

سلام افلا



پردیس بین‌المللی خوارزمی

رساله دکتری استخراج مواد معدنی

توسعه مدل برای ارزیابی عملکرد ماشین برش اره زنجیری

در استخراج معادن سنگ ساختمانی

نگارنده: جواد محمدی

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطایی

دکتر رضا خالوکاکایی

استاد مشاور:

دکتر رضا میکائیل

تیر ۱۳۹۷

تقدیم به :

آنان که هر چه آموختم در مکتب عشق آن‌ها آموختم
به مادر عزیز و مهربانم، پدر زحمتکش و مهربانم و همسر عزیزم

تقدیر و تشکر:

از خدای بزرگ، یکتا و مهربانم بینهایت متشکرم

از پدر و مادر دلسوزم بینهایت متشکرم

از همسر مهربانم بینهایت متشکرم

از اساتید راهنما و مشاور بینهایت متشکرم

تعهدنامه

اینجانب جواد محمدی دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی معدن - استخراج مواد معدنی دانشکده پردیس بین المللی خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه " توسعه مدل برای ارزیابی عملکرد ماشین برش اره زنجیری در استخراج معادن سنگ ساختمانی" تحت راهنمایی آقایان دکتر محمد عطایی و دکتر رضا خالوکاکایی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

نرخ برش سطحی به عوامل مختلفی بستگی دارد که شناخت بیشتر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مورد نیاز سنگ، مشخصات ماشین ااره زنجیری و پارامترهای عملیاتی قابل کنترل از لزوم پیش-بینی نرخ برش سطحی سنگ‌های کربناته می‌باشند. پیش‌بینی نرخ برش سطحی در معادن سنگ ساختمانی موضوعی بسیار مهم و در عین حال پیچیده است. در همین راستا پس از نمونه‌برداری از سینه-کارهای فعال معادن مرمریت دهبید و شایان، مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مورد نیاز ۷ نمونه سنگ ساختمانی مرمریت، آنالیز و ثبت شد. با توجه به یکسان بودن شرایط برش سینه‌کارهای مورد نظر، نرخ برش سطحی با تمرکز روی پارامترهای عملیاتی قابل کنترل ماشین برش ااره زنجیری در تمامی حالات ممکن اندازه‌گیری و ثبت شد.

برای مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی، ۶ مدل ارائه شده است به طوری که ضریب همبستگی (R^2) برای بهترین مدل عبارتند از ۰/۹۶۹ برای رگرسیون خطی و ۰/۹۵۹ برای رگرسیون غیرخطی. در این مدل پارامترهای ورودی مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ شامل مقاومت فشاری تک محوره، سایش لس آنجلس و سختی چکش اشمیت و پارامتر خروجی مدل نرخ برش سطحی می‌باشد. با ارزیابی پارامترهای موجود در روابط ارائه شده آن مدل می‌توان به رابطه مستقیم میزان نرخ برش سطحی با سایش لس-آنجلس و رابطه عکس پارامتر نرخ برش سطحی با مقاومت فشاری تک محوره و سختی چکش اشمیت پی‌برد. برای پیش‌بینی نرخ برش سطحی، یکی دیگر از مدل‌های رگرسیون در هر دو فاز رگرسیون خطی و غیرخطی با توجه به ضرایب همبستگی R^2 ، از وضعیت بسیار خوبی برخوردار است، پارامترهای ورودی مدل مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ و مشخصات عملیاتی قابل کنترل ماشین ااره زنجیری شامل سرعت زنجیر، زاویه ااره و سرعت ماشین و پارامتر خروجی مدل نرخ برش سطحی است. با ارزیابی روابط ارائه شده آن مدل‌ها، می‌توان به رابطه مستقیم نرخ برش سطحی با سرعت زنجیر، سرعت ماشین و سایش

لس آنجلس و رابطه عکس نرخ برش سطحی با زاویه اره، مقاومت فشاری تک محوره و سختی چکش اشمیت پی برد.

یک مجموعه مدل سازی بر اساس ۳ روش شبکه عصبی مصنوعی شامل روش های گروهی مدیریت داده ها (GMDH)، پرسپترون چند لایه (MLP) و شبکه عصبی مصنوعی (RBF) برای مجموعه اطلاعات ۹۸ داده برای پیش بینی نرخ تولید صورت گرفت. در این مدل سازی ها برای روش GMDH در مجموع ۱۸ مدل، برای روش RBF در مجموع ۹ مدل و برای روش MLP در مجموع ۱۰ مدل بر اساس شرایط موجود ساخته شد. تمامی مدل ها بر اساس شاخص های عملکرد الگوریتم شامل ضریب همبستگی (R^2)، مربع میانگین خطا (RMSE) و VAF مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای روش GMDH مقادیر شاخص های عملکرد بهترین مدل عبارتند از ضریب همبستگی (R^2) آموزش برابر ۰/۹۱، ضریب همبستگی (R^2) تست برابر ۰/۹۲، مربعات میانگین خطا (RMSE) آموزش برابر ۰/۲۵۲، مربعات میانگین خطا (RMSE) تست برابر ۰/۲۴۵، VAF آموزش برابر ۹۰/۳۰ و VAF تست برابر ۹۲/۰۶. برای روش RBF مقادیر شاخص های عملکرد بهترین مدل عبارتند از ضریب همبستگی (R^2) آموزش برابر ۰/۹۷، ضریب همبستگی (R^2) تست برابر ۰/۶۶، مربعات میانگین خطا (RMSE) آموزش برابر ۰/۱۶، مربعات میانگین خطا (RMSE) تست برابر ۰/۷۳، VAF آموزش برابر ۹۶/۴۴ و VAF تست برابر ۶۵/۹۴. برای روش MLP مقادیر شاخص های عملکرد بهترین مدل عبارتند از ضریب همبستگی (R^2) آموزش برابر ۰/۸۱، ضریب همبستگی (R^2) تست برابر ۰/۷۳، مربعات میانگین خطا (RMSE) آموزش برابر ۰/۲۳، مربعات میانگین خطا (RMSE) تست برابر ۰/۲۲، VAF آموزش برابر ۶۷/۰۱ و VAF تست برابر ۶۲/۰۷. یک مقایسه مابین مدل های سه روش شبکه عصبی مصنوعی بر اساس شاخص های عملکرد نشان داد که مناسب ترین روش برای پیش بینی نرخ تولید برای ماشین برش اره زنجیری روش GMDH و بهترین مدل این روش می باشد که بر اساس شاخص های عملکرد الگوریتم به دو روش دیگر برتری دارد اگرچه مدل های ارائه شده در دو روش دیگر دارای

کارایی مناسب می‌باشند. با عنایت به نتایج اخذ شده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این رساله، می‌توان نتیجه گرفت که روش شبکه عصبی مصنوعی GMDH یک تکنیک مدل‌سازی قابل اعتماد برای پیش‌بینی نرخ تولید با دقت قابل قبولی می‌باشد.

کلمات کلیدی : مدل، عملکرد، ماشین برش اره زنجیری، معادن سنگ ساختمانی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه‌ها و رساله‌ها

Javad Mohammadi, Mohammad Ataei, Reza Khaloo Kakaie, Reza Mikaeil, Sina Shaffiee Haghshenas, May 2018, Prediction of the Production Rate of Chain Saw Machine using the Multilayer Perceptron (MLP) Neural Network. Civil Engineering Journal

Javad Mohammadi, Mohammad Ataei, Reza Khaloo Kakaie, Reza Mikaeil, Sina Shaffiee Haghshenas, May 2018, Performance evaluation of chain saw machines for dimensional stones using feasibility of neural network models. Journal of Mining and Environment

جواد محمدی، محمد عطایی، رضا خالو کاکایی، رضا میکائیل و سینا شفیع‌ی حق شناس، ۱۳۹۷. پیش بینی عملکرد برش دهنده‌های اره زنجیری در فرایند برش سنگ‌های ساختمانی (مطالعه موردی: معادن سنگ ساختمانی دهبید و شایان). دومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری، ۱۳۹۷.

جواد محمدی، محمد عطایی، رضا خالو کاکایی، رضا میکائیل و سینا شفیع‌ی حق شناس، ۱۳۹۷. پیش بینی عملکرد ماشین‌هاواژ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. اولین کنفرانس ملی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی و علوم نوین.

فهرست مطالب

۱	فصل اول مقدمه و کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- ضرورت انجام تحقیق
۳	۳-۱- اهداف تحقیق
۳	۴-۱- فرضهای تحقیق
۴	۵-۱- کاربردهای تحقیق
۴	۶-۱- استفاده کنندگان از نتیجه تحقیق
۵	۷-۱- روش تحقیق
۶	۸-۱- ساختار پایاننامه
۹	فصل دوم سنگهای ساختمانی کربناته و روش استخراج ماشین اره زنجیری
۱۰	۱-۲- مقدمه
۱۲	۲-۲- انواع سنگهای ساختمانی
۱۵	۳-۲- روش های استخراج معادن سنگ ساختمانی
۱۵	۲-۳-۱- استخراج سنگهای ساختمانی به روش سیم برش الماسه
۱۹	۲-۳-۲- استخراج سنگهای ساختمانی با استفاده از ماشین برش اره زنجیری
۲۰	۴-۲- روش استخراج ماشین برش اره زنجیری
۲۲	۲-۴-۱- مدلهای تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت فانتینی در ایتالیا
۲۵	۲-۴-۲- مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت کرفمان در ایتالیا
۲۸	۳-۴-۲- مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت بنیتی در ایتالیا
۳۰	۴-۴-۲- مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت دزینی در ایتالیا
۳۲	۵-۴-۲- اجزای اصلی ماشین برش اره زنجیری
۳۲	۲-۴-۵-۱- تیغه اره زنجیری
۳۳	۲-۴-۵-۲- ریل
۳۵	۲-۴-۵-۳- ستون های محافظ و باربر
۳۵	۲-۴-۵-۴- شاسی

- ۳۶-۵-۴-۲- موتور گیربکس حرکت تیغه و زنجیر
- ۳۷-۶-۵-۴-۲- موتور گیربکس حرکت ماشین روی ریل
- ۳۷-۷-۵-۴-۲- سیستم هیدرولیک
- ۳۸-۸-۵-۴-۲- کمپرسور با دو سیستم گریسکاری اتوماتیک
- ۳۸-۹-۵-۴-۲- تابلو برق
- ۴۰-۶-۴-۲- روش کار با ماشین برش اره زنجیری
- ۴۴-۷-۴-۲- عوامل مؤثر در فرایند برش سنگ به روش ماشین اره زنجیری
- ۴۵-۱-۷-۴-۲- مشخصات سنگ ساختمانی
- ۵۰-۲-۷-۴-۲- مشخصات ساختمانی ماشین اره زنجیری
- ۵۱-۳-۷-۴-۲- پارامترهای عملیاتی
- ۵۱-۵-۲- جمع بندی
- ۵۳- فصل سوم سابقه علمی موضوع
- ۵۴-۱-۳- مقدمه
- ۵۴-۲-۳- مروری بر سابقه علمی موضوع
- ۶۸-۳-۳- جمع بندی
- ۶۹- فصل چهارم جمع آوری اطلاعات و ایجاد یک جامعه آماری
- ۷۰-۱-۴- مقدمه
- ۷۰-۲-۴- معادن دهبید و شایان
- ۷۲-۳-۴- مطالعات آزمایشگاهی
- ۷۲-۱-۳-۴- مطالعات فیزیکی نمونهها
- ۷۲-۲-۳-۴- مطالعات مکانیکی نمونهها
- ۷۲-۳-۳-۴- مطالعات شیمیایی نمونهها
- ۷۴-۴-۴- مشخصات ماشین برش اره زنجیری
- ۷۵-۵-۴- مطالعات میدانی
- ۸۳-۶-۴- جمع بندی
- ۸۵- فصل پنجم ارائه مدل‌های پیشبینی نرخ برش سنگهای کربناته

۱-۵	مقدمه	۸۶
۲-۵	مدلهای رگرسیون	۸۷
۱-۲-۵	مدلهای رگرسیون چند متغیره خطی	۸۸
۲-۲-۵	مدلهای رگرسیون چند متغیره غیرخطی	۹۷
۳-۲-۵	جمعبندی	۱۰۶
۳-۵	شبکههای عصبی مصنوعی	۱۰۶
۱-۳-۵	روش گروهی مدیریت دادهها (GMDH)	۱۰۷
۲-۳-۵	روش پرسپترون چند لایه (MLP)	۱۱۴
۳-۳-۵	شبکه عصبی مصنوعی شعاعی (RBF)	۱۲۰
	فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادها	۱۲۷
۱-۶	مقدمه	۱۲۸
۲-۶	نتیجهگیری	۱۲۸
۳-۶	پیشنهادها	۱۳۰
	منابع و مآخذ	۱۳۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ انواع مدل‌های تولیدی ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت فانتینی (www.fantinispa.it) ----- ۲۳
- جدول ۲-۲ انواع تولیدات ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت کرفمان (www.korfmann.it) ----- ۲۵
- جدول ۲-۳ انواع تولیدات ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت بنیتی (www.Benettigroup.com) ----- ۲۹
- جدول ۲-۴ انواع تولیدات ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت دزینی (www.Dazzinimacchine.com) ----- ۳۰
- جدول ۱-۳ پژوهش‌های انجام شده توسط محققان در خصوص ماشین برش اره زنجیری ----- ۵۴
- جدول ۲-۳ مشخصات ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده ----- ۵۵
- جدول ۳-۳ مشخصات دستگاه سیم بر الماسه مورد استفاده ----- ۵۶
- جدول ۳-۴ مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های مرمیت و تراورتن (Copur et al, 2011) ----- ۶۰
- جدول ۱-۴ نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی نمونه‌ها ----- ۷۳
- جدول ۲-۴ مشخصات ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده در رساله ----- ۷۵
- جدول ۳-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۱ برای مدل‌سازی ----- ۷۶
- جدول ۴-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۲ برای مدل‌سازی ----- ۷۷
- جدول ۵-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۳ برای مدل‌سازی ----- ۷۸
- جدول ۶-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۴ برای مدل‌سازی ----- ۷۹
- جدول ۷-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۵ برای مدل‌سازی ----- ۸۰
- جدول ۸-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۶ برای مدل‌سازی ----- ۸۱
- جدول ۹-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۷ برای مدل‌سازی ----- ۸۲
- جدول ۱-۵ حالات بررسی شده مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی ----- ۸۹
- جدول ۲-۵ مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۱ ----- ۹۰
- جدول ۳-۵ ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۱ ----- ۹۰
- جدول ۴-۵ تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۱ ----- ۹۰
- جدول ۵-۵ مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۲ ----- ۹۱
- جدول ۶-۵ ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۲ ----- ۹۱
- جدول ۷-۵ تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۲ ----- ۹۱
- جدول ۸-۵ مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۳ ----- ۹۲
- جدول ۹-۵ ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۳ ----- ۹۲

- جدول ۵-۱۰- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۳ ----- ۹۲
- جدول ۵-۱۱- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۴ ----- ۹۲
- جدول ۵-۱۲- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۴ ----- ۹۲
- جدول ۵-۱۳- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۴ ----- ۹۳
- جدول ۵-۱۴- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۵ ----- ۹۳
- جدول ۵-۱۵- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۵ ----- ۹۳
- جدول ۵-۱۶- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۵ ----- ۹۴
- جدول ۵-۱۷- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۶ ----- ۹۴
- جدول ۵-۱۸- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۶ ----- ۹۴
- جدول ۵-۱۹- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۶ ----- ۹۵
- جدول ۵-۲۰- روابط بدست آمده برای مدل‌های خطی و ضرایب همبستگی R^2 ----- ۹۶
- جدول ۵-۲۱- حالات بررسی شده مدل‌های رگرسیون چند متغیره غیر خطی ----- ۹۸
- جدول ۵-۲۲- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۱ ----- ۹۸
- جدول ۵-۲۳- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۱ ----- ۹۹
- جدول ۵-۲۴- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۱ ----- ۹۹
- جدول ۵-۲۵- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۲ ----- ۹۹
- جدول ۵-۲۶- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۲ ----- ۹۹
- جدول ۵-۲۷- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۲ ----- ۱۰۰
- جدول ۵-۲۸- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۳ ----- ۱۰۰
- جدول ۵-۲۹- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۳ ----- ۱۰۰
- جدول ۵-۳۰- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۳ ----- ۱۰۱
- جدول ۵-۳۱- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۴ ----- ۱۰۱
- جدول ۵-۳۲- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۴ ----- ۱۰۱
- جدول ۵-۳۳- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۴ ----- ۱۰۱
- جدول ۵-۳۴- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۵ ----- ۱۰۲
- جدول ۵-۳۵- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۵ ----- ۱۰۲
- جدول ۵-۳۶- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۵ ----- ۱۰۲
- جدول ۵-۳۷- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۶ ----- ۱۰۳
- جدول ۵-۳۸- ضرایب رگرسیون و همخطی متغیرها برای مدل شماره ۶ ----- ۱۰۳
- جدول ۵-۳۹- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۶ ----- ۱۰۴

- جدول ۴۰-۵- روابط بدست آمده برای مدل‌های غیرخطی و ضرایب همبستگی R^2 ----- ۱۰۵
- جدول ۴۱-۵- تاثیر اندازه لایه و تعداد نرون‌ها در هر لایه روی شاخص‌های عملکرد در شبکه GMDH ----- ۱۱۰
- جدول ۴۲-۵- رتبه‌بندی هر مدل با استفاده از شبکه GMDH ----- ۱۱۱
- جدول ۴۳-۵- روابط تجربی تعیین تعداد نرون برای لایه پنهان ----- ۱۱۶
- جدول ۴۴-۵- تاثیر تعداد نرون‌های لایه پنهان بر روی عملکرد الگوریتم در مدل سازی ----- ۱۱۶
- جدول ۴۵-۵- رتبه بندی مدل‌های ساخته شده ----- ۱۱۷
- جدول ۴۶-۵- بررسی تاثیر تعداد لایه و پارامتر پراکندگی بر عملکرد شبکه عصبی شعاعی ----- ۱۲۲
- جدول ۴۷-۵- رتبه بندی مدل‌های ساخته شده توسط شبکه عصبی شعاعی ----- ۱۲۳

فهرست شکل ها

- شکل ۲-۱ معادن سنگ ساختمانی ----- ۱۴
- الف- معدن تراورتن تخت دوگوش ب- معدن سنگ چینی تواندشت ج- معدن توفیت بن چنار د- معدن اسلیت قوچ بلاغی ه- معدن گرانیث بن گنبد و- معدن تراورتن حاجی آباد ز- معدن تراورتن خاتم ح- معدن سنگ آهک گل زرد. ----- ۱۴
- شکل ۲-۲ دستگاه سیم برش الماسه ----- ۱۵
- شکل ۲-۳ نصب سگمنت های الماسه روی سیم فولادی توسط اپراتور در معدن شوره رباط واقع در استان مرکزی ----- ۱۶
- شکل ۲-۴ الف- حفر چال افقی توسط دستگاه راسل در معدن تراورتن شوره رباط ب- حفر چال عمودی توسط دستگاه راسل در معدن تراورتن حاجی آباد واقع در استان مرکزی ----- ۱۷
- شکل ۲-۵ ماشین برش اره زنجیری عمود بر ----- ۲۰
- شکل ۲-۶ نمای بالا ماشین اره زنجیری در حالت برش عمودی و نمای پایین ماشین اره زنجیری در حالت برش افقی ----- ۲۱
- شکل ۲-۷ مدل های تولیدی ماشین های اره زنجیری شرکت فانتینی (www.fantinispa.it) --- ۲۵
- الف-مدل 70RATA ب- 50.90 ج- مدل 70SUPER-H د- مدل 70RABU ه- مدل 70RA/PAO و- مدل 50.80 ز- مدل JCB Troctor ح- مدل 70RAPD ----- ۲۵
- شکل ۲-۸ مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری شرکت کرفمان (www.korfmann.it) ----- ۲۸
- الف- مدل HSTK450 ب- مدل ST4502VH ج- مدل ST5502VH د- مدل ST300VH ----- ۲۸
- شکل ۲-۹ مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت بنیتی (www.Benettigroup.com) ----- ۲۹
- الف- مدل CSM961 ب- مدل CSM962 ج- مدل CSM963 د- مدل CSM968 ----- ۲۹
- شکل ۲-۱۰ مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت دزینی (www.Dazzinimacchine.com) ----- ۳۲
- الف- مدل QS8000D ب- مدل QS6000D ج- مدل QS4000D د- مدل QST3000D ----- ۳۲
- شکل ۲-۱۱ اجزای تیغه اره زنجیری (www.Dazzinimacchine.com) ----- ۳۳
- ۱- تیغه و کفشک ۲- واسطه و پین ۳- لقمه و سگمنت ۴- زنجیر ----- ۳۳
- شکل ۲-۱۲ نمایی از ریل ----- ۳۴
- شکل ۲-۱۴ ستون های محافظ و باربر (www.Benettigroup.com) ----- ۳۵
- شکل ۲-۱۵ شاسی (www.Benettigroup.com) ----- ۳۶

- شکل ۲-۱۶ نماهای مختلف از موتور گیربکس حرکت زنجیر-----۳۶
- شکل ۲-۱۷ موتور گیربکس حرکت ماشین روی ریل-----۳۷
- شکل ۲-۱۸ تانک هیدرولیک و سیستم کنترلی ماشین اره زنجیری روی تانک-----۳۸
- شکل ۲-۱۹ نمایی از کمپرسور با دو سیستم گریسکاری اتوماتیک-----۳۸
- شکل ۲-۲۰ تابلو برق در ماشین برش اره زنجیری-----۴۰
- شکل ۲-۲۱ برش عمودی در استخراج معادن سنگ ساختمانی به روش ماشین برش اره زنجیری-----۴۳
- شکل ۲-۲۲ برش افقی در استخراج معادن سنگ ساختمانی به روش ماشین برش اره زنجیری-----۴۴
- شکل ۳-۱ بخش های کلی ماشین برش اره زنجیری (Sariisik, 2010)-----۵۷
- شکل ۳-۲ مراحل روش استخراج ماشین اره زنجیری (Sariisik, 2010)-----۵۸
- شکل ۳-۳ سقوط بلوک در روش استخراج سیم بر الماسه (Sariisik, 2010)-----۵۹
- شکل ۳-۴ رابطه نیروهای ماکزیمم ابزار به عمق برش (Hanifi Copur et al, 2011)-----۶۱
- شکل ۳-۵ رابطه نیروی نرمال متوسط به نسبت مقاومت کششی برزیلی به مقاومت فشاری تک محوره
(Copur et al, 2011)-----۶۲
- شکل ۳-۶ ارتباط میان مقاومت فشاری تک محوره سنگ با نرخ برش سطح (Tumac et al, 2013)-----۶۴
- شکل ۳-۷ ارتباط میان مقاومت فشاری تک محوره سنگ با سختی سنگ (D.Tumac et al, 2013)-----۶۴
- شکل ۳-۸ ارتباط میان مقاومت کششی برزیلی سنگ با سختی سنگ (D.Tumac et al, 2013)-----۶۵
- شکل ۳-۹ ارتباط میان سختی چکش اشمیت سنگ با نرخ برش سطح (Tumac et al, 2013)-----۶۵
- شکل ۳-۱۰ ارتباط میان سختی شر اسکروسکوپ سنگ با نرخ برش سطح (Tumac et al, 2013)-----۶۶
- شکل ۳-۱۱ ارتباط میان ضریب تغییر شکل پذیری سنگ با نرخ برش سطح (Tumac et al, 2013)-----۶۷
- شکل ۴-۱ موقعیت جغرافیایی معادن دهبید و شایان-----۷۱
- شکل ۴-۲ معادن سنگ ساختمانی مورد مطالعه-----۷۱
- شکل ۴-۳ ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده در معادن مورد مطالعه-----۷۴
- شکل ۵-۱ ضریب همبستگی بین نرخ برش پیشبینی شده و اندازهگیری شده برای دادههای آموزش
-----۱۱۲
- شکل ۵-۲ ضریب همبستگی بین نرخ برش پیشبینی شده و اندازهگیری شده برای دادههای تست
-----۱۱۲
- شکل ۵-۳ مقایسه گرافیکی بین نرخ برش پیشبینی شده و اندازهگیری شده برای مجموعه دادههای
آموزش-----۱۱۳

- شکل ۴-۵ مقایسه گرافیکی بین نرخ برش پیشبینی شده و اندازه‌گیری شده برای مجموعه داده‌های تست----- ۱۱۴
- شکل ۵-۵ مقدار ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش----- ۱۱۸
- شکل ۶-۵ مقدار ضریب همبستگی برای داده‌های تست----- ۱۱۸
- شکل ۷-۵ روند تعیین میانگین مربعات خطا----- ۱۱۹
- شکل ۸-۵ نمایی کلی از شبکه عصبی مصنوعی شعاعی (RBF)----- ۱۲۰
- شکل ۹-۵ فرم کلی از شبکه عصبی شعاعی پایه----- ۱۲۱
- شکل ۱۰-۵ میزان ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش----- ۱۲۴
- شکل ۱۱-۵ میزان ضریب همبستگی برای داده‌های تست----- ۱۲۴
- شکل ۱۲-۵ مقایسه مقادیر پیشبینی شده و اندازه‌گیری شده نرخ تولید برای داده‌های آموزش----- ۱۲۵
- شکل ۱۳-۵ مقایسه مقادیر پیشبینی شده و اندازه‌گیری شده نرخ تولید برای داده‌های آزمون----- ۱۲۵

فصل اول

مقدمه و کلیات

پیش‌بینی نرخ برش در معادن سنگ ساختمانی از مهمترین مسائل به شمار می‌آید. روش‌های گوناگونی جهت استخراج ماده معدنی در معادن سنگ ساختمانی، موجود است. در حال حاضر روش استخراج رایج در معادن سنگ ساختمانی روش‌های سیم برش الماسه و ماشین برش اره زنجیری است. روش برش ماشین اره زنجیری راه حلی است بر رفع نواقص روش برش الماسه که در تولید کوب‌های سنگ ساختمانی استفاده می‌شود و نرخ تولید و کیفیت را افزایش می‌دهد. اگرچه ماشین‌های اره زنجیری از نظر تکنولوژی امروز بسیار پیشرفته هستند، اما هنوز به طور مطمئن جهت استخراج سنگ ساختمانی اجرا نمی‌شوند. ضمناً تحقیقات و پژوهش بسیار کمی در این خصوص انجام شده است. در معادن کواری بایستی شرایط انتخاب ماشین‌های اره زنجیری با مشخصات سنگ ساختمانی موجود در معدن مطابقت داشته باشد. به طوری که پیش‌بینی می‌شود تا چند سال آینده استفاده از ماشین‌های اره زنجیری بطور کامل جایگزین روش‌های دیگر استخراج سنگ‌های ساختمانی گردد.

برای بهینه‌سازی فرایند برش، اهداف مختلفی وجود دارد. یکی از مهم‌ترین اهداف، رسیدن به حداکثر مقدار تولید و افزایش کیفیت با حداقل قیمت است. البته باید توجه داشت که رسیدن به این هدف مستلزم صرف هزینه و میزان انرژی بیشتر و کاهش عمر دستگاه است بطور کلی عملکرد یک فرایند برش را می‌توان با توجه به نرخ برش سطحی، مورد ارزیابی قرار داد.

نرخ برش سطحی در روش استخراج ماشین اره زنجیری به عوامل مختلفی از قبیل مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی ماده معدنی، مشخصات ساختاری ماشین، پارامترهای عملیاتی ماشین و وابسته است، بنابراین لازمه پیش‌بینی نرخ برش سطحی، داشتن اطلاعات کافی در مورد نوع ماده معدنی، مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی سنگ مورد نظر و پارامترهای قابل کنترل که شامل مشخصات ماشین اره زنجیری و پارامترهای عملیاتی می‌باشد.

۲-۱- ضرورت انجام تحقیق

ایران از لحاظ برخورداری از معادن سنگ در رتبه دوم و از حیث زیبایی و تنوع در سنگ‌های ساختمانی در رده نخست جهان قرار دارد، ولی هنوز ایران نتوانسته سهم شایسته‌ای را در بازارهای جهانی بدست آورد. با عنایت به تعداد بسیار بالای معادن سنگ ساختمانی در ایران و استفاده عمده آنها از روش سیم برش الماسه، عدم اطمینان کامل از روش ماشین اره زنجیری و میزان نرخ تولید این روش، فعالیت‌های پژوهشی کم انجام شده در دنیا، از دلایل ضرورت انجام این تحقیق می‌باشد. پارامترهای عملیاتی ماشین تاثیر بسزایی در نرخ برش سطحی و در ادامه نرخ تولید معدن و در نهایت بهره‌وری معدن دارد، که در همین راستا هدف اصلی این تحقیق پیش‌بینی نرخ برش سطحی و بهینه‌سازی آن با توجه به پارامترهای عملیاتی ماشین می‌باشد که تا به حال انجام نشده است و انجام این تحقیق برای اولین بار لازم و ضروری است.

۳-۱- اهداف تحقیق

با توجه به برخورداری کشورمان از بخش عمده‌ای از ذخایر سنگ دنیا و همچنین تعداد بسیاری معادن فعال اما متأسفانه هنوز این کشور نتوانسته است، سهم شایسته‌ای را در بازارهای جهانی به دست آورد. به طور کلی مهم‌ترین اهداف این تحقیق عبارتند از:

- پیش‌بینی نرخ برش سطحی در معادن سنگ کربناته
- بهینه‌سازی نرخ برش سطحی با توجه به پارامترهای عملیاتی ماشین اره زنجیری
- بررسی تاثیر مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ بر نرخ تولید

۴-۱- فرض‌های تحقیق

به‌طور کلی با توجه به هزینه‌های سرسام‌آور و استفاده تعداد معادن کم از روش استخراج ماشین اره زنجیری، فرض‌های وارد بر این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- تمامی بررسی‌ها و مطالعات این پژوهش با یک مدل ماشین برش اره زنجیری انجام خواهد شد.
- در طی فرآیند برش شرایط محیطی شامل درجه حرارت، رطوبت، مهارت اپراتور و... ثابت فرض می‌شود.
- مطالعات بر روی ماده معدنی مرمیریت در دو معدن متفاوت شامل ۷ سینه کار انجام خواهد گرفت.

۱-۵- کاربردهای تحقیق

به‌طور کلی کاربردهای متصور از این تحقیق عبارتند از :

- پیش بینی عملکرد ماشین برش اره زنجیری با توجه به مشخصات ماده معدنی
- پیش بینی عملکرد ماشین برش اره زنجیری با توجه به پارامترهای عملیاتی
- کمک به طراحی و برنامه ریزی تولید در معادن سنگ ساختمانی با روش ماشین برش

اره زنجیری

- انتخاب ماشین برش اره زنجیری مناسب برای استخراج سنگ ساختمانی مرمیریت

۱-۶- استفاده کنندگان از نتیجه تحقیق

به‌طور کلی استفاده کنندگان از نتیجه این تحقیق عبارتند از :

- معادن سنگ ساختمانی
- وزارت صنعت، معدن و تجارت
- مراکز پژوهشی و دانشگاهی

۱-۷- روش تحقیق

به طور کلی مراحل این تحقیق را می‌توان به بخش‌های زیر تقسیم کرد:

- بررسی پیشینه ادبیات تحقیق با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و جستجوی مقالات و منابع علمی معتبر که در بخش نخست از تحقیق انجام شده است. یکی از مهمترین اهداف این بخش، بررسی نتایج مطالعات گذشته، نقد و بررسی آن‌ها و استفاده از نتایج آن‌ها در این رساله است.
- تحقیقات میدانی و نمونه برداری از کارگاه‌ها : در کشور تعداد معادن سنگ ساختمانی که از روش استخراج ماشین اره زنجیری استفاده می‌شود به انگشتان یک دست نیز نمی‌رسد، که در این تحقیق دو معدن سنگ ساختمانی مرمریت در نظر گرفته شده است، که در هر دو معدن از یک مدل ماشین اره زنجیری برای استخراج ماده معدنی استفاده می‌شود، به طوری که از سینه کارهای فعال ماده معدنی مرمریت نمونه برداری شد.
- انجام مطالعات آزمایشگاهی به منظور تعیین مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی سنگ‌های مورد مطالعه : مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی ماده معدنی در انتخاب نوع و مدل ماشین اره زنجیری، فرآیند برش و در نهایت نرخ تولید بسیار مؤثر است. نمونه‌های اخذ شده در بازدید به جهت آنالیز به آزمایشگاه ارسال و در نهایت آنالیز اخذ شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.
- بررسی عملکرد ماشین‌های برش اره زنجیری : در این بخش از تحقیق به بررسی و شناخت پارامترهای مؤثر بر فرآیند برش در روش ماشین اره زنجیری پرداخته می‌شود. در این بخش به بررسی تاثیر مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها و مشخصات ساختمانی

ماشین اره زنجیری مورد استفاده، در عملکرد برش پرداخته می‌شود. بخشی از بررسی عملکرد به صورت بازدیدهای میدانی انجام شده است.

- بررسی عملکرد ماشین برش اره زنجیری با توجه به تغییر پارامترهای عملیاتی : با تغییر مقادیر پارامترهای عملیاتی ماشین اره زنجیری و با در نظر گرفتن مشخصات فیزیکی و مکانیکی سینه کار مورد نظر، نتایج فرآیند برش اعم از نرخ برش سطحی و در نهایت نرخ تولید برداشت شده است.

- تحلیل نتایج و ارائه مدل‌های پیش بینی عملکرد ماشین برش اره زنجیری : در بخش اصلی از انجام این تحقیق به بررسی و تحلیل نتایج حاصل از مطالعات میدانی پرداخته شده است. مطالعات صورت گرفته در این بخش به منظور پیش بینی و بهینه سازی نرخ برش سطحی می‌باشد. بدین ترتیب ارتباط میان مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ، پارامترهای عملیاتی و عملکرد برش با استفاده مطالعات آماری SPSS و انواع روش‌های شبکه عصبی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

- از الگوریتم‌های بهینه‌سازی به منظور تعیین پارامترهای عملیاتی برای بهینه‌سازی بهره‌وری از لحاظ نرخ برش، استفاده می‌شود.

۸-۱- ساختار پایان‌نامه

این رساله در شش فصل به شرح زیر تدوین شده است:

فصل اول: در این فصل به طور خلاصه کلیاتی با موضوع رساله، ضرورت بررسی آن و اهداف تحقیق ارائه شده است.

فصل دوم: در این فصل پس از آشنایی با سنگ‌های ساختمانی کربناته، به معرفی ماشین برش اره زنجیری، مشخصات سنگ ساختمانی و پارامترهای موثر بر عملکرد ماشین برش پرداخته شده است.

فصل سوم: فصل سوم شامل پیشینه تحقیق با انجام مطالعات کتابخانه‌ای، جستجوی مقالات معتبر و

سابقه علمی موضوع به همراه نتایج و روابط ارائه شده به منظور پیش‌بینی نرخ برش سطحی می‌باشد. ضمن اینکه یکی از مهمترین اهداف این بخش می‌تواند بررسی نتایج مطالعات گذشته، نقد و بررسی آن‌ها باشد.

فصل چهارم: در فصل چهارم از نتایج مطالعات میدانی و آنالیزهای آزمایشگاهی، یک پایگاه داده شامل جامعه آماری کامل و دقیقی از خانواده سنگ‌های کربناته تهیه شده است. انجام مطالعات آزمایشگاهی به منظور تعیین مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی سنگ‌های مورد مطالعه و انجام مطالعات میدانی به منظور اندازه‌گیری نرخ برش سطحی در کارگاه‌های مورد نظر می‌باشد.

فصل پنجم: در فصل پنجم با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی و همچنین انواع روش‌های شبکه عصبی مصنوعی به بررسی و تحلیل نتایج و ارائه مدل‌های پیش‌بینی عملکرد ماشین برش اره زنجیری با ذکر معیارهای انتخاب مدل پرداخته شده است. بدین ترتیب ارتباط میان مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ، پارامترهای عملیاتی و عملکرد ماشین برش (نرخ برش سطحی) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

فصل ششم: نتایج حاصل از تحقیق و همچنین پیشنهادات تحقیق به منظور بهبود پژوهش‌های آتی در فصل ششم ارائه شده است.

فصل دوم

سنگ‌های ساختمانی کربناته و

روش استخراج ماشین اره زنجیری

ذخایر سنگ‌های ساختمانی جهان به حدود ۱۵ میلیارد تن می‌رسد که شامل گرانیت‌ها، مرمریت‌ها، تراورتن‌ها و مرمرها است. ذخایر قطعی سنگهای ساختمانی در ایران بالغ بر ۲/۵ میلیارد تن است. ایران براساس رتبه‌بندی جهانی از نظر ذخایر سنگ‌های تزئینی در رتبه چهارم است و از لحاظ تنوع رنگ و کیفیت سنگ‌های تولیدی، ایران در جایگاه اول جهان قرار دارد. ایران در تولید سنگ‌های تزئینی در فهرست ۷ کشور اول جهان است. براساس آخرین گزارش وزارت صنعت، معدن و تجارت نیز، ارزش صادرات سنگ مرمر و تراورتن به شکل خام در ۶ ماه نخست سال ۱۳۹۵ به ۸۰ میلیون دلار رسید. ارزش صادرات سنگ مرمر و تراورتن در این دوره ۵ درصد از کل صادرات ۶ ماه نخست آن سال را به خود اختصاص داده است. این امر در شرایطی صورت گرفته که ایران با وجود اینکه حدود ۲۰ میلیون تن سنگ ساختمانی به شکل خام استخراج می‌کند، اما کمتر از ۵ درصد آن را صادر می‌کند. بر پایه آمار صادرات ایران، در سال‌های اخیر همچنان حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد سنگ ساختمانی صادراتی کشور به شکل خام صادر می‌شود و در این میان سنگ فرآوری صادراتی سهم ۲۵ تا ۳۰ درصدی دارد. در چند سال گذشته بیشترین صادرات سنگ کوب ایران به کشورهای ایتالیا و چین بوده است، اما رویکرد کشور چین به عنوان بزرگترین مصرف‌کننده سنگ کوب تغییر کرده و این امر موجب کاهش شدید صادرات سنگ کوب ایرانی شده است. همچنین بیشترین آمار صادرات سنگ بریده ایران به اربیل عراق است که بحران‌های به وجود آمده در این منطقه روی آمار صادرات ایران در این بخش تاثیرگذار بوده است. سنگ مرمر ایران نیز به طور عمده به اروپا و به ویژه کشور کانادا صورت می‌گیرد که درصدش آنقدر بالا نیست که بتواند تاثیر چشمگیری در آمار صادرات سنگ‌های ساختمانی کشور داشته باشد (www.mimt.gov.ir).

هم‌اکنون حجم قابل توجهی از سنگ‌های استحصالی در معادن کشور تبدیل به سنگ لاشه و دور ریز می‌شود که قابلیت حمل به کارخانه‌های فرآوری سنگ تزئینی را ندارد. به سبب فرسوده بودن دستگاه‌ها و بهینه نبودن ماشین‌آلات استخراج معادن تولیدی سنگ‌های ساختمانی و کمبود ماشین‌آلات تخصصی، حجم قابل توجهی از سنگ استحصال شده، به لاشه و سنگ‌های با درجات پایین تبدیل می‌شود. براساس استانداردهای بین‌المللی، ۴۱ درصد سنگ‌خام هنگام استخراج و فرآوری تبدیل به ضایعات می‌شود که در ایران این میزان بسیار بیشتر است، ضمن اینکه قیمت تمام شده سنگ ساختمانی در ایران برای تولیدکنندگان ایرانی بیشتر از کشورهای رقیب است و این موضوع، کاهش صادرات و قدرت رقابت با رقیبان خارجی را در پی داشته است. کشورهای رقیب ایران در بخش تولیدات سنگ تزئینی معدنی در جهان، در گذشته ایتالیا، اسپانیا و چین بودند و هم‌اکنون کشورهای هند، ترکیه و برزیل نیز به رقبای ایران در تولید سنگ پیوسته‌اند، در حالی که هیچ کدام از کشورهای مذکور تنوع سنگ‌های ساختمانی ایران را ندارند (www.mimt.gov.ir).

کشور ما یکی از غنی‌ترین کشورها در زمینه ذخایر و منابع سنگ‌های ساختمانی در جهان است، که عمده سنگ‌های ساختمانی در ایران را سنگ‌های آهکی تشکیل می‌دهند اما به دلیل فقدان دانش فنی و نبود تکنولوژی مناسب در زمینه استخراج و فرآوری، بیش از ۶۰ درصد از این نعمت خدادادی به صورت لاشه سنگ در معادن و کارخانجات سنگبری از بین می‌رود، بدون توجه به اینکه این ذخایر میلیونها سال طول کشیده تا تشکیل شده و ما امانت‌دار نسل‌های آینده هستیم. قطعاً این مسأله تأثیرپذیر از پایین بودن کیفیت سنگ‌های تولیدی، پایین بودن بهره‌وری و بالا بودن هزینه تولید است.

۲-۲- انواع سنگ‌های ساختمانی

انواع سنگ‌های ساختمانی که در عملیات استخراج معادن حاصل می‌شوند عبارتند از بازالت، گرانیت، سنگ آهک، کوارتزیت، تراورتن، مرمر، سنگ توف، سرپانتین، ماسه سنگ و اسلیت. در شکل ۱-۲ برخی از معادن سنگ ساختمانی کشور ایران نمایش داده شده است.





۵



ز



شکل ۱-۲ معادن سنگ ساختمانی

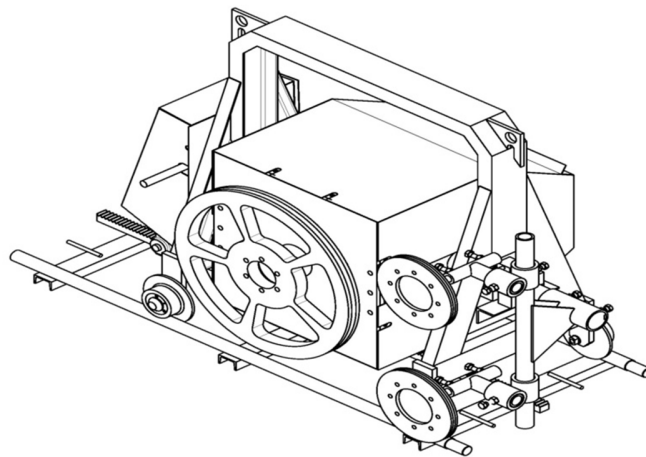
الف- معدن تراورتن تخت دو گوش ب- معدن سنگ چینی تواندشت ج- معدن توفیت بن چنار د- معدن اسلیت قوچ
بلاغی ه- معدن گرانیت بن گنبد و- معدن تراورتن حاجی آباد ز- معدن تراورتن خاتم ح- معدن سنگ آهک گل زرد.

۲-۳- روش های استخراج معادن سنگ ساختمانی

روش های استخراج سنگ ساختمانی عبارتند از : روش سیم برش، چال های موازی، پارس و گوه، استفاده از مواد منبسط شونده، جت آب، مواد منفجره، روش هیدرومکانیکی، برش توسط حرارت و روش ماشین اره زنجیری. عمده روش های مذکور به دلیل داشتن نواقص، در حال حاضر جهت استخراج معادن سنگ ساختمانی استفاده نمی شوند، به طوری که هم اکنون رایج ترین روش، سیم برش الماسه و مدرن ترین روش، ماشین برش اره زنجیری است.

۲-۳-۱- استخراج سنگ های ساختمانی به روش سیم برش الماسه

اولین بار از دستگاه سیم برش الماسه در سال ۱۹۷۰ استفاده شده است، این دستگاه در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲ دستگاه سیم برش الماسه

در استخراج به این روش نوع برش، تر بوده و استفاده از آب اجباری است. سیم برش الماسه از سیم فولادی و سگمنت های الماسه تشکیل شده است. در شکل ۲-۳ سیم الماسه نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ نصب سگمنت های الماسه روی سیم فولادی توسط اپراتور در معدن شورجه رباط واقع در استان مرکزی

انتخاب موقعیت سینه کار در این روش بسیار مهم است. یکی از علل این اهمیت این است که قیمت تمام شده کوب در این سیستم در مقایسه با سیستمهای دیگر بالاست. از این رو محل بکارگیری سیستم برش باید از هر نظر دارای سنگ سالم، یکدست و خوشرنگ بوده و نیز باید دقت شود که سنگ محل مورد نظر تحت تاثیر عوامل تکتونیکی، خرد نشده باشد.

مرحله حفاری مهمترین مرحله در روش استخراج سیم برش الماسه است. مهمترین کار در این قسمت تعیین محل حفر، ارتباط چالها با یکدیگر، تعیین محل چال با توجه به درزهها و شکستگیها و سطوح موجود در سنگ و نیز با توجه به گونیا بودن سنگ صورت می پذیرد. حفر چالها توسط دستگاههای حفاری از جمله راسل و دریل واگن صورت می پذیرد. در شکل ۲-۴ نمایی از حفر چال افقی و عمودی توسط دستگاه راسل در معادن تراورتن نشان داده شده است.



الف



ب

شکل ۲-۴ الف- حفر چال افقی توسط دستگاه راسل در معدن تراورتن شوره رباط ب- حفر چال عمودی توسط دستگاه راسل در معدن تراورتن حاجی آباد واقع در استان مرکزی

کوچکترین لغزش در انتخاب زاویه حفر هر یک از چالها سبب می گردد که آنها در نهایت در یک کنج به هم نرسند و عملیات منتفی گردد. به همین دلیل برای اینکه بتوان در عملیات دقت بیشتری لحاظ نمود از ابزاری همچون دوربین و نیز در حالتی عملی تر از شمشه، تراز، شاقول و نقاط کمکی استفاده می شود.

به منظور خنک کردن سیم الماسه باید پیوسته آب وارد شیار سنگ شود. حداقل آب مورد نیاز ۶ تا ۸ لیتر در ده دقیقه است که توسط پمپ آب پیش بینی شده در معدن و از مخازن آب تأمین خواهد شد. برش افقی باید زمانی صورت گیرد که برش عمودی کوه هنوز انجام نگرفته است زیرا در غیر این صورت در انتهای برش افقی امکان دارد بلوک سنگ از کوه جدا شده و سیم برش را که در حالت افقی کار می‌کند له نماید. حمل و نقل بلوک‌های ماده معدنی پس از مرحله برش برای جدا کردن بلوک بریده شده از سینه کار، از جک‌های هیدرولیک و بالشتک‌های فشرده استفاده می‌گردد. ابتدا بالشتک‌ها را وارد شیار حاصل از برش نموده آنگاه شیر هوای فشرده کمپرسور را باز می‌کنند. هوای فشرده با فشار ۷ اتمسفر وارد بالشتک می‌شود. در نهایت بالشتک با فشاری معادل ۵۰۰ اتمسفر به سنگ جانبی فشار وارد می‌کند که در اثر آن بلوک سنگ به حرکت در آمده و از سینه کار دور شده و همزمان با استفاده از ریپر بولدوزر و پیکور بیل مکانیکی سبب سقوط بلوک برش داده شده می‌گردد.

معایب استفاده از روش سیم برش الماسه عبارتست از :

- نیاز به چالزنی مقدماتی
- تأمین منابع آب
- هزینه های عملیاتی نسبتاً بالا
- نیاز به پرسنل ماهر
- تولید ضایعات زیاد در روند تولید کوب
- بهره وری پایین از لحاظ نرخ تولید
- تولید کوب با کیفیت نسبتاً پایین

• مصرف انرژی بالا

بنابراین به دلایلی از جمله معایب فوق الذکر لازم است جهت استفاده بهینه از ذخایر معدنی و ارزآوری بالا، با استفاده از ابزار پیشرفته و تکنولوژی روز دنیا و دانش فنی، کیفیت کوبهای استخراج شده و بهره-وری ذخایر را از لحاظ نرخ تولید افزایش و میزان تولید ضایعات، مصرف انرژی و هزینه‌های تولیدی را کاهش داد.

۲-۳-۲- استخراج سنگهای ساختمانی با استفاده از ماشین برش اره زنجیری

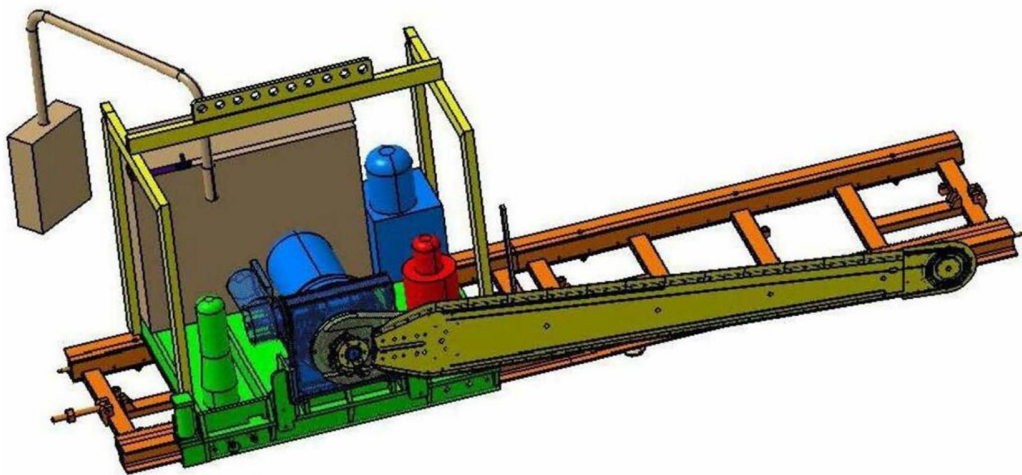
روش استخراج ماشین برش اره زنجیری از روش های مدرن در استخراج معادن سنگ ساختمانی و نما است. ماشین برش اره زنجیری، دستگاهی دارای انعطاف پذیری، توانایی و قدرت بالا و سیستم کنترل هیدرولیکی جهت برش انواع سنگهای ساختمانی در جهات عمودی و افقی و در ابعاد مختلف است. در شکل ۲-۵ نمایشی از یک نوع ماشین برش اره زنجیری نشان داده شده است.

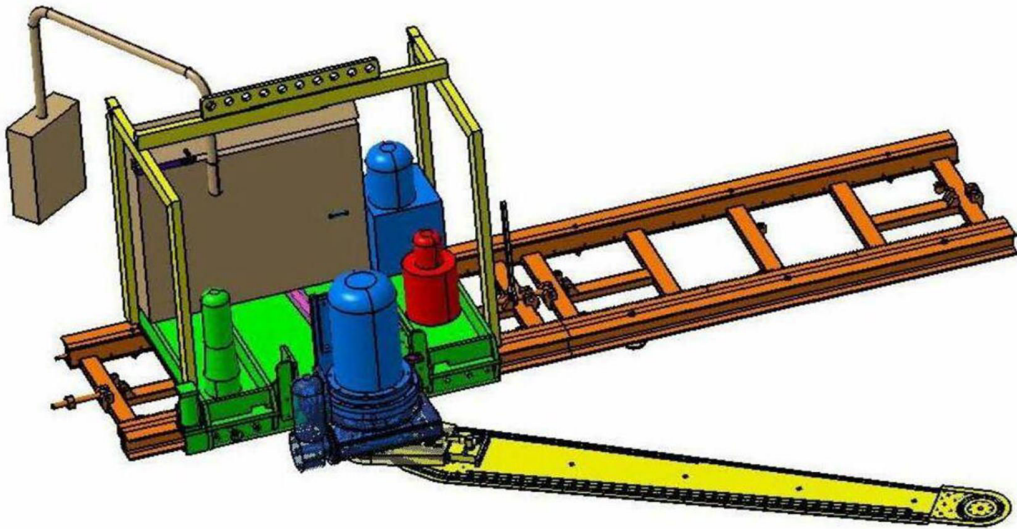


شکل ۲-۵ ماشین برش ااره زنجیری عمود بر

۲-۴- روش استخراج ماشین برش ااره زنجیری

در این روش مدرن، بلوک سنگ به وسیله یک ااره زنجیری با برش های افقی و عمودی موازی بریده و با کیفیت بالا حاصل می شود. ااره ها را به دو گروه نرم بر برای استخراج و برش سنگ های ساختمانی سنگ آهک، تراورتن، مرمریت و و سخت بر برای استخراج و برش سنگ های ساختمانی گرانیت و تقسیم می کنند. در شکل شماره ۲-۶ ماشین ااره زنجیری در دو حالت برش عمودی و افقی نشان داده شده است.





شکل ۲- ۶ نمای بالا ماشین اره زنجیری در حالت برش عمودی و نمای پایین ماشین اره زنجیری در حالت برش افقی

در روش استخراج سنگ ساختمانی توسط ماشین برش اره زنجیری در معادن روباز و زیرزمینی با برش های عمودی و افقی، بلوکی با کیفیت بالا بدست می آید.

نکته قابل توجه این است که هر چه معدن بزرگتر و طول سینه کارها بیشتر باشد، بازدهی و بهره‌وری (از لحاظ نرخ تولید) در استفاده از این روش افزایش، مصرف انرژی و اتلاف وقت کاهش می‌یابد، علت اصلی این موضوع حمل و استقرار ماشین اره زنجیری است که نسبت به دستگاه سیم برش الماسه مشکل‌تر است.

کارایی ماشین برش اره زنجیری در معادن سنگ ساختمانی به انتخاب درست ماشین از لحاظ ساختار و ساختمان، پارامترهای عملیاتی عناصر برش، مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی و تراکم توده سنگ بستگی دارد. پارامترهای عملیاتی کلیدی که توسط اپراتور کنترل می شود عبارتند از: سرعت حرکت ماشین روی ریل، زاویه تیغه و سرعت زنجیر. تعداد شرکت های تولید کننده ماشین برش اره زنجیری

حتی به انگلستان یک دست نیز نمی‌رسد که عبارتند از: شرکتهای فانتینی^۱، کرفمان^۲، بنیتی^۳ و دزینی^۴ در کشور ایتالیا.

۲-۴-۱-مدل‌های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت فانتینی در ایتالیا

شرکت فانتینی یکی از شرکت‌هایی است که سعی کرده با علم روز دنیا پیش‌رفته و تولیدات خود در ارتباط با استخراج سنگ‌های ساختمانی را متناسب با روش‌های مدرن دنیا توسعه دهد. این شرکت، ماشین برش اره زنجیری را در مدل‌های مختلف برای معادن مختلف و انواع سنگ تولید نموده است که در جدول ۱-۲ و شکل ۲-۷ به آنها اشاره شده است.

¹ Fantini
² Korfmann
³ Benetti
⁴ Dazzini

جدول ۱-۲ انواع مدل‌های تولیدی ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت فانتینی (www.fantinispa.it)

ردیف	مدل	توان الکتریکی (کیلو وات)	وزن (کیلوگرم)	چرخش بازو (درجه)	سرعت زنجیر (متر بر ثانیه)	ضخامت برش (میلیمتر)	عمق برش مفید (متر)	سرعت برش (سانتیمتر بر دقیقه)
۱	50.90	۲۶/۷	۳۹۰۰-۳۵۰۰	۳۶۰	۰/۷-۰	۳۸	۲	۰-۲۵
۲	70RA/P.AO	۵۰	۶۷۰۰-۶۲۰۰	۳۶۰	۰/۷-۰	۳۸	۵/۱	۰-۱۳
۳	70RABU	۵۰	۶۷۰۰-۶۲۰۰	۳۶۰	۰/۷-۰	۳۸	۵/۱	۰-۱۳
۴	70SUPER-H	۶۱	۹۶۰۰	۳۶۰	۰/۷-۰	۳۸	۸	۰-۱۵
۵	50.81	۵۰	۵۷۰۰-۵۲۰۰	۱۸۰	۰/۷-۰	۳۸	۳/۴	۰-۱۳
۶	70RATA	۵۰	۶۷۰۰-۶۲۰۰	۳۶۰	۰/۷-۰	۳۸	۵/۱	۰-۱۳
۷	70RAPD	۸۲/۵	۱۰۰۰۰	۳۶۰	۰/۷-۰	۳۸	۵/۱	۰-۱۳
۸	JCBTractor	۶۸/۶	۷۰۰۰	۹۰	۰/۷-۰	۳۸	۴	۰-۱۳





شکل ۲-۷ مدل های تولیدی ماشین های اره زنجیری شرکت فانتینی (www.fantinispa.it)

الف-مدل 70RATA ب- 50.90 ج- مدل 70SUPER-H د- مدل 70RABU ه- مدل 70RA/PAO و- مدل 50.80 ز- مدل JCBTractor ج- مدل 70RAPD

۲-۴-۲- مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت کرفمان در ایتالیا

شرکت کرفمان ماشین برش اره زنجیری را در مدل های مختلف با طول برش ۱/۵ تا ۷/۲ متری برای معادن مختلف و انواع سنگ ساختمانی تولید نموده است که در جدول ۲-۲ به آنها اشاره شده است.

جدول ۲-۲ انواع تولیدات ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت کرفمان (www.korfmann.it)

رديف	مدل	توان الکتریکی (کیلو وات)	وزن (کیلوگرم)	چرخش بازو (درجه)	ظرفیت تانک هیدرولیک (لیتر)	ضخامت برش (میلیمتر)	عمق برش مفید (متر)	سرعت برش (سانتیمتر بر دقیقه)
۱	ST450.2 VH	۴۵	۵۱۰۰	۳۶۰	۱۶۰	۴۲	۴/۲	۰-۴۴

۰-۴۴	۲/۵	۴۲	۱۸۰	۳۶۰	۳۱۰۰	۳۳	HSTK450.2VH	۲
۰-۴۴	۶/۵	۴۲	۱۶۰	۳۶۰	۶۷۵۰	۵۵	ST300VH	۳
۰-۴۴	۶/۵	۴۲	۱۶۰	۳۶۰	۶۷۵۰	۵۵	ST5502VH	۴

شایان ذکر است این شرکت انواع مدل‌ها را متناسب با نوع سنگ، ارتفاع سینه کار، روش استخراج روباز یا زیرزمینی و ... تولید نموده است. در شکل ۲-۸ نمایی از انواع تولیدات شرکت کرفمان ملاحظه می‌شود.

ج.



الف





شکل ۲- ۸ مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری شرکت کرفمان (www.korfmann.it)
 الف- مدل HSTK450 ب- مدل ST4502VH ج- مدل ST5502VH د- مدل ST300VH

۲-۴-۳- مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت بنیتی در ایتالیا

شرکت بنیتی، برای استخراج سنگ ساختمانی در معادن، ۴ مدل ماشین برش اره زنجیری را برای معادن مختلف و انواع سنگ ساختمانی تولید نموده است که در جدول ۲-۳ و شکل ۲-۹ مدل های تولیدی به همراه مشخصات آمده است.

جدول ۲-۳ انواع تولیدات ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت بنیتی (www.Benettigroup.com)

ردیف	مدل	توان (کیلووات)	وزن (کیلوگرم)	سرعت چرخش (متر بر ثانیه)	سرعت حرکت (سانتیمتر بر دقیقه)	عمق برش مفید (متر)	ضخامت برش (میلیمتر)	چرخش (درجه)	ظرفیت هیدرولیک (لیتر)
۱	CSM963	۵۳	۸۰۰۰	۱-۲	۰-۱۳	۵	۳۸-۴۲	۳۶۰	۳۰۰
۲	CSM968	۶۵	۱۰۵۰۰	۰-۱	۰-۱۳	۷	۳۸-۴۲	۳۶۰	۳۰۰
۳	CSM961	۳۰	۳۳۰۰	۰-۲/۸	۰-۷۵	۲	۳۸-۴۰	۳۶۰	۱۷۰
۴	CSM962	۵۳	۷۰۰۰	۱-۲	۰-۱۳	۵	۳۸-۴۰	۳۶۰	۳۰۰



شکل ۲-۹ مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت بنیتی (www.Benettigroup.com)

الف- مدل CSM961 ب- مدل CSM962 ج- مدل CSM963 د- مدل CSM968

۲-۴-۴-مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت دزینی در ایتالیا

شرکت دزینی ماشین برش اره زنجیری را در مدل های مختلف با طول برش ۲ تا ۹/۱ متری برای معادن مختلف، انواع سنگ ساختمانی و شرایط آب و هوایی مختلف تولید نموده است که در جدول ۲-۴ مدل های تولیدی به همراه مشخصات آمده است.

جدول ۲-۴ انواع تولیدات ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت دزینی (www.Dazzinimacchine.com)

ردیف	مدل	توان الکتریکی (کیلو وات)	چرخش بازو (درجه)	سرعت برش (متر بر دقیقه)	ضخامت برش (میلیمتر)	عمق برش مفید (متر)
۱	QS8000D	۷۴/۶	۳۶۰	۰-۱	۴۲	۹/۱
۲	QS6000D	۵۵/۹	۳۶۰	۰-۱	۴۲	۶
۳	QS4000D	۴۴/۷	۳۶۰	۰-۱	۴۲	۴
۴	TEI260VH	۳۰	۳۶۰	۰-۱	۳۸	۲
۵	QST3000D	-	۹۰	۰-۱	۳۸	۳/۴

انواع مدل های تولیدی ماشین برش اره زنجیری توسط شرکت دزینی در هر دو حالت برش خشک و تر و برای استخراج سنگ های نرم و سخت استفاده می شود، به صورتی که برای برش سنگ های نرم جنس تیغه از تنگستن و برای برش سنگ های سخت جنس تیغه از پلی کریستال الماسه است. ماشین برش اره زنجیری مدل QST3000D با استفاده از انرژی دیزل (بدون انرژی الکتریکی) در هر دو حالت برش خشک و تر و برای برش سنگ های نرم و سخت استفاده می شود، این مدل به دلیل وجود اپراتور در داخل

کابین در هر شرایط آب و هوایی قابل کاربرد است. در شکل ۲- ۱۰ مدل‌های تولیدی ماشین برش آره زنجیری شرکت دزینی ایتالیا نشان داده شده است.





شکل ۲-۱۰ مدل های تولیدی ماشین اره زنجیری توسط شرکت دزینی (www.Dazzinimacchine.com)
 الف- مدل QS8000D ب- مدل QS6000D ج- مدل QS4000D د- مدل QST3000D

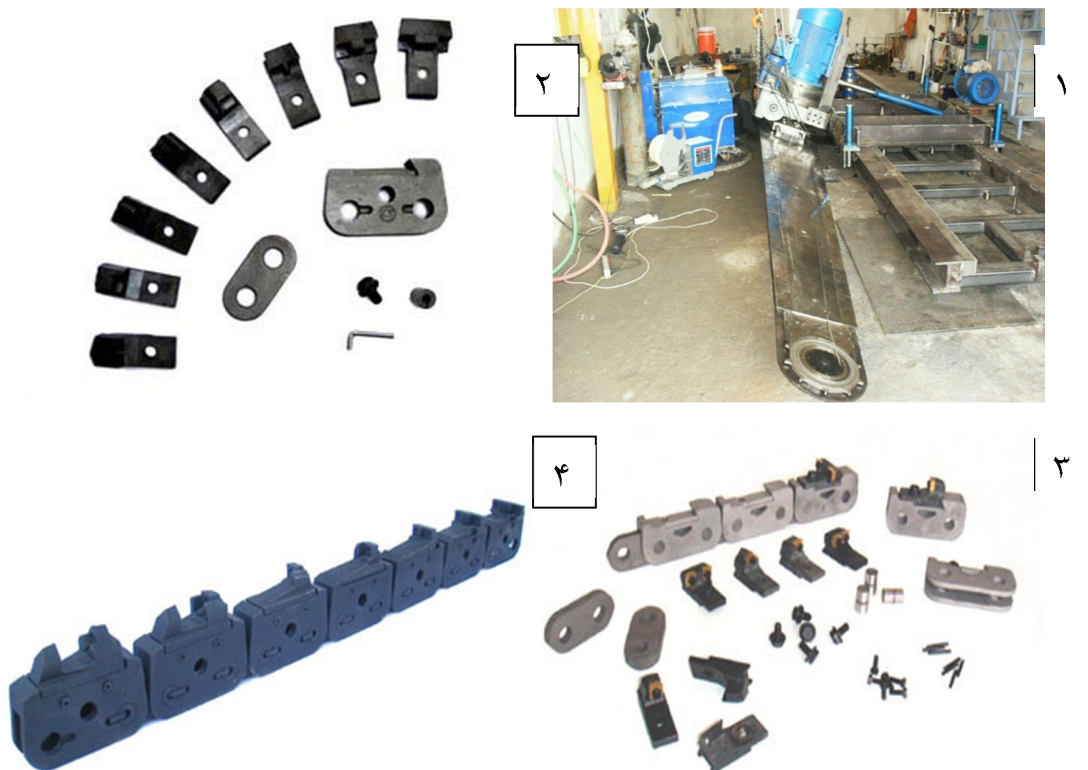
۲-۴-۵- اجزای اصلی ماشین برش اره زنجیری

۲-۴-۵-۱- تیغه اره زنجیری

قسمت اصلی دستگاه که کار برش را انجام می دهد تیغه اره زنجیری می باشد. این بخش شامل تیغه، کفشک، واسطه کفشک، لقمه و سگمنت است. طول تیغه عامل اصلی عمق برش است که دارای اهمیت زیادی است، زیرا همانطور که مشخص است عمق یا ارتفاع برش، عامل اصلی میزان تولید در یک معدن است. تیغه توسط پیچ به بدنه دستگاه متصل می شود. کفشکها و واسطه ها قطعات اصلی سازنده زنجیر است، این کفشکها و واسطه توسط پین هایی که در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است، به هم متصل می -

گردند. لقمه که در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است به جهت تامین قطر برش دارای انواع مختلف می- باشد.

سگمنت عامل اصلی برش در ماشین های ااره زنجیری است. سگمنت ها از لحاظ شکل و مقاومت مواد سازنده دارای انواع مختلف می باشند. در شکل ۲-۱۱ می توان نمایی از سگمنت را مشاهده نمود.



شکل ۲-۱۱ اجزای تیغه ااره زنجیری (www.Dazzinimacchine.com)

۱- تیغه و کفشک ۲- واسطه و پین ۳- لقمه و سگمنت ۴- زنجیر

۲-۴-۵-۲- ریل

در شکل ۲-۱۲ نمایی از ریل نشان داده شده است. ریل ها در اندازه های طولی متفاوت وجود دارند ولی معمولا با طول ۴ متر استفاده می شود، به صورتی که ابتدا در موقعیت مورد نظر سینه کار مستقر و تراز شده، سپس ماشین برش ااره زنجیری بر روی ریل استقرار می یابد.



شکل ۲-۱۲ نمایشی از ریل

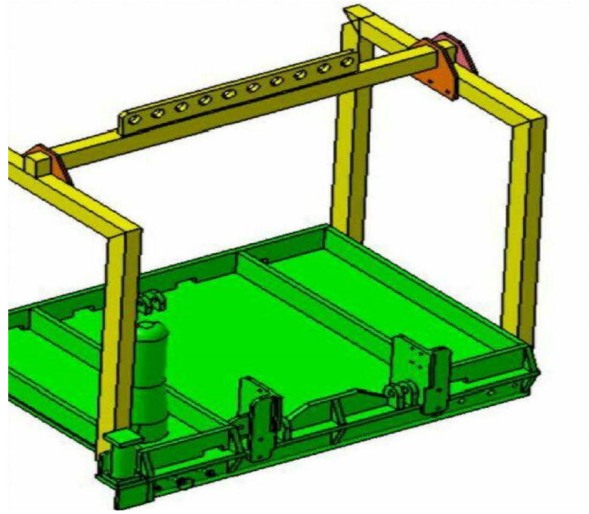
شایان ذکر است ۳ عدد ریل همراه ماشین اره زنجیری می باشد، که با جابجایی آنها به ریل های بیشتر نیاز پیدا نمی شود. در شکل ۲-۱۳ حرکت ماشین اره زنجیری روی ریل مشاهده می شود.



شکل ۱۳-۲ قرارگیری ماشین اره زنجیری روی ریل

۲-۴-۵-۳-ستون های محافظ و باربر

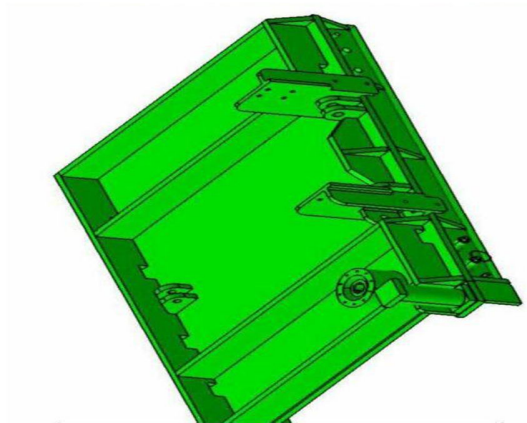
جهت حمل و نقل ماشین برش اره زنجیری از ستون های محافظ و باربر استفاده می شود، ضمن اینکه وظیفه حفاظت از ماشین را نیز انجام می دهد. در شکل ۱۴-۲ ستون های محافظ و باربر مشاهده می شود.



شکل ۱۴-۲ ستون های محافظ و باربر (www.Benettigroup.com)

۲-۴-۵-۴-شاسی

شاسی بین ماشین و ریل قرار می گیرد که در شکل ۱۵-۲ می توان نمایی از شاسی را مشاهده نمود.

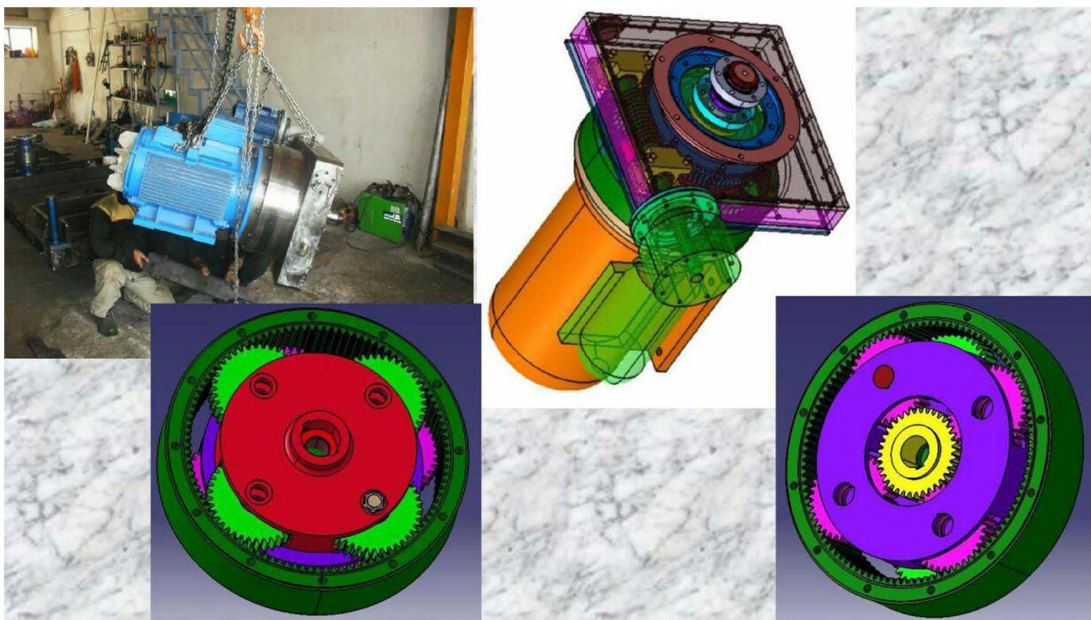


شکل ۱۵-۲ شاسی (www.Benettigroup.com)

۲-۴-۵-۵- موتور گیربکس حرکت تیغه و زنجیر

تیغه و زنجیر ماشین برش، انرژی خود را جهت حرکت، از موتور گیربکس تأمین می‌کند که در شکل

۱۶-۲ نمایی از موتور گیربکس حرکت تیغه و زنجیر مشاهده می‌شود.



شکل ۱۶-۲ نماهای مختلف از موتور گیربکس حرکت زنجیر

۲-۴-۵-۶- موتور گیربکس حرکت ماشین روی ریل

همزمان با حرکت زنجیر، ماشین نیز به موازات سطح زمین در حال حرکت است که انرژی لازم جهت این عمل از موتور گیربکس حرکت ماشین روی ریل تأمین می‌شود. در شکل ۲-۱۷ نمایی از موتور گیربکس حرکت ماشین روی ریل نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۷ موتور گیربکس حرکت ماشین روی ریل

۲-۴-۵-۷- سیستم هیدرولیک

ماشین اره زنجیری نیروی اولیه را از برق تأمین و سپس توسط سیستم کنترلی، فرمان‌ها را به سیستم هیدرولیک داده و در نهایت ماشین فعالیت‌های دستوری را انجام می‌دهد. ظرفیت تانک اصلی هیدرولیک در خصوص مدل‌های مختلف متفاوت است، ولی در عمده ماشین‌ها ۳۰۰ لیتر می‌باشد، در شکل ۲-۱۸ این تانک نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۸ تانک هیدرولیک و سیستم کنترلی ماشین اره زنجیری روی تانک

۲-۴-۵-۸- کمپرسور با دو سیستم گریسکاری اتوماتیک

در شکل ۲-۱۹ نمایی از کمپرسور با دو سیستم گریسکاری اتوماتیک مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱۹ نمایی از کمپرسور با دو سیستم گریسکاری اتوماتیک

۲-۴-۵-۹- تابلو برق

در شکل شماره ۲-۲۰ نمایی از تابلو برق مشاهده می‌شود. برای انجام فعالیت توسط اپراتور کلیدهایی

برروی درب تابلو نصب شده است که عبارتند از :

- سوکت برق ورودی اصلی

- سوکت برق دستگاه خاک بردار

- سوکت کنترل دستگاه

- سوکت کنترل جکهای تنظیمی

- آمپر متر

- ساعت کارکرد دستگاه

- ولت متر

- کلید چرخش زنجیر

- کلید اصلی دینام دور زنجیر

- کلید خاک بردار

- کلید دینام پمپ هیدرولیک

- ولوم دور زنجیر

- کلید پمپ گریس

- کلید اصلی تابلو

- کلید اضطراری برق تابلو

- کلیدهای کنترل (ریموت)



شکل ۲-۲۰ تابلو برق در ماشین برش اره زنجیری

۲-۴-۶- روش کار با ماشین برش اره زنجیری

مراحل استخراج سنگ ساختمانی به روش ماشین برش اره زنجیری به شرح ذیل است:

۱- ابتدا موقعیت مکانی برش باید از لحاظ طول و عرض سینه کار و اندازه‌های مورد نیاز کوب، کاملاً بررسی و انتخاب شود.

۲- وصل کردن کابل اصلی برق: به جهت راحت جا زدن سوکت بایستی همواره سوکت تمیز نگه داشته شود، ضمن اینکه باید سوکت تا انتها جا زده شود، در غیر اینصورت باعث خرابی سوکت خواهد شد.

۳- وصل کردن کلید اصلی برق و سپس وصل کردن سه کلید اضطراری که دو کلید آن بر روی کلیدهای کنترل و یکی از آنها روی تابلو نصب می‌گردد.

۴- متصل کردن ریلها: معمولا هر دستگاه دارای سه ریل به طول ۴ متر می باشد. جهت اتصال، ریلها روبروی هم قرار گرفته تا زبانه ها داخل هم دیگر رود، سپس با پیچهایی که در محل های خاص تعبیه شده است اتصال انجام می گردد.

۵- تراز کردن دستگاه : در این مرحله ابتدا دستگاه را بر روی ریل اولی مستقر نموده، سپس توسط کلیدهای کنترلی جکها، دستگاه تراز شده و پس از تراز در دو ضلع عمود بر هم پیچ کفشک های ریل باز شده تا کفشک ها بر روی زمین قرار گیرد. لازم به ذکر است در صورت نا منظم بودن جزئی سطح می توان تا حدودی ارتفاع پایه ها را با استفاده از تخته های چوبی زیاد نمود. در مرحله آخر ریل های دوم و سوم با استفاده از تراز دستی نسبت به ریل اول تراز می شوند.

۶- ایجاد حفر چال برای مهار کردن دستگاه : در این مرحله با استفاده از چکشهای دستی حفاری در مناطقی که مشخص شده است حفاری انجام (به طول حدود ۳۰ سانتی متر) و سپس مهارهای آن داخل سوراخ های تعبیه شده قرار گرفته و با زدن چکش روی آنها، مهارها داخل سوراخ های حفر شده قرار می گیرند.

۷- آزمایش کردن سگمنت ها و اجزای برش: در این مرحله تمامی سگمنت های شکسته، کند شده، لقمه-ها، پیچ های لقمه و پین بوش های واسطه کنترل می شود.

۸- در این مرحله ماشین جهت چک کردن خروجی های گریس تیغه در حالت فعالیت قرار می گیرد. ابتدا پمپ گریس را روشن سپس دینام اصلی روشن و با استفاده از کلیدهای اصلی، زنجیر به حرکت در می آید. پس از کار کردن ماشین در این حالت مشخص می گردد که پمپ گریس، شیرهای گریس و لوله ها انتقال دهنده گریس سالم می باشند یا خیر. در صورتی که گریس به محل های مورد نظر از جمله سر تیغه نرسد عیب یابی و عیب بایستی برطرف گردد.

۹- دستگاه به وسط ریل منتقل و تیغه بر روی زمین قرار می‌گیرد لازم به ذکر است در این مرحله دور زنجیر بایستی در این حالت کم باشد. دستگاه در حالت برش اتوماتیک قرار می‌گیرد. بایستی در این مرحله دستگاه حرکت جلو و عقب نداشته باشد.

۱۰- پس از برش دستگاه تا عمق حدود ۳۰ سانتی متر (زمانی که نوک تیغه داخل زمین فرو رفته باشد) حرکت رو به جلو با استفاده از کلید اتوماتیک انجام می‌گیرد تا برش بصورت عمودی انجام گردد. در این حالت درجه های کنترلی زنجیری و حرکتی باید بسته به نوع سنگ و شرایط معدن تنظیم گردد. درجه مذکور در هر نوع سنگ مختلف است و اپراتور بایستی با تجربه این عدد را مشخص نماید. در این مرحله اپراتور بایستی دقت لازمه را داشته باشد، در غیر این صورت مشکلاتی برای ماشین پیش خواهد آمد.

۱۱- پس از عمود شدن تیغه، باید اپراتور زاویه تیغه را جهت ادامه برش تا انتهای سینه کار انتخاب نماید، این انتخاب بسیار حائز اهمیت است زیرا در صورت انتخاب اشتباه منجر به شکستن سگمنت‌ها، لقمه‌ها و مشکلات عدیده دیگر می‌شود. حرکت رو به جلوی دستگاه را خاموش و حرکت اتوماتیک رو به عقب روشن گردد. سپس در صورتی که ماشین خاکبردار اتوماتیک داشته باشد، خاک بردار روشن می‌شود. لازم است توضیح داده شود که بر روی برخی ماشین‌های اره زنجیری به جهت سهولت کار، دستگاه خاک بردار نصب شده است تا پودر سنگ حاصل از برش، از محل دور گردد، در غیر اینصورت کارگر بایستی با استفاده از بیل دستی پودر سنگ تولید شده را از محل برش دور نماید.

۱۲- در این مرحله باید نظارت تا پایان برش انجام گردد. ضمناً در صورت الزام به برش با طول بیشتر می‌توان ریل‌های سر جلو را جدا و به انتهای ریل سوار و پس از تنظیم کردن ماشین، برش را ادامه داد.

۱۳- پس از پایان برش با روشن بودن دور زنجیر می‌توان تیغه را از داخل شیار ایجاد شده خارج نمود و سپس با ضربه زدن بر روی مهارها، مهارها از داخل سوراخ‌های حفاری شده خارج و کفشک‌های ریل را بالا آورد.

۱۴- در مرحله آخر کلیه قسمت‌های ماشین از جمله میزان روغن‌ها، گریس‌ها و غیره برای برش بعدی آماده می‌گردد.

لازم به ذکر است مراحل فوق در هر دو حالت برش عمودی (پشت بری و بغل بری) و برش افقی (کف بری) انجام می‌شود. در شکل های ۲- ۲۱ و ۲- ۲۲ به ترتیب نمایی از برش های عمودی و افقی توسط ماشین برش اره زنجیری مشاهده می‌شود.



شکل ۲- ۲۱ برش عمودی در استخراج معادن سنگ ساختمانی به روش ماشین برش اره زنجیری



شکل ۲-۲۲ برش افقی در استخراج معادن سنگ ساختمانی به روش ماشین برش اره زنجیری

۲-۴-۷- عوامل مؤثر در فرایند برش سنگ به روش ماشین اره زنجیری

فرآیند برش سنگ و در ادامه آن تشکیل تراشه در برش سنگ از تئوری شکست مواد ترد تبعیت می‌کند. هنگامی که سنگ بوسیله ابزار الماسی برش داده می‌شود، تعامل مکانیکی بین ابزار و قطعه کار ایجاد شده که عمدتاً به دلیل فاکتورهای نظیر تغییر شکل الاستیکی و پلاستیکی در سنگ، اصطکاک الماس با سنگ و براده‌های سنگی می‌باشند. فاکتورهایی که بطور مستقیم یا غیرمستقیم روی فرآیند برش تاثیر می‌گذارند عبارتند از:

- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ
- نیروهای فرایند میان سگمنت و ماده سنگ
- توزیع تنش در سنگ
- تنش‌های حرارتی در سطح مشترک ابزار و قطعه کار
- عمق نفوذ سگمنت و شکل آن

- خصوصیات ابزار برش

ترک‌های عرضی در مکان‌های مختلف یک سری نیم دایره‌هایی پس از افزایش لغزش ابزار الماسی روی سطح به جا می‌گذارد. یک ناحیه تغییر شکل پلاستیک با پودرهای سنگی فشرده شده در کف شیارهای برش خورده باقی می‌ماند. زمانی که ترک‌های جانبی روی سطح در طول مرز ناحیه فشرده شده گسترش می‌یابد، ناحیه فشرده شده، شکسته شده و به صورت تکه براده‌های ثانویه از کف شیار برشی جدا می‌شوند. بطور کلی پارامترهای مؤثر در فرایند برش سنگ توسط ماشین برش اره زنجیری به سه بخش اصلی تقسیم می‌شود (Copur et al, 2011) :

الف- مشخصات سنگ ساختمانی

ب- مشخصات ساختمانی ماشین برش اره زنجیری

ج- پارامترهای عملیاتی

از میان این پارامترها، مشخصات ماشین اره زنجیری و پارامترهای عملیاتی به عنوان پارامترهای قابل کنترل و یا وابسته و پارامترهای مربوط به مشخصات سنگ، به عنوان پارامترهای غیر قابل کنترل یا پارامترهای مستقل در فرایند برش سنگ مطرح است. هر کدام از این دسته پارامترها به نحو خاصی در کارآیی و توان تولید در فرایند برش تأثیرگذار است.

۲-۴-۷-۱ مشخصات سنگ ساختمانی

مشخصات سنگ یکی از عوامل مؤثر در فرایند برش است. سنگ به عنوان میزبان عملیات برش، نقش حیاتی در فرایند برش و نرخ تولید دارد. مشخصات سنگ تعیین کننده‌ی شرایط، کیفیت و کمیت اندرکنش میان سنگ و ماشین بوده، لذا مکانیزم تشکیل پیشروی ابزار برش را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به گستردگی مشخصات سنگ به منظور سهولت در تجزیه و تحلیل و مطالعه این

پارامترها، آن‌ها را می‌توان در سه گروه مشخصات فیزیکی، مکانیکی و مشخصات ساختاری تقسیم‌بندی کرد.

مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ عبارتند از جرم مخصوص، مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی برزیلی، شاخص جذب سرشار، مدول الاستیسیته استاتیک، نسبت پواسون، اندازه و شکل دانه‌ها، سختی، مدول الاستیسیته دینامیک و تخلخل. (Copur et al, 2011)

▪ مشخصات فیزیکی سنگ

- جرم مخصوص

جرم مخصوص یک سنگ، نسبت جرم مخصوص سنگ به جرم مخصوص آب یا نسبت وزن مخصوص سنگ به وزن مخصوص آب است. جرم مخصوص تابع منافذ، درزه و شکاف‌ها و سایر فضاهای باز موجود در سنگ است، به طوری که جرم مخصوص یک نمونه مشخص سنگ، با افزایش عمق و در نتیجه افزایش فشار سنگ‌های فوقانی و بسته شدن درزه و ترک‌های موجود در سنگ بیشتر می‌شود. از آنجائیکه جرم مخصوص با مقاومت سنگ رابطه مستقیم دارد. می‌توان گفت با عملکرد ابزارهای برش در فرایند برش رابطه عکس دارد. بطور کلی هرچه سنگ متراکم‌تر و چگال‌تر باشد، قابلیت برش آن کمتر خواهد بود (فهیمی‌فر و سروش، ۱۳۸۰).

- بافت

یکی از فاکتورهای مهم و اساسی در رفتار مهندسی سنگ‌ها به ویژه در فرایند برش، بافت سنگ می‌باشد. لذا این پارامتر در انتخاب درست تجهیزات و ماشین‌آلات برش، تعیین رفتار مکانیکی و پیش‌بینی عملکرد تجهیزات برش باید مورد توجه قرار گیرد. از جمله مشخصات اصلی بافت می‌توان به اندازه، شکل، جهت‌یافتگی، نسبت دانه‌ها و ماتریس سنگ اشاره کرد. از میان مشخصات بافت، اندازه دانه‌ها نیز از اهمیت

بالایی برخوردار می‌باشند. چرا که ترک‌های جانبی (عرضی) عمدتاً در مرز دانه‌ها رشد کرده و گسترش می‌یابند. و هر چه اندازه دانه‌ها بزرگتر باشد، اندازه تراشه‌های ثانویه تشکیل شده نیز بزرگتر می‌شود. دانه‌های گوشه‌دار کشیده و ذرات ریز سنگ باعث کاهش سرعت برش و افزایش قابلیت ساینده‌گی سنگ‌ها می‌شود.

یکی از پارامترهای مهم و کمی بافت، ضریب بافت می‌باشد که توسط هاوارد و رولند^۱ در سال ۱۹۸۶ ارائه شده است. با معرفی ضریب بافت و کمی کردن مشخصات بافت سنگ، تحولی در عرصه تکنیک‌های پتروگرافیکی و مهندسی سنگ ایجاد شد، بطوریکه بعد از آن اکثر محققین از این پارامتر برای برقراری ارتباط میان مشخصات بافت و مشخصات مهندسی سنگ استفاده کردند. در زمینه قابلیت برش سنگ، آنچه که از نتایج مطالعات محققین مشخص است، با افزایش مقدار ضریب بافت، نرخ برش کاهش یافته و نرخ سایش افزایش خواهد یافت. (Haward & Rowlands, 1986)

استحکام و چسبندگی بین دانه‌ها هرچه بیشتر باشد، تشکیل و رشد ترک‌های جانبی و به دنبال آن ضخامت تراشه تحت نفوذ سگمنت کاهش یافته و در نتیجه سرعت برش نیز کاهش می‌یابد.

- تخلخل

یکی دیگر از پارامترهای مهم فیزیکی سنگ در زمینه قابلیت برش، تخلخل سنگ است. سنگ‌ها اجسام کاملاً توپری نیستند و عموماً حاوی خلل و فرج به صورت حفره‌های کم و بیش مرتبط و یا حفره‌های مجزا هستند. وجود این حفره‌ها دارای اهمیت زیادی در خواص مکانیکی و مهندسی سنگ و نیز تشکیل و گسترش ترک‌های جانبی و شعاعی دارا می‌باشند. در واقع تخلخل و درزه‌ها در ساختار ماده سنگ نقش عیوب و ترک‌های اولیه را بازی می‌کنند. هرچه مقدار این درزه‌ها و تخلخل‌ها بیشتر باشد، تراشه‌های ثانویه راحت‌تر تشکیل می‌شوند.

¹ haward & rowlands

▪ مشخصات مکانیکی سنگ

-مقاومت فشاری

مقاومت، میزان پایداری سنگ در مقابل تنش‌های خارجی است. این تنش‌ها ممکن است در حالت سکون (استاتیک) و یا در حالت متحرک (دینامیک) باشند. هنگامی که استحکام یا مقاومت سنگ افزایش می‌یابد، تشکیل تراشه ثانویه مشکل‌تر شده، و به دنبال آن نیروهای برشی بیشتری برای تشکیل مقدار مشخصی از تراشه نیاز است. یکی از پارامترهای مقاومتی سنگ، مقاومت فشاری می‌باشد. مقاومت فشاری را می‌توان به عنوان مهمترین و پرکاربردترین ویژگی سنگ‌ها دانست.

-مقاومت کششی

یکی دیگر از پارامترهای مهم مقاومتی سنگ، مقاومت کششی سنگ می‌باشد. مقاومت کششی در واقع حداکثر تنش کششی است که یک سنگ می‌تواند تحمل کند. آنچه مسلم است با افزایش پارامترهای مقاومتی سنگ قابلیت برش سنگ کاهش می‌یابد.

- سختی

سختی عبارت است از مقاومتی که یک کانی یا سنگ در مقابل ابزار خراش‌دهنده (ساینده) از خود نشان می‌دهد، تا خراش (سایش) در آن ایجاد نشود. ابزار خراش‌دهنده در تماس با کانی یا سنگ بوده و طی حرکتی (نیرو) موجب ساینده‌گی کانی یا سنگ می‌شوند. همه کانی‌ها و یا سنگ‌ها در مقابل همه اجسام خراش‌دهنده انعطاف‌پذیری ندارند، به عبارت دیگر از نظر خراش‌دهندگی هم اجسام خراش‌دهنده و هم خراش‌پذیرنده طبقه‌بندی شده‌اند. اگر مقاومت سنگ در برابر خراش حاصل از جسم دیگر مورد نظر باشد، سختی استاتیکی نامیده می‌شود و در حالتی که سختی سنگ در برابر ضربه در نظر گرفته شود، سختی دینامیکی نامیده می‌شود. این دو سختی با یکدیگر مساوی نیستند (اصانلو، ۱۳۸۴).

- ساینده‌گی

در فرایند برش، ساینده‌گی به خاصیتی از سنگ اطلاق می‌شود. که قادر است، سگمنت‌هایی از جنس فولاد، کربورتنگستن، یا الماس را از بین ببرد. ساینده‌گی یک سنگ به سختی کانی‌ها، شکل و اندازه دانه‌ها، قفل‌شدگی دانه‌ها و ماتریس سنگ بستگی دارد. دانه‌های گوشه‌دار و تیز در مقایسه با دانه‌های گرد، سایش بیشتری ایجاد می‌کنند. همچنین تراشه‌های گوشه‌دار و تیز بر روی ابزارهای برش خراش‌های عمیق ایجاد کرده و مانع از خرد شدن سنگ، تحت انرژی منتقل شده از طرف سگمنت می‌شوند. از سوی دیگر خرده‌های ریز و گرد سنگ، باعث صیقل‌دادن سگمنت و کندی دیسک می‌شوند. ساینده‌گی در سنگ‌ها عموماً به سه عامل: میزان کوارتز محتوی، اندازه دانه‌ها، و مقاومت برشی سنگ‌ها بستگی دارد.

در این میان میزان سیلیس یا در حالت کلی کوارتز بسیار مورد تأکید بوده است. تشخیص خاصیت ساینده‌گی سنگ‌ها بر اساس وجود سیلیس امکان‌پذیر است.

- خواص الاستیک و پلاستیک

قابلیت تغییر شکل، نحوه شکست، و نوع شکست سنگ‌ها، به خاصیت الاستیک و پلاستیک آنها، بستگی دارد. بر اساس نحوه تغییر شکل سنگ به عنوان تابعی از تنش‌های تولید شده در اثر بارهای استاتیکی، سه گروه سنگ، قابل تفکیک است:

- الف) - الاستیک ترد، یا آن‌هایی که از قانون هوک تبعیت می‌کنند.
 - ب) - پلاستیک ترد، که قبل از شکستن تغییر شکل پلاستیک دارند.
 - ج) - فوق‌العاده پلاستیک، یا بسیار متخلخل، که در آن‌ها تغییر شکل الاستیک مشخصی وجود ندارد.
- اکثر کانی‌های موجود در سنگ، رفتار الاستیک ترد دارند. و از قانون هوک تبعیت می‌کنند. خواص الاستیک سنگ، توسط مدول الاستیک مشخص می‌شود.

برخی از محققین در مطالعات خود از مدول الاستیک و برخی دیگر نیز، از شاخص‌های تردی سنگ، برای بررسی و تحلیل فرایند برش استفاده کرده‌اند. مطالعات نشان می‌دهد. که با افزایش مدول الاستیک و شاخص‌های تردی سنگ، مقدار قابلیت برش سنگ کاهش می‌یابد (اصانلو، ۱۳۸۴).

▪ مشخصات ساختاری و محیطی سنگ

مشخصات ساختاری سنگ تابع عوامل زمین‌شناسی مانند لایه‌بندی، کلیواژ و جهت یافتگی کانی‌ها، درزه و ترک، سطوح گسل و یا هر نوع شکاف ناشی از گسل یا چین‌خوردگی است که شرایط مناسبی را برای تاثیر گذاری عوامل هوازدگی و یخبندان به وجود می‌آورند. (Ersoy and Atici, 2004)

از جمله مشخصات ساختاری سنگ، می‌توان به درزه، ترک، کلیواژ و جهت‌یافتگی کانی‌ها در سنگ اشاره کرد. بطور کلی عوامل محیطی شامل هوازدگی، درزه و ترک‌های مویی در سنگ، موجب کاهش پارامترهای مقاومتی سنگ شده، که در نتیجه آن قابلیت برش سنگ افزایش می‌یابد. بطوریکه می‌توان چنین استنباط کرد که با افزایش درزه و ترک‌های مویی در سنگ، قابلیت تراشه‌برداری سگمنت در یک مقدار ثابت از نیروی برش افزایش یافته، که به دنبال آن شاهد افزایش نرخ برش خواهیم بود. یکی دیگر از مشخصات ساختاری سنگ، کلیواژ و جهت‌یافتگی کانی‌ها است. به‌طور کلی از دیدگاه قابلیت برش سنگ هرچقدر میزان کانی‌های با سطح کلیواژ مشخص در بلوک سنگی بیشتر باشد سنگ راحت‌تر برش خواهد خورد. از طرفی افزایش درزه و شکاف که موجب کاهش پارامترهای مقاومتی می‌شود موجب مشکلاتی در برش افقی (کف بری) توسط ماشین برش اره زنجیری می‌گردد.

۲-۴-۷-۲ مشخصات ساختمانی ماشین اره زنجیری

انواع مدل‌های تولیدی ماشین‌های اره زنجیری توسط شرکت‌های مختلف دارای مشخصات متفاوتی می‌باشند که بسته به شرایط زمین‌شناسی، مشخصات ماده معدنی، طرح بهره‌برداری معدن کواری، شرایط

آب و هوایی و ... انتخاب میشود. تناسب میان پارامترهای عملیات استخراج و مشخصات ساختمانی ماشین برش اره زنجیری موجب کاهش مصرف انرژی و مدت زمان برش، بهبود کار از لحاظ فنی و اقتصادی (کاهش هزینه تمام شده کوب)، افزایش بهره وری از لحاظ نرخ تولید و... می شود.

۲-۴-۷-۳ پارامترهای عملیاتی

پارامترهای عملیاتی کلیدی که توسط اپراتور کنترل می شوند عبارتند از سرعت حرکت ماشین روی ریل، سرعت زنجیر و زاویه تیغه. مقادیر بهینه پارامترهای عملیاتی بر مبنای توصیه‌های شرکت سازنده و تجربه اپراتور ماشین برش اره زنجیری است. مهارت اپراتور از پارامترهای موثر در فرآیند برش سنگ است.

۲-۵ جمع بندی

در این فصل مشخصات سنگ‌های ساختمانی و بخصوص کربناته، روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی و بخصوص روش ماشین اره زنجیری، مشخصات فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و ساختاری سنگ‌های کربناته، مشخصات ماشین اره زنجیری، عوامل موثر بر عملکرد ماشین برش توضیح داده شده است، لذا لازم است با توجه به مزایای فراوان روش استخراج ماشین اره زنجیری که در این فصل تا حدودی به آن اشاره شد، برای حفظ ذخایر معدنی و افزایش بهره وری از لحاظ نرخ تولید و کاهش هزینه‌ها، جهت رقابت در بازارهای جهانی، و ارزآوری بیشتر، عملکرد این ماشین، بررسی و پارامترهای تأثیر گذار مطالعه و روابطی برای بهبود نرخ تولید بدست آید.

فصل سوم

سابقه علمی موضوع

۱-۳ مقدمه

تاکنون مطالعات بسیار زیادی در مورد روش استخراج ماشین برش اره زنجیری در معادن سنگ ساختمانی با موضوع پیش‌بینی نرخ برش سطحی صورت نگرفته است. در این میان عمده محققین به بررسی تاثیر مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ بر نرخ برش سطحی پرداخته‌اند. برخی نیز در مقیاس آزمایشگاهی به بررسی نرخ برش پرداخته‌اند. برخی از محققان در پژوهش خود، روابطی را نیز ارائه کرده‌اند که در این فصل به بررسی همه آنها پرداخته می‌شود.

۲-۳ مروری بر سابقه علمی موضوع

لیست پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده در مورد استخراج سنگ‌های ساختمانی توسط ماشین برش اره زنجیری به شرح جدول ۱-۳ است.

جدول ۱-۳ پژوهش‌های انجام شده توسط محققان در خصوص ماشین برش اره زنجیری

ردیف	محققان	موضوع تحقیق در زمینه استخراج معدن با ماشین برش اره زنجیری
۱	Sariisik and Sariisik, 2010	تحلیل کارایی ماشین های برش اره زنجیری در تولید کوب در معادن کواری تراورتن
۲	Copur et al, 2011	مطالعات میدانی و آزمایشگاهی روی سنگهای ساختمانی برای پیش بینی عملکرد ماشین های برش اره زنجیری
۳	Kos and Dervaric, 2012	فرایند تخصصی انتخات تجهیزات برای حفاری و استخراج سنگ ساختمانی در معدن لیبیکا
۴	Copur et al, 2013	عملکرد برش ماشین اره زنجیری در معادن کواری و آزمایشگاه
۵	Tumac et al, 2013	بررسی عملکرد ماشین اره زنجیری بر مبنای سختی و دیگر مشخصات مکانیکی سنگ
۶	Hekimoglu, 2014	مطالعات روی افزایش عملکرد ماشین های اره زنجیری برای حفاری مکانیکی مرمها و دیگر سنگ های ساختمانی
۷	Korman et al, 2015	شبیه سازی فرآیند برش اره زنجیری با ماشین خطی

ساریسیک و ساریسیک^۲ در سال ۲۰۱۰ به تحلیل بهره‌وری ماشین‌های برش اره زنجیری در تولید کوب در معادن تراورتن پرداختند. آن‌ها استفاده یک مدل ماشین برش اره زنجیری تولیدی کشور ترکیه با مشخصات مندرج در جدول ۳-۲ و دستگاه سیم برش الماسه با مشخصات مندرج در جدول ۳-۳ را در معادن تراورتن کالکیک و کوکاباس در ترکیه مورد تحلیل قرار دادند. ضمناً نتایج حاصله را مقایسه نمودند.

جدول ۳-۲ مشخصات ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده

دستگاه	توان الکتریکی (کیلو وات)	وزن (کیلوگرم)	چرخش بازو (درجه)	طول ریل	ضخامت برش (میلیمتر)	عمق برش مفید	سرعت زنجیر (متر بر)	سرعت برش (سانتیمتر)

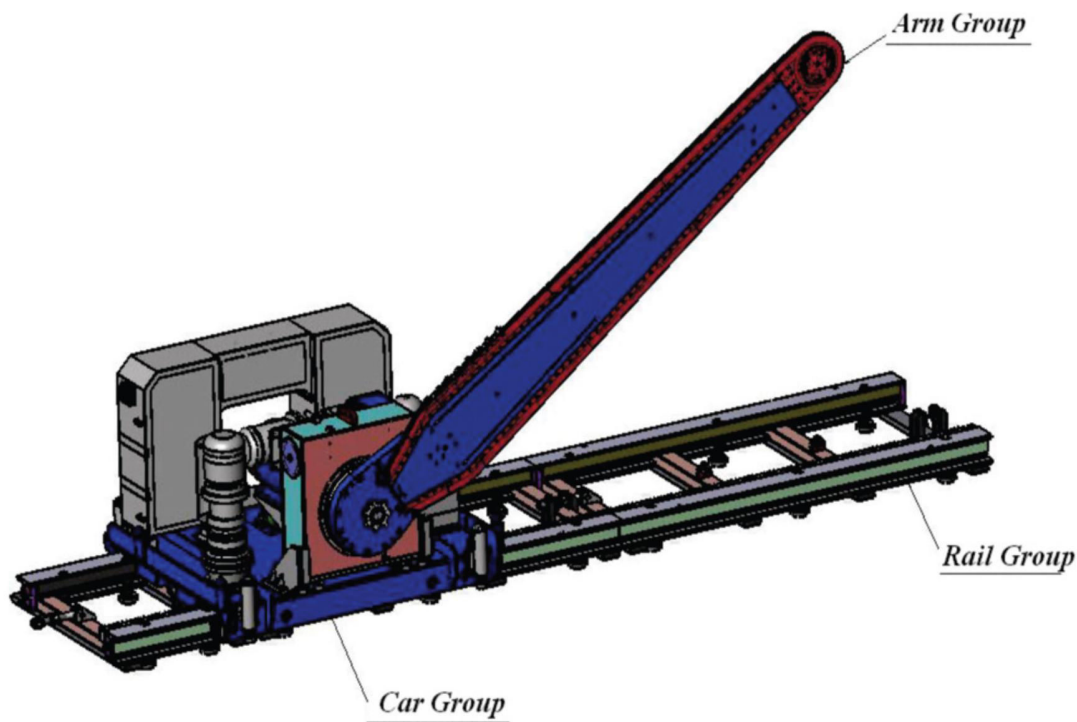
² Sariisik and Sariisik

ماشین اره زنجیری	۴۵	۸۱۰۰	۳۶۰	۹/۱	۴۲	۳/۴	۱/۵	۰-۱۸
------------------	----	------	-----	-----	----	-----	-----	------

جدول ۳-۳ مشخصات دستگاه سیم بر الماسه مورد استفاده

دستگاه	توان الکتریکی (کیلو وات)	وزن (کیلوگرم)	چرخش (درجه)	طول ریل (متر)	ضخامت برش (میلیمتر)	نیاز به آب	سرعت برش (متر مربع بر دقیقه)
سیم بر الماسه	۳۷	-	۳۶۰	۶	۱۱	✓	۱۲-۸

محققان در این تحقیق مراحل هر دو روش استخراج را توضیح داده اند. آنها اعتقاد داشتند پارامترهای موثر در روش استخراج ماشین اره زنجیری، در تولید کوب و در نهایت بهره وری معدن، شامل شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی معدن، مشخصات ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده و پارامترهای عملیاتی می باشند. در تحقیق مزبور، ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده به سه گروه بازو، دستگاه و ریل تقسیم شده است، که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱ بخش های کلی ماشین برش اره زنجیری (Sariisik, 2010)

مراحل روش استخراج ماشین اره زنجیری در شکل ۳-۲ آمده است، که در نهایت با استفاده از ماشین اره زنجیری مورد نظر با طول بازوی $3/4$ متری، سرعت برش ۹ تا ۱۰ متر مربع بر ساعت و ارتفاع سینه کار $3/2$ متری در معدن تراورتن کالکیک حاصل شده است.



شکل ۳-۲ مراحل روش استخراج ماشین اره زنجیری (Sariisik, 2010)

الف- استقرار ماشین ب- برش سنگ ج- آماده سازی جهت بلند کردن بلوک د- بلند کردن بلوک توسط ناخن های لودر

با توجه به معایب موجود در روش سیم بر الماسه از قبیل حفر چال و سقوط بلوک (شکل ۳-۳) و محاسن روش ماشین اره زنجیری از قبیل کاهش ارتفاع سینه کار، عدم توسعه ترک های بلوک و کاهش هزینه ها، بهره‌وری حاصل در معادن مذکور با استفاده از روش ماشین برش اره زنجیری، ۶۵-۸۰ درصد است که در مقایسه با روش سیم برش الماسه (۷-۱۴ درصد) قابل توجه است.



شکل ۳-۳ سقوط بلوک در روش استخراج سیم بر الماسه (Sariisik, 2010)

ضمناً روش برش اره زنجیری از لحاظ مونتاژ کردن و به کار انداختن در مقایسه با دیگر روش های برش بلوک آسانتر است و همچنین در مقایسه با دیگر روش ها، تعداد زیادی بلوک با هزینه پایین تر و در زمان یکسان در معادن سنگ ساختمانی به ویژه معادن سنگ تراورتن نتیجه می دهد (Sariisik and Sariisik, 2010).

کاپور و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۱ مطالعات میدانی و آزمایشگاهی (تست برش خطی) روی سنگ های ساختمانی شامل دو نوع تراورتن و سه نوع مرمریت برای پیش بینی عملکرد ماشین های برش اره زنجیری انجام دادند، که مشخصات نمونه ها در جدول ۳-۴ آمده است.

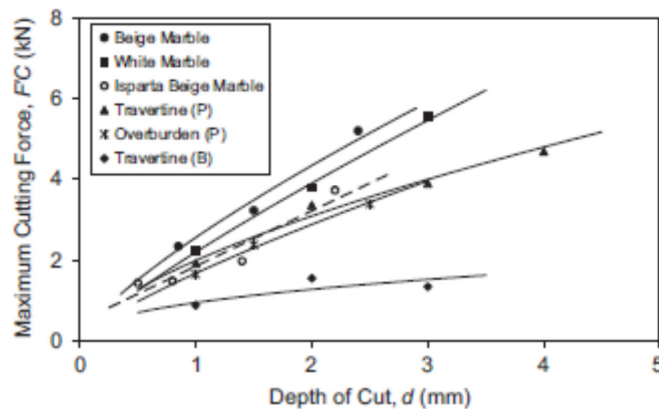
³ Copur et al

جدول ۳-۴ مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه های مرمیت و تراورتن (Copur et al, 2011)

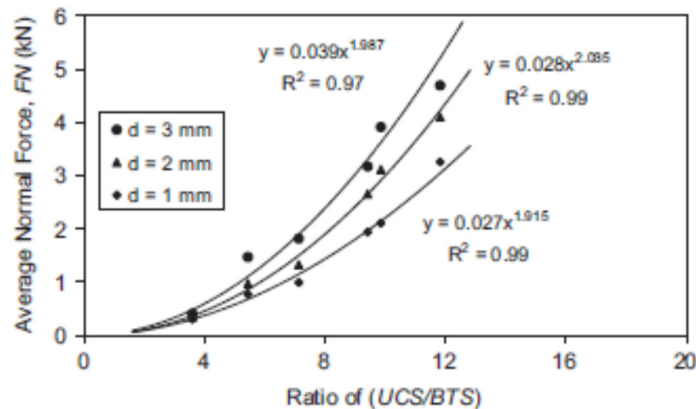
مشخصه	مرمیت قهوه ای	تراورتن B	تراورتن P	مرمیت سفید	مرمیت قهوه ای اسپار تا
چگالی (g/cm^3)	۲/۶۹	۱/۸۴	۲/۴۴	۲/۷	۲/۶۹
مقاومت فشاری تک محوره (Mpa)	۸۳/۷	۱۲/۷	۳۶/۷	۳۵/۸	۹۷/۶
مقاومت کششی برزیلی (MPa)	۸/۵	۳/۵۴	۶/۷۶	۵/۰۳	۸/۲۶
شاخص جذب سرشار	۱/۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۱/۵	۱
مدول الاستیسیته استاتیک (GPa)	۱۷/۱۷	۰/۵۹۳	-	۱۲/۲۲	-
نسبت پواسون استاتیک	۰/۲	۰/۱۹	-	۰/۲۸	-
تخلخل (%)	-	۱۸-۱۶	۸-۷	-	-
اندازه ذرات (mm)	۰/۱ >	۰/۱ >	۱ - ۰/۱	۲ - ۰/۵	-

کاپور و همکارانش در تحقیق خود دو مدل میدانی و آزمایشگاهی را مبنا قرار داده و اذعان داشتند بایستی نوع ماشین برش اهره زنجیری با مشخصات ماده معدنی موجود در معدن مطابقت داشته باشد و قبل از انتخاب مدل ماشین، مشخصات مکانیکی و فیزیکی ماده معدنی از قبیل مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی برزیلی، جرم مخصوص، شاخص جذب سرشار، مدول الاستیسیته استاتیک و

دینامیک، نسبت پواسون، تخلخل و مورد بررسی قرار گیرد، که پس از پژوهش و تحقیق متوجه شدند که از بین مشخصات فیزیکی و مکانیکی دو پارامتر مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی برزیلی، مهمترین آنها و موثرترین پارامترها هستند. اولین مدل میدانی بر مبنای شاخص نفوذ اره زنجیری بوده و مقاومت فشاری تک محوره سنگ، وزن ماشین اره زنجیری و عمق برش مفید بازو به عنوان پارامترهای پیش بینی کننده انتخاب شدند، و مدل دیگر بر مبنای نتایج آزمایشهای برش خطی بوده و انرژی ویژه به عنوان پارامترهای پیش بینی کننده انتخاب شده است. از نتایج تست برش خطی رابطه‌های میان عمق برش و ماکزیمم نیروی برش و نیروی نرمال متوسط به نسبت مقاومت کششی برزیلی به مقاومت فشاری تک محوره که به ترتیب در شکل های ۳-۴ و ۳-۵ به صورت نمودار نشان داده شده است، به طوری که در شکل ۳-۴ با افزایش عمق برش نیروی برش افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۴ رابطه نیروهای ماکزیمم ابزار به عمق برش (Hanifi Copur et al, 2011)



شکل ۳-۵ رابطه نیروی نرمال متوسط به نسبت مقاومت کششی برزیلی به مقاومت فشاری تک محوره (Copur et al, 2011)

در مجموع براساس تست‌های برش خطی، مشخصات فیزیکی و مکانیکی، مطالعات مدلسازی تجربی و اندازه‌گیری‌های میدانی، پارامترهای مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی برزیلی سنگ، عمق مفید بازوها و وزن ماشین برش‌اره زنجیری به عنوان پارامترهای پیش‌بینی کننده نتیجه شده است (Hanifi Copur et al, 2011).

کوس و درواریک^۴ در سال ۲۰۱۲ یک فرآیندی برای معدن سنگ آهک لیبیکا پیشنهاد دادند، که طی این فرآیند، بهترین انتخاب تجهیزات و ماشین آلات برای استخراج سنگ ساختمانی انجام شده است. آنها معتقد بودند در معادن کواری روش استخراج سنگ‌های ساختمانی باید توسعه یافته بوده و انتخاب ماشین آلات به پارامترهای زمین شناسی و ژئومکانیکی (فیزیکی و مکانیکی) وابسته است. توسعه تکنولوژیکی در استخراج سنگ‌های ساختمانی متناسب با گذر زمان متغیر و ادامه دارد. با توجه به تولید مدل‌های جدیدتر ماشین‌اره زنجیری با امکانات بیشتر و پیشرفته‌تر، استخراج سنگ ساختمانی با استفاده از ماشین برش‌اره زنجیری حاصل شده است (Kos and Dervark, 2012).

⁴ kos and Dervark

کاپور و همکاران^۵ در سال ۲۰۱۳ عملکرد برش ماشین‌های اره زنجیری در معدن کواری تراورتن باسارانلا در ترکیه و نمونه‌های آزمایشگاهی را مورد مطالعه و تحقیق قرار دادند. عملکرد ماشین اره زنجیری به شرایط زمین‌شناسی معدن، از قبیل دسته درزه، شیب و امتداد ذخیره ماده معدنی، مشخصات سنگ بکر از قبیل مقاومت فشاری تک محوره^۶، مقاومت کششی برزیلی^۷ مشخصات الاستیسیته و مشخصات پتروگرافی، پارامترهای مکانیکی از قبیل ظرفیت‌های گشتاور، توان، پرتاب، طول تیغه، طراحی یراق ابزار برش و مشخصات ابزار برش و پارامترهای عملیاتی شامل زاویه برش تیغه، سرعت چرخش زنجیر و سرعت حرکت ماشین بستگی دارد. در انتهای تحقیق انجام شده، نتیجه گرفتند که برای استخراج تراورتن، ترکیبی از دو روش ماشین اره زنجیری و دستگاه سیم برش الماسه تا ۲۰ درصد عملکرد استخراج را افزایش و بهبود می‌بخشد (Copur et al, 2013).

توماس و همکاران^۸ در سال ۲۰۱۳ عملکرد ماشین‌های برش اره زنجیری را با استفاده از پارامترهای سختی و دیگر مشخصات مکانیکی ماده معدنی پیش‌بینی نمودند. در این مطالعه شش نمونه سنگ ساختمانی متفاوت از شش معدن کواری در غرب ترکیه مورد آنالیز قرار گرفت. مشخصات مکانیکی مورد نظر در این تحقیق عبارتند از مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی برزیلی، شاخص جذب سرشار، شاخص سختی چکش اشمیت^۹ و شاخص سختی شور اسکروسکوپ^{۱۰}. وابستگی میان نرخ برش سطح (ANCR^{۱۱}) با هر یک از پارامترهای مکانیکی سنگ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ارتباط میان نرخ برش سطح با مقاومت فشاری تک محوره در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با افزایش مقاومت فشاری تک محوره، نرخ برش سطحی کاهش می‌یابد.

⁵ Copur et al

⁶ Uniaxial Compressive Strength

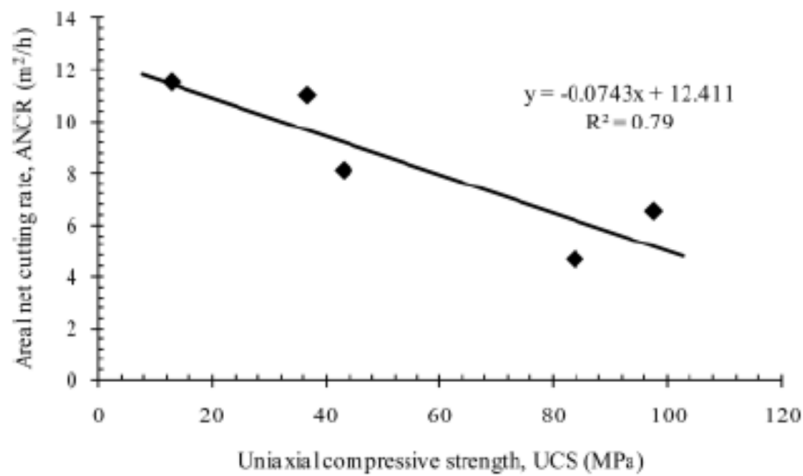
⁷ Brazilian Tension Strength

⁸ Tumac et al

⁹ Schmidt hammer hardness index

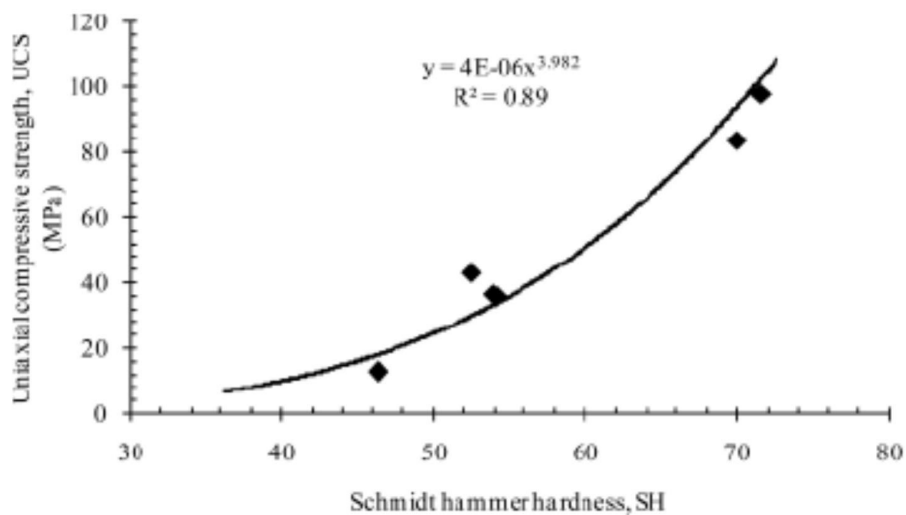
¹⁰ Shore scleroscope hardness index

¹¹ Areal net cutting rate

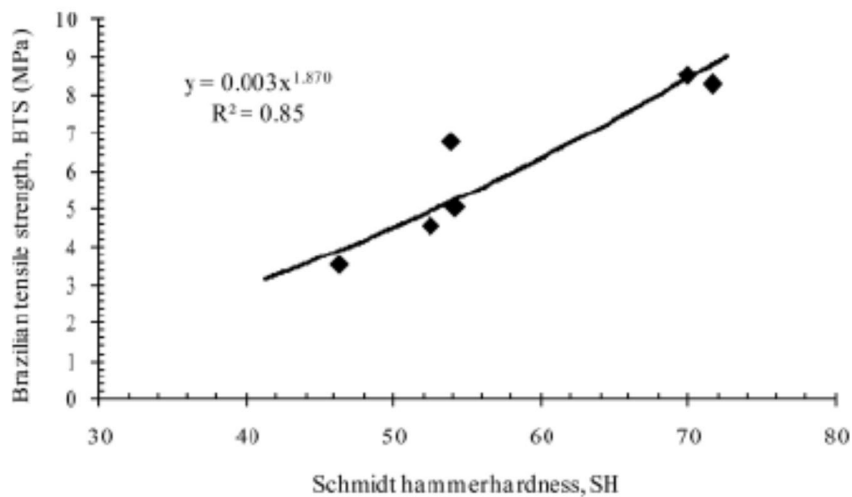


شکل ۳-۶ ارتباط میان مقاومت فشاری تک محوره سنگ با نرخ برش سطح (Tumac et al, 2013)

یکی از پارامترهای مهم مکانیکی سنگ، سختی است که رابطه مستقیمی با مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی برزیلی دارد، به طوری که در شکل‌های ۳-۷ و ۳-۸ مشاهده می‌شود با افزایش سختی ماده معدنی مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی برزیلی افزایش می‌یابد.

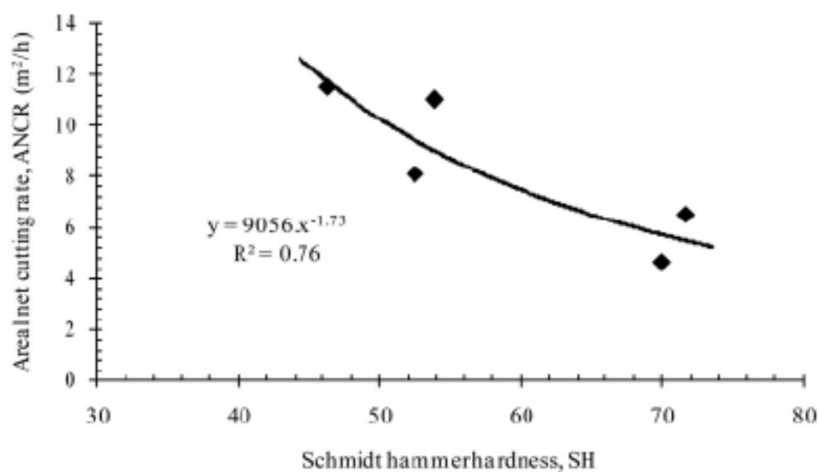


شکل ۳-۷ ارتباط میان مقاومت فشاری تک محوره سنگ با سختی سنگ (D.Tumac et al, 2013)



شکل ۳-۸ ارتباط میان مقاومت کششی برزیلی سنگ با سختی سنگ (D.Tumac et al, 2013)

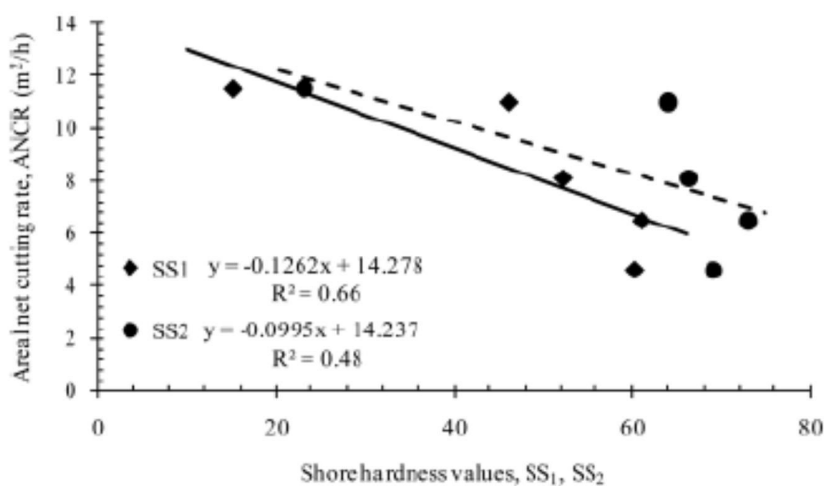
ارتباط میان نرخ برش سطح با پارامتر سختی چکش اشمیت در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می شود با افزایش پارامتر سختی، نرخ برش سطح کاهش می یابد.



شکل ۳-۹ ارتباط میان سختی چکش اشمیت سنگ با نرخ برش سطح (Tumac et al, 2013)

ارتباط میان نرخ برش سطحی با مقادیر پارامتر سختی شر اسکروسکوپ (SS_1^{12} و SS_2^{13}) نیز در

شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۰ ارتباط میان سختی شر اسکروسکوپ سنگ با نرخ برش سطحی (Tumac et al, 2013)

ضریب تغییر شکل K که پارامتری است وابسته به سختی شر اولیه و نهایی، از رابطه زیر محاسبه می

شود:

$$(1-2)$$

$$K = \frac{SS_2 - SS_1}{SS_1}$$

با توجه به شکل ۲-۱۱ توماس و همکارانش پس از بررسی، تحلیل و مقایسه ارتباط مشخصات

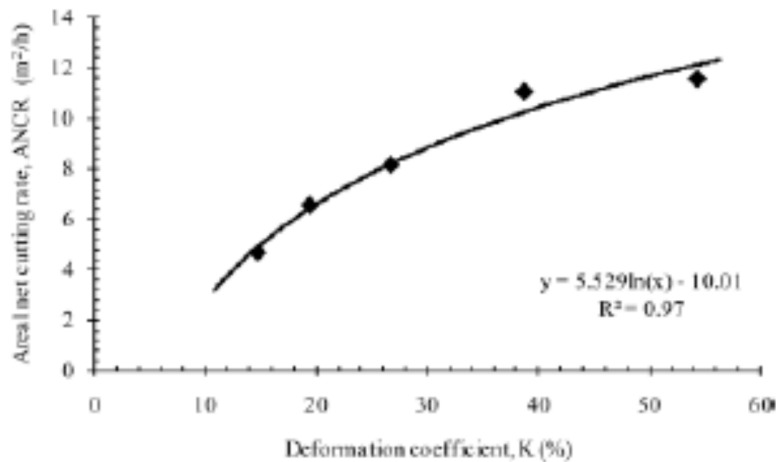
مکانیکی سنگ با نرخ برش سطحی، متوجه شدند وابستگی میان پارامتر سختی شر اسکروسکوپ سنگ و

نرخ برش سطحی ($R=0.97$) نسبت به سایر مشخصات مکانیکی، وابستگی بیشتری دارد (Tumac et al,)

(2013).

¹² First shore hardness

¹³ Final shore hardness



شکل ۳-۱۱ ارتباط میان ضریب تغییر شکل پذیری سنگ با نرخ برش سطح (Tumac et al, 2013)

هکیمگلو^{۱۴} در سال ۲۰۱۴ روی افزایش عملکرد ماشین های برش اره زنجیری برای استخراج سنگ های ساختمانی مطالعاتی انجام داد. در این تحقیق جهت افزایش عملکرد ماشین های برش اره زنجیری، بر روی بخشهای نرخ برش و کاهش سایش ابزار تمرکز شده است که با تغییر یراق ابزار اورجینال و بهبود آنها میزان سایش کاهش یافته و سبب افزایش عملکرد ماشین های برش اره زنجیری گردید. (Osmon

Zeki Hekimoglu, 2014)

کورمان و همکاران^{۱۵} در سال ۲۰۱۵ فرایند برش اره زنجیری را با ماشین برش خطی شبیه سازی کردند. مطالعات آزمایشگاهی برای یک نمونه سنگ ثابت و عمق برش های ۰/۲ تا ۰/۶ میلیمتر انجام شده است. در این شبیه سازی آزمایشگاهی به واقعیت، پارامتر اصلی انرژی ویژه برش می باشد. در بررسی عملکرد ماشین برش اره زنجیری با تمرکز بر انرژی ویژه برش، رابطه مستقیم عمق برش با انرژی ویژه برش و رابطه عکس سرعت اره با انرژی ویژه برش اثبات شده است. ضمن اینکه میزان بهینه سرعت اره به نیروی برش و سایش ابزار برش بستگی دارد (Tomislav Korman et al, 2015).

¹⁴ Osmon Zeki Hekimoglu

¹⁵ .Korman et al

۳-۳- جمع بندی

تعداد فعالیت‌های پژوهشی انجام شده در خصوص روش استخراج ماشین اره زنجیری در جهان محدود است، همانطور که در این فصل به تحقیقات انجام شده اشاره شده است، عمده تحقیقات مزبور براساس مطالعات آزمایشگاهی، مشخصات مکانیکی و فیزیکی ماده معدنی از قبیل مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی برزیلی، سختی و ... تنظیم شده است. از طرفی دیگر، پارامترهای عملیاتی قابل کنترل، تاثیر بسزایی در فرآیند برش، بهره وری از لجاظ نرخ تولید، مصرف انرژی، هزینه تمام شده کوب تولیدی و دارد که میزان این تاثیرپذیری تا به حال بررسی نشده و میزان بهینه این پارامترها حاصل نشده است.

فصل چہارم

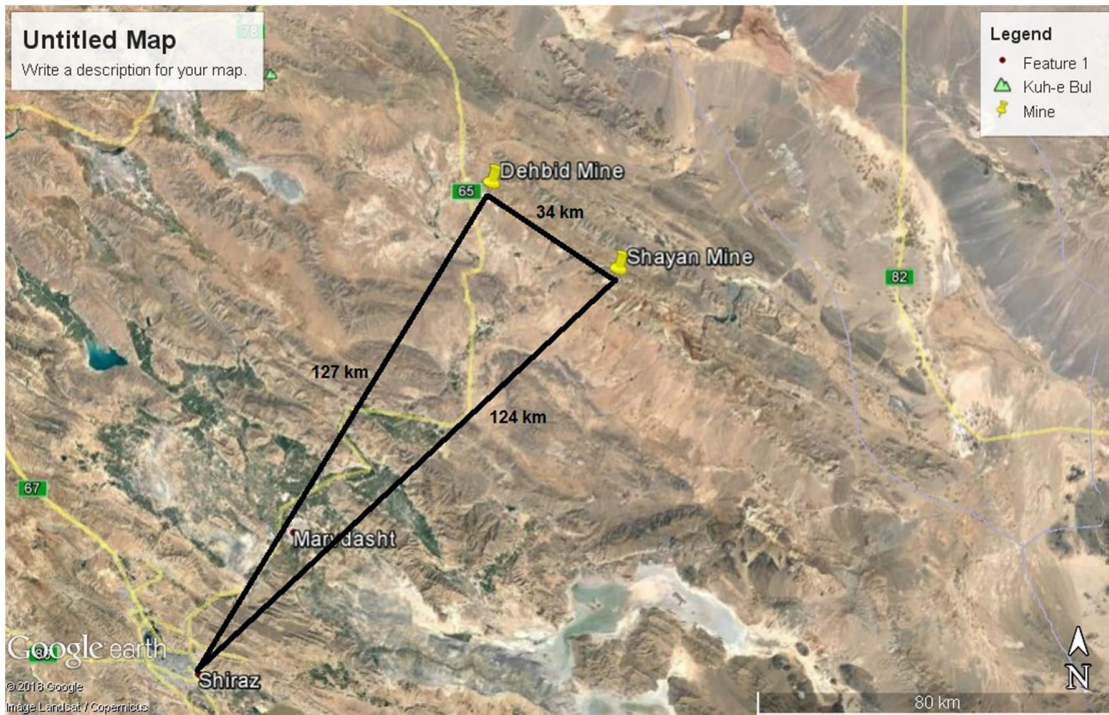
جمع آوری اطلاعات و ایجاد یک جامعہ آماری

۴-۱ مقدمه

در این رساله برای بررسی عملکرد ماشین برش اره زنجیری روی معادن سنگ ساختمانی مرمریت، با تمرکز بر موضوع پیش بینی نرخ برش سطحی، مطالعات میدانی و آزمایشگاهی صورت گرفته است. دو معدن سنگ ساختمانی مرمریت دهبید و شایان در استان فارس در نظر گرفته شده است، که ۷ سینه کار استخراجی فعال در معادن مذکور شامل ۴ سینه کار در معدن دهبید و ۳ سینه کار در معدن شایان مورد مطالعه این رساله بوده است. شایان ذکر است عملیات استخراج در سینه کارهای مذکور توسط یک مدل ماشین برش اره زنجیری انجام می‌گیرد. از هر سینه کار نمونه‌ای با ابعاد $30 \times 30 \times 30$ سانتیمتر برای ارسال به آزمایشگاه و انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی برداشت شد. همزمان با عملیات برداشت، اندازه‌گیری‌های میدانی نیز انجام گرفت.

۴-۲ معادن دهبید و شایان

معادن مرمریت دهبید و شایان واقع در استان فارس، شمال شرقی شهرستان شیراز، با ارتفاع به ترتیب ۲۴۵۰ متر و ۳۲۰۰ متر از سطح دریا، دارای ذخیره قطعی مرمریت به ترتیب ۱۹ میلیون تن و ۴ میلیون تن، تعداد پرسنل به ترتیب ۵۵۰ نفر و ۲۴۰ نفر و تولید سالانه ۳۰۰ هزار تن و ۱۰۰ هزار تن می‌باشد. شکل ۴-۱ موقعیت جغرافیایی معادن مورد نظر و فاصله دو معدن از یکدیگر را نشان می‌دهد معادن دهبید و شایان به ترتیب در فاصله ۱۲۷ کیلومتری و ۱۲۴ کیلومتری شمال شرقی شیراز قرار دارند، ضمن اینکه این معادن در فاصله ۳۴ کیلومتری از یکدیگر واقع شده‌اند.



شکل ۴-۱ موقعیت جغرافیایی معادن دهبید و شایان

شروع فعالیت معادن مذکور حدود ۳۰ سال قبل بوده است و در حال حاضر معدن دهبید شامل ۲۸ پله استخراجی و معدن شایان شامل ۱۸ پله استخراجی است. در شکل ۴-۲ نمایی از معادن مرمریت دهبید و شایان مشاهده می‌شود.



معدن مرمریت دهبید

معدن مرمریت شایان

شکل ۴-۲ معادن سنگ ساختمانی مورد مطالعه

۳-۴ مطالعات آزمایشگاهی

همانطور که در فصل‌های قبلی اشاره شد یکی از پارامترهای موثر بر عملکرد ماشین برش اره زنجیری، مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی سنگ مورد نظر می باشد. ۷ نمونه آزمایشگاهی مرمیت با ابعاد استاندارد حداقل ۳۰×۳۰×۳۰ سانتیمتر، شامل ۴ نمونه از معدن مرمیت دهبید و ۳ نمونه از معدن مرمیت شایان برداشت شد، به منظور بررسی ارتباط میان فرایند برش و مشخصات سنگ، نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال و مطالعات آزمایشگاهی انجام پذیرفت. هر نمونه برای تعیین خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی تحت شرایط استاندارد مورد آزمایش قرار گرفت.

۱-۳-۴ مطالعات فیزیکی نمونه‌ها

پارامترهای مهم فیزیکی سنگ عبارتند از جرم مخصوص، تخلخل و درصد جذب آب، که نتایج آنالیزهای انجام شده در آزمایشگاه برای نمونه‌های شماره ۱ تا شماره ۴ از معدن مرمیت دهبید و نمونه‌های شماره ۵ تا شماره ۷ از معدن مرمیت شایان در جدول ۴-۱ نمایش داده شده است.

۲-۳-۴ مطالعات مکانیکی نمونه‌ها

پارامترهای مهم مکانیکی سنگ عبارتند از مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی برزیلی، سایش لس‌آنجلس و سختی اشمیت، که نتایج آنالیزهای انجام شده در آزمایشگاه برای نمونه‌های شماره ۱ تا شماره ۴ از معدن مرمیت دهبید و نمونه‌های شماره ۵ تا شماره ۷ از معدن مرمیت شایان در جدول ۴-۱ نمایش داده شده است.

۳-۳-۴ مطالعات شیمیایی نمونه‌ها

از مطالعات شیمیایی مورد نیاز، با استفاده از دستگاه XRF درصد کوارتز هر نمونه آنالیز شد، که در جدول شماره ۴-۱ وارد شده است.

شماره نمونه	موقعیت در کارگاه	مختصات جغرافیایی DMS	ارتفاع از سطح دریا (متر)	جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)	مقاومت کششی برزیلی (مگا پاسکال)	سایش لس آنجلس (درصد)	درصد کوارتز	جذب آب (درصد)	تخلخل (درصد)	سختی اشمیت	اندازه دانه ها (میلیمتر)
۱	پله ۲۷	۳۰° ۳۲' ۳۲.۹" ۵۳° ۱۳' ۵۴.۵"	۲۴۶۰	۲/۷۱	۹۱/۷	۸/۵۵	۳/۴	۰/۹	۰/۵	۱	۶۸	۱/۵
۲	پله ۲۶	۳۰° ۳۲' ۳۲.۵" ۵۳° ۱۳' ۵۴.۵"	۲۴۶۸	۲/۷۲	۹۸/۸	۸/۹۵	۲/۸	۰/۸۵	۰/۴	۰/۸	۷۰	۱/۳
۳	پله ۲۶	۳۰° ۳۲' ۳۲.۴" ۵۳° ۱۳' ۵۳.۸"	۲۴۶۸	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱
۴	پله ۲۵	۳۰° ۳۲' ۳۲" ۵۳° ۱۳' ۵۳.۴"	۲۴۷۶	۲/۷	۹۰	۸	۳/۱	۰/۹۲	۰/۸	۱/۵	۷۲	۰/۵
۵	پله ۱۷	۳۰° ۲۲' ۰.۶" ۵۳° ۲۲' ۱۵.۵"	۳۱۱۰	۲/۷۵	۹۹/۰.۵	۷/۹	۲/۹	۱/۷	۰/۹	۰/۹	۶۹	۱/۷
۶	پله ۱۶	۳۰° ۲۲' ۷.۴" ۵۳° ۲۲' ۱۳.۴"	۳۱۱۸	۲/۶۹	۱۰۹/۱	۸/۳۵	۲/۴	۲/۳	۰/۸	۰/۸	۷۶	۱/۵
۷	پله ۱۵	۳۰° ۲۲' ۸.۶" ۵۳° ۲۲' ۱۱.۵"	۳۱۲۶	۲/۶۵	۱۰۵	۸/۲۴	۲	۲/۱	۰/۳	۰/۸	۷۳	۰/۵

جدول ۴-۱ نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی نمونه‌ها

۴-۴ مشخصات ماشین برش اره زنجیری

در معدن دهبید تعداد ۹ ماشین برش اره زنجیری تولیدی شرکت فانتینی با مدل‌های مختلف و در معدن شایان تعداد ۳ ماشین برش اره زنجیری تولیدی شرکت فانتینی و ۲ ماشین برش اره زنجیری تولیدی شرکت بنیتی برای استخراج ماده معدنی استفاده می‌شود. به منظور یکسان بودن شرایط مطالعات میدانی، ماشین اره زنجیری مورد استفاده در هر دو معدن که شامل ۷ سینه کار استخراجی می‌شود از یک مدل و با مشخصات یکسان بوده است. شکل شماره ۳-۴ ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده در این رساله را نشان می‌دهد که مشخصات ماشین مورد نظر به شرح جدول شماره ۲-۴ می‌باشد.



شکل ۳-۴ ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده در معدن مورد مطالعه

جدول ۴-۲ مشخصات ماشین برش اره زنجیری مورد استفاده در رساله

شرکت تولید کننده	مدل	طول تیغه (متر)	طول مفید برش (متر)	توان الکتریکی (کیلو وات)	وزن ماشین به همراه ریل (کیلوگرم)	سرعت حرکت دستگاه (سانتیمتر بر دقیقه)	سرعت اره (متر بر ثانیه)	ضخامت برش (میلیمتر)	چرخش بازو (درجه)	حجم مخزن هیدرولیک (لیتر)
Fantini	70RA/PA	۷/۲	۶/۳	۵۰	۱۰۵۰۰	۰-۱۳	۰/۱-۰/۷	۳۸	۳۶۰	۳۰۰

۴-۵ مطالعات میدانی

پارامترهای عملیاتی یکی از پارامترهای موثر بر عملکرد ماشین برش اره زنجیری از لحاظ نرخ برش سطحی می‌باشد، لذا در این رساله ارزیابی عملکرد ماشین اره زنجیری بر همین اساس انجام گرفته است. پارامترهای عملیاتی قابل کنترل شامل سرعت ماشین روی ریل، زاویه تیغه و سرعت زنجیر می‌باشد به طوری که اپراتور دستگاه می‌تواند با انتخاب صحیح پارامترهای مذکور، به نرخ برش سطحی بهینه و در نهایت به نرخ تولید و بهره‌وری بالای معدن منجر می‌شود. لذا بدین منظور اندازه‌گیری‌های میدانی انجام گرفت به طوری که تمامی سینه‌کارهای مورد مطالعه این تحقیق در شرایط یکسان با تغییر پارامترهای عملیاتی مورد ارزیابی قرار گرفت و طبق جداول ۴-۳ تا ۴-۹ پارامتر نرخ برش سطحی برای نمونه‌های ۱ تا ۷ که مربوط به سینه‌کارهای معرفی شده می‌باشند در تمامی حالات ممکن اندازه‌گیری شد.

جدول ۳-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۱ برای مدلسازی

اندازه دانه ها (میلیمتر)	سختی اشمیت	تخلخل (درصد)	جذب آب (درصد)	درصد کوارتز	سایش لس آنچلس (درصد)	مقاومت کششی برزیلی (مگا پاسکال)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)	جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	نرخ برش سطحی (مترمربع بر ساعت)	توان دستگاه (کیلو وات)	سرعت دستگاه (سانتیمتر بر دقیقه)	سرعت اره (متر بر ثانیه)	زاویه تیغه (درجه)	ردیف	شماره نمونه
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۳/۸	۲۱	۸	۷/۵	۶۵	۱	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۵	۲۱	۸	۷/۵	۷۰	۲	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۸۵	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۳	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۰۱	۲۱	۸	۷/۵	۸۰	۴	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴	۲۱	۸	۷/۵	۸۵	۵	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۳/۴	۲۱	۸	۶	۷۵	۶	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۱	۲۱	۸	۷	۷۵	۷	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۸۵	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۸	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۸۵	۲۱	۸	۸	۷۵	۹	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۸۵	۲۱	۸	۸/۵	۷۵	۱۰	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۳	۲۱	۶/۵	۷/۵	۷۵	۱۱	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴	۲۱	۷	۷/۵	۷۵	۱۲	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۷۳	۲۱	۷/۵	۷/۵	۷۵	۱۳	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۴/۹۵	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۱۴	۱
۱/۵	۶۸	۱/۰	۰/۵	۰/۹	۳/۴	۸/۶	۹۲	۲/۷	۰	۲۱	۸/۵	۷/۵	۷۵	۱۵	۱

جدول ۴-۴ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۲ برای مدلسازی

اندازه دانه ها (میلیمتر)	سختی اشمیت	تخلخل (درصد)	جذب آب (درصد)	درصد کوارتز	سایش لس آنجلس (درصد)	مقاومت کششی برزیلی (مگا پاسکال)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)	جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	نرخ برش سطحی (مترمربع بر ساعت)	توان دستگاه (کیلو وات)	سرعت دستگاه (سانتیمتر بر دقیقه)	سرعت اره (متر بر ثانیه)	زاویه تیغه (درجه)	ردیف	شماره نمونه
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۳/۵	۲۱	۸	۷/۵	۶۵	۱	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۴	۲۱	۸	۷/۵	۷۰	۲	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۴/۱	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۳	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۳/۸	۲۱	۸	۷/۵	۸۰	۴	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۳/۵	۲۱	۸	۷/۵	۸۵	۵	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۳	۲۱	۸	۶	۷۵	۶	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۳/۵	۲۱	۸	۷	۷۵	۷	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۴/۲	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۸	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۴/۲	۲۱	۸	۸	۷۵	۹	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۴/۲	۲۱	۸	۸/۵	۷۵	۱۰	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۳	۲۱	۶/۵	۷/۵	۷۵	۱۱	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۳/۵	۲۱	۷	۷/۵	۷۵	۱۲	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۳/۹	۲۱	۷/۵	۷/۵	۷۵	۱۳	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۴/۱	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۱۴	۲
۱/۳	۷۰	۰/۸	۰/۴	۰/۹	۲/۸	۹/۰	۹۹	۲/۷	۰	۲۱	۸/۵	۷/۵	۷۵	۱۵	۲

جدول ۴-۵ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۳ برای مدلسازی

شماره نمونه	ردیف	زاویه تیغه (درجه)	سرعت اره (متر بر ثانیه)	سرعت دستگاه (سانتیمتر بر دقیقه)	توان دستگاه (کیلو وات)	نرخ برش سطحی (متر مربع بر ساعت)	جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)	مقاومت کششی برزیلی (مگا پاسکال)	سایش لس آنجلس (درصد)	درصد کوارتز	جذب آب (درصد)	تخلخل (درصد)	سختی اشمیت	اندازه دانه ها (میلیمتر)
۳	۱	۶۵	۷/۵	۸	۲۱	۳/۷	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۲	۷۰	۷/۵	۸	۲۱	۴/۳	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۳	۷۵	۷/۵	۸	۲۱	۴/۳	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۴	۸۰	۷/۵	۸	۲۱	۴/۳	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۵	۸۵	۷/۵	۸	۲۱	۳/۳	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۶	۷۵	۶	۸	۲۱	۲/۸	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۷	۷۵	۷	۸	۲۱	۲/۹	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۸	۷۵	۷/۵	۸	۲۱	۳/۵	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۹	۷۵	۸	۸	۲۱	۳/۵	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۱۰	۷۵	۸/۵	۸	۲۱	۳/۵	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۱۱	۷۵	۷/۵	۶/۵	۲۱	۳	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۱۲	۷۵	۷/۵	۷	۲۱	۳/۴	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۱۳	۷۵	۷/۵	۷/۵	۲۱	۴	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۱۴	۷۵	۷/۵	۸	۲۱	۴/۳	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰
۳	۱۵	۷۵	۷/۵	۸/۵	۲۱	۰	۲/۷	۱۰۰	۹/۱	۳/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۷۱	۱/۰

جدول ۴-۶ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۴ برای مدلسازی

اندازه دانه ها (میلیمتر)	سختی اشمیت	تخلخل (درصد)	جذب آب (درصد)	درصد کوارتز	سایش لس آنجلس (درصد)	مقاومت کششی برزیلی (مگا پاسکال)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)	جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	نرخ برش سطحی (مترمربع بر ساعت)	توان دستگاه (کیلو وات)	سرعت دستگاه (سانتیمتر بر دقیقه)	سرعت اره (متر بر ثانیه)	زاویه تیغه (درجه)	ردیف	شماره نمونه
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۳/۲	۲۱	۸	۷/۵	۶۵	۱	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۳/۵	۲۱	۸	۷/۵	۷۰	۲	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۳/۶	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۳	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۳/۸	۲۱	۸	۷/۵	۸۰	۴	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۲/۹	۲۱	۸	۷/۵	۸۵	۵	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۲/۸	۲۱	۸	۶	۷۵	۶	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۳/۴	۲۱	۸	۷	۷۵	۷	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۴	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۸	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۴/۲	۲۱	۸	۸	۷۵	۹	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۴/۲	۲۱	۸	۸/۵	۷۵	۱۰	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۲/۹	۲۱	۶/۵	۷/۵	۷۵	۱۱	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۲/۳	۲۱	۷	۷/۵	۷۵	۱۲	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۳/۴	۲۱	۷/۵	۷/۵	۷۵	۱۳	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۴	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۱۴	۴
۰/۵	۷۲	۱/۵	۰/۸	۰/۹	۳/۱	۸/۰	۹۰	۲/۷	۰	۲۱	۸/۵	۷/۵	۷۵	۱۵	۴

جدول ۴-۷ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۵ برای مدلسازی

اندازه دانه ها (میلیمتر)	سختی اشمیت	تخلخل (درصد)	جذب آب (درصد)	درصد کوارتز	سایش لس آنجلس (درصد)	مقاومت کششی برزیلی (مگا پاسکال)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)	جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	نرخ برش سطحی (مترمربع بر ساعت)	توان دستگاه (کیلو وات)	سرعت دستگاه (سانتیمتر بر دقیقه)	سرعت اره (متر بر ثانیه)	زاویه تیغه (درجه)	ردیف	شماره نمونه
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۶	۲۱	۸	۷/۵	۶۵	۱	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۸	۲۱	۸	۷/۵	۷۰	۲	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۹	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۳	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۶	۲۱	۸	۷/۵	۸۰	۴	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۴	۲۱	۸	۷/۵	۸۵	۵	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۴	۲۱	۸	۶	۷۵	۶	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۷	۲۱	۸	۷	۷۵	۷	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۳	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۸	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۳/۱	۲۱	۸	۸	۷۵	۹	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۳/۱	۲۱	۸	۸/۵	۷۵	۱۰	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۲	۲۱	۶/۵	۷/۵	۷۵	۱۱	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۵	۲۱	۷	۷/۵	۷۵	۱۲	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۹	۲۱	۷/۵	۷/۵	۷۵	۱۳	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۲/۹	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۱۴	۵
۱/۵	۷۶	۰/۸	۰/۸	۲/۳	۲/۴	۸/۴	۱۰۹	۲/۷	۰	۲۱	۸/۵	۷/۵	۷۵	۱۵	۵

جدول ۴-۸ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۶ برای مدلسازی

اندازه دانه ها (میلیمتر)	سختی اشمیت	تخلخل (درصد)	جذب آب (درصد)	درصد کوارتز	سایش لس آنجلس (درصد)	مقاومت کششی برزیلی (مگا پاسکال)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)	جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	نرخ برش سطحی (مترمربع بر ساعت)	توان دستگاه (کیلو وات)	سرعت دستگاه (سانتیمتر بر دقیقه)	سرعت اره (متر بر ثانیه)	زاویه تیغه (درجه)	ردیف	شماره نمونه
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۸	۲۱	۸	۷/۵	۶۵	۱	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۳	۲۱	۸	۷/۵	۷۰	۲	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۳	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۳	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۹	۲۱	۸	۷/۵	۸۰	۴	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۴	۲۱	۸	۷/۵	۸۵	۵	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲	۲۱	۸	۶	۷۵	۶	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۴	۲۱	۸	۷	۷۵	۷	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۹	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۸	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۹	۲۱	۸	۸	۷۵	۹	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۹	۲۱	۸	۸/۵	۷۵	۱۰	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۱	۲۱	۶/۵	۷/۵	۷۵	۱۱	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۵	۲۱	۷	۷/۵	۷۵	۱۲	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۶	۲۱	۷/۵	۷/۵	۷۵	۱۳	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۲/۸	۲۱	۸	۷/۵	۷۵	۱۴	۶
۰/۵	۷۳	۰/۸	۰/۳	۲/۱	۲/۰	۸/۲	۱۰۵	۲/۷	۰	۲۱	۸/۵	۷/۵	۷۵	۱۵	۶

جدول ۴-۹ نتایج مطالعات میدانی نمونه شماره ۷ برای مدلسازی

شماره نمونه	ردیف	زاویه تیغه (درجه)	سرعت اره (متر بر ثانیه)	سرعت دستگاه (سانتیمتر بر دقیقه)	توان دستگاه (کیلو وات)	نرخ برش سطحی (متر مربع بر ساعت)	جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)	مقاومت کششی برزیلی (مگا پاسکال)	سایش لس آنجلس (درصد)	درصد کوارتز	جذب آب (درصد)	تخلخل (درصد)	سختی اشمیت	اندازه دانه ها (میلیمتر)
۷	۱	۶۵	۷/۵	۸	۲۱	۱/۸	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۲	۷۰	۷/۵	۸	۲۱	۱/۸	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۳	۷۵	۷/۵	۸	۲۱	۲/۴	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۴	۸۰	۷/۵	۸	۲۱	۲	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۵	۸۵	۷/۵	۸	۲۱	۲	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۶	۷۵	۶	۸	۲۱	۱/۶	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۷	۷۵	۷	۸	۲۱	۲	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۸	۷۵	۷/۵	۸	۲۱	۲/۳	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۹	۷۵	۸	۸	۲۱	۲/۴	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۱۰	۷۵	۸/۵	۸	۲۱	۲/۴	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۱۱	۷۵	۷/۵	۶/۵	۲۱	۱/۴	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۱۲	۷۵	۷/۵	۷	۲۱	۱/۸	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۱۳	۷۵	۷/۵	۷/۵	۲۱	۲/۲	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۱۴	۷۵	۷/۵	۸	۲۱	۲/۵	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳
۷	۱۵	۷۵	۷/۵	۸/۵	۲۱	۰	۲/۷	۱۱۱	۸/۹	۲/۳	۲/۲	۰/۳	۰/۳	۷۷	۰/۳

۴-۶ جمع بندی

مطالب مذکور در این فصل به مطالعات آزمایشگاهی و میدانی خلاصه می‌شود به طوری که مطالعات آزمایشگاهی شامل آنالیزهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مورد نیاز و مطالعات میدانی شامل اندازه-گیری‌های نرخ برش سطحی با تغییر پارامترهای عملیاتی ماشین برش اره زنجیری می‌شود. آنالیزهای آزمایشگاهی و اندازه‌گیری‌های میدانی برای ۷ سینه کار فعال معادن مرمريت دهبید و شایان انجام شده است. در نهایت جامعه آماری (پایگاه داده‌ها) شامل ۹۸ داده، متشکل از اطلاعات ۷ نمونه سنگ مرمريت برای مدل‌سازی به منظور پیش‌بینی و ارزیابی عملکرد ماشین برش اره زنجیری ایجاد شد.

فصل پنجم

ارائه مدل‌های پیش‌بینی نرخ برش

سنگ‌های کربناته

هدف از تعیین عوامل موثر بر نرخ برش سنگ‌های کربناته، تعیین مدلی برای پیش‌بینی نرخ برش سطحی سنگ با توجه به خصوصیات آن می‌باشد که بایستی درصد تاثیرگذاری عوامل موثر انجام گیرد. از روش‌های مطالعه روابط بین متغیرها و تعیین نحوه وابستگی یک متغیر به متغیرهای دیگر، می‌توان به تحلیل رگرسیون و انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی روش گروهی مدیریت داده‌ها (GMDH)^۱، روش پرسپترون چند لایه (MLP)^۲ و روش عصبی مصنوعی شعاعی (RBF)^۳ اشاره نمود.

تحلیل رگرسیون که در واقع همان الگوی روابط بین متغیرها می‌باشد ممکن است به صورت خطی یا غیرخطی باشد. قبل از انجام عملیات رگرسیون لازم است نرمال بودن داده‌ها و عدم همبستگی^۴ بالا بین متغیرها مورد بررسی قرار گیرد. پس از آن برای انتخاب مهمترین و تاثیرگذارترین پارامترها از روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)^۵ استفاده شده است. این روش تکنیکی است برای یافتن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته، در شرایطی که تعداد زیادی متغیر وجود داشته باشد، بنابراین در این مطالعه از این روش به عنوان یک روش مناسب برای کاهش حجم متغیرها و استخراج پارامترهای موثر استفاده می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی با شبیه سازی بخشی از عملکرد مغز، توانایی‌های بسیار مناسبی در حل مسایل مربوط به یادگیری، بازشناسی الگو، سیستم‌های کنترلی و پردازش تصویر از خود نشان داده‌اند. توانایی بالا در بررسی و پیش‌بینی دقیق و صحیح از نرخ تولید سنگ‌های ساختمانی یکی از مهمترین فاکتورهای افزایش بهره‌وری در معادن کواری سنگ ساختمانی می‌باشد. بر این اساس هدف از این مطالعه، بررسی و پیش‌بینی نرخ تولید سنگ‌های ساختمانی توسط ماشین برش اره زنجیری بر اساس شبکه‌های عصبی

^۱ Group Method of Data Handling -type Neural Network

^۲ Multi layers Perceptron

^۳ Radial Basis Function

^۴ Correlation

^۵ Principal Component Analysis

مصنوعی می باشد. از این رو در این مطالعه از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی GMDH، MLP و RBF استفاده شده است.

۵-۲ مدل‌های رگرسیون

تحلیل رگرسیون شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها است که برای یافتن روابط بین متغیرهای تاثیرگذار مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس کار رگرسیون، بررسی و شناخت رفتار بین متغیرها است. در مدل‌های رگرسیونی یک متغیر به عنوان متغیر وابسته^۶ (متغیر پاسخ) در نظر گرفته می‌شود و دیگر متغیرها نقش متغیرهای مستقل^۷ را ایفا می‌کنند. در این مدل‌ها در ساده‌ترین حالت، تغییرات متغیر وابسته با توجه به یک متغیر مستقل پیش‌بینی می‌شود (وایزبرگ، ۱۳۷۴). در حالی که رگرسیون چندگانه^۸ پیش‌بینی متغیر وابسته با استفاده از ترکیب خطی یا غیر خطی چند متغیر مستقل انجام می‌گیرد. رگرسیون چندگانه در اصل، توسعه یافته همان روش رگرسیون ساده است که بیش از یک متغیر مستقل در آن وجود دارد. در این روش به جای استفاده از یک متغیر مستقل برای توضیح دادن متغیر وابسته، از چند متغیر مستقل برای پیش‌بینی، توضیح و تفسیر متغیر وابسته استفاده می‌شود (والپول، ۱۳۵۷). پس با استفاده از مدل‌های رگرسیون چندگانه می‌توان تغییرات موجود در متغیر وابسته را بهتر و کامل‌تر توضیح داد و مدل دقیق‌تر و جامع‌تری به دست آورد.

به طور کلی تحلیل رگرسیونی در چهار مرحله اساسی انجام می‌گیرد. این مراحل شامل انتخاب متغیر، جمع‌آوری داده‌ها، تشخیص و برازش الگو و اعتبارسنجی^۹ مدل است. مساله قابل توجه این است که در بسیاری از تحلیل‌های آماری برای حصول اطمینان از نتایج به دست آمده نیاز به انجام انواع آزمون‌های پارامتری احساس می‌شود که در اغلب این آزمون‌ها فرضیات مقدماتی زیادی وجود دارد. یکی از مهم‌ترین

⁶ Dependent variable

⁷ Independent variable

⁸ Multiple regression

⁹ Evaluation

و شایع‌ترین فرضیات، فرض نرمال بودن داده‌ها است. با توجه به اینکه قبل از انجام رگرسیون بایستی همبستگی بین متغیرها مورد بررسی قرار گیرد، در ابتدا لازم است که از نرمال بودن داده‌ها اطمینان کافی حاصل شود. بنابراین قبل از تشخیص و برازش الگو بایستی نرمال بودن داده‌های جمع‌آوری شده و عدم همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه مورد بررسی قرار گیرد.

مرحله بعد بررسی همبستگی متغیرها می‌باشد که تحلیل همبستگی شاخصی آماری است که نوع و شدت رابطه بین دو متغیر را توصیف می‌کند. یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر، ضریب همبستگی است. این ضریب در مورد توزیع‌های دو یا چند متغیره به کار می‌رود و در واقع رابطه بین دو متغیر (مستقیم یا معکوس) را بدون در نظر گرفتن مقیاس‌های آن‌ها نشان می‌دهد.

۵-۲-۱ مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی

برای پیش‌بینی نرخ برش با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه از روش ورود توام، که در آن کلیه متغیرهای مستقل به صورت همزمان وارد تحلیل می‌شوند، در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. برای رسیدن به این رابطه، نرخ برش به عنوان متغیر وابسته و مقاومت فشاری تک محوره، سایش لوس‌آنجلس، سختی چکش اشمیت به عنوان متغیرهای مستقل، در مدل وارد شدند. اولین مرحله پس از تعیین هر رابطه رگرسیونی بررسی معنی‌داری کل مدل رگرسیون و معنی‌داری تک تک ضرایب متغیرهای مستقل است. از آنجایی که مشکل اصلی در مدل‌های رگرسیونی، مساله وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است. قبل از انجام رگرسیون همبستگی بین متغیرها بررسی شده است. در جدول ۵-۱ حالات بررسی شده در این رساله برای ارائه مدل‌های رگرسیونی چند متغیره خطی معرفی شده است، به طوری که در مدل‌ها نرخ برش سطحی (Ph) به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای عملیاتی اعم از سرعت زنجیر^{۱۰}،

¹⁰ Chain Speed

سرعت دستگاه^{۱۱} و زاویه اره^{۱۲} و مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ اعم از مقاومت فشاری تک محوره (UCS)، سایش لس آنجلس (Los) و سختی چکش اشمیت (Sch) به عنوان پارامترهای مستقل در نظر گرفته شده است.

جدول ۵-۱- حالات بررسی شده مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی

متغیر مستقل						متغیر وابسته	شماره مدل
Sch	LOS	UCS	Machine Speed	Chain Speed	Saw Angle	Ph	
	✓	✓				✓	۱
✓	✓					✓	۲
✓		✓				✓	۳
✓	✓	✓				✓	۴
			✓	✓	✓	✓	۵
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۶

باید معنی‌داری کل مدل رگرسیون، معنی‌داری تک تک ضرایب متغیرهای مستقل، فرض استقلال خطاها، نرمال بودن خطاها و عدم هم‌خطی متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گیرد. به همین منظور جدول ANOVA برای بررسی سطح معنی‌داری به دست آمده است. خلاصه مدل‌ها، ضرایب رگرسیون، هم‌خطی

¹¹ Machine Speed

¹² Saw Angle

متغیرها و در نهایت تحلیل واریانس مدل‌های شماره ۱ تا ۶ در جداول ۲-۵ تا ۱۹-۵ نمایش داده شده است.

جدول ۲-۵- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۱

خطای استاندارد تخمینی	R^2 تعدیل یافته	R^2	R
۰/۲۱۱	۰/۸۸۴	۰/۹۲۳	۰/۹۶۱

جدول ۳-۵- ضرایب رگرسیون و هم‌خطی متغیرها برای مدل شماره ۱

سطح معنی داری	اندازه‌های t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد شده		متغیر مستقل
		Beta	خطای استاندارد	B	
۰/۰۰۵	۵/۵۱۵		۲/۱۵۷	۱۱/۸۹۵	ثابت
۰/۰۲۸	-۳/۳۸۵	-۰/۸۳۱	۰/۰۱۹	-۰/۶۴	UCS
۰/۵۶۷	-۰/۶۲۳	-۰/۱۵۳	۰/۰۴۸	-۰/۰۳	Sch

جدول ۴-۵- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۱

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۲/۱۳۶	۲	۱/۰۶۸	۲۳/۹۴۵	۰/۰۰۶

		۰/۰۴۵	۴	۰/۱۷۸	باقیمانده
			۶	۲/۳۱۴	کل

جدول ۵-۵- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۲

خطای استاندارد تخمینی	R^2 تعدیل یافته	R^2	R
۰/۱۳۵	۰/۹۵۳	۰/۹۶۹	۰/۹۸۴

جدول ۵-۶- ضرایب رگرسیون و هم خطی متغیرها برای مدل شماره ۲

سطح معنی داری	اندازه های t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد شده		متغیر مستقل
		Beta	خطای استاندارد	B	
۰/۰۰۵	۵/۵۵۸		۱/۳۷۶	۷/۶۴۶	ثابت
۰/۰۰۷	-۵/۱۸۳	-۰/۶۹۵	۰/۰۱۰	-۰/۰۵۴	UCS
۰/۰۶۰	۲/۶۰۱	۰/۳۴۹	۰/۱۴۵	۰/۳۷۶	LOS

جدول ۵-۷- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۲

سطح معنی داری	میزان F	میانگین مجذورات	درجه آزادی	مجموع مجذورات	منبع تغییرات
۰/۰۰۱	۶۱/۶۴۳	۱/۱۲۱	۲	۲/۲۴۲	رگرسیون
		۰/۰۱۸	۴	۰/۰۷۳	باقیمانده
			۶	۲/۳۱۴	کل

جدول ۵-۸- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۳

خطای استاندارد تخمینی	R^2 تعدیل یافته	R^2	R
۰/۲۹۴	۰/۷۷۷	۰/۸۵۱	۰/۹۲۳

جدول ۵-۹- ضرایب رگرسیون و هم‌خطی متغیرها برای مدل شماره ۳

سطح معنی داری	اندازه‌های t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد شده		متغیر مستقل
		Beta	خطای استاندارد	B	
۰/۱۶۱	۱/۷۱۶		۴/۵۲۷	۷/۷۷۰	ثابت
۰/۱۱۶	۲/۰۰۰	۰/۵۵۵	۰/۲۹۹	۰/۵۹۸	LOS
۰/۱۸۸	-۱/۵۸۵	-۰/۴۴۰	-۰/۰۵۴	-۰/۰۸۵	Sch

جدول ۵-۱۰- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۳

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۱/۹۷۰	۲	۰/۹۸۵	۱۱/۴۲۹	۰/۰۲۲
باقیمانده	۰/۳۴۵	۴	۰/۰۸۶		
کل	۲/۳۱۴	۶			

جدول ۵-۱۱- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۴

خطای استاندارد تخمینی	R^2 تعدیل یافته	R^2	R
۰/۱۵۴	۰/۹۳۹	۰/۹۶۹	۰/۹۸۵

جدول ۵-۱۲- ضرایب رگرسیون و هم‌خطی متغیرها برای مدل شماره ۴

سطح معنی‌داری	اندازه‌های t	ضرایب غیراستاندارد شده			متغیر مستقل
		ضرایب استاندارد	خطای استاندارد	B	
۰/۰۴۲	۳/۴۱۰		۲/۳۷۷	۸/۱۰۵	ثابت
۰/۰۴۳	-۳/۳۹۶	-۰/۶۶۴	۰/۰۱۵	-۰/۰۵۱	UCS
۰/۱۲۳	۲/۱۲۶	۰/۳۳۸	۰/۱۷۱	۰/۳۶۴	LOS
۰/۸۱۳	-۰/۲۵۸	-۰/۰۴۸	۰/۰۳۶	-۰/۰۰۹	Sch

جدول ۵-۱۳- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۴

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	میزان F	سطح معنی‌داری
رگرسیون	۲/۲۴۳	۳	۰/۷۴۸	۳۱/۵۲۶	۰/۰۰۹
باقیمانده	۰/۰۷۱	۳	۰/۰۲۴		
کل	۲/۳۱۴	۶			

جدول ۵-۱۴- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۵

R	R^2	R^2 تعدیل یافته	خطای استاندارد تخمینی
۰/۳۶۶	۰/۱۳۴	۰/۱۰۶	۰/۷۹۳

جدول ۵-۱۵- ضرایب رگرسیون و هم‌خطی متغیرها برای مدل شماره ۵

سطح معنی‌داری	اندازه‌های t	ضرایب غیراستاندارد شده			متغیر مستقل
		ضرایب استاندارد	خطای استاندارد	B	
		Beta			

۰/۱۷۹	-۱/۳۵۵		۲/۳۲۱	-۳/۱۴۶	ثابت
۰/۷۳۱	-۰/۳۴۵	-۰/۰۳۳	۰/۰۱۹	-۰/۰۰۷	Saw Angle
۰/۰۰۴	۲/۹۲۲	۰/۲۸۱	۰/۱۵۵	۰/۴۵۴	Chain Speed
۰/۰۱۴	۲/۵۱۶	۰/۲۴۲	۰/۱۷۷	۰/۴۴۷	Machine Speed

جدول ۵-۱۶- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۵

منبع تغییرات	مجموع مجدورات	درجه آزادی	میانگین مجدورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۹/۱۳۶	۳	۳/۰۴۵	۴/۸۳۹	۰/۰۰۴
باقیمانده	۵۹/۱۵۵	۹۴	۰/۶۲۹		
کل	۶۸/۲۹۱	۹۷			

جدول ۵-۱۷- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۶

R	R^2	R^2 تعدیل یافته	خطای استاندارد تخمینی
۰/۹۱۶	۰/۸۴۰	۰/۸۲۹	۰/۳۴۷

جدول ۵-۱۸- ضرایب رگرسیون و هم خطی متغیرها برای مدل شماره ۶

متغیر مستقل	ضرایب غیراستاندارد شده		ضرایب استاندارد	اندازه‌های t	سطح معنی داری
	B	خطای استاندارد			
			Beta		

۰/۰۰	۴/۷۰۲		۱/۷۵۵	۸/۲۵۱	ثابت
۰/۴۳۲	-۰/۷۸۹	-۰/۰۳۳	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۷	Saw Angle
۰/۰۰	۶/۶۷۸	۰/۲۸۱	۰/۰۶۸	۰/۴۵۴	Chain Speed
۰/۰۰	۵/۷۵۱	۰/۲۴۲	۰/۰۷۸	۰/۴۴۷	Machine Speed
۰/۲۹۳	-۱/۰۵۷	-۰/۰۸۶	۰/۰۰۹	-۰/۰۱۰	UCS
۰/۰۰	۳/۸	۰/۲۵۰	۰/۱۰۳	۰/۳۹۲	LOS
۰/۰۰	-۷/۳۴۴	-۰/۵۶۶	۰/۰۲۲	-۰/۱۵۹	Sch

جدول ۵-۱۹- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۶

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۵۷/۳۳۲	۶	۹/۵۵۵	۷۹/۳۴۴	۰/۰۰
باقیمانده	۱۰/۹۵۹	۹۱	۰/۱۲۰		
کل	۶۸/۲۹۱	۹۷			

یکی از مهم‌ترین مواردی که در بحث تحلیل و ارزیابی معادلات آماری باید مورد توجه قرار گیرد، وجود ضرایب منطقی و به عبارت دیگر پیروی معادله از طبیعت ذاتی و علمی موضوع است. بنابراین این مساله باید در روابط ارائه شده برای پیش‌بینی نرخ برش مورد توجه قرار گیرد. یک رابطه باید علاوه بر پوشش پارامترهای مهم، ضرایب منطقی داشته باشد تا به درستی روند طبیعی یک فرایند را مدل‌سازی کند. در جدول ۵-۲۰ روابط بدست آمده برای مدل‌های رگرسیون خطی و ضرایب همبستگی R^2 مشاهده می‌شود.

جدول ۵-۲۰- روابط بدست آمده برای مدل‌های خطی و ضرایب همبستگی R^2

وضعیت مدل	R^2	رابطه	شماره مدل
عالی	۰/۹۲۳	$Ph = 11.895 - 0.064UCS - 0.030Sch$	۱
عالی	۰/۹۶۹	$Ph = 7.646 - 0.054UCS - 0.376Los$	۲
خیلی خوب	۰/۸۵۱	$Ph = 7.77 - 0.598Los - 0.085Sch$	۳
عالی	۰/۹۶۹	$Ph = 8.105 - 0.051UCS + 0.364Los - 0.009Sch$	۴
بسیار ضعیف	۰/۱۳۴	$Ph = -3.146 - 0.007SawAngle + 0.454ChainSpeed + 0.447MachineSpeed$	۵
خیلی خوب	۰/۸۴۰	$Ph = 8.251 - 0.007SawAngle + 0.454ChainSpeed + 0.447MachineSpeed - 0.010UCS + 0.392Los - 0.159Sch$	۶
خوب	۰/۷۸۱	-	متوسط

۵-۲-۲ مدل‌های رگرسیون چند متغیره غیرخطی

با این که مدل خطی تقریب خوبی برای نشان دادن ارتباط چند متغیره به حساب می‌آید، اما روابط بین متغیرها به ندرت خطی دقیق است و گاهی ممکن است ارتباط بین چند متغیره از یک الگوی غیرخطی تبعیت کند. به همین دلیل علاوه بر مدل‌های خطی، مدل‌های مختلف غیرخطی نیز با روش الگوریتم دوگانه ایجاد شدند. این روابط با توجه به داده‌های مربوط به ۷ نمونه سنگ مرمریت مورد مطالعه و در نهایت مجموعه اطلاعات شامل ۹۸ داده که نرمال بودن و عدم همبستگی آن‌ها قبلاً بررسی شده است، ایجاد شدند. مشابه روابط حاصل از رگرسیون خطی، برای روابط غیر خطی نیز پس از بررسی معنی‌داری کل مدل و معنی‌داری ضرایب متغیرهای مستقل، مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۵-۲۱ حالات بررسی شده در این رساله برای ارائه مدل‌های رگرسیونی چند متغیره غیرخطی معرفی شده است، به طوری که در مدل‌ها نرخ برش سطحی (Ph) به عنوان متغیره وابسته و پارامترهای عملیاتی اعم از سرعت زنجیر، سرعت دستگاه و زاویه اره و مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ اعم از مقاومت فشاری تک محوره (UCS)، سایش لس آنجلس (Los) و سختی چکش اشمیت (Sch) به عنوان پارامترهای مستقل در نظر گرفته شده است.

جدول ۵-۲۱-حالات بررسی شده مدل‌های رگرسیون چند متغیره غیرخطی

متغیر مستقل						متغیر وابسته	شماره مدل
Sch	LOS	UCS	Machine Speed	Chain Speed	Saw Angle	Ph	
	✓	✓				✓	۱
✓	✓					✓	۲
✓		✓				✓	۳
✓	✓	✓				✓	۴
			✓	✓	✓	✓	۵
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۶

خلاصه مدل‌های چند متغیره غیرخطی، ضرایب رگرسیون، هم‌خطی متغیرها و در نهایت تحلیل واریانس مدل‌های شماره ۱ تا ۶ در جداول ۵-۲۲ تا ۵-۳۹ نمایش داده شده است.

جدول ۵-۲۲-مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۱

خطای استاندارد تخمینی	R^2 تعدیل یافته	R^2	R
۰/۰۲۳	۰/۹۲۶	۰/۹۵۰	۰/۹۷۵

جدول ۵-۲۳- ضرایب رگرسیون و هم‌خطی متغیرها برای مدل شماره ۱

سطح معنی‌داری	اندازه‌های t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد شده		متغیر مستقل
		Beta	خطای استاندارد	B	
۰/۰۱۳	۴/۲۴۴		۰/۸۷۰	۳/۶۹۱	ثابت
۰/۰۱۵	-۴/۰۶۷	-۰/۶۸۱	۰/۴۰۹	-۱/۶۶۱	UCS
۰/۱۰۱	۲/۱۲۲	۰/۳۵۵	۰/۱۵۵	۰/۳۲۸	LOS

جدول ۵-۲۴- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۱

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	میزان F	سطح معنی‌داری
رگرسیون	۰/۰۴۱	۲	۰/۰۲۱	۳۸/۳۳۹	۰/۰۰۲
باقیمانده	۰/۰۰۲	۴	۰/۰۰۱		
کل	۰/۰۴۳	۶			

جدول ۵-۲۵- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۲

خطای استاندارد تخمینی	R^2 تعدیل یافته	R^2	R
۰/۰۳۸	۰/۷۹۶	۰/۸۶۴	۰/۹۳۰

جدول ۵-۲۶- ضرایب رگرسیون و هم‌خطی متغیرها برای مدل شماره ۲

سطح معنی داری	اندازه‌های t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد شده		متغیر مستقل
		Beta	خطای استاندارد	B	
۰/۱۲۴	۱/۹۴۰		۲/۲۱۶	۴/۳۰۱	ثابت
۰/۱۱۵	۲/۰۰۸	۰/۵۲۱	۰/۲۴۰	۰/۴۸۲	LOS
۰/۱۳۵	-۱/۸۷۰	-۰/۴۸۵	۱/۱۵۲	-۲/۱۵۳	Sch

جدول ۵-۲۷- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۲

منبع تغییرات	مجموع مجدورات	درجه آزادی	میانگین مجدورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۰/۰۳۷	۲	۰/۰۱۹	۱۲/۷۲۱	۰/۰۱۸
باقیمانده	۰/۰۰۶	۴	۰/۰۰۱		
کل	۰/۰۴۳	۶			

جدول ۵-۲۸- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۳

R	R^2	R^2 تعدیل یافته	خطای استاندارد تخمینی
۰/۹۵۸	۰/۹۱۷	۰/۸۷۵	۰/۰۳۰

جدول ۵-۲۹- ضرایب رگرسیون و هم‌خطی متغیرها برای مدل شماره ۳

سطح معنی داری	اندازه‌های t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد شده		متغیر مستقل
		Beta	خطای استاندارد	B	
۰/۰۰۸	۴/۹۱۷		۱/۲۶۶	۶/۲۲۳	ثابت
۰/۰۳۹	-۳/۰۲۵	-۰/۷۴۰	۰/۵۹۷	-۱/۸۰۷	UCS
۰/۳۵۸	-۱/۰۳۸	-۰/۲۵۴	۱/۰۸۶	-۱/۱۲۷	Sch

جدول ۵-۳۰- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۳

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۰/۰۴۰	۲	۰/۰۲۰	۲۲/۰۹۲	۰/۰۰۷
باقیمانده	۰/۰۰۴	۴	۰/۰۰۱		
کل	۰/۰۴۳	۶			

جدول ۵-۳۱- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۴

R	R^2	R^2 تعدیل یافته	خطای استاندارد تخمینی
۰/۹۷۹	۰/۹۵۹	۰/۹۱۸	۰/۰۲۴

جدول ۵-۳۲- ضرایب رگرسیون و هم خطی متغیرها برای مدل شماره ۴

متغیر مستقل	ضرایب غیراستاندارد شده		ضرایب استاندارد		سطح معنی داری
	B	خطای استاندارد	Beta	اندازه های t	
ثابت	۴/۵۳۵	۱/۴۱۱		۳/۲۱۴	۰/۰۴۹
UCS	-۱/۴۰۹	۰/۵۳۶	-۰/۵۷۷	-۲/۶۲۹	۰/۰۷۸
LOS	۰/۲۹۴	۰/۱۶۸	۰/۳۱۸	۱/۷۴۸	۰/۱۷۹
Sch	۰/۷۱۷	۰/۹۱۳	-۰/۱۶۲	-۰/۷۸۵	۰/۴۹۰

جدول ۵-۳۳- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۴

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۰/۰۴۲	۳	۰/۰۱۴	۲۳/۳۱۲	۰/۰۱۴

		۰/۰۰۱	۳	۰/۰۰۲	باقیمانده
			۶	۰/۰۴۳	کل

جدول ۵-۳۴- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۵

خطای استاندارد تخمینی	R^2 تعدیل یافته	R^2	R
۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۳۹	۰/۳۷۳

جدول ۵-۳۵- ضرایب رگرسیون و هم خطی متغیرها برای مدل شماره ۵

سطح معنی داری	اندازه‌های t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد شده		متغیر مستقل
		Beta	خطای استاندارد	B	
۰/۲۱۴	-۱/۲۵۰		۱/۰۰۵	-۱/۲۵۷	ثابت
۰/۸۲۹	-۰/۲۱۷	-۰/۰۲۱	۰/۴۶۱	-۰/۱۰۰	Saw Angle
۰/۰۰۴	۲/۹۶۱	۰/۲۸۴	۰/۳۶۱	۱/۰۶۹	Chain Speed
۰/۰۰۹	۲/۶۶۳	۰/۲۵۵	۰/۴۲۴	۱/۱۲۹	Machine Speed

جدول ۵-۳۶- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۵

منبع تغییرات	مجموع مجدورات	درجه آزادی	میانگین مجدورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۰/۱۹۲	۳	۰/۰۶۴	۵/۰۷۲	۰/۰۰۳
باقیمانده	۱/۱۸۸	۹۴	۰/۰۱۳		

			۹۷	۱/۳۸۰	کل
--	--	--	----	-------	----

جدول ۵-۳۷- مشخصات آماری رگرسیون (خلاصه مدل) برای مدل شماره ۶

خطای استاندارد تخمینی	R^2 تعدیل یافته	R^2	R
۰/۰۴۹	۰/۸۳۱	۰/۸۴۱	۰/۹۱۷

جدول ۵-۳۸- ضرایب رگرسیون و هم‌خطی متغیرها برای مدل شماره ۶

سطح معنی‌داری	اندازه‌های t	ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد شده		متغیر مستقل
		Beta	خطای استاندارد	B	
۰/۰۰	۷/۳۴۲		۰/۸۷۶	۶/۴۳۱	ثابت
۰/۶۲۰	-۰/۴۹۸	-۰/۰۲۱	۰/۲۰۱	-۰/۱۰۰	Saw Angle
۰/۰۰	۶/۷۸۸	۰/۲۸۴	۰/۱۵۷	۱/۰۶۸	Chain Speed
۰/۰۰	۶/۱۰۴	۰/۲۵۵	۰/۱۸۵	۱/۱۲۹	Machine Speed
۰/۱۷۴	-۱/۳۷۰	-۰/۱۰۷	۲/۲۸۸	-۰/۳۹۵	UCS
۰/۰۰۱	۳/۵۲۹	۰/۲۲۹	۰/۰۹۰	۰/۳۱۹	LOS
۰/۰۰	-۷/۷۱۲	-۰/۵۶۶	۰/۴۹۱	-۳/۷۸۴	Sch

جدول ۵-۳۹- تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل شماره ۶

منبع تغییرات	مجموع مجدورات	درجه آزادی	میانگین مجدورات	میزان F	سطح معنی داری
رگرسیون	۱/۱۶۱	۶	۰/۱۹۴	۸۰/۴۷۱	۰/۰۰
باقیمانده	۰/۲۱۹	۹۱	۰/۰۰۲		
کل	۱/۳۸۰	۹۷			

در جدول ۵-۴۰ روابط بدست آمده برای مدل‌های رگرسیون غیرخطی و ضرایب همبستگی R^2 مشاهده

می‌شود.

جدول ۵-۴۰- روابط بدست آمده برای مدل‌های غیرخطی و ضرایب همبستگی R^2

وضعیت مدل	R^2	رابطه	شماره مدل
عالی	۰/۹۵۰	$Ph = 10^{3.691} * \frac{Los^{0.328}}{UCS^{1.661}}$	۱
خیلی خوب	۰/۸۶۴	$Ph = 10^{4.301} * \frac{Los^{0.482}}{Sch^{2.153}}$	۲
عالی	۰/۹۱۷	$Ph = 10^{6.223} * \frac{1}{UCS^{1.807} * Sch^{1.127}}$	۳
عالی	۰/۹۵۹	$Ph = 10^{4.535} * \frac{Los^{0.294}}{UCS^{1.409} * Sch^{0.717}}$	۴
بسیار ضعیف	۰/۱۳۴	$Ph = 10^{-1.257} * \frac{ChainSpeed^{1.069} * MachineSpeed^{1.129}}{SawAngle^{0.1}}$	۵
خیلی خوب	۰/۸۴۳	$Ph = 10^{6.431} * \frac{ChainSpeed^{1.069} * MachineSpeed^{1.129} * Los^{0.319}}{SawAngle^{0.1} * UCS^{0.395} * Sch^{3.784}}$	۶
خوب	۰/۷۷۷	-	متوسط

۵-۲-۳ جمع بندی

با مقایسه متوسط ضریب همبستگی R^2 میان مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی می‌توان نتیجه گرفت مدل‌های رگرسیون چند متغیره تعریف شده هم در فاز خطی و هم در فاز غیرخطی جهت پیش‌بینی نرخ برش سطحی نتایج خوب و قابل قبولی داشته‌اند، از مدل‌های ۱ تا ۶ در هر دو فاز خطی و غیرخطی تنها مدل شماره ۵ دارای ضریب همبستگی بسیار ضعیفی است که نشان دهنده این مطلب است که تعریف مدل رگرسیون تنها با استفاده از مجموعه داده‌های پارامترهای عملیاتی منطقی نیست و بایستی مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ نیز در نظر گرفته شود. بهترین مدل رگرسیون خطی، مدل شماره ۲ و بهترین مدل رگرسیون غیرخطی مدل شماره ۴ است که با ارزیابی پارامترهای موجود در روابط ارائه شده آن مدل‌ها می‌توان به رابطه مستقیم میزان نرخ برش سطحی با سایش لس آنجلس و رابطه عکس پارامتر نرخ برش سطحی با مقاومت فشاری تک محوره و سختی چکش اشمیت پی‌برد. ضمناً در خصوص مدل شماره ۶ در هر دو فاز رگرسیون خطی و غیرخطی باید اذعان شود با توجه به ضرایب همبستگی R^2 ، مدل مورد نظر جهت پیش‌بینی نرخ برش سطحی از وضعیت بسیار خوبی برخوردار است و با ارزیابی روابط ارائه شده در جداول ۵-۲۰ و ۵-۴۰، می‌توان به رابطه مستقیم نرخ برش سطحی با سرعت زنجیر، سرعت ماشین و سایش لس آنجلس و رابطه عکس نرخ برش سطحی با زاویه اره، مقاومت فشاری تک محوره و سختی چکش اشمیت پی‌برد.

۵-۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی

هوش محاسباتی یکی از کاربردی‌ترین تکنیک‌های محاسباتی در حوزه‌های مختلف علوم است. شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یکی از شاخص‌ترین مولفه‌های هوش محاسباتی می‌باشد که به دلیل توانایی بالا در حل مسایل پیچیده دارای جایگاه ویژه‌ای در حوزه‌های مختلف صنعت و علوم مهندسی قرار دارد. در واقع شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان نقطه تلاقی علوم زیستی و علوم کامپیوتر دانست. شبکه‌های عصبی نوعی مدل‌سازی ساده از سیستم‌های عصبی واقعی هستند که

کاربرد فراوانی در حل مسائل مختلف علوم و مهندسی دارند. حوزه کاربرد این شبکه‌ها آنقدر گسترده است که از کاربردهای طبقه بندی گرفته تا کاربردهایی نظیر درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی، پیش‌بینی و ... را شامل می‌شود.

۵-۳-۱ روش گروهی مدیریت داده‌ها (GMDH)

مغز انسان به عنوان یکی از پیچیده‌ترین اعضای بدن انسان دارای توانایی‌های بسیار شگرفی می‌باشد که با وجود مطالعات دقیق و متعدد هنوز دارای جنبه‌های ناشناخته بسیار زیادی است. در این میان یادگیری یکی از بارزترین توانایی‌های مغز بشر می‌باشد. شبکه‌های عصبی مصنوعی با شبیه‌سازی بخشی از عملکرد مغز، توانایی‌های بسیار مناسبی در حل مسایل مربوط به یادگیری، بازشناسی الگو، سیستم‌های کنترلی و پردازش تصویر از خود نشان دادند. توانایی بالا در بررسی و پیش‌بینی دقیق و صحیح از نرخ تولید سنگ‌های ساختمانی یکی از مهمترین فاکتورهای افزایش بهره‌وری در معادن سنگ ساختمانی می‌باشد. براین اساس هدف از این مطالعه، بررسی و پیش‌بینی نرخ تولید سنگ‌های ساختمانی توسط ماشین برش اره زنجیری بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. از اینرو روش گروهی مدیریت داده‌ها ($GMDH^{32}$) به عنوان یکی از کاربردی‌ترین روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی برای انجام مدل‌سازی با دقت بسیار مناسب استفاده می‌شود. این روش توسط ایواخنکو در سال ۱۹۶۸ بر مبنای الگوریتم‌های خود سازمانده و یکسویه که دارای چندین لایه و نرون می‌باشند ارائه شد و یکی از روش‌های مدل‌سازی و رگرسیون خطی است. در واقع، شبکه GMDH شامل یک مجموعه از نرون‌ها است که از پیوند جفت‌های مختلف از طریق یک چند جمله‌ای درجه دوم تشکیل می‌شوند. شبکه عصبی GMDH که توسط ایواخنکو^{۳۳} معرفی شده به عنوان شبکه‌های عصبی چند جمله‌ای^{۳۴} هم شناخته می‌شود که پایه اصلی آن را، مدل چند جمله‌ای درجه دو و الگوریتم کمترین مربعات خطا تشکیل می‌شود. رابطه ۵-۱ شکل عمومی نگاشت شبکه عصبی پایه

³² Group Method of Data Handling -type Neural Network

³³ Ivakhnenko

³⁴ Polynomial Neural Network

GMDH برای داده‌های ورودی بر اساس داده‌های خروجی را نشان می‌دهد که این رابطه به عنوان رابطه ایواخنکو هم شناخته می‌شود. که تعداد داده برای مقادیر $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ برای یک خروجی نظیر y با m معرفی می‌شود.

$$y = a + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m d_{ijk} x_i x_j x_k + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m e_{ijkl} x_i x_j x_k x_l, \dots \quad 1-5$$

درواقع این الگوریتم دارای چندین لایه مختلف می‌باشد که در مرحله اول زمانی که داده‌های ورودی به الگوریتم وارد می‌شود و به صورت ترکیبی از داده‌ها به لایه اول داده می‌شود. این داده‌ها در لایه اول پس از پردازش به لایه بعدی منتقل می‌شوند. این روند برای n لایه تعریف می‌شود و زمانی که الگوریتم در هر لایه به همگرایی قابل قبول برسد، روند کار الگوریتم متوقف می‌شود. درواقع این الگوریتم نظیر الگوریتم‌های تکاملی با ایجاد جواب‌های اولیه و بهبود آنها و سپس انتخاب مناسب‌ترین جواب عمل می‌کند و از یک سیستم بازگشتی پیروی می‌کند. از جمله مزیت‌های اصلی نسبت به سایر روش‌های شبکه عصبی تعیین یک مدل ریاضی برای موضوع مورد مطالعه بر حسب چند جمله-ای‌ها می‌باشد. همچنین از دیگر مزایای این تکنیک داشتن توانایی مناسب و مطلوب در همگرایی شبکه عصبی در مسائل گوناگون می‌باشد.

در این مدل سازی ۹۸ داده از نتایج بدست آمده از مطالعات میدانی بر روی ۷ نمونه سنگ‌های کربناته به عنوان مجموعه داده‌ها جمع آوری شده است. ۳ پارامتر شامل پارامترهای عملیاتی دستگاه یعنی سرعت ماشین روی ریل، زاویه تیغه و سرعت زنجیر و ۳ پارامتر شامل مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های مورد بررسی یعنی مقاومت فشاری تک محوره (UCS^{35})، سایش لس آنجلس (LAA^{36})، سختی چکش اشمیت (SCH^{37}) به عنوان پارامترهای ورودی و پارامتر نرخ تولید به عنوان پارامتر خروجی در این مطالعه در نظر گرفته شده‌اند.

³⁵ uniaxial compressive strength

³⁶ Los Angeles abrasion

³⁷ Schmidt Hammer

به منظور ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی پایه از سه شاخص عملکرد شامل نظیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، value account for (VAF)، و ضریب همبستگی (R^2) استفاده می‌شود مطابق روابط ۲-۵ تا ۴-۵ استفاده شده است.

$$VAF = \left[1 - \frac{\text{var}(x_i - y_i)}{\text{var}(x_i)} \right] \quad 2-5$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad 3-5$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - x_{mean})^2] - [\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2]}{[\sum_{i=1}^n (x_i - x_{mean})^2]} \quad 4-5$$

در روابط بالا n نشان‌دهنده تعداد مجموعه داده‌ها می‌باشد. نکته قابل ملاحظه در تحلیل مقادیر شاخص‌های عملکرد این است که مقدار VAF و RMSE به ترتیب هر چه به ۱۰۰ و ۰ نزدیک‌تر باشند این نشان‌دهنده عملکرد دقیق‌تر و صحیح‌تر الگوریتم می‌باشد. بعلاوه این موضوع زمانی برای R^2 صادق است که مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر باشد. در گام بعدی از شبیه‌سازی باید ساختار شبکه عصبی تشکیل شود. در شبکه GMDH هم نظیر سایر شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی نیاز به تعریف ساختار شبکه عصبی می‌باشد. از اینرو تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌ها در هر لایه باید مشخص شود. اگرچه نمی‌توان تعداد دقیق لایه‌ها و نرون‌های هر لایه را برای بهترین مدل در ابتدای مدل‌سازی مشخص کرد ولی بر اساس میزان مجموعه داده‌ها می‌توان یک دانه قابل قبول برای آن‌ها تعیین کرد. از اینرو در این مطالعه بر اساس میزان مجموعه داده‌ها و با استفاده از نظر کارشناسان خبره در مدل‌سازی شبکه عصبی، تعداد مختلفی از لایه‌ها در نظر گرفته شد که شامل ۲، ۳، ۴ لایه می‌باشد و برای هر لایه با تعداد نرون‌های مختلف نظیر ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ نرون، مدل‌سازی انجام شد. در واقع برای تعیین مناسب‌ترین تعداد لایه و تعداد نرون لایه پنهان ۱۸ مدل ساخته شده است و میزان عملکرد هر یک از این مدل‌ها بر اساس شاخص‌های عملکرد مطابق روابط ۲-۵ تا ۴-۵ بررسی شده است. جدول ۴-۵، ۴۱، ۱۸ مدل ساخته شده و مقدار شاخص‌های عملکرد برای هر مدل را نشان می‌دهد.

نکته قابل ملاحظه در انتخاب تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌ها در هر لایه این است که رابطه مشخصی برای تعیین آن‌ها وجود ندارد و این انتخاب یک روند تجربی دارد که عموماً "بر اساس مسائلی نظیر تعداد نمونه‌های مورد بررسی و پیچیدگی مسئله و نظر کارشناسان خبره در مسایل شبکه‌های عصبی انتخاب می‌شود و بهترین مدل با آموزش و خطا تعیین می‌شود.

جدول ۵-۴۱ تاثیر اندازه لایه و تعداد نرون‌ها در هر لایه روی شاخص‌های عملکرد در شبکه GMDH

Model No.	Layer Size (LS)	Number of Neurons in each Layer	The Results of Network for R^2		The Results of Network for RMSE		The Results of Network for VAF	
			Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing
۱	۲	۵	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۳۶۲	۰/۳۸۲	۷۵/۷۴	۸۲/۶۳
۲	۲	۱۰	۰/۸۱	۰/۸۶	۰/۳۲	۰/۵۲۱	۷۶/۵۳	۵۲/۸۴
۳	۲	۲۰	۰/۷۵	۰/۸	۰/۳۷۳	۰/۵۴۵	۷۴/۲۸	۳۵/۱۷
۴	۲	۳۰	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۳۹۳	۰/۴۴۸	۷۱/۷۲	۴۹/۶۵
۵	۲	۴۰	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۳۴۱	۰/۳۵	۸۰/۲۵	۸۵/۳۸
۶	۲	۵۰	۰/۸۵	۰/۷۱	۰/۳۴۳	۰/۴۱	۸۱/۳۵	۷۰/۶۷
۷	۳	۵	۰/۸۳	۰/۶۹	۰/۳۴	۰/۴۸	۸۰/۵	۶۹/۳۴
۸	۳	۱۰	۰/۷۸	۰/۵۹	۰/۳۸۵	۰/۵۶۲	۷۳/۴۵	۵۲
۹	۳	۲۰	۰/۸۶	۰/۵۸	۰/۳۷۳	۰/۳۵	۸۴/۳۶	۴۹/۲۳
۱۰	۳	۳۰	۰/۸۷	۰/۶۶	۰/۲۹۵	۰/۴۴۶	۸۵/۹۴	۶۲/۶۲
۱۱	۳	۴۰	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۳۵	۰/۴۹۱	۷۷/۲۵	۷۰/۵۴
۱۲	۳	۵۰	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۳۶۹	۰/۳۴۷	۷۹/۱۲	۶۵/۶۵
۱۳	۴	۵	۰/۸۴	۰/۷۹	۰/۳۲۵	۰/۳۷۳	۸۱/۲۱	۷۳/۸۴
۱۴	۴	۱۰	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۳۷۴	۰/۳۹۵	۸۴/۲۶	۸۲/۱۵
۱۵	۴	۲۰	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۳۷۴	۰/۳۷۳	۷۴/۴۳	۷۸/۶
۱۶	۴	۳۰	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۳۰۱	۰/۳۸۳	۸۲/۶	۸۱/۹
۱۷	۴	۴۰	۰/۸۲	۰/۷۶	۰/۳۴۴	۰/۵۱۵	۷۶/۶۱	۷۵/۵۵
۱۸	۴	۵۰	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۲۵۲	۰/۲۴۵	۹۰/۳۰	۹۲/۰۶

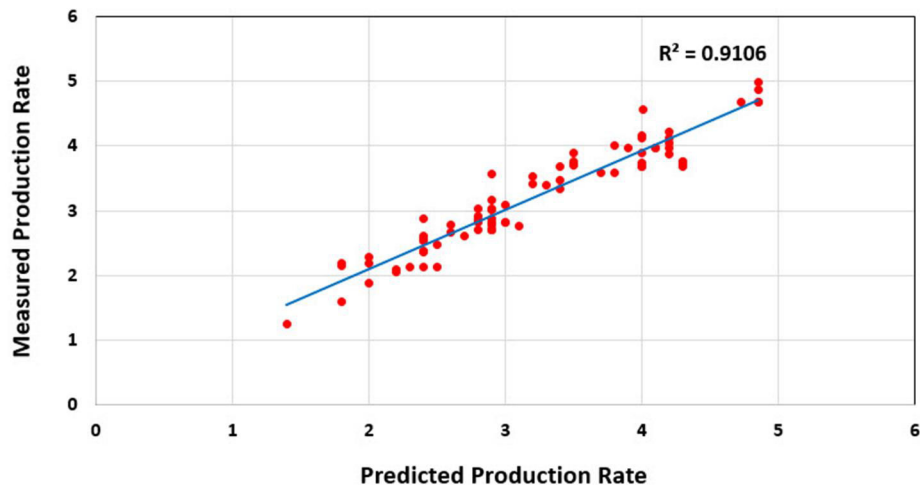
همانگونه که ذکر شد برای ۳ نوع لایه مختلف و ۶ حالت با تعداد نرون‌های مختلف مدل‌سازی صورت گرفت و برای هر مدل شاخص‌های عملکرد هر مدل تعیین شد. در گام بعدی بر اساس نتایج بدست آمده از جدول ۵-۴۱ و یک روش رتبه‌بندی ساده برای هر مدل یک رتبه در نظر گرفته می‌شود. نتایج این رتبه‌دهی برای هر مدل در جدول ۵-۴۲ نشان داده شده است.

جدول ۵-۴۲ رتبه‌بندی هر مدل با استفاده از شبکه GMDH

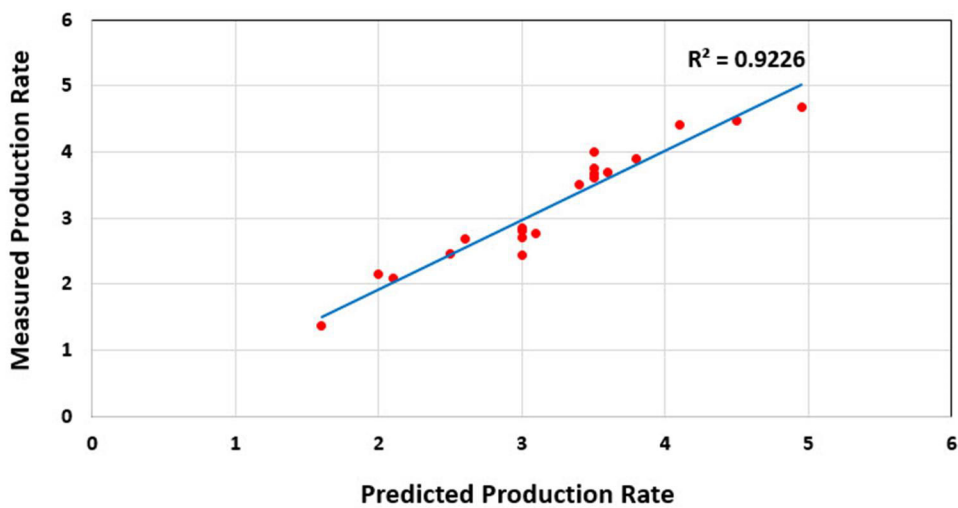
Model No.	Layer Size (LS)	Number of Neurons in each Layer	The Results of Network for R^2		The Results of Network for RMSE		The Results of Network for VAF		Total Rank
			Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	
۱	۲	۵	۱۰	۱۵	۸	۱۴	۵	۱۶	۶۸
۲	۲	۱۰	۱۱	۱۶	۱۴	۵	۶	۵	۵۷
۳	۲	۲۰	۷	۱۲	۶	۴	۳	۱	۳۳
۴	۲	۳۰	۸	۵	۳	۹	۱	۳	۲۹
۵	۲	۴۰	۱۳	۱۷	۱۱	۱۶	۱۰	۱۷	۸۴
۶	۲	۵۰	۱۵	۷	۱۰	۱۱	۱۳	۱۰	۶۶
۷	۳	۵	۱۳	۶	۱۲	۸	۱۱	۸	۵۸
۸	۳	۱۰	۹	۳	۴	۳	۲	۴	۲۵
۹	۳	۲۰	۱۶	۲	۶	۱۶	۱۶	۲	۵۸
۱۰	۳	۳۰	۱۷	۴	۱۷	۱۰	۱۷	۶	۷۱
۱۱	۳	۴۰	۱۱	۹	۹	۷	۸	۹	۵۳
۱۲	۳	۵۰	۱۲	۸	۷	۱۷	۹	۷	۶۰
۱۳	۴	۵	۱۴	۱۱	۱۳	۱۵	۱۲	۱۱	۷۶
۱۴	۴	۱۰	۱۶	۱۳	۱۵	۱۲	۱۵	۱۵	۸۶
۱۵	۴	۲۰	۹	۱۴	۵	۱۵	۴	۱۳	۶۰
۱۶	۴	۳۰	۱۵	۱۵	۱۶	۱۳	۱۴	۱۴	۸۷
۱۷	۴	۴۰	۱۲	۱۰	۹	۶	۷	۱۲	۵۶
۱۸	۴	۵۰	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۰۸

با توجه به نتایج جدول ۵-۴۲، رتبه هر یک از مدل‌ها تعیین شده است. بهترین مدل بر اساس رتبه بدست آمده، مدل شماره ۱۸ تعیین می‌شود که مقدار امتیاز آن برابر با ۱۰۸ می‌باشد. در این مدل مقادیر شاخص‌های عملکرد عبارتند از ضریب همبستگی (R^2) داده‌های آموزش برابر ۰/۹۱، ضریب همبستگی (R^2) داده‌های آزمون برابر ۰/۹۲، مربعات میانگین خطا (RMSE) داده‌های آموزش برابر ۰/۲۵۲، مربعات میانگین خطا (RMSE) داده‌های آزمون برابر ۰/۲۴۵، VAF داده‌های آموزش برابر ۹۰/۳۰ و VAF داده‌های آزمون برابر ۹۲/۰۶. شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲ به ترتیب نمودار ضریب همبستگی R^2 را برای مجموعه داده‌های آموزش و آزمون^{۳۸} را برای مدل شماره ۱۸ نشان می‌دهند.

³⁸ Training and testing



شکل ۱-۵ ضریب همبستگی بین نرخ برش پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برای داده‌های آموزش

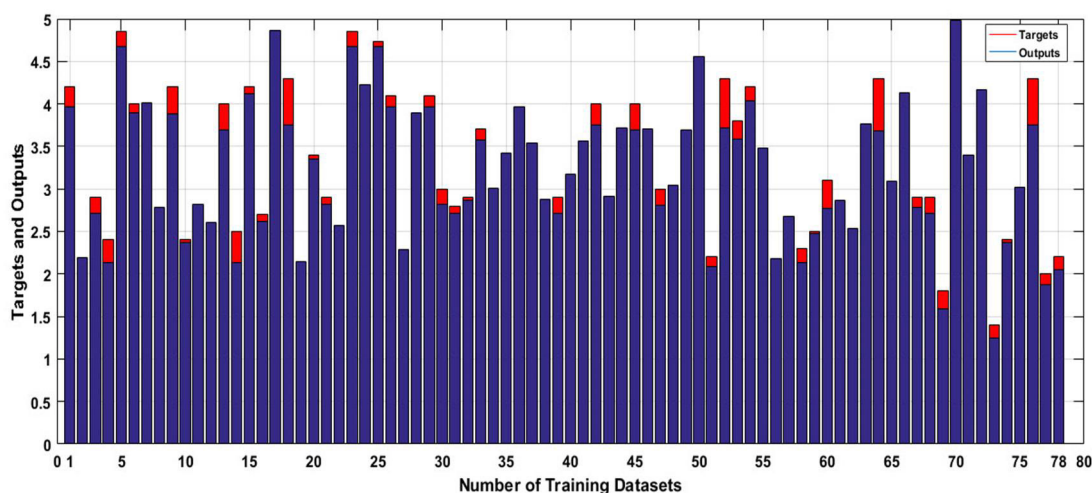


شکل ۲-۵ ضریب همبستگی بین نرخ برش پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برای داده‌های تست

شکل‌های ۱-۵ و ۲-۵ به ترتیب یک مقایسه‌ای مابین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی

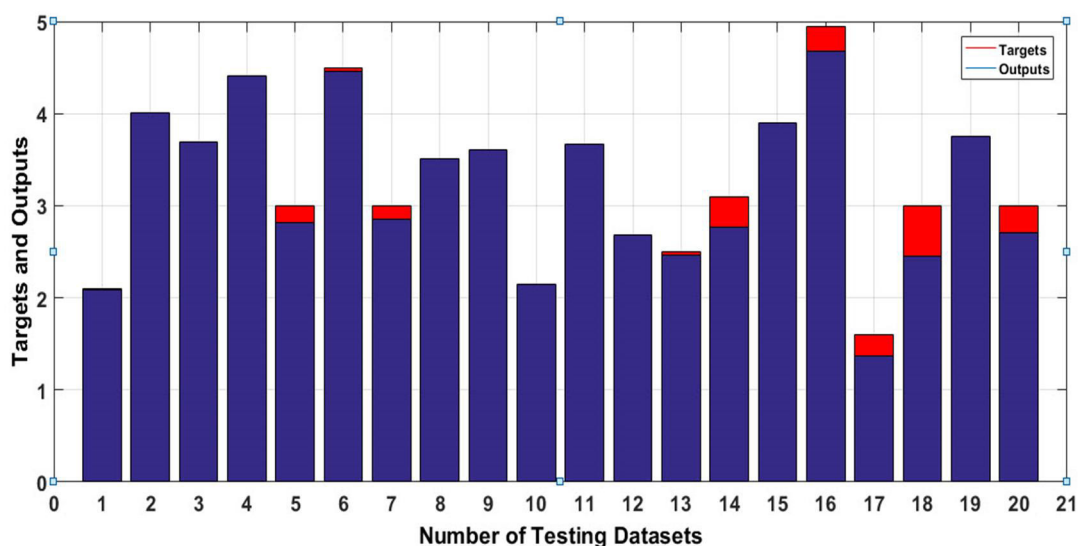
شده از مقدار نرخ تولید را به ترتیب برای مجموعه داده‌های آموزش و تست برای مدل شماره ۱۸

نشان می‌دهند.



شکل ۳-۵ مقایسه گرافیکی بین نرخ برش پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برای مجموعه داده‌های آموزش

بر اساس شکل ۳-۵، داده‌های اندازه‌گیری شده برای ۷۸ نمونه آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده تطابق بسیار مناسبی با یکدیگر در داده‌های آموزشی دارند. به عنوان مثال داده‌های شماره ۲، ۷ و ۸ بصورت کامل پیش‌بینی شده‌اند. داده‌های شماره ۱۰ و ۷۴ دارای تفاوت بسیار کمی می‌باشند و اگر چه بعضی از داده‌ها نظیر ۱۸ و ۷۶ دارای تفاوت بیشتری مابین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نرخ تولید می‌باشند ولی تفاوت آنها در مجموع قابل قبول بوده و عملکرد کل مجموعه بسیار قابل قبول می‌باشد. همچنین در شکل شماره ۴-۵ یک مقایسه مابین نتایج اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده از نرخ تولید برای داده‌های آزمون صورت گرفته است که نشان دهنده توانایی و کارایی بالای الگوریتم در پیش‌بینی داده‌های آزمون را نشان می‌دهد. بطور مثال ۱۱ داده از ۲۰ داده مورد تست در الگوریتم نظیر داده‌های ۱، ۲، ۳، ۱۰، ۱۱، ۱۵، ۴، ۱۹ و ۲۰ دارای تطابق کامل مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند.



شکل ۴-۵ مقایسه گرافیکی بین نرخ برش پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برای مجموعه داده‌های تست

۵-۳-۲ روش پرسپترون چند لایه (MLP^{۳۹})

در شبکه‌های عصبی دقت نتایج تا حد بسیار زیادی به نحوه و مقدار آموزش داده‌ها بستگی دارد. روش‌های متعددی برای آموزش شبکه‌های عصبی وجود دارد که در این میان الگوریتم پس‌انتشار یکی از شناخته‌شده‌ترین الگوریتم‌های آموزشی می‌باشد. از اینرو در این مطالعه از این الگوریتم جهت آموزش شبکه عصبی چند لایه رو به جلو استفاده می‌شود. شبکه عصبی پس‌انتشار رو به جلو چند لایه یا چند لایه پرسپترون که در میان کاربران و محققین دارای محبوبیت بالایی است. شبکه‌های عصبی پرسپترون از چندین لایه از گره‌ها شامل یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک لایه پنهان تشکیل شده است که هر کدام از این لایه‌ها به ترتیب شامل گره‌های ورودی (گره‌های حسی)، گره‌های خروجی (گره‌های پاسخ‌دهنده) و گره پنهان است. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه‌های گوناگون توسط این تکنیک انجام شده است. یک نمونه شماتیک از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. همانگونه که ذکر شد، باتوجه به اهمیت شبکه‌های عصبی مصنوعی، در این تحقیق مدل‌سازی بر اساس الگوریتم چند لایه پرسپترون صورت

³⁹ Multi layers Perceptron

می‌گیرد و عملکرد شبکه بر اساس شاخص‌های عملکرد شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، value account for (VAF) و ضریب همبستگی (R^2) به ترتیب مطابق روابط ۵-۲ الی ۵-۴ کنترل می‌شود.

در روابط بالا n نشان‌دهنده تعداد مجموعه داده‌ها می‌باشد. مقادیر X_i و Y_i به ترتیب مقادیر پیش-بینی شده و اندازه‌گیری شده می‌باشند. برای بدست آوردن شاخص عملکرد مناسب باید مقدار VAF به ۱۰۰٪، مقادیر RMSE و R^2 به ترتیب به ۰ و ۱ نزدیک باشند.

در این بخش هدف ارائه یک مدل بهینه برای پیش‌بینی نرخ تولید در ماشین برش اره زنجیری بر اساس پرسپترون چند لایه می‌باشد. به منظور مدل‌سازی در این تحقیق، از مجموعه داده‌ها شامل ۹۸ تست آزمایشگاهی که بر روی ۷ نمونه سنگ انجام شده است، تعداد ۷۴ نمونه (۷۵٪) به عنوان داده-های آموزش و مابقی یعنی ۲۴ داده (۲۵٪) به عنوان داده‌های تست انتخاب شدند. ۴ پارامتر شامل مقاومت فشاری تک محوره، سایش لوس آنجلس، محتوای کوارتز و آزمایش چکش اشمیت به عنوان داده ورودی و نرخ تولید به عنوان پارامتر خروجی مدل شبکه عصبی در نظر گرفته شده است. یکی از سریع‌ترین الگوریتم‌های پس انتشار جهت آموزش شبکه عصبی، الگوریتم آموزشی لونبرگ-مارکوف می‌باشد. از اینرو، الگوریتم آموزشی لونبرگ-مارکوف به عنوان الگوریتم آموزش شبکه عصبی در این مدل‌سازی استفاده می‌شود. همچنین از توابع tansig و purelin به عنوان توابع انتقال به ترتیب در لایه پنهان و لایه خروجی استفاده می‌شود.

یکی دیگر از مهمترین بخش‌های شبیه‌سازی، انتخاب نرون‌های ورودی، خروجی و نرون‌های لایه پنهان می‌باشد. با توجه به تعداد داده‌های ورودی و لایه‌های خروجی تعداد نرون‌های ورودی و خروجی به ترتیب برابر با $N_0=1$ و $N_i=4$ تعیین می‌شود. برای نرون‌های لایه پنهان روابط متعدد تجربی مطابق جدول ۵-۴۳ ارائه شده است، که بر این اساس تعداد نرون‌های لایه پنهان برای داده-های مورد ارزیابی ما می‌تواند بین ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته شود.

جدول ۵-۴۳ روابط تجربی تعیین تعداد نرون برای لایه پنهان

Researchers	Equations
Hecht-Nielsen [24]	$\leq 2 \times N_i + 1$
Kaastra and Boyd [25] Kannellopoulas and Wilkinson [26]	$2N_i$
Ripley [27]	$(N_i + N_0) / 2$
Paola [28]	$\frac{2 + N_0 \times N_i + 0.5N_0 \times (N_0^2 + N_i) - 3}{N_i + N_0}$
Wang [29]	$2N_i / 3$
Masters [30]	$\sqrt{N_i + N_0}$

N_i : Number of input neuron, N_0 : Number of output neuron

پس از تعیین ساختار اولیه شبکه عصبی، نوع الگوریتم آموزش و مشخص بودن تعداد نرون‌های لایه ورودی و خروجی، شبیه سازی برای تعداد نرون‌های مختلف پیشنهاد شده در لایه پنهان براساس شاخص‌های عملکرد الگوریتم انجام می‌شود، نتایج مدل سازی در جدول ۵-۴۴ برای مدل‌هایی با تعداد نرون‌های ۱ تا ۱۰ برای لایه پنهان نشان داده شده است.

جدول ۵-۴۴ تاثیر تعداد نرون های لایه پنهان بر روی عملکرد الگوریتم در مدل سازی

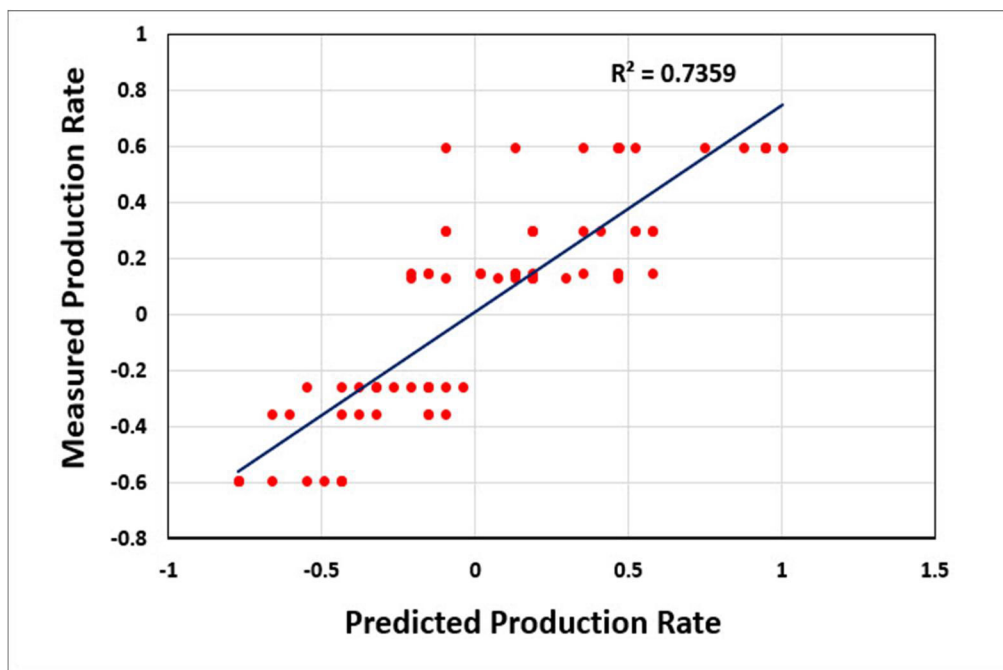
Model No.	Neuron of Hidden Layer	The Results of Network for R^2		The Results of Network for RMSE		The Results of Network for VAF	
		Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing
۱	۱	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۲۵	۰/۲۷	۵۵/۳۱	۴۹/۹۳
۲	۲	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۲۴	۰/۲۵	۶۶/۰۷	۶۷/۲۲
۳	۳	۰/۷۳	۰/۸۱	۰/۲۳	۰/۲۲	۶۷/۰۱	۶۲/۰۷
۴	۴	۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۲۵	۰/۲۲	۵۸/۸۳	۵۷/۵
۵	۵	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۲۴	۰/۲۶	۶۹/۹۳	۴۴/۴۳
۶	۶	۰/۷۴	۰/۶۶	۰/۲۴	۰/۲۵	۶۴/۸	۵۶/۴۶
۷	۷	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۲۴	۰/۲۵	۶۸/۴۷	۴۹/۷۵
۸	۸	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۲۳	۰/۲۷	۶۴/۰۲	۶۰/۱۷
۹	۹	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۲۴	۰/۲۵	۶۰/۸	۷۰/۱
۱۰	۱۰	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۲۳	۶۲/۷	۶۵/۹۱

در گام بعدی بر اساس یک روش رتبه بندی ساده ، هر مدل رتبه بندی میشود. جدول ۵-۴۵ رتبه بندی هر یک از مدل ها را برای ۱۰ شبیه سازی نشان می دهد.

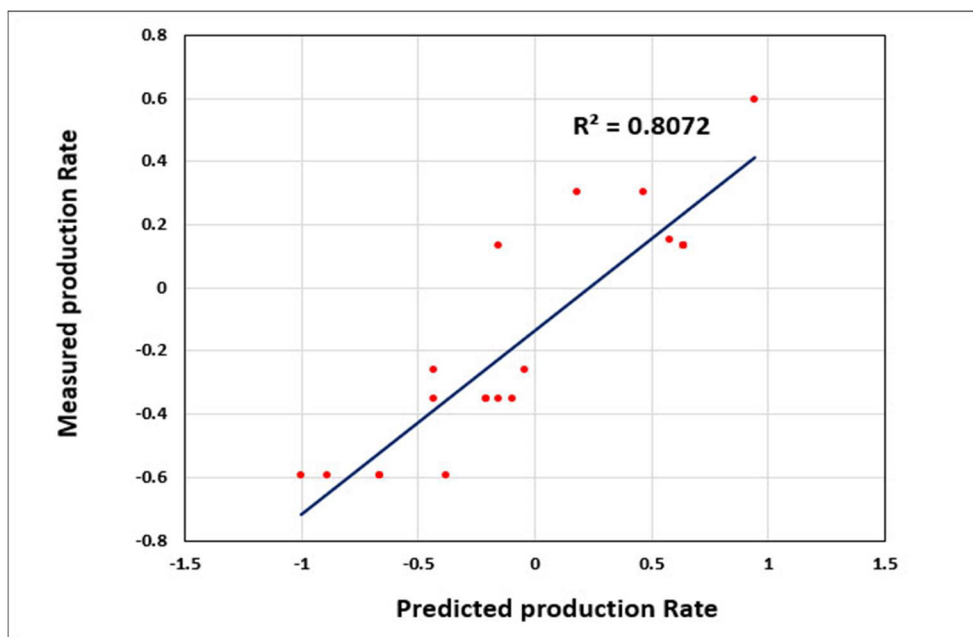
جدول ۵-۴۵ رتبه بندی مدل های ساخته شده

Model No.	Neuron of Hidden Layer	The Results of Network for R^2		The Results of Network for RMSE		The Results of Network for VAF		Total Rank
		Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	
۱	۱	۴	۶	۸	۶	۱	۳	۲۸
۲	۲	۷	۴	۹	۸	۷	۸	۴۳
۳	۳	۷	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۷	۵۳
۴	۴	۵	۹	۸	۱۰	۲	۵	۳۹
۵	۵	۹	۳	۹	۷	۸	۱	۳۷
۶	۶	۸	۲	۹	۸	۶	۴	۳۷
۷	۷	۱۰	۱	۹	۸	۱۰	۲	۴۰
۸	۸	۸	۵	۱۰	۶	۵	۶	۴۰
۹	۹	۶	۸	۹	۸	۳	۱۰	۴۴
۱۰	۱۰	۷	۷	۸	۹	۴	۹	۴۴

با توجه به نتایج رتبه بندی در جدول ۵-۴۵، مناسب ترین مدل جهت پیش بینی نرخ تولید بر اساس رتبه ای که از شاخص های عملکرد شبکه عصبی بدست آورده است ، مدل شماره ۳ می باشد. از این رو ساختار مدل بهینه سازی برای پیش بینی نرخ تولید دارای ۴ نرون ورودی، ۳ نرون برای لایه پنهان و ۱ نرون خروجی می باشد. شکل های ۵-۵ و ۵-۶ به ترتیب نمودارهای ضریب همبستگی (R^2) برای داده های آموزش و آزمون مدل شماره ۳ را نشان می دهند که مقدار آنها به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۷۳ است و نشان دهنده دقت مناسب در این مدل سازی می باشد.



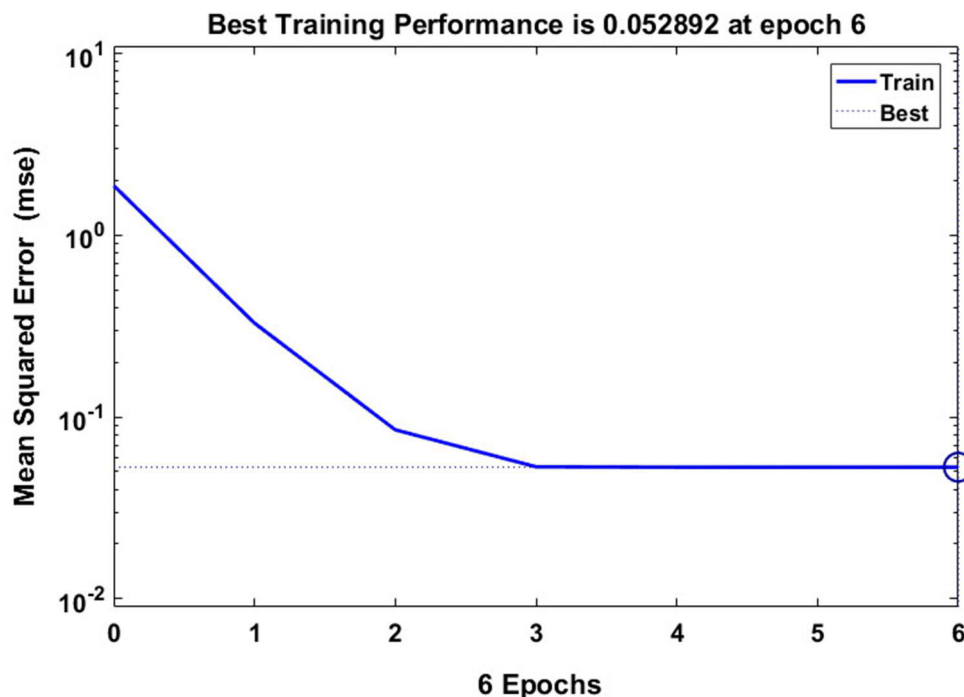
شکل ۵-۵ مقدار ضریب همبستگی برای داده های آموزش



شکل ۶-۵ مقدار ضریب همبستگی برای داده های تست

همچنین بهترین عملکرد آموزش بر اساس میانگین مربعات خطا برای مدل شماره ۳ در تکرار ششم بدست آمده و الگوریتم در این گام موفق می شود. شکل ۷-۵ بهترین عملکرد آموزش بر اساس

میانگین مربعات خطا برای مدل شماره ۳ نشان می‌دهد که مقدار ۰/۰۵۲۹ برای میانگین مربعات خطا است.

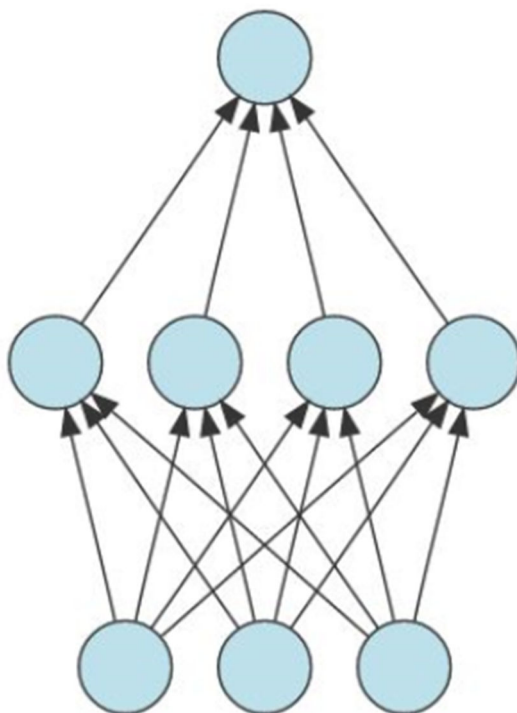


شکل ۵-۷ روند تعیین میانگین مربعات خطا

برای تعیین مناسب‌ترین تعداد نرون در لایه پنهان ، آنالیزهای لازم برای ۱۰ مدل انجام می‌شود و بر اساس یک روش رتبه‌بندی ساده و شاخص‌های عملکرد هر مدل، مدل شماره ۳ به عنوان مناسب‌ترین مدل با رتبه ۵۵ از میان ۱۰ مدل‌سازی انجام شده انتخاب شد. این مدل دارای مقدار ضریب همبستگی (R^2) برابر با ۰/۷۳ و ۰/۸۱ به ترتیب برای داده‌های آموزش و آزمون می‌باشد و همچنین دارای مقدار RMSE برابر با ۰/۲۳ و ۰/۲۲ به ترتیب برای داده‌های آموزش و آزمون بوده است. از این-رو مدل شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی جهت پیش‌بینی نرخ تولید سنگ‌های کربناته در ماشین برش اره زنجیری دارای یک ساختار به صورت $4 \times 3 \times 1$ می‌باشد که دارای ۴ نرون ورودی ، ۳ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون خروجی تشکیل شده است.

۵-۳-۳ شبکه عصبی مصنوعی شعاعی (RBF^{۴۰})

شبکه عصبی مصنوعی شعاعی (RBF) در حوزه مدلسازی ریاضی، یک شبکه عصبی مصنوعی است که از توابع پایه‌ای شعاعی به عنوان توابع فعالیت استفاده می‌شود. در این میان شبکه عصبی مصنوعی شعاعی پایه یکی از کاربردی ترین انواع شبکه های عصبی مصنوعی هستند که نسبت به بسیاری از روش های شبکه عصبی مصنوعی دارای سرعت یادگیری بالا تری هستند. شبکه عصبی مصنوعی شعاعی پایه از انواع شبکه های عصبی رو به جلو هستند و دارای کاربردهایی نظیر طبقه بندی و ایجاد نگاشت بین بردارهای ورودی و خروجی هستند. همانطور که در شکل ۵-۸ مشاهده می‌شود این نوع از شبکه های عصبی نظیر شبکه های عصبی پرسپترون دارای سه لایه شامل لایه ورودی، لایه میانی و لایه خروجی هستند.

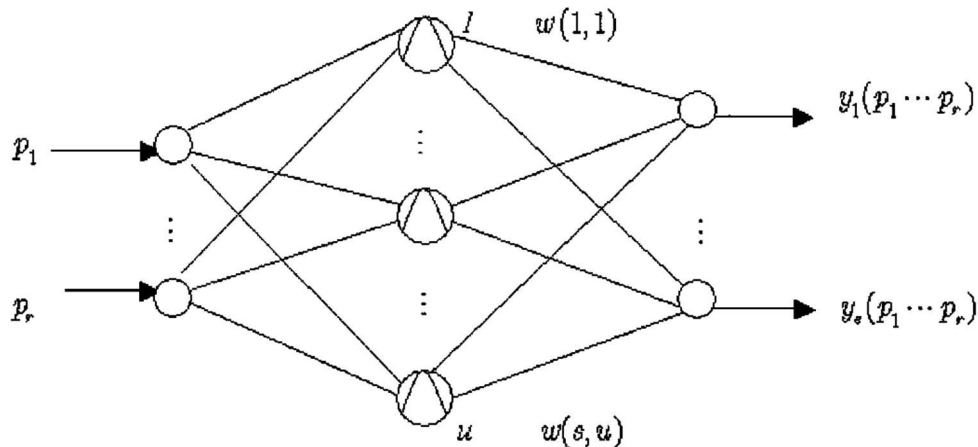


شکل ۵-۸ نمایی کلی از شبکه عصبی مصنوعی شعاعی (RBF)

در این شبکه لایه ورودی تنها به منظور ورود داده‌ها است و در پردازش داده‌ها نقشی ندارد. لایه میانی که لایه پنهان نیز نامیده می‌شود وظیفه تعیین نگاشت غیر خطی بین داده های ورودی و

⁴⁰ Radial Basis Function

خروجی را دارند که تعداد نرون‌ها در این لایه بر اساس روش سعی و خطا بدست می‌آید. در پایان لایه خروجی قرار دارد که ورودی آن، خروجی لایه پنهان است که خروجی آن یک مجموع وزنی ساده به صورت خطی است. شکل ۹-۵ یک فرم کلی از شبکه عصبی مصنوعی شعاعی پایه را نشان میدهد.



شکل ۹-۵ فرم کلی از شبکه عصبی شعاعی پایه

ورودی می‌تواند به عنوان یک بردار از اعداد حقیقی مدل شود و خروجی این شبکه می‌تواند یک تابع اسکالر از بردار ورودی شود. خروجی این شبکه یک ترکیب خطی از توابع پایه شعاعی برای پارامترهای ورودی و نرون‌هاست. این شبکه‌ها در تابع تقریب، پیش‌بینی سری‌های زمانی، کلاس‌بندی و کنترل سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به منظور استفاده شبکه‌های عصبی در شبیه‌سازی مسایل مختلف، عملکرد شبکه عصبی نیاز به ارزیابی و بررسی دقیق دارد تا مشخص شود که این شبیه‌سازی تا چه اندازه‌ای دقیق و صحیح بوده است. در این مطالعه نیز به منظور ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی مدل توسط شبکه عصبی مصنوعی شعاعی پایه از سه شاخص عملکرد شامل نظیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ، value account for (VAF)، ضریب همبستگی (R^2) استفاده می‌شود که مطابق روابط ۲-۵ الی ۴-۵ تعریف می‌شوند. در روابط زیر Π نشان‌دهنده تعداد مجموعه داده‌ها می‌باشد. همچنین X_i و Y_i به

ترتیب مقدار اندازه گیری شده و پیش بینی شده داده های خروجی می باشند. این نکته قابل توجه است که برای بهترین شاخص عملکرد، مقادیر VAF, RMSE و R^2 باید به ۱۰۰، ۰ و ۱ نزدیک باشد. طبق نمونه های موجود در این مطالعه، بر اساس پیشنهاد ارائه شده توسط لونی مقدار ۷۵ درصد از داده ها جز داده های آموزش و مابقی جز داده های تست در نظر گرفته شد. در این مطالعه ۶ پارامتر شامل ۳ پارامتر عملیاتی دستگاه برای ماشین برش اره زنجیری و ۳ پارامتر فیزیکی و مکانیکی سنگ ها شامل مقاومت فشاری تک محوره، ساییش لوس آنجلس و آزمایش چکش اشمیت به عنوان داده های ورودی و پارامتر نرخ تولید به عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته می شود. سپس به منظور انجام مدل سازی پارامترهای کنترلی الگوریتم بر اساس نظر کارشناسان و مطالعات گذشته تنظیم می شود. نکته قابل ذکر این است که برخی از این پارامترهای کنترلی به صورت تجربی و سعی و خطا باید تنظیم شوند. از اینرو تعداد دو پارامتر پراکندگی^{۴۱} و تعداد نرون بر اساس نظر کارشناسان برابر است با ۰/۵، ۱ و ۱/۵ برای پراکندگی و تعداد ۲۰، ۱۰ و ۳۰ برای تعداد نرون در نظر گرفته می شود و در مجموع ۹ مدل برای پیش بینی نرخ تولید ساخته شده است. نتایج حاصل از این مدل سازی بر اساس شاخص های عملکرد الگوریتم مطابق روابط ۸ الی ۱۰ در جدول ۵-۴۶ مشخص شده است.

جدول ۵-۴۶ بررسی تاثیر تعداد لایه و پارامتر پراکندگی بر عملکرد شبکه عصبی شعاعی

Model No.	Layer Size	Spread	The Number of Neuron	The Results of Network for R^2		The Results of Network for RMSE		The Results of Network for VAF	
				Trainin g	Testin g	Trainin g	Testin g	Trainin g	Testin g
۱	۱	۰/۵	۱۰	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۵۵	۱۹/۸۵	۱۱/۲۶
۲	۲	۰/۵	۲۰	۰/۸۳	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۸	۷۹/۹	۸/۳۹
۳	۳	۰/۵	۳۰	۰/۸۹	۰/۴۳	۰/۲۶	۰/۸۹	۸۸/۷۲	۳۲/۳۹
۴	۴	۱	۱۰	۰/۶۵	۰/۶	۰/۵	۰/۵۲	۴۵/۸۴	۳۳/۶۱
۵	۵	۱	۲۰	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۳۶	۰/۵۱	۷۵/۸۷	۷۰/۷۷
۶	۶	۱	۳۰	۰/۸۶	۰/۵۳	۰/۳	۰/۷۱	۸۴/۹	۵۱/۹۲
۷	۷	۱/۵	۱۰	۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۵۳	۰/۵۸	۱۷/۰۸	۳۲/۴۲

⁴¹ Spread

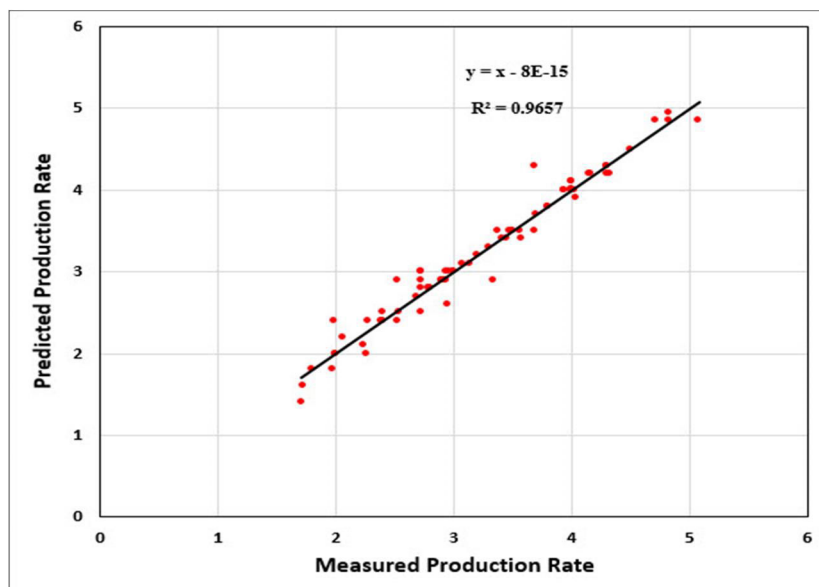
۸	۸	۱/۵	۲۰	۰/۹۷	۰/۶۶	۰/۱۶	۰/۷۳	۹۶/۴۴	۶۵/۹۴
۹	۹	۱/۵	۳۰	۰/۸۹	۰/۶۲	۰/۲۷	۰/۶۳	۸۷/۹۷	۶۰/۶

پس از تعیین هر یک از شاخص‌های عملکرد برای هر یک از مدل‌ها، برای رتبه بندی هر مدل از یک روش ساده رتبه بندی استفاده می‌شود. نتایج حاصل از این رتبه بندی در جدول ۵-۴۷ تعیین شده است.

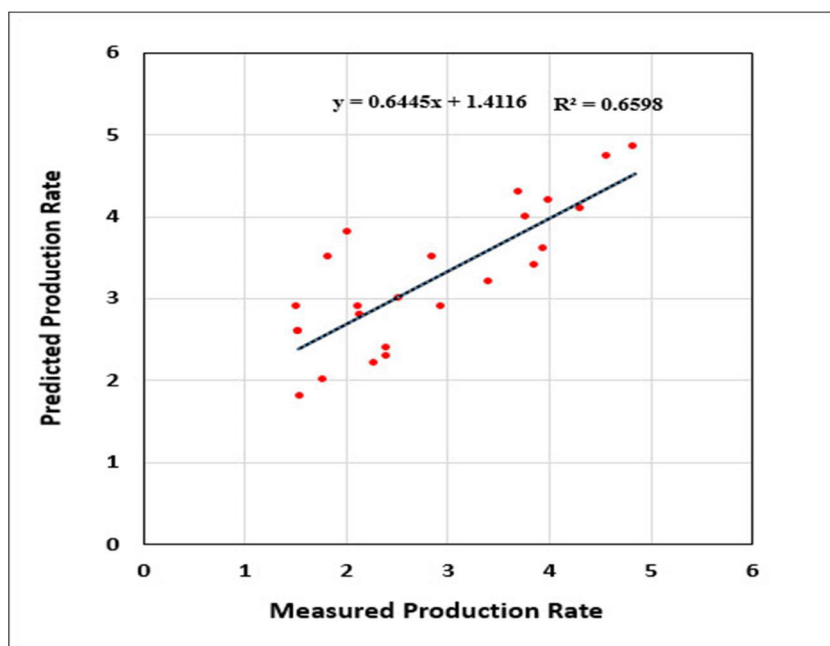
جدول ۵-۴۷ رتبه بندی مدل‌های ساخته شده توسط شبکه عصبی شعاعی

Model No.	Layer Size	Spread	The Number of Neuron	The Results of Network for R^2		The Results of Network for RMSE		The Results of Network for VAF		Total Rank
				Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	
۱	۱	۰/۵	۱۰	۳	۵	۱	۷	۲	۲	۲۰
۲	۲	۰/۵	۲۰	۶	۲	۵	۲	۵	۱	۲۱
۳	۳	۰/۵	۳۰	۸	۳	۸	۱	۸	۳	۲۷
۴	۴	۱	۱۰	۴	۶	۳	۸	۳	۵	۲۹
۵	۵	۱	۲۰	۵	۹	۴	۹	۴	۹	۴۰
۶	۶	۱	۳۰	۷	۴	۶	۴	۶	۶	۳۹
۷	۷	۱/۵	۱۰	۳	۸	۲	۶	۱	۴	۲۴
۸	۸	۱/۵	۲۰	۹	۸	۹	۳	۹	۸	۴۶
۹	۹	۱/۵	۳۰	۸	۷	۷	۵	۷	۷	۴۱

بر اساس نتایج رتبه بندی مدل‌ها در جدول ۵-۴۷ مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی نرخ تولید، مدل شماره ۸ می‌باشد. این مدل دارای ضریب همبستگی (R^2) برابر با ۰/۹۷ و ۰/۶۶ به ترتیب برای داده‌های آموزش و تست می‌باشد. شکل‌های ۵-۱۰ و ۵-۱۱ به ترتیب مقادیر R^2 برای داده‌های آموزش و تست را نشان می‌دهند.

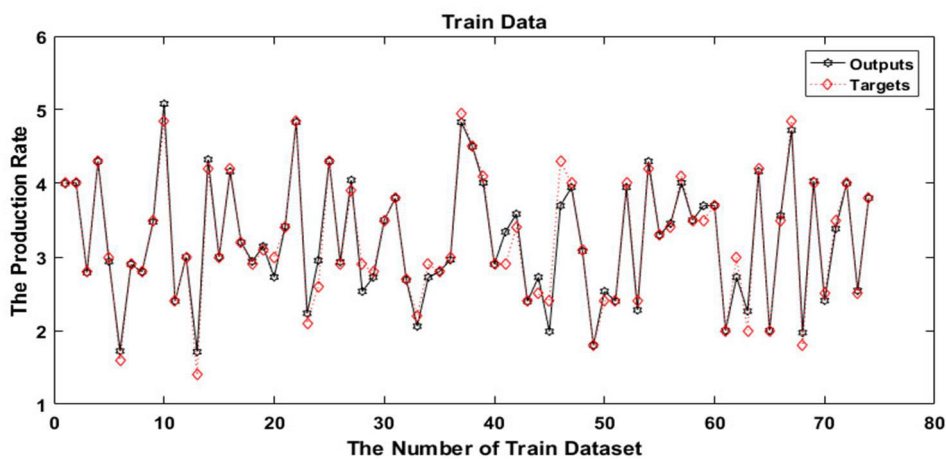


شکل ۵-۱۰ میزان ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش

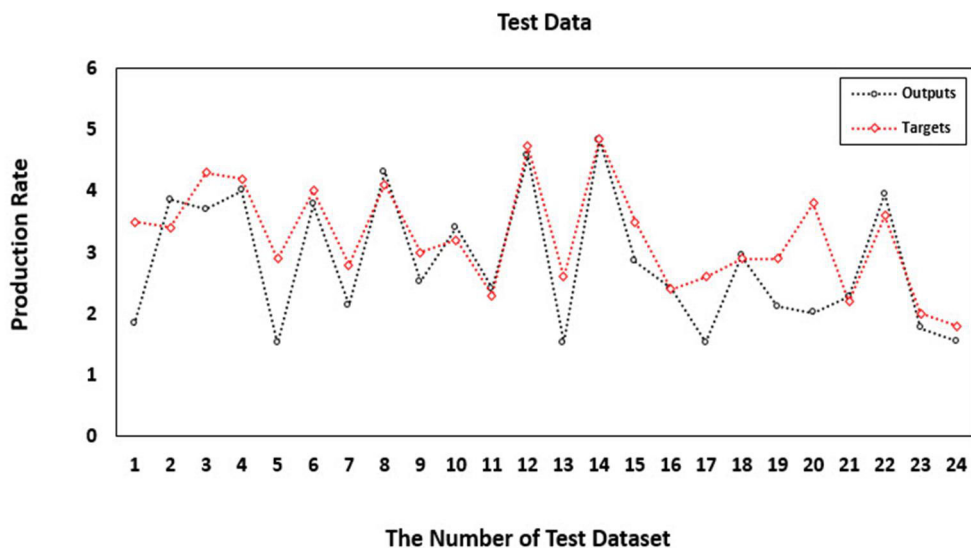


شکل ۵-۱۱ میزان ضریب همبستگی برای داده‌های تست

همچنین شکل‌های ۵-۱۲ و ۵-۱۳ یک مقایسه مابین نتایج پیش‌بینی شده نرخ تولید و مقادیر اندازه‌گیری شده آن را برای داده‌های آموزش و تست نشان می‌دهند. روند این مقایسه در این شکل‌ها نشان دهنده انجام یک پیش‌بینی خوب و دقیق می‌باشد.



شکل ۵-۱۲ مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده نرخ تولید برای داده‌های آموزش



شکل ۵-۱۳ مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده نرخ تولید برای داده‌های آزمون

تعیین مدلی مناسب جهت پیش‌بینی و ارزیابی نرخ تولید برای ماشین برش اره زنجیری منجر به افزایش نرخ بهره‌وری و کارایی در معادنی می‌شود که از این نوع ماشین برش استفاده می‌کنند. از این رو در این مطالعه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی شعاعی پایه و با در نظر گرفتن شش پارامتر که شامل ۳ پارامتر عملیاتی ماشین برش اره زنجیری و ۳ پارامتر فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها به عنوان داده‌های ورودی و نرخ تولید هم به عنوان پارامتر خروجی در شبیه‌سازی استفاده شده است. در مجموع ۹ مدل شبیه‌سازی می‌شود و تمامی مدل‌ها بر اساس شاخص‌های عملکرد الگوریتم رتبه

بندی می‌شوند. از میان ۹ مدل ارزیابی شده، مدل شماره ۸ با شاخص‌های عملکرد شامل $R^2=0.97$ ، $RMSE=0.16$ and $VAF=96.44$ برای داده‌های آموزش و $RMSE=0.73$ and $VAF=65.94$ برای داده‌های تست، بالاترین رتبه را بدست می‌آورد. شاخص‌های عملکرد الگوریتم در این مدل نشان دهنده توانایی بالای شبکه عصبی مصنوعی شعاعی پایه در شبیه سازی به منظور ارائه یک مدل پیش‌بینی دقیق برای نرخ تولید ماشین برش اره زنجیری می باشد.

جمع بندی

در این رساله برای پیش‌بینی نرخ برش سطحی از روش‌های رگرسیون آماری و انواع روش‌های شبکه عصبی GMDH، MLP و RBF استفاده شده است. سنجش مدل‌های ارائه شده برای رگرسیون-های خطی و غیرخطی با شاخص عملکرد ضریب همبستگی R^2 نشان می‌دهد مدلی که مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده است از شرایط خوبی برخوردار بوده و در اولویت بعدی قرار دارد. همین نتایج در خصوص مدل‌های ارائه شده برای روش-های شبکه عصبی مذکور نیز بدست آمده است. با عنایت به نتایج اخذ شده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این رساله، می‌توان نتیجه گرفت که روش شبکه عصبی مصنوعی GMDH یک تکنیک مدل‌سازی قابل اعتماد برای پیش‌بینی نرخ تولید با دقت قابل قبولی می‌باشد. در مقایسه بین روش‌های رگرسیون آماری و روش‌های شبکه عصبی، از لحاظ پارامترهای ورودی و خروجی مدل ارائه شده می‌توان مدل شماره ۶ رگرسیون خطی، مدل شماره ۶ رگرسیون غیرخطی و روش شبکه عصبی GMDH را با یکدیگر مقایسه نمود می‌توان با در نظر داشتن ضریب همبستگی R^2 نتیجه گرفت روش شبکه عصبی GMDH نسبت به روش‌های رگرسیون آماری کامل‌تر و جامع‌تر است.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادها

عملکرد ماشین برش اره زنجیری در معادن سنگ کربناته به نرخ برش سطحی آن بستگی دارد که شناخت بیشتر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مورد نیاز سنگ، مشخصات ماشین اره زنجیری و پارامترهای عملیاتی قابل کنترل از لزوم پیش‌بینی نرخ برش سطحی سنگ‌های کربناته می‌باشند. به همین منظور در این رساله پس از نمونه‌برداری از سینه‌کارهای فعال معادن مرمریت دهبید و شایان، مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مورد نیاز ۷ نمونه سنگ ساختمانی کربناته مرمریت، آنالیز و ثبت شد. با توجه به یکسان بودن شرایط برش سینه‌کارهای مورد نظر، نرخ برش سطحی با تمرکز روی پارامترهای عملیاتی قابل کنترل ماشین برش اره‌زنجیری در تمامی حالات ممکن اندازه‌گیری و ثبت شد. در فصل قبل با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی و انواع شبکه‌های عصبی GMDH، MLP و RBF روابط و مدل‌هایی میان نرخ برش و پارامترهای موثر برش بدست آمده است.

۶-۲ نتیجه‌گیری

عملکرد ماشین برش اره زنجیری را می‌توان براساس نرخ برش سطحی آن سنجید که پیش‌بینی نرخ برش کمک بسزایی به افزایش راندمان معدن می‌کند. نرخ برش سطحی برای هر نوع سنگ ساختمانی متفاوت است، لذا آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مورد نیاز بر روی ۷ نمونه سنگ ساختمانی مرمریت مربوط به ۲ معدن انجام شد. شرایط برش برای تمام سینه‌کارهای مورد نظر یکسان بود. در مطالعات میدانی میزان نرخ برش سطحی با توجه به پارامترهای عملیاتی قابل کنترل ماشین اره زنجیری در تمامی حالات ممکن اندازه‌گیری و ثبت شد. کلیه داده‌های اندازه‌گیری شده برای هر نمونه برای ارائه مدلی به منظور پیش‌بینی نرخ برش سطحی سنگ‌های کربناته مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی نتایج حاصل از انجام این تحقیق را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

۱- بهترین مدل رگرسیون خطی و غیرخطی در جدول‌های مدل‌های ارائه شده هر کدام، مدل شماره ۴ است که با ارزیابی پارامترهای موجود در روابط ارائه شده آن مدل‌ها می‌توان به رابطه مستقیم میزان نرخ برش سطحی با سایش لس آنجلس و رابطه عکس پارامتر نرخ برش سطحی با مقاومت فشاری تک محوره و سختی چکش اشمیت پی‌برد.

۲- برای پیش‌بینی نرخ برش سطحی، مدل رگرسیون شماره ۶ در هر دو فاز رگرسیون خطی و غیرخطی با توجه به ضرایب همبستگی R^2 ، از وضعیت بسیار خوبی برخوردار است و با ارزیابی روابط ارائه شده آن مدل‌ها، می‌توان به رابطه مستقیم نرخ برش سطحی با سرعت زنجیر، سرعت ماشین و سایش لس آنجلس و رابطه عکس نرخ برش سطحی با زاویه اره، مقاومت فشاری تک محوره و سختی چکش اشمیت پی‌برد.

۳- ضریب همبستگی در مدل رگرسیون خطی و غیرخطی که پارامترهای فیزیکی و مکانیکی و پارامترهای عملیاتی به عنوان متغیرهای مستقل و نرخ برش به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است برابر $0/84$ بوده و بنابراین لزوم استفاده از محاسبات نرم در این تحقیق احساس شد.

۴- یک مجموعه مدل‌سازی بر اساس ۳ روش شبکه عصبی مصنوعی شامل روش‌های GMDH، MLP و RBF برای مجموعه اطلاعات ۹۸ داده برای پیش‌بینی نرخ تولید صورت گرفت. در این مدل‌سازی‌ها برای روش GMDH در مجموع ۱۸ مدل، برای روش RBF در مجموع ۹ مدل و برای روش MLP در مجموع ۱۰ مدل بر اساس شرایط موجود ساخته شد. تمامی مدل‌های ارائه شده برای هر ۳ نوع شبکه عصبی رساله، بر اساس شاخص‌های عملکرد الگوریتم شامل ضریب همبستگی R^2 ، مربع میانگین خطا RMSE و VAF مورد ارزیابی قرار گرفتند. مدل شماره ۱۸ برای روش GMDH به طوری که مقادیر شاخص‌های عملکرد عبارتند از ضریب همبستگی (R^2) آموزش برابر $0/91$ ، ضریب همبستگی (R^2) تست برابر $0/92$ ، مربعات میانگین خطا (RMSE) آموزش برابر $0/252$ ، مربعات میانگین خطا (RMSE) تست برابر $0/245$ ، VAF آموزش برابر $90/30$ و VAF تست برابر $92/06$ ، مدل شماره ۸ برای روش RBF به طوری که مقادیر شاخص‌های عملکرد عبارتند از ضریب همبستگی

(R^2) آموزش برابر ۰/۹۷، ضریب همبستگی (R^2) تست برابر ۰/۶۶، مربعات میانگین خطا (RMSE) آموزش برابر ۰/۱۶، مربعات میانگین خطا (RMSE) تست برابر ۰/۷۳، VAF آموزش برابر ۹۶/۴۴ و VAF تست برابر ۶۵/۹۴ و مدل شماره ۳ برای روش MLP به طوری که مقادیر شاخص‌های عملکرد عبارتند از ضریب همبستگی (R^2) آموزش برابر ۰/۸۱، ضریب همبستگی (R^2) تست برابر ۰/۷۳، مربعات میانگین خطا (RMSE) آموزش برابر ۰/۲۳، مربعات میانگین خطا (RMSE) تست برابر ۰/۲۲، VAF آموزش برابر ۶۷/۰۱ و VAF تست برابر ۶۲/۰۷.

۵- یک مقایسه مابین مدل‌های سه روش شبکه عصبی مصنوعی بر اساس شاخص‌های عملکرد نشان داد که مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی نرخ تولید برای ماشین برش اره زنجیری روش GMDH و مدل شماره ۱۸ می باشد که بر اساس شاخص‌های عملکرد الگوریتم به دو روش دیگر برتری دارد اگرچه مدل‌های ارائه شده در دو روش دیگر دارای کارایی مناسب می‌باشند.

۶- با عنایت به نتایج اخذ شده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این رساله، می‌توان نتیجه گرفت که روش شبکه عصبی مصنوعی GMDH یک تکنیک مدل‌سازی قابل اعتماد برای پیش‌بینی نرخ تولید با دقت قابل قبولی می‌باشد.

۷- این مطالعه به طور کلی نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابزارهای قدرتمند و کاربردی در مبحث مهندسی معدن و به طور تخصصی در بحث پیش‌بینی نرخ تولید با ماشین برش اره زنجیری می‌باشند که میتوانند ابزاری کاربردی در بحث برنامه‌ریزی و افزایش صرفه اقتصادی در معادن و موضوع برش سنگ داشته باشند.

۳-۶ پیشنهادها

پس از انجام این رساله، برای کسب نتایج بهتر در مطالعات مشابه، پیشنهادهای مطرح می‌شود که در ذیل به برخی از آنها اشاره شده است :

- افزایش نرخ برش سطحی سبب سایش ابزار برش می‌شود، در این رساله سایش ابزار برش از قبیل سایش لقمه‌ها ثابت در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه ارائه راهکارهایی به منظور کاهش سایش ابزار برش و افزایش طول عمر آن نقش بسزایی در کاهش هزینه‌ها خواهد داشت، پیشنهاد می‌شود جهت بدست آوردن نرخ برش سطحی بهینه، میزان سایش ابزار نیز در تحقیق محاسبه و در نظر گرفته شود.
- در این تحقیق از مشخصات بافت ماده معدنی تنها اندازه دانه‌ها در محاسبات وارد شده است، لذا جهت تکمیل این تحقیق می‌توان مشخصات بافتی دیگر سنگ از قبیل شکل دانه‌ها، دسته درزه‌ها و ... را در محاسبات وارد نمود. به طور کلی پیشنهاد می‌شود با در نظر داشتن مشخصات توده سنگ محاسبات انجام گیرد.
- در انجام این مطالعه پارامتر انرژی ثابت در نظر گرفته شده است. با تغییر پارامتر میزان انرژی، جامعه آماری افزایش می‌یابد، لذا امکان دارد روابط، مدل‌ها و نتایج جدیدی یافت شود.
- با عنایت به اینکه تعداد معادن بسیار کمی در کشور از روش استخراج ماشین‌اره زنجیری با مدل‌های مختلف ماشین‌اره زنجیری استفاده می‌کنند بنابراین در این رساله ۲ معدن مرمریت در نظر گرفته شد، که می‌توان برای تکمیل تحقیق تعداد معادن و مواد معدنی را افزایش داد به شرطی که در تمامی معادن یک مدل ماشین‌اره زنجیری با شرایط یکسان استفاده شود.

منابع و مآخذ

- اصانلو، م، (۱۳۸۲)، "روش‌های حفاری"، مرکز نشر صدا.
- اصانلو، م، (۱۳۸۴)، "روش‌های استخراج معادن سطحی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- وایزبرگ، س، (۱۳۷۴) "رگرسیون خطی کاربردی" ترجمه حسینعلی نیرومند، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- عطایی، م، (۱۳۸۷) "استخراج سنگ‌های ساختمانی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- میکائیل، ر، (۱۳۹۰)، "ارائه یک سیستم طبقه‌بندی جدید برای ارزیابی قابلیت برش سنگ‌های ساختمانی و بهینه‌سازی پارامترهای برش"، رساله دکتری تخصصی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- وفائیان، م، (۱۳۷۱)، "مکانیک سنگ"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد.
- والپول، ر، (۱۳۵۷) "مقدمه‌ای بر احتمالات و آمار کاربردی" ترجمه میربهادر قلی آریانزاد و محمد ذهبیون، چاپ نهم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- Ataei, M., Mikaeil, R., Hoseinie, S.H. and Hosseini, S.M. (2012). "Fuzzy analytical hierarchy process approach for ranking the sawability of carbonate rock". *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 50, 83–93.
- Ataei, M., Mikaeil, R., Sereshki, F. and Ghaysari, N. (2011). "Predicting the production rate of diamond wire saw using statistical analysis". *Arabian Journal of Geosciences*.5, 1289-1295.
- Aryafar, A., Mikaeil, R., Doulati Ardejani, F., Shaffiee Haghshenas, S., & Jafarpour, A. (2018). Application of non-linear regression and soft computing techniques for modeling process of pollutant adsorption from industrial wastewaters. *Journal of Mining and Environment*.
- Almasi, S. N., Bagherpour, R., Mikaeil, R., & Ozcelik, Y. (2017). Developing a new rock classification based on the abrasiveness, hardness, and toughness of rocks and PA

for the prediction of hard dimension stone sawability in quarrying. *Geosystem Engineering*, 20(6), 295-310.

Almasi, S. N., Bagherpour, R., Mikaeil, R., Ozcelik, Y., & Kalhori, H. (2017). Predicting the Building Stone Cutting Rate Based on Rock Properties and Device Pullback Amperage in Quarries Using M5P Model Tree. *Geotechnical and Geological Engineering*, 35(4), 1311-1326.

Copur. H , Balci. C , Tumac. D, Bilgin. N,(2011). ” Field and laboratory studies on natural stones Leading to empirical performance prediction of chain saw machines”. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 48,269-282

Copur. H , Balci. C , Bilgin. N , Tumac. D, Feridunoglu. C , Dincer. T ”Cutting Performance of Chain Saws in Quarries and Laboratory

Dagrain, F.”Evaluation of operational costs for chain saw cutting”.

Dormishi, A., Ataei, M., Khaloo Kakaie, R., Mikaeil, R., & Shaffiee Haghshenas, S. (2018). Performance evaluation of Gang Saw Using Hybrid ANFIS-DE and Hybrid ANFIS-PSO Algorithms. *Journal of Mining and Environment*.

Ersoy A. and Atici U. (2004) “Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks” *J. of. Diamond and Related Materials*, 13 , pp 22-37.

Haghshenas, S. S., Haghshenas, S. S., Barmal, M., & Farzan, N. (2016). Utilization of soft computing for risk assessment of a tunneling project using geological units. *Civil Engineering Journal*, 2(7), 358-364.

Haghshenas, S. S., Mikaeil, R., Haghshenas, S. S., Naghadehi, M. Z., & Moghadam, P. S. (2017). Fuzzy and classical MCDM techniques to rank the slope stabilization methods in a rock-fill reservoir dam. *Civil Engineering Journal*, 3(6), 382-394.

Haghshenas, S.S., Ozcelik, Y., Haghshenas, S.S., Mikaeil, R., Moghadam, P.S. (2017). Ranking and assessment of tunneling projects risks using fuzzy MCDM (Case study: Toyserkan doolayi tunnel). *IMCET 2017: New Trends in Mining - Proceedings of 25th International Mining Congress of Turkey*.

Howarth, D.F, and Rowlands, J.C. (1986) "Development of an Index to Quantify Rock Texture for Qualitative Assessment of Intact Rock Properties". *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 9, pp 169-179

Howarth, D.F, and Rowlands, J.C. (1986) "Development of an Index to Quantify Rock Texture for Qualitative Assessment of Intact Rock Properties". Geotechnical Testing Journal, Vol. 9, pp 169-179

<http://www.benettimacchine.it/>.

<http://www.Dazzinimacchine.com/>.

<http://www.fantinispa.it/>.

<http://www.mimt.gov.ir/>.

Korman. T, Kujundzic. T, Kuhinek. D. (2015) "Simulation of the chain saw cutting process With a Linear Cutting machine". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 78-283-289

Kos . A , Dervaric. E (2012). "Technoilogical process and equipment selection for excavation of natural stone in Lipica quarry". MARMOR, Sezana, d. d. ; Partizanska cesta 73a, SI-6210 Sezana, Slovenia Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniska fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo, Askerceva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

Tumac. D, Avunduk. E, Copur. H , Bilgin. N, Balci. C. (2013)" Estimation of the performance of chain saw machines from shore hardness and the other mechanical properties". Rock ,Modelling and Engineeering Design Methods – Feng Hudson & Tan(Eds) Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00057-5".

Mikaeil, R., Haghshenas, S. S., Haghshenas, S. S., & Ataei, M. (2016). Performance prediction of circular saw machine using imperialist competitive algorithm and fuzzy clustering technique. Neural Computing and Applications, 1-10.

Sariisik. A , Sariisik. G (2010). "Efficiency analysis of armed-chained cutting machives in block production in travertine guarries". The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.

Tumac, D. (2016). Artificial neural network application to predict the sawability performance of large diameter circular saws. Measurement, 80, 12-20.

Mikaeil, R., Ozcelik, Y., Ataei, M., & Shaffiee Haghshenas, S. (2016). Application of harmony search algorithm to evaluate performance of diamond wire saw. Journal of Mining and Environment.

Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Khademian, A., Sousa, L. M., Almasi, S. N., & Esfahani, M. M. (2017). Determining the optimum cutting direction in granite quarries through experimental studies: a case study of a granite quarry. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1-9.

Mikaeil, R., Haghshenas, S.S., Ataei, M., Haghshenas, S.S., Haghshenas, A.S. (2017). The application of multivariate regression analysis to predict the performance of diamond wire saw. *IMCET 2017: New Trends in Mining - Proceedings of 25th International Mining Congress of Turkey*.

Rad, M. Y., Haghshenas, S. S., Kanafi, P. R., & Haghshenas, S. S. (2012). Analysis of Protection of Body Slope in the Rockfill Reservoir Dams on the Basis of Fuzzy Logic. In *IJCCI* (pp. 367-373).

Rad, M. Y., Haghshenas, S. S., & Haghshenas, S. S. (2014). Mechanostratigraphy of cretaceous rocks by fuzzy logic in East Arak, Iran. In *The 4th International Workshop on Computer Science and Engineering-Summer, WCSE*.

Haghshenas, S. S., Neshaei, M. A. L., Pourkazem, P., & Haghshenas, S. S. (2016). The Risk Assessment of Dam Construction Projects Using Fuzzy TOPSIS (Case Study: Alavian Earth Dam). *Civil Engineering Journal*, 2(4), 158-167.

Mikaeil, R., Haghshenas, S. S., Shirvand, Y., Hasanluy, M. V., & Roshanaei, V. (2016). Risk assessment of geological hazards in a tunneling project using harmony search algorithm (case study: Ardabil-Mianeh railway tunnel). *Civil Engineering Journal*, 2(10), 546-554.

Mikaeil, R., Haghshenas, S. S., & Hoseinie, S. H. Rock Penetrability Classification Using Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm and Self-Organizing Map. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1-10.

Salemi, A., Mikaeil, R., & Haghshenas, S. S. (2017). Integration of finite difference method and genetic algorithm to seismic analysis of circular shallow tunnels (Case study: Tabriz urban railway tunnels). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1-13.

Mikaeil, R., Shaffiee Haghshenas, S., Ozcelik, Y., & Shaffiee Haghshenas, S. (2017). Development of Intelligent Systems to Predict Diamond Wire Saw Performance. *Soft Computing in Civil Engineering*, 1(2), 52-69.

Sonmez, H., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., & Kayabasi, A. (2006). Estimation of rock modulus: for intact rocks with an artificial neural network and for rock masses

with a new empirical equation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(2), 224-235.

Khandelwal, M., & Singh, T. N. (2006). Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast mine: a neural network approach. *Journal of sound and vibration*, 289(4-5), 711-725.

Bahrami, J., Kavianpour, M. R., Abdi, M. S., Telvari, A., Abbaspour, K., & Rouzkhah, B. (2011). A comparison between artificial neural network method and nonlinear regression method to estimate the missing hydrometric data. *Journal of Hydroinformatics*, 13(2), 245-254.

Hecht-Nielsen R (1987) Kolmogorov's mapping neural network existence theorem. In: *Proceedings of the first IEEE international conference on neural networks*, San Diego, CA, pp 11–14.

Kaasra, I., & Boyd, M. (1996). Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. *Neurocomputing*, 10(3), 215-236.

Kanellopoulos, I., & Wilkinson, G. G. (1997). Strategies and best practice for neural network image classification. *International Journal of Remote Sensing*, 18(4), 711-725.

Ripley, B. D. (1993). Statistical aspects of neural networks. *Networks and chaos—statistical and probabilistic aspects*, 50, 40-123.

Paola, J. D. (1994). *Neural network classification of multispectral imagery*. Master Tezi, The University of Arizona, USA.

Wang C (1994) *A theory of generalization in learning machines with neural application*. PhD thesis, The University of Pennsylvania.

Masters T (1994) *Practical neural network recipes in C++*. Academic Press, Boston MA.

Yagiz, S., Sezer, E. A., & Gokceoglu, C. (2012). Artificial neural networks and nonlinear regression techniques to assess the influence of slake durability cycles on the prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for carbonate rocks. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 36(14), 1636-1650.

Zorlu K, Gokceoglu C, Ocakoglu F, Nefeslioglu HA, Acikalin S (2008) Prediction of uniaxial compressive strength of sandstones using petrography-based models. *Eng. Geol.* 96(3):141–158.

Extending the model for evaluation of performance of chain saw machine in decorative stone mines

The rate of areal cutting depends on more recognition of physical, chemical and mechanical characteristics which is needed for stone, specifications of chain saw machine and achieve parameters that are able control of prediction of the rate of areal cutting of carbonate stones. The prediction of the rate of areal cutting of carbonate stones is very important issue and complicated. After taking samples of achieve faces of marble mines of Dehbid and Shayan, the needed physical, chemical and mechanical specifications of 7 samples of decorative stone, analyzed and recorded. Regarding the same condition of cutting the faces The rate of superficial cutting with focus on achieve parameters that are able to control of the chain saw cutting machine in different conditions measurement and recorded. For linear and nonlinear regression models has been presented 6 models so that R^2 for the best model which includes 0.96 for linear regression and 0.95 for nonlinear regression. In this model arrival parameters of mechanical and physical specifications of stone includes the uniaxial compressive strength, los angeles and schmite and output parameter of model is the rate of areal cutting. In this model arrival parameters of mechanical and physical specification of stone include the uniaxial compressive strength, Los Angeles and schmite and exit parameter the model of rate of areal cutting with los angeles and relationship of the opposition parameter of the rate of areal cutting another model of regression in both phase linear and nonlinear regression regarding R^2 has very good condition. The arrival parameter of the model of physical and mechanical specifications of stone and specifications of active which is able to control of chain saw machine includes the speed of chain, the angel of saw and the speed of machine and arrival parameter model of the rate of areal cutting with the evaluation of presented relationship of the model confined direct line between the rate of areal cutting. A series of making model on the bare of three ways of artificial neural network includes group way of data management (GMDH) multi layers perceptron (MLP) artificial neural network (RBF) for the data 98 outputs for prediction of the production rate in three model making for the GMDH style in series of model 18 for the RBF style in series of 9 models and for MLP method in series 10 models base of conditions was model. All models on the base of functions of algorithm includes (R^2) the error average square of (RMSE) and (VAF) have evaluated

for GMDH style the amounts of functions of algorithm includes (R^2) . Areal cutting rate with the speed of chain the speed of machine and los angeles and the opposite relationship of cutting rate with angle of saw uniaxial compressive strength the hardship schmite cutting rate with the of chain the speed of machine and los angeles and the opposite relationship of cutting rate with angle of saw, uniaxial compressive strength and hardship schmite. For GMDH method numbers of performance of the best models includes The error of the average square (RMSE), the education equals 0.252 the error of the average squares (RMSE) test equals 0.245 VAF education equals 90.3 and VAF test , equals 92.06 for RBF method, the amount of functions of the best model includes R^2 education equals 0.97, R^2 test equals 0.66 the error average square(RMSE)test equals 0.73 VAF education equals 96.44 and VAF test equals 65.94 for the style MLP the certain amounts of function of the best moddle of R^2 education equals 0.81 R^2 test equals 0.22, VAF education equals 67.01 and VAF test equals 62.07 a comparison between three models of artificial neural network on the base of specification of function was shown that the most suitable way for the prediction of the rate of production for the cutting machine of chain saw GMDH and is the best model of this method which is superficial slice with the speed of chain, the speed of machine and los angeles and the relationship.

Key words : model, performance, chain saw machine, decorative stone mines



Shahrood University of Technology
Kharazmi International Campus
Ph.D. Thesis in Mineral Exploitation

**Extending the model for evaluation of performance of chain
saw machine in decorative stone mines**

By: Javad mohammadi

Supervisor:

Dr. mohammad Ataee

Dr. Reza khaloo kakaee

Advsor:

Dr. Reza mikaeel

July2018