

بسم الله الرحمن الرحيم

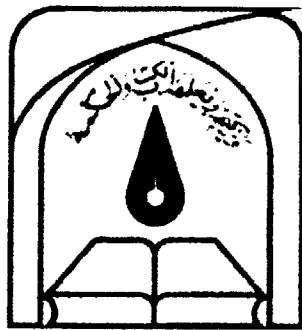
۱۱۵۸

۲۰۵ فرزند

رزق



۱۳۸۰ / ۲ / ۳۰



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

تحلیل تنش و تخمین عمر باقیمانده دنده رینگ آسیاب گلوله ای صنعتی

012946

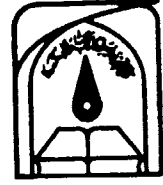
آرش رزمجو

استاد راهنما:

دکتر مجید میرزائی

تابستان ۱۳۷۹

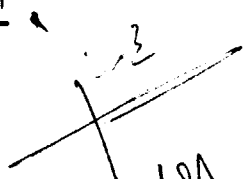



۳۹،۹۷



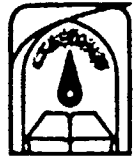
دانشگاه تربیت مدرس

## تاییدیه هیات داوران

آقای آرش رزمجو پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان تحلیل تنش و تخمین عمر باقیمانده دنده رینگی آسیاب گلوله‌ای صنعتی در تاریخ ۷۹/۶/۳۰ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک باگرایش طراحی کاربردی پیشنهاد می‌کنند. ۶۲۸.ب

| <u>امضاء</u>  | <u>نام و نام خانوادگی</u> | <u>اعضای هیات داوران</u> |
|---|---------------------------|--------------------------|
|   | آقای دکتر میرزائی         | ۱- استاد راهنما:         |
| —   | —                         | ۲- استاد مشاور:          |
|  | آقای دکتر مسلمی           | ۳- استادان ممتحن:        |
|  | آقای دکتر گوهری انارکی    | ۴- مدیر گروه:            |
|  | آقای دکتر قضاوی           | (یا نماینده گروه تخصصی)  |

این تاییدیه پس از تایید هیات داوران / رساله مورد تایید است  
امضاء استاد راهنما:



بسمه تعالی

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:  
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مکانیک است که در سال ۱۳۷۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر میوزاتی ، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر ..... و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر ..... از آن دفاع شده است.»

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأديه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب آرش رزمجو دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: آرش رزمجو

تاریخ و امضا:

تقدیم به :

مادر و پدر عزیزم

در انجام این پایان نامه از راهنمایی های بسیار ارزنده  
استاد ارجمند جناب آقای دکتر میرزائی بهره مند  
بوده ام . لذا بر خود واجب می دانم که از زحمات ایشان و  
هم چنین به خاطر فراهم نمودن امکانات لازم برای انجام  
این تحقیق کمال تقدیر و تشکر را بنمایم .

## چکیده

دنده رینگی آسیابهای گلوله ای بیش از ۱۲ متر قطر و در حدود ۹۰ تن وزن دارند و هزینه ساخت آنها بالغ بر ۵۰۰ هزار دلار می باشد. معمولاً این چرخ دنده ها به قسمی طراحی می گردند که دارای بیش از ۲۰ سال عمر خستگی باشند، در این تحقیق به بررسی یک دنده رینگی پرداخته شده که در طی ۲ سال اولیه کارکرد شاهد جوانه زنی تعداد زیادی ترک در نواحی مابین تقویت کننده های مثلثی و فلنج چرخ دنده بوده که پس از ایجاد به سمت سوراخهای سبک کاری پیشروی و رشد نموده اند.

از آنجا که وجود بسیاری ترکهای مشابه در مناطق ذکر شده از دنده رینگی می توانست نشانه ای از وجود نقص در طراحی آن باشد، نیاز به بررسی رفتار نیرویی و تنش آسیاب احساس گردید، بنابراین تحلیل تنش آسیاب با توجه خاصی به دنده رینگی آن صورت گرفت.

مدل سه بعدی المان محدود آسیاب و تحلیلهای مورد نظر به کمک نرم افزار Lusas انجام شدند. نیروهایی که به مدل اعمال گردیدند شامل: وزن گلوله ها و سازه آسیاب، بار دینامیکی ناشی از حرکت گلوله ها، نیروی جانب مرکز در اثر دوران قسمتی از گلوله ها و نیروی محرک وارده از طرف پینیون می باشند.

نتایج تحلیل تنش با توجه به مشخصات مختلف ترکهای موجود مورد تأیید قرار گرفتند. نکته جالب توجه این که نیروی وزن و نیروی دینامیکی ناشی از حرکت گلوله های داخل آسیاب مهمترین عامل در ایجاد تنشهای مؤثر در چرخ دنده بوده اند و در این میان سهم نیروی محرک پینیون تنها ۲۰ درصد از کل نیروها بوده است.

در انتها با مدل نمودن ترکهای نیمه بیضوی و رشد دادن آنها در حوزه تنشهای متغیر، نیروی پیش ران ترک محاسبه گشته و با استفاده از نرخ رشد ترک محاسبه شده، عمر باقی مانده چرخ دنده تخمین زده شد.

واژه های کلیدی: آسیاب گلوله ای صنعتی، المان محدود، آنالیز تنش، آنالیز خرابی،

رشد ترک خستگی، مکانیک شکست

## فهرست

- ۱- مقدمه ۱
- ۲- آسیابهای گلوله ای ۶
- ۱-۲- معرفی آسیابهای گلوله ای ۷
- ۱-۱-۲- دسته بندی آسیابهای گلوله ای ۹
- ۲-۲- اجزاء آسیاب گلوله ای ۱۱
- ۳-۲- نیروهای وارد بر آسیاب گلوله ای ۱۲
- ۴-۲- تئوری عملیات آسیابهای گلوله ای ۱۴
- ۵-۲- مبانی طراحی آسیابهای گلوله ای ۱۹
- ۳- مروری بر مفاهیم مربوط به رشد ترک خستگی در مکانیک شکست ۲۳
- ۱-۳- مقدمه ای بر مکانیک شکست ۲۴
- ۲-۳- چرا قطعات دچار واماندگی می شوند؟ ۲۴
- ۳-۳- مروری بر مکانیک شکست و پارامترهای ترک ۲۶
- ۴-۳- جوانه زنی و رشد ترک خستگی ۳۰
- ۵-۳- مراحل اصلی پروسه خستگی ۳۱
- ۱-۵-۳- جوانه زنی و ایجاد ترک خستگی ۳۱
- ۲-۵-۳- رشد ترک خستگی ۳۲
- ۶-۳- محاسبه عمر خستگی ۳۳
- ۱-۶-۳- طراحی بر اساس عدم وجود ترک ۳۳



|    |  |
|----|--|
| ۳۴ | ۲-۶-۳- تخمین عمر بر اساس تحمل وجود ترک   |
| ۳۷ | ۷-۳- بررسی یک دنده رینگی ترک خورده       |
| ۳۹ | ۴- مدل سازی آسیاب گلوله ای توسط Lusar    |
| ۴۰ | ۴-۱- مقدمه                               |
| ۴۴ | ۴-۲- مروری بر مدل سازی نرم افزار Lusar   |
| ۴۷ | ۴-۳- مدل سازی آسیاب گلوله ای             |
| ۴۷ | ۴-۳-۱- مدل هندسی آسیاب                   |
| ۵۳ | ۴-۳-۲- المان بندی آسیاب                  |
| ۵۶ | ۴-۳-۳- اعمال خواص مواد                   |
| ۵۶ | ۴-۳-۴- اعمال شرایط تکیه گاهی             |
| ۵۸ | ۴-۳-۵- محاسبه و اعمال بارگذاریها         |
| ۵۸ | ۴-۳-۵-۱- نیروی وزن سازه آسیاب            |
| ۵۸ | ۴-۳-۵-۲- نیروی جانب مرکز سازه آسیاب      |
| ۵۹ | ۴-۳-۵-۳- نیروی وزن گلوله ها و مواد معدنی |
| ۶۰ | ۴-۳-۵-۴- نیروی جانب مرکز گلوله ها و مواد |
| ۶۱ | ۴-۳-۵-۵- نیروی چرخ دنده                  |
| ۶۳ | ۴-۳-۵-۶- نیروی ناشی از حرکت              |
|    | آبشاری گلوله ها                          |
| ۶۵ | ۵- آنالیز مدل و استخراج نتایج            |
| ۶۶ | ۵-۱- بررسی نتایج آنالیز تنش              |

|     |  |
|-----|--|
| ۷۸  | ۲-۵- مقدمه 'ی بر تخمین عمر دنده رینگی آسیاب                          |
| ۸۱  | ۱-۲-۵- تخمین عمر باقیمانده آسیاب                                     |
| ۸۶  | ۳-۵- بررسی اثر دستکهای تقویت کننده در کاهش تنشهای رینگ               |
| ۸۷  | ۱-۳-۵- مدل سازی دستکهای نصب شده بر روی رینگ آسیاب                    |
| ۸۸  | ۲-۳-۵- بررسی نتایج تحلیل رینگ و دستکهای تقویت کننده<br>نصب شده بر آن |
| ۹۱  | ۶- بحث و نتیجه گیری  |
| ۹۹  | مراجع  |
| ۱۰۲ | واژه نامه فارسی - انگلیسی  |

فصل اول

مقدمه

آسیاب گلوله ای صنعتی دستگاهی است که جهت خرد کردن سنگهای معدنی مورد استفاده قرار میگیرد. اساس کار این نوع آسیاب بر ضربه مواد و گلوله ها و نیز غلتیدن آنها بر یکدیگر استوار است. بدین صورت که در اثر دوران مخزن استوانه ای آسیاب حول محور افقی، مواد و گلوله ها تا ارتفاعی بالا رفته و سپس سقوط مینمایند و در اثر ضربه ناشی از سقوط بخش زیادی از مواد خرد میشوند. مقدار دیگری از آنها نیز در اثر حرکت غلتشی خرد میشوند.

در صنایع تولید سیمان و استخراج فلزات، افزایش کمی و کیفی محصولات همواره مد نظر بوده بدین علت طراحی و تولید آسیابهای گلوله ای از حدود نیم قرن پیش آغاز گردید و از آن تاریخ تا کنون سیر تکاملی در افزایش بازده و بهینه سازی آن ادامه دارد.

یکی از عواملی که موجب تکامل آسیابها میگردد نیاز به افزایش حجم مواد خروجی باکیفیت مطلوب میباشد که این مستلزم بزرگتر شدن ابعاد آسیاب، افزایش سرعت دورانی، استفاده بیشتر از مواد شیمیایی میباشد. با این وجود، تمامی این افزایشها مخرب نیز میباشد. زیرا که در اجزای آسیاب، سبب ایجاد پدیده های شدید خستگی و خوردگی میگردد که سرانجام موجب واماندگی خواهند شد. این واماندگی میتواند بصورت تغییر شکل و یا شکست باشد.

واماندگی اجزاء و قطعات ماشین آلات تحت تاثیر بارهای متناوب را خستگی مینامند این پدیده شامل جوانه زنی، رشد ترک و شکست نهایی قطعه میباشد، بنابراین قطعاتی که تحت تاثیر این نوع بارگذاری واقع میشوند باید طوری طراحی شده باشند که بتوان صحت و عدم واماندگی خستگی آنها را برای مدت معینی تضمین نمود. در صورتیکه قطعه بسیار زودتر از مدت پیش بینی شده دچار واماندگی شود میتوان نتیجه گرفت خطایی صورت گرفته که میتواند در مراحل طراحی، ساخت یا طرز استفاده از دستگاه بوجود آمده باشد.

واماندگی اجزای آسیاب موجب آسیب های فراوان شده و سرانجام به واماندگی کل آسیاب می انجامد و این امر خسارات مالی فراوانی بدنبال خواهد داشت .

یکی از اجزاء آسیاب که به شدت تحت تأثیر پدیده های بیان شده قرار دارد دنده رینگ آسیاب میباشد ، بنابراین پیش بینی و تخمین عمر آن از اهمیت زیادی برخوردار است .

بروز پدیده خستگی در دنده رینگ شامل جوانه زنی و رشد ترک میباشد ، پیش بینی محل و زمان جوانه زنی مستلزم وجود اطلاعات کافی از میزان و توزیع حوزه های تنشی میباشد همچنین پیش بینی رشد ترک مستلزم دانستن پارامتر های آن است . برای محاسبه پارامتر های ترک ، مشخص کردن حوزه های تنش ، کرنش و تغییر مکان در نقاط اطراف ترک الزامی است .

بطور کلی تحلیل تنشی با استفاده از روشهای مختلفی صورت میگیرد که هر کدام معایب و مزایای مختص خودشان را دارا میباشند . در مجموع این روشها عبارتند از :

۱) روشهای تجربی      ۲) روشهای تحلیلی      ۳) روشهای عددی

در عمل روشهای تجربی دقیقترین و قابل اعتمادترین روشها میباشند ولی اجرای آنها اغلب مستلزم صرف هزینه و دسترسی به تجهیزات خاص میباشد .

روشهای تحلیلی در عمل کاربرد بسیار محدودی دارند زیرا در استفاده از آنها فرضیات ساده کننده زیادی بکار برده میشود و عمدتاً برای هندسه های ساده استفاده میشوند . استفاده از این روشها در مورد قطعات پیچیده احتیاج به ساده سازی هندسه و بارگذاری دارد که اغلب بر دقت نتایج تأثیرات زیادی میگذارند .

روشهای عددی علاوه بر هزینه پایین تر ، از دقت خوبی نیز برخوردار هستند و تنها محدودیت استفاده از آنها محدودیت حافظه و سرعت کامپیوترهاست که با رفع این مشکل در سالهای اخیر و تولید نرم افزارهای قوی و مناسب ، استفاده از آنها روز به روز گسترش می یابد .

از میان روشهای عددی ، روش اجزاء محدود پیشرفت چشمگیری داشته ، بطوریکه امروزه در علوم مهندسی علوم پزشکی و علوم پایه بکار گرفته میشود . این روش از دهه شصت میلادی در حل مسائل مربوط به مکانیک شکست نیز بکار گرفته شد . بسیاری از نرم افزارهایی که در حال حاضر مورد استفاده قرار میگیرند در ابتدا فقط بر روی کامپیوترهای خاص قادر به اجرا بودند ولی با پیشرفت کامپیوترهای خانگی این مشکل نیز تا حدود زیادی برطرف گردیده است .

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Lusas تحلیل تنش سه بعدی آسیاب گلوله ای با هدف دستیابی به توزیع تنش در دنده رینگی انجام شده است . با استفاده از نتایج تحلیل تنش در دنده رینگی یک آسیاب نمونه ، محل جوانه زنی و جهت و مسیر رشد ترکها پیش بینی شده اند و پس از تخمین عمر چرخ دنده های ترک خورده بر اساس معیار تحمل خرابی ، تحلیل و بررسی عملکرد نوعی دستک تقویت کننده جهت کاهش تنشها در نقاط حساس رینگ از جمله مهمترین اهدافی است که در انجام این پروژه مد نظر بوده است و در این راستا این پایان نامه به شرح زیر تدوین گردیده است ؛

در فصل دوم ، آسیابهای گلوله ای و انواع آنها ، اجزاء مختلف یک آسیاب مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه نحوه توزیع گلوله ها و مناطق ایجاد شده در داخل مخزن آسیاب نمونه ای با توجه به سرعت دورانی و حجم گلوله و سنگهای معدنی مطالعه شده و در انتها نیروهای وارد شده به آسیاب معرفی شده اند .

در فصل سوم با توجه به اهمیت پدیده خستگی ، مروری بر مفاهیم مربوط به جوانه زنی و رشد ترک خستگی در مکانیک شکست انجام گرفته است .

در فصل چهارم به معرفی نرم افزار المان محدود Lusas پرداخته و مدلی از آسیاب نمونه ای توسط نرم افزار AutoCad ایجاد شده است و سپس مدل المان محدود آن توسط نرم افزار Lusas مورد تحلیل قرار گرفته است .

در فصل پنجم به بررسی و تحلیل نتایج حاصل از آنالیز تنش پدیده شده و بر اساس آنها تخمین عمر باقیمانده انجام گرفته است .

در فصل ششم به بحث پیرامون نتایج حاصله پرداخته و در انتها پیشنهادهایی جهت افزایش طول عمر و پیش گیری از بروز برخی واماندها ارائه گردیده است .