دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته‌ی

مکانیک ماشین‌های کشاورزی

توسعه فناوری و مدل‌سازی فرآیند خشک شدن شلتوک در خشک‌کن بستر سیال-فراصوت

به کوشش

امیرمحمد جعفری

استاد راهنما

دکتر داریوش زارع

بهمن ۱۳۹۲

به نام خدا

اظـــهـــارنـــامـــه

اینجانب امیرمحمد جعفری (۹۰۰۰۷۴) 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: امیرمحمد جعفری

تاریخ و امضا:

به نام خدا

توسعه فناوری و مدل‌سازی فرآیند خشک شدن شلتوک در خشک‌کن بستر سیال-فراصوت

به کوشش

امیرمحمد جعفری

پایان‌نامه‌ی

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از

فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی

مکانیک ماشین‌های کشاورزی

دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته‌ی پایان نامه، درجه‌ی : عالی

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

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

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

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

بهمن ماه ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که فداکارانه در تمامی مراحل زندگی بی دریغ مراحمایت کردند و چون شمعی سوزان گرمابخش وجودم و روشنگر راهم بودند.

وتقدیم به

خواهرانم

که وجود پر مهرشان سختی راه رابر من هموار کرد.

سپاسگزاری

سپاس خداوند بلند مرتبه را که وصفش در هیچ واژه و جمله ای نگنجد.

تشکر و قدر دانی می کنم از دو فرشته زندگی ام که دو بال پرواز من هستند و بی شک تمام موفقیتهای خود را در همه مراحل زندگی مدیون آنها هستم.

از استاد راهنمای عزیزم دکتر زارع برای تمام زحماتی که در طول تحصیل و انجام این پایان نامه متحمل شدند و در این مدت مشوق من بودند کمال تشکر را دارم.

قدر دانی می کنم از دکتر ذمردیان که چون پدری دلسوز و مهربان در سختی ها کنار من بودند و در امر مشاوره از علم سرشار ایشان بهره بردم. از استاد مشاور مهربانم دکتر جعفری برای مشاوره های راه گشایشان سپا سگزارم. برخود لازم می دانم از زحمات دکتر نصیری که بی دریغ به من کمک کردند تشکر کنم.

از زحمات تمامی اساتید بخش که افتخار شاگردی آنها را داشتم، از پرسنل زحمت کش بخش بخصوص حاج آقا مهارلویی که بدون زحمت های ایشان این تحقیق به سرانجام نمی رسید و کارمندان محترم بخش صمیمانه قدر دانی می کنم.

یاد همکلاسی های عزیزم را که در این دوران روزگار خوشی در کنار آنها سپری کردم را از خاطر نخواهم برد و برای آنها از ایزد یکتا عزت و پیروزی می خواهم.

چکیده

توسعه فناوری و مدل‌سازی فرآیند خشک شدن شلتوک در خشک‌کن بستر سیال-فراصوت

به کوشش

امیرمحمد جعفری

برنج محصولی حساس به گرما بوده و بعد از گندم جایگاه دوم را از نظر اهمیت و تولید در بین غلات دارد. برای جلوگیری از ضایعات و افت کیفیت برنج، می بایستی بلافاصله پس از برداشت رطوبت آن را از طریق خشک کردن کاهش داد. فراصوت توان بالا به عنوان یک انرژی بی خطر شناخته شده و اثرات حرارتی روی محصول ندارد. به دلیل یکنواخت بودن محتوای رطوبتی محصول در خشک‌کن‌های بستر سیال، ترکیب آن با تجهیزات فراصوت توان بالا مناسب می باشد. هدف اصلی این پژوهش بررسی تاثیر انرژی فراصوت روی سینتیک خشک کردن شلتوک درصد ترک دانه و نیروی لازم برای شکست دانه بود. این تحقیق در سه سطح توان صوتی (۵۰، ۷۵و ۱۰۰ وات)، چهار سطح فرکانس (۲۰، ۲۵، ۲۸ و ۳۰ کیلوهرتز) و سه سطح دما (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) به منظورکاهش رطوبت اولیه از مقدار ۲۶/۵٪ به رطوبت نهایی ۱۳٪ (وزن خشک) انجام پذیرفت. نتایج نشان داد، فراصوت توان بالا در فرکانس های پایین تر در مقایسه با حالت بدون فراصوت زمان نهایی خشک شدن را ۲۳٪ کاهش می دهد. با توجه به محاسبات مصرف ویژه انرژی (SEC) برای هر تیمار، با استفاده از فراصوت توان بالا در شرایط بهینه خشک کردن، SEC حدود ۲۲٪ کاهش یافت. در نهایت با کمک شبکه عصبی مصنوعی (ANN) زمان نهایی خشک شدن، درصد ترک دانه و نیروی شکست، شبیه سازی شد.

فهرست مطالب

فصل اول..... ۱

مقدمه..... ۲

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- خشک کردن و اهمیت آن..... ۳

۱-۳- خشک کردن غلات..... ۴

۱-۴- اهداف پژوهش..... ۶

فصل دوم..... ۷

پیشینه پژوهش..... ۸

۲-۱- خشک‌کن بسترسیال..... ۸

۲-۲- انواع خشک‌کن‌های بستر سیال..... ۹

۲-۲-۱- خشک‌کن‌های بسترسیال خوب مخلوط شده..... ۱۰

۲-۲-۲- خشک‌کن‌های بسترسیال جریان توده‌ای..... ۱۱

۲-۲-۳- خشک‌کن‌های بسترسیال ارتعاشی..... ۱۲

۲-۲-۴- خشک‌کن‌های بستر سیال دارای همزن..... ۱۲

۲-۲-۵- خشک‌کن‌های بستر سیال سانتریفیوژی..... ۱۳

۲-۲-۶- خشک‌کن‌های بستر فواره‌ای..... ۱۳

۲-۳- خشک کردن شلتوک..... ۱۴

۲-۴- فراصوت توان بالا ۱۶
۲-۵- خشک‌کن‌های همراه با فراصوت توان بالا ۱۶
۲-۶- مدل‌سازی خشک‌کنهای بسترسیال ۱۹
۲-۷- مروری بر مدل‌سازی با شبکه عصبی ۲۰

فصل سوم..... ۲۲

مواد و روشها..... ۲۳

۳-۱- مواد ۲۳
۳-۲- ساختمان دستگاه و تجهیزات مورد نیاز ۲۴
۳-۲-۱- تامین هوای گرم ۲۴
۳-۲-۲- واحد انتقال هوای گرم ۲۵
۳-۲-۳- واحد فراصوت توان بالا ۲۵
۳-۲-۴- محفظه خشک‌کن ۲۶
۳-۳- روش انجام آزمایش ۲۸
۳-۳-۱- اندازه‌گیری رطوبت ۲۸
۳-۳-۲- ابزارهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف ۲۹
۳-۳-۲-۱- ترازوی دیجیتال ۲۹
۳-۳-۲-۲- دماسنج، رطوبت‌سنج و بادسنج دیجیتالی ۳۰
۳-۳-۳- شرایط آماده سازی نمونه و دستگاه قبل از شروع آزمایش ۳۱
۳-۴- خشک کردن شلتوک در بستر سیال-فراصوت ۳۲
۳-۵- اندازه‌گیری ترک دانه های شلتوک ۳۴

۳-۶- اندازه‌گیری مقدار نیروی لازم برای شکست دانه‌ها ۳۴
۳-۷- انرژی مصرف شده در فرآیند خشک کردن شلتوک در روش ترکیبی بستر سیال- فراصوت ۳۶
۳-۸- تعیین مصرف ویژه انرژی (SEC) ۳۹
۳-۹- استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین پارامترهای مختلف در خشک کردن محصولات به روش بستر سیال- فراصوت ۴۰
۳-۱۰- مدل شبکه عصبی ارائه شده برای مدت زمان خشک شدن شلتوک ۴۱
۳-۱۱- مدل شبکه عصبی ارائه شده برای پیش‌بینی درصد ترک شلتوک ۴۲
۳-۱۲- مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نیروی شکست دانه ۴۲
۳-۱۳- طرح آماری ۴۲

فصل چهارم ۴۴

نتایج و بحث ۴۵

۴-۱- تحلیل نتایج مربوط به زمان نهایی خشک شدن ۴۵
۴-۲- تحلیل نتایج مربوط به درصد ترک دانه شلتوک ۵۰
۴-۳- تحلیل نتایج مربوط به نیروی شکست دانه شلتوک ۵۴
۴-۵- نتایج مربوط به شبکه عصبی ۵۷
۴-۵-۱- شبکه عصبی برای تخمین زمان خشک کردن شلتوک ۵۷
۴-۵-۲- شبکه عصبی برای تخمین زمان خشک کردن شلتوک ۵۹
۴-۵-۱- شبکه عصبی برای تخمین نیروی شکست دانه ۶۱
۴-۴- نتایج مربوط به انرژی ویژه مصرف شده در خشک‌کن ۶۳

فصل پنجم..... ۶۶

نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۶۷

۵-۱- نتیجه گیری..... ۶۷

۵-۲- پیشنهادها: ۶۸

منابع..... ۶۹

فهرست جداول

جدول ۳-۱ مشخصات دماسنج دیجیتالی TESTO 435-2 ..... ۳۰

جدول۳-۲. مشخصات لود سل ۳۶

جدول ۴-۱. تجزیه واریانس زمان نهایی خشک‌شدن ۴۶

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین زمان نهایی خشک‌شدن (دقیقه) در دما، توان و فرکانس‌های مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد. ۴۹

جدول ۴-۳. تجزیه واریانس درصد ترک دانه‌ها ۵۱

جدول ۴-۴- مقایسه میانگین درصد ترک دانه در دما، توان و فرکانس‌های مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد. ۵۴

جدول ۴-۵. تجزیه واریانس متوسط نیروی شکست دانه‌ها ۵۵

جدول ۴-۶. مقایسه میانگین نیروی شکست دانه (N) در دماها، توانها و فرکانس‌های مختلف۵۷

جدول ۴-۷. نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین مدت زمان خشک کردن در توابع مختلف ۵۸

جدول ۴-۸- نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین درصد ترک دانه در توابع مختلف.... ۶۰

جدول ۴-۹. نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین نیروی شکست دانه در توابع مختلف. ۶۲

جدول ۴-۱۰. مصرف انرژی خشک‌کن در فرکانس ۲۰ KHz، توان ۱۰۰ W و سطوح دمایی مختلف ۶۴

جدول ۴-۱۱. مقایسه میانگین اثر سه‌گانه دما، فرکانس و توان روی مصرف ویژه انرژی(MJ.kg-1) ۶۵

فهرست تصاویر

شکل ۱-۱. چند نمونه از انواع خشک‌کن غلات: (a) خشک‌کن بستر جریان مختلط، (b) خشک‌کن بستر سیال، (c) خشک‌کن بستر ثابت ۵

شکل۲-۱. خشک‌کن بسترسیال خوب مخلوط شده ۱۱

شکل ۲-۲. خشک‌کن بسترسیال جریان توده‌ای ۱۲

شکل۲-۳. خشک‌کن بسترسیال با همزن ۱۳

شکل ۲-۴. خشک‌کن بستر فواره ای ۱۴

شکل۳-۱. شلتوک‌های بسته بندی شده در یخچال ۲۳

شکل ۳-۲. الف- جعبه کنترل الکتریکی حاوی اینورتر، فیوزهای المنت، ترموستات ب- الکتروموتور به همراه فن و گرم‌کن ۲۴

شکل ۳-۳. لوله عایق بندی شده برای انتقال هوای گرم ۲۵

شکل۳-۴. ژنراتور به همراه چهار مبدل فراصوت توان بالا ۲۶

شکل۳-۵. محل تعبیه مبدل و نحوه اتصال آن ۲۷

شکل۳-۶ . الف- بستر توزین داخل محفظه خشک‌کن، ب- پروفیل تفلونی ۲۷

شکل۳-۷. کوره الکتریکی و مشخصات فنی آن ۲۹

شکل۳-۸. (الف) ترازوی دیجیتال GF-600، (ب) ترازوی Sartorius ۲۹

شکل۳-۹. دستگاه TESTO مدل 2-435 ..... ۳۰

شکل۳-۱۰. دستگاه ترک بین ۳۴

شکل۳-۱۱. (الف) شماتیک فک ، دانه برنج و پایه تکیه گاه ، (ب) دستگاه اینستران به همراه سیستم ثبت داده ۳۵

شکل۳-۱۲. الف- ناحیه زانویی ب- افزایش سطح ۳۸

شکل ۴-۱. مقایسه میانگین زمان نهایی خشک کردن در دماهای متفاوت و فرکانس‌های مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ، حروف مشابه در نمودار نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری می‌باشد. (US- در شکل یعنی بدون فراصوت) ۴۷

شکل ۴-۲. مقایسه میانگین زمان نهایی خشک کردن در دماهای متفاوت و توان های مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ۴۸

شکل ۴-۳. منحنی های مربوط به نسبت رطوبت در فرکانس ثابت ۲۰ کیلوهرتز و ۴ سطح توان (US-یعنی بدون فراصوت) ۴۹

شکل ۴-۴. منحنی های مربوط به نسبت رطوبت در توان ثابت ۱۰۰ وات و ۴ سطح فرکانس ۵۰

شکل ۴-۵. مقایسه میانگین درصد ترک دانه برنج در دماهای متفاوت و فرکانس‌های مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ۵۳

شکل ۴-۶. مقایسه میانگین درصد ترک دانه برنج در دماهای متفاوت و توانهای مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ۵۳

شکل ۴-۷. مقایسه میانگین نیروی لازم برای شکست دانه برنج در دماهای متفاوت و فرکانس‌های مختلف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ۵۶

شکل ۴-۸. مقایسه میانگین نیروی لازم برای شکست دانه برنج (N) در توان های متفاوت و فرکانس‌های مختلف در سرعت ثابت ۱/۹(m/s) ۵۶

شکل ۴-۹. نمودار مربوط به عملکرد قابل قبول برای رسیدن به کمترین میانگین مربع خطا برای تخمین زمان نهایی خشک شدن ۵۸

شکل ۴-۱۰. نمودار های مربوط به ضریب همبستگی تخمین زمان نهایی خشک شدن در سه مرحله ارزیابی، آموزش،تست و بصورت کلی ۵۹

شکل ۴-۱۱. نمودار مربوط به عملکرد قابل قبول برای رسیدن به کمترین میانگین مربع خطا برای تخمین درصد ترک دانه ۶۰

شکل ۴-۱۲. نمودار های مربوط به ضریب همبستگی بین درصد ترک دانه‌ها در آزمایش و تخمینی توسط شبکه عصبی در سه مرحله ارزیابی، آموزش،تست و بصورت کلی..... ۶۱

شکل ۴-۱۳. نمودار مربوط به عملکرد قابل قبول برای رسیدن به کمترین میانگین مربع خطا برای تخمین نیروی شکست دانه‌ها ۶۲

شکل ۴-۱۴. نمودار های مربوط به ضریب همبستگی بین نیروی شکست دانه‌ها در آزمایش و تخمینی توسط شبکه عصبی در سه مرحله ارزیابی، آموزش،تست و بصورت کلی..... ۶۳

فهرست نشانه های اختصاری

C_a	ظرفیت گرمایی ویژه هوا، J/kg °C
C_p	ظرفیت گرمایی ویژه محصول، J/kg °C
C_w	ظرفیت گرمایی ویژه آب، J/kg °C
f	فرکانس امواج فراصوت، Hz
h	ارتفاع بستر، m
H	توان الکتریکی مصرفی کل دستگاه خشک کن بستر سیال-فراصوت، W
HP	توان گرمایی لازم بر واحد سطح مقطع خشک کن، J
ηf	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
ε	مقدار تخلخل دانه شلتوک
m	جرم، kg
m_{ev}	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
M_e	رطوبت تعادلی محصول، kg/kg
M_0	رطوبت اولیه محصول، kg/kg
MR	نسبت رطوبت

P	فشار، Pa
P_s	فشار فاز جامد، Pa
P_{vs}	فشار بخار اشباع، kPa
RH	رطوبت نسبی هوا
t	زمان، s
T	دما، °C
T_{abs}	دمای مطلق، K
T_a	دمای محیط، °C
v_a	سرعت هوا، m/s
O_f	درصد باز بودن بستر دانه

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

برنج بعد از گندم جایگاه دوم را از نظر اهمیت و تولید در بین غلات دارد. زندگی یک پنجم کل جمعیت جهان یعنی جمعیتی بیش از یک میلیارد نفر به کشت برنج وابسته است. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه برنج امنیت غذایی بوده و همچنین امنیت سیاسی آن کشور نیز محسوب می‌شود (موسسه بین المللی تحقیقات برنج [1]، ۲۰۱۱). ۹۰ ٪ برنج جهان در آسیا تولید می‌شود. تولید برنج ایران در سال ۲۰۱۰، حدود ۲/۳۴ میلیون تن با متوسط تولید ۴/۱۹ تن در هکتار بوده است و مقدار متوسط مصرف برنج هر ایرانی ۳۰ کیلوگرم در سال می‌باشد (بی‌نام[2] ، ۲۰۱۴).

در زمان برداشت، محتوای رطوبتی دانه برنج حدود ۲۰-۲۸٪ می‌باشد که برنج با این محتوای رطوبتی بالا به هیچ وجه قابلیت انبارداری ندارد و باید بلافاصله پس از برداشت آن را تا رطوبت مناسب انبارداری (محتوای رطوبتی کمتر از ۱۴٪) خشک کرد. در عملیات پس از برداشت که خشک کردن یکی از مهمترین آنها می‌باشد، تلفات قابل ملاحظه‌ای را شاهد هستیم که یکی از عمده دلایل آن را می‌توان گرمای زیاد هنگام خشک‌کردن نام برد. بطور مثال تنها در ویتنام تخمین زده می‌شود که ۲٪ کل محصول برداشت شده طی عملیات خشک کردن و تمیزکردن، یا دچار افت کیفیت شده و یا بطور کلی از بین می‌رود و این ارزشی معادل ۴۵ میلیون دلار را در سال دارد (مک لود[3] ، ۱۹۹۹).

[1] International Rice Research Institute
[2] Anonymous
[3] McLeod

۱-۲- خشک کردن و اهمیت آن

نگهداری مواد غذایی پیشینه دیرین دارد و قدمت آن نزدیک به تاریخ حیات انسانهاست. احتمالا خشک کردن، قدیمی‌ترین روش برای نگهداری نمودن مواد غذایی می‌باشد که انسان اولیه با مشاهده دانه های طبیعی خشک شده بر روی ساقه‌ها (که از قابلیت ذخیره و نگهداری برای مدت طولانی برخوردار می‌باشند) به آن دست یافته است. انسان اولیه در تقلید از این فرآیند طبیعی، خشک کردن را به عنوان یک هنر عملی در مورد سایر محصولات گیاهی و گوشتی توسعه داد. میوه‌هایی که بطور طبیعی با درصد قند بالا و رطوبت کم می‌رسند، (خرما و انجیر) جزء اولین محصولات غذایی قابل نگهداری بوده‌اند. روشهای معمول برای نگهداری غذا، انجماد، بسته‌بندی تحت خلاء، کنسرو کردن، نگهداری در شربت، تابش‌دهی غذا، اضافه کردن مواد نگهدارنده و محبوب‌تر از همه آبزدایی یا خشک کردن می‌باشد. خشک کردن یکی از مقرون به صرفه‌ترین روشهای حفظ مواد غذایی است که شامل همه انواع خارج کردن آب با استفاده از حرارت می‌باشد.

انواع مختلف غذاها از جمله: محصولات دریایی، محصولات گوشتی و همچنین تمام میوه‌ها و سبزیجات، با استفاده از خشک کردن نگهداری می‌شوند. هر محصول غذایی برای خشک شدن نیاز به روشهای مختلف دارد و با استفاده از گام‌های مناسب چه قبل و چه بعد از فرآیند و انتخاب خشک‌کن مناسب می‌توان محصولی ارزشمند و رضایت بخش تولید نمود (چن و موجومدار[1]، ۲۰۰۹). گامهای پیش از فرآیند و پس از فرآیند، اهمیت زیادی در کاهش بار خشک‌کن برای تولید محصول با کیفیت بالاتر دارد. گامهای پیش از فرآیند مانند آبزدایی اسمزی[2] ، سفید کردن، نمک‌زنی و خیساندن، بسته به نوع محصولی که قرار است خشک شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین گام‌های پس فرآیندی چون پوشش‌دهی و بسته‌بندی نیز پس از خشک شدن محصول از اهمیت زیادی برخوردارند. انتخاب مناسب از بین صدها نوع خشک‌کن در دسترس برای محصولی خاص، خود به تنهایی کاری پیچیده است، حال آنکه ممکن است برای این منظور بیش از یک نوع خشک‌کن مناسب نیز وجود داشته باشد.

[1] Chen and Mujumdar
[2] Osmotic Dehydration