



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایانامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M Sc”

مهندسی معدن - استخراج

عنوان :

بهینه سازی الگوی آتشیاری معدن مس سرچشمه با استفاده از شبکه‌های

عصبی مصنوعی

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش:

فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان مطالب

- ۱ چکیده
- ۲ مقدمه

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- هدف ۶
- ۲-۱- پیشینه تحقیق ۶
- ۳-۱- روش کار و تحقیق ۷

فصل دوم: کلیاتی از لرزش ناشی از آتشفباری

- ۱-۲- لرزش زمین ۹
- ۲-۲- ویژگی‌های لرزش زمین ۹
- ۲-۲-۱- امواج لرزه‌ای ۹
- ۲-۲-۲-۱- امواج حجمی ۱۰
- ۲-۲-۲-۲- امواج سطحی ۱۲
- ۲-۲-۲- پارامترهای حرکت موجی ۱۳
- ۳-۲-۲- سرعت انتشار امواج ۱۵
- ۴-۲-۲- فرکانس لرزش ۱۵
- ۳-۲- استانداردهای لرزش ۱۶
- ۱-۳-۲- استاندارد لرزش بر مبنای شتاب ذرات ۱۷
- ۲-۳-۲- استاندارد لرزش بر مبنای نسبت انرژی ۱۷
- ۳-۳-۲- استاندارد لرزش بر مبنای شاخص فاصله مقیاس شده ۱۷
- ۴-۳-۲- استاندارد لرزش بر مبنای شاخص حداکثر سرعت ذرات ۱۹

- ۲-۴- پارامترهای موثر بر میزان لرزش زمین ۲۱
- ۲-۴-۱- پارامترهای قابل کنترل ۲۲
- ۲-۴-۱-۱- میزان خرج در هر تأخیر ۲۲
- ۲-۴-۱-۲- فاصله از محل انفجار ۲۲
- ۲-۴-۱-۳- خرج ویژه ۲۳
- ۲-۴-۱-۴- زمان تأخیر ۲۴
- ۲-۴-۱-۵- طول خرج ۲۶
- ۲-۴-۱-۶- نوع مواد منفجره ۲۸
- ۲-۴-۱-۷- راستای شروع انفجار ۲۸
- ۲-۴-۱-۸- سرعت انفجار ۳۰
- ۲-۴-۱-۹- پارامترهای هندسی انفجار ۳۱
- ۲-۴-۲- پارامترهای غیر قابل کنترل ۳۴

فصل سوم: روابط و مدل‌های پیش بینی لرزش

- ۳-۱- مقدمه ۳۷
- ۳-۲- روابط تجربی لرزش زمین ۳۷
- ۳-۳- روابط تئوری لرزش زمین ۴۳
- ۳-۴- پیش بینی لرزش زمین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ۴۸

فصل چهارم: شبکه‌های عصبی مصنوعی

- ۴-۱- مقدمه ۵۰
- ۴-۲- ساختار عصبی مغز ۵۰
- ۴-۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۲
- ۴-۴- تاریخچه شبکه‌های عصبی ۵۳

- ۵۴ چرا از شبکه‌های عصبی استفاده می‌کنیم؟
- ۵۵ کاربردهای شبکه‌های عصبی
- ۵۹ برخی از کاربردهای شبکه‌های عصبی در مهندسی معدن
- ۶۰ آشنایی با مدل نرون و معماری شبکه‌های عصبی
- ۶۰ ۱-۸-۴ نرون با یک ورودی عددی
- ۶۱ ۲-۸-۴ توابع انتقال
- ۶۴ ۳-۸-۴ نرون با یک بردار به عنوان ورودی
- ۶۵ ۴-۸-۴ معماری شبکه‌های عصبی
- ۶۶ ۵-۸-۴ شبکه‌های چند لایه
- ۶۷ ۶-۸-۴ قوانین یادگیری
- ۶۸ ۹-۴ آشنایی با برخی از شبکه‌های عصبی
- ۶۸ ۱-۹-۴ شبکه پرسپترون
- ۶۸ ۱-۱-۹-۴ مدل نرون پرسپترون
- ۷۰ ۲-۱-۹-۴ معماری پرسپترون
- ۷۱ ۳-۱-۹-۴ پرسپترون تک لایه
- ۷۱ ۴-۱-۹-۴ قاعده یادگیری پرسپترون تک لایه
- ۷۲ ۵-۱-۹-۴ محدودیت‌ها و تضمین‌های پرسپترون تک لایه
- ۷۲ ۲-۹-۴ پرسپترون چند لایه (*MLP*)
- ۷۳ ۱-۲-۹-۴ معماری شبکه‌های *MLP*
- ۷۴ ۲-۲-۹-۴ ایجاد یک شبکه *MLP*
- ۷۵ ۳-۲-۹-۴ آموزش شبکه
- ۷۹ ۴-۲-۹-۴ بهبود عمومیت شبکه
- ۸۰ ۳-۹-۴ شبکه‌های پایه شعاعی

- ۸۰ ۴-۹-۳-۱- توابع پایه شعاعی
- ۸۱ ۴-۹-۳-۲- معماری شبکه پایه شعاعی
- ۸۳ ۴-۹-۴- شبکه‌های رگرسیون تعمیم یافته (GRNN)
- ۸۴ ۴-۱۰- پیش پردازش و پس پردازش

فصل پنجم: آشنایی با معدن مس سرچشمه

- ۸۸ ۵-۱- مقدمه
- ۸۹ ۵-۲- موقعیت جغرافیایی معدن
- ۹۰ ۵-۳- تاریخچه معدن
- ۹۱ ۵-۴- زمین‌شناسی عمومی منطقه
- ۹۳ ۵-۴-۱- آلتراسیون‌ها
- ۹۴ ۵-۴-۲- سیالات درگیر
- ۹۵ ۵-۵- ژنز کانسار مس سرچشمه
- ۹۶ ۵-۶- سیالات درگیر، ذخیره و استخراج معدن
- ۹۷ ۵-۶-۱- ذخیره و استخراج معدن
- ۹۸ ۵-۷- طرح توسعه‌ی معدن

فصل ششم: پیش بینی لرزش ناشی از آتشفباری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

- ۱۰۱ ۶-۱- مقدمه
- ۱۰۱ ۶-۲- پیش‌بینی لرزش زمین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی
- ۱۰۱ ۶-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات جهت مدل‌سازی
- ۱۰۲ ۶-۲-۲- تعیین پارامترهای ورودی و خروجی
- ۱۰۳ ۶-۲-۳- پردازش داده‌ها
- ۱۰۴ ۶-۲-۴- ارزیابی شبکه‌ها

۱۰۶	.....	۵-۲-۶	ساخت مدل با استفاده از شبکه‌های عصبی <i>MLP</i>
۱۱۴	.....	۶-۲-۶	ساخت مدل با استفاده از شبکه‌های عصبی <i>RBF</i>
۱۱۷	.....	۷-۲-۶	ساخت مدل با استفاده از شبکه‌های عصبی <i>GRNN</i>
۱۱۷	.....	۳-۶	مقایسه شبکه‌ها
۱۱۸	.....	۴-۶	آنالیز حساسیت
۱۲۱	.....	۵-۶	مقایسه نتایج مدل بهینه با روش‌های تجربی

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۲۷	.....	۱-۷	نتیجه‌گیری
۱۲۹	.....	۲-۷	پیشنهادات
۱۳۱	.....		پیوست
۱۵۳	.....		منابع فارسی
۱۵۵	.....		منابع انگلیسی
۱۶۲	.....		چکیده انگلیسی

فهرست شکل‌ها

شماره صفحه

عنوان

- شکل ۱-۲- حرکت امواج حجمی، الف- فشاری، ب- برشی ۱۱
- شکل ۲-۲- حرکت امواج سطحی، الف- موج لاف، ب- موج رایلی ۱۳
- شکل ۳-۲- ارتباط بین جابجایی، سرعت، شتاب و فرکانس یک موج هارمونیک ساده ۱۵
- شکل ۴-۲- استاندارد لرزش بر مبنای شاخص حداکثر سرعت ذرات ۲۱
- شکل ۵-۲- اثرات شرایط منطقه بر روی لرزش‌های ناشی از انفجار ۲۳
- شکل ۶-۲- تأثیر خرج ویژه بر روی شدت لرزش ۲۴
- شکل ۷-۲- موقعیت یک ردیف چال انفجاری با وضعیت قرارگیری لرزه نگار ۲۶
- شکل ۸-۲- ارتباط طول خرج با حداکثر سرعت افقی ذرات ۲۷
- شکل ۹-۲- الگوهای آتشباری تک ردیفی و دو ردیفی ۲۹
- شکل ۱۰-۲- ارتباط بین سرعت انفجار و حداکثر سرعت ذرات ۳۱
- شکل ۱۱-۲- پارامترهای هندسی انفجار ۳۲
- شکل ۱۲-۲- نتایج حاصل از انفجار یک چال بر حسب ضخامت بارسنگ ۳۳
- شکل ۱-۳- تصحیح اثر طول خرج روی محاسبه حداکثر سرعت ذرات در یک نقطه ۳۹
- شکل ۱-۴- یک واحد پردازش شبکه عصبی مصنوعی با توجه به نحوه کارکرد یک نرون ۵۳
- شکل ۲-۴- نرون با یک ورودی ۶۰
- شکل ۳-۴- تابع انتقال *Hard limit* ۶۱
- شکل ۴-۴- تابع انتقال خطی ۶۱
- شکل ۵-۴- تابع انتقال لگاریتم سیگموئید ۶۲
- شکل ۶-۴- تابع انتقال تانژانت سیگموئید ۶۲

- شکل ۴-۷- تابع انتقال رقابتی ۶۲
- شکل ۴-۸- تابع انتقال *Hard Limit* متقارن ۶۳
- شکل ۴-۹- تابع انتقال خطی مثبت ۶۳
- شکل ۴-۱۰- تابع انتقال پایه شعاعی ۶۳
- شکل ۴-۱۱- تابع انتقال پایه مثلثی ۶۴
- شکل ۴-۱۲- نرون با بردار ورودی ۶۴
- شکل ۴-۱۳- یک شبکه تک لایه با R ورودی و S نرون ۶۵
- شکل ۴-۱۴- ساختار یک شبکه سه لایه ۶۶
- شکل ۴-۱۵- شبکه سه لایه با نمایش ساده ۶۷
- شکل ۴-۱۶- نرون پرسپترون ۶۹
- شکل ۴-۱۷- نحوه‌ی عملکرد تابع *hard limit* ۶۹
- شکل ۴-۱۸- ساختار شبکه پرسپترون تک لایه ۷۰
- شکل ۴-۱۹- شبکه MLP دو لایه باتوابع انتقال تانژانت سیگموئید/خطی ۷۴
- شکل ۴-۲۰- شبکه پایه شعاعی با R ورودی ۸۱
- شکل ۴-۲۱- تابع انتقال پایه شعاعی ۸۱
- شکل ۴-۲۲- معماری شبکه‌های پایه شعاعی ۸۲
- شکل ۴-۲۳- معماری شبکه‌های $GRNN$ ۸۳
- شکل ۵-۱- موقعیت جغرافیایی معدن ۸۹
- شکل ۵-۲- نقشه راه‌های ارتباطی معدن ۹۰
- شکل ۵-۳- نقشه‌ی زمین‌شناسی معدن سرچشمه ۹۲
- شکل ۵-۴- موقعیت معدن مس سرچشمه در ارتباط با کانی‌زایی‌های مس پورفیری و زون آتشفشانی ارومیه دختر ۹۶
- شکل ۵-۵- نمایی از معدن مس سرچشمه ۹۸

- شکل ۱-۶-۱- دستگاه *Blastmate* ۱۰۲
- شکل ۲-۶-۲- دستگاه *Minimate* ۱۰۲
- شکل ۳-۶-۳- وارد نمودن داده‌های دسته‌بندی شده به جعبه ابزار شبکه عصبی از نرم افزار مطلب ۱۰۶
- شکل ۴-۶-۴- نحوه‌ی انتخاب نوع شبکه عصبی و همچنین تعداد لایه های شبکه *MLP* ۱۰۷
- شکل ۵-۶-۵- الگوریتم ساخت مدل با شبکه *MLP* ۱۰۷
- شکل ۶-۶-۶- انتخاب تابع انتقال در شبکه *MLP* ۱۰۹
- شکل ۷-۶-۷- نحوه‌ی انتخاب تابع آموزش، تعداد نرون لایه مخفی ۱۰۹
- شکل ۸-۶-۸- رفتار تابع با تعداد نرون کم ۱۱۱
- شکل ۹-۶-۹- رفتار تابع با تعداد نرون مناسب ۱۱۱
- شکل ۱۰-۶-۱۰- رفتار تابع با تعداد نرون زیاد ۱۱۲
- شکل ۱۱-۶-۱۱- آموزش شبکه *MLP* با تابع *Train* ۱۱۳
- شکل ۱۲-۶-۱۲- چگونگی آزمون مدل ساخته شده ۱۱۴
- شکل ۱۳-۶-۱۳- ساختار شبکه تابع شعاعی مورد استفاده ۱۱۵
- شکل ۱۴-۶-۱۴- تعیین گستردگی تابع در شبکه *RBF* ۱۱۵
- شکل ۱۵-۶-۱۵- مقایسه مجذور میانگین مربع خطای سه شبکه عصبی ۱۱۹
- شکل ۱۶-۶-۱۶- مقایسه ضریب همبستگی سه شبکه عصبی ۱۱۹
- شکل ۱۷-۶-۱۷- تأثیر پارامترهای ورودی بر *PPV* ۱۲۰

فهرست جدول‌ها

شماره صفحه

عنوان

جدول ۱-۲	معیار لرزش بر اساس فاصله مقیاس شده	۱۸
جدول ۲-۲	معیار اداره معادن امریکا	۱۸
جدول ۳-۲	معیار لرزش بر اساس حداکثر سرعت ذرات	۲۰
جدول ۴-۲	معیار لرزش بر اساس حداکثر سرعت ذرات	۲۰
جدول ۵-۲	اندازه‌گیری حداکثر سرعت ذرات در جهت‌های مختلف	۳۰
جدول ۶-۲	تأثیر RMR روی حداکثر سرعت ذرات	۳۵
جدول ۱-۳	حداکثر سرعت قائم ذرات	۴۱
جدول ۲-۳	فاکتور مواد تشکیل دهنده ساختمان (F_m)	۴۲
جدول ۳-۳	فاکتور نوع ساختمان (F_b)	۴۲
جدول ۴-۳	فاکتور زمان پروژه (F_t)	۴۲
جدول ۵-۳	مقادیر ثابت مشخصه زمین (K_F)	۴۴
جدول ۶-۳	روابط و فرمول‌های ریاضی پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات (PPV)	۴۴
جدول ۱-۴	اجزای اصلی شبکه عصبی	۵۳
جدول ۱-۶	پارامترهای ورودی و خروجی مدل	۱۰۳
جدول ۲-۶	نمونه داده‌های آموزش و آزمون شبکه	۱۰۵
جدول ۳-۶	مقایسه ترکیب قرارگیری توابع انتقال	۱۰۸
جدول ۴-۶	نتایج استفاده از توابع آموزش مختلف در شبکه MLP سه لایه با ۱۰ نرون در لایه مخفی	۱۱۰

- جدول ۶-۵- نتایج بکارگیری توابع آموزش مختلف در شبکه MLP با تعداد نرون‌های مختلف ۱۱۳
- جدول ۶-۶- نتایج حاصل از شبکه RBF با گستردگی تابع‌های مختلف ۱۱۶
- جدول ۶-۷- نتایج حاصل از شبکه $GRNN$ ۱۱۸
- جدول ۶-۸- مقایسه $RMSE$ و ضریب همبستگی روش‌های تجربی و روش شبکه عصبی ۱۲۲

فهرست نمودارها

شماره صفحه	عنوان
۴۳	نمودار ۳-۱- فاکتور فاصله (F_d)
۱۱۲	نمودار ۶-۱- مقایسه نتایج حاصل از شبکه MLP بهینه و داده‌های واقعی
۱۱۶	نمودار ۶-۲- ارزیابی نتایج حاصل از مناسب‌ترین شبکه پایه شعاعی و داده‌های واقعی
۱۱۷	نمودار ۶-۳- ارزیابی نتایج حاصل از مناسب‌ترین شبکه $GRNN$ و داده‌های واقعی
۱۲۰	نمودار ۶-۴- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده توسط سه شبکه عصبی با مقادیر اندازه‌گیری شده
۱۲۲	نمودار ۶-۵- ارزیابی نتایج حاصل از رابطه کنیا و داده‌های اندازه‌گیری شده
۱۲۳	نمودار ۶-۶- ارزیابی نتایج حاصل از رابطه کلارک-لارسون و داده‌های اندازه‌گیری شده
۱۲۳	نمودار ۶-۷- ارزیابی نتایج حاصل از رابطه اچترلانی و داده‌های اندازه‌گیری شده
۱۲۴	نمودار ۶-۸- ارزیابی نتایج حاصل از رابطه بخشنده و داده‌های اندازه‌گیری شده
۱۲۴	نمودار ۶-۹- ارزیابی نتایج حاصل از رابطه پورقاسمی و داده‌های اندازه‌گیری شده
۱۲۵	نمودار ۶-۱۰- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده توسط روابط تجربی با مقادیر اندازه‌گیری شده

چکیده

یکی از مهمترین پدیده‌های نامطلوب عملیات آتشباری لرزش زمین است. این پدیده زمانی که عملیات آتشباری نزدیک مناطق مسکونی باشد، دارای اهمیت بیشتری است. همچنین لرزش ناشی از آتشباری، برای دیواره‌های معدن بسیار مخرب است.

با توجه به تعدد پارامترهای موثر در بروز این پدیده و پیچیدگی رابطه‌ی متقابل بین این عوامل، روش‌های تجربی موجود بطور دقیق قادر به پیش‌بینی میزان لرزش نمی‌باشند. در این تحقیق به منظور بررسی اثر پارامترهای مختلف از جمله حداکثر مقدار خرج بر تأخیر، فاصله از محل انفجار، تعداد چال در تأخیر و خصوصیات مکانیک سنگی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدلی برای پیش‌بینی میزان لرزش زمین در عملیات آتشباری معدن مس سرچشمه به منظور بهینه سازی الگوی آتشباری ارائه و با نتایج روابط تجربی مقایسه شده است. جهت یافتن بهترین روش مدل‌سازی، برخی از شبکه‌ها مانند شبکه‌ی پرسپترون چند لایه (*MLP*)، پایه شعاعی (*RBF*) و رگرسیون تعمیم یافته (*GRNN*) با استفاده از شاخص مجذور میانگین مربع خطا (*RMSE*) و ضریب همبستگی (R^2) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بر اساس نتایج حاصله، مدل ساخته شده با روش *MLP* بهترین نتایج را ارائه می‌دهد. *RMSE* و R^2 این شبکه به ترتیب برابر ۰/۰۳ و ۰/۹۵۴ می‌باشد. در نهایت پس از انجام آنالیز حساسیت ملاحظه شد که پارامترهای فاصله از محل انفجار، تعداد چال در تأخیر و حداکثر مقدار خرج در تأخیر به ترتیب بیشترین تأثیر را در میزان لرزش حاصل از عملیات آتشباری دارند.