بسم الله الرحمن الرحيم

## تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب سلیمان آق ارکاکلی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۳۳۴۱۳۱۰۳ که در تاریخ ۹۲/۷/۲۸ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان طراحی و تحلیل بالانسر و بررسی اثر آن در ارتعاش موتور تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانت‌داری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.
۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضا

تاریخ

دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی

گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

**پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد**
**در رشته‌ی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی**

# عنوان:

# طراحی و تحلیل بالانسر و بررسی اثر آن در ارتعاش موتور تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵

**استاد راهنما:**
**دکتر غلامحسین شاهقلی**

**استاد مشاور:**
**دکتر حجت احمدی**

**پژوهشگر:**

**سلیمان آق ارکاکلی**

**پاییز ۹۲**

دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی

گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

**پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد**

**در رشته‌ی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی**

# عنوان:

# طراحی و تحلیل بالانسر و بررسی اثر آن در ارتعاش موتور تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵

**پژوهشگر:**

**سلیمان آق ارکاکلی**

**ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی .....**

| نام و نام خانوادگی | مرتبه‌ی علمی | سمت | امضاء |
|---|---|---|---|
| غلامحسین شاهقلی | استادیار | استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران | |
| حجت احمدی | دانشیار | استاد مشاور | |
| بهمن نجفی | دانشیار | داور | |
| ترحم مصری گندشمین | استادیار | داور | |

تقدیم به مهربان فرشتگانی که:

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

تقدیم به خانواده عزیزم.

# سپاسگزاری

پس از حمد و سپاس پروردگار بر خود لازم می دانم از تمامی عزیزانی که در به ثمر رساندن این پایان نامه با حمایت های علمی و معنوی خود اینجانب را یاری داده اند، تشکر نمایم.

در ابتدا قدردان اولین آموزگاران زندگی ام، پدر، مادر و سایر اعضای خانواده ی عزیزم هستم که با حمایت های بی دریغ و همه جانبه ی خود در پشت سر گذاشتن این مسیر باعث دلگرمی بنده بودند و تمام توفیقم را مدیون دعای خیر ایشان می باشم و همواره ممنون همدلی ها و محبت هایشان هستم. سعادت، سلامت و بهروزی ایشان را از خداوند منّان خواستارم.

از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر غلامحسین شاهقلی که علاوه بر بهره علمی، از ایشان درس صبر و گذشت و بزرگ منشی آموخته ام و در نهایت صمیمیت و جدیّت در تمامی مراحل انجام پایان نامه با اینجانب همراه بوده و تکیه گاهی استوار و آرامش بخش بوده اند قدردانی می نمایم. برای ایشان در تمامی مراحل زندگی از پروردگار بزرگ سلامت و سعادت آرزومندم.

از جناب آقای دکتر رحمت احمدی، استاد مشاور گرامیم، که با تعهد و دلسوزی اینجانب را مورد لطف خویش قرار داده اند صمیمانه سپاسگزارم.

جا دارد که مراتب تشکر خود را از واحد امور تحقیقات مهندسی شرکت موتورسازان اعلام دارم. بر خود لازم می دانم که از مدیریت محترم مرکز تحقیقات مهندسی شرکت موتورسازان جناب آقای مهندس مفید برای مساعدت های بی دریغشان و همچنین کارشناسان و پژوهشگران بخش مهندسی جناب آقایان مهندس بلوری، مهندس اسلامی و مهندس شاطریان که با در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز با من همکاری لازم را انجام دادند، و نیز از سایر دوستان عزیز کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. از اساتید گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه کمال تشکر را دارم. از همراهی دوستان عزیزم آقایان مهندس کمال بهلکه، اسماعیل خلیفه، محمد عسکری، محمدجواد سلیمان زاده مقدم، علی اصغر عسکری، نیما حقیقت نژاد و تمامی عزیزانی که روزهای سخت دوری و غربت را برایم آسان نمودند، قدردانی می کنم.

نام خانوادگی دانشجو: آق ارکاکلی نام: سلیمان

عنوان پایان‌نامه: طراحی و تحلیل بالانسر و بررسی اثر آن در ارتعاش موتور تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵

استاد راهنما: دکتر غلامحسین شاهقلی

استاد مشاور: دکتر حجت احمدی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی کشاورزی

گرایش: مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه: محقق اردبیلی

دانشکده: فناوری کشاورزی و منابع طبیعی تاریخ دفاع: ۹۲/۷/۲۸ تعداد صفحات: ۹۶

چکیده:

یکی از پر کاربرد ترین تراکتورهای موجود در ایران تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ می‌باشد. ارتعاشات مکانیکی وارد بر راننده تراکتور باعث افت سلامتی مانند درد کمر، آسیب ستون فقرات، اختلال در سیستم‌های عصبی و گردش خون می‌شود. در این بین موتور تراکتور نقش به‌سزایی را در ایجاد ارتعاش دارا می باشد. تراکتورهای بدون شاسی، مجهز به واحد بالانسر می‌باشند و بالانسر باعث کاهش نیروی ارتعاشی ثانویه موتور و در نتیجه کاهش لرزش مجموعه موتور و تراکتور می‌گردد. در این پژوهش مدلی از موتور تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ به همراه بالانسر در نرم‌افزار آدامز انجین ایجاد گردید. در ابتدا تحلیل سینماتیکی و سینتیکی موتور مورد مطالعه قرار گرفت و پس از ایجاد مدل، نمودارهای مربوط به جابجایی، سرعت و شتاب پیستون، همچنین نیروی حاصل از فشار گاز و فشار داخل سیلندر و نیروی وارد بر یاتاقان‌های اصلی و ثابت موتور بر حسب زوایای مختلف میل‌لنگ در طول یک سیکل کامل موتور در سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور بر دقیقه از این نرم‌افزار استخراج شد. نتایج بدست آمده از مدل تطابق خوبی با نتایج تحلیلی تحقیقات پیشین داشت.

تاثیر بالانسر بر ارتعاشات ثانویه هم به صورت تحلیلی در نرم‌افزار و هم به صورت آزمایشگاهی در شرکت موتورسازان کارخانه تراکتورسازی تبریز مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش ریشه میانگین مربعات ارتعاش برای دورها و بارهای مختلف محاسبه گردید. تاثیر سرعت دورانی و بار بر روی ارتعاش موتور در دو حالت با بالانسر و بدون بالانسر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در حالت بدون بار (هرزگرد)، با افزایش سرعت دورانی در حالت با بالانسر مقدار ارتعاش کاهش یافته ولی در حالت بدون بالانسر با افزایش سرعت دورانی مقدار ارتعاش بیشتر می‌گردد. در حالت هرز گرد، استفاده از بالانسر باعث کاهش ارتعاشات به میزان ۲۸٪ گردید. همچنین در حالت تمام بار، با افزایش سرعت دورانی مقدار ارتعاش در هر دو حالت با بالانسر و بدون بالانسر افزایش می‌یابد. در حالت تمام بار، استفاده از بالانسر باعث کاهش ارتعاشات به میزان ۲۲/۳۱۴٪ گردید. در سرعت دورانی ۱۴۰۰ rpm، با افزایش بار از ۱۲۵ N.m به ۲۵۰ N.m، مقدار ارتعاش در هر دو حالت با بالانسر و بدون بالانسر افزایش یافت، استفاده از بالانسر باعث کاهش ارتعاشات به میزان ۲۹/۶۵۶٪ گردید.

تحلیل نتایج حاصل از نرم‌افزار آدامز انجین نشان داد که داده‌های خروجی نرم‌افزار تطابق خوبی با داده‌های عملی داشته و روندی که در آزمایش عملی انجام گرفته را تایید می‌کند.

کلید واژه‌ها: آدامز انجین، ارتعاش، بالانسر، تراکتور MF-285، موتور، RMS.

## فهرست

**عنوان** **صفحه**


فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته ..... ۱

۱-۱ مقدمه ..... ۲

۱-۲ اثرات مخرب ارتعاش بر بدن انسان ..... ٤

۱-۲-۱ استاندارد موجود در رابطه با ارتعاش مجاز وارد بر بدن ..... ٤

۱-۲-۲ بیماری‌های ناشی از ارتعاش بدن ..... ۸

۱-۳ موتور و ارتعاش آن ..... ۱۰

۱-۳-۱ بالانس و عدم بالانس موتور با سیلندرهای عمودی ..... ۱۳

۱-۳-۲ ارتعاش و بالانس موتور ..... ۱٤

۱-۳-۳ بالانس نمودن قطعات دوار ..... ۱۵

۱-۳-٤ بالانس قطعات رفت و برگشتی ..... ۱٦

۱-۳-۵ شفت‌های بالانس ..... ۱۷

۱-۳-٦ دینامیک موتور ..... ۱۷

۱-۳-۷ نیروهای نامیزانی ناشی از اینرسی قسمت‌های متحرک ..... ۱۹

۱-۳-۷-۱ شتاب پیستون ..... ۱۹

۱-۳-۷-۲ شتاب پین لنگ ..... ۲۱

۱-۳-۷-۳ نیروهای اینرسی ..... ۲۱
۱-٤ بالانسر ..... ۱۹
۱-۵ مفاهیم اساسی در ارتعاشات ..... ۳۰
۱-۵-۱ جذر میانگین مربعات (RMS) ارتعاش ..... ۳۰
۱-٦ مقدمه‌ای بر روشهای CAD/CAE/CAM ..... ۳۱
۱-٦-۱ طراحی با استفاده از کامپیوتر (CAD) ..... ۳۲
۱-٦-۲ مهندسی با استفاده از کامپیوتر (CAE) ..... ۳۲
۳-٦-۱ ساخت با استفاده از کامپیوتر (CAM) ..... ۳۳
۱-۷ نرم‌افزار آدامز ..... ۳۳
۱-۸ ضرورت و اهداف تحقیق ..... ۳٦
۱-۹ مروری بر تحقیقات گذشته ..... ۳۸
۱-۹-۱ تحقیقات انجام‌گرفته بر روی موتور و ارتعاش آن ..... ۳۸
۱-۹-۲ تحقیقات انجام‌گرفته بر روی صندلی و در رابطه با سلامتی کاربر ..... ٤۱
فصل دوم: ٤٤مواد و روش‌ها ..... ٤٤
۲-۱ مواد و تجهیزات لازم برای آزمایش‌های عملی ..... ٤۵
۲-۱-۱ تراکتور MF-285 ..... ٤۵
۲-۱-۲ موتور ..... ٤٦
۲-۱-۳ دینامومتر ..... ٤۷

۲-۱-٤ ارتعاش‌سنج.....٤٧
۲-۲ نحوه اتصال و محل اتصال ارتعاش‌سنج .....٤٧
۲-۳ شرایط و محل انجام آزمایش‌های عملی .....٤٨
۲-٤داده‌برداری .....٥٠
۲-٤-۱ فواصل و ترتیب احتراق.....٥٠
۲-٤-۲ فشار داخل سیلندر.....٥١
۲-٥ مراحل ایجاد مدل و شبیه‌سازی .....٥٢
۲-٥-۱ ایجاد مدل بالانسر در SolidWorks.....٥٢
۲-٥-۲ طراحی و تحلیل دینامیکی در آدامز انجین .....٥٥
۲-٥-۲-۱ زیر سیستم .....٥٦
۲-٥-۲-۲ مونتاژ .....٥٩
۲-٥-۲-۳ تحلیل حالت پایا.....٦٢
۲-٥-۳ حل معادلات در آدامز انجین .....٦٤
فصل سوم: نتایج و بحث .....٦٧
۳-۱ نتایج تحلیل دینامیکی مکانیزم لنگ .....٦٨
۳-۱-۱ نتایج تحلیل سینماتیکی مکانیزم لنگ .....٦٩
۳-۱-۲ نتایج بخش تحلیل سینتیکی مکانیزم لنگ .....٧١
۳-۲ نتایج نمودارهای حوزه زمانی .....٧٤

۳-۳ عملکرد بالانسر ..... ۷۶
۳-۳-۱ نتایج آزمایشگاهی عملکرد بالانسر در دورهای مختلف در حالت بدون بار ..... ۷۶
۳-۳-۲ نتایج آزمایشگاهی عملکرد بالانسر تحت بارهای مختلف در سرعت دورانی ۱۴۰۰ rpm ..... ۷۶
۳-۳-۳ نتایج آزمایشگاهی عملکرد بالانسر تحت بار کامل در سرعت‌های دورانی مختلف ..... ۷۷
۳-۴ مقایسه نتایج حاصل از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی ..... ۷۹
۳-۴-۱ نتایج حالت بدون بار و دور ۷۵۰ rpm ..... ۷۹
۳-۴-۲ نتایج حالت بدون بار و دور ۲۴۰۰ rpm ..... ۸۰
۳-۴-۳ نتایج حالت بار کامل و دور ۲۲۰۰ rpm ..... ۸۱
۳-۴-۴ نتایج حالت بار کامل و دور ۱۴۰۰ rpm ..... ۸۲
۳-۴-۵ نتایج حالت بار ۱۲۵ N.m و دور ۱۴۰۰ rpm ..... ۸۲
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ..... ۸۴
فهرست منابع: ..... ۸۴
پیوست: ..... ۸۴

## فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**


جدول ۱-۱: آستانه شتاب مجاز ارتعاشی تحریک بدن انسان در سطوح مختلف راحتی کاربر ..... ٦

جدول ۱-۲: بالانس و عدم بالانس ذاتی در موتورهای پیستونی با سیلندرهای عمودی ..... ۱۳

جدول ۲-۱: مشخصات فنی تراکتور MF-285 تک دیفرانسیل ..... ٤٦

جدول ۲-۲: مشخصات فنی موتور تراکتور MF-285 ..... ٤٦

جدول ۲-۳: جنس قطعات تشکل دهنده مکانیزم بالانسر ..... ۵۳

جدول ۲-٤: دمای کاری موتور مورد مطالعه ..... ٦۱

جدول ۲-۵: دورها و بارهای مختلف وارد شده در نرم‌افزار ..... ٦۲

جدول ۳-۱: آنالیز واریانس بین نتایج آزمایشگاهی و عملی ..... ۷۹

## فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۱-۱: محدوده فرکانس و شتاب وارد بر کاربر (مانسفیلد، ۲۰۰۵) ..... ۵

شکل ۱-۲: مقدار ساعت کاکرد مجاز در مقادیر مختلف شتاب ارتعاش (بلمن، ۲۰۰۲) ..... ٦

شکل ۱-۳: مقادیر فرکانس طبیعی نقاط مختلف بدن انسان (بلمن، ۲۰۰۲) ..... ۷

شکل ۱-٤: شماتیک نیروی اینرسی و گریز از مرکز ایجاد شده در مکانیزم لنگ ..... ۱۵

شکل ۱-۵: شماتیک هندسی میل‌لنگ (رائو، ۱۹۹۵). ..... ۱۸

شکل ۱-۷: شماتیک کارکرد میل‌لنگ ..... ۲۰

شکل ۱-۷: سه طبقه از تحریک‌های دینامیکی موتور(تقی‌زاده، ۱۳۹۰) ..... ۲۲

شکل ۱-۸: جرم‌های نابالانس دوار ..... ۲٤

شکل ۱-۹: تغییرات $MXme$ با r برای مقادیر مختلف $\zeta$ ..... ۲۵

شکل ۱-۱۰: ترسیمه $\phi$ برحسب $r$ ..... ۲٦

شکل ۱-۱۱: محل قرارگیری واحد بالانسر در موتور تراکتور MF-285 ..... ۲۷

شکل ۱-۱۲: حالت بدون بالانسر در موتور تراکتور MF-285 ..... ۲۸

شکل ۱-۱۳: نمایی از بالانسر به همراه قطعات تشکیل‌دهنده آن در نرم‌افزار SolidWorks ..... ۲۹

شکل ۱-۱٤: بالانسر استفاده‌شده در تحقیق ..... ۲۹

شکل ۱-۱۵: درصد خرابی قسمت‌های مختلف تراکتور MF-285 ..... ۳۷

شکل ۲-۱: تراکتورMF285 تحت آزمایش موجود در کارخانه تراکتورسازی تبریز ..... ٤۵

شکل ۲-۲: الف- دستگاه ارتعاش‌سنج ب- حسگر ارتعاش‌سنج ..... ٤۷

شکل ۲-۳: نحوه اتصال و مکان نصب ارتعاش‌سنج ..... ٤٨
شکل ۲-٤: سلول تست شماره یک برای انجام آزمایش‌های عملی در شرکت موتورسازان تبریز ..... ٤٩
شکل ۲-۵: نحوه اعمال دور، بار و قدرت بر روی موتور در اتاق کنترل تجهیزات و ثبت داده‌ها ..... ۵۰
شکل ۲-٦: فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه دوران میل‌لنگ ..... ۵۲
شکل ۲-۷: نمایی از وزنه بالانسر ایجاد شده در نرم‌افزار SolidWorks..... ۵۲
شکل ۲-۸: جرم حجم نامتقارن وزنه نسبت به محور دوران ..... ۵۳
شکل ۲-۹: وزن قسمت‌های مختلف بالانسر ..... ۵٤
شکل ۲-۱۰: قسمتی از قطعات مونتاژ شده در محیط ساید ورکس ..... ۵٤
شکل ۲-۱۱: مونتاژ نهایی بالانسر ..... ۵۵
شکل ۲-۱۲: مراحل مدل‌سازی هندسی موتور و تحلیل دینامیکی آن..... ۵٦
شکل ۲-۱۳: نمونه‌ای از معرفی یاتاقان‌های ثابت و متحرک میل‌لنگ به نرم‌افزار آدامز انجین ..... ۵٦
شکل ۲-۱٤: وارد کردن اطلاعات کلی موتور در آدامز انجین ..... ۵۷
شکل ۲-۱۵: نحوه تعریف میل‌لنگ در آدامز انجین ..... ۵۸
شکل ۲-۱٦: تعداد دور شفت بالانسر ..... ۵۹
شکل ۲-۱۷: نحوه مونتاژ شدن میل‌لنگ، شاتون، پیستون و گژن پین در آدامز انجین ..... ۵۹
شکل ۲-۱۸: مجموعه شبیه‌سازی شده موتور در نرم‌افزار تحلیل دینامیکی آدامز انجین ..... ٦۰
شکل ۲-۱۹: محیط کار با نرم‌افزار آدامز انجین..... ٦۲
شکل ۲-۲۰: نحوه اعمال دور در تحلیل حالت پایا ..... ٦۳
شکل ۲-۲۱: نتایج خروجی شتاب زاویه ای بر حسب زمان در Adams/PostProcessor ..... ٦٦
شکل ۳-۱: جابجایی پیستون بر حسب زوایای مختلف میل‌لنگ ..... ٦۹

شکل ۳-۲: تغییرات سرعت پیستون بر حسب زوایای مختلف میل‌لنگ ..... ۷۰
شکل ۳-۳: تغییرات شتاب پیستون در سرعت دورانی ۲۰۰۰ rpm بر حسب زوایای مختلف دوران میل‌لنگ ..... ۷۱
شکل ۳-٤: نمودار تغییرات نیروی حاصل از فشار گاز برای سیلندرهای ٤،۳،۲،۱ بر حسب زاویه دوران میل‌لنگ ..... ۷۲
شکل ۳-۵: نمودار تغییرات فشار داخل سیلندرهای ٤،۳،۲،۱ بر حسب زوایای مختلف دوران میل‌لنگ ۷۳
شکل ۳-٦: نیروی وارد بر یاتاقان‌های اصلی و ثابت موتور در سرعت دورانی ۲۰۰۰ rpm بر حسب زمان ..... ۷٤
شکل ۳-۷: سیگنال سرعت ارتعاشی بدست آمده در عمل بر حسب زمان در سرعت دورانی ۱٤۰۰ rpm و بار ۱۲۵ N.m ..... ۷۵
شکل ۳-۸: سیگنال سرعت ارتعاشی بدست آمده از نرم‌افزار بر حسب زمان در سرعت دورانی ۱٤۰۰ rpm و بار ۱۲۵ N.m ..... ۷۵
شکل ۳-۹: ارتباط بین دو دور موتور و عملکرد بالانسر در آن دورها ..... ۷٦
شکل ۳-۱۰: عملکرد بالانسر تحت بارهای مختلف در سرعت دورانی ۱٤۰۰ rpm ..... ۷۷
شکل ۳-۱۱: عملکرد بالانسر تحت بار کامل (۲۵۰ N.m) در دو سرعت دورانی۱٤۰۰ rpm و ۲۲۰۰ . ۷۸
شکل ۳-۱۲: نتایج آزمایشگاهی با نرم‌افزاری در حالت بدون بار و دور ۷۵۰ rpm ..... ۸۰
شکل ۳-۱۳: نتایج آزمایشگاهی با نرم‌افزاری در حالت بدون بار و دور ۲٤۰۰ rpm ..... ۸۱
شکل ۳-۱٤: نتایج آزمایشگاهی با نرم‌افزاری در حالت بار کامل و دور ۲۲۰۰ rpm ..... ۸۱
شکل ۳-۱۵: نتایج آزمایشگاهی با نرم‌افزاری در حالت بار کامل و دور ۱٤۰۰ rpm ..... ۸۲
شکل ۳-۱٦: نتایج آزمایشگاهی با نرم‌افزاری در حالت بار ۱۲۵ N.m و دور ۱٤۰۰ rpm ..... ۸۳

## فهرست علائم و اختصارات

| علامت | | واحد |
|---|---|---|
| $c$ | ضریب میرایی | – |
| $f$ | فرکانس | هرتز (Hz) |
| $k$ | ثابت فنر | نیوتن بر متر (N/m) |
| $l$ | طول بازوی لنگ | متر (m) |
| $m$ | جرم | کیلوگرم (kg) |
| $\mathrm{M_Q}$ | گشتاور پیچشی بر روی شاسی موتور | نیوتن‌متر (N.m) |
| $M_t$ | گشتاور پیچشی برای دوران میل‌لنگ | نیوتن‌متر (N.m) |
| $n$ | تعداد سیلندر | – |
| $N$ | دور موتور | rpm |
| $r$ | شعاع لنگی میل‌لنگ | متر (m) |
| $RMS$ | ریشه میانگین مربعات | |
| $rpm$ | دور بر دقیقه | – |
| $t$ | زمان | ثانیه |
| $T$ | گشتاور | نیوتن‌متر (N.m) |
| $X$ | دامنه حرکت نوسانی | متر (m) |
| $X_P$ | تغییر مکان پیستون | متر(m) |
| $x_p(t)$ | پاسخ حالت پایدار | ولت (v) |
| $\mathrm{x_{RMS}}$ | ریشه میانگین مربعات ارتعاش | ($m/s^2$) |
| $\omega$ | فرکانس زاویه‌ای | رادیان (Rad) |
| $\omega_n$ | فرکانس زاویه‌ای نرمال‌شده | رادیان (Rad) |
| $\zeta$ | نسبت میرایی | – |

# فصل اول:

## مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته

## ۱-۱ مقدمه

تراکتور به عنوان مهم‌ترین ماشین کشاورزی، سهم عمده‌ای در عملیات کاشت، داشت، برداشت و به خصوص در امر مکانیزاسیون دارد. مکانیزه کردن سبب کاهش دشواری کار زراعی، افزایش بهره‌وری کارگران، افزایش کیفیت کار زراعی و کاهش زمان عملیات زراعی می‌گردد. لذا برای خودکفایی در بخش کشاورزی و افزایش سطح مکانیزاسیون باید کمیت و کیفیت تکنولوژی تولید تراکتور را به سطح قابل‌قبول رساند. تراکتور MF-285 ساخت کارخانه تراکتورسازی ایران می‌باشد. این کارخانه بزرگ‌ترین تولیدکننده تراکتور در ایران و حتی خاورمیانه است. طبق آمارهای خط تولید کارخانه، تراکتور MF-285 بیش‌ترین سهم تولید را در بین تراکتورهای ساخت این کارخانه، به خود اختصاص داده است (محمودی، ۱۳۸٦).

افزایش تقاضا برای ماشین‌های پرتوان و کم صدا نیازمند درک بهتر رفتار دینامیکی سیستم انتقال قدرت می‌باشد که به سبب آن دو ویژگی توان بالا و ارتعاش پایین، حاصل می‌گردد. از طرف دیگر ایمنی کشاورزان باید به طور روزافزون مورد توجه قرار گیرد. این موضوع برای رانندگان تراکتور که در معرض شرایط نامناسب محیط کار و ارتعاش زیاد تراکتور قرار دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. متأسفانه در کشورهای در حال توسعه و کم درآمد، ایمنی و سلامت شغلی کشاورزان کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. امروزه بررسی ارتعاشات به عنوان یکی از مطالب مورد علاقه محققان ارگونومیک[1] درآمده است چرا که منابع انتقال ارتعاش به بدن انسان نیز افزایش یافته‌اند. لرزش دستگیره پمپ‌بنزین در حال بنزین زدن، لرزش

[1] - Ergonomics

فرمان زیردست کاربر، لرزش بدن در اثر عبور خودرو از ناهمواری‌ها و مثال‌های مشابه حاکی از افزایش منابع انتقال ارتعاش به بدن انسان می‌باشند. از طرف دیگر، یکی از استانداردهای محصولات در رقابت با بازارهای جهانی دارا بودن استاندارد اروپا[1] است که به لحاظ ارگونومیکی نیز محصول مورد نظر را ارزیابی می‌کند. به عبارت دیگر، به دلیل افزایش کیفیت زندگی در دهه‌های اخیر، دانشمندان و طراحان ماشین‌های کشاورزی به دنبال راه‌هایی جهت افزایش راحتی انسان هستند. در این میان، یکی از عوامل کاهنده سلامت روحی–جسمی، ارتعاش است (بلمن[2]، ۲۰۰۲).

ارتعاشات، گستره وسیعی از علوم مهندسی را شکل داده و از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ارتعاشات ادوات کشاورزی اهمیت بسیاری دارد. در بیشتر کشورهای جهان از تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی برای عملیات مزرعه‌ای در زمین‌های خشک و مرطوب استفاده می‌شود. در کارهای مزرعه‌ای خستگی و ناراحتی که انسان متحمل می‌شود، نه تنها ناشی از کار فیزیکی است، بلکه به همان اندازه ممکن است در اثر ارتعاش باشد (تقی زاده، ۱۳۸٤؛ تقی زاده و همکاران، ۱۳۸٦).

علاوه بر اثرات سوء ارتعاش کل بدن بر سلامتی، این پدیده تأثیرات منفی مادی نیز دارد. کاربرانی که تحت ارتعاش قرار دارند، سریع‌تر بازنشسته شده و در صورت عدم بازنشستگی ریسک حادثه در حین کار افزایش می‌یابد. یک کاربر خسته، مدت زمان بیشتری و در نهایت هزینه بیشتری را جهت اتمام کار به کارفرما تحمیل می‌نماید. از طرف دیگر، پرداخت بیمه از کارافتادگی از طرف کارفرما یکی دیگر از زیان‌های جانبی ارتعاش است. بنابراین، کاهش ارتعاشات اجباری ناشی از کارکرد ابزارهای مکانیکی و اثر مضر آن بر بدن انسان، به عنوان یکی از مشخصه‌های ارزیابی دستگاه، ضروری می‌باشد (کلوستر[3]، ۲۰۰٤).

منابع متعددی برای ایجاد ارتعاش در یک محیط صنعتی و کشاورزی وجود دارد. ماشین‌های دوار یا رفت و برگشتی مانند موتورها، کمپرسورها، وسایل نقلیه مانند کامیون‌ها، قطارها و هواپیماها و ماشین‌های کشاورزی مانند تراکتورها و کمباین‌ها از منابع تولیدکننده ارتعاش هستند. به طور کلی وجود ارتعاش اغلب

[1] - Communauté Européenne
[2] - Bellmann
[3] - Klooster

منجر به تأثیرات ناخواسته از قبیل انهدام سازه‌ای یا مکانیکی، تعمیر و نگهداری پرخرج ماشین‌ها و ناراحتی برای انسان می‌گردد (رائو[1]، ۱۹۹۵).

دستگاه‌ها و وسایلی که هم اکنون در صنعت و کشاورزی استفاده می‌شوند و از نظر ارتعاشی متوازن نیستند، در طولانی مدت می‌توانند به انسان آسیب‌های جدی وارد کنند. این آسیب‌ها به طور عمده از طریق ارتعاش و صدا صورت گرفته که بایستی به نحوی به حداقل برسند. ارتعاشات می‌توانند باعث ناراحتی و مزاحمت در انجام کار شوند.

## ۱-۲ اثرات مخرب ارتعاش بر بدن انسان

### ۱-۲-۱ استاندارد موجود در رابطه با ارتعاش مجاز وارد بر بدن

بدن انسان در شرایط زندگی روزمره تحت ارتعاشات مختلفی قرار می‌گیرد. هنگام سوار شدن بر اتوبوس، دوچرخه و ... ارتعاشات مختلفی از نواحی مختلف بدن، به انسان وارد می‌گردد. ارتعاشات کل بدن[2]، هنگامی صورت می‌گیرد که کل بدن انسان در تماس با یک سطح مرتعش قرار گیرد. به عنوان مثال، هنگامی که فردی به حالت نشسته از طریق نشیمن‌گاه، تحت ارتعاش قرار می‌گیرد به این‌گونه ارتعاش به اصطلاح ارتعاش کل بدن می‌گویند (بلمن، ۲۰۰۲).

بر اساس استانداردهای ISO2631-1 و VDI2057-1، فرکانس طبیعی ارتعاش بدن در حدود ۱ تا ۸۰ هرتز است. برای فرکانس‌های بالاتر از ۸۰ هرتز، حساسیت بدن انسان به شدت افت می‌کند (شکل ۱-۱). افرادی که به ارتعاشات کمتر از ۱ هرتز حساس هستند، دارای بیماری به نام (حساس به حرکت[3]) می‌باشند (مانسفیلد[4]، ۲۰۰۵).

[1] - Rao
[2] - WBV (Whole Body Vibration)
[3] - Motion Sickness
[4] - Mansfield