

مهندسی انفجار در معادن روباز

با استفاده از سیستم‌های هوشمند

تألیف:

دکتر مسعود منجزی

دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

مهندس مصطفی آصفی

مهندس نادر قاسم‌پور



سرشناسه: منجزی، مسعود

عنوان و نام پدیدآور: مهندسی انفجار در معادن روباز با استفاده از سیستم‌های هوشمند

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، ۱۳۹۳.

مشخصات ظاهری: ۶۰۸ ص.؛ مصور، جدول، نمودار.

شابک: 978-600-7589-09-0

وضعیت فهرست نویسی: فبیای مختصر

یادداشت: این مدرک در آدرس <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.

شناسه افزوده: آصفی، مصطفی، ۱۳۶۵ -

شناسه افزوده: قاسم‌پور، نادر، ۱۳۶۰ -

شناسه افزوده: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی

شماره کتابشناسی ملی: ۳۷۶۶۱۱۷

مهندسی انفجار در معادن روباز با استفاده از سیستم‌های هوشمند

نگارندگان: دکتر مسعود منجزی، مهندس مصطفی آصفی، مهندس نادر قاسم‌پور

ویراستار ادبی و فنی: زهرا نایع

مطراح جلد: مصطفی جانجانی

صفحه‌آرا: سمیه زهانی

ناشر: مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس

شماره انتشار: ۱۸۴/۲۸

شماره پیاپی: ۲۰۹

تاریخ انتشار: ۱۳۹۳

شمارگان: ۱۰۰۰

ISBN: 978-600-7589-09-0

شابک دوره: ۹۷۸-۶۰۰-۷۵۸۹-۰۹-۰۰

کارشناس اجرایی: لیلا نجفی زمان

نویت چاپ: اول

ناظر چاپ: مصطفی جانجانی

لیتوگرافی: ایران گرافیک

چاپ و صحافی: آفتاب

مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر چمران،

دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، صندوق پستی: ۳۱۸-۱۴۱۱۵

دورنگار: ۸۲۸۸۳۰۳۲

تلفن: ۸۲۸۸۳۰۹۶

بها: ۳۶۰۰۰۰ ریال

صحت مطالب کتاب بر عهده نگارندگان است.

پیشگفتار ناشر

حکایت خواندن و نوشتن، نشان از هویت دینی و ملی ایرانیان است که حضرت حق فرمان را بر خواندن نهاد و این گونه رسالت خاتم خود را آغاز کرد.

دانشگاه تربیت مدرس نیز همگام با رسالت خطیر خود، در راستای اجرای بند ۷ آیین نامه پذیرش «کتاب های تألیف و ترجمه های دانشگاه تربیت مدرس» و با هدف ارائه و نشر نتایج پژوهش های نخبگان جامعه علمی کشور در طی تدریس، تحقیق، راهنمایی و مشاوره پایان نامه های کارشناسی ارشد و رساله های دکتری دانش پژوهان و بهره مندی از آخرین پژوهش ها و یافته های محققان ایران و جهان به منظور تأمین منابع علمی دانشگاه های کشور، منطقه و جهان، با سفارش تألیف در این عرصه گام نهاده است.

در این راستا بیست و هشتمین کتاب سفارش تألیف، با عنوان «مهندسی انفجار در معادن روباز با استفاده از سیستم های هوشمند» تألیف جناب آقای دکتر مسعود منجزی عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس، مهندس مصطفی آصفی و مهندس نادر قاسم پور را پیش روی خوانندگان گرامی قرار داده است.

امید است نخبگان و صاحب نظران، ضمن یاری رساندن به دانشگاه، پیشنهاد های ارزنده خود را نیز به منظور اجرای موفق و مناسب این طرح، ارائه فرمایند.

با آرزوی توفیق الهی

دکتر یعقوب فتح الهی

معاون پژوهشی و فناوری دانشگاه

فهرست مطالب

پیشگفتار نگارندگان.....	س
بخش اول: نگرشی بر ساختار مهندسی انفجار در معادن روباز.....	۱
فصل اول: نظریه انفجار.....	۳
۱-۱ مقدمه.....	۳
۲-۱ فرایند انفجار.....	۳
۳-۱ نظریه تشکیل قیف انفجاری.....	۶
۴-۱ مکانیزم خردایش در انفجار.....	۱۰
۴-۱-۱ پودرشدن سنگ.....	۱۱
۴-۱-۲ انتشار ترک‌های شعاعی.....	۱۲
۴-۱-۳ انتشار ترک‌های محیطی.....	۱۳
۴-۱-۴ پوسته‌پوسته شدن.....	۱۴
۴-۱-۵ فشار شعاعی گازها.....	۱۵
۴-۱-۶ ترک‌خوردگی بر اثر خمش.....	۱۵
۴-۱-۷ تصادم قطعات خردشده.....	۱۷
۴-۱-۸ تفکیک لایه‌ها.....	۱۷
فصل دوم: اصول طراحی انفجار.....	۱۹
۱-۲ مقدمه.....	۱۹
۲-۲ چال‌های انفجاری در یک پله اصلی.....	۲۰

ب مهندسی انفجار در معادن روباز با استفاده از سیستم‌های هوشمند

- ۲-۳ انواع انفجار در معادن سطحی ۲۱
- ۲-۳-۱ انفجار تولیدی ۲۲
- ۲-۳-۲ انفجار ثانویه ۲۲
- ۲-۳-۳ انفجار قالبی ۲۲
- ۲-۳-۴ پیش‌شکافی ۲۵
- ۲-۳-۵ انفجار چال‌های مارگون ۲۶
- ۲-۳-۶ انفجار سنگچین ۲۷
- ۲-۴ پارامترهای طراحی الگوی انفجار ۲۸
- ۲-۴-۱ مشخصات ماده منفجره و خرج ویژه ۲۹
- ۲-۴-۲ حفاری ویژه ۳۳
- ۲-۴-۳ امتداد انفجار ۳۳
- ۲-۴-۴ تعداد سطح آزاد ۳۳
- ۲-۴-۵ قطر چال انفجاری ۳۴
- ۲-۴-۶ قطر چال و نرخ تولید ۳۴
- ۲-۴-۷ قطر چال و خردشدگی ۳۵
- ۲-۴-۸ تأثیر مشخصات سنگ بکر بر قطر چال ۳۶
- ۲-۴-۹ تأثیر مشخصات توده سنگ بر قطر چال ۳۷
- ۲-۴-۶ عمق چال انفجاری ۳۸
- ۲-۴-۷ ترکیب شاول الکتریکی و کامیون ۴۰
- ۲-۴-۶ درگلاین قدمزن ۴۱
- ۲-۴-۶ ترکیب لودر جرخ لاستیکی و کامیون ۴۲
- ۲-۴-۷ زاویه میل چال ۴۵
- ۲-۴-۸ پارسنگ ۴۸
- ۲-۴-۹ فاصله‌داری ۵۰
- ۲-۴-۱۰ اضافه‌حفاری ۵۲
- ۲-۴-۱۱ طول انسداد ۵۵
- ۲-۴-۱۲ ابعاد انفجار ۵۵
- ۲-۴-۱۳ توالی انفجار چال‌ها ۵۷

فهرست ج

- ۵۷..... ۴-۱۳-۱ محاسبه میزان تأخیر انفجار در بین چال‌های یک ردیف
- ۵۷..... ۴-۱۳-۲ محاسبه میزان تأخیر انفجار در میان ردیف‌ها
- ۵۸..... ۵-۲ رویکردهای محاسبه بارسنگ
- ۵۸..... ۲-۵-۱ فرانکل در ۱۹۵۲
- ۵۹..... ۲-۵-۲ پیرس در ۱۹۵۵
- ۵۹..... ۲-۵-۳ هاینو در ۱۹۵۹
- ۶۰..... ۴-۵-۲ لانگفورد و کیلستروم در ۱۹۶۳
- ۶۲..... ۲-۵-۵ لورر جیمینو در ۱۹۸۰
- ۶۳..... ۲-۵-۶ کُنا و والتر در ۱۹۷۲ و ۱۹۸۳
- ۶۴..... ۲-۶-۱ ارتباط پارامترهای هندسی انفجار
- ۶۵..... ۲-۶-۲ ارتباط بارسنگ و فاصله‌داری
- ۶۵..... ۲-۶-۲ ارتباط بارسنگ و قطر چال انفجاری
- ۶۷..... ۲-۶-۳ ارتباط بارسنگ با اضافه‌حفری
- ۶۷..... ۴-۶-۲ ارتباط طول انسداد و بارسنگ
- ۶۸..... ۲-۶-۵ ارتباط بارسنگ با ارتفاع پله
- ۶۸..... ۲-۶-۶ محاسبه طول چال انفجاری
- ۶۸..... ۲-۷-۱ طراحی انفجار تولیدی
- ۷۱..... ۲-۷-۱ حل یک مثال
- ۷۳..... فصل سوم: رویکردهای تجربی در مدیریت نتایج انفجار
- ۷۳..... ۳-۱ مقدمه
- ۷۴..... ۳-۲ شاخص انفجارپذیری
- ۷۴..... ۳-۲-۱ انفجارپذیری سنگ بکر
- ۷۵..... ۳-۲-۲ انفجارپذیری توده‌سنگ
- ۷۵..... ۳-۲-۲-۱ شاخص پیشنهادی هتسین در ۱۹۶۸
- ۷۶..... ۳-۲-۲-۲ شاخص پیشنهادی هاینن و دیمک
- ۷۷..... ۳-۲-۲-۳ شاخص پیشنهادی آشی در ۱۹۷۷
- ۷۸..... ۳-۲-۲-۴ شاخص پیشنهادی لانگفورد در ۱۹۷۸

- ۷۹..... ۵-۲-۳ شاخص پیشنهادی لیلی در ۱۹۸۶
- ۸۰..... ۶-۲-۳ شاخص پیشنهادی گوس در ۱۹۸۸
- ۸۱..... ۷-۲-۳ شاخص پیشنهادی گوپتا در ۱۹۹۰
- ۸۲..... ۸-۲-۳ شاخص پیشنهادی KMRC لدر ۱۹۹۶
- ۸۲..... ۳-۳ خردشدگی
- ۸۳..... ۱-۳-۳ مدل‌های پیش‌بینی خردشدگی
- ۸۳..... ۱-۱-۳-۳ مدل لارسون
- ۸۴..... ۲-۱-۳-۳ مدل سوئدی (Svedefo)
- ۸۵..... ۳-۱-۳-۳ مدل کوزنتسوف
- ۸۶..... ۴-۱-۳-۳ تابع رژیم رامبر
- ۸۸..... ۵-۱-۳-۳ مدل کوز-رام
- ۹۰..... ۲-۳-۳ ارزیابی خردشدگی با آنالیز سرنندی
- ۹۱..... ۳-۳-۳ ارزیابی خردشدگی با آنالیز تصویری
- ۹۴..... ۴-۳-۳ ارزیابی خردشدگی با روش‌های میدانی
- ۹۴..... ۱-۴-۳-۳ روش شمارش تخته‌سنگ‌ها
- ۹۴..... ۲-۴-۳-۳ روش مشاهده‌ای
- ۹۵..... ۳-۴-۳-۳ روش مصرف مواد منفجره در انفجار ثانویه
- ۹۵..... ۴-۴-۳-۳ روش تأخیرهای انسداد در سنگ‌شکن
- ۹۵..... ۴-۳ لرزش زمین
- ۹۶..... ۱-۴-۳ ماهیت امواج لرزشی زمین
- ۹۹..... ۲-۴-۳ پیش‌بینی لرزش زمین
- ۹۹..... ۱-۲-۴-۳ رابطه لانگفورس
- ۱۰۰..... ۲-۲-۴-۳ رابطه فاصله مقیاس شده
- ۱۰۳..... ۳-۲-۴-۳ دیگر معادلات پیش‌بینی لرزش زمین
- ۱۰۴..... ۳-۴-۳ برآورد خسارات ناشی از لرزش‌های زمین
- ۱۰۸..... ۵-۳ انفجار هوا
- ۱۰۹..... ۱-۵-۳ پیش‌بینی فشار انفجار هوا
- ۱۱۱..... ۲-۵-۳ آسیب ناشی از انفجار هوا

فهرست .

۱۱۴.....	۶-۳ پرتاب سنگ‌ها
۱۱۶.....	۷-۳ عقب‌زدگی
۱۱۸.....	۱-۷-۳ عوامل مؤثر در پیدایش و تشدید عقب‌زدگی
۱۱۸.....	۱-۱-۷-۳ مشخصات توده‌سنگ
۱۲۱.....	۲-۱-۷-۳ نحوه خرج‌گذاری
۱۲۱.....	۳-۱-۷-۳ طراحی هندسی، نحوه زمان‌بندی و توالی انفجار
۱۲۲.....	۲-۷-۳ تصحیح طراحی در راستای کاهش عقب‌زدگی
۱۲۳.....	۱-۲-۷-۳ تصحیح بارسنگ
۱۲۴.....	۲-۲-۷-۳ اعمال زمان‌بندی مناسب برای کاهش عقب‌زدگی
۱۲۴.....	۳-۲-۷-۳ نکاتی درباره بهبود طول انسداد
۱۲۵.....	۴-۲-۷-۳ اصلاح فاصله‌داری چال‌ها
۱۲۶.....	۵-۲-۷-۳ حفر چال‌های مایل در جهت پیشگیری از عقب‌زدگی
۱۲۶.....	۶-۲-۷-۳ اجرای انفجار کنترل‌شده به‌منظور مهار عقب‌زدگی
۱۲۶.....	۸-۳ چال‌های عمل‌نکرده
۱۲۷.....	۱-۸-۳ عوامل اصلی در برجای ماندن چال‌های عمل‌نکرده
۱۲۷.....	۱-۱-۸-۳ اتصال نادرست فتیله اطمینان
۱۲۸.....	۲-۱-۸-۳ مدارهای معیوب در انفجار الکتریکی
۱۲۸.....	۳-۱-۸-۳ مدارهای معیوب فتیله انفجاری
۱۲۸.....	۴-۱-۸-۳ معایب دستگاه آتش زن
۱۲۹.....	۵-۱-۸-۳ نادیده گرفتن جریان آب زیرزمینی
۱۲۹.....	۲-۸-۳ شیوه برخورد با چال‌های عمل‌نکرده
۱۳۰.....	۹-۳ آلودگی هوا
۱۳۲.....	۱۰-۳ تغییرات محیط زیستی
۱۳۵.....	فهرست منابع بخش اول
۱۳۹.....	بخش دوم: پارادایم‌های سه‌گانه محاسبات نرم
۱۴۱.....	فصل چهارم: مقدمه‌ای بر هوش مصنوعی و محاسبات نرم
۱۴۱.....	۱-۴ مقدمه

۱۴۲	۲-۴ انقلاب محاسباتی
۱۴۳	۳-۴ تعریف AI
۱۴۵	۴-۴ رویکرد کلی هوش مصنوعی در حل مسئله
۱۴۶	۴-۴-۱ مسئله معمای چهار
۱۴۹	۴-۴-۲ رویکرد تولید و محک
۱۵۰	۴-۴-۳ رویکرد تپه‌نوردی
۱۵۰	۴-۴-۴ جستجوی ابتکاری
۱۵۱	۴-۴-۵ تحلیل وسیله و هدف
۱۵۱	۴-۴-۶ تجزیه مسئله
۱۵۲	۴-۴-۷ ارضای محدودیت
۱۵۴	۵-۴ شاخه‌های هوش مصنوعی
۱۵۵	۵-۴-۱ سامانه‌های یادگیری
۱۵۶	۵-۴-۲ استدلال و بازنمایی دانش
۱۵۷	۵-۴-۳ برنامه‌ریزی
۱۵۸	۵-۴-۴ استخراج دانش
۱۵۸	۵-۴-۵ جستجوی هوشمند
۱۵۸	۵-۴-۶ برنامه‌نویسی منطقی
۱۵۹	۵-۴-۷ مدیریت ابهام و عدم قطعیت
۱۵۹	۵-۴-۸ محاسبات نرم
۱۶۴	۶-۴ هوش مصنوعی
۱۶۵	۶-۴-۱ دوره کهن
۱۶۷	۶-۴-۲ دوره خیال‌پردازی
۱۶۹	۶-۴-۳ دوره نوین
۱۷۱	۷-۴ تأثیر AI و محاسبات نرم در مهندسی
۱۷۳	فصل پنجم: شبکه‌های عصبی مصنوعی
۱۷۳	۱-۵ مقدمه
۱۷۴	۲-۵ شبکه‌های عصبی مصنوعی

۳-۵ مبانی زیستی شبکه‌های عصبی مصنوعی.....	۱۷۷
۴-۵ ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی.....	۱۷۹
۱-۴-۵ مدل ریاضی یک سلول عصبی.....	۱۸۰
۲-۴-۵ ارتباط ورودی‌ها و خروجی در شبکه عصبی مصنوعی.....	۱۸۴
۳-۴-۵ ساختارهای اتصالاتی شبکه‌های عصبی.....	۱۸۷
۴-۴-۵ آموزش شبکه.....	۱۸۸
۵-۵ انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی.....	۱۹۵
۱-۵-۵ شبکه عصبی چندلایه پس‌انتشار خطا.....	۱۹۵
۲-۵-۵ شبکه عصبی هاپیلد.....	۱۹۹
۳-۵-۵ شبکه حافظه‌های خود انجمنی دو جهت.....	۱۹۹
۴-۵-۵ شبکه کوهورن.....	۲۰۰
۵-۵-۵ شبکه تابع پایه شعاعی (RBF).....	۲۰۰
۶-۵ مراحل طراحی شبکه (جمع‌بندی).....	۲۰۱
۷-۵ زمینه‌های کاربرد شبکه‌های عصبی.....	۲۰۲
۸-۵ برخی ایرادهای وارد بر شبکه‌های عصبی مصنوعی.....	۲۰۳
فصل ششم: منطق فازی.....	
۱-۶ مقدمه.....	۲۰۵
۲-۶ محاسبات فازی.....	۲۰۸
۳-۶ مجموعه‌های کلاسیک (کریسپ) و فازی.....	۲۱۰
۴-۶ متغیر کلامی.....	۲۱۱
۵-۶ تابع عضویت.....	۲۱۱
۱-۵-۶ تابع عضویت مثلثی.....	۲۱۲
۲-۵-۶ تابع عضویت ذوزنقه‌ای.....	۲۱۳
۳-۵-۶ تابع عضویت نوع z و s	۲۱۴
۴-۵-۶ تابع عضویت زنگدیس.....	۲۱۴
۶-۶ گزاره‌های فازی.....	۲۱۵
۷-۶ قواعد اگر-آن‌گاه فازی.....	۲۱۶

۲۱۶	۸-۶ عملیات ریاضی نظریه فازی
۲۱۶	۹-۶ سیستم‌های فازی
۲۱۷	۱۰-۶ انواع سیستم‌های فازی
۲۱۹	۱۱-۶ طراحی سیستم فازی
۲۲۰	۱-۱۱-۶ فازی‌سازی
۲۲۰	۲-۱۱-۶ پایگاه قواعد فازی
۲۲۱	۳-۱۱-۶ موتور استنتاج فازی
۲۲۳	۴-۱۱-۶ فازی‌زدایی
۲۲۵	۱۲-۶ اجرای سیستم‌های فازی
۲۲۷	فصل هفتم: الگوریتم ژنتیک
۲۲۷	۱-۷ مقدمه
۲۲۸	۲-۷ اصول بهینه‌سازی
۲۲۸	۱-۲-۷ پیشینه بهینه‌سازی
۲۲۹	۲-۲-۷ روش‌های بهینه‌سازی
۲۲۹	۳-۷ الگوریتم ژنتیک
۲۳۰	۱-۳-۷ الگوریتم ژنتیک ساده
۲۳۲	۲-۳-۷ رشته‌ها در الگوریتم ژنتیک
۲۳۳	۳-۳-۷ کد کردن رشته‌ها
۲۳۴	۴-۳-۷ کدگذاری
۲۳۶	۵-۳-۷ جمعیت
۲۳۷	۶-۳-۷ تابع هدف
۲۳۸	۷-۳-۷ اصلاح بازه مقادیر برازندگی
۲۳۹	۸-۳-۷ انتخاب
۲۴۴	۹-۳-۷ جفت‌سازی
۲۴۵	۱۰-۳-۷ پیوند
۲۴۷	۱۱-۳-۷ جهش
۲۴۸	۱۲-۳-۷ معیارهای توقف در الگوریتم ژنتیک

۲۴۸.....	۷-۳-۱۳ نمودار گردشی (فلوچارت) الگوریتم ژنتیک
۲۵۱.....	فهرست منابع بخش دوم
۲۵۷.....	بخش سوم: پیش‌بینی و بهینه‌سازی نتایج انفجار با محاسبات نرم
۲۵۹.....	فصل هشتم: پیش‌بینی و کنترل نتایج انفجار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی
۲۵۹.....	۸-۱ مقدمه
۲۶۰.....	۸-۲ پیش‌بینی خردشدگی سنگ با استفاده از شبکه‌های عصبی
۲۶۰.....	۸-۲-۱ شرح روش‌شناسی در قالب یک مطالعه موردی
۲۷۱.....	۸-۲-۲ لزوم تعریف شبکه‌های عصبی متفاوت با تغییر محیط
۲۷۶.....	۸-۳ مهار عقب‌زدگی با مدل‌سازی شبکه عصبی
۲۷۷.....	۸-۳-۱ شرح روش‌شناسی در قالب یک مطالعه موردی
۲۸۸.....	۸-۳-۲ نمونه‌های دیگری از تخمین‌گرهای عصبی برای پیش‌بینی مقدار عقب‌زدگی
۲۹۱.....	۸-۴ استفاده از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی لرزش زمین در انفجار روباز
۲۹۱.....	۸-۴-۱ پیش‌بینی لرزش زمین با استفاده از شبکه‌های عصبی متفاوت
۲۹۸.....	۸-۴-۲ مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی با معادلات تجربی در برآورد بیشینه سرعت ذره‌ای
۲۹۹.....	۸-۵ پیش‌بینی و کنترل پرتاب سنگ با استفاده از شبکه عصبی
۲۹۹.....	۸-۵-۱ شرح روش‌شناسی براساس یک مطالعه موردی
۳۰۴.....	۸-۵-۲ مقایسه عملکرد رهیافت‌های عصبی و تجربی در پیش‌بینی پرتاب سنگ
۳۰۵.....	۸-۶ پیش‌بینی هم‌زمان چند پدیده با استفاده از شبکه‌های عصبی
۳۰۶.....	۸-۶-۱ پیش‌بینی هم‌زمان خردشدگی و پرتاب سنگ
۳۱۰.....	۸-۶-۲ پیش‌بینی هم‌زمان خردشدگی و عقب‌زدگی
۳۱۲.....	۸-۷ پیش‌بینی بارسنگ براساس پارامترهای ژئومکانیکی توده‌سنگ (کام ۱)
۳۱۵.....	فصل نهم: کاربرد محاسبات فازی در پیش‌بینی و بهبود فرایند انفجار
۳۱۵.....	۹-۱ مقدمه
۳۱۵.....	۹-۲ پیش‌بینی پیامدهای انفجار با سیستم‌های فازی
۳۱۶.....	۹-۲-۱ پارامترهای ورودی و خروجی
۳۱۶.....	۹-۲-۲ مراحل مدل‌سازی با سیستم‌های فازی

۳۱۷	۳-۲-۹ بهینه‌سازی الگوی انفجار با پیش‌بینی خردشدگی سنگ
۳۳۳	۵-۲-۹ مدل‌سازی انفجار با هدف پیش‌بینی پرتاب سنگ
۳۳۹	۶-۲-۹ جمع‌بندی نتایج مطالعات
۳۴۰	۳-۹ پیش‌بینی بار سنگ بر اساس پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ (گام ۲)

فصل دهم: استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی الگوی انفجار..... ۳۴۹

۳۴۹	۱-۱۰ مقدمه
۳۵۰	۲-۱۰ تعیین تابع پیش‌بینی پرتاب سنگ و عقب‌زدگی (تابع هدف) با استفاده از شبکه عصبی ...
۳۵۵	۳-۱۰ بهینه‌سازی تابع هدف الگوی انفجار توسط الگوریتم ژنتیک
۳۶۳	فهرست منابع بخش سوم

بخش چهارم: اجرای محاسبات نرم با استفاده از نرم افزار MATLAB..... ۳۶۷

فصل یازدهم: آشنایی با نرم‌افزار MATLAB..... ۳۶۹

۳۶۹	۱-۱۱ مقدمه
۳۷۰	۲-۱۱ آشنایی با محیط کاری MATLAB
۳۷۲	۳-۱۱ آرایه‌ها و عملیات جبری آن‌ها
۳۷۳	۱-۳-۱۱ ایجاد آرایه‌ها
۳۷۶	۲-۳-۱۱ عملیات جبری ماتریس‌ها
۳۷۸	۳-۳-۱۱ نمادهای ویژه
۳۷۹	۴-۳-۱۱ قواعد نام‌گذاری متغیرها در MATLAB
۳۸۰	۴-۱۱ معرفی توابع مفید در عملیات آرایه‌ای
۳۸۰	۱-۴-۱۱ تغییر و تنظیم آرایه‌ها
۳۸۲	۲-۴-۱۱ ایجاد آرایه‌های استاندارد
۳۸۲	۳-۴-۱۱ ایجاد برخی توابع و عملیات ریاضی
۳۸۴	۵-۱۱ انواع عملگرها در MATLAB
۳۸۷	۶-۱۱ ساختار داده‌ها
۳۸۸	۱-۶-۱۱ آرایه‌های منطقی
۳۸۸	۲-۶-۱۱ آرایه‌های رشته‌ای

فهرست ک

۳۹۰	۳-۶-۱۱ آرایه‌های چند بُعدی
۳۹۱	۴-۶-۱۱ آرایه‌های سلولنی
۳۹۲	۵-۶-۱۱ آرایه‌های ساختاری
۳۹۲	۷-۱۱ ذخیره، بازیابی و فراخوانی داده‌ها
۳۹۸	۸-۱۱ رسم نمودار در MATLAB
۳۹۸	۱-۸-۱۱ ترسیم دو متغیر
۴۰۳	۲-۸-۱۱ رسم دو منحنی در یک نمودار
۴۰۴	۳-۸-۱۱ رسم منحنی‌های سه‌بُعدی
۴۰۸	۴-۸-۱۱ ذخیره و چاپ نمودار
۴۰۹	۹-۱۱ کار با چندجمله‌ای‌ها در MATLAB
۴۱۳	۱۰-۱۱ اصول برنامه‌نویسی در MATLAB
۴۱۳	۱-۱۰-۱۱ دستورات کلیدی در کنترل جریان
۴۱۵	۲-۱۰-۱۱ M-File ها و Function-File ها
۴۱۹	فصل دوازدهم: سازماندهی شبکه‌های عصبی مصنوعی در MATLAB
۴۱۹	۱-۱۲ مقدمه
۴۱۹	۲-۱۲ شبکه‌های پرسپترون
۴۲۰	۱-۲-۱۲ ساختار پرسپترون تک‌نورونی
۴۲۱	۲-۲-۱۲ ساختار شبکه‌های عصبی پرسپترون
۴۲۲	۳-۲-۱۲ ایجاد یک شبکه پرسپترون
۴۲۳	۴-۲-۱۲ شبیه‌سازی نتایج شبکه
۴۲۴	۵-۲-۱۲ قوانین آموزش شبکه
۴۲۵	۶-۲-۱۲ قاعده یادگیری پرسپترون
۴۲۶	۷-۲-۱۲ آموزش پرسپترون
۴۲۹	۸-۲-۱۲ محدودیت‌های پرسپترون
۴۲۹	۹-۲-۱۲ رابط گرافیکی شبکه‌های پرسپترون
۴۳۷	۳-۱۲ شبکه‌های خطی
۴۳۸	۱-۳-۱۲ ایجاد یک نورون خطی

ل مهندسی انفجار در معادن روباز با استفاده از سیستم‌های هوشمند

۴۴۰	۱۲-۳-۲ طراحی یک شبکه خطی
۴۴۱	۱۲-۳-۳ شبکه‌های خطی همراه با تأخیر
۴۴۳	۱۲-۳-۴ الگوریتم LMS
۴۴۴	۱۲-۳-۵ طبقه‌بندی خطی
۴۴۵	۱۲-۴-۱ شبکه‌های پس‌انتشار
۴۴۶	۱۲-۴-۱ ایجاد شبکه عصبی
۴۴۷	۱۲-۴-۲ مقداردهی اولیه وزن‌های شبکه
۴۵۲	۱۲-۴-۴ نگاهی بر دیگر روش‌های آموزش شبکه
۴۵۳	۱۲-۴-۵ بهبود قابلیت تعمیم شبکه
۴۵۶	۱۲-۵-۰ مروری بر گونه‌های دیگر شبکه‌های عصبی
۴۵۶	۱۲-۵-۱ شبکه‌های عصبی پویا
۴۵۸	۱۲-۵-۲ شبکه‌های عصبی پایه شعاعی
۴۵۹	۱۲-۵-۳ شبکه‌های خودسازمان و تدریج بردار
۴۶۰	۱۲-۵-۴ شبکه‌های عصبی بازگشتی
۴۶۳	فصل سیزدهم: پیاده‌سازی منطق فازی در MATLAB
۴۶۳	۱۳-۱ مقدمه
۴۶۹	۱۳-۲-۱ عملیات منطقی
۴۷۱	۱۳-۲-۲ قواعد اگر-آن‌گاه
۴۷۴	۱۳-۲-۳ سیستم‌های استنتاج فازی
۴۸۱	۱۳-۳ ایجاد سیستم‌های استنتاج فازی با استفاده از جعبه ابزار منطق فازی
۴۸۱	۱۳-۳-۱ رابط گرافیکی جعبه‌ابزار منطق فازی
۴۸۳	۱۳-۳-۲ ایجاد یک FIS با رابط گرافیکی
۵۰۳	فصل چهاردهم: تنظیم و اجرای الگوریتم ژنتیک در MATLAB
۵۰۴	۱۴-۳ اصطلاحات مورد استفاده در بحث الگوریتم ژنتیک
۵۰۴	۱۴-۳-۱ تابع برازندگی
۵۰۵	۱۴-۳-۲ افراد

فهرست م

۵۰۵	۳-۳-۱۴ جمعیت و نسل
۵۰۶	۴-۳-۱۴ گوناگونی
۵۰۶	۵-۳-۱۴ میزان برازندگی و بهترین میزان برازندگی
۵۰۷	۶-۳-۱۴ والدین و فرزندان
۵۰۷	۴-۱۴ نحوه عملکرد GA
۵۰۸	۱-۴-۱۴ جمعیت آغازین
۵۰۹	۲-۴-۱۴ تولید نسل بعدی
۵۱۱	۳-۴-۱۴ شرایط توقف الگوریتم ژنتیک
۵۱۳	۵-۱۴ آشنایی با جعبه ابزار GA در MATLAB
۵۱۵	۱-۵-۱۴ استفاده از رابط گرافیکی GA
۵۱۹	۲-۵-۱۴ نمایش نمودارها
۵۲۱	۳-۵-۱۴ ایجاد یک تابع دلخواه برای رسم نمودار
۵۲۳	۴-۵-۱۴ نحوه عملکرد بخش Plot Function
۵۲۴	۵-۵-۱۴ تولید مجدد نتایج
۵۲۵	۶-۵-۱۴ از سرگیری الگوریتم ژنتیک از آخرین جمعیت
۵۲۸	۷-۱۴ استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک روی خط فرمان
۵۲۹	۱-۶-۱۴ راه‌اندازی الگوریتم ژنتیک با تنظیمات پیش‌فرض
۵۲۹	۲-۶-۱۴ دریافت خروجی‌های بیشتر با استفاده از تابع ga
۵۳۰	۳-۶-۱۴ اعمال تنظیمات برای تابع ga از روی خط فرمان
۵۳۱	۴-۶-۱۴ اعمال تنظیمات از طریق پنجره رابط گرافیکی
۵۳۲	۵-۶-۱۴ تولید دوباره یک نتیجه خاص
۵۳۳	۶-۶-۱۴ ادامه کار از آخرین جمعیت در اجرای قبلی
۵۳۴	۷-۶-۱۴ راه‌اندازی تابع ga از طریق یک M-file
۵۳۷	فهرست منابع بخش چهارم
۵۳۹	فهرست کامل منابع
۵۵۱	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۵۶۱	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۵۷۱	نمایه

پیشگفتار نگارندگان

مبحث انفجار از دشوارترین و در عین حال، جذاب‌ترین شاخه‌های مهندسی معدن است. طراحی الگو و مدیریت انفجار در معدنکاری رویاز با هدف دستیابی به درجه خردشدگی مناسب برای سامانه‌های بارگیری، باربری و سنگ‌شکنی و کاهش پدیده‌های ناخواسته‌ای مانند لرزش زمین، انفجار هوا، آسیب‌های وارده به دیواره پله‌ها و پرتاب بیش از حد سنگ‌ها با شرط امکان‌پذیری اجرایی و اقتصادی عملیات صورت می‌پذیرد.

در پاسخ به این پرسش که نقطه آغاز در طراحی یک الگوی انفجار کجاست باید گفت که پیش‌بینی کامل یک انفجار در مواجهه با یک زمین سبز که پیش‌تر در آن انفجاری اجرا نشده، امری ناممکن است (دست‌کم تا این زمان). تمام تلاش‌های یک مهندس طراح انفجار باید معطوف بر این هدف باشد که با آمیختن دانش فنی، تجربیات پیشین و داده‌های طرح‌های مشابه در صورت وجود، در زودترین زمان ممکن یا به بیان بهتر پس از اجرای نخستین دوره‌های انفجاری به یک الگوی معقول دست یابد. سپس این الگو می‌تواند رفته‌رفته نسبت به اولویت‌های اقتصادی یا زیست‌محیطی به یک مرز بهینه سوق داده شود.

با این نگرش، رویکردهای تجربی متعددی از سوی پژوهشگران برای طراحی الگوی انفجار پیشنهاد شده است که چارچوب آن‌ها کم‌وبیش یکسان است. نخستین مشکل چنین رویکردهایی محدودیت آن‌ها در شاخص‌های ورودی است. از سوی دیگر، این مدل‌ها گاهی نیازمند ورودی‌هایی هستند که با دسترسی به آن‌ها مشکل است و یا اندازه‌گیری آن‌ها نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی است. این در حالی است که حتی پس از جمع‌آوری این اطلاعات، دقت پایین مدل‌های تجربی سبب محدودیت، کارآیی آن‌ها تا حد تأمین یک دید

کلی، اولیه و غیرفراگیر از نتایج می‌شود. به بیان دیگر، در این مدل‌ها نه تنها مقداردهی به متغیرهای معادله کاری دشوار است، بلکه حتی در صورت مقداردهی بی نقص باز هم تضمینی برای حفظ کارایی مدل‌ها از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی از یک دور انفجار به دور دیگری از آن وجود ندارد.

اگرچه چنین مدل‌هایی و مطالعاتی که در پس آن‌ها نهفته است، جایگاه ویژه و نقش تاریخی مهمی در توسعه دانش انفجار دارند و اگرچه چنین مدل‌هایی در برخورد با یک زمین سبز که هیچ پیشینه انفجاری ندارد، در حال حاضر نخستین گزینه منطقی برای پرهیز از نتایج فاجعه‌آمیز قلمداد می‌شوند، اما اکنون زمان آن رسیده است که این رهیافت‌های سنتی جای خود را به روش‌های جدیدتری بدهند که از نظر سرعت و دقت محاسبات به مراتب بالاتر هستند و بر پایه‌های نظری محکمی نیز استوار شده‌اند.

با پذیرش این نکته که نبود قطعیت نهفته در ماهیت زمین تمام آن چیزی است که طراحی و برنامه‌ریزی طرح‌های مرتبط با علوم زمین را با چالش روبه‌رو می‌کند، باید پذیرفت که هوش مصنوعی و به‌ویژه زیرشاخه مستقل آن، یعنی محاسبات نرم، ابزاری قابل اطمینان، سریع و اقتصادی برای پیش‌بینی و مدیریت این فقدان قطعیت است. هوش انسانی نمی‌تواند تمام حالات ممکن یک پدیده یا محیط را پیش‌بینی کند، اما می‌تواند برنامه‌هایی را بسازد و به‌گونه‌ای آموزش دهد که در مواجهه با حالات جدید قادر به تعمیم دانش خود و ارائه پاسخ‌های مناسب باشند.

در کتاب حاضر تلاش بر این است تا نحوه توسعه چنین رویکردی در مهندسی انفجار معادن روباز بیان شود. کتاب دارای چهارده فصل است که در قالب چهار بخش تدوین شده‌اند. بخش اول سه فصل دارد و در آن مبانی نظری مهندسی انفجار مطرح می‌شود. در بخش دوم هوش مصنوعی و محاسبات نرم بحث می‌شوند و پس از مرور پیشینه و مبانی نظری هوش مصنوعی، در سه فصل به‌طور مجزا سه پارادایم اصلی محاسبات نرم، یعنی شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم‌های فازی و الگوریتم ژنتیک بیان می‌شوند. در بخش سوم دانسته‌های دو بخش پیشین تلفیق شده و با بررسی نمونه‌های حقیقی در سه فصل به‌طور جداگانه شرح داده می‌شود که تاکنون با چه رویکردهایی از توانایی محاسبات نرم در مهندسی انفجار استفاده شده است. سرانجام در بخش چهارم شیوه طراحی و پیاده‌سازی پارادایم‌های سه‌گانه مذکور در

پیشگفتار ف

نرم افزار MATLAB و با ترسیم شکل هایی از سوی نگارندگان به اختصار آموزش داده می شود. خواننده در این بخش می آموزد که چگونه با کدنویسی و استفاده از جعبه ابزارهای عصبی، فازی و ژنتیک، روش شناسی های تبیین شده در بخش سوم را اجرایی کند. علاوه بر این بسیاری از مفاهیم نظری مطرح در بخش دوم، در این بخش با یک نگاه کاربردی تکرار و چه بسا که کامل شده اند. شایان توجه است که برخی از ترسیم های انجام شده در کتاب از سوی نگارندگان صورت گرفته است.

با وجود تلاش بسیاری که در تهیه این اثر صرف شده است، بی تردید محتوای آن از گزند غفلت های سهری یا اشتباهاتی که از ضعف علمی مؤلفان ناشی می شوند، پیراسته نیست. بنابراین از خواننده محترم درخواست می شود که با ارائه نظرها و توصیه های راهگشای خود مؤلفان را در بهبود این اثر یاری نماید.

امید است که این کتاب سهمی هر چند اندک در بالیدگی دانش معدنکاری کشور داشته باشد و رویکرد مطرح در آن، انگیزه ای برای خلق نگاه های نوین در متخصصان جوان این عرصه شود.

مسعود منجزی

مصطفی آصفی

نادر قاسم پور

(زمستان ۱۳۹۳)