

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم بہ پدرم،

کوہی استوار و حامی من در تمام طول زندگی

تقدیم بہ مادرم،

سنگ صبوری کہ الفبای زندگی بہ من آموخت.

تقدیم بہ ہمسرم،

کہ در سایہ می ہمیاری و ہمدلی او بہ این منظور نائل شدم.

تقدیم بہ برادرم،

کہ وجودش مایہ دلگرمی من می باشد.

تقدیم بہ دلبندم،

امید بخش جانم کہ آسایش او آرامش من است.

از کلیه اساتید محترم دانشگاه سراسری تفرش به خصوص از زحمات بی دریغ، تلاش
های بی وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر ناصر عرفانی در
راستای انجام این پروژه کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

چکیده

با توجه به افزایش ساخت و سازهای مجاور در محیط‌های شهری امروزه بررسی پایداری شیب‌ها و تسلیح آنها اهمیت ویژه‌ای یافته است. در این پایان‌نامه ابتدا به تشریح روش‌های پایداری‌سازی شیب پرداختیم، پس از آن به شرح دقیق‌تر و کامل‌تری در ارتباط با یکی از این روش‌ها تحت عنوان روش میخکوبی پرداختیم. در مرحله بعد روش‌های بررسی پایداری شیب، از جمله این روش‌ها روش‌های تجربی، روش احتمالاتی، روش مونت کارلو، روش تئوری بلوکی، روش‌های عددی و روش‌های تعادل حدی را توصیف نمودیم.

هدف اصلی ما در این پایان‌نامه مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از دو روش از این روش‌ها تحت عناوین روش اجزای محدود (یکی از روش‌های عددی) و روش‌های تعادل حدی شامل (روش معمولی قطعه، روش جانبی، روش بیشاپ، روش لویی کارافیت و روش اسپنسر) در پایداری شیب‌های میخکوبی شده است. برای بررسی و مقایسه این دو روش از دو نرم افزار تخصصی مهندسی عمران تحت عناوین نرم افزار plaxis برای روش اجزای محدود و نرم افزار slide برای روش تعادل حدی استفاده کردیم. با مدلسازی ۵۴ مدل (۳۶ مدل اجزای محدود و ۱۸ مدل تعادل حدی) بر روی سه نوع خاک مختلف به نتایج زیر دست یافتیم:

با مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود با ضرایب اطمینان حاصل از روش‌های تعادل حدی به این نتیجه رسیدیم که مقادیر ضریب اطمینان در روش‌های تعادل حدی از مقادیر حاصله از روش اجزای محدود بیشتر می‌باشد و این اختلاف با افزایش میزان چسبندگی و همچنین کاهش فاصله میخ‌ها بیشتر می‌گردد یعنی با بهبود شرایط خاک و مسلح شدن آن اختلاف ضرایب اطمینان‌های بدست آمده از این دو روش بیشتر می‌گردد.

در برنامه plaxis از دو مدل رفتاری متفاوت استفاده گردید مدل موهر-کولمب و مدل خاک سخت شونده با مقایسه نتایج حاصل از این دو مدل رفتاری به این نتیجه رسیدیم که در هر سه نوع خاک ضرایب اطمینان حاصل از این دو مدل رفتاری تقریباً با یکدیگر برابرند.

با مقایسه تغییر مکان‌های حاصل از این دو مدل رفتاری به این نتیجه رسیدیم که به طور کلی مدل رفتاری موهر-کولمب تغییر مکان بیشتری را نسبت به مدل رفتاری خاک سخت شونده بدست می‌دهد و این مقدار اختلاف تغییر مکان به تدریج با حرکت به سمت کف گود افزایش می‌یابد و در کف گود به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

در این پایان‌نامه همچنین به مقایسه میدان‌های تنش ایجاد شده در دو مدل رفتاری پرداختیم و به این نتیجه رسیدیم که میدان‌های تنش ایجاد شده در این دو مدل رفتاری تقریباً با یکدیگر برابرند.

در آخر به بررسی تاثیر مدول الاستیسیته بر ضریب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود پرداختیم و به این نتیجه رسیدیم که پارامتر مذکور، پارامتر تاثیر گذاری در محاسبه ضریب اطمینان نمی‌باشد.

فهرست مطالب

فصل اول : پیشگفتار

۱-۱ بیان مسئله و اهداف پژوهش.....۱

فصل دوم : کلیاتی در خصوص دیوار های میخکوبی شده

۱-۲ منشاء روش میخ کوبی خاک و تاریخچه استفاده از آن.....۳

۲-۲ اجزای اصلی یک دیواره خاکی میخ کوبی شده.....۴

۳-۲ مراحل اجرای یک دیواره خاکی میخ کوبی شده.....۶

۴-۲ کاربرد دیوارهای میخ کوبی شده.....۸

۱-۴-۲ سازه های نگهبان در ترانشه ها.....۸

۲-۴-۲ سازه های نگهدارنده در زیر کوله پلهای موجود.....۱۰

۳-۴-۲ تعمیر و باز سازی سازه های نگهبان موجود.....۱۱

۵-۲ ارزیابی و امکان سنجی اجرای یک سیستم میخ کوبی خاک.....۱۱

۱-۵-۲ ارزیابی وضعیت خاک محل برای اجرای دیواره میخ کوبی شده.....۱۱

۱-۱-۵-۲ شرایط مطلوب خاک برای سیستم میخ کوبی.....۱۱

۲-۱-۵-۲ شرایط نامطلوب خاکها برای سیستم میخ کوبی.....۱۳

۲-۵-۲ مزایای دیوارهای میخ کوبی شده.....۱۴

۳-۵-۲ ضعف دیوارهای میخ کوبی شده.....۱۵

۶-۲ انتخاب پارامترهای خاک برای طراحی.....۱۵

۱-۶-۲ وزن مخصوص خاک.....۱۵

۲-۶-۲ مقاومت برشی.....۱۶

۳-۶-۲ مقاومت باند.....۱۸

۷-۲ مکانیزم انتقال بار در دیوارهای میخکوبی شده.....۲۱

۸-۲ شرایط حدی.....۲۲

۱-۸-۲ شرایط حدی مقاومتی.....۲۳

۲-۸-۲ شرایط حدی سرویس.....۲۳

۲۵	۳-۸-۲ مدهای گسیختگی خارجی.....
۲۵	۱-۳-۸-۲ مقدمه.....
۲۵	۲-۳-۸-۲ پایداری کلی.....
۲۷	۳-۳-۸-۲ لغزش.....
۳۰	۴-۳-۸-۲ ظرفیت باربری.....
۳۲	۴-۸-۲ مدهای گسیختگی داخلی.....
۳۲	۱-۴-۸-۲ مقدمه.....
۳۳	۲-۴-۸-۲ گسیختگی در اثر بیرون کشیدن میخ ها.....
۳۶	۳-۴-۸-۲ اندرکنش خاک-میخ و توزیع نیروی کششی.....
۴۱	۴-۴-۸-۲ مدهای گسیختگی اتصالات پوشش دیواره.....
۴۴	۵-۴-۸-۲ گسیختگی خمشی پوشش.....
۴۹	۶-۴-۸-۲ ظرفیت برش سوراخ کننده.....
۵۲	۹-۲ تغییر شکل دیوارهای خاکی میخ کوبی شده.....
فصل سوم : روش های تحلیل پایداری-تئوری و محدودیت ها	
۵۴	۱-۳ انواع ناپایداری در سطوح شیبدار.....
۵۴	۱-۱-۳ ناپایداری در خاک ها.....
۵۴	۱-۱-۲ ریزش.....
۵۴	۲-۱-۳ لغزش.....
۵۴	۲-۱-۳ ناپایداری در سنگ ها.....
۵۵	۱-۲-۱ شکست صفحه ای.....
۵۵	۲-۲-۱ شکست گوه ای.....
۵۵	۳-۲-۱ شکست واژگونی.....
۵۵	۴-۲-۱ افتادن سنگ ها.....
۵۷	۲-۳ روشهای تحلیل پایداری سطوح شیبدار.....
۵۷	۱-۲-۳ روشهای تجربی.....

- ۵۷.....۲-۲-۳ روش احتمالاتی.....
- ۵۸.....۳-۲-۳ روش مونت کارلو.....
- ۵۹.....۴-۲-۳ روش تئوری بلوکی.....
- ۶۰.....۵-۲-۲ روشهای عددی در تحلیل پایداری شیب.....
- ۶۰.....۱-۵-۲-۳ روش اجزای محدود.....
- ۶۱.....۱-۱-۵-۲-۲ مدل موهر-کولمب (MC).....
- ۶۱.....۲-۱-۵-۲-۳ مدل خاک سخت شونده (HS).....
- ۶۲.....۶-۲-۳ روشهای تعادل حدی.....
- ۶۲.....۳-۳ کاربرد روشهای تعادل حدی در تحلیل پایداری سطوح شیبدار.....
- ۶۲.....۱-۳-۳ شکست صفحه ای.....
- ۶۲.....۱-۱-۳-۳ بررسی امکان رخ دادن شکست صفحه ای.....
- ۶۳.....۲-۱-۳-۳ تحلیل شکست صفحه ای به روش تعادل حدی.....
- ۶۵.....۲-۳-۳ شکست گوه ای.....
- ۶۵.....۱-۲-۳-۳ شرایط وقوع شکست گوه ای.....
- ۶۶.....۲-۲-۳-۳ تحلیل شکست گوه ای به روش تعادل حدی.....
- ۶۶.....۳-۳-۳ شکست دایره ای.....
- ۶۶.....۱-۳-۳-۳ شرایط وقوع شکست دایره ای.....
- ۶۷.....۲-۳-۳-۳ تحلیل شکست دایره ای به روش تعادل حدی.....
- ۶۷.....۱-۲-۳-۳-۳ محاسبه ی ضریب ایمنی برای شکست دایره ای.....
- ۶۸.....۴-۳ روش معمولی قطعات.....
- ۶۸.....۱-۴-۳ فرضیات.....
- ۶۹.....۲-۴-۳ محدودیت ها.....
- ۶۹.....۳-۴-۳ توصیه برای استفاده.....
- ۷۰.....۵-۳ روش بیشاپ ساده شده.....
- ۷۰.....۱-۵-۳ فرضیات.....

۷۱	..... محدودیت ها ۲-۵-۳
۷۱	..... توصیه برای استفاده ۳-۵-۳
۷۱	..... روش های جانبی ۶-۳
۷۱	..... فرضیات ۱-۶-۳
۷۲	..... محدودیت ها ۲-۶-۳
۷۳	..... روش Karafiath -Lowe ۷-۳
۷۳	..... روش اسپنسر ۸-۳
۷۳	..... محدودیت ها ۱-۸-۳
۷۳	..... توصیه برای استفاده ۲-۸-۳

فصل چهارم : مدلسازی

۷۴	..... نرم افزار plaxis ۱-۴
۷۴	..... نرم افزار slide ۲-۴
۷۵	..... مشخصات مدل ها ۳-۴
۷۶	..... مشخصات خاک مدل ۱-۳-۴
۷۶	..... خاک نوع A ۱-۱-۳-۴
۷۶	..... خاک نوع B ۲-۱-۳-۴
۷۶	..... خاک نوع C ۳-۱-۳-۴
۷۶	..... مشخصات میخ ها ۲-۳-۴
۷۶	..... نوع میخ ها ۱-۲-۳-۴
۷۷	..... طول میخ ها ۲-۲-۳-۴
۷۷	..... فواصل بین میخ ها ۳-۲-۳-۴
۷۷	..... شیب قرارگیری میخ ها ۴-۲-۳-۴
۷۷	..... مشخصات میخ ها در برنامه PLAXIS ۵-۲-۳-۴
۷۷	..... مشخصات میخ ها در برنامه SLIDE ۶-۲-۳-۴
۷۸	..... شاتکریت ۳-۳-۴

- ۴-۴ ذکر نام مدل ها و تفاوت ها..... ۷۹
- ۴-۵ نتایج بدست آمده از مدل plaxis..... ۸۱
- ۴-۵-۱ طرح کلی مدل شماره ۱..... ۸۱
- ۴-۵-۲ ضریب اطمینان حاصل از تحلیل مدل شماره ۱..... ۸۲
- ۴-۵-۳ تغییر مکان افقی لبه گود حاصل از تحلیل مدل شماره ۱..... ۸۳
- ۴-۵-۴ تغییر مکان قائم کف گود حاصل از تحلیل مدل شماره ۱..... ۸۴
- ۴-۶ نتایج بدست آمده از مدل slide..... ۸۵
- ۴-۶-۱ طرح کلی مدل شماره ۳..... ۸۵
- ۴-۶-۲ سطح لغزش مشخص شده برای مدل شماره ۳..... ۸۶
- ۴-۷ مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود با روش های تعادل حدی..... ۸۷
- ۴-۷-۱ خاک نوع A..... ۸۷
- ۴-۷-۲ خاک نوع B..... ۸۸
- ۴-۷-۳ خاک نوع C..... ۸۹
- ۴-۷-۴ نتیجه گیری..... ۹۰
- ۴-۸ مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش m.c با روش h.s..... ۹۱
- ۴-۸-۱ خاک نوع A..... ۹۱
- ۴-۸-۲ خاک نوع B..... ۹۲
- ۴-۸-۳ خاک نوع C..... ۹۳
- ۴-۹ مقایسه تغییر مکان های حاصل از روش m.c با روش h.s..... ۹۴
- ۴-۹-۱ مقایسه تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش m.c با روش h.s..... ۹۴
- ۴-۹-۱-۱ خاک نوع A..... ۹۴
- ۴-۹-۱-۲ خاک نوع B..... ۹۵
- ۴-۹-۱-۳ خاک نوع C..... ۹۶
- ۴-۹-۲ مقایسه تغییر مکان افقی لبه گود حاصل از روش m.c با روش h.s..... ۹۷
- ۴-۹-۲-۱ خاک نوع A..... ۹۷

۹۸.....	۲-۲-۹-۴ خاک نوع B
۹۹.....	۳-۲-۹-۴ خاک نوع C
۱۰۰.....	۳-۹-۴ نتیجه گیری.....
۱۰۱.....	۱۰-۴ مقایسهٔ اختلاف تنش های کل ایجاد شده در روش m.c با روش h.s
۱۰۱.....	۱-۱۰-۴ میدان های تنش ایجاد شده در مدل شمارهٔ ۱.....
۱۰۲.....	۲-۱۰-۴ میدان های تنش ایجاد شده در مدل شمارهٔ ۲.....
۱۰۲.....	۳-۱۰-۴ نتیجه گیری.....
۱۰۳.....	۱۱-۴ بررسی تأثیر مدول الاستیسیته بر ضریب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود.....
۱۰۳.....	۱-۱۱-۴ نتیجه گیری.....

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهاد برای کارهای آینده

۱۰۴.....	۱-۵ نتیجه گیری.....
۱۰۵.....	۲-۵ پیشنهاد برای کار های آینده.....
۱۰۶.....	مراجع.....
۱۰۸.....	فهرست علائم و اختصارات.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ : مقطع عرضی نمونه از یک دیوار میخ کوبی شده..... ۵
- شکل ۲-۲ : مراحل اجرای یک دیوار میخ کوبی شده..... ۶
- شکل ۳-۲ : کاربرد دیوارهای میخ کوبی شده در ترانشه های موقت و دائم..... ۹
- شکل ۴-۲ : استفاده از دیوارهای میخ کوبی شده برای تعریض زیر گذر پلها..... ۱۰
- شکل ۵-۲ : تخمین وزن مخصوص خاکهای دانه ای و برخی از خاکهای ریزدانه بر اساس توصیف خاک و تراکم نسبی..... ۱۶
- شکل ۶-۲ : مقادیر پیش بینی شده زاویه اصطکاک بر اساس سیستم طبقه بندی خاک USCS..... ۱۷
- شکل ۷-۲ : سطوح گسیختگی بالقوه و نیروی کششی در میخ ها..... ۲۱
- شکل ۸-۲ : حالت‌های اصلی گسیختگی در شیب های میخکوبی شده..... ۲۴
- شکل ۹-۲ : تحلیل پایداری کلی یک دیواره میخ کوبی شده با استفاده از مکانیزم گسیختگی تک گوه ای ۲۵
- شکل ۱۰-۲ : پایداری لغزشی یک دیواره خاکی میخکوبی شده..... ۲۷
- شکل ۱۱-۲ : تحلیل ظرفیت باربری..... ۳۱
- شکل ۱۲-۲ : مد انتقال تنش در یک میخ منفرد..... ۳۵
- شکل ۱۳-۲ : مکانیزم انتقال تنش در میخ..... ۳۶
- شکل ۱۴-۲ : توزیع ساده شده نیروی کششی در میخ..... ۳۸
- شکل ۱۵-۲ : محل شماتیک حداکثر نیروی کششی در میخ ها..... ۳۹
- شکل ۱۶-۲ : حداکثر نیروی کششی اندازه گیری شده در دیوارهای میخکوبی شده..... ۴۰
- شکل ۱۷-۲ : مدهای گسیختگی در محل اتصال نوک میخها با پوشش دیواره ۴۲
- شکل ۱۸-۲ : نیروهای کششی اندازه گیری شده در محل پوشش دیوارهای میخ کوبی شده ۴۳
- شکل ۱۹-۲ : گسیختگی خمشی پیشرونده در پوشش دیوارهای میخکوبی شده..... ۴۵
- شکل ۲۰-۲ : هندسه استفاده شده در مد گسیختگی..... ۴۷
- شکل ۲۱-۲ : توزیع فشار خاک در پشت پوشش..... ۴۸

- شکل ۲-۲۲: مد گسیختگی برش سوراخ کننده..... ۵۰
- شکل ۳-۱: چهار نوع اصلی شکست شکستگی صفحه ای، گوه ای، توده ای، واژگونی..... ۵۶
- شکل ۳-۲: ژئومتری شکست صفحه های در حالی که ترک کششی وجود دارد..... ۶۲
- شکل ۳-۳: اعمال نیروی آب به بلوک و تجزیه سایر بلوک در حالت وجود ترک کششی..... ۶۴
- شکل ۳-۴: اعمال نیروی آب به بلوک و تجزیه سایر نیروها در حالت بدون ترک..... ۶۵
- شکل ۳-۵: نمایی از زاویه حاصل از خط تقاطع دو صفحه ناپیوستگی نسبت به افق..... ۶۶
- شکل ۳-۶: قطعه فرضی و نیروهای برآیند..... ۶۸
- شکل ۳-۷: تحلیل پایداری به کمک روش معمولی قطعه برای خاک لایه بندی شده..... ۶۹
- شکل ۳-۸: قطعه ی فرضی و نیروهای برآیند در روش بیشاپ ساده شده..... ۷۰
- شکل ۳-۹: قطعه ی فرضی و نیروهای برآیند در روش جانبو تصحیح شده..... ۷۲
- شکل ۴-۱: نمای کلی مدل طراحی شده..... ۷۵
- شکل ۴-۲: طرح کلی مدل شماره ۱..... ۸۱
- شکل ۴-۳: تغییر مکان افقی لبه گود حاصل از تحلیل مدل شماره ۱..... ۸۳
- شکل ۴-۴: تغییر مکان قائم کف گود حاصل از تحلیل مدل شماره ۱..... ۸۴
- شکل ۴-۵: طرح کلی مدل شماره ۳..... ۸۵
- شکل ۴-۶: سطح لغزش مشخص شده برای مدل شماره ۳..... ۸۶
- شکل ۴-۷: نمودار تنش- کرنش تحت بارگذاری و باربرداری و نمودار معیار گسیختگی موهر-کولمب..... ۱۰۰
- شکل ۴-۸: میدان های تنش ایجاد شده در مدل شماره ۱..... ۱۰۱
- شکل ۴-۹: میدان های تنش ایجاد شده در مدل شماره ۲..... ۱۰۲
- فهرست جداول:**

- جدول ۲-۱: مقادیر زاویه اصطکاک به صورت تابعی از پارامترهای بدست آمده از CPT و SPT..... ۱۷
- جدول ۲-۲: تخمین مقاومت باند برای روشهای حفاری و انواع مختلف سنگها ، خاکهای بدون چسبندگی و خاکهای ریزدانه..... ۲۰

- جدول ۳-۲ : فاکتور G_F ۴۹
- جدول ۱-۴ : نام و مشخصات مدل ها..... ۷۹
- جدول ۲-۴ : ضریب اطمینان حاصل از تحلیل مدل شماره ۱..... ۸۲
- جدول ۳-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی (خاک نوع A)..... ۸۷
- جدول ۴-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش های اجزای محدود (خاک نوع A)..... ۸۷
- جدول ۵-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی (خاک نوع B)..... ۸۸
- جدول ۶-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش های اجزای محدود (خاک نوع B)..... ۸۸
- جدول ۷-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی (خاک نوع C)..... ۸۹
- جدول ۸-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش های اجزای محدود (خاک نوع C)..... ۸۹
- جدول ۹-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش m.c و روش h.s (خاک نوع A)..... ۹۱
- جدول ۱۰-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش m.c و روش h.s (خاک نوع B)..... ۹۲
- جدول ۱۱-۴ : ضرایب اطمینان حاصل از روش m.c و روش h.s (خاک نوع C)..... ۹۳
- جدول ۱۲-۴ : تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش موهر کولمب (خاک نوع A)..... ۹۴
- جدول ۱۳-۴ : تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش سخت شوندگی (خاک نوع A)..... ۹۴
- جدول ۱۴-۴ : تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش موهر کولمب (خاک نوع B)..... ۹۵
- جدول ۱۵-۴ : تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش سخت شوندگی (خاک نوع B)..... ۹۵
- جدول ۱۶-۴ : تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش موهر کولمب (خاک نوع C)..... ۹۶
- جدول ۱۷-۴ : تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش سخت شوندگی (خاک نوع C)..... ۹۶
- جدول ۱۸-۴ : تغییر مکان افقی لبه گود حاصل از روش موهر - کولمب (خاک نوع A)..... ۹۷
- جدول ۱۹-۴ : تغییر مکان افقی لبه گود حاصل از روش سخت شوندگی (خاک نوع A)..... ۹۷
- جدول ۲۰-۴ : تغییر مکان افقی لبه گود حاصل از روش موهر - کولمب (خاک نوع B)..... ۹۸
- جدول ۲۱-۴ : تغییر مکان افقی لبه گود حاصل از روش سخت شوندگی (خاک نوع B)..... ۹۸

جدول ۴-۲۲ : تغییر مکان افقی لبهٔ گود حاصل از روش موهر- کولمب (خاک نوع C).....۹۹

جدول ۴-۲۳ : تغییر مکان افقی لبهٔ گود حاصل از روش سخت شوندگی (خاک نوع C).....۹۹

فهرست نمودارها

نمودار ۴-۱ : مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود با روش های تعادل حدی (خاک نوع A).....۸۷

نمودار ۴-۲ : مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود با روش های تعادل حدی (خاک نوع B).....۸۸

نمودار ۴-۳ : مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود با روش های تعادل حدی (خاک نوع C).....۸۹

نمودار ۴-۴ : مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع A).....۹۱

نمودار ۴-۵ : مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع B).....۹۲

نمودار ۴-۶ : مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع C).....۹۳

نمودار ۴-۷ : مقایسه تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع A).....۹۴

نمودار ۴-۸ : مقایسه تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع B).....۹۵

نمودار ۴-۹ : مقایسه تغییر مکان قائم (بالا آمدگی) کف گود حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع C).....۹۶

نمودار ۴-۱۰ : مقایسه تغییر مکان افقی لبهٔ گود حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع A).....۹۷

نمودار ۴-۱۱ : مقایسه تغییر مکان افقی لبهٔ گود حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع B).....۹۸

نمودار ۴-۱۲ : مقایسه تغییر مکان افقی لبهٔ گود حاصل از روش m.c با روش h.s (خاک نوع C).....۹۹

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱ بیان مسئله و اهداف پژوهش

یکی از مسائل مشکل ساز در امور ساخت و ساز ، گودبرداری و روش های مهار گود ، یعنی مقابله با ریزش جانبی خاک اطراف گود است. اگر تمهیدات لازم جهت حفاظت جانبی گود ها در ساختمان های در حال احداث در نظر گرفته نشود منجر به مخاطراتی نظیر کاهش ظرفیت باربری ، نشستهای قابل توجه و تغییر مکان های جانبی در سازه های مجاور خواهد شد. جهت جلوگیری از این مشکلات لازم است که قبل از شروع حفاری با استفاده از سیستمهای نگهدارنده جانبی ، محیط امن و پایدار جهت حفاظت از بنا های مجاور ایجاد نمود. سیستم های محافظ جانبی به کار رفته در این زمینه را می توان به گروه های زیر طبقه بندی نمود:

جداره های مهاربندی شده توسط المانهای افقی و مایل

Braced wall using wale strut

جداره های مهاربندی شده توسط سپر کوبی

Braced sheet pile

جداره های مهاربندی شده توسط شمع های در جا

Bored pile walls

جداره های مهار بندی شده توسط دیوار دیافراگمی

Diaphragm walls-Slurry wall

جداره های مهاربندی شده توسط دیوارهای میخکوبی شده

Soil nailing

استفاده از دیوارهای خاکی میخ کوبی شده به تدریج در دهه گذشته رو به گسترش گذاشت. دلیل این امر امکان پذیر بودن اجرای این روش در بیشتر شرایط و همچنین به صرفه بودن از نظر اقتصادی نسبت به دیگر سیستمهای پایدار سازی حفاریهای بالا به پایین برای کاربردهای موقت و دائمی می باشد. در این پایان نامه به بررسی روش نیلینگ می پردازیم.

تاکنون روش های مختلفی جهت آنالیز شیب های مسلح شده مانند روش های مبتنی بر اصول تعادل حدی ، روش اجزای محدود ، روش تفاضل محدود ، ... توسعه یافته است. ما به مقایسه و بررسی دو روش مهم و کاربردی در این زمینه می پردازیم، روش تعادل حدی و روش اجزای محدود. برای بررسی این دو روش از دو نرم افزار **plaxis** برای بررسی روش اجزای محدود و نرم افزار **slide** برای بررسی روش تعادل حدی استفاده می شود. در ارتباط با تاریخچه مقایسه این دو روش می توان به موارد زیر اشاره نمود.

آقای عبدالله حسین ملکاوی در مقاله ای در سال ۲۰۰۸ به مقایسه این دو روش پرداخت و به این نتیجه رسید که این روش ها ضرایب اطمینان های تقریباً برابر با سطوح گسیختگی متفاوت بدست می دهند. آقای آریال^۱ در سال ۲۰۰۶ در پایان نامه دکترای خود به مقایسه روش اجزای محدود با روش های تعادل حدی پرداخت و در این تحقیق بیشتر بر روی مقایسه انواع روش های تعادل حدی تمرکز نمود. آقای مهدی اسدی در مقاله ای در سال ۱۳۸۹ به مقایسه این دو روش و بررسی تاثیر تعداد و ظرفیت کششی تسلیح کننده ها در ضریب اطمینان های حاصل پرداخت. آقای محسن معجزی در مقاله ای در سال ۱۳۸۷ به مقایسه این دو روش در شیروانی های خاکی مسلح پرداخت و به این نتیجه رسید که این روش ها ضرایب اطمینان های تقریباً برابر بدست می دهند. خانم الهه مقدمی کهی در مقاله ای در سال ۱۳۸۷ به مقایسه این دو روش در سدها پرداخت و به این نتیجه رسید که اختلاف ضرایب اطمینان های این دو روش با کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش می یابد.

در فصل دوم این پایان نامه به توضیحات جامعی در ارتباط با روش نیلینگ از جمله منشا روش ، اجزای تشکیل دهنده ، مراحل اجرا ، کاربرد دیوارهای میخکوبی ، مزایا و معایب روش می پردازیم.

در فصل سوم به شرح روش های بررسی پایداری شیب ها ، از جمله روشهای تجربی ، احتمالاتی ، عددی و تعادل حدی می پردازیم. از میان کلیه روش های موجود به بررسی دقیقتر یکی از روش های عددی تحت عنوان روش اجزای محدود و روش های تعادل حدی شامل روش هایی مانند روش معمولی قطعه^۲ سال ۱۹۳۶ ، روش جانبو^۳ - سال ۱۹۵۴ ، روش بیشاپ^۴ سال ۱۹۵۵ ، لوئی - کارافیت^۵ سال ۱۹۶۰ و روش اسپنسر^۶ سال ۱۹۶۷ می پردازیم.

در فصل چهارم به معرفی نرم افزار های مورد استفاده و توصیف مدلسازی، فرضیات مدل فرضی می پردازیم و طی نمودارهایی به مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از روش های مختلف می پردازیم. آنچه در این بررسی مورد توجه می باشد استفاده از دو مدل مختلف مدل موهر - کولمب^۷ (m.c) و مدل خاک سخت شونده^۸ (h.s) در روش اجزای محدود می باشد، در این پایان نامه به مقایسه ضرایب اطمینان حاصل از این دو روش، همچنین مقایسه تغییر مکان های حاصل از این دو روش می پردازیم.

در نهایت در فصل پنجم به جمع بندی و بررسی نتایج حاصل از مدلسازی های فصل قبل می پردازیم.

¹ Aryal

² Fellenius

³ Janbu

⁴ Bishop

⁵ Lowe-karafiath

⁶ Spencer

⁷ Mohr-Coulomb model

⁸ Hardening soil model

فصل دوم

کلیاتی در خصوص دیوارهای میخکوبی شده

۲-۱- منشاء روش میخ کوبی خاک و تاریخچه استفاده از آن [۱]

روش میخ کوبی^۱ خاک را میتوان نشأت گرفته از سیستم نگهداری حفاری های زیرزمینی در سنگها که به نام روش NATM^۲ معروف است، دانست. این روش حفاری تونل شامل نصب المانهای فلزی مسلح کننده (مانند راک بولت^۳) به صورت مقاوم(غیر پیش تنیده^۴)، همراه با یک لایه شاتکریت^۵ مسلح شده می باشد. ترکیب المانهای مسلح کننده مقاوم و شاتکریت برای نگهداری شیبههای سنگی از اوایل دهه ۱۹۶۰ آغاز گردید. اصول این روش نگهداری زمین بر ایجاد نیروی کششی در المانهای مسلح کننده فولادی ناشی از حرکت بسیار کم خاک اطراف بود. کارایی و اثر بخشی این روش با پیوستگی شاتکریت بیشتر می گردد. ترکیب المان تسلیح مقاوم و پوشش شاتکریت مسلح زمانی که به جای سنگ برای خاک استفاده گردد روش میخ کوبی نامیده می شود.

یکی از اولین کاربردهای میخ کوبی خاک در سال ۱۹۷۲ برای یک پروژه تعریض راه آهن در نزدیکی ورسلیس^۶ فرانسه بود در این پروژه یک شیب با ارتفاع ۱۸ متر با استفاده از روش میخ کوبی پایدار گردید.

به دلیل اینکه این روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و از نظر زمانی نیز نسبت به سایر روشهای معمول پایدارسازی سریعتر اجر گردید به طور گسترده ای در فرانسه و دیگر نقاط اروپا مورد استفاده قرار گرفت. در آلمان اولین مورد استفاده از دیوارهای میخ کوبی شده در سال ۱۹۷۵ بود. ولین برنامه تحقیقاتی بزرگ بر روی دیوارهای میخ کوبی شده در آلمان از سال ۱۹۷۵

¹ Nailing

² New Austrian Tunneling Method

³ Rock Bolt

⁴ No post-tensioning

⁵ Shotcrete

⁶ Versailles

تا ۱۹۸۱ و توسط دانشگاه کالز روهه^۱ و شرکت ساختمانی باور^۲ انجام گردید. این برنامه مطالعاتی شامل آزمایشهای تمام مقیاس دیوارهای اجرا شده با شرایط مختلف و نیز توسعه روشهای تحلیل و طراحی بود.

در فرانسه برنامه مطالعاتی کلوتره^۳ شامل شرکت کننده های حقیقی و حقوقی در سال ۱۹۸۶ آغاز به کار نمود. این پروژه تحقیقاتی شامل انجام آزمایشهای تمام مقیاس پایش سازه های تحت بهره برداری و مدلسازیهای عددی بود. استفاده از دیوارهای خاکی میخ کوبی شده در آمریکا نیز برای نگهداری حفاریهای موقت در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ آغاز گردید. یکی از اولین کاربردهای روش میخ کوبی خاک در آمریکا، نگهداری یک حفاری ۱۳/۷ متری در مایه های متراکم سیلتی^۴ برای توسعه بیمارستان گودسامارتیان در پورتلند اورگون^۵ در سال ۱۹۷۶ بود.

استفاده از دیوارهای خاکی میخ کوبی شده به تدریج در دهه گذشته در آمریکا رو به گسترش گذاشت. دلیل این امر امکان پذیر بودن اجرای این روش در بیشتر شرایط و همچنین به صرفه بودن از نظر اقتصادی نسبت به دیگر سیستمهای پایدار سازی حفاریهای بالا به پایین برای کاربردهای موقت و دائمی می باشد. بسیاری از دیوارهای میخ کوبی شده در آمریکا برای سازه های نگهدارنده موقتی استفاده می شوند در حالیکه استفاده از این روش به عنوان سازه های دائمی نیز در سالهای اخیر رو به گسترش بوده است.

۲-۲- اجزای اصلی یک دیواره خاکی میخ کوبی شده [۱]

شکل ۲-۱ مقطعی از یک دیواره میخ کوبی شده را نشان می دهد. اجزای زیر در این شکل ملاحظه می گردد:

۱) میله های مسلح کننده: میله های صلب مسلح کننده اصلی ترین بخش یک سیستم دیواره میخ کوبی هستند. این میله ها در سوراخ های از پیش حفاری شده قرار می گیرند و به صورت درجا اطراف آنها تزریق می گردد. تنش کششی نیز به صورت مقاوم در پاسخ به تغییر شکل مصالح نگهداشته شده در حین حفاری های بعدی در این میله ها ایجاد می شود.

۲) دوغاب تزریقی: دوغاب پس از قرارگیری میخ ها درون حفره مربوطه تزریق می شود. عملکرد اصلی دوغاب انتقال تنش از خاک به میخ است. همچنین دوغاب تا حدی وظیفه محافظت از میخ های فلزی در برابر خوردگی را نیز بر عهده دارد.

۳) کلاهک میخ: کلاهک میخ، انتهای رزوه کاری شده میخ است که نسبت به پوشش دیواره دارای کمی برآمدگی خواهد بود.

۴) مهره واشر و صفحه باربر: این عناصر به کلاهک میخ متصل می شوند و برای اتصال میخ به پوشش استفاده می گردند.

۵) پوشش موقت و دائمی: پوشش یکپارچگی سازه ای را فراهم می آورد. رویه موقت به عنوان سطح باربر عمل می کند و به صورت یک نگهدارنده برای خاک استفاده می گردد. این پوشش پیش از ادامه مراحل حفاری بر روی سطوح حفاری شده قرار می گیرد. پوشش دائمی پس از اینکه میخها نصب شدند و پیچ و مهره ها نیز کاملاً سفت گردیدند بر روی پوشش موقت اجرا می شود.

۶) نوارهای زهکشی کامپوزیت: این نوارها جهت جمع آوری و انتقال آب جاری که ممکن است به درون پوشش موقت نفوذ کند اجرا می شوند.

¹ University of Karlsruhe

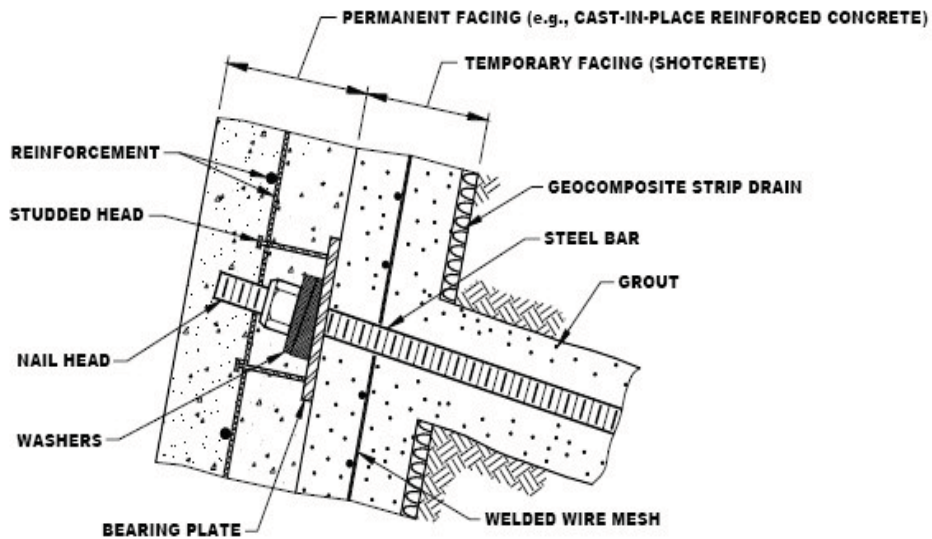
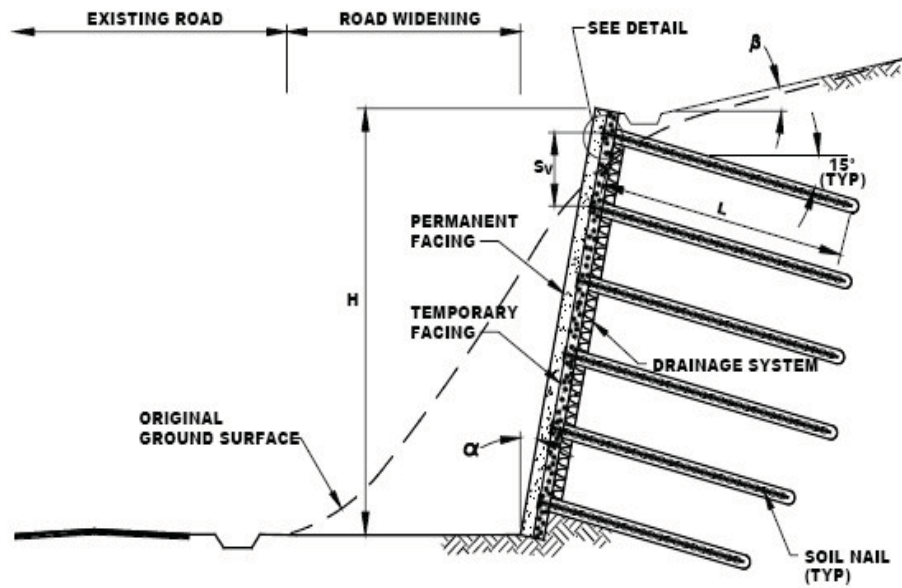
² Baur

³ Clouterre

⁴ silty lacustrine

⁵ Good Samaritan Hospital in Portland, Oregon

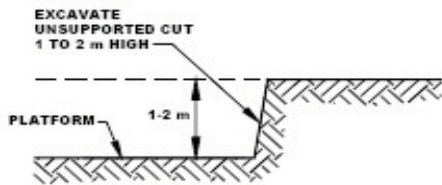
۷) محافظه‌های بیشتر در برابر خوردگی که در جایی که احتمال خوردگی میخ‌ها زیاد است به کار می‌رود.



شکل ۲-۱: مقطع عرضی نمونه از یک دیوار میخ کوبی شده [۱]

۲-۳- مراحل اجرای یک دیواره خاکی میخ کوبی شده [۱]

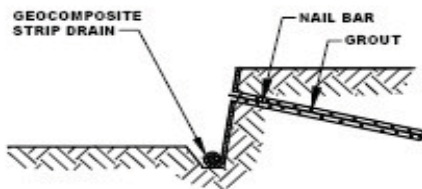
مراحل معمول اجرای یک دیواره میخ کوبی شده با استفاده از میله های صلب فولادی در زیر ارائه می شود و در شکل ۲-۲ نیز به صورت شماتیک ترسیم گردیده است.



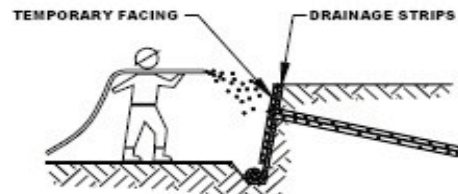
STEP 1. EXCAVATE SMALL CUT



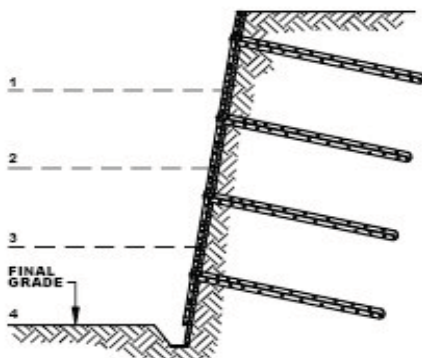
STEP 2. DRILL NAIL HOLE



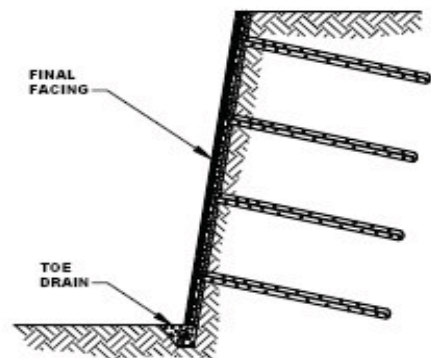
**STEP 3. INSTALL AND GROUT NAIL
(INCLUDES STRIP DRAIN INSTALLATION)**



**STEP 4. PLACE TEMPORARY FACING
(INCLUDES SHOTCRETE,
REINFORCEMENT,
BEARING PLATE, HEX NUT, AND
WASHERS INSTALLATION)**



**STEP 5. CONSTRUCTION OF
SUBSEQUENT LEVELS**



**STEP 6. PLACE FINAL FACING
ON PERMANENT WALLS
(INCLUDES BUILDING
OF TOE DRAIN)**

شکل ۲-۲: مراحل اجرای یک دیوار میخ کوبی شده [۱]