دانشکده کشاورزی

بخش مکانیک ماشین های کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی

بررسی آزمایشگاهی و تدوین مدل شبکه عصبی خشک کردن لایه نازک شلتوک در روش ترکیبی مادون قرمز–هوای گرم

توسط

حسین نادری

استاد راهنما

دکتر داریوش زارع

بهمن ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظـهـارنـامـه

اینجانب حسین نادری (۸۸۱۲۱۲) دانشجوی رشته‌ی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: حسین نادری

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۰/۱۱/۱۹

به نام خدا

بررسی آزمایشگاهی و تدوین مدل شبکه عصبی خشک کردن لایه نازک شلتوک در روش ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم

به وسیله ی:

حسین نادری

پایان‌نامه

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

در رشته:

مکانیک ماشینهای کشاورزی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته پایان‌نامه با درجه‌ی: عالی

دکتر داریوش زارع، استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی (استاد راهنما).....

دکتر علی اصغر زمردیان، دانشیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی (مشاور) .....

دکتر سید مهدی نصیری، استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی (مشاور) .....

دکتر عبدالعباس جعفری، استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی (مشاور) .....

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدرم که مسیر سربلندی را به شیواترین روش به من آموخت

مادرم که مهرش در دلم گرامی و مقدس است

برادر و **خواهران** مهربان و عزیزم

سپاسگزاری

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند و سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب

"من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّ و جلّ: "

ازپدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم، که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر داریوش زارع که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند. از اساتید صبور و دلسوز ، جناب آقای دکتر علی زمردیان، دکتر سیدمهدی نصیری و دکتر عبدالعباس جعفری که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید. مدیون بسیاری از دوستان عزیزی هستم که در این دوره تحصیلی حضور و یاری ایشان برایم قوت قلب بود. آقایان سینا ساغری، محسن علیپور، احسان تاتار، فخرالدین نوری، جلیل نژادی، نجات صادقی و علی اکبر غفرانی؛ و درود من به همه آنانی که بودند و هستند و از یادشان غافل ماندم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

بررسی آزمایشگاهی وتدوین مدل شبکه عصبی خشک کردن لایه نازک شلتوک در روش ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم

به کوشش

حسین نادری

برنج یکی از محصولات غذایی مهم دنیا محسوب می شود که در تولید سالانه به عنوان دومین محصول بعد از گندم قرار دارد. کیفیت و انرژی مصرف شده در فرآیند خشک کردن عمدتا وابسته به روش خشک کردن می باشد. در این تحقیق از روش ترکیبی مادون قرمز- هوای گرم برای خشک کردن لایه نازک شلتوک از رطوبت اولیه ۰/۵ ± ۲۵٪ به رطوبت نهایی۰/۵ ± ۱۲٪ (وزن خشک) استفاده شد. فاکتورهای آزمایشی شامل توان تابشی (صفر، ۰/۲، ۰/۴و ۰/۶ وات برسانتیمتر مربع)، دمای هوای خشک کننده (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) و سرعت هوای خشک کننده (۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ متر برثانیه) بودند. آزمایش ها در ترکیب سطوح مختلف فاکتورها در سه تکرار به منظور یافتن مدت زمان خشک شدن شلتوک، درصد ترک دانه، نیروی لازم برای شکست دانه و انرژی لازم برای خشک شدن نمونه ها انجام گرفت. علاوه براین با استفاده از شبکه عصبی مدل مناسبی برای پیش بینی مدت زمان خشک شدن، درصد ترک محصول و تغییرات رطوبت محصول (پارمترهای خروجی شبکه) ارائه گردید. توان تابشی، دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی به عنوان پارامتر های ورودی مدل بودند. مدل شبکه عصبی با دو لایه پنهان و تعداد نرون های مختلف برای بررسی تاثیر توابع انتقال و توابع آموزشی استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تابش و دمای هوای خشک کننده، مدت زمان خشک شدن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد در حالی که درصد ترک‌ها با افزایش سرعت هوا کاهش یافت. قابل ذکر است که با افزایش سرعت هوا در توان ۰/۶ وات بر سانتی مترمربع زمان خشک شدن به طور معناداری افزایش پیدا کرد. با در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت و انرژی، بهترین تیمار با توان $W.cm^{-2}$ ۰/۲، دمای ^{0}C ۳۰ و سرعت $m.s^{-1}$ ۰/۲ می باشد. نتایج نشان داد برای مدت زمان خشک شدن ۱۰ و۱۴ نرون در دو لایه پنهان و تابع آموزشی Trainscg ، برای میزان ترک محصول ۱۰ و۱۰ نرون در دو لایه پنهان و تابع آموزش Trainscg و در نهایت برای محتوای رطوبتی محصول ۸ و ۱۴ نرون در دو لایه پنهان و تابع آموزش Trainlm دقیق ترین پیش بینی را برای پارامترهای خشک کردن ایجاد کرد. داده های خروجی نشان داد که خطای میانگین مربعات (MSE) کمتر از ۵٪ و ضریب تبیین (R^2) ۹۹٪ بدست آمد که نشان می دهد شبکه عصبی ابزاری مناسب برای پیش بینی پارامترهای خشک کردن می باشد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱

مقدمه و هدف ۱

۱-۱-کلیات ۲

۱-۲- طرح مسئله ۵

۱-۳- اهداف این پژوهش ۶

فصل دوم ۷

پیشینه تحقیق ۷

۲-۱-اهمیت خشک کردن ۸

۲-۲-تئوری خشک کردن از لحاظ فیزیکی ۸

۲-۳-روش های انتقال حرارت ۹

۲-۳-۱-انتقال حرارت از طریق هدایت ۹

۲-۳-۲-انتقال حرارت از طریق جابجایی ۹

۲-۳-۳- انتقال حرارت از طریق تابشی ۹

۲-۴-مکانیزم خشک کردن ۹

۲-۵-انواع خشک کن ها ۱۱

۲-۵-۱- خشک کن های ناپیوسته ۱۲

۲-۵-۱-۱- خشک کن سینی دار یا کابینتی ۱۲

۲-۵-۱-۲- خشک کن پاششی ۱۳

۲-۵-۱-۳- خشک کن انجمادی ۱۴

۲-۵-۱-۴- خشک کن خورشیدی ۱۵

۲-۵-۲- خشک کن های پیوسته ۱۶

۲-۵-۲-۱- خشک کن دوار(چرخشی) ۱۶

۲-۵-۲-۲- خشک کن تونلی ۱۷

۲-۵-۲-۳- خشک کن استوانه ای(غلتکی) ۱۸

۲-۵-۲-۴- خشک کن های پنوماتیکی ۱۹

۲-۶- خشک کردن به روش مادون قرمز ۲۰

۲-۷- مفهوم شبکه های عصبی مصنوعی ۲۲

۲-۸- ویژگی های شبکه عصبی مصنوعی ۲۳

۲-۹- مدل نرون ۲۴

۲-۱۰- شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) ۲۷

۲-۱۱- الگوریتمهای آموزش ۲۸

۲-۱۲- مروری بر پژوهش های پیشین ۳۰

فصل سوم ۳۷

مواد و روش ها ۳۷

۳-۱- تهیه شلتوک ۳۸

۳-۲- ساختمان خشک‌کن مقیاس آزمایشگاهی و اجزای آن ۳۸

۳-۳- دستگاه کنترل دورموتور و دستگاه کنترل کننده حرارت به کار برده شده در آزمایشات ۳۹

۳-۴- منبع توان تابشی ۴۰

۳-۵ - بستر آزمایش ۴۲

۳-۶- اندازه گیری رطوبت محصول ۴۳

۳-۷- ابزار اندازه گیری ۴۴

۳-۷-۱- دماسنج ورطوبت سنج دیجیتالی ۴۴

۳-۷-۲- دما سنج لیزری ۴۵

۳-۷-۳- سرعت سنج هوا ۴۵

۳-۷-۴- ترازوی دیجیتال ۴۶

۳-۸- سینتیک خشک کردن شلتوک ۴۷

۳-۹- مراحل انجام آزمایش های خشک کردن ۴۹

۳-۱۰- اندازه گیری ترک دانه های شلتوک ۵۰

۳-۱۱- اندازه گیری میزان نیروی لازم برای شکست دانه ها ۵۱

۳-۱۲- انرژی مصرف شده در فرآیند خشک کردن شلتوک در روش ترکیبی مادون قرمز_ هوای گرم ۵۴

۳-۱۳- طرح آماری:..... ۵۷

۳-۱۴- استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین مدت زمان مورد نیاز برای خشک کردن محصولات..... ۵۸

۳-۱۵- مدل شبکه عصبی ارائه شده برای مدت زمان خشک شدن شلتوک..... ۶۰

۳-۱۶- استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی میزان ترک در شلتوک..... ۶۲

۳-۱۶-۱- مدل شبکه عصبی ارائه شده برای میزان ترک شلتوک..... ۶۳

۳-۱۷- مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده برای پیش بینی نیروی شکست دانه ۶۴

۳-۱۸- مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده برای تخمین مقدار رطوبت شلتوک ۶۴

فصل چهارم ۶۵

نتایج و بحث..... ۶۵

۴-۱- بررسی سینتیک خشک کردن..... ۶۶

۴-۲- تاثیر شرایط مختلف بر ترک دار شدن دانه شلتوک..... ۷۶

۴-۳- تاثیر شرایط مختلف خشک کردن بر میزان نیروی شکست دانه..... ۸۰

۴-۴- بررسی انرژی مصرف شده در خشک کن..... ۸۵

۴-۵- شبکه های عصبی..... ۹۰

۴-۵-۱- شبکه عصبی برای تخمین زمان خشک کردن شلتوک..... ۹۱

۴-۵-۲- شبکه مورد استفاده برای تخمین درصد ترک در دانه شلتوک..... ۹۳

۴-۵-۳- شبکه مورد استفاده برای تخمین میزان نیروی شکست در دانه شلتوک ۹۴

۴-۵-۴- شبکه عصبی برای تخمین مقدار رطوبت در طول آزمایش ۹۶

فصل پنجم ۹۹

نتیجه گیری و پییشنهادها ۹۹

۵-۱- نتیجه گیری ۱۰۰

۵-۲- پیشنهادها ۱۰۱

ضمیمه ۱۰۲

منابع ۱۰۴

فهرست جداول

جدول صفحه

جدول۲-۱. فهرست توابع آموزشی..... ۳۰

جدول۳-۱. مشخصات لود سل..... ۵۲

جدول ۴-۱. تجزیه واریانس زمان خشک کردن شلتوک ها..... ۶۷

جدول۴-۲. بررسی برهمکنش توان تابشی و دمای هوای ورودی روی زمان خشک کردن(توکی در سطح ۱٪)..... ۶۸

جدول۴-۳. بررسی برهمکنش توان تابشی و سرعت روی زمان خشک کردن(توکی در سطح ۱٪ .۷۵

جدول ۴-۴. تجزیه واریانس درصد ترک دانه ها..... ۷۷

جدول۴-۵. بررسی برهمکنش توان و دما روی میزان ترک (توکی در سطح ۱٪)..... ۷۸

جدول ۴-۶. تجزیه واریانس نیروی شکست دانه ها..... ۸۱

جدول۴-۷. بررسی برهمکنش توان و دما روی نیروی لازم برای شکست (توکی در سطح ۱٪)..... ۸۲

جدول ۴-۸. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ ۰/۶ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۲..... ۸۶

جدول ۴-۹. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ ۰/۴ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۲..... ۸۶

جدول ۴-۱۰. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ ۰/۲ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۲..... ۸۶

جدول ۴-۱۱. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ صفر و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۲ ..... ۸۷

جدول ۴-۱۲. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ ۰/۶ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۱۵ ..... ۸۷

جدول۴-۳ . مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ ۰/۴ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۱۵ ..... ۸۷

جدول ۴-۱۴. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ ۰/۲ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۱۵ ..... ۸۸

جدول ۴-۱۵. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان W.CM-2 صفر و سرعت هوای ورودی M.S-1 ۰/۱۵ ..... ۸۸

جدول ۴-۱۶. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ ۰/۶ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۱ ..... ۸۸

جدول ۴-۱۷. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ ۰/۴ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۱ ..... ۸۸

جدول ۴-۱۸. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان W/CM^2 ۰/۲ و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۱ ..... ۸۹

جدول ۴-۱۹. مصرف انرژی مخصوص در خشک کن در سطوح دمایی مختلف و توان $W.CM^{-2}$ صفر و سرعت هوای ورودی $M.S^{-1}$ ۰/۱ ..... ۸۹

جدول ۴-۲۰. نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین مدت زمان خشک کردن در توابع مختلف ۹۱

جدول ۴-۲۱. نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین میزان درصد ترک در توابع مختلف ۹۳

جدول ۴-۱۸. نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین نیروی شکست در توابع انتقال مختلف ۹۵

جدول۴-۲۲. نتایج مربوط به شبکه عصبی برای تخمین مقدار رطوبت در توابع انتقال مختلف .. ۹۶

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. منحنی خشک شدن به صورت کیفی ۱۰

شکل۲-۲. خشک کن نوع کابینتی ۱۳

شکل۲-۳. خشک کن پاششی ۱۴

شکل۲-۴. خشک کن انجمادی ۱۵

شکل۲-۵. خشک کن خورشیدی ۱۶

شکل ۲-۶. خشک کن دوار ۱۷

شکل۲-۷. خشک کن تونلی ۱۸

شکل۲-۸. خشک کن استوانه ای ۱۹

شکل۲-۹. خشک کن نوع پنوماتیکی ۱۹

شکل۲-۱۰. طیف الکترومغناطیس ۲۱

شکل ۲-۱۱. روابط بین ورودی و هدف در شبکه عصبی ۲۲

شکل ۲-۱۲. یک نرون با یک ورودی خاص بدون بایاس (چپ) و با بایاس (راست) ۲۴

شکل ۲-۱۳. یک مدل نرون با R ورودی ۲۵

شکل ۲-۱۴. یک مدل خلاصه شده نرون چند ورودی ۲۶

شکل ۳-۱. نمای خشک‌کن آزمایشگاهی ۳۹

شکل ۳-۲. مدار کنترل دما و کنترل دور ۴۰

شکل ۳-۳. لامپ های مورد استفاده بر روی محصول برای ایجاد تابش مادون قرمز ۴۱

شکل ۳-۴ . تابش سنج ۴۲

شکل ۳-۵ بستر مورد استفاده در آزمایشات ۴۲

شکل ۳-۶ .کوره الکتریکی مورد استفاده در آزمایشات ۴۴

شکل ۳-۷ . دما سنج ورطوبت سنج ۴۴

شکل ۳-۸. دماسنج لیزری ۴۵

شکل ۳-۹. سرعت سنج هات وایر ۴۶

شکل ۳-۱۰ . ترازوی دیجیتال مورد استفاده در آزمایش ها ۴۷

شکل ۳-۱۱. دستگاه ترک بین ۵۰

شکل ۳-۱۲. شماتیک فک ، دانه برنج و پایه تکیه گاه ۵۲

شکل ۳-۱۳. لودسل و فک بارگذاری ۵۳

شکل ۳-۱۴. دستگاه اینستران به همراه سیستم ثبت داده ۵۳

شکل ۳-۱۵. افزایش سطح ۵۶

شکل ۳-۱۶. ناحیه زانویی ۵۶

شکل ۳-۱۷. تابع TANSIG مورد استفاده در شبکه.....۶۱

شکل ۳-۱۸. نمایی از مدل شبکه عصبی مورد استفاده برای تعیین مدت زمان خشک شدن.....۶۲

شکل ۳-۱۹. تابع LOGSIG استفاده شده در شبکه.....۶۳

شکل ۳-۲۰. نمایی از مدل شبکه عصبی مورد استفاده برای تعیین مدت زمان خشک شدن.....۶۴

شکل ۴-۱. مقایسه میانگین زمان خشک کردن در توان های تابشی متقاوت و دماهای مختلف با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ، حروف مشابه در نمودار نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری می باشد.....۶۷

شکل ۴-۲. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $W.CM^{-2}$ ۰/۶ وسرعت $M.S^{-1}$ ۰/۱....۷۰

شکل ۴-۳. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $W.CM^{-2}$ ۰/۶ و سرعت $M.S^{-1}$ ۰/۱۵ .....۷۰

شکل ۴-۴. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $W.CM^{-2}$ ۰/۶ و سرعت $M.S^{-1}$ ۰/۲ .....۷۱

شکل ۴-۵. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $W.CM^{-2}$ ۰/۴ و سرعت $M.S^{-1}$ ۰/۱.۷۱

شکل ۴-۶. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $W.CM^{-2}$ ۰/۴ و سرعت $M.S^{-1}$ ۰/۱۵.....۷۲

شکل ۴-۷. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $W.CM^{-2}$ ۰/۴ و سرعت $M.S^{-1}$ ۰/۲ .....۷۲

شکل ۴-۸. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $W.CM^{-2}$ ۰/۲ و سرعت $M.S^{-1}$ ۰/۲ .....۷۳

شکل ۴-۱۰. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان $0/2 W.CM^{-2}$ و سرعت $0/1 M.S^{-1}$ ۷۳

شکل ۴-۱۱. منحنی محتوای رطوبتی - زمان برای شرایط توان صفر و سرعت $0/2 M.S^{-1}$ ۷۴

شکل ۴-۱۲. مقایسه میانگین زمان خشک کردن در توان های تابشی متقاوت و سرعت های مختلف با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ۷۵

شکل ۴-۱۳. مقایسه میانگین میزان درصد ترک در توان های تابشی متقاوت و دماهای مختلف با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ۷۸

شکل۴-۱۴. مقایسه میانگین ترک دانه های خشک شده به روش ترکیبی ماون قرمز - جریان هوایگرم با جریان هوای گرم به تنهایی در سرعت های مختلف دردمای ۵۰ درجه سلسیوس با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ۷۹

شکل۴-۱۵. مقایسه میانگین نیروی شکست دانه های خشک شده به روش ترکیبی ماون قرمز - جریان هوای گرم با جریان هوای گرم به تنهایی در دما های مختلف با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ۸۲

شکل۴-۱۶. مقایسه میانگین نیروی شکست دانه های خشک شده به روش ترکیبی ماون قرمز و جریان هوای گرم با جریان هوای گرم به تنهایی در توان های مختلف در دمای $50\ ^0C$ با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ۸۳

شکل۴-۱۷ . مقایسه میانگین نیروی شکست دانه های خشک شده به روش ترکیبی ماون قرمز - جریان هوای گرم با جریان هوای گرم به تنهایی در توان های مختلف در دمای $30\ OC$ با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ۸۴

شکل۴-۱۸. مقایسه میانگین انرژی خشک کردن در توان های تابشی متقاوت و دماهای مختلف با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ۹۰

شکل ۴-۱۹. نمودار مربوط به تخمین زمان خشک کردن و رسیدن به کمترین خطا..... ۹۲

شکل ۴-۲۰. خروجی شبکه عصبی ۱ -۱۴-۱۰-۳ برای تخمین زمان خشک شدن..... ۹۲

شکل۴-۲۲. مقایسه داده های آزمایشگاهی با داده های پیش بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین میزان نیروی شکست دانه ها..... ۹۵

شکل ۴-۲۳. نمودار مربوط به تخمین مقدار رطوبت و رسیدن به کمترین خطا..... ۹۷

شکل ۴-۲۴. مقایسه داده های آزمایشگاهی با داده های پیش بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین میزان مقدار رطوبت دانه ها..... ۹۷

شکل ۴-۲۵. مقایسه داده های آزمایشگاهی با داده های پیش بینی شده برای تخمین محتوای رطوبت در توان ۰/۶ $W.CM^{-2}$و سرعت ۰/۱۵ $M.S^{-1}$ در دمای 40^0C..... ۹۸