۱۳۷۱۹۱

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه تحصیلی جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مکانیک- طراحی کاربردی

بررسی تاثیر ارتعاشی عیوب کوپلینگ و بیرینگ سیستم انتقال قدرت آسیا در معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان

استاد راهنما :
دکتر مجید فولادی ماهانی

مولف :
مهدی آخوندی زاده کرانی

مشاور صنعتی:
مهندس فرشید زمانی

۱۳۸۹/۳/۱۱

خرداد ماه ۱۳۸۸

۱۳۷۱۹۱

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مکانیک

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : مهدی آخوندی زاده کرانی

استاد راهنما : آقای دکتر مجید فولادی

داور ۱ : آقای دکتر محمد علی حاج عباسی

داور ۲ : آقای دکتر محمد رضا ماهری

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: آقای دکتر حجت الله رنجبر

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه است

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به

پدر و مادرم که تکیه‌گاه دائم در سختی‌هایم بوده و هیچ زمان دست
از حمایتم در راه تحصیل علم بر نداشتند.

برادرم اسماعیل که بعد از خداوند، بزرگترین سهم را در موفقیتم
داشته و بدون حمایت و تشویق‌های او، بی‌شک در اوایل راه
کسب دانش، به پایان آن می‌رسیدم.

برادران و تنها خواهرم، که حضور مهربان و سرشار از محبت بی‌منت
آنها را همواره حس کرده و با فراغ بال به آنها تکیه داشتم.

و با تشکر فراوان از

استاد ارجمند و گرامی، جناب آقای دکتر مجید فولادی که با راهنمایی‌های
دلسوزانه، مستمر و مفید خود، یاریگر همیشگی‌ام در راه کسب دانش بوده‌اند.

اساتید محترم بخش مکانیک، بویژه اساتید گروه جامدات،
آقایان دکتر حاج عباسی، دکتر برادران و دکتر سعیدی که همواره
راهنما و الگوی پیشرفتم بوده‌اند.

آقایان مهندس زمانی، مهندس کافی، و مهندس میرشاهی و سایر پرسنل
معدن گل گهر که شرایط انجام هرچه بهتر این تحقیق را برآورده کردند.

و دوستانی که در موفقیتم سهیم بوده و نام آنها در این مختصر نمی‌گنجد...

چکیده

در پروژه حاضر، عیوب سیستم انتقال قدرت آسیا نیمه خودشکن، در معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، ابتدا تعریفی از عیوب مکانیکی ارئه می‌شود، سپس پاره‌ای از عیوب سیستم انتقال قدرت آسیا معرفی و روشی برای تشخیص عیوب، در صورت بروز در اجزاء این سیستم، معرفی می‌شود. از میان روش‌های عیب یابی رایج، غالبا روش آنالیز ارتعاشات برای عیب‌یابی سیستم‌های دوار مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه سیستم انتقال قدرت مورد نظر، سیستم دورانی با دور و توان بالا می‌باشد، روش آنالیز ارتعاشات برای تشخیص عیوب پیشنهاد می‌شود و از میان اجزاء متعدد سیستم انتقل قدرت مزبور، بیرینگ‌ها و کوپلینگ بین موتور و گیربکس مورد بررسی قرار می‌گیرند و اثرات عیوب آنها بر ارتعاشات سیستم انتقال قدرت، بررسی می‌شود. با توجه به تحقیقات دیگران بر روی سیستم‌های مشابه، روش آنالیز طیف فرکانسی ارتعاشات برای عیب‌یابی اعضاء سیستم موردنظر پیشنهاد می‌شود. به این منظور، فرکانس‌های مشخصه بیرینگ‌های سیستم استخراج می‌شوند. کوپلینگ اول مجموعه، که واسط انتقال قدرت بین موتور و گیربکس است، بصورت سه روتور متصل، مدل می‌شود. عیوبی که احتمال بروز آنها برای کوپلینگ مورد نظر وجود دارد و یا توسط شرکت سازنده معرفی شده‌اند شناسایی می‌شوند. نامیزانی زاویه‌ای، نامیزانی محوری و خمش استاتیکی محور، همراه با نابالانسی روتور میانی، عیوبی هستند که مورد مطالعه قرار می‌گیرند. اثرات این عیوب در یک مدل هندسی اعمال می‌شوند و معادلات حرکت با روش لاگرانژ استخراج می‌گردند. با حل معادلات حرکت، موقعیت روتورها در سه جهت افقی، عمودی و محوری بصورت توابع هارمونیک از زمان بدست می‌آیند. در این حالت، دامنه حرکت روتورها تابعی از سرعت دورانی و مشخصات فیزیکی روتورها است. مشخصات فیزیکی سیستم واقعی، در معادلات منظور شده و نمودارهای تغییرات دامنه بی‌بعد نسبت به سرعت دورانی بی‌بعد ترسیم می‌شوند. نمودارهای حاصل، با نشان دادن رفتار ارتعاشی سیستم در برابر بروز عیوب می‌تواند به تشخص عملی عیوب، با ثبت طیف‌های فرکانسی ارتعاشات به کمک ابزارهای مناسب، کمک کند. در فصل چهارم، مقادیر سرعت ارتعاشات ثبت شده از بیرینگ های

سیستم توسط مولف در یک دوره زمانی، آورده شده و نتایج و پیشنهادات این اندازه گیری سرعت نیز بیان شده است. این پیشنهادات جهت بررسی به مسئولین تعمیرات کارخانه ارائه شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف عیب ۳

۱-۳- اهمیت عیب‌یابی ۴

۱-۴- هدف از تحقیق ۴

۱-۵- معرفی ارتعاشات ۵

۱-۶- تاریخچه عیب‌یابی با روش آنالیز ارتعاشات ۶

۱-۷- چگونگی انجام آنالیز ارتعاشات ۷

۱-۸- معرفی سیستم انتقال قدرت آسیا ۸

۱-۹- انتخاب بیرینگ و کوپلینگ برای آنالیز دینامیکی ۹

فصل دوم: عیب یابی رولربیرینگ‌ها ۱۱

۲-۱- معرفی بیرینگ ۱۲
۲-۲- انواع بیرینگ ۱۲
۲-۳- تاریخچه عیب یابی رولر بیرینگ‌ها ۱۳
۲-۴- معرفی بیرینگ‌های سیستم انتقال قدرت آسیا ۱۵
۲-۵- عیوب رایج بیرینگ‌ها ۱۶
۲-۶- روشهای آنالیز ارتعاشات ۱۷
۲-۶-۱- روش دومین زمانی ۱۷
۲-۶-۲- روش دومین فرکانسی ۱۸
۲-۶-۳- روش دومین زمانی-فرکانسی ۲۰
۲-۷- فهرست عیوب رولربیرینگها و پاسخ فرکانسی آنها ۲۱
۲-۸- محاسبه فرکانس‌های مشخصه بیرینگ‌های سیستم ۲۲

فصل سوم: کوپلینگ ۲۳

۳-۱- معرفی کوپلینگ‌ها و کاربرد آنها ۲۴
۳-۲- انواع کوپلینگ ۲۵
۳-۲-۱- کوپلینگ‌های صلب ۲۵
۳-۲-۲- کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر ۲۶
۳-۲-۳- کوپلینگ‌های پیچ‌شده ۲۶
۳-۲-۴- کوپلینگ‌های پینی بوش‌دار ۲۷
۳-۲-۵- کوپلینگ‌های چرخ‌دنده‌ای ۲۸
۳-۲-۶- کوپلینگ انعطاف‌پذیر دیسکی ساده ۲۸
۳-۲-۷- کوپلینگ انعطاف‌پذیر غشایی ۲۹

۳-۳- معرفی کوپلینگ آسیا ۳۲
۳-۴- عیب‌های مهم کوپلینگ ۳۳
۳-۵- بررسی تاثیر عیوب بر ارتعاشات سیستم ۳۵
۳-۵-۱- تاثیر نامیزانی زاویه‌ای بر ارتعاشات ۳۵
۳-۵-۱-۱- مدل دینامیکی ۳۶
۳-۵-۱-۲- انرژی پتانسیل و جنبشی ۳۷
۳-۵-۱-۳- معادلات حرکت ۴۱
۳-۵-۱-۴- حل معادلات حرکت ۴۲
۳-۵-۱-۵- محاسبه سفتی رولر بیرینگ‌ها ۴۶
۳-۵-۱-۶- سفتی محل تماس هاب و اسپیسر کوپلینگ ۴۸
۳-۵-۱-۷- سفتی خمشی محور ۲ ..... ۵۴
۳-۵-۱-۸- جرم ۵۵
۳-۵-۱-۹- پاسخ فرکانسی ۵۶
۳-۵-۱-۱۰- تاثیر مقدار زاویه نامیزانی بر ارتعاشات ۶۴
۳-۵-۱-۱۲- تغییرات زاویه‌های تاخیر فاز ۶۷
۳-۵-۲- بررسی تاثیر نامیزانی محوری بر ارتعاشات ۷۰
۳-۵-۳- خمش استاتیکی محور ۷۷
۳-۵-۳-۱- پاسخ به خمش استاتیکی همراه با نامیزانی ۸۱
۳-۵-۳-۲- مقایسه رفتار توابع دامنه ۸۴
فهرست علائم فصل سوم ۸۷

فصل چهارم: نتایج اندازه‌گیری سرعت ارتعاشات ۹۲

مقدمه ۹۳

۴-۱- نتایج اندازه‌گیری سرعت ارتعاشات در دوره‌های زمانی مختلف ۹۳

۴-۱-۱- نمودارهای مربوط به آسیا شماره ۲- MI221 ..... ۹۳

۴-۱-۲- نمودارهای مربوط به آسیا شماره۳- MI321 ..... ۹۶

۴-۲- نمودار ارتعاشات هر بیرینگ در جهات افقی، عمودی و محوری ۹۹

۴-۲-۱- نمودارهای سرعت ارتعاشات هر بیرینگ در سه جهت برای آسیا شماره ۲ ..... ۹۹

۴-۲-۲- نمودارهای سرعت ارتعاشات هر بیرینگ در سه جهت برای آسیا شماره ۳ .... ۱۰۳

۴-۳- نمودارهای میانگین مقادیر سرعت ارتعاشات همه بیرینگ‌ها در هر مرحله از اندازه گیـری، در هر یک از جهات عمودی، افقی و محوری ۱۰۷

۴-۴- نمودارهای میانگین مقادیر سرعت ارتعاشات همه مراحل اندازه‌گیری در هر بیرینگ، در سه جهت افقی، عمودی و محوری ۱۰۸

۴-۵- مقایسه مقادیر سرعت ارتعاشات در بیرینگ‌های متناظر آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۰۹

۴-۶- مقایسه مقادیر سرعت ارتعاش با استانداردها ۱۱۹

نتیجه‌گیری ۱۲۰

فهرست مراجع ۱۲۷

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل ۱-۱ : سیستم انتقال قدرت آسیا ۹

شکل ۲-۱: بال‌بیرینگ با ابعاد مشخصه ۱۳

شکل ۲-۲: نمودارهای طیفی دامنه بر حسب فرکانس از مرجع [3] برای بیرینگ سالم و معیوب ۱۴

شکل ۲-۳: مقایسه بین طیف فرکانسی بیرینگ سالم (a) و معیوب (b) ۱۵
شکل ۲-۴: مو قعیت و نام قراردادی بیرینگ های سیستم ۱۶
شکل ۲-۵ : نمودار سه‌بعدی دامنه بر حسب فرکانس و زمان ۲۰
شکل ۳-۱-۱: وظایف عمده کوپلینگ در سیستم‌های دوار ۲۴
شکل ۳-۲-۱: کوپلینگ پیچ شده ۲۶
شکل ۳-۲-۲: کوپلینگ پینی بوش‌دار ۲۷
شکل ۳-۲-۳: کوپلینگ چرخ دنده‌ای ۲۸
شکل ۳-۲-۴: کوپلینگ انعطاف پذیر دیسکی ساده ۲۹
شکل ۳-۲-۵: کوپلینگ انعطاف‌پذیر غشایی ۳۰
شکل۳-۲-۶: انواع کوپلینگ ۳۱
شکل ۳-۳-۱: نمای کامل سیستم انتقال قدرت آسیا ۳۲
شکل ۳-۳-۲: کوپلینگ با صفحات استیل به عنوان عضو انعطاف‌پذیر ۳۳
شکل ۳-۴-۱: انواع نامیزانی ۳۵
شکل(۳-۵-۱-۱): مدل کوپلینگ دارای نامیزانی زاویه‌ای ۳۶
شکل۳-۵-۱-۲: روتور ۲ باخروج از مرکزی ε ۳۷
شکل ۳-۵-۱-۳ : مو قعیت بیرینگ های حامل کوپلینگ ۴۷

شکل ۳-۵-۱-۴: بخشی از اتصال انعطاف‌پذیر برای تحلیل در نرم‌افزار ANSYS ۴۹
شکل ۳-۵-۱-۵: بخشی از اتصال انعطاف‌پذیر برای تحلیل در نرم‌افزار ANSYS ۵۰
شکل ۳-۵-۱-۶: تغییر شکل عضو انعطاف‌پذیر در اثر اعمال بار ۵۱
شکل ۳-۵-۱-۷: تغییر شکل عضو انعطاف‌پذیر در اثر اعمال بار ۵۲
شکل ۳-۵-۱-۸: نحوه اتصال صفحات فلزی ۵۳

شکل ۳-۵-۱-۹: فنربندی معادل با صفحات انعطاف‌پذیر ۵۳

شکل ۳-۵-۱-۱۰: مقطع روتور ۲ ..... ۵۴

شکل ۳-۵-۱-۱۱: نمودار تغییرات دامنه نوسان روتور ۱ در جهت z_1 نسبت به فرکانس نسبی ۵۷

شکل ۳-۵-۱-۱۲: نمودار تغییرات دامنه نوسان روتور ۱ در جهت x_1 نسبت به فرکانس نسبی..... ۵۸

شکل ۳-۵-۱-۱۳: نمودار تغییرات دامنه نوسان روتور ۱ در جهت y_1 نسبت به فرکانس نسبی ۵۹

شکل۳-۵-۱-۱۴- نمودار تغییرات دامنه بی‌بعد انعطاف روتور۲ (r/ε) نسبت به فرکانس نسبی ۶۰

شکل ۳-۵-۱-۱۵- نمودار تغییرات دامنه بی‌بعد انتهای روتور ۲، (X_o/ε) نسبت به فرکانس نسبی ۶۰

شکل۳-۵-۱-۱۶- تغییرات دامنه بی‌بعد روتور۱ در جهت z نسبت به فرکانس نسبی، بازاء $Z_o/\varepsilon=0.05$ ۶۲

شکل ۳-۵-۱-۱۷ : نمودار سه‌بعدی دامنه ارتعاش روتور ۱ در جهت z ۶۴

شکل ۳-۵-۱-۱۸ : نمودار سه‌بعدی دامنه ارتعاش روتور ۱ در جهت x ۶۵

شکل ۳-۵-۱-۱۹: نمودار سه‌بعدی تغییرات دامنه ارتعاش روتور ۱ در جهت z بازاء $Z_o/\varepsilon=0.05$ ۶۶

شکل ۳-۵-۱-۲۰: نمودار تاخیر فاز انعطاف روتور ۲ نسبت به خروج از مرکزی ۶۷

شکل ۳-۵-۱-۲۱: نمودار تاخیر فاز ارتعاش انتهای روتور ۲ در جهت x_2 بر حسب نسبت فرکانس ۶۷

شکل ۳-۵-۱-۲۲: نمودار تاخیر فاز ارتعاش انتهای روتور ۲ در جهت y_2 بر حسب نسبت فرکانس ۶۸

شکل ۳-۵-۱-۲۳: نمودار تغییرات تاخیر فاز ارتعاش روتور ۱ در جهت z بر حسب نسبت فرکانس ۶۸

شکل ۳-۵-۱-۲۴: نمودار تغییرات تاخیر فاز ارتعاش روتور ۱ در جهت x بر حسب نسبت فرکانس ۶۹

شکل ۳-۵-۱-۲۵: تاخیر فاز ارتعاشی روتور۱ در جهت y ۶۹

شکل ۳-۵-۲-۱: مدل کوپلینگ دارای نامیزانی محوری ۷۰

شکل ۳-۵-۳-۱: موقعیت مراکز هندسی و جرم روتور ۲ در حالت بروز خم استاتیکی ۷۸

شکل ۳-۵-۳-۲: نمودار دامنه بی‌بعد انعطاف روتور ۲ بر حسب نسبت فرکانس ۸۲

شکل ۳-۵-۳-۳: نمودار دامنه بی‌بعد انتهای روتور ۲ بر حسب نسبت فرکانس ۸۲

شکل ۳-۵-۳-۴: نمودار دامنه بی‌بعد روتور ۱ در جهت z بر حسب نسبت فرکانس ۸۳

شکل ۳-۵-۳-۵: نمودار دامنه بی‌بعد روتور ۱ در جهت x بر حسب نسبت فرکانس ۸۳

شکل ۳-۵-۳-۶: نمودار دامنه بی‌بعد روتور ۱ در جهت y بر حسب نسبت فرکانس ۸۴

شکل ۳-۵-۳-۷: مقایسه دامنه حرکت روتور ۱ در جهت z در دو حالت ۸۵

شکل ۳-۵-۳-۸: مقایسه دامنه حرکت روتور ۱ در جهت x در دو حالت ۸۶

شکل ۳-۵-۳-۹: مقایسه دامنه حرکت روتور ۱ در جهت y در دو حالت ۸۶

شکل ۴-۱: سیستم انتقال قدرت آسیا ۹۳

نمودار۴- ۱: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۲ در تاریخ ۸۶/۵/۱۳ ..... ۹۴

نمودار ۴- ۲: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۲ در تاریخ ۸۶/۵/۲۷ ..... ۹۴

نمودار ۴- ۳: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۲ در تاریخ ۸۶/۶/۱۷ ..... ۹۵

نمودار ۴- ۴: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۲ در تاریخ ۸۶/۶/۴ ..... ۹۵

نمودار ۴- ۵: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۲ در تاریخ ۸۶/۶/۱۲ ..... ۹۶

نمودار ۴- ۶: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۳ در تاریخ ۸۶/۵/۱۳ ..... ۹۶

نمودار ۴- ۷: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۳ در تاریخ ۸۶/۵/۲۷ ..... ۹۷

نمودار ۴- ۸: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۳ در تاریخ ۸۶/۶/۱۲ ..... ۹۷

نمودار ۴- ۹: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۳ در تاریخ ۸۶/۶/۱۷ ..... ۹۸

نمودار ۴- ۱۰: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۳ در تاریخ ۸۶/۸/۲..... ۹۸

نمودار ۴- ۱۱: سرعت ارتعاشات در هر بیرینگ آسیا شماره ۳ در تاریخ ۸۶/۸/۵ ..... ۹۹

نمودار ۴-۱۲: سرعت ارتعاشات بیرینگ K از آسیا شماره ۲، در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۰

نمودار ۴-۱۳: سرعت ارتعاشات بیرینگ A از آسیا شماره ۲، در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۰

نمودار ۴-۱۴: سرعت ارتعاشات بیرینگ B از آسیا شماره ۲، در جهات افقی، عمودی و محوری..... ۱۰۱

نمودار ۴-۱۵: سرعت ارتعاشات بیرینگ D ازآسیا شماره ۲، در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۱

نمودار ۴-۱۶: سرعت ارتعاشات بیرینگ E از آسیا شماره ۲، در جهات افقی، عمودی و محوری..... ۱۰۲

نمودار ۴-۱۷: سرعت ارتعاشات بیرینگ F از آسیا شماره ۲، در جهات افقی، عمودی و محوری..... ۱۰۲

نمودار ۴-۱۸: سرعت ارتعاشات بیرینگ G از آسیا شماره ۲، در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۳
نمودار ۴-۱۹: سرعت ارتعاشات بیرینگ K از آسیا شماره ۳، در جهات افقی، عمودی و محوری..... ۱۰۳
نمودار ۴-۲۰: سرعت ارتعاشات بیرینگ A از آسیا شماره ۳، در جهات افقی، عمودی و محوری..... ۱۰۴
نمودار ۴-۲۱: سرعت ارتعاشات بیرینگ B از آسیا شماره ۳، در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۴
نمودار ۴-۲۲: سرعت ارتعاشات بیرینگ D از آسیا شماره ۳، در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۵
نمودار ۴-۲۳: سرعت ارتعاشات بیرینگ E از آسیا شماره ۳،در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۵
نمودار ۴-۲۴: سرعت ارتعاشات بیرینگ F از آسیا شماره ۳،در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۶
نمودار ۴-۲۵: سرعت ارتعاشات بیرینگ G از آسیا شماره ۳، در جهات افقی، عمودی و محوری ۱۰۶
نمودار ۴- ۲۶: میانگین مقادیر سرعت ارتعاشات بیرینگ‌های آسیا ۲ در هر یک از جهات عمودی، افقی و محوری، در مراحل مختلف اندازه‌گیری ۱۰۷
نمودار ۴- ۲۷: میانگین مقادیر سرعت ارتعاشات بیرینگ‌های آسیا ۳ در هر یک از جهات عمودی، افقی و محوری، در مراحل مختلف اندازه‌گیری..... ۱۰۷
نمودار ۴- ۲۸: میانگین مقادیر سرعت ارتعاشات همه مراحل اندازه‌گیری در هر بیرینگ آسیا شماره ۲، در سه جهت افقی، عمودی و محوری..... ۱۰۸
نمودار ۴- ۲۹: میانگین مقادیر سرعت ارتعاشات همه مراحل اندازه‌گیری در هر بیرینگ آسیا شماره ۳، در سه جهت افقی، عمودی و محوری ۱۰۸
نمودار ۴- ۳۰: مقایسه بین سرعت ارتعاشات عمودی بیرینگ K از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۰۹
نمودار ۴- ۳۱: مقایسه بین سرعت ارتعاشات افقی بیرینگ K از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۰۹
نمودار ۴- ۳۲: مقایسه بین سرعت ارتعاشات محوری بیرینگ K از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۰
نمودار ۴- ۳۳: مقایسه بین سرعت ارتعاشات عمودی بیرینگ A از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۰
نمودار ۴- ۳۴: مقایسه بین سرعت ارتعاشات افقی بیرینگ A از آسیاهای ۲ و ۳ .....۱۱۱
نمودار ۴- ۳۵: مقایسه بین سرعت ارتعاشات محوری بیرینگ A از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۱

نمودار ۴- ۳۶: مقایسه بین سرعت ارتعاشات عمودی بیرینگ B از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۲
نمودار ۴- ۳۷: مقایسه بین سرعت ارتعاشات افقی بیرینگ B از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۲
نمودار ۴- ۳۸: مقایسه بین سرعت ارتعاشات محوری بیرینگ B از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۳
نمودار ۴- ۳۹: مقایسه بین سرعت ارتعاشات عمودی بیرینگ D از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۳
نمودار ۴- ۴۰: مقایسه بین سرعت ارتعاشات افقی بیرینگ D از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۴
نمودار ۴- ۴۱: مقایسه بین سرعت ارتعاشات محوری بیرینگ D از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۴
نمودار ۴- ۴۲: مقایسه بین سرعت ارتعاشات عمودی بیرینگ E از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۵
نمودار ۴- ۴۳: مقایسه بین سرعت ارتعاشات افقی بیرینگ E از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۵
نمودار ۴- ۴۴: مقایسه بین سرعت ارتعاشات محوری بیرینگ E از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۶
نمودار ۴- ۴۵: مقایسه بین سرعت ارتعاشات عمودی بیرینگ F از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۶
نمودار ۴- ۴۶: مقایسه بین سرعت ارتعاشات افقی بیرینگ F از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۷
نمودار ۴- ۴۷: مقایسه بین سرعت ارتعاشات محوری بیرینگ F از آسیاهای ۲ و ۳..... ۱۱۷
نمودار ۴- ۴۸: مقایسه بین سرعت ارتعاشات عمودی بیرینگ G از آسیاهای ۲ و ۳..... ۱۱۸
نمودار ۴- ۴۹: مقایسه بین سرعت ارتعاشات افقی بیرینگ G از آسیاهای ۲ و ۳..... ۱۱۸
نمودار ۴- ۵۰: مقایسه بین سرعت ارتعاشات محوری بیرینگ G از آسیاهای ۲ و ۳ ..... ۱۱۹
شکل ۴- ۱: مقادیر نرمال، هشدار و بحرانی سرعت ارتعاشات براساس استاندارد ایزو ۲۳۷۲ ..... ۱۲۰

فهرست جداول

جدول ۲-۱: پاسخ فرکانسی عیوب بیرینگ ۲۱
جدول ۲-۲: نام تجاری و فرکانس‌های مشخصه بیرینگ‌های سیستم ۲۲
جدول۴-۱: مقادیر سرعت ارتعاشات در حالت نرمال، هشدار و غیرمجاز، براساس استاندارد VDI205 ۱۲۱

فصل اول

مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۱- مقدمه

بعد از اختراع و تولید هر وسیله، قطعات یدکی آن وارد بازار شده و نیروی انسانی ماهر جهت انجام امور تعمیرات تعلیم می‌یابد. این بدان معنی است که هیچ قطعه صنعتی دارای عمر بی‌نهایت نبوده و پس از مدتی کارکرد، دچار عیب‌های مختلف می‌شود. عیب مکانیکی، هرگونه تغییر از حالت ایده‌آل قطعات مکانیکی است بنحوی که بر کارکرد مناسب آن قطعه یا عملکرد تجهیزات مرتبط با آن تاثیر منفی داشته و یا از کیفیت محصول تولید شده بکاهد. عیوب، امکان عملکرد صحیح را از قطعه گرفته و نیاز به تعویض و در صورت امکان، تعمیر آن را موجب می‌شوند. وجود عیب در تجهیزات صنعتی اجتناب ناپذیر بوده و به آسیب دیدن قطعات محدود نمی‌شود. انحراف تجهیزات از نحوه اتصال یا مونتاژ اولیه نیز عیب آنها به شمار می‌رود. در صورت بروز و پیشرفت عیب در تجهیزات مکانیکی، گاها مسئله با یک تعویض یا تعمیر ساده حل نمی‌شود. بروز عیب در یک عضو و عدم کنترل آن می‌تواند مشکل جدی در مجموعه ایجاد کند، بطوری که برای رفع آن، نیاز به کار کارشناسی پیچیده و صرف زمان و هزینه باشد. بنابراین در یک مجموعه مکانیکی که از اجزاء مختلف تشکیل شده است، بروز و پیشرفت عیب در یک عضو می‌تواند بر سلامت دیگر اجزاء مجموعه تاثیر مخرب داشته و عملکرد آنها را نیز دچار مشکل کند. بنابراین به منظور پیشگیری از بروز مشکلات باید عیوب تجهیزات مکانیکی، در مراحل ابتدایی، تشخیص داده شده و ریشه آنها شناسایی شود. به همین منظور، مطالعات و تحقیقات زیادی توسط محققین علم مکانیک در مورد عیوب تجهیزات مختلف مکانیکی انجام، و روش‌هایی برای عیب‌یابی معرفی شده است. آنالیز روغن، آنالیز دما، آنالیز صوتی و آنالیز ارتعاشات از جمله این روش‌ها هستند.

اغلب تجهیزات مکانیکی دارای اجزایی هستند که نیاز به روانکاری دارند و روانکارها نقش مهم و گسترده‌ای در سیستم‌های مکانیکی دارند. با بازرسی روانکار این تجهیزات در دوره‌های زمانی مشخص، می‌توان از وجود ناخالصی‌های درون روانکار، به وجود برخی عیوب مثل خوردگی یا ساییدگی قطعات فلزی پی برد. این کار

نیازمند مدت زمان کافی برای برداشت روانکار و انجام آزمایش روی آن، آزمایشگاه مجهز و نیروی متخصص است. در برخی موارد نیز برای دسترسی به روانکار باید خط تولید متوقف شود.

افزایش دمای شدید و غیرمعمول می‌تواند دلیلی بر تماس دو عضو در اثر یک تغییر شکل ناخواسته باشد. اندازه‌گیری دمای قطعات، می‌تواند راهنمای مناسبی بر وجود این عیوب باشد. اما بسیاری از قطعات مکانیکی، در حالت عادی نیز در دمای بالا کار می‌کنند و این، تشخیص عیوب این تجهیزات را با اندازه‌گیری دما با مشکل مواجه می‌کند. علاوه بر این، روش آنالیز دما وابسته به تغییرات دمایی فصول سال است که کارآیی آن روش را برای عیب‌یابی کاهش می‌دهد.

صداهای غیرعادی قطعات متحرک می‌تواند نشان از بروز عیب در آنها باشد. گاها با توجه به صداهایی که عضو معیوب، در اثر بروز عیب ایجاد می‌کند می‌توان به آن عیب پی برد. در یک مجموعه متشکل از قطعات متعدد، صداهای بسیاری که همواره وجود دارند تشخیص صدایی که ناشی از وجود عیوب است را مشکل می‌کنند.

در میان این روش‌ها، روش آنالیز ارتعاشات روشی است که برای آنالیز عیب عضوهای دورانی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌توان گفت که در مورد تجهیزات مکانیکی دورانی، بهترین روش است. زیرا تجهیزات دوار، اغلب دارای ارتعاش هستند و سیگنال‌های ارتعاشی منتشر شده از آنها با بروز عیب تغییر کرده و هر عیب سیگنال‌های با ویژگی خاص منتشر می‌کند.

۱-۲- تعریف عیب

عیب مکانیکی عبارت است از هر نوع انحراف اجزاء یک سیستم مکانیکی از حالت ایده‌آل، به نحوی که مانع عملکرد صحیح مجموعه شود یا بر سرعت یا کیفیت تولید، تاثیر منفی بگذارد. انحراف می‌تواند به شکل نامیزانی روتورهای متصل به هم، نابالانسی اجزاء دوار، تغییر شکل اجزاء، خوردگی و یا ترک در اجزاء و غیره باشد.

۱-۳- اهمیت عیب یابی

در صنعت امروزی که سیستم‌های مکانیکی هزینه‌های زیادی را در خرابی‌ها، از لحاظ وسایل یدکی، نیروی انسانی، توقف طولانی خط تولید و غیره بر صنایع تحمیل می‌کنند، تعیین عیوب و ریشه آنها امری مهم و ضروری است. با این کار می‌توان قبل از آنکه خرابی یک عضو، روی سایر اعضاء سیستم، تاثیر مخرب داشته باشد به تعمیر یا تعویض قطعات پرداخت و از آسیب‌های جدی‌تر جلوگیری کرد. چه بسا، خراش اندکی روی بیرینگ که به ظاهر قابل تشخیص نیست، با ایجاد لرزش، در چرخدنده‌های گیربکس و پینیون آسیا ایجاد خرابی یا نامیزانی کند. عیب‌یابی یک سیستم، شامل مجموعه فعالیت‌هایی است که بمنظور پی‌بردن به وجود عیب در سیستم و شناسایی ریشه عیب انجام می‌شود. عیب‌یابی باید در مراحل ابتدایی بروز عیوب قادر به شناسایی آنها باشد، قبل از آنکه عیوب با علائم تخریبی خود را نشان دهند.

۱-۴- هدف از تحقیق

آسیاها مهمترین عضو معادن هستند. آسیاهای نیمه خودشکن از تجهیزات مهم کارخانه فرآوری معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان بوده و در صورت بروز عیب در هر قسمت از آن، خط تولید متوقف می‌شود. بنابراین استفاده از روشی برای عیب یابی اجزاء مرتبط با آن امری ضروری است. به همین منظور، در کار حاضر، سیستم انتقال قدرت این آسیا به عنوان عضوی از آسیا، مورد آنالیز دینامیکی قرار می‌گیرد.

آنالیز ارتعاشات رایج ترین روش برای عیب‌یابی تجهیزات دوار است. در این روش علاوه بر سادگی تحلیل نتایج، عیب های سیستم دوار و شدت آنها بهتر از سایر روش‌ها آشکار می‌شوند. در ادامه عیوب احتمالی این سیستم، معرفی شده و تاثیر این عیوب بر ارتعاشات سیستم مورد آنالیز قرار می‌گیرد. چون سیستم انتقال قدرت مورد بحث، یک سیستم دورانی است همواره در نقاط مختلف خود دارای ارتعاش است. بنابراین

تشخیص و جداسازی ارتعاشات ناشی از عیوب، از ارتعاشات ذاتی سیستم، نیازمند تحلیل حرکت دینامیکی مجموعه است.

۱-۵- معرفی ارتعاشات

هر جزء مکانیکی دارای جرم و خاصیت ارتجاعی می‌تواند حول حالت تعادل پایدار خود ارتعاش کند. یعنی تحت شرایطی، حرکت رفت و برگشتی داشته باشد. هرگاه عاملی مثل نیرو یا ضربه بر قسمتی از یک جزء وارد آید، آن را تحریک کرده و آشفتگی در جسم ایجاد می‌کند. جسم تا جایی که نیروی مقاومت ناشی از سفتی بتواند آن آشفتگی را مانع شود به تغییر شکل خود ادامه می‌دهد، سپس تحت اثر پتانسیل ذخیره شده در جزء، آشفتگی بوجود آمده مسیر بازگشت را پیش می‌گیرد. تکرار این حرکت را ارتعاش گویند. هر چه مقدار سفتی عضو بیشتر باشد در مقابل تحریک خارجی مقاومت بیشتری دارد و انرژی پتانسیل مورد نیاز، سریعتر تامین شده و دامنه ارتعاش کاهش، و فرکانس افزایش می‌یابد. حرکت ارتعاشی دارای مشخصه‌های دامنه، سرعت، شتاب و فرکانس است. هر جزء مکانیکی بسته به میزان جرم و سختی و شکل هندسی، اگر تحت یک ضربه خارجی به ارتعاش واداشته و سپس به حال خود رها شود در فرکانس خاصی نوسان می‌کند که به آن فرکانس طبیعی ارتعاش آن جزء گفته می‌شود. اگر تحریک خارجی یک تابع متناوب باشد، هرگاه فرکانس تحریک خارجی با فرکانس طبیعی عضو برابر شود، دامنه نوسانات بشدت افزایش می‌یابد. ارتعاش آزاد ارتعاشی است که بعد از اعمال تحریک اولیه، نیرو از روی عضو برداشته می‌شود. هر جزء مکانیکی با توجه به تحریک اولیه، ارتعاشات آزاد با شکلهای مختلف دارد. فرکانس ارتعاش در هر یک از آن شکلها متفاوت است. به شکلهای مختلف ارتعاش آزاد، مودهای ارتعاش آن جسم گفته می‌شود.

۱-۶- تاریخچه عیب‌یابی با روش آنالیز ارتعاشات

به منظور استفاده از روش آنالز ارتعاشات در عیب‌یابی سیستم‌های دوار، مطالعات زیادی بر روی اجزاء مختلف این سیستم‌ها انجام شده است. بارکوف و آزوتسف[۱] [1] گزارش کاملی را در مورد روش‌های عیب‌یابی قدیمی و مدرن و نمونه‌هایی از دستگاه‌ها و قابلیت‌های مورد نیاز دستگاه‌های عیب‌یابی ارائه کردند. تاندون و کودهوری[۲] [2] معادلاتی برای محاسبه فرکانس‌های مشخصه اعضای رولربیرینگ‌ها ارائه کردند. در صورت معیوب شدن هر یک از اعضای رولربیرینگ، در دیاگرام طیف فرکانسی ثبت شده از آن بیرینگ، در فرکانس مشخصه مربوط به آن عضو، تشدید مشاهده می‌شود.

آمارناش[۳] و همکارانش [3] وجود عیوب محلی در رینگ داخلی، رینگ خارجی و رولرها را به کمک آنالیز ارتعاشات، تشخیص دادند. آنها بیرنگ‌های با رینگ داخلی، رینگ خارجی و رولرهای معیوب را روی سیستم دوار آزمایشگاهی نصب کردند. نتایج آنالیز ارتعاشات بصورت دیاگرام‌های طیف فرکانسی ارتعاشات، وجود عیب اجزاء مذکور را نشان داد. در حالی که سیستم آزمایشی، بدون علامت ظاهری آشکار از وجود این عیوب، کار می‌کرد. نتایج این تحقیق کارایی استفاده از فرکانس‌های مشخصه را در عیب‌یابی رولربیرینگ‌ها بخوبی نشان می‌دهد.

کایرال[۴] [4] دیاگرام‌های طیف فرکانسی یک رولربیرینگ سالم و معیوب را با هم مقایسه کرد. او مشاهده کرد که به علت وجود عیب در رینگ خارجی، تشدید در دامنه در فرکانس ۵۹,۶ هرتز برابر با فرکانس مشخصه رینگ خارجی برای آن بیرینگ، رخ داد.

۱. Alexi Barkov and Anton azotsev
۲. Tandon and Coudhury
۳. M. Amarnath
۴. Z. Kiral