



## دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه جهت دریافت مدرک کارشناسی ارشد «*M.Sc*»

مهندسی استخراج معدن

### عنوان:

پیش بینی خردایش حاصل از انفجار های معدنی با استفاده از شبکه های عصبی و  
رگرسیون خطی چندگانه (مطالعه موردی معدن سنگ آهن گل گهر)

استاد راهنما:

استاد مشاور:

نگارش:

## فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
چکیده .....	۱
مقدمه .....	۳

### فصل اول

#### عوامل و پارامترهای قابل کنترل در انفجارهای معادن

۱-۱ مقدمه .....	۷
۲-۱ پارامترهای قابل کنترل انفجار .....	۷
۱-۲-۱ قطر چال .....	۷
۲-۲-۱ ضخامت بارسنگ .....	۸
۳-۲-۱ فاصله ردیفی چال ها .....	۹
۴-۲-۱ ارتفاع پله .....	۱۰
۵-۲-۱ اضافه حفاری .....	۱۱
۶-۲-۱ گل گذاری .....	۱۱
۷-۲-۱ شیب چال .....	۱۱
۹-۲-۱ خرج ویژه .....	۱۲
۱۰-۲-۱ حفاری ویژه .....	۱۳

### فصل دوم

#### روابط تجربی پیش بینی خردایش ناشی از انفجارهای معدنی

۱-۲ پارامترهای موثر بر خردایش .....	۱۸
۱-۱-۲ شرایط زمین ساخت منطقه انفجاری .....	۱۸
۲-۱-۲ حفاری ویژه .....	۱۸
۳-۱-۲ خرج ویژه .....	۱۹
۴-۱-۲ الگوی حفاری .....	۱۹
۵-۱-۲ الگوی انفجاری .....	۱۹
۶-۱-۲ شیب چال .....	۱۹
۷-۱-۲ انحراف چال .....	۱۹
۸-۱-۲ ابعاد منطقه انفجاری .....	۲۰
۲-۲ رابطه های ریاضی پیش بینی خردایش انفجار .....	۲۰
۱-۲-۲ لارسون .....	۲۱
۲-۲-۲ فرنکل .....	۲۱

۲۲	..... هسنس ۳-۲-۲
۲۳	..... راکیشف ۴-۲-۲
۲۴	..... لوپز جمینو ۵-۲-۲
۲۵	..... لیلی ۶-۲-۲
۲۶	..... گاپتا و دیگران ۷-۲-۲
۲۷	..... کاز-رام ۸-۲-۲
۲۷	..... معادله کازنتسوف ۱-۸-۲-۲
۲۸	..... منحنی رزین - راملر ۲-۸-۲-۲
۲۹	..... تأثیر طرح آشکاری روی شاخص یکنواختی ۳-۸-۲-۲
۳۰	..... مدل اصلاح شده کاز-رام ۹-۲-۲

### فصل سوم

#### آشنایی با معدن سنگ آهن گل گهر

۳۳	..... آشنایی ۱-۳
۳۴	..... تاریخچه عملیات اکتشافی و بهره برداری معدن ۲-۳
۳۷	..... دسته بندی مواد معدنی ۳-۳
۳۷	..... مگنتیت پایینی ۱-۳-۳
۳۸	..... زون اکسیده ۲-۳-۳
۳۹	..... مگنتیت بالایی ۳-۳-۳

### فصل چهارم

#### شبکه های عصبی مصنوعی

۴۰	..... مقدمه ۱-۴
۴۲	..... شبکه های عصبی بیولوژیکی ۲-۴
۴۲	..... نرون های فیزیکی ( بیولوژیکی ) ۱-۲-۴
۴۲	..... سلول های عصبی ۱-۱-۲-۴
۴۳	..... فعالیت سیناپسی ۲-۱-۲-۴
۴۴	..... تلاشهای تاریخی ۳-۴
۴۴	..... پرسپترون وما قبل آن ۱-۳-۴
۴۵	..... بعد از پرسپترون ۲-۳-۴
۴۶	..... نسل سوم شبکه های عصبی مصنوعی ۳-۳-۴
۴۶	..... شبکه های عصبی مصنوعی ۴-۳-۴
۴۶	..... ساختارهای محاسباتی ۱-۴-۴

۴۷	۲-۴-۴- تعریف شبکه های عصبی
۴۷	۳-۴-۴- مفاهیم اساسی شبکه های عصبی
۴۹	۵-۴- مدلسازی
۴۹	۶-۴- مدل پایه نرون
۵۲	۷-۴- آموزش و یادگیری شبکه های عصبی مصنوعی
۵۳	۱-۷-۴- آموزش با نظارت
۵۴	۲-۷-۴- آموزش بدون نظارت
۵۴	۳-۷-۴- آموزش تقویت یافته
۵۴	۴-۷-۴- آموزش رقابتی
۵۴	۸-۴- ویژگی های شبکه های عصبی مصنوعی
۵۵	۹-۴- ساختار شبکه های عصبی مصنوعی
۵۶	۱-۹-۴- مدل کردن شبکه های عصبی مصنوعی
۵۷	۱۰-۴- پرسپترون
۵۸	۱۱-۴- پرسپترون چند لایه
۵۹	۱۲-۴- الگوریتم یادگیری پس از انتشار
۶۰	۱۳-۴- تعمیم

## فصل پنجم

### تحلیل های آماری چند متغیره

۶۲	۱-۵- مقدمه
۶۲	۲-۵- سازمان داده ها
۶۲	۱-۲-۵- آرایه ها
۶۲	۳-۵- آمار توصیفی
۶۴	۴-۵- روابط خطی بین دو متغیر
۶۵	۵-۵- مدل رگرسیون خط مستقیم
۶۷	۶-۵- برآورد های $\beta_0, \beta_1$ در روش ماتریسی
۶۹	۷-۵- رگرسیون خطی چندگانه
۷۲	۸-۵- مدل های پیچیده تر
۷۳	۱-۸-۵- مدل های خطی چند جمله ای و پیچیده تر
۷۴	۲-۸-۵- مدل های غیر خطی که ذاتاً خطی هستند
۷۵	۱-۲-۸-۵- مدل ضربی
۷۵	۲-۲-۸-۵- مدل نمایی
۷۵	۳-۲-۸-۵- مدل معکوس

۷۶	..... مدل نمایی پیچیده تر .....
۷۶	..... الگوی رگرسیون غیر خطی .....

### فصل ششم

#### روش های دانه بندی سنگ بعد از انفجار

۷۹	..... ۱-۶- مقدمه .....
۷۹	..... ۲-۶- تعریف اندازه ذره .....
۸۰	..... ۳-۶- روش های دانه بندی سنگ پس از انفجار .....
۸۰	..... ۱-۳-۶- آنالیزهای دیداری کیفی: .....
۸۱	..... ۲-۳-۶- روش عکاسی: .....
۸۲	..... ۳-۳-۶- روش فتوگرافی: .....
۸۷	..... ۶-۶- مراحل انجام آنالیز تصویری [۳۲] .....
۸۸	..... ۱-۶-۶- نمونه گیری: .....
۸۸	..... ۲-۶-۶- استراتژی نمونه گیری: .....
۸۹	..... ۳-۶-۶- گرفتن تصاویر: .....
۹۰	..... ۱-۳-۶-۶- کیفیت عکس .....
۹۰	..... الف - رزولوشن: .....
۹۱	..... ج - گرد و غبار: .....
۹۱	..... ۲-۳-۶-۶- مقیاس تصاویر .....
۹۲	..... الف - آنالیز تصاویر منفرد: .....
۹۲	..... ب - آنالیز تصاویر چندگانه: .....
۹۳	..... ج - آنالیز تصاویر چندگانه: .....
۹۳	..... ۴-۶-۶- فرآیند آنالیز تصویری .....
۹۴	..... ۷-۶- خطای پرسپکتیو .....
۹۴	..... ۱-۷-۶- خطای Disintegration و خطای Fusion [۳۷] .....
۹۶	..... ۸-۲- روش کار .....
۹۶	..... الف- استراتژی نمونه گیری: .....
۹۶	..... ب - کجی عکس: .....
۹۷	..... ج - جدایش توده: .....
۹۷	..... د - تعداد تصاویر: .....
۹۷	..... ه- تعداد بلوک ها در تصویر: .....
۹۸	..... و- رزولوشن ذرات ریز: .....
۹۸	..... ز - محل مناسب مقیاس: .....

ح - تهیه برچسب مناسب برای تصاویر ۳:	۹۸
ط - نگهداری:	۹۹
۶-۹ - مقایسه روش های آنالیز تصویری و آنالیز سرنندی	۹۹
۶-۹-۱ - آنالیز سرنندی	۱۰۰
۶-۹-۲ - تفاوت های روش آنالیز تصویری و آنالیز سرنندی	۱۰۰
۶-۱۰ - مزایای روش آنالیز تصویری	۱۰۱
۶-۱۱ - معایب روش آنالیز تصویری	۱۰۲
۶-۱۲ - نرم افزارهای آنالیز تصویری	۱۰۳
۶-۱۳ - نرم افزار Goldsize	۱۰۴

#### فصل هفتم

پیش بینی خردایش ناشی از انفجار در معدن گل گهر با استفاده از شبکه عصبی و رگرسیون ها

۷-۱ - محاسبه الگوی انفجار با استفاده از شبکه های عصبی	۱۰۸
۷-۲ - تهیه اطلاعات جهت مدلسازی	۱۰۸
۷-۳ - انفجارهای انجام شده	۱۰۸
۷-۳ - بدست آوردن رابطه ای تجربی برای تعیین خردایش در معدن گل گهر با استفاده از رگرسیون	۱۲۴

#### فصل هشتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

منابع و مراجع	۱۵۸
---------------	-----

## فهرست شکل ها

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱. نمایشی از بولدر های ایجاد شده در معدن سنگ آهن گل گهر	۴
شکل ۱-۱. زون خرد شده اطراف چال زمانی که S زیاد باشد. [۱]	۱۰
شکل ۱-۲. زون خرد شده اطراف چال زمانی که S کم باشد. [۱]	۱۰
شکل ۱-۳. موقعیت قرار گیری چال و بار سنگ به صورت عمودی و شیدار. [۱]	۱۲
شکل ۱-۲. روابط هزینه های مختلف با خردایش حاصل از انفجار [۱۰]	۱۷
شکل ۲-۲. رابطه ی بین شاخص حفاری (Drilling Index) و ضریب پودر شدگی (Powder Factor) [۱]	۲۵
شکل ۱-۳. موقعیت جغرافیایی معدن سنگ آهن گل گهر [۲۰]	۳۳
شکل ۲-۳. میزان بارندگی در سال های اخیر در معدن گل گهر [۲۰]	۳۴
شکل ۳-۳. تصویری از بقایای معدنکاری قدیمی در منطقه گل گهر [۲۰]	۳۵
شکل ۳-۴. نمایش آنومالی های ۶ گانه گل گهر [۲۰]	۳۶
شکل ۵-۳. مقطعی عرضی از وضعیت زمین شناسی توده شماره ۱ [۲۰]	۳۸
شکل ۱-۴. تصویری جامع از مورفولوژی نرون منفرد [۲۳]	۴۴
شکل ۲-۴. توپولوژی های اساسی برای شبکه های عصبی [۱۷]	۴۹
شکل ۳-۳. مدل پایه یک نرون	۵۰
شکل ۴-۴. شکل مدل پایه نرون [۲۲]	۵۱
شکل ۵-۴. عملکرد یک نرون [۲۳]	۵۱
شکل ۶-۴. نمودارهای توابع غیر خطی [۲۳]	۵۳
شکل ۷-۴. نمونه های مختلف شبکه های عصبی مصنوعی [۲۳]	۵۷
شکل ۸-۴. مدل پرسپترون تک لایه [۲۳]	۵۸
شکل ۹-۴. مدل یک نرون مصنوعی بامعلم یا سرپرس [۲۳]	۵۸
شکل ۱۰-۴. سلسله مراتبی MLP [۲۳]	۵۹
شکل ۱-۶. تعریف ابعاد ماکزیمم و مینیمم در یک قطعه [۳۴]	۸۰
شکل ۳-۶. روش شبکه ای ارزیابی خردایش در آزمایشگاه [۲۸]	۸۲
شکل ۶-۶. الف- نمونه بدون گرد و غبار؛ ب- نمونه حاوی گرد و غبار	۹۱
شکل ۷-۶. خطای Disintegration	۹۵
شکل ۸-۶. خطای Fusion	۹۶
شکل ۹-۶. طریقه صحیح قرار گیری مقیاس در تصویر	۹۸
شکل ۱۰-۶. نحوه ثبت اطلاعات مربوط به هر عکس در نرم افزار Goldsize	۹۹
شکل ۱۱-۶. موقعیت ذرات در آنالیز تصویری و سرندي [۳۵]	۱۰۰
شکل ۱۲-۲. ذره ای با شکل مثلث یا مستطیل [۳۵]	۱۰۱

- شکل ۲-۱۳- تصویر شماتیک آنالیز تصویری در خط تولید [۲۳]..... ۱۰۳
- شکل ۶-۱۴- ترسیم محیط قطعات در نرم افزار Goldsize..... ۱۰۴
- شکل ۶-۱۵- پنجره مخصوص ورود اطلاعات مدل کاز-رام..... ۱۰۵
- شکل ۷-۱. موقعیت پترن های انفجاری در معدن..... ۱۰۹
- شکل ۷-۲. الف. عدم دقت در حفر چالهای انفجاری؛ ب. وجود چالهای ۲۵۰ میلیتری در بولدرها..... ۱۱۰
- شکل ۷-۳. نمایشی از بولدر های ایجاد شده در معدن گل گهر..... ۱۱۰
- شکل ۷-۴. حفر چال با قطر کوچک برای انجام انفجار ثانویه..... ۱۱۱
- شکل ۷-۵. عقب زدگی پشت سینه کار..... ۱۱۱
- شکل ۷-۶. خرجگذاری نادرست چال ها..... ۱۱۱
- جدول ۷-۱. پارامتر های ورودی شبکه عصبی..... ۱۱۲
- شکل ۷-۷. نمایشی از تصویر دیجیتالی شده در نرم افزار Goldsize..... ۱۱۳
- شکل ۷-۱۴. نمودار مقایسه بین خروجی های واقعی و پیش بینی شده..... ۱۲۰
- شکل ۷-۱۵. نمودار مقایسه بین خروجی های واقعی و پیش بینی شده..... ۱۲۰
- شکل ۷-۱۶. نمایشی از بخش Test..... ۱۲۱
- شکل ۷-۱۷. نمایشی از بخش پیش بینی نرم افزار..... ۱۲۲
- جدول ۷-۳. مقایسه نتایج Goldsize و شبکه عصبی سه انفجار مربوط به اعتبار سنجی..... ۱۲۳
- جدول ۷-۴. بررسی تغییرات نسبت  $S/B$  و بارسنگ در شبکه عصبی..... ۱۲۳
- جدول ۷-۵. میزان ضریب همبستگی مدل های ۸ گانه طراحی شده توسط SPSS..... ۱۲۵
- جدول ۷-۶. پارامتر های در نظر گرفته شده برای هشت مدل..... ۱۲۶
- جدول ۷-۷. پارامتر های حذف شده از معادله رگرسیون..... ۱۳۰
- شکل ۷-۱۸. مقایسه بین داده های واقعی و پیش بینی شده برای رگرسیون خطی چند گانه..... ۱۳۷
- جدول ۷-۸. جزئیات مربوط به رابطه غیر خطی بین  $d_{80}$  - Specific Drilling..... ۱۳۷
- شکل ۷-۱۹. نمودار مربوط به معادله (۹)..... ۱۳۹
- جدول ۷-۹. جزئیات مربوط به رابطه غیر خطی بین  $d_{80}$  - hole dept..... ۱۳۹
- شکل ۷-۲۰. نمودار مربوط به معادله (۱۰)..... ۱۴۱
- جدول ۷-۱۰. جزئیات مربوط به رابطه غیر خطی بین  $d_{80}$  - specific charge..... ۱۴۱
- شکل ۷-۲۱. نمودار مربوط به معادله (۱۱)..... ۱۴۳
- جدول ۷-۱۰. جزئیات مربوط به رابطه غیر خطی بین  $d_{80}$  - Water dept..... ۱۴۳
- شکل ۷-۲۲. نمودار مربوط به معادله (۱۲)..... ۱۴۵
- جدول ۷-۱۱. جزئیات مربوط به رابطه غیر خطی بین  $d_{80}$  - stemming..... ۱۴۵
- شکل ۷-۲۳. نمودار مربوط به معادله (۱۳)..... ۱۴۷
- جدول ۷-۱۲. جزئیات مربوط به رابطه غیر خطی بین  $d_{80}$  - Burden..... ۱۴۷



- جدول ۷-۱۳. جزئیات مربوط به نسبت  $d_{80} - S/B$  ..... ۱۴۹
- جدول ۷-۱۴. جزئیات مربوط به خرج بر تاخیر  $d_{80}$  ..... ۱۵۰
- جدول ۷-۱۵. جزئیات مربوط به نسبت  $L_w/L_a$  ..... ۱۵۱
- جدول ۷-۱۶. جزئیات مربوط به تعداد ردیف انفجاری  $d_{80}$  ..... ۱۵۲
- شکل ۷-۲۴. مقایسه مقادیر پیش بینی شده و واقعی با استفاده از رابطه تجربی رگرسیون غیر خطی ..... ۱۵۴

## فهرست جدول ها

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۱. رابطه Blastability با سرعت شکست بحرانی	۲۳
جدول ۲-۲. مقادیر فاکتور سنگ با توجه به ساختار توده سنگ [۲]	۲۷
جدول ۳-۲. مقادیر پارامتر های مؤثر در BI	۳۰
جدول ۱-۳. مشخصات آنومالی های ۶ گانه گل گهر	۳۶
جدول ۱-۷. پارامتر های ورودی شبکه عصبی	۵۲
جدول ۲-۷. درصد اهمیت هر یک از پارامتر ها در شبکه عصبی	۵۵
جدول ۳-۷. مقایسه نتایج Goldsize و شبکه عصبی سه انفجار مربوط به اعتبار سنجی	۸۰
جدول ۴-۷. بررسی تغییرات نسبت $S/B$ و بار سنگ در شبکه عصبی	۸۵
جدول ۴-۷. بررسی تغییرات گل گذاری در شبکه عصبی	۹۳
جدول ۵-۷. میزان ضریب همبستگی مدل های ۸ گانه طراحی شده توسط SPSS	۹۴
جدول ۶-۷. پارامتر های در نظر گرفته شده برای هشت مدل	۹۵
جدول ۷-۷. پارامتر های حذف شده از معادله رگرسیون	۹۶

یکی از اساسی ترین مراحل استخراج معدن عملیات چالزنی و انفجار می باشد. برای انجام یک انفجار مناسب، در مرحله اول باید عوامل تاثیر گذار نظیر خصوصیات سنگ، پارامترهای مربوط به ماده منفجره و مشخصات هندسی شبکه انفجار تعیین گردند و سپس الگوی انفجار بهینه بر مبنای این عوامل محاسبه شود. خردایش ناشی از انفجار در معادن یکی از موارد و مسائل مهم در عملیات معدنکاری به شمار می رود که در صورت اجرای کم نقص و صحیح انفجارها، اثرات مثبت این عملیات به بخش های دیگر معدنکاری از جمله ترابری و سنگ شکنی کشیده می شود. به همین سبب جهت بهینه سازی عملیات انفجاری برای بهبود خردایش در معادن اقدامات گسترده ای صورت گرفته که تا حد زیادی به بهبود این مهم انجامیده است. تا کنون بخش گسترده ای از این اقدامات و تحقیقات به صورت تجربی صورت پذیرفته است که در آنها فرد محقق با تعداد آزمایشات اندکی مورد بررسی قرار می داده و اقدام به نتیجه گیری می نمود. اما امروزه با رونق گیری علوم جدید و دخول آنها به بخش های مختلف مهندسی معدن این آزمایشات جلوه دیگری یافته است. که از آن جمله تعدد آزمایشات مورد بررسی که بزرگترین مزیت می باشد را می توان نام برد. از این جمله موارد می توان به تصمیم گیری های چند متغیره مانند AHP، TOPSIS، DEA و غیره، شبکه های عصبی، منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و تحلیل های آماری اشاره نمود؛ که به تازگی با استفاده از آنها اقدامات مربوط به بهینه سازی انفجارهای معدنی آغاز گردیده است. در این تحقیق ابتدا با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، مدلی مبتنی بر شبکه عصبی چند لایه برای شبیه سازی عملیات انفجار در معدن شماره ۱ سنگ آهن گل گهر و پیش بینی مناسب ترین الگوی انفجار با توجه به شرایط محیطی ارائه شده است. این شبکه عصبی به جای طراحی با نرم افزار مطلب با نرم افزاری مختص به طراحی شبکه های عصبی مصنوعی به نام Alyuda NeuroIntelligence طرح ریزی شده است. تعداد پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده برای این شبکه عصبی ۱۵ پارامتر می باشد. سپس با توجه به رفتار شبکه در قسمت های آموزش، آزمون و مقدار خطاها در تخمین میزان  $d_{80}$ ، مقادیر بهینه ای برای تعداد لایه های میانی، تعداد نرون ها و توابع انتقال بدست آمد. به این ترتیب شبکه بهینه با دو لایه میانی که به ترتیب دارای ۴۸ و ۱۱ نرون می باشند، تعیین شد. در بخش دوم از رگرسیون های خطی و غیر خطی جهت مقایسه نتایج با حاصله از شبکه عصبی استفاده شده است. در این بخش با استفاده از نرم افزار SPSS15 دو رابطه یکی به صورت خطی و دیگری غیر خطی بدست آمد.

آنالیزهای انجام شده بیانگر تاثیر بالای پارامترهای طول چال، نسبت  $S/B$ ، طول گل گذاری و میزان خرج بر تاخیر می باشد. در این معدن با تغییر مقدار گل گذاری از ۵/۵ متر به ۶/۳ متر مقدار  $d_{80}$  از ۵۵/۰ متر به ۰/۶ متر افزایش پیدا نمود.