



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "*M.Sc*"
مهندسی معدن – گرایش استخراج

عنوان:

مدلسازی پیلارها در روش جبهه کار طولانی با استفاده از تکنیک های
پیشرفته عددی

استاد راهنما:

استاد مشاور:

نگارش:

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۳	فصل اول - مکانیک سنگ کاربردی در پایداری سازه های زیرزمینی
۳	۱ - ۱ - مقدمه
۳	۱ - ۲ - تحلیل تنش
۴	۱ - ۳ - برآورد تنش های برجا
۵	۱ - ۴ - ویژگی های فیزیکی و مکانیکی عنصر سنگ و توده سنگ
۵	۱ - ۴ - ۱ - ویژگی های فیزیکی
۶	۱ - ۴ - ۲ - ویژگی های مکانیکی
۶	۱ - ۴ - ۲ - ۱ - ویژگی های مقاومت
۷	۱ - ۴ - ۲ - ۲ - ویژگی های تغییر شکل
۹	۱ - ۵ - واکنش سنگ ها در برابر تنش های همه جانبه مساوی
۱۰	۱ - ۶ - واکنش سنگ ها در برابر تنش های نامساوی
۱۲	فصل دوم - سابقه، نقش و روش های طراحی پیلارهای زغالی
۱۲	۲ - ۱ - مقدمه
۱۳	۲ - ۲ - بار فرعی در طراحی پیلار
۱۴	۲ - ۲ - ۱ - ویژگی های روش بار فرعی
۱۴	۲ - ۲ - ۲ - محدودیت های روش بار فرعی
۱۵	۲ - ۳ - روش های تجربی طراحی پیلار
۱۸	۲ - ۳ - ۱ - مزایای فرمول های تجربی
۱۸	۲ - ۳ - ۲ - محدودیت های فرمول های تجربی
۱۹	۲ - ۴ - دقت روش های تجربی
۲۲	۲ - ۵ - شکست پایدار و ناپایدار پیلار
۲۳	۲ - ۵ - ۱ - امتیازات بالقوه شکست پایدار پیلار
۲۵	۲ - ۵ - ۲ - محدودیت های شکست پایدار پیلار
۲۶	۲ - ۶ - مدل ویلسون

۲۷	۲-۶-۱- مزایای مدل ویلسون
۲۷	۲-۶-۲- بررسی محدودیت های مدل هسته محدود ویلسون
۳۰	۲-۷- مدل کرنش نرمی زغال سنگ
۳۳	۲-۷-۱- مزایای مدل کرنش نرمی
۳۳	۲-۷-۲- محدودیت های مدل کرنش نرمی
۳۴	۲-۸- نتیجه گیری
۳۶	فصل سوم - روش های طراحی پیلار در معادن جبهه کار طولانی
۳۶	۳-۱- تجربه معدنکاری به روش جبهه کار طولانی در اروپا
۳۶	۳-۲- تجربه معدنکاری به روش جبهه کار طولانی در امریکا
۳۸	۳-۳- روش های طراحی پیلار زنجیره ای معادن جبهه کار طولانی در امریکا
۴۰	۳-۴- روش آنالیز پایداری پیلار جبهه کار طولانی (ALPS)
۴۰	۳-۴-۱- فرمول تجربی و مقاومت پیلار
۴۱	۳-۴-۲- مدل نشست و بار اعمالی بر پیلار
۴۴	۳-۴-۳- شیوه طراحی
۴۴	۳-۴-۴- پذیرش سطح بالای تنش افقی
۴۵	۳-۴-۵- پهنای ورودی، کیفیت سقف و کف
۴۵	۳-۴-۶- کاربرد در طراحی پیلار موقت
۴۶	۳-۵- روش طراحی پیلار زنجیره ای کار - ویلسون
۴۸	۳-۵-۱- مدل هسته محدود
۴۹	۳-۵-۲- مدل نشست و بار اعمالی بر پیلار
۵۲	۳-۵-۳- شیوه طراحی
۵۲	۳-۵-۴- پذیرش سطح بالای تنش افقی
۵۲	۳-۵-۵- پهنای ورودی، کیفیت سقف و کف
۵۳	۳-۵-۶- کاربرد در طراحی پیلار موقت
۵۴	۳-۶- روش طراحی پیلار زنجیره ای سوینگ - پنگ
۵۵	۳-۶-۱- مدل اصلی
۵۵	۳-۶-۲- مکانیزم تخریب و بار اعمالی بر پیلار
۵۷	۳-۶-۳- شیوه طراحی و توسعه فرمول
۶۰	۳-۶-۴- پذیرش سطح بالای تنش افقی
۶۱	۳-۶-۵- پهنای ورودی، کیفیت سقف و کف

۶۱	۳-۶-۶- کاربرد در طراحی پیلار موقت
۶۲	۳-۷- روش طراحی پیلار زنجیره ای چی- مک کین
۶۳	۳-۷-۱- فرمول تجربی و مقاومت پیلار
۶۴	۳-۷-۲- بار اعمالی بر پیلار، تخریب و مدل نشست
۶۶	۳-۷-۳- شیوه طراحی
۶۸	۳-۷-۴- پذیرش سطح بالای تنش افقی
۶۸	۳-۷-۵- پهنای ورودی، کیفیت سقف و کف
۶۹	۳-۷-۶- کاربرد در طراحی پیلار موقت
۶۹	۳-۸- نتیجه گیری
۷۳	فصل چهارم - آنالیز مدل های کرنش نرمی
۷۳	۴-۱- مقدمه
۷۵	۴-۲- مدل کرنش نرمی هوک و براون
۷۸	۴-۳- مدل کرنش نرمی FLAC
۸۰	۴-۴- مدل کرنش نرمی گریفیث
۸۲	۴-۵- مدل کرنش نرمی دیست
۸۵	۴-۶- مقایسه مدل های اصلی کرنش نرمی
۸۷	۴-۷- نتیجه گیری
۸۸	فصل پنجم - توسعه مدل عددی و شبیه سازی پیلار
۸۸	۵-۱- مقدمه
۹۶	۵-۲- مدلسازی مقدماتی
۹۷	۵-۲-۱- آنالیز حساسیت ابعاد شبکه بندی
۹۹	۵-۲-۲- آنالیز نرخ بارگذاری
۱۰۳	۵-۲-۳- مطالعه نسبت عرض به ارتفاع پیلار
۱۰۸	۵-۲-۴- تاثیر سطح مشترک در محل برخورد سقف و زغال سنگ
۱۱۲	۵-۲-۵- مکانیزم استخراج و بارگذاری
۱۱۶	۵-۳- شبیه سازی آزمایش مقاومت فشاری سه محوری
۱۲۳	فصل ششم - آنالیز مدل شبیه سازی شده
۱۲۳	۶-۱- مقدمه
۱۲۳	۶-۲- آنالیز پارامتری مدل شبیه سازی شده
۱۲۴	۶-۳- آنالیز مدل شبیه سازی تسلیم شدن پیلار زغالی

۱۲۹

۱۳۰

۱۳۳

۶-۴- نتیجه گیری

فصل هفتم - نتیجه گیری

منابع

فهرست شکل ها

فصل اول

- شکل ۱-۱: منحنی تنش - کرنش اجسام الاستیک (الف) الاستیک خطی (ب) الاستیک غیر خطی ۷
- شکل ۱-۲: منحنی تنش - کرنش (الف) حالت وارفتگی (ب) جسم پلاستیک ۸
- شکل ۱-۳: مدل های رفتاری سنگ ها (الف) پلاستیک کامل (ب) الاستوپلاستیک (ج) الاستوپلاستیک نرم شونده (د) الاستوپلاستیک سخت شونده ۹
- شکل ۱-۴: رفتار سنگ ها در برابر تنش هیدرواستاتیکی ۱۰
- شکل ۱-۵: رفتار سنگ ها در برابر تنش های نامساوی ۱۰

فصل دوم

- شکل ۲-۱: مقایسه روابط تجربی مقاومت پیلار برای عرض های مختلف و ارتفاع ثابت ۱۰ فوت ۱۷
- شکل ۲-۲: منحنی تنش - کرنش پیلار ۲۴
- شکل ۲-۳: منحنی تنش - کرنش در مدل ویلسون ۳۱
- شکل ۲-۴: منحنی تنش - کرنش در مدل کرنش نرمی دیست ۳۲

فصل سوم

- شکل ۳-۱: بارگذاری بر روی پیلار زنجیره ای در زمان پیشروی ۳۸
- شکل ۳-۲: توزیع مجدد تنش پیلار موقت بر اساس تئوری قوس فشار ۳۸
- شکل ۳-۳: مدل کلی نشست در روش ALPS، راست) شرایط بارگذاری فوق بحرانی، چپ) شرایط بارگذاری بحرانی ۴۱
- شکل ۳-۴: منحنی توزیع بار تکیه گاهی ۴۳
- شکل ۳-۵: پروفیل تنش اولیه در پیلار ۴۷
- شکل ۳-۶: پروفیل تنش حد پایداری ورودی ۴۸
- شکل ۳-۷: پروفیل تنش حد نهایی مقاومت ۴۸
- شکل ۳-۸: توزیع تنش برای تعیین بار تکیه گاهی اعمال شده بر پیلار های جبهه کار طولانی ۵۰
- شکل ۳-۹: وضعیت تنظیمات زمین شناسی و هندسی مدل عددی سوینگ - پنگ ۵۶
- شکل ۳-۱۰: آنالیز برگشتی موارد مورد مطالعه با روش سوینگ - پنگ ۶۰
- شکل ۳-۱۱: آنالیز برگشتی موارد مورد مطالعه با روش چی - مک کین ۶۳

شکل ۳- ۱۲: جابجایی توده سنگ بالای پانل ۶۴

شکل ۳- ۱۳: نحوه حرکت زمین بالای پانل ۶۶

فصل چهارم

شکل ۴- ۱: مدل کرنش نرمی هوک و براون، کرنش صفحه ای ۷۶

شکل ۴- ۲: مدل کرنش نرمی FLAC، شبکه تکی، $W: H = 0.5$ ۷۹

شکل ۴- ۳: مدل کرنش نرمی گریفیث، کرنش محوری ۸۱

شکل ۴- ۴: مدل کرنش نرمی دیست، کرنش صفحه ای ۸۳

فصل پنجم

شکل ۵- ۱: طرح ساده مدل عددی تفاضل محدود ۹۰

شکل ۵- ۲: وضعیت شماتیک مدل الاستیک ایزوتروپ متقاطع ۹۲

شکل ۵- ۳: مدل اولیه در نرم افزار FLAC ۹۸

شکل ۵- ۴: تاثیر ابعاد شبکه بندی برای پیلاری با نسبت عرض به ارتفاع ۲ ۹۹

شکل ۵- ۵: مقایسه نرخ بارگذاری برای پیلاری با نسبت عرض به ارتفاع ۲ و ابعاد شبکه بندی ۵ در ۱۰ ۱۰۱

شکل ۵- ۶: مقایسه نرخ بارگذاری برای پیلاری با نسبت عرض به ارتفاع ۲ و ابعاد شبکه بندی ۱۰ در ۲۰ ۱۰۱

شکل ۵- ۷: مقایسه نرخ بارگذاری برای پیلاری با نسبت عرض به ارتفاع ۴,۷ و ابعاد شبکه بندی ۶۰ در ۱۰ ۱۰۲

شکل ۵- ۸: انتخاب ابعاد شبکه بندی بر اساس ثبات عددی مدل ۱۰۴

شکل ۵- ۹: منحنی تنش کرنش پیلار ها، تسلیم شدن پیلار بدون لغزش ۱۰۵

شکل ۵- ۱۰: مقایسه مقاومت فشاری پیلار زغالی شبیه سازی شده با برآورد فرمول های تجربی ۱۰۷

شکل ۵- ۱۱: منحنی تنش کرنش پیلار های زغالی با دو سطح مشترک ۱۰۹

شکل ۵- ۱۲: مقایسه تاثیر وجود یک سطح مشترک و دو سطح مشترک بر رفتار پیلار ۱۱۰

شکل ۵- ۱۳: تاثیر وجود یا عدم وجود سطح مشترک در رفتار پیلار ۱۱۱

شکل ۵- ۱۴: مقایسه مقاومت فشاری پیلار شبیه سازی شده با برآورد روابط تجربی ۱۱۲

شکل ۵- ۱۵: منحنی تنش کرنش پیلاری با نسبت عرض به ارتفاع ۳ تحت دومین سطح تنش ۱۱۵

شکل ۵- ۱۶: تاثیر مکانیزم بارگذاری بر رفتار پیلار ۱۱۵

شکل ۵- ۱۷: منحنی های تنش کرنش مدل با شبکه تکی تحت تنش های جانبی گوناگون ۱۱۷

شکل ۵- ۱۸: منحنی های تنش کرنش مدل با شبکه ۵ در ۱۰ تحت تنش های جانبی گوناگون ۱۱۷

شکل ۵- ۱۹: منحنی های تنش کرنش مدل با شبکه ۱۰ در ۲۰ تحت تنش های جانبی گوناگون ۱۱۸

شکل ۵- ۲۰: منحنی های تنش کرنش مدل با شبکه ۲۵ در ۵۰ تحت تنش های جانبی گوناگون ۱۱۸

شکل ۵- ۲۱: توزیع چسبندگی مواد در مدل با ابعاد شبکه بندی ۵ در ۱۰ ۱۱۹

شکل ۵- ۲۲: توزیع چسبندگی مواد در مدل با ابعاد شبکه بندی ۲۵ در ۵۰ ۱۱۹

۱۲۱ شکل ۵-۲۳: مقایسه معیار های تجربی، تئوری و شبیه سازی برآورد مقاومت پیک

فصل ششم

۱۲۶ شکل ۶-۱: منحنی های تنش کرنش پیلار شبیه سازی شده با شبکه بندی ریز (۰,۱۵ متر در ۰,۱۵ متر)

۱۲۷ شکل ۶-۲: منحنی های تنش کرنش پیلار شبیه سازی شده با شبکه بندی درشت (۰,۳ متر در ۰,۳ متر)

۱۲۸ شکل ۶-۳: مقایسه مقاومت پیلار شبیه سازی شده با نتایج روابط تجربی

فهرست جداول

فصل چهارم

۸۵	جدول ۴ - ۱: طبقه بندی مدل های اصلی کرنش نرمی
۸۶	جدول ۴ - ۲: مقایسه ویژگی های مدل های اصلی کرنش نرمی

هدف اصلی از این پایان نامه مدلسازی عددی پیلارهای سیستم معدنکاری جبهه کار طولانی، به ویژه پیلارهای موقت می باشد. در این راستا پارامترهای اصلی از جمله نقش پیلارهای زنجیره ای اصلی و موقت، مکانیک سنگ کاربردی در پایداری سازه های زیرزمینی، شیوه های تعیین خصوصیات مکانیکی و مقاومتی سنگ، تکنیک های مدلسازی عددی و توانایی مدل عددی در شبیه سازی رفتار تسلیم شدن پیلار زغالی مطالعه شده است.

مطالعه روش های مرسوم طراحی پیلار زنجیره ای معادن جبهه کار طولانی زغال سنگ نشان داده است که این روش ها تمام پارامترهای موثر در رفتار پیلار را به طور همزمان در نظر نمی گیرند. همچنین استفاده از آنها برای طراحی پیلار موقت غیرمنطقی است.

بنابراین و بر اساس شناسایی پنج مرحله مختلف بارگذاری بر پیلار در سیستم معدنکاری جبهه کار طولانی، روش مدلسازی عددی به عنوان راهکار مناسب طراحی پیلار زنجیره ای، به ویژه برای پیلار موقت پیشنهاد شده است.

با توجه به رفتار کرنش نرمی زغال سنگ در طول پروسه بارگذاری، مدل های مرسوم کرنش نرمی آنالیز و با یکدیگر مقایسه شده اند. بر اساس مطالعه صورت گرفته و با تکیه بر شرایط پیلارهای زغالی معادن جبهه کار طولانی و نیز داده های میدانی قابل دسترس، مدل کرنش نرمی FLAC برای مدلسازی پیلار انتخاب شده است.

در مدلسازی مقدماتی با استفاده از شبیه سازی های متعدد، پارامترهای فیزیکی و مجازی موثر بر رفتار پیلار شناسایی شده اند. همچنین با شبیه سازی تست مقاومت فشاری سه محوری، پتانسیل مدل ایجاد شده در شبیه سازی رفتار تسلیم شدن زغال سنگ ارزیابی شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که مدل عددی می تواند رفتار پیلار زغالی تحت اعمال بارهای گوناگون را شبیه سازی نماید. مقایسه نتایج مدل عددی با برآورد روابط مرسوم طراحی پیلار بیانگر قابلیت اعتماد بالای مدل عددی می باشد؛ البته به شرطی که مدل عددی به صورت موردی با داده های میدانی تنظیم شود. بدین ترتیب، طراحی پیلار با استفاده از روش شبیه سازی ارائه شده در کنار مقایسه نتایج آن با برآورد روابط مرسوم طراحی می تواند میزان ریسک عملیات را کاهش دهد؛ به نحوی که امکان پرهیز از شکست غیر کنترل شده و فاجعه آمیز پیلار زغالی فراهم آید.