دانشکده مهندسي
گروه مکانیک - طراحی کاربردی

عنوان پایان‌نامه:

استفاده از آنالیز ارتعاشات و آنالیز گرمایی در عیب یابی ماشین آلات دوار

مولف:
محمد شادکامی

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته طراحی کاربردی

استاد راهنما:
دکتر مجید معاونیان

تابستان ۸۹

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱

۲- مبانی آنالیز ارتعاشات ۶

۲-۱ مقدمه ۶

۲-۲ معرفی شیوه های مختلف نگهداری و تعمیرات ۶

۲-۲-۱ نگهداری و تعمیرات عکس العملی ۶

۲-۲-۲ نگهداری و تعمیرات دوره ای TBM (Time Base Maintenance) ۶

۲-۲-۳ نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت (Predictive Maintenance) ۶

۲-۳ تکنیک های پایش وضعیت ۷

۲-۴ تجهیزات اندازه گیری ارتعاشات ۸

۲-۴-۱ ترانسدیوسر ۸

۲-۴-۲ کابل و اتصالات ۱۴

۲-۴-۳ دستگاه ذخیره کننده اطلاعات ارتعاشی ۱۴

۲-۴-۴ نرم افزار کامپیوتری ۱۵

۲-۵ پردازش سیگنال های ارتعاشی ۱۵

۲-۵-۱ سیگنال ارتعاشی ۱۵

۲-۵-۲ تقویت سیگنال ۱۵

۲-۵-۳ فیلتر کردن ۱۶
۲-۵-۴ گسسته سازی سیگنال ارتعاشی ۱۷
۲-۵-۵ پردازش حوزه زمان ۱۷
۲-۵-۶ پردازش حوزه فرکانس ۱۸
۲-۵-۷ تبدیل فوریه ۱۸
۲-۵-۸ تبدیل فوریه سریع ۱۹
۲-۶ پایش ارتعاشات ۲۰
۲-۶-۱ پارامترهای ارتعاشی ۲۰
۲-۶-۲ انتخاب پارامترهای ارتعاشی و ابزار اندازه گیری ۲۱
۲-۶-۳ پایش روند تغییرات ۲۱
۲-۷ عیب یابی در ماشین های دوار ۲۲
۲-۷-۱ عیوب ارتعاشی در ماشین های دوار ۲۳
۲-۷-۲ مشخصات ارتعاشی عیوب ۲۳
۲-۸ نتیجه گیری ۲۷
۳- دمانگاری ۲۸
۳-۱ مقدمه ۲۸
۳-۲ انواع طیفها ۲۸

۳-۳ معرفی ابزارهای ثبت دما ۲۹
۳-۳-۱ عکس گیرندهها ۳۰
۳-۳-۲ دوربین ها با قابلیت تابش سنجی ۳۰
۳-۴ قابلیت انتشار و بازتاب پذیری ۳۰
۳-۵ پرتوسنجی و اندازه گیری حرارت ۳۳
۳-۶ دمانگاری پالسی ۳۸
۳-۷ نتیجه گیری ۴۳
۴- شبیه سازی ۴۴
۴-۱ مقدمه ۴۴
۴-۲ معرفی نرم افزار CosMos ۴۷
۴-۳ ایجاد فرآیند شبیه سازی ۴۸
۴-۳-۱ طراحی مدل ۴۸
۴-۳-۲ انتخاب نوع مطالعه ۴۸
۴-۳-۳ انتخاب خواص مواد بهکار رفته ۴۸
۴-۳-۴ بارها و شرایط مرزی ۴۸
۴-۳-۵ انتخاب نوع مش ۵۰
۴-۴ روند کار شبیه سازی ۵۱

۴-۵ شبیه سازی حالت سالم ۵۱
۴-۶ شبیه سازی نامیزانی ۵۲
۴-۷ شبیه سازی عدم هم محوری ۵۶
۴-۸ مباحثی پیرامون تاثیرات ویسکوزیته بر دامنه ارتعاشات ۵۹
۴-۹ نتیجه گیری ۶۳
۵- استفاده عملی از آنالیز ارتعاشات و آنالیز گرمایی ۶۵
۵-۱ معرفی دستگاه ۶۵
۵-۲ شرح موقعیت دستگاه ۶۷
۵-۳ نحوه انجام آزمایشات ۶۸
۵-۴ وسایل و ابزار مورد استفاده ۷۳
۵-۴-۱ سنجش ارتعاشات ۷۳
۵-۴-۲ سنجش دما ۷۴
۵-۵ مطالعه استفاده از آنالیز گرمایی در تشخیص عیب ۷۴
۵-۵-۱ حالت پایه آزاد ۷۵
۵-۵-۲ دستگاه با پایه ثابت ۸۸
۵-۵-۳ نتیجه گیری ۱۰۰
۵-۶ بررسی تاثیرات دما بر دامنه ارتعاشات ۱۰۳

۵-۶-۱ مقدمه ۱۰۳
۵-۶-۲ نحوه انجام آزمایشات ۱۰۳
۵-۶-۳ الف نتایج آزمایشهای دور پایین (۱۲۷۵ دور بر دقیقه) ۱۰۴
۵-۶-۳ ب آزمایشات دور بالا (۳۰۹۳ دور بر دقیقه) ۱۰۶
۵-۶-۴ بررسی و تحلیل نتایج ۱۰۸
۶- نتیجه گیری ۱۱۱
۶-۱ نتیجه گیری مطالعه اول ۱۱۱
۶-۲ نتیجه گیری مطالعه دوم ۱۱۲
۶-۳ راهکارهایی پیرامون مطالعات آینده ۱۱۳

فهرست اشکال

شکل ۴-۱: محل قرار گیری موتور برای حالت عدم هم محوری ۴۹

شکل ۴-۲: محل قرار گیری موتور برای حالت نامیزان ۴۹

شکل ۴-۳: شبیه سازی فیزیکی ۵۱

شکل۴-۴: شبیه سازی حالت سالم ۵۲

شکل ۴-۵: دیاگرام سرعت-زمان برای حالت سالم ۵۲

شکل ۴-۶: مدل نامیزانی ۵۳

شکل ۴-۷: نمودار سرعت-زمان ۵۳

شکل ۴-۸: نمودار فرکانس-دامنه ۵۵

شکل ۴-۹: نمودار دامنه شتاب-زمان ۵۵

شکل ۴-۱۰: نمودار دامنه-فرکانس ۵۶

شکل ۴-۱۱: مدل سازی عدم هم محوری ۵۷

شکل ۴-۱۲: نمودار دامنه سرعت-زمان ۵۷

شکل ۴-۱۳: نمودار دامنه-فرکانس ۵۹

شکل ۴-۱۴: نمودار دامنه شتاب-زمان ۵۸

شکل ۴-۱۵: نمودار دامنه-فرکانس ۵۹

شکل۴-۱۶: صفحات موازی که بین آنها سیال ویسکوز قرار دارد ۶۱

شکل ۴-۱۷: نمودار ویسکوزیته برحسب دما ۶۳

شکل ۵-۱: تصویر دستگاه ۶۵

شکل ۵-۲: نمای کوپلینگ ۶۶

شکل ۵-۳: یاتاقان غلتشی ۶۶

شکل ۵-۴: نمای کلی دستگاه ۶۷

شکل ۵-۵: مکان قرار گیری دستگاه ۶۸

شکل ۵-۶: ایجاد نامیزانی ۷۱

شکل ۵-۷: ایجاد عدم هم محوری ۷۲

شکل ۵-۸: ثابت کردن پایه دستگاه ۷۲

شکل ۵-۹: شمای دستگاه VT60 ..... ۷۳

شکل ۵-۱۰: حالت ابتدایی، پایه متحرک،سالم، دور پایین ۷۵

شکل ۵-۱۱: حالت میانه، پایه متحرک ،سالم، دور پایین ۷۶

شکل ۵-۱۲: حالت انتهایی، پایه متحرک ،سالم، دور پایین ۷۶

شکل ۵-۱۳: نمودار ارتعاشی، پایه متحرک ،سالم، دور پایین ۷۷

شکل ۵-۱۴: حالت ابتدایی، پایه متحرک ،نامیزان، دور پایین ۷۷

شکل ۵-۱۵: حالت میانه، پایه متحرک ،نامیزان، دور پایین ۷۸

شکل ۵-۱۶: حالت انتهایی، پایه متحرک ،نامیزان، دور پایین ۷۸

شکل ۵-۱۷: نمودار ارتعاشی، پایه متحرک ،نامیزان، دور پایین ۷۹
شکل ۵-۱۸: حالت ابتدایی، پایه متحرک ،ناهم محور، دور پایین ۷۹
شکل ۵-۱۹: حالت میانی، پایه متحرک ،ناهم محور، دور پایین ۸۰
شکل ۵-۲۰: حالت پایانی، پایه متحرک ،ناهم محور، دور پایین ۸۰
شکل ۵-۲۱: نمودار ارتعاشی، پایه متحرک ،ناهم محور، دور پایین ۸۱
شکل ۵-۲۲: حالت ابتدایی، پایه متحرک ،سالم، دور بالا ۸۱
شکل ۵-۲۳: حالت میانی، پایه متحرک ،سالم، دور بالا ۸۲
شکل ۵-۲۴: حالت انتهایی، پایه متحرک ،سالم، دور بالا ۸۲
شکل ۵-۲۵: طیف ارتعاشی، پایه متحرک ،سالم، دور بالا ۸۳
شکل ۵-۲۶: حالت ابتدایی، پایه متحرک ،نامیزان، دور بالا ۸۴
شکل ۵-۲۷: حالت میانی، پایه متحرک ،نامیزان، دور بالا ۸۴
شکل ۵-۲۸: حالت نهایی، پایه متحرک ،نامیزان، دور بالا ۸۵
شکل ۵-۲۹: نمودار ارتعاشی، پایه متحرک ،نامیزان، دور بالا ۸۵
شکل ۵-۳۰: حالت ابتدایی، پایه متحرک ،ناهم محور، دور بالا ۸۶
شکل ۵-۳۱: حالت میانی، پایه متحرک ،ناهم محور، دور بالا ۸۶
شکل ۵-۳۲: حالت نهایی، پایه متحرک ،ناهم محور، دور بالا ۸۷
شکل ۵-۳۳: نمودار ارتعاشی، پایه متحرک ،ناهم محور، دور بالا ۸۷

شکل ۵-۳۴: حالت ابتدایی، پایه ثابت،سالم، دور پایین ۸۸
شکل ۵-۳۵: حالت میانی، پایه ثابت،سالم، دور پایین ۸۹
شکل ۵-۳۶: حالت نهایی، پایه ثابت،سالم، دور پایین ۸۹
شکل ۵-۳۷: نمودار ارتعاشی، پایه ثابت،سالم، دور پایین ۹۰
شکل ۵-۳۸: حالت ابتدایی، پایه ثابت،نامیزان، دور پایین ۹۰
شکل ۵-۳۹: حالت میانی، پایه ثابت،نامیزان، دور پایین ۹۱
شکل ۵-۴۰: حالت نهایی، پایه ثابت،نامیزان، دور پایین ۹۱
شکل ۵-۴۱: نمودار ارتعاشی، پایه ثابت،نامیزان، دور پایین ۹۲
شکل ۵-۴۲: حالت ابتدایی، پایه ثابت،ناهم محور، دور پایین ۹۲
شکل ۵-۴۳: حالت میانی، پایه ثابت،ناهم محور، دور پایین ۹۳
شکل ۵-۴۴: حالت نهایی، پایه ثابت،ناهم محور، دور پایین ۹۳
شکل ۵-۴۵: نمودار ارتعاشی، پایه ثابت،ناهم محور، دور پایین ۹۴
شکل ۵-۴۶: حالت ابتدایی، پایه ثابت،سالم، دور بالا ۹۴
شکل ۵-۴۷: حالت میانی، پایه ثابت،سالم، دور بالا ۹۵
شکل ۵-۴۸: حالت نهایی، پایه ثابت،سالم، دور بالا ۹۵
شکل ۵-۴۹: نمودار ارتعاشی، پایه ثابت،سالم، دور بالا ۹۶
شکل ۵-۵۰: حالت ابتدایی، پایه ثابت،نامیزان، دور بالا ۹۶

شکل ۵-۵۱: حالت میانی، پایه ثابت،نامیزان، دور بالا ۹۷

شکل ۵-۵۲: حالت نهایی، پایه ثابت،نامیزان، دور بالا ۹۷

شکل ۵-۵۳: نمودار ارتعاشی، پایه ثابت،نامیزان، دور بالا..... ۹۸

شکل ۵-۵۴: حالت ابتدایی، پایه ثابت،ناهم محور، دور بالا ۹۸

شکل ۵-۵۵: حالت میانی، پایه ثابت،ناهم محور، دور بالا..... ۹۹

شکل ۵-۵۶: حالت نهایی ، پایه ثابت،ناهم محور، دور بالا..... ۹۹

شکل ۵-۵۷: نمودار ارتعاشی، پایه ثابت، ناهم محور، دور بالا..... ۱۰۰

شکل ۵-۵۸: نمودار ترند ارتعاشی سیستم برای دور ۱۲۷۵rpm ۱۰۴

شکل ۵-۵۹: نمودار ترموگرافی نقطه ۱ در دور ۱۲۷۵rpm ۱۰۵

شکل ۵-۶۰: نمودار ترموگرافی نقطه ۲ در دور ۱۲۷۵rpm ۱۰۵

شکل ۵-۶۱: نمودار ترموگرافی نقطه ۳ در دور ۱۲۷۵rpm ۱۰۵

شکل ۵-۶۲: نمودار ترموگرافی نقطه ۴ در دور ۱۲۷۵rpm ۱۰۶

شکل ۵-۶۳: نمودار ترند در دور ۳۰۹۳rpm ۱۰۶

شکل ۵-۶۴: نمودار ترموگرافی نقطه ۱ در دور ۳۰۹۳rpm ۱۰۷

شکل ۵-۶۵: نمودار ترموگرافی نقطه ۲ در دور ۳۰۹۳rpm ۱۰۷

شکل ۵-۶۶: نمودار ترموگرافی نقطه ۳ در دور ۳۰۹۳rpm..... ۱۰۸

شکل ۵-۶۷: نمودار ترموگرافی نقطه ۴ در دور ۳۰۹۳rpm ۱۰۸

شکل ۵-۶۸:مقایسه دو نمودار روند تغییرات ۱۰۹

فهرست جداول

جدول ۱-۱: خلاصه مطالعات راجع به نامیزانی..... ۲

جدول۱-۲: خلاصه مطالعات راجع به عدم هم محوری..... ۳

جدول۲-۱:تجهیزات و کاربردها تکنیک‌های مختلف CM..... ۷

جدول ۲-۲:مشخصات، کاربرد، مزایا، دامنه عملکرد و معایب انواع سنسورهای ارتعاشی..... ۹

جدول۲-۳:دسته بندی عیوب مکانیکی و درصد وقوع آن‌ها..... ۲۳

جدول۳-۱:ضریب انتشار چند ماده مختلف..... ۳۲

جدول۳-۲: خلاصه مقایسه انواع روش‌های مشاهده..... ۳۹

جدول۳-۳:روش‌های عمده بازرسی در دمانگاری..... ۴۲

جدول۳-۴:مزیت و محدودیت استفاده از یک منبع سرد..... ۴۳

جدول۵-۱:قطعات موجود در نمونه آزمایش..... ۶۶

جدول ۵-۲: عوامل موثر بر انتقال حرارت در پروسه آزمایش..... ۶۸

جدول ۵-۳: شرح دستور آزمایش..... ۷۰

جدول۵-۴:مقایسه حالات مشابه برای دو موقعیت پایه ثابت و متحرک..... ۱۰۱

جدول۵-۵:دستور آزمایش..... ۱۰۳

جدول۵-۶:مقایسه گرمایی نقاط مشابه..... ۱۱۰

جدول۶-۱:مقایسه شبیه سازی با حالات واقعی..... ۱۱۲

جدول۶-۲: مقایسه حالات آزمایش پایه متحرک..... ۱۱۲

فصل اول:مقدمه

تکنیک‌های پایش وضعیت به دلیل ارزش نسبتا بالای ماشین آلات دوار امروزه گسترش قابل توجهی پیدا کرده‌اند. تکنیک‌هایی نظیر آنالیز ارتعاشات، آنالیز روغن، آنالیز صدا، تست غیر مخرب NDT و... امروزه به طور گسترده در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر کدام از روش‌های ذکر شده دارای کاربردی خاص و حوزه اثر مشخص می‌باشد. به عنوان مثال از آنالیز روغن برای تشخیص خوردگی‌ها، از آنالیز صدا برای تشخیص سایش و مشخص نمودن وجود نشت سیال، از تست NDT برای تعیین ضخامت‌ها و وجود ترک استفاده می‌گردد. در حالت کلی می‌توان بیان داشت که می‌شود با استفاده از این ابزارها به سمت پیش‌بینی وقوع خرابی‌ها پیش رفت و قبل از این‌که دستگاه با توقف کامل مواجه گردد، از این امر جلوگیری نمود و هزینه‌های تعمیرات را کاهش داد[1]. از جمله رایج ترین روش‌ها می‌توان به آنالیز ارتعاشات اشاره نمود. در این روش عیب‌یابی، با اندازه‌گیری و سپس تحلیل نمودارهای ارتعاشاتی می‌توان مبادرت به تشخیص عیب نمود. از جمله مهمترین عیوبی که این ابزار به بررسی آن‌ها می-پردازد، نامیزانی، ترک، خمش روتور، سایش، عدم هم محوری و خرابی‌های یاتاقان‌ها هستند[2] .

نامیزانی شایع ترین عیب در ماشین آلات دوار است[3]. در بهترین حالت فرض می‌شود که محور اینرسی منطبق بر محور دوران است، ولی در عمل چنین حالتی اتفاق نمی‌افتد و نیروها و گشتاورهای تولید شده، نیروهای زیادی را به یاتاقان و بدنه ماشین وارد می‌کنند[4]. نامیزانی به دلایلی از جمله سایش، اثرات تغییر درجه حرارت محیط و شرایط کارکرد به وجود می‌آید. نامیزانی باقیمانده در مراحل ساخت ممکن است ناشی از تلرانس ماشین و یا غیر یکنواخت بودن مواد باشد[5]. پارکینسن و فویلز[6,7]، مطالعه مفصلی در مورد بالانس روتور داشته‌اند. لی و فرایزول[8] روشی را معرفی کردند که می‌توانست به سرعت و با دقت بالایی نامیزانی را تخمین بزند. اکثر مطالعات وجود ارتعاش در یک برابر دور (1X) را نشانه نامیزانی دانسته‌اند[9]. هرچند که این نشانه به عنوان مشخصه اصلی نامیزانی ذکر می‌گردد اما تقریبا در پردازش حوزه فرکانسی اکثر عیوب مکانیکی، فرکانس معادل یک برابر دور چرخش دستگاه دیده می‌شود.

عدم هم محوری دومین عیب شایع بعد از نامیزانی است[10]. این عیب به دلایلی نظیر تراز نبودن بستر، مونتاژ نامناسب ماشین، توزیع ناهمگون دمایی و عدم تقارن در بارهای اعمالی ایجاد می‌گردد. از آنجایی که در عمل نمی‌توان دو محور را کاملا همراستا نمود لذا همیشه عدم هم محوری وجود دارد،

هرچند که می‌تواند در سطح قابل قبولی ایجاد شود. عدم هم محوری در دو نوع ۱-عدم هم محوری موازی و ۲-عدم هم محوری زاویه‌ای طبقه بندی می‌گردد. این پدیده می‌تواند نیروها و گشتاورهای عکس‌العملی را در محل کوپلینگ تولید کند که به روی رفتار ارتعاشی روتور تاثیر می‌گذارند. حدود ۷۰٪ مشکلات ارتعاشی ماشین آلات را می‌توان به عدم هم محوری مربوط دانست[11]. بنابراین مطالعه عمیق این عیب می‌تواند در برطرف کردن این مشکلات بسیار سودمند باشد. گیبسون[12] نیروهای عکس‌العمل ناشی از عدم هم محور بودن کوپلینگ‌های متفاوت را استخراج نمود. سخار و پرابهو[13] تاثیرات عدم هم محوری را بر روی پاسخ ارتعاشی روتور به صورت عددی محاسبه کردند. آن‌ها نشان دادند که وجود ارتعاشات در دو برابر سرعت چرخش 2X (دو برابر فرکانس دور کارکرد دستگاه) به عنوان مهمترین مشخصه عدم هم محوری لحاظ می‌گردد. دول و اریش [14] هارمونیک 2X را به عنوان مهمترین مشخصه این عیب مطرح کردند هرچند که نسبت به مولفه 1X (یک برابر فرکانس دور کارکرد دستگاه) کوچک فرض شده بود. جردن[15] اثبات کرد که عدم هم محوری ابتدا روی مولفه 1X اثر می‌گذارد کما اینکه در عدم هم محوری شدید مولفه 2X نیز ظاهر می‌گردد. همینطور ردموند و الحسین[16] ارتعاشات پیچشی عرضی 1X را برای عدم هم محوری موازی گزارش کرده‌اند.

اما در مورد مطالعاتی که به شبیه‌سازی عدم هم محوری پرداخته‌اند می‌توان به گزیو و مارگونی[17] اشاره کرد. آن‌ها برای مدل کردن تاثیرات عدم هم محوری از سینماتیک مفصل هوک استفاده کردند. همینطور لی[18] به مطالعه تاثیر عدم هم محوری در کوپلینگ صلب پرداخته است. همچنین می‌شود بیان داشت که وجود ارتعاشات در دو برابر سرعت چرخش 2X به عنوان مشخصه اصلی این عیب در صنعت مورد قبول است، اما عیوب دیگری نظیر ترک خستگی، نامتقارن بودن سختی و برخی از عیوب در یاتاقان‌ها نیز همین نشانه را در نمودارهای ارتعاشی همراه خود دارند که همین امر به پیچیدگی شناسایی این عیب افزوده می‌کند.

خلاصه تحقیقات فوق را می‌توان در جداول زیر مشاهده نمود.

جدول ۱-۱: خلاصه مطالعات راجع به نامیزانی

شماره	نویسندگان	موضوع عنوان شده	سال انتشار
۱	پارکینسون[6]	بالانس روتور	۹۱
۲	فویلز[7]	بالانس روتور	۹۸

۳	لی و فرایزول[8]	معرفی روشی توام با سرعت و دقت بالابرای تخمین نامیزانی	۲۰۰۲
۴	پاتل و پرابهو[5]	اثر تلرانس ماشین و غیر یکنواخت بودن مواد بر نامیزانی	۲۰۰۹

جدول ۱-۲: خلاصه مطالعات راجع به عدم هم محوری

شماره	نویسندگان	موضوع عنوان شده	سال انتشار
۱	گیبسون[12]	استخراج نیروهای عکس‌العمل ناشی از عدم هم محور بودن کوپلینگ‌های متفاوت	۱۹۷۶
۲	دول و اریش[14]	مطرح کردن هارمونیک 2X را به عنوان مهمترین مشخصه عدم هم محوری	۱۹۸۴
۳	جردن[15]	اثبات اینکه عدم هم محوری ابتدا روی مولفه 1X اثر می‌گذارد و در عدم هم محوری شدید مولفه 2X نیز ظاهر می‌گردد	۱۹۹۲
۴	گزیو و ماراگونی[17]	مدل کردن تاثیرات عدم هم محوری با استفاده از سینماتیک مفصل هوک	۱۹۹۴
۵	بگناتز[11]	مطرح کردن این نکته که می‌توان اکثر عیوب ارتعاشی ماشین‌ها را ناشی از عدم هم محوری دانست.	۱۹۹۵
۶	سخار و پرابهو[13]	محاسبه عددی تاثیرات عدم هم محوری را بر روی پاسخ ارتعاشی روتور	۱۹۹۵
۷	ردموند و الحسین[16]	گزارش ارتعاشات پیچشی عرضی 1X را برای عدم هم محوری موازی	۲۰۰۲
۸	لی[18]	مطالعه تاثیر عدم هم محوری در کوپلینگ صلب	۲۰۰۷
۹	پاتل و دارپ[10]	شناخت عدم هم محوری به عنوان دومین عیب شایع در ماشین آلات دوار	۲۰۰۹

گستره مطالعات فوق نشان دهنده این مطلب است که شناسایی عدم هم محوری به راحتی میسر نیست و همواره تشخیص آن همراه با عدم قطعیت است. زیرا هر کدام از روش‌های مطالعاتی بر روی این عیب، عامل شناسایی خاصی را برای آن معرفی کرده‌اند و یکپارچگی در مورد نشانه این عیب دیده نمی-شود. همچنین همانطور که ذکر شد عیوبی مانند ترک نیز هارمونیک 2X را تولید می‌کنند که اگر تنها آنالیز ارتعاشات در امر تشخیص عیب مورد توجه قرار گیرد احتمال بروز اشتباه در فرآیند عیب یابی بسیار بالا می‌رود. همینطور باید بیان داشت که در مورد نامیزانی نیز همین مسائل وجود دارند، چراکه اکثر عیوب در رفتار ارتعاشاتی خود هارمونیک 1X را تولید می‌کنند و این امر امکان تشخیص اشتباه را افزایش می‌دهد، لذا بهره‌گیری از روش‌های دیگر تشخیص عیب در کنار آنالیز ارتعاشات می‌تواند برای بالا بردن قطعیت در تشخیص این عیوب ره‌گشا باشد.

از جمله این روش‌ها می‌توان به دمانگاری یا همان ترموگرافی با اشعه مادون قرمز اشاره نمود. ترموگرافی با اشعه مادون قرمز یک ابزار نیرومند در تست‌های عیب یابی غیر مخرب است. طیف گسترده-ای از کاربردهای این ابزار در امور نظامی، صنعتی و پزشکی وجود دارند[19]. این ابزار می‌تواند برای تحقیق و شناسایی طیف گسترده از موقعیت‌هایی مورد استفاده قرار گیرد که تغییرات در دمای سطح منجر به شناسایی عیبی در سطوح و یا مواد زیر سطوح می‌گردد[20]. از نقطه نظر تست‌های غیر مخرب، ترموگرافی می‌تواند بدون نیاز به وجود ابزارهای زیاد و به سرعت در فرآیند عیب یابی مؤثر واقع شود و این موضوع منجر به کاهش هزینه‌ها در پروسه عیب یابی می‌گردد. از دیگر مزیت‌های این روش نسبت به سایر روش‌های عیب‌یابی این است که بر خلاف بیشتر روش‌ها که نیازمند توقف خط تولید تحت بازرسی به منظور رعایت ایمنی هستند، دمانگاری از این امر مستثنی است. می‌توان بیان داشت که ترموگرافی در بسیاری از موارد نمی‌تواند به عنوان تنها روش عیب‌یابی در پروسه بازرسی مطرح گردد بلکه باید در کنار روش دیگری و به عنوان ابزار مکمل مورد استفاده قرار گیرد[21].

با توجه به مطالب مطرح شده، در این نوشتار به بررسی کارایی استفاده آنالیز گرمایی در عیب یابی ماشین‌آلات دوار پرداخته شده است. از میان عیوب مختلف دو عیب نامیزانی و عدم هم محوری به دلیل شیوع بالای آن‌ها نسبت به سایر عیوب، انتخاب شده‌اند و بررسی این دو بر روی یک نمونه آزمایشگاهی انجام شده است. از هر دو آنالیز یعنی آنالیز ارتعاشات و آنالیز گرمایی در شناسایی آن‌ها استفاده شده است که این دو روش در کنار هم بتوانند تشخیص این عیوب را با قطعیت بالایی فراهم آورند. ضمن آن-

که در این مطالعه از شبیه سازی برای صحت سنجی نتایج کمک گرفته شده است. در کنار موضوع بالا، به تاثیر دما بر دامنه ارتعاشات نیز پرداخته شده است.

فصل دوم به توضیح اجمالی آنالیز ارتعاشات(تئوری و عملی)، مبانی، تجهیزات مورد نیاز، پروسه تحلیل نمودارهای ارتعاشاتی و مشخصه‌های ارتعاشاتی (نامیزانی و عدم هم محوری) می‌پردازد.

فصل سوم به آنالیز گرمایی اختصاص دارد. اساس روش جمع آوری اطلاعات دمایی و انتقال حرارت تشعشعی در این فصل مورد واکاوی قرار گرفته‌اند.

در فصل چهارم به شبیه سازی و معرفی نرم افزار مربوطه پرداخته شده و روند دو موضوع مورد مطالعه به تفصیل توضیح داده شده‌اند.

در فصل پنجم که فصل اساسی این نوشتار است به انجام آزمایش‌ها، تحلیل نمودارها و شبیه سازی ها اشاره شده است و دو موضوع مورد مطالعه به تفصیل توضیح داده شده‌اند.

فصل ششم، فصل پایانی این نوشتار است که در این فصل به نتیجه گیری موضوعات مورد مطالعه اشاره شده و در پایان نیز راه‌کارها و پیشنهادها که در همین زمینه و در آینده انجام خواهند شد پرداخته شده است.

فصل دوم: مبانی آنالیز ارتعاشات

۲-۱ مقدمه

به طور معمول در صنعت، هزینه نگهداری و تعمیرات، ۵ تا ۶ درصد سرمایه های ثابت است که درصنایع بزرگ و سنگین، به ۱۲درصد هم می‌رسد. البته به این هزینه ، کیفیت پایین محصولات را نیز باید افزود. نگهداری و تعمیرات صحیح، هزینه کل را از طریق کاهش تعداد خرابی‌ها، کم کردن دفعات توقف ماشین آلات و زمان توقف آنها و بهبود ایمنی کار، کمینه می نماید[1] .

۲-۲ معرفی شیوه های مختلف نگهداری و تعمیرات [3]

۲-۲-۱ نگهداری و تعمیرات عکس العملی

در این روش نگهداری و تعمیرات عکس العملی، دستگاه تا زمانی که خراب نشده است، کار می کند و بعد از وقوع خرابی، تعمیر یا تعویض می‌گردد . هر چند این روش را می توان در مورد ماشین های سبک و کم اهمیت به کار برد.

۲-۲-۲ نگهداری و تعمیرات دوره ای TBM (Time Base Maintenance)

درروش نگهداری و تعمیرات دوره‌ای، که به نگهداری و تعمیرات پیش گیرانه (PM[1]) نیز مشهور است، تعمیر یا تعویض، به صورت دوره‌ای، در فواصل زمانی معین، انجام می‌گیرد. به منظور جلوگیری از خرابی ناگهانی ماشین، فاصله زمانی بین تعمیرات ، کمی کوتاهتر از عمر ماشین انتخاب می شود.

۲-۲-۳ نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت (Predictive Maintenance)

دراین شیوه، که به نگهداری و تعمیرات پیش بینانه نیز مشهور است، تعمیر یا تعویض ، بر اساس وضعیت کارکرد ماشین انجام می شود. روش CBM (Condition Base Maintenance) ، به جای

[1] - preventive maintenance