فصل اول :

مقدمه و کلیات

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1 - 1 - مقدمه

لزوم توجه به پایدار سازی گودبرداری های ساختمانی با روش های مدرن و کم هزینه که رفتار سازه ای مناسبی را نیز از خود به نمایش می گذارند، استفاده از روش میخ کوبی را بعنوان یک روش تسلیح مناسب مورد توجه قرار می دهد. در شرایط طبیعی، زمین و خاکهای تشکیل دهنده لایه های آن در حال تحمل و انتقال تنش های موجود می باشند. هر عملی که باعث شود تعادل تنش ها را برهم بزند می تواند پایداری آنرا نیز به مخاطره بیاندازد. از جمله مسائل تهدید کننده پایداری زمین ها، گودبرداریهای ساختمانی در این قبیل مناطق است که باعث بهم خوردن تعادل تنشها می گردد. باتوجه به بارهای وارده و مشخصات مکانیکی و مهندسی خاک عدم تعادل سیستم می تواند به فرم های مختلفی خود را نشان دهد که از جمله آنها می توان به نشست زمین های اطراف، ناپایداری دیواره های گودبرداری و فروریزش ساختمان های مجاور و ... اشاره کرد که باید با روشهای مناسب پایدارسازی ایمنی آنها تامین گردد.

یکی از روشهای پایدار سازی گودبرداری های ساختمانی روش میخ کوبی (Soil Nailing) می باشد که برای اولین بار در سال 1973 در کشور فرانسه بکار گرفته شده و در سالهای اخیر بطور روزافزونی برای پایداری سازی گودبرداریها در شهرهای بزرگ و کلانشهرها بویژه در محل های پرتراکم آنها مورد توجه و استفاده قرار می گیرد. تاکنون روشهای مختلفی برای طراحی این قبیل سیستم ها ارائه گردیده که از جمله آنها می توان به روش فرانسوی، روش آلمانی، روش Davis که بیشتر در آمریکا مورد استفاده قرارمی گیرد، اشاره کرد.

تعدادی از مزایای این روش که در انتخاب آن بعنوان روشی مناسب و مطمئن موثر است، به شرح زیر می باشد:

- این سیستم برای محیط های محدود با دسترسی مشکل بسیار مناسب بوده و جهت اجرا نیاز به فضای زیادی ندارد.
- در مقایسه با سیستم های محافظت نشده و یا شیب های مهار شده Anchored ، با توجه به وجود تعداد زیادی از میخ ها، درجه نامعینی بالاتری را ارائه می دهد و از نظر سازه ای عملکرد بهتری دارد.
- گسیختگی سیستم میخ کوبی شده تقریباً یک گسیختگی انعطاف پذیر (نرم)Ductile Failure بوده و قبل از گسیختگی علائم هشدار از خود بروز می دهد.

1 - 2 - اهداف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر روی دیواره های پایدار شده به روش میخ کوبی می باشد. در این راستا مطالعات پارامتریک با تغییر عوامل مذکور انجام شده و تاثیر پارامترهای مختلف در عملکرد سیستم میخ کوبی شده، مورد بررسی و بحث قرار می گیرد تا بتوان مقادیر مناسب پارامترهای موثر را جهت ارائه طرح بهینه، تعیین نمود.

1 - 3 - روش شناسی تحقیق

در سالهای اخیر با گسترش روش های عددی و همچنین پیدایش کامپیوتر های با قدرت پردازش بالا، مدلسازی عددی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق نیز از روشهای عددی برای تحلیل محیط خاک و میخ های کوبیده شده استفاده گردیده است. نرم افزار مورد استفاده جهت تحلیل و نیل به اهداف تحقیق، نرم افزار PLAXIS

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

می باشد که با استفاده از روش اجزائ محدود و در نظر گرفتن مدل موهر- کولمب برای محیط خاک، تنشها، کرنشها و تغییر شکل های محیط را محاسبه می کند.

در این پایان نامه مباحث در پنج فصل پیگیری می شوند:

در **فصل اول** مقدمه ای در مورد گودبرداری های ساختمانی ناپایدار و ضرورت پایدارسازی آنها، همچنین اهداف و روش شناسی تحقیق ارائه شده است.

در **فصل دوم** به معرفی ادبیات فنی موضوع و بررسی تحقیقات صورت گرفته در راستای موضوع پایان نامه از طریق منابع موجود و قابل دسترس پرداخته شده است.

در **فصل سوم** نرم افزار مورد استفاده جهت تحلیل و نیل به اهداف تحقیق معرفی شده است.

فصل چهارم به بررسی و بحث نتایج حاصل از مطالعات پارامتریک اختصاص دارد.

فصل پنجم به جمع بندی نتایج و ارائه پیشنهادات اختصاص داده شده است.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فصل دوم :

بررسی منابع و پیشینه موضوع

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 - 1 - مقدمه

بررسی اثرات ناشی از گود برداریهای عمیق بر توده خاک مجاور گودبرداری اولین بار توسط ترزاقی (Terzaghi) [1] در سال 1943 مورد مطالعه قرار گرفت. در سال 1956 بیروم (Bjerrum) مقاله مهمی در این زمینه ارائه کرد و بعد از آن پک (Peck) [2] در سال 1969 نتایج تحقیقات خود را در این زمینه منتشر کرد که هنوز در مقالات و ادبیات فنی مهندسی ژئوتکنیک از آن ها یاد و استفاده می شود.

میخ کوبی یک روش و تکنیک پایدارسازی توده خاک است که برای بهبود و افزایش پایداری شیبها، دیوارهای حائل و گود برداری ها مورد استفاده قرار می گیرد. این تکنیک شامل نصب المان های نسبتاً باریک (میخ ها) و با فاصله ی کم درون زمین مورد نظر برای پایدارسازی توده خاک می باشد. استانداردهای ژئوتکنیکی ارائه شده در اصل برای استفاده میله های فولادی با شکل پذیری و تنش تسلیم بالا که با روش سوراخکاری و تزریق(Drill-Grout) نصب می شوند، با هدف تسلیح شیبهای خاکی، دیوارهای حائل، خاکریزها، گود برداریها، عوارض زمینهای دستخورده و دامنه های طبیعی مورد نظر می باشند.

بکارگیری این روش از حدود سه ده اخیر آغاز شده و تاکنون نیز بعنوان یک تکنیک موثر برای پایداری ترانشه ها و حفاظت گودها با انعطاف پذیری بالا استفاده می گردد. در ابتدا این روش بیشتر در تونلسازی کاربرد داشته است وَ در دهه ی 1960میلادی به عنوان بخشی از تکنیکهای Rock bolt و Multi-Anchorage (مهار چند گانه) و نیز جزئی دیگر از روشهای مسلح سازی خاک استفاده می گردید (FHWA 1998 - Clouterre1991). روش تونل سازی جدید اتریشی در دهه 1960 میلادی ارائه گردید که الگوی اصلی استفاده میله های فولادی و شاتکریت جهت مسلح کردن خاک را مطرح ساخت. بدنبال افزایش استفاده از این تکنیک، روش طراحی نیمه تجربی برای سیستم میخ کوبی در اوایل دهه ی1970 ارائه گردید. اولین مطالعه سیستماتیک روی میخ کوبی که شامل بررسی مدل بزرگ مقیاس در محل نیز می شد، در اواسط دهه 1970 در آلمان انجام شد. مطالعات تکمیلی بعدی در اوائل دهه 1990 در کشورهای فرانسه و ایالات متحده آمریکا صورت گرفت. با نتایج این مطالعات و کارهای تحقیقاتی دیگر اساس فرمولاسیون برای طراحی و اجرای تکنیک میخ کوبی برای دهه های بعدی شکل گرفت [3],[4].

با توجه به پیشرفت روزافزون در تکنولوژی این روش و دامنه وسیع کاربرد آن در دهه های اخیر در کشورهای مختلف، در کشور ایران نیز استفاده از این روش بصورت عملی مورد توجه قرار گرفته و شرکتهای معدودی نیز به صورت حرفه ای به طراحی و اجرای این سیستم پرداخته اند.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 - 2 - پایداری گودبرداری های ساختمانی بروش میخ کوبی

یک سیستم میخ کوبی شده، ضعف های دیواره های زمین را بوسیله ی بازپخش نیروها و تنش ها، جبران کرده و در مقایسه با دیواره های محافظت نشده، در برابر مخاطرات ژئوتکنیکی و مساول پیش بینی نشده، مقاومت خوبی را از خود به نمایش می گذارد.

کاربرد میخ کوبی در پروژه های عمرانی:

الف) پایداری ترانشه ها در احداث بزرگراه ها و مسیر های راه آهن

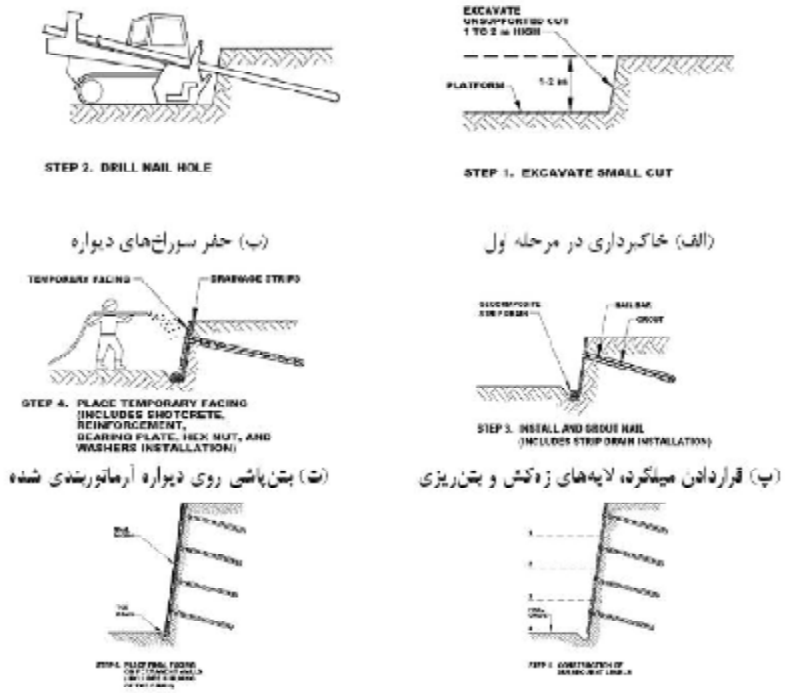
ب) پایداری جداره تونلها وسازه های زیر زمینی

ج) پایدار سازی و حفاظت گود در اجرای سازه ها در مناطق شهری ـ ساختمانهای مجاور گود ـ ایستگاه های زیر زمینی مترو و ...

مراحل اصلی در اجرای سیستم میخ کوبی بشرح زیر می باشند:

- خاکبرداری سطحی تا عمق حدود 1 تا 2 متر جهت قرار دادن اولین ردیف از میخ ها در این لایه (عمق این مرحله از گودبرداری به میزان عمق پایدار بدون مهار است).
- سوراخکاری زمین و جاگذاری میخ ها در سوراخ و تزریق گروت (به یکی از روشهای موجود).
- اجرای شاتکریت یا رویه پوششی میخ کوبی.
- اجرای مراحل بعدی خاکبرداری و تکرار موارد قبلی تا رسیدن به عمق مورد نظر گودبرداری.
- اجرای پوشش رویه دائمی

شکل (2-1) مراحل اجرای میخ کوبی را بصورت خلاصه نشان می دهد.



(ث) اجرای مراحل بعدی خاکبرداری بشرح مذکور (ج) اجرای پوشش رویه دائمی

شکل(2-1): خلاصه ای از مراحل اجرای سیستم میخ کوبی شده

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

معایب و مزایای روش میخ کوبی

موارد زیر مزایای تکنیک میخ کوبی در بررسی مسائل مربوط به ساخت و اجرا، هزینه و کارایی آن هستند:

- این سیستم برای محیط های محدود با دسترسی مشکل بسیار مناسب است، زیرا دستگاه ها و تجهیزات مورد نیاز برای نصب و اجرای این سیستم کوچک و قابل حمل هستند.
- این سیستم با توجه به قابلیت های طراحی و انعطاف پذیری آن در تنظیم محل و طول میخ ها در موارد گوناگون براحتی از عهده ی محدودیت های محل پروژه و تنوع شرایط زمین که در طول ساخت با آن مواجه می شویم، برمی آید و قابلیت انعطاف زیادی دارد.
- در طی ساخت و اجرا، سبب آثار محیطی کمتری می شود (در مقایسه با خاکبرداری و دیوار حائل که نیاز به قطع درختان و عملیات خاکی زیادی دارد) و می تواند باعث صرفه جویی بیشتری در وقت و هزینه گردد.
- این سیستم در مقایسه با سیستم های دیگر پایدارسازی، در برابر مسائل پیش بینی نشده ژئوتکنیکی حساسیت کمتری دارد و همچنین در مقایسه با حفاری های محافظت نشده بسیار قابل اعتماد و قوی تر است.
- این سیستم به علت استفاده از تعداد زیادی از میخ ها، درجه نامعینی بالاتری داشته و عملکرد سازه مناسب تری از خود نشان می دهد.
- به دلیل استفاده از مصالح با شکل پذیری بالا، انعطاف پذیر بوده و گسیختگی سیستم میخ کوبی از نوع گسیختگی نرم است و قبل از گسیختگی علائم هشدار از خود نشان می دهد.

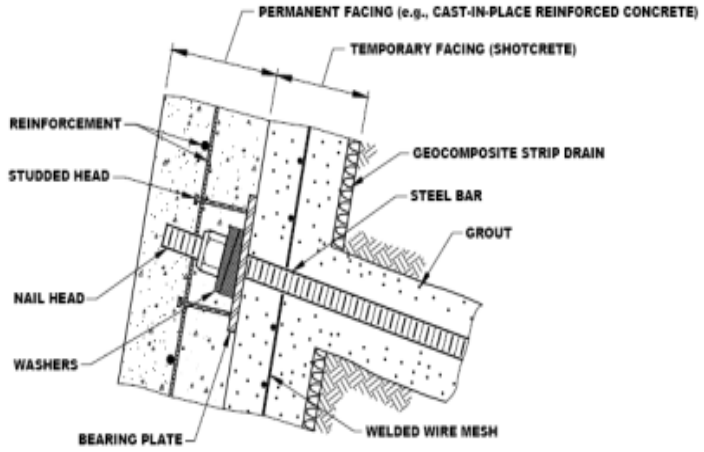
تکنیک میخ کوبی همچنین دارای معایبی به شرح ذیل است:

- وجود تاسیسات شهری، سازه های زیرزمینی یا حفاری های مسدود شده، محدودیت هایی را برای طول میخ ها و طرح بندی میخ ها بوجود می آورد.
- فضای تصرف شده با میخ ها دیگر قابل استفاده نیست و در محل پروژه محدودیتهایی برای توسعه آتی بوجود می آورد.
- در صورت وجود سازه ای در مجاورت محل پروژه، جهت نصب سیستم میخ کوبی باید از مالک ملک مجاور کسب اجازه نمود. این مسئله می تواند محدودیت هایی را در طرح بندی سیستم بوجود آورد.
- وجود سطح بالای آب زیرزمینی ممکن است منجر به مشکلات ساخت در سوراخکاری و تزریق گردد و نیز می تواند موجب ناپایداری سیستم میخ کوبی در حفاری های میخ کوبی شده گردد.
- وجود زمین های نفوذ پذیر، نظیر زمین های با سنگهای قلوه ای و یا سنگ های درزدار و ناپیوسته یا متخلخل، به علت وجود قابلیت دوغاب خوری زیاد مشکلات اجرایی زیادی را بوجود می آورد.
- نصب میخ های بلند مشکل بوده فلذا ممکن است برای شیروانی های عمیق و شیبهای بزرگ نامناسب باشد.
- با توجه به اینکه میخ ها پیش تنیده نیستند، انتقال تنش در سیستم میخ کوبی منجر به تغییر شکل سیستم و زمین اطراف می گردد. خصوصاً در مورد حفاری های (گودبرداری) میخ کوبی شده اثر این تغییر شکل ها در سازه های مجاور و تاسیسات شهری و سرویس ها ممکن است قابل توجه باشد.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 - 3 - اجزای اصلی در یک سیستم میخ کوبی

شکل (2-2) مقطعی از یک سیستم میخ کوبی (ناحیه سر میخ) را در یک شیب خاکبرداری شده نشان می دهد. المان های اصلی در یک سیستم میخ کوبی که با روش Drill-Grout اجرا گردیده شامل موارد زیر می باشند [5]:



شکل(2-2): جزئیاتی از المانهای اصلی در سیستم میخ کوبی (در ناحیه سرمیخ)

1) مسلح کننده های میخ کوبی (میخ ها) (Soil Nail Reinforcing): مسلح کننده های میخ کوبی المانهای اصلی این سیستم بوده و عملکرد آنها فراهم کردن مقاومت کششی است. مسلح کننده عموماً یک میله فولادی صلب با تنش تسلیم بالا می باشد. انواع دیگر مصالح مثل پلیمرهای مسلح با فیبر هم می توانند بعنوان مسلح کننده سیستم میخ کوبی مورد استفاده قرار گیرند.

امروزه انواع متعددی از میله ها به عنوان مصالح تسلیح به کار برده می شوند که کاربرد آنها به نوع اجزاء و مقاومت مورد نظر آنها بستگی دارد. میلگردهای آجدار، رشته های بهم تابیده شده و میخ های خود حفار انواع متداول دیگری از این مصالح تسلیح را تشکیل می دهند که به اختصار در ذیل شرح داده می شوند.

الف- میلگردهای آجدار در طی 20 سال گذشته به شکل گسترده ای در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته اند که دارای مزایایی به شرح زیر می باشند:

1- از آنجائیکه رزوه ها (آجها) در سراسر طول میخ وجود دارند، می توان آنها را از هر نقطه دلخواه برید و یا با استفاده از کوپلر به هم متصل نمود و یا بوسیله ی مهره آن را بست و محکم کرد.

2- به دلیل چسبندگی بین میلگردها با دوغاب سیمان و همچنین وجود آجها بر روی میله، نیروی به وجود آمده درون میله مستقیماً به دوغاب منتقل می شود.

3- به دلیل استفاده از کوپلرها و اتصالات ساده، نیاز به حمل و نصب میخ های بلند از بین می رود و به سادگی می توان از سرهم کردن قطعات کوچکتر میخ های بلند ساخت.

ب- از میله های رشته ای به هم تابیده شده عموماً برای تحمل بارهای خیلی زیاد استفاده می گردد.

ج- استفاده از میخ ها و مهارهای خود حفار:

مهارهای خود حفار از یک میله ی تو خالی رزوه شده و یک سر مته جدا شونده تشکیل شده اند که ابتدا به عنوان مته عمل نموده و پس از قرار گیری در محل از داخل سوراخ موجود در آنها عمل تزریق انجام می گیرد و پس از آن به

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عنوان میخ و یا مهار عمل می نماید و می توان به دلیل رزوه بودن ته آنها را با مهره بست، همچنین بوسیله اتصالهای مناسب می توان طول آنها را به هر مقدار دلخواه افزایش داد.

از مهارهای (میخ های) خود حفار در خاکهای چسبنده و غیرچسبنده استفاده می شود و نیاز به غلاف(Casing)را بر طرف می کند و مزایای عمده ی آنها عبارتند از:

1- به دلیل کوچک بودن دستگاه حفاری فضای کمی جهت اجراء نیاز دارد.
2- صرفه جویی در هزینه به وسیله انجام یکباره ی حفاری، نصب و تزریق.
3- از حفره ی داخل مهارها نه تنها برای تزریق آب و هوا در حین حفاری بلکه برای تزریق دوغاب بعد از حفاری نیز استفاده می شود.

2) متصل کننده های میخ کوبی (Coupler): از این المان برای اتصال مقاطع دو میله ی مسلح کننده استفاده می شود (وقتی که می خواهیم با اتصال چند میخ به یک میخ بلندتر دست پیدا کنیم).

3) مرکزگرا (Centraliser): از این المان جهت ثابت نگه داشتن میله فولادی در راستای محور مرکزی میخ استفاده می شود. از منحرف شدن میله از راستای مورد نظرکه باعث عملکرد نامناسب میله می شود و همچنین کاهش پوشش بتنی اطراف میخ که منجر به خوردگی فولاد می گردد، جلوگیری می کند.

4) ملات سیمان (گروت) (Cement Grout Sleeve): گروت سیمانی مخلوطی ساخته شده از سیمان پرتلند و آب است که در سوراخ از پیش حفاری شده و بعد از نصب مسلح کننده، تزریق می شود و عملکرد اصلی آن انتقال تنش ها بین زمین و مسلح کننده فولادی است. البته این گروت یک لایه ی محافظ در برابر خوردگی را نیز در اطراف مسلح کننده ها ایجاد می کند. برای تهیه دوغاب از سیمان پرتلند با حداقل مقاومت 15000 psi استفاده می شود و به منظور پائین آوردن نسبت آب و همینطور افزایش میزان روانی دوغاب از مواد افزونی استفاده می شود. معمولاً نسبت آب به سیمان دوغاب اولیه بین 0.36 تا 0.44 و برای دوغاب ثانویه در خاکهای چسبنده 0.5 می باشند. برای انجام تزریق نیز ابتدا از یک مخلوط کن ملایم آب و سیمان و سپس یک مخلوط کن سریع به منظور همگن شدن مایع دوغاب در حین تزریق و یک پمپ استفاده می شود. به منظور قرارگیری میلگرد در مرکز سوراخ، همانگونه که قبلاً ذکر شد، از یک مرکزگرا استفاده می شود (Jwell 1992) [6].

5) محافظت در برابر خورندگی (Corrosion Protection Measures): با توجه به عمر سیستم میخ کوبی و نیز میزان تهاجم و خورندگی خاک محل انواع مختلفی از محافظ ها در برابر خورندگی مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجائیکه فولاد مناسب ترین مصالح جهت استفاده به عنوان میخ یا مهار می باشد (گرچه گاهی اوقات از مصالح دیگری به عنوان مصالح تسلیح استفاده می شود ولی از نظر خواص مکانیکی هیچ یک قابل مقایسه با فولاد نمی باشند بروز خوردگی اجتناب ناپذیر بوده و هرچه درجه آلیاژ فولاد بالاتر باشد، خوردگی شکل پیچیده تری بخود می گیرد.

عواملی که در سرعت خوردگی تاثیر دارند عبارتند از:

1- عوامل مخرب موجود در خاک: خاکهای آلی و اسیدی و یا خاکهایی که دارای درصد بالایی نمک، سولفات یا کربنات هستند، اثر خوردگی شدیدی دارند.
2- ترکیب آب موجود در خاک: محلولهای اسیدی و یا نمکی از رسانایی بالای الکتریکی برخوردار بوده و موجبات خوردگی شدید فولاد را فراهم می سازند.
3- هوازدگی نسبی: وجود درصد هوای زیاد در یک ناحیه باعث بوجود آمدن یک محیط کاتدی در آن منطقه و این اثر موضعی باعث پیدایش سلولهای الکتروشیمیایی شده و موجبات تشدید خوردگی را فراهم می سازند.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4- تنشهای بسیار بالا و همچنین تنشهای متناوب در فولادهای کششی باعث افزایش سرعت خوردگی می شود. مراحل خوردگی را می توان توسط مکانیزم های مختلفی توصیف کرد، بعنوان مثال می توان به خوردگی عمومی سطح فلز، خوردگی های مقطعی، خوردگی در اثر خستگی فولاد، ایجاد ترکهای موضعی در فولاد اشاره کرد. بنابراین نسبت به مکانیزم خوردگی، سرعت خوردگی نیز تغییر می کند. بر همین اساس بایستی روشهای مقابله با خوردگی هم متناسب با مکانیزم خوردگی انتخاب شود.

روشهای مختلفی جهت محافظت در برابر خوردگی وجود دارند که به شرح زیر می توان آنها را دسته بندی نمود Weatherby(1982) [7]:

1- استفاده از صفحات پلاستیکی که دارای گریس های ضد خوردگی می باشند.
2- استفاده از پوششهای اپوکسی و مخلوط سیمان.
3- اندود کردن سطح خارجی فولاد بوسیله ی رزینهای اپوکسی و یا بوسیله آبکاری
4- استفاده از پوششهای پلاستیکی و یا لوله های فلزی که میله در داخل آن قرار می گیرد که دور لوله ها توسط دوغاب پر می شود. همچنین فضای خالی بین لوله و میله بوسیله دوغاب سیمان پر می شود.

برای سازه های میخ کوبی شده که در دراز مدت مورد استفاده قرار می گیرند، توصیه شده است که اطراف میخ به قطر حداقل 1/5 اینچ عملیات تزریق انجام شود. روش دیگر محافظت در برابر خوردگی، استفاده از پوشش های اپوکسی به ضخامت حدود 14 میلیمتر در طول میخ می باشد. برای محیطهای مخرب استفاده از پوششهای محافظ دو لایه نیز توصیه می شود.

از انواع مرسوم محافظ های در برابر خوردگی می توان به ورق های گالوانیزه فرآوری شده، ورق های پلاستیکی مقاوم، ملاتهای پر کننده پلی اتیلنی و بتونه های خورندگی اشاره کرد که از نوع اخیر برای محافظت کوپلرها استفاده می شود.

حفاظت سر مهارها: از آنجائیکه سر مهارها عموماً در معرض خوردگی قرار دارند. عموماً بوسیله ی قرار گرفتن در یک محفظه ی فلزی یا پلاستیکی و پر کردن محفظه بوسیله ی گریس، در مقابل خوردگی محافظت می شوند.

6) سر میخ ها (Soil Nail Head): پیشانی سیستم میخ کوبی شامل یک توده ی مسلح بتنی، صفحه باربر فولادی و مهره می باشد. عملکرد اصلی این المان ایجاد عکس العمل برای هر میخ جهت انتقال نیروی کششی می باشد، همچنین باعث پایداری محلی خاک نزدیک سطح شیروانی و تکیه گاه و دیواره بین میخ های سیستم می گردد.

7) سر مته: از انواع متعدد سر مته ها برای حفاری استفاده می گردد. انتخاب آن بستگی به نوع خاک و زمین حفاری دارد.

8)پوشش رویه ی شیب یا دیواره (Slope Facing): یک سیستم رویه عموماً برای ایجاد یک محافظ سطحی از شیب مورد استفاده قرار می گیرد و برای به حداقل رساندن فرسایش رویه سیستم و نیز اثرات ناشی از جریان آب سطحی نقش مهمی را ایفا می کند.

یک رویه با عملکرد سازه ای می تواند پایداری سیستم میخ کوبی را با انتقال نیروها از سطح آزاد بین سرمیخ و میخ و بازپخش آن نیروها بین همه ی میخ ها، بهبود بخشد. مرسوم ترین نوع رویه های نرم، پوشش گیاهی است که همراه یک سیستم کنترل فرسایش و یک توری سیمی فولادی استفاده می شود. برخی محصولات اختصاصی از رویه های انعطاف پذیر هم وجود دارند که در صورتیکه در طراحی مدنظر قرار گرفته باشند، می توانند مورد استفاده قرار گیرند. رویه سخت شامل بتن پاشیده شده و بتن مسلح بر روی سطح می باشد. تیرهای سازه ای و شبکه های ساخته شده نیز می توانند بصورت رویه ی شیب ها برای اتصال سر میخ ها بهم برای افزایش عملکرد سرتاسری در سیستم

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

میخ کوبی استفاده شوند، همچنین با توجه به اینکه خاک ما بین میخ ها والمان های سیستم را بصورت یکپارچه در می آورد، از ناپایداری موضعی جلوگیری کرده و انتقال نیرو بین المان های سیستم را به خوبی انجام می دهد.

با همه این توضیحات معمولاً پوشش رویه (دیوارنما) در سیستم میخ کوبی خاک نقش باربری ندارد، زیرا نیروی کششی منتقل شده به انتهای میخ بسیار کمتر از حداکثر نیروی کششی بوجود آمده در میخ ها می باشد.

نقش دیوارنما در سیستم های میخ کوبی بوجود آوردن پایداری محلی خاک در فواصل بین میخ ها و محافظت آنها در برابر فرسایش و همینطور به منظور محدود کردن میزان تورم و تغییر شکل ناشی از باربرداری جداره بعد از حفاری می باشد. در سیستم های میخ کوبی خاک چهار نوع پوشش برای دیوارها استفاده می شود:

1- پوشش بتنی با ضخامت 10 تا 25 سانتیمتر عمدتاً برای مقاصد سازه های نگهبان موقت مورد استفاده قرار می گیرد. به این ترتیب پوشش پیوسته و انعطاف پذیری که حفرات و ترکهای زمین را پر می کند، بوجود می آید و معمولاً با شبکه های سیمی جوش شده مسلح می شود. این سیستم به دلیل عدم دوام مناسب بتن پاشیده شده، نمی تواند برای مقاصد دائم مورد استفاده قرار گیرد.
2- شبکه سیمی جوش شده به منظور پوشش برای محلهای سنگهای شکسته مورد استفاده قرار می گیرد.
3- پوشش بتنی و فولادی که معمولاً بتن مسلحی است که در جا قالب بندی و اجراء می شود. بیشتر استفاده دائمی دارد.
4- پانلهای پیش ساخته بتنی یا فلزی که برای استفاده دائمی ساخته می شوند و می توان تهمیداتی از جمله زهکشی و دوام در شرایط محیطی گوناگون و ... را برای آن ها در نظر گرفت.

لازم به تذکر است که المان های دیوار نما باید به اندازه کافی انعطاف پذیر باشند تا بتوانند تغییر شکل های بوجود آمده در سیستم را تحمل نمایند. طراحی آنها شبیه به شکل دال دو طرفه بر روی بستر الاستیک صورت می پذیرد که براساس آیین نامه آمریکا (ACI) قابل طراحی می باشد. جهت تخمین ضخامت تقریبی دیوار بتن پاشی (d) می توان از معادله (2-1) بشرح زیر استفاده کرد:

$$d = (0.2T \cdot L)^{1/2} \qquad (1\text{-}2)$$

که در آن: d: ضخامت دیوار بتن پاشی T: حداکثر نیروی کششی میخ L: فاصله میخ ها (ft)

در اکثر مواقع بتن پاشی در دو مرحله 2 تا 4 اینچی صورت می گیرد اولین مرحله بلافاصله پس از حفاری زمین و مش بندی دیوار صورت می گیرد. لایه دوم بعد از نصب میخ ها در داخل خاک صورت می گیرد. حداقل پوشش در سرمیخ ها حداقل 2 اینچ می باشد.

مقدار فولاد لازم جهت مش بندی دیوار بتن پاشی در قسمت داخلی و خارجی مطابق رابطه(2-2) بدست خواهد آمد:

$$A_s = 0.0052\ (d[in]) \qquad (2\text{-}2)$$

بتن تحت فشار زیاد توسط نازل به سطح مش بندی شده، پاشیده می شود. جهت گیرش سریع بتن، مواد زودگیر کننده نیز به بتن افزوده می شود. بتن مخصوص بتن پاشی بایستی دارای شرایط زیر باشد(Lee W. Abramson 1994)[8]:

حداقل مقاومت 7 روزه بتن	180 Kg/Cm^2
حداقل مقاومت 28 روزه بتن	280 Kg/Cm^2
حداکثر نسبت آب به سیمان	0.4
درصد هوا	4 تا 8 درصد
اسلامپ	5 تا 15 سانتیمتر

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

از آنجائیکه تهیه نمونه های سیلندری بتن جهت آزمایش مقاومت فشاری آن، در بتن پاشیدنی مشکل می باشد، آزمایشهای مقاومت فشاری بتن، در اینگونه بتنها با استفاده از مغزه گیری صورت می پذیرد. همچنین کنترل دقیق مصالح مصرفی در اینگونه کارهای بتنی صورت می گیرد. وجود درزهای انقطاع در بتن پاشی، بعلت توقف بتن پاشی در هر مرحله از خاکبرداری اجتناب ناپذیر است و بنابراین لبه بایستی به صورت ماهیچه ای باشد و قبل از هرگونه بتن پاشی بعدی بایستی شسته شده و تمیز شود تا بتن تازه بتواند به بتن قدیمی خوب بچسبد.

شبکه سیمی جوش شده عموماً برای سازه های دائمی بکار نمی روند اما با تمهیداتی این صفحات را می توان به اشکال مختلف ساخت تا با شرایط محیطی، دوام و زیبایی محل سازگار باشد. همچنین می توان بین این صفحات و خاک، شرایط زهکشی مناسب را فراهم نمود.

9) زهکشی دیوارهای میخ کوبی شده

یک سیستم زهکشی بایستی:

الف) از ایجاد فشار هیدروستاتیکی اضافی بر روی سطح دیوار یا المانهای سازه ای جلوگیری کند.

ب) از سطح سازه در برابر خوردگی و فرسایش محافظت کند.

ج) از اشباع خاک میخ کوبی شده که باعث بوجود آمدن تغییر مکانهای اضافی یا احتمالاً ناپایداری در کل سازه می شود، جلوگیری کند.

در دیوارهای مهاری، می توان زهکش های پیش ساخته قائم، مواد متخلخل و یا زهکشهای افقی در پشت المانهای دیوار و در خاک های میخ کوبی شده می توان از لوله های پلاستیکی سوراخ دار استفاده کرد. در مورد سازه های خاکی دائمی با قطعات دیوار پیش ساخته می توان از زهکشی پیوسته بوسیله ژئوتکستایل در پشت دیوار استفاده نمود. عموماً زهکشها با زاویه ای کمی بالاتر از سطح افق اجراء می شوند.

2 - 4 - روش های نصب میخ

روشهای متنوع و گوناگونی برای نصب سیستم میخ کوبی وجود دارد. انتخاب روش نصب به فاکتورهای زیادی از جمله هزینه، دسترسی محل، فضای کار و شرایط زمین و زیرزمینی محل بستگی دارد. توصیف مختصری از روشهای رایج نصب میخ در روش میخ کوبی بشرح زیر ارائه می گردد:

1) سوراخکاری و تزریق(Drill and Grout): این روش یکی از رایج ترین روشهای نصب سیستم مذکور است (هم در ایران و هم در سایر نقاط جهان). در این روش سیستم میخ کوبی (در اصل میخ) در یک سوراخ از قبل حفاری شده قرار داده شده و سپس تزریق گروت با فشار کم یا تحت اثر وزن به این سوراخ انجام می شود. روشهای سوراخکاری متنوعی با توجه به شرایط خاک و زمین پروژه در دسترس هستند: از قبیل چرخشی(Rotary)، چرخشی- ضربه ای(Rotary-Percussive) و چکشی(Down-the-hole Hamer). امتیاز این روش این است که از سوراخکاری و بدست آوردن مصالح درون زمین می توان بعنوان نوعی مغزه گیری استفاده کرد و اطلاعاتی را نیز از شرایط زمین بدست آورد. علاوه بر این، میخ های بلند با این روش قابل اجرا هستند. اندازه و راستای سوراخهای حفاری شده را می توان قبل از نصب عناصر تسلیح، در صورت لزوم بررسی کرد. ولی بهرحال روش سوراخکاری و تزریق (Dirll-grout) ممکن است منجر به انهدام سوراخ شده و قبل از اجرا به این روش باید این مسئله نیز مورد بررسی قرار گیرد. برای جلوگیری از این مشکل پوشش غلاف (Casing) مورد استفاده قرار می گیرد.

2) خود حفار(Self drilling): این روش نسبت به روش Dirll and Grout روش نسبتاً جدیدی است. تسلیحات میخکوبی در این روش با استفاده از یک سر مته حفاری خاص به درون زمین رانده می شوند. عناصر تسلیح، که بصورت تو خالی هستند هم میله ی حفاری به حساب می آیند و هم لوله ی تزریق. در این روش پروسه ی نصب سریعاً

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

انجام می شود، چون عملیات سوراخکاری و تزریق در عملی مشابه صورت می گیرند. به جای استفاده از هوا و آب، گروت سیمانی با یک فشار ملایم که برای پایداری حفره نیز مفید است، به درون حفره پاشیده می شود. در این روش به لوله ی تزریق (Grout pipe) و وسط نگهدار (Centalizer) و نیز غلاف (Casing) معمولاً نیاز نیست. همچنین، روش خود حفاری برای سیستم میخ کوبی ممکن است برای استفاده در زمین های دارای تکه های بزرگ سنگ و زمین های سنگی مناسب نباشد، چون ممکن است نتواند به مقدار موثر و کافی درون سنگها نفوذ کند. همچنین بعلت انعطاف پذیر بودن میله تو خالی و الاستیک بودن فولاد اطمینان از راستای صحیح در نفوذ این لوله ها ممکن است مورد تردید واقع شود. اگر از لایه های محافظ گروت به میزان کافی بروی تسلیحات فولادی جهت جلوگیری و محافظت در برابر خوردگی استفاده نگرد، نمی توان از دوام سیستم نیز در این روش اطمینان حاصل کرد.

تردید در دوام به این علت است که بدلیل نبود Centraliser ها، ممکن است همین مقدار مشخص گروت نیز در برخی مقاطع در محل مناسب قرار نگیرد و لذا لایه ی محافظ کافی برای جلوگیری از خوردگی فولاد ایجاد نشده و تسلیحات فولادی در طی زمان مورد تهاجم مواد مضر قرار گرفته و پایداری سیستم را به خطر بیاندازد. البته برای جلوگیری از این آسیب ها تسلیحات آماده محافظت شده در برابر خورندگی می تواند مناسب باشد.

3) کوبشی(Driven): مسلح کننده های میخ کوبی در این روش با استفاده از پرتاب کننده ای که با فشار هوا کار می کند یا روش ضربه ای که با چکش عمل می کند و یا با روش لرزه ای که با یک ویبراتور کار می کند، مستقیما به درون توده ی خاک شلیک و پرتاب می شوند. در طی مراحل کوبیدن میخ، زمین و خاک اطراف میخ ها جا به جا شده و متراکم می گردند. این روش نصب سریع بوده و باعث شکست (Disruption) حداقل در زمین می گردد. بهرحال بعلت نیروی محدود دستگاه های مورد استفاده در این روش می توان میخ های با طول محدود و کوتاه را اجرا نمود. بعلاوه در صورت استفاده از نیروی زیاد ممکن است باعث ایجاد کمانش در پروسه نصب و آسیب میخ ها شود. این روش برای زمین های خیلی سخت و سنگی چندان مناسب نبوده و ممکن است سیستم در هنگام نصب آسیب ببیند. با توجه به اینکه سیستم میخ کوبی در مواجه با زمین و مصالح آن است، باید همواره حفاظت در برابر خوردگی صورت گرفته و حدالامکان از میخ های ضد خورندگی استفاده گردد.

4) میخ های Jet Grouted: این سیستم ترکیبی از خاک و دوغاب به همراه یک میله فلزی در وسط آن می باشند که قطر آن به 30 تا 40 سانتیمتر می رسد. این تکنیک براساس کوبش میله بوسیله ی چکشهای لرزه ای (تا 70 HZ) و انجام عملیات تزریق جت (با فشار بیش از 20 MPa) در حین وارد کردن میله ها می باشد تکنیک نصب میخ ها با روش تزریق تحت فشارهای بالا باعث تراکم بیشتر خاک و افزایش چشمگیر مقاومت از جادرآمدگی میخ می گردد [9].

روش جدید Jet Grouted به استفاده در روش میخ کوبی محدود نمی شود بلکه در مهارها، ریزشمعها و لوله های تزریق نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

2 - 5 مکانیسم عملکرد سیستم میخ کوبی

تکنیک میخ کوبی پایداری شیبهای خاکی، دیوارهای نگهدارنده و گودبرداریها را بهبود می بخشد. این عمل در اصل با انتقال کشش در میخ ها صورت می پذیرد. نیروهای کششی به دلیل وجود اندر کنش و اصطکاک بین میخ ها و خاک و زمین محل بوجود می آیند که باعث واکنش در قسمتهای رویه ی پوشش و سر میخ می شوند. سر میخ ها و رویه همچنین اثر محدود کننده ای روی تغییر شکل های زمین نزدیک سطح شیب و دیواره دارند، در نتیجه تنشهای موثر اصلی و مقاومت برشی خاک رویه پیشانی سیستم میخ کوبی افزایش می یابند. همچنین این المانها از گسیختگی موضعی خاک سطح دیواره جلوگیری بعمل آورده و یک توده ی یکپارچه از سیستم را برای مقابله با نیروهای موجود

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ایجاد می کنند که این کار را با بازپخش نیروها بین همه میخ های سیستم صورت می دهند. مقاومت میخ های سیستم در برابر نیروی بیرون کشیدگی توسط بخشی از میخ ها که در قسمت پشت خط گوه قرار دارند (ناحیه پاسیو)، تامین می گردد و باید طول این قسمت به اندازه کافی باشد تا از مهار میخ ها درون سیستم اطمینان حاصل گردیده و در برابر نیروهای محرک از جای خود در نروند.

پایداری داخلی سیستم میخ کوبی شده معمولاً توسط یک مدل 2-zone (active zone و passive zone)، بررسی شده و تخمین زده می شود که این دو ناحیه با خط پتانسیل گسیختگی از هم جدا گردیده اند. ناحیه ی فعال (Active) همان ناحیه ی موجود در جلوی خط بالقوه گسیختگی است، جاییکه گرایش به گسیختگی از سیستم میخ کوبی شده وجود دارد. ناحیه ی مقاوم (Passive) نیز به ناحیه ای اطلاق می شود که پشت خط بالقوه گسیختگی قرار گرفته و کمابیش غیرفعال است. عملکرد اصلی سیستم میخ کوبی دوختن ناحیه ی فعال به ناحیه ی مقاوم است.

البته باید توجه کرد که روش تحلیلی 2-Zone فقط یک روش ساده شده از مدلی است که برای تحلیل تعادل حدی مورد استفاده قرار می گیرد و در این تحلیل تغییر شکل های سیستم میخ کوبی مدنظر نمی باشد.

عملکرد یک سیستم خاک مسلح با استفاده از میخ کوبی بستگی به پارامترهای مختلفی نظیر هندسه سازه، مراحل اجراء و مشخصات مکانیکی خاک، دانسیته مصالح تسلیح، تغییر شکل طولی آنها، سختی خمشی عناصر تسلیح، زاویه عناصر تسلیح نسبت به سطح گسیختگی و ... دارد.

2 - 6 - مکانیسم اندرکنش خاک و میخ ها

در ناحیه ی فعال، نیروها بعلت وجود اندرکنش بین زمین، میخ ها، سر میخ ها و پوشش رویه، در کل سیستم پخش و منتقل می شوند. دو مکانیسم اساسی در این انتقال نیروها بین زمین و میخ ها وجود دارد که بشرح زیر می باشند :

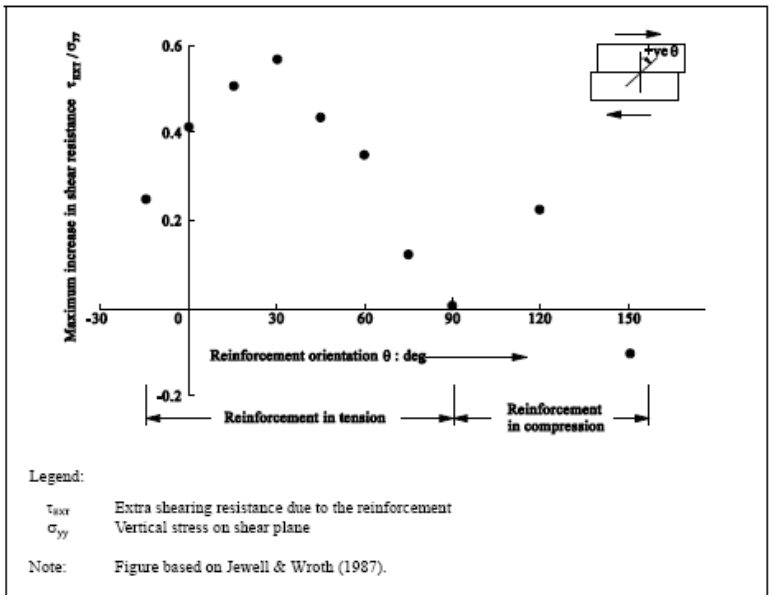
1) اصطکاک جانبی بین زمین و میخ که منجر به ایجاد نیروی محوری در میخ ها می گردد.
۲) تنش تحمل شده در میخ ها و خاک و همچنین اصطکاک بین آنها در طرفین میخ ها که منجر به ایجاد کشش، فشار، برش و خمش در میخ ها می گردد. اگر میخ های سیستم در راستای کرنش محوری کششی حداکثر خاک قرار داده شده باشند، عملکرد غالب میخ ها کششی خواهد بود که در اثر مکانیزم اصطکاک بین زمین و میخ ایجاد گردیده است. تنش های برشی و ممان خمشی بوجود آمده در میخ ها که در اثر اختلاف تنش و اصطکاک در دو طرف میخ ها می باشد (در دو ناحیه ی فعال و محرک). همچنین اگر میخ ها در امتداد و راستای کرنش های فشاری در خاک قرار داده شوند، نیروهای فشاری درون میخ ها بوجود می آیند. این مسئله می تواند منجر به کاهش تنشهای قائم در خاک در سطح بالقوه گسیختگی گردد که باعث کاهش مقاومت برشی در توده خاک مسلح می گردد. اگر میخ ها در امتداد و راستای کرنش های محوری صفر قرار داده شوند، ممکن است فقط در معرض برش و خمش باشند و هیچ نیروی محوری به آنها وارد نشود. همچنین به علت ابعاد کوچک و قطر نسبتاً کم میخ ها، مقدار مقاومت خمشی این مسلح کننده ها ناچیز است. نکات فوق اثر شیب و زاویه استقرار میخ های سیستم را در انتقال نیرو نشان می دهد. برای اکثر خاکها، در حالتیکه میخ ها دارای شیب های زیر حالت افقی باشند، حداقل تغییر شکلی که برای انتقال مقاومت خمشی و برشی در میخ ها نیاز داریم، بزرگتر از حالتی است که برای مقاومت کششی نیاز است و بنابراین عکس العمل و عملکرد اصلی میخ ها کششی می باشد. اگر میخ ها بصورت شیب دار و با شیب تند قرار گرفته باشند، اثر میخ ها بصورت آشکاری کاهش می یابد و برخی از میخ ها ممکن است تحت اثر نیروی فشاری

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

قرار گیرند. بنابراین، میخ های با شیب تند بایستی با ملاحظات خاصی استفاده گردد. شکل(2-3) اثر راستا و جهت مسلح کننده ها را بروی مقاومت برشی سیستم مسلح شده نشان می دهد.

کرنش های فشاری و برشی در ناحیه ی زیر سر میخ ها که در معرض تغییر شکل های زمین در ناحیه ی فعال قرار دارند، بوجود می آیند. اگر کرنش برآیند در راستای نزدیک به حالت عمود بر سر میخ ها باشد، اندرکنش سر میخ و زمین غالباً بصورت یکی از مکانیزم های رفتاری مذکور می باشد. با وجود این اگر کرنش برآیند در راستایی باشد که در مقایسه با راستای عمود بر سر میخ دارای انحراف قابل توجهی باشد، اندرکنش سر میخ و زمین، ترکیبی از مکانیزم رفتاری bearing و لغزشی sliding خواهد بود. در این مورد اثر سر میخ در انتقال نیروی کششی در سیستم میخ کوبی شده کاهش خواهد یافت.

اندر کنش بین سر میخ ها و خاک، بویژه در اثر مکانیسم bearing، نیروی کششی در سر میخ های سیستم میخ کوبی را افزایش می دهد. نیروی کششی در ناحیه ی سر میخ توسط میخ های مسلح کننده سیستم تحمل می شوند. نیروی کششی در میخ ها با افزایش اندازه سر میخ ها یا میزان پوشش رویه افزایش می یابند.



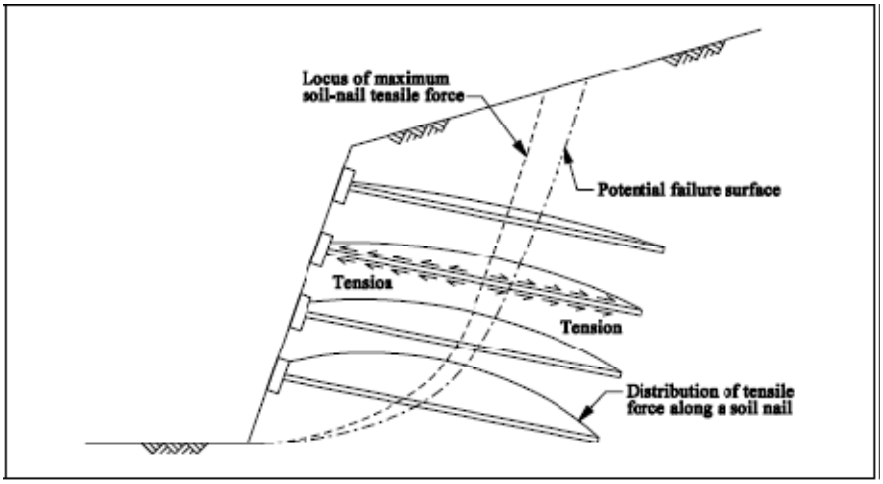
شکل (2-3): اثر راستای مسلح کننده ها در افزایش مقاومت برشی خاک مسلح شده

ناحیه ی مقاوم پشت سطح بالقوه گسیختگی شامل قسمت انتهای میخ ها با طول کافی پیوستگی می باشد که در این ناحیه میخ باید برای جلوگیری از در رفتن و بیرون کشیدگی میخ ها طول کافی داشته باشند. تغییرشکل های زمین در ناحیه ی فعال وجود دارد ولی نیروی بیرون کشیدگی در ناحیه ی مقاوم درون میخ ها بوجود می آیند. در طی انتقال تنش های پیوستگی ما بین زمین و ملات تزریق شده و نیز بین ملات تزریق شده و میخ های مسلح کننده، نیروی بیرون کشیدگی ما بین میخ های مسلح گر و زمین منتقل می شوند. نیرویی که در میخ ها می تواند بوجود آید توسط تنش های پیوستگی ما بین ملات تزریقی و زمین و همچنین تنش بین ملات و مسلح کننده ها، محدود می گردد. از لحاظ تئوری، مقاومت پیوستگی ما بین ملات سیمانی و زمین به عوامل متعددی از جمله تنش های تماسی و ضریب اصطکاک مابین ملات سیمان و زمین، بستگی مستقیم دارد. پروسه سوراخکاری (drilling) به صورت قابل توجهی تنش شعاعی محیط سوراخ را کاهش می دهد. در حقیقت، سطح داخلی حفره سوراخکاری، که عموماً بوسیله

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

دستگاه های پرکاشن ایجاد می شود، نسبتاً زبر و ناهموار است. بصورت بخشی از اصطکاک، اثر متقابل مکانیکی و فیزیکی مابین زمین و ملات سیمانی تزریق سهم عمده ای از مقاومت را برعهده دارد.

توزیع تنش پیوستگی ما بین زمین و ملات تزریق سیمانی در طول میخ ها بصورت یکنواخت نیست، شکل (2-4) توزیع شماتیک از مکان هندسی نیروهای کششی حداکثر را در میخ ها و نیز سطح گسیختگی بالقوه شیروانی را نشان می دهد. نقطه کشش حداکثر در میخ ها به نقطه ی حداکثر کرنش برشی خاک شیروانی نزدیک است ولی لزوماً این نقطه روی هم قرار نمی گیرند. یعنی نقطه ی کشش حداکثر در میخ ها در محلی نزدیک سطح بالقوه گسیختگی شیروانی رخ می دهد.



شکل (2-4): توزیع شماتیک نیروی کششی در میخ های دیواره میخ کوبی شده

باید توجه خاصی به اندرکنش میان خاک محل و میخ های سیستم در طراحی سیستم میخ کوبی شده، مبذول نمود، زیرا اندرکنش خاک و سازه (سیستم میخ کوبی) متاثر از عوامل متعددی است از جمله سختی، انعطاف پذیری و مقاومت اجزای سیستم است.

2 - 6 - 1 - **اصطکاک جانبی** :

مسئله اصطکاک جانبی بسیج شده در طول ناحیه تسلیح (شمع ها، مصالح تسلیح و ...) توسط محققین مختلف بررسی شده است. نمونه های مختلف آزمایشگاهی و همچنین مدلهای عددی و آزمایشهای لغزش مصالح تسلیح از داخل خاک، نشان می دهد که اصطکاک بین خاک – عناصر تسلیح بستگی به پارامترهای مختلفی دارد که شامل مشخصات سطح مقطع مصالح تسلیح، اثر آج در مصالح تسلیح، اثر گروت، دانسیته و مشخصات مکانیکی خاک، نوع و مقدار مصالح ریزدانه، تنش های قائم وارد بر ناحیه تسلیح و ... می باشد. اثر نسبی هرکدام از پارامترهای فوق توسط محققان مختلف بررسی و تحقیقات انجام شده نشان می دهند که در خاک های دانه ای کوبیده شده اصطکاک خاک – مصالح تسلیح، بستگی کاملی به رفتار اتساعی خاک دارد. تحت تنش های برشی بسیج شده در ناحیه ی فصل مشترک، خاک دانه ای که در نزدیکی ناحیه تسلیح قرار دارد، تمایل به اتساع خواهد داشت، اما این اتساع توسط توده خاک اطراف و بالای آن محدود می شود. این اثر محدود کننده بعلت تمرکز تنش های قائم وارد بر ناحیه تسلیح بوده که تابعی از تنش های قائم بکار رفته است (و نه وزن خاک بالای خاک مسلح). تنش های قائم وارده به ناحیه ی تسلیح، بطور کامل شناخته شده نیستند، لذا برای کارهای عملی طراحی یک ضریب اصطکاک ظاهری بصورت نسبت تنش برشی متوسط در طول مصالح تسلیح به وزن توده خاک بالای مصالح تسلیح، بصورت رابطه (2-3) تعریف شده است:

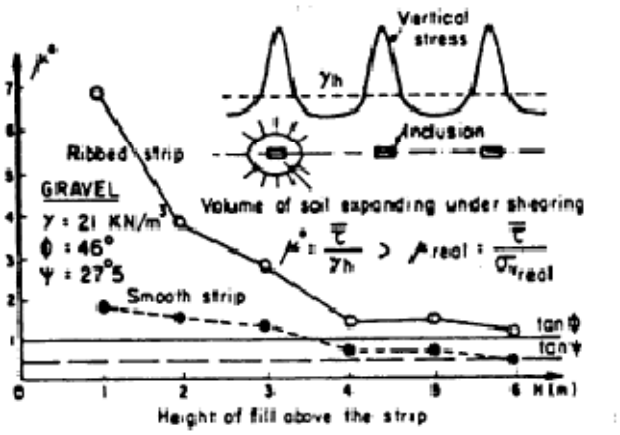
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\mu^* = \frac{\tau}{\gamma.h} = \frac{T_{max}}{2.b.l_a.\gamma.h} \qquad (3\text{-}2)$$

T_{max}: حداکثر تنش کششی بوجود آمده در مصالح تسلیح - b: عرض مصالح تسلیح - L_a: طول انتقالی- γ: دانسیته خاک h: ارتفاع خاک بالای مصالح تسلیح

.[10] (1990) Plumelle, C. Schlosser, F., Oclage, P., and Knochenmus, G.

همانگونه که در شکل (2-5) ملاحظه می شود، مقدار μ با افزایش وزن خاک بالای مصالح تسلیح کاهش می یابد. علت اصلی تفاوتهای مشاهده شده بین عناصر آج دار و صاف این است که در مصالح تسلیح آج دار تنش بسیج شده بصورت اصطکاک خاک- مصالح تسلیح می باشد که این مسئله در خاک های متراکم باعث افزایش اثر اتساع می شود در حالیکه در سیستم دارای عناصر تسلیح صاف، اصطکاک بین خاک- خاک بسیج می شود و نتیجه آن تغییر اندکی در حجم خاک و در نتیجه کاهش اثر اتساع خاک می شود. افزایش سربار باعث افزایش محدود کنندگی و در نتیجه کاهش اتساع می شود. ازآنجایی که اتساع، دلیل عمده ی افزایش μ می باشد، کاهش اثر اتساع، باعث کاهش مقدار μ شده که نهایتاً در مورد مسالح تسلیح آج دار، این مقدار به $tg\phi$ و در مورد مصالح تسلیح صاف به $tg\Psi$ می رسد (Ψ زاویه اصطکاک خاک مسلح بدست آمده از آزمایش برش مستقیم می باشد).

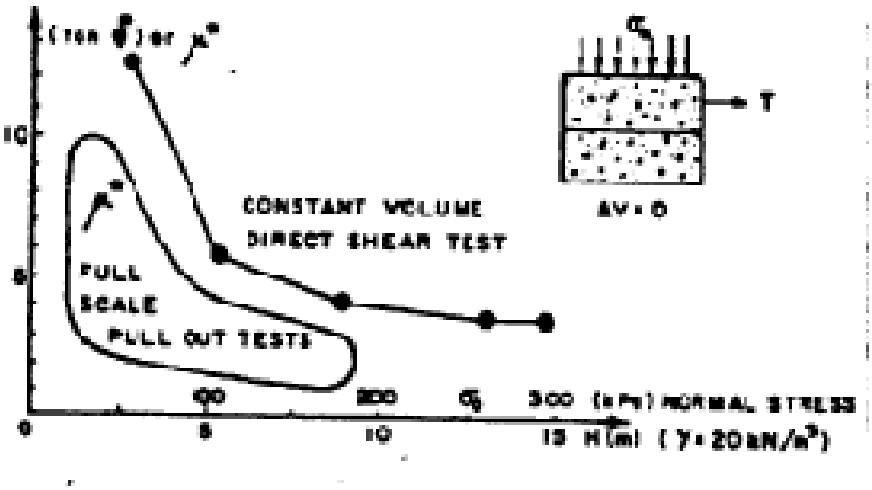


شکل(2-5): آزمایش لغزش – ضریب اصطکاک جانبی ظاهری

Guilloox & Schlosser (1979) اثر اتساع را بر اصطکاک بین خاک و مصالح مسلح کننده بررسی کردند و نشان دادند که شکل مذکور در ماسه با تراکم بسیار بالا، آزمایش برش مستقیم تحت شرایط حجم ثابت می تواند جانشین حالت تنش قائم بسیار بالا بر روی مصالح تسلیح باشد [10]. این بدان معنی است که خاک از خود اتساعی نشان نمی دهد. مقادیر زاویه اصطکاک داخلی ظاهری ($tg\phi$)، بدست آمده از نسبت تنش برشی متوسط به تنش قائم اولیه وارده بر ناحیه ی تسلیح (σ)، بیشتر از مقادیر μ بدست آمده از آزمایشهای از جادرآمدگی مصالح تسلیح آج دار، در مدلهای آزمایشگاهی و صحرایی می باشد. دانسیته خاک و اثر اتساع، دو عامل مهم در بسیج شدن اصطکاک بین خاک و مصالح تسلیح می باشند. نتایج این تحقیقات، ما را در جهت بدست آوردن ضریب اصطکاک ظاهری μ بصورت تابعی از فشار سربار یاری می نماید.

Cartie & Gigan (1983) با انجام آزمایشهایی بر روی مدلهای حقیقی از خاک میخ کوبی شده نشان دادند که مقدار اصطکاک بین خاک – مصالح تسلیح، در اینگونه سازه ها با خاک های مسلح، قابل مقایسه می باشند.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

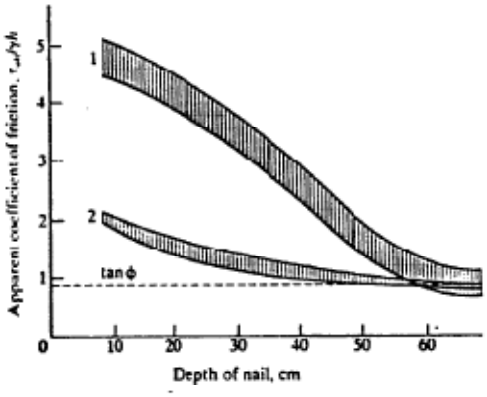


شکل (2-6): تغییرات ضریب اصطکاک ظاهری در مقابل تنش های قائم اولیه

شکل (2-6) نشان می دهد که ضریب اصطکاک جانبی ظاهری μ در یک خاک میخ کوبی شده با پیشنهادات Schlosser & Guilloux (1979) جهت طراحی خاک مسلح، همخوانی نسبتاً خوبی دارد [10].

Elias & Juran (1988) با انجام یک سری آزمایش از جادرآمدگی میخ بر روی یک خاک ماسه ای با تراکم متوسط، نشان دادند که قرار دادن میخ در داخل خاک و سپس تراکم خاک اطراف میخ، نسبت به میخ های کوبیدنی، افزایش قابل توجهی در ضریب اصطکاک ظاهری خواهد داشت (شکل2-7). در میخ های کوبشی از اثر اتساع بطور موثری کاسته می شود و بنابراین همه توصیه های طراحی در مورد دیوارهای خاک مسلح را نمی توان در مورد سیستم های میخ کوبی شده بکار برد [11].

تزریق در سیستم های میخ کوبی شده، عمدتاً تزریق وزنی است. کندن حفره ها جهت وارد کردن میخ ها در خاک و سپس عمل تزریق، باعث بوجود آوردن دست خوردگی در خاک و باربرداری آن می شود که این مسئله بطور موثری بر روی پارامترهای مکانیکی خاک تاثیر می گذارد. اندرکنش خاک و میخ، بستگی به تراکم خاک توسط فشار تزریق دارد. در خاک های غیرچسبنده، فشار تزریقی 50psi تا 100psi جهت جلوگیری از ریزش حفره ها لازم است. مقدار ضریب اصطکاک ظاهری در این حالت بین 2 تا 5 گزارش شده است.



) نتایج آزمایشهای لغزش (۱) میخ‌هایی که در حین خاکریزی و کوبیدن در خاک قرار گرفته‌اند.

میخ‌هایی که در حین حفاری در خاک کوبیده شده‌اند (after Elias & Juran 1988)

شکل(2-7): مقایسه مقاومت برشی میخ های کوبشی و میخ های جاگذاری شده در خاک

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 - 6 - 2 تغییر شکل پذیری طولی

در طول سالهای اخیر، انواع مختلفی از مصالح تسلیح، در سیستم های خاک مسلح بکار برده شده است که شامل شبکه ها (1978, Forsyth)، پلاستیکها (1978, Jones) و ژئوتکستایل (1978, Holtz) می باشدکه همگی قابلیت تحمل نیروهای کششی را دارند [9].

از آنجایی که تغییر شکل پذیری طولی مصالح تسلیح، تغییر شکلهای جانبی سازه را کنترل می نماید، استفاده از این مصالح موجب تغییر شکلهای جانبی در توده ی خاک مسلح می شود. این تغییر شکلها به اندازه ای هستند که مقاومت برشی خاک را در قسمت فعال خاک بسیج نمایند.

مصالح تسلیحی که قابلیت کشسانی بالایی دارند، باعث تغییر مکانهای جانبی بیشتری در توده ی خاک مسلح شده و همانطور که در شکل (2-8) مشاهده می شود، در قسمتهای بالایی سازه، شرایط بوجود آمده در توده خاک مسلح نزدیک به شرایط حالت فعال (Active) خاک، طبق تئوری رانکین می باشد.

شکل (2-8): نیروهای کششی بوجود آمده درمسلح کننده های خاک مسلح

2 - 6 - 3 زاویه مصالح تسلیح نسبت به سطح پتانسیل لغزش

اثر زاویه مصالح تسلیح با سطح پتانسیل لغزش، برای اولین بار توسط Jewell(1987) مورد بررسی قرار گرفت. وی با انجام آزمایشهای برش مستقیم بر روی نمونه های ماسه ای مسلح شده با شبکه ها و میلگردهایی که تحت زاویه های مختلفی نسبت به سطح لغزش قرار گرفته بودند، نتایج جالبی بدست آورد. این آزمایشات نشان داد که تغییرات نیروی کششی بوجود آمده در مصالح تسلیح، بستگی کاملی به زاویه ی آنها با سطح گسیختگی دارد[12].

حداکثر افزایش مقاومت برشی ماسه هنگامی اتفاق می افتد که جهت قرارگیری مصالح تسلیح، بسیار نزدیک به جهت اصلی تغییرات کرنش کششی بوجود آمده در توده خاک مسلح می باشد. هنگامیکه جهت قرارگیری مصالح تسلیح نزدیک به جهت اصلی تغییرات کرنش فشاری باشد، مقاومت برشی خاک کاهش خواهد یافت.

با فرض اینکه سطح پتانسیل لغزش در یک توده خاک مسلح، یک سطح با تغییر شکل صفر می باشد، نتایج نشان می دهد که با افزایش زاویه مصالح تسلیح نسبت به سطح افق، اثر مصالح تسلیح خاک در افزایش مقاومت برشی خاک کاهش می یابد (البته این نتایج با فرض اینکه مصالح تسلیح فقط تحمل نیروهای کششی را داشته و هیچگونه نیروی برشی را تحمل نمی کنند، بدست آمده است).

Jewell نتیجه گرفت که مصالح تسلیح دو اثر مهم را بر توده ی خاک مسلح دارند:

اول، کاهش تنش های متوسط برشی وارده به خاک و دوم، افزایش تنش های فشاری وارد بر سطح گسیختگی. بنابراین زاویه اصطکاک ظاهری خاک مسلح را می توان بصورت رابطه (2-4) بدست آورد:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$tg\varphi^* = tg\varphi + \frac{T_{max}}{S.\sigma_y}(Cos\theta.tg\varphi + sin\theta) = tn\varphi + \frac{\Delta\tau}{\sigma_y} \quad (4\text{-}2)$$

$$T_{max} = Min(T_g.R_T)$$

که در آن :

T_g :مقاومت از جا در آمدن عناصر تسلیح از داخل خاک

R_T:مقاومت کششی عناصر تسلیح

σ_y و $\Delta\tau$ به ترتیب تنش قائم بکار رفته و افزایش مقاومت برشی خاک در اثر وجود مصالح تسلیح

S: سطح مقطع سطح گسیختگی

ϕ: زاویه اصطکاک داخلی ماسه غیر مسلح

این راه حل تئوریک با نتایج بدست آمده از آزمایشات، همخوانی نسبتاً خوبی دارد ولی در این راه حل اثر سختی خمشی مصالح تسلیح در نظر گرفته نشده است.

2 - 6 - 4 مفهوم انتقال بار در دیواره های میخ کوبی شده

پیش از بحث درباره تحلیل دیواره های میخ کوبی شده، مکانیزم انتقال بار و عکس العمل دیواره های میخ کوبی شده طی مراحل مختلف ساخت بطور خلاصه ارائه می گردد:

حفاری خاک از سطح زمین آغاز و فاز اول حفاری تکمیل می گردد (شکل2-9). بعلت توانایی خاک برای پایداری بدون نگهدار، قسمت بالایی خاک پشت گودبرداری، قبل از اینکه ردیف اول میخ ها نصب شود، پایدار باقی می ماند (یا حداقل بصورت موقتی پایدار می ماند). مقاومت خاک در طول سطح گسیختگی بحرانی بالقوه برای پایدار ماندن توده ی خاک بدون نیاز به نگهدار بسیج می شود.

به محض اینکه میخ های ردیف اول و پوشش موقتی آنها نصب شد برخی بارها در اثر تغییر شکل خاک قسمت فوقانی بوجود می آیند که بصورت نیروهای برش در میخ ها انتقال یافته و به نیروهای محوری درون میخ ها تبدیل می شوند، قسمت بالایی شکل(2-9) توزیع نیروهای محوری را در میخ های ردیف اول (میخ شماره1) در پایان فاز اول حفاری بصورت شماتیکی نشان می دهند. در این قسمت پوشش موقتی دیواره ی حفاری را نگه داشته و آن را پایدار کرده و اتصالی بین میخ های مجاور در ردیف اول میخ ها ایجاد می کند.

وقتی حفاری وارد مرحله دوم شد، قسمت فوقانی و قسمت محافظت نشده تغییر شکل جانبی از خود نشان می دهند. در این حالت، یک سطح گسیختگی بالقوه دیگر نیز ایجاد میگردد که از کف حفاری فاز 2 آغاز می شود (شکل2-9). سطح گسیختگی بحرانی در این مرحله ی حفاری با آنچه در مرحله ی قبلی بود متفاوت می باشد. میخ های ردیف 2 نصب می شوند، پوشش موقتی ما بین فاز 1 و 2 نصب شده و به پوشش ساخته شده در فاز 1 وصل می شود. جا بجایی های بعدی خاک فاز 1 و 2 درون میخ های ردیف 1 ایجاد نیرو کرده و همچنین نیروهای جدیدی درون میخ های ردیف 2 ایجاد می کند.

برای فراهم کردن پایداری کلی، میخ ها باید تا آنسوی سطح گسیختگی بالقوه ادامه پیدا کنند. به محض اینکه تغییر شکلهای جانبی بعلت حفاری های بعدی افزایش یافت تنش های برشی اضافی در میخ ها و سطح خاک فصل مشترک آنها و همچنین نیروهای محوری میخ های نصب شده بسیج می شوند (همانگونه که در شکل (2-9) ملاحظه می شود). هرچه عمق حفاری افزایش می یابد اندازه ی توده ی خاک نگهداری شده افزایش می یابد و هرچه مقدار توده ی خاک نگهداری شده افزایش می یابد تنش ها در میخ ها و خاک محیط آنها و نیروهای محوری میخ ها افزایش می یابند این تنش ها نهایتاً به پایدار سازی توده ی بالقوه ی لغزش خواهند انجامید.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com