

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
رشته مهندسی معدن گرایش استخراج مواد معدنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارائه مدل تجربی برای تخمین سایش ابزار برش ماشین اره زنجیر

نگارنده: نوید عبداللهی

اساتید راهنما

دکتر فرهنگ سرشکی

دکتر محمد عطایی

بهمن ۹۷

شماره: ۴۹۷۴۰۵۱
تاریخ: ۹۷/۱۲/۱۱

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای نوید عبداللهی با شماره دانشجویی ۹۵۱۰۰۶۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان ارائه مدل تجربی برای تخمین سایش ابزار برش ماشین اره زنجیری که در تاریخ ۹۷/۱۱/۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر فرهنگ سرشکی	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر محمد عطایی	استاد	
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی نوروزی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر رامین رقیعی	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر رضا خالو کاکایی	استاد	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمّد عطایی



تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:
تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم اثر

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام

است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم‌ام در مکتب عشق شما آموختم‌ام و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای

بی‌کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز، مستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ به‌شتم رضای شما

ره‌آوردی گران سنگ‌تر از این نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم

نسیم گونه غبار خستگی‌تان را بزداید.

تشکر و قدردانی

اکنون که به یاری پروردگار و یاری و راهنمایی اساتید بزرگ موفق به پایان رساندن این پایان نامه شده‌ام وظیفه خود دانست که نهایت سپاسگزاری را از تمامی عزیزانی که در این راه به من کمک کرده‌اند را به عمل آورم:

در آغاز از اساتید فرهیخته و فرزانه جناب درکتر فرهنگ سرشکی و محمد عطایی که با مهربانی پیمودن این راه را آسان کمال تشکر را دارم و برای ایشان سلامتی و طول عمر آرزومندم.

از کلیه کارکنان، پرسنل و مسئولین محترم شرکت صنایع معدنی شهاب سنگ به ویژه آقایان دکتر علیرضا محمدی (مدیر فنی و مهندسی شرکت صنایع معدنی شهاب سنگ)، مهندس اشکان یزدانی (سرپرست معدن مرمیت کرم هرسین) و مهندس محمدی‌پور (سرپرست معدن مرمیت پرتاووسی بهاباد) که با محبت و بزرگواری خویش بنده را یاری کردند سپاسگذارم.

خالصانه از تمامی اساتید و معلمان و مدرسانی که در مقاطع مختلف تحصیلی به من علم آموخته و مرا از سرچشمه دانایی سیراب کرده‌اند متشکرم.

تعهد نامه

اینجانب نوید عبداللهی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معدن - مهندسی استخراج مواد معدنی دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارائه مدل تجربی برای تخمین سایش ابزار برش ماشین اره زنجیری تحت راهنمایی جناب دکتر فرهنگ سرشکی و دکتر محمد عطایی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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 ارایه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار 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 بافت های 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.

امضای دانشجو: نوید عبداللهی

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 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

استخراج سنگ‌های ساختمانی به دلیل پتانسیل خوب یکی از صنعت‌های مهم در کشور ایران به شمار می‌رود. با گسترش تکنولوژی رفتن به دنبال راهکارهای جدید با هزینه کمتر و افزایش توان تولید یکی از اهداف صاحبان صنایع است. استفاده از ماشین اره زنجیری یکی از راهکارهای مورد استفاده در برش سنگ ساختمانی است. در این پایان نامه ماشین اره زنجیری موجود در دو معدن سنگ ساختمانی مرمریت کرم هرسین و مرمریت پرتاووسی بهاباد مورد مطالعه قرار گرفت و سعی شده است تا ارتباط میان پارامترهای ماشین اره زنجیری و سنگ با سایش سگمنت‌ها با استفاده از رگرسیون خطی ساده و چندگانه مورد بررسی قرار گرفت.

ابتدا داده‌ها از دو معدن سنگ ساختمانی مرمریت کرم هرسین و مرمریت پرتاووسی بهاباد در حین عملیات برش سنگ توسط ماشین اره زنجیری برداشت شد؛ روال کار به برداشت داده‌ها به این صورت بود که قبل از هر سیکل برش سگمنت‌های مورد نظر توزین شده، سپس ماشین اره زنجیری با پارامترهای مناسب شروع به کار می‌کرد و تا پایان سیکل برش با همان پارامترها بدون تغییر کار می‌کرد. بعد از اتمام سیکل برش مجدداً سگمنت‌ها توزین شده که اختلاف جرم آن‌ها سایش را نشان می‌دهد. در پایان تعداد ۱۱ مشاهده از سیکل کاری ماشین اره زنجیری برداشت شد و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

در اولین گام بعد از برداشت داده برآزش تک متغیره میان پارامترها درجه سرعت ماشین، سرعت زنجیر و مساحت برش با سایش انجام شد. نتایج این قسمت نشان داد ضریب تعیین R^2 میان پارامترهای درجه سرعت ماشین، سرعت زنجیر و مساحت برش با سایش به ترتیب ۰.۶۵٪، ۰.۸۲٪ و ۰.۷۰٪ است. در مرحله بعد برای تعیین مؤلفه‌ها اصلی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی روی تمام متغیرهای درجه سرعت ماشین، سرعت زنجیر، مساحت برش، سختی اشمیت، چگالی، تخلخل، مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی و سایش لوس‌آنجلس انجام شد. مؤلفه‌های یک و دو به عنوان مؤلفه‌های اصلی

استخراج شدند و براساس این مؤلفه‌ها مساحت برش با هر دو مؤلفه همبستگی زیادی داشت. این نشان می‌دهد که مساحت برش نباید با سایر متغیرهای مستقل وارد تحلیل رگرسیون چندگانه شود زیرا موجب هم خطی در مدل می‌شود.

در آخرین مرحله دو مدل ارائه شده است، مدل اول با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی و برای پارامترهای درجه سرعت ماشین و سرعت زنجیر به عنوان متغیر مستقل و سایش به عنوان متغیر وابسته و در مدل دوم از رگرسیون ساده خطی برای پارامترهای مساحت برش و سایش ارائه شده است. ضریب تعیین برای مدل‌های اول و دوم به ترتیب $0.88/2$ و $0.72/2$ است که نشان می‌دهد در هر دو مدل متغیرهای مستقل توانسته‌اند مقدار زیادی از واریانس متغیر وابسته را تبیین نمایند. نتایج حاصل از اعتبار سنجی نشان می‌دهد مدل اول مناسب تر از مدل دوم است.

کلمات کلیدی: رگرسیون خطی، ماشین اره زنجیری، سایش سگمنت‌ها، سنگ ساختمانی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

مقالات ارائه شده در کنفرانس یا مجلات داخلی

وضعیت	نام کنفرانس	نام مقاله
پذیرفته شده	دومین کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالورژی و معدن ایران	بررسی ارتباط پارامترهای ماشین ااره زنجیری بر میزان سایش سگمنت ها و برش

فهرست

- ۱- مقدمه ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- بیان مسئله ۲
- ۳-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق ۳
- ۴-۱- سابقه موضوع ۴
- ۵-۱- اهداف پایان نامه ۷
- ۶-۱- فرضیات تحقیق ۷
- ۷-۱- ساختار پایان نامه ۸
- ۲- معرفی موردهای مطالعاتی و اجزای ماشین اره زنجیری ۹
- ۱-۲- مقدمه ۱۰
- ۲-۲- معدن سنگ مرمریت هرسین ۱۰
- ۳-۲- معدن سنگ مرمریت پرتاووسی بهاباد یزد ۱۱
- ۴-۲- معرفی ماشین اره زنجیری ۱۲
- ۲-۴-۱- اجزای اصلی ماشین اره زنجیری ۱۲
- ۲-۵- چیدمان سگمنتها در هر گام و پروفایل برش ۱۸
- ۲-۶- مکانیک برش سنگ ۱۹
- ۲-۷- نیروهای وارد بر سگمنتها ۲۰

- ۲۱ ۸-۲- استخراج سنگ با ماشین اره زنجیری
- ۲۱ ۸-۲-۱- جانمایی دستگاه در موقعیت
- ۲۲ ۸-۲-۲- تعویض سگمنت‌های مستهلک
- ۲۲ ۸-۲-۳- عمود کردن و بریدن سنگ
- ۲۳ ۸-۲-۴- روش تلفیقی با سیم برش
- ۲۴ ۹-۲- جمع بندی
- ۲۵ ۳- جمع آوری اطلاعات و ایجاد پایگاه داده
- ۲۶ ۳-۱- مقدمه
- ۲۶ ۳-۲- برداشت داده‌های صحرائی
- ۲۷ ۳-۳- داده‌های آزمایشگاهی
- ۲۷ ۳-۳-۱- دستورالعمل آزمایش تعیین تخلخل و چگالی خشک سنگ
- ۲۸ ۳-۳-۲- روش اشباع و غوطه‌وری
- ۲۸ ۳-۳-۳- دستورالعمل آزمایش تعیین قابلیت سایش و قدرت ساینده‌گی
- ۳۱ ۳-۳-۴- سختی
- ۳۱ ۳-۳-۵- مراحل انجام آزمایش
- ۳۳ ۳-۳-۶- محاسبات
- ۳۳ ۳-۴- مقاومت فشاری تک محوری
- ۳۳ ۳-۴-۱- نمونه مورد آزمایش
- ۳۴ ۳-۴-۲- محاسبات
- ۳۴ ۳-۵- مقاومت کششی
- ۳۴ ۳-۵-۱- نمونه‌های مورد آزمایش
- ۳۵ ۳-۵-۲- مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه سنگ‌ها
- ۳۵ ۳-۶- جمع بندی
- ۳۷ ۴- مفاهیم اساسی و علمی تحقیق

۳۸	۱-۴- مقدمه
۳۸	۲-۴- مراحل یک تحلیل رگرسیون
۳۹	۱-۲-۴- بیان مسئله
۳۹	۲-۲-۴- انتخاب متغیرهای مناسب
۳۹	۳-۲-۴- جمع‌آوری داده‌ها
۳۹	۴-۲-۴- تشخیص الگو
۴۰	۵-۲-۴- روش برازش
۴۰	۶-۲-۴- برازش الگو
۴۰	۷-۲-۴- انتخاب الگو و انتقاد از آن
۴۱	۳-۴- اهداف تحلیل رگرسیون
۴۱	۴-۴- رگرسیون خطی
۴۲	۱-۴-۴- رگرسیون خطی ساده
۴۲	۲-۴-۴- رگرسیون خطی چندگانه
۴۳	۵-۴- رگرسیون غیر خطی
۴۳	۶-۴- تحلیل عامل
۴۴	۱-۶-۴- تشکیل عامل‌های اولیه
۴۴	۲-۶-۴- مقدار ویژه
۴۵	۳-۶-۴- استخراج عامل‌های نهایی
۴۵	۴-۶-۴- روش‌های دوران عامل‌ها
۴۵	۷-۴- جمع‌بندی
۴۷	۵- ارائه مدل‌های پیش‌بینی برای تخمین سایش سگمنت‌ها
۴۸	۱-۵- مقدمه
۴۸	۲-۵- مدل‌های برازش تک متغیره
۴۹	۳-۵- تحلیل مؤلفه‌های اصلی
۵۱	۱-۳-۵- ماتریس مؤلفه چرخشی

- ۵-۴- مدلهای رگرسیون چند متغیره خطی ۵۲
- ۵-۴-۱- بررسی نرمال بودن داده‌ها..... ۵۳
- ۵-۴-۲- ارائه مدل براساس پارامترهای ماشین ۵۷
- ۵-۴-۳- تحلیل رگرسیون خطی ساده برای پیش‌گویی سایش با نرخ برش ۶۱
- ۵-۵- اعتبار سنجی روابط ۶۴
- ۵-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۶۵
- ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۷
- ۶-۱- نتیجه‌گیری ۶۸
- ۶-۲- پیشنهادات ۶۹
- منابع و مراجع ۷۱
- منابع ۷۲

فهرست اشکال

- شکل ۲-۱: محل معدن مرمریت کرم هر سین ----- ۱۱
- شکل ۲-۲: موقعیت معدن پرتا ووسی ----- ۱۱
- شکل ۲-۳: اجزای ماشین اره زنجیری و اجزای بازو [۱۰] ----- ۱۳
- شکل ۲-۴: اجزای تیغه برش؛ (الف) سگمنت‌ها، (ب) بدنه تیغه، (ج) لقمه، (د) لینک‌ها [۲] ----- ۱۳
- شکل ۲-۵: ماشین اره زنجیری واجزای آن ----- ۱۴
- شکل ۲-۶: ستون‌های محافظ و باربر ----- ۱۴
- شکل ۲-۷: شاسی و جک‌های هیدرولیکی که در تصویر مشخص شده‌اند ----- ۱۵
- شکل ۲-۸: موتور تیغه؛ (الف) گیربکس حرکت بازو؛ (ب) اهرم تنظیم حرکت بازو ----- ۱۵
- شکل ۲-۹: موتور حرکت ماشین؛ (الف) گیربکس حرکت ماشین؛ (ب) اهرم تنظیم حرکت ماشین ----- ۱۶
- شکل ۲-۱۰: سیستم کنترل هیدرولیک ماشین ----- ۱۶
- شکل ۲-۱۱: تابلوی برق ماشین و کلیدهای کنترلی ----- ۱۷
- شکل ۲-۱۲: ترتیب قرارگیری لقمه‌ها و نحوه اسم گذاری آن‌ها ----- ۱۸
- شکل ۲-۱۳: شکل لقمه‌ها (الف) لقمه ۰، (ب) لقمه ۱، (ج) لقمه ۳، (چ) لقمه ۵A، (د) لقمه BIS، (ه) لقمه ۶ ----- ۱۸
- شکل ۲-۱۴: نمای پروفایل برش ----- ۱۹
- شکل ۲-۱۵: نمای پلان و موقعیت لبه ابزار با توجه به محور آن که θ زاویه منفی Rake، γ زاویه Back clearance، α زاویه مایل و Φ نمای پلان زاویه γ است [۱۲] ----- ۲۰
- شکل ۲-۱۶: (الف) ابزار برش و نیروهای برش، (ب) لقمه‌های شماره ۱، ۳ و ۵ با زاویه کناری متفاوت [۲] ----- ۲۱
- شکل ۲-۱۷: حمل ماشین و تراز کردن ریل‌ها ----- ۲۲
- شکل ۲-۱۸: ماشین اره زنجیر در حال نفوذ در سنگ ----- ۲۳
- شکل ۲-۱۹: ماشین اره زنجیری در حال برش سنگ با زاویه ۷۵ درجه ----- ۲۳
- شکل ۲-۲۰: عملیات همزمان حفاری چال افقی و برش سنگ توسط ماشین اره زنجیری ----- ۲۴
- شکل ۳-۱: مواد مانده روی الک نمره ۱۲ ----- ۳۰
- شکل ۴-۱: تشریح شماتیک ماهیت دوره‌ای فرآیند گرسیون [۱۷] ----- ۴۰
- شکل ۵-۱: برآزش تک متغیره بین سایش با پارامترهای ماشین اره زنجیری و مساحت برش ----- ۴۹

- شکل ۵-۲: نمودار Scree Plot برای همه مؤلفه‌ها ----- ۵۱
- شکل ۵-۳: منحنی توزیع نرمال داده‌ها؛ (الف) منحنی توزیع نرمال ولوم حرکت، (ب) منحنی توزیع نرمال ولوم سرعت، (ج) منحنی توزیع نرمال سایش لوس آنجلس، (د) منحنی توزیع نرمال مقاومت برشی، (ه) منحنی توزیع نرمال تخلخل ----- ۵۳
- شکل ۵-۴: شکل‌های مختلف منحنی توزیع از دید چولگی ----- ۵۴
- شکل ۵-۵: انواع کشیدگی ----- ۵۴
- شکل ۵-۶: (الف) نمودار جعبه‌ای متغیر درجه ماشین (ب) نمودار QQ متغیر درجه سرعت ماشین (ج) نمودار جعبه‌ای متغیر سرعت زنجیر (د) نمودار QQ متغیر سرعت زنجیر ----- ۵۷
- شکل ۵-۷: (الف) توزیع نرمال عبارت خطا (ب) نمودار p-p ----- ۶۱
- شکل ۵-۸: برازش تک متغیره میان مساحت برش و سایش ----- ۶۲
- شکل ۵-۹: (الف) توزیع نرمال عبارت خطا (ب) نمودار p-p ----- ۶۴
- شکل ۵-۱۰: ارتباط بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده (الف) معادله (۵-۲)، (ب) معادله (۵-۱) ----- ۶۵

فهرست جداول

- جدول ۳-۱: داده‌های برداشت شده از معادن ----- ۲۶
- جدول ۳-۲: دانه‌بندی نمونه‌های انتخابی برای قطعات کوچکتر از ۳۸ میلی‌متر [۱۷] ----- ۲۹
- جدول ۳-۳: تصحیح نشانه‌های آزمایش چکش برای ضربه‌های غیرافقی [۱۷] ----- ۳۲
- جدول ۳-۴: مشخصات نمونه‌های اندازه‌گیری شده ----- ۳۵
- جدول ۵-۱: مؤلفه‌ها و مشخصات آن‌ها ----- ۵۰
- جدول ۵-۲: وابستگی متغیرها در هر مؤلفه ----- ۵۲
- جدول ۵-۳: مقادیر کشیدگی و چولگی برای متغیرها ----- ۵۵
- جدول ۵-۴: سطح معناداری آزمون‌های آماری متغیرها ----- ۵۵
- جدول ۵-۵: سطح معناداری آزمون‌های آماری متغیرها ----- ۵۶
- جدول ۵-۶: خلاصه مدل ارائه شده براساس پارامترهای ماشین ----- ۵۸
- جدول ۵-۷: ANOVA ----- ۵۹
- جدول ۵-۸: ضرایب تأثیر رگرسیونی ----- ۶۰
- جدول ۵-۹: خلاصه مدل ارائه شده براساس مساحت برش ----- ۶۳
- جدول ۵-۱۰: ANOVA ----- ۶۳
- جدول ۵-۱۱: ضرایب تأثیر رگرسیونی ----- ۶۳
- جدول ۵-۱۲: مقادیر معیارهای ارزیابی برای روابط ارائه شده ----- ۶۵

فصل اول

مقدمه

طبق تعریف، سنگ ساختمانی به سنگی گفته می‌شود که با تغییر شکل فیزیکی یا بدون تغییر شکل فیزیکی در یکی از قسمت‌های ساختمان‌ها پل‌ها یا جاده به کار رود. ایران با دارا بودن بیش از ۲ میلیارد تن ذخایر متنوع سنگ‌های تزئینی و نما، جزء ۱۰ کشور عمده دارنده ذخایر سنگ است و ۱۰ درصد تولید جهانی را در اختیار دارد [۱].

سنگ‌های ساختمانی یکی از انواع ذخایر ملی در کشور به شمار می‌روند استخراج و بهره‌برداری از این ذخایر مزیت‌های زیادی برای کشور دارد. استخراج سنگ‌های ساختمانی در عین حال صنعت پیچیده‌ای است. پارامترهایی زیادی مانند تکنونیک، ارتفاع پله، روش استخراج بر کیفیت کپه تولیدی تاثیر دارد. یکی از روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی استفاده از دستگاه هاواژ در کنار سیم برش الماسه است. معمولا از دستگاه هاواژ برای برش‌های عمودی استفاده می‌کنند. سگمنت‌های مورد استفاده در ماشین اره زنجیری بدلیل وارداتی بودن قیمت نسبتا بالایی دارند. تخمین نرخ سایش سگمنت‌ها توسط پارامترهای دستگاه و سنگ به ما کمک می‌کند دید بهتری در مورد هزینه‌های جاری این دستگاه داشته باشیم. پارامترهای دستگاه شامل فشار دیفرانسیل، سرعت چرخش زنجیر و زاویه بازو و پارامترهای سنگ شامل مقاومت فشاری سنگ، سختی و ... است.

۱-۲- بیان مسئله

طبق تعریف سنگ ساختمانی به سنگ طبیعی گفته می‌شود که می‌تواند به صورت طبیعی، یا پس از برش و صیقل و یا پس از شکل دادن به آن به صورت بلوک، تخته سنگ، ورقه، پلاک و یا با هر شکل و اندازه دیگری مورد استفاده قرار گیرد. آمارها نشان می‌دهد که ایران جزء ده کشور اول صادر کننده سنگ‌های ساختمانی است. پیشرفت‌های تکنولوژی و هزینه‌های اقتصادی، تولیدکنندگان سنگ‌های ساختمانی را به جستجو برای یافتن راهکارهای کم هزینه‌تر و با کارایی بیشتر هدایت

می‌کند. یکی از فرآیندهای استخراج سنگ‌های تزئینی و نما ایجاد برش اولیه می‌باشد. روش عمده برای ایجاد بلوک سنگ استفاده از سیم برش الماسه است. روش مکمل برای برش سنگ استفاده از دستگاه اره زنجیری است بخصوص در مواقعی که کف بری یا نبود آب روش دیگر را مختل کند [۲]. تخمین و افزایش ضریب عملکرد این دستگاه دو مساله مهم برای کاربرد بیشتر در فرآیند استخراج است. افزایش ضریب عملکرد باعث کاسته شدن هزینه‌ها و در نهایت افزایش سود می‌شود. ضریب عملکرد از جنبه نرخ برش و نرخ سایش ابزار و یا کاهش زمان ماند دستگاه بررسی می‌شود. خواص سنگ مانند مقاومت، ساینده‌گی، سختی و درزه و شکاف و ... از عوامل غیر قابل کنترل هستند. زاویه جانبی ابزار، نسبت فاصله خطی به عمق برش، چیدمان ابزار برش بر روی دنباله زنجیر و ... از جمله عوامل قابل کنترل هستند. تخمین نرخ سایش ابزار برش در ماشین اره زنجیری برای محاسبات فنی و اقتصادی بکارگیری این ماشین در معدن مهم است.

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

صنعت معدنکاری همیشه به دنبال راهکارهای جدید است تا هزینه‌ها را کم کند و تولید را افزایش دهد که یکی از هدف‌های بکارگیری ماشین هاواژ نیز همین است. در سال‌های اخیر تلاش‌های علمی زیادی برای تحقیق در زمینه بهره‌برداری از بلوک‌های سنگ تزئینی انجام شده است زیرا عمل استخراج این بلوک‌ها نقص‌های هندسی را ایجاد می‌کند که به شدت باعث کاهش ارزش اقتصادی بلوک می‌شود. ایمنی این ماشین در مقایسه با روش سیم برش الماسه بیشتر است. از آن جایی که بلوک‌های برش داده شده با استفاده از این ماشین سقوط نمی‌کنند، هیچ مشکلی از لحاظ توسعه شکافها در سنگ وجود ندارد. از نظر مونتاژ و اجرا نسبت به سایر روش‌های برش آسان‌تر است. یکی از مزیت‌های مهم این دستگاه عدم نیاز به آب برای خنک کردن و رفع گرد و غبار است [۳]. مزیت‌های دیگر این ماشین سازگاری با محیط، تولید کپه‌های قابل فروش، عدم نیاز به حفاری چال و عملیات مربوط به آن و ... هستند. در مقابل مزیت‌های گفته شده یکی از معایب آن احتیاج به سرمایه‌گذاری

بیشتر نسبت به روش سیم برش الماسه است به همین دلیل باید به محاسبات فنی اقتصادی نیز توجه ویژه‌ای شود که تخمین نرخ سایش به این محاسبات کمک شایانی می‌کند. اگر ابزار برش زودتر از پایان عمر مناسب تعویض شوند هزینه‌ها افزایش و اگر دیرتر از پایان عمر مناسب تعویض شوند باعث کاهش نرخ نفوذ، تلفات زمان و تولید کمتر می‌شوند که این امر نیز هزینه‌ها را افزایش می‌دهد. با افزایش ضریب عملکرد، این ماشین‌ها می‌توانند به طور وسیع در معادن سنگ تزئینی و نما استفاده شوند.

۱-۴- سابقه موضوع

مطالعات مربوط به ماشین‌های اره زنجیری در صنعت سنگ تزئینی و نما کم است. کوپار^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۳ بلوک‌های یازده نمونه سنگ را تحت آزمایش‌های دندانه‌ای قرار داد. پارامترهای تعیین خاصیت، نرخ‌های افزایش و کاهش نیرو، دوره‌های افزایش و کاهش نیرو و تعداد افزایش و کاهش داده‌ها بودند. نتایج نشان داد که شاخص نیرو، همبستگی ملایمی با ضریب عملکرد برش و ویژگی‌های مکانیک سنگی دارد و همبستگی ناچیزی با زبری و سایش برش‌ها دارد. منحنی کلی و آرامی بین شاخص تردی، و شاخص زبری، ضریب عملکرد برش در شرایط بدون اثر متقابل شیارها و خواص مکانیک سنگی مشاهده شد [۲]. بالچی^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۴ برای تعیین ضریب عملکرد رودهدر با آزمایش بر روی ۲۳ نمونه سنگ مختلف انرژی ویژه را برای هر نمونه بدست آورد. سپس آزمایش‌هایی برای تعیین مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی غیر مستقیم (برزیلی)، مدول الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی، مقادیر حاصل از چکش اشمیت و اندیس سایش Cerchar انجام داد. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی رابطه قوی با انرژی ویژه بهینه دارند [۴].

¹ Copur

² Balci

بیلگین^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۶ برای تعیین ضریب عملکرد پیک‌های مخروطی و مقایسه برخی نتایج نظری و تجربی، ۲۲ نمونه سنگ مختلف را مورد آزمایش‌های فیزیکی قرار داد. سپس آزمایش‌های تمام مقیاس برش خطی، با عمق‌های مختلف و فاصله‌های مختلف برش دهنده‌ها، با یک نوع پیک مخروطی انجام شد. نتایج نشان داد که مقادیر نیروی برشی و انرژی ویژه با مقادیر بدست آمده از نتایج نظری همبستگی دارد و در میان خواص سنگ، مقاومت فشاری تک محوره بیشترین همبستگی را با ضریب عملکرد برش دهنده‌ها دارد [۵]. کوپار در سال ۲۰۰۹ برای تعیین برش پذیری سنگ، مشخصات برش ماشین‌های اره زنجیری و تاثیر آن بر ضریب عملکرد برش، نمونه‌ها را با زاویه‌های جانبی مختلف، عمق‌های مختلف نرخ برش، فاصله خطی ابزار و چیدمان‌های مختلف ابزار برش مورد آزمایش برش خطی تمام مقیاس قرار داد. همچنین یک مدل غیراحتمالاتی برای تخمین ضریب عملکرد با استفاده از نتایج آزمایش‌ها و قوانین سینماتیکی ارائه کرد [۶]. علی ساریسیک^۲ و گنچای ساریسیک^۳ در سال ۲۰۰۹ از یک ماشین بازو زنجیری به صورت آزمایشی در یک معدن تراورتن استفاده کردند که راندمان بلوک در معادن تراورتن ۸۰-۶۵٪ در مقایسه با روش سیم برش الماسه ۷-۱۴٪ محاسبه شد [۷]. رادفر و خادمیان در سال ۱۳۸۹ میزان سود کیفی و کمی حاصل از بکارگیری یک ماشین اره زنجیری در مقایسه با سایر روش‌های دیگر را بررسی کرد. نتایج نشان داد که سود سالانه افزایش، دوره بازگشت سرمایه کاهش و کیفیت محصول نهایی افزایش می‌یابد [۸]. کوپار و همکاران در سال ۲۰۱۰ دو مدل تجربی را برای تخمین نرخ برش شبکه مساحتی بر اساس شاخص نفوذ اره زنجیری و آزمایش‌های برش خطی، گسترش دادند. مدل اول از مقاومت فشاری تک محوره سنگ، وزن اره زنجیری و عمق مفید بازو برش؛ و مدل دوم از انرژی ویژه به عنوان پارامترهای تخمین دهنده استفاده می‌کند [۹]. علی ساریسیک و گنچای ساریسیک در سال ۲۰۱۲ یک مطالعه

¹ Bilgin

² Ali Sariisik

³ Gencay Sariisik

آزمایشگاهی با ماشین اره زنجیری برای افزایش بهره‌وری تولید سنگ انجام داد. به این منظور برای افزایش ضریب عملکرد، برای شکل دادن به ابزار برش (۴ و ۸ لبه) و میزان سایش آن‌ها راهنمایی‌هایی انجام داده است [۱۰]. توماچ^۱ در سال ۲۰۱۲ دو مدل بر اساس سختی اسکروسکپ شور^۲ که با خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های سنگ همبستگی دارد برای پیش‌بینی عملکرد ماشین‌های اره زنجیری ارائه کرد، مدل اول بر اساس شاخص نفوذپذیری اره زنجیری، از SH1، وزن ماشین و عمق مفید بازو برش به عنوان پیش‌بینی کننده استفاده می‌کند و مدل دوم بر اساس توان مصرفی صرفاً برای برش سنگ، ضخامت بازو و انرژی ویژه برای تابع ضریب تغییر شکل‌پذیری استفاده می‌کند [۱۱]. حکیم اوغلو^۳ در سال ۲۰۱۴ مطالعه‌ای بر روی افزایش ضریب عملکرد ماشین‌های اره زنجیری از نظر نرخ برش، کاهش سایش ابزار؛ و بررسی برش‌های بسیار کم عمق از طریق تغییر در چیدمان اصلی انجام داد [۱۲]. کورمان^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از ماشین برش خطی، آزمایش‌هایی انجام داد و فرآیند برش را شبیه‌سازی کرد. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی برای پیش‌بینی نیروی برشی ابزار و انرژی برشی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، و اگر عمق برش افزایش یابد ضریب عملکرد نیز افزایش می‌یابد [۱۳]. ال رومولی^۵ در سال ۲۰۱۷ برای دستیابی به کارایی بهتر دستگاه اره زنجیری با کاهش فشار ویژه روی زنجیر، افزایش نرخ تغذیه و بازدهی فرآیند، تلاش کرد که مکانیزم حذف مواد را با غلبه بر حرکت نسبی بین ابزار و سطح کار، تنها به وسیله نظارت بر نیروهایی که در عملیات برش عمل می‌کنند، درک کند. در این مطالعه یک مدل ساده برای نظارت بر نیروهایی که در طول برش بر هر سگمنت اعمال می‌شود ارائه شد [۲]. دنیز توماچ و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی اثر خواص بافت بر عملکرد قابلیت برش ماشین اره زنجیری پرداخت. برای تعیین قابلیت برش

¹ Deniz Tumach

² Shore Sclercope

³ Hakimoglu

⁴ Korman

⁵ L Romoli

سنگ نمونه‌ها با یک دستگاه برش خطی، با عمق‌های مختلف نفوذ سگمنت، آزمایش شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که در عمق پایین‌تر از ۱,۵ میلی‌متر همبستگی زیادی بین ضریب بافت و عملکرد برش وجود دارد [۱۴]. جواد محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از شبکه‌های مصنوعی عصبی مدلی برای میزان تولید ماشین‌اره زنجیری در سنگ‌های ساختمانی ارائه کرد [۱۵].

۱-۵- اهداف پایان‌نامه

هدف اصلی ارائه مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی نرخ سایش براساس پارامترهای ماشین‌اره زنجیری و خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ می‌باشد. اهداف جنبی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- درک ارتباط بین پارامترهای ماشین‌اره زنجیری و مشخصات سنگ با سایش سگمنت‌ها
- تعیین مؤلفه‌های اصلی مؤثر بر نرخ سایش سگمنت‌ها
- ارائه مدل پیش‌بینی نرخ سایش با استفاده مساحت برش داده شده توسط ماشین‌اره زنجیری

۱-۶- فرضیات تحقیق

این پژوهش دارای برخی محدودیت‌ها به شرح زیر است:

- بدلیل اختلاف وزن خیلی کم سگمنت‌ها رابطه سایش برای مجموعه‌ای از سگمنت‌های ۱۲ تایی که گام نامیده می‌شود ارائه می‌شود.
- بدلیل عدم تسلط کامل بر شرایط محیطی از نوساناتی که در حین کنترل پارامترها به وجود می‌آید چشم‌پوشی می‌شود.

۱-۷- ساختار پایان نامه

این نوشتار در شش فصل تنظیم شده است که در فصل اول کلیات موضوع پایان نامه بیان شده است. در فصل دوم مورد های مطالعاتی، اجزای ماشین اره زنجیری و شیوه عملیات برش سنگ توسط ماشین اره زنجیری مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم نحوه انجام برداشت داده های صحرائی و آزمایش ها و نحوه ایجاد پایگاه داده بیان شده است. در این فصل همچنین نحوه انجام آزمایش های مکانیک سنگی برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ به طور مختصر توضیح داده شده است. در فصل چهارم مفاهیم علمی رگرسیون خطی ساده و چندگانه، رگرسیون غیر خطی و تحلیل عامل بیان شده است. فصل پنجم شامل تمام تحلیل های آماری است که روی داده ها برای انجام رگرسیون مورد استفاده قرار گرفت. در این فصل نخست مدل برازش تک متغیره روی پارامترها انجام شد. سپس تحلیل مولفه های اصلی روی داده ها انجام گرفت و دو مدل برای پیش بینی نرخ سایش ارائه شد.

فصل دوم

معرفی مورد های مطالعاتی و اجزای ماشین اره زنجیری

۲-۱- مقدمه

تنها روش استخراج سنگ‌های ساختمانی برش آن به صورت بلوک‌های قابل حمل توسط ماشین‌آلات معدنی است. از جمله روش‌های برش می‌توان به سیم برش الماسه، دستگاه اره زنجیری، مواد منبسط شونده و ... نام برد. دستگاه اره زنجیری به طور وسیع در معادن (روباز و زیرزمینی) سنگ می‌تواند کاربرد داشته باشد. این دستگاه معمولاً همراه با سیم برش الماسه در برش‌های قائم و افقی استفاده می‌شود؛ در ایجاد سینه کار جدید نیز به دلیل کاربرد آسان بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این فصل به معرفی موردهای مطالعاتی و اجزاء دستگاه اره زنجیری می‌پردازیم. نحوه مطالعه نیروهای وارد بر سگمنت‌ها را بررسی و پارامترهای اثر گذار بر سایش سگمنت‌ها را معرفی می‌کنیم.

۲-۲- معدن سنگ مرمریت هرسین

معدن مرمریت کرم هرسین واقع در ۱۵ کیلومتری کرمانشاه در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه واقع شده است. استخراج سالیانه ۳۵۰۰۰ تن است و محصول تولیدی دارای درجات صادراتی، ممتاز و درجه ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. عملیات برش با روش سیم برش و روش تلفیقی سیم برش با ماشین اره زنجیری انجام می‌شود. ماشین اره زنجیری مدل RA/P.۷۰ با توان ۵۰ کیلووات وزن ۶۷۰۰ کیلو گرم و طول بازوی ۵/۶۰ متر و عمق برش ۴/۸۰ متر در حال انجام عملیات برش است. شکل (۲-۱) موقیت معدن مرمریت کرم هرسین را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱: محل معدن مرمریت کرم هرسین

۲-۳- معدن سنگ مرمریت پرتاووسی بهاباد یزد

معدن مرمریت پرتاووسی بهاباد یزد در ۸۰ کیلومتری بافق در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه واقع شده است. منطقه مورد نظر در ناحیه ساختاری- زمین شناسی بلوک بافق قرار گرفته است. وجود فسیلهای دوکفه‌ای که پس از برش در جهات خاصی حالت کشیده و همچون پرتاووس دارند باعث شد که به این محصول این معدن برای اولین با لفظ پرتاووسی اطلاق گردد. شکل (۲-۲) موقعیت معدن پرتاووسی یزد را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: موقعیت معدن پرتاووسی

محصول تولیدی معدن، کوپ سنگ مرمریت پرتاووسی در ابعاد مختلف و با درجات صادراتی، ممتاز، درجه ۱، ۲ و ۳ است. بر اساس پروانه بهره برداری میزان تولید سالانه این معدن ۵۰۰۰۰ تن است. روش استخراج در معدن به روش سیم برش و نیز استفاده از روش تلفیقی اره زنجیری و سیم بر

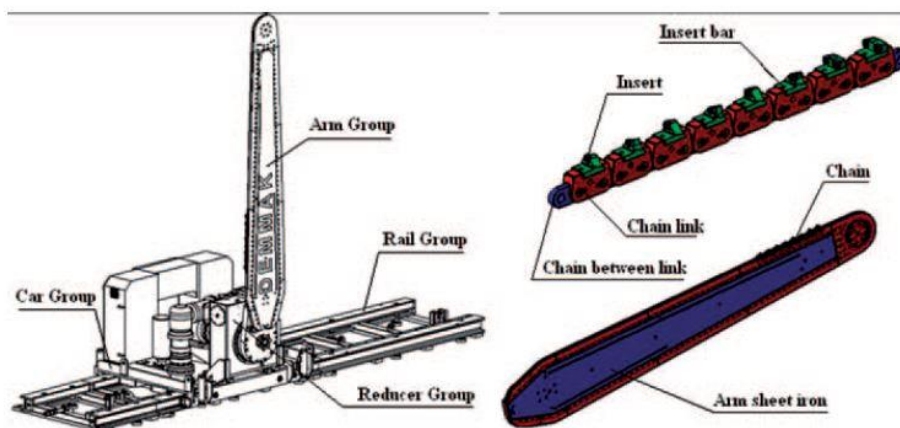
است. ماشین اره زنجیری مدل MOD.70 sup-h با توان ۵۰ کیلووات وزن ۱۰۰۰۰ کیلوگرم و طول بازوی ۷/۴۰ متر و عمق برش ۶ متر در حال انجام عملیات برش است.

۲-۴- معرفی ماشین اره زنجیری

ماشین‌های اره زنجیری برای برش سنگ‌های ساختمانی با مقاومت کم تا متوسط و ساینده‌گی نرم مانند تراورتن و سنگ مرمر، در هر دو روش استخراج روباز و زیر زمینی استفاده می‌شود. این ماشین‌ها هر دو برش عمودی و افقی را انجام می‌دهند و معمولاً با سیم برش الماسه به صورت تلفیقی استفاده می‌شوند. عملکرد برش این دستگاه بستگی به شرایط زمین‌شناسی معدن، ویژگی‌های مکانیکی ماشین و پارامترهای عملیاتی دارد [۲]. استفاده از دستگاه اره زنجیری برای تولید سنگ، عملکرد کلی این معادن را با ارائه محصولات با کیفیت بالاتر، کاهش تلفات تولید، کاهش زمان برای حفاری گمانه افقی و نصب سیم، افزایش می‌دهد [۱۶]. این ماشین‌ها یک محیط کار عالی درست می‌کنند، گرد و غبار کم‌تری تولید می‌کنند، مشکلات مواجهه با دستگاه سیم برش الماسه را کاهش می‌دهند، زمان جابجایی به پله جدید را کاهش می‌دهند و بلوک‌های قابل فروش تولید می‌کنند [۹]. ماشین‌های اره زنجیری با مشخصات متنوعی ساخته می‌شوند تا نیازهای عملیاتی انواع خاص سنگ یا معدن‌ها را تحمل کنند.

۲-۴-۱- اجزای اصلی ماشین اره زنجیری

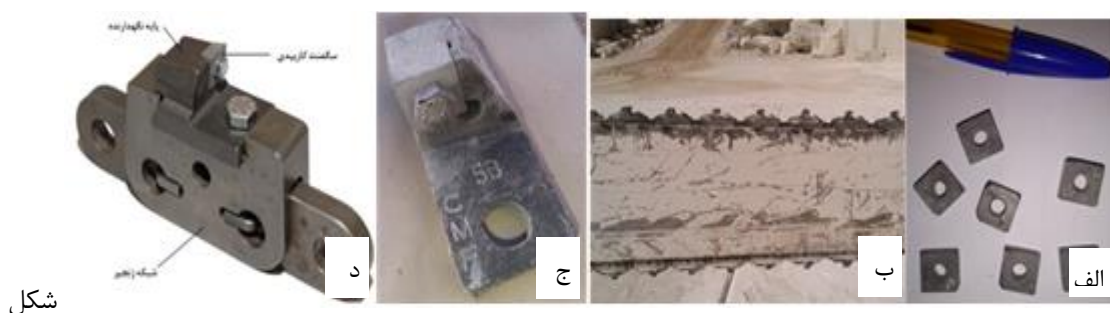
همانطور که در شکل (۲-۳) مشاهده می‌شود دستگاه اره زنجیری از سه قسمت اصلی بازو، ماشین و ریل تشکیل شده است.



شکل ۲-۳: اجزای ماشین اهر زنجیری و اجزای بازو [۱۰]

۲-۴-۱-۱- تیغه برش

قسمت اصلی دستگاه که کار برش را انجام می‌دهد تیغه برش است. سایش اجزا بازو زیاد است و بیشتر در معرض مشکلات قرار می‌گیرند بنابراین، بیشتر محاسبات مهم مهندسی برای گسترش عمر عملیاتی اجزا بازو استوار است. این اجزا شامل خورشیدی، کفشک، پین، لقمه و سگمنت است. این اجزا در شکل (۲-۴) نشان داده شده‌اند. سگمنت‌ها بر روی زنجیر چرخ در اطراف بازوی آلیاژ فولادی نصب می‌شود [۱۰]. این سگمنت‌ها توسط شبکه زنجیری و پایه نگهدارنده در امتداد طول بازو دوران می‌کنند و لبه در تماس سگمنت با سنگ آن را برش می‌دهد.



شکل

شکل ۲-۴: اجزای تیغه برش؛ (الف) سگمنت‌ها، (ب) بدنه تیغه، (ج) لقمه، (د) لینک‌ها [۲]

۲-۴-۱-۲- ماشین

قسمت ماشین خود از چند جزء شامل ستون‌های محافظ، شاسی، موتور گیربکس حرکت تیغه، زنجیر و حرکت ماشین روی ریل، سیستم هیدرولیک و ... تشکیل شده است. اجزای ماشین در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل ۲-۵: ماشین اره زنجیری و اجزای آن

• ستون‌های محافظ و باربر

جهت حمل و نقل ماشین اره زنجیری از ستون‌های محافظ و باربر استفاده می‌شود، ضمن اینکه وظیفه حفاظت از ماشین را نیز انجام می‌دهد. در شکل (۲-۶) ستون‌های محافظ و باربر نمایش داده شده است.



شکل ۲-۶: ستون‌های محافظ و باربر

• شاسی

شاسی بین ماشین و ریل قرار می‌گیرد که در شکل (۲-۷) می‌توان آن را مشاهده کرد. سایر اجزای ماشین روی شاسی قرار می‌گیرند. جک‌های هیدرولیکی که هنگام تراز نمودن دستگاه از آنها استفاده می‌شوند نیز به شاسی وصل هستند.



شکل ۲-۷: شاسی و جک‌های هیدرولیکی که در تصویر مشخص شده‌اند

• موتور گیربکس حرکت تیغه و زنجیر

تیغه و زنجیر برش، انرژی خود را جهت حرکت، از موتور گیربکس تامین می‌کند. شکل (۲-۸) الف) نمای این موتور و شکل (۲-۸) ب) اهرم تنظیم حرکت بازو که از ۱ تا ۱۰ درجه بندی شده است را نشان می‌دهد



شکل ۲-۸: موتور تیغه؛ (الف) گیربکس حرکت بازو؛ (ب) اهرم تنظیم حرکت بازو

• 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 روی ریل تامین می‌گردد. شکل (۲-۹ الف) نمای این موتور و شکل (۲-۹ ب) اهرم تنظیم حرکت ماشین که از ۱ تا ۱۰ درجه‌بندی شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۹: موتور حرکت ماشین؛ (الف) گیربکس حرکت ماشین؛ (ب) اهرم تنظیم حرکت ماشین

• سیستم هیدرولیک

ماشین‌اره زنجیری نیرو اولیه خود را از برق تامین و سپس توسط سیستم کنترلی، فرمان‌ها را به سیستم هیدرولیک و در نهایت ماشین فعالیت دستوری را انجام می‌دهد، در شکل (۲-۱۰) این سیستم نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰: سیستم کنترل هیدرولیک ماشین

• سیستم گریس کاری

این سیستم وظیفه گریس کاری قطعات زنجیر و تیغه را دارد. گریس در مخزنی ریخته شده و به وسیله پمپ به داخل اره و زنجیر فرستاده می شود تا حرکت اجزا راحت تر شود.

• تابلو برق

کلید فعالیتهای مربوط به ماشین توسط کلیدهایی انجام می شود که بر روی این تابلو نصب شده اند، در شکل (۲-۱۱) تابلوی برق به تصویر کشیده شده است.



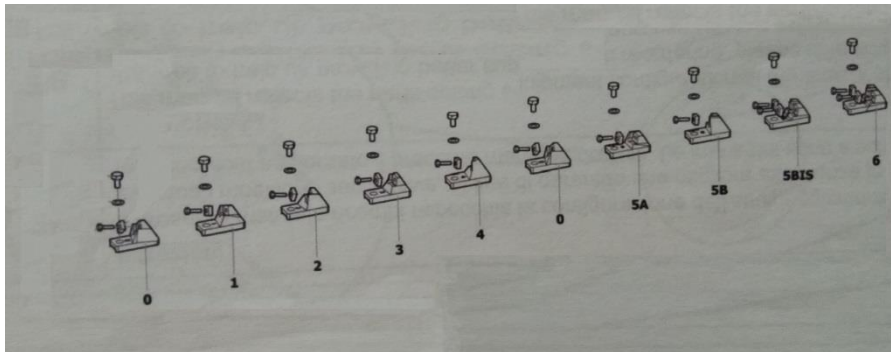
شکل ۲-۱۱: تابلوی برق ماشین و کلیدهای کنترلی

۲-۴-۱-۳- ریل

ریلها در اندازههای طولی متفاوت وجود دارند ولی معمولا با طول ۴ متر استفاده می شوند. همراه ماشین اره زنجیری ۳ عدد ریل وجود دارد که با جابجایی آنها به ریلهای بیشتر نیاز نیست. برای جانمایی ماشین روی ریل باید آنها از قبل تراز شده و در موقعیت مناسب سینه کار قرار گیرند.

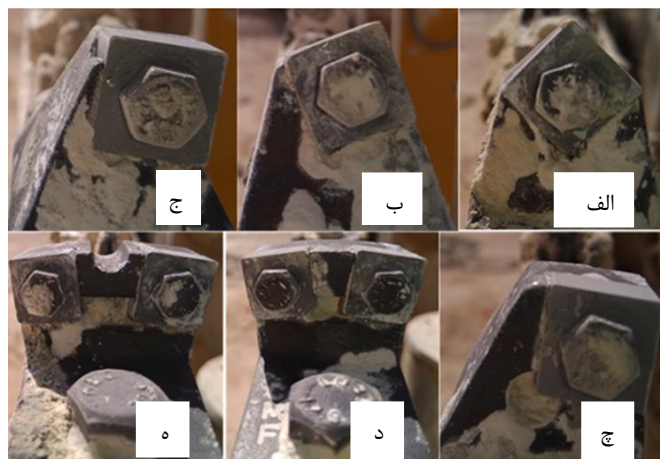
۵-۲- چیدمان سگمنتها در هر گام و پروفایل برش

لقمه‌ها بدلیل تامین عرض برش دارای انواع مختلف هستند. به توالی چند لقمه که عرض برش را تامین می‌کنند گام گفته می‌شود که در شکل (۲-۱۲) ترتیب قرارگیری لقمه‌ها و نامگذاری آنها در هر دو ماشین اره زنجیری مورد استفاده در معادن هرسین و بهاباد نشان داده شده است.



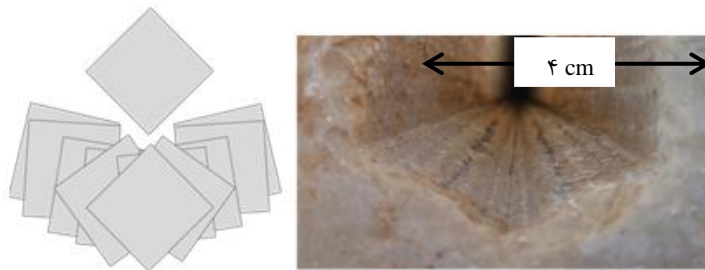
شکل ۲-۱۲: ترتیب قرارگیری لقمه‌ها و نحوه اسم گذاری آنها

لقمه‌ها در این گام با شماره ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵A، ۵B، BIS و ۶ مشخص می‌شوند. که به ترتیب لقمه‌های شماره ۱ و ۲، ۳ و ۴، ۵A و ۵B قرینه و لقمه‌های BIS و ۶ دو سگمنته هستند. لقمه‌های شماره ۰، ۱، ۳، ۵A، BIS و ۶ به ترتیب در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۳: شکل لقمه‌ها (الف) لقمه ۰، (ب) لقمه ۱، (ج) لقمه ۳، (چ) لقمه ۵A، (د) لقمه BIS، (ه) لقمه ۶

هر قطعه در گام سگمنت‌ها نسبت به سنگ زاویه‌ای دارد که باعث می‌شود رخنه منحصر به خود را در سنگ ایجاد کند. برآیند این رخنه‌ها در سنگ پروفایل شکست نام دارد که توسط فاصله بین ابزارها و موقعیت فضایی آن‌ها تعیین می‌شود. در شکل (۲-۱۴) نمونه‌ای از عرض برش و موقعیت شماتیک سگمنت‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۴: نمای پروفایل برش

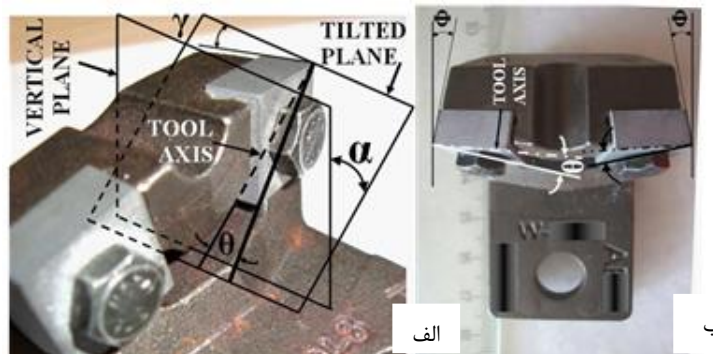
۲-۶- مکانیک برش سنگ

وضعیت برش سگمنت‌ها بر روی زنجیر شبیه به ماشین آلات برش سنگ است. محور همه سگمنت‌ها همیشه عمودی نیست در هر گام سگمنت‌ها بتدریج از محور عمودی خود کج می‌شوند.

لقمه‌هایی که گام را تشکیل می‌دهند به صورت متقارن طراحی شده‌اند تا نیروهای کناری در جهت عمود بر بازو را خنثی کنند. این باعث می‌شود تا از سایش نامناسب ابزار و بدنه بازو اجتناب شود و همچنین از انحراف بازو که ممکن است در داخل شیار قفل شود جلوگیری می‌کند. جهت برش سگمنت‌ها بر روی زنجیر عمود بر جهت چرخش بازو است شبیه دیگر ماشین‌های برش سنگ مانند رودهدر، شیرر، و... سگمنت‌ها یک برش خطی در طول مسیر حرکت ایجاد می‌کنند [۲۱].

همانطور که محور ابزار دیده می‌شود یک خط قرینه از قطر وجه جلوی سگمنت عبور می‌کند و با خط عمودی که از صفحه پایه نگهدارنده می‌گذرد موازی نیست. در مکانیک برش سنگ زاویه‌های Rake و Back clearance در یک صفحه از طریق محور سگمنت که بدنه آن را در امتداد برش به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند دیده می‌شود. در شکل (۲-۱۵ الف) تصویر سگمنت و پایه نگهدارنده و

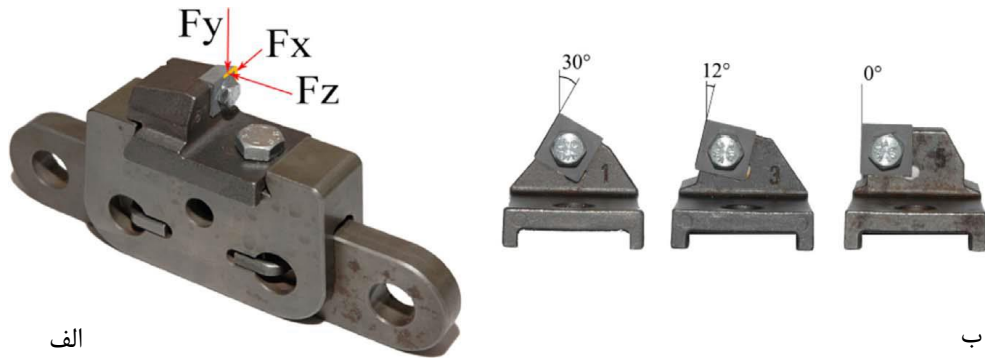
شکل (۲-۱۵) ب) نمای پلان همان سگمنت و پایه نگهدارنده نشان داده شده است. Φ نمای پلان زاویه Back clearance است [۱۲].



شکل ۲-۱۵: نمای پلان و موقعیت لبه ابزار با توجه به محور آن که θ زاویه منفی Rake، γ زاویه Back clearance، α زاویه مایل و Φ نمای پلان زاویه است [۱۲]

۲-۷- نیروهای وارد بر سگمنت‌ها

فرآیند برش بدلیل این که از چند سگمنت با زاویه قرار مجزا تشکیل می‌شود پیچیده است. نیروی اعمال شده روی لبه سگمنت در طول عملیات برش به هندسه ابزار بستگی دارد و در سه جهت اصلی تجزیه می‌شود همان طور که در شکل (۲-۱۶ الف) نشان داده شده است F_z نیروی برشی، F_y نیروی تراست و F_x نیروی جانبی است. وجود نیروی جانبی به علت شیب لبه برش سگمنت، نسبت به جهت تغذیه است؛ که زاویه قرار را تعریف می‌کند. به همین دلیل انتظار می‌رود که نیروی جانبی برای سگمنت شماره ۱ نسبت به سگمنت شماره ۳ بیشتر باشد، در حالی که می‌توان آن را برای سگمنت شماره ۵ نادیده گرفت شکل (۲-۱۶ ب). علاوه بر این تقارن بین سگمنت‌ها در گام، اطمینان می‌دهد که دو نیروی جانبی در جهت مخالف اعمال شوند تا زنجیر در جهت x متعادل شود [۲].



شکل ۲-۱۶: (الف) ابزار برش و نیروهای برش، (ب) لقمه‌های شماره ۱، ۳ و ۵ با زاویه کناری متفاوت [۲]

۲-۸- استخراج سنگ با ماشین اره زنجیری

در این روش نیاز به حفر چال نمی‌باشد. به همین دلیل در هزینه‌ها و زمان عملیات صرفه‌جویی می‌شود و در نهایت هزینه هر متر مکعب سنگ کاهش می‌یابد. این ماشین هم در برش‌های قائم و هم در برش‌های افقی کاربرد دارد [۱].

۲-۸-۱- جانمایی دستگاه در موقعیت

فرآیند تولید نیازمند یک سری از مراحل تولید است. ابتدا محل برش دستگاه با توجه به طول بلوک تولیدی مشخص می‌شود. دستگاه و ریل موازی با سطح آزاد سنگ در امتداد خط برش قرار می‌گیرند. دستگاه به کمک جک‌ها تراز و سپس ریل زیر دستگاه و ریل‌های بعدی، هم‌تراز ماشین می‌شوند. برای جلوگیری از انحراف ریل و لرزش زیاد چال‌هایی به عمق ۲۰ سانتی متر حفر می‌شوند و پین‌های T شکل در آن‌ها قرار می‌گیرد تا ریل ثابت باشد؛ شکل (۲-۱۷) این فرآیند را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۷: حمل ماشین و تراز کردن ریل‌ها

۲-۸-۲- تعویض سگمنت‌های مستهلک

این کار معمولاً قبل از شروع به کار یا اواسط برش (برای برش‌های طولانی) انجام می‌شود. لبه‌های برش دهنده به صورت جداگانه بررسی می‌شوند تا آن‌هایی که کارایی ندارند تعویض شوند. نشانه سایش لبه عبارتند از: افزایش فشار عملیاتی روی زنجیر برش، کشیده شدن بازو، و تجمع تراشه تولید شده در طی فرآیند برش [۷].

۲-۸-۳- عمود کردن و بریدن سنگ

بعد از نصب ماشین برای برش، همانگونه که در شکل (۲-۱۸) ماشین در فاصله‌ای به اندازه طول بازو از محل اولیه برش فاصله دارد و در وضعیت ثابت شروع به بریدن سنگ می‌کند تا نوک بازو در سنگ نفوذ کند. سپس کلید حرکت بازو تنظیم شده و زاویه بازو در حالت اتوماتیک قرار می‌گیرد؛ کلید حرکت رو به جلو یا عقب به وسیله اپراتور کنترل می‌شود به طوریکه اپراتور باید کنترل کند که آیا عرض و ارتفاع سینه‌کار انتخابی، به وسیله اره پوشش داده شده است. این مرحله با رسیدن زاویه بازو به ۷۵ درجه پایان می‌یابد. اولین برشی که توسط دستگاه برای تولید کوپه انجام می‌شود برش مادر نام دارد. این برش در ابتدای بلوک استخراجی یا انتهای آن قرار دارد.



شکل ۲-۱۸: ماشین اره زنجیر در حال نفوذ در سنگ
 با رسیدن بازو به زاویه ۷۵ درجه بازو ثابت شده و دستگاه با سرعت مناسب رو به عقب حرکت می‌کند شکل (۲-۱۹) عملیات برش را در حرکت با زاویه ۷۵ درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۹: ماشین اره زنجیری در حال برش سنگ با زاویه ۷۵ درجه

۲-۸-۴- روش تلفیقی با سیم برش

در روش تلفیقی حین برش سنگ توسط دستگاه اره زنجیری یا بعد از اتمام برش در کف پله تعدادی چال افقی متناسب با عرض بلوک توسط راسول حفر شده و سیم برش الماسه در آنها قرار گرفته و شروع به برش کف می‌کند شکل (۲-۲۰) عملیات ذکر شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۰: عملیات همزمان حفاری چال افقی و برش سنگ توسط ماشین اره زنجیری

۲-۹- جمع بندی

در این فصل ابتدا موردهای مطالعاتی معرفی شدند. سپس ماشین اره زنجیری و هرکدام از بخش‌های آن به تفصیل شرح داده شد. در ادامه فصل ترتیب قرارگیری سگمنت‌ها بر روی بازو و مکانیک برش سنگ و نیروهای وارد بر سگمنت‌ها بررسی شد. در پایان فصل روش آماده‌سازی دستگاه برای برش در روش تلفیقی که مورد استفاده در هر دو مورد مطالعاتی بود بیان شد.

فصل سوم

جمع آوری اطلاعات و ایجاد پایگاه داده

۳-۱- مقدمه

زیربنای انجام هر پروژه علمی و صنعتی جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای انجام پروژه است. در این فصل به بررسی چگونگی برداشت داده‌های میدانی مورد نیاز پرداخته شده است، سپس داده‌های آزمایشگاهی مورد بحث قرار گرفته است. آزمایش‌های مورد نیاز برای برداشت داده‌ها شرح داده شده است.

۳-۲- برداشت داده‌های صحرائی

داده‌ها از دو معدن مرمیت کرم هرسین و مرمیت پرتاوسی بهاباد حین برش دستگاه برداشت شد؛ قبل از هر سیکل برش سگمنت‌های مورد نظر با ترازوی دقیق وزن گرفته می‌شد سپس با پارامترهای مناسب دستگاه شروع به کار کرده، و تا پایان سیکل با همان پارامترها بدون تغییر کار می‌کرد. با پایان یافتن سیکل برش مجدداً سگمنت‌ها وزن شده و اختلاف وزن آن‌ها سایش را نشان می‌دهد. متراژ برش داده شده نیز اندازه گرفته می‌شد. در پایان تعداد ۱۱ داده مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفت که در جدول (۳-۱) آمده است.

جدول ۳-۱: داده‌های برداشت شده از معادن

سایش (gr)	مساحت برش (m^2)	سرعت زنجیر (m/s)	درجه سرعت ماشین		
۰/۰۷	۱۷	۰/۳۵	۶/۸	معدن بهاباد	داده‌های آموزشی
۰/۴۳۲	۳۵	۰/۴۶	۷/۵		
۰/۸۵	۴۵	۰/۷۲	۹		
۰/۰۴۶	۱۸	۰/۳۲	۷		
۰/۲۴	۴۰	۰/۵۳	۸		
۰/۰۵	۱۰	۰/۲۸	۷/۵	معدن هرسین	داده‌های آموزشی
۰/۰۴۳	۸	۰/۳۵	۷		
۰/۰۶۵	۹	۰/۳۵	۶/۵		
۰/۰۵۳	۲۲/۸۰	۰/۳۹	۷	معدن هرسین	داده‌های آزمون
۰/۴۶۸۵	۲۵	۰/۵۹	۸/۵	معدن بهاباد	
۰/۱۰۸	۲۰/۵	۰/۵۴	۸/۵		

۳-۳- داده‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های گرفته شده از معدن به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود انتقال داده شد و مورد آزمایش قرار داده شد و خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها اندازه‌گیری شد.

۳-۳-۱- دستورالعمل آزمایش تعیین تخلخل و چگالی خشک سنگ

این آزمایش به منظور اندازه‌گیری مقدار تخلخل و چگالی خشک نمونه سنگ انجام می‌شود. چگالی سنگ تابع منافذ، درزه‌ها، شکاف‌ها و سایر فضاهای باز موجود در سنگ می‌باشد. چگالی یک نمونه مشخص سنگ با افزایش عمق بیشتر می‌شود، چرا که با افزایش عمق و در نتیجه فشار سنگ‌های فوقانی، درزه‌ها و ترک‌های موجود در سنگ به تدریج بسته می‌شوند. بنابراین سن سنگ نیز رابطه مستقیم با چگالی آن دارد. از طرف دیگر هوازگی سنگ‌ها باعث کاهش چگالی آن‌ها می‌شود. این موضوع به خاطر افزایش درزه و ترک در سنگ، تجزیه شیمیایی و تورم برخی از کانی‌ها در اثر هوازگی می‌باشد. آگاهی از چگالی سنگ‌ها نقش مهمی در طراحی مهندسی پروژه‌های عمرانی و معدنی دارد. مقادیر چگالی و تخلخل در ارزیابی ذخایر معدنی، انتخاب نوع وسایل حفاری، طراحی سیستم حمل و نقل، محاسبه میزان مواد منفجره مصرفی و همچنین برای تعیین تنش قائم ناشی از وزن سنگ‌های روباره در اعماق مختلف توده سنگ به کار می‌رود.

تخلخل سنگ، بستگی به شکل و توزیع ابعاد دانه‌ها، استحکام دانه‌ها، سمت و سوی دانه‌ها، درجه تراکم و سیمان شدگی دانه‌ها دارد. در سنگ‌های رسوبی با افزایش عمق و سن و با فرض یکسان بودن سایر شرایط، تخلخل کاهش می‌یابد. به منافذی که با یکدیگر و با سطح بیرون ارتباط داشته باشند، روزنه‌های باز و مرتبط و به آن‌هایی که مسدود هستند روزنه‌های بسته می‌گویند. با این تعریف اگر تمام روزنه‌های موجود مد نظر باشد تخلخل کل و اگر تنها روزنه‌های باز مورد نظر باشد تخلخل موثر به دست می‌آید [۱۷].

این آزمایش به چهار روش زیر انجام می‌شود:

- روش اشباع و اندازه‌گیری ابعاد
- روش اشباع و غوطه‌ور سازی
- روش تغییر حجم جیوه و جرم مخصوص دانه‌ها
- روش تغییر حجم جیوه و قانون بویل

۳-۳-۲- روش اشباع و غوطه‌وری

این روش برای نمونه‌های سنگی با اشکال هندسی منظم یا نامنظم و یا مصالح سنگی به کار می‌رود. این روش در مورد سنگ‌هایی کاربرد دارد که در حضور آب تورم محسوس ندارند و در حین غوطه‌وری یا در مدت خشک شدن خرد نمی‌شوند. نمونه معرف برای این آزمایش حداقل ۱۰ قطعه سنگ که هر کدام وزنی معادل ۵۰ گرم یا ابعادی حداقل ۱۰ برابر بزرگترین دانه سنگ داشته باشند [۱۷].

۳-۳-۳- دستورالعمل آزمایش تعیین قابلیت سایش و قدرت ساینده‌گی

سایش به پاسخ سنگ‌ها نسبت به عوامل مخرب فیزیکی گفته می‌شود که در واقع مقدار فرسایش سنگ در برابر عوامل فرساینده را نشان می‌دهد. قدرت ساینده‌گی سنگ عبارتست از مقدار تأثیر فرسایشی سنگ روی سایر موادی که با آن در تماس هستند. این پارامتر در تعیین میزان استهلاک ماشین‌های حفاری و تونل‌زنی و تعیین عمر مفید قطعات، حائز اهمیت است. در تولید سنگ‌های ساختمانی نیز یکی از عوامل اصلی تعیین قیمت تمام شده اسلب سنگ، میزان ساینده‌گی آن است [۱۷].

۳-۳-۳-۱- تعیین قابلیت سایش سنگ‌ها با دستگاه لوس آنجلس

این روش برای تعیین مقاومت مصالح سنگی در مقابل سایش همراه با ضربه به کار می‌رود. در این روش مقدار افت وزنی سنگ بر اثر ضربه و سایش در دستگاه لوس آنجلس پس از تعداد مشخصی دوران به دست می‌آید انجام این آزمایش بر روی مصالح سنگی مورد استفاده در راهسازی و بالاست راه آهن ضروری است و در صورت نیاز بر روی مصالح مصرفی در بتن نیز انجام می‌گیرد [۱۷].

۳-۳-۳-۲- نمونه مورد آزمایش

دانه‌بندی و وزن نمونه‌های انتخابی برای قطعات کوچکتر از ۳۸ میلی‌متر در جدول (۳-۲) آورده شده است. چنانچه نمونه مورد آزمایش قطعات سنگی بزرگ یا مغزه‌های سنگی باشند، ابتدا باید آنها را در سنگ شکن خرد نمود و سپس نمونه‌گیری را انجام داد. نمونه پس از انتخاب کاملاً شسته شده و در گرمخانه با حرارتی بین ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک می‌شود. سپس جرم نمونه با دقت یک دهم درصد جرم کل اندازه‌گیری می‌گردد [۱۷].

جدول ۳-۲: دانه‌بندی نمونه‌های انتخابی برای قطعات کوچکتر از ۳۸ میلی‌متر [۱۷]

وزن قسمت‌های انتخابی از هر الک (gr)				اندازه الک با سوراخ‌های مربعی (mm)	
نوع دانه‌بندی					
D	C	B	A	مانده روی الک	رد شده از الک
-	-	-	۱۲۵۰±۲۵	۲۵/۴	۳۸
-	-	-	۱۲۵۰±۲۵	۱۹	۲۵/۴
-	-	۲۵۰۰±۱۰	۱۲۵۰±۱۰	۱۳/۲	۱۹
-	-	۲۵۰۰±۱۰	۱۲۵۰±۱۰	۹/۵	۱۳/۲
-	۲۵۰۰±۱۰	-	-	۵/۶	۹/۵
-	۲۵۰۰±۱۰	-	-	۴/۷	۵/۶
۵۰۰۰±۱۰	-	-	-	۲/۳	۴/۷
۵۰۰۰±۱۰	۵۰۰۰±۱۰	۵۰۰۰±۱۰	۵۰۰۰±۱۰	مجموع	

۳-۳-۳-۳- مراحل انجام آزمایش

الف) نمونه به همراه گوی های فولادی، داخل دستگاه لوس آنجلس قرار گرفته و استوانه با سرعت ۳۰ تا ۳۳ دور در دقیقه حول محور افقی به چرخش در می آید. استوانه برای مصالح کوچکتر از ۳۸ میلی متر ۵۰۰ دور، می چرخد. حرکت استوانه باید منظم و با سرعت یکنواخت باشد. با توجه به این که از دانه بندی A در این آزمایش استفاده شد؛ تعداد گوی ها باید ۱۲ عدد و وزن هر گوی 5000 ± 25 گرم باشد.

ب) پس از پایان دوران، مواد از داخل استوانه خارج شده و با الک ۱/۷ میلی متر (نمره ۱۲) مانند شکل (۳-۱) جداسازی می گردد. قسمت مانده روی الک ۱/۷ میلی متر شسته شده و در دمای ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک و سپس با دقت ۱ گرم وزن می گردد.



شکل ۳-۱: مواد مانده روی الک نمره ۱۲

۳-۳-۳-۴- محاسبات

درصد افت وزنی در اثر سایش از رابطه (۳-۱) به دست می آید [۱۷]:

$$(۳-۱) \quad \text{وزن اولیه نمونه} / \text{وزن نهایی نمونه} - \text{وزن اولیه نمونه} = \text{درصد افت وزنی در اثر سایش}$$

سختی یکی از مفاهیم رایجی است که برای توصیف رفتاری سنگ ها به کار می‌رود. با این حال هیچ‌گونه کمیت فیزیکی، اساسی برای برآورد کمی آن وجود ندارد. سختی ناشی از عوامل ذاتی متفاوتی چند نوع کانی‌ها، ابعاد دانه‌ها، چسبندگی مرزی کانی‌ها، مقاومت و رفتار الاستیک و پلاستیک سنگ می‌باشد. ترکیب و اندرکنش این عوامل، تعیین کننده سختی یک سنگ است. با وجود این که سختی یکی از مشخصه‌های رفتاری سنگ می‌باشد، زمانی می‌توان آن را کمی کرد که طبق روش‌های آزمایشی خاص و تحت شرایط یکسان عمل شود. روش‌های تعیین سختی سنگ به سه گروه تقسیم می‌شود [۱۷]:

الف) آزمایش‌های خراشی: در این روش‌ها سختی سنگ و کانی بر اساس قابلیت خراش برداری در اثر کشیده شدن یک جسم ثانوی روی آن‌ها مشخص می‌گردد. سختی موس و اسکولومترهای خراشی از این قبیل آزمایش‌ها هستند.

ب) آزمایش‌های واجهشی یا دینامیکی: در آزمایش‌های این گروه از یک چکش یا وزنه برای ضربه زدن به سطح سنگ استفاده می‌شود و ارتفاع واجهش وزنه، مقیاسی برای سنجش سختی است. چکش اشمیت، اسکلروسکپ شور و اسکروگراف از این دسته آزمایش‌ها می‌باشند.

ج) آزمایش‌های اثرگذاری: در این روش یک نوک الماسی تیز با شکل خاص در حالت ایستاده و تحت نیروی مشخص اثری بر روی نمونه می‌گذارد. مقدار سختی سنگ، بر اساس عمق یا مساحت نقطه اثر دائمی ایجاد شده روی سنگ، حجم پودر ایجاد شده و یا منحنی نیرو-اثر برآورد می‌شود.

۳-۳-۵- مراحل انجام آزمایش

الف) چکش اشمیت قبل از هر آزمایش توسط یک آنویل استاندارد کالیبره می‌شود. میانگین قرائت روی آن ویل استاندارد محاسبه شده و از آن برای تعیین ضریب تصحیح استفاده می‌گردد.

ب) سطحی از نمونه که زیر پلانژر قرار می‌گیرد باید کاملاً صاف و پرداخته شده باشد. این سطح و همچنین ماده سنگی، زیر آن تا عمق ۶ سانتی‌متری باید عاری از ترک یا هرگونه ناپیوستگی موضعی مربوط به توده سنگ باشد.

پ) قطعات مجزا و کوچک سنگ را باید محکم به یک پایه صلب بست تا نمونه در طی آزمایش از هرگونه تکان و لرزش محفوظ بماند.

ت) مقدار سختی به دست آمده بستگی به راستای قرارگیری چکش دارد. در جدول (۳-۳) تصحیح مربوط به نتایج در حالت غیر افقی مشاهده می‌شود [۱۷].

جدول ۳-۳: تصحیح نشانه‌های آزمایش چکش برای ضربه‌های غیرافقی [۱۷]

تصحیح برای زاویه انحراف					
مقدار سختی واجهشی R	به سمت پایین		به سمت بالا		افقی
	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = +90$	$\alpha = +45$	$\alpha = 0$
۱۰	-	-۰/۸	-	-	-۳/۲
۲۰	-	-۰/۹	-۸/۸	-۶/۹	-۳/۴
۳۰	-	-۰/۸	-۷/۸	-۶/۲	-۳/۱
۴۰	-	-۰/۷	-۶/۶	-۵/۳	-۲/۷
۵۰	-	-۰/۶	-۵/۳	-۴/۳	-۲/۲
۶۰	-	-۰/۴	-۴	-۳/۳	-۱/۷

ث) دست کم ۲۰ آزمایش مجزا باید روی هر نمونه سنگ انجام گیرد. نقاط مورد آزمایش باید حداقل به اندازه قطر پلانژر از هم فاصله داشته باشند در صورت ایجاد هرگونه درز و ترک در سنگ بر اثر ضربه وارده نتایج آزمایش باطل و نمونه مربوطه در آزمایش های بعدی غیر قابل مصرف خواهد بود.

۳-۳-۶- محاسبات

ضریب تصحیح قرائت‌ها با توجه به کالیبراسیون چکش از رابطه (۳-۲) به دست می‌آید [۱۷]:

(۳-۲) میانگین ۱۰ قرائت انجام شده روی کالیبراسیون / مقدار سختی استاندارد ویژه آنویل = ضریب تصحیح

برای تعیین سختی اشمیت با توجه به اینکه احتمال وجود خطا در مقادیر پایین بیشتر است، ابتدا نیمی از داده‌ها که کمترین مقدار را دارند حذف شده و از بقیه داده‌ها میانگین گرفته می‌شود. این میانگین در ضریب تصحیح ضرب شده و عدد حاصل به عنوان سختی واجهشی اشمیت در نظر گرفته می‌شود.

۳-۴- مقاومت فشاری تک محوری

آزمایش مقاومت فشاری تک محوری یا نامحصور (UCS) مرسوم‌ترین آزمون آزمایشگاهی برای مطالعات مکانیکی سنگ بکر است که با وجود ظاهری ساده انجام آن بسیار مشکل است. این آزمایش به عنوان آزمایش پایه در اکثر پروژه‌های مهندسی انجام گرفته و به ندرت اتفاق می‌افتد که در پروژه‌های مقاومت فشاری تک محوری مورد نیاز نباشد [۱۷].

۳-۴-۱- نمونه مورد آزمایش

الف) طبق پیشنهاد ISRM نسبت ارتفاع به قطر نمونه‌ها بین دو و نیم تا سه و حداقل قطر نمونه ۵۴ میلی‌متر است.

ب) طبق نظر ASTM سطوح انتهایی نمونه باید موازی یکدیگر بوده و ناصافی آنها بیشتر از ۰/۰۲۵ میلی‌متر نباشد. ضمناً دو انتهای نمونه نباید بیشتر از ۰/۲۵ نسبت به محور طولی انحراف از قائم داشته باشند.

در این زمینه ISRM پیشنهاد می‌کند که دو انتهای نمونه با دقت $0/02$ میلی‌متر صاف بوده و در امتداد عمود بر محور نمونه بیش از $0/001$ رادیان انحراف نداشته باشد (ISRM).

۳-۴-۲- محاسبات

مقاومت فشاری تک محوری از رابطه (۳-۳) محاسبه می‌گردد.

$$\sigma_c = F/A \quad (3-3)$$

که σ_c مقاومت فشاری تک محوره (Pa یا kPa یا MPa)، F حداکثر بار وارده (N یا kN) یا (MN) و A سطح مقطع اولیه نمونه (m^2)

۳-۵- مقاومت کششی

مقاومت کششی عبارت است از حداکثر تنش کششی که یک ماده قادر است تحمل نماید تا به مرحله گسیختگی برسد. به طور کلی آگاهی از مقاومت کششی سنگ‌ها یکی از پیش شرط‌های مهم موفقیت در طراحی معادن، تونل‌ها، شیروانی‌ها، و کنترل موثر لایه‌ها و طبقات زمین می‌باشد و ما را در درک مکانیزم‌های خرابی در چنین حالاتی یاری می‌کند [۱۷].

۳-۵-۱- نمونه‌های مورد آزمایش

الف) نمونه‌های مورد آزمایش مغزه‌های با قطر حداقل 54 میلی‌متر می‌باشند آنها توسط اهر بریده شده است ضخامت نمونه‌ها باید تقریباً برابر شعاع آنها باشد.

ب) سطوح انتهایی نمونه‌ها باید با دقت $0/25$ میلی‌متر صاف بوده و ضمن عمود بودن بر محور نمونه با دقت $0/25$ درجه با یکدیگر موازی باشند.

پ) جهت‌گیری نمونه نسبت به سطوح ناهمسانگردی باید مشخص گردد.

ت) معمولاً تعداد ۱۰ نمونه برای انجام آزمایش‌ها پیشنهاد می‌گردد (ISRM).

محاسبات مقاومت کششی نمونه از رابطه (۳-۴) محاسبه می‌گردد:

$$\sigma_t = 0.636 P/Dt \quad (۳-۴)$$

که σ_t مقاومت کششی نمونه (MPa)، P بار کسپختگی (N)، D قطر نمونه (mm) و t ضخامت نمونه در مرکز (mm).

۳-۵-۲- مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه سنگ‌ها

مشخصات نمونه‌ها در جدول (۳-۴) آمده است.

جدول ۳-۴: مشخصات نمونه‌های اندازه‌گیری شده

نمونه	چگالی (gr/cm ³)	تخلخل (%)	سختی	مقاومت فشاری تک محوره (MPa)	مقاومت کششی برزیلی (MPa)	سایش لوس آنجلس (%)
مرمریت کرم هرسین	۲/۷۲	۰/۶۴	۴۶	۴۵/۶۰	۳/۳۰	۱۹/۴۸
مرمریت پرتاووسی	۲/۶۳	۳/۳۴	۴۲	۴۵/۱۰	۴/۴۰	۲۵/۸۶

۳-۶- جمع‌بندی

در این فصل ابتدا نحوه برداشت داده‌های صحرائی شرح داده شد. داده‌ها به دو قسمت

داده‌های آموزش و آزمون تقسیم شد سپس نحوه انجام آزمایش‌های مکانیک سنگی بیان شد.

فصل چہارم

مفہیم اساسی و علمی تحقیق

۴-۱- مقدمه

تحلیل رگرسیون یکی از ابزارهای آماری است که در سطح بسیار وسیعی کاربرد دارد زیرا روش‌های ساده‌ای را برای ایجاد یک رابطه تابعی بین متغیرها فراهم می‌کند. در این مبحث هدف بررسی وجود یک رابطه بین دو یا چند متغیر می‌باشد لذا هدف اصلی این است که آیا بین دو صفت متغیر x و y رابطه و همبستگی وجود دارد یا خیر و آیا می‌توان یک مدل ریاضی و یک رابطه رگرسیون ساده بین x و y پیدا نمود به طوریکه با معلوم بودن مقدار متغیر x مقدار متغیر y را برآورد نمود. در آزمون رگرسیون بر اساس نتایج مشاهده شده در نمونه، در مورد رابطه بین دو متغیر نتیجه‌گیری خواهیم کرد [۱۸].

۴-۲- مراحل یک تحلیل رگرسیون

تحلیل رگرسیون شامل مراحل زیر است [۱۸]:

- بیان مسئله
- انتخاب متغیرهای مناسب
- جمع‌آوری داده‌ها
- تشخیص الگو
- انتخاب روش برازش
- برازش کردن الگو
- اعتبار الگو و انتقادهایی در مورد آن
- استفاده از الگو برای حل مسئله

۴-۲-۱- بیان مسئله

بیان مسئله اولین و شاید مهم‌ترین مرحله در تحلیل رگرسیون است. طرح مسئله به این دلیل مهم است که مسأله‌ای که بد تعریف شود یا درست فرمول‌بندی نشود می‌تواند به کار بی‌ثمری منتهی شود.

۴-۲-۲- انتخاب متغیرهای مناسب

مرحله بعد از بیان مسئله انتخاب مجموعه متغیرهایی است که متخصصین در زمینه مطالعه برای بیان یا پیشگویی متغیر پاسخ در نظر می‌گیرند.

۴-۲-۳- جمع‌آوری داده‌ها

در این مرحله باید داده‌ها از زمینه مورد مطالعه گردآوری شوند. گاهی اوقات داده‌ها به صورت کنترل شده جمع‌آوری می‌شوند به طوری که بتوان عواملی که در مرحله اولیه مورد علاقه نیستند را بتوان ثابت نگاه داشت. بیشتر اوقات داده‌ها تحت شرایط غیر تجربی گردآوری می‌شوند که بررسی کننده خیلی کم می‌تواند آن را کنترل نماید.

۴-۲-۴- تشخیص الگو

شکل الگویی که متغیر پاسخ را به مجموعه‌ای از متغیرهای پیشگو مرتبط می‌سازد توسط متخصصین در زمینه مورد مطالعه بر مبنای دانش آن‌ها یا قضاوت‌های عینی و ذهنی‌شان تعیین می‌گردد. پس الگوی فرضی را با تحلیل داده‌های گردآوری شده می‌توان تایید نمود یا رد کرد.

۴-۲-۵- روش برازش

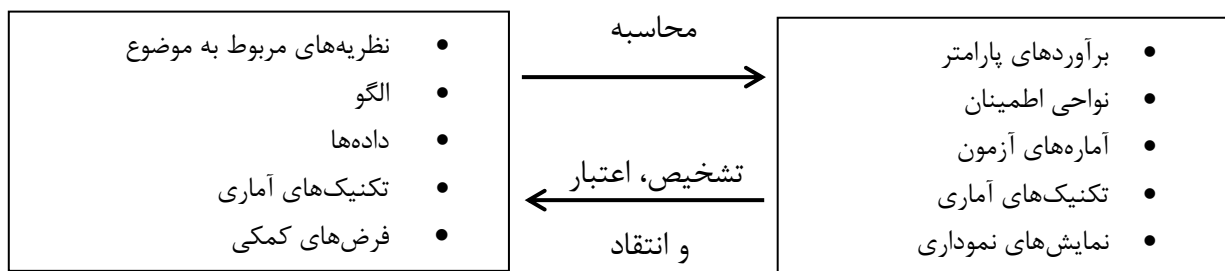
پس از گردآوری داده‌ها و تشخیص الگو، گام بعدی برآورد پارامترهای الگو بر مبنای داده‌های جمع‌آوری شده است. روش‌های برازش شامل روش کمترین توان‌های دوم، درست‌نمایی ماکزیمم، سستیگی^۱ و مولفه‌های اصلی^۲ است.

۴-۲-۶- برازش الگو

بعد از تعیین الگو می‌توانیم برای Π متغیر مقدار برازش شده را بدست بیاوریم. در این حالت مقدار بدست آمده را مقدار پیشگویی شده می‌نامند.

۴-۲-۷- انتخاب الگو و انتقاد از آن

اعتبار یک روش آماری مانند تحلیل رگرسیون بستگی به فرض‌های معینی دارد. فرآیند تحلیل رگرسیون در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: تشریح شماتیک ماهیت دوره‌ای فرآیند رگرسیون [۱۷]

¹ Ridge regression

² Principal Component

۴-۳- اهداف تحلیل رگرسیون

تحلیل صریح معادله رگرسیون مهمترین فرآورده تحلیل است. این معادله خلاصه رابطه بین Y و مجموعه متغیرهای پیشگویی X_1, X_2, \dots, X_p است. از این معادله برای اهداف گوناگون می‌توان استفاده کرد. از آن برای ارزیابی اهمیت هر یک از پیشگوها، برای تحلیل اثرات خط مشی که متضمن تغییر مقادیر متغیرهای پیشگو است، یا برای پیشگویی مقادیر متغیر پاسخ برای هر مجموعه متغیرهای پیشگو استفاده کرد. گرچه معادله رگرسیون محصول نهایی است ولی بسیاری از محصول‌های فرعی مهم نیز وجود دارند. ما تحلیل رگرسیون را به عنوان مجموعه‌ای از تکنیک‌های تحلیل داده‌ها که برای کمک به درک روابط بین متغیرها در یک محیط خاص به کار می‌روند تلقی می‌کنیم. کار تحلیل رگرسیون این است که تا جایی که ممکن است در مورد محیطی که به وسیله داده‌ها منعکس می‌شود اطلاعات کسب کنیم [۱۸].

۴-۴- رگرسیون خطی

رگرسیون خطی برای مدل کردن مقدار یک متغیر کمی وابسته که بر رابطه خطی‌اش با یک یا چند پیش‌گو بنا شده است به کار می‌رود.

رگرسیون خطی یکی از تکنیک‌های پیچیده آماری است. داده‌های لازم برای تحلیل رگرسیون دارای مقیاس فاصله‌ای هستند. رگرسیون خطی به دو صورت رگرسیون خطی ساده و رگرسیون خطی چند متغیره مطرح می‌گردد. رگرسیون خطی ساده به پیش‌بینی مقدار یک متغیر وابسته براساس مقدار یک متغیر مستقل می‌پردازد. اما رگرسیون چند متغیره روشی است برای تحلیل مشارکت جمعی و فردی دو یا چند متغیر مستقل در تغییرات یک متغیر وابسته از آن‌جا که وظیفه اساسی علم پیش‌بینی و تبیین پدیده‌ها است بنابراین در تحقیقاتی که بر پیش‌بینی یا تبیین ناظرند، تحلیل رگرسیون می‌تواند نقش بارزی ایفا کند. در این نوع تحقیقات محقق می‌کوشد تا بر اساس اطلاع از

یک یا چند متغیر مستقل، به یک معادله رگرسیونی دست یابد و از آن برای پیش بینی مقادیر متغیر وابسته استفاده کند [۱۹].

۴-۴-۱- رگرسیون خطی ساده

اگر بین متغیر وابسته که سطح سنجش آن کمی است و متغیرهای مستقل کمی و کیفی رابطه‌ای وجود داشته باشد به گونه‌ای که رابطه متغیر وابسته با مستقل کمی رابطه‌ای خطی باشد و متغیرهای کیفی هم متغیر دو وجهی باشد رگرسیون خطی^۱ این روابط را با کمترین خطا پیش‌بینی و بازسازی کرده و به صورت معادله چند متغیره^۲ نشان می‌دهد. معادله عمومی رگرسیون خطی ساده بین یک متغیر وابسته^۳ و یک متغیر مستقل^۴ به صورت رابطه (۴-۱) است:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad (۴-۱)$$

که در آن β_0 و β_1 ثابت‌هایی هستند که ضرایب الگوی رگرسیون یا پارامتر نامیده می‌شوند و ε یک خطای تصادفی است [۲۰].

۴-۴-۲- رگرسیون خطی چندگانه

داده‌ها شامل n مشاهده در مورد متغیر وابسته Y و P متغیر پیشگو X_1, X_2, \dots, X_p است. رابطه بین Y و X_1, X_2, \dots, X_p به صورت رابطه (۴-۲) نشان داده می‌شود.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (۴-۲)$$

^۱ Linear Regression

^۲ Multivariate Equation

^۳ Dependent Variable

^۴ Independent Variable

که در آن $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ ثابت‌هایی هستند که به ضرایب رگرسیون موسوم‌اند و ε یک خطای تصادفی است. رگرسیون خطی چندگانه تعمیمی از رگرسیون خطی ساده است. تحلیل رگرسیون معادله رگرسیون خطی مبین آن است که متغیر وابسته تابع متغیرهای مستقل است. ضریب هر متغیر مستقل نشان می‌دهد که به ازای یک واحد تغییر در آن متغیر وابسته چند واحد تغییر می‌کند [۲۰].

۴-۵- رگرسیون غیر خطی

یک الگوی رگرسیون غیر خطی را می‌توان به صورت رابطه (۴-۳) نوشت:

$$Y_n = f(X_n, \theta) + Z_n \quad (4-3)$$

در این جا f تابع انتظار و X_n برداری شامل متغیرهای رگرسیونی یا مستقل برای حالت n ام است. این الگو، دارای شکل مشابهی با (معادله رگرسیون خطی چندگانه) است، با این تفاوت که، پاسخ مورد انتظار تابعی غیر خطی از پارامتر است [۲۱].

۴-۶- تحلیل عامل

تحلیل عامل اساساً برای کاهش داده‌ها یا شناسایی ساختار به کار می‌رود. هدف از کاهش داده‌ها حذف متغیرهای اضافی (با همبستگی زیاد) از فایل داده‌ها است [۱۹].

تحلیل عامل تکنیکی آماری است که با استفاده از معادلات رگرسیون خطی و ریاضیات پیچیده مجموعه‌ای از متغیرهای کمی را به چند عامل محدود که هر یک شالوده دسته‌ای از متغیرهای همبسته است مرتبط می‌کند. تحلیل عامل مبتنی بر این فرض است که علت وجود همبستگی بین هر دسته از متغیرها ناشی از یک عامل مشترک است. به عبارت دیگر فرض بر این است که تمام

متغیرهایی که ناشی از یک عامل مشترک هستند همبستگی کامل یا بالایی دارند و با تمام متغیرهایی که ناشی از عامل‌های دیگرند همبستگی ندارند یا همبستگی ضعیفی دارند.

تحلیل عامل شامل دو مرحله است: مرحله استخراج عامل‌ها که طی آن عامل‌هایی که بخش بزرگی از تغییر متغیرها را تبیین می‌کنند به دست می‌آید و مرحله دوران عامل‌ها که طی آن ارتباط هر عامل مستخرج با یک دسته‌ای از تحکیم و با بقیه متغیرها کم می‌شود.

۴-۶-۱- تشکیل عامل‌های اولیه

در مرحله تشکیل عامل‌های اولیه به تعداد متغیرها عامل اولیه ساخته می‌شود همان‌طور که در رابطه (۴-۴) نشان داده شده است هر متغیر باید تابع خطی تمام عامل‌های اولیه باشد.

$$X_i = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \dots + \beta_j F_j + \dots + \beta_k F_k \quad (4-4)$$

که در آن x_i متغیر نام است و F_j عامل زام و β_j ضریب رگرسیون استاندارد F_j با متغیر X_i است.

۴-۶-۲- مقدار ویژه

مقدار ویژه عامل نسبتی، از تغییر کل متغیرهاست که یک عامل تبیین می‌کند. مقدار ویژه عامل، از مجموع مجذور همبستگی هر عامل با همه متغیرها طبق رابطه (۴-۵) بدست می‌آید.

$$ev_i = r_{1j}^2 + r_{2j}^2 + \dots + r_{ij}^2 + \dots + r_{kj}^2 \quad (4-5)$$

که در آن ev_i مقدار ویژه عامل زام و r_{ij}^2 مجذور همبستگی عامل زام با متغیر نام است.

۴-۶-۳- استخراج عامل‌های نهایی

در این مرحله در بین عامل‌های اولیه عامل‌هایی که بخش بزرگی از تغییرات متغیرها را تبیین می‌کنند به عنوان عامل‌های نهایی استخراج می‌شوند. معیار استخراج یک عامل به عنوان عامل نهایی مقدار ویژه آن است. معمولاً عامل‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها یک یا بیشتر از یک باشد استخراج می‌شوند.

۴-۶-۴- روش‌های دوران عامل‌ها

برای دوران عامل‌های مستخرج نیز روش‌های متعددی ابداع شده است. یک دسته از این روش‌ها، روش دوران متعامد هستند. در این روش‌ها عامل‌ها طوری دوران می‌یابند که با هم همبستگی نداشته باشند. واریماکس^۱ رایج‌ترین روش دوران متعامد است [۲۰].

۴-۷- جمع‌بندی

در این فصل ابتدا مراحل انجام یک تحلیل رگرسیون شرح داده شد. به اهداف تحلیل رگرسیون پرداخته شد. در بخش بعدی به توضیح مفاهیم رگرسیون خطی ساده، چندگانه و غیر خطی پرداخته شد. در بخش آخر نیز تحلیل عامل شرح داده شد که تحلیل عامل خود شامل دو مرحله است. مرحله اول استخراج عامل‌ها و مرحله دوم دوران عامل‌ها است.

^۱ Varimax

فصل پنجم

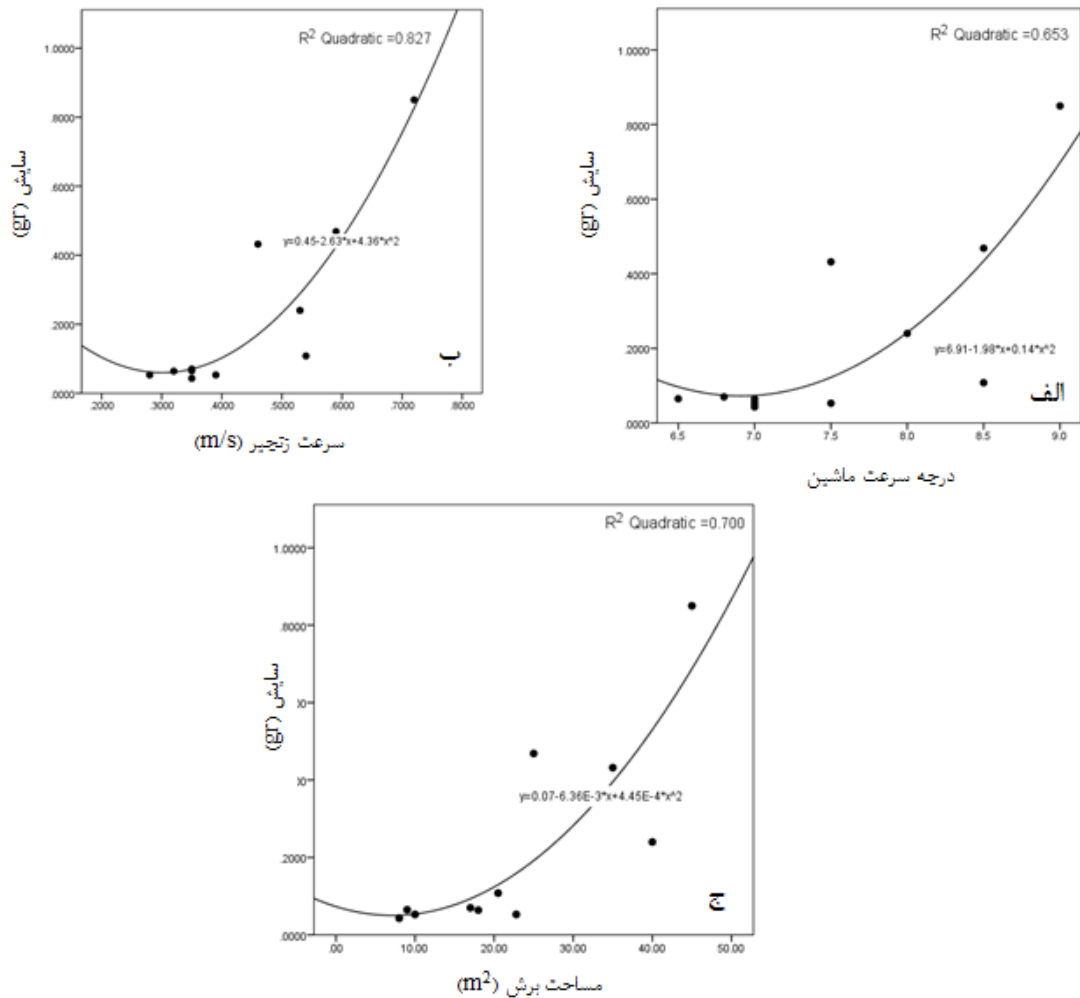
ارائه مدل های پیش بینی برای تخمین سایش سکنت ها

۵-۱- مقدمه

هدف از مطالعه بر روی سایش سگمنت‌های ماشین اره زنجیری ارائه مدلی برای پیش‌بینی نرخ سایش سگمنت‌ها با توجه به پارامترهای ماشین و سنگ است. به این منظور داده‌های میدانی از دو ماشین اره زنجیری در دو معدن جمع‌آوری شد. ابتدا ارتباط هر یک از پارامترهای ماشین با نرخ سایش ابزار بررسی شد. سپس پارامترهای موثر بر سایش سگمنت‌ها با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی مشخص شدند. پس از آن روابط پیش‌بینی سایش ابزار ارائه شد و معنی‌داری آن‌ها بررسی شد. در نهایت بعد از اعتبارسنجی مدل‌های ارائه شده براساس معیارهای ارزیابی، بهترین مدل انتخاب شد.

۵-۲- مدل‌های برازش تک متغیره

برای تعیین رابطه پارامترهای مورد بررسی با سایش سگمنت‌ها در ابتدا می‌بایست تاثیر هر کدام از آن‌ها بر سایش به طور جداگانه بررسی شود. در این بخش ارتباط هر کدام از پارامترها با میزان سایش انجام گرفته است. پارامترها به دو دسته پارامترهای ماشین و پارامترهای سنگ تقسیم می‌شوند. به دلیل این که فقط دو نمونه سنگ مورد بررسی قرار داده شد از برازش تک متغیره پارامترهای آن با میزان سایش صرف نظر شد. همچنین با توجه به تاثیر مقدار مساحت برش، در میزان سایش سگمنت‌ها برازش تک متغیره میان این دو پارامتر نیز انجام شد. همانطور که در شکل (۵-۱) مشاهده می‌شود هر سه پارامتر درجه سرعت ماشین، سرعت زنجیر و مساحت برش، با سایش رابطه مستقیم دارند. در هر مورد منحنی Quadratic، ضریب تعیین (R^2) بالایی دارد. پارامتر سرعت رابطه بیشتری روی سایش دارد. ضریب تعیین پارامتر سرعت زنجیر و پارامتر درجه سرعت ماشین با سایش به ترتیب ۸۲٪ و ۶۵٪ است. همچنین ارتباط میان مقدار سایش و مساحت برش داده شده ۷۵٪ است.



شکل ۵- ۱: برازش تک متغیره بین سایش با پارامترهای ماشین اره زنجیری و مساحت برش
 (الف) برازش تک متغیره بین درجه سرعت دستگاه و سایش
 (ب) برازش تک متغیره بین سرعت زنجیر و سایش
 (ج) برازش تک متغیره بین مساحت برش و سایش

۵-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ یک روش کاهش ابعاد داده‌ها است که با تشکیل مؤلفه‌هایی از متغیرها آن‌ها را در قالب جدید دسته‌بندی می‌کند. مؤلفه‌های تشکیل شده مستقل از هم بوده و هیچ همبستگی بین آن‌ها وجود ندارد. اولین مؤلفه تا آنجا که ممکن است علت بیشترین واریانس موجود در داده‌ها خواهد بود. بیشترین واریانس ممکن پس از مؤلفه اول توسط مؤلفه دوم ارائه می‌شود تا آنجا

^۱ Principal Component Analysis

که در مجموعه n متغیری از مؤلفه‌های اول تا nام کل واریانس مربوط به داده‌ها را ارائه می‌دهند. هر کدام از ۹ مؤلفه‌ای که در جدول (۵-۱) نشان داده شده است ترکیب خطی از متغیرهای اول تا نهم (سرعت زنجیر، درجه سرعت ماشین، مساحت برش، سختی اشمیت، چگالی، تخلخل، مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی، و سایش لوس آنجلس) است. مؤلفه‌هایی که مقدار ویژه^۱ آن‌ها ۱ یا بزرگتر از ۱ است مؤلفه‌های اصلی هستند. مؤلفه‌های اصلی همچنین درصد واریانس^۲ و درصد تجمعی واریانس^۳ بالایی دارند. در این مرحله تحلیل مؤلفه اصلی بر روی داده‌ها در نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد.

جدول ۵-۱: مؤلفه‌ها و مشخصات آن‌ها

مؤلفه	مقادیر ویژه	واریانس (%)	تجمعی (%)
۱	۶/۸۴۳	۷۶/۰۳۱	۷۶/۰۳۱
۲	۱/۹۲۴	۲۱/۳۷۷	۹۷/۴۰۸
۳	۰/۱۵۳	۱/۷۰۳	۹۹/۱۱۱
۴	۰/۰۸۰	۰/۸۸۹	۱۰۰
۵	۱/۷۸۳E-۱۵	۱/۹۸۱E-۱۴	۱۰۰
۶	۴/۴۶۱E-۱۶	۴/۹۵۷E-۱۵	۱۰۰
۷	۲/۷۳۶E-۱۶	۳/۰۴۰E-۱۵	۱۰۰
۸	-۲/۲۲۵E-۱۶	-۲/۴۷۲E-۱۵	۱۰۰
۹	-۳/۷۴۵E-۱۶	-۴/۱۶۱E-۱۵	۱۰۰

همانطور که از جدول (۵-۱) پیداست، مؤلفه‌های ۱ و ۲ به ترتیب با درصد واریانس ۷۶ و ۲۱

درصد و مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ و جزء مؤلفه‌های اصلی هستند. این دو مؤلفه به تنهایی تقریباً ۹۷

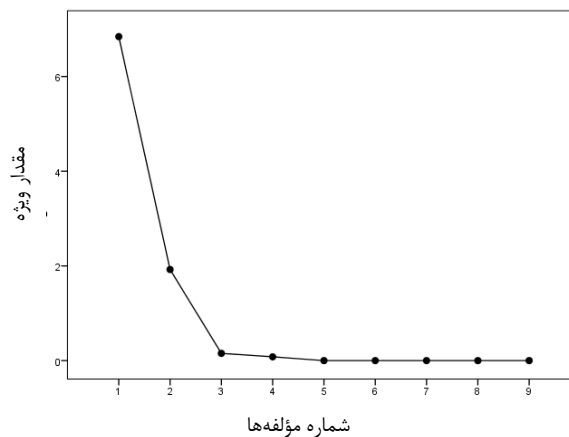
^۱ Eigenvalues

^۲ % of variance: نسبت واریانس در نظر گرفته شده با هر مؤلفه به جمع کل واریانس در تمام متغیرها

^۳ Cumulative: درصد واریانس در نظر گرفته شده با n مؤلفه را می‌دهد

درصد از تغییرپذیری در ۹ متغیر (سرعت زنجیر، درجه سرعت حرکت ماشین، مساحت برش، سختی اشمیت، چگالی، تخلخل، مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی، و سایش لوس آنجلس) را توضیح می‌دهد.

نمودار Scree نتایج جدول قبل را به صورت تصویری نشان می‌دهد و برای تعیین تعداد مؤلفه‌ها به کار می‌رود. براساس شکل (۵-۲) مؤلفه‌هایی که در شیب تند قرار دارند مقدار ویژه بزرگتر از یک دارند.



شکل ۵-۲: نمودار Scree Plot برای همه مؤلفه‌ها

۵-۳-۱- ماتریس مؤلفه چرخشی

ماتریس مؤلفه چرخشی همبستگی بین متغیرها و مؤلفه‌ها را نمایش می‌دهد. که در آن همبستگی بین ۱- و ۱+ در نوسان است. همانطور که در جدول (۵-۲) نشان داده شده است؛ متغیرهای سختی اشمیت تا مقاومت فشاری تک محوره همبستگی بالایی با مؤلفه اول دارند، تقریباً ۹۸٪ و با مؤلفه دوم، همبستگی پایینی دارند؛ پس در مؤلفه اول این متغیرها انتخاب می‌شوند. مؤلفه دوم نیز همبستگی بالایی با متغیرهای سرعت چرخش زنجیر و درجه سرعت ماشین دارد و این دو متغیر با مؤلفه اول، همبستگی پایینی دارند به همین دلیل در مؤلفه دوم این دو متغیر انتخاب می‌شوند. نکته حائز اهمیت متغیر مساحت برش است، که با هر دو مؤلفه، همبستگی نسبتاً بالایی دارد که باعث می‌شود این

متغیر برای انجام رگرسیون انتخاب نشود. استفاده از این متغیر باعث ایجاد هم‌خطی در مدل رگرسیونی می‌شود. برای پی‌بردن به ارتباط این متغیر با سایش باید یک رگرسیون دو متغیره میان این دو پارامتر ایجاد کرد.

جدول ۵-۲: وابستگی متغیرها در هر مؤلفه

شماره	متغیرها	مؤلفه‌ها	
		۱	۲
۱	سرعت چرخش	۰/۰۱۲	۰/۹۶۶
۲	درجه سرعت ماشین	۰/۲۰۱	۰/۹۵۴
۳	مساحت برش	۰/۵۷۱	۰/۷۴۹
۴	سختی اشمیت	-۰/۹۸۳	-۰/۱۸۰
۵	چگالی	-۰/۹۸۳	-۰/۱۸۰
۶	تخلخل	۰/۹۸۳	۰/۱۸۰
۷	مقاومت فشاری تک محوره	-۰/۹۸۳	-۰/۱۸۰
۸	مقاومت کششی	۰/۹۸۳	۰/۱۸۰
۹	سایش لوس آنجلس	۰/۹۸۳	۰/۱۸۰

۵-۴- مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی

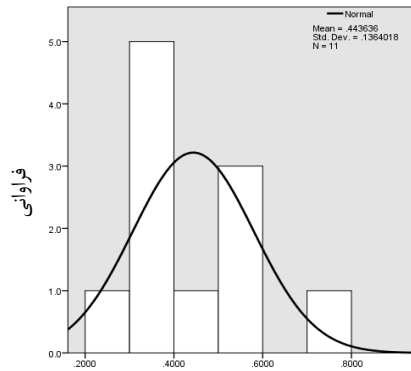
به منظور انجام رگرسیون، داده‌های آموزش برای انجام تحلیل مورد استفاده واقع شد. از روش ورود همزمان^۱ داده‌ها در نرم‌افزار SPSS استفاده شده. به دلیل اینکه برخی از پارامترهای دو نمونه سنگ، کرم هرسین و پرتاووسی مشابه هم بودند از آوردن این پارامترها در تحلیل صرف نظر شد. این پارامترها شامل چگالی، سختی و مقاومت فشاری تک محوره است. پس از تحلیل رگرسیون باید معنی‌داری کل مدل و تک تک ضرایب متغیرها بررسی شود؛ سپس باید از لحاظ وجود هم خطی، استقلال خطا و نرمال بودن خطا بررسی شود.

^۱ Enter

۵-۴-۱- بررسی نرمال بودن داده‌ها

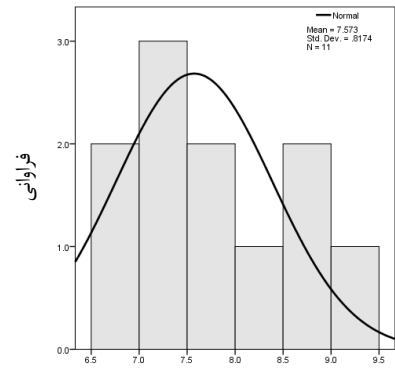
به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها ابتدا منحنی توزیع داده‌ها رسم شد. شکل (۵-۳) این

منحنی‌ها را برای متغیرها نشان می‌دهد.



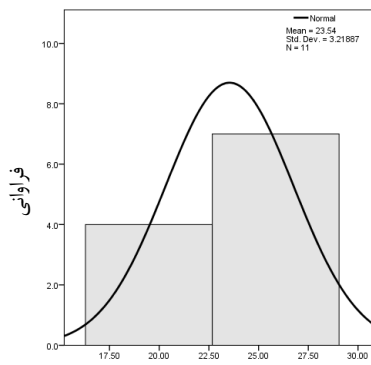
ب

سرعت زنجیر



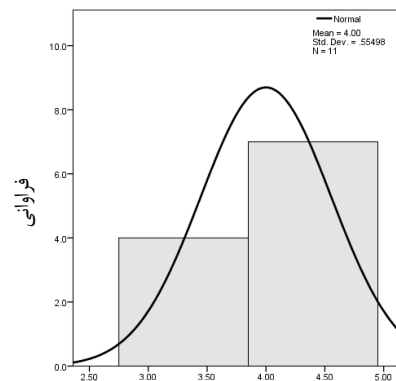
الف

درجه حرکت ماشین



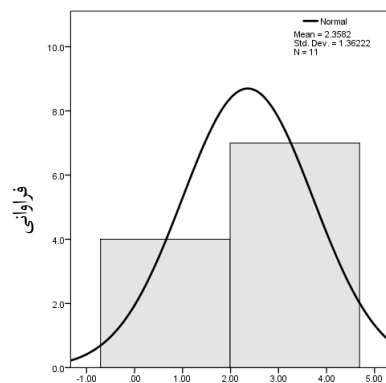
ج

لوس آنجلس (%)



د

مقاومت کششی (MPa)



ه

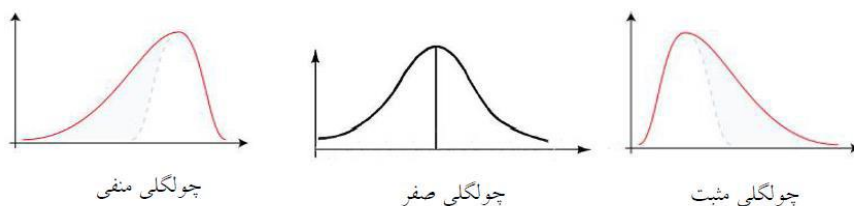
تخلخل (%)

شکل ۵-۳: منحنی توزیع نرمال داده‌ها؛ (الف) منحنی توزیع نرمال ولوم حرکت، (ب) منحنی توزیع نرمال ولوم سرعت، (ج) منحنی توزیع نرمال سایش لوس آنجلس، (د) منحنی توزیع نرمال مقاومت برشی، (ه) منحنی توزیع نرمال تخلخل

سپس نرمال بودن داده‌ها با استفاده از چهار روش بررسی چولگی و کشیدگی، آزمون‌های آماری،

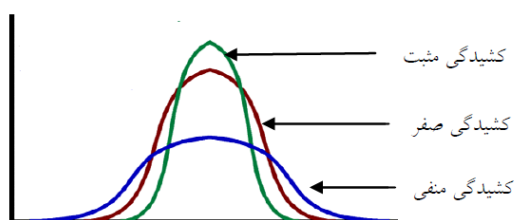
نمودار جعبه‌ای و نمودار QQ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

- چولگی^۱ و کشیدگی^۲: چولگی یعنی انحراف یک منحنی از حالت تقارن. چولگی سه حالت دارد. چولگی صفر که منحنی متقارن باشد، چولگی منفی و چولگی مثبت که هرچه مقدار چولگی از صفر بیشتر فاصله داشته باشد، عدم تقارن، شدیدتر است که شکل (۴-۵) چولگی‌های را مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵: شکل‌های مختلف منحنی توزیع از دید چولگی

- کشیدگی نشان دهنده ارتفاع یک توزیع است. به عبارت دیگر کشیدگی معیاری از بلندی منحنی در قله است. همیشه کشیدگی را با کشیدگی توزیع نرمال مقایسه می‌کنند. بنابراین، کشیدگی مثبت، یعنی قله توزیع مورد نظر از توزیع نرمال بالاتر است و کشیدگی منفی، نشانه پایین تر بودن قله توزیع نسبت به توزیع نرمال است. شکل (۵-۵) کشیدگی توزیع‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵: انواع کشیدگی

نتایج مربوط به چولگی و کشیدگی در جدول (۵-۳) آورده شده است

¹ skewness

² kurtosis

جدول ۵-۳: مقادیر کشیدگی و چولگی برای متغیرها

چولگی	کشیدگی	متغیرها
۰/۵۱۹	-۱/۰۱۹	درجه سرعت ماشین
۰/۸۱۴۰	-۰/۱۲۹	سرعت چرخش زنجیر
-۰/۶۴۴	-۲/۲۴۰	سایش لوس آنجلس
-۰/۶۴۴۰	-۲/۲۴۰	مقاومت کششی
-۰/۶۴۴۰	-۲/۲۴۰	تخلخل

در حالت کلی اگر مقدار چولگی و کشیدگی داده ها در دامنه (+۲ تا -۲) قرار داشته باشد داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند. اگر توزیع داده‌ها نرمال نبود می‌توان داده‌ها را به شکل نرمال نزدیک کرد در غیر این صورت به سمت آمار ناپارامتریک می‌رویم.

بررسی نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون آماری: برای این هدف از دو آزمون کلموگروف - اسمیرنوف و شاپیرو - ویلک استفاده می‌شود. این آزمون‌ها مشابه‌اند ولی در عمل تفاوت اندکی با یکدیگر دارند. نتایج حاصل از این دو آزمون در جدول (۵-۴) نمایش داده شده است؛ که نشان می‌دهد که داده‌های مربوط به خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ نرمال نیستند.

الف) اگر حجم نمونه کم است، هر دو آزمون نتایج یکسانی دارند.

ب) اگر حجم نمونه بزرگ، آزمون کلموگروف اسمیرنوف مناسب تر از شاپیرو - ویلک است.

جدول ۵-۴: سطح معناداری آزمون‌های آماری متغیرها

متغیرها	کلموگروف - اسمیرنوف	شاپیرو - ویلک
	سطح معناداری	سطح معناداری
درجه سرعت ماشین	۰/۲۰۰	۰/۶۰۵
سرعت زنجیر	۰/۱۲۳	۰/۳۳۶
سایش لوس آنجلس	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
مقاومت کششی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
تخلخل	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰

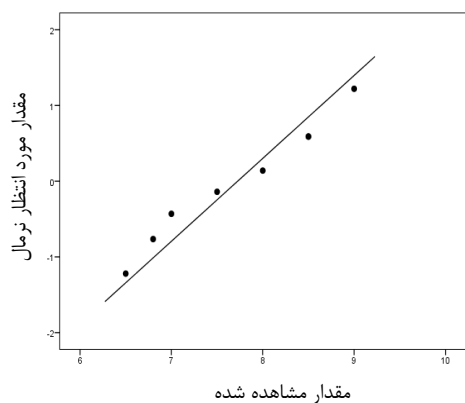
۵-۴-۱-۱- نرمال سازی داده‌ها

برای نرمال سازی داده‌های که از دارای منحنی توزیع نرمال نیستند از تبدیل‌ها استفاده می‌کنند. متداول‌ترین تبدیل‌ها عبارتند از تبدیل جذری، لگاریتمی و قوسی سینوسی. نتایج آزمون‌های آماری متغیرهای تبدیل در جدول (۵-۵) آمده است. که نشان می‌دهد بعد از تبدیل داده‌ها نرمال نشده‌اند.

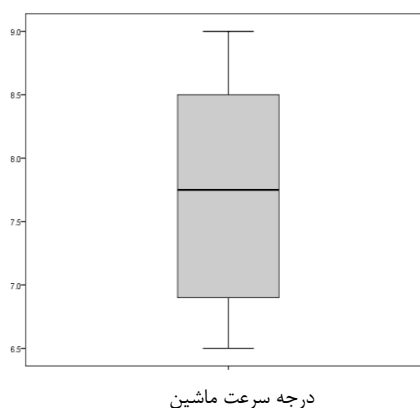
جدول ۵-۵: سطح معناداری آزمون‌های آماری متغیرها

متغیرها	کلموگروف - اسمیرنوف	شاپیرو - ویلک
	سطح معناداری	سطح معناداری
سایش لوس آنجلس	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
مقاومت کششی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
تخلخل	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰

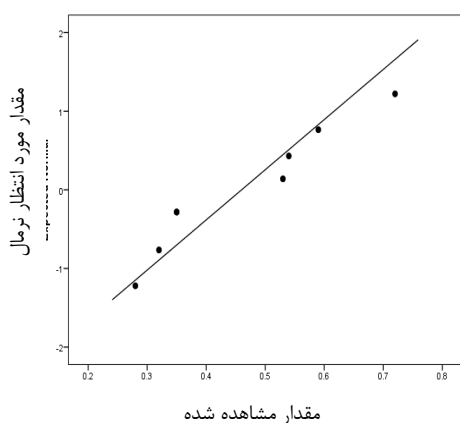
بررسی نرمال بودن پارامترهای ماشین از طریق نمودار جعبه‌ای و نمودار QQ: نمودار QQ (نمودار احتمال نرمال) برای بررسی نرمال بودن داده‌ها به کار می‌رود. محور افقی این نمودار مقادیر مشاهده شده و محور عمودی مقادیر مورد انتظار (حالتی که داده‌های نمونه دارای توزیع نرمال هستند) را نشان می‌دهند. طبق نمودارهای جعبه‌ای و QQ که در شکل (۵-۶) نشان داده شده است و سایر روش‌های توضیح داده شده متغیرهای درجه سرعت ماشین و سرعت زنجیر (پارامترهای مربوط به ماشین) کاملاً از توزیع نرمال برخوردار هستند.



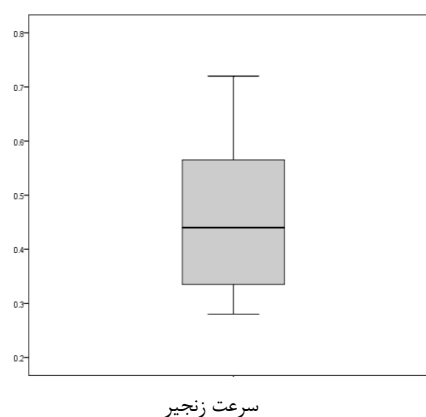
ب



الف



د



ج

شکل ۵-۶: (الف) نمودار جعبه‌ای متغیر درجه سرعت ماشین (ب) نمودار QQ متغیر درجه سرعت ماشین (ج) نمودار جعبه‌ای متغیر سرعت زنجیر (د) نمودار QQ متغیر سرعت زنجیر

۵-۴-۲- ارائه مدل براساس پارامترهای ماشین

پارامترهای ماشین توسط اپراتور برای انجام برش سنگ تنظیم می‌شوند و یک روند تجربی است. آنچه مشخص است هرچه دستگاه با پارامترهای بزرگتر کار کند سرعت برش بیشتر و سایش سگمنت‌ها نیز زیادتر است. برای ارائه این مدل از داده‌های آموزش متغیرهای درجه سرعت ماشین و سرعت زنجیر و سایش جدول (۱-۳) استفاده شد. معادله (۵-۱) مدل رگرسیونی ارائه شده را براساس پارامترهای دستگاه نشان می‌دهد.

$$S = -0,973 - 0,079V_H + 1,462V_S \quad \text{معادله (۵-۱)}$$

که در آن S میزان سایش سگمنت‌ها بر حسب گرم در یک شیف (۸ ساعت)؛ V_H ، V_S به ترتیب درجه سرعت ماشین و سرعت زنجیر (m/s) است.

خلاصه مدل ارائه شده میان دو متغیر در جدول (۵-۶) آورده شده است. که نشان می‌دهد ضریب همبستگی چندگانه (R) برابر ۰/۹۴ است و این به معنی وجود همبستگی قوی بین دو متغیر مستقل (درجه سرعت ماشین و سرعت زنجیر) و متغیر وابسته (سایش) است. همچنین ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۸۹ است، که هرچه این ضریب به یک نزدیکتر باشد نشان می‌دهد متغیر مستقل توانسته مقدار زیادی از واریانس متغیر وابسته را تبیین نماید.

خطای استاندارد تخمین (Std. Error of the Estimate) به طور کلی خطای برآوردها را نشان می‌دهد و نشان می‌دهد با این مدل رگرسیون خطای تخمین تقریباً برابر با ۰/۱۱ است.

آماره Durbin-Watson یکی از مفروضه‌های اساسی در تحلیل رگرسیون چندگانه، استقلال متغیرهای مستقل و یا به عبارت دیگر عدم ارتباط نمره‌های خطای متغیرهای مستقل با یکدیگر است. که این مفروضه توسط آزمون دوربین واتسون بررسی می‌شود به طور کلی می‌توان گفت که اگر مقداری آماره ی این آزمون بین ۱/۵ تا ۲/۵ قرار داشته باشد، می‌توان استقلال مشاهدات را پذیرفت.

جدول ۵-۶: خلاصه مدل ارائه شده براساس پارامترهای ماشین

خطای استاندارد تخمین	R^2 تعدیل شده	R^2	R	دوربین-واتسون
۰/۱۱۳۲۴	۰/۸۴۳	۰/۸۸۸	۰/۹۴۲	۲,۴۶۳

جدول ANOVA مقبولیت مدل مورد نظر را بررسی می‌کند. این جدول نتایج تحلیل واریانس مدل رگرسیونی برازش شده را نشان می‌دهد و در جدول (۵-۶) آورده شده است.

در این جدول، منبع تغییرات وابسته در دو منبع رگرسیون (Regression) و باقیمانده (Residual) نشان داده شده و برای هر یک از این منابع، مجموع مجذورات، درجه آزادی، میانگین مجذورات آمده است. سطر رگرسیون، اطلاعات مربوط به میزان تغییرات متغیر وابسته را که در نتیجه مدل تحقیق است را نشان می‌دهد. سطر باقیانده، اطلاعات مربوط به میزان تغییرات متغیر وابسته را که خارج از مدل تحقیق است را نشان می‌دهد. بنابراین هرچه مقدار مجموع مجذورات باقیمانده کوچک تر از مجموع مجذورات رگرسیون باشد، نشان دهنده قدرت تبیین‌گری بالای مدل در توضیح تغییرات متغیر وابسته است. برای بررسی نیکویی برازش مدل رگرسیونی برازش داده شده به مدل، از مقدار سطح معناداری استفاده خواهیم کرد. همانطور که از جدول (۵-۷) مشخص است، آماره F برابر با ۰/۰۰۴ و کمتر از ۰/۰۵ است. و این نشان می‌دهد که متغیر مستقل از قدرت تبیین بالای برخوردار بوده و می‌تواند درصد بالایی از واریانس متغیر وابسته را تبیین نماید. به عبارت دیگر مدل رگرسیونی تحقیق مدل خوبی است و به کمک آن قادریم تا تغییرات متغیر وابسته را به کمک متغیر مستقل مورد نظر تبیین کنیم.

جدول ۵-۷: جدول ANOVA

مدل	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	میزان F	سطح معناداری
۱ رگرسیون	۰/۵۰۸	۲	۰/۲۵۴	۱۹/۸۰۱	۰/۰۰۴
باقیمانده	۰/۰۶۴	۵	۰/۰۱۳		
کل	۰/۵۷۲	۷			

جدول بعدی در تحلیل رگرسیون مربوط به ضریب تأثیر رگرسیونی متغیر مستقل به متغیر وابسته است که در جدول (۵-۸) آورده شده است. در این جدول دو نوع ضریب تأثیر رگرسیونی داریم. اول، ضرایب غیر استاندارد شده و دوم ضرایب استاندارد شده. ضرایب استاندارد شده به این دلیل اهمیت دارند که در تحلیل رگرسیون، واحد متغیرهای مستقل متفاوت است و به کمک این ضرایب می‌توان سهم نسبی هر متغیر مستقل را در تبیین تغییرات متغیر وابسته را مشخص کرد. آماره

t اهمیت نسبی هر متغیر را در مدل نشان می‌دهد. برای اینکه به تأثیر آماری معناداری متغیرها بر متغیر وابسته پی ببریم، می‌توانیم به مقدار t نگاه کنیم. معمولاً هرگاه قدرمطلق مقدار این آماره از عدد ۲/۳۳ بزرگتر باشد، سطح خطای آن نیز کوچک‌تر از ۰/۰۱ یا ۰/۰۵ بوده و در نتیجه خواهیم گفت که متغیر مورد نظر تأثیر آماری معناداری در تبیین تغییرات متغیر وابسته داشته است. سطح معناداری تمام متغیرها بزرگتر از ۰/۰۵ است و در نتیجه تمام متغیرها از لحاظ آماری معنادار هستند.

جدول ۵-۸: ضرایب تأثیر رگرسیونی

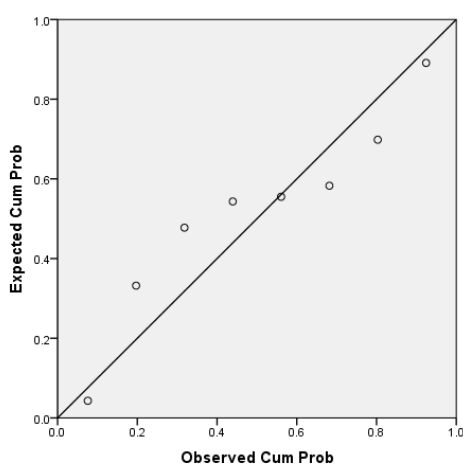
آماره خطی بودن		سطح معناداری	t	ضرایب استاندارد شده	ضرایب غیر استاندارد شده		مدل
VIF	Tolerance			Beta	خطای استاندارد	β	
		۰/۱۷۵	-۱/۵۷۹		۰/۶۱۶	-۰/۹۷۳	ثابت ^۱
۴/۲۹	۰/۲۳۳	۰/۵۱۰	۰/۷۰۹	۰/۲۲۰	۰/۱۱۱	۰/۰۷۹	درجه سرعت ماشین
۴/۲۹	۰/۲۳۳	۰/۰۶۲	۲/۳۹۸	۰/۷۷۴	۰/۶۱۰	۱/۴۶۲	سرعت زنجیر

۵-۴-۲-۱- هم خطی بودن

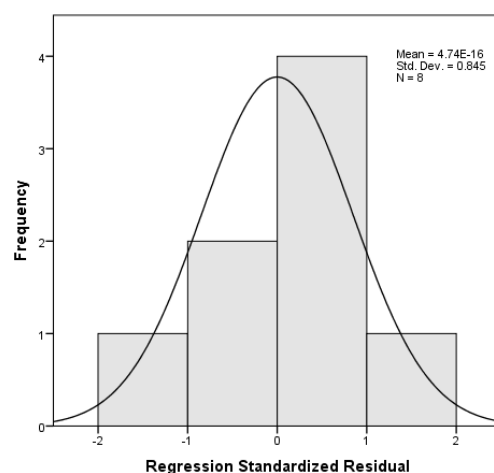
در مدل‌های رگرسیونی مسئله هم‌خطی میان متغیرها مسئله مهمی است. ستون‌های VIF (عامل تورم واریانس) و Tolerance (تولرانس) مقادیر هم‌خطی را نشان می‌دهند. هرچه Tolerance به ۱ نزدیک باشد میزان هم‌خطی کمتر و هرچه VIF از ۲ بیشتر باشد میزان هم‌خطی بیشتر است. به عنوان یک قاعده کلی مقادیر کمتر از ۰/۱۰ برای Tolerance، و بیشتر از ۱۰ برای VIF باید مورد بررسی واقع شوند. در این‌جا با توجه به این که این دو شرط برآورده شده‌اند نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل همبستگی خطی زیادی با هم ندارند.

۵-۴-۲-۲- بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها

باقیمانده‌ها، اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده متغیر وابسته از مدل هستند. نرمال بودن باقیمانده‌ها نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده، نزدیک به مقادیر مشاهده شده هستند. هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال P-P باقیمانده‌ها برای بررسی فرض نرمال بودن عبارت خطا مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمودار P-P که باید تابع خط ۴۵ درجه باشد نیز نرمال بودن خطاها را تأیید می‌کنند. در نمودار P-P نقاط روی خط ۴۵ درجه نشان می‌دهند که احتمال تجمعی مشاهده شده با احتمال تجمعی مورد انتظار یکسان است. در حقیقت هرچه تجمع نقاط حول خط ۴۵ درجه بیشتر باشد با دقت بیشتری می‌توان متغیر وابسته را پیش‌بینی کرد. با توجه به آن چه گفته شد و شکل (۵-۷، الف) نشان می‌دهد شکل هیستوگرام نرمال است و شکل (۵-۷، ب) نیز، نمودار P-P را نشان می‌دهد که باقیمانده‌ها از خط ۴۵ درجه پیروی می‌کنند.



ب



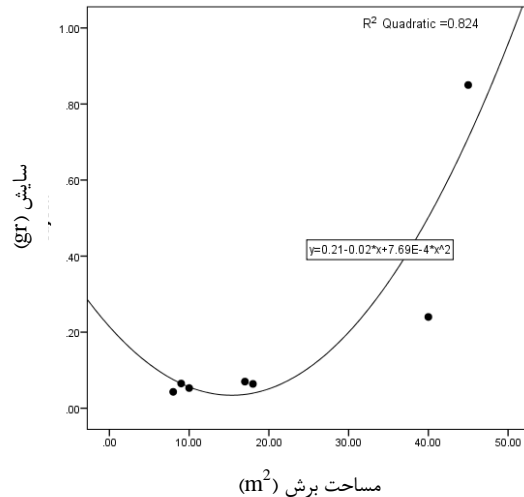
الف

شکل ۵-۷: (الف) توزیع نرمال عبارت خطا (ب) نمودار P-P

۵-۴-۳- تحلیل رگرسیون خطی ساده برای پیش‌گویی سایش با نرخ برش

در تحلیل مؤلفه‌های اصلی، متغیر مساحت برش بدلیل اینکه با سایر متغیرها همبستگی داشت برای تحلیل رگرسیون چندگانه انتخاب نشد. در این بخش به وسیله رگرسیون خطی ساده به

تحلیل این متغیر پرداخته شده است. همانطور که در شکل (۵-۸) نمودار پراکنش متغیر سایش و متغیر مساحت برش نشان داده شده است رابطه خوبی بین این دو متغیر برقرار است.



شکل ۵-۸: برازش تک متغیره میان مساحت برش و سایش

۵-۴-۳-۱- بررسی همواری مدل

مدل ارائه شده برای پیش‌بینی سایش بر اساس مساحت برش به شکل معادله (۵-۲) خواهد

بود

$$S = -0,142 + 0,016 C$$

معادله (۵-۲)

که در آن S میزان سایش سگمنت‌ها بر حسب گرم در یک شیفت (۸ ساعت) و C مساحت

برش داده شده (m²) توسط ماشین در یک شیفت است.

خلاصه مدل ارائه شده در معادله (۵-۲) در جدول (۵-۹) آورده شده است. ضریب R برابر

۰,۸۵؛ ضریب R² برابر با ۰,۷۲۲؛ خطای استاندارد تخمین تقریباً برابر با ۰,۱۶ است و آماره Durbin-

Watson این آزمون بین ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد و می‌توان استقلال مشاهدات را پذیرفت.

جدول ۵-۹: خلاصه مدل ارائه شده براساس مساحت برش

دوربین-واتسون	R	R ²	R ² تعدیل شده	خطای استاندارد تخمین
۱/۹۰۴	۰/۸۵	۰/۷۲۲	۰/۶۷۵	۰/۱۶۲۹۰

جدول ANOVA مقبولیت مدل مورد نظر را بررسی می‌کند. این جدول نتایج تحلیل واریانس مدل رگرسیونی برازش شده را نشان می‌دهد و در جدول (۵-۱۰) آورده شده است. همانطور که مشخص است، مقدار سطح معناداری آماره F برابر با ۰/۰۰۸ که کوچکتر از ۰/۰۵ می‌باشد و مدل قدرت تبیین خوبی دارد.

جدول ۵-۱۰: ANOVA

مدل	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	میزان F	سطح معناداری
۱ رگرسیون	۰/۴۱۳	۱	۰/۴۳	۱۵/۵۵۲	۰/۰۰۸
باقیمانده	۰/۱۵۹	۶	۰/۰۲۷		
کل	۰/۵۷۲	۷			

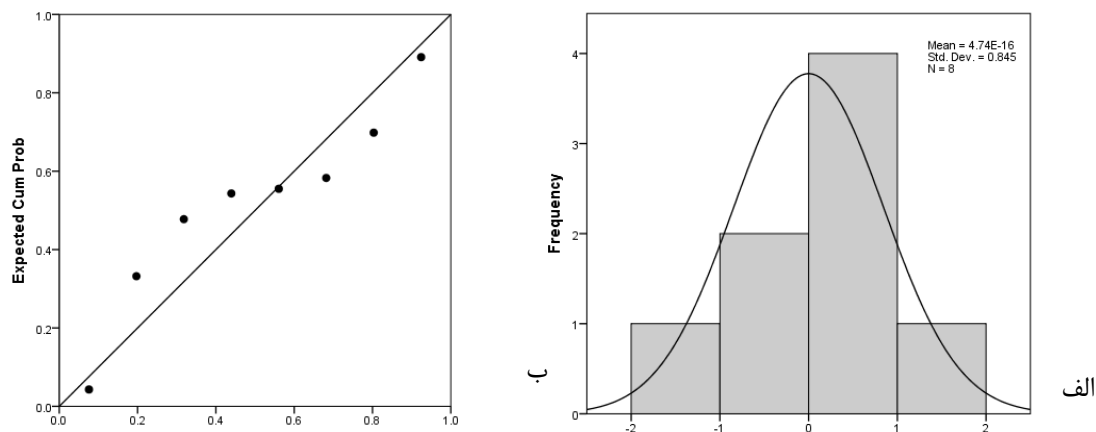
جدول بعدی مربوط به ضرایب متغیرها در مدل است که در جدول (۵-۱۱) آورده شده است. آماره t، اهمیت نسبی هر متغیر را در مدل نشان می‌دهد. آماره t مساحت برش، بیشتر از ۲/۳۳ است و می‌توان به تأثیر آن در تبیین تغییرات سایش پی برد.

جدول ۵-۱۱: ضرایب تأثیر رگرسیونی

مدل	ضرایب غیر استاندارد شده		ضرایب استاندارد شده	t	سطح معناداری
	β	خطای استاندارد			
۱ ثابت	-۰/۱۴۲	۰/۱۱۰	Beta	-۱/۲۹	۰/۲۴۴
مساحت برش	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴	Beta	۳/۹۴۴	۰/۰۰۸

۵-۴-۳-۲- بررسی نرمال بودن عبارت خطا

شکل (۵-۹) نشان می‌دهد که شکل هیستوگرام تقریباً نرمال است و نمودار P-P نیز نرمال بودن خطاها را تأیید می‌کنند.



شکل ۵-۹: توزیع نرمال عبارت خطا (ب) نمودار P-P

۵-۵- اعتبار سنجی روابط

برای تعیین رابطه مناسب‌تر از میان دو رابطه (۵-۱) و (۵-۲) از ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE)، محاسبه واریانس^۲ (VAF) و میانگین درصد خطای مطلق^۳ (MAPE) استفاده شده است. جدول (۵-۱۲) مقادیر این چهار معیار را برای دو مدل ارائه شده نشان می‌دهد.

- جذر میانگین مربعات خطا: این شاخص ابتدا اختلاف تک تک مقادیر مشاهده شده را با مقادیر پیش‌بینی شده محاسبه نموده و به توان دو می‌رساند از این اختلاف‌ها میانگین گرفته و در نهایت جذر عدد میانگین را ارائه می‌کند هرچه این مقدار کمتر باشد نشان می‌دهد مدل بیشتر بر داده‌ها منطبق است.

¹ Root Mean Square Error

² Variance Account For

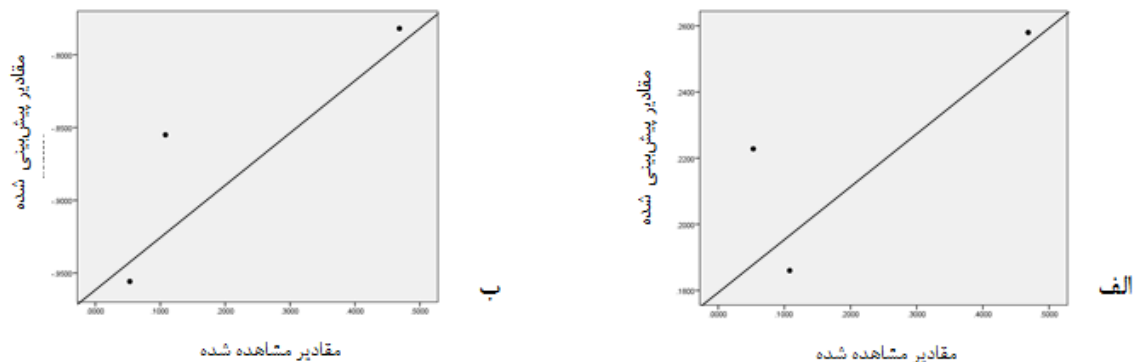
³ Mean Absolute Percentage Error

- محاسبه شاخص عملکرد واریانس: این مقدار هرچه به ۱۰۰ نزدیک تر باشد نشان دهنده انطباق بیشتر مدل بر داده‌ها است.
- میانگین درصد خطای مطلق: این شاخص هرچه کوچکتر باشد مدل مناسب‌تر است.

جدول ۵-۱۲ مقادیر معیارهای ارزیابی برای روابط ارائه شده

مدل	R^2	RMSE	VAF	MAPE
معادله (۱-۵)	۰/۸۸/۹	۰/۲۳	۴۲/۳۷	۴۱/۴
معادله (۲-۵)	۰/۷۲/۲	۰/۱۶	۲۸/۲۵	۲

مقدار ضریب تعیین و RMSE برای معادله (۱-۵) نسبت به معادله (۲-۵) بیشتر و مقدار VAF و MAPE برای معادله (۱-۵) نسبت به معادله (۲-۵) کمتر است. برای انتخاب رابطه مناسب‌تر از نمودار مقادیر آزمون و مقادیر پیش‌بینی شده توسط دو مدل استفاده می‌کنیم. شکل (۵-۱۰) ارتباط بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده را برای داده‌های آزمون و وضعیت آن‌ها نسبت به خط نیمساز را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۰: ارتباط بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده (الف) معادله (۲-۵)، (ب) معادله (۱-۵)

۵-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل ابتدا برازش تک متغیره میان متغیرهای درجه سرعت ماشین، سرعت زنجیر و مساحت برش با سایش انجام شد. سپس تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای استخراج مؤلفه‌های اصلی انجام شد. در ادامه فصل دو مدل ارائه شد. مدل اول شامل متغیرهای درجه سرعت ماشین و سرعت زنجیر و

مدل دوم شامل متغیر مساحت برش برای پیشگویی سایش است. مدل‌های ارائه شده از ضریب تعیین بالایی برخوردار بوده و توانایی خوبی در پیشگویی سایش دارند.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

این پایان نامه برای درک بیشتر سایش سگمنت‌های ماشین‌اره زنجیری تهیه شده است و به رابطه میان پارامترهای ماشین با سایش می‌پردازد.

ابتدا با استفاده از تحلیل رگرسیون چندگانه خطی یک مدل براساس پارامترهای ماشین برای تبیین سایش ارائه شد. سپس یک مدل دیگر براساس مساحت برش با استفاده از تحلیل رگرسیون ساده خطی ارائه شد. در ادامه نتایج به شرح ذیل بیان می‌شود:

- در برازش تک متغیره که در درجه سرعت ماشین پایین‌تر از ۷، در سرعت زنجیر پایین‌تر از 0.30 (m/s) و در مساحت برش پایین‌تر از $10 \text{ (m}^2\text{)}$ سایش روند افزایشی پیدا می‌کند و این به دلیل افزایش زمان تماس سگمنت‌ها با به وجود می‌آید.
- در تحلیل مؤلفه‌های اصلی پارامتر مساحت برش با هر دو مؤلفه اصلی استخراج شده همبستگی نسبتاً بالایی داشت به همین دلیل در تحلیل رگرسیون، همراه با سایر پارامترها بررسی نشده است.
- مدل ارائه شده براساس پارامترهای ماشین با ضریب تعیین (R^2) ۸۸٪ نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل توانسته‌اند ۸۸٪ از واریانس متغیر وابسته را تبیین نمایند.
- در مدل ارائه شده براساس پارامترهای ماشین ضریب استاندارد شده ولوم حرکت و ولوم سرعت به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۷۷۴ است که نشان می‌دهد در این مدل پارامتر ولوم سرعت سهم بیشتری در تبیین سایش دارد.
- مقدار هم خطی برای مدل اول هرچند ایده‌آل نیست اما از لحاظ هم خطی مشکلی به وجود نمی‌آورد و از استاندارد لازم برخوردار است.
- مدل ارائه شده براساس مساحت برش نیز با ضریب تعیین (R^2) ۷۲٪ نشان می‌دهد که متغیر مساحت برش توانسته است ۷۲٪ واریانس متغیر سایش را تبیین نماید.

- در مدل دوم نیز ضریب استاندارد شده مساحت برش ۰/۸۴۹ است.
- براساس چهار شاخص R^2 ، RMSE، VAF و MAPE مدل ارائه شده براساس پارامترهای ماشین بهتر از مدل ارائه شده بر اساس مساحت برش است.

۶-۲- پیشنهادات

- بدلیل اینکه سایش این سگمنت‌ها خیلی کم است و با همین مقدار سایش کم فرسوده می‌شوند پیشنهاد می‌شود الگوی مصرف سگمنت، براساس مصرف لبه برنده یا سگمنت مصرفی ارائه شود.
- برای دخالت دادن پارامترهای سنگ نیاز به تعداد نمونه‌های زیادی است به همین دلیل استفاده از داده‌های آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه برش خطی پیشنهاد می‌شود.
- بررسی تأثیر زاویه سگمنت‌ها و چیدمان آن‌ها در هر گام بر میزان مصرف سگمنت‌ها نیز در صورت وجود دستگاه آزمایش برش خطی پیشنهاد می‌شود.
- برای تحلیل زمان خواب ماشین به دلیل خرابی و با توجه به اینکه دستیابی به قطعات این ماشین در صورت خراب شدن قطعات، زمان زیادی نیاز دارد تحلیل قابلیت اطمینان خرابی زیرسیستم‌های مختلف این ماشین در صورت وجود بانک اطلاعاتی مناسب در این زمینه پیشنهاد می‌گردد که به این وسیله ضریب عملکرد این ماشین بیشتر می‌شود.

منابع و مراجع

[۱] عطایی محمد، ۱۳۸۷، *استخراج سنگ‌های ساختمانی*، چاپ اول، انتشارات دانشگاه

صنعتی شاهرود

- [2] L. Romoli. (2018). “Cutting force monitoring of chain saw machines at the variation of the rake angle”; **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**; ۱۰۱ 33–40.
- [3] Copur. H; N. Bilgin H. Tuncdemir and C. Balci. (2003). “A set of indices based on indentation tests for assessment of rock cutting performance and rock properties”, **The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy**, 589-600.
- [4] Balci. C; M.A. Demircin; H. Copur; and H. Tuncdemir. (2004) “Estimation of optimum specific energy based on rock properties for assessment of roadheader performance”. **The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy**; 633-642.
- [5] Bilgin. N; M.A. Demircinb, H. Copur, C. Balcia; H. Tuncdemira and N. Akcinc. (2006). “Dominant rock properties affecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results.” **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**. 139–156.
- [6] Copur. H. (2010). “Linear stone cutting tests with chisel tools for identification of cutting principles and predicting performance of chain saw machines.” **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**. 104–120.
- [7] Sariisik. A, Sariisik, G. (2009). “Efficiency analysis of armed-chained cutting machines in block production in travertine quarries.” **The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy**. 473-480.

[۸] رادفر، ب و خادمیان، ظ؛ ۱۳۸۹، "بررسی فنی و اقتصادی بکارگیری دستگاه اره زنجیری در معادن سنگ تزئینی." دومین همایش معدن چرخ صنعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

- [9] Copur. H, Cemal. Balci, Deniz. Tumac, Nuh. Bilgin. (2011). "Field and laboratory studies on natural stones leading to empirical performance prediction of chain saw machines". **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**. 269–282.
- [10] Sariisik. A, and Sariisik. G. (2012). "Investigation of the cutting performance of the natural stone block production in quarries with armed-chain cutting machine". **Journal of Mechanical Engineering Science**. 1291-1301.
- [11] Deniz Tumac. (2013). "Predicting the Performance of Chain Saw Machines Based on Shore Scleroscope Hardness". **Rock Mechanics and Rock Engineering**. 703–715.
- [12] Zeki Hekimoglu Osman. (2014). "Studies on increasing the performance of chain saw machines for mechanical excavation of marbles and natural stones". **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**. 230–241.
- [13] Tomislav Korman. Trpimir Kujundzic. Dalibor Kuhinek. (2015). "Simulation of the chain saw cutting process with a linear cutting machine". **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**. 283–289.
- [14] Deniz Tumac¹. Hanifi Copur¹. Cemal Balci¹. Selman Er². Emre Avunduk¹. (2017). "Investigation into the Effects of Textural Properties on Cuttability Performance of a Chisel Tool". **Rock Mechanics and Rock Engineering**.
- [15] Mohammadi Javad, Ataei Mohammad, KhaloKakaei Reza, Mikaeil Reza, Shaffiee Haghshenas Sina. (2018). "Prediction of the Production Rate of Chain Saw Machine using the Multilayer Perceptron (MLP) Neural Network"; **Civil Engineering Journal**; Vol 4; No 7.

[16] H Copur, C Balci, N Bilgin, D Tumac, C Feridunoglu, T Dincer, A. Serter;
Cutting Performance of Chain Saws in Quarries and Laboratory.

[۱۷] فهیمی فر احمد، سروش حامد، ۱۳۸۰، *آزمایش‌های مکانیک سنگ: مبانی نظری و استناداردها*، جلد اول و دوم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[۱۸] سمپریت چترجی، اس هادی، برترام پرای، ۱۳۸۴، *تحلیل رگرسیون با مثال*، نیرومند ح، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

[۱۹] افشانی س ع، نوریان م، جعفریان ن، ۱۳۹۴، *راهنمای کاربردی SPSS22*، چاپ اول، انتشارت بیشه

[۲۰] نایی ه، ۱۳۹۳، *آمار پیشرفته کاربردی همراه با SPSS*، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

[۲۱] داگلاس ام بیتز، دونالد جی واتز، ۱۳۸۱، *تحلیل رگرسیون غیرخطی و کاربردهای آن*، رضایی پزند ح، بزرگ‌نیا ا، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

Abstract

Extraction of building stones is one of the most important industries in Iran due to its good potential. By expanding technology, looking for new solutions at a lower cost and increasing production capacity is one of the goals of industry owners. The use of a chain saw machine is one of the solutions used in building stone cutting. In this thesis, the saw chain machine was studied in two marble mine kerem harsin and partavuosi bahabad (Iran) and tried to examine the relationship between chain saw machine parameters and physical and mechanical properties of rocks with wear of segments using simple and multiple linear regression.

In first step, Data have been taken from two marble mines kerem harsin and partavuosi bahabad (Iran), before each cutting cycle, the weight of the segments was measured with a precision scale then the machine is began to work with the proper parameters and is worked unaltered until the end of the cycle with the same parameters. At the end of the cutting cycle, the segments are again weighed and their weight loss are shows the wears. At the end 11 data were taken and analyzed.

In the last step, two models are presented. The first model is based on multiple linear regression and for the speed and speed parameters of the chain as independent variable and wearing as a dependent variable, and the second model is based on simple linear regression for the parameters of cutting area as an independent variable and wear as an independent variable. the determination coefficient for the first and second models is 72.2 % and 88.2 % respectively, which indicates that in both models the independent variables have been able to explain a large amount of variance of the dependent variable. The results of validation show that the first model is more appropriate than the second model.

keywords: linear regression, chain saw machine, building stones, Wear the segments



Shahrood University of Technology

Faculty of Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering

MSc Thesis in Mining Engineering

Provide an experimental model for estimating the wear of cutting

(case study: kouh sefid fenjan tools for chain saws machine

(bowanat quarrie

By: Navid Abdollahi

Supervisors:

Dr. Farhang Sereshki

Dr. Mohammad Ataei

January 2019