وَإِن يَكَادُ الَّذِينَ كَفَرُوا لَيُزْلِقُونَكَ بِأَبْصَارِهِمْ لَمَّا سَمِعُوا الذِّكْرَ وَيَقُولُونَ إِنَّهُ لَمَجْنُونٌ وَمَا هُوَ إِلَّا ذِكْرٌ لِّلْعَالَمِينَ

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 صدیقه زهری شیل‌سر دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۳۳۴۱۳۱۳۱ که در تاریخ ۹۲/۷/۲ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان طراحی، ساخت و کالیبراسیون یک حس کننده نیرو - گشتاور شش درجه آزادی جهت اندازه‌گیری نیروها و ممان‌های وارد بر ادوات کشاورزی 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: صدیقه زهری شیل‌سر

امضا

تاریخ

دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی
گروه آموزشی ماشین‌های کشاورزی
در رشته‌ی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

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

عنوان:
طراحی، ساخت و کالیبراسیون یک حس کننده نیرو - گشتاور شش درجه آزادی جهت اندازه‌گیری نیروها و ممان‌های وارد بر ادوات کشاورزی

استاد راهنما:
دکتر یوسف عباسپور گیلانده

استاد مشاور:
دکتر غلامحسین شاهقلی

پژوهشگر:
صدیقه زهری شیل‌سر

شهریور ۱۳۹۲

دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی
گروه آموزشی ماشین‌های کشاورزی
در رشته‌ی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

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

عنوان:
طراحی، ساخت و کالیبراسیون یک حس کننده نیرو - گشتاور شش درجه آزادی جهت اندازه‌گیری نیروها و ممان‌های وارد بر ادوات کشاورزی

پژوهشگر:
صدیقه زهری شیل‌سر

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

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
یوسف عباسپور گیلانده	دانشیار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
غلامحسین شاهقلی	استادیار	استاد مشاور	
ترحم مصری گندشمین	استادیار	داور	

مهر ۱۳۹۲

بی شک در پس هر دستاورد عظیمی، تپش های شوق آمیز یک قلب به ظاهر کوچک بوده است.

با احترام فراوان تقدیم به:

مادر و پدر عزیزم

سپاسگزاری:

. . . و برتر از هر صاحب دانشی، دانشمندیست.

سوره یوسف: آیه ۷۶

سپاسگزارم از:

- استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر یوسف عباسپور گیلانده که به عنوان استاد علم و اخلاق در اجرای مراحل مختلف این پایان نامه نهایت همکاری را مبذول داشته و از انجام هیچگونه تلاشی دریغ نفرمودند.
- استادمشاور بزرگوارم جناب آقای دکتر غلامحسین شاهقلی که با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در این عرصه برای اینجانب دریغ ننمودند.
- جناب آقایان علیرضا مهدیزاده ، سعید آرش مقدم و تمامی دوستانی که در تمامی مراحل طراحی، ساخت و انجام آزمایشات، دلسوزانه کمک های بی دریغ خود را به من ارزانی داشتند.
- و خانواده عزیزم 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 و با حمایت بی شائبه و همه جانبه شان توان پیمودن این مسیر را برایم مهیا نموده اند.

نام خانوادگی دانشجو: زهری شیل‌سر **نام:** صدیقه

عنوان پایان‌نامه: طراحی، ساخت و کالیبراسیون یک حس کننده نیرو - گشتاور شش درجه آزادی جهت اندازه‌گیری نیروها و ممان‌های وارد بر ادوات کشاورزی

استاد راهنما: دکتر یوسف عباسپور گیلانده

استاد مشاور: دکتر غلامحسین شاهقلی

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

گرایش: - دانشگاه: **محقق اردبیلی**

دانشکده: فناوری کشاورزی و منابع طبیعی تاریخ دفاع: ۹۲/۷/۲ تعداد صفحات:۹۴

چکیده:

در تحقیق حاضر طراحی، ساخت و کالیبراسیون یک حس کننده نیرو - گشتاور شش درجه آزادی جهت اندازه‌گیری نیروها و ممان‌های وارد بر ادوات کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. سازه مذکور برای اندازه‌گیری نیروهای وارد بر ادوات خاک‌ورزی در سه جهت عمود برهم (در راستای محورهای مختصات) تا محدوده حداکثر ۵ کیلو نیوتن و همچنین گشتاورهای ایجاد شده حول محورهای مختصات تا حداکثر ۵ کیلونیوتن‌متر، طراحی و ساخته شد. به منظور طراحی مکانیکی سازه حسگر از روش اجزای محدود و نرم‌افزار شبیه‌سازی Solid Works استفاده شد. تحلیل و توزیع کرنش با استفاده از نرم‌افزار مذکور برای مشخص نمودن نقاط گرهی کرنش دقیق بر روی بدنه سازه به منظور کاهش اثرات متقابل نیروهای افقی و قائم در حین اندازه‌گیری، انجام گرفت. کرنش‌سنج‌های مقاومت الکتریکی در نقاط گرهی کرنش بر روی حسگر نصب شده‌اند تا بتوانند به طور مستقل کرنش‌های مماسی روی سطح حسگر را که در اثر اعمال نیروهای افقی و عمودی ایجاد می‌شوند، اندازه‌گیری کنند. سیستم جمع‌آوری داده از یک دیتالاگر قابل برنامه‌نویسی مدل DT800 و یک رایانه قابل حمل تشکیل شده است. آزمون‌های کالیبراسیون استاتیکی حسگر شش درجه آزادی با استفاده از سامانه‌ای که در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی طراحی و ساخته شد، انجام گرفت. نتایج کالیبراسیون واحد اندازه‌گیری نشان داد که حسگر طراحی و ساخته شده دارای دقت، حساسیت و قابلیت تکرار مناسبی به‌منظور اندازه‌گیری نیروها و گشتاورهای مورد نظر می‌باشد. منحنی‌های کالیبراسیون خطی بوده و اثرات متقابل نیروها و گشتاورها نیز بسیار ناچیز بود.

کلید واژه‌ها: حسگر شش درجه آزادی، خاکورزی، سالیدورکز، طراحی، گشتاور، نیرو

فهرست عنوان‌ها

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ ضرورت تحقیق و اهداف ۴
۱-۳ کلیات و تعاریف ۵
۱-۳-۱ دستگاه‌های اندازه‌گیری (ترانسدیوسرها) ۵
۱-۳-۱-۱ واحد حس‌کننده (Sensing Unit) ۶
۱-۳-۱-۲ واحد پردازش (Signal Conditioning Unit) ۶
۱-۳-۱-۳ واحد نمایش‌دهنده (Display) ۶
۱-۳-۲ ضوابط مربوط به دستگاه‌های اندازه‌گیری (ترانسدیوسرها) ۶
۱-۳-۲-۱ دقت (Accuracy) ۶
۱-۳-۲-۲ قابلیت تکرار یا تنظیم (Repeatability) ۷
۱-۳-۲-۳ قابلیت تجدید (Reproducibility) ۷
۱-۳-۲-۴ پایداری (Stability) ۷
۱-۳-۲-۵ قدرت تشخیص (Resolution, Discrimination) ۷
۱-۳-۲-۶ حساسیت (Sensitivity) ۷
۱-۳-۲-۷ زمان عکس‌العمل یا پاسخ (Response time) ۷
۱-۳-۲-۸ کالیبره کردن دستگاه اندازه‌گیری (Calibration and Standards) ۷
۱-۳-۳ ترانسدیوسرهای نیرو (Force transducers) ۸
۱-۳-۴ تنش (Stress) و کرنش (Strain) ۹
۱-۳-۴-۱ تنش ۹
۱-۳-۴-۲ کرنش ۱۰
۱-۳-۴-۳ تفاوت کرنش و خیز ۱۱
۱-۳-۴-۴ منحنی تنش و کرنش ۱۱
۱-۳-۵ کرنش سنج یا استرین‌گیج ۱۳
۱-۳-۵-۱ ویژگی‌های یک کرنش‌سنج خوب ۱۶
۱-۳-۵-۲ نکات مهم در استفاده از کرنش سنج‌ها ۱۶

۱-۳-۶ مدار پل وتستون ۱۷
۱-۳-۶-۱ مزیت استفاده از پل وتستون ۱۹
۱-۳-۶-۲ راه‌های افزایش حساسیت در نیروسنج‌ها ۱۹
۱-۴ پیشینه تحقیق ۲۲
۱-۴-۱ نیروسنج مالتس کراس ۲۴
۱-۴-۲ نیروسنج شینمن و روت ۲۵
۱-۴-۳ نیروسنج اسپلتزر ۲۶
۱-۴-۴ نیروسنج مییر ۲۷
۱-۴-۵ نیروسنج آستک ۲۸
۱-۴-۶ نیروسنج فریم- تراس ۲۹
۱-۴-۷ نیروسنج واتسون ۳۰
۱-۴-۸ سازه مفصلی استوارت ۳۰
۱-۴-۹ سازه یوشیکاوا - میازاکی ۳۱
۱-۴-۱۰ نیروسنج ۶ محوره سامر ۳۲
۱-۴-۱۱ حسگر ۶ محوره بهبود یافته گو کانگ ۳۳
۱-۴-۱۲ نیروسنج شش محوره مدولار ای سندرز ۳۴
۱-۴-۱۳ نیروسنج پارک و کیم ۳۵
۱-۴-۱۴ نیروسنج گابسون ۳۶
۱-۴-۱۵ نیروسنج شنگ ۳۷
۱-۴-۱۶ دینامومتر سه محوری گادوین ۳۷
فصل دوم: مواد و روش‌ها ۱
۲-۱ اهمیت طراحی ۴۰
۲-۲ فرآیند طراحی ۴۰
۲-۳ پارامترهای طراحی ۴۱
۲-۴ طراحی و ساخت حسگر ۶ محوره نیرو-گشتاور جهت اندازه‌گیری نیروها و گشتاورهای وارد بر ادوات کشاورزی ۴۱
۲-۵ طراحی بدنه حسگر ۴۲
۲-۵-۱ تعیین بارهای طراحی ۴۲
۲-۵-۲ مشخصات بدنه حسگر ۴۳

۲-۵-۳ طراحی و تحلیل حسگر ۴۶
۲-۶ طراحی بخش الکترونیکی سازه حسگر ۴۹
۲-۶-۱ انتخاب کرنش‌سنج با ویژگی مناسب برای ساخت حسگر ۴۹
۲-۶-۲ تعیین مکان نصب کرنش‌سنج‌ها بر روی بدنه حسگر ۵۱
۲-۶-۲-۱ اساس کار اندازه‌گیری نیروها و گشتاورها در حسگر ۵۱
۲-۶-۲-۲ تعیین تیرها و بلوک‌های مربوط به چهار کرنش‌سنج هر مدار پل وتستون ۵۴
۲-۶-۲-۳ محل نصب کرنش‌سنج‌ها روی تیر ۵۵
۲-۶-۳ نحوه نصب کرنش‌سنج‌ها ۵۷
۲-۶-۳-۱ آماده‌سازی سطح ۵۷
۲-۶-۳-۲ علامت زدن مکان نصب کرنش‌سنج ۵۸
۲-۶-۳-۳ چسباندن کرنش‌سنج‌ها ۵۸
۲-۶-۴ مدار پل وتستون ۵۹
۲-۶-۵ نحوه حصول داده‌های بدست آمده از حسگر ۶۰
۲-۷ ساخت و کالیبراسیون نیروسنج طراحی شده ۶۲
۲-۷-۱ نحوه ساخت حسگر شش درجه آزادی نیرو-گشتاور ۶۲
۲-۷-۲ کالیبراسیون سیستم اندازه‌گیری داده و تجزیه تحلیل داده‌ها ۶۳
۲-۷-۳ نحوه انجام کالیبراسیون نیروسنج S شکل ۶۳
۲-۷-۳-۱ نحوه انجام کالیبراسیون حسگر ۶۵
فصل سوم: نتایج و بحث ۳۸
۳-۱ نتایج تحلیل نرم‌افزاری مربوط به سازه حسگر طراحی شده ۶۹
۳-۱-۱ تحلیل نرم‌افزاری حسگر، تحت بیشینه نیرو در جهت X ۶۹
۳-۱-۲ تحلیل نرم‌افزاری حسگر، تحت بیشینه نیرو در جهت Y ۷۰
۳-۱-۳ تحلیل نرم‌افزاری حسگر، تحت بیشینه نیرو در جهت Z ۷۲
۳-۱-۴ تحلیل نرم‌افزاری حسگر، تحت بیشینه گشتاور حول محور X ۷۳
۳-۱-۵ تحلیل نرم‌افزاری حسگر، تحت بیشینه گشتاور حول محور Y ۷۴
۳-۱-۶ تحلیل نرم‌افزاری حسگر، تحت بیشینه گشتاور در جهت Z ۷۵
۳-۱-۷ تحلیل نرم‌افزاری حسگر طراحی شده، تحت بیشینه نیرو در جهت Y و بیشینه گشتاور حول محور Z ۷۶
۳-۱-۸ تحلیل نرم‌افزاری حسگر، تحت بیشینه نیروها و گشتاورها در هر ۳ جهت X و Y و Z ۷۷
۳-۱-۹ میزان کرنش‌های اندازه‌گیری شده در نرم‌افزار برای مکان نصب کرنش‌سنج‌ها ۷۹

۳-۲ نتایج کالیبراسیون مربوط به نیروسنج به کار رفته برای کالیبراسیون سازه حسگر ۸۱
۳-۳ نتایج کالیبراسیون مربوط به سازه حسگر طراحی شده ۸۱
۳-۳-۱ قابلیت تکرار پذیری حسگر شش درجه آزادی ۸۶
۳-۳-۲ نتایج بررسی پسماند یا هیستریزیس در حسگر ۸۷
۳-۳-۳ نتایج بررسی میزان حساسیت حسگر طراحی شده ۸۷
۳-۳-۴ قدرت تفکیک حسگر شش درجه آزادی نیرو- گشتاور ۸۸
۳-۴ نتیجه‌گیری کلی ۸۹
۳-۵ پیشنهادات ۹۰
منابع ۹۱

فهرست تصویرها

شماره و عنوان تصویر **شماره صفحه**

شکل ۱-۱: نمایش واحدهای مختلف دستگاه اندازه‌گیری ۶

شکل ۱-۲: کشیده شدن و فشرده شدن طرفین تیر یک سر درگیر ۱۰

شکل ۱-۳: کشش با نیروی اعمال شده از یک سو ۱۰

شکل ۱-۴: نمودار کرنش – تنش برای یک قطعه از فولاد نرم ۱۲

شکل ۱-۵: کرنش سنج از نوع سیم‌های فلزی محکم شده ۱۴

شکل ۱-۶: کرنش سنج از نوع فویلی مقاومتی ۱۴

شکل ۱-۷: نمونه‌هایی از گیج‌ها ۱۵

شکل ۱-۸: مدار پل وتستون ساده ۱۷

شکل ۱-۹: مدار پل وتستون تحت تنش (به جای یکی از مقاومت‌ها یک استرین‌گیج نصب باشد) ۱۸

شکل ۱-۱۰: نمایش نحوه نصب گیج‌های فعال و غیر فعال برای جبران دما ۱۹

شکل ۱-۱۱: مدار پل وتستون با دو کرنش‌سنج فعال و غیر فعال به جای دو مقاومت ۲۰

شکل ۱-۱۲: نمایش فیزیکی نصب دو کرنش‌سنج برای افزایش حساسیت در نیروسنج ۲۰

شکل ۱-۱۳: نحوه سیم‌کشی و اتصال صحیح کرنش‌سنج به مدار پل وتستون ۲۲

شکل ۱-۱۴: نیروسنج مالتس کراس ۲۵

شکل ۱-۱۵: نیروسنج شینمن ۲۶

شکل ۱-۱۶: نیروسنج اسپلتزر ۲۷

شکل ۱-۱۷: نیروسنج مییر ۲۸

شکل ۱-۱۸: نیروسنج آستک ۲۸

شکل ۱-۱۹: نیروسنج فریم-تراس ۲۹

شکل ۱-۲۰: نیروسنج واتسون ۳۰

شکل ۱-۲۱: نیروسنج مفصلی استوارت ۳۱

شکل ۱-۲۲: سازه یوشیکاوا – میازاکی ۳۲

شکل ۱-۲۳: اجزای حسگر به صورت مجزا (A: قسمت بالایی، B: قسمت میانی، C: قسمت پایینی) ۳۳

شکل ۱-۲۴: قطعات جدا شده نیروسنج ۶ درجه آزادی نیرو گشتاور ۳۴
شکل ۱-۲۵: تصویر شماتیک واحد حسگر ۳۵
شکل ۱-۲۶: تصویر نیروسنج شش درجه آزادی ۳۵
شکل ۱-۲۷: نیروسنج گابسون ۳۶
شکل ۱-۲۸: نیروسنج شنگ ۳۷
شکل ۱-۲۹: دینامومتر سه محوری گادوین ۳۸
شکل ۲-۱: نمایش بلوک‌های ایجاد شده در بدنه حسگر ۴۳
شکل ۲-۲: نمایش پایه‌های حسگر ۴۴
شکل ۲-۳: نقشه سه نمای حسگر و جهت محورهای مختصات (ابعاد بر حسب میلی‌متر) ۴۵
شکل ۲-۴: نمای ۳ بعدی سازه طراحی شده در نرم‌افزار ۴۶
شکل ۲-۵: نمایش سازه پس از مش‌بندی ۴۹
شکل ۲-۶: یک نمونه از کرنش‌سنج‌های به کار رفته در سازه ۵۱
شکل ۲-۷: مدار پل وتستون ۵۲
شکل ۲-۸: نمایش مکان و نام هر یک از تیرها ۵۳
شکل ۲-۹: نمایش مکان نصب کرنش‌سنج‌ها ۵۶
شکل ۲-۱۰: (الف) مکان نصب کرنش‌سنج‌ها (ب) نمونه‌ای از کرنش‌سنج چسبانده شده ۵۸
شکل ۲-۱۱: دیتالاگر DT800 ..... ۶۱
شکل ۲-۱۲: نقشه پل وتستون و کانال مرتبط آن در نرم‌افزار دیتالاگر ۶۱
شکل ۲-۱۳: قطعه ساخته شده پس از پرداخت نهایی ۶۳
شکل ۲-۱۴: کالیبراسیون نیروسنج S شکل ۶۴
شکل ۲-۱۵: نمایش بخش‌های مختلف سیستم کالیبراسیون حسگر ۶۶
شکل ۲-۱۶: نمای کامل از سیستم کالیبراسیون حسگر برای اعمال گشتاور حول محور Y ۶۶
شکل ۲-۱۷: نمای کامل از سیستم کالیبراسیون حسگر برای اعمال نیرو در جهت X ۶۷
شکل ۳-۱: نتایج تحلیل نرم افزاری برای اعمال نیروی ۲۵۰۰ نیوتنی به حسگر در جهت X ۷۰
شکل ۳-۲: نتایج تحلیل نرم افزاری برای اعمال نیروی ۵۰۰۰ نیوتنی به حسگر در جهت Y ۷۱
شکل ۳-۳: نتایج تحلیل نرم افزاری برای اعمال نیروی ۲۵۰۰ نیوتنی به حسگر در جهت Z ۷۲
شکل ۳-۴: نتایج تحلیل نرم افزاری برای اعمال گشتاور ۲۵۰۰ Nm به حسگر در جهت X ۷۳

شکل ۳-۵: نتایج تحلیل نرم افزاری برای اعمال گشتاور ۲۵۰۰ Nm به حسگر در جهت Y ۷۴
شکل ۳-۶: تحلیل نرم افزاری برای اعمال گشتاور ۵۰۰۰ Nm به حسگر در جهت Z ۷۵
شکل ۳-۷: تحلیل نرم افزاری برای اعمال نیرو و گشتاور ۵۰۰۰ نیوتنی و نیوتن متری به حسگر در جهت به ترتیب Yو Z ۷۷
شکل ۳-۸: تحلیل نرم افزاری سازه برای اعمال بیشینه نیروها و گشتاورها در هر ۳ جهت X و Y و Z ۷۸
شکل ۳-۹: نمودار کالیبراسیون نیروسنج S شکل ۸۱
شکل ۳-۱۰: نمودار کالیبراسیون حسگر در حالت بارگذاری و باربرداری نیرو در جهت X ۸۲
شکل ۳-۱۱: نمودار کالیبراسیون حسگر در حالت بارگذاری و باربرداری نیرو در جهت Y ۸۳
شکل ۳-۱۲: نمودار کالیبراسیون حسگر در حالت بارگذاری و باربرداری نیرو در جهت Z ۸۳
شکل ۳-۱۳: نمودار کالیبراسیون حسگر در حالت بارگذاری و باربرداری گشتاور حول محور X..... ۸۴
شکل ۳-۱۴: نمودار کالیبراسیون حسگر در حالت بارگذاری و باربرداری گشتاور حول محور Y..... ۸۴
شکل ۳-۱۵: نمودار کالیبراسیون حسگر در حالت بارگذاری و باربرداری گشتاور حول محور Z..... ۸۵

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول **شماره صفحه**

جدول ۲-۱: مشخصات فولاد ۱۰۴۵ سرد کاری شده ۴۷

جدول ۲-۲: اطلاعات مربوط به مش‌بندی سازه در نرم‌افزار ۴۸

جدول ۲-۳: مشخصات کرنش‌سنج‌های انتخاب شده برای نصب بر روی سازه ۵۱

جدول ۲-۴: تعیین مکان نصب کرنش‌سنج‌های مربوط به نیرو بر روی تیرها ۵۴

جدول ۲-۵: تعیین مکان نصب کرنش‌سنج‌های مربوط به گشتاور بر روی تیرها ۵۵

جدول ۲-۶: جدول راهنما مربوط به تصویر مکان نصب کرنش‌سنج‌ها ۵۷

جدول ۲-۷: نحوه آرایش کرنش‌سنج‌ها در پل وتستون جهت اندازه‌گیری نیروها و گشتاورها ۵۹

جدول ۳-۱: مقادیر کرنش در نقاط گرهی برای نیروی در جهت Y و گشتاور حول محور z ۷۹

جدول ۳-۲: مقادیر کرنش در نقاط گرهی برای اعمال نیرو در سه جهت x و Y و z ۸۰

جدول ۳-۳: پارامترهای کالیبراسیونی حسگر شش درجه آزادی نیرو - گشتاور ۸۵

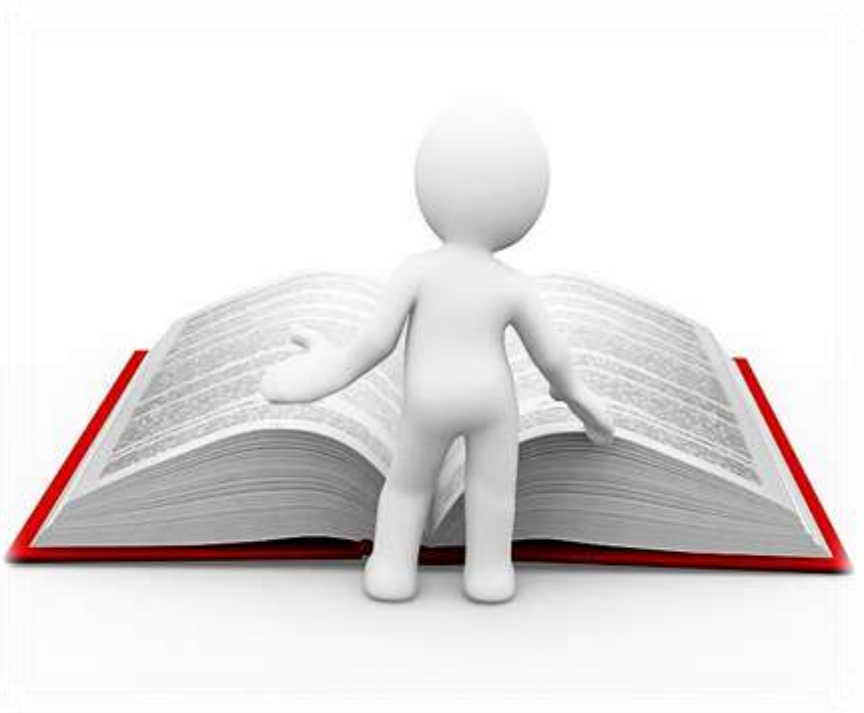
جدول ۳-۴: مقادیر قابلیت تکرارپذیری برای شش مؤلفه نیرو و گشتاور در حالت بارگذاری و باربرداری... ۸۶

جدول ۳-۵: داده‌های مربوط به بررسی پسماند ۸۷

جدول ۳-۶: میزان حساسیت هر یک از پارامترهای اندازه گیری شده ۸۸

جدول ۳-۷: قدرت تفکیک‌پذیری هر یک از پارامترهای اندازه گیری شده ۸۸

فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته



۱-۱ مقدمه

با وجود آنکه منابع اصلی تولید محصولات کشاورزی شامل آب و زمین در جهان ثابت است، جمعیت جهان به صورت روز افزون و صعودی در حال افزایش است. این موضوع موجب شده است که بشر برای تأمین مواد غذایی و نیازهای خود دچار چالش گشته و برای حل این مشکل ناگزیر گشته که به استفاده از تکنولوژی‌ها روی آورد. زیرا تکنولوژی‌ها عملکرد زمین، آب و نیروی کار را که منابع اصلی تولید هستند افزایش می‌دهد. ماشین‌های کشاورزی به عنوان یکی از تکنولوژی‌های در حال پیشرفت، از علل اصلی پیشرفت در بخش کشاورزی به حساب می‌آیند.

در واقع افزایش تولید وابسته به افزایش سطح کاربرد فناوری‌ها و ماشین‌های مورد نیاز بخش کشاورزی است (هرت[1]، ۱۹۸۳ و موشر[2]، ۱۹۷۱ و زمیل و ایکر[3]، ۱۹۷۳). کشورهای توسعه یافته با مدیریت صحیح این تکنولوژی توانسته‌اند میزان تولید محصولات کشاورزی خود را در واحد سطح افزایش دهند و صادرات محصولات کشاورزی نیز داشته باشند. اما در کشورهای در حال توسعه به دلایل مختلف از قبیل مشکلات اقتصادی، فنی، مدیریتی و اجتماعی چنین امری به وقوع نپیوسته است (سالوخه[4]، ۱۹۹۸).

در ایران اولین تراکتور در سال ۱۳۰۸ به دستور رضاخان برای آموزش دانشجویان مدرسه فلاحت خریداری شد (منصوری راد، ۱۳۸۱). پس از آن به صورت تدریجی واردات و ساخت ماشین‌های کشاورزی گسترش یافت. از چند دهه گذشته نیز ماشین‌های کشاورزی وارد مراحل مختلف عرصه تولید شده‌اند و جزو جدا نشدنی ساختار کشاورزی به حساب می‌آیند (قربانی، ۱۳۸۳).

در کشاورزی سنتی، انسان یکی از عوامل اصلی تولید به حساب آمده و از قوای جسمانی او در انجام امور مختلف کشاورزی استفاده شده است. اما در سیستم‌های نیمه مکانیزه و کاملاً مکانیزه، ماشین‌های کشاورزی به‌خصوص تراکتورهای کشاورزی، کنترل نیروها را بر عهده می‌گیرند. در هندوستان کاربرد

1- Herdt
2- Mosher
3- Gemmill and Elcher
4- Salokhe

مناسب و ساده ماشین‌آلات باعث شد کاهش اشتغال به حداقل برسد (دوریزامی[1]، ۱۹۹۰).

به طور کلی ماشین‌آلات کشاورزی با افزایش سطح زیر کشت، افزایش سرعت عملیات کشاورزی روی سطح زمین و بهبود عملیات زراعی و به‌زراعی منجر به افزایش تولید و درآمد کشاورزان و در نهایت افزایش درآمد در بخش کشاورزی می‌شوند. اما باید به این نکته توجه داشت که مکانیزه کردن کشاورزی نیز کار آسانی نبوده و خود با مشکلات زیادی روبرو است که باید با دانش جدید و نیروی متخصص در جهت رفع این موانع گام برداشته شود. برای مثال باید توجه داشت که انرژی مورد نیاز تراکتورها عمدتاً از سوخت‌های فسیلی تجدید ناپذیر و محدود در جهان تأمین می‌گردد و روز به روز بر قیمت آن افزوده می‌شود. با کاهش تدریجی منابع سوخت و متعاقباً با بالا رفتن ارزش سوخت، استفاده بهتر از منابع انرژی نقش مهمی را در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی ایفا می‌کند؛ لذا لازم است که با استفاده و بهره‌مندی از دانش‌های نوین که روز به روز در حال پیشرفت است، کوشش کنیم تا در جهت توسعه و بهینه‌سازی ماشین‌های کشاورزی گام برداریم.

تراکتورهای مزرعه تقریباً ٪۲۰ انرژی مورد نیاز مزرعه را مصرف می‌کنند که بهینه کردن عملکرد تراکتورهای مزرعه‌ای می‌تواند بسیاری از افت‌های انرژی را کاهش دهد. بخش عمده‌ای از انرژی مصرف شده توسط تراکتور برای به کار انداختن ادوات کشاورزی در مزرعه به کار برده می‌شود (مکناب[2] و همکاران، ۱۹۷۷)؛ لذا بهبود کیفیت ادوات کشاورزی برای بهبود عملیات مورد نظر با صرف انرژی توسط تراکتور رابطه‌ای تنگاتنگ دارد. با بررسی پارامترهای مختلف مؤثر بر کیفیت ادوات کشاورزی و تعیین مقدار بهینه این پارامترها برای شرایط مختلف، می‌توان از حداکثر قدرت مالبندی تراکتور استفاده کرد و یا اینکه با بهینه‌سازی ادوات کشاورزی قدرت مورد نیاز را کاهش داد. از طرف دیگر با توسعه‌ی روز افزون تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی و کاربرد آن‌ها، تا زمانی که تحقیقات در زمینه‌های گفته شده به نتیجه نرسد محدودیت‌هایی که به طور معقول از لحاظ افزایش قدرت و سرعت یک تراکتور وجود دارد همچنان به قوت خود باقی خواهد ماند.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت کاری ادوات و تراکتور، میزان نیرویی است که در جهات مختلف و در حین انجام عملیات به آن‌ها وارد می‌شود. تعیین میزان دقیق نیروهای وارد بر تراکتور و ادوات مهم است، زیرا از طریق آن می‌توان ماشین‌های سبک‌تری را طراحی نمود و همچنین می‌توان به بهره‌وری بالاتر، قابلیت اطمینان بیشتر و قیمت کمتر و از سوی دیگر به کارایی بالاتری نیز برای این

1- Duraisami
2- Macnab

ماشین‌ها دست یافت و در مجموع می‌توان یک سری داده را که بیان‌گر عملکرد ماشین است کسب نمود. اطلاع از عملکرد انواع تراکتورها و ادوات برای مدیریت ماشین‌های کشاورزی، طراحان و کارخانه‌های سازنده ضروری است؛ لذا متخصصین کشاورزی تلاش می‌کنند تا مطالعاتی را در زمینه اندازه‌گیری نیرو خصوصاً در مورد آن دسته از ادواتی که انرژی بیشتری مصرف می‌کنند، از قبیل ادوات خاک‌ورزی انجام دهند. در دسترس بودن اطلاعات در مورد نیروی وارد بر یک وسیله خاک‌ورز، یکی از مهم‌ترین عوامل در انتخاب ادوات خاک‌ورزی برای یک کار خاص کشاورزی است. می‌توان از اطلاعات بدست آمده از اندازه‌گیری نیروی وارد بر ادوات خاک ورزی در انواع مشخص خاک‌ها برای تشخیص و تعیین مناسب تراکتور استفاده کرد؛ لذا با استفاده از داده‌های صحیح نیرو می‌توان هزینه کارکرد تراکتور و ادوات را به حداقل رساند.

۱-۲ ضرورت تحقیق و اهداف

بدیهی است که تأمین غذای مورد نیاز جمعیت رو به رشد فعلی و به صورت کلی‌تر، تأمین امنیت غذایی کشور با شیوه‌های سنتی امکان‌پذیر نیست. امروزه نقش و جایگاه مکانیزاسیون در چرخه تولید محصولات کشاورزی بر همگان اثبات شده است. مکانیزاسیون کشاورزی عبارت است از کاربرد ماشین در مراحل مختلف تولید محصولات کشاورزی و دامی، به‌منظور افزایش سرعت عمل، کاهش هزینه‌ها، کاهش زمان تولید، تسهیل عملیات، استفاده بهینه از نهاده‌های کشاورزی و افزایش تولید (بهروزی لار، ۱۳۶۳).

با توجه به تعریف جامعی که از مکانیزاسیون کشاورزی مطرح شده است، مشخص می‌گردد که تعیین نیروی وارد بر ادوات کشاورزی به‌منظور تخمین انرژی مورد نیاز برای اجرای عملیات‌های کشاورزی دارای اهمیت بسیار بالایی می‌باشد. مطالعه و تجزیه و تحلیل نیروهای وارد بر ادوات خاک‌ورزی جهت تعیین توان کل مورد نیاز به منظور تهیه‌ی تراکتور مناسب برای به کار گرفتن ادوات، برقراری اتصال صحیح ادوات با تراکتور، طراحی ادوات از نقطه نظر استحکام و مقاومت کافی و تعیین بهترین اشکال و تنظیمات برای ادوات ضروری می‌باشد (کپنر و همکاران، ۱۹۸۲). زیرا برآورد دقیق نیرو در نهایت می‌تواند هزینه‌های مربوط به تولید محصولات کشاورزی را کاهش دهد و در واقع قادر است تا طراحان و مدیران بخش تولید در زمینه‌های مختلف کشاورزی را برای ساخت ماشینی با مصرف انرژی کمتر هدایت کند که این می‌تواند همان هدف نهایی باشد که بتوان با صرف انرژی کمتر، محصول بیشتر و با کیفیت بهتر را به جامعه به ارمغان آورد.

طراحی و ساخت ادوات جهت عملکرد مؤثر و کارآمد نیازمند تعیین نیروهای وارده از طرف خاک بر

ابزار و ادوات خاک ورزی می‌باشد. همچنین پیش‌بینی نیروهای وارد از طرف خاک نیازمند شناخت نیروهای فوق‌الذکر می‌باشد. از طرف دیگر بسیاری از مدل‌های توسعه داده شده در زمینه نیروهای وارد بر ادوات خاک ورزی پیش‌گویی واقعی را انجام نمی‌دهند و لازم است زمانی که ابزار در حال کار در داخل زمین می‌باشند، میزان نیروهای واقعی وارد از طرف خاک بر ادوات اندازه‌گیری شود. همچنین با توجه به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای لازم است ابزار در اشکال گوناگون را با یکدیگر مقایسه کرده و ابزاری که دارای کارایی بهتری است، انتخاب شود. هدف از این تحقیق طراحی، ساخت و کالیبراسیون یک حسگر نیرو-گشتاور با شش درجه آزادی می‌باشد بطوریکه بتواند نیروهای وارد بر ادوات کشاورزی را در سه جهت و همچنین گشتاورهای وارد بر آن‌ها را اندازه‌گیری نماید. به طوری که بعداً نیز به آن اشاره خواهد شد اکثر مبدل‌های توسعه داده شده به منظور اندازه‌گیری نیروهای وارد بر ادوات خاک ورزی بسیار پیچیده بوده، کالیبره کردن آن‌ها دشوار بوده اما کوشش گشته تا در این تحقیق به طراحی نیروسنجی پرداخته شود که از سادگی کافی برخوردار بوده و کار با آن آسان باشد.

۱-۳ کلیات و تعاریف

ابزار دقیق، موضوعی است که در علوم، مهندسی، کشاورزی و پزشکی دارای اهمیت اساسی است. از یک دانشجوی مشغول به مطالعه در آزمایشگاه گرفته، تا اپراتور یک نیروگاه هسته ای همه به اندازه‌گیری دقیق نیازمندند و در واقع اندازه‌گیری، شرط لازم برای کنترل مهم عملیات فیزیکی است.

اندازه گیری‌ها به وسیله عناصری به نام ترانسدیوسرها انجام می‌شود. ترانسدیوسر وسیله ای است که انرژی را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل می‌کند. ترانسدیوسرهای خروجی که عملگر نامیده می‌شوند، انرژی الکتریکی، نیوماتیکی، هیدرولیکی و دیگر شکل‌های انرژی را به نیروی مکانیکی و یا جابجایی تبدیل می‌کنند. ترانسدیوسرهای ورودی که به سنسورها معروف هستند، پارامترهای حالت همچون، درجه حرارت، فشار، نیرو، قدرت میدان مغناطیسی و غیره را معمولاً تبدیل به انرژی الکتریکی می‌کنند. چون اندازه گیری اطلاعات و فرآوری آن‌ها به صورت الکتریکی مناسب‌تر و راحت‌تر است (عباسپور گیلانده، ۱۳۹۰).

۱-۳-۱ دستگاه‌های اندازه‌گیری (ترانسدیوسرها)

دستگاه اندازه‌گیری عبارت از ابزاری است که کمیت مورد اندازه‌گیری را برای انسان قابل درک و آن را بر حسب واحد تعریف شده مربوطه قابل اندازه‌گیری می‌نماید. یک دستگاه اندازه‌گیری چه به صورت