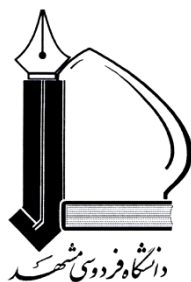


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده‌ی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

عنوان پایان نامه:

بهینه سازی فرآیند سنگ زنی به کمک تحلیل دینامیک غیر خطی و روش تاگوچی

مؤلف:

مرتضی تهمی پور

ارائه شده جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما:

دکتر بهنام معتکف ایمانی

شهریور ۱۳۹۰



فرم چکیده رساله تحصیلات تکمیلی

نام دانشجو: مرتضی	نام خانوادگی دانشجو: تهامی پور زرنندی
استاد راهنما: دکتر بهنام معتکف ایمانی	
دانشکده: مهندسی گروه: مهندسی مکانیک	گرایش: ساخت و تولید دوره: کارشناسی ارشد
عنوان پایان نامه: بهینه سازی فرآیند سنگ زنی تخت به کمک تحلیل دینامیک غیر خطی و روش تاگوچی	
واژگان کلیدی: سنگ زنی، زبری سطح، نیروی سنگ زنی، نمای لیاپانوف، روش تاگوچی	
<p>چکیده: فرآیندهای برداشت ماده و ماشینکاری بخش قابل توجهی از فرآیندهای تولید را تشکیل می‌دهند. قطعات صنعتی برای عملکرد مناسب به دقت ابعادی و کیفیت سطح بالا نیاز دارند و از این رو فرآیندهای سایشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. سنگ زنی به عنوان پرکاربردترین فرآیند سایشی نقش اساسی را در تولید قطعات صنعتی با کیفیت سطح و دقت ابعادی بالا ایفا می‌کند. زبری سطح قطعه کار به شرایط ماشینکاری بستگی دارد و بهبود زبری سطح در شرایط ماشینکاری مختلف، از اصلی‌ترین انگیزه‌های پژوهش در زمینه ماشینکاری است. تخمین سطح بهینه از تنظیمات ماشینکاری قطعات صنعتی، در بهبود عملکرد این فرآیندها تأثیر اساسی دارد. در این تحقیق فرآیند سنگ زنی تخت مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور در سنگ زنی فولاد با ساینده‌های معمولی، نیروی سنگ زنی و زبری سطح اندازه گیری شد. برای تحلیل این دو خروجی از نظریه تحلیل دینامیک غیر خطی سری‌های زمانی استفاده شده است. این نظریه گستردگی زیادی دارد که برخی مفاهیم آن مانند نمای لیاپانوف و بعد فرکتال قابلیت استفاده در تحلیل نتایج ماشینکاری را دارند. نیروی اندازه گیری شده در سنگ زنی به عنوان یک سری زمانی مورد تحلیل قرار گرفته و از نمای لیاپانوف به عنوان معیاری از پایداری و ناپایداری سری‌های زمانی در تحلیل دینامیک غیر خطی استفاده شده است. سطح ماشینکاری شده دارای خاصیت فرکتالی است و مفهوم بعد فرکتال به عنوان معیاری از زبری سطح قطعه کار در این تحلیل استفاده می‌شود. برای رسیدن به سطوح بهینه از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد که در این تحقیق از روش طراحی پارامتر تاگوچی استفاده می‌شود. برای سنجش این معیارها یک مجموعه آزمایش تاگوچی در شرایط مختلف سنگ زنی طراحی و انجام شده که با استفاده از این معیارها سطوح بهینه این فرآیند محاسبه شده است.</p>	

تصویب نامہ ی گروه مکانیک

پایان نامہ ی حاضر تحت عنوان:

بہینہ سازی فرآیند سنگ زنی به کمک تحلیل دینامیک غیر خطی و روش تاگوچی

که توسط مرتضی تہامی پور تہیہ و به ہیأت داوران ارائه گردیدہ است، مورد تأیید کمیتہ ی تحصیلات تکمیلی گروه می باشد.

درجہ ی ارزشیابی:

نمرہ:

تاریخ دفاع:

اعضای ہیأت داوران:

امضا:

نام و نام خانوادگی:

استاد راهنما

۱. دکتر بہنام معتکف ایمانی

عضو دفاع

۲. دکتر علیرضا اکبر زادہ

عضو دفاع

۳. دکتر علی اکبر اکبری

نمایندہ تحصیلات تکمیلی

۴. دکتر عبدالرحمان جامی الاحمدی

تأییدیه

گواهی می‌شود که این پایان نامه تاکنون برای احراز یک درجه‌ی علمی ارائه نشده است و تمامی مطالب آن به جز مواردی که نام مرجع آورده شده است، نتیجه‌ی کار پژوهشی دانشجو می‌باشد.

تاریخ:

امضای دانشجو:

تاریخ:

امضای استاد راهنما:

سپاس‌گذاری

اکنون که مراحل انجام این پایان نامه به پایان رسیده است، بر خود لازم می‌دانم از کلیه کسانی که در طول دوران تحصیلی‌ام به نحوی از محبت‌هایشان برخوردار بوده‌ام، تشکر و قدردانی نمایم. در ابتدا از توجهات و حمایت‌های استاد گران‌قدر جناب آقای دکتر بهنام معتکف ایمانی که همواره با صبر و شکیبایی به راهنمایی اینجانب پرداختند، قدردانی می‌نمایم؛ بدون شک بدون راهنمایی‌های ارزشمند ایشان انجام این پایان نامه غیرممکن بود. از خانواده‌ی عزیزم به خاطر تشویق‌ها و حمایت‌های بی‌دریغشان سپاس گزارم. همچنین از تمامی دوستان خوبم در طول سال‌های گذشته، به خاطر همراهی و پشتیبانی همه‌جانبه تشکر می‌کنم.

فهرست مطالب

۲	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱- اهمیت موضوع
۳	۲-۱- مرور مقالات و مراجع
۷	۳-۱- طرح مسئله
۹	فصل ۲: آشنایی با فرآیند سنگ‌زنی تخت
۹	۱-۲- مقدمه
۱۰	۲-۲- فرآیندهای سایشی
۱۱	۳-۲- سنگ‌زنی
۱۴	۴-۲- سنگ‌زنی تخت
۱۶	۵-۲- ذرات ساینده
۱۶	۱-۵-۲- فوق ساینده‌ها
۱۷	۲-۵-۲- ساینده‌های معمولی
۲۱	۶-۲- چسب نگه‌دارنده
۲۷	فصل ۳: مکانیک سنگ‌زنی
۲۷	۱-۳- مقدمه
۲۸	۲-۳- فرآیند برش
۳۰	۳-۳- توزیع ذرات ساینده
۳۲	۴-۳- تماس بین چرخ‌سنگ و قطعه کار

۳۵	۳-۵-سایش ذرات ساینده
۳۸	فصل ۴: دینامیک سنگ‌زنی
۳۸	۴-۱-مقدمه
۳۹	۴-۲-انواع ارتعاشات در سنگ‌زنی
۴۲	۴-۳-نمودار بلوکی فرآیند سنگ‌زنی
۴۴	۴-۴-تشخیص ارتعاشات سنگ‌زنی
۴۸	فصل ۵: دینامیک غیرخطی
۴۸	۵-۱-مقدمه
۴۹	۵-۲-دینامیک غیر خطی و نظریه آشوب
۵۲	۵-۳-فضای حالت و جاذب‌ها
۵۴	۵-۴-بعد جاذب و تخمین تأخیر زمانی
۵۹	۵-۵-نمای لیاپانوف
۶۳	۵-۶-بعد فرکتال
۷۲	فصل ۶: تجهیزات آزمایش و طراحی آزمایش‌ها
۷۲	۶-۱-مقدمه
۷۳	۶-۲-تجهیزات آزمایش
۷۳	۶-۲-۱-دستگاه سنگ تخت
۷۵	۶-۲-۲-چرخ‌سنگ
۷۵	۶-۲-۳-قطعه کار
۷۷	۶-۲-۴-دینامومتر
۸۰	۶-۲-۵-آمپلی‌فایر A5070
۸۱	۶-۲-۶-کارت جمع‌آوری داده Advantech PCI 1710 HG

۸۳	۶-۲-۷-زبری سنج
۸۵	۶-۳-طراحی آزمایش‌ها
۸۵	۶-۳-۱-مقدمه
۸۶	۶-۳-۲-مفاهیم اولیه طراحی آزمایش
۹۱	۶-۴-روش تاگوچی
۹۲	۶-۴-۱-رویکرد طراحی پارامتر تاگوچی
۹۸	فصل ۷: تحلیل نتایج
۹۸	۷-۱-مقدمه
۹۹	۷-۲-انجام آزمایشات
۱۰۱	۷-۳-تحلیل نتایج
۱۰۱	۷-۳-۱-تحلیل پروفیل زبری سطح
۱۱۰	۷-۳-۲-تحلیل سری زمانی نیروی سنگ‌زنی
۱۲۳	۷-۴-بهینه‌سازی تاگوچی
۱۲۳	۷-۴-۱-مقدمه
۱۲۴	۷-۴-۲-بهینه‌سازی تک هدفه
۱۳۶	۷-۴-۳-بهینه‌سازی چند معیاره
۱۴۵	فصل ۸: جمع بندی و نتیجه‌گیری
۱۴۵	۸-۱-نتیجه‌گیری
۱۴۸	۸-۲-ارائه پیشنهادات برای ادامه تحقیق
۱۴۹	مراجع

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱: گستردگی فرآیندهای ماشینکاری و نسبت ماشینهای ابزار در ایالات متحده [۱]. ۲
- شکل ۲-۱: زمینه‌های کلی مطالعه سنگ‌زنی و ارتباط میان آنها [۳]. ۳
- شکل ۱-۲: دسته بندی فرآیندهای سایشی [۲]. ۱۰
- شکل ۲-۲: بخشی از یک چرخ‌سنگ [۲۳]. ۱۱
- شکل ۳-۲: مقایسه فرآیندهای سنگ‌زنی و برش فلزات [۲]. ۱۲
- شکل ۴-۲: زنجیره افزایش هزینه در فرآیندهای تولید [۲۴]. ۱۳
- شکل ۵-۲: اجزای اصلی یک سیستم سنگ‌زنی [۲]. ۱۴
- شکل ۶-۲: انواع روش‌های مختلف سنگ‌زنی [۲۴]. ۱۵
- شکل ۷-۲: یک فرآیند سنگ‌زنی تخت [۲۵]. ۱۵
- شکل ۸-۲: مقایسه اندازه دانه‌های اکسید آلومینیم معمولی و اکسید آلومینیم زینتر شده [۲۶]. ۲۰
- شکل ۹-۲: مراحل اصلی تولید سرامیک آلومینیم اکسید [۲]. ۲۰
- شکل ۱۰-۲: روش نام‌گذاری چرخ‌سنگ‌های معمولی [۱۲]. ۲۴
- شکل ۱۱-۲: روش نام‌گذاری فوق ساینده‌ها [۱۲]. ۲۵
- شکل ۱-۳: مقایسه نحوه برداشت براده از قطعه کار توسط یک ابزار برش و یک ذره ساینده [۲۷]. ۲۷
- شکل ۲-۳: سه مرحله برش توسط یک ذره ساینده [۲۴]. ۲۸
- شکل ۳-۳: جهت نیروها در سنگ‌زنی [۲]. ۲۹
- شکل ۴-۳: یک نمونه نیروی سنگ‌زنی اندازه گیری شده و طیف فرکانسی آن ۳۰
- شکل ۵-۳: ذرات ساینده استاتیک و دینامیک در یک فرآیند سنگ‌زنی [۲]. ۳۱
- شکل ۶-۳: یک نمونه از تجهیزات محاسبه توپوگرافی چرخ‌سنگ [۲۸]. ۳۱
- شکل ۷-۳: یک مدل از نحوه توزیع ذرات ساینده در چرخ‌سنگ با جا بجا کردن ذرات ساینده در یک شبکه
به صورت اتفاقی [۱۴]. ۳۲
- شکل ۸-۳: صاف شدن چرخ‌سنگ و تأثیر آن بر تعداد ذرات ساینده فعال [۱۲]. ۳۳

- شکل ۳-۹: اثر انعطاف پذیری چرخ سنگ بر زبری سطح [۱۲] ۳۳
- شکل ۳-۱۰: انواع مدل های ارائه شده برای تغییر شکل چرخ سنگ در تماس با قطعه کار [۲۹] ۳۴
- شکل ۳-۱۱: چهار نوع اصلی سایش در سنگ زنی [۱۲] ۳۵
- شکل ۴-۱: روند تحلیل دینامیکی فرآیند سنگ زنی [۲۴] ۳۸
- شکل ۴-۲: انواع ارتعاشات در ماشینکاری [۳۰] ۳۹
- شکل ۴-۳: نحوه رشد انواع ارتعاشات در سنگ زنی [۱۱] ۴۰
- شکل ۴-۴: انواع ارتعاشات در سنگ زنی [۳۱] ۴۰
- شکل ۴-۵: انواع ارتعاشات خود برانگیخته سمت راست چرخ سنگ سمت چپ قطعه کار [۷] ۴۱
- شکل ۴-۶: عوامل موثر بر دینامیک سنگ زنی [۱۱] ۴۲
- شکل ۴-۷: نمودار بلوکی فرآیند سنگ زنی [۱۲] ۴۲
- شکل ۴-۸: ایجاد ارتعاشات خود برانگیخته در سنگ زنی با افزایش حجم برداشت ماده [۳۲] ۴۵
- شکل ۴-۹: تشخیص ارتعاشات خود برانگیخته بر حسب نرخ رشد سیگنال های نیرو [۳۱] ۴۵
- شکل ۴-۱۰: نمودار نرخ انتروپی بر حسب حجم برداشت ماده [۳۲] ۴۶
- شکل ۵-۱: نمودار حساسیت تابع لجستیک به شرایط اولیه ۵۰
- شکل ۵-۲: نمودار تغییرات تابع لجستیک بر حسب τ ۵۰
- شکل ۵-۳: نگاشت دوبعدی و سه بعدی تابع لجستیک ۵۱
- شکل ۵-۴: جاذب نقطه ای که فضای اطراف را به سمت خود جذب می کند ۵۳
- شکل ۵-۵: جاذب نقطه ای و جاذب نوسانی، $\tau = 2.9$ به یک جاذب نقطه ای منجر می شود در حالی که $\tau = 3.2$ به یک جاذب نوسانی میل می کند ۵۳
- شکل ۵-۶: محاسبه بعد جاسازی ۵۷
- شکل ۵-۷: بدست آوردن تأخیر زمانی از تابع اطلاعات متقابل ۵۹
- شکل ۵-۸: طیف نمای لیاپانوف برای یک سیگنال نیروی ماشینکاری ۶۲
- شکل ۵-۹: نحوه ایجاد یک نمونه فرکتال [۲۲] ۶۳
- شکل ۵-۱۰: نحوه ایجاد فرکتال کنتور [۳۷] ۶۵
- شکل ۵-۱۱: استفاده از روش جعبه شماری برای محاسبه بعد فرکتال منحنی کخ [۳۸] ۶۶
- شکل ۵-۱۲: مجموعه سه بعدی فرکتال کنتور ۶۶

- شکل ۵-۱۳: الگوی یک برگ که به صورت فرکتال است [۳۷] ۶۷
- شکل ۵-۱۴: بزرگنمایی یک پروفیل سطح و خاصیت فرکتالی آن [۲۱] ۶۸
- شکل ۵-۱۵: تقسیم بندی یک پروفیل برای محاسبه بعد فرکتال [۲۱] ۶۹
- شکل ۵-۱۶: روند محاسبه بعد فرکتال برای یک پروفیل [۳۸] ۶۹
- شکل ۵-۱۷: محاسبه بعد فرکتال برای یک پروفیل ۷۰
- شکل ۶-۱: نحوه بسته شدن قطعه کار و دینامومتر روی میز دستگاه سنگ تخت ۷۲
- شکل ۶-۲: دستگاه سنگ تخت ۷۳
- شکل ۶-۳: قطعه کار سنگ زنی شده و ابعاد قطعه کار ۷۶
- شکل ۶-۴: نحوه قرار گیری لایه های پیزوالکتریک در دینامومتر برای اندازه گیری نیروها در سه جهت مختصات [۳۹] ۷۷
- شکل ۶-۵: نمایی از دینامومتر ۹۲۵۵ [۳۹] ۷۸
- شکل ۶-۶: آمپلی فایر $5070A$ [۴۰] ۸۰
- شکل ۶-۷: کارت جمع آوری داده [۴۱] ۸۲
- شکل ۶-۸: زبری سنج تماسی [۴۲] ۸۳
- شکل ۶-۹: لمس کننده زبری سنج ۸۳
- شکل ۶-۱۰: پارامترهای Ra و Rz ۸۴
- شکل ۶-۱۱: روند انجام آزمایشات طراحی پارامتر تاگوچی [۴۳] ۹۳
- شکل ۶-۱۲: آرایه متعامد برای یک ماتریس تاگوچی [۴۴] ۹۶
- شکل ۷-۱: یک نمونه پروفیل سطح که در آن لمس کننده به درستی با قطعه کار در تماس نبوده است.. ۱۰۱
- شکل ۷-۲: قابلیت های تحلیل نسخه های مختلف نرم افزار زبری سنج ۱۰۲
- شکل ۷-۳: اثر اعمال فیلتر بر پروفیل سطح توسط نرم افزار ۱۰۳
- شکل ۷-۴: استفاده از دستور **levelling** نرم افزار برای تراز کردن پروفیل سطح ۱۰۳
- شکل ۷-۵: یک نمونه جدول مشخصات برای یک پروفیل سطح اندازه گیری شده ۱۰۴
- شکل ۷-۶: یک پروفیل سطح با پستی و بلندی های زیاد که پارامترهای زبری آن پایین است. $Ra =$ ۱۰۶
- **0.17, Rz = 1.08**

- شکل ۷-۷: یک پروفیل سطح با ارتفاع پستی و بلندی‌های کم که پارامترهای زبری آن بالا است. $Ra =$ **0.25, Rz = 1.35** ۱۰۶
- شکل ۷-۸: یک پروفیل سطح با مقدار بعد فرکتال بالا و زبری سطح بالا $Fr = 1.8$ و $Ra = 1.63$ ۱۰۷
- شکل ۷-۹: یک پروفیل با مقدار بعد فرکتال کم و زبری سطح بالا $Fr = 1.09$ و $Ra = 1.58$ ۱۰۷
- شکل ۷-۱۰: یک پروفیل با زبری کم و بعد فرکتال زیاد $Ra = 0.225$ و $Fr = 1.62$ ۱۰۸
- شکل ۷-۱۱: یک پروفیل با زبری کم و بعد فرکتال کم $Ra = 0.183$ و $Fr = 1.25$ ۱۰۸
- شکل ۷-۱۲: نحوه نصب دینامومتر بر روی دستگاه سنگ و جهات اندازه گیری نیرو ۱۱۰
- شکل ۷-۱۳: مفهوم نمونه برداری و نرخ نمونه برداری از یک سیگنال ۱۱۰
- شکل ۷-۱۴: یک نمونه نیروی سنگ‌زنی اندازه گیری شده در سه جهت ۱۱۱
- شکل ۷-۱۵: سیگنال اختلال تجهیزات الکتریکی در اندازه گیری نیرو و فرکانس آن ۱۱۲
- شکل ۷-۱۶: سیگنال اختلال هیدرولیک در اندازه گیری نیرو و فرکانس آن ۱۱۳
- شکل ۷-۱۷: بالانس چرخ‌سنگ به وسیله جا بجا کردن مهره‌های تنظیم ۱۱۳
- شکل ۷-۱۸: مجموع اثر سیگنال‌های اختلال بر نیروی اندازه گیری شده و فرکانس آن‌ها ۱۱۴
- شکل ۷-۱۹: طیف فرکانسی نیروی عمود بر چرخ‌سنگ مجموعه آزمایش اول ۱۱۵
- شکل ۷-۲۰: طیف فرکانسی نیروی عمود بر چرخ‌سنگ مجموعه آزمایش دوم ۱۱۵
- شکل ۷-۲۱: طیف فرکانسی نیروی عمود بر چرخ‌سنگ مجموعه آزمایش سوم ۱۱۶
- شکل ۷-۲۲: نمودار نیرو-زمان در مجموعه آزمایش تکرار اول برای نیروی عمود بر چرخ‌سنگ ۱۱۷
- شکل ۷-۲۳: نمودار نیرو-زمان در مجموعه آزمایش تکرار دوم برای نیروی عمود بر چرخ‌سنگ ۱۱۸
- شکل ۷-۲۴: نمودار نیرو-زمان در مجموعه آزمایش تکرار سوم برای نیروی عمود بر چرخ‌سنگ ۱۱۹
- شکل ۷-۲۵: نحوه انتخاب نیرو برای تحلیل غیر خطی ۱۲۰
- شکل ۷-۲۶: مقدار بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف برای سه مجموعه آزمایش ۱۲۲
- شکل ۷-۲۷: میانگین مقدار بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف در آزمایش‌های مختلف ۱۲۲
- شکل ۷-۲۸: نمودار مقادیر میانگین سیگنال به نوبت برای بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف ۱۳۰
- شکل ۷-۲۹: نمودار مقادیر میانگین سیگنال به نوبت برای زبری سطح در راستای عمود بر سنگ‌زنی ۱۳۱
- شکل ۷-۳۰: تغییرات بعد فرکتال پروفیل سطح در راستای سنگ‌زنی و در جهت عمود بر راستای سنگ‌زنی ۱۳۳

- شکل ۷-۳۱: مقایسه بعد فرکتال و زبری سطح در راستای عمود بر سنگ زنی ۱۳۳
- شکل ۷-۳۲: نمودار مقادیر میانگین سیگنال به نویز برای بعد فرکتال پروفیل سطح عمود بر راستای سنگ زنی
..... ۱۳۴
- شکل ۷-۳۳: مقادیر میانگین سیگنال به نویز برای نرخ برداشت ماده و زبری سطح در راستای سنگ زنی. ۱۳۸
- شکل ۷-۳۴: نمودار مقادیر میانگین سیگنال به نویز برای نرخ برداشت ماده و بزرگترین نمای لیپانوف ... ۱۳۹
- شکل ۷-۳۵: نمودار مقادیر میانگین سیگنال به نویز برای نرخ برداشت ماده و زبری سطح عمود بر راستای
سنگ زنی ۱۴۱
- شکل ۷-۳۶: نمودار مقادیر میانگین سیگنال به نویز برای نرخ برداشت ماده و بعد فرکتال عمود بر سنگ زنی
..... ۱۴۲

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲: انواع ذرات ساینده و سختی آن ها بر حسب معیار سختی نوپ [۳] ۱۸
- جدول ۱-۵: رفتار تابع لجستیک به ازای مقادیر مختلف ۵۱
- جدول ۱-۶: مشخصات نامی دستگاه سنگ تخت $A_{320} BPH$ ۷۴
- جدول ۲-۶: مشخصات چرخ سنگ استفاده شده در آزمایش سنگ زنی ۷۵
- جدول ۳-۶: درصد عناصر آلیاژی در فولاد ۴۱۴۰ ۷۵
- جدول ۴-۶: خواص مکانیکی فولاد ۴۱۴۰ ۷۶
- جدول ۵-۶: مشخصات دینامومتر [۳۹] ۹۲۵۵ ۷۹
- جدول ۶-۶: مشخصات زبری سنج [۴۲] ۸۴
- جدول ۷-۶: یک مثال با ۴ ترکیب آزمایش ۸۷
- جدول ۸-۶: یک نمونه مثالی از ماتریس طرح ۸۸
- جدول ۹-۶: نمونه جدول انجام آزمایش تاگوچی L_{16} ۹۳
- جدول ۱-۷: پارامترهای سنگ زنی و مقادیر سطوح آن ها ۹۹
- جدول ۲-۷: آزمایش های تاگوچی انجام شده ۱۰۰
- جدول ۳-۷: صافی سطح قابل دستیابی در فرآیندهای تولید مختلف ۱۰۵
- جدول ۴-۷: خلاصه نتایج تحلیل پروفیل سطح در راستای سنگ زنی ۱۰۹
- جدول ۵-۷: خلاصه تحلیل نتایج پروفیل سطح در راستای عمود بر سنگ زنی ۱۰۹
- جدول ۶-۷: مقدار نمای لیپانوف در آزمایش های مختلف ۱۲۱
- جدول ۷-۷: مقادیر میانگین سیگنال به نویز برای زبری سطح در راستای سنگ زنی ۱۲۴
- جدول ۸-۷: جدول آنالیز واریانس برای زبری سطح در راستای سنگ زنی ۱۲۶
- جدول ۹-۷: مقادیر F برای مقادیر مختلف درجه آزادی و درجه آزادی خطا برای بازه اطمینان ۹۵ درصد ۱۲۷
- جدول ۱۰-۷: جدول پیش بینی و بازه اطمینان برای زبری سطح در راستای سنگ زنی ۱۲۹
- جدول ۱۱-۷: جدول آنالیز واریانس برای بزرگترین نمای لیپانوف ۱۳۰

- جدول ۷-۱۲: جدول پیش بینی و بازه اطمینان برای بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف ۱۳۱
- جدول ۷-۱۳: جدول آنالیز واریانس برای زبری سطح در راستای عمود بر سنگ‌زنی ۱۳۲
- جدول ۷-۱۴: جدول پیش بینی و بازه اطمینان برای زبری سطح عمود بر راستای سنگ زنی ۱۳۲
- جدول ۷-۱۵: جدول آنالیز واریانس برای بعد فرکتال عمود بر راستای سنگ‌زنی ۱۳۴
- جدول ۷-۱۶: جدول پیش بینی و بازه اطمینان بعد فرکتال عمود بر راستای سنگ زنی ۱۳۵
- جدول ۷-۱۷: جدول مقادیر تابع زیان برای هر کدام از خروجی‌ها ۱۳۶
- جدول ۷-۱۸: جدول مقادیر تابع زیان نرمال شده برای هر کدام از خروجی‌ها ۱۳۷
- جدول ۷-۱۹: جدول مقادیر وزن دهی شده برای نرخ برداشت ماده و سایر خروجی‌ها ۱۳۷
- جدول ۷-۲۰: جدول آنالیز واریانس برای نرخ برداشت ماده و زبری سطح در راستای سنگ زنی ۱۳۸
- جدول ۷-۲۱: جدول پیش بینی و بازه اطمینان برای نرخ برداشت ماده و زبری سطح در راستای سنگ زنی ۱۳۹
- جدول ۷-۲۲: جدول آنالیز واریانس برای نرخ برداشت ماده و بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف ۱۴۰
- جدول ۷-۲۳: جدول پیش بینی و بازه اطمینان برای نرخ برداشت ماده و بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف ۱۴۰
- جدول ۷-۲۴: جدول آنالیز واریانس برای نرخ برداشت ماده و زبری سطح عمود بر راستای سنگ زنی ۱۴۱
- جدول ۷-۲۵: جدول پیش بینی و بازه اطمینان برای نرخ برداشت ماده و زبری سطح عمود بر راستای سنگ زنی ۱۴۱
- جدول ۷-۲۶: جدول آنالیز واریانس برای نرخ برداشت ماده و بعد فرکتال عمود بر سنگ‌زنی ۱۴۲
- جدول ۷-۲۷: جدول پیش بینی و بازه اطمینان برای نرخ برداشت ماده و بعد فرکتال عمود بر سنگ‌زنی ۱۴۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱ اهمیت موضوع

۲-۱ مرور مقالات و مراجع

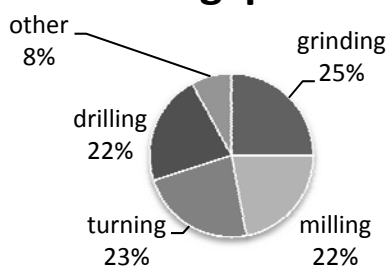
۳-۱ طرح مسئله

فصل ۱: مقدمه

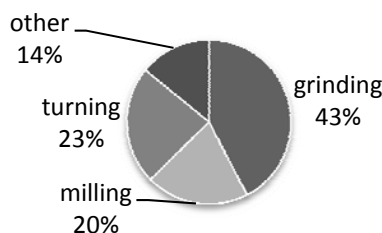
۱-۱- اهمیت موضوع

رسیدن به نرخ تولید بالاتر و تولید قطعات با دقت ابعادی و کیفیت سطح بالا از هدف‌های اصلی همه فرآیندهای تولید است. ماشینکاری بخش اصلی فرآیند های برداشت ماده است که روش‌هایی مانند تراشکاری، فرزکاری، سنگزنی و ... را در بر می‌گیرد. سنگزنی به عنوان اصلی‌ترین فرآیند پرداخت کاری جایگاه ویژه‌ای در رسیدن به این هدف دارد. اگرچه گاهی گفته می‌شود ممکن است به خاطر مسائل زیست محیطی و اقتصادی، جایگاه سنگزنی در میان فرآیند های تولید تضعیف شود، اما همچنان سنگزنی به عنوان پرکاربردترین فرآیند ماشینکاری شناخته می‌شود. بیش از ۴۲ درصد کل ماشین‌های ابزار در ایالات متحده از خانواده ماشین‌های سنگزنی هستند. به همین صورت حداقل ۲۵ درصد کل فرآیند های ماشین کاری در ایالات متحده به سنگزنی اختصاص دارند [۱]. شکل ۱-۱ گستردگی کاربرد انواع ماشین‌های ابزار و فرآیندهای ماشینکاری را نشان می‌دهد. با پیشرفت تکنولوژی ماشین‌های سنگزنی، بهره اقتصادی این ماشین‌ها به طرز قابل توجهی بهبود یافته است و نرخ تولید و حجم برداشت ماده در این ماشین‌ها به سرعت به فرآیندهایی چون تراشکاری و فرزکاری نزدیک شده است. از سویی با تدوین استانداردهای زیست محیطی، نگرانی‌ها نسبت به اثرات سوء فرآیندهای سایشی نیز کاهش یافته است [۲]. این روند لزوم تحقیقات گسترده‌تر پیرامون این موضوع را نشان می‌دهد.

spreading of machining processes



type of machines for machining processes

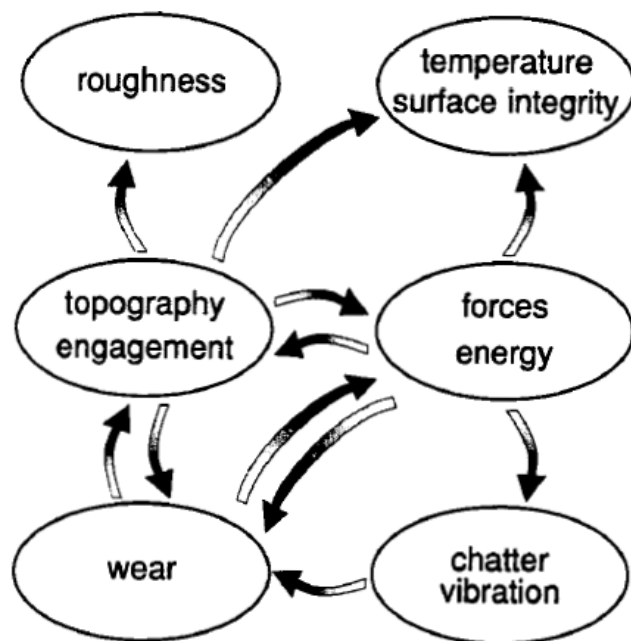


شکل ۱-۱: گستردگی فرآیندهای ماشینکاری و نسبت ماشین‌های ابزار در ایالات متحده [۱].

۲-۱- مرور مقالات و مراجع

سنگ‌زنی از جمله فرآیندهایی است که مهارت اپراتور در آن اهمیت به‌سزایی دارد. به همین دلیل جنبه عملی سنگ‌زنی بسیار سریع‌تر از جنبه تئوری این روش تولید گسترش یافته است. به این معنا که در حالی که مطالعات علمی پیرامون سنگ‌زنی تاریخچه‌ای کمتر از ۴۰ سال دارند، کاربرد این روش برای پرداخت سطوح به بیش از یک قرن پیش باز می‌گردد. به همین نسبت نیز متون کاربردی مرتبط با سنگ‌زنی که عمدتاً به روش کار با دستگاه‌های سنگ‌زنی و نحوه نگهداری این تجهیزات می‌پردازند حجم عمده منابع علمی مربوط به سنگ‌زنی را به خود اختصاص داده‌اند.

هدف هرگونه پژوهشی رسیدن به درک بهتر از موضوع و ارتقاء عملکرد آن است. مطالعه فرآیند سنگ‌زنی نیز در هر کدام از زمینه‌های آن سعی در بدست آوردن درک بهتر از این فرآیند برای بهبود عملکرد آن دارد. سنگ‌زنی از زوایای متفاوتی مورد بررسی قرار گرفته است که حداقل شش زمینه کلی در مطالعه آن وجود دارد. زبری سطح، دما، نیرو، توپوگرافی چرخ‌سنگ، ارتعاشات چتر و سایش شش زمینه کلی در مطالعه فرآیند سنگ‌زنی هستند. شکل ۲-۱ این شش زمینه و ارتباط میان آن‌ها را نشان می‌دهد که در هر کدام از زمینه‌های فوق مطالعات گسترده‌ای انجام شده است [۳].



شکل ۲-۱: زمینه‌های کلی مطالعه سنگ‌زنی و ارتباط میان آن‌ها [۳].

تحلیل حرارتی سنگ‌زنی علی‌رغم گستردگی و پیچیدگی آن به دلیل تلاش‌های *Malkin* [۴] پیشرفت زیادی کرده است. *Malkin* و همکاران مدل حرارتی جامعی از سنگ‌زنی ارائه کرده‌اند که تحلیل وسیعی از مسائل حرارت در سنگ‌زنی انجام داده است. این تحلیل حرارتی کامل به صورت یک کتاب نیز نشر یافته است [۵].

Zhang و همکاران [۶] در طی یک سری مقالات هشت‌گانه تحت عنوان مکانیک کاربردی در سنگ‌زنی جنبه‌های مختلف سنگ‌زنی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مقالات با استفاده از تحلیل حرارتی ارائه شده توسط مدل *Malkin*، تنش پسماند و ساختار متالورژیکی قطعه کار در سنگ‌زنی تحلیل شده است. همچنین اثرات استفاده از مایع خنک کاری نیز بر ساختار قطعه کار مطالعه شده است.

Shin و *Li* [۷] بر روی مدل نیرویی سنگ‌زنی، با استفاده از روش‌های مدل‌سازی فرآیند‌های برش فلزات، تحقیق گسترده‌ای را انجام داده‌اند. این پژوهش‌ها روش‌هایی مختلف سنگ‌زنی مانند سنگ‌زنی تخت، سنگ‌زنی استوانه‌ای و سنگ‌زنی سنترلس را شامل می‌شود. مدل تحلیل نیرویی دیگر سنگ‌زنی را *Hecker* و همکاران [۸] با استفاده از تحلیل ضخامت براده ارائه کرده‌اند. با تقسیم فرایند برداشت ماده در سنگ‌زنی به سه بخش تغییر شکل الاستیک، شخم و برداشت ماده *Durgumahant* و همکاران [۹] مدل نیرویی از سنگ‌زنی ارائه کردند. از روش‌های آماری نیز برای تحلیل نیرویی سنگ‌زنی استفاده فراوانی شده است. مدل نیرویی *Wang* و *Chang* [۱۰] با در نظر گرفتن توزیع اتفاقی ذرات ساینده مدل نیرویی از سنگ‌زنی ارائه کرده است.

Inasaki و همکاران [۱۱] تحقیق گسترده‌ای بر ارتعاشات خود برانگیخته و چتر در سنگ‌زنی انجام داده‌اند. در این مطالعات شرح کاملی از انواع چتر در سنگ‌زنی و نحوه دفع هرکدام آمده است. همچنین به امکان وقوع هرکدام از انواع چتر در روش‌های مختلف سنگ‌زنی پرداخته شده است.

سایش و توپوگرافی چرخ‌سنگ نیز از جنبه‌های مهم تحقیق در سنگ‌زنی هستند. *Rowe* و همکاران [۱۲] مطالعات گسترده‌ای را درباره سایش در سنگ‌زنی انجام داده‌اند. در این تحقیقی ثابتی برای سایش چرخ‌سنگ معرفی شده که در مدل‌سازی سنگ‌زنی اهمیت به‌سزایی دارد. همچنین *Chen* و همکاران [۱۳] مدلی برای پیش‌بینی سایش در سنگ‌زنی ایجاد کرده‌اند. تحلیل توپوگرافی چرخ‌سنگ نیاز به تجهیزات تصویربرداری و حسگرهای خاص دارد. در اکثر مقالات سعی شده است توپوگرافی سطح به صورت آماری