





دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

دانشکده صنایع غذایی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد (M. Sc.) در رشته
مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی

بهینه سازی و مدل سازی فرایند خشک کردن خرماى مضافتی با خشک کن لایه نازک

پژوهش و نگارش:

اصغر رئیسی

استاد راهنما:

دکتر امان محمد ضیائی فر

اساتید مشاور:

دکتر مهدی کاشانی نژاد

دکتر علی اصغری

تابستان ۱۳۹۳

تعمدنامه

نظر به اینکه انجام فعالیت‌های پایان‌نامه‌های تحصیلی با بهره‌گیری از حمایت‌های علمی، مالی و پشتیبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت می‌پذیرد، به منظور رعایت حقوق دانشگاه، نسبت به رعایت موارد زیر متعهد می‌شوم:

۱. این گزارش حاصل فعالیت‌های علمی- پژوهشی و دانش و آگاهی نگارنده است مگر آنکه در متن به نویسنده یا پدید آورنده اثر ارجاع داده شده باشد.
۲. چاپ هر تعداد نسخه از پایان‌نامه با کسب اجازه کتبی از مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه خواهد بود.
۳. انتشار نتایج پایان‌نامه به هر شکل (از قبیل کتاب، مقاله و همایش) با اطلاع و کسب اجازه کتبی از استاد راهنما خواهد بود. نام کامل دانشگاه:

به فارسی: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

و به انگلیسی: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural

Resources

در بخش آدرس‌دهی درج خواهد شد.

۴. در انتشار نتایج پایان‌نامه در قالب اختراع، اکتشاف و موارد مشابه، نام کامل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به عنوان عضو حقوقی در انتهای فهرست اسامی درج گردد.
۵. تعیین ترتیب اسامی نویسندگان در انتشار نتایج مستخرج از پایان‌نامه و هر گونه تفاوت احتمالی در آن با فهرست مصوب اسامی هیات راهبری پایان‌نامه با تایید استاد راهنمای اول خواهد بود.

نام و نام خانوادگی

تابستان ۱۳۹۳

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که موفقیت های زندگیم مرهون صبر، تلاش و تشویقشان
است، آنها که سیاهی پر مهرشان زیباترین تصویر ذهنم و صدای گرمشان،
دل انگیزترین نوای زندگیم است.

و

تقدیم به همسر عزیزم که وجودش برایم شور و شوق زندگی کردن است.

شکر و سپاس

یاد می‌نویسم و البرهان، یاد آنکه و البیان، رب اشرح لی صدری و یسری امری و احلل عقده من لسانی نقته و اتقونی.

حمد و سپاس خدایی را که اول و آخر وجود است، بی آنکه اولی بر او پیشی بگیرد و آخری پس از او باشد. حمد و سپاس خدایی را که دست هر چشمی از دامن دیدارش کوتاه و فم هر توصیف کننده‌ای از پرواز در آسمان و صفتش عاجز است.

اکنون که به خواست و عنایت خداوند متعال مرحله‌ای دیگر از مسیری منتهای دانش و پژوهش را سپری نموده‌ام، لازم می‌دانم از تمام عزیزان و سرورانی که در این امر مرئیاری نموده‌اند، سپاسگزاری نمایم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر امان محمد ضیائی فرکه را به‌بنی این رساله را بر عهده داشته و به‌مبارزه از رهنمودهای ارزنده ایشان بهره‌برده‌ام سپاسگزارم. از استاد ارجمند جناب آقای دکتر مهدی کلثانی نژاد که در کلیه مراحل تحقیق به‌مبارزه حامی و مثل کشای کارهای من بودند، سپاسگزارم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر علی اصغری بخاطر در اختیارم قرار دادن امکانات و مشاوره‌های ارزنده و سازنده‌شان سپاسگزارم.

از بیات محترم داوران، اساتید بزرگوار و فرهیخته آقای دکتر محمد قربانی و آقای دکتر محمدی مقصود لود که زحمت بازخوانی و داوری این پایان نامه را داشتند، شکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

از تمامی دوستان عزیزم که طی دوران تحصیل کارشناسی ارشد افتخار آشنایی و بودن در کنارشان را داشته‌ام صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم.

چکیده

با توجه به ارزش تغذیه‌ای بالا و خصوصیات کاربردی میوه خرما و با در نظر گرفتن مقادیر بالای ضایعات خرما در کشور، تولید محصولی که بتواند راهکاری برای کاهش این ضایعات و افزایش جنبه های فراوری این محصول باشد، ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق امکان تولید پودر خرما از ترکیب سه ماده خرما (۴۵-۵۵ درصد)، مالتودکستروزین (نقش آنتی پلاستیسیزور) (۳۰-۴۰ درصد) و پودر آب‌پنیر (نقش آنتی پلاستیسیزور) (۱۵ تا ۲۵ درصد) در محدوده دمای ۷۰ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از طرح مرکب مخلوط در نرم‌افزار **Design expert** استفاده شد. در این بررسی ابتدا سینتیک خشک‌کردن خمیر خرما (شامل سه ترکیب فوق) در محدوده دمای مذکور مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر تولیدشده از لحاظ میزان رطوبت، دانسیته توده‌ای، درجه کیک‌ی شدن، رنگ و خصوصیات حسی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بالاترین ضریب نفوذ مربوط به نمونه خمیر خرمایی است که بالاترین میزان خرما را داشته و در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد خشک‌شده بود و پائین ترین میزان ضریب نفوذ مربوط به نمونه خمیر خرمای حاوی بیشترین میزان مالتودکستروزین بود که در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده بود. بررسی نتایج نشان داد که همبستگی نزدیکی بین نمودارهای تغییرات رطوبت و تغییرات دانسیته توده‌ای وجود دارد به طوری که پودرهای تولیدشده در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و حاوی بیشترین میزان مالتودکستروزین، دارای بالاترین مقدار رطوبت و دانسیته توده‌ای بودند. از طرفی بررسی درجه کیک‌ی شدن نشان داد که با افزایش میزان مالتودکستروزین میزان درجه کیک‌ی شدن با شدت بیشتری کاهش می‌یابد و بیشترین میزان درجه کیک‌ی شدن نیز مربوط به پودر تولیدشده با بالاترین میزان پودر آب‌پنیر است. همچنین بررسی خصوصیات رنگی نیز حاکی از افزایش میزان روشنایی پودر با افزایش میزان مالتودکستروزین بود و افزایش پودر آب‌پنیر و خرما منجر به کاهش روشنایی پودر تولیدشده گردید. بهترین پودر از لحاظ خصوصیات حسی مربوط به نمونه خشک‌شده در دمای ۷۷ درجه سانتی‌گراد و حاوی ۱۵ درصد پودر آب‌پنیر، ۴۰ درصد مالتودکستروزین و ۴۵ درصد خرما بود. بهینه‌سازی نتایج با نرم‌افزار **Design expert** نشان داد بهترین پودر تولیدشده مربوط به نمونه تولیدشده از ترکیب ۱۵ درصد پودر آب‌پنیر، ۳۷/۹۱۴ درصد مالتودکستروزین و ۴۷/۰۸۶ درصد خرما می‌باشد که در دمای ۷۷/۵ درجه سانتی‌گراد خشک‌شده باشد.

کلمات کلیدی: پودر خرما، مالتودکستروزین، پودر آب‌پنیر، نرم‌افزار **Design expert**

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| فصل اول | ۱ |
| ۱- مقدمه و کلیات..... | ۱ |
| ۱-۱- مقدمه..... | ۲ |
| ۲-۱- گیاه‌شناسی درخت خرما..... | ۲ |
| ۳-۱- مراحل رسیدگی میوه خرما..... | ۳ |
| ۱-۳-۱- مرحله حبابوک..... | ۴ |
| ۲-۳-۱- مرحله کیمری..... | ۴ |
| ۳-۳-۱- مرحله خلال..... | ۵ |
| ۴-۳-۱- مرحله رطب..... | ۵ |
| ۵-۳-۱- مرحله تمر (تمار)..... | ۵ |
| ۴-۱- آمار کشت و تولید خرما در جهان و ایران..... | ۶ |
| ۱-۴-۱- پراکنش جغرافیایی درخت خرما..... | ۶ |
| ۲-۴-۱- تولید و صادرات خرما در جهان..... | ۶ |
| ۵-۱- آمار سطح زیر کشت و تولید خرما در ایران..... | ۱۱ |
| ۶-۱- ویژگی‌های فیزیکی‌وشیمیایی میوه خرما..... | ۱۲ |
| ۷-۱- ویژگی‌های ریخت‌شناسی میوه خرما..... | ۱۲ |
| ۸-۱- خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی خرما..... | ۱۳ |
| ۱-۸-۱- PH..... | ۱۳ |
| ۲-۸-۱- اسیدیته..... | ۱۴ |
| ۳-۸-۱- محتوای رطوبت..... | ۱۴ |
| ۴-۸-۱- کربوهیدرات‌ها..... | ۱۵ |
| ۵-۸-۱- پروتئین..... | ۱۷ |

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| ۱-۸-۶- لیبید..... | ۱۷ |
| ۱-۸-۷- مواد معدنی..... | ۱۷ |
| ۱-۸-۸- ویتامین ها..... | ۱۸ |
| ۱-۸-۹- ترکیبات فنولیکی و کاروتنوئیدی..... | ۱۹ |
| ۱-۹-۹- محصولات مشتق شده از خرما..... | ۱۹ |
| ۱-۹-۱- خرمای خشک شده..... | ۲۰ |
| ۱-۹-۲- شیره خرما..... | ۲۱ |
| ۱-۹-۳- ژله خرما..... | ۲۳ |
| ۱-۹-۴- مربای خرما..... | ۲۳ |
| ۱-۹-۵- تولید مواد تخمیری..... | ۲۳ |
| ۱-۱۰- مشکلات صنعت خرمای کشور و راهکارهای آن‌ها..... | ۲۴ |
| ۱-۱۱- اهداف و فرضیه ها..... | ۲۷ |
| ۱-۱۱-۱- اهداف..... | ۲۷ |
| ۱-۱۱-۲- فرضیه ها..... | ۲۷ |
| فصل سوم..... | ۲۹ |
| ۲- سابقه تحقیق..... | ۲۹ |
| ۲-۱- تعریف پودر خرما..... | ۳۰ |
| ۲-۲- دلایل تولید پودر خرما..... | ۳۰ |
| ۲-۲-۱- افزایش زمان ماندگاری..... | ۳۰ |
| ۲-۲-۲- کاهش ضایعات..... | ۳۱ |
| ۲-۳- مزایای تولید پودر خرما..... | ۳۱ |
| ۲-۳-۱- قابلیت جایگزینی بجای شکر و استفاده در مواد غذایی دیگر..... | ۳۱ |

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| ۲-۳-۲- راحتی حمل و نقل | ۳۳ |
| ۲-۴- محدودیت‌های استفاده از خرما و شیره آن | ۳۳ |
| ۲-۵- مشکلات فنی تولید پودر خرما | ۳۳ |
| ۲-۵-۱- انواع ترکیبات استفاده‌شده برای جلوگیری از مشکل چسبندگی در طی خشک کردن خرما | ۳۵ |
| ۲-۵-۱-۱- مالتودکسترین | ۳۵ |
| ۲-۵-۱-۲- صمغ عربی | ۳۷ |
| ۲-۵-۱-۳- پروتئین ایزوله و پودر آب‌پنیر | ۳۸ |
| ۲-۶- بررسی مفاهیم انتقال جرم در طی خشک کردن خمیر خرما | ۳۹ |
| ۲-۶-۱- بررسی ضریب نفوذ رطوبت | ۴۰ |
| ۲-۶-۱-۱- نقش ضریب نفوذ آب در انتقال حرارت | ۴۰ |
| ۲-۶-۱-۲- روش‌های تعیین ضریب نفوذ در مواد غذایی | ۴۱ |
| ۲-۷- روش‌های کنترل کیفیت پودر نهایی | ۴۱ |
| ۲-۷-۱- روش‌های حسی | ۴۱ |
| ۲-۷-۲- روش‌های دستگاهی | ۴۲ |
| ۲-۷-۲-۱- روش‌های مبتنی بر پردازش تصویر | ۴۲ |
| ۲-۷-۲-۲- آنالیز رنگ | ۴۳ |
| ۲-۸- جمع بندی و بیان هدف | ۴۳ |
| فصل سوم | ۴۵ |
| ۳- مواد و روش‌ها | ۴۵ |

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| ۱-۳- مواد اولیه | ۴۶ |
| ۱-۱-۳- خرما | ۴۷ |
| ۲-۱-۳- مالتودکسترین | ۴۷ |
| ۳-۱-۳- پودر آب پنیر | ۴۷ |
| ۲-۳- تجهیزات آزمایشگاهی | ۴۸ |
| ۱-۲-۳- خشک کن | ۴۸ |
| ۳-۳- آماده سازی و خشک کردن نمونه ها | ۴۹ |
| ۴-۳- بررسی خصوصیات انتقال جرم | ۵۰ |
| ۱-۴-۳- بررسی و اندازه گیری سینتیک افت رطوبت در حین خشک شدن | ۵۰ |
| ۲-۴-۳- اندازه گیری ضریب نفوذ رطوبت | ۵۰ |
| ۵-۳- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر خرما | ۵۲ |
| ۱-۵-۳- اندازه گیری رطوبت | ۵۲ |
| ۲-۵-۳- اندازه گیری دانسیته توده ای | ۵۲ |
| ۳-۵-۳- درجه کیکی شدن | ۵۲ |
| ۴-۵-۳- پردازش تصویر پودرها | ۵۳ |
| ۱-۴-۵-۳- بررسی رنگ | ۵۳ |
| ۵-۵-۳- ارزیابی رنگ پودر | ۵۴ |
| ۶-۵-۳- ارزیابی حسی | ۵۶ |
| ۶-۳- تجزیه و تحلیل داده ها | ۵۷ |
| ۱-۶-۳- طرح کلی آزمایش ها | ۵۷ |
| فصل چهارم | ۶۰ |

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| ۴- نتایج و بحث | ۶۰ |
| ۴-۱- خصوصیات انتقال جرم آب | ۶۱ |
| ۴-۱-۱- بررسی سینتیک افت رطوبت در طی زمان خشک شدن | ۶۱ |
| ۴-۱-۲- بررسی ضریب نفوذ رطوبت | ۶۳ |
| ۴-۱-۳- تأثیر فاکتورهای مورد مطالعه بر ضریب نفوذ مؤثر | ۶۳ |
| ۴-۲- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودرهای خرما | ۷۰ |
| ۴-۲-۱- اندازه گیری رطوبت | ۷۰ |
| ۴-۲-۲- بررسی میزان کیک شدن پودرهای خرما | ۷۴ |
| ۴-۲-۳- اندازه گیری دانسیته توده ای | ۷۸ |
| ۴-۲-۴- رنگ سنجی پودرهای خرما | ۸۶ |
| ۴-۳- بررسی خصوصیات حسی پودرهای خرما | ۱۰۰ |
| ۴-۳-۱- خصوصیات حسی پودرهای خرما | ۱۰۰ |
| ۴-۴- بهینه سازی | ۱۰۱ |
| ۱۰۵ فصل پنجم | |
| ۵- نتیجه گیری | ۱۰۵ |
| ۵-۱- نتیجه گیری کلی | ۱۰۶ |
| ۵-۲- پیشنهادها | ۱۰۷ |
| ۵-۲-۱- پیشنهادهای اجرایی | ۱۰۷ |
| ۵-۲-۲- پیشنهادهای پژوهشی | ۱۰۷ |
| ۱۰۸ منابع | |

فهرست جدول‌ها

| عنوان | صفحه |
|---|---------|
| جدول ۱-۱- تغییرات میزان قندهای مختلف در مراحل رسیدگی خرما (گونه سیوی) | ۶..... |
| جدول ۲-۱- آمار تولید و سطح زیر کشت خرما در کشورهای مختلف جهان | ۷..... |
| جدول ۳-۱- بزرگ‌ترین صادرکنندگان خرما بر اساس ارزش واحد صادرات | ۸..... |
| جدول ۴-۱- بزرگ‌ترین کشورهای واردکننده میوه خرما | ۱۰..... |
| جدول ۵-۱- مهم‌ترین ارقام خرما در ایران | ۱۱..... |
| جدول ۶-۱- ویژگی‌های ریخت‌شناسی چندگونه خرما | ۱۳..... |
| جدول ۷-۱- ترکیبات شیمیایی چندگونه از خرماهای مختلف | ۱۵..... |
| جدول ۸-۱- محتوای قندی (گرم/۱۰۰ گرم وزن میوه تازه) تعدادی از گونه‌های مهم تجاری خرما در مرحله تمار | ۱۶..... |
| جدول ۹-۱- محتوای مواد معدنی تعدادی از گونه‌های خرماهای تازه (۱۰۰ گرم وزن خشک / میلی‌گرم) | ۱۸..... |
| جدول ۱۰-۱- محتوای ویتامین‌های محلول در آب تعدادی از گونه‌های معروف خرما | ۱۹..... |
| جدول ۱۱-۱- ترکیبات شیره خرما | ۲۲..... |
| جدول ۱۲-۱- مقایسه ترکیبات خرما در مرحله تمار با شیره خرما | ۲۲..... |
| جدول ۱-۲- دمای انتقال شیشه‌ای تعدادی از قندها و کربوهیدرات‌های پلیمر | ۳۴..... |
| جدول ۱-۳- مواد اولیه مورد استفاده برای تهیه خمیر خرما | ۴۶..... |
| جدول ۲-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات مورد استفاده برای تولید پودر خرما | ۴۶..... |
| جدول ۳-۳- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی آب پنیر مورد استفاده قرار گرفته در تولید پودر خرما | ۴۸..... |
| جدول ۳-۴- تنظیمات و خصوصیات دوربین برای تصویر گیری | ۵۳..... |
| جدول ۳-۵- نمونه جدول ارائه شده به ارزیابان حسی | ۵۶..... |

فهرست جدول‌ها

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| جدول ۳-۶ تیمارهای ارائه شده توسط نرم افزار MD, Design Expert: مالتودکسترین، Date: خرما، WPC: پودر آب پنیر..... | ۵۸ |
| جدول ۴-۱ مدل سازی ضریب نفوذ مؤثر | ۶۴ |
| جدول ۴-۲ مدل سازی رطوبت پودرهای خرما..... | ۷۳ |
| جدول ۴-۳ مدل سازی درجه کیکی شدن پودرهای خرما..... | ۷۷ |
| جدول ۴-۴ مدل سازی دانسیته توده ای پودرهای خرما..... | ۸۵ |
| جدول ۴-۵ مدل های پیشگویی سه شاخص اصلی رنگ (L,a,b) همراه با مقادیر R^2 و $R^2_{(adj)}$ | ۸۸ |
| جدول ۴-۶ شاخص ها و محدوده های بهینه سازی | ۱۰۱ |
| جدول ۴-۷ پارامترها و پاسخهای پیش بینی شده توسط روش Mixture combined | ۱۰۲ |

فهرست شکل‌ها

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| شکل ۱-۱- تغییرات میزان غلظت تانن در مراحل مختلف رسیدگی خرما . | ۴ |
| شکل ۱-۳- تصویر شماتیک از خشک‌کن لایه‌نازک | ۴۹ |
| شکل ۲-۳- روند تبدیل فضای رنگی با استفاده از نرم‌افزار Image J | ۵۵ |
| شکل ۳-۳. الف: تصویر پیش‌پردازش شده، ب: پارامتر *L، ج: پارامتر *a، د: پارامتر *b | ۵۶ |
| شکل ۱-۴- نمودار تغییرات محتوای رطوبت خمیر خرمای حاوی مالتودکسترین و پودر آب پنیر نسبت به زمان | ۶۲ |
| شکل ۲-۴- نمودار تغییرات محتوای رطوبت خمیر خرمای حاوی مالتودکسترین و پودر آب پنیر نسبت به زمان | ۶۲ |
| شکل ۳-۴- نمودار تغییرات محتوای رطوبت نسبت به زمان | ۶۳ |
| شکل ۴-۴- اثر ترکیبی مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت | ۶۵ |
| شکل ۵-۴- اثر ترکیب مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۷۷/۵ درجه سانتی‌گراد بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت | ۶۶ |
| شکل ۶-۴- اثر ترکیب مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد بر ضریب نفوذ مؤثر | ۶۷ |
| رطوبت | ۶۷ |
| شکل ۷-۴- تأثیر دو فاکتور خرما و مالتودکسترین و دمای فرایند بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت (پودر آب پنیر برابر با ۱۵ درصد) | ۶۸ |
| شکل ۸-۴- تأثیر دو فاکتور خرما و مالتودکسترین و دمای فرایند بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت (پودر آب پنیر برابر با ۲۰ درصد) | ۶۹ |
| شکل ۹-۴- تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و تأثیر آن بر رطوبت پودرهای خرما | ۷۱ |

فهرست شکل ها

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| شکل ۴-۱۰ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۷۷ درجه سانتی گراد و تأثیر آن بر رطوبت پودرهای خرما..... | ۷۲ |
| شکل ۴-۱۱ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد و تأثیر آن بر رطوبت پودرهای خرما..... | ۷۳ |
| شکل ۴-۱۲ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و تأثیر آن بر درجه کیکی شدن پودرهای خرما..... | ۷۵ |
| شکل ۴-۱۳ تأثیر تغییرات مقادیر مالتودکسترین، خرما و دما در مقادیر ثابت پودر آب پنیر (WPC=۱۹٪) بر درجه کیکی شدن پودرهای خرما..... | ۷۶ |
| شکل ۴-۱۴ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و تأثیر آن بر درجه کیکی شدن پودرهای خرما..... | ۷۷ |
| شکل ۴-۱۵ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و تأثیر آن بر دانسیته توده ای پودرها..... | ۷۹ |
| شکل ۴-۱۶ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۷۷/۹ درجه سانتی گراد و تأثیر آن بر دانسیته توده ای پودرها..... | ۸۰ |
| شکل ۴-۱۷ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد و تأثیر آن بر دانسیته توده ای پودرها..... | ۸۱ |
| شکل ۴-۱۸ تأثیر تغییرات مقادیر خرما، مالتودکسترین و دما در مقادیر ثابت پودر آب پنیر (WPC=۱۵٪) بر دانسیته توده ای پودرهای خرما..... | ۸۲ |
| شکل ۴-۱۹ تأثیر تغییرات مقادیر خرما، پودر آب پنیر و دما در مقادیر ثابت مالتودکسترین (MD=۳۴٪) بر دانسیته توده ای پودرهای خرما..... | ۸۳ |

فهرست شکل ها

فهرست شکل ها

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| شکل ۴-۲۰ تأثیر تغییرات مقادیر خرما، پودر آب پنیر و دما در مقادیر ثابت مالتودکسترین (MD=۳۰) بر دانسیته توده ای پودرهای خرما..... | ۸۴ |
| شکل ۴-۲۱ تأثیر تغییرات مقادیر مالتودکسترین، پودر آب پنیر و دما در مقادیر ثابت خرما (Date=۴۵) بر دانسیته توده ای پودرهای خرما..... | ۸۵ |
| شکل ۴-۲۲ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص L در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد..... | ۸۹ |
| شکل ۴-۲۳ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص L در دمای ۷۷ درجه سانتی گراد..... | ۹۰ |
| شکل ۴-۲۴ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص L در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد..... | ۹۱ |
| شکل ۴-۲۵ نمودار سه بعدی تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص L در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد..... | ۹۲ |
| شکل ۴-۲۶ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص a در دمای ۷۷ درجه سانتی گراد..... | ۹۳ |
| شکل ۴-۲۷ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص a در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد..... | ۹۴ |
| شکل ۴-۲۸ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص a در دمای ۷۷/۵ درجه سانتی گراد..... | ۹۵ |
| شکل ۴-۲۹ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص b در دمای ۷۷/۵ درجه سانتی گراد..... | ۹۶ |
| شکل ۴-۳۰ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص b در دمای ۷۷/۵ درجه سانتی گراد..... | ۹۷ |

فهرست شکل‌ها

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| ۸۵ | شکل ۳۱-۴ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص b در دمای |
| ۹۸ | درجه سانتی‌گراد..... |
| ۷۰ | شکل ۳۲-۴ تغییرات مالتودکسترین، خرما و پودر آب پنیر و تأثیر آن بر شاخص b در دمای |
| ۹۹ | درجه سانتی‌گراد..... |
| ۱۰۲ | شکل ۳۳-۴ محدوده بهینه پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار Design Expert..... |
| ۱۰۳ | شکل ۳۴-۴ نقطه بهینه معرفی شده توسط نرم‌افزار Design Expert..... |

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

نام اصلی خرما از لغت لاتین داکتیلیفرا^۱ به معنی تاریخ مشتق شده است. پژوهشگران معتقدند خرما یک میوه تاریخی زنده محسوب می‌شود (مانیکاواساگام و همکاران، ۲۰۱۲). موطن اصلی خرما را معدودی از محققین، شمال آفریقا و هندوستان دانسته ولی اکثر دانشمندان و پژوهندگان برآنند که وطن اصلی نخل خرما بین‌النهرین بوده و مردمان این سرزمین از زمان‌های کهن به کاشت و پرورش درختان خرما اشتغال داشته‌اند (محمدی و همکاران، ۱۳۸۳). قدمت رشد و پرورش درخت خرما به ۲۴۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد که این واقعت بر اساس شواهد بجای مانده از نقش و نگارهای روی دیواره غارها و سکه‌های تمدن‌های کهنی مانند سومریان، عاشوریان، بابلیان، مصریان و بعد یونانیان و رومیان فهمیده می‌شود (پروسنر، ۱۹۲۰). درخت نخل همچنین دارای ارزش مذهبی فراوانی در بین سه دین اصلی دنیا است. در اسلام، درخت خرما ۲۱ بار در قرآن کریم و ۳۰۰ بار در احادیث پیامبر اکرم ذکر شده است. به طرز مشابهی درخت خرما در ادیان مسیحیت و یهودیت دارای اهمیت ویژه‌ای است که برگزاری مرتب جشن‌هایی مانند (پاسوور^۲) و درخت نخل یکشنبه^۳ دلیل بر وجود این مدعاست (مسلمان، ۲۰۰۷).

۱-۲- گیاه‌شناسی درخت خرما

میوه خرما^۴ میوه اصلی در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی است. درخت خرما گیاهی تک‌لپه‌ای از خانواده پالماسه^۵ است. در این خانواده قریب ۲۰۰ جنس و چهار هزار گونه وجود دارد که در اغلب مناطق (به جز مناطق سرد) می‌رویند (زید، ۱۹۹۹؛ داوسون، ۱۹۸۲؛ Uhl و درانسفیلد، ۱۹۸۷). درخت خرما گیاهی دوپایه به ارتفاع ۱۵ تا ۲۵ متر است، برگ‌هایی بلند و سبزرنگ به طول چهارتا شش متر

^۱ -Dactylifera

^۲ -Passover

^۳ - Palm Sunday

^۴ Phoenix dactylifera

^۵ Palmacea

دارد که در کنار این برگ‌ها دم برگ‌هایی پرتعداد به طول ۳۰ سانتی‌متر و عرض دو سانتی‌متر مشاهده می‌شود. این درخت دارای گل‌های نر و ماده روی درختان مجزا است، میوه درخت خرما به شکل خوشه‌های بزرگ و انبوه و به رنگ قهوه‌ای تیره مایل به سیاه و دارای هسته‌ای به رنگ خاکستری کم‌رنگ است. میوه خرما بیضی‌شکل به طول سه تا هفت سانتی‌متر و دارای عرض دو تا سه سانتی‌متر هست. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پس از کشت و گذشت چهار تا هشت سال بسته به گونه خرما کشت شده درخت ۲۵ تا ۳۰ سال محصول می‌دهد. یک درخت خرماى بالغ بین ۸۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم خرما تولید می‌کند. این گیاه در نواحی بیابانی شرق آسیا و شمال آفریقا به‌خوبی با محیط خشک که مشخصه‌های اصلی آن دمای بالا و کمبود آب است سازگار شده است. به‌جز مناطق با آب‌وهوای خشک درخت نخل در کشورهای دیگری مانند آمریکا، اروپای جنوبی، آسیا، آفریقا و استرالیا هم به‌عنوان منبع تغذیه‌ای و هم به‌عنوان درخت زینتی برای زیبایی کاشت و پرورش داده می‌شود (مانیک‌اواساگام و همکاران، ۲۰۱۲).

خرما در هنگامی که هنوز به‌طور کامل نرسیده است طیف رنگی زیادی داشته و دارای رنگ قرمز روشن تا رنگ زرد روشن است.

۱-۳- مراحل رسیدگی میوه خرما

در هنگام رسیده شدن پنج مرحله شامل: حبابوک^۶، کیمری^۷، خلال^۸، رطب^۹ و تمر^{۱۰} (خرماى کاملاً رسیده و خشک‌شده در برابر نور خورشید) را طی می‌کند (زید و ایوت، ۲۰۰۲؛ مانیک‌اواساگام و همکاران، ۲۰۱۲).

⁶ Hababouk

⁷ Kimri

⁸ Khalal

⁹ Rutab

¹⁰ Tamar