



بسم الله الرحمن الرحيم

طراحی، ساخت و ارزیابی خشک کن پسته به روش توده‌ای متراکم

بوسیله
بابک بهشتی

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی بعنوان بخشی از فعالیتهای لازم
جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

در رشته
مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی
از
دانشگاه شیراز

011804

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی
امضاء اعضاء کمیته پایان نامه:

دکتر سید حسین کارپرور فرد (استاد راهنما)
استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی

دکتر محمد لغوی (استاد مشاور)
دانشیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی

دکتر علی زمردیان (استاد مشاور)
استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی

شهریور ماه ۱۳۷۹

۳۵۰۲۸

دستان پینه بسته پدر را می بوسم و محبت مادر را

همیشه در قلبم زنده نگه می دارم.

تقدیم به پدر، مادر و خواهر عزیزم که اسباب راحتی و آسایش

مرا برای کسب علم، فراهم ساخته و مشوق من در این راه بودند.

تقدیم به خاله عزیزم که سرمشق من در زندگی و مشوقی
رئوف در ادامه تحصیل بوده است.

تقدیم به همسر فداکارم که در تمام مراحل این تحقیق، در

برابر سختیها صبر را پیشه ساخت و پشتوانه‌ای استوار و ارزنده در

زندگیم بوده است.

سپاسگزاری

به نام آنکه جان را فکرت آموخت چراغ دل ز نور جان برافروخت
ز فضلش هر دو عالم گشت روشن ز فیضش خاک آدم گشت گلشن

شکر و سپاس به درگاه پروردگار متعال که به بنده خویش تحصیل علم را عنایت کرد و چگونه زیستن را به او آموخت.

پس از حمد و شکر خدای، وظیفه خود می‌دانم که از زحمات و تلاش استاد بزرگوار، آقای دکتر کارپرور فرد که بحق همچون برادری دلسوز، در تمام مراحل این تحقیق، اینجانب را یاری کردند، تشکر و قدردانی نمایم و از درگاه خداوند متعال، سلامتی و توفیق روز افزون ایشان را خواستارم. همچنین از آقایان دکتر محمد لغوی و دکتر علی اصغر زمردیان که از نظرات ارزنده ایشان بهره جستیم، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

فرصت را غنیمت شمرده از اساتید محترم آقایان، دکتر جواد جعفری فرد، دکتر سلیمان زارعیان، دکتر محمد لغوی، دکتر محمد حسین رئوفت، مهندس محمد علی امیری و مهندس سید احمد مرادی که در طی دوران کارشناسی و کارشناسی ارشد از محضر آنان کسب علم کردم، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از آقایان مهندس امید اهتمام حقیقی که در نصب و راه‌اندازی حس‌گرها و مهندس رضا مشکسار که در تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط رایانه بنده را یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

از آقای مهندس علیرضا ترابی که در ارائه و طراحی برنامه شبیه‌سازی رایانه‌ای قسمت‌های مختلف دستگاه، یاریم کردند، صمیمانه قدردانی می‌کنم.

همچنین از همکاری دوستان عزیزم آقایان مهندس رمضانعلی محمودیه، مهندس شهرام محسنی، مهندس مجتبی جابری معز، مهندس حمید قاسم خانی، مهندس صمد جوکار که در اجرای آزمایشات، یاریگر بنده بودند، تشکر می‌کنم.

از تکنسینها و کارکنان محترم بخش آقایان سید اسماعیل صدیقی، جمال مهارلوئی، کاظم حجازی، مهدی صداقت، حسن خجسته، مسعود جعفری، رسول هوشمند، محمد رعیت و عباس رحیمی تشکر و قدردانی می‌نمایم. بدون شک این تحقیق بدون کمک و مساعدت آنها میسر نبود.

چکیده

طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن پسته به روش توده‌ای متراکم

توسط

بابک بهشتی

پسته یکی از مهمترین محصولات صادراتی کشور ماست. یکی از مشکلات این محصول مهم، آلوده شدن آن به سمی است که باعث سرطان کبد می‌شود. اگر بلافاصله پس از برداشت، پسته خشک گردد، از آلوده شدن آن به سم جلوگیری بعمل می‌آید. لذا خشک کردن آن اهمیت زیادی دارد. هدف از تحقیق حاضر طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن بسترسیالی مخزنی به روش موازی برای خشک کردن پسته و تلفیق آن با سیستم حمل‌ونقل پنوماتیکی به روش توده‌ای متراکم و همچنین رسم منحنی‌های خشک شدن پسته برای این روش ابتکاری است. بدین منظور، تجهیزات لازم از قبیل گرمکن، مبدل حرارتی و مدار گردش هوای گرم در خشک‌کن، طراحی و ساخته شده و به سیستم حمل‌ونقل پنوماتیکی اضافه گردید. انتقال پسته‌ها در لوله‌های ۳ متری انجام گرفت.

برای جمع‌آوری اطلاعات از حس‌گرهای رطوبتی، حرارتی و فشاری استفاده گردید. برای قرائت داده‌های مربوط به حس‌گرها، از یک برنامه رایانه‌ای استفاده شد. در هر ثانیه داده‌های هر حس‌گر توسط رایانه قرائت و در حافظه آن ثبت می‌شد.

پسته‌های مورد آزمایش از واریته اوحدی انتخاب شد. دانه‌های پسته به منظور یکنواخت کردن اندازه آنها، از الک عبور داده شد. برای ۵۰ عدد دانه، کرویت پسته‌ها ۰/۷۶۴ و قطر متوسط آنها ۱۱/۰۳ mm بدست آمد.

آزمایشات این تحقیق در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، در منطقه باجگاه، در تیرماه ۱۳۷۹ انجام گرفت. فشار مطلق هوا در این منطقه $832/5 \text{ mbar}$ بود. بدلیل نبود پسته تازه در این زمان، از پسته‌هایی که در هوای آزاد به روش سنتی خشک شده بودند، استفاده شد. رطوبت پسته‌های خشک 6% بر مبنای وزن خشک بود. بنابراین پسته‌های موجود تا رطوبت 67% ، رطوبت دهی شدند. برای انجام آزمایش، پسته‌ها به سه دسته ۱۸ کیلوئی، تقسیم شدند.

برای جلوگیری از اتلاف حرارت بوسیله دستگاه، قسمت‌های مختلف آن از جمله گرمکن، مخزن، لوله‌های انتقال هوا در مدار گردش و لوله انتقال مواد همگی در پشم‌شیشه به ضخامت تقریبی 5 cm ، پیچیده شدند. پسته‌های تر ابتدا در مخزن قرار داده شد. سپس هوا از طریق کمپرسور وارد گرمکن شده و تا 90°C حرارت داده شد. آنگاه هوای گرم وارد مخزن تحت فشار شده و باعث انتقال پسته در لوله گردید. هر ۱۰ دقیقه از پسته‌های خارج شده از شیر تخلیه، به منظور تعیین رطوبت، نمونه‌گیری انجام گردید. پس از گذشت زمان ۷ ساعت و ۴۵ دقیقه پسته‌ها به رطوبت $3/9\%$ در محل تخلیه رسیدند. آزمایشات در سه تکرار انجام پذیرفت و متوسط نتایج بصورت آزمایشی واحد ارائه گردید.

نمودارهای خشک شدن نسبت به زمان و رطوبت، نرخ خشک شدن، تغییرات رطوبت نسبی، رطوبت مطلق و حرارت در طول خشک‌کن رسم گردید و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مقدار توان مصرفی $1/521 \text{ kw}$ بدست آمد. مقدار انرژی مصرفی گرمکن در مدت زمان ۷ ساعت و ۴۵ دقیقه تقریباً $11/8 \text{ kwh}$ بدست آمد. راندمان خشک‌کن‌ها بین $(40-60)\%$ است، اما در این روش راندمان بالایی در حدود 68% بدست آمد که بسیار مقرون به صرفه است.

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	فصل اول : مقدمه
۱	۱-۱- آشنائی با گیاه پسته
۶	۲-۱- اهمیت فرآیند خشک کردن
	فصل دوم : مروری بر تحقیقات انجام شده
۸	۱-۲- آشنائی با سیستم انتقال پنوماتیکی
۱۱	۲-۱-۱- انتقال عمودی فاز متراکم
۱۲	۲-۱-۲- انتقال افقی فاز متراکم
۱۴	۲-۱-۳- جریان پیوسته فاز متراکم
۱۹	۲-۲- اصول خشک کردن
۱۹	۲-۲-۱- رطوبت موجود در مواد غذایی
۲۱	۲-۲-۲- فرآیند خشک کردن
۲۶	۲-۲-۳- خواص ترمودینامیکی هوا
۲۹	۲-۲-۴- انتقال حرارت در خشک کن
۳۲	۲-۳- روشهای خشک کردن
۳۳	۲-۳-۱- دسته بندی خشک کن ها
۳۳	۲-۳-۱-۱- روش عملیات
۳۵	۲-۳-۱-۲- تأمین حرارت برای تبخیر رطوبت
۳۷	۲-۳-۲- انتخاب نوع خشک کن
۳۸	۲-۴- تحقیقات انجام شده برای خشک کن بستر سیالی
۴۶	۲-۵- تحقیقات انجام شده برای خشک کردن پسته

صفحه

عنوان

فصل سوم : مواد و روش تحقیق

۵۴	۳-۱- تجهیزات دستگاه
۵۴	۳-۱-۱- سیستم تأمین هوا
۵۴	۳-۱-۱-۱- کمپرسور هوا
۵۵	۳-۱-۱-۲- شیر تنظیم فشار
۵۵	۳-۱-۱-۳- جریان سنج روزنه‌ای
۵۹	۳-۱-۲- گرمکن هوا
۶۰	۳-۱-۲-۱- اتصال گرمکن به رایانه
۶۰	۳-۱-۲-۲- طراحی گرمکن
۶۴	۳-۱-۳- مخزن فشار
۶۵	۳-۱-۳-۱- فشار شکن
۶۵	۳-۱-۳-۲- شیر انسداد ورودی جریان
۶۶	۳-۱-۳-۳- طرح کاهنده خروجی مخزن
۶۶	۳-۱-۳-۴- سوپاپ اطمینان
۶۶	۳-۱-۴- سیستم گردش مجدد هوا
۶۹	۳-۱-۴-۱- گرمکن ثانویه
۶۹	۳-۱-۴-۲- دمنده مورد استفاده در مدار گردشی
۷۱	۳-۱-۵- مبدل حرارتی
۷۱	۳-۱-۵-۱- طراحی مبدل حرارتی
۷۳	۳-۱-۶- زانوی ۹۰ درجه
۷۶	۳-۱-۷- لوله‌های انتقال
۷۶	۳-۱-۸- محل استقرار حس گرها
۷۹	۳-۱-۹- کوپلینگهای اتصال لوله
۸۲	۳-۱-۱۰- شیر کنترل تخلیه مواد

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۳	۳-۲- سیستم جمع آوری اطلاعات
۸۳	۳-۲-۱- جمع آوری اطلاعات حس گرهای فشاری
۸۴	۳-۲-۲- جمع آوری اطلاعات حس گرهای حرارتی
۸۵	۳-۲-۳- جمع آوری اطلاعات حس گرهای رطوبتی
۹۱	۳-۲-۴- تنظیم ولتاژ و جمع آوری اطلاعات گرمکن
۹۱	۳-۳- روش آزمایش

فصل چهارم : بحث و نتیجه گیری

۹۸	۴-۱- تجزیه و تحلیل داده ها
۹۸	۴-۱-۱- رطوبت پسته
۱۰۲	۴-۱-۲- نمودار نرخ خشک شدن نسبت به زمان
۱۰۶	۴-۱-۳- نمودار نرخ خشک شدن نسبت به رطوبت
۱۰۸	۴-۱-۴- رطوبت نسبی هوا در خشک کن
۱۱۲	۴-۱-۵- رطوبت نسبی هوا و رطوبت پسته در محل تخلیه
۱۱۵	۴-۱-۶- تغییرات حرارت هوا در خشک کن
۱۱۷	۴-۱-۷- تغییرات فشار هوا در خشک کن
۱۲۰	۴-۱-۸- تغییرات رطوبت مطلق هوا در خشک کن
۱۲۴	۴-۲- توان مصرفی گرمکن
۱۲۴	۴-۳- بازده خشک کن

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۲۷	۵-۱- نتایج
۱۲۸	۵-۲- پیشنهادات

صفحه

۱۳۰

۱۳۱

۱۳۳

عنوان

ضمیمه الف

ضمیمه ب

منابع

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>	<u>شماره شکل</u>
۵۲	دستگاه مورد استفاده برای تعیین رطوبت تعادلی پسته	(۱-۲)
۵۲	مقطع عرضی خشک‌کن	(۲-۲)
۵۳	ترمینال ضبط پسته شرکت صنایع ممتازان	(۳-۲)
۵۶	کمپرسور هوا	(۱-۳)
۵۶	شیر تنظیم فشار	(۲-۳)
۵۷	طرح و شکل جریان سنج روزنه‌ای	(۳-۳)
۵۸	مقطع طولی جریان سنج و منحنی تغییرات فشار در آن	(۴-۳)
۶۱	المنتهای درون گرمکن و واشر نسوز	(۵-۳)
۶۱	گرمکن	(۶-۳)
۶۷	مخزن تحت فشار	(۷-۳)
۶۸	اجزاء داخلی مخزن تحت فشار	(۸-۳)
۶۸	طرح کاهنده خروجی مخزن	(۹-۳)
۷۰	ترموستات در سیستم گردش هوا	(۱۰-۳)
۷۰	سیستم گردش هوا	(۱۱-۳)
۷۴	لوله مسی حلقوی شده به طول ۳ متر	(۱۲-۳)
۷۴	مبدل حرارتی لوله‌ای	(۱۳-۳)
۷۵	طرح زانوی شیشه‌ای	(۱۴-۳)
۷۵	زانوی شیشه‌ای حاوی پسته	(۱۵-۳)
۷۷	طرح لوله‌های انتقال	(۱۶-۳)
۷۸	طرح تکیه‌گاه زیر لوله انتقال	(۱۷-۳)

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>	<u>شماره شکل</u>
۷۸	لوله انتقال و تکیه‌گاه زیر آن	(۱۸-۳)
۸۰	جایگاه حس‌گرها	(۱۹-۳)
۸۰	حس‌گرها درون کپسول	(۲۰-۳)
۸۱	طرح کوپلینگ و قرارگاه کپسول	(۲۱-۳)
۸۶	تبدیل انتهای زانوئی ۹۰ درجه	(۲۲-۳)
۸۶	طرح شیر کنترل تخلیه مواد	(۲۳-۳)
۸۷	شیر کنترل تخلیه مواد و مکانیزم جفجغه‌ای آن	(۲۴-۳)
۸۷	شیر کنترل مواد در حال کار	(۲۵-۳)
۸۸	تابلوی برق حس‌گرها	(۲۶-۳)
۸۸	حس‌گر فشاری و جریان سنج روزنه‌ای	(۲۷-۳)
۸۹	حس‌گر حرارتی و رطوبتی	(۲۸-۳)
۸۹	رطوبت سنج	(۲۹-۳)
۹۲	ارلن و محفظه شیشه‌ای	(۳۰-۳)
۹۲	حس‌گر رطوبتی و رطوبت سنج درون محفظه شیشه‌ای	(۳۱-۳)
۹۶	تجمع بخار آب در محفظه شیشه‌ای	(۳۰-۳۲)
۹۶	تنظیم حرارت گرمکن از طریق صفحه کلید	(۳۳-۳)
۹۷	ترازوی دقیق الکترونیکی برای توزین نمونه‌ها	(۳۴-۳)
۹۹	منحنی خشک شدن پسته در انتهای خشک‌کن	(۱-۴)
۱۰۱	منحنی خشک شدن پسته بدون در نظر گرفتن زمان تأخیر	(۲-۴)
۱۰۳	منحنی دو مرحله‌ای خشک شدن پسته	(۳-۴)
۱۰۵	نرخ خشک شدن پسته بر حسب زمان	(۴-۴)
۱۰۷	نرخ خشک شدن پسته نسبت به مقدار رطوبت آن	(۵-۴)
۱۱۰	منحنی تغییرات رطوبت نسبی هوا در خشک‌کن	(۶-۴)
۱۱۳	رابطه رطوبت نسبی هوا با طول انتقال مواد	(۷-۴)

<u>شماره شکل</u>	<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
(۸-۴)	منحنی رطوبت نسبی هوا و رطوبت پسته در محل تخلیه	۱۱۴
(۹-۴)	منحنی تغییرات حرارت هوا در خشک کن	۱۱۸
(۱۰-۴)	رابطه حرارت هوا با طول انتقال مواد	۱۱۹
(۱۱-۴)	منحنی تغییرات رطوبت مطلق هوا در خشک کن	۱۲۲
(۱۲-۴)	رابطه رطوبت مطلق هوا با طول انتقال مواد	۱۲۳