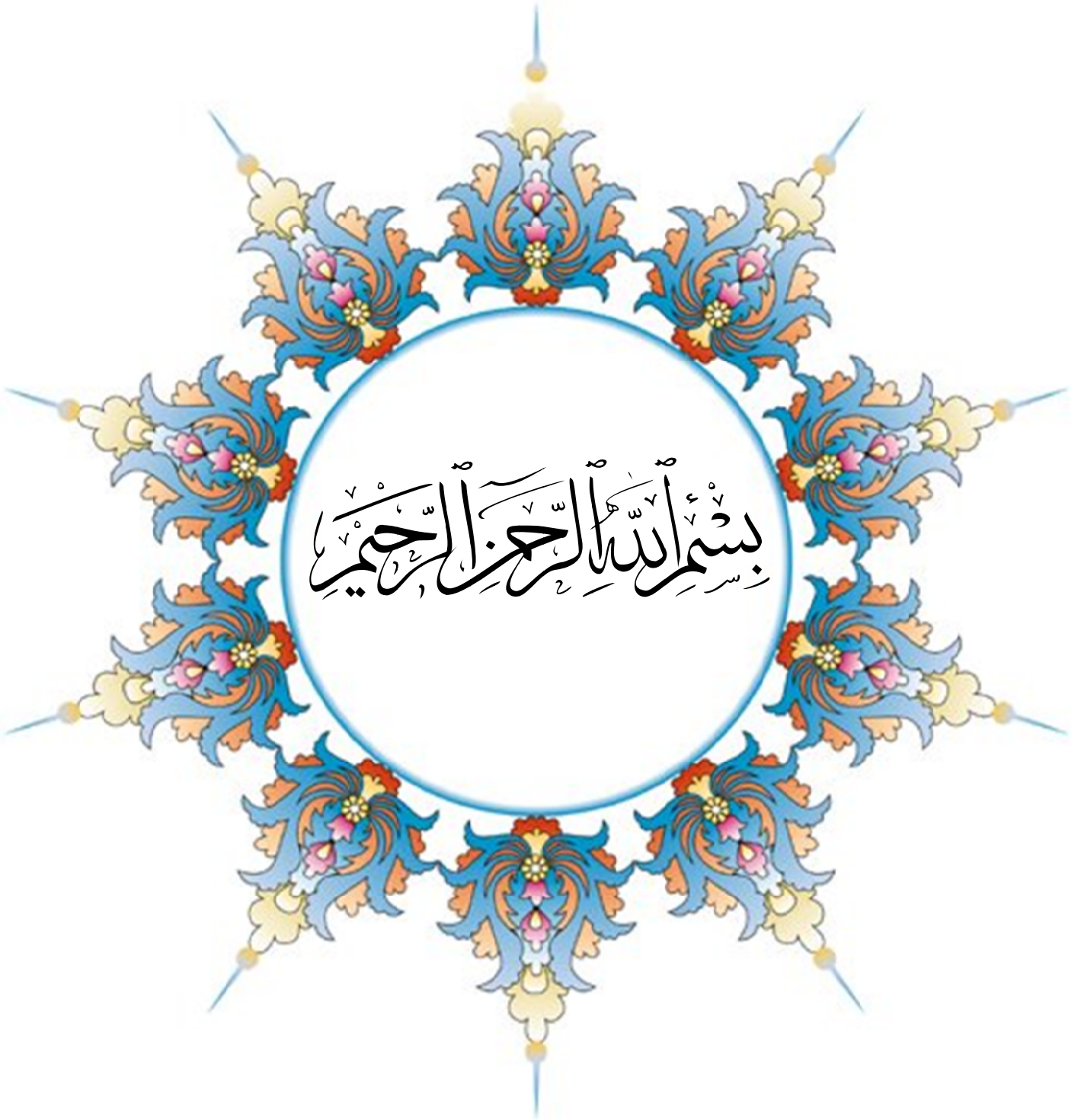


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

اعضای هیأت داوران نسخه نهایی پایان نامه آقای مجید رهنما تحت عنوان:  
« طراحی، ساخت و ارزیابی خشک کن خورشیدی با چرخ جاذب برای حفظ خواص کیفی  
خرمای رقم استعمران »  
را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای دریافت درجه دکتری پیشنهاد می کنند.

امضا	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	دانشیار	دکتر محمدهادی خوش تقاضا	۱- استاد راهنمای اول
	استادیار	دکتر کمال عباسپور ثانی	۲- استاد راهنمای دوم
	دانشیار	دکتر برات قبادیان	۳- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر سعید مینایی	۴- استاد ناظر
	استاد	دکتر تیمور توکلی هاشجین	۵- استاد ناظر
	استاد	دکتر علیرضا کیهانی	۶- استاد ناظر
	دانشیار	دکتر عزت الله آزاد	۷- استاد ناظر



## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های 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 پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد 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 دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

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 و یا نرم‌افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه 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 تاریخ ۸۷/۴/۱ 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.



## بسمه تعالی

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین 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:

**ماده ۱:** در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلا به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

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

« کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد هادی خوش تقاضا و دکتر کمال عباسپور ثانی و مشاوره جناب آقای دکتر برات قبادیان از آن دفاع شده است.»

**ماده 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.

**ماده ۴:** در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

**ماده 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؛ بعلاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

**ماده ۶:** اینجانب مجید رهنما دانشجوی رشته مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرائی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **مجید رهنما**

تاریخ و امضاء:



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده کشاورزی

رساله دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن خورشیدی با چرخ جاذب رطوبت برای حفظ خواص  
کیفی خرماي رقم استعمران

مجید رهنما

استاد راهنمای اصلی  
دکتر محمد هادی خوش تقاضا

استاد راهنمای دوم  
دکتر کمال عباسپور ثانی

استاد مشاور:  
دکتر برات قبادیان

تحت حمایت مالی شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

بهار ۸۹

تقدیم به  
همسر مهربانم سارا

که در غم و شادی یار و یاور من بود و بی شک هرچه دارم از فداکاریهای

اوست

و

فرزند دلبندم تایماز

که با آمدنش نور امید را در دلهای ما جاری ساخت

و تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم که در این مدت سختیهای زیادی متحمل شدند

## تشکر و قدردانی

مراتب قدردانی و سپاس بی‌کران خود را از صمیم قلب به عزیزانی که بی‌یاریشان توان به سرانجام رساندن این پژوهش رساندند، بویژه از:

- دکتر محمد هادی خوش تقاضا، دکتر کمال عباسپور و دکتر برات قبادیان که بارها سمانی‌های سودمندشان مراد انجام این رساله یاری کردند.

- اساتید ناظر و نماینده محترم شورای تحصیلات تکمیلی.

- آقایان صفرقلی ایکدر و صادق شلان که در سخت‌ترین مخطات یار و یاور من بودند و با کمک‌های مادی و فکری مرآت‌ها نگذاشتند و همچنین از برادرم

دستان که با کمک‌های مالی در طول تحصیل باعث دلگرمی بود.

- مدیر موسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری آقای دکتر اربابان.

- جناب آقای مهندس احمد مستعان و سرکار خانم احمدی که بدون شک بدون کمک‌های آنها انجام این تحقیق ممکن نبود.

- جناب آقای عبدالکریم چهارسوتی کارشناس خسروشناسی مؤسسه حفظ نباتات خوزستان که در تهیه و پرورش آفات کمک‌های بی‌انجام نمود.

- دودستان خوجم آقایان مهندس کرامت سعیدی، مهندس امید اکبرپور، مهندس عباد احمدی، مهندس رحمان قادری، دکتر علی نیک‌بخت، دکتر

جعفر عبدالله زاده و مهندس رسول معاربه خاطر کمک در آزمایشات تجزیه و تحلیل آماری

- آقای رضایی کیا کارشناس گروه که در تمام مراحل این رساله همراهم بود

- مهندس سجاد رستمی که همانند برادری دلسوز مساعدت نمود

و شرکت بینه‌سازی به خاطر حمایت مالی این رساله

خانواده تشکر و سپاسگزاری می‌کنم.

## چکیده

کاهش دادن رطوبت خرما با دمای بالا و یا در مدت زمان طولانی باعث افت کیفیت محصول می‌شود. بنابراین لازم است محصول خرما سریع و با دمای پایین خشک شود. در مناطق مرطوب، رطوبت خرما را می‌توان با استفاده از سیستم جاذب رطوبت، به سرعت و در دمای پایین کاهش داد. از این رو، هدف از تحقیق در این رساله، حفظ خواص کیفی خرما در طی انبارمانی و ضدعفونی آن با استفاده از حرارت به جای متیل بروماید می‌باشد که به سبب مسایل زیست محیطی باید روشی مناسب جایگزین آن شود. یکی از این روش‌ها استفاده از تیمار حرارتی با استفاده از خشک‌کن خورشیدی می‌باشد که تنظیم رطوبت و تیمار حرارتی را همزمان انجام می‌دهد. از این رو به منظور انجام تحقیق حاضر، خشک‌کن مجهز به سیستم جاذب رطوبت با احیاء کننده خورشیدی طراحی و ساخته شد. سیستم جاذب رطوبت این دستگاه از دو فرایند احیاء و خشک کننده هوا تشکیل شده است. در فرایند احیاء هوای گرم خروجی از جمع کننده خورشیدی، سلیکا ژل موجود در چرخ جاذب احیاء می‌کند که بعد از احیاء به محیط باز می‌گردد. در فرایند خشک کننده هوا، هوای محیط وارد چرخ جاذب شده و ضمن از دست دادن رطوبت وارد جمع کننده ثانویه شده و در نهایت، بعد از افزایش دما جهت خشک کردن محصول وارد محفظه خشک‌کن می‌شود. برای طراحی و ساخت دستگاه، ابتدا منحنی رطوبت تعادلی همدمای جذب و دفع خرماستمران، در چهار دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰، و ۷۰°C به وسیله محلول‌های نمک‌های اشباع با فعالیت آبی بین ۰/۰۵ تا ۰/۸۵ استخراج و رسم گردید. برای برازش داده‌ها از مدل‌های GAB، هالسی اصلاح شده، چانگ-پی فوست اصلاح شده، اسمیت اصلاح شده، اوسوین اصلاح شده و هندرسون اصلاح شده برای هر دو حالت جذبی و دفعی استفاده شد که مدل GAB بهترین برازش را از نظر بالاترین مقدار  $R^2$  در هر دو حالت جذب و دفع داشت. میزان رطوبت تک لایه  $M_m$  برای هر دو حالت جذب و دفع با افزایش دما به ترتیب از ۱۷/۷۶ تا ۷/۴۳ درصد و ۱۳/۳۷ تا ۷/۹۴ درصد کاهش پیدا کرد. گرمای خالص در حالت جذبی و دفعی به ترتیب از ۲۴/۲۲ و ۲۱/۱۴ kJ/mol در رطوبت تعادلی ۱۰٪ تا ۱/۰۲- و ۱/۱ kJ/mol- در رطوبت تعادلی ۴۰٪ کاهش یافت که مقدار این گرما برای حالت جذبی بیشتر از حالت دفعی می‌باشد. پس از طراحی و ساخت دستگاه، بازه روزانه جمع‌کننده‌ها و کارایی چرخ جاذب آن در اهواز مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان بازه روزانه برای جمع‌کننده اولیه ۳۵٪ و برای جمع‌کننده ثانویه برابر ۳۲٪ بدست آمد. ضریب کارایی چرخ جاذب در نزدیکی ظهر که در آن بیشترین تابش خورشیدی فراهم است، به بالاترین مقدار خود (۰/۸۳) رسید. همچنین به وسیله دستگاه ساخته شده رطوبت خرماستمران با استفاده از چهار سطح دمایی ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C به سه سطح رطوبت تعادلی ۱۴، ۱۶ و ۱۸٪ بر پایه خشک رسیده و تاثیر این تیمارهای اعمال شده بر خواص کیفی و کمی خرما (فعالیت آبی، pH، درصد جدا شدن پوست، قند کل، رنگ، درصد مواد جامد محلول و رطوبت تعادلی) و ضد عفونی آن در طول سه ماه انبارمانی مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه مقادیر به دست آمده با مقادیر شاهد و میوه تازه، بهترین دما برای تنظیم رطوبت خرماستمران و انبارمانی آن از نظر حفظ خواص کیفی به مدت سه ماه، ۵۰ تا ۶۰°C به دست آمد که با افزایش رطوبت مدت زمان انبارمانی نیز کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق نشان داد که برای انبارمانی به مدت یک ماه می‌توان از تیمار دمایی ۷۰°C و رطوبت بالای ۱۶٪ استفاده نمود. از دمای ۵۰°C و بالاتر می‌توان برای از بین بردن دو افت پروانه خرما و شیش دنداندار و ضد عفونی کردن خرما استفاده کرد.

**کلمات کلیدی:** چرخ جاذب، احیاء، جمع‌کننده تخت، میزان رطوبت تعادلی، نمک اشباع، مدل سازی، ضد

عفونی، کاهش رطوبت، خواص کیفی.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست علائم و نشانه‌ها .....
د	فهرست جدول‌ها .....
س	فهرست شکل‌ها .....
۳-۱	فصل اول: مقدمه و هدف .....
۱	۱-۱ مقدمه .....
۲	۲-۱ اهمیت موضوع .....
۳	۳-۱ اهداف .....
۲۷-۴	فصل دوم: سابقه پژوهش .....
۴	۱-۲ اهمیت خرما .....
۴	۲-۲ مراحل رشد خرما .....
۶	۳-۲ مهمترین خواص فیزیکی و کیفی خرما .....
۷	۱-۳-۲ فعالیت آبی ( $a_w$ ) .....
۷	۲-۳-۲ قند کل .....
۸	۳-۳-۲ مواد جامد محلول (بریکس) .....
۸	۴-۳-۲ اسیدیته (pH) .....
۹	۵-۳-۲ درصد جدا شدن پوست میوه .....
۹	۶-۳-۲ رنگ .....
۱۰	۴-۲ انبارمانی خرما .....

۱۳	۵-۲ ضد عفونی خرما.....
۱۶	۱-۵-۲ شپش دنداندار.....
۱۶	۲-۵-۲ پروانه خرما.....
۱۷	۶-۲ منحنی همدمای تعادلی خرما.....
۱۹	۷-۲ انواع خشک کن‌های خورشیدی.....
۲۰	۸-۲ سیستم‌های جاذب رطوبت.....
۲۶	۹-۲ مطالعات انجام گرفته پیرامون خشک کردن خرما.....

## فصل سوم: مواد و روش‌ها ..... ۲۸-۸۷

۲۸	۱-۳ مقدمه.....
۲۹	۲-۳ منحنی همدمای تعادلی و گرمای ایزوستریک.....
۲۹	۱-۲-۳ منحنی همدمای تعادل.....
۳۳	۲-۲-۳ گرمای جذب و دفع.....
۳۴	۳-۳ طراحی دستگاه.....
۳۵	۱-۳-۳ فرض‌های طراحی.....
۳۶	۲-۳-۳ شرح محاسبات.....
۳۶	۱-۲-۳-۳ محاسبه مقدار جرم و حجم هوای مورد نیاز.....
۳۹	۲-۲-۳-۳ دبی جرمی و حجمی هوا.....
۴۰	۳-۲-۳-۳ مشخصات چرخ جاذب.....
۴۰	الف- سطح مقطع.....
۴۱	ب- شعاع داخلی، خارجی و ضخامت چرخ.....
۴۱	۴-۲-۳-۳ مقدار سلیکا ژل.....
۴۱	۵-۲-۳-۳ ابعاد محفظه خشک کن.....
۴۲	۶-۲-۳-۳ مساحت سطح صفحه جاذب جمع‌کننده‌ها.....
۴۹	۷-۲-۳-۳ شیب مناسب جمع‌کننده.....
۵۰	۸-۲-۳-۳ انتخاب دمنده.....

- الف- افت فشار در فرایند احیاء..... ۵۱
- ب- افت فشار در فرایند خشک شدن..... ۵۴
- ج- توان مورد نیاز فن..... ۵۴
- ۴-۳ ساخت دستگاه..... ۵۵
- ۱-۴-۳ چرخ جاذب..... ۵۵
- ۲-۴-۳ شاسی چرخ جاذب..... ۵۶
- ۳-۴-۳ سیستم انتقال قدرت..... ۵۷
- ۴-۴-۳ محفظه خشک کن..... ۵۹
- ۵-۴-۳ رطوبت ساز..... ۶۰
- ۶-۴-۳ جمع کننده ها..... ۶۰
- ۷-۴-۳ کانال های رابط..... ۶۱
- ۵-۳ نمونه برداری از نخلستان..... ۶۲
- ۶-۳ تهیه حشرات مربوط به آفات انباری خرما..... ۶۴
- ۷-۳ آزمایش و ارزیابی خشک کن..... ۶۵
- ۱-۷-۳ تعیین سرعت بهینه چرخ جاذب..... ۶۷
- ۲-۷-۳ تنظیم رطوبت خرما برای تعیین خواص کیفی و کمی در طول سه ماه انبارمانی..... ۶۸
- ۱-۲-۷-۳ نحوه تهیه و انبارداری نمونه ها..... ۶۸
- ۲-۲-۷-۳ کمی مورد اندازه گیری..... ۷۰
- ۳-۷-۳ تاثیر تنظیم رطوبت بر ضد عفونی خرما..... ۷۳
- ۱-۳-۷-۳ نحوه تهیه نمونه های آلوده به آفات..... ۷۳
- ۲-۳-۷-۳ انجام آزمایش های مربوط به ضد عفونی..... ۷۵
- ۴-۷-۳ ارزیابی خشک کن..... ۷۶
- ۱-۴-۷-۳ اتلاف حرارت کل ( $Q_L$ )..... ۷۷
- الف) اتلاف حرارت از سطح بالایی جمع کننده ( $Q_{up}$ )..... ۷۷
- ب) اتلاف حرارت از سطح زیرین صفحه جمع کننده ( $Q_{bot}$ )..... ۸۱

۸۳	پ) اتلاف حرارت از سطح جانبی ( $Q_{edg}$ )
۸۳	۲-۴-۷-۳ بازده کلی، نوری و روزانه
۸۵	۳-۴-۷-۳ ارزیابی چرخ جاذب رطوبت
۸۶	۴-۴-۷-۳ ارزیابی سیستم جاذب رطوبت دستگاه
۱۷۲-۸۸	<b>فصل چهارم: نتایج و بحث</b>
۸۸	۱-۴ مقدمه
۸۸	۲-۴ منحنی همدمای تعادلی و گرمای ایزوستریک
۹۱	۱-۲-۴ برازش مدل‌ها
۹۷	۲-۲-۴ گرمای جذب و دفع ایزوستریک
۱۰۰	۳-۴ تعیین سرعت بهینه چرخ جاذب
۱۰۳	۴-۴ تنظیم رطوبت خرما جهت تعیین خواص کیفی و کمی در طول دوره سه ماه انبارمانی
۱۰۴	۱-۴-۴ فعالیت آبی ( $a_w$ )
۱۱۳	۲-۴-۴ pH
۱۱۵	۳-۴-۴ قند کل
۱۱۷	۴-۴-۴ درصد مواد جامد محلول
۱۲۱	۵-۴-۴ رنگ
۱۲۱	۱-۵-۴-۴ مولفه L رنگ
۱۲۸	۲-۵-۴-۴ مولفه C رنگ
۱۳۶	۳-۵-۴-۴ مولفه H رنگ
۱۴۰	۴-۵-۴-۳ مولفه $\Delta E$ رنگ
۱۴۶	۶-۴-۴ درصد جداشدن پوست از میوه
۱۴۸	۷-۴-۴ رطوبت نهایی تعادلی
۱۵۲	۵-۴ تاثیر تنظیم رطوبت بر ضدعفونی خرما
۱۵۵	۶-۴ بازده کلی، نوری و روزانه
۱۶۳	۷-۴ ارزیابی چرخ جاذب رطوبت

۸-۴ ارزیابی سیستم جاذب رطوبت ..... ۱۶۹

**فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها ..... ۱۷۳-۱۸۰**

۱-۵ نتیجه گیری ..... ۱۷۳

۵-۱-۱ نتایج مربوط به منحنی همدمای تعادلی ..... ۱۷۳

۵-۱-۲ نتایج مربوط به سرعت بهینه چرخ جاذب ..... ۱۷۴

۵-۱-۳ نتایج مربوط به تنظیم رطوبت خرما ..... ۱۷۴

۵-۱-۴ نتایج مربوط به تاثیر تنظیم رطوبت روی ضدعفونی خرما ..... ۱۷۷

۵-۱-۵ نتایج مربوط به بازده کلی، نوری و روزانه ..... ۱۷۷

۵-۱-۶ نتایج مربوط به ارزیابی چرخ جاذب رطوبت ..... ۱۷۸

۵-۱-۷ نتایج مربوط به ارزیابی سیستم جاذب رطوبت دستگاه ..... ۱۷۸

۵-۲ جمع بندی نتایج ..... ۱۷۹

۵-۳ پیشنهادها ..... ۱۷۹

**فهرست منابع ..... ۱۸۱-۱۹۰**

**ضمیمه ها ..... ۱۹۱-۱۹۴**

۱- شکل ها ..... ۱۹۱

۲- جدول ها ..... ۱۹۲

## فهرست علائم و نشانه‌ها

واحد	کمیت	علامت اختصاری
بی‌بعد	ثابت	A
m <sup>2</sup>	مساحت جمع‌کننده ثانویه	A <sub>2</sub>
cm <sup>2</sup>	سطح مقطع چرخ جاذب	A <sub>wh</sub>
%	فعالیت آبی	a <sub>w</sub>
بی‌بعد	ثابت	B
بی‌بعد	ثابت	C
%	بر پایه خشک	d.b
بی‌بعد	ثابت	D
بی‌بعد	ضریب دفع حرارت در جمع‌کننده	F <sub>R</sub>
بی‌بعد	ضریب دفع حرارت در صفحه جاذب	F <sub>p</sub>
W/m <sup>2</sup>	توان تابشی فوق زمینی روی صفحه‌ای عمود بر پرتو پرتوهای خورشید	G <sub>on</sub>
J/m <sup>2</sup> .day	انرژی تابشی روزانه دریافتی در واحد سطح در صفحه افقی	H
J/m <sup>2</sup> .day	میانگین ماهیانه انرژی روزانه در صفحه افقی	$\bar{H}$
J/m <sup>2</sup> .K	ضریب انتقال حرارت از طریق همرفت	h
J/m <sup>2</sup> .K	ضریب تلفات حرارتی همرفت مابین صفحه جاذب و پوشش شیشه‌ای	$h_{con}^{p-g}$
J/m <sup>2</sup> .K	ضریب تلفات حرارتی همرفت مابین پوشش شیشه‌ای و محیط	$h_{con}^{g-a}$
J/m <sup>2</sup> .K	ضریب تلفات حرارتی تابش مابین صفحه جاذب و پوشش شیشه‌ای	$h_r^{p-g}$
J/m <sup>2</sup> .K	ضریب تلفات حرارتی تابش مابین پوشش شیشه‌ای و محیط	$h_r^{g-a}$
J/m <sup>2</sup> .day	جزء پراکنده میانگین ماهیانه انرژی تابشی دریافتی در واحد سطح در صفحه افقی	$\bar{H}_d$
J/m <sup>2</sup> .day	میانگین ماهیانه انرژی روزانه فوق زمینی	$\bar{H}_o$
J/m <sup>2</sup> .day	میانگین ماهیانه انرژی روزانه دریافتی در واحد سطح روی جمع‌کننده	$\bar{H}_T$
J/m <sup>2</sup> .hour	انرژی تابشی ساعتی دریافتی در واحد سطح در صفحه افقی	I
J/m <sup>2</sup> .day	انرژی تابشی روزانه دریافتی در واحد سطح روی جمع‌کننده	I <sub>T</sub>
J/m <sup>2</sup> .day	انرژی تابشی روزانه قابل حصول در شرایط هوای کاملاً صاف در واحد سطح	I <sub>c</sub>
J/m <sup>2</sup> .day	جزء پراکنده I <sub>c</sub>	I <sub>d</sub>
J/m <sup>2</sup> .day	جزء مستقیم I <sub>c</sub>	I <sub>b</sub>
W/m <sup>2</sup>	ثابت خورشیدی برابر ۱۳۵۳	I <sub>sc</sub>
W/m.°C	ضریب رسانش حرارتی (ضریب رسانایی)	k
بی‌بعد	متوسط شاخص صافی هوا در یک روز	$\bar{K}_T$

واحد	کمیت	علامت اختصاری
J/kg	گرمای نهان تبخیر	$L$
%	رطوبت محصول یا نمونه	$M$
%	رطوبت تعادلی محصول یا نمونه	$M_e$
%	رطوبت تعادلی تک لایه	$M_m$
kg	جرم آب تبخیری	$m_w$
kg/s	دبی جرمی	$\dot{m}$
Pa	فشار	$P$
$m^3/m^2.s$	دبی حجمی هوا بر واحد سطح محصول پهن شده در خشک کن	$Q$
J	اتلاف حرارتی کل	$Q_L$
kJ/mol	گرمای خالص جذب و دفع	$Q_{st}$
J	انرژی مفید دریافتی از جمع کننده	$Q_u$
$J/m^2$	اتلاف حرارتی از جمع کننده	$q$
kJ/kmol.K	ثابت جهانی گازها برابر ۸/۳۱۴۵	$R$
بی بعد	نسبت میانگین انرژی تابشی کل روی سطح جمع کننده به سطح افق	$\bar{R}$
بی بعد	میانگین ماهیانه نسبت تابش روی سطح جمع کننده به سطح افق	$\bar{R}_b$
m	شعاع	$r$
%	رطوبت نسبی محیط	$R_h$
h	ساعات آفتابی متوسط روزانه	$\bar{S}$
h	تعداد ساعات روشنایی روزانه	$\bar{S}_0$
°C یا K	دما	$T$
$W/m^2.°C$	ضریب تلفات حرارتی کل در جمع کننده	$U$
m/s	سرعت	$V$
$m^3$	حجم هوا	$V_a$
m/s	سرعت باد	$V_w$
$m^3/kg$	حجم مخصوص	$v$
$m^3/s$	دبی حجمی	$\dot{V}$
kg	جرم محصول	$W$
بی بعد	ضریب جذب	$\alpha$
$m^2/s$	ضریب پخش حرارتی	$\alpha_a$
درجه	شیب جمع کننده	$\beta$

واحد	کمیت	علامت اختصاری
$m^3/^\circ C$	ضریب انبساط حرارتی حجمی	$\beta$
درجه	زاویه میل خورشید	$\delta$
بی بعد	ضریب تابش	$\varepsilon$
درجه	عرض جغرافیایی	$\phi$
بی بعد	بازده	$\eta$
Pa.s	گرانروی دینامیکی هوا	$\mu$
درجه	زاویه تابش نسبت به سطح افق	$\theta$
درجه	زاویه سمت الراس	$\theta_r$
$kg/m^3$	چگالی	$\rho_a$
بی بعد	ضریب انعکاس زمین	$\rho$
$kg/m^3$	چگالی توده	$\rho_b$
$W/(m^2.K^4)$	ثابت استفان بولتزمن برابر $5/67 \times 10^{-8}$	$\sigma$
بی بعد	ضریب عبور نور از شیشه	$\tau$
$m^2/s$	گرانروی سینماتیکی	$\nu$
درجه	زاویه ساعتی خورشید	$\omega$
h	زاویه ساعت از طلوع تا غروب	$\omega_s$
Pa	اختلاف فشار	$\Delta P$
Pa/m	افت فشار در واحد عمق محصول	$\Delta P'$
g/g	نسبت رطوبت	$\Delta w$

#### اندیس‌ها

هوا	a
پایین	bot
جمع کننده	c
همرفت	con
لبه	edg
تابش	r
نهایی	f
پوشش شیشه‌ای	g
شیشه به هوا	g-a
اولیه، ورودی	i
صفحه جاذب	p
صفحه جاذب به شیشه	p-g
احیا	r
بالا	up



## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: مراحل رشد خرما.....	۵
جدول ۱-۳: رطوبت نسبی ایجاد شده بوسیله نمکهای اشباع مورد استفاده برای تعیین منحنی همدمای تعادلی در دماهای مختلف کارکرد دستگاه.....	۳۰
جدول ۲-۳: مدل‌های مورد استفاده در برازش داده‌های مربوط به منحنی همدمای تعادلی.....	۳۲
جدول ۳-۳: پارامترها و مشخصات منطقه‌ای و جغرافیایی اهواز.....	۴۴
جدول ۴-۳: میانگین داده‌های ماهیانه برای تعیین شدت تابش بر روی جمع‌کننده خورشیدی.....	۴۸
جدول ۵-۳: جدول مقادیر محاسبه شده R برای اهواز.....	۵۰
جدول ۶-۳: جدول ماتریس آزمایش‌های مربوط به تعیین خواص کیفی و کمی خرماي استعمران در طول دوره انبارماني.....	۶۸
جدول ۷-۳: مدت زمان فرایند رطوبت‌دهی برای رسیدن به رطوبت ۱۸٪، رطوبت‌گیری برای رسیدن به رطوبت ۱۴٪ و حرارت دهی در رطوبت ۱۶٪ نمونه‌ها بر حسب دقیقه.....	۷۶
جدول ۸-۳: ضخامت (d) و ضریب رسانش (k) مواد بکار رفته در جمع‌کننده.....	۸۲
جدول ۱-۴: ثابت‌های بدست آمده از برازش مدل‌های ریاضی برای حالت جذبی.....	۹۲
جدول ۲-۴: ثابت‌های بدست آمده از برازش مدل‌های ریاضی برای حالت دفعی.....	۹۳
جدول ۳-۴: نتایج حاصل از اندازه‌گیری شرایط جوی و مشخصات هوای احیاء کننده و خشک شده.....	۱۰۰
جدول ۴-۴: درصد رطوبت نمونه‌ها (d.b.) بعد از فرایند تنظیم رطوبت برای خرماي رقم استعمران.....	۱۰۳
جدول ۵-۴: نتایج حاصل از تجزیه واریانس میانگین اثر تیمار دما و رطوبت (TEMC) نسبت به زمان انبارماني بر خصوصیات اندازه‌گیری شده.....	۱۰۴
جدول ۶-۴: تجزیه واریانس میانگین $a_w$ در اثر دما و رطوبت در طول انبارماني.....	۱۰۵
جدول ۷-۴: مقایسه میانگین تجزیه مرکب $a_w$ نسبت به دما و رطوبت برای ماه اول انبارماني.....	۱۰۷

- جدول ۴-۸: مقایسه میانگین تجزیه مرکب  $a_w$  نسبت به دما و رطوبت برای ماه دوم انبارمانی..... ۱۰۸
- جدول ۴-۹: مقایسه میانگین تجزیه مرکب  $a_w$  نسبت به دما و رطوبت برای ماه سوم انبارمانی..... ۱۰۸
- جدول ۴-۱۰: مقایسه میانگین تجزیه مرکب  $a_w$  نسبت به ماه‌های مختلف برای تمام دماها و رطوبت‌ها..... ۱۰۹
- جدول ۴-۱۱: تجزیه واریانس میانگین pH در اثر دما و رطوبت و زمان انبارمانی..... ۱۱۳
- جدول ۴-۱۲: تجزیه واریانس میانگین قند کل در اثر تیمارهای دما، رطوبت و زمان انبارمانی..... ۱۱۶
- جدول ۴-۱۳: تجزیه واریانس میانگین مواد جامد محلول در اثر تیمارهای دما، رطوبت و زمان انبارمانی..... ۱۱۸
- جدول ۴-۱۴: تجزیه واریانس میانگین  $L, C, H$  و  $\Delta E$  رنگ در اثر تیمارهای اعمال شده در ماه‌های مختلف انبارمانی..... ۱۲۲
- جدول ۴-۱۵: مقایسه میانگین تجزیه مرکب  $L$  نسبت به ماه‌های مختلف برای تمام دماها و رطوبت‌ها..... ۱۲۶
- جدول ۴-۱۶: تجزیه مرکب  $C$  نسبت به ماه‌های مختلف برای تمام دماها و رطوبت‌ها..... ۱۳۴
- جدول ۴-۱۷: مقایسه میانگین تجزیه مرکب مولفه  $H$  رنگ نسبت به تیمارهای دما و رطوبت در ماه سوم انبارمانی..... ۱۳۸
- جدول ۴-۱۸: مقایسه میانگین تجزیه مرکب  $H$  نسبت به ماه‌های مختلف انبارمانی برای ترکیب تمام دماها و رطوبت‌ها..... ۱۳۹
- جدول ۴-۱۹: مقایسه میانگین تجزیه مرکب  $\Delta E$  با استفاده از دانکن نسبت به ماه‌های مختلف برای تمام دماها و رطوبت‌ها..... ۱۴۵
- جدول ۴-۲۰: تجزیه واریانس میانگین درصد جداسازی پوست از میوه در اثر دما و رطوبت و زمان انبارمانی..... ۱۴۷
- جدول ۴-۲۱: تجزیه واریانس میانگین درصد رطوبت نهایی تعادلی در اثر تیمارهای دما و رطوبت در طول انبارمانی..... ۱۴۹
- جدول ۴-۲۲: مقایسه میانگین اثر تیمار زمان انبارمانی و رطوبت روی رطوبت نهایی تعادلی محصول (%d.b.)..... ۱۵۰
- جدول ۴-۲۳: مقایسه میانگین اثر تیمار دما و رطوبت روی رطوبت نهایی محصول (%d.b.)..... ۱۵۱

- جدول ۴-۲۴: نتایج حاصل از تاثیر تیمار حرارتی بر ضدعفونی خرما در اثر تیمارهای  
 ۱۵۴ ..... رطوبتی ۱۴ و ۱۸٪
- جدول ۴-۲۵: نتایج حاصل از تاثیر تیمار حرارتی بر ضدعفونی خرما در اثر تیمارهای  
 ۱۵۴ ..... رطوبتی ۱۶٪
- جدول ۴-۲۶: اتلاف حرارت از سطح زیرین، سطوح جانبی و بالای جمع‌کننده اولیه ..... ۱۵۶
- جدول ۴-۲۷: اتلاف حرارت از سطح زیرین، سطوح جانبی و بالای جمع‌کننده ثانویه ..... ۱۵۶
- جدول ۴-۲۸: مقادیر  $F_p$ ،  $F_R$ ،  $\eta$  و  $\eta_{day}$  در طول روز برای جمع‌کننده اولیه ..... ۱۶۱
- جدول ۴-۲۹: مقادیر  $F_p$ ،  $F_R$ ،  $\eta$  و  $\eta_{day}$  در طول روز برای جمع‌کننده ثانویه ..... ۱۶۲
- جدول ۴-۳۰: مقادیر اندازه‌گیری شده  $T_a$ ،  $(T_0)_1$ ،  $T_{reg}$  و  $T_{pro}$  و مقادیر محاسبه  
 شده  $D$  و  $DCOP$  در طول روز ..... ۱۶۴
- جدول ۴-۳۱: تجزیه واریانس میانگین وزن نهایی نمونه‌ها بعد از یک ساعت خشک  
 شدن در اثر تیمارهای دما و چرخ‌جاذب ..... ۱۷۰
- جدول ۴-۳۲: مقایسه میانگین تجزیه مرکب میانگین وزن نهایی نمونه‌ها بعد از یک  
 ساعت خشک شدن با و بدون استفاده از چرخ‌جاذب ..... ۱۷۱
- جدول ۴-۳۳: مقایسه آزمون  $t$  استودنت اختلاف وزن نمونه‌ها در مدت یک ساعت  
 خشک شدن، بین دو حالت با و بدون استفاده از چرخ‌جاذب برای هر  
 دما در سطح احتمال ۵٪ ..... ۱۷۲

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: فرایند جذب رطوبت هوا در سیستم جاذب رطوبت (الف) ماده جاذب جامد و (ب) ماده جاذب مایع (Anonymous, 2005).....	۲۳
شکل ۲-۲: خشک‌کن خورشیدی با ماده جاذب جامد (Thoruwa et al., 1996).....	۲۵
شکل ۳-۲: چرخ جاذب و قسمت‌های مختلف آن (Dai et al., 2002).....	۲۶
شکل ۱-۳: ظرف شیشه‌ای حاوی نمک اشباع و نحوه قرارگیری نمونه در داخل آن.....	۳۱
شکل ۲-۳: طرحواره دستگاه خشک‌کن خورشیدی مجهز به سیستم جاذب رطوبت.....	۳۵
شکل ۳-۳: نمودار رطوبت‌سنجی هوا برای حالت‌های مختلف خروجی از محفظه و جمع‌کننده.....	۳۷
شکل ۴-۳: منحنی همدمای تعادلی خرما در دماهای کار دستگاه.....	۳۸
شکل ۵-۳: نمودار مربوط به شاخص صافی هوا و مقادیر a و b برای اهواز.....	۴۴
شکل ۶-۳: چرخ جاذب ساخته شده و صفحات پوشیده شده با سلیکا ژل.....	۵۶
شکل ۷-۳: شاسی‌های دستگاه خشک‌کن خورشیدی با سیستم جاذب رطوبت.....	۵۷
شکل ۸-۳: تسمه، پولی‌ها، منبع تغذیه، سیستم انتقال نیرو و سیستم تامین کشش فنر.....	۵۸
شکل ۹-۳: محفظه با چهارپایه و سینی مشبک.....	۵۹
شکل ۱۰-۳: رطوبت‌ساز.....	۶۰
شکل ۱۱-۳: جمع‌کننده‌های ساخته شده.....	۶۱
شکل ۱۲-۳: نمایی کلی از دستگاه ساخته شده و نحوه ارتباط قطعات با یکدیگر.....	۶۲
شکل ۱۳-۳: عکسی از نخلستان انتخابی.....	۶۳
شکل ۱۴-۳: نحوه نمونه‌برداری از نخلستان.....	۶۳
شکل ۱۵-۳: الف- آرد آلوده به تخم شپش دنداندار ب- پروانه خرما در حال جفت‌گیری.....	۶۶
شکل ۱۶-۳: چهار دوره زندگی آفات پروانه خرما و شپش دنداندار.....	۶۶
شکل ۱۷-۳: نمودار روند نمای آزمایش‌های انجام گرفته بعد از ساخت دستگاه.....	۶۷
شکل ۱۸-۳: خرماهای بسته‌بندی شده برای انبارمانی.....	۷۰