



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، بخشی از فعالیت های 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) خود، مراتب را قبلاً 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 رساله دکتری تخصصی نگارنده در رشته مکانیک ماشین های کشاورزی است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد هادی خوش تقاضا و مشاوره جناب آقای دکتر سعید مینایی 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، تأدیه 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، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب های عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب حسین درویشی دانشجوی رشته مکانیک ماشین های کشاورزی مقطع دکتری تخصصی تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حسین درویشی

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۲/۷/۲۰

آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه

تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش های علمی که تحت عناوین پایان نامه، رساله و طرح های 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 آن ها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ 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 دانشجو 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 دانش آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه/ رساله نیز منتشر می شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان نامه/ رساله و تمامی طرح های 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 بر اساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح های تحقیقاتی دانشگاه می باشد، باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین نامه 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 لازم الاجرا است.



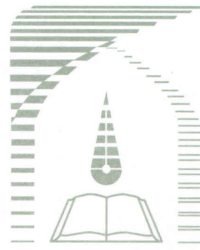
بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

خانم/ آقای حسین درویشی رساله ۱۸ واحدی خود را با عنوان: توسعه خشک کن ترکیبی بستر سیال - میکروویو و بهینه سازی فرایند حرارتی خشک کردن سویا در تاریخ ۱۳۹۲/۸/۲۸ ارائه کردند.

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

ردیف	اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱	استاد راهنمای اصلی	دکتر محمدهادی خوش تقاضا	دانشیار	
۲	استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳	استاد مشاور اول	دکتر سعید مینایی	دانشیار	
۴	استاد مشاور دوم	-	-	-
۵	استاد ناظر	دکتر غلامحسن نجفی	استادیار	
۶	استاد ناظر	دکتر احمد بناکار	استادیار	
۷	استاد ناظر	محمد حسین کیانمهر	استاد	
۸	استاد ناظر	دکتر شاهین رفیعی	استاد	
۹	نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر غلامحسن نجفی	استادیار	



دانشگاه تربیت مدرس

رساله دکتری تخصصی
مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

توسعه خشک کن ترکیبی بستر سیال - مایکروویو و بهینه سازی فرایند
حرارتی خشک کردن سویا

نگارش

حسین درویشی

استاد راهنما

دکتر محمد هادی خوش تقاضا

استاد مشاور

دکتر سعید مینایی

پاییز ۱۳۹۲

چکیده

در این تحقیق به بررسی انرژی مصرفی، راندمان حرارتی، مدل‌سازی ریاضی فرآیند و سینتیک خشک شدن و پارامترهای کیفی سویا (باز جذب، درصد ترک خوردگی، چروکیدگی و تغییرات کلی رنگ) در خشک‌کن‌های بستر سیال، بستر سیال با چرخه هوای بازگشتی، مایکروویو با توان ثابت، بستر سیال - مایکروویو و مایکروویو با کنترل توان (بر اساس دمای محصول) پرداخته شده است. به این منظور یک خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو با قابلیت بازگردش هوای خروجی، کنترل دمای محصول و توان (بر اساس کنترل فاز) طراحی و ساخته شد. نتایج نشان داد که زمان خشک شدن سویا در خشک‌کن مایکروویو دارای کنترل توان به نسبت خشک‌کن بستر سیال ۲ تا ۳۵ برابر کمتر و نسبت به خشک‌کن مایکروویو با توان ثابت ۶/۸ الی ۹/۵ برابر بیشتر می‌باشد. به‌کارگیری انرژی مایکروویو در خشک‌کن بستر سیال سبب کاهش ۷/۲۷ تا ۱۳/۱ برابری زمان خشک شدن نسبت به حالت بستر سیال شده است. چرخه هوای بازگشتی (۵۰-۱۰۰٪) سبب افزایش زمان خشک شدن (غیر از دمای ۸۰°C) گردید ($P \leq 0.05$). انرژی مصرفی ویژه و راندمان حرارتی خشک‌کن بستر سیال به ترتیب از ۱۶۴/۴۵ تا ۶۴۹/۶۸ kWh/kg water و ۰/۲۷٪ تا ۱/۴٪ متغیر است. انرژی مصرفی در سرعت ۱/۸ m/s برای سطوح ۵۰٪، ۷۰٪ و ۹۰٪ هوای بازگشتی کمینه و برای ۱۰۰٪ هوای بازگشتی بیشینه می‌باشد. ترکیب روش مایکروویو (توان ثابت) و بستر سیال سبب کاهش شدید انرژی ویژه مصرفی (۶۹ الی ۴۷۳ برابر) و افزایش راندمان حرارتی (۱۸-۱۲۸ برابر) در مقایسه با خشک‌کن بستر سیال شده است. به‌کارگیری چرخه هوای بازگشتی در خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو سبب کاهش ۲۰/۴٪ تا ۵۰/۱۹٪ انرژی مصرفی خشک‌کن فاقد چرخه می‌گردد. از میان استراتژی‌های مورد بررسی، خشک‌کن مایکروویو با توان ثابت دارای کمترین مقدار انرژی مصرفی و بیشترین راندمان حرارتی می‌باشد. انرژی ویژه مصرفی خشک‌کن مایکروویو با کنترل توان با افزایش دما (۸۰-۱۴۰°C) از ۹/۹۱ تا ۴/۸۱ kWh/kg water کاهش و راندمان حرارتی از ۶/۱۴٪ تا ۱۲/۵۶٪ افزایش یافته است. در خشک‌کن بستر سیال (فاقد چرخه هوای بازگشتی) با افزایش دما (۸۰-۱۴۰°C) و سرعت هوا (۱/۸-۴/۵ m/s)، ضریب نفوذ موثر رطوبتی افزایش و انرژی فعال‌سازی کاهش یافته است. ضریب نفوذ سویا در روش مایکروویو (توان ثابت) نسبت به خشک‌کن بستر سیال ۲۶ الی ۳۸ برابر و نسبت به خشک‌کن مایکروویو با کنترل توان ۵/۷۸ تا ۱۴/۴۱ برابر بیشتر می‌باشد. ضریب نفوذ و انرژی فعال‌سازی برای سطوح مختلف هوای بازگشتی خشک‌کن بستر سیال به ترتیب از $5/72 \times 10^{-11}$ تا $45/75 \times 10^{-11}$ m²/s و از ۱۳/۳۴ تا ۳۴/۰۱ kJ/mol متغیر می‌باشد. در خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو برای تمامی سطوح توانی و سرعتی با افزایش دمای هوای ورودی، ضریب نفوذ رطوبتی افزایش یافته است. مطابق نتایج برازش مدل‌های ریاضی، مدل پیچ برای خشک‌کن بستر سیال با چرخه هوای بازگشتی و فاقد چرخه هوای بازگشتی و خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو، مدل میدیلی برای خشک‌کن مایکروویو با توان ثابت، مدل وانگ و سینگ برای خشک‌کن مایکروویو دارای کنترل توان دارای بهترین تطابق بر داده‌های به دست آمده از آزمایشات می‌باشند. از دیدگاه کیفی، روش مایکروویو با کنترل توان را می‌توان بهترین روش خشک کردن سویا دانست. ترک خوردگی سویا با افزایش دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن بستر سیال از ۳۱/۸۰٪ تا ۵۸/۲۲٪ افزایش یافت. کمینه درصد ترک خوردگی (۱۹/۳۹٪) در ۵۰٪ هوای بازگشتی و بیشینه مقدار آن (۶۱/۹۲٪) در ۱۰۰٪ هوای بازگشتی اندازه‌گیری شد. روش

بستر سیال - مایکروویو سبب کاهش ۲۲٪ الی ۴۴٪ ترک خوردگی دانه‌ها نسبت به بستر سیال شده است. نسبت باز جذبی نمونه‌های خشک شدن به روش بستر سیال از ۵۸۳/۰ تا ۸۷۳/۰، مایکروویو با کنترل توان از ۸۰۷/۰ تا ۸۶۸/۰ و مایکروویو توان ثابت از ۶۱۸/۰ تا ۷۹۹/۰ متغیر می‌باشد. بیشینه نسبت باز جذبی و کمینه چروکیدگی برای خشک‌کن بستر سیال با چرخه هوا بازگشتی ۱۰۰٪ حاصل گردید. نسبت باز جذبی نمونه‌های خشک شدن در خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو نسبت به مایکروویو با توان ثابت و بستر سیال بیشتر و در مقایسه با خشک‌کن مایکروویو با کنترل توان کمتر می‌باشد. چروکیدگی سویا در خشک‌کن مایکروویو با کنترل توان (۸۵۲/۰ تا ۸۷۵/۰) در مقایسه توان ثابت (۸۶۷/۰ تا ۹۱۰/۰) کمتر می‌باشد. کمترین تغییرات کلی رنگ نمونه‌های سویا برای خشک‌کن مایکروویو با کنترل توان به دست آمد. تحلیل‌های آماری نشان داد که برای خشک‌کن مایکروویو عملکرد بهینه در سطح توانی ۴۹۶ W و برای خشک‌کن مایکروویو با توان متغیر در دمای ۹۴/۷۲°C رخ خواهد داد. با این حال، خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو در توان ۴۰۰W، دمای ۴°C و سرعت هوای ۱۱۹/۷۶ m/s و خشک‌کن بستر سیال با ۹۰٪ بازگردش هوا، ۸۲/۷۰°C و ۴/۵ m/s به عملکرد بهینه خود خواهند رسید.

کلمات کلیدی: دما، سرعت هوا، توان مایکروویو، هوای بازگشتی، انرژی ویژه مصرفی، کیفیت سویا

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳-۱	فصل اول: مقدمه و هدف
۱	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ اهداف تحقیق
۳۴-۴	فصل دوم: کلیات و پیشینه پژوهش
۴	۱-۲ خشک‌کن بستر سیال
۵	۳-۲ محدوده سرعت هوای ورودی به خشک‌کن بستر سیال
۶	۱-۳-۲ سرعت بحرانی شناوری
۶	۲-۳-۲ سرعت حامل
۷	۴-۲ چرخه هوای بازگشتی
۱۲	۵-۲ تأثیر دما، سرعت هوا و رطوبت نسبی هوا بر نرخ خشک شدن و انرژی مصرفی
۱۲	۱-۵-۲ تأثیر درجه حرارت
۱۳	۲-۵-۲ سرعت هوای ورودی
۱۳	۳-۵-۲ تأثیر رطوبت هوا
۱۴	۶-۲ انرژی میکروویو، اساس عملکرد و کاربرد آن
۱۴	۱-۶-۲ هدایت یونی
۱۵	۲-۶-۲ چرخش دو قطبی
۱۹	۷-۲ ایمنی در خشک‌کن‌های ترکیبی با میکروویو
۱۹	۸-۲ عوامل موثر بر جذب انرژی میکروویو و راندمان آن
۲۱	۹-۲ کنترل توان میکروویو
۲۱	۱-۹-۲ کنترل چرخه انترگرال
۲۲	۲-۹-۲ مدولاسیون عرض پالس
۲۲	۳-۹-۲ روش کنترل فاز
۲۳	۴-۹-۲ کنترل خازن
۲۳	۵-۹-۲ کنترل مقاومتی
۲۴	۶-۹-۲ منبع تغذیه متغیر
۲۴	۱۰-۲ ترکیب خشک‌کن بستر سیال و میکروویو
۲۵	۱۱-۲ فرایند خشک کردن سویا
۲۹	۱۲-۲ پارامترهای موثر فیزیکی و حرارتی سویا در طراحی خشک‌کن بستر سیال
۲۹	۱-۱۲-۲ کرویت
۲۹	۲-۱۲-۲ چگالی توده
۳۰	۳-۱۲-۲ تخلخل

صفحه	عنوان
۳۰	۴-۱۲-۲ سطح جانبی دانه
۳۰	۵-۱۲-۲ گرمای ویژه
۳۰	۶-۱۲-۲ رطوبت تعادلی سویا
۳۱	۱۳-۲ پارامترهای فرایند خشک کردن
۳۱	۱-۱۳-۲ نرخ خشک شدن
۳۲	۲-۱۳-۲ نفوذ موثر رطوبتی
۳۳	۳-۱۳-۲ انرژی فعال سازی
۳۴	۴-۱۳-۲ مدل سازی ریاضی فرایند خشک کردن
۶۱-۳۵	فصل سوم: مواد و روش‌ها
۳۵	۱-۳ طراحی و ساخت خشک‌کن
۳۵	۱-۱-۳ خشک‌کن بستر سیال
۳۵	۱-۱-۱-۳ کمینه سرعت شناوری و سرعت انتقال برای دانه‌های سویا
۳۵	۲-۱-۱-۳ افت فشار کل
۳۷	۳-۱-۱-۳ انتخاب دمنده و موتور محرک آن
۳۸	۴-۱-۱-۳ صفحه توزیع کننده هوا
۴۰	۵-۱-۱-۳ محفظه خشک‌کن بستر سیال
۴۱	۶-۱-۱-۳ کنترل درصد هوای بازگشتی
۴۳	۷-۱-۱-۳ توان حرارتی خشک‌کن بستر سیال
۴۳	۸-۱-۱-۳ اندازه‌گیری دما
۴۴	۹-۱-۱-۳ اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوا
۴۴	۱۰-۱-۱-۳ واسنجی حسگرها
۴۴	۱۱-۱-۱-۳ اندازه‌گیری لحظه‌ای محتوای رطوبتی مواد در خشک‌کن بستر سیال
۴۶	۱۲-۱-۱-۳ کنترل سرعت هوای ورودی
۴۷	۱۳-۱-۱-۳ سامانه کنترل خودکار خشک‌کن بستر سیال
۵۰	۱۴-۱-۱-۳ اندازه‌گیری سرعت هوا
۵۰	۲-۱-۳ خشک‌کن مایکروویو
۵۰	۱-۲-۱-۳ بخش‌های خشک‌کن مایکروویو
۵۲	۲-۲-۱-۳ مدار الکتریکی کنترل توان مایکروویو
۵۵	۲-۳ ارزیابی خشک کردن
۵۵	۱-۲-۳ محدوده متغیرها
۵۵	۱-۱-۲-۳ محدوده دمای هوای ورودی
۵۶	۲-۱-۲-۳ محدوده سرعت هوای ورودی
۵۶	۳-۱-۲-۳ درصد هوای بازگشتی

صفحه	عنوان
۵۶	۳-۲-۴ توان مایکروویو
۵۶	۳-۲-۵ دمای محصول در خشک کن مایکروویو
۵۶	۳-۲-۲ تهیه نمونه
۵۷	۳-۲-۳ انرژی مصرفی و راندمان خشک کن
۵۸	۳-۲-۴ نفوذ موثر رطوبتی و انرژی فعال سازی
۵۸	۳-۲-۵ مدل سازی فرایند خشک شدن
۵۸	۳-۲-۶ اندازه گیری افت فشار بستر ذرات
۵۹	۳-۲-۷ قابلیت باز جذب
۶۰	۳-۲-۸ نسبت چروکیدگی
۶۰	۳-۲-۹ در صد ترک خوردگی
۶۰	۳-۲-۱۰ اندازه گیری تغییرات کلی رنگ
۶۱	۳-۲-۱۱ آنالیز آماری
۱۳۷-۶۲	فصل چهارم: نتایج و بحث
۶۲	۴-۱ منحنی تغییرات سرعت هوای ورودی - افت فشار بستر
۶۲	۴-۲ زمان خشک شدن
۶۲	۴-۲-۱ خشک کن بستر سیال
۶۴	۴-۲-۲ خشک کن بستر سیال با چرخه هوای بازگشتی
۷۰	۴-۲-۳ زمان خشک شدن در خشک کن مایکروویو
۷۱	۴-۲-۴ زمان خشک شدن در خشک کن ترکیبی بستر سیال - مایکروویو
۷۳	۴-۲-۵ زمان خشک شدن در خشک کن مایکروویو با توان متغیر
۷۴	۴-۳ انرژی مصرفی و راندمان حرارتی
۷۴	۴-۳-۱ خشک کن بستر سیال
۷۶	۴-۳-۲ تأثیر چرخه هوای بازگشتی بر انرژی مصرفی
۸۷	۴-۳-۳ انرژی مصرفی خشک کن مایکروویو
۸۹	۴-۳-۴ انرژی مصرفی خشک کن مایکروویو با توان متغیر
۹۱	۴-۳-۵ انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال - مایکروویو
۹۵	۴-۴ ضریب نفوذ رطوبتی موثر و انرژی فعال سازی
۹۵	۴-۴-۱ خشک کن بستر سیال
۹۶	۴-۴-۲ خشک کن بستر سیال با چرخه هوای بازگشتی
۹۸	۴-۴-۳ خشک کن مایکروویو
۹۹	۴-۴-۴ خشک کن مایکروویو با کنترل توان
۹۹	۴-۴-۵ خشک کن بستر سیال - مایکروویو
۱۰۱	۴-۵ تأثیر روش خشک کردن بر کیفیت سویا

صفحه	عنوان
۱۰۱	۴-۵-۱ خشک کن بستر سیال
۱۰۶	۴-۵-۲ خشک کن مایکروویو
۱۰۸	۴-۵-۳ خشک کن مایکروویو با توان متغیر
۱۰۹	۴-۵-۴ تأثیر چرخه هوای بازگشتی
۱۱۷	۴-۵-۵ تأثیر انرژی مایکروویو بر کیفیت سوپا در خشک کن بستر سیال
۱۲۰	۴-۶ بهینه نمودن عملکرد فرآیند خشک کردن
۱۲۳	۴-۷ مدل سازی ریاضی فرآیند خشک شدن
۱۲۳	۴-۷-۱ خشک کن بستر سیال
۱۲۵	۴-۷-۲ خشک کن مایکروویو
۱۲۷	۴-۷-۳ خشک کن بستر سیال با چرخه هوای بازگشتی
۱۳۲	۴-۷-۴ خشک کن بستر سیال - مایکروویو
۱۳۶	۴-۷-۵ خشک کن مایکروویو با کنترل توان
۱۳۸-۱۴۵	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۳۸	۵-۱ نتیجه گیری
۱۳۸	۵-۱-۱ طراحی و ساخت
۱۳۸	۵-۱-۲ زمان خشک شدن
۱۳۹	۵-۱-۳ انرژی مصرفی و راندمان حرارتی
۱۴۲	۵-۱-۴ ضریب نفوذ موثر رطوبتی و انرژی فعال سازی
۱۴۳	۵-۱-۵ پارامترهای کیفی
۱۴۵	۵-۱-۶ مدل سازی ریاضی فرآیند خشک شدن
۱۴۵	۵-۱-۷ عملکرد بهینه خشک کن
۱۴۵	۵-۲ پیشنهادات
۱۴۶-۱۵۸	منابع
۱۵۸-۱۸۱	پیوست

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۲: تغییر رفتار جامد در برابر سرعت جریان هوای عبوری از محفظه خشک‌کن
۶	شکل ۲-۲: افت فشار بر حسب سرعت گاز برای بستری از ذرات یکنواخت ماسه
۱۴	شکل ۳-۲: طیف الکترومغناطیسی
۱۵	شکل ۴-۲: روند نمای سازوکار هدایت یونی
۱۶	شکل ۵-۲: روند نمای سازوکار چرخش دو قطبی
۱۹	شکل ۶-۲: گرادین‌های حرارتی (مدل‌سازی اجزا محدود)، (الف) هدایت حرارتی (حمام روغن)، (ب) مایکروویو
۲۱	شکل ۷-۲: مدار کنترل چرخه انتگرال همراه با تغییرات ولتاژ ورودی و خروجی
۲۲	شکل ۸-۲: تغییرات ولتاژ در روش مدولاسیون عرض پالس
۲۲	شکل ۹-۲: دیاگرام مدار میراگر مبدل رزونانس
۲۳	شکل ۱۰-۲: تغییرات موج ولتاژ در روش کنترل فاز
۳۶	شکل ۱-۳: طرحواره مسیر هدایت جریان هوا از دمنده تا محفظه خشک‌کن
۳۶	شکل ۲-۳: موقعیت قرارگیری بخش‌های مختلف خشک‌کن بستر سیال
۴۱	شکل ۳-۳: طریقه ریزش و قرارگیری محصول در داخل محفظه خشک‌کن
۴۲	شکل ۴-۳: درجه تنظیم درصد هوای بازگشتی به خشک‌کن
۴۲	شکل ۵-۳: مجرای هوای بازگشتی به خشک‌کن
۴۴	شکل ۶-۳: حسگر دمایی PT ₁₀₀ (الف) ابعاد حسگر، (ب) اتصال کابل و عایق بندی با پوشش آلومینیومی، (پ) پوشش تفلونی حسگر، و (ت) محل قرارگیری آن در داخل خشک‌کن
۴۸	شکل ۷-۳: ساختار کلی مدار کنترل خودکار خشک‌کن بستر سیال
۴۹	شکل ۸-۳: پنجره نرم افزار سامانه کنترل خودکار خشک‌کن بستر سیال
۵۰	شکل ۹-۳: سرعت سنج پره‌ای مدل Loutron AM-4202 (چپ) و روش اندازه‌گیری سرعت در کانال (راست)
۵۱	شکل ۱۰-۳: تکیه‌گاه‌ها و چگونگی عایق نمودن نشت امواج مایکروویو
۵۲	شکل ۱۱-۳: چگونگی قرارگیری دستگاه مایکروویو نسبت به بستر سیال و حسگر PT ₁₀₀
۵۳	شکل ۱۲-۳: مدار الکتریکی طراحی شده بر اساس کنترل فاز برای کنترل توان خروجی مایکروویو
۵۴	شکل ۱۳-۳: شماتیک مدار کنترل خشک‌کن مایکروویو و خروجی مدار کنترل فاز طراحی شده
۵۵	شکل ۱۴-۳: پنجره اصلی نرم افزار سامانه کنترل خودکار مایکروویو
۵۹	شکل ۱۵-۳: طرحواره موقعیت فشارسنج و سرعت سنج هوا بکار رفته در آزمایش‌های شناور سازی
۶۲	شکل ۱-۴: منحنی افت فشار دانه‌های سویا بر حسب سرعت هوای ورودی
۶۳	شکل ۲-۴: مقایسه میانگین مدت زمان خشک شدن در سطوح مختلف دما و سرعت هوای ورودی برای خشک‌کن بستر سیال
۶۵	شکل ۳-۴: زمان خشک شدن سویا تحت شرایط مختلف خشک شدن در خشک‌کن بستر سیال با چرخه ۵۰٪ بازگردش
۶۶	شکل ۴-۴: تغییرات زمان خشک شدن خشک‌کن بستر سیال سویا با حالت فاقد چرخه نسبت به چرخه ۵۰٪ بازگردش
۶۶	شکل ۵-۴: زمان خشک شدن سویا تحت شرایط مختلف خشک شدن در خشک‌کن بستر سیال با چرخه ۷۰٪ بازگردش
۶۷	شکل ۶-۴: تفاوت زمان خشک شدن حالت فاقد چرخه با چرخه ۷۰٪

- شکل ۴-۷: تفاوت زمان خشک شدن چرخه ۷۰٪ با چرخه ۵۰٪
- شکل ۴-۸: زمان خشک شدن سویا تحت شرایط مختلف خشک شدن در خشک کن بستر سیال با چرخه ۹۰٪
- شکل ۴-۹: تغییرات زمان خشک شدن چرخه ۵۰٪ در مقایسه با چرخه ۹۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۱۰: زمان خشک شدن سویا تحت شرایط مختلف خشک شدن در خشک کن بستر سیال با چرخه ۱۰۰٪
- شکل ۴-۱۱: تغییرات زمان خشک شدن چرخه ۵۰٪ در مقایسه با چرخه ۱۰۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۱۲: تغییرات زمان خشک شدن چرخه ۵۰٪ هوای بازگشتی نسبت به چرخه ۱۰۰٪
- شکل ۴-۱۳: تغییرات زمان خشک شدن چرخه ۷۰٪ نسبت به ۱۰۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۱۴: تغییرات زمان خشک شدن چرخه ۹۰٪ نسبت به ۱۰۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۱۵: تأثیر دما، سرعت هوا و توان مایکروویو بر زمان خشک شدن سویا در خشک کن بستر سیال مایکروویو
- شکل ۴-۱۶: میانگین انرژی مصرفی در سطوح مختلف دما و سرعت هوای برای خشک کن بستر سیال
- شکل ۴-۱۷: مقایسه میانگین انرژی ویژه مصرفی در سطوح مختلف دما و سرعت هوای ورودی برای خشک کن بستر سیال
- شکل ۴-۱۸: انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال با چرخه ۵۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۱۹: انرژی ویژه مصرفی خشک کن بستر سیال با چرخه ۵۰٪ هوای بازگشتی
- شکل ۴-۲۰: انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال با چرخه ۷۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۲۱: انرژی ویژه مصرفی خشک کن بستر سیال با چرخه ۷۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۲۲: انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال با چرخه ۹۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۲۳: انرژی ویژه مصرفی خشک کن بستر سیال با چرخه ۹۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۲۴: انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال با چرخه ۱۰۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۲۵: انرژی ویژه مصرفی خشک کن بستر سیال با چرخه ۱۰۰٪ بازگردش
- شکل ۴-۲۶: تأثیر دما، سرعت هوا و چرخه هوای بازگشتی بر انرژی ویژه مصرفی خشک کن بستر سیال
- شکل ۴-۲۷: تغییرات لحظه‌ای راندمان حرارتی خشک کن مایکروویو برای سویا
- شکل ۴-۲۸: تغییرات دمای محصول طی حرارت دهی با توان مایکروویو (ثابت)
- شکل ۴-۲۹: تغییرات دمای محصول بر حسب زمان خشک شدن در خشک کن مایکروویو با کنترل توان ورودی
- شکل ۴-۳۰: تغییرات توان مایکروویو بر حسب زمان در سطوح مختلف دما
- شکل ۴-۳۱: تأثیر دما، سرعت و توان مایکروویو بر انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال - مایکروویو فاقد چرخه بازگشتی
- شکل ۴-۳۲: تأثیر دما، سرعت و توان مایکروویو بر انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال - مایکروویو در ۷۰٪ بازگردش برای سرعت $1/8$ m/s و $3/1$ و $4/5$ m/s
- شکل ۴-۳۳: چگونگی تغییرات چگالی توده بر حسب دما و سرعت هوای ورودی به خشک کن بستر سیال
- شکل ۴-۳۴: چگونگی تغییرات چروکیدگی توده سویا در خشک کن بستر سیال
- شکل ۴-۳۵: چگونگی تغییرات باز جذبی توده سویا در خشک کن بستر سیال
- شکل ۴-۳۶: تأثیر دما و سرعت هوا بر ترک خوردگی دانه‌های سویا
- شکل ۴-۳۷: تغییرات زاویه فام بر حسب دما و سرعت هوای ورودی به خشک کن بستر سیال
- شکل ۴-۳۸: چگونگی تغییرات ترک خوردگی دانه‌های سویا در سرعت $1/8$ m/s

صفحه	عنوان
۱۱۶	شکل ۴-۳۹: چگونگی تغییرات ترک خوردگی دانه‌های سویا در سرعت ۳/۱ m/s
۱۱۶	شکل ۴-۴۰: چگونگی تغییرات ترک خوردگی دانه‌های سویا در سرعت ۴/۵ m/s
۱۱۹	شکل ۴-۴۱: نسبت باز جذبی سویا بر حسب دما، سرعت و توان مایکروویو در خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو
۱۲۵	شکل ۴-۴۲: تغییرات نسبت رطوبت بر حسب زمان در سطوح مختلف دمایی و سرعت هوای ورودی در خشک‌کن بستر سیال
۱۲۵	شکل ۴-۴۳: مقایسه بین نسبت رطوبت واقعی با نسبت رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل پیچ در سطوح مختلف دما و سرعت هوا در خشک‌کن بستر سیال
۱۲۶	شکل ۴-۴۴: نسبت رطوبت بر حسب زمان خشک شدن در سطوح مختلف توان مایکروویو
۱۲۷	شکل ۵-۴۵: مقایسه نسبت رطوبت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل میدیلی برای خشک کردن سویا به روش مایکروویو
۱۲۹	شکل ۴-۴۶: منحنی‌های خشک شدن بستر سیال سویا در دما، سرعت و سطوح مختلف هوای بازگشتی
۱۳۱	شکل ۴-۴۷: مقایسه بین نسبت رطوبت واقعی با نسبت رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل پیچ سطوح مختلف هوای بازگشتی
۱۳۲	شکل ۴-۴۸: تغییرات نسبت رطوبت بر حسب زمان خشک شدن برای خشک‌کن بستر سیال مایکروویو
۱۳۵	شکل ۴-۴۹: مقایسه بین نسبت رطوبت واقعی با نسبت رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل پیچ در سطوح مختلف توانی
۱۳۶	شکل ۴-۵۰: تغییرات نسبت رطوبت بر حسب زمان خشک شدن برای خشک‌کن مایکروویو با کنترل توان ورودی و دمای سویا
۱۳۶	شکل ۴-۵۱: مقایسه بین نسبت رطوبت واقعی با نسبت رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل وانگ - سینگ

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۹	جدول ۱-۲: خصوصیات فیزیکی ارقام متفاوت دانه سویا
۳۴	جدول ۲-۲: مدل‌های ریاضی خشک کردن ارائه شده توسط محققین
۳۷	جدول ۱-۳: محاسبات انجام شده برای قسمت‌های (۱)، (۳) و (۶)
۳۷	جدول ۲-۳: محاسبات افت فشار قسمت‌های مختلف خشک‌کن بستر سیال
۳۹	جدول ۳-۳: ضریب روزنه بر حسب عدد رینولدز
۴۵	جدول ۴-۳: ضرایب ثابت معادله فشار بخار اشباع
۶۳	جدول ۱-۴: تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده بر اساس دو فاکتور دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن بستر سیال
۶۵	جدول ۲-۴: تجزیه واریانس زمان، انرژی مصرفی و پارامترهای کیفی سویا بر اساس دو فاکتور دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن بستر سیال با چرخه هوای بازگشتی
۷۱	جدول ۳-۴: تجزیه واریانس زمان خشک شدن بر اساس توان ورودی خشک‌کن مایکروویو
۷۱	جدول ۴-۴: میانگین زمان خشک شدن برای سویا در خشک‌کن مایکروویو (\pm انحراف معیار)
۷۳	جدول ۵-۴: تجزیه واریانس زمان خشک شدن در خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو در سطوح مختلف توان مایکروویو، دما و سرعت هوا
۷۳	جدول ۶-۴: میانگین زمان خشک شدن برای سویا در خشک‌کن مایکروویو با توان متغیر
۷۶	جدول ۷-۴: راندمان انرژی مصرفی برای خشک‌کن بستر سیال در سطوح مختلف دما و سرعت هوای ورودی
۷۷	جدول ۸-۴: متوسط انرژی ذخیره شده (%) در خشک‌کن بستر سیال با چرخه ۵۰٪ نسبت به حالت فاقد چرخه
۷۷	جدول ۹-۴: متوسط تغییرات دمای هوای ورودی با چرخه ۵۰٪ بازگردش برای خشک‌کن بستر سیال
۷۹	جدول ۱۰-۴: تفاوت انرژی ویژه مصرفی (kWh/kg water) چرخه ۵۰٪ با حالت فاقد چرخه هوای بازگشتی
۸۰	جدول ۱۱-۴: متوسط تغییرات دمای هوای ورودی با چرخه ۷۰٪ بازگردش برای خشک‌کن بستر سیال
۸۱	جدول ۱۲-۴: تغییرات انرژی مصرفی (بر حسب درصد) با افزایش درصد بازگردش از ۵۰٪ به ۷۰٪
۸۲	جدول ۱۳-۴: متوسط انرژی ویژه مصرفی (kWh/kg water) ذخیره شده با افزایش درصد بازگردش از ۵۰٪ به ۷۰٪
۸۳	جدول ۱۴-۴: متوسط تغییرات دمای هوای ورودی با چرخه ۹۰٪ بازگردش برای خشک‌کن بستر سیال
۸۴	جدول ۱۵-۴: تغییرات انرژی مصرفی (بر حسب درصد) با افزایش درصد بازگردش از ۷۰٪ به ۹۰٪
۸۵	جدول ۱۶-۴: متوسط انرژی ویژه مصرفی ذخیره شده (kWh/kg water) با افزایش بازگردش از ۷۰٪ به ۹۰٪
۸۶	جدول ۱۷-۴: متوسط تغییرات دمای هوای ورودی با چرخه ۱۰۰٪ بازگردش برای خشک‌کن بستر سیال
۸۷	جدول ۱۸-۴: متوسط انرژی ویژه ذخیره شده (kWh/kg water) با افزایش بازگردش از ۷۰٪ به ۱۰۰٪
۸۷	جدول ۱۹-۴: متوسط انرژی ویژه ذخیره شده (kWh/kg water) با افزایش بازگردش از ۹۰٪ به ۱۰۰٪
۸۸	جدول ۲۰-۴: چگونگی تغییرات راندمان حرارتی و انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن مایکروویو
۹۱	جدول ۲۱-۴: چگونگی تغییرات انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن مایکروویو با کنترل توانی بر اساس دما
۹۳	جدول ۲۲-۴: تغییرات انرژی ویژه مصرفی (kWh/kg water) در خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو فاقد چرخه بر حسب دما، سرعت هوای ورودی و توان مایکروویو

- جدول ۴-۲۳: تغییرات انرژی ویژه مصرفی (kWh/kg water) بر حسب دما، سرعت هوای ورودی و توان مایکروویو در ۷۰٪ هوای بازگشتی برای سرعت ۱/۸m/s و ۱۰۰٪ هوای بازگشتی برای سرعت‌های ۳/۱ و ۴/۵m/s
۹۵
- جدول ۴-۲۴: تغییرات ضریب نفوذ رطوبتی موثر ($\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$) بر حسب دما و سرعت هوای ورودی
۹۶
- جدول ۴-۲۵: تغییرات نفوذ رطوبتی موثر ($\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$) بر حسب دما، سرعت هوای ورودی و درصد هوای بازگشتی
۹۷
- جدول ۴-۲۶: انرژی فعال‌سازی (kJ/mol) برای خشک کردن بستر سیال سویا با چرخه هوای بازگشتی
۹۷
- جدول ۴-۲۷: تغییرات ضریب نفوذ رطوبتی موثر ($\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$) بر حسب توان مایکروویو
۹۸
- جدول ۴-۲۸: تغییرات نفوذ رطوبتی موثر ($\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$) بر حسب دما
۹۹
- جدول ۴-۲۹: تغییرات نفوذ رطوبتی موثر ($\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$) بر حسب دما، سرعت هوای ورودی و توان مایکروویو
۱۰۰
- جدول ۴-۳۰: انرژی فعال‌سازی (kJ/mol) برای خشک کردن بستر سیال - مایکروویو سویا
۱۰۰
- جدول ۴-۳۱: متوسط تغییرات چگالی توده (kg/m^3) برای خشک‌کن بستر سیال
۱۰۱
- جدول ۴-۳۲: متوسط تغییرات چروکیدگی برای خشک‌کن بستر سیال
۱۰۲
- جدول ۴-۳۳: تغییرات رنگ دانه‌های خشک شده سویا در خشک‌کن بستر سیال
۱۰۵
- جدول ۴-۳۴: تأثیر توان مایکروویو بر پارامترهای کیفی سویا
۱۰۷
- جدول ۴-۳۵: تأثیر دما بر پارامترهای کیفی سویا
۱۰۹
- جدول ۴-۳۶: تغییرات چگالی توده (kg/m^3) بر حسب دما، سرعت هوای ورودی و درصد هوای بازگشتی
۱۱۱
- جدول ۴-۳۷: تأثیر دما، سرعت هوای ورودی و درصد هوای بازگشتی بر چروکیدگی
۱۱۲
- جدول ۴-۳۸: تأثیر دما، سرعت هوای ورودی و درصد هوای بازگشتی بر نسبت باز جذب
۱۱۳
- جدول ۴-۳۹: تأثیر دما، سرعت هوای ورودی و درصد هوای بازگشتی بر ترک خوردگی دانه‌های سویا
۱۱۴
- جدول ۴-۴۰: تأثیر دما، سرعت هوای ورودی و درصد هوای بازگشتی بر تغییرات کلی رنگ دانه‌های سویا
۱۱۷
- جدول ۴-۴۱: تأثیر دما، سرعت هوای ورودی و توان مایکروویو بر ترک خوردگی دانه‌های سویا
۱۱۸
- جدول ۴-۴۲: ضرایب رابطه (۴-۹) برای پیش بینی تغییرات هر یک از متغیرهای وابسته در خشک‌کن بستر سیال فاقد چرخه بازگردش
۱۲۱
- جدول ۴-۴۳: ضرایب رابطه (۴-۱۰) برای پیش بینی تغییرات هر یک از متغیرهای وابسته در خشک‌کن مایکروویو با توان ثابت
۱۲۱
- جدول ۴-۴۴: ضرایب رابطه (۴-۱۱) برای پیش بینی تغییرات هر یک از متغیرهای وابسته در خشک‌کن مایکروویو با کنترل توان
۱۲۱
- جدول ۴-۴۴: ضرایب رابطه (۴-۱۲) برای پیش بینی تغییرات هر یک از متغیرهای وابسته در خشک‌کن بستر سیال با چرخه بازگردش
۱۲۲
- جدول ۴-۴۵: ضرایب رابطه (۴-۱۳) برای پیش بینی تغییرات هر یک از متغیرهای وابسته در خشک‌کن بستر سیال مایکروویو
۱۲۲
- جدول ۴-۴۶: مقایسه مقادیر به دست آمده برای عملکرد بهینه خشک‌کن مایکروویو با قابلیت کنترل توان
۱۲۳
- جدول ۴-۴۷: مقایسه مقادیر به دست آمده برای عملکرد بهینه خشک‌کن بستر سیال با چرخه هوای بازگشتی
۱۲۳
- جدول ۴-۴۸: مقایسه مقادیر به دست آمده برای عملکرد بهینه خشک‌کن بستر سیال - مایکروویو
۱۲۳

صفحه	عنوان
۱۲۴	جدول ۴-۴۹: نتایج آماری برای دو مدل پیچ و میدیلی در خشک‌کن بستر سیال
۱۲۶	جدول ۴-۵۰: نتایج آماری برای دو مدل پیچ و میدیلی در خشک‌کن مایکروویو
۱۳۰	جدول ۴-۵۱: نتایج آماری برای مدل پیچ در خشک‌کن بستر سیال در سطوح مختلف چرخه هوای بازگشتی
۱۳۴	جدول ۴-۵۲: نتایج آماری برای مدل پیچ در خشک‌کن مایکروویو بستر سیال در سطوح مختلف دما، سرعت و چرخه هوای بازگشتی
۱۳۶	جدول ۴-۵۳: نتایج آماری برای مدل وانگ و سینگ

فهرست نمادها

عنوان	نماد	واحد
طول دانه سویا	A	m
عدد ارشمیدس	Ar	-
عرض دانه سویا	B	m
ضخامت دانه سویا	C	m
ظرفیت گرمای ویژه سویا	C_{ps}	J/kg.°C
ظرفیت گرمای ویژه بخار	C_{pv}	J/kg.°C
ظرفیت گرمای ویژه هوای خشک	C_{pa}	J/kg.°C
ضریب روزنه سطح توزیع کننده هوا	C_{or}	-
ترک خوردگی دانه	C_r	%
عمق نفوذ امواج مایکروویو	D	m
قطر معادل دانه سویا	D_e	m
ضریب نفوذ موثر رطوبتی دانه سویا	D_{eff}	m^2/s
قطر سطح مقطع محفظه خشک کن	D_m	m
قطر داخلی ستون خشک کن بستر سیال	D_i	m
فاکتور پیش - نمایی رابطه آرینوس	D_o	m^2/s
قطر سطح مقطع کانال	D_c	m
قطر محفظه خروجی فن	D_f	m
شدت میدان الکتریکی	E	V/m
ضخامت سطح توزیع کننده هوا	E	m
انرژی فعال سازی دانه سویا	E_a	J/mol.K برای هوای گرم و W/g برای مایکروویو
توان حرارتی خشک کن	E_f	W
انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال	E_{fc}	Wh
انرژی مصرفی خشک کن مایکروویو	E_{mc}	Wh
انرژی مصرفی خشک کن بستر سیال مایکروویو	E_{cc}	Wh
انرژی مصرفی ویژه خشک کن	E_{sc}	Wh/kg water
تغییرات کلی رنگ	ΔE	-
فرکانس امواج مایکروویو	F	Hz
ضریب اصطکاک کانال	f_r	-
زاویه فام دانه سویا	H	Degree
ضریب حجمی انتقال حرارت همرفتی	H	W/m ² .°C
نسبت رطوبت هوا	H_a	kg vapor/kg dry matter
ثابت نرخ خشک شدن دانه	K	1/min

عنوان	نماد	واحد
ضریب هدایت حرارتی سویا	k_t	W/m.°C
هدایت حرارتی هوای خشک کن	k_g	W/m.°C
فاکتور پیش - نمایی رابطه آرینوس	K_0	1/min
طول کانال مستقیم	L	m
بار القایی	L_{in}	H
شاخص کارایی خشک کن	J	Joule
جرم نمونه	M	G
جرم نهایی محصول پس از خشک کردن	m_f	kg
جرم اولیه محصول	m_0	kg
جرم آب بخار شده	m_w	kg
متوسط قطر هیدرولیکی	m_H	m
آهنگ جرمی هوای ورودی به خشک کن	M_f	kg/s
نسبت رطوبت هوا	MR	-
سیکل موج ولتاژ	N	-
سرعت موتور دمنده	N_m	rpm
عدد نوسلت	Nu	-
سرعت مخصوص دمنده	N_s	-
تعداد سوراخها در واحد سطح	n_{or}	1/m ²
بار الکتریکی	Q	Q
دبی هوا	Q_a	m ³ /s
فشار استاتیکی کل	P_t	Pa
قدرت موتور دمنده	P_w	W
توان میکروویو	P	W
توان جذب شده در واحد حجم محصول	P_c	W/m ³
سطح توانی میکروویو	P_L	%
عدد پرانتل	Pr	-
افت فشار	ΔP	Pa
فشار بخار اشباع	P_v	Pa
فشار اتمسفر	P_0	Pa
چرخه هوای بازگشتی	R_a	%
ضریب تعیین	R^2	-
نسبت باز جذب رطوبت دانه سویا	Rr	kg/kg
عدد رینولدز	Re	-

عنوان	نماد	واحد
رطوبت نسبی هوا	RH	%
ثابت جهانی گاز	R_g	J/mol.K
شعاع دانه سویا	r_s	m
شعاع بحرانی عایق حرارتی	r_{cr}	m
مقاومت الکتریکی	R	Ω
خطای جذر مربع میانگین	RMSE	-
زمان خشک شدن	t	S
دمای هوا	T	$^{\circ}C$
دمای مطلق	T_{abs}	K
دمای محیط	T_{am}	$^{\circ}C$
چروکیدگی توده سویا	S	-
سطح توزیع کننده هوا	S_a	m^2
حجم ویژه هوا	$v_{h,a}$	m^3/kg dry air
حجم دانه سویا	V	m^3
سرعت هوا	u	m/s
کمینه سرعت سیال سازی	u_{gmf}	m/s
سرعت انتقال سویا	u_{gt}	m/s
سرعت هوای خروجی توزیع کننده هوا	u_{or}	m/s
میزان رطوبت محصول	X	%, w.b.
رطوبت تعادلی محصول	X_e	d.b.
میانگین رطوبت محصول	X_p	d.b.
رطوبت اولیه محصول	X_0	d.b.
وزن آب تبخیر شده	W	kg
وزن اولیه محصول	W_0	kg
امپدانس	Z	Ω
ضرایب ثابت مدل های ریاضی	a, b, c, n	-

حروف یونانی

عنوان	نماد	واحد
ضریب پخش حرارت	α	m^2/s
ثابت تناسب دو قطبی	β	-
زاویه اتلاف	δ	rad
ثابت دی الکتریک	ϵ	-