دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش مهندسی مکانیک خاک و پی

عنوان:

مقایسه روش آنالیز عددی و شبه استاتیکی دیوارهای میخکوبی شده و ارزیابی عملکرد آنها تحت اثر نیروی زلزله (مطالعه بر روی دیوارهای میخکوبی شده هتل های بین المللی ۳ تا ۵ نرگس مشهد)

استاد راهنما:

دکتر ایرج رحمانی

استاد مشاور:

دکتر سهیل قره

پژوهشگر:

اردلان اکبری حامد

تابستان ۱۳۹۰

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY
Central Tehran Branch

Faculty of Civil Engineering

"M.Sc" Thesis

On Civil Engineering

Subject:

Comparison between numerical analysis and pseudo-static analysis of soil nail walls under earthquake effects and evaluation performance of soil nail walls

Advisor:
Dr.Iraj Rahmani

Reader:
Dr.Soheil Ghareh

By:
Ardalan Akbari Hamed

Summer 2011

تشکر و قدر دانی :

پس از سپاس از درگاه خداوند متعال که هر چه دارم و خواهم داشت از اوست بر خود لازم می‌دانم از تمامی کسانی که مرا در نوشتن این پایان‌نامه یاری نمودند تشکر نمایم.

یکی از کسانی که فعالیت تحت نظرات و راهنمایی‌های ایشان تأثیر به سزایی در نحوه نگرش اینجانب نه تنها در مسائل علمی، بلکه در چگونگی اتخاذ مسیر هدفمند در زندگی ایجاد نمود استاد عزیز و گرانقدرم جناب آقای دکتر ایرج رحمانی می‌باشد. ارزنده‌ترین لحظات زندگی علمی من فرصت‌هایی بود که در مسیر تألیف این پایان‌نامه بنده را در کنار ایشان قرار داد. دقت نظر و تدبّر ایشان در بند بند این نوشته درسی است که تا لحظه آخر زندگی با من خواهد بود و همیشه خاطر نشان می‌کند که هیچ کار با ارزشی بدون زحمت بدست نخواهد آمد.

سر انجام از پدر ، مادر و خانواده عزیزم تشکر می‌کنم که تحت هر شرایطی، همواره یار و یاور من بودند و این فرصت را فراهم نمودند تا بتوانم به طور کامل بر فعالیت‌های علمی تمرکز داشته باشم و در مسیری هدفمند به سوی موفقیت گام بردارم.

اردلان اکبری حامد

تقدیم به :

پدر و مادر مهربان و عزیزم

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول : معرفی روش میخکوبی

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲-کاربردها ۲
۱-۳ - مراحل اجرای دیوارهای میخ کوبی شده ۳
۱-۳-۱ - خاکبرداری ۳
۱-۳- ۲ - حفاری سوراخ‌ها جهت قرار گیری میخ ۳
۱-۳ - ۳ - نصب میخ‌ها و اجرای دوغاب ریزی ٤
۱-۳-٤ - اجرای پوسته موقت ٥
۱-۳ - ٥ - احداث ترازهای بعدی خاکبرداری ٦
۱-۳- ٦ - احداث پوسته دائمی و نهایی ۷
۱-٤ - اجزای دیوارهای میخ کوبی شده ۸
۱-٥- تکنیک‌های نصب میخ ۱۰
۱-٥ - ۱- حفاری وملات ریزی ۱۰
۱-٥ - ۲- میخ‌های رانده شده ۱۰
۱-٥ - ۳ - میخ‌های پرتابه‌ای ۱۱
۱- ٥ - ٤ - میخ‌های ملات ریزی شده با فشار ۱۱
۱-٥ - ٥ - میخ‌های خود حفـار ۱۱
۱-٦- تجهیزات و ماشین آلات ۱۲
۱-٦-۱ دریل واگن ۱۲
۱-٦-۲- مته‌های مورد استفاده در سیستم حفاری ضربه ای ۱۳
۱-٦- ۳ - تجهیزات تزریق ۱٤
۱-۷ نحوه انتقال بار در دیوارهای میخ کوبی شده ۱٥
۱-۷-۱-حالات حدی ۱۹
۱-۸ مطالعات لرزه‌ای ۲۲
۱-۸-۱-کارهای تئوری ۲۲
۱-۸-۲- کارهای تجربی ۲٦
۱-۹ خلاصه بحث و نتیجه گیری ۲۸

فصل دوم : مطالعه پارامتریک پایداری دیوارهای میخکوبی شده تحت اثر زلزله به روش شبه استاتیکی و آنالیز عددی

۲-۱- مقدمه ۳۰
۲-۲-تحلیل شبه استاتیکی ۳۰
۲-۳ روش‌های محاسبه ضریب اطمینان ۳۱
۲-٤- تعریف و بررسی مدل میخکوبی در نظر گرفته شده ٤۱
۲-۵ مقایسه بین ضرایب اطمینان بدست آمده از روش تعادل حدی و عددی ٤۵
۲-۵-۱- در حالت استاتیکی ٤٦
۲-۵-۱-۱ مقایسه بین ضرایب اطمینان بدست آمده از روش تعادل حدی به ازای زوایای اصطکاکی مختلف ٤٦
۲-۵-۱-۲ مقایسه بین ضرایب اطمینان بدست آمده از روش عددی به ازای زوایای اصطکاکی مختلف ٤۷
۲-۵-۱-۳ مقایسه بین ضرایب اطمینان بدست آمده از روش تعادل حدی به ازای چسبندگی‌های مختلف ۵۰
۲-۵-۱-٤ مقایسه بین ضرایب اطمینان بدست آمده از روش عددی به ازای مقادیر چسبندگی مختلف ۵۱
۲-۵-۱-۵ مقایسه بین ضرایب اطمینان بدست آمده از روش تعادل حدی ۵۳
۲-۵-۱-٦ مقایسه بین ضرایب اطمینان بدست آمده از روش اجزای محدود ۵٤
۲-۵-۲ در حالت دینامیکی به روش شبه استاتیکی ۵۷
۲-۵-۲-۱- روش عددی ۵۷
۲-۵-۲-۲- روش تعادل حدی ۵۸
۲-٦ خلاصه بحث و نتیجه گیری ٦۰

فصل سوم: ارزیابی دیوارهای میخکوبی شده تحت بارهای لرزه‌ای سیکلی و نیروهای شبه استاتیکی

۳-۱- مقدمه ٦٤
۳-۲- روابط ارائه شده بین ضریب لرزه ای و شتاب لرزه ای در آیین نامه FHWA ٦۵
۳-۳- تعریف و بررسی مدل میخکوبی در نظر گرفته شده ٦۷
۳-٤- بررسی رابطه بین ضریب لرزه‌ای و شتاب لرزه‌ای ۷۲
۳-٤-۱ - تحلیل شبه استاتیکی ۷٤
۳-٤-۲ تحلیل سیکلی ۷٦
۳-٤-۲-۱-فرکانس تشدید ۷۷
۳-٤-۲-۲-میرایی ۷۹
۳-۵- خلاصه بحث و نتیجه گیری ۹٦

فصل چهارم : بررسی عدم قطعیت ضریب لرزه‌ای بر روی دیوارهای میخکوبی شده

٤-۱ مقدمه ۹۸
٤-۲ مفاهیم شبیه سازی ۹۹
٤-۳ هدف مشابه سازی ۱۰۲
٤-۳-۱ احتمال گسیختگی ۱۰۲

٤-٣-٢ شاخص اعتمادپذیری ١٠٢
٤-٣-٣ مقادیر مجاز احتمال گسیختگی و شاخص اعتماد پذیری ١٠٣
٤-٤- تعریف و بررسی مدل میخکوبی در نظر گرفته شده ١٠٤
٤-٥ منبع عدم قطعیت ١٠٧
٤-٦ تحلیل مونت کارلو ١٠٧
٤-٧ خلاصه بحث و نتیجه گیری ١١٠
فصل پنجم: جمع بندی و نتیجه گیری
٥-١ مقدمه ١١٢
٥-٢ نتیجه گیری ١١٣
٥-٢-١ نتایج حاصل از تحلیل پارامتریک پایداری دیوارهای میخکوبی شده به کمک روش‌های مختلف ١١٣
٥-٢-٢-نتایج حاصل از تحلیل دیوارهای میخکوبی شده تحت بارهای لرزه‌ای و نیروهای شبه استاتیکی ١١٥
٥-٢-٣-نتایج حاصل از عدم قطعیت بر روی ضرایب لرزه‌ای وارده بر دیواره‌های میخکوبی شده ١١٦
٥-٣ پیشنهادات ١١٧
فهرست منابع و ماخذ ١١٨

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱:فرضیات روشهای مختلف طراحی شبه استاتیکی ۲۶
جدول ۲-۱ : مشخصات و ویژگی میخهای استفاده شده در این مدل ۴۲
جدول ۲-۲ : مشخصات لایه‌های مختلف ۴۳
جدول ۲-۳:ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی به ازای زوایای اصطکاکی متفاوت ۴۶
جدول ۲-٤:ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود به ازای زوایای اصطکاکی متفاوت ۴۷
جدول۲-۵ : ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود و روشهای مختلف تعادل حدی ۴۸
جدول ۲-٦:ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی به ازای چسبندگی‌های متفاوت ۵۰
جدول ۲-۷:ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود به ازای چسبندگی‌های متفاوت ۵۱
جدول ۲-۸:ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی و روش اجزای محدود ۵۲
جدول ۲-۹:ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی به ازای وزن مخصوص‌های متفاوت ۵۳
جدول ۲-۱۰:ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود به ازای وزن مخصوص‌های متفاوت ۵٤
جدول ۲-۱۱:ضرایب اطمینان حاصل از روش‌های مختلف تعادل حدی وعددی ۵۵
جدول ۲-۱۲ :ضرایب اطمینان حاصل از روش اجزای محدود به ازای ضرایب لرزه‌ای متفاوت ۵۸
جدول ۲-۱۳:ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی به ازای ضرایب لرزه‌ای متفاوت ۵۸
جدول ۲-۱٤:ضرایب اطمینان حاصل از روش تعادل حدی و اجزای محدود ۵۹
جدول ۳-۱:مشخصات ژئوتکنیکی گود هتل نرگس مشهد ۷۰
جدول ۳-۲ مشخصات میخ‌های استفاده شده در گود هتل نرگس مشهد ۷۱
جدول ۳-۳:ضرایب اطمینان بدست آمده از ضرایب لرزه ای(Kh) مختلف ۷٤
جدول ۳-۵:نتایج حاصل از یک بارگذاری ثابت به ازای فرکانس‌های متفاوت ۷۸
جدول ۳-٦:تغییر مکان‌های بدست آمده در میخ‌های پایینی دیواره به ازای شتابهای لرزه‌ای مختلف ۸۵
جدول ۳-۷:تغییر مکان‌های بدست آمده در میخ‌های پایینی دیواره به ازای شتابهای لرزه‌ای مختلف ۸۷
جدول ۳-۹:تغییر مکان‌های بدست آمده در میخ‌های پایینی دیواره به ازای شتابهای لرزه‌ای مختلف ۹۱
جدول ۳-۱۰:تغییر مکان‌های بدست آمده در میخ‌های پایینی دیواره به ازای شتابهای لرزه‌ای مختلف ۹۳
جدول ۳-۱۱:تغییر مکان‌های بدست آمده در میخ‌های پایینی دیواره به ازای شتابهای لرزه‌ای مختلف ۹۵
جدول ٤-۱: نتایج آزمون دو روی سکه ۱۰۰
جدول ٤-۲:مشخصات خاک در پروژه پایدارسازی بخشی از خط انتقال راه آهن تهران – تبریز ۱۰٦
جدول ٤-۳:مشخصات میخها ۱۰٦

فهرست نمودار

عنوان **صفحه**

نمودار ۲-۱:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش‌های مختلف تعادل حدی ٤٧
نمودار ۲-۲: ضرایب اطمینان بدست آمده از تحلیل عددی..... ٤٨
نمودار ۲-۳:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش‌های مختلف ٤٩
نمودار ۲-٤:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش‌های مختلف تعادل حدی ٥٠
نمودار ۲-٥:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش اجزای محدود ٥١
نمودار ۲-٦:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش‌های مختلف ٥٢
نمودار ۲-۷نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش‌های مختلف تعادل حدی ٥٤
نمودار ۲-۸:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش اجزای محدود ٥٥
نمودار ۲-۹:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش‌های مختلف تعادل حدی و عددی..... ٥٦
نمودار ۲-۱۰:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش عددی در مقابل ضرایب لرزه‌ای متفاوت ٥٨
نمودار ۲-۱۱:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش‌های مختلف تعادل حدی..... ٥٩
نمودار ۲-۱۲:نتایج حاصل از ضرایب اطمینان روش‌های مختلف..... ٦٠
نمودار ۳-۱:ضرایب اطمینان (FS) حاصل از تحلیل شبه استاتیکی ٧٤
نمودار ۳-۲:تغییرمکان‌های حاصل از تحلیل شبه استاتیکی ٧٦
نمودار ۳-۳:تغییر مکان قسمت‌های مختلف دیواره به ازای یک بار ثابت و فرکانس‌های مختلف ٧٩
نمودار ۳-٤:تغییرمکانهای حاصل از بارگذاری لرزه‌ای بر روی دیواره ٨٥
نمودار ۳-٥:تغییرمکانهای حاصل از بارگذاری لرزه‌ای بر روی دیواره ٨٧
نمودار ۳-٦:تغییرمکانهای حاصل از بارگذاری لرزه‌ای بر روی دیواره ٨٩
نمودار ۳-۷:تغییرمکانهای حاصل از بارگذاری لرزه‌ای بر روی دیواره ٩١
نمودار ۳-۸:تغییرمکانهای حاصل از بارگذاری لرزه‌ای بر روی دیواره ٩٣
نمودار ۳-۹:تغییرمکانهای حاصل از بارگذاری لرزه‌ای بر روی دیواره ٩٥

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱:مرحله اول میخ کوبی ۳
شکل ۱-۲:مرحله دوم میخ کوبی ٤
شکل ۱-۳:مرحله سوم میخ کوبی شامل نصب و دوغاب ریزی ٥
شکل ۱-٤:مرحله چهارم میخ کوبی اجرای دیواره موقت بتن پاشیده ٦
شکل ۱-٥:اجرای مراحل دیگر دیواره همانند مراحل قبلی ۷
شکل ۱-٦:مرحله نهایی احداث دیواره دائمی با توجه به نوع پروژه ۷
شکل ۱-۷:اجزای دیوارهای میخ کوبی شده ۹
شکل ۱-۸:نمونه‌ای از یک دستگاه خودحفار ۱۲
شکل ۱-۹:نمونه‌ای از یک دستگاه دریل واگن(شرکت نوفن) ۱۳
شکل۱-۱۰:صفحات گسیختگی محتمل ونیروی کششی میخ ۱۷
شکل۱-۱۱:بحرانی ترین حالت پایداری در خلال ساخت ۱۹
شکل۱-۱۲:حالتهای گسیختگی محتمل سیستم دیوارهای میخ گذاری شده ۲۱
شکل ۱-۱۳:فرضیات روشهای مختلف طراحی شبه استاتیکی دیوارهای میخکوبی شده و خاک مسلح ۲٥
شکل ۱-۱٤:مکانیسم گسیختگی خاک در آزمایش سانتریفیوژ دینامیکی ۲۷
شکل ۲-۱:محاسبه ضریب اطمینان به روش فلنیوس ۳۲
شکل ۲-۲:قطعه در نظر گرفته شده در روش بیشاپ ۳٤
شکل ۲-۳:قطعه در نظر گرفته شده در روش جانبو ۳۷
شکل ۲-٤:روش مورگنسترن ٤۰
شکل ۲-٥:مدل المان بندی شده دیواره ٤۲
شکل ۲-٦:مدل المان بندی شده دیواره ٤۳
شکل ۳-۱:مدل گود میخکوبی شده هتل نرگس به صورت المان بندی ۱٥ گرهی ٦۸
شکل ۳-۲:ابعاد گود میخکوبی شده هتل نرگس مشهد ٦۹
شکل ۳-۳ سطح گسیختگی در تحلیل‌های سیکلی و شبه استاتیکی ۷۲
شکل ۳-٤ طرح شماتیک از الگوی گسیختگی در دیوارهای میخکوبی شده ۷۳
شکل ۳-٥:تغییر مکان‌های افقی در ۳ میخ پایینی دیواره تحت ضریب لرزه ای ۰/۱g ۷٥
شکل ۳-٦:مثالی از تغییر ضرایب میرایی ۸۱

شکل ۳-۷:بارگذاری دیواره تحت بار سیکلی با فرکانس ۲ هرتز ، با دامنه های ۰/۳g، ۰/۲۵ و۰/۱۷ ..... ۸٤
شکل ۳-۸:بارگذاری دیواره تحت بار سیکلی با فرکانس ۲ هرتز ، با دامنه های ۰/۲۵g، ۰/۲۲ و۰/۱۷ ..... ۸٦
شکل ۳-۹:بارگذاری دیواره تحت بار سیکلی با فرکانس ۲ هرتز ، با دامنه های ۰/۲۲g، ۰/۱۹ و۰/۱۷..... ۸۸
شکل ۳-۱۰:بارگذاری دیواره تحت بار سیکلی با فرکانس ٤ هرتز ، با دامنه های ۰/۳g، ۰/۲۵ و۰/۱۷..... ۹۰
شکل ۳-۱۱:بارگذاری دیواره تحت بار سیکلی با فرکانس ٦ هرتز ، با دامنه های ۰/۳g، ۰/۲۵ و۰/۱۷ ..... ۹۲
شکل ۳-۱۲:بارگذاری دیواره تحت بار سیکلی با فرکانس ۸ هرتز ، با دامنه های ۰/۲۵g، ۰/٤ و ۰/۱۷ ..... ۹٤
شکل ٤-۱: احتمال وقوع شیر سکه..... ۹۹
شکل ٤-۲: نمودار تابع توزیع احتمال..... ۱۰۳
شکل ٤-۳: مقادیر مجاز احتمال گسیختگی و شاخص اعتماد پذیری..... ۱۰٤
شکل ٤-٤:پایدارسازی بخشی از خط انتقال راه آهن تهران – تبریز به روش میخکوبی..... ۱۰۵
شکل ٤-۵:توزیع نرمال..... ۱۰۸
شکل ٤-٦:تابع توزیع شتاب شبه استاتیکی..... ۱۰۹
شکل ٤-۷:تابع چگالی احتمال(ضریب اطمینان-فراوانی)..... ۱۱۰

چکیده

میخکوبی خاک یک روش پایدار سازی شیب‌ها و گودها می‌باشد که به دلیل انعطاف پذیری ، سرعت و سهولت اجرا و نیز اقتصادی تر بودن نسبت به دیگر سیستم‌های پایدارسازی ، طی سه دهه اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته است. با بررسیهای انجام شده در نقاط مختلف دنیا و مطالعات انجام گرفته بر روی زلزله‌های گذشته، رفتار سازه‌های خاک مسلح شامل مجموعه‌ای از عوامل در ارتباط با یکدیگر می‌باشند که هر یک دارای تاثیر مشخص بر رفتار کل مجموعه سازه می‌باشد. بدین منظور، مطالعات گسترده‌ای بر روی هر یک از این عوامل انجام شده تا شناخت بهتری از رفتار سازه تحت بارهای لرزه‌ای ارائه گردد. در این تحقیق تحلیل عددی بر روی دیواره گود هتل نرگس مشهد که به صورت میخکوبی شده پایدار گشته، انجام شده است. ابتدا مدل تحت بارهایی با زمان معین و تحت شتاب سینوسی با دامنه یکسان و فرکانس‌های مختلف قرار گرفت. با استفاده از مفهوم پدیده تشدید و تفسیر پاسخ‌های سازه در نقاط مشخص برروی مدل ، فرکانس دیواره خاکی حاصل شد. سپس دو تحلیل عددی(سیکلی و شبه استاتیکی) به جهت ارزیابی لرزه‌ای دیواره با استفاده از نرم افزار plaxis انجام گردید. بر اساس مقایسه بین تغییر مکان دیواره در دو روش تحلیلی مورد نظر روشی آسان جهت دستیابی به ضریب لرزه‌ای از حداکثر شتاب زمین حاصل می‌شود. روش ارائه شده بر اساس این فرض می‌باشد که گسیختگی در هر دو روش به ازای تغییر مکان یکسانی در میخ‌های پایینی صورت می‌پذیرد.

در دیواره‌های میخکوبی شده، نامعینی‌هایی مانند تغییر پذیری خصوصیات خاک ، فرضیات ساده کننده در روش‌های مختلف، عدم مشخص بودن ضرایب لرزه‌ای وارده و... وجود دارد . معمولا مهندسین در طراحی دیوارهای میخکوبی شده، با استفاده از روش‌های قطعی، تنها به محاسبه ی یک عدد به عنوان ضریب اطمینان اکتفا می‌کنند. اما با استفاده از روش‌های احتمالاتی، میتوان کلیه ی نامعینی‌ها و عدم قطعیت‌های موجود را در تحلیل منظور نمود. از اینرو ، جهت لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها در دیوارهای میخ کوبی شده، تحلیل احتمالاتی پروژه پایدار سازی بخشی از دیواره خط راه آهن تهران- تبریز، انجام و با نتایج قطعی حاصل از روش‌های تعادل حدی مقایسه شد نتایج حاصل از تحلیل احتمالاتی بیانگر عملکرد نسبتاً خوب دیواره‌های میخکوبی شده دائمی تحت عدم قطعیت‌های مذکور به روش مونت کارلو می‌باشد.

فصل اول

معرفی روش میخکوبی

۱-۱- مقدمه

با افزایش تراکم در عرصه‌های محدود و در نواحی پر تراکم شهری بر تعداد طبقات زیر زمینی وعمق گودبرداری افزوده گشته است. گسترش روز افزون شهرها و نیاز به فضاهای کار و سکونت از یک طرف وافزایش شدید قیمت زمین در شهرهاواز سوی دیگر ضرورت استفاده حداکثری از زمین باعث گشته که احداث ساختمان‌های مرتفع اداری،تجاری ومسکونی با طبقات متعدد در زیر زمین اجرا گردند. از این رو با افزایش عمق گودبرداری،خطرات ناپایداری وگسیختگی دیواره‌های گودبرداری به شدت افزایش می‌یابد.

هزینه اجرای دیوارهای حایل و به طور کلی روش‌های کلاسیک معمول ،مهندسان طراح را به سمت استفاده از روش‌های دیگر پایدارسازی سوق داد به طوریکه به تدریج ، سیستم‌های انعطاف پذیر با نشست‌های نسبی بیشتر ، جانشین روش‌های کلاسیک معمول گشتهکه از جمله این روش ها، روش میخکوبی(soilnailing) ،مهاری ، جداربرلنی و.. می‌باشد.در ادامه با توجه به استفاده روزافزون از روش میخکوبی در پایداری دیواره گودها در کشورمان به مطالعه این روش می‌پردازیم.

میخ کوبی در توده خاک شامل میلگردهایی است که با فاصله نزدیک اجرا و متعاقبا با دوغاب پوشانده می‌شوند. هنگامی که مراحل اجرای میخ‌ها از بالا به پایین اجرا گردیـــد، برای همبستگی بهتر میخ‌ها یک دیواره بتنی مسلح

در سطح خاکبرداری اجرا می‌گردد.میخ کوبی در خاک به طور معمول در پایداری شیب‌های طبیعی و خاکبرداری‌ها کاربرد دارد و به علت نحوه اجرای آن که از بالا به پایین می‌باشد نسبت به دیگر روشهادارای مزیت می‌باشد.

برخی از کاربردهای این روش عبارتند از :

۱- مهار گود برداری

۲- پایدار سازی شیروانی‌های مصنوعی و طبیعی

۳- تقویت وتعمیر سازه‌های نگهبان موجود که دچار زوال شده اند

۴- جایگزین مناسب برای سیستم خاک مسلح وشمع در جا وزمین مهار

۱-۲-کاربردها

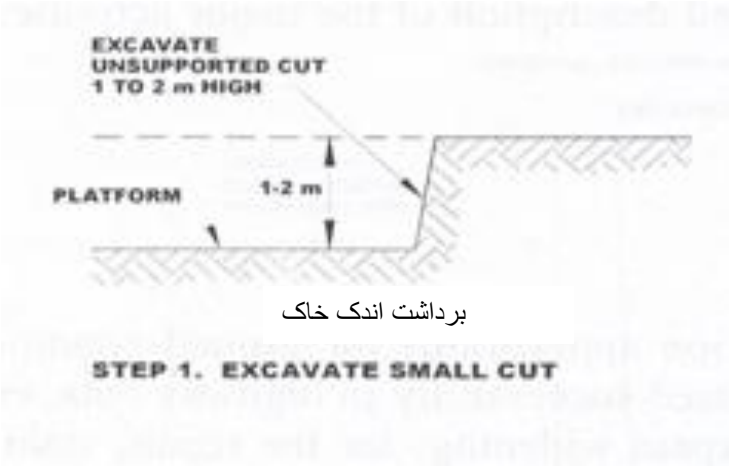
با پیشرفت‌های به وجود آمده در راهسازی وراه آهن و عبور این گونه راه‌ها از مناطق کوهستانی مشکلات اجرایی زیادی برای مهندسان به وجود آمده است که از جمله آنها پایدار سازی شیبها و ساخت دیوارهای نگهدارنده در شرایط سخت محیطی است.از طرفی حفاری در خاک‌های نرم برای اجرا زیر زمین‌ها و سازه‌های مدفون مستلزم پایدار نگهداشتن دیواره‌های حفاری است که این خود نیز مشکلات ویژه‌ای دارد .هزینه‌های بالای اجرای دیوارهای حایل صلب و به طور کلی معایب روش‌های معمول مهندسان طراح را به سمت استفاده از روش‌های دیگرپایدار سازی سوق داده ، به طوریکه به تدریج سیستم‌های انعطاف پذیر با نشست پذیری نسبی بیشتر جایگزین سازه‌های معمول نگهدارنده شده اند.

اساس سیستم خاک مسلح بر مبنای استفاده از مصالحی است که توانایی تحمل تنش‌های کششی بالایی رادارند، به گونه‌ای که توده خاک مسلح شده پایدار باشد. در راستای استفاده موثر از خاک مسلح ،استفاده از روش‌های جدیدتری نظیرمیخ کوبی معمول شده است. سیستم‌های مهاربندی و میخ‌کوبی جهت پایدارسازی ونگهداری سازه‌های خاکی طراحی می‌شوند تا توسط عناصر کششی تغییر مکان سازه را محدود نمایند. اساس طراحی این عناصر برمبنای انتقال بار از طریق اصطکاک یا چسبندگی در ناحیه فصل مشترک خاک ومصالح تسلیح می باشد.

۱-۳ - مراحل اجرای دیوارهای میخ کوبی شده

۱-۳-۱ - خاکبرداری :

با عمق ۱ الی ۲ متر با توجه به توانایی خاک درپایدار ماندن بدون مهار برای مدت زمان ۲٤ تا ٤۸ ساعت می‌باشد . پهنای خاکبرداری باید به حدی باشد که براحتی بتوان تجهیزات لازم جهت حفاری را نصب نمود[۱] .



شکل ۱-۱:مرحله اول میخ کوبی[۱]

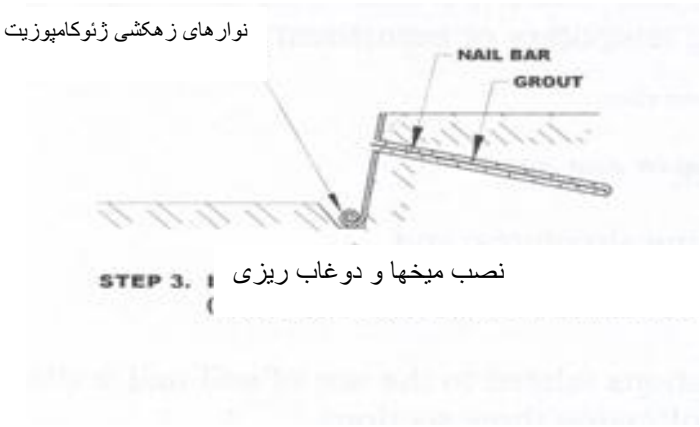
۱-۳- ۲ - حفاری سوراخ‌ها جهت قرار گیری میخ :

سوراخ‌ها باید به طول ، قطر ، جهت و فواصل معیـــنی بر اساس مراحل تعیین شده ایجاد گردند.

شکل ۱-۲:مرحله دوم میخ کوبی[۱]

۱-۳ - ۳ - نصب میخ‌ها و اجرای دوغاب ریزی :

میخ‌ها در سوراخ‌های حفر شده جای می‌گیرند . میخ‌ها به طور رایج تو پر می‌باشند، اگرچه میخ‌های توخالی فولادی نیز اجرا می‌گردند. برای آنکه میخ‌ها به خوبی توسط دوغاب احاطه شوند فاصله گذارهایی جهت نگه داری فواصل بین میخها و دیواره داخلی سوراخ‌ها بر روی میخها تعبیه گشته است. لوله‌های تزریق (tremie) نیز در همین زمان به داخل سوراخ‌ها هدایت می‌شوند. زمانی که محافظت در برابر خورندگی و فرسایش ضروری باشد، از پوششهای موج دار پلاستیکی استفاده می‌شود که از خورندگی بیشتر میخ‌ها می‌کاهد. سپس سوراخ‌ها توسط لوله‌های تزریق با ملات پر می‌گردد. دوغاب ریزی توسط فشار جاذبه و یا با فشار اندکی اجرا می‌گردد. اگر میله-های توخالی خود حفار به کار روند ، حفاری و تزریق در یک مرحله از عملیات صورت می‌گیرد. قبل از اجرای گام چهارم (اجرای پوسته) نوارهای زهکشی ژئوکمپوزیت بر روی نمای سطح خاکبرداری در بخشهای میانی در مجاورت مکان‌هایی که میخ کوبی شده اجرا می‌گردند.نوارهای زهکشی لوله شده در پاشنه خاکبرداری اولیه برای نصب در مرحله بعد باقی می‌ماند. نوارهای زهکشی می‌بایستی تا انتهای دیواره ادامه یافته و آب را به پاشنه نهایی انتقال داده و در نهایت آن را توسط پاشنه زهکشی به خارج از خاکریز برساند[۱] .

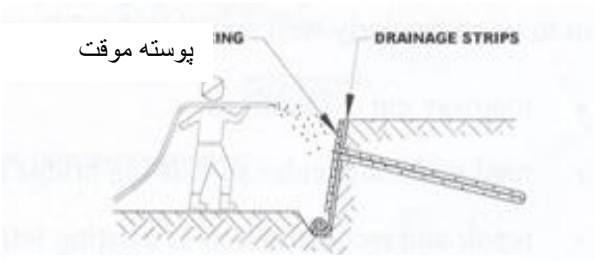


شکل ۱-۳:مرحله سوم میخ کوبی شامل نصب و دوغاب ریزی[۱]

۱–۳–٤ – اجرای پوسته موقت (shotcrete Facing) :

پوسته موقت برای ایجاد تکیه گاه و مهار سطح خاکبرداری قبل از مراحل بعدی حفاری اجرا می‌گردد. رایج ترین دیواره موقتی که اجرا می‌شود شامل یک لایه مسلح کننده سبک به همراه لایه بتن پاشیده(shotcrete) به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر (٤ اینچ) می‌باشد. مسلح کننده شامل شبکه‌ای از سیم‌های جوشداده شده می‌باشند که تقریبا در وسط ضخامت بتن پاشیده اجرا می‌شوند. طول شبکه سیمی به گونه‌ای باید باشد که حداقل یک چشمه کامل شبکه با پانل بعدی شبکه سیمی هم پوشانی برقرار کند. در طی مرحله بعدی صفحات باربر بر روی سر میخ‌ها بر آمده از سوراخ‌ها نصب می‌گردند. سپس میخ‌ها به آرامی وبا فشار کمی به لایه تازه بتن ریزی شده پرس می‌شوند. مهره شش وجهی و واشرها متعاقبا بر روی سر میخ‌ها بر صفحه باربر محکم نصب می‌گردند.

اگر لازم باشد ممکن است آزمایشهایی بر روی میخ‌های اجرا شده برای اندازه گیری جابه جایی و اثبات ظرفیت باربری قبل از مرحله حفر خاکبرداری بعدی صورت پذیرد. قبل از شروع مرحله بعدی خاکبرداری منطقه بتن پاشی شده باید حداقل به مدت ۷۲ ساعت و یا دست یافتن به مقاومت فشاری ۳ روزه (به طور نمونه ۱۰/۵ مگا پاسکال) به خوبی حفاظت شود[۱] .

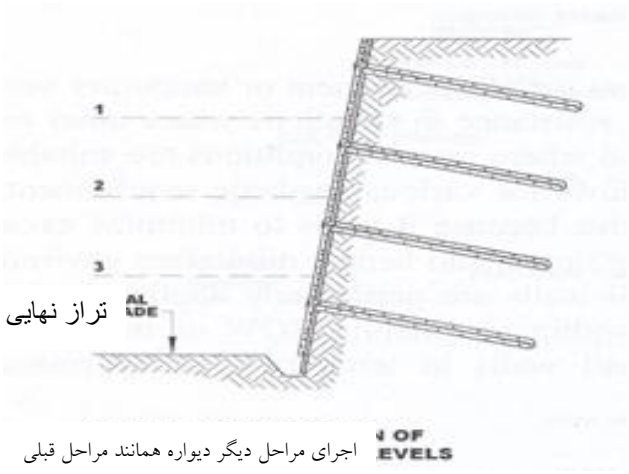


مرحله چهارم میخ کوبی اجرای دیواره موقت بتن پاشیده (شامل نصب شبکه سیمی، بتن پاشی ، نصب صفحه فولادی،پیچ و واشر)

شکل ۱-٤:مرحله چهارم میخ کوبی اجرای دیواره موقت بتن پاشیده (شامل نصب شبکه سیمی، بتن پاشی ، نصب صفحه فولادی،پیچ و واشر) [۱]

۱-۳ – ۵ - احداث ترازهای بعدی خاکبرداری :

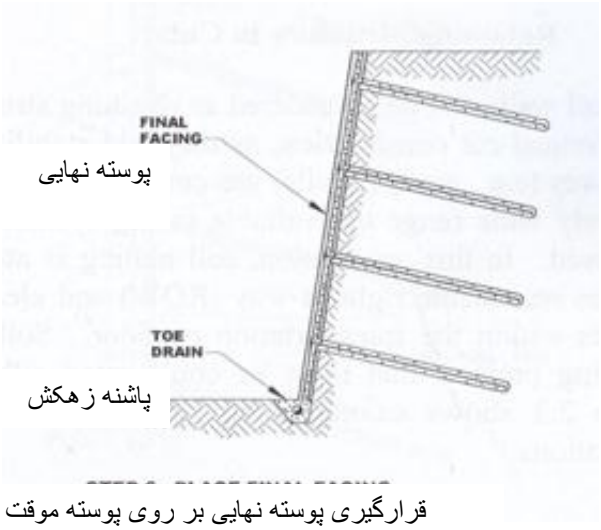
گام‌های اول تا چهارم برای پایداری خاکریز اجرا می‌شود. در هر مرحله از خاکبرداری نـــوارهای عمودی زهکشی تا پایین خاکـــریز ادامه پیدا می‌کنند. پانل جدیدی از شبکه سیمی متعاقبا برای یک لایـــه همپوشانی کامل اجرا می‌گردد. بتن‌های پاشیده موقـــت اجرا شده به وسیله اتصالات سرد به بتن پاشیده قبلی خاکبـــرداری شده متصـــل می‌گـــردد. در انتهای خاکبرداری نوارهـــای زهکشی در پاشنه خاکریز جمـــع می‌شوند و پاشنه زهکـــش دیـــواره را تشکیل می‌دهند[۱] .



شکل ۱-۵:اجرای مراحل دیگر دیواره همانند مراحل قبلی[۱]

۱-۳- ٦ - احداث پوسته دائمی و نهایی (در صورت نیاز) :

پس از آنکه خاکبـــرداری به تراز مورد نظر رسید و میـــخ‌ها نصب گشتند و آزمایشهای بارگذاری صورت پذیرفت پوستـــه و نمای نهایـــی احداث می‌گردد . پوسته نهایی ممکـــن است شامل بتن درجای مسلح (CIP) ، بتن پاشیده مسلح و یا پانلهای بتنی پیش ساخته باشد . آرماتورهای روکش دائم ، همان میلگردهای معمولی یا شبکه سیمی می‌باشد [۱].



شکل ۱-٦:مرحله نهایی احداث دیواره دائمی با توجه به نوع پروژه[۱]

گام‌های مختلف دیگری نیز ممکن است با توجه به نوع و شرایط پروژه ضروری باشند. برای مثال در حالتیکه پایداری شیب در اثر خاکبرداری ناپایدار و بحرانی گردد بتن پاشیده ممکن است بلا فاصله بعد از هر مرحله خاکبرداری و قبل از حفر سوراخ‌ها و نصب میخ‌ها اجرا گردد[۱] .

۱-۴ - اجزای دیوارهای میخ کوبی شده

نمونه‌های رایج دیوارهای میخ کوبی شده بدین صورت اجرا می‌گردند که جای قرارگیری میخ‌ها (میلگردها) به وسیله دستگاه حفاری سوراخ گشته و میخ‌ها پس از نصب در سوراخ با تزریق دوغاب در خاک استقرار می‌یابند . در شکل ۱-۷ مقطعی از یک نمونه رایج دیوار میخ کوبی شده نشان داده شده است که اجزاء آن را می‌توان به صورت زیر شرح داد[۱] :