دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

(گرایش خاک و پی)

تحلیل عددی رفتار دیوارهای حائل میخ‌کوبی شده تحت بارهای لرزه‌ای

توسط:

آرمان بدرزاده

استاد راهنما:

دکتر کاظم فخاریان

زمستان ۱۳۸۷

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: آرمان بدرزاده — دانشجوی آزاد ● — بورسیه ○ — معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۲۴۰۸۰ — دانشکده: مهندسی عمران و محیط زیست — رشته تحصیلی: مکانیک خاک و پی گروه:

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر کاظم فخاریان — درجه و رتبه: استادیار

نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : تحلیل عددی رفتار دیوارهای حائل میخ‌کوبی شده تحت بارهای لرزه‌ای

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Numerical analysis of soil-nailed walls under seismic load

نوع پروژه: کارشناسی○ — ارشد● — دکترا ○ — سال تحصیلی: ۸۶-۸۷

کاربردی ● — بنیادی ○ — توسعه‌ای ○ — نظری○

تاریخ شروع : ۱۳۸۶/۰۷/۰۱ — تاریخ خاتمه : ۱۳۸۷/۱۱/۱۴ — تعداد واحد : ۶ — سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: میخ‌کوبی، مدل‌سازی عددی، مدل هیستریتیک، پاسخ لرزه‌ای، تحلیل دینامیکی

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Soil-nail, Hyperbolic non linear model, Seismic response, Seismic loads, FLAC

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۴۲	تصویر● جدول● نمودار ● نقشه ○ واژه‌نامه ○		تعداد مراجع ۳۵	تعداد صفحات ضمائم ۰
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی ●
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

۲ : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)

فصل اول: مقدمه

۱-۱- کلیات ۱

۱-۲- بیان مسئله ۴

۱-۳- اهداف پژوهش ۵

۱-۴- محدوده و روش تحقیق ۵

۱-۵- فصل‌های مختلف ۶

فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی

۲-۱- کلیات ۷

۲-۲- تاریخچه، مراحل و روش ساخت ۸

۲-۲-۱- اجزاء سازنده و روش ساخت ۹

۲-۳- انواع گسیختگی ۱۴

۲-۴- مقایسه دیوارهای میخ‌کوبی شده با دیوارهای خاک مسلح و دیوارهای پیش‌تنیده ۱۶

۲-۵- معرفی روش شبه استاتیکی ۱۹

۲-۶- بررسی مطالعات صورت گرفته بر سیستم میخ‌کوبی ۲۳

۲-۶-۱- مطالعات استاتیکی ۲۳

۲-۶-۲- مدل سازی عددی استاتیکی ۲۶

۲-۶-۳- مدل‌سازی آزمایشگاهی دینامیکی ۳۸

۲-۶-۳-۱- آزمایش سانتریفوژ ۳۸

۲-۶-۳-۲- آزمایش‌های میز لرزه ۴۲

۲-۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۴۵

فصل سوم: مدل سازی و بررسی صحت عملکرد آن

۳-۱- کلیات ۴۶

۳-۲- معرفی مدل عددی ۴۷

۳-۳- مدل سازی ۴۸

۳-۳-۱- مدل خاک ۴۸

۳-۳-۱-۱- خاک در حالت الاستیک ۴۹

۳-۳-۱-۲- خاک در حالت پلاستیک ۵۲

۳-۳-۲- مدل مسلح کننده‌ها ۵۴

۳-۳-۳- مدل سازی رویه ۵۶

۳-۳-۴- مدل سازی سطح تماس (Interface) ۵۶

۳-۴- شرایط مرزی و بارگذاری ۵۷

۳-۴-۱- حالت استاتیکی ۵۷

۳-۴-۲- حالت دینامیکی ۵۷

۳-۵- هندسه مدل ساخته شده ۵۸

۳-۶- بررسی صحت عملکرد مدل ۵۹

۳-۶-۱- مدل شیروانی خاکی ۶۰

۳-۶-۲- بررسی صحت عملکرد مدل در حالت استاتیکی ۶۰

۳-۶-۲-۱- مشخصات دیوار مدل شده ۶۳

۳-۶-۲-۲- بررسی و مقایسه نتایج ۶۶

۳-۶-۳- بررسی صحت عملکرد در حالت دینامیکی ۷۱

۳-۷- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۷۷

فصل چهارم: مطالعات پارامتریک

۴-۱- کلیات ۷۸
۴-۲- خصوصیات مدل ۷۹
۴-۳- تحلیل دینامیکی مدل با مشخصات مبنا ۸۲
۴-۴- اثر خصوصیات خاک میخ‌کوبی شده ۸۶
۴-۴-۱- اثر زاویه اصطکاک داخلی خاک ۸۷
۴-۴-۲- اثر چسبندگی خاک ۹۱
۴-۵- اثر خصوصیات میخ ۹۴
۴-۵-۱- اثر مدول الاستیسیته میخ‌ها ۹۵
۴-۵-۲- اثر قطر میخ‌ها ۹۸
۴-۵-۳- اثر طول میخ‌ها ۱۰۱
۴-۵-۴- اثر فاصله افقی میخ‌ها از یکدیگر ۱۰۴
۴-۵-۵- اثر زاویه قرارگیری میخ‌ها ۱۰۷
۴-۵-۶- اثر سربار ۱۱۰
۴-۶- اثر تحریک دینامیکی ۱۱۲
۴-۶-۱- اثر دامنه حداکثر شتاب ورودی ۱۱۲
۴-۶-۲- اثر فرکانس ورودی به سیستم ۱۱۵
۴-۶-۳- اثر میرایی در برابر تغییر فرکانس سیستم ۱۱۷

فصل پنجم: خلاصه و جمع‌بندی

۵-۱- کلیات ۱۱۸

۵-۲- اثر پارامترهای مختلف بر رفتار دیوار ۱۱۹

۵-۲-۱- اثر پارامترها بر حداکثر تغی‌ی‌ر شکل افقی روی‌ه ۱۱۹

۵-۲-۲- اثر پارامترها بر نی‌روی ای‌جاد شده در می‌خ‌ها ۱۲۲

۵-۳- گسیختگی خارجی ۱۲۴

۵-۳-۱- گسیختگی کلی ۱۲۷

۵-۳-۲- لغزش ۱۲۸

۵-۳-۳- ظرفیت باربری ۱۲۸

۵-۴- پایداری داخلی ۱۲۸

۵-۴-۱- فاصله افقی و قائم میخ‌ها ۱۲۸

۵-۴-۲- طول میخ‌ها ۱۲۹

۵-۴-۳- نیروی ایجاد شده ۱۲۹

۵-۵- تحلیل و بررسی دیوار میخ‌کوبی شده در شرایط واقعی ۱۳۰

۵-۵-۱- ساخت دیوار و مشخصات خاک محل ۱۳۰

۵-۵-۲- مشخصات میخ‌ها ۱۳۱

۵-۵-۳- بررسی صحت عملکرد مدل در حالت استاتیکی ۱۳۲

۵-۵-۴- شتاب زلزله وارد به مدل ۱۳۳

۵-۵-۵- نتایج تحلیل ۱۳۵

۵-۶- نتیجه‌گیری و پیامدهای طراحی ۱۳۸

۵-۷- پیشنهاد برای تحقیق آینده ۱۳۹

فهرست مراجع ۱۴۰

دانشگاه صنعتی امیر کبیر

دانشگاه مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه ارائه شده توسط: آرمان بدرزاده

عنوان: تحلیل عددی رفتار دیوارهای حائل میخ‌کوبی شده تحت بارهای لرزه‌ای

استاد راهنما: دکتر کاظم فخاریان تاریخ تحویل: ۸۷/۱۱/۱۴

هدف اصلی در این پایان‌نامه، بررسی اثر پارامترهای مختلف بر پاسخ لرزه‌ای دیوارهای میخ‌کوبی شده می‌باشد. این مطالعه شامل سه قسمت بوده (۱) مدل‌سازی عددی در شرایط استاتیکی و دینامیکی با استفاده از نرم‌افزار دو بعدی FLAC (۲) بررسی اثر پارامترهای مختلف بر رفتار لرزه‌ای سیستم میخ‌کوبی (۳) ارائه دستورالعمل برای طراحی بهینه سیستم‌های میخ‌کوبی شده در حالت‌های استاتیکی و دینامیکی.

برای پیش‌بینی رفتار سیستم‌های میخ‌کوبی شده در برابر زلزله نیاز به مدل‌سازی دقیق و پیشرفته می‌باشد. برای نیل به این مقصود، و مشابه سازی شرایط واقعی این نکات در نظر گرفته شده است:

اول، استفاده از مدل رفتاری هیپربولیک غیرخطی برای خاک و مدل رفتاری هیستریتیک غیرخطی در حالت دینامیکی، دوم در نظر گرفتن اندرکنش خاک و میخ، سوم ساخت مرحله به مرحله مدل عددی و حل آن در هر مرحله برای رسیدن به تعادل استاتیکی و سپس اعمال شتاب سینوسی به آن، چهارم، استفاده از مرزهای مناسب برای حل مشکل بازگشت امواج دینامیکی و پنجم، بررسی درستی عملکرد مدل با مقایسه نتایج تحقیقات گذشته در دو حالت استاتیکی و دینامیکی.

بررسی رفتار دیوارهای میخ‌کوبی شده در برابر زلزله موضوعی نسبتاً جدید می‌باشد. با بررسی ادبیات فنی ملاحظه شد که اکثر مطالعات صورت گرفته آزمایشگاهی بوده و مطالعه عددی که طیف وسیعی از پارامترهای موثر بر رفتار دیوار را در نظر گرفته باشد موجود نیست. در حالت استاتیکی، مدل عددی ساخته شده توسط محقق قبلی و در حالت دینامیکی نتایج با مدلی آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج در حالت استاتیکی و دینامیکی با مدل ساخته شده در FLAC سازگاری خوبی را نشان می‌دهند.

برای بررسی اثر پارمترهای مختلف بر پاسخ لرزه‌ای دیوارهای میخ‌کوبی شده مطالعات پارامتریک صورت گرفت.

این پارامترها خصوصیات خاک مسلح شده شامل زاویه اصطکاک، چسبندگی، مشخصات الاستیک خاک (υ, E) و میرایی خاک (ξ)، خصوصیات و هندسه میخ‌ها شامل طول، قطر و زاویه قرارگیری، شتاب پایه زلزله با بررسی حداکثر دامنه (a_g) و فرکانس (f) و سرباره‌ها متفاوت می‌باشند.

نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش فاصله افقی میخ‌ها از یکدیگر و افزایش طول آنها در صورت صرفه اقتصادی تاثیر زیادی بر کاهش تغییر شکل‌های افقی ایجاد شده در سیستم تحت اثر بار لرزه‌ای دارد. همچنین افزایش قطر میخ‌ها و در نظر گرفتن زاویه‌ای بین ۱۰ تا ۲۰ درجه زیر سطح افق نیز بر کاهش تغییر شکل‌های افقی دیوار موثر می‌باشد.

از نتایج این مطالعه می‌توان در طراحی بهینه سیستم‌های میخ‌کوبی شده در برابر زلزله استفاده نمود. در نهایت برای اطمینان از کاربردی بودن نتایج این تحقیق دیوار میخ‌کوبی شده Saint-Remy در فرانسه مدل‌سازی شده و اثر زلزله‌های منجیل و طبس همچنین شتاب سینوسی وارده با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج این تحلیل نشان داد همانطورکه انتظار می‌رفت دیوار میخ‌کوبی شده مورد مطالعه پاسخ مناسبی در برابر نیروهای وارده در اثر زلزله از خود نشان داده است.

کلمات کلیدی : میخ‌کوبی، مدل‌سازی عددی، مدل هیستریتیک، پاسخ لرزه‌ای، تحلیل دینامیکی، FLAC

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات

بشر همواره در تجربه موارد جدید به توسعه علم پرداخته است. او همواره تجربه کرده و در راستای آن دست به توسعه تئوری و دیدگاههای علمی زده است. مهندسی عمران را نیز نمی‌توان از این قاعده مستثنی دانست. در این رشته مانند رشته‌های دیگر بسیاری از موارد ابتدا تجربه گردیده و سپس برای آن مباحث تئوری بوجود آمده که از آنجمله می‌توان بتن مسلح را نام برد. مباحث تئوریک آن بعد از حدوداً ۵۰ سال از استفاده آن بوجود آمد. دیوارهای میخ‌کوبی شده نیز از این مقوله جدا نبوده و اکنون با استفاده از آنها در طی سه دهه اخیر، وجود کمبودهایی در تئوری و روش‌های طراحی آن دور از ذهن نیست .میخ‌کوبی را می‌توان تکنیکی دانست که از تکمیل روش ساخت تونل اتریشی (Rabcewicz , 1965) بوجود آمده است. در آن روش برای ساخت نگهدارنده‌ای انعطاف‌پذیر از دیواره-ای از جنس شاتکریت مسلح و میخ سنگ استفاده می‌گردد. میخ‌کوبی در واقع تکنیکی است که در آن با استفاده از مسلح کننده‌های فلزی سازه ثقلی منسجمی ایجاد شده که در نتیجه آن مقاومت برشی خاک افزایش و تغییر مکانها کاهش می‌یابد. استفاده از مهارهای غیر فعال در این دیوارها باعث کاهش حجم عملیات اجرایی و در پی آن کاهش هزینه‌ها می‌گردد. کار آمدی بالای این روش و همچنین

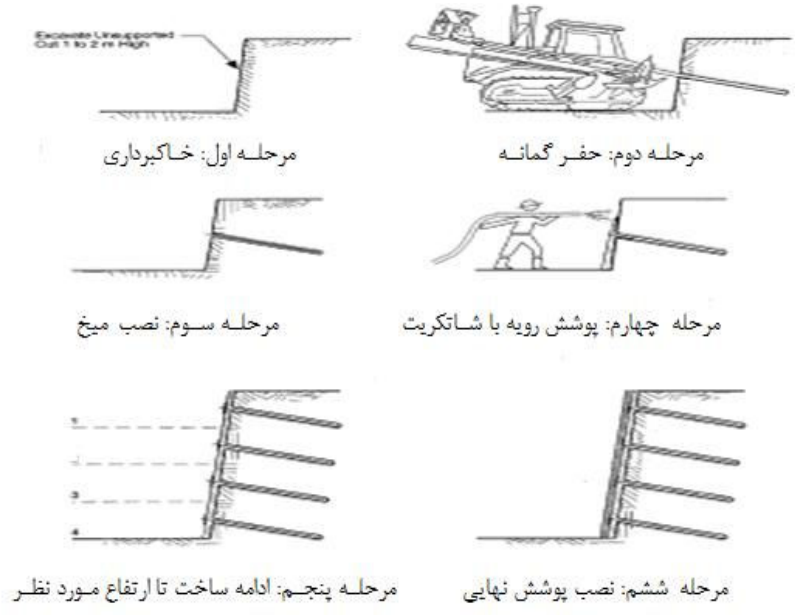
کاهش هزینه‌های اجرا باعث توجه بیشتر و تکمیل تئوری‌های موجود در مورد این سیستم شده تا بر اساس آن بتوان رفتار سیستم را پیش بینی و طراحی را عملی‌تر و دقیق‌تر نمود.

با اینکه میخ‌کوبی تکنولوژی تقریباً جدیدی است، اما از آن در کارهای عمرانی بسیار متنوعی استفاده شده است. از آن جمله می‌توان به نگهداری ترانشه‌های خاکی در کنار مسیر راه آهن و بزرگراه‌ها، پیشگیری از لغزش زمین، نگهداری تونلها در محلهایی که لایه‌ها ضعیف بوده، کوله پل‌ها و سایر کارهای عمرانی و صنعتی اشاره نمود. استفاده از این روش در مناطق شهری را که با افزایش روزانه قیمت زمین مواجه هستند می‌توان به عنوان راهکاری جهت استفاده بهینه از زمین دانست. این موضوع به دلیل فضای تلف شده کمتری است که ساخت این سازه به نسبت ساخت دیوار حائل معمولی ایجاد می‌کند.

بطور کلی سیستم‌های میخ‌کوبی شده از اجزاء مختلفی تشکیل شده است. قسمت عمده سیستم را مسلح کننده یا همان میخ تشکیل می‌دهد. همانطور که اشاره شد، میخ‌ها در این روش اکثراً فولادی بوده که قابلیت تحمل کشش، برش و خمش را دارا می‌باشند. میخ‌ها پیش‌تنیده نبوده و در فواصلی تقریباً نزدیک به یکدیگر جاگذاری شده تا با ایجاد محیطی ناهمسان چسبندگی خاکی را که در آن قرار دارند بالا ببرند. هر میخ بسته به نوع آن می‌تواند سطحی بین ۰/۳ تا ۴/۵ متر مربع را پوشش دهد.

قسمت دیگر دیوارهای میخ‌کوبی شده رویه یا پوشش می‌باشد. در واقع نقش رویه همانند دیگر انواع خاک مسلح (ژئوگرید، ژئوسنتتیک و ...) نقشی سازه‌ای و باربر نیست. اما وجود آن باعث پایداری خاک بین مسلح‌کننده‌ها، جلوگیری از فرسایش و ناپایداری‌های موضعی می‌شود. رویه عمدتاً از شاتکریت مسلح شده بوده که به علت انعطاف پذیری آن تنش حداکثر کششی در نزدیکی وسط میخ ایجاد می‌گردد. از انواع دیگر رویه‌ها می‌توان پانلهای بتنی، فلزی و یا سنگریزهای مهار شده در بین مش‌های فولادی را نام برد.

مراحل ساخت دیوارهای میخ کوبی شده در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. همانطور که در شکل نیز دیده می‌شود ساخت این سیستم برخلاف انواع دیگر خاکهای مسلح از بالا به پایین می‌باشد.



شکل۱-۱- مراحل مختلف ساخت دیوار میخ‌کوبی شده

قبل از اجرای دیوارهای میخ‌کوبی شده باید به ارزیابی امکان‌پذیری اجرا در محل پرداخت. در اجرا معمولاً موانعی وجود خواهد داشت که امکان ساخت سیستم را محدود می‌سازند. این موانع علی-الخصوص در مناطق شهری و در پروژه‌های ساختمانی بیشتر به چشم می‌خورند. در مناطق شهری وجود پارکینگ‌ها و یا زیرزمینهای ساختمان‌های اطراف دیواره، وجود تاسیسات مدفون در خاک مانند سپتیک تانک، وجود امکاناتی نظیر تونل‌ها راه‌های زیرزمینی و ... موانعی می‌باشند که اجرای میخ‌کوبی را در این مناطق دشوار و در مواردی غیر ممکن می‌نمایند. از طرف دیگر بررسی خاک محل و ملاحظات محیطی و علی‌الخصوص وجود شواهدی در خوردگی سازه‌های اطراف و یا جود خاک خورنده (خاکهایی با مواد اسیدی، آهکی و یا خاکستر) ساخت این نوع دیوار را دچار مشکل می‌سازد. برای بررسی میزان خورندگی خاک از آزمونهای متداول توصیه شده ASTM استفاده می‌گردد. این آزمونها شامل آزمون مقاومت الکتریکی، آزمون pH و غلظت سولفات هستند. مقادیر بحرانی که در این آزمونها توسط این استاندارد توصیه شده درجدول ۱-۱ آمده است.

جدول ۱-۱- مقادیر بحرانی جهت بررسی خورندگی در خاک (FHWA, 2003)

آزمون	استاندارد ASTM	مقادیر بحرانی
هدایت الکتریکی	G-57-78 (ASTM)	$\leq 2000 ohm/cm$
pH	G-51-77 (ASTM)	≤ 4.5
سولفات	California DOT test 407	$\geq 500\ ppm$
کلراید	California DOT test 422	$\geq 100\ ppm$

از موارد دیگری که در بررسی امکان اجرا باید مورد بررسی قرار گیرد خاک و یا سنگ محل است. برای مثال ساخت دیوار میخ‌کوبی شده در خاکهای دانه‌ای با عدد نفوذ استاندارد کمتر از ۱۰ و یا دانسیته نسبی کمتر از ۰/۳ مقرون به صرفه نیست. ساخت این سیستم عملاً در خاکهای بد دانه‌بندی شده غیرچسبنده با ضریب یکنواختی (Cu) کمتر از ۲ امکان پذیر نیست.

در سالهای اخیر تحقیقات گسترده‌ای روی دیوارهای میخ‌کوبی انجام شده که در اکثر آنها مسائل استاتیکی تأثیرگذار بر رفتار سیستم بررسی شده است. با مروری بر ادبیات فنی می‌توان به نیاز گسترده تحقیقاتی روی رفتار در شرایط لرزه‌ای پی برد. مهدی‌زاده مطالعات پارامتریک گسترده‌ای را روی دیوارهای میخ‌کوبی در شرایط استاتیکی انجام داد (مهدی‌زاده، ۱۳۸۶). همچنین مطالعاتی نیز در روی مدل‌های آزمایشگاهی در سانتیریفوژ (Vucetic & Tufenkjian, 1993) و همچنین بر روی میز لرزه (Hong & Chen, 2003) انجام پذیرفته که عملاً این مدل‌ها کوچک بوده و نیاز به بررسی بیشتر رفتار در مدل‌های بزرگ و با مقیاس واقعی موجود می‌باشد.

۱-۲- بیان مسئله

رفتار دیوارهای میخ‌کوبی شده در شرایط دینامیکی به ندرت مطالعه شده است. با اینکه دیوارهای میخ کوبی شده در مدلهای کوچک آزمایشگاهی بررسی شده‌اند اما اندازه‌گیری‌های صورت گرفته نشانگر عملکرد مناسب سیستم در برابر زلزله است. بطور کلی به علت استفاده روز افزون از این روش، بررسی رفتار دیوار میخ‌کوبی تحت بارهای لرزه‌ای و دینامیکی، به ویژه در کشور ایران، حائز اهمیت است. برای بررسی رفتار این سیستم با دامنه وسیعی از پارامترها مانند طول، قطر، فاصله افقی، فاصله عمودی میخ‌ها، پارامترهای مقاومتی خاک نگهداشته شده، شرایط بار لرزه‌ای و شرایط بارگذاری روی

دیوار (سربار) مواجه هستیم. در عمل برای تعیین تاثیر تمامی این پارامترها امکان مدل‌سازی آزمایشگاهی موجود نیست. بنابراین به منظور بررسی اثر آنها به حل مسئله با روش‌های عددی ضروری به نظر می‌رسد. با استفاده از این روش می‌توان نتایج گسترده و ارزشمندی را در اختیار طراحان قرار داد.

۱-۳- اهداف پژوهش

اهداف اصلی این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- مطالعه دیوارهای میخ‌کوبی شده تحت نیروهای دینامیکی حاصل از زلزله به کمک مدل عددی به روش تفاضل محدود

۲- مطالعه اثر خصوصیات خاک مسلح شده شامل زاویه اصطکاک، چسبندگی مشخصات الاستیک خاک (υ, E) و میرایی خاک (ξ) بر رفتار لرزه‌ای کل سیستم

۳- مطالعه اثر خصوصیات و هندسه میخ‌ها از جمله طول، قطر و زاویه قرارگیری میخ

۴- مطالعه اثر شتاب پایه زلزله با بررسی حداکثر دامنه (a_g) و فرکانس (f)

۵- بررسی اثر سر باره‌های متفاوت

۱-۴- محدوده و روش تحقیق

محدوده کار انجام شده و متدولوژی به شرح زیر است:

۱- بررسی تاریخچه مطالعات آزمایشگاهی و عددی صورت گرفته بر روی سیستم‌های میخ‌کوبی شده

۲- مدل سازی دو بعدی، استفاده از نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC

۳- تعریف مدل رفتاری خاک در دو حالت استاتیکی و دینامیکی و تعبیه رفتار تنش-کرنش غیر خطی با استفاده از مدل هذلولی

۴- بررسی صحت عملکرد مدل عددی با مقایسه نتایج بدست آمده از آن و مطالعات آزمایشگاهی گذشته

۵- ارائه جمع‌بندی نتایج مطالعات به عنوان یک مجموعه توصیه‌های کاربردی برای طراحان

۱-۵- فصل‌های مختلف

فصل اول شامل کلیات، مسئله مورد بررسی، اهداف و محدوده پژوهش می‌باشد. در فصل دوم به بررسی تاریخچه ساخت و ادبیات فنی موجود و همچنین بررسی نتایج بدست آمده از آزمایشات قبلی می‌باشد.فصل سوم شامل معرفی کوتاهی از برنامه FLAC بوده و به روش مدل سازی عددی با استفاده از FLAC پرداخته می‌شود. سپس صحت عملکرد این مدل سازی را با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی ابزار گذاری شده بررسی می‌شود. فصل چهارم مطالعات پارامتریک اصلی را در بر گرفته و نتایج را با رسم نمودارها ارائه می‌نماید. در فصل پنجم به جمع بندی و میزان اثر گذاری پارامترهای مورد مطالعه پرداخته می‌شود. سرانجام در فصل ششم علاوه بر بررسی موردی یک دیوار ساخته شده تحت اثر زلزله‌های منجیل و طبس به نتیجه‌گیری و بیان پیامدهای طراحی پرداخته می‌شود.

فصل دوم

مروری بر ادبیات فنی

۲-۱- کلیات

در این فصل به تاریخچه، معرفی، تکنولوژی ساخت، اجزاء تشکیل دهنده و حالت‌های گسیختگی روش میخ کوبی اشاره می‌گردد. سپس به مقایسه‌ای اجمالی بین این روش، دیوارهای پیش تنیده و دیوار خاک مسلح پرداخته می‌شود. در مرحله بعد به تاریخچه ادبیات فنی و معرفی مدل‌سازی‌های عددی و آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی سیستم پرداخته می‌شود.

۲-۲- تاریخچه مراحل و روش ساخت

اولین بار میخ‌کوبی توسط مهندسان اتریشی ابداع و مورد استفاده قرار گرفت. آنها در هنگام ساخت تونل برای نگهداری سنگها از حفر گمانه در سنگ، استفاده از مسلح کننده فلزی و سپس پوشش آن با شاتکریت مسلح استفاده می‌کردند. استفاده از مسلح کننده و پوشش آن با شاتکریت در سنگ باعث نام‌گذاری روش به میخ‌سنگ[1] گردید. استفاده از میخ سنگ تنها به دیواره داخلی تونلها محدود نشده و در شیب‌ها و ترانشه‌های سنگی نیز از آن استفاده شد (Lang, 1961). در واقع استفاده همزمان از مسلح کننده‌های فلزی و پوشش رویه با شاتکریت باعث ابداع روشی جدید و اضافه شدن آن به روش-های ساخت سازه‌های خاک مسلح گردید. هنگامی که این ترکیب به جای سنگ در خاک استفاده گردد به آن روش میخ‌کوبی[2] گفته می‌شود.

استفاده از این روش در کشورهایی نظیر فرانسه و آلمان آغاز شد. یکی از اولین دیوارهای میخ‌کوبی شده در سال ۱۹۷۲ میلادی در نزدیکی منطقه Versailles فرانسه احداث گردید. این دیوار به منظور عریض‌سازی خط آهن عبوری از آن محل به طول ۱۸ متر در خاکی ماسه‌ای ساخته شد (Rabeja & Toudic, 1974).

به دلیل اقتصادی بودن و همچنین کارایی بالای این روش استفاده از آن در فرانسه و کشورهای اروپایی به سرعت افزایش یافت. در آلمان اولین دیوار میخ کوبی شده در سال ۱۹۷۵ احداث گردید (Stocker et.al, 1979). اولین پروژه‌های تحقیقاتی بر روی دیوار میخ کوبی مربوط به سالهای ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۱ می‌باشد که با همکاری Bauer (1986) و دانشگاه Karlsruhe صورت گرفته است. در فرانسه Cloutorre (1986) با مدل سازی عددی تمام مقیاس جز اولین محققین در زمِنه دیوارهای میخ‌کوبی شده است.

در آمریکای شمالی ابتدا از این دیوارها به عنوان حائل‌های موقت استفاده گردید. در اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰ میلادی این سیستم در ونکور، مکزیکو سیتی و واشنگتن اجرا گردید. یکی از اولین و مشهورترین دیوارهای ساخته شده در آمریکا دیواری به ارتفاع ۱۳/۷ متر در شهر Oregon آمریکا بود که در مورد آن مقالات متعددی منتشر گردید (Byrne, 1998).

1-Rock Bolt

2-Soil Nail

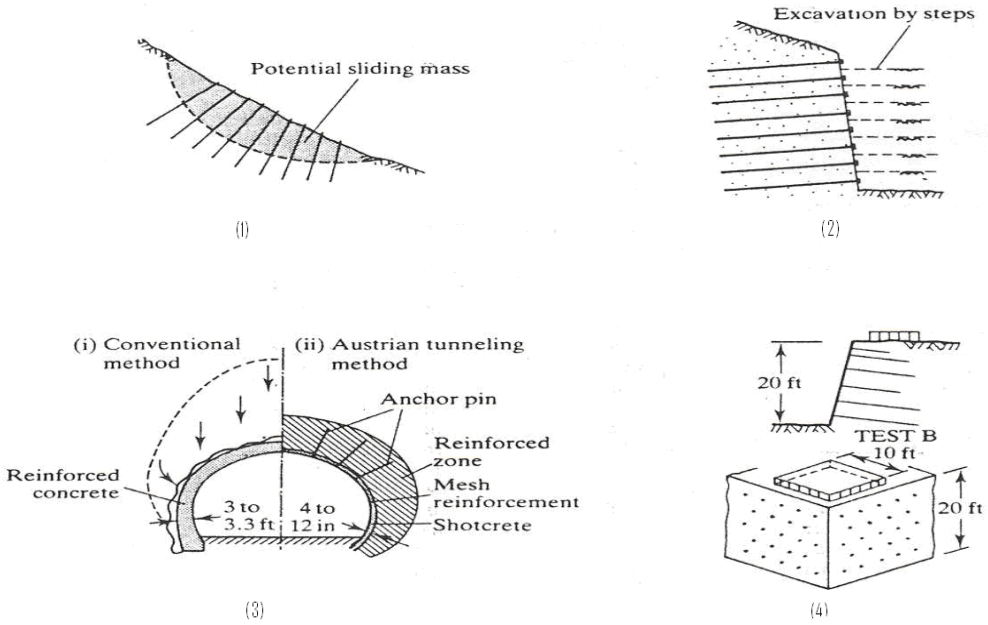
استفاده از این روش در آمریکا نیز پس از دهه ۸۰ میلادی به علت صرفه اقتصادی آن رواج بیشتری یافت. البته استفاده از این حائل به عنوان سازه دائم طی ۱۰ سال اخیر مورد توجه کار فرمایان و پیمانکاران قرار گرفته است. اولین موارد استفاده از این روش در ایران در اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰ ه.ش می‌باشد.

۲-۲-۱- اجزاء سازنده و روش ساخت

میخ‌کوبی را می‌توان سازه‌ای متشکل از دو ماده اصلی میخ فولادی و رویه دانست. میخ‌ها در این روش در واقع به عنوان نگهدارنده‌های غیر فعال می‌باشند. آنها با تحمل کشش در برابر حرکت گوه لغزش خاک، از ترانشه نگهداری می‌نمایند. معمولاً جنس میخ ها فلزی بوده و علاوه بر کشش می‌توانند در برابر تنش‌های برشی و ممان خمشی مقاومت نمایند. در عمل چون مقاومت برشی و خمشی میخ‌ها باعث افزایش اندک مقاومت می‌شود در جهت اطمینان از آن‌ها صرفنظر می‌شود. عموماً میخ‌ها در گمانه‌های از پیش حفاری شده قرار گرفته و دور تا دور آنها توسط گروت پر می‌شود. نیروی کششی بصورت غیر فعال در اثر تغییر شکل ایجاد شده توده خاک در حین خاکبرداری به میخ‌ها منتقل می-گردد.

میخ‌ها به چهار دسته کوبشی، تزریقی (دوغاب زده)، تزریقی تحت فشار، و محافظت شده در برابر خوردگی تقسیم می‌گردند.

میخ‌های کوبشی بیشتر در کشورهای فرانسه و آلمان استفاده شده است. این میخ‌ها معمولاً در فواصل نزدیک به هم (۲ تا ۴ میخ در هر متر مربع) در خاک کوبیده می‌شوند. استفاده از این میخ‌ها روشی اقتصادی و سریع است ولی محدودیت اصلی آنها طول میخ است.



شکل ۲-۱- کاربردهای مختلف میخ‌کوبی ۱) استفاده در شیب ۲) پایداری ترانشه ۳) استفاده در جداره تونل ۴) کوله میخ‌کوبی شده (Elias & Juran, 1991)

میخ‌های تزریقی در گمانه‌های از پیش حفاری شده قرار می‌گیرند و پس از استقرار، گمانه با گروت پر می‌شود. معمولاً فواصل این میخ‌ها بیشتر از میخ‌های کوبشی بوده و می‌توان در فواصل افقی و عمودی بین ۱ تا ۳ متر از آنها استفاده نمود. این نوع میخ متداول‌ترین مسلح کننده در این سیستم می‌باشد. میخ‌های تزریقی با فشار جت با فرکانسی حدود ۷۰ هرتز در خاک کوبیده شده و در حین کوبش میخ‌ها، دوغاب در قطری کم در حد چند میلی متر تزریق می‌گردد. در اینجا در صورت استفاده از تزریق با فشار بالا خاک متراکم‌تر گشته و موجب بهبود وضع خاک می‌گردد. استفاده از این روش به طرز قابل ملاحظه‌ای ظرفیت بیرون کشش میخ‌ها را افزایش می‌دهد.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد مسئله دوام در دیوارهای میخ‌کوبی شده حائز اهمیت می‌باشد، لذا استفاده از میخ‌های مقاوم در برابر خوردگی باعث افزایش دوام و استفاده از میخ‌کوبی به عنوان یک حائل دائم گردیده است.

عمق حفاری برای نصب میخ‌ها معمولاً بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد ارتفاع دیوار می‌باشد و به منظور عملیاتی کردن تزریق میخ‌ها را در زاویه‌ای بین ۱۵ تا ۳۰ درجه نسبت به افق نصب می‌کنند. در شکل ۲-۲ چگونگی عملیات حفاری جهت نصب میخ‌ها نشان داده شده است.

قسمت دیگر تشکیل دهنده دیوار میخ‌کوبی شده رویه یا پوشش است. نقش رویه در دیوارهای میخ-کوبی شده همانند نقش آن در دیوارهای خاک مسلح می‌باشد. در میخ‌کوبی بیشترین تنش بوجود آمده در راستای طول میخ به آن وارد شده و تنش کمی به رویه وارد می‌گردد.

نقش اصلی رویه در این سیستم ایجاد پایداری موضعی و جلوگیری از بازشدگی در توده خاک می-باشد. اجرای رویه و میخ‌گذاری بلافاصله بعد از هر مرحله خاکبرداری سبب می‌شود تا فشار خاک محدود و در نتیجه، خصوصیات مکانیکی و پارامترهای مقاومت برشی خاک محل بدون تغییر باقی بمانند. بسته به محل اجرای سیستم میخ‌کوبی (خاک یا سنگ) از انواع مختلف رویه می‌توان استفاده نمود.

رویه شاتکریتی معمولاً دارای ضخامتی بین ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر بوده و به صورت تکراری از بالا به پایین ساخته می‌شود. مزیت استفاده از شاتکریت ارزان بودن و سهولت اجرا و نارسایی عمده آن در عدم امکان استفاده از زهکش بین توده خاک و دیوار است. از انواع دیگر رویه می‌توان به پانلهای بتنی و حصارهای سنگی اشاره نمود.

شکل ۲-۲- عملیات حفاری قبل از نصب میخ (Porter Field et al., 1994)

در هنگام ساخت دیوارهای میخ‌کوبی شده آب زیر زمینی یکی از مسائل مهم است که باید آن را کنترل نمود. در جهت نیل به این هدف، باید از زهکشی استفاده نمود تا توانایی فراهم کردن شرایط زیر را دارا باشد:

الف- از ایجاد فشار آب حفره‌ای اضافی در پشت رویه جلوگیری نماید.

ب- از خرابی در رویه علی‌الخصوص رویه‌های شاتکریت در اثر برخورد و مجاورت با آب جلوگیری نماید.

ج- از اشباع شدن لایه میخ‌کوبی جلوگیری نموده در صورت اشباع لایه به دلیل کم شدن فشار موثر خاک می‌تواند باعث ایجاد ناپایداری در توده خاک گردد .

در سیستم میخ‌کوبی از لوله‌های پلاستیکی با طول کم در حدود ۳۰ الی ۴۰ سانتیمتر جهت زهکشی رویه و از زهکشهای طویل برای زهکشی لایه خاک استفاده می‌شود. در هنگام استفاده از دیوار دائمی با رویه پیش‌ساخته یک لایه ژئوتکستایل باید در پشت رویه قرار گیرد که پشت رویه فشار آب منفذی اضافی ایجاد نگردد .