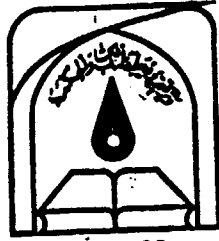
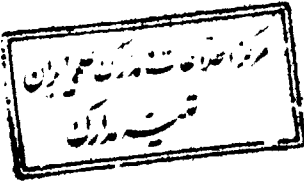


32694

۱۳۷۸ / ۶۱ A



# دانشگاه تربیت مدرس

## دانشکده فنی و مهندسی

﴿پایان نامه﴾

کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

﴿تحت عنوان﴾

**آنالیز سیگنال ارتعاشی**

**در محدوده زمانی، فرکانسی و دانسیته  
طیفی انرژی بمنظور عیب‌یابی ماشین آلات دوار**

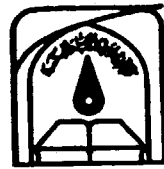
ترجمه و

**محمدرضا زین‌العابدینی**

استاد راهنما: دکتر سیامک اسماعیل‌زاده‌خادم

بهار ۱۳۷۸

۲۵۹۲۶



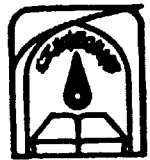
دانشگاه تربیت مدرس

## تاییدیه هیات داوران

آقای محمدرضا زین العابدینی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان آنالیز سیگنال ارتعاشی در محدوده زمانی، فرکانسی و طیفی انرژی به منظور عیب یابی در تاریخ ۷۸/۳/۳۱ 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 با گرایش طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند. ۳ ب ۲۶

امضاء	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	آقای دکتر اسماعیل زاده	۱- استاد راهنما:
—	—	۲- استاد مشاور:
	آقای دکتر محمد مهدی غمدم	۳- استادان متحن:
	آقای دکتر محمد تقی حمیدی بهشتی	۴- مدیر گروه:
	آقای دکتر مهدی بهشتی	(یا نماینده گروه تخصصی)

این سند به ... ارسال و مورد تایید است.  
امضای استاد راهنما:



بسمه تعالی

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

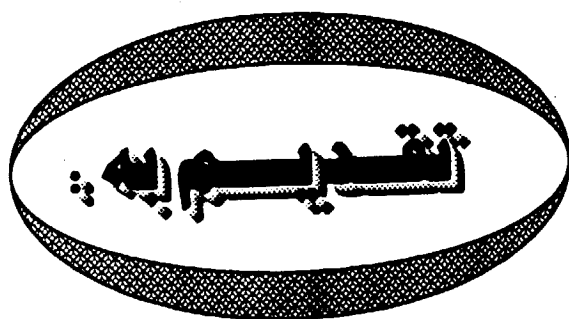
نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

- 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 ۱۳۷۸ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر اسماعیل زارده، 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، تأدیه 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 محمدرضا زین العابدین 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: محمدرضا زین العابدینی

تاریخ و امضا:

۷۸، ۴/۱۳



**پدر و مادر مهربان و دلسوزم که در تمامی مراحل  
زندگی راهنما و مشوق من بوده‌اند. همسر مهربان  
و فداکارم که صبر و شکیبایی او پشتوانه‌ای برای  
تلاشم در راه تحصیلاتم بود. پدر و مادر همسرم که  
شرمنده محبت‌های آنها هستم و دخترم که روح سبز  
زندگی من است.**

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات بی‌شائبه استاد ارجمندم جناب آقای دکتر سیامک اسماعیل زاده خادم که قبول زحمت کرده و راهنمایی این پروژه را بعهده گرفتند و در تمامی مراحل تهیه و تدوین آن مرا هدایت نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم و از درگاه ایزدمنان توفیق روزافزون ایشان را خواستارم.

همچنین از جناب آقای دکتر محمدحسن مقدس ریاست محترم دانشکده مکانیک و هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر و آقایان دکتر احمد رضا خوگر و مهندس علی اکبر و کیلی و مهندس حمیدرضا صابونی که نظرات و تجارب ارزشمندشان را در اختیار من قرار دادند صمیمانه سپاسگذاری می‌نمایم.

وظیفه خود می‌دانم از تمامی سروران پژوهشکده دریایی اصفهان بویژه آقای مهندس حسین جبل‌عاهلیان، مدیریت محترم پژوهشکده، آقای مهندس اکبر یزدخواستی، معاونت محترم اجرایی، آقای مهندس محمد هنردوست، مدیریت محترم برنامه‌ریزی و آموزش، آقای دکتر سیدعلی محمد میرجلیلی، مدیر بخش مکانیک و همه عزیزان دیگر که در انجام این پایان‌نامه مرا یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم و برای همگی آنان آرزوی سعادت و موفقیت می‌کنم.

## چکیده

نظارت بر کارکرد ماشین آلات در همه شاخه‌های صنعت بسرعت کاربرد پیدا کرده است. تکنیک‌های مختلفی در این امر وجود دارد که یکی از مهمترین آنها بررسی ارتعاشات یک ماشین است. نظارت ارتعاشی نقش بسیار مهمی را بعنوان یک ابزار برای نگهداری و تعمیر دستگاهها بازی می‌کند. سیستم‌های نظارت بر کارکرد ماشین جهت مشخص نمودن عیوب در حال کار دستگاهها به ما کمک می‌کند. عیوبی که در کار یک ماشین ایجاد می‌شود منحنی طبیعی سیگنال ارتعاشی را تغییر می‌دهد. برای بررسی وسعت و پیشرفت عیب از آنالیزهای مختلفی منجمله آنالیز زمانی و آنالیز فرکانسی و نمایشهای زمان فرکانس می‌توان استفاده نمود. سیگنالهای زمانی گرفته شده از ارتعاش ماشین برخی از عیوب آنرا نشان می‌دهد اما با کاربرد تکنیک تبدیل فوریه و رسم طیف فرکانسی سیگنال می‌توان فرکانسهایی را که در آن دستگاه دچار عیب است تعیین نمود. نمایشهای زمان - فرکانس نیز ابزاری قوی تر جهت بررسی سیگنال بخصوص سیگنالهای گذرا می‌باشد چرا که طیف فرکانسی وابسته به زمان را نشان می‌دهد. در این پایان‌نامه به بررسی آنالیز زمانی و آنالیز فرکانسی پرداخته و توزیع ویگنر را بعنوان روشی برای آنالیز زمان - فرکانس سیگنال معرفی می‌کنیم و سپس روشی نیز جهت تعیین زمان خرابی ارائه می‌شود.

کلید واژه: ارتعاشات - سیگنال - نظارت بر کارکرد ماشین - پیشگویی عیب - طیف

فرکانسی - نمایش زمان، فرکانس - توزیع ویگنر

# فهرست مطالب

\*\*\*\*\*

صفحه

عنوان

## فصل اول - مقدمه

مقدمه: ..... ۲

## فصل دوم - آشنایی با سیگنالها

۱-۲- مقدمه: ..... ۷  
۲-۲- تقسیم‌بندی کلی سیگنالها: ..... ۷  
۳-۲- سیگنالهای اتفاقی و غیر اتفاقی، نوسانی و شبه‌نوسانی: ..... ۷  
۴-۲- سیگنالهای ناپایدار: ..... ۱۰  
۵-۲- سیگنالهای گذرا: ..... ۱۰

## فصل سوم - بررسی سیگنالها در حوزه زمان، حوزه فرکانس و حوزه مشترک زمان - فرکانس

۱-۳- مقدمه: ..... ۱۳  
۲-۳- آنالیز در حوزه زمان: ..... ۱۳  
۳-۳- آنالیز در حوزه فرکانس ..... ۱۵  
۱-۳-۳- نمایش مختلط: ..... ۱۵  
۲-۳-۳- آنالیز فوریه: ..... ۱۶  
۲-۳-۳- طبیعت سیگنال: ..... ۲۰  
۴-۳-۳- پالس‌های مستطیلی: ..... ۲۱  
۵-۳-۳- سیگنالهای واقعی و اثر شکل پالس روی طیف: ..... ۲۲  
۶-۳-۳- سری پالس اتفاقی: ..... ۲۴  
۷-۳-۳- مثالهایی برای رسم طیف فرکانسی توابع: ..... ۲۴



## عنوان

## صفحه

۳-۴- آنالیز در حوزه زمان - فرکانس:	۳۰
۳-۵- نمایش های زمان - فرکانس:	۳۱
۳-۶- نمایشهای زمان - فرکانس در حوزه انرژی:	۳۳
۳-۷- توزیع ویگنر:	۳۴
۳-۷-۱- خواص توزیع ویگنر:	۳۴
۳-۷-۲- توزیع ویگنر گسسته:	۳۷
۳-۷-۳- فیلتر کردن با استفاده از توزیع ویگنر:	۳۸
۳-۷-۴- سنتز سیگنال از توزیع ویگنر:	۳۹
۳-۷-۵- توزیع شبه ویگنر:	۴۳
۳-۷-۶- مثالهایی در مورد محاسبه توزیع ویگنر چند سیگنال:	۴۳
۳-۷-۷- محاسبه توزیع ویگنر در حوزه زمان گسسته:	۴۵
۳-۷-۸- بررسی عیوب یک دستگاه واقعی:	۶۲

## فصل چهارم - ارائه یک مدل جدید برای پیشگویی وضعیت ماشین و تعیین زمان خرابی

۴-۱- مقدمه:	۶۷
۴-۲- روش طراحی مدل پیشگویی عیب:	۶۷
۴-۳- برآورد دقت مدل:	۶۹
۴-۴- نمونه های آزمایش شده:	۷۰

## فصل پنجم - نتایج و پیشنهادات

۵-۱- نتایج:	۷۸
۵-۲- پیشنهادات:	۸۰
مراجع	۸۱

فصل اول

فصل اول

## مقدمه:

نگهداری و حفظ ماشین آلات و پیش‌بینی عیوب ایجاد شده در آنها، یکی از مهمترین امور در صنایع مختلف بوده و در کاهش هزینه‌ها و اقتصادی کردن کارخانه‌های صنعتی بسیار مهم است.

بر این اساس روشهای مختلفی جهت نگهداری و تعمیر<sup>(۱)</sup>، بررسی و ارائه شده است.

بطور کلی این روشها را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود که عبارتند از:

۱- تعمیرات پس از خرابی<sup>(۲)</sup>

۲- تعمیرات دوره‌ای<sup>(۳)</sup>

۳- تعمیرات پیش‌نگر<sup>(۴)</sup>

در روش اول ماشین بکار خود ادامه می‌دهد تا دچار عیب گشته و از کار بیفتد. در این صورت خط تولید متوقف شده و حتی ممکن است باعث خرابی قسمتهای دیگری از ماشین نیز بگردد. بعلاوه تعمیر قطعه آسیب دیده زمان برده و تولید را کاهش می‌دهد.

در روش دوم ماشین در فواصل زمانی معینی بازرسی می‌شود و در هر نوبت بازرسی قطعه تعمیر و یا تعویض می‌شود. در این روش نیز باز و بسته کردن قطعات خود باعث آسیب دستگاه می‌شود. همچنین ممکن است در بین دو فاصله زمانی بازرسی دستگاه دچار آسیب گردیده و از کار بیفتد و بطور کلی این شیوه نیز غیر اقتصادی است. [۱]

---

1- Maintenance

2- Run to Breakdown Maintenance

3- Periodic Maintenance

4- Predictive Maintenance

در روش سوم که روش نظارت بر کارکرد و تعیین وضعیت<sup>(۱)</sup> ماشین آلات است، با تحت کنترل گرفتن شرایط کاری ماشین، با جمع‌آوری و بررسی اطلاعات آنها امکان پیش‌بینی مشکلات و عیوب ایجاد شده و توسعه آنها را ممکن می‌سازد و می‌توان زمان خرابی و تعویض قطعات را مشخص نمود.

تکنیک‌های مختلفی در این زمینه وجود دارد که می‌توان به آنالیز روغن، آنالیز گرما و آنالیز ارتعاشی اشاره نمود. روش آنالیز روغن، همانند پزشکی است که با آزمایش خون بیمار خود به نوع عملکرد قسمت‌های مختلف بدن بیمار پی می‌برد و دستورات لازم را برای پیشگیری و درمان ارائه می‌دهد. در این روش مشخصه‌هایی همچون ویسکوزیته، مقدار اسید در روغن، وضعیت اکسیداسیون، نقطه اشتعال، نقطه ریزش، ذرات موجود در روغن و ... مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین از روشهایی مثل طیف‌بینی نشر اتمی، طیف‌بینی جذب اتمی و آزمونهای فیزیکی و شیمیایی برای آنالیز روغن استفاده می‌شود.

روش آنالیز گرما، از آنجا که هرگونه عیبی مثلاً خرابی یک یا تاقان موجب افزایش دما می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرمانگاری عبارت از بررسی وسایل با استفاده از تصاویر حاصل از توزیع گرما در آن اجسام می‌باشد. در این روش از تصویر بردار گرمایی استفاده می‌شود که نشر عادی تابش مادون قرمز از یک جسم گرم را نشان می‌دهد. [۱]

در روش آنالیز ارتعاشات، سیگنالهای ارتعاشی دستگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. توجه داریم که ارتعاش عموماً جزئی جدا نشدنی از یک ماشین است که در مکانیزمهای انتقال نیرو اجباراً ایجاد می‌شود. یک ماشین نو با طراحی خوب دارای حداقل دامنه ارتعاش است که اشکالی ایجاد نمی‌کند، اما با استهلاک ماشین، اجزاء آن سائیده شده و لقیهای آن زیاد می‌شود و در نتیجه دامنه ارتعاشی آن افزایش می‌یابد. بطور کلی افزایش دامنه ارتعاشی یک ماشین نشانه وجود عیب در آن است.

هنگامی که ماشین در شرایط مناسب کار می‌کند، دامنه ارتعاشی شاخص<sup>(۱)</sup> و طیف فرکانس مشخص<sup>(۲)</sup> دارد. در حقیقت طیف فرکانس، منحنی دامنه ارتعاش، در مقابل فرکانس است و با عنوان نشانه ارتعاشی ماشین شناخته می‌شود و با روش آنالیز فرکانسی سیگنال ارتعاشی بدست می‌آید.

هنگامی که عیب یا عیوبی در ماشین شدت پیدا می‌کند، نیروی بوجود آورنده ارتعاش نیز تغییر پیدا می‌کند، در نتیجه دامنه ارتعاش و شکل طیف فرکانسی آن نیز تغییر پیدا خواهد کرد. توجه داریم که سیگنال ارتعاشی ماشین حاوی اطلاعات زیادی از شرایط کاری آن است، بنابر این اندازه‌گیری منظم ارتعاشات و آنالیز آن راهی مناسب جهت تعیین روند کارکرد ماشین و پیدایش عیب در آن است.

اساس کار در آنالیز ارتعاشی، سیگنالهای ارتعاشی گرفته شده از ماشین است و شناخت آنها اهمیت دارد. در فصل دوم این پایان‌نامه به توضیح مختصری در مورد سیگنالها می‌پردازیم. سیگنالهای بدست آمده از ماشین نشاندهنده دامنه ارتعاشی برحسب زمان است و می‌توان با بررسی در حوزه زمان<sup>(۳)</sup> به بررسی وضعیت ماشین پرداخت. ولی روش مناسب‌تر برای تعیین وضعیت ماشین تبدیل به حوزه فرکانس<sup>(۴)</sup> و آنالیز فرکانسی سیگنال است که اطلاعات بیشتری را در اختیار ما می‌گذارد، همچنین استفاده از دانسیته طیفی انرژی<sup>(۵)</sup> در آنالیز سیگنال به ما کمک می‌کند. مطالعات مختلفی در این زمینه توسط محققان انجام شده است، مثلاً آقای آلفردسون و همکارش در مقاله‌ای [۲] به بررسی سیگنالهای شتاب در بیرینگهای غلتشی در ناحیه زمانی پرداخته و پارامترهایی مثل ممان‌های آماری و توزیع‌های چگالی آماری را جهت تعیین وضعیت آن تعیین نمودند. آنان در مقاله دیگری [۳] به بررسی عیوب بیرینگها در حوزه فرکانسی

1- Typical Level

2- Characteristic Frequency Spectrum

3- Time Domain

4-Frequency Domain

5- Power Spectral Density

پرداخته‌اند. آقای وانگ و همکارانش در مقاله‌ای [۴] تعیین وضعیت چرخ‌دنده را در شش روش ارائه نمودند. آقای بایلی و همکارش در مقاله‌ای [۵] روشی را که برای عیب‌یابی بیرینگهای غلشی، زمانی که داده‌ای ارتعاشی کمی وجود دارد ارائه ندارند. این مطالعات در حوزه زمان و یا فرکانس انجام شده است. همچنین شرکت‌هایی نیز اقدام به ساخت دستگاهی نموده که سیگنالهای ارتعاشی را گرفته و نمودار فرکانسی آنرا رسم می‌کند.

آنالیز در حوزه زمان دارای بعضی اطلاعات و در حوزه فرکانس دارای اطلاعات دیگری است، پس اگر بتوان سیگنال را در حوزه مشترک زمان - فرکانس<sup>(۱)</sup> بررسی نمود بسیار مناسب‌تر بوده و اطلاعات بیشتری رابه مامی دهد. در زمینه بررسی سیگنالها در حوزه مشترک زمان - فرکانس نیز مطالعاتی در مورد انتقال سیگنال زمانی به حوزه مشترک زمان - فرکانس انجام شده است.

آقای هاموند و همکارش در مقاله‌ای [۶] متدهای مختلف نمایش زمان - فرکانس را برای آنالیز سیگنالهای غیر پایدار ارائه داده و خواص آنها را با هم مقایسه نمودند. آقای کلاسن و همکارش در مقالاتی [۷-۸-۹] نمایش زمان - فرکانس ویگنر<sup>(۲)</sup> را به عنوان وسیله‌ای برای بررسی سیگنالها در حوزه مشترک زمان - فرکانس ارائه کردند.

در زمینه خواص این نمایشها مطالعات دیگری نیز انجام گردیده است. در فصل سوم این پایان‌نامه، به بررسی سیگنالها جهت عیب‌یابی در حوزه زمان، حوزه فرکانس و حوزه مشترک زمان - فرکانس ویگنر پرداخته و مثالهایی را ارائه کرده و سپس کاربرد آن را برای یک نمونه واقعی مطرح می‌کنیم.

از آنجا که در کنار عیب‌یابی یک دستگاه تعیین زمان خرابی آن نیز مهم است. در فصل چهارم به ارائه یک مدل جدید روندگیری<sup>(۳)</sup> برای تعیین وضعیت ماشین و تعیین زمان خرابی

1- Time-Frequency Domain

2- Wigner distribution

3- Trend

اجزاء آن می‌پردازیم و کاربرد عملی این روش را نشان می‌دهیم.

در فصل پنجم نتایج بدست آمده از این پایان‌نامه ارائه شده و راه‌کارهای مناسب جهت

ادامه کار پیشنهاد می‌گردد.