بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته‌ی
مکانیک ماشین های کشاورزی

طراحی، ساخت و ارزیابی خشک کن مادون قرمز – بستر ارتعاشی غلات
مطالعه موردی: خشک کردن شلتوک

به کوشش
بهاره جلوه

اساتید راهنما
دکتر داریوش زارع
دکتر محمد لغوی

بهمن ۱۳۹۲

به نام خدا

اظـهـارنـامـه

اینجانب بهاره جلوه (۹۰۰۰۷۵) دانشجوی رشته‌ی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: بهاره جلوه

تاریخ و امضاء:

به نام خدا

طراحی، ساخت و ارزیابی خشک کن مادون قرمز – بستر ارتعاشی غلات

مطالعه موردی: خشک کردن شلتوک

به کوشش

بهاره جلوه

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی
لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه‌ی: عالی

دکتر داریوش زارع، دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم (استاد راهنما).....

دکتر محمد لغوی، استاد بخش مهندسی بیوسیستم (استاد راهنما) .....

دکتر علی اصغر زمردیان، استاد بخش مهندسی بیوسیستم (استاد مشاور) .....

دکتر عبدالعباس جعفری، استادیار بخش مهندسی بیوسیستم (استاد مشاور) .....

دکتر سید مهدی نصیری، استادیار بخش مهندسی بیوسیستم (داور داخلی).....

بهمن ماه ۱۳۹۲

تقدیم به:

پدرو مادر مهربانم تنها فدا کننده های زندگی برای خوشبختیم

برادر و خواهران عزیزم که مشوق های زندگیم هستند

و همسر دوست داشتنیم که چگونه همنفس بودن را به من آموخت

سپاسگزاری

منت خدای را عزوجل که همه داشته هایم از آن اوست.

بوسه بر دستان گرم پدر و مادر نازنینم

سپاس از همه اساتید محترم بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز بالاخص اساتید بزرگوارم دکتر داریوش زارع و دکتر محمد لغوی که قدم به قدم مرا راهنما بودند.

همچنین قدردانی بیکران از زحمات اساتید مشاورم دکتر علی زمردیان و دکتر عبدالعباس جعفری.

تشکر فراوان از تکنسین بزرگوار بخش مهندسی بیوسیستم حاج جمال مهارلوئی و مدیر عامل محترم شرکت فارس کاوه جناب آقای حبیب کاوه.

تشکر از همه همکلاسی هایم در دانشگاه شیراز

و **همراه زندگیم که بدون او طی این مسیر برایم میسر نمی شد.**

چکیده

طراحی، ساخت و ارزیابی خشک کن مادون قرمز – بستر ارتعاشی غلات مطالعه موردی : خشک کردن شلتوک

به کوشش
بهاره جلوه

به دلیل اهمیتی که برنج به عنوان اصلی ترین و مهم ترین غله در سبد غذایی خانوار ایرانی و اقتصاد کشاورزی ایفا می کند، توجه به فرآوری آن بعد از برداشت محصول حائز اهمیت است. یکی از مراحل مهم فرآوری این محصول، خشک کردن آن می باشد که برکیفیت آن بسیار موثر است. در این تحقیق از روش ترکیبی مادون قرمز-هوای گرم بستر ارتعاشی برای خشک کردن لایه نازک شلتوک از رطوبت اولیه ۰/۵ ± ۲۴٪ به رطوبت نهایی ۰/۵± ۱۳٪ (وزن خشک) استفاده شد. سینی دانه با فرکانس ۱۲ هرتز و دامنه ارتعاشی ۲ سانتیمتر دارای حرکت رفت و برگشتی بود. در کلیه تیمارها، فرکانس و دامنه حرکت رفت و برگشتی سینی دانه بصورت ثابت در نظر گرفته شد. فاکتورهای آزمایشی شامل توان تابشی (بدون تابش، ۰/۲، ۰/۴و ۰/۹ وات برسانتیمتر مربع)، تعداد مراحل استراحت دهی(بدون استراحت دهی، یک مرحله و دو مرحله) و دمای مرحله استراحت دهی (۳۰ ، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) بودند. آزمایش ها در ترکیب سطوح مختلف فاکتورها در سه تکرار به منظور یافتن مدت زمان خشک شدن شلتوک، درصد ترک دانه، نیروی لازم برای شکست دانه و انرژی لازم برای خشک شدن نمونه ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تابش و تعداد مراحل استراحت دهی و دمای استراحت دهی کل مدت زمان خشک شدن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد در حالی که درصد ترک‌ها با افزایش دمای استراحت دهی و شدت تابش، افزایش و با افزایش تعداد مراحل استراحت دهی کاهش می یابد. با در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت و مصرف انرژی، بهترین تیمار، تیمار با توان ۰/۲ وات بر سانتی متر مربع، دو مرحله استراحت دهی با دمای استراحت دهی ۴۰ درجه سلسیوس می باشد.

کلمات کلیدی: خشک کردن شلتوک، تابش مادون قرمز، بستر ارتعاشی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- برنج ۲

۱-۲- خشک کردن ۳

۱-۳- مزایای خشک کردن ۶

۱-۴- اهداف این پژوهش ۷

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱- تئوری خشک کردن از لحاظ فیزیکی ۹

۲-۲- روش های انتقال حرارت ۱۰

۲-۲-۱- انتقال حرارت از طریق هدایت ۱۰

۲-۲-۲- انتقال حرارت از طریق جابجایی ۱۰

۲-۲-۳- انتقال حرارت از طریق تابشی ۱۰

۲-۳- مکانیزم خشک کردن ۱۱

۲-۴- انواع خشک کن ها ۱۳

۲-۴-۱- خشک کن های ناپیوسته ۱۴

۲-۴-۱-۱- خشک کن سینی دار یا کابینتی ۱۵

عنوان **صفحه**

۲-۴-۱-۲ - خشک کن پاششی ۱۶

۲-۴-۱-۳ - خشک کن انجمادی ۱۷

۲-۴-۱-۴- خشک کن خورشیدی ۱۸

۲-۴-۲- خشک کن های پیوسته ۱۸

۲-۴-۲- ۱- خشک کن دوار(چرخشی) ۱۹

۲-۴-۲- ۲- خشک کن تونلی ۲۰

۲-۴-۲- ۳- خشک کن استوانه ای(غلتکی) ۲۱

۲-۴-۲- ۴- خشک کن های پنوماتیکی ۲۱

۲-۵- خشک کردن به روش مادون قرمز ۲۲

۲-۶- مروری بر پژوهش های پیشین ۲۴

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱- روش ساخت دستگاه ۳۵

۳-۲- تهیه شلتوک ۴۶

۳-۳- دستگاه کنترل دورموتور ودستگاه کنترل کننده حرارت

به کار برده شده در آزمایشات ۴۶

۳-۴- منبع توان تابشی ۴۷

۳-۵- بستر آزمایش ۴۹

۳-۶- اندازه گیری رطوبت محصول ۴۹

۳-۷- ابزار اندازه گیری ۵۰

۳-۷-۱- دماسنج ورطوبت سنج دیجیتالی ۵۰

۳-۷- ۲- دما سنج لیزری ۵۱

۳-۷- ۳- سرعت سنج هوا ۵۲

۳-۷- ۴- ترازوی آنالوگ ۵۲

عنوان **صفحه**

۳-۸- سینتیک خشک کردن شلتوک ۵۳

۳- ۹- مراحل انجام آزمایش های خشک کردن ۵۵

۳-۱۰- اندازه گیری ترک دانه های شلتوک ۵۶

۳-۱۱- اندازه گیری میزان نیروی لازم برای شکست دانه ها ۵۷

۳-۱۲- انرژی مصرف شده در فرآیند خشک کردن شلتوک در روش ترکیبی

مادون قرمز_ هوای گرم ۵۹

۳-۱۳- طرح آماری ۶۳

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- بررسی سینتیک خشک کردن ۶۵

۴-۲- تاثیر شرایط مختلف فرآیند خشک کردن بر ترک دار شدن دانه شلتوک ۷۲

۴-۳- تاثیر شرایط مختلف خشک کردن بر میزان نیروی شکست دانه ۷۷

۴-۴- بررسی انرژی مصرف شده در خشک کن ۸۲

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری ۸۶

۵-۲- پیشنهادها ۸۷

فهرست منابع

منابع فارسی ۸۸

منابع لاتین ۹۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱. مشخصات لودسل..... ۵۸
جدول ۴-۱. تجزیه واریانس زمان خشک کردن شلتوک ها.....۶۶
جدول ۴-۲. تجزیه واریانس درصد ترک دانه ها..... ۷۳
جدول ۴-۳. تجزیه واریانس نیروی شکست دانه ها..... ۷۷
جدول ۴-۴. مصرف انرژی ویژه بر حسب مگا ژول بر کیلوگرم برای خشک کردن
شلتوک از رطوبت ۲۴٪ به ۱۳٪ بر مبنای وزن خشک..... ۸۲

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. منحنی خشک شدن به صورت کیفی ۱۲
شکل۲-۲. خشک کن نوع کابینتی ۱۵
شکل۲-۳. خشک کن پاششی ۱۶
شکل۲-۴. خشک کن انجمادی ۱۷
شکل۲-۵. خشک کن خورشیدی ۱۸
شکل ۲-۶. خشک کن دوار ۱۹
شکل۲-۷. خشک کن تونلی ۲۰
شکل۲-۸. خشک کن استوانه ای ۲۱
شکل۲-۹. خشک کن نوع پنوماتیکی ۲۲
شکل۲-۱۰. طیف الکترومغناطیس ۲۳
شکل ۳-۱. شاسی اصلی ۳۶
شکل ۳-۲. محفظه آرام کننده با صفحات منحرف کننده جریان هوا ۳۷
شکل ۳-۳. قرارگیری سینی دانه و محفظه آرام کننده بر روی شاسی اصلی ۳۷
شکل ۳-۴. قرارگیری چادر برزنتی بر روی شاسی اصلی ۳۸
شکل ۳-۵. شاسی نگه دارنده لامپ ها ۳۹
شکل ۳-۶. لامپ های مادون قرمز ۳۹
شکل ۳-۷. قرارگیری لامپ ها بر روی شاسی ۴۰
شکل ۳-۸. تقسیم بندی سینی به قسمت های کوچکتر ۴۱

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۹. قرار گیری سبدهای دانه بر روی سینی ۴۱
شکل ۳-۱۰. الکتروموتور و لنگی ۴۲
شکل ۳-۱۱. اینورتور ۴۳
شکل ۳-۱۲. نمای کلی سیستم خشک کننده ۴۳
شکل ۳-۱۳. سیستم تولید جریان هوای گرم ۴۴
شکل ۳-۱۴. آون ۴۵
شکل ۳-۱۵. مدار کنترل دما و کنترل دور ۴۷
شکل ۳- ۱۶. نحوه قرارگیری لامپ های مادون قرمز ۴۸
شکل ۳-۱۷ . تابش سنج ۴۸
شکل ۳-۱۸. بستر دانه ۴۹
شکل ۳-۱۹. دما سنج و رطوبت سنج دیجیتالی ۵۱
شکل ۳-۲۰. دماسنج لیزری ۵۱
شکل ۳-۲۱. سرعت سنج هوا ۵۲
شکل ۳-۲۲. ترازوی آنالوگ ۵۶
شکل ۳-۲۳. ترک بین ۵۸
شکل ۳-۲۴. لودسل و فک بارگذاری ۶۱
شکل ۳-۲۵. افزایش سطح ۶۱
شکل ۳-۲۶. ناحیه زانویی .....

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۴-۱. مقایسه میانگین زمان خشک کردن در توان های تابشی متفاوت
و تعداد مراحل استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد. ۶۸
نمودار ۴-۲. مقایسه میانگین زمان خشک کردن در توان های تابشی متفاوت
و دمای مراحل استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد. ۶۹
نمودار ۴-۳. مقایسه میانگین زمان خشک کردن در تعداد مراحل استراحت دهی
و دمای مرحله استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد. ۷۰
نمودار ۴-۴. منحنی تغییرات محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $۰/۴W.cm^{-2}$،
دمای ۵۰ درجه سلسیوس و تعداد مراحل استراحت دهی مختلف..... ۷۱
نمودار ۴-۵. منحنی تغییرات محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط یک مرحله
استراحت دهی و دمای ۳۰ درجه سلسیوس در توان های متفاوت..... ۷۲
نمودار ۴-۶. مقایسه میانگین میزان درصد ترک در توان های تابشی متفاوت
و تعداد مراحل استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد..... ۷۵
نمودار ۴-۷. مقایسه میانگین میزان درصد ترک در توان های تابشی متفاوت
و دمای استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد.....۷۶
نمودار ۴-۸. مقایسه میانگین میزان درصد ترک در تعداد مراحل استراحت دهی
متفاوت و دمای استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد.....۷۶
نمودار ۴-۹. مقایسه میانگین میزان نیروی شکست در توان های تابشی متفاوت
و تعداد مراحل استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد..... ۷۹

عنوان **صفحه**

نمودار ۴-۱۰. مقایسه میانگین میزان نیروی شکست در توان های تابشی
متفاوت و دمای استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ۸۰
نمودار ۴-۱۱. مقایسه میانگین میزان نیروی شکست در تعداد مراحل استراحت دهی
متفاوت و دمای استراحت دهی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ۸۱
نمودار ۴-۱۲. مقایسه میانگین انرژی مصرف شده در تعداد مراحل استراحت دهی
متفاوت و توان تابشی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ۸۳
نمودار ۴-۱۳. مقایسه میانگین انرژی مصرف شده در دمای استراحت دهی
متفاوت و توان تابشی مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ۸۳

فهرست نشانه های اختصاری

A_m	مساحت سطح بستر دانه، m^2
C_a	ظرفیت گرمایی ویژه هوا، $J.kg^{-1}\ K^{-1}$
C_d	گرمای ویژه جرم خشک محصول، $J.kg^{-1}\ K^{-1}$
C_P	ظرفیت گرمایی ویژه محصول، $J.kg^{-1}\ K^{-1}$
C_w	ظرفیت گرمایی ویژه آب، $J.kg^{-1}\ K^{-1}$
E_t	انرژی کل، J
HP	توان گرمایی لازم بر واحد سطح مقطع خشک کن، J
L	مقدار ضخامت دانه در بستر دانه، m
M	جرم مواد وردی به آون، kg
m_e	مقدار آب تبخیر شده در طی زمان خشک کردن محصول، kg
m_w	وزن اولیه آب درون دانه های بستر، N
M	رطوبت محصول بر مبنای وزن خشک ، $kg.kg^{-1}$
P	توان الکتروموتور، W
P_{irr}	توان برسطح محصول، $W.cm^{-2}$
Q_{tem}	انرژی مصرفی مرحله استراحت دهی، J
T_d	دمای هوای ورودی خشک کن، °C
T_a	دمای محیط، °C
V	سرعت هوای ورودی به زیر بستر دانه، $m.s^{-1}$
W	انرژی ارتعاشی، J
H_f	راندمان مکانیکی دمنده

Δt	مدت زمان خشک کردن، s
Δp	افت فشار کل
Δp_g	افت فشار هوا در گذران از دانه تمیزشده
Δp_d	افت فشار در مسیر انتقال هوا
Δp_f	افت فشار ناشی از بستر مشبک دانه
E	مقدار تخلخل دانه شلتوک
O_f	درصد باز بودن بستر دانه
ρ_a	چگالی هوا، Pa
θ_1	دمای مرحله استراحت دهی، $^\circ C$
θ_2	دمای محیط ، $^\circ C$

فصل اول

مقدمه

۱-۱-برنج

شواهد نشان می‌دهند که تقریبا ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد درکشورهای هند و چین کشت برنج متداول بوده است و امروزه نیز از محصولات مهم غذایی دنیا محسوب می‌شود. برنج از لحاظ تولید دانه و سطح زیرکشت رتبه دوم پس از گندم را به خود اختصاص داده است. این گیاه به علت پراکندگی زیاد درسطح دنیا و دارا بودن ارقام متعدد و قابلیت سازگاری بالا با دامنه وسیعی از اقلیم‌ها و شرایط کشت، منحصر بفرد می‌باشد. نزدیک به ۹۰ درصد سطح زیرکشت و تولید برنج متعلق به کشورهای خاور دور می‌باشد. بیش از نصف محصول برنج در دو کشور هند و چین تولید می‌شود. بطور کلی کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری برمه، تایلند، ویتنام، لائوس، اندونزی، فیلیپین، پاکستان، هند، آمریکا، ژاپن، ایتالیا، مصر، چین، برزیل، کوبا، مکزیک و استرالیا از تولیدکنندگان برنج به شمار می‌آیند(منابع اینترنتی).

کشت برنج درایران در نواحی شمالی بویژه رودسر و استان خوزستان تاریخچه طولانی دارد. شواهد نشان می‌دهد که این محصول دراین ناحیه قرن ها پیش ازمیلاد مسیح و در زمان هخامنشیان رواج داشته است. البته امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت ایران، تولید داخلی برنج پاسخگوی نیاز مردم نیست و به همین دلیل مقادیر قابل توجهی از این محصول از خارج وارد می‌شود. بر اساس اطلاعات منتشر شده از سوی سازمان خواروبار وکشاورزی ملل متحد (FAO)، سطح زیر کشت برنج در سال ۲۰۱۲ میلادی در جهان حدود ۱۷۰/۳ میلیون هکتار و در ایران حدود ۶/۳ میلیون هکتار و میزان تولید شلتوک در جهان حدود ۷۳۲/۳ میلیون تن و در ایران حدود ۲/۵ میلیون تن گزارش شده است(Anonymous, 2012).

۱-۲- خشک کردن

به دلیل اهمیتی که برنج به عنوان اصلی ترین و مهم ترین غلات در سبد غذایی خانوار ایرانی و اقتصادکشاورزی ایفا می کند توجه به فرآوری آن بعد از برداشت محصول حائز اهمیت است. یکی از مراحل مهم فرآوری این محصول خشک کردن آن می باشد که برکیفیت آن بسیار موثر است. نگهداری مواد غذایی به روش خشک کردن یکی از قدیمی ترین روشها است. اگرچه بشر هزاران سال است که میوه و سبزیجات را به طور طبیعی خشک می کند ولی شروع خشک کردن مصنوعی محصولات به ۲۰۰ سال قبل برمی گردد. در زمان تبدیل شلتوک به برنج میزان ضایعات بین ۵ تا ۱۵ درصد متغیر است. با توجه به سطح ۶/۳ میلیون هکتار کشت برنج درکشور و با متوسط تولید ۴ تن شلتوک در هر هکتار، میزان ضایعات با حداقل ۵ درصد در حدود ۱/۳ میلیون تن شلتوک می‌گردد که با احتساب هر کیلو ۱۹۰۰۰ ریال (در سال ۹۲) ارزش مالی آن حدود ۲۵ میلیارد ریال خواهد بود.

خشک کردن فرآیند حذف رطوبت از طریق انتقال همزمان انرژی و جرم[1] می‌باشد. انتقال انرژی(حرارت) از فضای پیرامون به محصول موجب تبخیر رطوبت سطحی می‌شود. رطوبت می‌تواند از درون محصول به سطح آن منتقل و سپس تبخیر شود و یا در درون محصول و در حالتی میان بخار- مایع تبخیر گردد و به صورت بخار به سطح محصول آید. در شرایطی که فشار بخار سطح دانه بیشتر از فشار بخار هوای محیط باشد پدیده خشک کردن اتفاق می‌افتد. با آغاز فرآیند خشک کردن، فشار بخار در سطح دانه به سرعت افزایش می‌یابد و سپس انتقال رطوبت از سطح آن به هوای خشک کننده صورت می‌گیرد. هنگامی که لایه سطحی رطوبت خود را از دست دهد، انتقال رطوبت از قسمت مرکزی دانه به سطح آن و در نهایت به هوای محیط صورت می‌گیرد و زمانی که رطوبت محصول به رطوبت بحرانی نزدیک شود، آهنگ خشک شدن کاهش می‌یابد (Chakraverty, 1988).

خشک کردن فرآیندی است که طی آن رطوبت درون ماده تا سطح مشخصی دفع می گردد به طوریکه فعالیت میکروارگانیزم های درون ماده غذایی کاهش یافته و قابلیت نگهداری

[1] Heat and Mass transfer