بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

خانم/آقای حمید مرتضی پور رساله ۱۸ واحدی خود را با عنوان : طراحی، ساخت و ارزیابی خشک کن خورشیدی ترکیبی فتوولتائیک-گرمایی مجهز به پمپ حرارتی برای زعفران در تاریخ ۹۱/۶/۱۹ ارائه کردند.

اعضای هیأت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اصلی	دکتر برات قبادیان	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور اول	دکتر محمد هادی خوش تقاضا	دانشیار	
۴- استاد مشاور دوم	دکتر سعید مینائی	دانشیار	
۵- استاد ناظر	دکتر تیمور توکلی هشجین	استاد	
۶- استاد ناظر	دکتر غلامحسن نجفی	استادیار	
۷- استاد ناظر	دکتر علی اصغر زمردیان	دانشیار	
۸- استاد ناظر	دکتر کمال عباسپور ثانی	استادیار	
۹- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر غلامحسن نجفی	استادیار	

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 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 دانشجوی 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 و یا 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 آئین‌نامه‌های 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 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.

«اینجانب **حمید مرتضی پور** دانشجوی رشته **مکانیک ماشین‌های کشاورزی** ورودی سال تحصیلی **۱۳۸۷** مقطع **دکتری** دانشکده **کشاورزی** متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آیین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله براساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم.

امضا

تاریخ ۱۳۹۱/۶/۱۹

آئین‌نامه پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمیپژوهشی دانشگاه است. بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱ : در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به‌طور کتبی به دفتر "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اطلاع دهد.

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

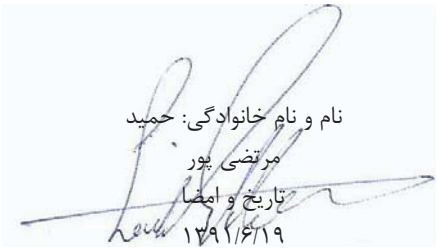
" کتاب حاضر، حاصل **رساله دکتری** نگارنده در رشته **مکانیک ماشین‌های کشاورزی** است که در سال **۱۳۸۷** در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی **آقای دکتر برات قبادیان** ، مشاوره **آقایان دکتر محمد هادی خوش تقاضا و دکتر سعید مینائی** از آن دفاع شده است.

ماده ۳ : به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اهداء کند. دانشگاه می‌تواند 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 به‌عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵ : دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت‌های بهای خسارت، دانشگاه مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد 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 **حمید مرتضی پور** دانشجوی رشته **مکانیک ماشین‌های کشاورزی** مقطع **دکتری** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده کشاورزی

رساله

دوره دکتری تخصصی (Ph.D.) در رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان

طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن خورشیدی ترکیبی فتوولتائیک-گرمایی مجهز به پمپ حرارتی برای زعفران

نگارش

حمید مرتضی پور

استاد راهنما

دکتر برات قبادیان

استادان مشاور

دکتر محمد هادی خوش تقاضا و دکتر سعید مینائی

تحت حمایت مالی شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

تابستان ۱۳۹۱

تقدیم به :

همسر مهربان و پسر عزیزم ارشان

تشکر و قدردانی

اکنون که به یاری خداوند پژوهش حاضر به اتمام رسیده است، برخود لازم می‌دانم که از همکاری، راهنمایی و حمایت استاد راهنمای عزیزم، جناب آقای دکتر برات قبادیان که راهنمای درس و الگوی زندگی من بودند و خواهند بود، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. از همکاری استادان مشاور آقایان دکتر محمد هادی خوش تقاضا و دکتر سعید مینائی به سبب راهنمایی‌های ارزنده ایشان نهایت تشکر را دارم.

دوستان بزرگوارم آقایان، مهندس ایوب عزیزی، دکتر مصطفی رحمتی، مهندس سید محمد احمدی حسینی، مهندس کیوان مهدوی، مهندس احمد مهدوی، مهندس جواد رشیدی فر، دکتر بیوک مصطفائی و دکتر حسین میرزائی در دوران انجام این پژوهش کمک‌های ارزنده‌ای را به این جانب ارائه نمودند که بدین وسیله از همکاری ایشان سپاسگزاری می‌نمایم.

پدر، برادر و پدر همسرم در ساخت قطعات و تهیه ابزار لازم برای انجام این پژوهش، زحمات زیادی متحمل شدند؛ بدین وسیله از زحمات بی دریغ و صمیمانه ایشان، کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورم.

در پایان از خانواده عزیزم و بطور خاص از همسر مهربانم که در تمام مراحل انجام تحقیق با صبر و حوصله در کنار من بودند و حضور ایشان همواره مایه‌ی دلگرمی و تشویق بنده در انجام کارها شده است، تشکر می‌نمایم.

چکیده

زعفران گران بهاترین ادویه و ایران بزرگترین تولید کننده زعفران در جهان می‌باشد. از آنجا که خشک-کردن فرآیند تعیین کننده‌ای در کیفیت این محصول با ارزش است، در تحقیق حاضر به منظور کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و بهبود کیفیت زعفران خشک شده، طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن خورشیدی ترکیبی مجهز به پمپ حرارتی مورد نظر قرار گرفت. این خشک‌کن از دو بخش اصلی؛ خشک-کن خورشیدی ترکیبی فتوولتائیک-گرمایی و سامانه‌ی پمپ حرارتی تشکیل شد و بگونه‌ای در کنار هم قرار گرفتند که جریان هوای خشک‌کننده بتواند در یک مسیر بسته به گردش درآید. در ادامه، عملکرد جمع‌کننده‌ی خورشیدی ترکیبی فتوولتائیک-گرمایی به صورت نظری و تجربی بررسی گردید. معادلات ریاضی برای دو نوع جمع‌کننده ترکیبی فتوولتائیک-گرمایی شیشه به شیشه و شیشه به تدلار ارائه شد و درستی معادلات ریاضی، برای نوع شیشه به تدلار توسط آزمایش‌های تجربی بررسی گردید. بعلاوه، تاثیر دمای هوای خشک‌کننده در سه سطح (۴۰، ۵۰ و ۶۰ ^{o}C)، دبی هوای عبوری در سه سطح (۰/۰۰۸، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۱۶ kg/s) و دو حالت خشک‌کردن (با و بدون پمپ حرارتی) بر زمان خشک شدن محصول، انرژی مصرفی خشک‌کن، سهم خورشیدی (SF)، بازده‌ی خشک‌کن و نرخ تبخیر ویژه (SMER) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که در جمع‌کننده‌ی نوع شیشه به شیشه دمای هوای خروجی، دمای سلول و بازده حرارتی نسبت به نوع شیشه به تدلار بیشتر است. افزایش دما و دبی هوای خشک-کننده موجب کاهش زمان و کل انرژی مصرفی گردید. همچنین، استفاده از پمپ حرارتی در خشک‌کن توانست مصرف انرژی را بطور متوسط ۲۳٪ کاهش دهد. بیشترین مقادیر بازده‌ی خشک‌کن، نرخ تبخیر ویژه و ضریب عملکرد (COP) در تیمار بیشترین دمای هوا، بیشترین دبی و با استفاده از پمپ حرارتی به ترتیب با مقادیر ۰/۷۴، ۱/۱۹ kg/kW h و ۲/۴۹ مشاهده شد. در نهایت مدل two-term به عنوان مناسب‌ترین مدل برای توصیف رفتار خشک شدن زعفران از میان سایر مدل‌ها انتخاب گردید. نتایج ارزیابی کیفیت زعفران خشک شده نشان داد که افزایش دما و دبی هوای خشک‌کننده و پمپ حرارتی سبب بهبود رنگ و طعم زعفران گردیدند. از طرفی، افزایش دما و دبی هوا، کاهش عطر زعفران خشک را بدنبال داشت. اما، پمپ حرارتی اثر معنی داری در ویژگی عطر زعفران نداشت.

کلمات کلیدی: زعفران، خشک‌کن، فتوولتائیک-گرمائی، پمپ حرارتی، مصرف انرژی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست نمادها و نشانه‌ها	ذ
فهرست جدول‌ها	ش
فهرست شکل‌ها	ص
فصل اول	۱
کلیات	
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ تعریف مسئله	۳
۱-۳ اهداف تحقیق	۵
فصل دوم	۶
پیشینه‌ی پژوهش	
۲-۱ زعفران	۷
۲-۱-۱ ترکیبات شیمیایی زعفران	۷
۲-۱-۱-۱ ترکیبات ویژه‌ی زعفران	۸
۲-۱-۱-۱-۱ ترکیبات رنگی زعفران	۸
۲-۱-۱-۱-۲ ترکیبات عامل طعم	۹

۲-۱-۱-۱-۳ ترکیبات عامل عطر ۹
۲-۱-۲ خشک‌کردن زعفران ۱۰
۲-۲ فرایند خشک کردن ۱۳
۲-۲-۱ مرحله با نرخ ثابت ۱۴
۲-۲-۲ مرحله با نرخ نزولی ۱۵
۲-۳ انرژی خورشیدی ۱۷
۲-۳-۱ خورشید ۱۸
۲-۳-۲ زوایای خورشیدی ۲۱
۲-۳-۲-۱ زاویه‌ی میل ۲۱
۲-۳-۲-۲ زاویه‌ی ساعت ۲۱
۲-۳-۲-۳ زاویه‌ی فراز و زاویه‌ی سمت الرأس ۲۲
۲-۳-۲-۴ زاویه‌ی سمت ۲۲
۲-۳-۲-۵ زاویه‌ی برخورد ۲۳
۲-۳-۳ جمع‌کننده‌های خورشیدی ۲۳
۲-۳-۳-۱ بازده‌ی جمع‌کننده ۲۳
۲-۳-۳-۲ عوامل موثر بر عملکرد جمع‌کننده‌های تخت خورشیدی ۲۵
۲-۳-۴ خشک‌کن‌های خورشیدی ۲۶
۲-۳-۵ فتوولتائیک ۲۷
۲-۳-۵-۱ فیزیک سلول‌های فتوولتائیک ۲۸
۲-۳-۵-۲ نحوه کارسلول های فتوولتائیک ۳۰

۲-۳-۵-۳ ساختمان یک سلول خورشیدی ۳۲
۲-۳-۵-۴ مشخصه‌های کاری سلول‌های خورشیدی ۳۳
۲-۳-۵-۴-۱ جریان اتصال کوتاه ۳۳
۲-۳-۵-۴-۲ ولتاژ مدار باز ۳۴
۲-۳-۵-۴-۳ توان تولیدی سلول خورشیدی ۳۵
۲-۳-۵-۴-۴ بازده‌ی تبدیل ۳۶
۲-۳-۵-۵ حساسیت طیفی سلول خورشیدی ۳۷
۲-۳-۵-۶ اثر دما بر عملکرد آرایه فتوولتائیک ۳۸
۲-۳-۵-۷ اجزای سیستم فتوولتائیک ۳۸
۲-۳-۵-۷-۱ باطری ۳۸
۲-۳-۵-۷-۲ کنترل کننده‌ی شارژ ۳۹
۲-۳-۵-۷-۳ مبدل برق ۴۰
۲-۳-۵-۸ سامانه های فتوولتائیک- گرمایی ۴۱
۲-۳-۵-۹ خشک کن‌های ترکیبی فتوولتائیک – گرمایی ۴۲
۲-۴ پمپ حرارتی ۴۴
۲-۴-۱ انواع پمپ‌های حرارتی ۴۵
۲-۴-۲ اجزای پمپ حرارتی ۴۵
۲-۴-۲-۱ کمپرسور ۴۵
۲-۴-۲-۲ چگالنده ۴۶
۲-۴-۲-۳ تبخیرکننده ۴۷

۲-۴-۲-۴ شیر انبساط ۴۷
۲-۴-۲-۵ فیلتر و خشک کن ۴۷
۲-۴-۲-۶ مبرد ۴۸
۲-۴-۳ خشک‌کن‌های پمپ حرارتی ۴۹
۲-۴-۳-۱ اصول خشک‌کن‌های پمپ حرارتی ۵۰
۲-۴-۳-۲ مزایای خشک‌کن‌های پمپ حرارتی ۵۱
۲-۴-۳-۴ کاربرد خشک‌کن‌های پمپ حرارتی ۵۲
۲-۵ جمع‌بندی مطالعه‌های انجام شده و ضرورت انجام تحقیق ۵۴
فصل سوم ۵۶
مواد و روشهای آزمایش
۳-۱ طراحی خشک‌کن ۵۷
۳-۱-۱ طرح کلی خشک‌کن ۵۷
۳-۱-۲ داده‌ها و فرض‌های طراحی ۵۸
۳-۱-۳ محاسبات طراحی ۶۰
۳-۱-۳-۱ محاسبه‌ی مقدار حرارت مورد نیاز و دبی هوای عبوری ۶۰
۳-۱-۳-۲ تعیین دمای مبرد در داخل تبخیر کننده ۶۱
۳-۱-۳-۳ محاسبه بار سرمایی تبخیر کننده ۶۱
۳-۱-۳-۴ تعیین دمای هوای خروجی از جمع‌کننده ۶۲
۳-۱-۳-۵ تعیین توان الکتریکی تولیدی توسط پانل خورشیدی ۶۴
۳-۱-۳-۶ محاسبه‌ی دما ی مبرد در مبدل حرارتی چگالنده ۶۴

۳-۱-۳-۷ انتخاب مبرد ۶۵
۳-۱-۳-۸ محاسبه‌ی آنتالپی مبرد داخل تبخیرکننده وچگالنده ۶۶
۳-۱-۳-۹ محاسبه جریان جرمی مبرد ۶۷
۳-۱-۳-۱۰ محاسبه توان مورد نیاز پمپ ۶۸
۳-۱-۳-۱۱ انتخاب مبدل های حرارتی ۶۸
۳-۱-۳-۱۲ انتخاب لوله‌ی مویین ۷۰
۳-۱-۳-۱۳ محاسبه ابعاد کانال عبور هوا ۷۱
۳-۱-۳-۱۴ محاسبه ابعاد جمع کننده فتوولتائیک ۷۱
۳-۱-۳-۱۵ انتخاب باطری ۷۲
۳-۱-۳-۱۶ انتخاب کنترل‌کننده‌ی شارژ ۷۳
۳-۱-۳-۱۷انتخاب مبدل برق ۷۳
۳-۱-۳-۱۸ انتخاب دمنده ۷۳
۳-۱-۳-۱۹ توان مورد نیاز دمنده ۷۶
۳-۱-۳-۲۰ تعیین توان گرمکن کمکی ۷۶
۳-۱-۴ خلاصه نتایج طراحی ۷۷
۳-۲ ساخت خشک‌کن ۸۰
۳-۲-۱ شاسی ۸۰
۳-۲-۲ پمپ حرارتی ۸۱
۳-۲-۳ جمع کننده خورشیدی ۸۲
۳-۲-۴ دمنده ۸۴

۳-۲-۵ محفظه‌ی محصول ۸۶
۳-۲-۶ سامانه‌ی پایش و کنترل ۸۸
۳-۲-۶-۱ حسگرهای اندازه گیری دما ۸۸
۳-۲-۶-۲ حسگرهای اندازه گیری رطوبت نسبی و دما ۸۸
۳-۲-۶-۳ حسگرهای اندازه گیری جرم ۸۹
۳-۲-۶-۴ توان سنج ۹۰
۳-۲-۶-۵ اندازه گیری توان تولیدی صفحه‌ی خورشیدی ۹۲
۳-۲-۶-۶ واحد نمایش و فرمان ۹۳
۳-۲-۶-۷ اندازه‌گیری شدت تابش خورشید ۹۶
۳-۲-۷ گرم کن الکتریکی کمکی ۹۶
۳-۲-۸ نمای کلی خشک‌کن ساخته‌شده ۹۶
۳-۳ روش انجام آزمایش ۹۸
۳-۳-۱ آزمایش‌های مربوط به ارزیابی عملکرد جمع‌کننده‌ی خورشیدی ۹۹
۳-۳-۱-۱ مدلسازی تعادل انرژی در جمع‌کننده خورشیدی ترکیبی فتوولتائیک-گرمایی ۹۹
۳-۳-۱-۱-۱ معادلات تبادل انرژی ۱۰۰
۳-۳-۱-۲ اعتبار سنجی معادلات ریاضی ۱۰۶
۳-۳-۲ آزمایش‌های مربوط به ارزیابی خشک‌کن و بررسی نرخ خشک شدن زعفران ۱۰۶
۳-۳-۳ آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری پارامترهای کیفی زعفران خشک‌شده ۱۰۹
۳-۳-۴ پارامترهای مورد ارزیابی در عملکرد خشک‌کن ۱۱۰

۳-۳-۵ مدلسازی فرایند خشک شدن ۱۱۲

فصل چهارم ۱۱۵

نتایج و بحث

۴-۱ بررسی عملکرد جمع‌کننده‌ی خورشیدی ۱۱۶

۴-۱-۱ اعتبار سنجی معادلات تبادل انرژی ۱۱۶

۴-۱-۲ بررسی اثر دبی جریان هوای خشک‌کننده بر عملکرد جمع‌کننده‌ی خورشیدی ۱۲۱

۴-۱-۳ مقایسه‌ی عملکرد جمع‌کننده‌ی خورشیدی ترکیبی نوع شیشه به تدلار با نوع شیشه به شیشه ۱۲۱

۴-۲بررسی عملکرد خشک‌کن خورشیدی ترکیبی فتوولتائیک-گرمائی مجهز به پمپ حرارتی ۱۲۵

۴-۲-۱ اثر دمای هوای عبوری بر عملکرد خشک‌کن ۱۲۸

۴-۲-۲ اثر دبی هوای عبوری بر عملکرد خشک‌کن ۱۳۳

۴-۲-۳ اثر پمپ حرارتی بر عملکرد خشک‌کن ۱۳۵

۴-۳ بررسی رفتار و مدل خشک‌شدن زعفران ۱۳۹

۴-۳-۱ رفتار خشک‌شدن محصول در شرایط مختلف خشک‌کردن ۱۳۹

۴-۳-۲ انتخاب مدل ریاضی خشک شدن زعفران ۱۴۳

۴-۴ بررسی ویژگی‌های کیفی زعفران خشک شده ۱۵۲

۴-۴-۱ اثر افزایش دما بر ویژگی‌های کیفی زعفران ۱۵۴

۴-۴-۲ اثر تغییرات دبی هوای عبوری بر ویژگی‌های کیفی زعفران ۱۵۵

۴-۴-۳ اثر پمپ حرارتی بر ویژگی‌های کیفی زعفران ۱۵۶

۴-۴-۴ مقایسه‌ی تیمارهای مختلف خشک‌کردن با خشک‌کن خورشیدی ترکیبی مجهز به ۱۵۷

پمپ حرارتی با روش‌های سنتی

۴-۵ توجیه اقتصادی استفاده از خشک‌کن خورشیدی ترکیبی فتوولتائیک-گرمائی مجهز به پمپ حرارتی برای زعفران ۱۶۰

فصل پنجم ۱۶۳

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری ۱۶۴

۵-۲ پیشنهادها ۱۶۶

فهرست منابع ۱۶۹

ضمائم ۱۸۰

فهرست نمادها و نشانه‌ها

نماد	شرح	واحد
A	سطح دانه	m^2
A_c	مساحت جمع کننده خورشیدی	m^2
$A_{chamber}$	مساحت محفظه محصول	m^2
A_d	مساحت دهانه جمع کننده	m^2
b	عرض جمع‌کننده‌ی خورشیدی	m
BF	ضریب عبور	-
C_a	گرمای ویژه هوای مرطوب	$kJ/kg.^oK$
COP	ضریب عملکرد	-
D	قطر کانال هوا	m
dA	سطح مقطع المان	m^2
D_h	قطر هیدرولیکی	m
D_L	ضریب انتشار آب به صورت مایع است	M^2/hr
D_o	فاکتور آرنیوس	m^2/s
E_a	انرژی فعال‌سازی برای انتشار رطوبت	kJ/mol
E_{coll}	انرژی حرارتی تولید شده در جمع‌کننده	kWh
E_{fan}	انرژی مصرف شده توسط دمنده	kJ
E_{heater}	انرژی مصرف شده توسط منبع حرارتی کمکی	kJ
E_{pump}	انرژی مصرف شده توسط کمپرسور پمپ حرارتی	kJ
E_{solar}	مجموع انرژی حرارتی و الکتریکی تولید شده در جمع‌کننده	kJ
E_{total}	مجموع انرژی مصرف شده برای خشک‌کردن محصول	kWh
F_R	ضریب اتلاف حرارت جمع‌کننده	
FF	ضریب پری	
G_T	شدت تابش خورشید به صفحه فتوولتاییک	w/m^2
H	زاویه‌ی ساعت	درجه

H_1	انتالپی مبرد بعد از تبخیرکننده	kJ/kg
H_2	انتالپی مبرد بعد از پمپ	kJ/kg
H_3	انتالپی مبرد بعد از چگالنده	kJ/kg
H_4	انتالپی مبرد بعد از سوپاپ انبساط	kJ/kg
h	ضریب هدایت حرارت در جسم جامد	$W/m^2.K$
h_{do}	انتالپی هوای خروجی از محفظه محصول	kJ/kg
h_{eo}	انتالپی هوای خروجی از تبخیرکننده	kJ/kg
h_{fg}	گرمای نهان تبخیر آب	kJ/kg
h_T	ضریب انتقال حرارت سطح پشتی به هوا از بین شیشه	$w/m^2 K$
h_t	ضریب انتقال حرارت سطح پشتی به هوا از بین پوشش مخصوص	$w/m^2 K$
I_{DN}	شدت تابش مستقیم خورشید بر زمین	W/m^2
$I_{d\theta}$	تشعشعات پراکنده در جو	W/m^2
I_r	مقدار تشعشعات بازتاب شده از جو یا سایر سطوح به سطح جمع‌کننده	W/m^2
$I_{t\theta}$	شدت تابش بر سطح جمع‌کننده	W/m^2
I_{sc}	جریان اتصال کوتاه	A
L	عرض جعرافیایی	درجه
LMTD	اختلاف دمای لگاریتمی	^oC
M_f	رطوبت نهایی محصول	%
M_i	رطوبت اولیه‌ی محصول	%
M	رطوبت محصول بر پایه‌ی خشک	%
M_0	رطوبت اولیه‌ی محصول بر پایه‌ی خشک	%
M_e	رطوبت نهایی محصول بر پایه‌ی خشک	%
M_w	محتوای رطوبت تر محصول	%
m_p	جرم اولیه نمونه ی تر	kg
MR	نسبت رطوبت ماده	-
$MR_{exp,i}$	نسبت رطوبت آزمایشیiام	-
$MR_{pre,i}$	نسبت رطوبت محاسبه ای iام	
m_{wd}	جرم رطوبت از دست رفته	kg
m_d	جرم خشک محصول	kg
m_t	جرم محصول در هر لحظه	kg

P_d	محیط دهانه جمع کننده	m
P_{vwb}	فشار بخار متناظر با دمای تر هوا	Pa
$P_{v\infty}$	فشار بخار متناظر با دمای خشک هوا	Pa
Pr	عدد پرنتل	
Q_{dr}	گرمای خشک شدن	kJ
q	شار حرارتی	$j/s.m^2$
r	مختصات شعاع داخلی	m
R	ثابت گازها	J/kg mol. ^oK
Re	عدد رینولدز	
$SMER$	نرخ ویژه‌ی جذب رطوبت	kg/kWh
t	زمان	s
T_{abs}	دمای مطلق هوا	K
T_{air}	دمای هوای عبوری در سیستم	K
T_{bs}	دمای سطح پشتی	^oC
T_c	دمای کاری سلول	^oC
T_{wb}	دمای تر هوای عبوری	K
T_∞	دمای خشک هوای عبوری	K
T_{di}	درجه حرارت خشک هوای خشک‌کننده	^oC
T_{cs}	دمای سطح چگالنده	^oC
T_{do}	دمای هوای خروجی از محفظه ی خشک کن	^oC
t_{dr}	زمان خشک کردن	s
T_{eo}	دمای خروجی تبخیرکننده	^oC
T_{es}	دمای سطح تبخیرکننده	^oC
T_{rc}	دمای مبرد درداخل چگالنده	^oC
T_{fi}	دمای هوای ورودی به جمع‌کننده	^oC
T_{fo}	دمای هوای خروجی از جمع‌کننده	^oC
T_{re}	دمای مبرد درداخل تبخیرکننده	^oC
T_w	درجه حرارت تر هوای خشک کننده	^oC
U_{ba}	ضریب کلی انتقال حرارت از سطح پشتی به محیط	$W/m^2.K$
U_L	ضریب کلی اتلاف جمع‌کننده	$W/m^2.K$

U_t	ضریب کلی انتقال حرارت از سلول به محیط از طریق پوشش شیشه	$W/m^2.K$
V	سرعت هوا	m/s
V_{oc}	ولتاژ مدار باز	V
W_{di}	رطوبت مطلق هوای ورودی به محفظه‌ی خشک‌کن	kg/kg_{air}
W_{do}	رطوبت مطلق هوای خروجی به محفظه‌ی خشک‌کن	kg/kg_{air}
$\dot{V}_a$	دبی حجمی هوا	m^3/s
$\dot{m}_a$	دبی جرمی هوا	kg/s
$\dot{m}_{r\ ext.}$	دبی جرمی مبرد در چگالنده خارجی	kg/s
$\dot{m}_{r\ int.}$	دبی جرمی مبرد در چگالنده داخلی	kg/s
$\dot{m}_r$	دبی جرمی مبرد	kg/s
β	زاویه‌ی فراز خورشیدی	درجه
$\emptyset$	زاویه‌ی سمت خورشیدی	درجه
δ	زاویه‌ی تمایل	درجه
Σ	زاویه‌ی سطح جمع‌کننده نسبت به افق	درجه
ζ_{th}	راندمان حرارتی جمع کننده خورشیدی	-
ζ_{el}	راندمان الکتریکی پانل خورشیدی	-
$\zeta_{el,th}$	بازده‌ی حرارتی معادل الکتریکی	-
ζ_{pump}	راندمان مکانیکی پمپ	-
ζ_{motor}	راندمان مکانیکی موتور	-
ρ_a	جرم مخصوص هوا	kg/m^3
μ_a	لزجت هوا	kg/m.s
$\zeta_{overall}$	بازده‌ی کلی جمع‌کننده	
η_{dryer}	بازده‌ی خشک‌کن	
$\tau\alpha$	ضریب جذب-گذردهی انرژی خورشید	-
α_c	ضریب جذب سلول	-
η_c	بازده سلول	-
τ_g	ضریب عبور شیشه	-
$(\tau\alpha)_e$	حاصل ضرب عبور جذب مؤثر انرژی خورشیدی	-