بسم الله الرحمن الرحيم

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی. دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسآن‌ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده 1- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آن‌ها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده 2- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده 3- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده 4- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده 5- این آیین‌نامه در 5 ماده و یک تبصره در تاریخ 87/4/1 در شورای پژوهشی و در تاریخ 87/4/23 در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ 87/7/15 شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **احمد تقی‌زاده علی‌سرایی** دانشجوی رشته **مکانیک ماشین‌های کشاورزی** ورودی سال تحصیلی 1386 مقطع **دکتری** دانشکده **کشاورزی** متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آیین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله براساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم».

امضا

تاریخ

آئین‌نامه پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (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 می‌شوند:

ماده 1 : در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را در گذشته به‌طور کتبی به دفتر "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اطلاع دهد.

ماده 2 : در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

" کتاب حاضر، حاصل پایان نامه **دکتری** نگارنده در رشته **مکانیک ماشین‌های کشاورزی** است که در سال 1390 در دانشکده **کشاورزی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر برات قبادیان** و جناب آقای **دکتر تیمور توکلی** و مشاوره جناب آقای **دکتر سید سعید محتسبی** از آن دفاع شده است.

ماده 3 : به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اهداء کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده 4 : در صورت عدم رعایت ماده 3، 50% بهای شمارگان چاپ شده را به‌عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده 5 : دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت‌های بهای خسارت، دانشگاه مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده 4 را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده 6 : اینجانب **احمد تقی‌زاده علی‌سرایی** دانشجوی رشته **مکانیک ماشین‌های کشاورزی** مقطع **دکتری** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: احمد تقی‌زاده علی‌سرایی

تاریخ و امضا

دانشکده کشاورزی

گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی

رساله دکتری

عنوان:

بررسی پارامتری سیگنال ارتعاشات تراکتور MF 399 با استفاده از سوخت‌های دیزل و بیودیزل

نگارش

احمد تقی‌زاده علی‌سرایی

اساتید راهنما

دکتر برات قبادیان

دکتر تیمور توکلی

استاد مشاور

دکتر سید سعید محتسبی

زمستان 1390

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای احمد تقی‌زاده علی‌سرایی رساله ۱۸ واحدی خود را با عنوان: "بررسی پارامتری سیگنال ارتعاشات تراکتور MF 399 با استفاده از سوخت‌های دیزل و بیودیزل" در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۱۶ ارائه کردند.
اعضای هیأت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اصلی	دکتر برات قبادیان	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر تیمور توکلی هشجین	استاد	
۳- استاد مشاور اول	دکتر سید سعید محتسبی	استاد	
۴- استاد ناظر	دکتر سعید مینایی	دانشیار	
۵- استاد ناظر	دکتر احمد بناکار	استادیار	
۶- استاد ناظر	دکتر سید رضا حسن‌بیگی بیدگلی	دانشیار	
۷- استاد ناظر	دکتر حجت احمدی	دانشیار	
۸- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر غلامحسین نجفی	استادیار	

تقدیم به

پدر، مادر، همسر

و

همه خوانندگان این رساله

تشکر و قدردانی

از زحمات و راهنمایی‌های بی دریغ اساتید گرانقدرم جناب آقایان دکتر برات قبادیان و دکتر تیمور توکلی که در مقام استاد راهنما هدایت این تحقیق را تا پایان بر عهده داشتند، سپاسگزاری نمایم.

همچنین لازم میدانم از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر سید سعید محتسبی که از الطاف و رهنمودهای بی‌دریغ ایشان در مقام استاد مشاور بهره‌امند گردیده‌ام، سپاسگزاری کنم.

از اساتید ناظر داخلی جناب آقایان دکتر مینایی و دکتر بناکار و اساتید ناظر خارجی جناب آقایان دکتر حسن‌بیگی بیدگلی و دکتر احمدی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از تمامی اساتید گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، آقایان دکترمینایی، دکتر خوش‌تقاضا، دکتر نجفی و دکتر به ناکار و همچنین کارشناسان گروه، آقای مهندس رضایی‌کیا که در طول دوره تحصیل در دانشگاه تربیت مدرس از کمک‌های ایشان بهره‌مند بوده‌ام کمال تشکر را دارم.

از همکاران و دوستان عزیزم در دانشگاه گرگان آقایان دکتر رضایی اصل، دکتر آزادبخت و دکتر اسماعیل‌زاده قدردانی می‌نمایم

همچنین از دوستان عزیزم در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس آقایان قناعت‌پرست، عزیزی‌شترخفت، نوری، مختصی، کاظمی، میرمحمدی، حسینی، پورمحمدی، دلاور، صابرعلی، رضایی، کریمی، مهدویان، احمدیان و ... و خانم‌ها، عسگری، نعمتی‌زاده، حیدری و ... که به طریقی در پیشبرد پژوهش‌های علمی این رساله نقش داشتند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از خانواده عزیزم که با محبت‌هایشان همواره پشتیبان و مشوق من بوده و هستند سپاسگزاری می‌کنم.

چکیده

بیودیزل سوختی است که از روغن‌های گیاهی و بافت‌های چربی تولید می‌شود. این سوخت با نسبت‌های مختلفی با سوخت دیزل مخلوط شده و در موتورهای درونسوز استفاده می‌گردد. معمولا نوع سوخت عامل مهمی است که می‌تواند باعث ایجاد ارتعاش و کوبش در موتور باشد. این ارتعاش و کوبش می‌تواند از یک طرف باعث خرابی و افزایش هزینه نگهداری موتور گردیده و از طرف دیگر باعث به وجود آوردن احساس ناراحتی در کاربر شود. در حال حاضر، تحقیقات اندکی در خصوص ارتعاشات بیودیزل و مخلوط‌های آن در دنیا ارائه شده است. به همین منظور، در این تحقیق ارتعاشات حاصل از مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل با دیزل در موتور چهار زمانه دیزلی پرکینز 6-1006، قبل و بعد از سرویس موتور بررسی گردید. ارتعاشات در سه نقطه موتور، سکوی قرارگیری پای راننده و صندلی و همچنین در 8 دور موتور 800، 1000، 1200، 1400، 1600، 1800، 2000 و 2200rpm، اندازه‌گیری شد. برای تحلیل ارتعاشات موتور از روش‌های آماری، روش‌های غیرپارامتری مانند: "تحلیل حوزه فرکانسی، تحلیل زمان- فرکانس"، روش‌های پارامتری مانند: "تحلیل سری‌های زمانی و شناسایی سیستم" و همچنین تحلیل شبکه عصبی استفاده شد.

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که ارتعاش در دور 2000rpm بیشترین مقدار و در حدود m/s^2 13/17 است. نتایج نشان داد بعد از سرویس موتور، اندازه میانگین ارتعاش به مقدار 12% کاهش می‌یابد. مخلوط سوخت به طور معنی‌داری بر مقدار ارتعاش در سطح احتمال 5% تاثیر داشت. همچنین ثابت شد که موتور دیزل با مخلوط‌های سوخت B20 و B40 کم‌ترین مقدار ارتعاش را دارد که مقادیر میانگین کل آن به ترتیب 45/02 و m/s^2 46/02 بود. بیشترین ارتعاش موتور نیز در مخلوط‌های سوخت B15 و B30 مشاهده شد. همچنین کوبش و وجود عیب در موتور نیز مورد بررسی قرار گرفت.

در تحلیل زمان- فرکانس، نتایج نشان داد که دو روش STFT و MSC مناسب‌ترین روش برای تشخیص کوبش و شناسایی عیوب موتور بودند. در کل، روش MSC مناسب‌ترین روش برای تشخیص کوبش و شناسایی عیوب در سوپاپ‌ها و پاشش انژکتورها بود اما زمان طولانی‌تری را برای محاسبه نیاز داشت.

در روش سری‌های زمانی، ابتدا پارامترهای مدل‌های سری زمانی تخمین زده شدند. سپس، پیش‌بینی‌ها برای سیگنال‌های موتور انجام گرفت. برای تحلیل سری‌های زمانی با مدل ARMAX، در سیلندرهای با عملکرد ایده‌آل، پارامترهای $\overline{AR}$ دارای پایین‌ترین مقدار یعنی 0/04 و 0/12 به ترتیب برای سیلندرهای 5 و 4 بودند. با توجه به نوساناتی که در پارامترهای AR و MA وجود داشت، از معیارهایی مانند *AIC*، *LF* و *FPE* نیز برای شناسایی شرایط موتور استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که برای احتراق در یک سیلندر، هرچه تعداد پیک‌ها و نوسانات ارتعاش در سیگنال ارتعاش بدنه سیلندر (متعاقب آن تغییرات فشار داخل سیلندر) بالا رود، مقادیر میانگین چهار پارامتر *AR*، *MA*، *AIC* و *FPE* افزایش می‌یابد. در کل مقادیر *AIC* و *FPE* برای شناسایی یک سیستم و در آشکارسازی عیوب و کوبش موتور بسیار قابل‌اعتماد بودند. با استفاده از این روش، مدل ARMAX قادر بود سیگنال را تا 80 درصد درست پیش‌بینی کند. نتیجه‌گیری شد که با استفاده از روش‌های پارامتری تحلیل سیگنال و پیش‌بینی شرایط آینده احتراق موتور، می‌توان از بسیاری از پدیده‌ها مانند کوبش قبل از

وقوع آن جلوگیری نمود. در سیستم‌های کنترل کنونی عملکرد موتور، از روش زمان- حقیقی (Real-Time) استفاده می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت، اگر بتوان شرایط موتور را زودتر از زمان کنونی حدس زد، روش ذکر شده به مراتب نسبت به روش زمان- حقیقی برتری دارد.

برای مدل‌سازی ارتعاشات، از شبکه عصبی مصنوعی نیز استفاده شد. زیرا روش‌های شبکه عصبی نسبت به بسیاری از روش‌های معمولی آماری و قطعی مزایای بیشتری دارند. با استفاده از شبکه‌های عصبی، نتایج نشان داد که بهترین توپولوژی برای پیش‌بینی RMS شتاب، شبکه عصبی با ساختار 1-30-4-30، با الگوریتم آموزش trainlm و توابع آستانه logsig، tansig و pureline می‌باشد. مشاهده شد که بین مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب و نتایج شبکه عصبی تطابق زیادی وجود دارد و میزان خطا در اکثر الگوها به طور تقریبی نزدیک به صفر است. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه عصبی با نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها نشان داد که شبکه‌های عصبی ابزار قدرتمندی برای شبیه‌سازی ارتعاش در موتور هستند.

با مقایسه مقادیر WRMS با جدول استاندارد ISO مشاهده گردید که ارتعاش در محدوده ناراحت‌کننده و تا حدودی خیلی ناراحت‌کننده قرار دارد. مدت زمان مجاز رانندگی (T_a) هم نباید برای دنده سه از 1/94، 1/07 و 0/4 (24 دقیقه) ساعت به ترتیب برای دورهای 1200، 1400 و 1800rpm تجاوز کند. در این صورت توصیه می‌شود که برای حمل و نقل در جاده روستایی از دنده‌ها (دنده 2) و دورهای پایین‌تر (1400rpm) تراکتور استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: موتور، ارتعاش، کوبش، تحلیل زمان- فرکانس، سری زمانی، احتراق، استاندارد ISO.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ
فهرست جدول‌ها ..... ح
فهرست شکل‌ها ..... د
فهرست علائم و اختصارات ..... ط

فصل اول: کلیات

1-1 مقدمه 2
2-1 تعریف مسئله 2
3-1 اهداف تحقیق 4

فصل دوم: تئوری‌های اساسی و پیشینه تحقیق

2-1 ضرورت اندازه‌گیری ارتعاشات در ماشین‌ها 6
2-2 سوخت بیودیزل 6
2-3 مبدل‌های پیزوالکتریک برای اندازه‌گیری ارتعاش 7
2-4 اندازه‌گیری ارتعاش 7
2-5 مفاهیم اساسی در ارتعاشات 9
2-5-1 فرایند تصادفی گوس 9
2-5-2 جذر میانگین مربعات (RMS) شتاب 9
2-5-3 تحلیل سیگنال 10
2-5-4 تبدیل فوریه سریع (FFT) 11
2-6 مدل‌های تحلیل ارتعاش 11
2-6-1 روش غیرپارامتری 11
2-6-1-1 تحلیل‌های فرکانسی و زمان- فرکانس برای بررسی احتراق و کوبش 13
2-6-1-1-1 تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT) 13
2-6-1-1-2 توزیع ویگنر-ویل (WVD) 15
2-6-1-1-3 توزیع چوی-ویلیامز (CWD) 15
2-6-1-1-4 توزیع ژائو-اطلس-مارکز (ZAMD) 16
2-6-1-1-5 توزیع مقیاس‌شده مورلت 17
2-6-2 روش پارامتری 18

2-6-2-1 تحلیل در حوزه زمان 20
2-6-2-2 فرایند اتورگرسیو (AR) 21
2-6-2-3 فرایند میانگین متحرک (MA) 21
2-6-2-4 فرایند میانگین متحرک اتورگرسیو (ARMA) 22
2-6-2-5 فرایند میانگین متحرک اتورگرسیو با در نظر گرفتن سیگنال ورودی(ARMAX) 23
2-6-2-6 مدل اتورگرسیو تعمیم‌یافته با پراکنش ناهمگن (GARCH) 24
2-6-2-7 تخمین پارامترهای مدل‌های مختلف 28
2-6-2-8 تخمین حداکثر درست‌نمایی (MLE) 28
2-6-2-8-1 تابع حداکثر درست‌نمایی برای مدل AR (p,q) 28
2-6-2-8-2 تابع حداکثر درست‌نمایی برای مدل MA(p,q) 30
2-6-2-8-3 تابع حداکثر درست‌نمایی برای مدل ARMA(p,q) 30
2-6-2-9 روش تخمین حداقل مربعات 31
2-7 مقایسه ارتعاشات صندلی با استاندارد ISO 34
2-7-1 تشریح برخی مفاهیم و اصطلاحات 34
2-7-1-1 اکتاو 34
2-7-1-2 ریشه میانگین مربعات وزن‌دار 35
2-7-1-2 مقدار تجمع ارتعاش (VDV) 36
2-8 مرور و نقد تحقیقات گذشته 37
2-8-1 تحقیقات انجام گرفته بر روی موتور 37
2-8-2 تحقیقات انجام گرفته بر روی صندلی و در رابطه با سلامتی کاربر 40
2-9 جمع‌بندی 42

فصل سوم: مواد و روش‌ها

3-1 مواد و تجهیزات 44
3-1-1 تراکتور MF 399 44
3-1-2 موتور 45
3-1-3 صندلی تراکتور 45
3-1-4 سوخت بیودیزل 47
3-1-5 انکودر 47
3-1-6 شتاب‌سنج‌هایCTC 48
3-1-7 جعبه تبدیل 51
3-1-8 مبدل آنالوگ به دیجیتال (A/D) 52
3-2 اتصال قسمت‌های مختلف برای داده‌گیری 54

3-3 کامپیوتر و نرم‌افزار 55
4-3 بررسی آماری داده‌ها و نتایج بدست‌آمده 57
5-3 نحوه اتصال شتاب‌سنج‌ها 58
6-3 محل اتصال شتاب‌سنج‌ها 59
7-3 شرایط و محل انجام آزمایش‌ها 60
8-3 داده‌گیری 61
9-3 روش تحلیل 63
1-9-3 دینامیک موتور 63
1-1-9-3 نیروهای نامیزانی ناشی از اینرسی قسمت‌های متحرک 65
1-1-1-9-3 شتاب پیستون 65
2-1-1-9-3 شتاب پین لنگ 67
3-1-1-9-3 نیروهای اینرسی 67
2-9-3 فواصل و ترتیب احتراق 69
3-9-3 زمان‌بندی سوپاپ‌ها و پاشش سوخت 69
4-9-3 کوبش موتور 71
5-9-3 تحلیل غیرپارامتری ارتعاشات 72
1-5-9-3 تخمین چگالی طیفی توانی (PSD) 72
2-5-9-3 تحلیل زمان- فرکانس 73
6-9-3 تحلیل پارامتری ارتعاشات 74
7-9-3 مقایسه ارتعاشات با استانداردهای ISO 74
1-7-9-3 وزن دادن RMS شتاب باند 1/3 اکتاو 75
2-7-9-3 وزن‌دادن داده‌های سیگنال حوزه زمانی برای بدست آوردن سیگنال شتاب وزن‌دار فرکانسی 76
1-2-7-9-3 تبدیل دوسویه (Z) 77
2-2-7-9-3 اعمال فیلترهای دیجیتال IIR و FIR 79

فصل چهارم: نتایج و بحث

1-4 بررسی احتراق و رابطه آن با ارتعاش در موتور 82
2-4 بررسی کوبش 86
1-2-4 اثرات نامطلوب کوبش 87
3-4 تحلیل حوزه زمانی، فرکانسی و زمان- فرکانس(غیر پارامتری) 88
1-3-4 تحلیل حوزه زمانی 88
2-3-4 تحلیل حوزه فرکانس 90

4-3-2-1 روش چگالی طیفی توانی (PSD) 92
4-3-2-2 تحلیل حوزه فرکانس باند باریک 94
4-3-3 تحلیل زمان- فرکانس 100
4-4 تحلیل سری‌های زمانی (روش پارامتری) 113
4-4-1 فرآیندهای پیش از تخمین 113
4-4-2 تعیین درجه مدل ARMA/GARCH 114
4-4-3 شناسایی شرایط موتور در حالت بی باری با مدل‌های ARMAX(p,q) 117
4-4-3-1 محاسبه پارامترها و تحلیل برای هرسیلندر 117
4-4-3-2 تحلیل مدل با تغییر دور موتور 121
4-4-3-3 معیارهای *AIC* و *FPE* در تحلیل شرایط موتور 122
4-4-3-4 محاسبه پارامترها برای یک چرخه کاری موتور 127
4-4-3-5-6 تحلیل‌های پارامتری برای موتور تحت بار 130
4-4-3-6-6 پیش‌بینی با استفاده از مدل‌ها 133
4-4-3-6-6-1 پیش‌بینی برای حالت بدون بار 133
4-4-3-6-6-2 پیش‌بینی برای حالت تحت بار 139
4-4-6-4 کاربرد روش پارامتری تشریح شده 140
4-7 تجزیه و تحلیل آماری و شبکه عصبی 142
4-7-1 تجزیه و تحلیل آماری 142
4-7-1-1 اثر دور موتور بر اندازهٔ ارتعاش 142
4-7-1-2 مقایسه ارتعاش قبل و بعد از سرویس موتور 150
4-7-1-3 اثر مخلوط سوخت بر اندازه ارتعاش 151
4-7-2 تحلیل شبکه عصبی 153
4-7-2-1 مدل‌سازی ارتعاشات با استفاده از شبکه عصبی 155
4-7-2-2 نتایج پیش‌بینی جذر میانگین مربعات شتاب با استفاده از شبکه عصبی 156
4-7-3 مقایسه نتایج شبیه‌سازی حاصل از شبکه عصبی و داده‌های آزمایش 158
4-8 اثرات ارتعاش بر کاربر 160
4-8-1 ارتعاش انتقالی از موتور به صندلی 160
4-8-1-1 وضعیت ایستگاهی 160
4-8-1-2 وضعیت حمل و نقل 162
4-8-2 مقایسه نتایج با استانداردهای ISO 2631-1 و ISO 2631-5 169

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

5-1 نتیجه‌گیری 176

2-5 پیشنهادها 178
فهرست منابع 180
پیوست‌ها 186
پیوست الف 187
پیوست ب 188
پیوست پ 191

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول 2- 1: حد ناراحتی کاربر بر اساس مقدار کل ارتعاش طبق استاندارد ISO 2631..... 35

جدول 3- 1: مشخصات فنی تراکتور MF 399 تک دیفرانسیل..... 44
جدول 3- 2: مشخصات مبدل Advantech, USB-4711A..... 53
جدول 3- 3: ماتریس آزمایش‌ها برای هر مکان..... 60
جدول 3- 4: فیلترهای وزنی برای ISO 2631 ایجاد شده با سری‌کردن روابط (3-35 تا 3-38)..... 77
جدول 3- 5: مقادیر عدد مورد استفاده برای روابط (3-35 تا 3-38)، $w = 2p\ f$..... 77
جدول 3- 6: ضرایب a_0، a_1، a_2 و b_0، b_1، b_2 مورد استفاده برای فیلتر IIR..... 79

جدول 4- 1: فرکانس‌های غالب برای تمام دورهای موتور..... 100
جدول 4- 2: تجزیه واریانس RMS شتاب بر اساس دور موتور و نوع سوخت در سه راستای عمودی، جانبی و طولی (سطح احتمال5%)..... 143
جدول 4- 3: مقایسه میانگین‌های شتاب (m/s^2) در دورها و سوخت‌های مختلف در راستای عمودی به روش دانکن قبل از سرویس موتور (سطح احتمال5%)..... 144
جدول 4- 4: مقایسه میانگین‌های شتاب (m/s^2) در دورها و سوخت‌های مختلف در راستای جانبی به روش دانکن قبل از سرویس موتور (سطح احتمال5%)..... 144
جدول 4- 5: مقایسه میانگین های شتاب (m/s^2) در دورها و سوخت‌های مختلف در راستای طولی به روش دانکن قبل از سرویس موتور (سطح احتمال5%)..... 145
جدول 4- 6: مقایسه میانگین های شتاب (m/s^2) در دورها و سوخت‌های مختلف در راستای عمودی به روش دانکن بعد از سرویس تراکتور (سطح احتمال5%)..... 146
جدول 4- 7: تجزیه واریانس برآیند شتاب بر اساس دور موتور و نوع سوخت (سطح احتمال5%)..147
جدول 4- 8: مقایسه میانگین های برآیند شتاب (m/s^2) در دورها و سوخت‌های مختلف به روش دانکن قبل از سرویس موتور (سطح احتمال5%)..... 148
جدول 4- 9: مقایسه میانگین های برآیند شتاب (m/s^2) در دورها و سوخت‌های مختلف به روش دانکن بعد از سرویس موتور (سطح احتمال5%)..... 149
جدول 4- 10: محدوده و سطوح در نظر گرفته شده برای متغیرهای مستقل..... 155
جدول 4- 11: ساختارهای مختلف شبکه عصبی و مقایسه آن ها برای تعیین بهترین عملکرد شبکه..... 157
جدول 4- 12: پیک‌های فرکانسی شتاب باند 1/3 اکتاو بر روی سکوی قرارگیری پا در حالت ایستگاهی..... 162

جدول 4- 13: پارامترهای محاسبه شده موجود در استاندارد ISO 2631-1,5 برای وضعیت ایستگاهی. 173
جدول 4- 14: پارامترهای محاسبه شده موجود در استاندارد ISO 2631-1,5 برای وضعیت حمل و نقل. 174

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 2- 1: مبدل پیزوالکتریک (Moheimani and Fleming, 2006)، 8
شکل 2- 2: منحنی پاسخ به ارتعاش یک شتاب‌سنج پیزوالکتریک (Moheimani and Fleming, 2006)، 9
شکل 2- 3: یک سیستم دینـامیکی بـا ورودی $u(t)$ خروجـی $y(t)$، و اغتشـاش$v(t)$ (Soderstrom and Stoica, 1989)، 19
شکل 2- 4: شماتیک فلوچارت شناسایی سیستم (Soderstrom and Stoica, 1989)، 20
شکل 2- 5: دیاگرام جعبه‌ای مدل ARMAX (Soderstrom and Stoica, 1989)، 24
شکل 2- 6: فلوچارت سیستم پیشنهادی برای مدل پیش‌بینـی ARMA/GARCH (Pham and Yang, 2010)، 27

شکل 3- 1: تراکتور تحت آزمایش MF 399 موجود در کارگاه موتور و تراکتور دانشگاه تربیت مـدرس، 44
شکل 3- 2: شبیه‌سازی صندلی به صورت جرم، فنر و میراکننده (Rao, 1995)، 45
شکل 3- 3: انکودر مورد استفاده برای اندازه‌گیری دور موتور و سنجش زاویه میل‌لنگ، 48
شکل 3- 4: شتاب‌سنج‌های مورد استفاده در تحقیق با مشخصات AC102-1A، 48
شکل 3- 5: مشخصات ابعادی و ظاهری شتاب‌سنج AC102-1A، 49
شکل 3- 6: شماتیک مدار واسط شتاب‌سنج، 50
شکل 3- 7: مدار واسط برای راه‌اندازی شتاب‌سنج، 50
شکل 3- 8: نمودار پاسخ فرکانسی و طریقه اتصال شتاب‌سنج، 51
شکل 3- 9: جعبه تبدیل برای تغذیه انکودر و شتاب‌سنج‌ها و خروجی برای کامپیوتر، 51
شکل 3- 10: مبدل Advantech, USB-4711A، 52
شکل 3- 11: پنجره مربوط به تنظیمات Advantech, USB-4711A، 53
شکل 3- 12: کل سیستم آماده شده برای اندازه‌گیری ارتعاش موتور، 55
شکل 3- 13: برنامه Labview برای داده‌گیری و نمایش سیگنال (Front Panel)، 56
شکل 3- 14: زیربرنامه Labview برای برنامه نویسی اصلی (Block Diagram)، 56
شکل 3- 15: مکعب آهنی برای اتصال شتاب‌سنج‌ها توسط پیچ، 58
شکل 3- 16: نحوه اتصال شتاب‌سنج در قسمت جلوی موتور، 59
شکل 3- 17: محل اتصال شتاب‌سنج‌ها بر روی تراکتور MF399، 59
شکل 3- 18: فلوچارت مورد استفاده برای استخراج سیگنال در آزمایش‌ها، 61
شکل 3- 19: تجهیزات اندازه‌گیری برای داده‌گیری اصلی، 62

شکل 3- 20: سوخت اصلی و سوخت برگشتی مورد آزمایش..... 63
شکل 3- 21: شماتیک هندسی میل‌لنگ..... 64
شکل 3- 22: شماتیک کارکرد میل‌لنگ..... 66
شکل 3- 23: سه طبقه از تحریک‌های دینامیکی موتور..... 68
شکل 3- 24: دیاگرام زمان‌بندی عملکرد موتور چهار زمانه..... 70
شکل 3- 25: نمودار حلزونی زمان‌های کاری موتور و باز و بسته‌شدن سوپاپ‌ها (Goering *et al*, 2004)..... 71
شکل 3- 26: نمودار فشار داخل سیلندر (Goering *et al*., 2004)..... 72
شکل 3- 27: مکان‌های استاندارد اندازه‌گیری ارتعاش برای سه وضعیت ایستاده، نشسته و خوابیده..... 74
شکل 3- 28: فلوچارت مراحل اندازه‌گیری و روش تحلیل ارتعاش طبق استاندارد ISO 2631..... 75

شکل 4- 1: نمودار شتاب–زمان برحسب زاویه میل لنگ برای موتور تک سیلندر Daedowng برای سوخت B20، بدون بار و در دور 2200 rpm..... 83
شکل 4- 2: نمودار شتاب-زمان برحسب زاویه میل‌لنگ برای موتور شش سیلندر تراکتور MF399 برای سوخت B20، بدون بار و در دور 1600rpm..... 84
شکل 4- 3: نمودار شتاب-زمان برحسب زاویه میل‌لنگ برای موتور شش سیلندر تراکتور MF399 برای سوخت B20، تحت بار و در دور 1600rpm..... 85
شکل 4- 4: نمودار ارتعاش تطبیق یافته با فشار داخل سیلندر شماره 5 موتور تراکتور MF399..... 86
شکل 4- 5: نمودار ارتعاش تطبیق یافته با فشار داخل سیلندر شماره 4 موتور تراکتور MF399..... 88
شکل 4- 6- سیگنال حوزه زمانی برای مخلوط سوخت B20 در دورهای 800، 1000، 1200 و 1400rpm در راستای محور عمودی..... 89
شکل 4- 7- سیگنال حوزه زمانی برای مخلوط سوخت B20 در دورهای 1600، 1800، 2000 و 2200rpm در راستای محور عمودی..... 90
شکل 4- 8: سیگنال درحوزه فرکانسی برای مخلوط سوخت B20 در دورهای 800، 1000، 1200 و 1400rpm در راستای محور عمودی..... 91
شکل 4- 9: سیگنال در حوزه فرکانسی برای مخلوط سوخت B20 در دورهای 1600، 1800، 2000 و 2200rpm در راستای محور عمودی..... 91
شکل 4- 10: پریودوگرام بدست آمده با استفاده از روش ولچ برای سوخت B20 در چهار دور 1400، 1600، 1800 و 2000 rpm و موتور بدون‌بار..... 92
شکل 4- 11: پریودوگرام بدست آمده با استفاده از روش ولچ برای سوخت B20 در چهار دور 1400، 1600، 1800 و 2000 rpm و موتور تحت‌بار..... 93

شکل 4- 12: طیف توانی ارتعاش در دور 800rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور شش سیلندر..... 94
شکل 4- 13: طیف توانی ارتعاش در دور 1000rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور شش سیلندر..... 95
شکل 4- 14: طیف توانی ارتعاش در دور 1200rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور شش سیلندر..... 95
شکل 4- 15: طیف توانی ارتعاش در دور 1400rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور شش سیلندر..... 96
شکل 4- 16: طیف توانی ارتعاش در دور 1600rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور شش سیلندر..... 96
شکل 4- 17: طیف توانی ارتعاش در دور 1800rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور شش سیلندر..... 97
شکل 4- 18: طیف توانی ارتعاش در دور 2000rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور شش سیلندر..... 97
شکل 4- 19: طیف توانی ارتعاش در دور 2200rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور شش سیلندر..... 98
شکل 4- 20: طیف توانی ارتعاش در دور 2200rpm برای سوخت B20 در حالت بی‌بار موتور تک سیلندر..... 99
شکل 4- 21: نمودارتحلیل STFT برای احتراق ایده‌آل موتور..... 101
شکل 4- 22: نمودارتحلیل MSC برای احتراق ایده‌آل موتور..... 101
شکل 4- 23: نمودارتحلیل STFT برای موتور تک سیلندر در دور 1000 rpm..... 102
شکل 4- 24: نمودارتحلیل MSC برای موتور تک سیلندر در دور 1000 rpm..... 103
شکل 4- 25: نمودارتحلیل STFT برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت بدون بار. 104
شکل 4- 26: نمودارتحلیل MSC برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت بدون بار.. 105
شکل 4- 27: نمودارسه بعدی تحلیل STFT برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت بدون بار..... 107
شکل 4- 28: نمودارسه بعدی تحلیل STFT برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت تحت بار..... 108
شکل 4- 29: نمودارسه بعدی تحلیل MSC برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت تحت بار..... 108
شکل 4- 30: نمودار تحلیل STFT برای عملکرد هر سیلندر موتور در دور 1400 rpm در حالت تحت بار..... 109

شکل 4- 31: نمودارسه بعدی تحلیل CWD برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت تحت بار. 110
شکل 4- 32: نمودارسه بعدی تحلیل WVD برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت تحت بار. 110
شکل 4- 33: نمودارسه بعدی تحلیل ZAMD برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت تحت‌بار. 111
شکل 4- 34: نمودارسه بعدی تحلیل MSC برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت تحت بار (سوخت B40). 112
شکل 4- 35: نمودارسه بعدی تحلیل MSC برای موتور شش سیلندر در دور 1400 rpm در حالت تحت بار(سوخت B100). 112
شکل 4- 36: الف- سیگنال اصلی در سیلندر 1، ب- سیگنال دیفرانسیل مرتبه اول، ج- سیگنال دیفرانسیل مرتبه دوم، د- سیگنال دیفرانسیل مرتبه سوم. 114
شکل 4- 37: نمودار میله‌ای ضرایب خودهمبستگی (ACF) سیگنال ارتعاش در شکل 4-36. 115
شکل 4- 38: نمودار میله‌ای ضرایب خودهمبستگی (PACF) سیگنال ارتعاش در شکل 4-36. 116
شکل 4- 39: نمودار میله‌ای ضرایب خودهمبستگی (ACF) سیگنال ارتعاش در سیلندر 4. 116
شکل 4- 40: نمودار میله‌ای ضرایب خودهمبستگی جزئی (PACF) سیگنال ارتعاش در سیلندر 4. 117
شکل 4- 41: مقادیر پارامترهای محاسبه شده مدل ARMAX(5,5) برای سیگنال های ارتعاش هر سیلندر در حالت بی‌باری موتور، سوخت B20، و دور 800 rpm. 118
شکل 4- 42: مقادیر میانگین پارامترهای AR برای مدل ARMAX(1,1) در دورهای مختلف موتور. 119
شکل 4- 43: مقادیر میانگین پارامترهای MA برای مدل ARMAX(1,1) در دورهای مختلف موتور. 119
شکل 4- 44: مقادیر میانگین پارامترهای AR برای مدل ARMAX(2,2) در دورهای مختلف موتور. 120
شکل 4- 45: مقادیر میانگین پارامترهای MA برای مدل ARMAX(2,2) در دورهای مختلف موتور. 120
شکل 4- 46: مقادیر میانگین پارامترهای AR برای مدل ARMAX(5,5) در دورهای مختلف موتور. 120
شکل 4- 47: مقادیر میانگین پارامترهای MA برای مدل ARMAX(5,5) در دورهای مختلف موتور. 121
شکل 4- 48: مقادیر میانگین پارامترهای AR برای مدل ARMAX(6,6) در دورهای مختلف موتور. 121
شکل 4- 49: مقادیر میانگین پارامترهای MA برای مدل ARMAX(6,6) در دورهای مختلف موتور. 121