بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران

گرایش خاک و پی

# بررسی و بهینه سازی هندسه میخ ها در پایدارسازی گودبرداری ها با استفاده از روش عددی

نگارش:

احمد مؤذن

استاد راهنما:

دکتر فرهنگ فرخی

استاد مشاور:

دکتر سعید قربان بیگی

زمستان ۱۳۹۱

دانشگاه زنجان

# صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

شماره:

تاریخ:

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی‌عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

آقای: **احمد مؤذن** رشته: **عمران** گرایش: **خاک و پی**

تحت عنوان: **بررسی و بهینه سازی هندسه میخ ها در پایدارسازی گودبرداری ها با استفاده از یک روش عددی**

در تاریخ **۲ بهمن ۱۳۹۱** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزارگردید و نظر هیأت داوران بشرح زیر می‌باشد:

قبول( با درجه :..... امتیاز: .....) دفاع مجدد ○ مردود ○

۱ - عالی(۲۰-۱۹)
۲ - بسیارخوب(۱۸/۹۹- ۱۸)
۳ - خوب(۱۷/۹۹- ۱۶)
۴ - قابل قبول(۱۵/۹۹- ۱۴)
۵ - غیرقابل قبول ( کمتر از ۱۴)

| عضو هیأت داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
|---|---|---|---|
| ۱ -استاد راهنما | دکتر فرهنگ فرخی | استادیار | |
| ۲ -استاد مشاور | دکتر سعید قربان بیگی | استادیار | |
| ۳ -استاد ممتحن | دکتر مهران جوانمرد | استادیار | |
| ۴ -استاد ممتحن | دکتر رامین دوست محمدی | استادیار | |
| ۵ -نماینده تحصیلات‌تکمیلی | دکتر حسن طاهرخانی | استادیار | |

دکتر **رضا نوروزیان**
**معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی**

دکتر **محمدحسین شهیر**
**مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه**

تقدیم به پدر و مادر عزیزم:

که لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست...

و تقدیم به برادرم:

که همواره در طول تحصیل، متحمل زحماتم بود و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودش مایه دلگرمی من...

**تشکر و قدردانی**

خداوند متعال را حمد و سپاس می گویم که توفیق انجام و به پایان رساندن این تحقیق را به بنده عطا فرمود. اینک وظیفه خود می دانم از کلیه عزیزانی که به نوعی در تهیه و تنظیم این پایان نامه مرا یاری نموده اند، تقدیر و تشکر نمایم.

از اساتید بزرگوارم جناب دکتر فرهنگ فرخی و جناب دکتر سعید قربان بیگی که با راهنمایی ها و رهنمودهای ارزشمندشان مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، قدردانی فراوان می نمایم و همچنین از اساتید محترم جناب دکتر جوانمرد و جناب دکتر دوست محمدی که زحمت داوری این تحقیق را بر عهده داشتند، کمال تشکر را دارم.

از پدر و مادر گرامیم به دلیل زحماتی که برای تربیت و تحصیل بنده متحمل شدند و نیز تلاش هایی که برای رشد و پیشرفت من داشته اند سپاسگزارم. همچنین از حمایت های بی دریغ برادر عزیزم که در دوران تحصیل همواره پشتیبان و یاری دهنده ام بوده، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

در پایان از تمامی دوستان ارجمند که به هر نحوی در انجام این تحقیق بنده را یاری نموده اند، سپاسگزاری می نمایم و این کار کوچک را به جامعه مهندسی کشورم تقدیم می کنم، به امید آنکه در این راه سودمند واقع گردد.

احمد مؤذن

زمستان ۱۳۹۱

## چکیده

میخکوبی خاک یکی از روش های ایمن سازی گودبرداری ها و ترانشه ها می باشد، امروزه این روش به علت سرعت و سهولت اجرا، انعطاف پذیری و اقتصادی بودن نسبت به سایر روش های پایدارسازی کاربرد زیادی پیدا کرده است. در این تحقیق تاثیر تغییرات موارد مختلفی که عبارتند از: آرایش هندسی میخ ها، زاویه میخکوبی، زاویه و ارتفاع دیواره گود، فاصله قائم میخ ها، نسبت طول میخ به ارتفاع دیواره، سطح تراز آب زیرزمینی، چسبندگی، زاویه اصطکاک، مدول الاستیسیته، وزن مخصوص خاک و ضریب کاهش مقاومت در تامین پایداری دیواره میخکوبی شده با استفاده از نرم افزار Plaxis مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. ۱۵ آرایش هندسی مختلف از لحاظ پایداری و تغییرشکل در ۶ نوع خاک مختلف بررسی و رتبه بندی شده و آرایش هندسی بهینه برای دیواره با توجه به نوع خاک انتخاب می شود. بررسی های صورت گرفته نشان داد که در خاک های درشت دانه به ترتیب طرح های هندسی ۶، ۱۵، ۳، ۹، ۱۲ و در خاک های ریز دانه، طرح های هندسی ۶، ۳، ۹، ۱۲ و ۱۵ بهترین طرح های هندسی می باشند. در این پژوهش مشخص می شود که میخ های ناحیه $\frac{۱}{۳}$ بالایی، بیشترین تاثیر را بر تغییر شکل و میخ های $\frac{۱}{۳}$ پایینی بیشترین تاثیر را بر ضریب اطمینان دارند و میخ های ناحیه $\frac{۱}{۳}$ میانی نقشی بینابینی را از خود نشان می دهند.



**کلمات کلیدی**: میخکوبی خاک، آرایش هندسی بهینه، زاویه میخکوبی بهینه، نرم افزار Plaxis

فهرست مطالب


۱-۱- مقدمه ..... ۲
۱-۲- تشریح موضوع و اهداف پایان نامه ..... ۲
۱-۳- نوآوری تحقیق ..... ۳
۱-۴- محتوای پایان نامه ..... ۳
۲- معرفی دیوارهای میخکوبی شده ..... ۵
۲-۱- مقدمه ..... ۵
۲-۲- تاریخچه ..... ۵
۲-۳- اجزا اصلی دیواره های میخکوبی شده ..... ۶
۲-۳-۱- آرماتورهای فولادی ..... ۷
۲-۳-۲- دوغاب سیمان ..... ۷
۲-۳-۳- سر آرماتور ..... ۷
۲-۳-۴- مهره، واشر و ورق باربر ..... ۷
۲-۳-۵- پوشش موقت یا دائمی ..... ۷
۲-۳-۶- زهکش نواری ..... ۷
۲-۳-۷- سیستم حفاظت در برابر خوردگی اضافی ..... ۸
۲-۴- سلسله مراتب اجرا ..... ۸
۲-۴-۱- گودبرداری ..... ۸
۲-۴-۲- حفاری گمانه های میخکوبی ..... ۸
۲-۴-۳- جایگذاری آرماتور ها و تزریق ..... ۸
۲-۴-۴- اجرای پوشش شاتکریت موقت ..... ۹
۲-۴-۵- اجرای تراز های بعدی ..... ۹
۲-۴-۶- اجرای پوشش دائمی ..... ۱۰
۲-۵- کاربرد های دیواره های میخکوبی شده ..... ۱۱
۲-۵-۱- سازه نگهبان درگودبرداری ها ..... ۱۱
۲-۵-۲- سازه نگهبان در زیر پایه پل های موجود ..... ۱۱
۲-۵-۳- تعمیر و باز سازی سازه های نگهبان قدیمی ..... ۱۲
۲-۶- مزایا و معایب روش میخکوبی ..... ۱۳
۲-۶-۱- مزایا ..... ۱۳

۲-۶-۲- معایب ..... ۱۴
۲-۷- مکانیزم مقاومت میخ ها در سطوح لغزش شیب های میخکوبی شده ..... ۱۵
۲-۸- چگونگی انتقال بار در میخکوبی خاک ..... ۱۵
۲-۹- حالات حدی ..... ۱۷
۲-۹-۱- حالت حدی نهایی ..... ۱۷
۲-۹-۱-۱- حالات شکست خارجی ..... ۱۷
۲-۹-۱-۱-۱- شکست پایداری کلی دیوار میخکوبی شده ..... ۱۷
۲-۹-۱-۱-۲- شکست لغزشی دیوار میخکوبی شده ..... ۱۸
۲-۹-۱-۱-۳- شکست بلند شدن از کف ..... ۱۸
۲-۹-۱-۲- حالت های گسیختگی داخلی ..... ۱۹
۲-۹-۱-۲-۱- حالت شکست بیرون کشیدگی میلگرد و دوغاب اطراف آن از خاک ..... ۱۹
۲-۹-۱-۲-۲- حالت شکست بیرون کشیدگی میلگرد از دوغاب ..... ۱۹
۲-۹-۱-۲-۳- حالت شکست کششی میلگرد ..... ۲۰
۲-۹-۱-۲-۴- حالت شکست خمشی- برشی میلگرد ..... ۲۰
۲-۹-۱-۳- حالات شکست اتصالات نما ..... ۲۱
۲-۹-۱-۳-۱- شکست خمشی ..... ۲۱
۲-۹-۱-۳-۲- شکست برشی پانچ ..... ۲۱
۲-۹-۱-۳-۳- شکست کششی سر گلمیخ ..... ۲۱
۲-۹-۲- حالت حدی بهره برداری ..... ۲۲
۲-۹-۲-۱- تغییر شکل دیوار ..... ۲۲
۳- مروری بر مطالعات گذشته ..... ۲۶
۳-۱- مقدمه ..... ۲۶
۳-۲- مطالعات فان و لیو ..... ۲۶
۳-۳- مطالعات سینق و بابو ..... ۳۱
۳-۴- مطالعات ژانگ، سانگ و چن ..... ۳۵
۳-۵- مطالعات انجام شده در IITRoorkee ..... ۳۸
۳-۶- مطالعات پورمحمدی و همکاران ..... ۴۱
۴- نرم افزار Plaxis ..... ۴۷
۴-۱- مقدمه ..... ۴۷

۴-۲- معرفی ..... ۴۷
۴-۳- زیر برنامه های برنامه PLAXIS ..... ۴۸
۴-۳-۱- ورودی (Input) ..... ۴۸
۴-۳-۱-۱- مدل ها (Models) ..... ۴۸
۴-۳-۱-۱-۱- مدل کرنش صفحه ای (Plane Strain) ..... ۴۸
۴-۳-۱-۱-۲- مدل تقارن محوری (Axial Symetry) ..... ۴۹
۴-۳-۱-۲- المان ها (Elements) ..... ۴۹
۴-۳-۱-۲-۱- المان مثلث ۱۵ گرهی (۱۵-node triangle element) ..... ۴۹
۴-۳-۱-۲-۲- المان مثلث ۶ گرهی (۶-node triangle element) ..... ۵۰
۴-۳-۱-۳- زیر منوهای زیر برنامه ورودی ..... ۵۰
۴-۳-۱-۳-۱- هندسه (Geometry) ..... ۵۰
۴-۳-۱-۳-۲- شرایط مرزی و بارها (Loads & Boundary Conditions) ..... ۵۴
۴-۳-۱-۳-۳- مصالح (Materials) ..... ۵۵
۴-۳-۱-۳-۴- مش بندی (Meshing) ..... ۵۹
۴-۳-۱-۳-۵- شرایط اولیه (Initial conditions) ..... ۵۹
۴-۳-۲- محاسبات (Calculations) ..... ۵۹
۴-۳-۲-۱- محاسبات پلاستیک (Plastic Calculations) ..... ۶۰
۴-۳-۲-۲- آنالیز تحکیم (Consolidation Analysis) ..... ۶۰
۴-۳-۲-۳- آنالیز ایمنی- کاهش Phi-C (Safety Analysis ) ..... ۶۰
۴-۳-۲-۴- آنالیز مش به روز شده (Updated Mesh Analysis) ..... ۶۰
۴-۳-۳- خروجی (Output) ..... ۶۰
۴-۳-۳-۱- تغییر شکل ها (Displacements) ..... ۶۱
۴-۳-۳-۲- تنش ها (Stresses) ..... ۶۱
۴-۳-۱-۳- نقاط پلاستیک (Plastic Points ) ..... ۶۱
۴-۳-۴- منحنی ها (Curves) ..... ۶۱
۴-۳-۴-۱- منحنی های بار- تغییر شکل (Load-Displacement Curves ) ..... ۶۱
۴-۳-۴-۲- منحنی های تغییر شکل- زمان (Time-Displacement Curves ) ..... ۶۲
۴-۳-۴-۳- منحنی های تنش-کرنش ( Stress-Strain Diagrams ) ..... ۶۲
۴-۳-۴-۴- مسیرهای تنش و کرنش (Stress & Strain Paths) ..... ۶۲

۴-۴- مدل سازی المان محدود دیوارهای میخکوبی شده ..... ۶۲
۴-۴-۱- پارامترهای معادل برای میخ ها ..... ۶۲
۴-۴-۲- روش کلی برای مدل سازی عددی دیوارهای میخکوبی شده ..... ۶۳
۵- نتایج تحلیل مدل سازی ها و بحث در مورد آنها ..... ۶۶
۵-۱- مقدمه ..... ۶۶
۵-۲- بررسی آرایش های هندسی مختلف میخ ها ..... ۷۱
۵-۳- بررسی تغییرات زاویه میخکوبی و یافتن زاویه بهینه ..... ۸۵
۵-۴- بررسی تغییرات زاویه دیوار میخکوبی شده ..... ۸۶
۵-۵- بررسی تغییرات فاصله قائم میخ ها ..... ۸۸
۵-۶- بررسی تغییرات نسبت طول میخ به ارتفاع دیواره ..... ۹۰
۵-۷- بررسی تغییرات ارتفاع دیواره ..... ۹۱
۵-۸- بررسی تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی ..... ۹۲
۵-۹- بررسی تغییرات زاویه اصطکاک خاک ..... ۹۴
۵-۱۰- بررسی تغییرات چسبندگی خاک ..... ۹۵
۵-۱۱- بررسی تغییرات مدول الاستیسیته خاک ..... ۹۶
۵-۱۲- بررسی تغییرات وزن مخصوص خاک ..... ۹۷
۵-۱۳- بررسی تغییرات ضریب کاهش مقاومت سطح ..... ۹۸
۵-۱۴- بررسی تغییرات همزمان پارامترهای مکانیکی خاک ..... ۹۹
۶- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ..... ۱۰۳
۶-۱- نتایج ..... ۱۰۳
۶-۲- پیشنهادات ..... ۱۰۴
منابع ..... ۱۰۵

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱: مولفه های اصلی دیوار های میخکوب ..... ۶
شکل ۲-۲: توالی اجرای دیوار های میخکوبی ..... ۱۰
شکل ۲-۳: سطوح مستعد شکست و نیروهای کششی میخ ..... ۱۶
شکل ۲-۴: نمایی از شکست پایداری کلی دیوار میخکوبی شده ..... ۱۷
شکل ۲-۵: نمایی از شکست لغزشی دیوار میخکوبی شده ..... ۱۸
شکل ۲-۶: نمایی از شکست بلند شدن از کف ..... ۱۸
شکل ۲-۷: نمایی از شکست بیرون کشیدگی میلگرد و دوغاب اطراف آن از خاک ..... ۱۹
شکل ۲-۸: نمایی از شکست بیرون کشیدگی میلگرد از دوغاب ..... ۲۰
شکل ۲-۹: نمایی از شکست کششی میلگرد ..... ۲۰
شکل ۲-۱۰: نمایی از شکست خمشی- برشی میلگرد ..... ۲۱
شکل ۲-۱۱: نمایی از شکست خمشی، برشی و اتصالات رویه ..... ۲۲
شکل ۲-۱۲: تغییر شکل دیوار میخکوبی شده ..... ۲۴
شکل ۳-۱: ابعاد هندسی دیوار میخکوبی شده پروژه کلوتره ..... ۲۷
شکل ۳-۲: مش المان محدود دیواره کلوتره ..... ۲۸
شکل ۳-۳: مقایسه تغییر شکل های جانبی محاسبه شده دیواره کلوتره (۲ متر پشت رویه) با ..... ۲۹
شکل ۳-۴: مقایسه مقادیر نیروهای کششی ماکزیمم محاسبه شده و مقادیر اندازه گیری شده ..... ۲۹
شکل ۳-۵: نحوه توزیع میخ ها در ارتفاع دیواره به سه صورت ممکن ..... ۳۰
شکل ۳-۶: دیوار مدل شده در نرم افزار Plaxis برای مطالعات پارامتریک ..... ۳۳
شکل ۳-۷: نمودار تغییر شکل جانبی دیواره مفروض، در برابر مراحل ساخت (برای مدل های مختلف). ۳۴
شکل ۳-۸: نمودار تغییر شکل جانبی دیواره مفروض، در برابر مراحل ساخت ..... ۳۵
شکل ۳-۹: تغییر شکل افقی دیواره مفروض (در محل ۱ متر پشت رویه) در مراحل مختلف ساخت ..... ۳۷
شکل ۳-۱۰: تغییر شکل افقی دیواره مفروض (در محل ۱ متر پشت رویه) در مرحله پایان ساخت ..... ۳۷
شکل ۳-۱۱: تغییر شکل افقی دیواره مفروض (در محل ۱ متر پشت رویه) ..... ۳۸
شکل ۳-۱۲: نیروهای موجود در یک دیوار میخکوبی شده ..... ۳۹
شکل ۳-۱۳: تغییرات ضریب اطمینان با افزایش زاویه اصطکاک داخلی ..... ۴۰
شکل ۳-۱۴: تغییرات ضریب اطمینان با افزایش میزان چسبندگی ..... ۴۰
شکل ۳-۱۵: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش زاویه میخ ..... ۴۱
شکل ۴-۱ نمونه هایی از مسائل کرنش صفحه ای و تقارن محوری ..... ۴۹

شکل ۴-۲: المان مثلث ۱۵ گره ای ..... ۴۹
شکل ۴-۳: المان مثلث ۶ گرهی ..... ۵۰
شکل ۴-۴: نمونه ای از مسائل ژئوتکنیکی شامل صفحات ..... ۵۱
شکل ۴-۵: سخت بودن گوشه های سازه و کیفیت پایین نتایج تنش ..... ۵۳
شکل ۴-۶: استفاده از المان سطح مشترک و بهبود نتایج تنش ..... ۵۳
شکل ۴-۷: نتایج حاصل از آزمایش ۳ محوری زهکشی شده، مدل الاستوپلاستیک معادل ..... ۵۶
شکل ۴-۸: نمونه ای از مسائل ژئوتکنیکی شامل ژئوگرید ..... ۵۸
شکل ۵-۳: مدل اولیه میخکوبی ..... ۷۱
شکل ۵-۱۹: نمایی از سطح گسیختگی آرایش هندسی شماره ۳ ..... ۷۵
شکل ۵-۲۰: مش تغییر شکل یافته ی آرایش هندسی شماره ۱۰ ..... ۷۶
شکل ۵-۲۱: نمایی از سطح گسیختگی آرایش هندسی شماره ۴ ..... ۷۸
شکل ۵-۲۲: مش تغییر شکل یافته ی آرایش هندسی شماره ۷ ..... ۷۸
شکل ۵-۲۳: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش زاویه میخکوبی برای دیواره قائم ..... ۸۵
شکل ۵-۲۴: روند تغییرات تغییر شکل با افزایش زاویه میخکوبی برای دیواره قائم ..... ۸۶
شکل ۵-۲۵: نمایی از دیواره ی قائم با زاویه میخ ۱۵ درجه ..... ۸۶
شکل ۵-۲۶: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش زاویه دیواره ..... ۸۷
شکل ۵-۲۷: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش زاویه دیواره و تعیین زاویه بهینه میخ ..... ۸۸
شکل ۵-۲۸: مش تغییر شکل یافته ی دیواره با زاویه ۱۰ درجه و میخ با زاویه ۲۵ درجه ..... ۸۸
شکل ۵-۲۹: نمایی از طرح هندسی مدل چهارم ..... ۸۹
شکل ۵-۳۰: روند تغییرات ضریب اطمینان با تغییر نسبت فاصله قائم میخ ها ..... ۹۰
شکل ۵-۳۱: روند تغییرات ضریب اطمینان را با افزایش نسبت طول میخ به ارتفاع دیواره ..... ۹۰
شکل ۵-۳۲: روند تغییرات تغییر شکل افقی با افزایش نسبت طول میخ به ارتفاع دیواره ..... ۹۱
شکل ۵-۳۳: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش ارتفاع دیواره ..... ۹۱
شکل ۵-۳۴: روند تغییرات تغییر شکل افقی با افزایش ارتفاع دیواره ..... ۹۲
شکل ۵-۳۵: روند تغییرات ضریب اطمینان با کاهش سطح تراز آب زیرزمینی ..... ۹۲
شکل ۵-۳۶: نمایی از مدل مورد بررسی با سطح تراز آب زیرزمینی در عمق ۴,۵ متر ..... ۹۳
شکل ۵-۳۷: روند تغییرات تغییر شکل افقی با کاهش سطح تراز آب زیرزمینی ..... ۹۳
شکل ۵-۳۸: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش زاویه اصطکاک ..... ۹۴
شکل ۵-۳۹: روند تغییرات تغییر شکل با افزایش زاویه اصطکاک خاک ..... ۹۴

شکل ۵-۴۰: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش میزان چسبندگی خاک ..... ۹۵
شکل ۵-۴۱: روند تغییرات تغییر شکل افقی با افزایش میزان چسبندگی خاک ..... ۹۶
شکل ۵-۴۲: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش مدول الاستیسیته خاک ..... ۹۶
شکل ۵-۴۳: روند تغییرات تغییر شکل با افزایش مدول الاستیسیته خاک ..... ۹۷
شکل ۵-۴۴: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش وزن مخصوص خاک ..... ۹۷
شکل ۵-۴۶: روند تغییرات ضریب اطمینان با افزایش مقدار ضریب کاهش مقاومت سطح ..... ۹۹

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱: مقادیر $\boldsymbol{\delta hHi}$ و C به عنوان توابعی از شرایط خاک ..... ۲۳
جدول ۳-۱: مشخصات خاک استفاده شده در تحلیل های المان محدود ..... ۲۶
جدول ۳-۲: خصوصیات خاک، میخ ها و رویه دیواره کلوتره ..... ۲۸
جدول ۳-۳: مشخصات هندسی دیواره و سایر پارامترهای مربوط به آن ..... ۳۲
جدول ۳-۵: ویژگی های مصالح خاک، میخ ها و رویه برای مطالعات پارامتریک ..... ۳۶
جدول ۳-۶: مشخصات مطالعات موردی ..... ۴۲
جدول ۳-۷: تیپ های مختلف میخکوبی ..... ۴۲
جدول ۳-۸: آنالیزهای مطالعه موردی اول (پروژه مهرشهر) ..... ۴۳
جدول ۳-۹: آنالیزهای مطالعه موردی دوم (پروژه داریوش) ..... ۴۳
جدول ۳-۱۰: آنالیزهای مطالعه موردی سوم (پروژه اختیاریه) ..... ۴۳
جدول ۳-۱۱: نتایج آنالیز پروژه مهرشهر ..... ۴۴
جدول ۳-۱۲: نتایج آنالیز پروژه کوروش ..... ۴۴
جدول ۳-۱۳: نتایج آنالیز پروژه اختیاریه ..... ۴۴
جدول ۵-۱: مشخصات خاک مدل شده در نرم افزار Plaxis ..... ۷۰
جدول ۵-۲: مشخصات میخ و نمای بتنی دیواره ی مدل شده در نرم افزار ..... ۷۰
جدول ۵-۳: مشخصات خاک ماسه ای با درصد رس زیاد ..... ۷۳
جدول ۵-۴: مقادیر ضریب اطمینان و تغییر شکل افقی دیواره با آرایش های هندسی مختلف و رده بندی آنها درخاک ماسه ای با درصد رس زیاد ..... ۷۴
جدول ۵-۵: مشخصات خاک مدل شده در نرم افزار برای خاک شنی با درصد رس متوسط ..... ۸۰
جدول ۵-۶: مقادیر ضریب اطمینان و تغییر شکل افقی دیواره با آرایش های هندسی مختلف و رده بندی آنها درخاک شنی با درصد رس متوسط ..... ۸۰
جدول ۵-۷: مشخصات خاک مدل شده در نرم افزار برای خاک شنی لای دار ..... ۸۱
جدول ۵-۸: مقادیر ضریب اطمینان و تغییر شکل افقی دیواره با آرایش های هندسی مختلف و رده بندی آنها درخاک شنی لای دار ..... ۸۱
جدول ۵-۹: مشخصات خاک مدل شده در نرم افزار برای خاک ماسه ای با درصد رس کم ..... ۸۲
جدول ۵-۱۰: مقادیر ضریب اطمینان و تغییر شکل افقی دیواره با آرایش های هندسی مختلف و رده بندی آنها درخاک ماسه ای با درصد رس کم ..... ۸۲
جدول ۵-۱۱: مشخصات خاک مدل شده در نرم افزار برای خاک رسی ماسه دار ..... ۸۳

جدول ۵-۱۲: مقادیر ضریب اطمینان و تغییر شکل افقی دیواره با آرایش های هندسی مختلف و رده بندی آنها در خاک رسی ماسه دار ..... ۸۳
جدول ۵-۱۳: مشخصات خاک مدل شده در نرم افزار برای خاک CL-ML..... ۸۴
جدول ۵-۱۴: مقادیر ضریب اطمینان و تغییر شکل افقی دیواره با آرایش های هندسی مختلف و رده بندی آنها در خاک CL-ML .....۸۴
جدول ۵-۱۵: نسبت های در نظر گرفته شده برای $\boldsymbol{Sv}$ و $\boldsymbol{Sv'}$ .....۸۹
جدول ۵-۱۶: چگونگی تاثیر تغییرات همزمان پارامترهای خاک بر مقادیر ضریب اطمینان و تغییر شکل ۱۰۰
جدول ۵-۱۷: نتایج تغییرات φ، C، E بر ضریب اطمینان و تغییر شکل افقی دیواره..... ۱۰۰

# فصل اول:

# مقدمه

## ۱ ـ۱ مقدمه

امروزه روش میخکوبی گودبرداری ها و شیروانی های خاکی در بسیاری از نقاط دنیا به صورت گسترده به منظور افزایش پایداری مورد استفاده قرار می گیرد. یک دیواره ی میخکوبی شده از سه بخش توده خاک، تسلیح کننده ها و نمای دیواره تشکیل شده است. تسلیح کننده ها باعث افزایش مقاومت و سختی توده خاک می گردند و همچنین در برابر فشار ناشی از سربار و یا وزن توده خاک مقاومت می نمایند و به این صورت موجب پایداری گودبرداری ها یا شیروانی ها می گردند. با توجه به افزایش بیش از پیش جمعیت شهرها و همچنین ارزشمند شدن زمین نیاز به گودبرداری های عمیق جهت ساخت طبقات زیرزمینی افزایش یافته است.

ناپایداری های احتمالی این گودبرداری ها یکی از خطرات تهدیدکننده در اجرای سازه ها می باشد، زیرا گود برداری های غیر ایمن و ناپایدار می توانند مشکلات جدی و فراوانی را برای سازه های مجاور گودبرداری پدید آورند که چشم پوشی از آنها باعث وارد آمدن خسارات جبران ناپذیری می شود. روش های مناسب پایدارسازی دیوارهای گود با توجه به جنس خاک، ابعاد و عمق گودبرداری، موقعیت گود، شرایط بارگذاری اطراف محل گودبرداری، سطح آب زیرزمینی و دانش فنی و احساس مسئولیت مهندسان طراح و ناظر به حقوق عمومی و سلامت دیگران قابل مطالعه و انتخاب می باشند. روش میخکوبی خاک به علت روند اجرای از بالا به پایین همراه با پیشرفت مراحل گودبرداری، انعطاف پذیری طراحی با توجه به مشخصات پروژه، سهولت و سرعت بالای اجرا و هزینه کمتر در مقایسه با روش های دیگر یکی از پرکاربردترین و موثرترین روش های حفاظت از گودبرداری می باشد.

## ۱ ـ۲ تشریح موضوع و اهداف پایان نامه

جهت بررسی طرح بهینه گودبرداری های میخکوبی شده، تحقیقاتی در رابطه با مکانیزم میخکوبی خاک و تاثیر طرح هندسی میخ ها بر پایداری کلی این گودبرداری ها مورد نیاز می باشد. پایداری کلی گودبرداری های میخکوبی شده با زوایای گوناگون میخ و آرایش های هندسی مختلف، شامل طول و فاصله عمودی میخ، با استفاده از روش عددی (اجزا محدود) و به کمک نرم افزار Plaxis بررسی خواهد شد و ضریب اطمینان گودبرداری های مذکور، جهت ارزیابی نقش میخ ها در پایداری آنها، محاسبه خواهد شد و آرایش بهینه ای که منجر به دست یافتن به ضریب اطمینان مورد نیاز و تغییر شکل مجاز می باشد، انتخاب خواهد شد.

در این پایان نامه اکثر موارد و پارامترهای تاثیرگذار بر دیوارهای میخکوبی شده در نرم افزار Plaxis مورد بحث قرار گرفته است. این موارد شامل بررسی آرایش های هندسی مختلف میخ ها و

یافتن حالت بهینه از بین ۱۵ مدل پیشنهادی، بررسی تاثیر تغییرات پارامترهای مکانیکی خاک از جمله مقدار چسبندگی، زاویه اصطکاک، مدول الاستیسیته، بررسی تاثیر تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی، بررسی تاثیر تغییرات نسبت طول میخ به ارتفاع دیواره، بررسی زوایای مختلف میخ و یافتن زاویه بهینه برای دیواره ها با زوایای متفاوت، بررسی اثر فاصله قائم میخ ها، بر مقادیر ضریب اطمینان و تغییر شکل دیواره می باشد.

## ۱ ۳ نوآوری تحقیق

در این تحقیق مطالعاتی بر روی انواع آرایش های هندسی میخ ها در ۶ نوع خاک مختلف صورت گرفته است و تاثیر هر یک از طرح های مذکور بر روی ضریب اطمینان و تغییر شکل بررسی شده است و در پایان با توجه به نوع خاک، آرایش های هندسی رتبه بندی شده اند و آرایش بهینه انتخاب شده است.

## ۱ ۴ محتوای پایان نامه

این پایان نامه در در ۶ فصل تنظیم شده است:

فصل اول به مقدمه ای از روش میخکوبی خاک ارائه و همچنین به تشریح موضوع و اهداف و نوآوری پایان نامه می پردازد.

فصل دوم به صورت کامل به معرفی روش میخکوبی خاک و روش های اجرا و تحلیل آن اشاره خواهد داشت.

در فصل سوم مروری بر تحقیقات و مطالعات صورت گرفته در گذشته انجام خواهد شد.

در فصل چهارم به معرفی نرم افزار Plaxis و نحوه مدل سازی و چگونگی روش های محاسباتی پرداخته خواهد شد.

فصل پنجم به تحلیل نتایج حاصل از مدل سازی آرایش های هندسی مختلف و همچنین تاثیر پارامترهای مختلف بر ضریب اطمینان و تغییر شکل دیواره ی میخکوبی شده در Plaxis خواهد پرداخت.

در فصل ششم نتایج حاصل از این تحقیق ارائه می شود و همچنین به منظور تحقیقات بیشتر در آینده پیشنهاداتی ارائه خواهد شد.

# فصل دوم:

# معرفی دیوارهای میخکوبی شده

# ۲ معرفی دیوارهای میخکوبی شده

## ۲-۱ مقدمه

میخکوبی خاک به معنای تحکیم غیرفعال (بدون اعمال پیش تنیدگی) زمین می باشد که انجام این کار به کمک نصب میخ ها (میله های فولادی) صورت می پذیرد. متعاقباً این میخ ها به کمک تزریق در دوغاب سیمان قرار می گیرند. با ادامه روند ساخت که به صورت رو به پایین انجام می شود یک لایه شاتکریت یا لایه بتنی نیز بر سطح حفاری اجرا می شود که پیوستگی میان میخ ها را برقرار می کند. به طور معمول از این تکنیک جهت تحکیم شیروانی ها و گودبرداری ها که عملیات حفاری در آن ها رو به پایین می باشد استفاده می شود. به کارگیری این تکنیک دارای امتیازاتی نسبت به دیگر سیستم های نگهداری می باشد. اجرای میخکوبی خاک در شرایط مناسب، به جای استفاده از سپر کوبی و انکرها که از سیستم های نگهداری متداول در حفاری های رو به پایین می باشند، بدون شک گزینه مناسبی از نظر اجرایی و اقتصادی خواهد بود [۱].

## ۲-۲ تاریخچه

مبدأ اصلی این روش را می توان سازه نگهبان به کار رفته در حفاری فضاهای زیرزمینی که در روش تونل سازی اتریشی استفاده می شود، دانست. در این روش تونل سازی برای پایدار نمودن فضای حفاری از نصب آرماتورهای فولادی غیرفعال که در محیط سنگی نصب می شوند، استفاده می شود. همچنین برای ایجاد پیوستگی بین آن ها و یکپارچگی فضای حفاری از شاتکریت مسلح نیز کمک گرفته می شود. ایده به کارگیری آرماتورهای فولادی غیرفعال و شاتکریت در نگهداری شیب های سنگی به اوایل دهه ۱۹۶۰ بر می گردد [۱].

یکی از نخستین کاربرد های میخکوبی در سال ۱۹۷۲ به جهت پروژه تعریض راه آهن در نزدیکی شهر ورسایلز[۱] فرانسه بود که یک شیب ماسه ای با ارتفاع ۱۸ متر با استفاده از میخکوبی پایدار گردید. به لحاظ اجرایی و سرعت اجرا استفاده از میخکوبی در فرانسه و سایر مناطق اروپا افزایش یافت. طرح ریزی تحقیقاتی اولیه بر روی دیوار های میخکوبی در آلمان از سال های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۱ توسط دانشگاه کارلسروهه[۲] و شرکت ساختمانی بایر[۱] انجام گردید، در فرانسه برنامه تحقیقاتی

[۱] Versailles

[۲] Karlsruhe