود. در این میان میخکوبی خاک[1] و پایدارسازی مکانیکی زمین[2] جزو روشهایی هستند که استفاده از آنها به علت مزایای خاصی که دارند در کشورهای مختلف سرعت گرفته به طوری که در چند سال گذشته آمار و ارقام نشان دهنده پیشرفت سریع این سیستم ها می باشد. از طرف دیگر یکی از مسائل مهم کنونی در حوزه حمل و نقل افزایش روز افزون حجم ترافیک جاده های موجود می باشد که کارشناسان را مجاب به ارائه روشهای مختلف از جمله عریض سازی جاده های موجود و یا ارائه سیستم هایی با کارایی بالا و هزینه پایین نموده است. یکی از روشهای مدرن در این زمینه استفاده از سیستم مرکب دیوارهای نگهبان میخکوبی شده-پایدار شده مکانیکی جهت احداث یک سیستم جاده دو خطه غیر همسطح می باشد. با افزایش جمعیت و نیاز به عریض سازی جاده های موجود و یا ایجاد جاده های غیر هم سطح در مناطق شیبدار و کوهستانی استفاده از روش مرکب اشاره شده به جهت مزایا و توجیه اقتصادی که دارد لزوم بررسی این روش را برای ما آشکار می سازد. از مسائل مهم در مورد دیوارهای مرکب مسئله تغییر شکل این دیوارها، انتقال نیرو در مهارها و اثر متقابل این دیوارها روی یکدیگر می باشد. در این پایان نامه به بررسی کلی این دیوارها و لزوم و نحوه کاربرد آنها، استفاده از روش المان محدود و نرم افزار PLAXIS جهت تحلیل همه جانبه این سیستم و در نهایت حساسیت سنجی متغیر های مختلف روی پارامترهای مهم طراحی پرداخته شده است.

با اثبات توانایی تحلیل و صحت نتایج بدست آمده از نرم افزار PLAXIS روی هر دو سیستم با انتخاب یک مدل ترکیبی تا حد امکان نزدیک به نمونه عملی که بر اساس مدل های عملی اجرا شده انتخاب گردیده تحلیل پارامتریک روی این سیستم ترکیبی انجام گرفت. ویژگی خاص این پژوهش در نظر گرفتن زاویه ۳۰ درجه برای شیب مورد بررسی می باشد که نتایج بدست آمده را به نتایج واقعی نزدیکتر می کند.

با تغییر متغیرهای مختلف که به سه دسته پارامترهای مقاومتی خاک، پارامترهای هندسی دیوار میخکوبی شده و پارامترهای مربوط به دیوارهای پایدار شده مکانیکی تقسیم می شوند، تاثیر آنها را روی پارامترهای مهم طراحی که عبارتند از جابجایی افقی و قائم دیوار میخکوبی شده، ماکزیمم کشش در میخ ها، نیروی برشی و لنگر خمشی وارد بر رویه دیوار، نیروی وارد بر واحد طول دیوار میخکوبی شده و ضریب اطمینان کل سیستم بررسی و پیشنهادات لازم در هر مورد ارائه گردید.

در نهایت علاوه بر بررسی تک تک متغیرها، میزان و درصد تاثیرگذاری متغیرهای یاد شده روی پارامترهای اصلی طراحی با استفاده از خطوط رگرسیون درجه ۳، درجه بندی و تحلیل گردید.

کلمات کلیدی:

دیوارهای نگهبان مرکب- میخکوبی خاک- دیوارهای پایدار شده مکانیکی- روش المان محدود

---

[1] Soil Nailing
[2] Mechanically Stabilized Earth

فهرست مطالب

عنوان

فصل اول- مقدمه **۱**

۱-۱- تاریخچه ای بر مهار شیب ها ۱

۱-۲- مراحل اجرای سیستم نیلینگ ۱

۱-۳- روشهای ساخت دیوارهای میخکوبی شده ۳

۱-۳-۱- حفاری، جایگذاری میخ ها و دوغاب ریزی ۳

۱-۳-۲- کوبیدن میله ها در خاک ۴

۱-۳-۳- استفاده از میله های توخالی ۴

۱-۳-۴- استفاده از روش جت گروتینگ ۴

۱-۳-۵- استفاده از روش پرتابی ۴

۱-۴- دیوارهای پایدار شده مکانیکی ۴

۱-۵- انواع دیوارهای ترکیبی میخکوبی شده-پایدار شده مکانیکی ۶

۱-۵-۱- اجرای دیوار MSE در جلوی دیوار میخکوبی ۷

۱-۵-۲- ساخت دیوار MSE در بالای دیوار میخکوبی شده ۷

۱-۵-۳- حالت های خاص ترکیبی ۸

فصل دوم- ادبیات تخصصی موضوع ۹

۲-۱- انواع خرابی در دیوارهای میخکوبی شده ۹

۲-۱-۱- برش و خمش بوجود آمده در میخ ها ۱۰

۲-۱-۲- خرابی ناشی از درآمدگی مهارها ۱۱

۲-۱-۳- گسیختگی رویه دیوار ۱۳

۲-۱-۴- خرابی ناشی از بالا آمدن سطح آب زیر زمینی ۱۷

۲-۲- انواع روشهای تحلیل و طراحی دیوارهای میخکوبی شده ۱۸

۲-۲-۱-روش آلمانی ۱۸

۲-۲-۲-روش فرانسوی ۲۰

۲-۲-۳- روش DAVIS ۲۱

۲-۲-۴- روش پیشنهادی FHWA ۲۲

۲-۲-۵- مثالی از دستورالعمل طراحی به روش FHWA ۲۵

۲-۲-۶- روشهای طراحی بر مبنای نرم افزار های مختلف ۲۹

۲-۳- روشهای تحلیل دیوارهای پایدار شده مکانیکی ۲۹

۲-۴- مقایسه ای مابین رفتار دو سیستم دیوارهای میخکوبی شده و دیوارهای MSE ۳۱

۲-۵- پیشینه پژوهش ۳۲

فصل سوم- معرفی و معتبرسازی مدل سازی با نرم افزار المان محدود PLAXIS ۳۳
۳-۱- معرفی روش المان محدود ۳۳
۳-۲- معرفی نرم افزار PLAXIS ۳۳
۳-۳- المان بندی خاک ۳۴
۳-۳-۱- درشتی شبکه المان ها ۳۵
۳-۴- مدل مصالح ۳۶
۳-۴-۱- مدل موهر-کولمب ۳۶
۳-۴-۲- مدل سنگ درزه دار ۳۶
۳-۴-۳- مدل خاک سخت شونده ۳۶
۳-۴-۴- مدل Cam-Clay اصلاح شده ۳۶
۳-۴-۵- مدل خاک نرم ۳۷
۳-۴-۶- مدل خزش خاک نرم ۳۷
۳-۵- نوع رفتار مصالح- نوع مصالح ۳۷
۳-۶- الگوسازی رفتار خاک (الگوی موهر -کولمب) ۳۷
۳-۷- مدول الاستیسیته معادل خاک-میخ ۳۹
۳-۸- مدل هذلولی (الاستیک غیر خطی) ۳۹
۳-۹- دیوار CLOUTERRE (C.E.B.T.P) Wall ۴۱
۳-۹-۱- مدل سازی دیوار C.E.B.T.P توسط نرم افزار PLAXIS ۴۴
۳-۱۰- دیوار A-2 ۴۷
۳-۱۰-۱- مدل سازی دیوار A-2 با نرم افزار PLAXIS ۴۸
۳-۱۱- دیوار MSE شماره ۳ (FHWA) ۵۲
۳-۱۱-۱- مدلسازی دیوار MSE شماره ۳ (FHWA) توسط نرم افزار PLAXIS ۵۳

فصل چهارم- مطالعه پارامتریک روی دیوارهای مرکب ۵۸
۴-۱- مقدمه ۵۹
۴-۲- انتخاب دیوار پایه (Base Wall) و مدلسازی با نرم افزار PLAXIS ۶۰
۴-۳- پارامترهای مقاومتی خاک ۶۷
۴-۳-۱-زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) ۶۷
۴-۳-۲- چسبندگی خاک ۷۲
۴-۳-۳- وزن مخصوص خاک ۷۷
۴-۴- متغیرهای مربوط به دیوار میخکوبی شده ۸۲
۴-۴-۱- ارتفاع دیوار میخکوبی شده (H) ۸۲
۴-۴-۲- طول میخ ها ۸۷
۴-۴-۳- زاویه شیب دیوار ۹۲
۴-۴-۴- سایز میلگردها ۹۷
۴-۴-۵- زاویه قرار گیری میخ ها در خاک ۱۰۲

۴-۴-۶- فاصله بندی افقی میخ ها..... ۱۰۷
۴-۴-۷- فاصله بندی قائم میخ ها..... ۱۱۲
۴-۵- متغیرهای مربوط به دیوار پایدار شده مکانیکی..... ۱۱۷
۴-۵-۱- عقب کشی دیوار MSE..... ۱۱۷
۴-۵-۲ نسبت طول ژئوگریدها به ارتفاع دیوار MSE..... ۱۲۲
۴-۶- رگرسیون و کاربرد آن در محاسبه درجه اهمیت پارامترها..... ۱۲۷

فصل پنجم- نتیجه گیری و پیشنهادها **۱۳۳**
۵-۱- نتیجه گیری..... ۱۳۳
۵-۲- پیشنهادها..... ۱۳۵
فهرست علائم و اختصارات..... **۱۳۶**
فهرست مراجع و مآخذ..... **۱۳۸**

پیشگفتار

میخکوبی خاک یک روش تسلیح درجای خاک با بکار بردن المان های کششی عموماً فلزی و از نوع میلگردهای معمول یا لوله های توخالی می باشد. این میله ها یا به عبارتی میخ ها می توانند بصورت منفرد و یا بصورت ترکیبی با دوغاب سیمان جهت بالا بردن چسبندگی مابین میخ و خاک طبیعی بکار روند. این سیستم اغلب برای پایدارسازی گودها و شیب های مستعد لغزش و یا برای مواردی که نیاز به بارگذاری روی آنها وجود دارد بکار برده می شوند.

روش پایدار سازی مکانیکی خاک نیز یک روش مسلح سازی خاک جهت بالا بردن خواص مکانیکی خاک می باشد که به صورت اجرای خاکریز و بکار بردن المانهای کششی که اغلب از نوع ژئوگرید ها یا ژئوتکستایل ها هستند اجرا می شود.

در برخی موارد مجبور به استفاده از سیستم های مرکب جهت دست یابی به اهداف مشخصی می باشیم. به عنوان مثال روش ترکیبی دیوارهای میخکوبی شده-پایدار شده مکانیکی یکی از همین موارد می باشد که بیشتر جهت اجرای جاده های غیر همسطح و یا عریض سازی جاده های موجود بکار می رود. در فصل اول به بررسی بیشتری در مورد هر دو سیستم و مورد ترکیبی خواهیم پرداخت.

با مشخص شدن موضوع بحث و جمع آوری اطلاعات اولیه قدم بعدی اطلاع از پژوهش های انجام یافته در زمینه مورد بررسی می باشد. استفاده از کتب، مقالات و پایان نامه های مرتبط می تواند در این زمینه ارزشمند باشد. پس از انجام چنین مطالعاتی تصمیم گیری در مورد زمینه کاری فراهم می شود. در فصل دوم روی تحقیقات انجام یافته در مورد موضوع این پایان نامه و ابعاد مختلف آن بحث شده است.

از سوی دیگر جهت بررسی هر سیستمی ۳ روش عمده وجود دارد که عبارتند از:

۱- ساخت نمونه های عملی در مقیاس واقعی و اعمال بارهای پیش بینی شده یا اعمال شرایط مورد نظر تا اینکه نمونه به حد گسیختگی برسد و آزمایش در کل فرایند ساخت تا حد گسیختگی و بدست آوردن نتایج مورد نیاز.

۲- ساخت نمونه هایی در مقیاس های آزمایشگاهی و آزمایش روی آنها به جهت توجیه اقتصادی

۳- استفاده از نرم افزارهایی که صحت کاربرد آنها در پروژه های مشابه به اثبات رسیده و نتایج آنها با نتایج عملی مقایسه و تایید شده است.

در مورد سیستم های با هزینه ساخت بالا مطمئناً گزینه اول با دشواری هایی چه در جهت ابعاد و چه در جهت تعداد ساخت همراه خواهد بود. با ساخت نمونه های آزمایشگاهی در چند مورد محدود نیز نمی توان به نتایج مورد نظر دست یافت.

روش متداولی که در اینگونه موارد بکار می رود استفاده از نرم افزارهای معتبر که صحت نتایج آنها به اثبات رسیده است می باشد. روش کلی بدین صورت می باشد که ابتدا از نرم افزار مربوط در مدلسازی چند نمونه مشابه که نتایج آزمایشگاهی یا عملی نمونه در دست باشد بکار می رود و با اثبات صحت نتایج خروجی می توان برای مدلهای پیچیده تر نیز از نرم افزار مربوط استفاده نمود. در علوم مهندسی به این کار در اصطلاح معتبر سازی نرم افزار مربوطه اطلاق می شود. این مورد در فصل سوم مورد بررسی قرار گرفته است. در این فصل با انتخاب نمونه های عملی و آزمایشگاهی

اجرا شده در مورد دیوارهای میخکوبی شده و دیوارهای پایدار شده مکانیکی و مدلسازی آنها با نرم افزار المان محدود PLAXIS صحت نتایج بدست آمده از این نرم افزار مورد بررسی قرار گرفته است.

پس از اطمینان صحت کاربرد نرم افزار بایستی مدل اصلی مورد بحث انتخاب شود. در این مورد با مشخص نمودن اهداف، سعی در انتخاب مدل مناسبی شده است تا جوابگوی مطالعات مورد نظر باشد. در این مورد مدل مورد نظر تشکیل یافته از یک دیوار مرکب (Hybrid Wall) می باشد که جهت احداث دو جاده غیر هم سطح بکار برده شده است. در فصل چهارم به نحوه انتخاب و پارامترهای مورد بررسی و دلایل انتخاب آنها خواهیم پرداخت.

در نهایت و در فصل پنجم با جمع آوری مطالب فصول قبل به نتیجه گیری در مورد بحث مورد نظر خواهیم پرداخت و پیشنهادات مربوطه ارائه خواهد گردید.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تاریخچه ای بر مهار شیب ها

در سالهای گذشته محققین و مهندسین بسیاری روی مساله پایداری شیب ها کار کردند، به طوریکه اولین طرحهای مهندسی و اصولی در این مورد را کاساگرانده و ویدال ارائه نمودند.کاساگرانده سعی بر مسلح سازی خاکهای ضعیف بوسیله نوارهایی با مقاومت بالا که به صورت افقی در خاک جایگذاری می شود داشت. علاوه بر کاساگرانده، ویدال نیز در سال ۱۹۶۶ شیوه های جدیدی از مسلح سازی خاکها را بیان کرد. البته تحقیقات ویدال اغلب برای استفاده از چند مصالح متفاوت در یک طرح بود.

در طرحهای پیشنهادی ویدال توجه زیادی به این نکته صورت گرفته است که عامل ایجاد کننده اصطکاک در نوارها منحصراً نیروی قائم وزن (جاذبه) می باشد که البته شایان ذکر است که این طرحها طرفداران بسیاری برای خود پیدا کرد و حتی در مکان های بسیاری نیز مورد استفاده قرار گرفت. با وجود اینکه تا سال ۱۹۶۸ طرحهای مختلف مشابهی ساخته شده بود اما اولین طرح کاملاً منطبق با طرح ویدال در این سال در جنوب فرانسه اجرا شد .در ایالات متحده اولین بار از طرح ویدال در سال ۱۹۷۲ برای ترمیم یک لغزش زمین در ایالت کالیفرنیا استفاده گردید و این در حالی بود که مشابه همین سازه در انگلستان در سال ۱۹۷۳ به پایان رسید. در کنار این گونه مسلح سازی روشهای مدرن میخکوبی خاک نیز به تدریج رونق پیدا کردند. بطوریکه هم اکنون در بسیاری از موارد برای حفاظتهای جانبی بهترین گزینه انتخابی می باشند.

روش نیلینگ در دو دهه اخیر در بسیاری از پروژه های مهندسی به کار گرفته شده است. این فن آوری از توسعه روش میله مهار در سنگ (Bolting Rock) در روش جدید تونل سازی اتریش NATM (New Austrian Tunnelling Method) در سال ۱۹۶۰ نشأت گرفته است که در آن از ترکیب بتن شاتکریت مسلح و میله مهارها برای تولید یک سیستم نگهبان انعطاف پذیر در ساخت سازه های زیر زمینی استفاده می شد. اولین ثبت استفاده از این روش در شمال آمریکا، ایالت ونکوور در اوایل سال ۱۹۷۰ میلادی به عنوان سازه نگهبان موقت بوده است. گزارش بعدی در فرانسه در سال ۱۹۷۲ بود که از این روش برای ساخت دیوار نگهبان استفاده شد. در آلمان در سال ۱۹۷۶ برای اجرای شیب های تند در بزرگ راهها و در راه آهن و همین طور مهاربندی موقت برای گودبرداری ساختمان استفاده شده است. اولین ثبت روش نیلینگ را یک پیمانکار فرانسوی با همکاری یک پیمانکار متخصص در عمق ۱۸ متری و با شیب ۷۰ درجه در خاک های ماسه ای به عنوان بخشی از پروژه راه آهن داشته اند. رویه ای در حدود ۱۲۰۰۰ متر مربع با بیش از ۲۵۰۰۰ متر آرماتور و دوغاب پر کننده در سوراخهایی که از قبل کنده شده بود، به طول ۱۴ کیلومتر پایدار شد. اما اولین تحقیق اساسی درباره روش نیلینگ در آلمان انجام شد (۱۹۸۱-۱۹۷۵). این آزمایش شامل چند نمونه آزمایشگاهی از انواع مختلف دیوارهای نگهبان در ابعاد واقعی بود. در نتیجهٔ توسعه روش نیلینگ در فرانسه و آشکار شدن نقطه ضعف های سایر سیستم های باربر، فرانسوی ها آزمایشهای خود را در سال ۱۹۸۶ شروع کردند. این آزمایشات شامل سه نمونه آزمایشگاهی در ابعاد بزرگ بر روی خاک ماسه ای و بررسی شش نمونه واقعی و در حال بهره برداری از این روش در ساختمان بود. نتایج تحقیقات اولیه منتشر شد و فاز دوم تحقیقات آغاز گردید. [۱]

پس از گذشت بیست سال از معرفی این روش در اروپا و با توجه به تحقیقات مرتبط در دو کشور مذکور، امروزه روش نیلینگ به طور گسترده ای در هر دو کشور فرانسه و آلمان کاربرد دارد. مزایای مهم این روش عبارتند از ساختار انعطاف پذیر، امکان ساخت آن با ابزارهای کوچک و در دسترس کارگاهی، مناسب بودن برای مناطق شهری، اقتصادی بودن و در نهایت قابلیت انطباق پذیری آن برای کاربرد های ویژه. [۲]

فرانسه اخیرا گزارش داده است که سالانه فقط در کارهای دولتی بیش از ۱۰۰۰۰۰ متر مربع دیوار به این روش ساخته می شود. در حالیکه شاید صد ها کار خصوصی و ثبت نشده نیز از این روش استفاده می کنند. امروزه بیشتر از این دیوارها به طور موقت و با رویه شاتکریت شده استفاده می شود. بلندترین دیوار عمودی ساخته شده با این روش در فرانسه ۲۲ متر ارتفاع دارد. و بلندترین دیوار مایل با شیب ۷۳ درجه ۳۰ متر ارتفاع دارد. در آلمان تخمین زده می شود که بیش از ۵۰۰ ساختمان مهم که خاک آنها با این روش مهار شده است وجود دارد و مانند فرانسه اغلب از آن به عنوان سازه موقت و با رویه شاتکریت شده بتنی استفاده می شود. [۱]

از کاربرد های روش نیلینگ می توان به موارد زیر اشاره نمود:

-پایدارسازی ترانشه ها در پروژه های احداث بزرگراهها و راه آهن

-سیستم پایدارسازی و حفاظت موقت گودها در مناطق شهری جهت احداث ساختمان های بلند

-پایدار سازی جبهه های کاری در تونلها و سازه های زیر زمینی

-پایدارسازی کوله های مجاور پل ها

مهارهای کششی از آرماتورهای فولادی با قطر در حدود ۲۰ الی ۳۵ میلی متر و مقاومت حد تسلیم ۴۲۰ الی ۵۰۰ نیوتن بر میلی متر مربع تشکیل شده اند که درون یک گمانه حفاری شده با قطر در حدود ۱۰۰ الی ۳۰۰ میلی متر قرار گرفته و دور آنها تزریق می شود. فواصل بین این مهارها در حدود ۱ الی ۲ متر می باشد. طول این مهار ها در حدود ۷۰ الی ۱۰۰ درصد ارتفاع گود بوده و عموما با شیب حدود ۱۵ درجه نسبت به افق اجرا می شوند. رویه شاتکریتی ترانشه حفاری شده بعنوان یک المان باربر سازه ای مطرح نمی باشد اما از آن می توان در جهت اطمینان برای پایداری موقت خاک بین مهارها استفاده نمود. در برخی موارد می توان از قطعات پیش ساخته بتنی بعنوان یک المان محافظ بجای رویه شاتکریتی استفاده نمود.

۱-۲- مراحل اجرای سیستم میخکوبی خاک [۳]

در شکل شماره (۱-۱) مراحل اجرای سیستم میخکوبی خاک به صورت شماتیک ارائه شده است که شامل مراحل زیر می باشد:

۱- انجام حفاری در اولین مرحله گود

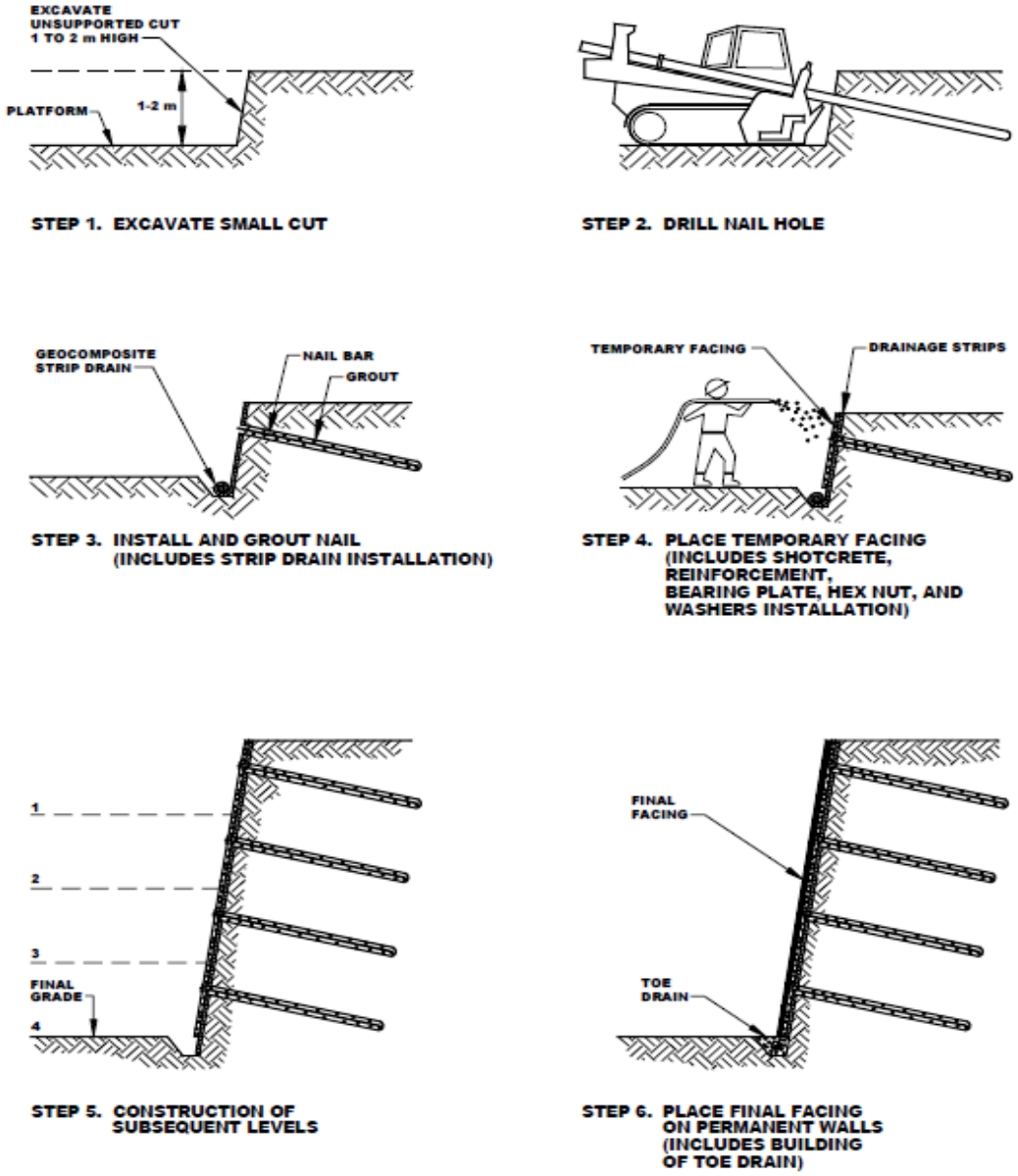
۲- حفاری گمانه مورد نظر جهت جایگذاری مهار کششی

۳- قرار دادن آرماتور و انجام تزریق درون گمانه حفاری شده

۴- قرار دادن سیستم زهکش، اجرای رویه شاتکریتی اولیه و صفحات فولادی محافظ

۵- ادامه مراحل فوق برای پله های بعدی حفاری در گود برداری

۶- اجرای پوشش شاتکریتی نهایی پس از رسیدن به آخرین مرحله حفاری در گود



شکل (۱-۱) مراحل اجرای روش میخکوبی خاک

۱-۳- روشهای ساخت دیوارهای میخکوبی شده [۳]

تکنیک های نصب میخ ها می تواند با روشهای مختلفی صورت گیرد که عبارتند از:

۱-۳-۱- حفاری، جایگذاری میخ ها و دوغاب ریزی

در این روش سوراخ هایی با قطری در حدود ۱۰۰ الی ۲۰۰ میلیمتر حفاری می شوند و میله های فولادی در خاک قرار می گیرند. سوراخهای حفاری در این مورد عموماً ۱ تا ۱/۵ متر در عرض و ارتفاع از یکدیگر فاصله دارند. در این روش ابتدا میله های فولادی در سوراخها قرار می گیرند و سپس دوغاب ریزی می شوند.

۱-۳-۲- کوبیدن میله ها در خاک

میله های فولادی مورد استفاده در این روش نسبتا قطر کوچکتری (در حدود ۱۹ الی ۲۵ میلیمتر) دارند و فاصله قرار گیری آنها ۱ تا ۱,۲ متر می باشد. این روش در مقایسه با روش حفاری سریع تر بوده و در پروژه هایی که سرعت عمل مهم می باشد می تواند مفید باشد. از معایب این روش می توان به عدم حافظت میله های فولادی در برابر خوردگی اشاره نمود به همین علت از این روش اغلب برای ساخت دیوارهای موقت استفاده می شود.

۱-۳-۳- استفاده از میله های توخالی

در این روش از میله های توخالی استفاده می شود که در حین حفاری همزمان دوغاب ریزی می شوند. در این روش از حفاری دورانی برای جایگذاری میله ها استفاده می شود. این روش سریعی برای جایگذاری میله ها و اجرای روش نیلینگ می باشد و در عین حال در برابر خوردگی میله ها به جهت تزریق دوغاب می تواند محافظت نماید. در اکثر کشورها از این روش هم عموماً برای دیوارهای موقت استفاده می شود.

۱-۳-٤- استفاده از روش جت گروتینگ

در این روش از تزریق با فشار بالا جهت ایجاد حفاری اولیه و جایگذاری میله ها استفاده می شود و در مر حله بعدی ادامه حفاری با روش ویبره صورت می گیرد.

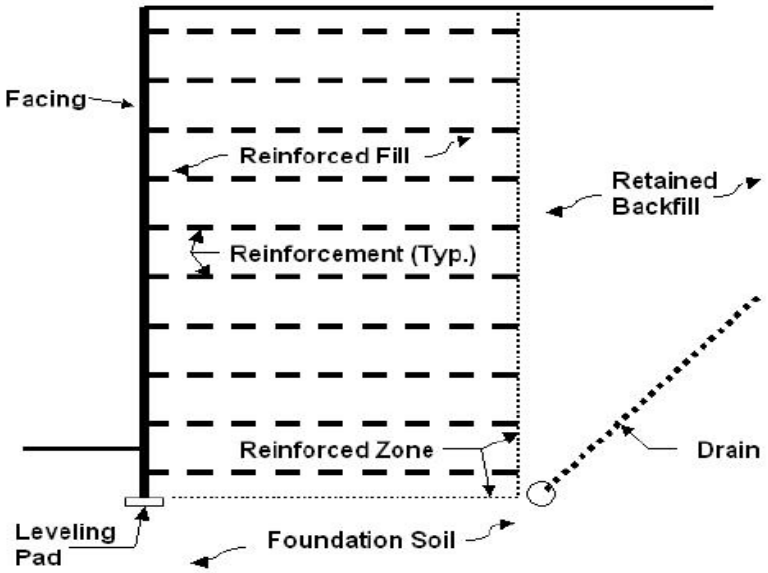
۱-۳-۵- استفاده از روش پرتابی

در این روش میله های بدون روکش با سرعت بسیار بالایی بصورت پرتابی در چند مرحله در خاک قرار می گیرند. این میله ها قطری در حدود ۱۹ الی ۲۵ میلیمتر و حداکثر طولی برابر ۸ متر دارند. هر چند در برخی مواقع ممکن است اجرای این روش به مشکل برخورد کند اما در کل این روش به عنوان یکی از روشهای اجرای سریع دیوارهای میخکوبی شده شناخته شده است.

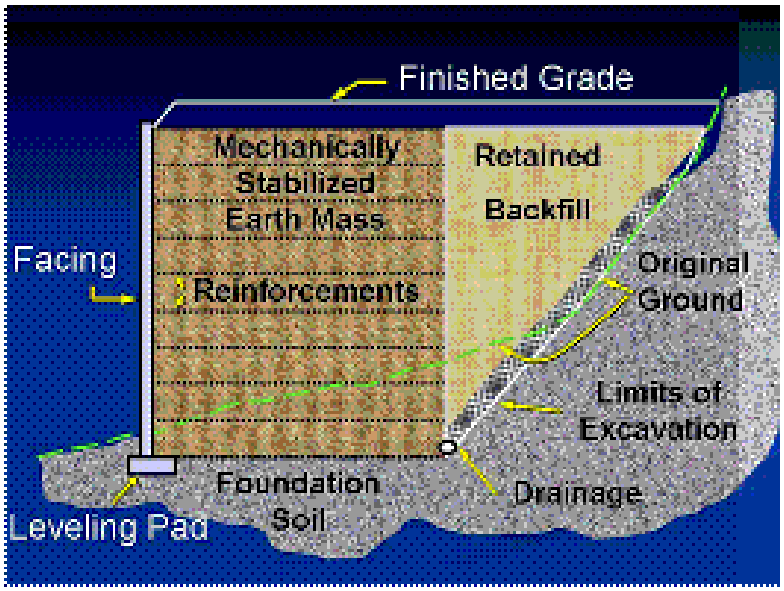
۱-٤- دیوارهای پایدار شده مکانیکی [٤]

پایدارسازی مکانیکی زمین در حقیقت یک روش مسلح سازی خاک می باشد بطوریکه بتواند در برابر وزن کلی توده خاک مقاومت نماید. هدف از این سیستم بالابردن خواص مکانیکی توده خاک با بکار بردن مسلح کننده هایی از قبیل مهارها و ژئوگریدها می باشد.

دیوارهای MSE عموماً از چهار مولفه تشکیل می یابند که عبارتند از: ۱- مسلح کننده ژئوگرید ۲- خاکریز نگهدارنده ۳- رویه دیوار و ۴- خاکریز مسلح (شکل های۱-۲ و ۱-۳).



شکل (۱-۲) جزئیات دیوار **MSE** [٤]



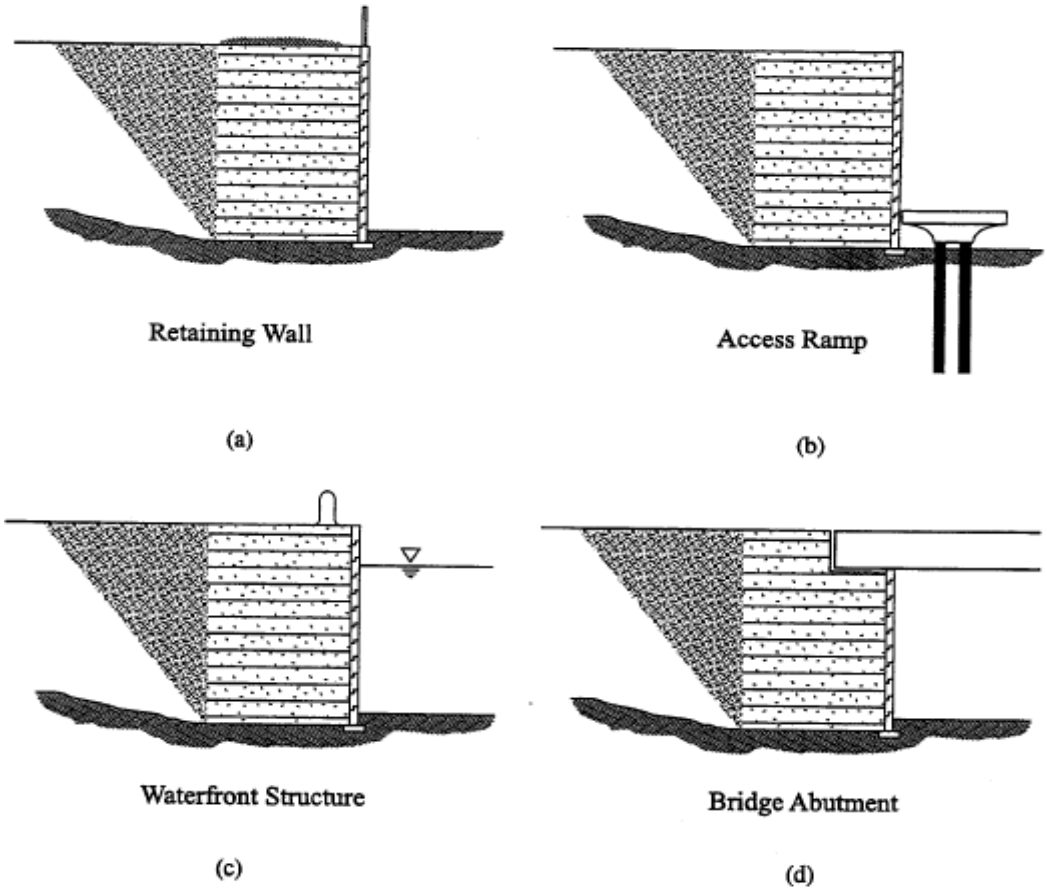
شکل (۱-۳) نمای کلی از اجرای دیوار **MSE** در یک سطح شیب دار

بر خلاف تصور بسیاری که سازه های مسلح را جهت پایدارسازی پایه پلها و شیب های مستعد لغزش مفید می دانند می توان گفت سازه های مسلح از عناصر اصلی طرح بزرگراهها جهت اضافه نمودن یک باند جدید حرکت نیز کاربرد زیادی دارد.

برای سالهای متمادی سازه نگهبان تنها بصورت سازه های بتنی وزنی یا پایه دار بکار می رفت که اساساً سازه هایی صلب بوده و توانایی کنترل تغییر نشست ها را نداشتند مگر اینکه روی پایه های عمیق بنا می شدند. با افزایش ارتفاع خاک دیوارهای نگهبان و کیفیت پایین خاک زیر سازه هزینه استفاده از این دیوارها بشدت افزایش یافت.

روش پایدار سازی مکانیکی یک روش کاملا اقتصادی است که می تواند نشست های به مراتب بزرگتری را نسبت به دیوارهای بتنی تحمل نماید. این روش مقاومت توده خاک را با المانهای کششی که در لایه های خاک بکار می رود افزایش می دهد. استفاده از رویه در این دیوارها مانع فروپاشی توده خاک خصوصاً در دیوارهای با شیب زیاد می شود. و از طرفی می تواند عاملی جهت جلوگیری از خوردگی المانهای بکار رفته در دیوار باشد.

انواع موارد بکار رفته این دیوارها در شکل (۱-۴) مشاهده می شود.



شکل (۱-٤) انواع مختلف کاربردهای دیوارهای MSE [٤]

(a: دیوار نگهبان b: خاکریز کمکی c: سازه محافظ آب d: پایه کناری پل)

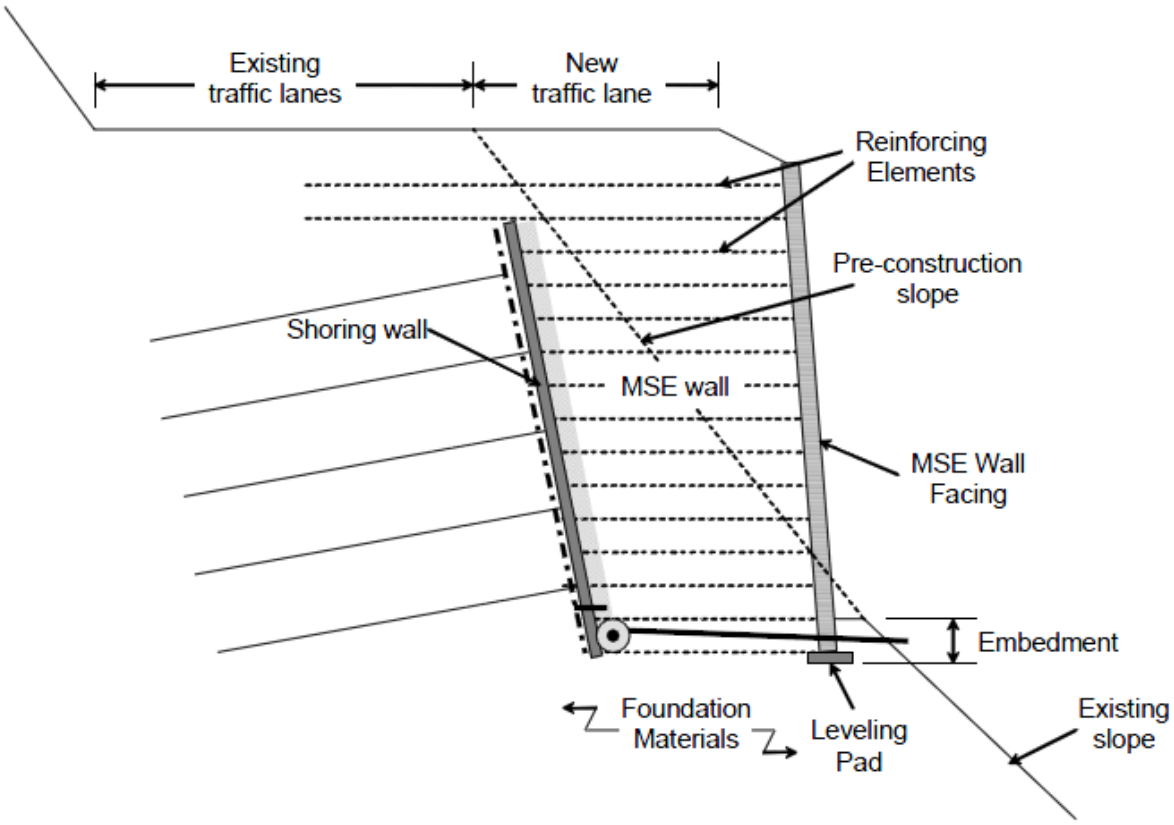
۱-۵- انواع دیوارهای ترکیبی میخکوبی شده-پایدار شده مکانیکی

پس از بررسی دیوارهای میخکوبی شده و دیوارهای پایدار شده مکانیکی این سوال مطرح می شود که روشهای ترکیبی این دو نوع دیوار به چه صورت هایی می تواند اجرا شود؟

با توجه به موقعیت قرار گیری هر کدام از این دیوارها در برابر دیوار دیگر ۳ نوع محتمل ساخت این دیوارها امکان پذیر است که در ادامه شرح داده می شوند.

۱-۵-۱- اجرای دیوار MSE در جلوی دیوار میخکوبی

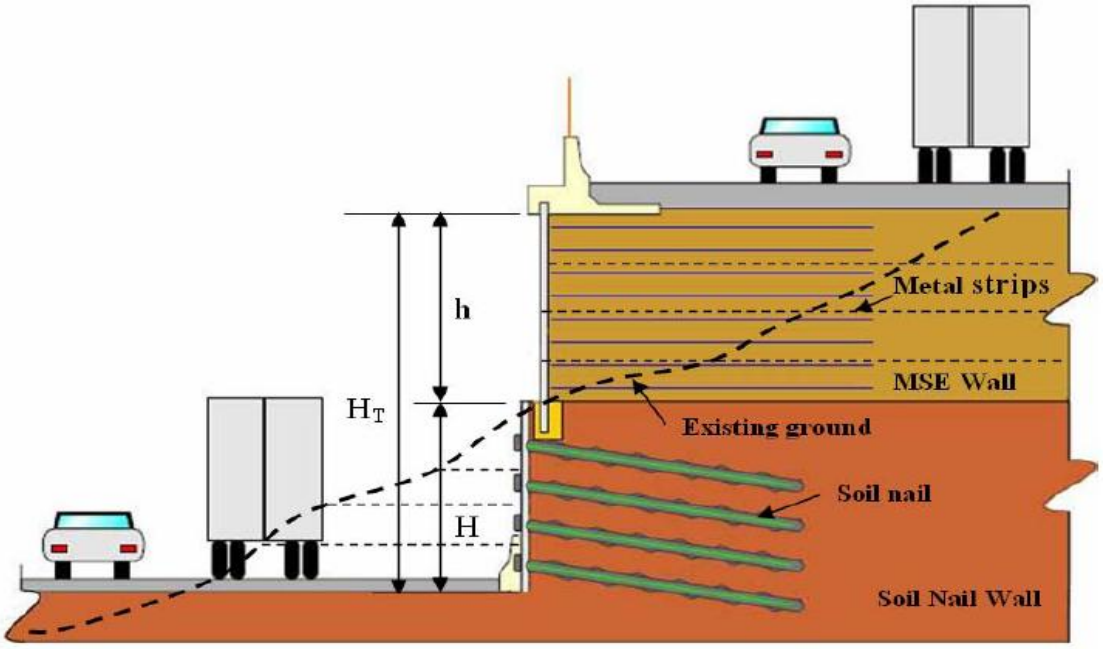
این روش که اصطلاحاً دیوارهای SMSE (Shored mechanically stablizid earth) نامیده می شوند اغلب جهت ساخت سیستم mse در جلوی دیوار میخکوبی جهت افزایش عرض یک جاده بکار می رود. جزئیات کلی این سیستم در شکل (۱-۵) نشان داده شده است. [۳]



شکل (۱-۵) نمای کلی سیستم دیوار SMSE [۵]

۱-۵-۲- ساخت دیوار MSE در بالای دیوار میخکوبی شده

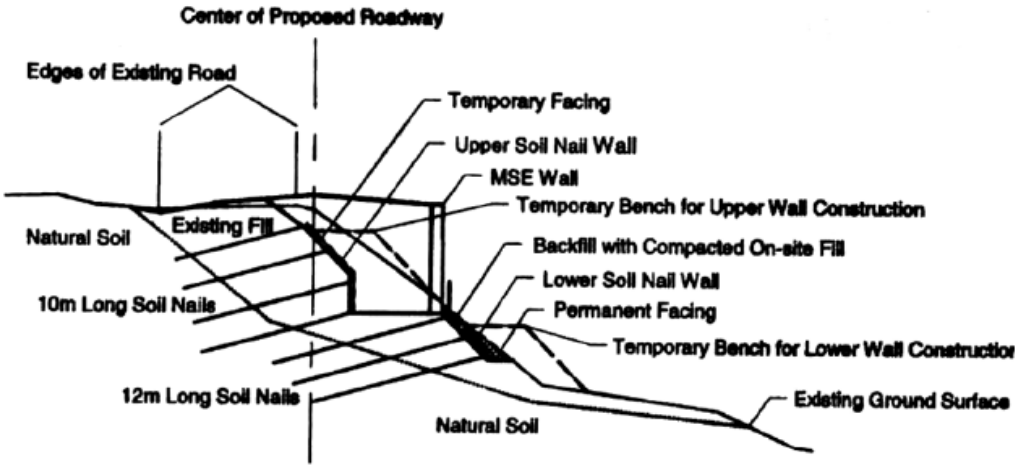
نمای کلی این دیوارها در شکل (۱-۶) نشان داده شده است که یکی از روشهای پرکاربرد در ایجاد جاده های غیر همسطح در شیبها و عریض سازی جاده های موجود می باشد. این نوع ترکیب دیوارهای میخکوبی شده- پایدار شده مکانیکی به دیوارهای Hybrid معروف هستند.



شکل (۱-۶) نمای کلی سیستم (Hybrid wall) [۶]

۱-۵-۳- حالت های خاص ترکیبی

در این حالت سیستم ساخته شده بگونه ای است که هم در جلو و هم در بالای دیوار میخکوبی شده قرار می گیرد که بیشتر در شیب های پله ای بوجود می آید و در حقیقت ترکیبی از دو روش گفته شده در بالا می باشد. حالت خاصی از نمای این دیوارها در شکل (۱-۷) نشان داده شده است.



شکل (۱-۷) نمایی از حالت خاص ترکیب دیوار میخکوبی شده و دیوار MSE [۶]

فصل دوم

ادبیات تخصصی موضوع

۲-۱- انواع خرابی در دیوارهای میخکوبی شده

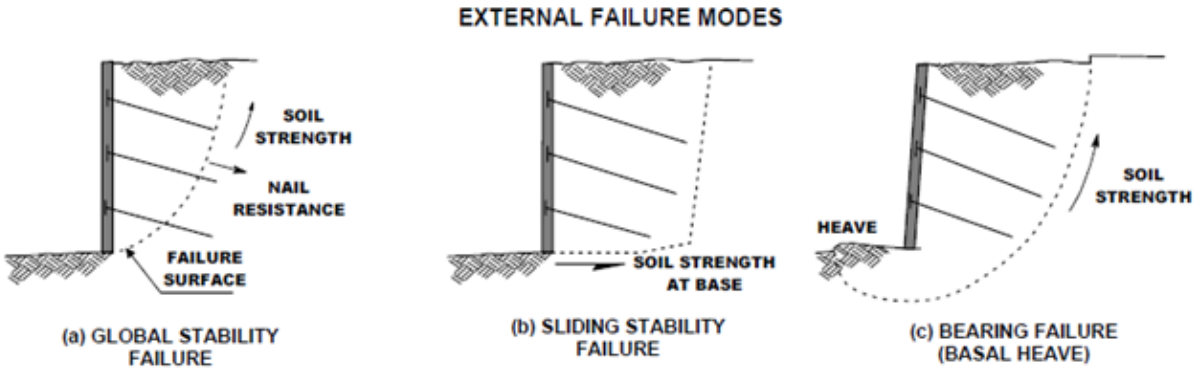
انواع خرابی دیوارهای میخکوبی شده می تواند در پشت یا میان میخ ها رخ دهد. در حالتیکه خرابی از میان میخها رخ می دهد می تواند باعث گسیختگی کامل و یا خم شدگی میخ ها شود. برای انواع مدهای خرابی خارجی، توده دیوار میخکوبی شده همانند یک بلوک عمل می کند. اگر سطح گسیختگی یک یا تعدادی از میخ ها را قطع کند در اینحالت میخ هایی که توسط سطح گسیختگی قطع شده اند به پایداری این بلوک کمک می کنند. در سال ۱۹۹۸ سه مد خرابی توسط شخصی بنام برن معرفی شدند که عبارتند از:

۱-گسیختگی خارجی: سطح گسیختگی هیچ کدام از میخ ها را قطع نکند یا به عبارت دیگر از پشت توده عبور کندکه در شکل (۲-۱) a,b,c نشان داده شده است. [۳]

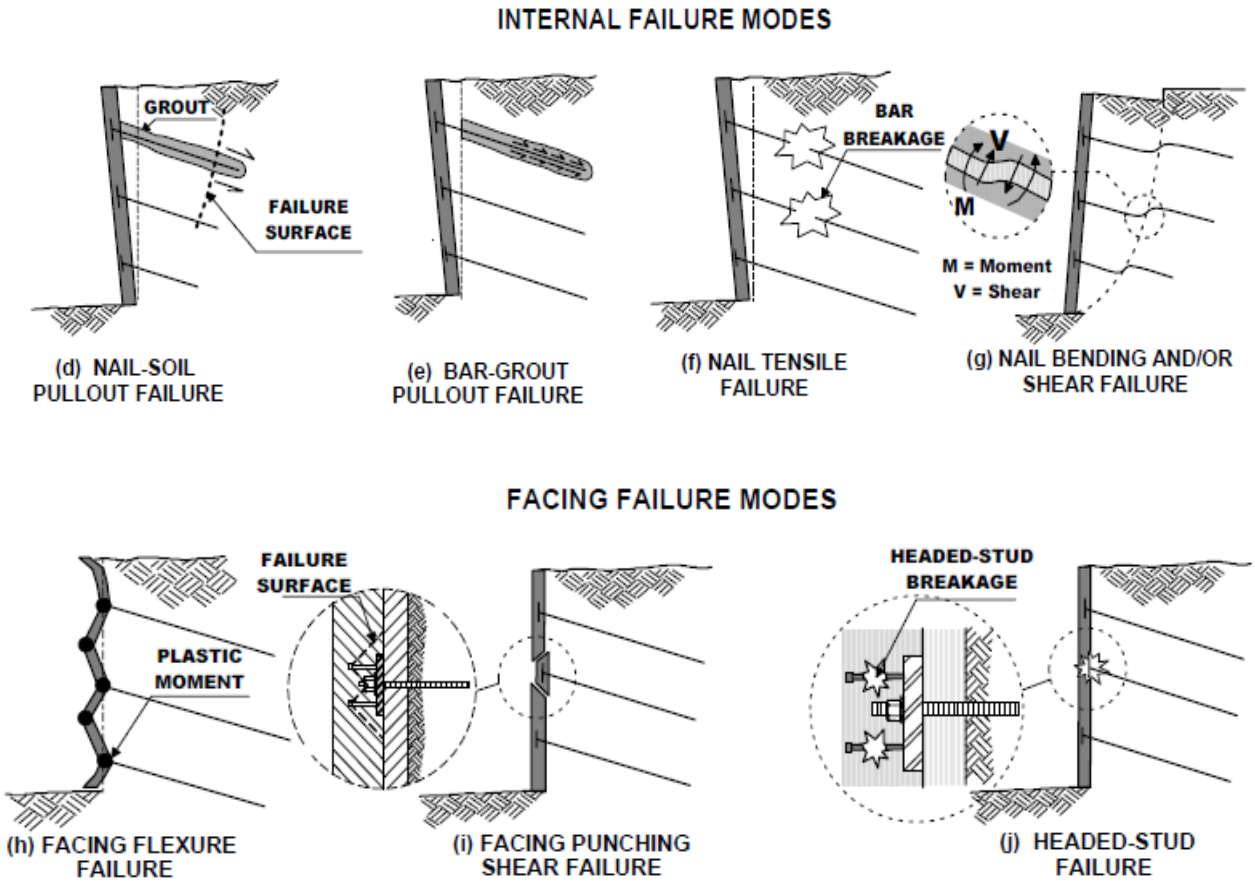
۲-گسیختگی داخلی: سطح گسیختگی تمامی میخ ها را قطع کند که در شکل (۲-۱) d,e,f,g نشان داده شده است. [۳]

۳-گسیختگی مرکب: سطح گسیختگی تعدادی از میخ ها را قطع کند. [۳]

البته در طبقه بندی های بعدی در حالتی که سطح گسیختگی تعدادی از میخ ها را قطع می کند به علت عمل نکردن کامل میخ ها این خود در گروه گسیختگی خارجی قرار گرفت و نوع دیگری از خرابی که مربوط به خرابی رویه این دیوارها می باشد به مدهای خرابی اضافه گردید که در شکل (۲-۱) h,I,j نشان داده شده است. در شکل های زیر انواع گیسختگی خارجی، داخلی و رویه این دیوار ها نشان داده شده است:



شکل (۲-۱) انواع خرابی دیوارهای میخکوبی شده [۳]



ادامه شکل (۲-۱) انواع خرابی دیوارهای میخکوبی شده [۳]

(a) خرابی کلی (b) خرابی بر اثر لغزش (c) خرابی تکیه گاهی (d) خرابی بر اثر از جا در آمدگی میخ-خاک

(e) خرابی بر اثر از جا در آمدگی میخ-دوغاب (f) خرابی کششی میخ ها (g) خرابی خمشی و/یا برشی میخ ها

(h) خرابی خمیدگی رویه دیوار (i) خرابی برش پانچینگ رویه (j) خرابی سر میخ ها

ارزیابی پایداری خارجی دیوارهای میخکوبی شده از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است چرا که در صورت رخ دادن خرابی خارجی خسارات جبران ناپذیری ممکن است بوجود آید و این بدترین و خطرناکترین نوع خرابی برای این نوع دیوارها می باشد. طراحی دیوارهای میخکوبی شده بایستی بگونه ای باشد که این دیوارها در برابر حفاری های موجود، بارهای در حین اجرا و بارهای نهایی مقاومت لازم را داشته باشند.

فاکتورهای مهم کنترل مقاومت در برابر خرابی های خارجی عبارتند از ارتفاع دیوار، نوع لایه های خاک موجود در پشت و زیر دیوار (چینه شناسی)، عرض منطقه میخکوبی شده، نوع و طول میخ ها و مقاومت مشترک خاک و میخ ها می باشد.

خرابی کلی یا سراسری نیز عبارت است از ناپایداری، لغزش و ریزش کلی بستر میخکوبی شوده همراه با توده خاک.

۲-۱-۱- برش و خمش بوجود آمده در میخ ها

میخ ها بطور عمده در برابر نیروهای کششی کار می کنند. با این حال در سطح لغزش با نیروهای برشی و خمشی نیز مواجه خواهیم شد. این نیروها عمدتاً زمانی بوجود می آیند که با لغزش های بسیار بزرگ مواجه بشویم. اکثر محققین نیروهای خمشی و