بسم الله الرحمن الرحيم

٤٧٢٨٢

دانشکدهٔ فنی

گروه عمران - عمران

پایان نامه :

برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ سازه - عمران

عنوان :

بررسی مدل تزریق در میل مهارهای روش (Soil-Nailing) و بررسی اثرات آن در بهبود مقاومت برشی خاک

استاد راهنما :

دکتر محمد حسین امین فر

استاد مشاور :

دکتر ارسطو ارمغانی

پژوهشگر :

محمد نوران بخش

٤٧٢٨٢

بهمن ماه ۱۳۸۱

تقدیم به

پدر دلسوز و مادر فداکارم

و برادران و خواهران مهربانم

و آنانی که محبت هایشان پشتوانهٔ جاودانم می باشد

« بنام یگانه جاودان »

آغاز کلام را مزین به نام مقدسش می نمائیم و سپاسش بجای می آوریم که آموختن را در فطرتمان اجین کرده و دست شکر را فراخ می گردانیم که موجبات اتمام این تحقیق علمی را فراهم آورده است.

بر خود لازم می دانم از کلیه معلمان و اساتید بزرگوار خود که الفبای حکمت و درست زیستن را به من آموختند کمال تشکر را داشته و دست تک تک آنها را ببوسم، از تمامی استاتید و بزرگواران دانشکده فنی، دانشگاه تبریز نیز که در این چند ساله در محضر علمیشان تعلیم دیده ام کمال قدردانی را داشته و از زحمات بیشماری که در راه تحصیل علم و دانش برایشان وارد آورده ام عذر خواهی می نمایم. بویژه از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر امین فر، استاد راهنمای اینجانب، که با کمال دلسوزی و صبر در پیمودن این راه دشوار تحقیقاتی مرا یاریگر بودند. ضمناً بر خود لازم می دانم عرض ادبی خدمت مدیریت محترم گروه عمران - عمران جناب آقای دکتر ارمغانی، استاد مشاور اینجانب، نمایم که در سالیان متعدد از ایشان بسیار آموختم، از مسئولان محترم آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه تبریز جناب آقایان مهندس شریفی و سلامت نیز که در انجام آزمایشات به اینجانب یاری فراوان رسانده اند کمال تشکر را دارم.

در خاتمه مطلب مراتب قدرانی خود را از مرکز خدمات کامپیوتری فرزانه که در تهیه و تنظیم این مجلد مرا یاری رسانده اند ابراز داشته و امید دارم این مجموعهٔ ناچیز گامی هر چند کوچک در مسیر تحقیق و پژوهش در این زمینه را برداشته باشد.

محمد توران بخش

زمستان ۱۳۸۱

نام خانوادگی دانشجو : نوران بخش	**نام :** محمد
عنوان پایان نامه : بررسی مدل تزریق در میل مهارهای روش (Soil- Nailing) و بررسی اثرات آن در بهبود مقاومت برشی خاک.	
استاد راهنما : دکتر محمد حسین امین فر	
استاد مشاور : دکتر ارسطو ارمغانی	
مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد — **رشته :** عمران	**گرایش :** سازه
دانشگاه : تبریز — **دانشکده :** فنی — **تاریخ فارغ التحصیلی :** بهمن ۱۳۸۱	**تعداد صفحه :** ۱۷۱
کلید واژه ها : میل مهار (Nail)، دوغاب ریزی (Grouting)، جعبهٔ برش مستقیم (Direct Shear Box)، روش مسلح کردن خاک با میل مهار (Soil- Nailing)، مقاومت برشی (Shear strength)، پایداری (Stability)، اندرکنش (Reaction)	

چکیده :

در این پایان نامه یک مطالعه و تحقیق تجربی و آزمایشگاهی در بارهٔ مدل کردن تزریق در میل مهارهای مورد استفاده جهت مسلح کردن خاک و اندرکنش ما بین خاک و میل مهارهای تزریقی گذارنده از سطح برش انجام شده است.

به این منظور، یک جعبهٔ برش مستقیم با ابعاد داخلی، ۲۸/۵ سانتیمتر عرض، ۳٤/۵ سانتیمتر طول و ٦۱ سانتیمتر عرض جهت آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت این جعبه امکان انجام آزمایش با میل مهارهای تا طول ۵۵ سانتیمتررا فراهم می آورد و در آن امکان اعمال سرباری مختلف و بروز ۲۵ میلیمتر تغییر مکان برشی وجود دارد.

جهت برآورده کردن اهداف پایان نامه، که همانا استفاده از میل مهارهای تزریقی که در حالت گسیختگی تشکیل مفصل های پلاستیک عمل نمایند از میل مهارهایی با سختی نسبتاً پایین به قطرهای ۲ و ۳ میلیمتر استفاده شد. چون عمل تزریق دوغاب در حین انجام آزمایشات مسلح کردن خاک کار مشکلی می نمود تصمیم گرفته شد از نمونه های پیش ساخته میل مهارهای تزریق شده جهت استفاده به عنوان المانهای مسلح کننده خاک استفاده شود. برای این منظور از قالبهای پولی اتیلنی و قطر داخلی یک دوم و سه چهارم اینچ استفاده گردید نمونه ها در طول های ۳۵ و ۵۵ سانتیمتر جهت بررسی تأثیر طول میل مهار ساخته شد و در دو نوع سطح صاف و سطح زبر مورد آزمایش قرار گرفت همچنین جهت بررسی میزان تأثیر تعداد و زاویهٔ جایگذاری میل مهارها نسبت به خط عمود بر سطح برش و با توجه به ابعاد جعبه برش مستقیم مورد آزمایش تعداد یک و یا دو عدد میل مهار تزریقی تحت زوایای صفر و ۱۵ ± درجه مورد آزمایش قرار گرفت.

نمونه خاک مورد استفاده در آزمایشات از نوع ماسه بد دانه بندی شده (SP) ، گذرنده از الک شماره ۱٦

می باشد که در حالت خشک مورد استفاده قرار می گیرد. ابتدا در فصل اول به بررسی تاریخچه و شیوه های مختلف مسلح کردن خاک در کشورهای مختلف پرداخته و نمونه هایی که جدیداً اجرا شده اند معرفی و اشاره ای گذرا به شیوه های کلی گسیختگی خاک های مسلح شد. در فصل دوم تئوریهای متداول اندرکنش خاک و میل مهار ارائه گشت. در فصل سوم ضمن تشریح دستگاه برش مستقیم و نحوهٔ ساخت و مونتاژ میل مهارهای تزریقی پیش ساخته و شرایط خاصی دوعاب ریزی به بررسی نحوهٔ جایگذاری و ارائه پارامترهای موثر در مسلح کردن خاک پرداخته شد. در فصل چهارم که حاصل نتایج آزمایشات متعدد بر روی خاک مسلح و غیر مسلح می باشد پرداخته و نمودارها و جداول مقایسه ای بر اساس پارامترهای مختلف ذکر گردیده و در فصل پنجم با استفاده از تئوریهای فصل دوم و نتایج آزمایشگاهی حاصل ذکر شده در فصل چهارم به بحث و بررسی و مقایسهٔ عملی نتایج آزمایشگاهی و تئوریهای مطرح در این زمینه پرداخته شده و در فصل ششم نتیجه گیریها و تحلیل های کلی در مورد آزمایشات انجام شده ذکر گشته و پیشنهاداتی جهت ادامه تحقیقات بعدی ارائه شده است.

نتایج اساسی حاصل از این تحقیق، مطالعاتی پیشین انجام شده در این ضمینه را تعیین می نماید تحقیق اخیر نشان می دهد چنانچه سختی میل مهارها در مقایسه با طولشان کم باشد حالت گسیختگی غالب حالت گسیختگی به شیوهٔ تشکیل مفصل های پلاستیک خواهد بود و تزریق دوغاب از لحاظ به تأخیر انداختن تشکیل این مفصل های پلاستیک نقش عمده ای ندارد زیرا به دلیل مقاومت کششی پایین دوغاب ترکهایی در آغاز تغییر مکان برشی خاک در دوغاب تزریقی حول میل مهار رخ می دهد و کلیهٔ مقادیر لنگر خمشی به میل مهار انتقال می یابد در عوض تزریق دوغاب باعث افزایش قطر مفید میل مهار گشته و در نتیجه سطح درگیری خاک با میل مهار به شدت افزایش یافته مخصوصاً در میل مهارهای با سطح زبر بهبود بیشتری در مقاومت تودهٔ خاک مسلح ایجاد می شود و مطابق با تحقیقات قبلی هر چه تعداد میل مهارها افزایش می یابد موجبات بهبود مقاومت برشی تودهٔ خاک و شکل پذیری تودهٔ خاک می گردد. ضمناً آزمایشات نشان می دهد هر چه طول میل مهار افزایش می یابد درصد بهبود مقاومت برشی تودهٔ خاک افزایش یافته و در زمینهٔ زاویهٔ جایگذاری میل مهارها بیشترین افزایش مربوط به حالتی است که میل مهار با زاویهٔ ۱۵ درجه نسبت به خط عمود بر سطح برش در امتداد عمال نیرو قرار گرفته، رخ می دهد. یکی از نقاط جالب دیگر که از نتایج این تحقیق بود افزایش تغییر مکان نقطهٔ معادل با تنش برشی حداکثر تودهٔ خاک مسلح در هنگام بهبود بیشتر مقاومت تودهٔ خاک مسلح می باشد یعنی هر چه خاک مسلح مقاومت برشی بیشتری داشته باشد شکل پذیری آن نیز افزایش می یابد در حالت کلی زمانی که مسئلهٔ بروز تغییر مکان برشی بزرگتر مجاز باشد، نظیر عملیات پایدار سازی شیروانیهای خاکی وسیع در فرایند طرحی علاوه بر نیروی محوری نیروی برشی و لنگر خمشی نیز مطرح می گردد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
بخش اول : بررسی منابع	
فصل اول: تاریخچه و مقدمه ای بروش مسلح کردن خاک(Soil-Nailing)	
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۱-۱- خاک مسلح	۱
۱-۲- سیستم های Soil-Nailing	٤
۱-۳- توسعهٔ Soil-Nailing	۱۰
۱-۳-۱- سیتمهای حایل خاک که توسط Soil-Nailing اجرا شده اند.	۱۱
۱-۳-۲- سایر تکنیکهایی که به موازات Soil-Nailing توسعه پیدا کردند.	۱۳
۱-۳-۳- مزایا و موانع استفاده از سیستم Soil-Nailing	۱٤
۱-٤- مکانیسم و رفتار سازه های Soil-Nailing وخاک مسلح Reinforced Soil	۱۷
۱-۵- رفتار دیوار در طول ساخت	۲۱
۱-٦- انواع گسیختگی دیوارهای Soil-Nailing شده	۲۳
۱-٦-۱- گسیختگی بوسیله شکستن میل مهار	۲۳
۱-٦-۲- گسیختگی به علت فقدان چسبندگی	۲٤
۱-٦-۳- گسیختگی در مراحل خاکبرداری	۲٦
۱-٦-۳-۱- گسیختگی بعلت ارتفاع بیش از حد خاکبردای پیوسته (گسیختگی داخلی)	۲٦

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-٦-۳-۲- گسیختگی بعلت عمل رگاب (پایپینگ) خاک (گسیختگی داخلی)	۲٦
۱-٦-٤- گسیختگی بیرونی ترکیبی	۲۷
۱-۷- سازه های مختلط	۲۷
۱-۸- جایگذاری میل مهار در خاک و کنترل خوردگی	۲۸
۱-۹- بررسی پایداری محلی و موضعی (Local Stability)	۲۸
۱-۱۰- اهداف پایان نامه	۲۹
فصل دوم : تئوری اندرکنش خاک و میل مهار	
۲-۱- سطح گسیختگی	۳۸
۲-۲- حالتهای گسیختگی میل مهارهای واقع در خاک	٤۲
۲-۳- بسیج نیروها در داخل میل مهار	٤٥
۲-۳-۱- تغییر شکل میل مهار	٤٦
۲-۳-۲- نیروهای حاصل در میل مهار	٤۷
۲-۳-۳- اثر آرایش و زوایه نصب میل مهار	٤۷
۲-٤- تخمین و برآورد حداکثر نیروی محوری حاصل در یک میل مهار	٤۸
۲-٤-۱- اصطکاک بین خاک و میل مهار	٤۹
۲-٤-۲- بسیج اصطکاک جلدی در امتداد یک میل مهار	٥۰
۲-٥- تخمین و برآورد نیروی برشی و لنگر خمشی بوجود آمده در یک میل مهار	٥٤
۲-٥-۱ روش Schlosser	٥٥

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۵-۲- روش Padley , Jewell	۵۹
۲-۵-۳- روش Bridle	٦۲
۲-۵-۳-۱- مرحله (گام) اول تئوری Bridle	٦۳
۲-۵-۳-۲- مرحله دوم تئوری Bridle	٦٤
۲-۵-۳-۳- مرحله سوم تئوری Bridle	٦۵
۲-۵-٤- مقایسه شیوه ها و سیستمها	٦٦
۲-٦- ترکیبات نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی	٦۸
بخش دوم : مواد و روشها	
فصل سوم : تشریع جعبه برش مستقیم و مشخصات خاک و میل مهار	
۳-۱- مقدمه	۸۸
۳-۱-۱- شرح کلی اجزای دستگاه برش مستقیم	۸۸
۳-۲- نحوه ساخت میل مهارهای مدل تزریقی و مشخصات آنها	۹۰
۳-۲-۱- طرح اختلاط و ساخت دوغاب	۹۱
۳-۲-۲- تهیه نمونه های تزریق شده میل مهار	۹۲
۳-۳- پارامترهای متغییر مورد استفاده در طول آزمایشات	۹۵
۳-٤- اعمال سربار	۹٦
۳-۵- نحوه اندازه گیریهای میزان نیرو و تغییر مکان افقی	۹٦
۳-٦- مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایشات و نحوه تراکم آن	۹٦

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۷- تعیین مشخصات فنی خاک (پارامتر چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی آن)	۹۷
۳-۷-۱- پارامترهای مربوط به هم چسبی بین خاک و دوغاب بتن	۹۸
فصل چهارم : بررسی داده ها و نتایج آزمایشات	
٤-۱- کنترل پارامترهای مربوط به دستگاه برش مستقیم	۱۰۷
٤-۲- مشخصه های مربوط به المانهای مسلح کننده (میل مهارها)	۱۰۸
٤-۳- ارزیابی نتایج حاصل از آزمایشات غیر مسلح	۱۰۹
٤-٤- آزمایشهای مسلح و ارزیابی داده ها و نتایج حاصل از آن	۱۱۰
٤-٤-۱- بررسی نتایج جز به جز آزمایشات	۱۱۲
٤-٤-۲- تاثیر تعداد جایگذاری میل مهارها در بهبود مقاومت برشی توده خاک مسلح	۱۱۳
٤-٤-۳- بررسی میزان تاثیر طول میل مهارها در بهبود مقاومت برشی تودهٔ خاک مسلح	۱۱۵
٤-٤-٤- بررسی میزان زبری سطح تماس میل مهارهای تزریقی با خاک، در افزایش مقاومت برشی تودهٔ خاک مسلح	۱۱٦
٤-٤-٥- بررسی میزان تاثیر زاویه جایگذاری میل مهار در بهبود مقاومت برشی خاک	۱۱۸
٤-٤-٦- ارزیابی اثر قطر دوغاب، قطر میل مهار، نسبت قطر دوغاب به قطر میل مهار	۱۲۰
٤-٥- خلاصه نتایج حاصل از آزمایشات و تحقیقات	۱۲۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
بخش سوم : نتایج و بحث	
فصل پنجم : آنالیز نتایج بدست آمده از آزمایشات	
۵-۱- بررسی بعضی از پارامترهای اندرکنش خاک	۱۴۱
۵-۱-۱- فشار باربری حدی(Limiting Bearing Pressure)	۱۴۱
۵-۱-۲- ضریب عکس العمل خاک (Moduls of Subgrade Reaction)	۱۴۴
۵-۲- عرض برش (Shear Width or l_S)	۱۴۵
۵-۳- لنگرهای خمشی بوجود آمده در میل مهارها	۱۴۹
۵-۴- نیروهای برشی بوجود آمده در میل مهارها	۱۵۱
۵-۵- نیروهای محوری بوجود آمده در میل مهارها	۱۵۴
۵-۶- نتایج	۱۵۷
فصل ششم : تفسیر و نظریات نهایی و ارائه پیشنهادات	
۶-۱- چگونگی رفتار میل مهاری صاف و زبر و تزریق در قطرهای مختلف دوغاب و میل مهار تحت فرآیند برش	۱۶۱
۶-۲- برآورد تئوریک نیروهای بوجود آمده در میل مهارها و میزان بهبود و مقاومت برشی توده خاک	۱۶۵
۶-۳- پیشنهاداتی جهت تحقیقات در آینده	۱۶۶

بخش اول :
بررسی منابع

فصل اول :
تاریخچه و مقدمه ای بروش مسلح کردن خاک

فصل دوم :
تئوری اندرکنش خاک و میل مهارها

« فصل اول »

تاریخچه و مقدمه‌ای بروش مسلح کردن خاک

۱-۱-مقدمه

۱-۱-۱-خاک مسلح

استفاده از خاک مسلح در طراحی سازه‌های نگهبان و پی‌ها روی زمینهای شیروانی و ترانشه‌ها، روشی است که در سالهای اخیر متداول شده است. البته روشهای سنتی مشابهی از قرنها پیش مورد استفاده قرار می‌گرفته است. مصریهای قدیم برای پایدارسازی این چنین سازه‌هایی از ریشه‌های خیزران استفاده می‌کردند بدان علت که رشد این ریشه‌ها سریع بوده و به عنوان مسلح‌کننده به نحو مناسبی در پایداری شیروانیهای خاکی مورد استفاده قرار می‌گرفته، شواهد بدست آمده از خرابه‌های معابد معروف به زیگورات در نزدیکی بغداد و همچنین در نزدیکی اهواز نشان می‌دهد ایلامیان در نزدیک به ۳۵۰۰ سال قبل در برپایی این معبدهای عظیم گلی از الوارهای چوبی در پایدارسازی شیروانیهای تپه‌ای که معبد بر روی آن ساخته می‌شد استفاده می‌کردند. البته روش استفاده نوین از خاک مسلح به بعد از سال ۱۸۲۲ می‌رسد که با مفهوم علمی و کاربردی این روش مورد استفاده قرار گرفت. از آثاردیگر اولیه استفاده از روش خاک مسلح در دیوار چین می‌باشد.

در مطالعاتی که بر روی معبد زیگورات Agar- Quaf در نزدیکی بغداد انجام گرفته نشان داده است که در این معبد عظیم به ارتفاع ۸۰ متر که از آجرهایی به ابعاد ۴۰۰-۱۳۰ میلی‌متر از جنس خاک رس در ساختش استفاده شده است ، همچنین از الوارهای چوبی به صورت افقی در فاصله‌های ۰/۵ الی ۲ متری استفاده شده است. معبد کنونی باقیمانده در

حدود ٤٥ متر از زمین ارتفاع دارد. نزدیک به هزار سال قبل در ساخت بندهای انحرافی بر روی رودخانه‌ها از مسلح کننده‌های چوبی استفاده می‌شده، رومی‌ها نیز از شیوه تسلیح خاک در ساختن قلعه‌های نظامی خویش استفاده می‌کردند. به هر حال خاک مسلح در تعریف کنونی خود عبارتست از مسلح کردن بوسیله عناصر کششی نظیر میلگردها، نوار یا تسمه‌های فولادی (Strip) و یا الیاف‌های پلیمری مانند ژئوتکستایل‌ها و ژئوگریدها یا صفحات مشبک نظیر wair mesh و مقاطع و پروفیل‌های موجود به شکل های L و یا H . همچنین روش تزریق در حول میل مهارهایی که قرار داده شده است که در مجموع همه این عوامل باعث افزایش و بهبود مقاومت کششی خاک می گردد و علل آن نیز اولاً ایجاد ناحیه مقاوم در اثر جابجایی جزئی خاک و ثانیاً مقاومت خمشی میل مهارها می‌باشد. نحوه قرارگیری این اعضا مسلح کننده طوری است باید که از سطح مستعد گسیختگی عبور نماید و محل قسمت فعال (اکتیو) را با درزی از قسمت پسیو جدا شده است را بهم بدوزد. در سال ۱۸۲۲ یک کلنل بریتانیایی در پشت یک دیوار حایل که در منطقه نظامی اجرا شده بود الوارهای چوبی را به صورت افقی جهت کاهش فشار جانبی بر دیوار قرار داد.

در سال ۱۸۳۵ نیز در تحکیم دیواره‌های تونل Thames در انگلستان و ایجاد تکیه‌گاههای موضعی از این سیستم استفاده شده است. پیشرفت Soil Nailing ، بدون تعریف تئوری خاص پیش می‌رفت در سال ۱۹٦۰ کاساگرانده پیشنهاد استفاده از اعضا با اینرسی بالا در خاکهای ضعیف و سست جهت کاهش خطر گسیختگی، در یک ردیف افقی و موازی را داده بود. در فرانسه یک مهندس فرانسوی به نام Vidal در ۱۹٦۳ شروع به ارائه روشی کرد که در آن سیستم مسلح‌کننده به صورت قطعات صاف سطحی که در سیستم

حایل زمین قرار می‌گیرد و به صورت موازی در امتداد قائم و افق قرار می‌گیرند و به این سیستم «ReinForced Soil» یا خاک مسلح نام نهاد.

بعدها در سال ۱۹۶۰ در تونل سازی‌های روش Austrian از سیستم در جا که در آن از بولتها و داولها برای تقویت زمین استفاده می‌شد که امروزه نیز همین سیستم بعلاوه استفاده از Shotcrete (بتن پاشی بوسیله بستن وایرمش و پمپ بتن) جهت حفاظت سطحی از ان مطرح گردید. ابتدا این سیستم و شیوه در سنگهای سخت مورد استفاده قرار می‌گرفت ولی بعدها این سیستم برای سنگهای سست و خاکهای ماسه‌ای نیز توسعه پیدا کرد. بعد از آن شیوه Soil Nailing با استفاده از بولتها و تزریق دوغاب وشاتکریت سطحی و Lining مطرح شد. البته عمده شیوه‌هایی که قبلاً بکار می‌رفت شامل دیوارهای مسلح (Reinforced Earth Wall) می‌باشدکه لایه‌های خاکریزی اجرا می‌شود در حین اجرا عناصر کششی تقویتی در درون خاک قرار داده می‌شود و سر آنها بیرون می‌ماند تا با جسم دیواره اتصال پیدا کند این روش اجرا همان شیوه اجرا از پایین به بالاست اما روش Soil Nailing از سال ۱۹۷۰ شروع به توسعه و استفاده قرار گرفت که در این سیستم برخلاف شیوه یاد شده که مسلح کردن از پایین به بالا است و در خاکریزی‌ها مورد استفاده قرار می گیرد، شیوه Soil Nailing در خاکبرداریها و از بالا به پایین و در جا (In-Situ) با تقویت خاک انجام می‌شود. عمده پیشرفت این روش بطور موازی در فرانسه، آلمان، آمریکای شمالی و انگلیس و ژاپن و کره می‌باشد.