بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

۹۳۲۱۲۹۲

گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون

پایان نامه جهت اخذ کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی

عنوان:

بررسی فرآیند خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی در شرایط تلفیقی خلاء و گرمایشی مادون قرمز و مدل‌سازی آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

استاد راهنما:

دکتر محمد جواد شیخ داودی

استاد مشاور:

دکتر سید مجید سجادیه

نگارنده:

نگار حافظی

آبان ماه سال ۱۳۹۳

تقدیم به:

پدر فداکار و مادر دلسوزم

که همواره مشوق تحصیلم بوده اند

و دلگرمی های آنان سختی راه را برایم آسان

و ترنم محبت آنان امید به آینده را در وجودم زنده نموده است

با تمام وجودم از زحمات آنان قدردانی نموده و به وجود پر مهرشان افتخار می کنم.

و نیز به برادر و خواهر نازنینم

که با هم آغاز کردیم، در کنار هم آموختیم و به امید هم به آینده چشم می دوزیم.

قلبم لبریز از عشق به شماست و خوشبختی تان منتهای آرزویم.

تقدیر و تشکر

اکنون که به لطف پروردگار مراحل تدوین و نگارش این پایان نامه به اتمام رسیده است بر خود لازم می دانم که از تمامی عزیزانی که در این راه مرا یاری نموده اند قدردانی نمایم:

از استاد فرزانه و فرهیخته ام جناب آقای دکتر محمد جواد شیخ داودی به خاطر راهنمایی های ارزشمندشان کمال تشکر را دارم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر سید مجید سجادیه به دلیل یاری ها و مشاوره های بی چشمداشت ایشان که بسیاری از سختی ها را برایم آسانتر نمودند، قدردانی می نمایم.

همچنین از زحمات استاد محترم جناب آقای دکتر محمد اسماعیل خراسانی فردوانی که در طول این مدت نهایت همکاری را با اینجانب داشته اند سپاسگزاری می کنم.

از مدیریت محترم گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون جناب آقای دکتر هوشنگ بهرامی و سایر اساتید و کارکنان محترم گروه، بسیار سپاسگزارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده فارسی ۱

فصل اول: مقدمه و هدف

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۱-۱- بیان مسئله ۳

۱-۱-۲- اهمیت و ضرورت تحقیق ۵

۱-۲- فرضیه‌ها و اهداف مطالعه ۷

۱-۲-۱- فرضیه‌ها ۷

۱-۲-۲- اهداف ۷

فصل دوم: مروری بر منابع موجود

۲-۱- سیب‌زمینی ۹

۲-۱-۱- سیب‌زمینی رقم مارفونا همدان ۱۳

۲-۲- خشک کردن ۱۳

۲-۲-۱- خشک کردن تحت خلأ ۱۴

۲-۲-۲- خشک کردن با مادون قرمز ۱۵

۲-۳- مدل‌سازی خشک کردن ۱۸

۲-۳-۱- برازش داده‌های آزمایشی با مدل‌های تجربی ۱۹

۲-۴- شبکه عصبی مصنوعی ۲۱

۲-۴-۱- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه ۲۳

۲-۴-۲- روش‌های آموزش در شبکه‌های پرسپترون چند لایه ۲۴

۲-۵- مطالعات مشابه در جهان و ایران ۲۵

۲-۵-۱- مطالعات انجام شده در زمینه خشک کردن با مادون قرمز و خلأ ۲۵

۲-۵-۲- مطالعات انجام شده در زمینه شاخص‌های کیفی فرآیند خشک کردن ۳۱

۲-۵-۳- مطالعات انجام شده در رابطه با نرخ (آهنگ) خشک شدن ۳۹

۲-۵-۴- مطالعات انجام شده در زمینه مصرف انرژی طی فرآیند خشک کردن ۴۱
۲-۵-۵- مطالعات انجام شده در زمینه مدل‌سازی ریاضی و عصبی فرآیند خشک کردن ۴۷

فصل سوم: مواد و روش‌کار

۳-۱- تهیه نمونه آزمایشی ۵۳
۳-۲- تعیین رطوبت اولیه نمونه‌ها ۵۳
۳-۳- خشک‌کن آزمایشگاهی و تجهیزات مورد استفاده ۵۳
۳-۴- آماده‌سازی دستگاه خشک‌کن برای آزمایش ۵۶
۳-۵- آماده‌سازی محصول برای انجام آزمایش‌ها ۵۹
۳-۶- سطوح آزمایشی ۶۱
۳-۷- تجزیه و تحلیل آماری ۶۱
۳-۸- طراحی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ۶۲
۳-۸-۱- فرآیند یادگیری و انتخاب بهترین تابع عملکرد شبکه ۶۶
۳-۸-۲- نرمالیزه کردن داده‌های آزمایشی ۶۸
۳-۸-۳- فلوچارت اجرای شبکه عصبی مصنوعی ۶۸
۳-۹- تعیین نسبت باز جذب آب ۶۹
۳-۱۰- تعیین میزان چروکیدگی ۷۰
۳-۱۰-۱- ارزیابی چروکیدگی با حلال ۷۰
۳-۱۰-۲- ارزیابی چروکیدگی با پردازش تصویر ۷۳
۳-۱۰-۳- کنترل شرایط عکس‌برداری ۷۵
۳-۱۱- ارزیابی رنگ محصول با پردازش تصویر ۷۶
۳-۱۲- تعیین نرخ خشک شدن ۷۸
۳-۱۳- ارزیابی مصرف انرژی فرآیند خشک کردن ۷۹
۳-۱۳-۱- برآورد انرژی مصرفی خشک کردن به روش مادون قرمز- خلأ ۷۹
۳-۱۳-۲- برآورد مصرف انرژی ویژه به ازای یک کیلوگرم ماده خشک ۸۰
۳-۱۳-۳- تعیین راندمان حرارتی خشک کردن به روش مادون قرمز- خلأ ۸۱

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- تاثیر ضخامت ورقه، میزان فشار مطلق، توان لامپ مادون قرمز، محتوای رطوبتی و اثرات متقابل آن‌ها بر مدت زمان لازم برای فرآیند خشک کردن ۸۴

۴-۲- مدل رگرسیونی پیش‌بینی مدت زمان لازم برای خشک کردن سیب‌زمینی با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و XLSTAT ۸۷

۴-۳- مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی مدت زمان لازم برای خشک کردن سیب‌زمینی با استفاده از نرم‌افزار متلب ۸۸

۴-۴- مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی نسبت رطوبت ورقه‌های سیب‌زمینی به کمک نرم‌افزار متلب ۹۸

۴-۵- تاثیر فرآیند خشک کردن بر شاخص‌های کیفی سیب‌زمینی ۱۰۴

۴-۵-۱- نسبت باز جذب آب ۱۰۴

۴-۵-۲- سنجش چروکیدگی ۱۰۶

۴-۵-۳- تغییرات رنگ ۱۱۰

۴-۶- نرخ خشک شدن ۱۱۲

۴-۷- ارزیابی مصرف انرژی پروسه خشک کردن ۱۱۵

۴-۷-۱- انرژی مصرفی موردنیاز ۱۱۵

۴-۷-۲- انرژی مخصوص خشک کردن به روش مادون قرمز- خلأ ۱۱۸

۴-۷-۳- بازده مصرف گرما ۱۲۰

۴-۸- نتیجه‌گیری ۱۲۲

۴-۹- پیشنهادات ۱۲۶

فهرست منابع ۱۲۸

پیوست‌ها ۱۳۸

چکیده انگلیسی ۱۴۳

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۲-۱- توزیع میزان تولید سیب‌زمینی استان‌ها نسبت به کل کشور سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ ..... ۱۱

نمودار ۲-۲- تاثیر تلفیقی خشک کردن خلأ و مادون قرمز بر روی محتوای رطوبتی و دمای محصول در مقابل خشک کردن خلایی ۲۶

نمودار ۲-۳- اثر میزان خلأ و تابش اشعه مادون قرمز بر دما و زمان خشک شدن خلال پیاز در خشک کن مادون قرمز- خلأ ۲۶

نمودار ۲-۴- اثر محتوای رطوبتی بر زمان خشک شدن ورقه موز در سطوح مختلف خلأ توسط خشک‌کن مادون قرمز- خلأ ۲۸

نمودار ۲-۵- اثر دما بر زمان خشک شدن ورقه موز در ضخامت‌های متفاوت توسط خشک‌کن مادون قرمز- خلأ ۲۸

نمودار ۲-۶- اثر دما و ضخامت بر زمان خشک شدن ورقه‌های سیب‌زمینی شیرین ۳۳

نمودار ۲-۷- اثر دما و ضخامت بر نرخ آبگیری مجدد ورقه‌های سیب‌زمینی شیرین ۳۳

نمودار ۲-۸- اثر نوع خشک‌کن و دمای آب مورد استفاده بر توانایی جذب آب قطعات خشک شده سیب‌زمینی ۳۵

نمودار ۲-۹- روند کاهش مساحت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و سرعت یک متر بر ثانیه ۳۶

نمودار ۲-۱۰- درصد تغییرات رنگ بر حسب دمای خشک کردن ورقه‌های موسیر در سرعت‌های مختلف هوای ورودی ۳۸

نمودار ۲-۱۱- درصد تغییرات چروکیدگی بر حسب ضخامت ورقه‌های موسیر در سرعت‌های مختلف هوای ورودی ۳۸

نمودار ۲-۱۲- منحنی نرخ از دست دادن رطوبت لایه نازک قارچ خوراکی در شدت تابش‌های مختلف ۴۰

نمودار ۲-۱۳- اثر متقابل خلأ و توان ماکروویو بر انرژی مصرفی فرآیند خشک کردن ورقه‌های قارچ در خشک‌کن ماکروویو- خلأ ۴۲

نمودار ۲-۱۴- میزان انرژی مصرفی در طی خشک کردن میوه به با خشک‌کن ماکروویو ۴۳

نمودار ۲-۱۵- مقایسه داده‌های آزمایشی و پیش‌بینی شده نسبت رطوبت با استفاده از مدل میدیلی و همکاران ۴۴

نمودار ۲-۱۶- مقادیر میانگین بازده، انرژی مصرفی و انرژی موردنیاز جهت خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی به روش ماکروویو ۴۵

نمودار ۲-۱۷- تغییرات نسبت رطوبت پیش‌بینی شده توسط شبکه در مقابل نسبت رطوبت اندازه‌گیری شده برای بهترین توپولوژی خشک شدن فلفل دلمه سبز ۵۰

نمودار ۴-۱- اثر متقابل فشار مطلق، توان لامپ مادون قرمز و ضخامت ورقه بر مدت زمان لازم برای فرآیند خشک کردن ۸۶

نمودار ۴-۲- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر کمترین میزان عملکرد شبکه ANN 1 ..... ۹۰

نمودار ۴-۳- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر کمترین میزان آموزش شبکه ANN 1 ..... ۹۰

نمودار ۴-۴- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر کمترین میزان اعتبار شبکه ANN 1 ..... ۹۱

نمودار ۴-۵- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر عرض از مبدأ خط رگرسیون شبکه ANN 1 ..... ۹۱

نمودار ۴-۶- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر میانگین مربعات خطا شبکه ANN 1 ..... ۹۲
نمودار ۴-۷- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر شیب خط رگرسیون شبکه ANN 1 ..... ۹۳
نمودار ۴-۸- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر ضریب تبیین شبکه ANN 1 ..... ۹۳
نمودار ۴-۹- مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی زمان خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی با استفاده از شبکه ANN 1 ..... ۹۵
نمودار ۴-۱۰- تابع ریاضی برآورد زمان خشک شدن بر حسب محتوای رطوبتی با استفاده از نرم افزار متلب ۹۷
نمودار ۴-۱۱- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر میانگین مربعات خطای شبکه ANN 2 ..... ۹۸
نمودار ۴-۱۲- تاثیر تعداد نورون و توابع آستانه بر ضریب تبیین شبکه ANN 2 ..... ۹۹
نمودار ۴-۱۳- مقادیر پیش‌بینی شده و تجربی نسبت رطوبت ورقه‌های سیب‌زمینی با استفاده از شبکه ANN 2 ..... ۱۰۰
نمودار ۴-۱۴- تغییرات MSE در سه گروه آموزش، آزمایش و اعتبارسنجی شبکه ANN 2 با الگوریتم لونبرگ مارکوارت ۱۰۱
نمودار ۴-۱۵- تابع ریاضی برآورد نسبت رطوبت با زمان خشک شدن به کمک نرم افزار متلب ۱۰۳
نمودار ۴-۱۶- اثر ضخامت ورقه بر میزان نسبت باز جذب آب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ۱۰۴
نمودار ۴-۱۷- اثر ضخامت ورقه بر میزان نسبت باز جذب آب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس ۱۰۵
نمودار ۴-۱۸- تاثیر ضخامت ورقه بر درصد حجم محصول خشک شده نسبت به حجم اولیه با استفاده از روش جابجایی مایع ۱۰۷
نمودار ۴-۱۹- اثر ضخامت ورقه بر میزان چروکیدگی با استفاده از روش جابجایی مایع ۱۰۷
نمودار ۴-۲۰- اثر ضخامت ورقه بر میزان چروکیدگی با استفاده از روش پردازش تصویر ۱۰۸
نمودار ۴-۲۱- اثر توان لامپ مادون قرمز بر شاخص چروکیدگی با استفاده از روش پردازش تصویر ۱۰۹
نمودار ۴-۲۲- اثر فشار مطلق بر شاخص چروکیدگی با استفاده از روش پردازش تصویر ۱۰۹
نمودار ۴-۲۳- اثر ضخامت ورقه بر شاخص سطح خاکستری ۱۱۰
نمودار ۴-۲۴- منحنی نرخ خشک شدن ورقه‌های سیب‌زمینی در ضخامت یک میلی‌متر ۱۱۳
نمودار ۴-۲۵- منحنی نرخ خشک شدن ورقه‌های سیب‌زمینی در ضخامت دو میلی‌متر ۱۱۴
نمودار ۴-۲۶- منحنی نرخ خشک شدن ورقه‌های سیب‌زمینی در ضخامت سه میلی‌متر ۱۱۴
نمودار ۴-۲۷- اثر ضخامت ورقه بر میزان انرژی مصرفی طی خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی ۱۱۶
نمودار ۴-۲۸- اثر فشار مطلق بر میزان انرژی مصرفی طی خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی ۱۱۷
نمودار ۴-۲۹- اثر توان لامپ بر میزان انرژی مصرفی طی خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی ۱۱۷
نمودار ۴-۳۰- اثر فشار مطلق بر انرژی ویژه مصرفی طی خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی ۱۱۹

نمودار ۴-۳۱- اثر توان لامپ بر انرژی ویژه مصرفی طی خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی ۱۱۹
نمودار ۴-۳۲- اثر متقابل توان لامپ و میزان فشار مطلق بر بازده مصرف گرما طی فرآیند خشک کردن..... ۱۲۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- تصویری از خشک‌کن آزمایشگاهی مادون قرمز- خلأ ۱۵

شکل ۲-۲- دامنه طول موج اشعه مادون قرمز ۱۶

شکل ۲-۳- شبکه پرسپترون چند لایه ۲۴

شکل ۲-۴- توپولوژی شبکه پس انتشار پیشخور ۴۹

شکل ۳-۱- طرحواره دستگاه خشک‌کن مورد استفاده ۵۴

شکل ۳-۲- تصویری از خشک‌کن مورد استفاده به انضمام اجزای خارجی آن ۵۵

شکل ۳-۳- تصاویری از نمای داخلی خشک‌کن ۵۵

شکل ۳-۴- ولت‌متر ۵۸

شکل ۳-۵- آون همرفتی ۵۸

شکل ۳-۶- ترازوی دیجیتال الکترونیکی مورد استفاده ۵۸

شکل ۳-۷- آمپرمتر جهت سنجش جریان لامپ مادون قرمز ۵۸

شکل ۳-۸- حسگر رطوبت همراه با صفحه نمایشگر آن ۵۸

شکل ۳-۹- حسگر دما همراه با صفحه نمایشگر آن ۵۸

شکل ۳-۱۰- خلأسنج مورد استفاده ۵۸

شکل ۳-۱۱- تصویری از اسلایسر دستی مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها ۶۰

شکل ۳-۱۲- تصویری از سینی مشبک همراه با ورقه‌های سیب‌زمینی ۶۰

شکل ۳-۱۳- تصویری از سیب‌زمینی خشک شده پس از اتمام فرآیند خشک کردن ۶۰

شکل ۳-۱۴- طرحواره کلی شبکه عصبی طراحی شده برای زمان خشک کردن ۶۴

شکل ۳-۱۵- طرحواره کلی شبکه عصبی طراحی شده برای نسبت رطوبت ۶۵

شکل ۳-۱۶- توابع آستانه ۶۶

شکل ۳-۱۷- فلوچارت اجرای شبکه عصبی مصنوعی در پژوهش حاضر ۶۹

شکل ۳-۱۸- طرحواره‌ای از تعیین حجم ورقه خشک شده سیب‌زمینی با استفاده از روش جابجایی مایع ۷۲

شکل ۳-۱۹- نمایی از تصویر اصلی ورقه سیب‌زمینی تر و خشک و نیز تصویر باینری شده پس از اعمال آستانه ۷۴

شکل ۳-۲۰- تصویری از دوربین دیجیتال جهت عکس‌برداری..... ۷۶
شکل ۳-۲۱- تصویری از سیستم عکس‌برداری دیجیتال ۷۶
شکل ۴-۱- بافت‌نگار تغییرات رنگ ورقه سیب‌زمینی قبل از خشک کردن ۱۱۱
شکل ۴-۲- بافت‌نگار تغییرات رنگ ورقه سیب‌زمینی بعد از خشک کردن ۱۱۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- تاثیر جذب انواع مختلف پرتوهای مادون قرمز ۱۷

جدول ۲-۲- مدل‌های تجربی خشک کردن محصولات کشاورزی ارائه شده توسط پژوهشگران ۲۱

جدول ۲-۳- کمیت‌های بکار رفته در مدل‌های تجربی خشک کردن ۲۱

جدول ۳-۱- میزان ولتاژ و شدت جریان الکتریکی برآورد شده از لامپ مادون قرمز ۵۷

جدول ۴-۱- تجزیه کوواریانس تاثیر ضخامت ورقه، فشار مطلق، توان لامپ مادون قرمز، محتوای رطوبت اولیه و اثرات متقابل آن‌ها بر مدت زمان لازم برای فرآیند خشک کردن ۸۵

جدول ۴-۲- خلاصه مدل پیش‌بینی زمان خشک کردن به کمک رگرسیون خطی ۸۷

جدول ۴-۳- ضرایب معادله رگرسیون خطی مدل پیش‌بینی زمان خشک کردن ۸۷

جدول ۴-۴- معادلات رگرسیون خطی و غیر خطی چند متغیره در پیش‌بینی مدت زمان خشک کردن ۸۸

جدول ۴-۵- تجزیه واریانس تاثیر ضخامت ورقه، فشار مطلق و توان لامپ مادون قرمز بر میزان انرژی مصرفی فرآیند خشک کردن ۱۱۵

جدول ۴-۶- تجزیه واریانس تاثیر ضخامت ورقه، فشار مطلق و توان لامپ مادون قرمز بر میزان انرژی ویژه مصرفی خشک کردن ۱۱۸

جدول ۴-۷- تجزیه واریانس تاثیر ضخامت ورقه، فشار مطلق و توان لامپ مادون قرمز بر میزان بازده مصرف گرما ۱۲۰

چکیده فارسی

نام خانوادگی: حافظی	**نام:** نگار	**شماره دانشجویی:** ۹۱۲۱۲۰۴
عنوان پایان‌نامه: بررسی فرآیند خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی در شرایط تلفیقی خلاء و گرمایشی مادون قرمز و مدل‌سازی آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی		
استاد راهنما: دکتر محمد جواد شیخ داودی		
استاد مشاور: دکتر سید مجید سجادیه		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** مکانیزاسیون کشاورزی	
دانشگاه: شهید چمران اهواز	**دانشکده:** کشاورزی	**گروه:** مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۳/۰۸/۲۵	**تعداد صفحه:** ۱۴۳	

کلید واژه‌ها: خشک کردن، سیب‌زمینی، شبکه عصبی مصنوعی، محتوای رطوبتی، خلأ، مادون قرمز، نسبت باز جذب آب، چروکیدگی، رنگ، انرژی

خشک کردن یکی از بهترین راه‌های کاهش ضایعات سیب‌زمینی در عملیات پس از برداشت به‌خصوص در مرحله انبارداری می‌باشد. هدف از مدل سازی انتخاب مناسب‌ترین روش خشک کردن و همچنین بهترین شرایط عملیاتی برای بدست آوردن یک محصول معین است. مدل‌های آماری قابلیت پذیرش تعداد زیادی از متغیرهای ورودی را ندارند از این رو با توجه به تعداد پارامترهای مؤثر در پروسه خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی، شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی فرآیند خشک شدن مناسب‌تر هستند. هدف از این پژوهش ارزیابی کیفیت ورقه‌های خشک شده سیب‌زمینی، پیش‌بینی زمان خشک شدن و نسبت رطوبت ورقه‌های سیب‌زمینی در طی فرآیند خشک کردن با تشعشع مادون قرمز تحت خلأ به عنوان تابعی از توان تابشی مادون قرمز، میزان فشار مطلق، ضخامت ورقه و محتوای رطوبت لحظه‌ای محصول به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. در این تحقیق ورقه‌های سیب‌زمینی به صورت تک لایه با استفاده از گرمایش لامپ مادون قرمز تحت شرایط اعمال خلأ در سه سطح توان تابشی ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ وات، سه سطح ضخامت ورقه ۱، ۲ و ۳ میلی‌متر، چهار سطح فشار مطلق ۲۰، ۸۰، ۱۴۰ و ۷۶۰ میلی‌متر جیوه در سه تکرار آزمایشی تا رسیدن به محتوای رطوبتی ۶٪ بر پایه تر، مناسب جهت انبارداری طولانی مدت، خشک شدند. تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزارهای MATLAB، MSTATC، SPSS16 و XLSTAT2014 و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن انجام گردید. از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پس‌انتشار پیشخور با الگوریتم یادگیری لونبرگ–مارکوارت جهت آموزش الگوها استفاده گردید. مناسب‌ترین ساختار شبکه عصبی جهت پیش‌بینی مدت زمان لازم برای خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی با توپولوژی ۱–۳–۴ به همراه تابع فعال‌سازی سیگموئید لگاریتمی و ضریب تبیین ۰/۹۷۴۱۹۶ بهترین نتایج را ارائه نمود. به منظور پیش‌بینی تغییرات رطوبت نسبت به زمان، مقایسه ضریب تبیین (R^2) در نرم افزار متلب نشان داد که شبکه عصبی با چیدمان ۱–۴–۴ و تابع آستانه تانژانت سیگموئید در مقایسه با توپولوژی‌های دیگر به نتایج بهتری دست یافته است همچنین میزان ضریب تبیین در این شبکه برابر با ۰/۹۸۰۶۸۹ می‌باشد. ورقه خشک سیب‌زمینی با ضخامت یک میلی‌متر در دمای جوش آب به مدت سه دقیقه، بیشترین میزان نسبت باز جذب آب را داشت به طوری‌که توانست به مقدار ۸۶٪ رطوبت ورقه تازه را کسب کند. در ورقه‌های ضخیم‌تر به علت ایجاد یک لایه سطحی بر روی آن‌ها زمان خشک شدن طولانی‌تر، آهنگ خشک شدن نزولی و میزان چروکیدگی افزایش یافت. هر چه میزان چروکیدگی افزایش یابد، نسبت باز جذب آب کمتر می‌گردد این پدیده به وضوح در ضخامت سه میلی‌متر دیده می‌شود. کمترین میزان تغییر رنگ قبل و بعد از فرآیند خشک شدن مربوط به نازک‌ترین ضخامت ورقه سیب‌زمینی می‌باشد. مقایسه انرژی مصرفی، انرژی ویژه خشک کردن و بازده مصرف گرما نشان داد که کوتاه‌ترین زمان خشک شدن در بهترین شرایط آزمایشی (توان تابشی ۲۰۰ وات، فشار مطلق ۸۰ میلی‌متر جیوه و ضخامت ورقه یک میلی‌متر) به مدت ۲۶ دقیقه به طول انجامید.

فصل اول

مقدمه و هدف

۱-۱- مقدمه

۱-۱-۱- بیان مسئله

افزایش تولید محصولات کشاورزی با توجه به شرایط آب و هوایی، محدودیت منابع آبی و نیز محدودیت زمین‌های دارای پتانسیل تولید محصولات کشاورزی در ایران با محدودیت‌های فراوانی از لحاظ اقتصاد کشاورزی و محیط‌زیست مواجه است. در کشور ما به دلیل نارسایی‌های موجود در سیاست‌های کشاورزی، سنتی بودن کشاورزی از تولید تا برداشت، سیستم‌های غلط نگهداری و حمل و نقل، تبدیل و توزیع محصولات کشاورزی، ضایعات محصولات کشاورزی در سطح بالایی است. روند افزایشی ضایعات مواد غذایی، یکی از چالش‌های جدی اکثر کشورها به ویژه، کشورهای در حال توسعه است و به همین سبب متخصصین و اندیشمندان مجامع علمی در جهان سوم درصدد برآمده‌اند تا برای کاهش ضایعات محصولات کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت و مراحل توزیع و مصرف چاره‌اندیشی کنند. از میزان ضایعات محصولات کشاورزی در کشور ما برآوردهای متفاوتی ارائه می‌شود و در آخرین برآورد وزارت جهاد کشاورزی، حجم ضایعات محصولات کشاورزی ۱۸/۸۵ درصد، ضایعات محصولات باغی ۲۹ درصد و سایر محصولات اعم از دام و طیور و شیلات حدوداً ۱۲ و ۷ درصد اعلام شده است (رحمانی، ۱۳۸۵).

یکی از اولویت‌های کاهش ضایعات محصول در بخش کشاورزی، توسعه همه جانبه صنایع تبدیلی و تکمیلی است. بسیاری از محصولات کشاورزی دارای زمان تولید کوتاه و زمان مصرف متفاوتی می‌باشند. تولید یا برداشت آن‌ها معمولاً در یک زمان مشخص و کوتاه ولی مصرف در زمان طولانی‌تری صورت می‌گیرد. صنایع تبدیلی می‌تواند با حفظ و نگه‌داری محصولات در آن‌ها به گونه‌ای تغییر و تبدیل ایجاد نماید که امکان مصرفشان در طی سال میسر باشد (رحمانی، ۱۳۸۵).

خشک کردن[1] عبارت است از خارج نمودن آب از ماده غذایی به گونه‌ای که محصول خشک حاصل از این عمل را بتوان به مدت طولانی، سالم نگهداری کرد. خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات یکی از قدیمی‌ترین روش‌های شناخته شده برای نگهداری مواد غذایی است و برای بسیاری از محصولات کشاورزی و صنعتی قابل استفاده است. میوه‌ها و سبزیجات به دلیل رطوبت بالا از جمله غذاهای فسادپذیر محسوب می‌شوند. در فرآیند خشک کردن مقدار قابل توجهی از آب ماده غذایی کاهش یافته و از این طریق فعالیت آبی، میکروبی و آنزیمی محصول محدود شده و تغییرات فیزیکی و شیمیایی حین انبارداری به حداقل می‌رسد و به تبع آن عمر انبارداری محصول افزایش می‌یابد. بدین ترتیب محصولاتی با خواص کیفی و تغذیه‌ای جدیدی تولید می‌شوند. خشک کردن همچنین باعث کاهش وزن و حجم بسته‌بندی و هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری می‌شود (سلیمانی فرد، ۱۳۸۸؛ لی[2] و همکاران، ۲۰۱۱).

فرآیند خشک کردن باید به گونه‌ای اعمال گردد که در کنار حفظ مواد غذایی در مقابل فساد، به شاخص‌های کیفی فرآورده از جمله ارزش غذایی، طعم، رنگ و بافت کمترین صدمه ممکن وارد گردد. برای بررسی میزان تغییرات به وجود آمده در محصول تولیدی از فرآیند خشک شدن، عمدتاً سه ویژگی درصد چروکیدگی[3]، رنگ[4] و جذب آب مجدد[5] ارزیابی می‌شود (بی‌هاندری و هاوز[6]، ۱۹۹۹). سرعت و میزان جذب آب مجدد به عنوان شاخص کیفی مواد غذایی خشک شده می‌باشد. مواد غذایی که تحت شرایط بهینه خشک شوند کمتر آسیب دیده و سریع‌تر و کامل‌تر آب جذب می‌کنند (فرانسیس[7]، ۲۰۰۰). میزان رنگ محصول خشک شده به رنگ طبیعی

[1] Drying
[2] Li
[3] Shrinkage
[4] Color
[5] Rehydration
[6] Bhandri and Howes
[7] Francis

محصول تازه و حساسیت واریته‌های مختلف به قهوه‌ای شدن آنزیمی یا غیر آنزیمی و همچنین به مقدار قند ماده اولیه بستگی دارد (فلاحی، ۱۳۷٦).

یکی از جنبه‌های مهم فناوری خشک‌کردن بخصوص برای فرآیندهای صنعتی، مدل‌سازی ریاضی فرآیند خشک‌کردن است. هدف از مدل‌سازی انتخاب مناسب‌ترین روش خشک‌کردن و همچنین بهترین شرایط عملیاتی برای بدست آوردن یک محصول معین است. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] در سطح وسیعی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای موردنیاز در فرآیندهای خشک کردن، در حال رشد و توسعه است. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در مورد فرایندهایی که تعریف دقیق و درک خاصی از آن‌ها وجود ندارد، بسیار مؤثر عمل می‌کنند و قادر هستند که هر تابع ریاضی را با دقت قابل قبولی تخمین بزنند. کاهش تأثیر خطای داده‌ها و داده‌های از دست رفته و توانایی پیش‌بینی دو یا چند متغیر وابسته به طور همزمان از جمله مزیت‌های شبکه‌های عصبی است (متولی و همکاران، ۱۳۸۹).

۱-۱-۲- اهمیت و ضرورت تحقیق

بر اساس آمار فائو[2] ایران با تولید سالانه ٤/۱ میلیون تن سیب‌زمینی[3] در رتبه شانزدهم تولید این محصول در جهان قرار دارد و هر ساله حدود ۲۰۰ هزار تن از این محصول را به کشورهای عراق، ترکمنستان، افغانستان و آذربایجان صادر می‌کند (FAO, 2013). سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) سیب‌زمینی را به عنوان یک محصول کشاورزی اشتغال‌زا و تامین‌کننده امنیت غذایی در دنیا معرفی کرده است (FAO, 2013).

[1] Artificial Neural Networks
[2] FAO (Food and Agriculture Organization)
[3] Potato

یکی از راه‌های کاهش ضایعات سیب‌زمینی، خشک کردن مناسب آن و نگه‌داری آن به صورت خشک شده می‌باشد. سیب‌زمینی خشک شده را می‌توان در مکان‌هایی که مصرف بالایی دارند نظیر رستوران‌ها و هتل‌ها به راحتی در انواع سوپ‌ها و خورش‌ها بکار برد. با توجه به مشکلات نگه‌داری، حمل و نقل و نوسان فصلی قیمت سیب‌زمینی تازه، تولید فرآورده‌های آماده مصرف نظیر چیپس[1]، خلال، قطعات مکعبی و پودر خشک شده‌ی سیب‌زمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از ویژگی‌های مهم خشک کردن سیب‌زمینی، کاهش میزان مصرف و جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن در دمای بالا می‌باشد به علت این که سیب‌زمینی مرطوب در زمان سرخ شدن مقدار زیادی روغن جذب می‌کند. از این رو، استفاده از مرحله پیش خشک کردن قبل از سرخ کردن سبب کاهش رطوبت کل محصول شده و میزان جذب روغن را محدود می‌سازد (ضیاءالحق، ۱۳۸۸، اسدی و همکاران، ۱۳۹۰).

استفاده از خلأ به همراه گرمایش می‌تواند روش مؤثری برای خشک کردن باشد. زیرا در این حالت بدون نیاز به افزایش زیاد دما، می‌توان به ظرفیت بالایی از تولید محصول خشک شده دست یافت. به این ترتیب می‌توان مواد حساس به دماهای بالا را در مدت زمان کوتاهی به خوبی خشک کرد. در این روش خشک کردن که از خلأ و گرما در کنار یکدیگر استفاده می‌شود، نسبت به حالتی که تنها از گرمایش استفاده شود، نتیجه بهتری به دست خواهد آمد بخصوص در موادی که دارای خلل و فرج بوده یا سطح مقطع ماده دارای مساحت بسیار بالا باشد (بی‌نام، ۱۳۹۰a).

[1] Chips

۱-۲- فرضیه‌ها و اهداف مطالعه

۱-۲-۱- فرضیه‌ها

۱) میزان فشار مطلق، شدت تابش اشعه مادون قرمز، ضخامت ورقه‌های سیب‌زمینی و محتوای رطوبتی محصول تاثیر بسزایی بر پیش‌بینی مدت زمان لازم برای خشک کردن سیب‌زمینی تا رسیدن به رطوبت نهایی ٦ درصد (بر پایه تر) دارند.

۲) شبکه عصبی مصنوعی روش مناسبی برای مدل‌سازی فرآیند خشک کردن سیب‌زمینی می‌باشد.

۳) ضخامت کمتر با میزان چروکیدگی کمتری همراه است و جذب آب بیشتری دارد.

٤) در ضخامت‌های کمتر رنگ محصول خشک شده مناسب‌تر می‌باشد.

۵) استفاده تلفیقی از اشعه مادون قرمز و خلأ سبب بهبود کارایی انرژی در طی فرآیند خشک کردن می‌شود.

۱-۲-۲- اهداف

به طور کلی هدف از این مطالعه مقایسه زمان مورد نیاز برای خشک کردن، انرژی مصرفی، شاخص‌های کیفی (از جمله چروکیدگی بر دو مبنای کاهش حجم و تغییر شکل، رنگ و نسبت باز جذب آب) و ارائه مدل شبکه عصبی مصنوعی فرآیند خشک کردن سیب‌زمینی در شرایط زیر می‌باشد:

۱) تغییر میزان فشار مطلق

۲) تغییر میزان تابش مادون قرمز

۳) تلفیق مادون قرمز و خلأ

٤) تغییر میزان ضخامت ورقه‌ها