بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی معدن

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن گرایش مکانیک سنگ

تعیین مدول تغییر شکل توده سنگ ساختگاه سد بختیاری، با استفاده از روش زمین‌آمار

استادان راهنما:
دکتر سعید کریمی نسب
دکتر حسین جلالی فر

استاد مشاور:
مهندس فرزان رفیعا

مؤلف:
فهیمه دبیری

شهریورماه ۱۳۸۹

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

گروه: مهندسی معدن

دانشکده: فنی ومهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

نام و نام خانوادگی:

دانشجو : فهیمه دبیری

امضاء:

استادان راهنما:

دکتر سعید کریمی نسب

دکتر حسین جلالی فر

استاد مشاور:

داور۱: دکتر باقری پور

داور۲: دکتر رحیمی پور

نماینده تحصیلات تکمیلی حاضر در جلسه: آقای مهندس سهیل سروشیان

معاونت پژوهشی وتحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر غلامرضا پور ابراهیم

حق چاپ محفوظ ومخصوص دانشگاه شهید باهنر کرمان است .

(ج)

تقدیم به

قطب عالم امکان

یگانه منجی بشریت

حضرت مهدی (عجل الله تعالی فرجه شریف)

و تقدیم به

پنج شهید گمنام آرمیده در دانشگاه شهید باهنر کرمان

و

تمامی شهدای والا مقام طریق حق

که حضور، یاد و نامشان در لحظه‌های سخت همواره گره گشا بود.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که برای ما زیبایی‌های آفرینش را اختیار کرده و روزی‌های پاکیزه را به سوی ما روان ساخته و ما را به تسلط بر همه آفریدگان برتری بخشیده، سپاسی که با آن در حلقه سپاسگزاران از بندگانش سپاس بگذرانیم. سپاس خدای را بر آنچه از وجود مبارکش به ما شناسانده و بر آنچه از شکرش به ما الهام فرموده و بر آن درهای دانش که به لطف پروردگاریش بر ما گشوده، سپاسی که با آن همدوش فرشتگان شویم و به صف پیامبران مرسل او متصل گردیم. سپاس خدای را که در نیاز و احتیاج ما را از غیر خود بسته و بدون شک آنچه را در توانایی ما نبوده از ما برداشته و جز درخور امکان ما را به ما تکلیف نفرموده و در این زمینه برای هیچ کدام از ما حجت و بهانه‌ای باقی نگذاشته است. او را سپاس و حمد در برابر تمام نعمت‌های او به ما و به بندگاش که در گذشته بوده‌اند و باقی بندگانش که هستند و می‌آیند. سپاسی که حدش را پایانی و شماره آن را حسابی و پایان آن را نهایتی و مدت آن را انقطاعی نباشد.

فرازهایی از دعای یکم صحیفه سجادیه

حال که به لطف خداوند، این پایان نامه با تمام فراز و نشیب‌های خود به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم:

ابتدا از **پدر، مادر و برادر عزیزم**، که همواره مشوق من در تمام مراحل زندگانیم برای دستیابی به موفقیت بوده‌اند تشکر و قدردانی کنم.

از اساتید بزرگوار، **جناب آقای دکتر سعید کریمی نسب** و **جناب آقای دکتر حسین جلالی فر**، به دلیل راهنمایی‌های ارزنده و توجه خاص به پایان نامه در تمام مراحل تکمیل تدریجی آن و به ویزه به منظور معرفی پابان نامه حاضر به اینجاب که گامی نوین در به کارگیری روش‌های نو در شاخه ژئومکانیک و نوآوری در این زمینه بود صمیمانه سپاسگذاری کنم.

از **جناب آقای مهندس فرزان رفیعا**، که تجربه‌های ارزنده خود را در اختیار اینجانب قرار دادند، تشکر نمایم.

از داوران گرامی، **جناب آقای دکتر باقری پور** و **جناب آقای دکتر رحیمی پور**، که نکات ارزشمند ایشان در تکمیل پایان نامه مفید و موثر بود، تشکر و قدردانی کنم.

در نهایت از تمامی استادان و مهندسان گروه مهندسی معدن به دلیل راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان و تمامی محققین و نویسندگانی که مقالات، یافته‌ها و گزارش‌های آن‌ها الهام بخش این مجموعه بود و آزادانه در این نوشتار مورد استفاده قرار گرفت، تشکر نمایم.

موفقیت، سربلندی و سعادت را از خداوند متعال برای ایشان خواستارم.

چکیده

مدول تغییر شکل یکی از پارامترهای ورودی در آنالیز رفتاری توده سنگ بوده و به آسانی قابل شناسایی و اندازه‌گیری نیست. آزمایش‌های صحرایی برای تعیین این پارامتر وقت‌گیر و پرهزینه است و نتایج آن نیز اغلب قابلیت اعتماد چندانی ندارد. روش‌های تجربی از متداول‌ترین روش‌های تعیین مدول تغییرشکل است. اما به دلیل ویژگی‌های داده‌های حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی گاه در مناطق حساس طرح، امکان انجام آزمایش، اندازه‌گیری و تعیین پارامتر موردنظر وجود ندارد. در نتیجه نبود اطلاعات در این نقاط، قابلیت اعتماد پارامتر بدست آمده در منطقه مورد مطالعه را کاهش می‌دهد. در این نوشتار، از روش زمین‌آمار برای تخمین مقادیر پارامتر مورد نظر در نقاط اندازه‌گیری نشده، با توجه به نقاط اطراف آن استفاده شد. به منظور کاربرد زمین‌آمار در محدوده ساختگاه سد بختیاری، ابتدا پارامترهای فضایی موجود، از قبیل تعداد درزه حجمی، فاصله‌داری درزه‌ها، شاخص کیفیت سنگ، امتیاز توده سنگ و مدول تغییر شکل توده سنگ شناسایی شد. سپس به منظور افزایش کارایی روش مذکور، با توجه به محدودیت‌های نرم افزارهای موجود، از بسته نرم افزاری تهیه شده در این زمینه (قابل اجرا در نرم افزار MATLAB) جهت تخمین استفاده شد. در نهایت بهترین رابطه تجربی برای تعیین مدول تغییرشکل توده سنگ در محدوده ساختگاه سد بختیاری پیشنهاد گردید.

کلمات کلیدی:

روش‌های تجربی، زمین‌آمار، سد بختیاری، نرم افزار MATLAB، مدول تغییرشکل

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	
فصل اول : مقدمه‌ای بر طبقه بندی توده سنگ‌ها و روش‌های تجربی	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- سیستم امتیاز توده سنگ (RMR)	۲
۱-۳- سیستم کیفیت توده سنگ (Q)	۴
۱-۴- شاخص مقاومت زمین‌شناسی (GSI)	۶
۱-۵- رابطه بین RMR، Q و GSI	۷
۱-۶- روابط تجربی تعیین مدول تغییرشکل	۸
۱-۷- نتیجه گیری	۱۲
فصل دوم : مبانی زمین‌آمار	
۲-۱- مقدمه	۱۴
۲-۲- تفاوت آمار کلاسیک و زمین آمار	۱۴
۲-۳- مفاهیم کلیدی در زمین آمار	۱۵
۲-۳-۱- واریوگرام	۱۵
۲-۳-۲- واریانس تخمین	۲۵
۲-۳-۳- کریجینگ	۲۷
۲-۱- مراحل تخمین به روش زمین آماری	۳۰
۲-۲- کاربرد زمین آمار	۳۲
۲-۳- نتیجه‌گیری	۳۲
فصل سوم : کاربرد زمین‌آمار در ژئومکانیک	
۳-۱- مقدمه	۳۴
۳-۲- پارامترهای فضایی	۳۴

۳-۳- پارامترهای فضایی موجود در محیط‌های سنگی ۳۵
۳-۳-۱- فراوانی درزه(چگالی شکستگی) ۳۵
۳-۳-۲- خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها ۳۸
۳-۳-۳- شاخص کیفیت سنگ(RQD) ۴۱
۳-۳-۴- امتیاز توده سنگ(RMR) ۴۵
۳-۴- پارامترهای فضایی موجود در محیط‌های خاکی ۴۸
۳-۴-۱- نفوذپذیری ۴۸
۳-۴-۲- خصوصیات مکانیکی خاک‌ها ۵۲
۳-۴-۳- فرو نشست زمین ۵۳
۳-۵- نتیجه گیری ۵۴
فصل چهارم : مجموعه سد و نیروگاه بختیاری
۴-۱- مقدمه ۵۶
۴-۲- جزئیات زمین شناسی ساختگاه سد ۵۶
۴-۳- ساختارهای زمین شناسی منطقه ۵۷
۴-۴- ناپیوستگی‌ها ۵۸
۴-۵- پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ ساختگاه سد ۵۹
۴-۵-۱- ویژگی‌های سنگ بکر ۵۹
۴-۵-۲- مشخصات ناپیوستگی‌ها ۶۰
۴-۵-۳- آزمایشات برجا ۶۲
۴-۶- نتیجه گیری ۶۳
فصل پنجم : تهیه بسته نرم افزاری جهت تخمین زمین‌آماری
۵-۱- مقدمه ۶۵
۵-۲- نرم‌افزار MATLAB، نرم‌افزار مرجع ۶۵
۵-۳- تابع تحلیل آماری داده‌ها ۶۶
۵-۳-۱- تابع تبدیل به نرمال داده‌ها ۶۷

۵-۳-۲- تابع تبدیل معکوس داده‌ها ۶۷
۵-۴- تابع واریوگرافی ۶۸
۵-۴-۱- واریوگرافی معمول ۶۸
۵-۴-۲- واریوگرافی Robust ۶۸
۵-۴-۳- تابع ترسیم نقشه واریوگرام ۶۹
۵-۴-۴- تابع برازش مدل تئوری ۷۰
۵-۵- تابع آزمون اعتبار متقابل داده‌ها ۷۱
۵-۶- تابع تخمین ۷۴
۵-۶-۱- ایجاد شبکه نقاط مجهول ۷۴
۵-۶-۲- تخمین کریجینگ ۷۵
۵-۶-۳- تابع تصحیح هموارسازی داده‌ها ۷۶
۵-۶-۴- نمایش گرافیکی نتایج ۷۷
۵-۷- نتیجه گیری ۷۹
فصل ششم: تعیین مدول تغییر شکل با استفاده از زمین آمار
۶-۱- مقدمه ۸۱
۶-۲- تعیین مدول تغییرشکل‌پذیری توده سنگ برجا در ساختگاه سد بختیاری ۸۲
۶-۳- تخمین پارامترهای مورد نیاز تعیین مدول برجا به روش تجربی در کل ساختگاه سد ۸۳
۶-۳-۱- تعداد درزه حجمی ۸۳
۶-۳-۲- فاصله داری درزه‌ها ۹۶
۶-۳-۳- شاخص کیفیت سنگ ۱۰۵
۶-۳-۴- امتیاز توده سنگ ۱۱۴
۶-۴- تخمین مدول تغییرشکل ساختگاه سد بختیاری به روش تجربی ۱۲۰
۶-۴-۱- رابطه سرافیم و پریرا ۱۲۰
۶-۴-۲- رابطه رید ۱۲۴
۶-۴-۳- رابطه گالرا ۱۲۷

۶-۵- انتخاب بهترین رابطه تجربی در ساختگاه سد بختیاری ۱۳۰
۶-۶- نتیجه گیری ۱۳۵
فصل هفتم: نتایج و پیشنهادها
۷-۱- نتایج ۱۳۷
۷-۲- پیشنهادها ۱۳۸
منابع و ماخذ ۱۴۰
پیوست ۱۴۵

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱): روابط بین RMR و Q ۸
شکل (۲-۱): اصول محاسبه واریوگرام ۱۵
شکل (۲-۲): مدل واریوگرام تجربی ۱۶
شکل (۲-۳): واریوگرام شاخص ۱۷
شکل (۲-۴): رابطه بین واریوگرام و کواریوگرام ۱۹
شکل (۲-۵): محدوده محاسبه واریوگرام جهتی ۲۰
شکل (۲-۶): مدل واریوگرام ناهمسانگردی هندسی ۲۱
شکل (۲-۷): مدل واریوگرام ناهمسانگردی منطقه‌ای ۲۱
شکل (۲-۸): مدل واریوگرام کروی ۲۲
شکل (۲-۹): مدل واریوگرام گوسی ۲۳
شکل (۲-۱۰): مدل واریوگرام نمایی ۲۳
شکل (۲-۱۱): مدل خطی بدون سقف ۲۴
شکل (۲-۱۲): مدل خطی سقف دار ۲۴
شکل (۲- ۱۳): مدل واریوگرام سینوسی ۲۵
شکل (۲-۱۴): تحوه توزیع اوزان کریجینگ ۲۸
شکل(۳-۱): واریوگرام‌های تجربی جهتی محدوده معدن آلبالا ۳۷
شکل(۳-۲): ارتباط بین نقشه گسله‌ها و نقشه حاصل از تخمین مقادیر FI ۳۷
شکل(۳-۳): نتایج حاصل از تخمین کریجینگ در طول تونل گلدن هورن ترکیه ۳۹
شکل(۳-۴): نقشه سه بعدی پارامتر RSI محدوده تونل کایانا ۴۱
شکل(۳-۵): تطابق مقطعی از تونل کانایا با ناپیوستگی‌های موجود ۴۱
شکل(۳-۶): (a) هیستوگرام توزیع داده‌ها (b) آزمون نرمال داده‌ها در نیروگاه آبی گیلگل گیب ۴۲
شکل(۳-۷): واریوگرام تجربی محدوده مورد مطالعه و مدل برازش شده به آن(D1 در جهت موازی لایه‌ها و D2 در جهت عمود بر لایه‌ها) ۴۳
شکل(۳-۸): زون بندی سه بعدی حاصل از تخمین پارامتر RQD محدوده نیروگاه آبی گیلگل گیب ۴۴
شکل(۳-۹): واریوگرام تجربی و مدل برازش شده پارامتر RMR در محدوده مورد مطالعه مربوط به (بالا) گرانودیوریت سالم همراه با ماگمای پورفیری (پایین) گرانودیوریت هوازده ۴۶

شکل(۳-۱۰): نقشه سه بعدی حاصل از تخمین پارامتر RMR در (a) لایه گرانودیوریت هوازده (b) لایه گرانودیوریت سالم همراه با ماگمای پورفیری (c) کل محدوده هر دو لایه (d) ترکیب مش بندی مدل عددی و نقشه مذکور ۴۷
شکل(۳-۱۱): نمودار مقادیر N_{SPT} نسبت به عمق ۴۸
شکل(۳-۱۲): واریوگرام تجربی و مدل برازش شده مقادیر N_{SPT} با استفاده از (a) مقدار اصلی مجموعه داده‌ها (b) مقدار باقی مانده پایا ۴۹
شکل(۳-۱۳): نقشه دوبعدی حاصل از تخمین مقادیر N_{SPT} با استفاده از کریجینگ عمومی در اعماق (a) ۳ متر (b) ۵ متر (c) ۱۵ متر (d) ۲۰ متر ۵۰
شکل(۳-۱۴): واریوگرام تجربی، مدل برازش شده و نقشه حاصل از تخمین پارامترهای (a) آب زیرزمینی (b) N_{SPT} در عمق ۱/۵ متری (c) N_{SPT} در عمق ۶ متری ۵۱
شکل(۳-۱۵): (a) واریوگرام تجربی و مدل برازش شده به پارامتر زاویه اصطکاک داخلی و واریوگرام متقابل و مدل برازش شده به پارامترهای (b) زاویه اصطکاک داخلی و میزان رس موجود در نمونه‌ها (c) زاویه اصطکاک داخلی و میزان شن وماسه موجود در نمونه‌ها ۵۲
شکل(۳-۱۶): میزان همبستگی پارامتر زاویه اصطکاک داخلی تخمینی و خام به دو روش کریجینگ و کوکریجینگ ۵۳
شکل(۴-۱): مقطعی از موقعیت گالری‌های حفر شده در ساختگاه سد بختیاری ۶۱
شکل(۴-۱): نمونه‌ای از نقشه تهیه شده در روش خط برداشت در ۳۰ متر ابتدای گالری GL_1 ۶۲
شکل(۵-۱): نمونه‌ای از خروجی تابع تحلیل آماری داده‌ها ۶۶
شکل(۵-۲): نمونه‌ای از خروجی تابع تبدیل به نرمال داده‌ها (الف- هیستوگرام داده‌های اصلی ب- هیستوگرام داده‌های نرمال شده) ۶۷
شکل(۵-۳): نحوه انتقال بردارها در ترسیم نقشه واریوگرام ۶۹
شکل(۵-۴): نمونه‌ای از خروجی تابع ترسیم نقشه واریوگرام در حالت سه بعدی ۷۰
شکل(۵-۵): نمونه‌ای از خروجی تابع واریوگرافی ۷۱
شکل(۵-۶): نمونه‌ای از خروجی تابع اعتبارسنجی ۷۴
شکل(۵-۷): نمونه‌ای از خروجی تابع ایجاد شبکه ۷۵
شکل(۵-۸): نمونه‌ای از خروجی تابع تصحیح اثر هموارشدگی(نمودار چارک‌های دو توزیع تخمینی و اصلی سری داده‌ها) ۷۷
شکل(۵-۹): نمونه ای از خروجی تابع نمایش گرافیکی سه بعدی ۷۸
شکل(۵-۱۰): نمونه ای از خروجی تابع نمایش گرافیکی سه بعدی (نقشه دوبعدی در افق ۵۵۵ متری) ۷۸
شکل(۶-۱): موقعیت گالری‌ها و نمونه‌های محاسبه شده برای تخمین در ساختگاه سد بختیاری ۸۵
شکل(۶-۲): الف- هیستوگرام ب- نمودار احتمال نرمال مقادیر Jv ۸۵

شکل(۶-۳): الف- هیستوگرام ب- نمودار احتمال نرمال مقادیر تبدیل یافته Jv ۸۶
شکل(۶-۴): نمودار جعبه‌ای الف- قبل ب- بعد از حذف مقادیر خارج از ردیف $\log(Jv)$ ۸۷
شکل(۶-۵): نمودار میانگین و انحراف معیار مقادیر Jv الف- اصلی ب- تبدیل یافته ۸۸
شکل(۶-۶): واریوگرام تجربی غیر جهتی مقادیر تبدیل یافته Jv ۸۸
شکل(۶-۷): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته Jv در شیب صفر درجه ۸۹
شکل(۶-۸): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته Jv در شیب ۲۰ درجه ۸۹
شکل(۶-۹): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته Jv در شیب ۴۰ درجه ۸۹
شکل(۶-۱۰): مدل برازش شده به واریوگرام تجربی غیر جهتی مقادیر تبدیل یافته Jv ۹۰
شکل(۶-۱۱): نمودار مقادیر اصلی در مقابل مقادیر تخمینی Jv حاصل از کریجینگ جک نایف ۹۲
شکل(۶-۱۲): الف- نمودار همبستگی مقادیر اصلی و تخمینی Jv ب- هیستوگرام مقادیر باقی‌مانده ۹۲
شکل(۶-۱۳): نمودار چارک‌های دو توزیع مقادیر اصلی و تخمینی Jv ۹۳
شکل(۶-۱۴): الف- مقطعی از ساختگاه سد بختیاری ب- نقشه سه بعدی مقادیر تخمینی پارامتر Jv در ساختگاه سد بختیاری ۹۴
شکل(۶-۱۵): نقشه سه بعدی واریانس خطای تخمین پارامتر Jv در کل ساختگاه سد بختیاری ۹۵
شکل(۶-۱۶): منطقه بندی ساختگاه سد بختیاری براساس میزان درزه‌داری ۹۶
شکل(۶-۱۷): الف- هیستوگرام ب- نمودار احتمال نرمال مقادیر فاصله داری درزه‌ها ۹۷
شکل(۶-۱۸): الف- هیستوگرام ب- نمودار احتمال نرمال مقادیر تبدیل یافته فاصله داری درزه‌ها ۹۷
شکل(۶-۱۹): نمودار جعبه‌ای الف- قبل ب- بعد از حذف مقادیر خارج از ردیف مقادیر تبدیل یافته فاصله داری درزه‌ها ۹۸
شکل(۶-۲۰): نمودار میانگین و انحراف معیار فاصله داری درزه‌ها الف- اصلی ب- تبدیل یافته ۹۹
شکل(۶-۲۱): واریوگرام تجربی غیر جهتی مقادیر تبدیل یافته فاصله داری درزه‌ها ۹۹
شکل(۶-۲۲): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته فاصله داری درزه‌ها در شیب صفر درجه ۱۰۰
شکل(۶-۲۳): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته فاصله داری درزه‌ها در شیب ۱۰ درجه ۱۰۰
شکل(۶-۲۴): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته فاصله داری درزه‌ها در شیب ۲۰ درجه ۱۰۰
شکل(۶-۲۵): مدل برازش شده به واریوگرام تجربی غیر جهتی مقادیر تبدیلی فاصله داری درزه‌ها ۱۰۱
شکل(۶-۲۶): نمودار مقادیر اصلی در مقابل مقادیر تخمینی فاصله داری درزه‌ها حاصل از روش جک نایف ۱۰۲
شکل(۶-۲۷): الف- نمودار همبستگی مقادیر اصلی و مقادیر تخمینی فاصله داری درزه‌ها ب- هیستوگرام مانده‌ها ۱۰۳
شکل(۶-۲۸): نمودار چارک‌های دو توزیع مقادیر اصلی و تخمینی فاصله داری درزه‌ها ۱۰۳
شکل(۶-۲۹): نقشه سه بعدی مقادیر تخمینی پارامتر فاصله داری درزه‌ها در کل ساختگاه سد بختیاری۱۰۴

شکل(۶-۳۰): نقشه سه بعدی واریانس خطای تخمین پارامتر فاصله داری درزه‌ها در کل ساختگاه سد بختیاری ۱۰۵
شکل(۶-۳۱): الف- هیستوگرام ب- نمودار احتمال نرمال مقادیر RQD ۱۰۶
شکل(۶-۳۲): الف- هیستوگرام ب- نمودار احتمال نرمال مقادیر تبدیل یافته RQD ۱۰۶
شکل(۶-۳۳): نمودار جعبه‌ای الف- قبل ب- بعد از حذف مقادیر خارج از ردیف مقادیر تبدیل یافته RQD ۱۰۷
شکل(۶-۳۴): نمودار میانگین و انحراف معیار مقادیر RQD الف- اصلی ب- تبدیل یافته ۱۰۸
شکل(۶-۳۵): واریوگرام تجربی غیر جهتی مقادیر تبدیل یافته RQD ۱۰۸
شکل(۶-۳۶): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته RQD در شیب صفر درجه ۱۰۹
شکل(۶-۳۷): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته RQD در شیب ۲۰ درجه ۱۰۹
شکل(۶-۳۸): واریوگرام تجربی جهتی مقادیر تبدیل یافته RQD در شیب ۴۰ درجه ۱۰۹
شکل(۶-۳۹): مدل برازش شده به واریوگرام تجربی غیر جهتی مقادیر تبدیل یافته RQD ۱۱۰
شکل(۶-۴۰): نمودار مقادیر اصلی در مقابل مقادیر تخمینی RQD حاصل از کریجینگ جک نایف ۱۱۰
شکل(۶-۴۱): الف- نمودار همبستگی مقادیر اصلی و تخمینی RQD ب- هیستوگرام مانده‌ها ۱۱۱
شکل(۶-۴۲): نمودار چارک‌های دو توزیع مقادیر اصلی و تخمینی RQD ۱۱۱
شکل(۶-۴۳): نقشه سه بعدی توزیع مقادیر تخمینی پارامتر RQD در کل ساختگاه سد بختیاری ۱۱۲
شکل(۶-۴۴): نقشه سه بعدی واریانس خطای تخمین پارامتر RQD در کل ساختگاه سد بختیاری ۱۱۲
شکل(۶-۴۵): منطقه بندی ساختگاه سد بختیاری براساس کیفیت توده سنگ ۱۱۳
شکل(۶-۴۶): الف- هیستوگرام ب- نمودار احتمال نرمال مقادیر RMR قبل از حذف مقادیر خارج از ردیف ج- هیستوگرام د- نمودار احتمال نرمال مقادیر RMR بعد از حذف مقادیر خارج از ردیف ۱۱۴
شکل(۶-۴۷): الف- واریوگرام تجربی غیر جهتی مقادیر RMR ب- مدل برازش شده ۱۱۵
شکل(۶-۸۷): نقشه سه بعدی توزیع مقادیر تخمینی پارامتر RMR در کل ساختگاه سد بختیاری ۱۱۶
شکل(۶-۴۹): نقشه سه بعدی واریانس خطای تخمین پارامتر RMR در کل ساختگاه سد بختیاری ۱۱۶
شکل(۶-۵۰): دسته بندی کیفیت توده سنگ براساس مقادیر RMR ۱۱۷
شکل(۶-۵۱): نمودار مقادیر تخمینی و مقادیر واقعی RMR ۱۱۹
شکل(۶-۵۲): نقشه سه بعدی توزیع مقادیر تخمینی مدول تغییرشکل با استفاده از رابطه سرافیم و پرییرا در ساختگاه سد بختیاری ۱۲۱
شکل(۶-۵۳): نقشه سه بعدی توزیع مقادیر تخمینی مدول تغییرشکل با استفاده از رابطه رید در ساختگاه سد بختیاری ۱۲۴
شکل(۶-۵۴): نقشه سه بعدی توزیع مقادیر تخمینی مدول تغییرشکل با استفاده از رابطه گالرا در ساختگاه سد بختیاری ۱۲۷

شکل(۶-۵۵): نمودار مقادیر تخمینی مدول تغییرشکل با استفاده از رابطه گالرا و مقادیر واقعی مدول تغییرشکل در بار نهایی ۴۰ مگاپاسکال ۱۳۱
شکل(۶-۵۶): نمودار مقادیر تخمینی مدول تغییرشکل با استفاده از رابطه گالرا و مقادیر واقعی مدول تغییرشکل در بار نهایی ۲۰ مگاپاسکال ۱۳۲
شکل(۶-۵۷): نمودار مقادیر تخمینی مدول تغییرشکل با استفاده از رابطه تصحیح شده گالرا و مقادیر واقعی مدول تغییرشکل در بار نهایی ۴۰ مگاپاسکال ۱۳۵
شکل(۶-۵۸): نمودار مقادیر تخمینی مدول تغییرشکل با استفاده از رابطه تصحیح شده گالرا و مقادیر واقعی مدول تغییرشکل در بار نهایی ۲۰ مگاپاسکال ۱۳۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱): پارامترهای طراحی و خواص مهندسی توده سنگ ۳
جدول (۱-۲): طبقه‌بندی توده سنگ براساس مقادیر Q ۶
جدول (۱-۳): ارزیابی روابط مختلف بین RMR و Q ۸
جدول(۳-۱): پارامترهای واریوگرام‌های برازش شده به پارامترهای NCR، RQD، CS و SHH ۳۹
جدول(۳-۲): ارتباط بین هوازدگی و RQD در منطقه مورد مطالعه ۴۲
جدول(۳-۳): خلاصه خصوصیات مدل‌های برازش شده به واریوگرام تجربی داده‌های N_{SPT} ۵۱
جدول(۴-۱): توصیف سنگ شناسی واحدهای سروک ۵۷
جدول(۴-۲): شیب و جهت شیب ناپیوستگی‌ها در ساختگاه سد بختیاری ۵۸
جدول(۴-۳): خصوصیات سنگ بکر در محدوده ساختگاه سد بختیاری ۶۰
جدول(۴-۴): ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها در ساختگاه سد بختیاری ۶۲
جدول(۴-۵): نمونه‌ای از نتایج مدول تغییر شکل ساختگاه سد بختیاری ۶۲
جدول(۶-۱): خلاصه پارامترهای آماری مقادیر Jv ۸۶
جدول(۶-۲): نتایج حاصل از سنجش تخمین مقادیر Jv ۹۱
جدول(۶-۳): میزان درزه‌داری توده سنگ‌ها براساس مقادیر Jv ۹۵
جدول(۶-۴): خلاصه پارامترهای آماری مقادیر فاصله داری درزه‌ها ۹۸
جدول(۶-۵): نتایج حاصل از سنجش تخمین مقادیر فاصله داری درزه‌ها ۱۰۳
جدول(۶-۶): خلاصه پارامترهای آماری مقادیر RQD ۱۰۷
جدول(۶-۷): نتایج حاصل از سنجش تخمین مقادیر RQD ۱۱۱
جدول(۶-۸): رابطه بین RQD و کیفیت توده سنگ ۱۱۳
جدول(۶-۹): خلاصه پارامترهای آماری مقادیر RMR ۱۱۵
جدول(۶-۱۰): مقایسه نتایج RMR تخمینی و محاسبه‌ای ۱۱۸
جدول(۶-۱۱): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۴۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی (با استفاده از رابطه سرافیم و پرییرا) ۱۲۲
جدول(۶-۱۲): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۲۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی (با استفاده از رابطه سرافیم و پرییرا) ۱۲۲

جدول(۶-۱۳): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۴۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی (با استفاده از رابطه رید) ۱۲۵
جدول(۶-۱۴): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۴۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی (با استفاده از رابطه رید) ۱۲۵
جدول(۶-۱۵): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۴۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی (با استفاده از رابطه گالرا) ۱۲۸
جدول(۶-۱۶): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۲۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی (با استفاده از رابطه گالرا) ۱۲۸
جدول(۶-۱۷): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۴۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی با استفاده از رابطه‌های مختلف ۱۳۰
جدول(۶-۱۸): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۲۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی با استفاده از رابطه‌های مختلف ۱۳۱
جدول(۶-۱۹): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۴۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی با استفاده از رابطه تصحیح شده گالرا ۱۳۳
جدول(۶-۲۰): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا (در بار نهایی ۲۰ مگاپاسکال) و مدول تخمینی با استفاده از رابطه تصحیح شده گالرا ۱۳۳
جدول(۶-۲۱): مقایسه نتایج مدول تغییرشکل برجا ومدول تخمینی با استفاده از رابطه تصحیح شده گالرا ۱۳۶

فهرست علائم

AAE: میانگین قدر مطلق خطا

a : دامنه واریوگرام

a' : ثابت هوک و براون

C : سقف واریوگرام

C_0 : اثر قطعه‌ای

C_1 : فاصله بین اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام

$C(h)$: کوواریوگرام

c' : چسبندگی زهکشی شده

CS (Compressive Strength) : مقاومت فشاری

D : فاکتور آشفتگی

d : فاصله‌داری متوسط در هر خط برداشت

E_i : مدول سنگ بکر

E_{rm} : مدول تغییرشکل توده سنگ

FI (Fracture Index) : شاخص شکستگی

F_N : نیروی رانش

GSI (Geological Strength Index) : شاخص مقاومت زمین شناسی

h : گام واریوگرام

J_a : عدد هوازدگی درزه برای دسته درزه‌هایی با جهت یافتگی بحرانی

J_n : عدد دسته درزه

JP : پارامتر درزه داری

J_r : عدد زبری درزه برای دسته درزه‌هایی با جهت یافتگی بحرانی

Jv: تعداد درزه در واحد حجم

J_w : فاکتور کاهش آب درزه

MAE: میانگین قدرمطلق خطا

MAPE: میانگین قدر مطلق نسبی خطا

ME: میانگین خطا

MSE: میانگین مجذور خطا

MSDR: میانگین مجذور نسبت انحراف

NCR (Net Cutting Rate) : نرخ خالص برش

N_{SPT} : عدد نفوذ استاندارد

P : شیب خط واریوگرام خطی

P_e : نرخ نفوذ

Q (Rock Mass Quality System) : شاخص کیفیت سنگ

q_c : مقاوت فشاری تک محوری ماده سنگ یکپارچه

Q' : شاخص کیفیت تونل زنی اصلاح شده

RMi (Rock Mass index) : شاخص توده سنگ

RMR (Rock Mass Rating): شاخص رده بندی ژئومکانیکی سنگ

RQD (Rock Quality Designation) : شاخص کیفی سنگ

RSI (Rock Strength Index) : شاخص مقاومت سنگ

S: فاصله‌داری عمود درزه

S_a: فاصله داری عمود متوسط تمام دسته درزه‌ها در طول هر خط برداشت

SHH (Schmidt Hammer Hardness) : سختی چکش اشمیت

SPT (Standard Penetration Test) : تست نفوذ استاندارد

SRF: فاکتور کاهش تنش

s' : ثابت هوک و براون

V'_k : سرعت صوت در لایه k

V'_{k+1} : سرعت صوت در لایه $k+1$ام

WD : درجه هوازدگی ناپیوستگی‌ها

z : میزان واقعی آنچه که مورد تخمین است

z^*: آنچه که از تخمینگر حاصل می شود

Δh : عرض باند

θ : زاویه بردار h واقع در صفحه xy با جهت مثبت محور x

θ': زاویه بین خط برداشت و امتداد درزه موردنظر

λ : وزن کریجینگ

ϕ : زاویه بردار h با صفحه xy

ϕ' : زاویه اصطکاک زهکشی شده

δ: زاویه شیب درزه در خط برداشت موردنظر

σ_1 : تنش اصلی حداکثر

σ^2 : واریانس داده ها

σ_E^2 : واریانس خطای بین مقدار حقیقی کمیت مورد نظر و مقدار تخمینی آن

$\gamma(h)$: سمیواریوگرام

γ_k : عدد بازتاب

$\gamma_R(h)$: واریوگرام Robust

$\bar{\gamma}(u,u)$: مقدار متوسط واریوگرام بین نقاط مختلف نمونه ها

$\bar{\gamma}(u,v)$: مقدار متوسط واریوگرام بین نقاط مختلف نمونه ها و قطعه مورد تخمین

$\bar{\gamma}(v,v)$: مقدار متوسط واریوگرام بین نقاط مختلف موجود در داخل قطعه مورد تخمین

$[K]$: ماتریس کوواریانس بین نقاط معلوم

$[D]$: ماتریس کوواریانس بین نقطه مجهول و تک تک نقاط شرکت کننده در تخمین