

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی معدن

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی معدن گرایش مکانیک سنگ

تحلیل احتمالاتی خواص توده سنگ
مورد مطالعاتی: معدن آهن شماره یک گل گهر

استاد راهنما:

دکتر سعید کریمی نسب

مشاور صنعتی:

مهندس حمید رضا محمدی

مؤلف:

مجتبی ربیعی وزیری

شهریور ماه ۱۳۹۲



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی معدن

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: مجتبی ربیعی وزیری

استاد راهنما: دکتر سعید کریمی نسب

استاد مشاور:

داور ۱: دکتر حسین جلالی فر

داور ۲: دکتر حسین توکلی

نماینده تحصیلات تکمیلی حاضر در جلسه: دکتر حمید منصوری

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

پدر و مادرم

تشکر و قدردانی:

کار تحقیقاتی که در این پایان نامه ارائه شده است در دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن و همچنین در مرکز تحقیق و توسعه معدن گل گهر سیرجان انجام شده است. در مدت زمانی که این تحقیق طول کشید، افراد بسیاری در آن همکاری داشته‌اند که صمیمانه از آنان سپاسگزاری می‌کنم.

ابتدا از جناب آقای دکتر کریمی نسب، استاد راهنمای این پایان نامه و استادیار بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان به خاطر تهیه مقدمات و امکانات این تحقیق، اعتماد و صبر ایشان در کلیه مراحل، پیگیری و تشویق مداومشان و راهنمایی‌های ارزشمندشان بی‌نهایت سپاسگزاری می‌کنم. از جناب آقای مهندس حمید رضا محمدی، دانشجوی دکترا و مسئول واحد مکانیک سنگ معدن گل گهر که مشاور صنعتی اینجانب بودند، به خاطر همه کمک‌ها و تلاش‌های ایشان که از نزدیک با همه مسائل تکنیکی و تحلیلی درگیر بودند بی‌دریغ سپاسگزاری می‌کنم که بدون حضور ایشان انجام این تحقیق از نظر تکنیکی ناممکن می‌نمود.

از آقای عسکری که از پژوهشگران مرکز تحقیق و توسعه معدن گل گهر می‌باشند و همچنین از آقای مهندس زارع، کارشناس ارشد مکانیک سنگ معدن شماره یک گل گهر و نیز از کلیه افرادی که در مجموعه صنعتی و معدنی گل گهر با بنده همکاری نمودند کمال تشکر را دارم.

همچنین از داوران محترم این پایان نامه برای مطالعه دقیق پایان نامه سپاسگزاری می‌کنم.

در نهایت از پدر و مادرم به خاطر حمایت‌های مستمر و دائمی ایشان که همواره در زندگی من جاری است بسیار سپاسگزارم.

مجتبی ربیعی وزیری

شهریور ماه ۱۳۹۲

چکیده:

در تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ، بهره‌گیری از روش‌های تحلیل‌های قطعی متداول می‌تواند پیامدهای گمراه‌کننده‌ای داشته باشد، به کمک تحلیل احتمالاتی دیدگاه واقع‌گرایانه‌ای نسبت به این پارامترها ایجاد می‌شود. هوک و براون روشی را برای تخمین پارامترهای مقاومتی و تغییر شکل‌پذیری توده سنگ‌های درزه‌دار پیشنهاد کردند. زمانی که این روش پیشنهاد و به کار گرفته شد در طراحی‌های مهندسی سنگ به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت. در این قبیل طراحی‌ها اغلب از میانگین مقادیر پارامترهای هوک و براون استفاده می‌شود. محدود بودن مطالعات در بررسی متغیرهای تصادفی مقاومت و همچنین تغییرپذیری خواص توده سنگ در انواع توده سنگ‌ها مانع از اتخاذ تصمیم مناسب شده است. در چنین مواردی تحلیل احتمالاتی خواص توده سنگ اهمیت پیدا می‌کند. در این مطالعه بر اساس نتایج آزمایش‌های مکانیک سنگ بر روی نمونه‌های سنگی محدوده معدن گل‌گهر سیرجان به مدل‌سازی عدم اطمینان‌ها در تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ‌های موجود در معدن، بر اساس معیار شکست هوک و براون پرداخته شد، سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو خصوصیات آماری این پارامترها با استفاده از نتایج شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نهایی نشان داد که خروجی‌های این مطالعه در قالب فاصله‌های اطمینان و توابع توزیع فراوانی تعیین شده برای پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ امکان انجام طراحی‌های مورد نیاز در مباحث تولید و طراحی معدن را بر اساس یک سطح اطمینان مشخص و با استفاده از هر دو دسته روش‌های قطعی و احتمالاتی فراهم می‌کنند. مقایسه فاصله‌های اطمینان تعیین شده برای پارامترهای ورودی به تحلیل در حالت قبل و بعد از شبیه‌سازی نشان دهنده افزایش اطمینان به داده‌های ورودی بعد از شبیه‌سازی است. همچنین برتری استفاده از توابع توزیعی با کران‌های صفر تا بی‌نهایت مثبت برای برازش بر داده‌های مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ بکر اثبات شد. و نیز نشان داد که ضریب تغییرات پارامترهای شبیه‌سازی شده توده سنگ می‌تواند تحت تأثیر روابط استفاده شده در تحلیل قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خواص توده سنگ، معیار شکست هوک و براون، شبیه‌سازی مونت کارلو، معدن آهن شماره یک گل‌گهر.

فهرست مطالب:

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: اهمیت موضوع و اهداف پایان نامه.....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- ضرورت انجام تحقیق.....
۴	۳-۱- هدف از انجام تحقیق.....
۵	۴-۱- توجیه اقتصادی تحقیق.....
۶	۵-۱- روش تحقیق.....
۶	۶-۱- ساختار پایان نامه.....
۷	فصل دوم: روش های حل مسائل مهندسی.....
۸	۱-۲- مقدمه.....
۸	۲-۲- مروری بر مطالعات گذشته.....
۱۱	۳-۲- روش های قطعی.....
۱۱	۱-۳-۲- روش های تجربی.....
۱۱	۲-۳-۲- روش های تحلیلی.....
۱۲	۳-۳-۲- روش های عددی.....
۱۳	۴-۳-۲- روش مدل های فیزیکی (مدل مواد مشابه).....
۱۴	۵-۳-۲- روش های مبتنی بر ابزاربندی (روش های مشاهده ای).....
۱۵	۴-۲- روش های احتمالاتی.....

- ۱۵.....۱-۴-۲- روش های تحلیلی.
- ۱۵.....۱-۱-۴-۲- روش استخراج تابع توزیع.
- ۱۷.....۲-۱-۴-۲- تکنیک های تبدیل انتگرالی.
- ۱۷.....۲-۴-۲- روش های تقریبی.
- ۱۸.....۱-۲-۴-۲- روش تخمین نقطه ای.
- ۱۸.....۲-۲-۴-۲- روش قابلیت اعتماد مرتبه اول (FORM).
- ۱۹.....۳-۲-۴-۲- روش گشتاور دوم مرتبه اول (FOSM).
- ۲۲.....۴-۲-۴-۲- روش گشتاور دوم مرتبه اول پیشرفته.
- ۲۵.....۵-۲-۴-۲- تحلیل قابلیت اعتماد با متغیرهای دارای همبستگی.
- ۲۶.....۳-۴-۲- روش های شبیه سازی.
- ۲۶.....۴-۴-۲- روش تحلیل حساسیت.
- ۲۷.....۵-۴-۲- نمودار درختی رویداد.
- ۲۸.....۵-۲- قابلیت اعتماد در مهندسی.
- ۲۹.....۱-۵-۲- مفاهیم قابلیت اعتماد و کاربرد آن در ژئوتکنیک.
- ۳۱.....۲-۵-۲- منابع نامعینی و خطا در مهندسی ژئوتکنیک.
- ۳۳.....۳-۵-۲- تحلیل اعتماد پذیری.
- ۳۳.....۴-۵-۲- کمی کردن عدم قطعیت.
- ۳۴.....۵-۵-۲- مدل تحلیل احتمالاتی در ژئوتکنیک.
- ۳۵.....۶-۲- مروری بر مفاهیم اطلاعات.
- ۳۸.....۷-۲- جمع بندی.

فصل سوم: روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو.....	۴۰
۱-۳- مقدمه.....	۴۱
۲-۳- سطوح بررسی قابلیت اعتماد.....	۴۱
۳-۳- جایگاه روش‌های شبیه‌سازی در بررسی عدم قطعیت.....	۴۲
۴-۳- روش شبیه‌سازی مونت کارلو.....	۴۳
۵-۳- جمع‌بندی.....	۴۵
فصل چهارم: معیار شکست توده‌سنگ هوک و براون.....	۴۶
۱-۴- مقدمه.....	۴۷
۲-۴- معیار تجربی هوک و براون.....	۴۸
۳-۴- شاخص مقاومت زمین‌شناسی (GSI).....	۵۱
۴-۴- فاکتور اغتشاش.....	۵۶
۵-۴- تعیین پارامترهای مقاومتی توده‌سنگ توسط معیار هوک و براون.....	۵۷
۶-۴- تعیین پارامترهای معیار موهر و کولمب.....	۵۸
۷-۴- تعیین σ'_{3max}	۶۰
۸-۴- جمع‌بندی.....	۶۱
فصل پنجم: تحلیل احتمالاتی خواص توده‌سنگ‌های معدن سنگ آهن شماره یک گل‌گهر.....	۶۲
۱-۵- مقدمه.....	۶۳
۲-۵- معدن سنگ آهن شماره یک گل‌گهر.....	۶۳
۳-۵- برداشت‌های صحرایی و آزمون‌های آزمایشگاهی.....	۶۳
۱-۳-۵- برداشت‌های صحرایی.....	۶۴

- ۵-۳-۱-۱- برداشت پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه GSI در سطح..... ۶۴
- ۵-۳-۱-۲- برداشت پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه GSI در عمق..... ۶۵
- ۵-۳-۲- بررسی‌های آزمایشگاهی..... ۶۶
- ۵-۳-۱- نمونه‌برداری..... ۶۷
- ۵-۳-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها..... ۶۷
- ۵-۳-۲-۳- انجام آزمایش..... ۶۷
- ۵-۴- تعیین اطلاعات ورودی به تحلیل احتمالاتی به روش مونت کارلو..... ۶۹
- ۵-۵- تحلیل احتمالاتی خواص توده‌سنگ..... ۷۰
- ۵-۶- تحلیل احتمالاتی خواص توده‌سنگ اشباع در سطح..... ۷۴
- ۵-۷- جمع‌بندی..... ۸۸
- فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ۸۹
- ۶-۱- نتیجه‌گیری..... ۹۰
- ۶-۲- پیشنهادها..... ۹۲
- منابع..... ۹۳
- پیوست ۱: جداول تعیین فاکتور اغتشاش (D) و ثابت سنگ بکر (m_i)..... ۹۷
- پیوست ۲: ارتفاع و وزن مخصوص توده‌های سنگی برای محاسبه پارامتر γ_H ۹۹
- پیوست ۳: توابع توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده ورودی به تحلیل..... ۱۰۲
- پیوست ۴: نتایج حاصل از تحلیل احتمالاتی خواص توده‌سنگ خشک در عمق..... ۱۰۶
- پیوست ۵: نتایج حاصل از تحلیل احتمالاتی خواص توده‌سنگ اشباع در عمق..... ۱۱۴
- پیوست ۶: نتایج حاصل از تحلیل احتمالاتی خواص توده‌سنگ خشک در سطح..... ۱۲۲

پیوست ۷: فاصله اطمینان برای پارامترهای ورودی و پارامترهای شبیه‌سازی شده توده‌سنگ ۱۳۰

فهرست اشکال:

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: توزیع پارامترهای ورودی و خروجی رابطه هوک و براون.....	۹
شکل ۲-۲: توالی عملیات آماری صورت گرفته توسط ساری.....	۱۰
شکل ۲-۳: تابع چگالی احتمال مربوط به تابع S, R و Z	۲۰
شکل ۲-۴: مفهوم β_{H-L} در فضای $R-S$ و $R'-S'$ با سطح مرزی خطی.....	۲۳
شکل ۲-۵: طبقه‌بندی نامعینی و خطاها در مهندسی ژئوتکنیک.....	۳۲
شکل ۲-۶: وضعیت هیستوگرام توزیع و ایل با تغییر در مقادیر پارامترهای توزیع.....	۳۸
شکل ۴-۱: معیار تجربی هوک و براون.....	۴۹
شکل ۴-۲: محدوده کاربرد معیار هوک و براون.....	۵۰
شکل ۴-۳: تعیین شاخص مقاومت زمین‌شناسی GSI بر اساس وضعیت زمین‌شناسی.....	۵۲
شکل ۴-۴: چارت کمی اصلاح شده GSI.....	۵۵
شکل ۴-۵: رابطه تنش‌های اصلی برای معیار هوک-براون و موهر-کولمب معادل.....	۵۹
شکل ۵-۱: توزیع تغییرات مقادیر GSI در ایستگاه‌های سطحی.....	۶۴
شکل ۵-۲: موقعیت گمانه‌های مایل ژئوتکنیکی حفر شده.....	۶۵
شکل ۵-۳: توالی عملیات تحلیل احتمالاتی خواص توده‌سنگ به روش مونت کارلو.....	۷۱
شکل ۵-۴: تابع توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده شاخص مقاومت زمین‌شناسی حاصل از برداشت-های سطحی.....	۷۵
شکل ۵-۵: تابع توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ بکر در حالت اشباع.....	۷۶

- شکل ۵-۶: تابع توزیع فراوانی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ آمفیولیت..... ۷۷
- شکل ۵-۷: تابع توزیع فراوانی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ کوارتزشیست..... ۷۸
- شکل ۵-۸: تابع توزیع فراوانی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ گنایس..... ۷۹
- شکل ۵-۹: تابع توزیع فراوانی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ مگنتیت..... ۸۰
- شکل ۵-۱۰: تابع توزیع فراوانی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ میکاشیست..... ۸۱
- شکل ۵-۱۱: تابع توزیع فراوانی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ هماتیت..... ۸۲

فهرست جداول:

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱: امتیازدهی شرایط سطح درزه‌ها.....	۵۴
جدول ۵-۱: GSI عمقی برداشت شده بر اساس جنس سنگ در معدن.....	۶۶
جدول ۵-۲: اطلاعات مربوط به نتایج آزمایش‌های تک‌محوره حالت خشک.....	۶۸
جدول ۵-۳: اطلاعات مربوط به نتایج آزمایش‌های تک‌محوره حالت اشباع.....	۶۸
جدول ۵-۴: مقدار پارامترهای ثابت موجود در محاسبات.....	۷۰
جدول ۵-۵: خصوصیات توزیع آماری اولیه شناسایی شده برای شاخص مقاومت زمین‌شناسی حاصل از برداشت‌های سطحی.....	۷۲
جدول ۵-۶: خصوصیات توزیع آماری اولیه شناسایی شده برای شاخص مقاومت زمین‌شناسی حاصل از برداشت‌های عمقی.....	۷۲
جدول ۵-۷: خصوصیات توزیع آماری اولیه شناسایی شده برای مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ بکر در حالت خشک.....	۷۳
جدول ۵-۸: خصوصیات توزیع آماری اولیه شناسایی شده برای مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ بکر در حالت اشباع.....	۷۳
جدول ۵-۹: خصوصیات آماری مقاومت فشاری تک‌محوره توده‌سنگ.....	۸۳
جدول ۵-۱۰: خصوصیات آماری مقاومت کششی توده‌سنگ.....	۸۳
جدول ۵-۱۱: خصوصیات آماری مدول توده‌سنگ.....	۸۴
جدول ۵-۱۲: خصوصیات آماری مقاومت کلی توده‌سنگ.....	۸۴
جدول ۵-۱۳: خصوصیات آماری چسبندگی توده‌سنگ.....	۸۴

- جدول ۵-۱۴: خصوصیات آماری زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ ۸۵
- جدول ۵-۱۵: فاصله اطمینان برای پارامترهای اولیه ورودی به تحلیل ۸۶
- جدول ۵-۱۶: فاصله اطمینان برای پارامترهای شبیه سازی شده ورودی به تحلیل ۸۷
- جدول ۵-۱۷: فاصله اطمینان برای پارامترهای شبیه سازی شده ژئومکانیکی توده سنگ در حالت UCS اشباع و GSI سطحی ۸۷

فهرست علائم:

عنوان	علامت
احتمال خرابی.....	P_f
اعضای ستون‌های ماتریس انتقال.....	θ
امتیاز پرکننده.....	R_f
امتیاز زبری.....	R_r
امتیاز هوازدگی.....	R_w
امید ریاضی متغیر X	$E(x)$
انحراف معیار.....	σ
پارامتر آستانه در توزیع وایبل.....	λ
پارامتر شکل در توزیع وایبل.....	r
پارامتر معیار هوک و براون.....	a
پارامتر معیار هوک و براون.....	s
پارامتر مقیاس در توزیع وایبل.....	ω
تابع تجمعی احتمال متغیر X	$H_x(x)$
تابع تجمعی احتمال متغیر Z	$F_z(z)$
تابع چگالی احتمال متغیر X	$h_x(x)$

- $f_z(z)$ تابع چگالی احتمال متغیر Z
- Γ تابع گاما
- J_v تعداد درزه‌ها در واحد حجم
- N_f تعداد درزه‌های تصادفی
- k تعداد قطعات سیستم در روش نمودار درختی رویداد
- N تعداد یک پارامتر متغیر
- σ_3 تنش اصلی حداقل
- σ_1 تنش اصلی حداکثر
- σ_2 تنش اصلی حدواسط
- τ تنش برشی
- σ'_3 تنش مؤثر اصلی حداقل
- σ'_1 تنش مؤثر اصلی حداکثر
- σ'_n تنش مؤثر نرمال
- σ'_{3n} تنش مؤثر نرمال محصور کننده توده سنگ
- m_i ثابت سنگ بکر
- m_b ثابت کاهش یافته ثابت سنگ بکر
- σ'_{3max} حد بالای تنش مؤثر محصور کننده توده سنگ
- $|J|$ دترمینان $N * N$ ، ماتریس ژاکوبین

- ϕ' زاویه اصطکاک داخلی مؤثر توده سنگ
- $\left| \frac{dx}{dz} \right|$ ژاکوبین
- β شاخص قابلیت اعتماد
- β_{H-L} شاخص قابلیت اعتماد در فضای برداری انتقال یافته
- δ ضریب کوواریانس
- ρ_{X_i, X_j} ضریب همبستگی میان X_i, X_j
- H عمق از سطح زمین
- S_1 فاصله‌داری دسته درزه گروه اول
- S_2 فاصله‌داری دسته درزه گروه دوم
- S_3 فاصله‌داری دسته درزه گروه سوم
- D فاکتور اغتشاش
- ε کرنش
- α_i کسینوس‌های هادی
- T ماتریس انتقال
- $[C]$ ماتریس کوواریانس
- $[C']$ ماتریس کوواریانس در فضای متغیرهای نرمال و استاندارد
- $R(x'^*)$ ماتریس همبستگی بین متغیرها
- X_i' متغیر تصادفی انتقال یافته نرمال و استاندارد

E_m	مدول توده سنگ.....
$g^{-1}(z)$	معکوس تابع $g(z)$
C'	مقاومت چسبندگی مؤثر توده سنگ.....
σ_c	مقاومت فشاری تک محوره توده سنگ.....
σ_{ci}	مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر.....
σ_t	مقاومت کششی توده سنگ.....
σ'_{cm}	مقاومت کلی مؤثر توده سنگ.....
μ	میانگین.....
x'^*	نقطه طرح در فضای متغیرهای تصادفی انتقال یافته.....
x^*	نقطه طرح در فضای متغیرهای تصادفی معمولی.....
$V(x)$	واریانس متغیر x
γ	وزن مخصوص توده سنگ.....

فصل اول: اهمیت موضوع و اهداف پایان نامه