**دانشکده کشاورزی**

**پایان نامه کارشناسی ارشد**
**در رشته‌ی مکانیک ماشین‌های کشاورزی**

# بهینه سازی، ارزیابی و کیفیت سنجی فرآیند خشک کردن یک محصول کروی در خشک کن ترکیبی مادون قرمز هوای گرم با بستر ارتعاشی

**مطالعه موردی: نخود فرنگی**

به کوشش:
**مریم برزگر مروستی**

استاد راهنما:
**دکتر داریوش زارع**

اسفند ماه ۱۳۹۲

**به نام خدا**

**اظهارنامه**

**اینجانب مریم برزگر مروستی (۹۰۰۰۷۱) دانشجوی رشته مهندسی کشاورزی گرایش مکانیک ماشین های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاورد های آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.**

**نام و نام خانوادگی: مریم برزگر مروستی**

**تاریخ و امضا: ۹۲/۱۲/۱۷**

به نام خدا

# بهینه سازی، ارزیابی و کیفیت سنجی فرآیند خشک کردن یک محصول کروی در خشک کن ترکیبی مادون قرمز هوای گرم با بستر ارتعاشی
## مطالعه موردی: نخود فرنگی


**به کوشش**

مریم برزگر مروستی


**پایان‌نامه**

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی
لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

**در رشته ی:**

مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

**ارزیابی شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه‌ی: عالی**

دکتر داریوش زارع، دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم (استاد راهنما) .....

دکتر علی اصغر زمردیان، استاد بخش مهندسی بیوسیستم (استاد مشاور) .....

دکتر عبدالعباس جعفری، استادیار بخش مهندسی بیوسیستم (استاد مشاور) .....

دکتر سید مهدی نصیری، استادیار بخش مهندسی بیوسیستم (داور داخلی) .....

اسفند ماه ۱۳۹۲

تقدیم به

نگاه مهربان پدر و مادر عزیزم

و

روح بلند و آسمانی دو عموی شهیدم

عباس و محمود برزگر

# سپاسگزاری

**خدای مهربان را شکرگزارم بر تمام سال های زندگیم و دانایی و توانایی که بر من ارزانی داشت. سپاسگزارم از استاد راهنمای گرامی و بزرگوار دکتر داریوش زارع که در به ثمر رسیدن این پایان نامه از هیچ کمک و راهنمایی مضایقه نکردند و اساتید مشاور گرانقدر دکتر زمردیان و دکتر جعفری و همچنین دکتر نصیری برای راهنمایی های ارزنده شان و نیز زحمات تکنسین ها و کارمندان محترم بخش مهندسی بیوسیستم و دوستان و همکلاسی های عزیز دوران ۷ سال تحصیلم در دانشگاه شیراز به ویژه آن خوبانی که در انجام مراحل پایان نامه همراهی و کمکشان قوت و دلگرمی من بود.**

# چکیده

## بهینه سازی، ارزیابی و کیفیت سنجی فرآیند خشک کردن یک محصول کروی در خشک کن ترکیبی مادون قرمز هوای گرم با بستر ارتعاشی مطالعه موردی: نخود فرنگی

به کوشش:
**مریم برزگر مروستی**

در این تحقیق از روش ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم در بستری ارتعاشی برای خشک کردن نخود فرنگی از رطوبت اولیه ۰/۵۳ ± ۷۵/۳۴٪ به رطوبت نهایی ۰/۱۴ ± ۲۰/۰۲٪ (بر پایه تر) استفاده شد. فاکتورهای آزمایشی در این تحقیق شامل دو حالت بستر مرتعش (۱۲هرتز) و بستر غیر مرتعش، چهار سطح تابش (بدون تابش، ۰/۲، ۰/۴و ۰/۹ وات بر سانتی متر مربع)، سه سطح دمای هوای خشک کننده (۳۰، ۴۰، ۵۰ درجه سلسیوس)، سه عمق قرارگیری محصول (۱، ۲ و۳ لایه) بودند. آزمایش ها در ترکیب سطوح مختلف فاکتورها در سه تکرار به منظور یافتن مدت زمان خشک شدن نخود فرنگی، درصد گردی، درصد کاهش حجم و تغییرات رنگ محصول نهایی و نیز میزان انرژی مصرفی برای خشک شدن نمونه ها انجام گرفت. از تکنیک ماشین بینایی و پردازش تصاویر برای کیفیت سنجی محصول خشک شده استفاده شد. علاوه بر این با استفاده از شبکه عصبی ۵ مدل برای پیش بینی مدت زمان خشک شدن، درصد گردی، درصد کاهش حجم، تغییرات رنگ و رطوبت محصول (پارمترهای خروجی شبکه) ارائه گردید. فرکانس ارتعاشی سینی، توان تابشی، دمای هوای ورودی، عمق و زمان خشک شدن به عنوان پارامتر های ورودی مدل بودند. نتایج نشان داد که استفاده از روش ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم در بستری ارتعاشی برای خشک کردن نخود فرنگی باعث کاهش زمان خشک شدن و انرژی مصرفی و نیز ارتقاء کیفیت محصول خشک شده از نقطه نظر فاکتورهای رنگ، درصد گردی، درصد کاهش حجم (بدون چروکیدگی) می شود. با در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت و انرژی، بهترین تیمار در حالت بستر مرتعش با دمای ۵۰ درجه سلسیوس و شدت تابش ۰/۴ وات بر سانتی متر مربع و در عمق ۳ لایه به دست آمد. نتایج نشان داد برای مدت زمان خشک شدن مدلی با ۱۱ نرون و تابع انتقال Logsig، برای درصد گردی ۱۸ نرون و تابع انتقال Logsig، برای درصد کاهش حجم ۶ نرون با تابع انتقال Tansig، برای رنگ ۱۱ نرون و تابع انتقال Tansig و در نهایت برای محتوای رطوبتی محصول ۲۵ نرون و تابع انتقال Logsig دقیق ترین پیش بینی را برای پارامترهای خشک کردن ایجاد کرد. داده های خروجی نشان داد که خطای میانگین مربعات کمتر از ۵٪ و ضریب تبیین ۹۹٪ به دست آمد که نشان می دهد شبکه عصبی ابزاری مناسب برای پیش بینی پارامترهای خشک کردن می باشد.

**کلید واژگان :** خشک کن مادون قرمز- نخود فرنگی- شبکه عصبی مصنوعی

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول: مقدمه**

۱-۱ خشک کردن و اهمیت آن ..... ۲

۱-۲ اهداف این پژوهش ..... ۴

**فصل دوم: مروری بر پژوهش های پیشین**

۲-۱ مکانیزم خشک شدن ..... ۸

۲-۲ عوامل مؤثر بر خشک کردن محصولات کشاورزی و غذایی ..... ۱۰

۲-۲-۱ دما ..... ۱۰

۲-۲-۲ سرعت جریان هوا ..... ۱۰

۲-۲-۳ خشکی هوا ..... ۱۰

۲-۲-۴ سطح آزاد محصول ..... ۱۱

۲-۲-۵ فشار هوا ..... ۱۱

۲-۲-۶ زمان حرارت دادن محصول ..... ۱۱

۲-۳ کیفیت رنگ سبز محصولات غذایی و کشاورزی در فرآیند خشک کردن ..... ۱۲

۲-۴ تکنولوژی خشک‌کردن ..... ۱۲

۲-۵ روش های نوین خشک کردن محصولات کشاورزی و غذایی ..... ۱۲

۲-۵-۱ خشک کردن به روش مایکروویو ..... ۱۳

۲-۵-۲ خشک کردن به روش اولتراسونیک ..... ۱۳

۲-۵-۳ خشک کردن به روش مادون قرمز ..... ۱۳

۲-۶ پیشینه پژوهش ..... ۱۵

**فصل سوم:مواد و روش ها**

۳-۱آزمایش های تجربی ..... ۲۴

۳-۲ نخود فرنگی ..... ۲۵

**عنوان** **صفحه**


۳-۳ ساختمان خشک‌کن و اجزای آن ..... ۲۶
۳-۳-۱ اجزای خشک کن ..... ۲۶
۳-۳-۲ دستگاه کنترل دورموتور و دستگاه کنترل کننده حرارت ..... ۲۸
۳-۳-۳ منبع توان تابشی ..... ۳۰
۳-۳-۴ بستر آزمایش ..... ۳۲
۳-۳-۵ محفظه خشک کن ..... ۳۴
۳-۳-۶ الکتروموتور و اینورتور ..... ۳۴
۳-۴عکسبرداری و پردازش تصویر ..... ۳۶
۳-۴-۱ پردازش تصاویر ..... ۳۹
۳-۴-۱-۱ ویژگی های شکل ..... ۳۹
۳-۴-۱-۲ کاهش حجم محصول ..... ۴۱
۳-۴-۱-۳ ویژگی های رنگی ..... ۴۲
۳-۵ ابزار و روش اندازه گیری کمیت ها ..... ۴۴
۳-۵-۱ اندازه گیری رطوبت محصول ..... ۴۴
۳-۵-۲ دماسنج ورطوبت سنج دیجیتالی ..... ۴۵
۳-۵-۳ دما سنج لیزری ..... ۴۶
۳-۵-۴ سرعت سنج هوا ..... ۴۷
۳-۵-۵ ترازوی دیجیتال ..... ۴۷
۳-۶ نحوه انجام آزمایش ..... ۴۸
۳-۷ سینتیک خشک کردن نخود فرنگی ..... ۵۰
۳-۸ انرژی مصرف شده در فرآیند خشک کردن نخود فرنگی در روش ترکیبی مادون قرمز-هوای گرم ..... ۵۱
۳-۹ مدلسازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ..... ۵۵
۳-۹-۱ ویژگی های شبکه عصبی مصنوعی ..... ۵۶
۳-۹-۲ مدل نرون ..... ۵۷
۳-۹-۳ الگوریتم‌های آموزش ..... ۵۹
۳-۱۰-۱ مدل شبکه عصبی ارائه شده برای مدت زمان خشک شدن نخود فرنگی ..... ۶۴
۳-۱۰-۲ مدل شبکه عصبی ارائه شده برای پیش بینی درصد کاهش حجم نخود فرنگی ..... ۶۴
۳-۱۰-۳ مدل شبکه عصبی مورد استفاده برای پیش بینی درصدگردی نخود فرنگی ..... ۶۵
۳-۱۰-۴ مدل شبکه عصبی مورد استفاده برای پیش بینی رنگ نخود فرنگی ..... ۶۵

**عنوان** **صفحه**


۳-۱۰-۵ مدل شبکه عصبی ارائه شده برای پیش بینی محتوای رطوبتی نخود فرنگی ..... ۶۵
۳-۱۱ طرح آماری ..... ۶۶

**فصل چهارم: بحث و نتایج**

۴-۱ بررسی سینتیک خشک کردن ..... ۶۸
۴-۲ بررسی خصوصیات کیفی نخود فرنگی در طی خشک شدن ..... ۸۴
۴-۲-۱خصوصیات شکلی ..... ۸۵
۴-۲-۱-۱فاکتور کاهش حجم ..... ۸۶
۴-۲-۱-۲ درصد گردی (Roundness) ..... ۹۵
۴-۳ خصوصیات رنگی ..... ۱۰۱
۴-۴ بررسی انرژی مصرف شده در خشک کن ..... ۱۰۸
۴-۵ شبکه های عصبی به دست آمده در مدلسازی نتایج پژوهش ..... ۱۱۴
۴-۵-۱ شبکه عصبی برای تخمین زمان خشک کردن نخود فرنگی ..... ۱۱۴
۴-۵-۲ شبکه مورد استفاده برای تخمین درصد کاهش حجم نخود فرنگی ..... ۱۱۶
۴-۵-۳ شبکه مورد استفاده برای تخمین درصد گردی نخود فرنگی ..... ۱۱۸
۴-۵-۴ شبکه مورد استفاده برای تخمین رنگ نخود فرنگی ..... ۱۱۹
۴-۵-۵ شبکه عصبی برای تخمین محتوای رطوبت در طول آزمایش ..... ۱۲۱

**فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات**

۵-۱ نتیجه گیری ..... ۱۲۵
۵-۱-۱ نتایج مربوط به مدت زمان خشک کردن ..... ۱۲۵
۵-۱-۲ نتایج مربوط به فاکتور کاهش حجم نخود فرنگی پس از خشک شدن ..... ۱۲۶
۵-۱-۳ نتایج مربوط به فاکتور درصد گردی نخود فرنگی پس از خشک شدن ..... ۱۲۶
۵-۱-۴ نتایج مربوط به فاکتور رنگ نخود فرنگی پس از خشک شدن ..... ۱۲۷
۵-۱-۵ نتایج مربوط به مصرف انرژی ویژه نخود فرنگی خشک شده در خشک کن
مورد استفاده ..... ۱۲۸
۵-۱-۶ نتایج مربوط به مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل داده ها ..... ۱۲۹
۵-۲ پیشنهادات ..... ۱۳۰

**عنوان** **صفحه**

**منابع**

منابع فارسی ..... ۱۳۱
منابع انگلیسی ..... ۱۳۲

# فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**


جدول۳-۱ فهرست توابع آموزشی ..... ۶۰
جدول۴-۱ تجزیه واریانس اثرات فاکتورهای آزمایشی بر زمان خشک کردن نخود فرنگی..... ۶۹
جدول۴-۲ ویژگی های شکلی نخود فرنگی تازه قبل از خشک شدن ..... ۸۵
جدول۴-۳ نتایج مربوط به درصد کاهش حجم نخود فرنگی ..... ۸۷
جدول۴-۴ تجزیه واریانس اثرات فاکتورهای آزمایشی بر درصد کاهش حجم (چروکیدگی) نخود فرنگی خشک شده ..... ۸۹
جدول ۴-۵ نتایج مربوط به درصد گردی نخود فرنگی..... ۹۵
جدول ۴-۶ تجزیه واریانس اثرات فاکتورهای آزمایشی بر درصد گردی نخود فرنگی خشک شده ..... ۹۶
جدول۴-۷ میانگین داده های مولفه های رنگی نخود فرنگی تازه ..... ۱۰۱
جدول ۴-۸ مصرف ویژه انرژی برای خشک کردن نخودفرنگی از رطوبت ۷۵٪ به ۲۰٪ بر مبنای وزن خشک در حالت بستر غیر مرتعش در خشک کن مادون قرمز- هوای گرم در سرعت ثابت هوای ورودی ۰/۵ $m.s^{-1}$ ..... ۱۱۱
جدول ۴-۹ مصرف ویژه انرژی برای خشک کردن نخودفرنگی از رطوبت ۷۵٪ به ۲۰٪ بر مبنای وزن خشک در حالت استفاده از بستر ارتعاشی در خشک کن مادون قرمز- هوای گرم در سرعت ثابت هوای ورودی ۰/۵ $m.s^{-1}$ ..... ۱۱۲
جدول ۴-۱۰ نتایج مربوط به مصرف ویژه انرژی در حالت بدون استفاده از ارتعاش بستر دانه ..... ۱۱۳
جدول ۴-۱۱ نتایج مربوط به مصرف ویژه انرژی در حالت استفاده از ارتعاش بستر دانه..... ۱۱۳
جدول ۴-۱۲ نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین مدت زمان خشک کردن در توابع مختلف ..... ۱۱۵
جدول ۴-۱۳ نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین درصدکاهش حجم نخود فرنگی در توابع مختلف ..... ۱۱۷
جدول ۴-۱۴ نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین درصد گردی نخود فرنگی در توابع مختلف ..... ۱۱۸

**عنوان** **صفحه**

جدول۴-۱۵ نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین رنگ نخود فرنگی در توابع مختلف ..... ۱۲۰
جدول۴-۱۶ نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین محتوای رطوبت در توابع
انتقال مختلف ..... ۱۲۲

# فهرست شکل ها

**عنوان** **صفحه**


شکل۲-۱ منحنی خشک شدن به صورت کیفی ..... ۹
شکل۲-۲ طیف امواج مختلف ..... ۱۴
شکل۳-۱ نمای طراحی شده دستگاه خشک کن و اجزای اصلی آن ..... ۲۷
شکل۳-۲ نمای اصلی دستگاه خشک کن واقع در کارگاه تحصیلات تکمیلی ..... ۲۸
شکل۳-۳ مدار کنترل دما و کنترل دور ..... ۲۹
شکل۳-۴ نمای کلی دستگاه کنترل دورموتور و دستگاه کنترل کننده حرارت ..... ۲۹
شکل۳-۵ نمای اصلی دستگاه کنترل دور موتور و دستگاه کنترل کننده حرارت
واقع در کارگاه تحصیلات تکمیلی ..... ۳۰
شکل۳-۶ لامپ های مورد استفاده در خشک کن برای ایجاد تابش مادون قرمز ..... ۳۱
شکل۳-۷ ارتفاع قرارگیری لامپ ها ..... ۳۱
شکل ۳-۸ تابش سنج ..... ۳۲
شکل۳-۹ بستر قرارگیری سبد های حاوی محصول در خشک کن ..... ۳۳
شکل۳-۱۰ سبد مورد استفاده در بستر خشک کن برای قرارگیری نخود فرنگی ..... ۳۳
شکل۳-۱۱ بستر و سبدهای حاوی نخود فرنگی در محفظه خشک کن ..... ۳۳
شکل۳-۱۲ پوشش خشک کن ..... ۳۴
شکل۳-۱۳ اینورتور ..... ۳۵
شکل۳-۱۴ اینورتور و الکتروموتور مورد استفاده برای ارتعاش سینی محصول در خشک کن ..... ۳۵
شکل ۳-۱۵ عکس نخودفرنگی تازه قبل از شروع خشک کردن ..... ۳۶
شکل ۳-۱۶ عکس نخودفرنگی بعد از خشک کردن در تیمار بدون ارتعاش بستر ..... ۳۶
شکل۳-۱۷ اتاقک نورپردازی برای تصویربرداری از نمونه ها ..... ۳۷
شکل۳-۱۸ لامپ های هالوژن و سکوی قرارگیری نمونه ها ..... ۳۷
شکل۳-۱۹ نمای واقعی اتاقک نورپردازی برای عکسبرداری از نمونه ها ..... ۳۸
شکل۳-۲۰ مراحل تبدیل عکس به ترتیب از رنگی به خاکستری و باینری ..... ۳۹

**عنوان** **صفحه**


شکل۳-۲۱ محاسبه گردی یک جسم ..... ۴۱
شکل۳-۲۲ ویژگی های رنگی دانه نخود فرنگی قبل از خشک کردن در فضای RGB برنامه متلب ..... ۴۳
شکل۳-۲۳ ویژگی های رنگی دانه نخود فرنگی بعد ازخشک کردن در فضای RGB برنامه متلب ..... ۴۵
شکل۳-۲۴ کوره الکتریکی مورد استفاده در آزمایش ها ..... ۴۵
شکل ۳-۲۵ دما سنج ورطوبت سنج ..... ۴۶
شکل۳-۲۶ دماسنج لیزری .....
شکل۳-۲۷ دماسنج لیزری به همراه پروب مخصوص برای اندازه گیری دمای۴۶
سطح محصول ..... ۴۷
شکل۳-۲۸ سرعت سنج هات وایر ..... ۴۸
شکل۳-۲۹ ترازوی دیجیتال مورد استفاده در آزمایش ها ..... ۵۰
شکل ۳-۳۰ بستر مورد آزمایش ..... ۵۳
شکل۳-۳۱ افزایش سطح ..... ۵۴
شکل ۳-۳۲ ناحیه زانویی ..... ۵۷
شکل ۳-۳۳ یک نرون با یک ورودی خاص بدون بایاس (چپ) و با بایاس (راست) ..... ۵۸
شکل ۳-۳۴ یک مدل نرون با R ورودی ..... ۵۸
شکل ۳-۳۵ یک مدل خلاصه شده نرون چند ورودی ..... ۶۱
شکل ۳-۳۶ تابع Logsig استفاده شده در شبکه ..... ۶۱
شکل ۳-۳۷ تابع Tansig مورد استفاده در شبکه ..... ۶۳
شکل ۳-۳۸ روابط بین ورودی و هدف در شبکه عصبی .....
شکل۴-۱ مقایسه میانگین زمان خشک کردن نخود فرنگی با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن و تقابل آن در دماهای مختلف ..... ۷۰
شکل۴-۲ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر غیر مرتعش در توان $W.cm^{-2}$ ۰/۲ و عمق ۲ لایه ..... ۷۱
شکل۴-۳ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر مرتعش در توان $W.cm^{-2}$ ۰/۲ و عمق ۲ لایه ..... ۷۱

**عنوان** **صفحه**

شکل۴-۴ مقایسه میانگین زمان خشک کردن نخود فرنگی در توان های تابشی متقاوت و دماهای مختلف ..... ۷۲
شکل۴-۵ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر غیرمرتعش در دمای $۳۰^0C$ و عمق ۳ لایه ..... ۷۳
شکل۴-۶ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر مرتعش در دمای $۳۰^0C$ و عمق ۳ لایه ..... ۷۴
شکل ۴-۷ مقایسه میانگین زمان خشک کردن نخود فرنگی با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن در تقابل با عمق لایه های نخود فرنگی در سطوح مختلف. ..... ۷۶
شکل۴-۸ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر غیر مرتعش در دمای $۳۰^0C$ و توان $۰/۹\ W.cm^{-2}$ ..... ۷۶
شکل۴-۹ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر مرتعش در دمای $۳۰^0C$ و توان $۰/۹\ W.cm^{-2}$ ..... ۷۶
شکل۴-۱۰منحنی مقایسه میانگین زمان خشک شدن در دو حالت بستر مرتعش و غیر مرتعش در دمای $۳۰\ ^0C$ و توان $۰/۹\ W.cm^{-2}$ و عمق ۱ لایه ..... ۷۷
شکل۴-۱۱ منحنی مقایسه میانگین زمان خشک شدن در دو حالت بستر مرتعش و غیر مرتعش در دمای $۳۰\ ^0C$ و توان $۰/۹\ W.cm^{-2}$ و عمق ۳ لایه ..... ۷۷
شکل۴-۱۲ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر غیر مرتعش در دمای $۵۰^0C$ و توان $۰/۴\ W.cm^{-2}$ ..... ۷۸
شکل۴-۱۳ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر مرتعش در دمای $۵۰^0C$ و توان $۰/۴\ W.cm^{-2}$ ..... ۷۸
شکل ۴-۱۴ مقایسه میانگین زمان خشک کردن نخود فرنگی در سطوح مختلف دمای هوای خشک کننده و شدت تابش های متفاوت ..... ۷۹
شکل۴-۱۵ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بسترغیر مرتعش در توان صفر و عمق ۱ لایه ..... ۸۱
شکل۴-۱۶ منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط بستر مرتعش در توان صفر و عمق ۱ لایه ..... ۸۱
شکل۴-۱۷ منحنی مقایسه میانگین زمان خشک شدن در دو حالت بستر مرتعش و غیر مرتعش در دمای $۳۰\ ^0C$ و عمق ۱لایه ..... ۸۲

**عنوان** **صفحه**

شکل۴-۱۸ منحنی مقایسه میانگین زمان خشک شدن در دو حالت بستر مرتعش و غیر مرتعش در دمای $^0C$ ۳۰ و عمق ۳ لایه ..... ۸۲
شکل ۴-۱۹ مقایسه میانگین زمان خشک کردن در دماهای ورودی مختلف و عمق محصول ..... ۸۳
شکل ۴-۲۰ مقایسه میانگین زمان خشک کردن در شدت تابش های مختلف و عمق محصول ..... ۸۴
شکل۴-۲۱ سبد نخود فرنگی تازه قبل از خشک شدن ..... ۸۶
شکل۴-۲۲ نخودفرنگی خشک شده ..... ۸۸
شکل۴-۲۳ نخود فرنگی خشک شده بدون استفاده از بستر ارتعاشی ..... ۸۸
شکل۴-۲۴ نخود فرنگی خشک شده با استفاده از بستر ارتعاشی ..... ۸۸
شکل۴-۲۵ مقایسه میانگین درصد کاهش حجم نخود فرنگی درخشک شدن با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن و تقابل آن در شدت تابش های مختلف ..... ۹۰
شکل۴-۲۶ مقایسه میانگین درصد کاهش حجم نخود فرنگی در خشک شدن با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن و تقابل آن در دماهای مختلف ..... ۹۲
شکل۴-۲۷ مقایسه میانگین درصد کاهش حجم دانه های خشک شده نخود فرنگی با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن و تقابل آن در عمق های مختلف ..... ۹۳
شکل۴-۲۸ مقایسه میانگین درصد کاهش حجم دانه های خشک شده نخود فرنگی با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن و اثر متقابل دماهای مختلف و سطوح متفاوت شدت تابش ..... ۹۴
شکل۴-۲۹ مقایسه گردی نخود فرنگی خشک شده ..... ۹۶
شکل۴-۳۰ مقایسه میانگین درصد گردی نخود فرنگی در خشک شدن با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن و تقابل آن در دماهای مختلف ..... ۹۷
شکل۴-۳۱ مقایسه میانگین درصد گردی نخود فرنگی درخشک شدن با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن و تقابل آن در شدت تابش های مختلف ..... ۹۸
شکل۴-۳۲ مقایسه میانگین درصد گردی نخود فرنگی در خشک شدن با استفاده از فرکانس ارتعاشی سینی و عدم استفاده از آن و تقابل آن در عمق های مختلف ..... ۱۰۰
شکل۴-۳۳ مقایسه مقادیر رنگیRGB در سطوح تابشی و دمایی مختلف در عمق یک لایه در بستر غیر مرتعش ..... ۱۰۳
شکل۴-۳۴ مقایسه مقادیر رنگیRGB در سطوح تابشی و دمایی مختلف در عمق یک لایه در بستر مرتعش ..... ۱۰۳

شکل۴-۳۵ مقایسه مقادیر رنگی L*a*b در سطوح تابشی و دمایی مختلف در عمق یک لایه در بسترغیر مرتعش ..... ۱۰۵
شکل۴-۳۶ مقایسه مقادیر رنگی L*a*b در سطوح تابشی و دمایی مختلف در عمق یک لایـه در بستر مرتعش ..... ۱۰۵
شکل ۴-۳۷ دمای ۳۰ و شدت تابش های $W.cm^{-2}$ صفر،۰/۲، ۰/۴ ، ۰/۹ در بستر غیر مرتعش ..... ۱۰۶
شکل ۴-۳۸ دمای ۴۰ و شدت تابش های $W.cm^{-2}$ صفر،۰/۲، ۰/۴ ، ۰/۹ در بستر غیر مرتعش ..... ۱۰۶
شکل ۴-۳۹ دمای ۵۰ و شدت تابش های $W.cm^{-2}$ صفر،۰/۲، ۰/۴ ، ۰/۹ در بستر غیر مرتعش ..... ۱۰۶
شکل ۴-۴۰ دمای ۳۰ و شدت تابش های $W.cm^{-2}$ صفر،۰/۲، ۰/۴ ، ۰/۹ در بستر مرتعش ..... ۱۰۶
شکل ۴-۴۱ دمای ۴۰ و شدت تابش های $W.cm^{-2}$ صفر،۰/۲، ۰/۴ ، ۰/۹ در بستر مرتعش ..... ۱۰۶
شکل ۴-۴۲ دمای ۵۰ و شدت تابش های $W.cm^{-2}$ صفر،۰/۲، ۰/۴ ، ۰/۹ در بستر مرتعش ..... ۱۰۶
شکل ۴-۴۳ مقایسه رنگ در فضای RGB درسطوح مختلف عمق در دمای $40^0C$ و شدت تابش $W.cm^{-2}$ ۰/۴ در بستر مرتعش و غیر مرتعش ..... ۱۰۷
شکل ۴-۴۴ مقایسه رنگ در فضای L*a*b درسوطح مختلف عمق در دمای $^0C$ ۴۰ و شدت تابش $W.cm^{-2}$ ۰/۴ در بستر مرتعش و غیر مرتعش ..... ۱۰۸
شکل ۴-۴۵ نمودار مربوط به تخمین زمان خشک کردن و رسیدن به کمترین خطا ..... ۱۱۵
شکل ۴-۴۶ خروجی شبکه عصبی ۱-۱۱-۴ برای تخمین زمان خشک شدن ..... ۱۱۶
شکل۴-۴۷ مقایسه داده های آزمایشگاهی با داده های پیش بینی شده توسـط شـبکه عصـبی مصنوعی برای تخمین درصد کاهش حجم نخود فرنگی ..... ۱۱۷
شکل۴-۴۸ نمودار مربوط به تخمین درصد گردی نخود فرنگی و رسیدن به کمترین خطا ..... ۱۱۸
شکل۴-۴۹ مقایسه داده های آزمایشگاهی با داده های پیش بینی شده توسـط شـبکه عصـبی مصنوعی برای تخمین درصد گردی نخود فرنگی ..... ۱۱۹
شکل ۴-۵۰ نمودار مربوط به تخمین مولفه های رنگی نخود فرنگی و رسیدن به کمترین خطا ..... ۱۲۰
شکل۴-۵۱ مقایسه داده های آزمایشگاهی با داده های پیش بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین مولفه های رنگ نخود فرنگی ..... ۱۲۱
شکل ۴-۵۲ نمودار مربوط به تخمین محتوای رطوبت و رسیدن به کمترین خطا ..... ۱۲۲

شکل ۴-۵۳ مقایسه داده های آزمایشگاهی با داده های پیش بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین محتوای رطوبت نخودفرنگی در طی آزمایش ..... ۱۲۳