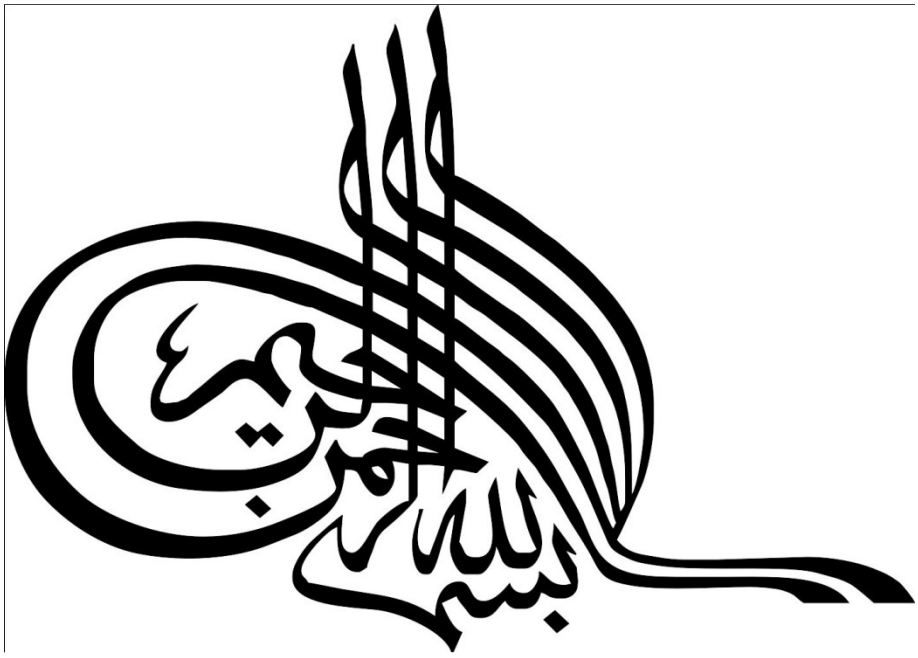
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده کشاورزی
پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی**

طراحی، ساخت و ارزیابی تیغه‌های جدید برش ساقه در ماشین برداشت نیشکر

نگارش:
رسول همتیان

استاد راهنما:
دکتر غلامحسن نجفی

استاد مشاور:
دکتر تیمور توکلی هشجین

بهمن ۱۳۹۰

بسمه تعالی

اعضای هیأت داوران نسخه نهایی پایان‌نامه آقای **رسول همتیان** تحت عنوان: «**طراحی، ساخت و ارزیابی تیغه‌های جدید برش ساقه در ماشین برداشت نیشکر** » را از نظر شکل (فرم) و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد پیشنهاد می‌کنند.

این پایان نامه به ارزش ۶ واحد در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۱ ارائه شد.

ردیف	اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
۱	استاد راهنما	غلامحسن نجفی	استادیار	
۲	استاد مشاور	تیمور توکلی هشجین	استاد	
۳	نماینده تحصیلات تکمیلی	محمد هادی خوش تقاضا	دانشیار	
۴	استاد ناظر داخلی	سعید مینایی	دانشیار	
۵	استاد ناظر خارجی	علی فدوی	استادیار	

بسمه تعالی

آیین نامهٔ چاپ پایان‌نامه(رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبیّن 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:

مادّه 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.

مادّه ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

" کتاب حاضر، حاصل پایان نامهٔ کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی جناب آقای دکتر **غلامحسن نجفی** و مشاورهٔ جناب آقای دکتر **تیمور توکلی هشتجین** از آن دفاع شده است"

مادّه 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.

مادّه ۴ در صورت عدم رعایت مادّه ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

مادّه 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 مادّه ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّه ۶ اینجانب **رسول همتیان** دانشجوی رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

رسول همتیان
۱۳۹۰/۱۱/۱۱

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها 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 ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- 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 دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب ، 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 دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه می باشد، باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

رسول‌همتیان
۹۰/۱۱/۱۱

گویند سنگ لعل شود در مقام صبر آری شود ولیک به خون جگر شود

تقدیم به

پدر و مادرم

که بعد از خدا هر چه دارم
از آن‌هاست

برادرم

که‌مشوق من در این راه بوده است.

.... و تمامی جویندگان واقعی علم

تشکر و قدردانی

ستایش و سپاس، خالق هستی را سزاست که علم را مایه مباهات قرار داد و بر این بنده کمترین، منت گذارده و همواره هادی و راهنمایم بوده است. اکنون که به لطف و یاری خداوند متعال، مراحل نگارش و تدوین تحقیق به اتمام رسیده است لازم می‌دانم مراتب امتنان و قدردانی فراوان خویش را تقدیم سرورانی نمایم که ارائه پایان نامه حاضر مرهون مساعدت‌های بی‌شائبه آنان بوده است. در درجه اول سپاس گذار خانواده محترمم هستم که تا این مرحله از زندگی‌ام همواره مشوق بنده بوده‌اند. از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای **دکتر غلامحسن نجفی** و استادمشاور گرامی‌ام جناب آقای **دکتر تیمور توکلی هشجین** که بزرگوارانه و دلسوزانه با مساعدت‌های بی دریغ خویش راه‌گشای انجام تحقیق شدند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از جناب آقایان **مهندس بهرام حسین زاده** و **مهندس محمد کاظمی** که در طول انجام پروژه با مساعدات ارزشمند خود اینجانب را بهره‌مند ساختند، تشکر فراوان دارم. از استادان محترم ناظر پایان نامه جناب آقای **دکتر سعید مینایی** و جناب آقای **دکتر علی فدوی** که زحمت مطالعه پایان نامه را عهده‌دار بودند و با راهنمایی‌ها و نظرات سازنده باعث غنی‌تر شدن پژوهش حاضر گردیدند نهایت قدردانی را می‌نمایم.

جادارد که مراتب تشکر خود را از شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی اهواز، کشت و صنعت میرزا کوچک خان و مرکز تحقیقات نیشکر که همکاری‌های لازم را در انجام این پایان نامه داشتند، اعلام دارم.

در پایان توفیق یکایک این عزیزان در مراحل مختلف زندگی را از خداوند منان خواهانم.

چکیده:

امروزه برداشت نیشکر بر اساس برش ناشی از حرکت دورانی تیغه‌های برش ماشین برداشت نیشکر انجام می‌گیرد. مطابق بررسی‌های انجام شده مشخص گردیده است که یکی از مشکلات اصلی کار با دستگاه‌های برداشت نیشکر، شکستگی و سایش تیغه‌های برش ماشین برداشت نیشکر در زمان برداشت محصول می‌باشد که تاثیر بسزایی در کیفیت محصول نهایی و کاهش ضایعات این محصول دارد.

در این پژوهش ابتدا مقاومت و انرژی برشی ساقه نیشکر در شرایط آزمایشگاهی جهت طراحی و تحلیل تیغه‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزارهای (CAE) تیغه‌ها طراحی شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. در پایان تیغه‌ها با سه نوع فولاد (100Cr6, 16MnCr5, Ck60) و دو روش سخت‌کاری (القایی و حرارتی) ساخته شد و مقدار سایش آن‌ها در حین عملیات برداشت مزرعه‌ای اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج اندازه‌گیری مقاومت و انرژی برشی ساقه نیشکر نشان داد که با کاهش رطوبت از ۷۸٪ به ۴۶٪ (w.b)، مقاومت و انرژی برشی به ترتیب ۱۶/۳٪ و ۱۶/۷٪ کاهش می یابند. با افزایش سرعت در برش به روش شبه استاتیکی افزایش ۳/۲٪ و ۴/۶٪ در مقاومت و انرژی برشی مشاهده شد. انتخاب گره‌هایی در ارتفاع بالاتر ساقه، به دلیل کاهش قطر ساقه، کاهش مقاومت برشی و انرژی برشی مشهود بوده است. متوسط مقاومت برشی و انرژی برشی ساقه نیشکر در برش شبه استاتیکی به ترتیب برابر ۳/۱(MPa) و ۱۰۲/۶(mJ/mm^2) می‌باشد. مدل ریاضی تابع درجه سوم بهترین همبستگی بین مقاومت و انرژی برشی با رطوبت داشت و همچنین مدل هرل نیز بهترین همبستگی بین مقاومت و انرژی برشی با سرعت برش را داشته است. همچنین نتایج تحلیل نرم‌افزاری تیغه‌ها نشان داد که بیشترین تنش‌ها در محل اتصال تیغه‌ها به صفحه دوار ماشین برداشت نیشکر رخ می‌دهد. تیغه مثلثی با داشتن فرکانس هفتم به میزان ۴۲۹/۴۰ هرتز بهترین تیغه از نظر مقاومت در برابر پدیده تشدید می‌باشد. نتایج بدست آمده از تحلیل خستگی تیغه‌ها نشان داد که تیغه مثلثی با میزان آسیب خستگی $۴/۳۷\times۱۰^{-۱۹}$ و ضریب اطمینان ۴/۲۲ برای نقطه بحرانی، بهترین تیغه می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس آزمون مزرعه‌ای تیغه‌ها نشان داد که اثر روش سخت‌کاری، جنس تیغه، طرح تیغه و اثر متقابل روش سخت‌کاری و جنس تیغه بر روی سایش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که جنس 100Cr6 و سخت‌کاری القایی با ۶۴/۴۱ گرم سایش در ۲۴ ساعت کاری تیغه‌ها، کمترین سایش را نیز به خود اختصاص داده است.

کلمات کلیدی: نیشکر، تیغه، مقاومت برشی، انرژی برشی، فرکانس، سایش، تحلیل خستگی، سخت‌کاری.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده

فهرست مطالب **الف**

فهرست نمادها **ه**

فهرست شکل‌ها **ز**

فهرست جداول **ی**

فصل اول:کلیات ۱

۱-۱ مقدمه..... ۱

۱-۲ تعریف مساله ۲

۱-۳ اهداف پژوهش ۳

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته..... ۴

۲-۱ مقدمه..... ۴

۲-۲ نیشکر..... ۴

۲-۲-۱ ماشین برداشت نیشکر..... ۷

۲-۳ نیروی برشی ۹

۲-۳-۱ مولفه‌های نیروی برشی..... ۹

۲-۳-۲ عکس‌العمل نیروهای برشی روی تیغه..... ۱۰

۲-۳-۳ نیروهای جانبی در وسیله برش..... ۱۲

۲-۳-۴ نیروهای نگهدارنده ۱۲

۲-۳-۵ شکل‌های مختلف برش..... ۱۲

۲-۴ حالت‌های مختلف نیروی برشی..... ۱۳

۲-۴-۱ نیروی برش ضربه‌ای..... ۱۳

۲-۴-۲ نیروی برش قیچی..... ۱۴

۲-۴-۳ نیروهای ویژه برش ۱۶

۲-۴-۴ انرژی برشی و انرژی ویژه برشی ۱۷

۲-۴-۵ مقاومت برشی..... ۱۹

۲-۵ جمع بندی عوامل مؤثر بر نیروی برشی و انرژی برشی ۱۹
۲-۵-۱ عامل رطوبت ۱۹
۲-۵-۲ عامل ضخامت بخش جامد لایه مواد ۲۰
۲-۵-۳ عامل لهیدگی یا فشار اولیه ۲۰
۲-۵-۴ اثر پهنای برش ۲۰
۲-۵-۵ اثر سختی تیغه و سایش ۲۱
۲-۵-۶ اثر ارتفاع برش ۲۱
۲-۵-۷ اثر سرعت برش ۲۲
۲-۶ شبیه‌سازی و تحلیل به کمک کامپیوتر(CAE) ۲۵
۲-۷ سخت‌کاری ۲۵
۲-۷-۱ پوسته سختی ۲۶
۲-۷-۲ سخت کای به وسیله خنک کاری سریع (آب دادن) ۲۶
۲-۷-۳ کربن‌دهی ۲۶
۲-۷-۴ نیتروژن‌دهی ۲۷
۲-۷-۵ سخت کاری شعله‌ای ۲۸
۲-۷-۶ سخت‌کاری القایی ۲۹
۲-۷-۷ سخت‌کاری به کمک لیزر ۲۹
۲-۷-۸ سخت کاری سطحی ۳۰
۲-۸ پژوهش‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی ۳۰
۲-۹ ویژگی‌های این تحقیق ۴۱

فصل سوم: مواد و روش‌ها ۴۲
۳-۱ مقدمه ۴۲
۳-۲ اندازه‌گیری نیروی برشی نیشکر به روش شبه استاتیکی ۴۲
۳-۳ طراحی تیغه ۴۴
۳-۴ تحلیل تیغه‌ها با استفاده از نرم افزار ۴۶
۳-۴-۱ تحلیل مودال تیغه‌ها ۴۶
۳-۴-۲ تحلیل تنش به روش اجزای محدود ۴۷
۳-۴-۲-۱ تهیه مدل سه‌بعدی هندسی و اجزای محدود (المان‌بندی 3D) ۴۸
۳-۴-۲-۲ ساخت مدل اجزای محدود (المان‌بندی 3D) ۴۸

۳-۴-۲-۳ تعیین شرایط مرزی ۵۰
۳-۴-۲-۴ تعیین خواص مواد ۵۰
۳-۴-۲-۵ بارگذاری ۵۱
۳-۴-۲-۶ پس پردازش نتایج تحلیل تنش ۵۱
۳-۴-۳ تئوری خستگی ۵۱
۳-۴-۴ تحلیل خستگی به روش اجزای محدود به کمک FEMFAT ۵۶
۳-۵ ساخت تیغه‌ها ۵۷
۳-۵-۱ جنس تیغه‌ها ۵۷
۳-۵-۲ ماشین‌کاری تیغه‌ها ۵۸
۳-۵-۳ سخت‌کاری تیغه‌ها ۵۹
۳-۵-۳-۱ روش سخت‌کاری حرارتی: ۵۹
۳-۵-۳-۲ سخت‌کاری القایی ۶۲
۳-۶ سختی‌سنجی ۶۳
۳-۷ متالوگرفی ۶۴
۳-۸ توزین اولیه قطعات ۶۵
۳-۹ تست مزرعه ۶۵
۳-۹-۱ نصب تیغه‌ها بر روی ماشین برداشت ۶۵
۳-۹-۲ انتخاب مزرعه برداشت ۶۶
۳-۱۰ انتخاب طرح آزمایش ۶۷

فصل چهارم: نتایج و بحث ۶۸
۴-۱ مقدمه ۶۸
۴-۲ نتایج نیرو و انرژی برشی ساقه نیشکر ۶۸
۴-۲-۱ رطوبت ۶۹
۴-۲-۲ سرعت برش ۷۰
۴-۲-۳ موقعیت میان‌گره ۷۲
۴-۲-۴ اثر متقابل رطوبت و سرعت برش ۷۳
۴-۲-۵ اثر متقابل رطوبت و موقعیت میان‌گره ۷۴
۴-۳ نتایج تحلیل تیغه‌ها با استفاده از نرم افزار ۷۷
۴-۳-۱ نتایج تحلیل مودال تیغه ۷۷

۴-۳-۲ نتایج تحلیل تنش ۸۰
۴-۳-۳ نتایج تحلیل خستگی تیغه‌ها ۸۳
۴-۴ نتایج متالوگرافی تیغه‌ها ۹۰
۴-۴ نتایج تست سایش تیغه‌ها در مزرعه ۹۱
۴-۴-۱ روش سخت‌کاری ۹۶
۴-۴-۲ جنس تیغه‌ها ۹۷
۴-۴-۳ طرح تیغه‌ها ۹۸
۴-۴-۴ اثر متقابل جنس تیغه‌ها و روش سخت‌کاری ۹۹
۴-۴-۵ اثر متقابل طرح تیغه‌ها و روش سخت‌کاری ۱۰۰
۴-۴-۶ اثر متقابل جنس و طرح تیغه‌ها ۱۰۰
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۰۲
۵-۱ نتیجه‌گیری ۱۰۲
۵-۲ پیشنهادها ۱۰۳
منابع ۱۰۵
پیوست ۱۰۹
پیوست الف: نقشه‌های ساخت تیغه‌های طراحی شده ۱۰۹

فهرست نمادها

نماد	عنوان	واحد
F_E	نیروی لبه برنده تیغه	N
F_{wn}	نیروهای عمودی وارد بر سطح برنده تیغه	N
F_{wt}	نیروهای مماسی وارد بر سطح برنده تیغه	N
F_C	نیروی برشی در راستای حرکت تیغه	N
β	زاویه تیزی	-
M	جرم گیاه	kg
V_k	سرعت تیغه	m/s
H_c	ارتفاع برش از سطح زمین	m
L_m	ارتفاع مرکز ثقل گیاه از سطح زمین	m
D	قطر ساقه	mm
F_B	مقاومت خمشی در ارتفاع برش	N
t	زمان برش	s
k	جابجایی تیغه	mm
T	ضخامت لایه برش	mm
M_A	جرم ماده خشک بر واحد سطح تیغه ثابت	mg/mm^2
M_B	جرم مخصوص ظاهری جرم ماده خشک بر حجم	mg/mm^2
M_D	جرم مخصوص حقیقی قسمت جامد ماده	mg/mm^2
S	ضخامت جسم جامد در ساقه بین تیغه و تیغه ثابت	mm
M_L	جرم ماده خشک بر واحد طول لایه برش	g/mm^2
E_S	انرژی برشی ویژه	kJ/kg
E_C	کل انرژی برشی	kJ
E_{sm}	انرژی ویژه بر واحد وزن ماده روی تیغه ثابت	kJ.kg/mm
E_{SA}	انرژی ویژه برشی ساقه	J/mm^2
E_1	انرژی برشی یک ساقه	J
A_S	سطح بخش جامد ساقه گیاه تحت نفوذ تیغه	mm^2
W	عرض برش	mm
L_P	طول لایه‌های بریده شده	mm
E	ضریب الاستیسیته	GPa
σ_u	تنش برش نهایی	Pa

F_M	حداکثر نیروی برشی	N
H	مقدار سختی	HV
W_f	جرم نهایی ماده خشک	kg
W_i	جرم اولیه ماده	kg
M_i	محتوای رطوبتی ماده اولیه	-
M_f	محتوای رطوبتی ماده خشک	-
τ_s	مقاومت برشی	Pa
F	نیروی برشی	N
A	سطح موثر ساقه	cm^2
σ_{max} و σ_{min}	تنش بیشینه و تنش کمینه	Pa
σ_a و σ_m	تنش دامنه و تنش میانگین	Pa
R	نسبت تنش کمینه به تنش بیشینه	-
N_f	عمر خستگی	-
σ_f' و τ_f'	ضریب استحکام خستگی در کشش و برش	Pa
b و b_f	نمای استحکام خستگی در کشش و برش	-
σ_e	مقاومت خستگی	Pa
σ_yp	تنش تسلیم	Pa
σ_u	تنش حد کششی	Pa
F_S	ضریب اطمینان	-
σ_1، σ_2 و σ_3	تنش‌های اصلی در میدان سه محوره	Pa
σ_eq	تنش معادل فون‌میسز	Pa
σ_n	تنش نرمال	Pa
D	آسیب خستگی	-
σ_f	مقاومت خستگی	Pa
ε_f	ضریب شکل پذیری خستگی	-

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۲-۱: طرحواره کلی تبدیل نیشکر و نفت به انرژی و مواد شیمیایی ۵
شکل ۲-۲: شماتیک ماشین برداشت نیشکر ۹
شکل ۲-۳: انواع سیستم های مرجع برش ۱۰
شکل ۲-۴: مؤلفه‌های نیروی برشی وارد بر گیاه ۱۰
شکل ۲-۵: نیروهای وارد بر لبه تیز تیغه و سطح تیز تیغه ۱۱
شکل ۲-۶: حالت‌های مختلف قرارگیری تیغه نسبت به ساقه ۱۳
شکل ۲-۷: نیروی وارد بر ساقه گیاه در برش ضربه ای ۱۴
شکل ۲-۸: نمودار تغییرات نیرو در برش قیچی ۱۵
شکل ۲-۹: نمودار تغییرات نیرو در ازای جابجایی تیغه ۱۶
شکل ۲-۱۰: نمودار ساده شده تغییرات نیرو به ازای جابجایی تیغه ۱۶
شکل ۲-۱۱: نیروها و وضعیت برش با تیغه لبه صاف ۱۷
شکل۲-۱۲: مقدار ماده بر واحد طول برش ۱۸
شکل۲-۱۳: تغییر نیروی برشی نسبت به سرعت پایین برش و خلاصی کم تیغه ۲۳
شکل۲-۱۴: تغییر نیروی برشی نسبت به سرعت بالای برش و خلاصی کم تیغه ۲۳
شکل۲-۱۵: تغییر نیروی برشی نسبت به سرعت پایین برش و خلاصی زیاد تیغه ۲۴
شکل۲-۱۶: تغییر نیروی برشی نسبت به زمان در سرعت بالای برش و خلاصی زیاد تیغه ۲۴
شکل ۲-۱۷: سخت کاری به روش کربن‌دهی بسته‌ای ۲۷
شکل ۲-۱۸: سخت کاری به روش نیتروژن دهی ۲۸
شکل ۲-۱۹: سخت کاری به روش شعله‌ای ۲۸
شکل ۲-۲۰: سخت کاری به روش القایی ۲۹
شکل ۲-۲۱: سخت کاری به روش لیزری ۳۰
شکل ۲-۲۲: عکس میکروسکوپی لبه برش تیغه ۳۲
شکل ۲-۲۳: شماتیک آزمایش‌های سایش استفاده شده در تحقیق استاچوویاک و همکاران. ۳۳
شکل ۲-۲۴: تصویر میکروسکوپی سطح ساییده شده توسط سیلیکا ۳۴
شکل ۲-۲۵: کولتیواتور پنجه غازی مورد آزمایش با تیغه‌هایی از سه فولاد متفاوت لبه راست۳۵
شکل ۲-۲۶: عکس نیم رخ لبه ساییده شده ۳۶
شکل ۲-۲۷: تیغه‌های تیلر گردان با سه نوع سخت‌کاری ۳۸
شکل ۲-۲۸: چیدمان تیغه‌های مورد آزمون روی تیلر گردان ۳۸
شکل ۲-۲۹: ابعاد اندازه‌گیری شده تیغه ۳۹

شکل ۲-۳۰: نمودار کاهش وزن نمونه‌ها ۴۰
شکل ۲-۳۱: شماتیک دستگاه آزمون سایش چرخ لاستیکی با شن خشک ۴۰

شکل ۳-۱: (الف) شماتیک فاصله میان گره‌ای. (ب) نمایی از ساقه نیشکر. ۴۲
شکل ۳-۲: (الف) دستگاه آزمون مواد. (ب) دستگاه اندازه گیری مقاومت برشی. ۴۴
شکل۳-۳: طرح تیغه‌های برش کنونی ماشین برداشت نیشکر ۴۴
شکل۳-۴ : (الف)ناحیه شکست تیغه‌های قدیمی. (ب) طرح تقویتی تیغه‌ها ۴۵
شکل۳-۵ : تیغه‌های مثلثی ۴۵
شکل ۳-۶ : تیغه‌های هلالی ۴۶
شکل ۳-۷ : مدل سه بعدی کامل اجزای محدود تیغه‌ها جهت تحلیل مودال ۴۶
شکل ۳-۸ : نمودار روندنمای فرایند CAE انجام شده برای تحلیل ۴۷
شکل ۳-۹ : نمای هندسه المان‌ها الف) المان شش وجهی، ب)المان چهار وجهی ۴۹
شکل ۳-۱۰ : نمایی از هندسه و شبکه بندی تیغه‌های مدل‌سازی شده ۵۰
شکل۳-۱۱ : نمودار S-N با استفاده از نتیجه آزمون‌های خستگی محوری کاملاً معکوس شونده ۵۲
شکل ۳-۱۲ : تعیین آسیب تجمعی از منحنی تنش- زمان و منحنی S-N ۵۶
شکل ۳-۱۳ : دیاگرام آهن-کربن فولاد ۶۰
شکل ۳-۱۴ : کوره عملیات سخت‌کاری ۶۱
شکل۳-۱۵: بیرون آوردن نمونه‌ها ۶۱
شکل۳-۱۶ : حرکت دادن نمونه‌ها در آب ۶۲
شکل ۳-۱۷ : دستگاه سختی سنج ۶۳
شکل۳-۱۸ : دستگاه سنباده‌زنی ۶۴
شکل۳-۱۹ : ماشین برداشت نیشکر ۶۶
شکل ۳-۲۰ : دیسک‌ها و طریقه نصب تیغه‌ها ۶۶

شکل۴-۱: اثر متقابل رطوبت و سرعت برش بر مقاومت برشی ساقه نیشکر ۷۵
شکل۴-۲: اثر متقابل رطوبت و سرعت برش بر انرژی برشی ساقه نیشکر ۷۵
شکل۴-۳: اثر متقابل رطوبت و موقعیت گره ساقه بر مقاومت برشی ساقه نیشکر ۷۵
شکل ۴-۴: اثر متقابل رطوبت و موقعیت گره ساقه بر انرژی برشی ساقه نیشکر ۷۵
شکل ۴-۵: یک نمونه منحنی نیرو - جابه‌جایی برای ساقه نیشکر با رطوبت ۷۸ درصد ۷۶
شکل ۴-۶: مود هفتم تحلیل مودال تیغه‌ها ۷۸
شکل۴-۷ : شکل مودهای اول تا دهم تحلیل مودال تیغه مثلثی ۸۰
شکل ۴-۸: کانتور تنش فون‌میسز در تیغه‌ها ۸۲

شکل ۴-۹: کانتور شش مولفه تنش ۸۳
شکل ۴-۱۰: کانتور تنش فون میسز الف) بیشینه و ب) کمینه درتیغه‌ها ۸۵
شکل ۴-۱۱: کانتور تنش فون میسز الف) دامنه و ب) میانگین در تیغه‌ها ۸۶
شکل ۴-۱۲: نمودارهای الف) تنش-کرنش و ب) تنش-عمر (S-N) برای فولاد بکار رفته در تیغه‌ها ۸۷
شکل ۴-۱۳: الف) نمودار خستگی(haigh) و ب) اطلاعات مهندسی فولاد بکار رفته در تیغه‌ها ۸۸
شکل ۴-۱۴: کانتور الف) آسیب و ب) ضریب اطمینان خستگی در تیغه‌ها ۸۹
شکل ۴-۱۵: نتایج متالوگرافی نمونه‌ای از تیغه‌ها با جنس‌های نشان داده شده و روش‌های سخت‌کاری متفاوت ۹۱
شکل۴-۱۶: اثر جنس تیغه‌ها بر میزان سایش کل آن‌ها ۹۲
شکل۴-۱۷: اثر طرح تیغه‌ها بر میزان سایش کل آن‌ها ۹۴
شکل۴-۱۸: اثر متقابل جنس تیغه‌ها و روش سخت‌کاری بر میزان سایش کل ۹۵
شکل ۴-۱۹: رابطه سختی و مقاومت سایشی ۹۵
شکل ۴-۲۰: نمودار نرخ کاهش وزن تیغه‌ها طی هر دو ساعت کارکرد برای جنس 100Cr6. ۹۷

شکل الف-۱: تیغه مثلثی ۱۰۹
شکل الف-۲: تیغه هلالی ۱۱۰
شکل الف-۳: تیغه تقویت شده ۱۱۰

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول۲-۱: نسبت سایش تیغه در برش محصولات مختلف ۲۱
جدول۳-۱ : متغیرهای مستقل و وابسته ۴۳

جدول ۳-۲ : تعداد و نوع المان‌ها و تعداد گره‌ها در هر یک از تیغه‌ها ۴۹
جدول ۳-۳ : مشخصات مهندسی ماده تشکیل دهنده تیغه‌ها ۵۰
جدول ۳-۴ : استاندارد مختلف فولادها ۵۷
جدول ۳-۵ : آنالیز نمونه فلز Ck 60 ..... ۵۸
جدول ۳-۶ : آنالیز نمونه فلز 100Cr6 ..... ۵۸
جدول ۳-۷ : آنالیز نمونه فلز 16MnCr5 ..... ۵۸
جدول ۳-۸: مشخصات دستگاه‌های به کار رفته ۵۹
جدول ۳-۹: سطوح متغیرهای مستقل آزمایش ۶۷

جدول ۴-۱ تجزیه واریانس انرژی برشی ساقه نیشکر تحت تیمارهای مختلف ۶۸
جدول۴-۲ تجزیه واریانس مقاومت برشی ساقه نیشکر تحت تیمارهای مختلف ۶۹
جدول ۴-۳ اثر رطوبت بر روی مقاومت و انرژی برشی ساقه نیشکر ۶۹
جدول ۴-۴: نتایج آماری بدست آمده از مدل‌های مختلف (ضرایب همبستگی) برای مقاومت برشی و رطوبت ۷۰
جدول ۴-۵: نتایج آماری بدست آمده از مدل‌های مختلف (ضرایب همبستگی) برای انرژی برشی و رطوبت ۷۰
جدول ۴-۶ اثر سرعت برش بر روی مقاومت و انرژی برشی ساقه نیشکر ۷۱
جدول ۴-۷: نتایج آماری بدست آمده از مدل‌های مختلف (ضرایب همبستگی) برای مقاومت برشی و سرعت برش ۷۱
جدول ۴-۸: نتایج آماری بدست آمده از مدل‌های مختلف (ضرایب همبستگی) برای انرژی برشی و سرعت برش ۷۲
جدول ۴-۹ اثر موقعیت میان‌گره بر روی مقاومت و انرژی برشی ساقه نیشکر ۷۳
جدول ۴-۱۰ مودهای و فرکانس‌های طبیعی تیغه‌ها ۷۷
جدول ۴-۱۱: بیشینه تنش فون‌میسز رخ داده در تیغه‌های مختلف تحت بحرانی‌ترین شرایط کاری ۸۱
جدول ۴-۱۲: تجزیه واریانس داده‌های سایش تیغه‌ها تحت تیمارهای مختلف ۹۲

جدول ۴-۱۳: نتایج سختی سنجی ۹۳
جدول ۴-۱۴: اثر جنس تیغه‌ها بر سایش آن‌ها ۹۸
جدول ۴-۱۵: اثر طرح تیغه‌ها بر سایش آن‌ها ۹۹
جدول ۴-۱۶: اثر متقابل جنس تیغه‌ها و روش سخت‌کاری بر سایش آن‌ها ۹۹
جدول ۴-۱۷: اثر متقابل طرح تیغه‌ها و روش سخت‌کاری بر سایش آن‌ها ۱۰۰
جدول ۴-۱۸: اثر متقابل جنس وطرح تیغه‌ها بر سایش آن‌ها ۱۰۱

فصل اول
کلیات

۱-۱ مقدمه

امروزه رضایت مشتری به یکی از مقوله‌های مهم در بین شرکت‌های سازنده ماشین‌های کشاورزی تبدیل شده است. لذا شناسایی، بررسی و بهینه‌سازی قسمت‌هایی که عموماً تحت خطر شکست، سایش، خستگی و ارتعاش هستند، اهمیت بسزایی دارد. بهینه‌سازی قطعات اصلی ماشین‌ها علاوه بر کاهش جرم قطعات، موجب اصلاح شکل، برطرف شدن نقاط ضعف و بالا رفتن ضریب ایمنی می‌شود.

در دنیای جدید بدلیل رشد روز افزون جمعیت و افزایش نیاز غذایی و پیشرفت‌های علمی، نیاز به تولید بیشینه افزایش یافته است. تولید بیشتر در واحد سطح عاملی مهم و تعیین‌کننده است. در این بین محدودیت‌های اقلیمی و زمانی و نیروی کارگری از مهمترین موانعی است که در مسیر تولید بیشتر قرار دارد. در این بین نیشکر نیز از این قاعده پیروی می‌کند. طراحان ماشین‌های کشاورزی در زمینه‌ی تولید ماشین برداشت نیشکر تلاش‌های بسیاری نمودند و بالاخره توانستند ماشین‌های برداشت نیشکر را تولید نمایند. لازم به توضیح است که همانند تمامی ماشین‌های مکانیزه‌ی برداشت محصولات کشاورزی، پس از چندین سال تکامل طرح‌های اولیه این ماشین‌ها همچنان دارای مشکلاتی در مسیر بهتر شدن برداشت و کاهش ضایعات می‌باشند. از جمله مشکلات موجود در ماشین برداشت نیشکر شکستن زود هنگام تیغه‌های برنده این ماشین‌ها می‌باشد.

گرچه شکل تیغه‌های ماشین‌های برداشت ساده به نظر می‌رسد، لیکن دارای عملکرد پیچیده‌ای است که نیازمند بهره‌گیری از دانش فنی بالایی می‌باشد. در یک ماشین برداشت صدها جزء وجود دارد که باید بخوبی وظیفه خود را انجام دهند تا کارایی آن را افزایش دهند. هر کدام از این قطعات نیازمند طراحی خاص مهندسی بوده که باید کلیه مراحل آن از مرحله امکان‌سنجی تا مرحله تولید به دقت انجام شود. طراحی و تحلیل قطعات ماشین برداشت در گذشته با روش‌های دستی انجام می‌شد. ولی در دهه‌های اخیر که نرم‌افزارهای طراحی مکانیکی به بازار عرضه شده‌اند، محاسبات دستی جای خود را به محاسبات دقیق نرم‌افزاری داده‌اند. امروزه دیگر اهمیت استفاده از نرم‌افزارها و رایانه‌های قدرتمند در طراحی و تحلیل سامانه‌ها و قطعات مهندسی بر کسی پوشیده نیست. در این روش‌ها ابتدا قطعه مورد نظر در نرم‌افزار مدل‌سازی شده، سپس این قطعه تحت تحلیل استاتیکی و دینامیکی قرار گرفته و پس از استحصال طرح بهینه و انجام مراحل ساخت، قطعه در شرایط واقعی مزرعه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.