دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد *"M.Sc"*

مهندسی معدن - استخراج

عنوان :

پیش‌بینی خردایش سنگ ناشی از انفجار در معدن مس سرچشمه با استفاده از شبکه عصبی

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش:

فهرست مطالب

عنوان مطالب **شماره صفحه**

چکیده ۱
مقدمه ۲
فصل اول : کلیات ۳
۱-۱- هدف ۴
۱-۲- پیشینه تحقیق ۵
۱-۳- روش کار و تحقیق ۶
فصل دوم : عوامل و پارامترهای تأثیرگذار در انفجار ۸
۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- مکانیزم خردایش حاصل از انفجار سنگ ۹
۲-۲-۱- انفجار ۱۰
۲-۲-۲- انتشار موج ضربه ۱۰
۲-۲-۳- انبساط گاز ۱۰
۲-۲-۴- جابجایی توده سنگ ۱۱
۲-۳- پارامترهای قابل کنترل ۱۱
۲-۳-۱- قطر چال ۱۲
۲-۳-۲- ارتفاع پله ۱۴
۲-۳-۳- بار سنگ و فاصلهٔ ردیفی چال‌ها ۱۵
۲-۳-۴- اضافه حفاری ۱۷
۲-۳-۵- گل‌گذاری ۱۸
۲-۳-۶- شیب چال ۱۹
۲-۳-۷- خرج ته چال ۲۰
۲-۳-۸- خرج میان چال ۲۱
۲-۳-۹- خرج ویژه ۲۲
۲-۳-۱۰- حفاری ویژه ۲۳
۲-۳-۱۱- تأخیرهای زمانی ۲۴
۲-۴- پارامترهای غیر قابل کنترل ۲۵

۲-۴-۱- پارامترهای مقاومتی سنگ ۲۵
۲-۴-۲- چگالی سنگ ۲۶
۲-۴-۳- تخلخل ۲۶
۲-۴-۴- سنگ شناختی ۲۷
۲-۴-۵- ناپیوستگی‌ها و شکستگی‌های مختلف سنگ ۲۷
فصل سوم : مدل‌های تجربی پیش‌بینی خردشدگی سنگ حاصل از انفجار. ۲۸
۳-۱- مقدمه ۲۹
۳-۲- مدل‌های تجربی پیش‌بینی خردشدگی سنگ حاصل از انفجار ۲۹
۳-۲-۱- مدل دنیس و گاما ۳۰
۳-۲-۲- مدل لارسون ۳۰
۳-۲-۳- مدل کاز- رام ۳۱
۳-۲-۳-۱- معادلهٔ کازنتسوف ۳۱
۳-۲-۳-۲- منحنی رزین- راملر ۳۳
۳-۲-۳-۳- تأثیر طرح آتشکاری روی شاخص یکنواختی ۳۳
۳-۲-۴- مدل اصلاح شدهٔ کاز- رام ۳۴
۳-۲-۵- مدل سوئدیفو ۳۵
فصل چهارم : شبکه‌های عصبی ۳۷
۴-۱- مقدمه ۳۸
۴-۲- تاریخچهٔ شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۹
۴-۳- اساس بیولوژیکی شبکه‌های عصبی ۴۰
۴-۴- قابلیت یادگیری شبکه‌های عصبی بیولوژیکی ۴۲
۴-۵- اجزاء و ساختمان واحدهای مصنوعی ۴۴
۴-۶- الگوریتم‌های یادگیری ۴۷
۴-۶-۱- روش‌های وزن ثابت ۴۸
۴-۶-۲- روش‌های آموزش بدون نظارت ۴۸
۴-۶-۳- روش‌های آموزش با نظارت ۴۹
۴-۶-۴- روش‌های آموزش تقویتی ۵۰
۴-۶-۵- روش انتشار معکوس خطا ۵۰
۴-۷- انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۱

۴-۷-۱- شبکه‌های تک لایه ۵۱
۴-۷-۲- شبکه‌های چند لایه ۵۲
۴-۷-۲-۱- پرسپترون ۵۳
۴-۷-۲-۲- پرسپترون چند لایه ۵۶
۴-۷-۳- شبکه‌های خود سازمانده ۵۷
۴-۸- کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۷
فصل پنجم : آشنایی با ناحیه معدنی سرچشمه ۵۹
۵-۱- مقدمه ۶۰
۵-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی معدن ۶۰
۵-۳- وضعیت آب و هوایی ۶۱
۵-۴- تاریخچهٔ معدن مس سرچشمه ۶۱
۵-۵- زمین‌شناسی عمومی ناحیه معدن مس سرچشمه ۶۲
۵-۶- نوع سنگ‌ها در معدن مس سرچشمه ۶۴
۵-۶-۱- سنگ میزبان ۶۴
۵-۶-۲- سرچشمهٔ پورفیری ۶۵
۵-۶-۳- کوارتز مونزونیت ۶۵
۵-۷- دایک‌ها ۶۶
۵-۷-۱- دایک‌های هورنبلند پورفیری ۶۶
۵-۷-۲- دایک‌های فلدسپار پورفیری ۶۶
۵-۷-۳- دایک‌های بیوتیت پورفیری ۶۶
۵-۸- دگرسانی ۶۷
۵-۸-۱- زون دگرسانی پتاسیک ۶۷
۵-۸-۲- زون دگرسانی بیوتیت ۶۸
۵-۸-۳- زون دگرسانی آرژیلیکی ۶۸
۵-۸-۴- زون دگرسانی پروپیلیتیک ۶۸
۵-۹- میزان سختی سنگ معدن ۶۸
۵-۱۰- کانی‌سازی در معدن مس سرچشمه ۶۹
۵-۱۰-۱- منطقهٔ کانی‌سازی شدهٔ هوازده و اکسیدی ۶۹
۵-۱۰-۲- منطقهٔ کانی سازی شدهٔ ثانویه و غنی‌شده ۷۰

۵-۱۰-۳- منطقهٔ هایپوژن ۷۰
۵-۱۱- مشخصات استخراجی معدن مس سرچشمه ۷۰
فصل ششم : مدل‌سازی انفجار ۷۲
۶-۱- مقدمه ۷۳
۶-۲- مدل‌سازی انفجار با هدف پیش‌بینی خردایش سنگ ۷۳
۶-۳- مدل‌سازی شبکهٔ عصبی ۷۷
۶-۳-۱- داده‌های لازم برای ساخت مدل ۷۷
۶-۳-۱-۱- داده‌های ورودی به شبکه و نحوهٔ به‌دست آوردن آن‌ها ۷۸
۶-۳-۱-۲- داده‌های خروجی برای آموزش شبکه و نحوهٔ به‌دست آوردن آن‌ها.. ۷۹
۶-۳-۲- آموزش شبکه و انتخاب قانون یادگیری ۸۲
۶-۳-۳- تعیین ساختار شبکه ۸۳
۶-۳-۴- ارزیابی شبکه ۸۴
۶-۳-۵- تعیین شبکهٔ بهینه ۸۵
۶-۴- پیش‌بینی خردایش با استفاده از روش آماری ۸۸
۶-۵- ارزیابی عملکرد مدل‌های استفاده شده ۹۰
۶-۶- آنالیز حساسیت ۹۱
فصل هفتم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۳
نتیجه‌گیری ۹۴
پیشنهادات ۹۶
منابع و ماخذ ۹۷
فهرست منابع فارسی ۹۸
فهرست منابع لاتین ۱۰۰
چکیده انگلیسی ۱۰۴

فهرست جدول ها

عنوان **شماره صفحه**

۲-۱- ارتباط مقاومت فشاری و میزان تولید با قطر چال ۱۴

۲-۲- ارتباط قطر چال با نوع وسیله بارگیری و ارتفاع پله ۱۴

۲-۳- ارتباط قطر چال با ارتفاع پله طبق نظر *Gustaffson* ۱۵

۲-۴- رابطه طول چال با شیب چال ۲۰

۲-۵- ارتباط خرج ویژه و نوع سنگ ۲۳

۳-۱- ثابت قابلیت انفجارپذیری برای سنگ‌های مختلف ۳۱

۳-۲- مقادیر فاکتور سنگ با توجه به ساختار توده سنگ ۳۲

۳-۳- مقادیر پارامترهای مؤثر در *BI* ۳۵

۵-۱- وضعیت حفاری اکتشافی در سرچشمه ۶۲

۶-۱- پارامترهای ورودی و خروجی در مدل‌سازی ۷۸

۶-۲- نتایج حاصل از شبکه با توابع انتقال مختلف ۸۵

۶-۳- شبکه‌های با ساختار متفاوت و میزان خطای آزمون مربوط به خردایش ۸۶

۶-۴- شاخص‌های عملکرد مدل شبکهٔ عصبی و رگرسیون چند متغیره درمدل‌سازی خردایش ۹۰

فهرست نمودارها، عکس‌ها و نقشه‌ها

عنوان **شماره صفحه**

۲-۱- وضعیت شکسته شدن توده‌سنگ اطراف چال هنگام انفجار ۱۱
۲-۲- پارامترهای هندسی طراحی انفجار ۱۲
۲-۳- زون خرد شده اطراف چال در حالتی که S کم باشد ۱۶
۲-۴- زون خرد شده اطراف چال در حالتی که S زیاد باشد ۱۷
۲-۵- رابطه شیب چال و اضافه حفر چال ۱۷
۲-۶- گل‌گذاری با ارتفاع زیاد که موجب عقب‌زدگی می‌شود ۱۸
۲-۷- گل‌گذاری با ارتفاع مناسب ۱۸
۲-۸- موقعیت قرارگیری چال و بار سنگ در دو حالت عمود و مایل ۱۹
۲-۹- نمایش خرج ته چال و میان چال ۲۱
۲-۱۰- رابطه بین خرج ویژه و هزینه کل ۲۳
۲-۱۱- ارتباط بین قطر چال و حفاری ویژه برای سنگ‌های مختلف ۲۴
۴-۱- قسمتهای اصلی یک سلول عصبی بیولوژیک ۴۱
۴-۲- نرون حسی ۴۲
۴-۳- ساختار یک نرون تک ورودی ۴۵
۴-۴- ساختار یک نرون R ورودی ۴۵
۴-۵- یک ساختار نمونه از شبکه عصبی مصنوعی ۴۶
۴-۶- نحوهٔ اتصالات در شبکه‌های عصبی ۴۷
۴-۷- نمای کلی آموزش بدون سرپرست ۴۹
۴-۸- نمای کلی آموزش با سرپرست ۴۹
۴-۹- ساختار یک شبکه تک لایه ۵۲
۴-۱۰- ساختار یک شبکه چند لایه ۵۳
۴-۱۱- ساختار یک پرسپترون ۵۴
۴-۱۲- نمودار تابع سیگموئید ۵۵
۴-۱۳- نمودار تابع *Hard-Limit* ۵۵
۴-۱۴- نمودار تابع تانژانت سیگموئید ۵۶
۵-۱- موقعیت جغرافیایی معدن مس سرچشمه ۶۰

۵-۲- نمایش نیم‌رخ زون‌های آلتراسیون و ژئوشیمیایی کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی ۶۷
۵-۳- نمای کلی از معدن مس سرچشمه ۷۱
۶-۱- تاثیر درجه خردایش بر هزینه عملیات مختلف معدنکاری و هزینه کلی ۷۴
۶-۲- ترسیم محیط قطعات در نرم افزار Goldsize ۸۰
۶-۳- پنجره مخصوص ورود اطلاعات مدل کاز- رام ۸۰
۶-۴- الگوریتم شبکه مورد استفاده جهت مدل سازی انفجار ۸۳
۶-۵- ساختار شبکه عصبی بهینه ۸۶
۶-۶- مقایسه خروجی حاصل از شبکهٔ عصبی و داده‌های حقیقی خردایش ۸۷
۶-۷- ارتباط بین نتایج حاصل از شبکه عصبی و داده های حقیقی خردایش ۸۷
۶-۸- ارتباط بین خردایش حاصل از رگرسیون چند متغیره و مقادیر واقعی ۸۹
۶-۹- مقایسه خروجی حاصل از مدل رگرسیون چند متغیره با خردایش واقعی ۸۹
۶-۱۰- مقایسه خروجی حاصل از دو مدل شبکهٔ عصبی و رگرسیون چند متغیره با خردایش واقعی ۹۱
۶-۱۱- آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی بر تابع هدف (خردایش) ۹۲

چکیده:

انفجار از مراحل اصلی در عملیات استخراج معدن است. از موارد اساسی جهت بهینه‌سازی عملیات انفجار پیش‌بینی دقیق خردایش سنگ می‌باشد که باعث تنظیم عملیات بعدی مانند بارگیری، باربری، سنگ‌شکنی و آسیا کردن و جلوگیری از صرف هزینه‌های ثانویه در این زمینه می‌شود. پارامترهای متعددی مانند خصوصیات توده‌سنگ، خصوصیات ماده منفجره و مشخصات هندسی شبکه انفجار در طراحی الگوی آتشباری و نتایج حاصل از آن تاثیرگذار هستند. برای رسیدن به خردایش بهینه و مینیمم کردن اثرات سوء حاصل از انفجار (عقب‌زدگی، پرتاب سنگ و ...)، ابتدا باید این عوامل تاثیرگذار تعیین و سپس الگوی آتشباری بهینه بر مبنای این عوامل طراحی شود. در دو دهه گذشته پیشرفت خوبی در توسعه تکنیک‌های جدید در زمینه طراحی الگوی آتشباری و پیش‌بینی عملکرد آن صورت گرفته است. این تکنیک‌ها بیشتر شامل مدل‌های کامپیوتری خبره می‌باشند که علاوه بر دقت لازم در طراحی، از سرعت بالا و سهولت کاربرد نیز برخوردار هستند. در این تحقیق، خردایش سنگ معدن مس سرچشمه با توسعه مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی، پیش‌بینی شده است. برای ساخت مدل، پارامترهایی نظیر نسبت بردن به اسپیسینگ، قطر چال، طول گل‌گذاری، مجموع خرج بر تأخیر و انـــدیس بار نقطه‌ای به‌عنوان پارامتر ورودی در نظر گرفتـــــه شده است. مدل با معماری ۱-۵-۸-۹ و با روش انتشار معکوس خطا آموزش دید و نتیجهٔ مطلوب را بدست آورد. برای تعیین کارایی شبکه‌های عصبی، روش آماری نیز مورد استفاده قرار گرفت. ضریب همبستگی (R^2) و جذر متوسط مربعات خطا (RMSE) برای هر دو مدل محاسبه شده که نشان از برتری مطلق شبکه عصبی نسبت به روش آماری داشت. در نهایت، آنالیز حساسیت مدل شبکه عصبی با استفاده از روش میدان کسینوسی (CAM) انجام و میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی بر خروجی (خردایش) مشخص شد.

کلمات کلیدی : انفجار؛ خردایش؛ شبکه‌های عصبی مصنوعی؛ معدن مس سرچشمه