
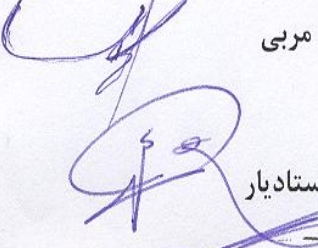
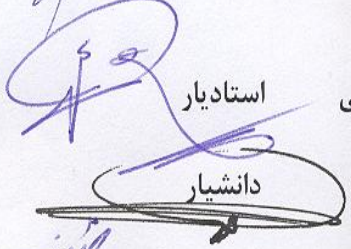






تایید اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیأت داوران نسخه ی نهائی پایان نامه آقای سعید ذاکری تحت عنوان : خشک کردن ژل صبرزد با خشک کن پاششی و هوای گرم را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد پیشنهاد می کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه ی علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر محمدهادی خوش تقاضا	دانشیار	
۲- استاد مشاور	مهندس حمید مهدوی	مربی	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر غلامحسن نجفی	استادیار	
۴- اساتید ناظر: ۱- داخلی	دکتر برات قبادیان	دانشیار	
۲- خارجی	دکتر غلامرضا چگینی	دانشیار	

آئین نامه 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 عنوان 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 می باشد، ولی حقوق معنوی پدیدآورندگان 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 تأیید 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.

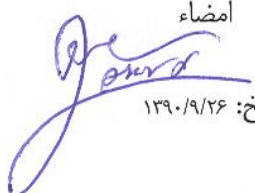
تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا 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 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 شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تأیید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب سعید ذاکری دانشجوی رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۷ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم 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 بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم.»

امضاء

تاریخ: ۱۳۹۰/۹/۲۶

آئین نامه 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 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) ی خود، مراتب را قبلاً به طور 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 پایان نامه نگارنده در رشته مکانیک ماشین های کشاورزی است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی دکتر محمد هادی خوش تقاضا و مشاوره مهندس حمید مهدوی 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 اهداء کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

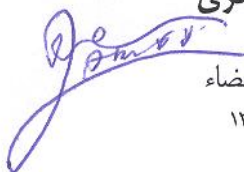
ماده ۴- در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵- دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت های بهای خسارت، دانشگاه 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 کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶- اینجانب سعید ذاکری دانشجوی رشته مکانیک ماشین های کشاورزی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

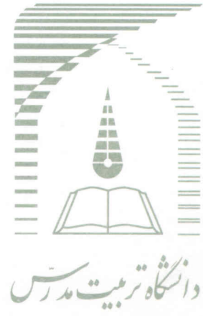
نام و نام خانوادگی

سعید ذاکری



تاریخ و امضاء

۱۳۹۰/۹/۲۶



پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی

خشک کردن ژل صبرزرد با خشک کن پاششی و هوای گرم

نگارش

سعید ذاکری

استاد راهنما

محمد هادی خوش تقاضا

استاد مشاور

حمید مهدوی

تابستان ۱۳۹۰

تقدیم بہ ہمسر عزیزم

بہ پاس روزگاری کہ در انجام این پروژہ از او دور بودہ ام

تشکر و قدردانی

شکر به درگاه خداوند متعال، که توفیق به انجام رساندن این پایان‌نامه را به من ارزانی داشت. ان شاء الله در تمام مراحل زندگی توفیق شکرگذاری در درگاه حضرت حق را داشته باشم.

بر خود لازم می‌بینم از تمام بزرگوارانی که در مسیر انجام این پایان‌نامه، یاری‌ام نموده‌اند تقدیر و تشکر نمایم. از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر محمدهادی خوش‌تقاضا به خاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان در طول انجام و نگارش پایان‌نامه، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

دکتر حمید مهدوی، که در مسیر مشاوره پایان‌نامه از هیچ کمکی فروگذار نکردند و همچون دوستی دانشمند در حق اینجانب الطاف بسیار داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

دکتر غلامحسین نجفی، که در بسیاری از مشکلات پیش رو در مسیر پایان‌نامه، همچون برادری دلسوز برای رفع مسایل پیش آمده یاریم دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از سایر اساتید گرانقدر گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، آقایان دکتر تیمور توکلی، دکتر برات قبادیان، دکتر سعید مینایی و دکتر احمد بناکار سپاسگزاری می‌نمایم.

از آقای مهندس رضایی‌کیا، کارشناس گروه، که در سیر انجام آزمایشات یاری‌ام نمودند تشکر می‌نمایم.

از دوستان عزیزم آقایان علی متولی، سیدرضی کریمی‌آکندی، محمدابراهیم جدیدی، حمیدرضا قورچی و سید شهاب‌الدین قدسی که از مشاوره و کمک‌هایشان استفاده نمودم، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از پدر و مادرم عزیزم که هر چه دارم و هر چه هستم از برکت وجود این دو بزرگوار است صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

ان شاء الله که بتوانم زحمات این عزیزان را جبران نمایم.

و من ... التوفیق

سعید ذاکری

۹۰/۹/۲۶

چکیده

صبرزرد (*Aloe vera Syn Aloe barbadensis*) متعلق به تیره سوسن‌سانان است و خواص درمانی آن فوق‌العاده می‌باشد. بدلیل ترکیبات موجود و فعالیت آبی بسیار بالا، ژل صبرزرد مستعد حملات میکروبی می‌باشد، لذا برای جلوگیری از تخریب ژل باید روش‌های نگهداری از جمله خشک کردن ژل انجام شود. در این پژوهش از دو خشک‌کن هوای گرم و پاششی به منظور خشک کردن ژل صبرزرد و تهیه‌ی پودر آن استفاده شد. برای خشک‌کن هوای گرم با استفاده از طرح آماری کاملاً تصادفی، تاثیر تغییرات دو عامل دمای خشک کردن و سرعت هوای گرم بر پارامترهای زمان خشک کردن، ضریب نفوذ رطوبت، انرژی فعال‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای مستقل عبارت بودند از: دمای هوا در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس، سرعت هوا در سه سطح ۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه. ده مدل خشک کردن لایه نازک بر داده‌های آزمایشگاهی برازش داده شد. بهترین مدل بر حسب سه پارامتر، بزرگترین ضریب تعیین (R^2) و کوچکترین مربع کای (χ^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها ($RMSE$) انتخاب گردید. برای خشک‌کن پاششی با استفاده از طرح آماری سه نقطه مرکزی، تاثیر متغیرهای مستقل دمای هوای ورودی (۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس)، سرعت آسیپراتور (۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد) و نرخ تغذیه (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌لیتر بر ساعت) بر خواص پودر از جمله ظرفیت آب‌پذیری، زمان جذب آب، درصد حلالیت، میزان پلی‌ساکارید و مرفولوژی پودر مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، خواص اندازه‌گیری شده پودر حاصل از خشک‌کن پاششی با پودر بدست آمده از خشک‌کن هوای گرم و پودر وارداتی شرکت بهنوش مقایسه گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که تاثیر عوامل دما و سرعت هوا در خشک‌کن هوای گرم بر فرآیند خشک شدن و تغییرات مقدار پلی‌ساکارید، معنی‌دار می‌باشد. مدل میدیلی نسبت به سایر مدل‌ها دارای برازش بهتری بود. ضریب نفوذ رطوبت ژل صبرزرد در سطوح مختلف آزمایش از 10^{-9} تا $2/6 \times 10^{-9}$ $7/22 \times 10$ متر مربع بر ثانیه تغییر می‌کرد. انرژی فعال‌سازی نیز در حدود $18/51$ تا $28/96$ کیلوژول بر مول به دست آمد. افزایش دما در خشک‌کن پاششی باعث افزایش اندازه ذرات پودر و کاهش ظرفیت آب‌پذیری و کاهش حلالیت شد. همچنین مقایسه پودرها نشان داد که پودر وارداتی بیشترین میزان پلی‌ساکارید ($11/54\%$) و بالاترین درصد حلالیت (100%) را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: صبرزرد، خشک‌کن هوای گرم، خشک‌کن پاششی، مدل‌سازی ریاضی، خواص فیزیکی و شیمیایی پودر.

فصل اول- مقدمه و هدف

۱-۱ مقدمه ۱

۲-۱ اهداف تحقیق ۵

فصل دوم- کلیات و پیشینه پژوهش

۱-۲ خواص گیاه صبرزرد ۶

۱-۱-۲ خصوصیات گیاه‌شناسی ۶

۲-۱-۲ خواص درمانی ۸

۳-۲ خشک‌کن جریان هوای گرم ۱۰

۱-۳-۲ مفاهیم خشک شدن ۱۰

۲-۳-۲ سینتیک خشک شدن ۱۰

۳-۳-۲ نظریه انتشار ۱۲

۴-۲ خشک‌کن پاششی ۱۶

۱-۴-۲ تاریخچه خشک‌کن پاششی ۱۷

۲-۴-۲ کاربردهای خشک‌کن پاششی ۱۸

۳-۴-۲ مکانیزم خشک‌کن پاششی ۲۰

۴-۴-۲ اصول خشک شدن ۲۱

۵-۴-۲ اثر عوامل کاری خشک‌کن پاششی بر خصوصیات پودر ۲۵

۶-۴-۲ عوامل موثر بر رسوب و مواد فرار محصول ۳۱

۷-۴-۲ مرفولوژی پودر ۳۳

۵-۲ مروری بر مطالعات پیشین در زمینه پژوهش ۳۵

فصل سوم- مواد و روش‌ها

۱-۳ مقدمه ۴۱

۲-۳ ساختمان خشک‌کن هوای گرم ۴۱

۱-۲-۳ پروانه مکنده و دریچه‌های کانال ۴۳

۲-۲-۳ واحد کنترل دما ۴۳

۳-۳ خشک‌کن پاششی ۴۴

۴۵.....	۴-۳ وسایل اندازه‌گیری آزمایشگاهی
۴۵.....	۵-۳ همزن صبرزرد
۴۶.....	۶-۳ میکروسکوپ الکترونی
۴۶.....	۷-۳ اسپکترومتر
۴۷.....	۸-۳ روش تهیه نمونه
۴۸.....	۱-۸-۳ تعیین رطوبت اولیه محصول
۴۸.....	۲-۸-۳ تولید پودر ژل خشک شده صبرزرد از طریق خشک‌کن هوای گرم
۴۸.....	۳-۸-۳ مدل‌سازی ریاضی منحنی‌های خشک شدن
۵۱.....	۴-۸-۳ محاسبه ضریب نفوذ موثر
۵۳.....	۵-۸-۳ انرژی فعال سازی
۵۴.....	۹-۳ خواص فیزیکی شیمیایی پودر مورد اندازه‌گیری
۵۴.....	۱-۹-۳ اندازه‌گیری پلی‌ساکارید
۵۴.....	۲-۹-۳ اندازه‌گیری رطوبت پودر خشک‌کن پاششی
۵۴.....	۳-۹-۳ درصد حلالیت
۵۵.....	۴-۹-۳ زمان جذب آب
۵۵.....	۵-۹-۳ ظرفیت آب‌پذیری
۵۵.....	۶-۹-۳ مرفولوژی پودر
۵۶.....	۷-۹-۳ تعیین نقطه شیشه‌ای شدن
۵۶.....	۸-۹-۳ تعیین ساختار شیمیایی
۵۶.....	۹-۹-۳ عملکرد خشک‌کن پاششی
۵۷.....	۱۰-۳ طرح آزمایش
	فصل چهارم- نتایج و بحث
۵۹.....	۱-۴ مقدمه
۶۰.....	۲-۴ خشک کردن با جریان هوای گرم
۶۰.....	۱-۲-۴ سینتیک خشک شدن
۶۶.....	۲-۲-۴ آهنگ تبخیر
۶۸.....	۳-۲-۴ ضریب نفوذ رطوبتی و انرژی فعال‌سازی

۷۰	۴-۲-۴ استخراج مدل سینتیک خشک شدن
۷۲	۴-۳ خشک کردن با خشک کن پاششی
۷۳	۴-۳-۱ ظرفیت آب پذیری پودر
۷۵	۴-۳-۲ زمان جذب آب
۷۵	۴-۳-۳ درصد حلالیت
۷۷	۴-۳-۴ رطوبت پودر
۷۸	۴-۳-۵ میزان پلی ساکارید کل
۸۰	۴-۳-۶ عملکرد خشک کن پاششی
۸۰	۴-۴ بررسی خصوصیات پودر خشک کن هوای گرم
۸۱	۴-۴-۱ زمان جذب آب
۸۲	۴-۴-۲ بررسی اثر عوامل کاری خشک کن هوای گرم بر میزان پلی ساکارید کل
۸۴	۴-۵ مقایسه پودر بدست آمده از دو روش با پودر وارداتی
۸۶	۴-۶ مرفولوژی پودر بدست آمده از خشک کن پاششی
۹۱	۴-۷ تعیین نقطه‌ی شیشه‌ای شدن پودر خشک کن پاششی
۹۲	۴-۸ تعیین ساختار شیمیایی
	فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۴	۵-۱ نتیجه گیری
۹۵	۵-۲ پیشنهادات
۹۶	منابع
۱۰۶	پیوست‌ها

شکل ۳-۱: شماتیک خشک‌کن آزمایشگاهی هوای گرم	۴۲
شکل ۳-۲: خشک‌کن هوای گرم	۴۳
شکل ۳-۳: خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی	۴۴
شکل ۳-۴: همزن	۴۶
شکل ۳-۵: میکروسکپ الکترونی	۴۶
شکل ۳-۶: اسپکترومتر	۴۷
شکل ۴-۱: منحنی خشک شدن ژل صبرزرد در سرعت جریان هوا ۱ m/s در دماهای مختلف	۶۱
شکل ۴-۲: منحنی خشک شدن ژل صبرزرد در سرعت جریان هوا ۲ m/s در دماهای مختلف	۶۲
شکل ۴-۳: منحنی خشک شدن ژل صبرزرد در سرعت جریان هوا ۳ m/s در دماهای مختلف	۶۲
شکل ۴-۴: اثر ساده دمای خشک کردن بر زمان خشک شدن	۶۳
شکل ۴-۵: منحنی خشک شدن ژل صبرزرد در دمای ۵۰ °C در سرعت‌های مختلف جریان هوا	۶۴
شکل ۴-۶: منحنی خشک شدن ژل صبرزرد در دمای ۶۰ °C در سرعت‌های مختلف جریان هوا	۶۴
شکل ۴-۷: منحنی خشک شدن ژل صبرزرد در دمای ۷۰ °C در سرعت‌های مختلف جریان هوا	۶۵
شکل ۴-۸: اثر ساده سرعت هوای خشک کردن بر زمان خشک شدن	۶۵
شکل ۴-۹: تغییرات زمانی آهنگ تبخیر رطوبت در دمای ۵۰ °C	۶۷
شکل ۴-۱۰: تغییرات زمانی آهنگ تبخیر رطوبت در دمای ۶۰ °C	۶۷
شکل ۴-۱۱: تغییرات زمانی آهنگ تبخیر رطوبت در دمای ۷۰ °C	۶۷
شکل ۴-۱۲: ارتباط بین ضریب پخش موثر و دما برای ژل صبرزرد	۶۹
شکل ۴-۱۳: مقایسه بین نسبت رطوبت واقعی با نسبت رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل میدیلی برای تیمار در دمای ۵۰ °C و سرعت باد ۰/۵ m/s	۷۲
شکل ۴-۱۴: اثر متقابل دمای خشک کردن و سرعت هوا بر میانگین پلی‌ساکاریدها پودر	۸۴
شکل ۴-۱۵: عکس الکترونی از پودر ۱۳۱	۸۸
شکل ۴-۱۶: عکس الکترونی از پودر ۳۳۱	۸۹
شکل ۴-۱۷: عکس الکترونی از پودر وارداتی در دو بزرگ‌نمایی متفاوت	۹۰
شکل ۴-۱۸: نمودار DSC برای پودر ۳۳۱	۹۱
شکل ۴-۱۹: نمودار DSC برای پودر وارداتی	۹۲

شکل ۴-۲۰ نمودار FTIR مربوط به پودر تیمار ۳۳۱..... ۹۳

شکل ۴-۲۱ نمودار FTIR مربوط به پودر وارداتی..... ۹۳

جدول ۱-۳ خلاصه‌ای از نتایج مطالعات بصورت معادلات خشک کردن لایه نازک برای محصولات کشاورزی	۵۰
جدول ۲-۳: تیمارهای خشک‌کن پاششی	۵۸
جدول ۱-۴- تجزیه واریانس (ANOVA) اثر درجه حرارت و سرعت هوا بر زمان خشک شدن	۶۰
جدول ۲-۴ مقادیر ضریب پخش موثر (D_{eff}) ژل صبرزرد در شرایط مختلف خشک کردن	۶۸
جدول ۳-۴ مقادیر ثابت ضریب پخش و انرژی فعال‌سازی به دست آمده برای ژل صبرزرد	۶۹
جدول ۴-۴ ضرایب و شاخص‌های آماری مربوط به مدل میدیلی	۷۱
جدول ۶-۴ نتایج اندازه‌گیری خصوصیات پودر صبرزرد حاصله از خشک‌کن پاششی	۷۳
جدول ۷-۴ نتایج اندازه‌گیری خصوصیات پودر صبرزرد حاصله از خشک‌کن هوای گرم	۸۱
جدول ۸-۴- تجزیه واریانس (ANOVA) اثر درجه حرارت و سرعت هوا بر زمان جذب آب	۸۲
جدول ۹-۴- تجزیه واریانس (ANOVA) اثر درجه حرارت و سرعت هوا بر مقدار پلی‌ساکارید کل در خشک-کن هوای گرم	۸۳
جدول ۱۰-۴ مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دما و سرعت هوای خشک کردن بر میانگین پلی‌ساکارید پودر (%)	۸۳
جدول ۱۱-۴ مقایسه سه نوع پودر (پودر بدست آمده از خشک‌کن پاششی، خشک‌کن هوای گرم و پودر وارداتی)	۸۵

فهرست نمادها

واحد	شرح	نماد
m^2	سطح مقطع انتقال حرارت	A
M	ضخامت ورقه‌ها	A
m^2	سطح قطره	A_p
m^2/s	ضریب ثابت	D_0
m^2/s	ضریب انتشار موثر رطوبت	D_{eff}
kJ/mol	انرژی فعال‌سازی	E_a
بدون بعد	عدد فوریه	Fo_m
J/m^2sk	ضریب جابجایی حرارتی	H
$kg/m^2.s$	ضریب انتقال جرم	K_y
ml/min	مقدار نرخ تغذیه در واحد زمان	L
%d.b.	میزان رطوبت	M
-	تعداد ثابت‌های مدل خشک شدن	M
kg water/kg dry matter	مقدار رطوبت تعادلی	M_e
kg/s	نرخ تغییر جرم ماده خشک	\dot{m}_s
kg_{dryair} / s	نرخ تغییر جرم هوای خشک	\dot{m}_g
Kg	جرم قطره	m_p
-	i امین نسبت رطوبتی آزمایش	$MR_{exp,i}$
-	i امین نسبت رطوبتی پیش‌بینی شده توسط مدل	$MR_{pre,i}$
%d.b.	رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه بر پایه خشک	M_t
kg water/kg dry matter	مقدار رطوبت در لحظه t	M_t

-	عدد صحیح مثبت	N
-	تعداد مشاهدات آزمایش	N
g/min	مقدار پودر تولیدی در واحد زمان	P
-	ضریب تعیین	R^2
$kJ/mol.K$	ثابت عمومی گازها	R_g
-	ریشه میانگین مربع خطا	$RMSE$
%	درصد ماده جامد پودر و مانع تغذیه به تریب	S_p و S_f
S	زمان	T
K	دمای مطلق	T_s
$^{\circ}C$	دمای هوای داغ	T_r
%	عملکرد	Y_e
%d.b.	رطوبت مطلق هوا	Y
-	ضرایب ثابت	$\alpha, k, k_a, k, n, c, b, g, h$
$J/kg.k$	ظرفیت گرمایی ماده خشک، آب، هوای خشک و بخار	C_s, C_l, C_v و C_g
-	نسبت شدت تخریب در مرحله دوم خشک شدن به شدت تخریب در مرحله اول	ξ
-	ضریب گای حدود	χ^2
$J/kg.K$	گرمای نهان تخریب	ΔH
kg/m^3	چگالی ماده خشک	ρ

□

فصل اول

مقدمه و هدف

۱-۱ مقدمه

خشک کردن مصنوعی تولیدات کشاورزی یکی از روش‌های متداول برای نگهداری آن‌ها است. با اعمال روش‌های مناسب خشک کردن می‌توان مقدار زیادی از خساراتی را که در مراحل بعدی به محصول وارد می‌شود کاهش داد. در طی خشک کردن، آب از ماده غذایی خارج شده و در نتیجه امکان رشد میکروارگانیسم‌ها و ایجاد واکنش‌های شیمیایی نامطلوب به حداقل رسیده و ماندگاری مواد غذایی افزایش می‌یابد (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996).

در گذشته، انرژی خورشید برای خشک کردن استفاده می‌شد اما مشکلات زیادی در استفاده از این روش وجود دارد از جمله: تغییرات نامناسب در کیفیت غذا، عدم کنترل کافی در فرآیند خشک کردن، طولانی بودن زمان خشک شدن و غیر بهداشتی بودن محصول. مشکلاتی از این قبیل استفاده از تکنولوژی جدید در فرآیند خشک کردن را لازم می‌سازد. خشک‌کن‌های صنعتی مزایایی نسبت به روش سنتی دارند از جمله: برداشت به موقع محصول، کاهش تلفات در مزرعه، برنامه ریزی برای برداشت در شرایط نامطلوب آب و هوایی، افزایش مدت انبارداری مواد غذایی (Sahin and Dincer, 2002).

طول دوره ذخیره مواد غذایی تابع دو عامل فیزیکی دما و مقدار رطوبت آن می‌باشد. با کاهش دما، کاهش رطوبت و یا هر دو، می‌توان به میزان قابل ملاحظه‌ای طول این دوره را افزایش داد. کاهش رطوبت به وسیله عملیات خشک‌کردن ممکن می‌باشد. این عمل عموماً بوسیله وارد کردن هوای نسبتاً گرم و یا با حرارت بالا به درون محفظه حاوی محصول صورت می‌گیرد. انجام این عملیات در دستگاه‌های خشک‌کن امکان‌پذیر می‌باشد. در واقع خشک‌کردن مواد غذایی راهی مناسب و مطمئن برای نگهداری و ذخیره‌سازی آنها می‌باشد (زمردیان، ۱۳۸۳).

علل و مزایای خشک‌کردن مواد غذایی عبارتند از (فلاحی، ۱۳۷۰؛ بی‌نام، ۱۳۶۸؛ فرجی، ۱۳۷۱)

۱- نگهداری و ذخیره‌سازی مواد غذایی خشک شده به مدت طولانی و با حداقل امکانات.

۲- کم کردن وزن و حجم مواد غذایی به منظور سهولت و کاهش هزینه‌های بسته‌بندی، حمل و نقل و انبارداری.

۳- جلوگیری از فساد و حفظ خصوصیات کیفی مواد غذایی مانند طعم و ارزش غذایی.

۴- تولید محصول مناسب مانند میوه خشک، قهوه فوری، پودر سیب‌زمینی، شیر خشک و ...

با توجه به نوع و خصوصیات موادی که می‌بایست خشک شوند به مرور زمان روش‌های زیادی برای خشک کردن بوجود آمده است. تعداد تنوع موادی که لازم است خشک شوند و اختلاف در خواص فیزیکی و شیمیایی آنها و موارد کاربردشان موجب شده است دستیابی به نوع خشک‌کن و فرآیند مناسب تولید آنها مورد توجه قرار گیرد. با افزایش رو به رشد جمعیت و نیاز به مصرف مواد غذایی و ماندگاری آنها در طول سال و مشکل نگهداری این مواد با درصد آب بالا، باعث شده روش‌های مختلفی برای خشک کردن و رسیدن به

محصول با کیفیت بالا مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد (Mujumdar, 1987; Hayashi, 1989; پهلوانزاده، ۱۳۷۷؛ بی‌نام، ۱۳۶۲).

معمول‌ترین نوع خشک‌کن‌های مورد استفاده برای میوه‌جات خشک‌کن‌های جابجایی هوا می‌باشند. با این حال، این خشک‌کن‌ها دارای معایبی نظیر ایجاد پدیده سوختگی سطحی، چروکیدگی و بدرنگی در محصول می‌باشند. همچنین زمان طولانی خشک کردن و مصرف انرژی بالا از دیگر معایب این نوع خشک‌کن‌ها محسوب می‌شوند (Jaya and Das, 2003). پارامترهای زیادی در خشک کردن مواد توسط جابجایی هوا دخالت دارند که اهم آن‌ها عبارتند از دمای خشک‌کن، رطوبت اولیه مواد، ضخامت مواد و سرعت جریان هوا. برای پیش‌بینی مدت زمان خشک‌شدن مواد و تعیین منحنی رطوبت-زمان (نرخ کاهش رطوبت نسبت به زمان) لازم است که آزمایش‌ها تحت شرایط کنترل شده‌ای تعریف و نتایج حاصل از آن‌ها به صورت مدل‌هایی بر حسب زمان بیان شود. با توجه به اینکه رطوبت مواد بر حسب زمان تغییر می‌کند، برای بیان این پدیده از مدل سینتیک استفاده می‌شود. از آنجا که نحوه و مدت زمان خشک‌کردن بر شرایط و بازده اقتصادی و میزان انرژی مورد نیاز برای خشک‌کردن تاثیر بسزایی دارد، لذا بررسی سینتیک خشک‌کردن یکی از راه‌های مناسب برای کنترل زمان و شرایط خشک‌کردن است (متولی سید زین‌العابدینی، ۱۳۸۸).

یکی دیگر از روش‌های خشک کردن مواد غذایی روش خشک کن پاششی است. در این روش، مایعات به صورت محلول، سوسپانسیون خمیر و کنسانتره به پاشنده پمپاژ شده و در برخورد با جریان هوای گرم داخل محفظه‌ی خشک‌کن به پودر تبدیل می‌شود. در این روش زمان خشک شدن خیلی کوتاه‌تر از دیگر روش‌های خشک شدن می‌باشد و می‌توان با کنترل زمان اقامت خشک شدن خسارت حرارتی در محصولات غذایی را به حداقل رساند. در خشک‌کن‌های پاششی خصوصیات و کیفیت محصول نهایی بیشتر و بهتر قابل کنترل می‌باشد.

می‌توان از آن‌ها برای فرآیندهای مداوم و مواد حساس به گرما استفاده کرد. با طراحی مناسب و کنترل فرآیند خشک شدن، مواد غذایی حساس به گرما، مواد بیولوژیک و دارویی را می‌توان در فشار اتمسفر و در دمای پایین خشک کرد (Hayashi, 1984; Masters, 1985; Tang *et al.*, 1999). در خشک‌کن پاششی عوامل زیادی در شکل‌گیری فرآیند و رسیدن به خصوصیات محصول نقش دارند. متغیرهای کاری خشک‌کن شامل عوامل تغذیه نظیر درصد ماده جامد، دمای ماده تغذیه و مقدار تغذیه، روش شرایط پاشش مایع از پاشنده، نوع برخورد قطره و هوا، توزیع هوای ورودی و پروفیل دمایی هوا در محفظه و غیره می‌باشد. خصوصیات محصول تولیدی یا پودر نیز شامل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی است که اغلب اندازه ذرات و توزیع آن‌ها، جریان‌پذیری پودر، چگالی توده‌ای، چگالی ذره‌ای و تخلخل، حل‌پذیری و پخش‌پذیری، درصد رطوبت و آبدوستی، ظاهر، طعم و مزه، شکل ذره، رنگ و عطر می‌باشد. با بهینه کردن فرآیند کاری خشک‌کن و عوامل فوق می‌توان خصوصیات پودر را کنترل کرد (Nath and Satpathy, 1998).

صبر زرد (*Aloe vera Syn Aloe barbadensis*) متعلق به تیره سوسن‌سانان که خواص درمانی این گیاه فوق‌العاده می‌باشد. ژل این گیاه در معالجه آسم، برطرف کردن سوء هاضمه، تصفیه خون، معالجه اسهال خونی و گرفتگی کبدی و دیگر موارد مفید است. جهت افزایش ماندگاری ژل این محصول، لازم است که رطوبت آن کاهش یابد (Reynolds, 2004; Kawther *et al.*, 2001). موسیلاژ موجود در ژل صبر زرد ظرفیت بالایی برای جذب آب دارد. از طرف دیگر بدلیل ترکیبات موجود و فعالیت آبی بسیار بالای موسیلاژ (بیشتر از ۰/۸)، ژل صبر زرد مستعد حملات میکروبی می‌باشد لذا برای جلوگیری از تخریب ژل باید روش‌های نگهداری از جمله خشک کردن بروی ژل انجام شود (Saenz *et al.*, 2004; Martinez, 2010).