



کوتاه پژوهشی

پیش بینی محتوی رطوبت میوه کیوی در خشک کن خلاء با استفاده از روش شبکه عصبی

مصنوعی

حسین مجیدزاده^۱ - باقر عمادی^{۲*} - عبدلعلی فرزاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۲۰

چکیده

در این تحقیق محتوی رطوبت میوه کیوی خشک شده در خشک کن خلاء با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی پیش بینی گردید. دمای خشک شدن (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد)، فشار خلاء (۵۰۰، ۵۵۰ و ۶۰۰ میلی متر جیوه)، ضخامت قطعه های کیوی (۳، ۵ و ۷ میلی متر) و مدت زمان خشک شدن به عنوان پارامترهای مستقل ورودی و محتوی رطوبت کیوی به عنوان متغیر وابسته خروجی تعریف شدند. داده های به دست آمده از فرآیند خشک کردن خلاء به منظور آموزش و آزمون شبکه استفاده گردید. چندین معیار شامل الگوریتم های آموزش، نرخ یادگیری، ضریب اندازه حرکت، تعداد لایه های مخفی، تعداد نرون در هر لایه و تابع های فعال سازی به منظور بهبود کارایی شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفتند. تعداد لایه های مخفی و تعداد نرون ها در هر لایه به روش سعی و خطا به دست آمد. بهترین الگوریتم آموزشی، لوبنرگ-مارکوارت با کمترین میزان میانگین مربعات خطا بود. مقادیر مطلوب نرخ یادگیری و ضریب اندازه حرکت برای شبکه با استفاده از الگوریتم آموزش کاهش شیب با مومنتم به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۵ به دست آمدند. ساختارهای مطلوب به دست آمده، ۱-۲۰-۴ با تابع انتقال تانژانت سیگموئید و مقدار میانگین مربعات خطا، ۰/۰۰۱۶ و ۱-۲۰-۱۵-۴ با توابع انتقال یکسان لگاریتم سیگموئید در هر دو لایه پنهان و مقدار میانگین مربعات خطا، ۰/۰۰۱۴۷ بودند. همبستگی میان مقادیر آزمایشی و پیش بینی شده در ساختارهای مطلوب بیشتر از ۹۹/۷۵ درصد به دست آمد.

کلید واژه ها: خشک کن خلاء، شبکه عصبی مصنوعی، کیوی، محتوی رطوبت، نرخ یادگیری.

مقدمه

گزارش گردیده است و بنابر این ضروری است تا از روش های نگهداری متفاوتی استفاده شود تا زمان ماندگاری آن افزایش یابد (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۸). یکی از روش های خشک کردن، انجام فرآیند خشک کردن تحت شرایط خلاء نسبی می باشد. در این روش درجه حرارت عملیات پایین بوده و به این ترتیب تبخیر آب در دمای پایین و تحت فشار کمتر از اتمسفر صورت می پذیرد. از این رو محصول به دست آمده دارای ارزش غذایی، رنگ و طعم بهتری می باشد. در مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته است ترکیب این روش با سایر روش ها برای کوتاه تر کردن زمان فرآیند خشک شدن پیشنهاد شده است (فتحی و همکاران، ۱۳۸۸). از آنجا که برای پیش بینی شاخص های کیفی محصولات کشاورزی چندین متغیر ورودی و خروجی مؤثرند، تحلیل آماری این نوع مسائل مستلزم ارائه تعدادی روابط ریاضی است که اغلب استفاده و تفسیر آنها مشکل است (فارکاس و همکاران، ۲۰۰۰). امروزه با توجه به مزایای فناوری هوش مصنوعی استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی برای شبیه سازی و پیش بینی پارامترهای مورد نیاز در فرآیندهای خشک کردن در حال توسعه است. شبکه ی عصبی مصنوعی، یکی از روش های محاسباتی

میوه کیوی (*Actinidia deliciosa*) به علت دارا بودن مقادیر قابل توجه فیبر، ویتامین های C و E، املاح خصوصاً پتاسیم، مس و منگنز و ظرفیت آنتی اکسیدانی بالا (مرتبه چهارم در تمام میوه ها)، ارزش غذایی و دارویی فوق العاده ای داشته و به عنوان شاه میوه شناخته می شود (زکی پور ملک آبادی و همکاران، ۱۳۸۹). مطابق آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۸۷ میزان تولید محصول کیوی در ایران بیش از ۲۲۱۰۰۰ تن بوده است. میوه کیوی عمر ماندگاری بسیار کوتاهی دارد که یکی از عوامل آن محتوی رطوبت بسیار بالا (بیشتر از ۸۰ درصد وزن میوه) می باشد. در کشور ایران به دلیل وجود سیستم حمل و نقل نامناسب و همچنین عدم رعایت کامل اصول انبارداری، ضایعات پس از برداشت این میوه ۲۳-۲۴ درصد

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، ایران.

*- نویسنده مسئول: (Email: Emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir)

یک خشک کن بستر سیال انجام گرفت (توپوز، ۲۰۱۰). زمان خشک شدن و دمای هوای ورودی به عنوان ورودی های شبکه منظور گردیدند. پیش بینی های شبکه دارای میانگین خطای نسبی (MRE) ۳/۹۲ و میانگین خطای مطلق (MAE) ۰/۰۳۳ بودند. فتحی و همکاران (۲۰۱۱) از پردازش تصویر و شبکه ی عصبی مصنوعی به منظور پیش بینی سینتیک انتقال جرم و تغییر رنگ قطعات کیوی که به روش اسمزی خشک شده بودند استفاده کردند. یک شبکه ی پرسپترون چند لایه به منظور پیش بینی مقادیر آب از دست رفته، مواد جامد جذب شده و تغییرات رنگ ایجاد گردید و پارامترهای غلظت محلول ساکارز، دما و زمان به عنوان عوامل ورودی شبکه منظور شد. در پایان مشخص گردید که شبکه ی عصبی مصنوعی با ۱۶ نرون در لایه ی میانی بهترین برآزش را با داده های آزمایشی دارد و نتایج حکایت از آن داشت که شبکه ی عصبی مصنوعی می تواند به عنوان یک روش بالقوه جهت تخمین سینتیک انتقال جرم و تغییرات رنگ کیوی در خشک کردن اسمزی مورد استفاده قرار گیرد. مقدار ضریب تبیین برای مواد جامد جذب شده، آب از دست رفته و تغییرات رنگ به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۹۹۴ و ۰/۸۸ به دست آمد.

از جمله تحقیقات انجام شده در داخل کشور می توان به مطالعه رفتار خشک شدن ورقه های نازک کیوی در خشک کن لایه نازک آزمایشگاهی بر اساس مدل های ریاضی مختلف اشاره نمود (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷). ۱۰ مدل ریاضی خشک شدن بر داده های آزمایشگاهی برآزش داده شدند و ثابت ها و ضرایب مدل ها با هم مقایسه شدند. طبق نتایج بدست آمده مدل میدیلی و همکاران نسبت به سایر مدل ها دارای نتایج بهتری بود. همچنین پیش بینی محتوی رطوبتی موز در طی فرآیند خشک کردن با جریان هوای گرم به عنوان تابعی از دما، سرعت هوا، ضخامت ورقه ی موز، رقم و زمان خشک شدن محصول به کمک شبکه های عصبی مصنوعی انجام شده است (شایگانی سلطان پور و همکاران، ۱۳۸۹). برای به دست آمدن تغییرات محتوی رطوبتی با زمان از شبکه های چند لایه ی پس انتشار برگشتی با الگوریتم های یادگیری لونیبرگ-مارکوارت، الگوریتم پس انتشار ارتجاعی و الگوریتم گرادیان نزولی مقیاسی استفاده شد. مقدار ضریب تبیین در نتایج پیش بینی های شبکه منتخب ۰/۹۹۹۴ بدست آمد.

با توجه به اهمیت محصول کیوی و روش خشک کردن خلایی، مدل سازی پیش بینی محتوی رطوبت محصول خشک شده با کمک شبکه ی عصبی مصنوعی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

به منظور انجام آزمایش ها برای ایجاد پایگاه داده ها، میوه ی

است که به کمک فرآیند یادگیری و با استفاده از پردازش گره های به نام نرون تلاش می کند با شناخت روابط ذاتی بین داده ها، نگاهی میان فضای ورودی (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارائه دهد (منهاج، ۱۳۸۴).

تحقیقات زیادی تاکنون در خصوص مدل کردن فرآیند خشک شدن محصولات کشاورزی در خشک کن های مختلف صورت گرفته است از جمله: شبیه سازی خشک کردن دینامیکی گیاه اکناسه آ آنگوستیفولیا (یک گیاه با کاربرد پزشکی فراوان) که در این تحقیق خشک کردن دینامیکی لایه نازک این گیاه و مقایسه ی آن در تحلیل رگرسیونی و شبکه ی عصبی بررسی شده است (ارنتورک و همکاران، ۲۰۰۴). تحلیل رگرسیونی با چهار مدل نیوتن، هندرسون و پاپیس، پیچ و پیچ اصلاح شده صورت گرفت و همزمان تحلیل در شبکه ی عصبی نیز صورت گرفت و شبکه ی پهنه با یک لایه ی مخفی و ۳۰ نرون حاصل شد. نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که مدل شبکه ی عصبی با ۰/۱ درصد دقت بهتر از مدل پیچ اصلاح شده ظرفیت رطوبت را تخمین می زند. در تحقیق دیگری، فرآیند خشک کردن گوجه فرنگی در خشک کن قفسه ای توسط شبکه های عصبی مصنوعی با سه ورودی توان گرم کننده، سرعت جریان هوا و زمان خشک کردن و یک خروجی با عنوان نسبت رطوبت گوجه فرنگی خشک شده، مدل سازی شد (موقرنژاد و نیکزاد، ۲۰۰۷). مقایسه مدل شبکه های عصبی مصنوعی با مدل های تجربی نشان داد که شبکه های عصبی مصنوعی نسبت به مدل های تجربی، رفتار خشک شدن گوجه فرنگی را با دقت بالاتری پیش بینی می کنند. میانگین درصد خطا در مدل شبکه عصبی ۱/۱۸ بدست آمد در حالی که در مدل پیچ این معیار ۵/۳۲ بدست آمد. آنها بیان نمودند که شبکه های عصبی مصنوعی قادر به توصیف ویژگی های خشک کردن در دامنه گسترده ای از شرایط مختلف آزمایش می باشند، در صورتی که مدل های تجربی فقط قادر به توصیف این ویژگی ها در شرایط محدود آزمایش هستند. همچنین کاربرد مدل سازی شبکه ی عصبی مصنوعی در فرآیند خشک کردن انجمادی و در مورد محصول توت فرنگی بررسی شده است (منلیک و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به اینکه این روش خشک کردن تحت تأثیر پارامتر های مختلفی نظیر زمان خشک شدن، فشار، ضخامت و دمای نمونه ها، دمای محفظه و رطوبت نسبی محصول است توصیف رفتار خشک شدن و تعیین پارامترهایی نظیر محتوی رطوبت و نسبت رطوبتی در این فرآیند بسیار پیچیده بود. آنها از فرآیند یادگیری پس انتشار و الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت و تابع انتقال فرمی در آموزش شبکه استفاده کردند و در پایان ساختار ۲-۵-۶ به عنوان مناسب ترین ساختار انتخاب شد.

مقدار ضریب تبیین در نتایج مدل سازی با شبکه ایجاد شده ۰/۹۹۹۴ بدست آمد. پیش بینی محتوی رطوبتی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی در مورد سه محصول نخود، فندق و لوبیا در

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} - T_{ip})^2}{NP} \quad (2)$$

که در آن S_{ip} : خروجی شبکه در نرون i ام و الگوی p ام، T_{ip} : خروجی مطلوب در نرون i ام و الگوی p ام، N : تعداد نرون های خروجی و M : تعداد الگوهای آموزشی است. در طول فرآیند آموزش وزن ها و بایاس ها تنظیم شدند تا تابع کارایی شبکه حداقل شود. در این تحقیق از الگوریتم های آموزش همراه با نظارت لوبنبرگ-مارکووات (trainlm)، پس انتشار ارتجاعی (trainrp)، الگوریتم شیب توأم (traincgb, traincgp, traincgm)، آموزش با سرعت یادگیری متغیر (traingda)، آموزش دسته ای کاهش شیب (traingd)، آموزش دسته ای کاهش شیب با مومنتم (traingdm) و الگوریتم های شبه نیوتن (trainbfg, trainoss) به منظور آموزش شبکه استفاده شد. پایگاه دانش و موتور استنتاجی به صورت کد نویسی در محیط نرم افزار متلب جعبه ابزار آماده برای شبکه ایجاد گردید. داده های حاصل از آزمایش ها به صورت ماتریس های ورودی و خروجی کد نویسی و به موتور استنتاجی پاس داده شد. با توجه به این که خشک شدن یک فرآیند بسیار زمان بر است فقط زمان هایی که تغییر قابل توجهی در محتوای رطوبت کیوی صورت گرفت منظور شد، بر همین اساس تعداد کل الگوهای ایجاد شده برای شبکه ۳۹۶ عدد بود که به این ترتیب اندازه ماتریس ورودی 4×396 و اندازه ماتریس خروجی 1×396 بود. به منظور افزایش سرعت هم گرای و کارایی شبکه، داده ها نرمال سازی گردیدند و در بازه $[-1, 1]$ قرار داده شدند. همچنین به منظور پیش گیری از بیش برآش، داده ها به طور تصادفی به سه قسمت، آموزش (۵۰ درصد)، ارزیابی (۲۵ درصد) و آزمون (۲۵ درصد) تقسیم و به شبکه انتقال داده شدند.

نتایج و بحث

به منظور تعیین بهترین نوع الگوریتم، شبکه با الگوریتم های مختلف با تعداد چرخه ی آموزشی ثابت ۳۰ و تابع آستانه ی تانژانت سیگموئید و یک لایه ی پنهان و تعداد ۲۰ نرون در این لایه آموزش داده شد و عملکرد شبکه بررسی گردید. معیار عملکرد شبکه MSE در نظر گرفته شد. نتایج در جدول (۱) گزارش گردیده است.

علاوه بر دقت پیش بینی، مسأله ای که در انتخاب الگوریتم های آموزشی مطرح بود، در نظر گرفتن زمان آموزش دیدن شبکه و یا همان سرعت هم گرای می باشد. چون در این تحقیق با توجه به ابعاد متوسط آن هم گرای سریع انجام می شد، لذا میان الگوریتم ها از لحاظ سرعت، تفاوت چندانی وجود نداشت اگر چه الگوریتم lm نسبت به بقیه ی الگوریتم ها دارای سرعت بیشتری بود. هم چنان که از جدول (۱) مشاهده می شود الگوریتم های یادگیری lm و bfg عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم ها داشتند و ضعیف ترین عملکرد مربوط به الگوریتم gd بود.

تازه کیوی رقم هایوارد محصول باغات شمال تهیه و در دمای ۵ درجه ی سانتی گراد در داخل یخچال نگه داری شد. قبل از شروع هر آزمایش، دستگاه خشک کن به مدت یک ساعت روشن می شد تا به حالت مطلوب و پایدار برسد. لازم به ذکر است که زمان شروع آزمایش لحظه ای بود که دستگاه به خلاء مورد نظر رسیده باشد.

به منظور اندازه گیری رطوبت نمونه ها از استاندارد ASABE (۲۰۰۶) استفاده شد. به این ترتیب که برای به دست آوردن درصد واقعی رطوبت محصول، ابتدا سه نمونه با ضخامت های مورد استفاده در آزمایش (۳، ۵ و ۷ میلی متر) تهیه و پوست گیری گردید و پس از توزین با استفاده از یک ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۰۱ گرم (شرکت AND مدل GF-6000، ژاپن)، از آن (شرکت Behdad مدل 85055، ایران) برای خشک نمودن نمونه ها استفاده شد. میانگین رطوبت اولیه ی نمونه ها ۸۳ درصد بر پایه ی تر به دست آمد. برای انجام آزمایش ها از خشک کن خلأیی موجود در آزمایشگاه های گروه ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده گردید. این دستگاه دارای سیستم های کنترل دما، خلاء و رطوبت، امکان توزین در حین عمل خشک کردن و تصویربرداری هم زمان از محصول است. نمونه های برش داده شده روی سینی توری دستگاه خشک کن با فواصل مساوی چیده می شدند، به طوری که روی سینی تنها یک لایه از نمونه های برش خورده قرار گرفته بود. نمونه ها قبل از چیده شدن روی سینی خشک کن وزن شدند. خشک شدن تا زمان ثابت شدن تقریبی وزن ورقه های کیوی ادامه داشت. در این تحقیق آزمایش ها در سه سطح دمایی (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه ی سانتی گراد)، فشار خلاء در سه سطح (۵۰، ۵۵ و ۶۰ میلی متر جیوه) و ضخامت نمونه ها در سه سطح (۳، ۵ و ۷ میلی متر) انجام شد.

شبکه ی عصبی مصنوعی از مجموعه ای از واحدهای سازنده به نام گره یا نرون تشکیل شده است و هر نرون نیز از سه عنصر اصلی وزن، بایاس و تابع انتقال تشکیل شده است. هدف از آموزش در این شبکه ها تعیین وزن ها و بایاس ها در اتصال های بین گره ای می باشد به طوری که شبکه بتواند مقدار واقعی خروجی را با دقت بالایی تقریب بزند (کیا، ۱۳۸۹). ساده ترین این شبکه ها از یک لایه نرون های ورودی و یک لایه نرون های مخفی و یک لایه نرون های خروجی تشکیل می شوند. توابع انتقال متعددی در شبکه های عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرند که معمولاً از توابع سیگموئیدی در لایه های میانی و از تابع انتقال خطی در لایه ی خروجی استفاده می گردد. رابطه ی بین نرون ها (وزن ها و بایاس ها) در ابتدا به وسیله اعداد کوچک تصادفی بارگذاری می شود و سپس در طول مرحله آموزش این اعداد به وسیله قانون کلی کمترین کاهش گرادیان تصحیح می شوند (البرزی، ۱۳۸۳). شاخص اجرایی برای الگوریتم پس انتشار، میانگین مربعات خطا MSE می باشد که در چارچوب یادگیری با ناظر به صورت رابطه (۲) تعریف می گردد:

در جدول (۲) درج گردیده است. با توجه به نتایج، بهترین مقدار ضریب اندازه حرکت ۰/۰۵ و بهترین مقدار آهنگ یادگیری ۰/۲ انتخاب گردید. این مقادیر در تحقیق مشابه در خشک کن پاششی و عصاره پرتقال به ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ اعلام شده است (چگینی و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین در تحقیق دیگری که در خشک کن هوای داغ و درخصوص پیش بینی محتوی رطوبتی محصول سیب زمینی شیرین صورت گرفته است این مقادیر به ترتیب ۰/۹ و ۰/۰۵ گزارش شده است (سینک و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول ۲- نتایج تغییر مقادیر آهنگ یادگیری و ضریب اندازه حرکت

| MSE | ضریب اندازه حرکت | آهنگ یادگیری |
|-------|------------------|--------------|
| ۱/۶۴ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۱/۵۹ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۱/۵۳ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ |
| ۱/۶۳ | ۰/۱ | ۰/۰۱ |
| ۰/۲۲۴ | ۰/۰۱ | ۰/۱ |
| ۰/۲۲۱ | ۰/۰۱ | ۰/۱ |
| ۰/۲۲۱ | ۰/۰۵ | ۰/۱ |
| ۰/۲۲۳ | ۰/۱ | ۰/۱ |
| ۰/۱۸۶ | ۰/۰۰۱ | ۰/۲ |
| ۰/۱۸۳ | ۰/۰۱ | ۰/۲ |
| ۰/۱۸۱ | ۰/۰۵ | ۰/۲ |
| ۰/۱۸۳ | ۰/۱ | ۰/۲ |

جدول ۱- عملکرد الگوریتم های مختلف

| نوع الگوریتم یادگیری | MSE |
|----------------------|--------|
| bfg | ۰/۰۱۰۴ |
| cgb | ۰/۰۲۱۵ |
| cgf | ۰/۰۱۸۴ |
| cgp | ۰/۰۱۹۲ |
| gd | ۰/۹۱۶ |
| gda | ۰/۴۸۲ |
| gdm | ۰/۷۶۸ |
| lm | ۰/۰۰۱۶ |
| oss | ۰/۰۳۰۷ |
| rp | ۰/۰۲۳۵ |
| scg | ۰/۰۲۱۲ |

به منظور بررسی تغییر مقادیر آهنگ یادگیری و ضریب اندازه حرکت بر عملکرد شبکه، از یک شبکه ی دو لایه (دارای یک لایه ی پنهان) برای آموزش استفاده گردید. از تابع انتقال تانژانت سیگموئید در لایه ی پنهان و تابع انتقال خطی در لایه ی خروجی استفاده شد. با توجه به اینکه دو پارامتر آهنگ یادگیری و ضریب اندازه حرکت در فرآیند آموزش با الگوریتم یادگیری gdm مقادیر ثابتی هستند، لذا از این الگوریتم برای آموزش استفاده شد. تغییرات آهنگ یادگیری در سطوح ۰/۰۱، ۰/۱ و ۰/۲ و تغییرات ضریب اندازه حرکت در سطوح ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ مورد بررسی قرار گرفت. تعداد نرون ها در لایه ی پنهان، ۱۰ و تعداد تکرار، ۳۰ در نظر گرفته شد. تابع کارایی شبکه، میانگین مربعات خطا انتخاب شد. نتایج حاصل از این بررسی

جدول ۳- نتایج به کار گیری الگوریتم یادگیریلونبرگ- مارکوارت با تابع آستانه ی تانژانت سیگموئید

| MSE | تعداد نرون لایه ی دوم | تعداد نرون لایه ی اول | تعداد لایه ی میانی |
|----------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| ۰/۰۱۰۲ | - | ۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۷۰۳ | - | ۱۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۳۱۲ | - | ۱۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۱۶ | - | ۲۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۱۵۸۴ | - | ۳۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۲۷۴ | ۵ | ۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۵۹۷ | ۱۰ | ۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۹۶۲ | ۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۲۷۱ | ۱۰ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۲۱۱ | ۱۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۸۶۹ | ۱۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۸۶۶ | ۱۵ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۶۷ | ۲۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۸۲۵ | ۱۵ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۸۳۲ | ۲۰ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۷۵۶ | ۳۰ | ۳۰ | ۲ |

جدول ۴- نتایج به کار گیری الگوریتم یادگیری لونبرگ- مارکوارت با تابع انتقال لگاریتم سیگموئید

| MSE | تعداد نرون لایه ی دوم | تعداد نرون لایه ی اول | تعداد لایه ی میانی |
|----------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| ۰/۰۰۹۹۷ | - | ۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۷۷۳ | - | ۱۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۵۳۱ | - | ۱۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۱۹۷ | - | ۲۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۱۹۵۱ | - | ۳۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۵۷۱ | ۵ | ۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۹۳ | ۱۰ | ۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۸۶ | ۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۳۱۳ | ۱۰ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۸۱ | ۱۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۵۲ | ۱۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۲۴۳ | ۱۵ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۱۴۷ | ۲۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۴۱۳ | ۱۵ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۱۸ | ۲۰ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۱۳ | ۳۰ | ۳۰ | ۲ |

جدول ۵- نتایج به کارگیری الگوریتم لوببرگ- مارکوارت با ترتیب توابع تانژانت سیگموئید- لگاریتم سیگموئید

| MSE | تعداد نرون لایه ی دوم | تعداد نرون لایه ی اول | تعداد لایه ی میانی |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| ۰/۰۰۴۸۴ | ۵ | ۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۵۰۸ | ۱۰ | ۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۸۶۲ | ۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۸۳ | ۱۰ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۳۷ | ۱۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۷۵۴ | ۱۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۱۹۸ | ۱۵ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۴۸۴ | ۲۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۳۰۷ | ۱۵ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۱۹۸۶ | ۲۰ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۱۹۴ | ۳۰ | ۳۰ | ۲ |

جدول ۶- نتایج به کارگیری الگوریتم لوببرگ- مارکوارت با ترتیب توابع لگاریتم سیگموئید- تانژانت سیگموئید

| MSE | تعداد نرون لایه ی دوم | تعداد نرون لایه ی اول | تعداد لایه ی میانی |
|----------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| ۰/۰۰۵۴۶ | ۵ | ۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۳۹۷ | ۱۰ | ۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۲۲۹ | ۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۷۱ | ۱۰ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۲۲۶ | ۱۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۰۶۱۳ | ۱۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۴۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۶ | ۲۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۴۴ | ۱۵ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۲۳ | ۲۰ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۱ | ۳۰ | ۳۰ | ۲ |

می باشند.

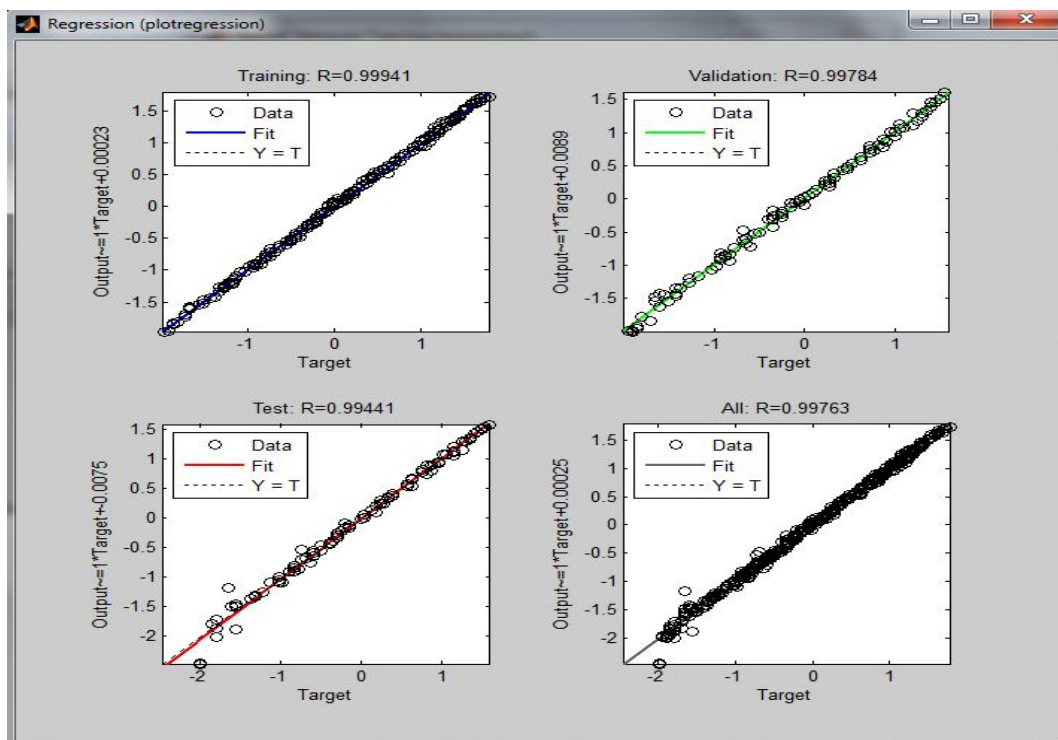
در شکل (۲)، شیب منحنی (نرخ خشک شدن) به طور پیوسته در طول دوره ی خشک شدن کاهش می یابد (دیامانته و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین مطابق انتظار، دمای خشک کن، منحنی های خشک شدن را تحت تأثیر قرار داده و با افزایش دما، زمان خشک شدن کاهش می یابد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷).

نتایج تحلیل نهایی ساختارهای منتخب ۱-۲۰-۴ با تابع تانژانت سیگموئید و ۱-۲۰-۱۵-۴ با توابع لگاریتم سیگموئید که با رویه ی postreg به دست آمده در قالب سه پارامتر m ، b و r بررسی گردید. شیب m ، برش b وای مربوط به بهترین رگرسیون خطی می باشد که در بهترین حالت، شیب برابر یک و برش وای برابر صفر می بایست به دست آید. همچنین R ، ضریب همبستگی بین خروجی ها و اهداف شبکه است که در بهترین حالت برابر یک به دست می آید. مقادیر m ، b و R برای دو ساختار مورد نظر بترتیب برابر $۰/۹۰۶۵$ ، $۰/۱۲۵۹$ ، $۰/۹۹۷۵$ و $۰/۹۳۱۱$ ، $۰/۰۸۷۶$ ، $۰/۹۹۸۶$ برای ساختارهای ۱-۲۰-۱۵-۴ با تابع تانژانت سیگموئید و ۱-۲۰-۱۵-۴ بدست آمد. مقایسه ی نتایج نهایی این دو ساختار نشان داد که ساختار دارای دو لایه ی میانی به مراتب در شبیه سازی اهداف شبکه، نسبت به ساختار تک لایه، دقیق تر عمل کرده است (پونوی و همکاران، ۲۰۰۶؛ چگینی و همکاران، ۲۰۰۸؛ منلیک و همکاران، ۲۰۱۰).

به منظور تعیین بهترین ساختار برای شبکه، ساختارهای مختلف تک لایه و همچنین دو لایه با تعداد نرون های مختلف در هر لایه بررسی شد. شبکه با تعداد تکرار ثابت ۲۵۰ و الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت آموزش داده شد. به این منظور از دو تابع آستانه ی تانژانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید در لایه های پنهان و تابع انتقال خطی در لایه ی خروجی استفاده گردید. نتایج به دست آمده در جدول (۳) تا (۶) درج گردیده است.

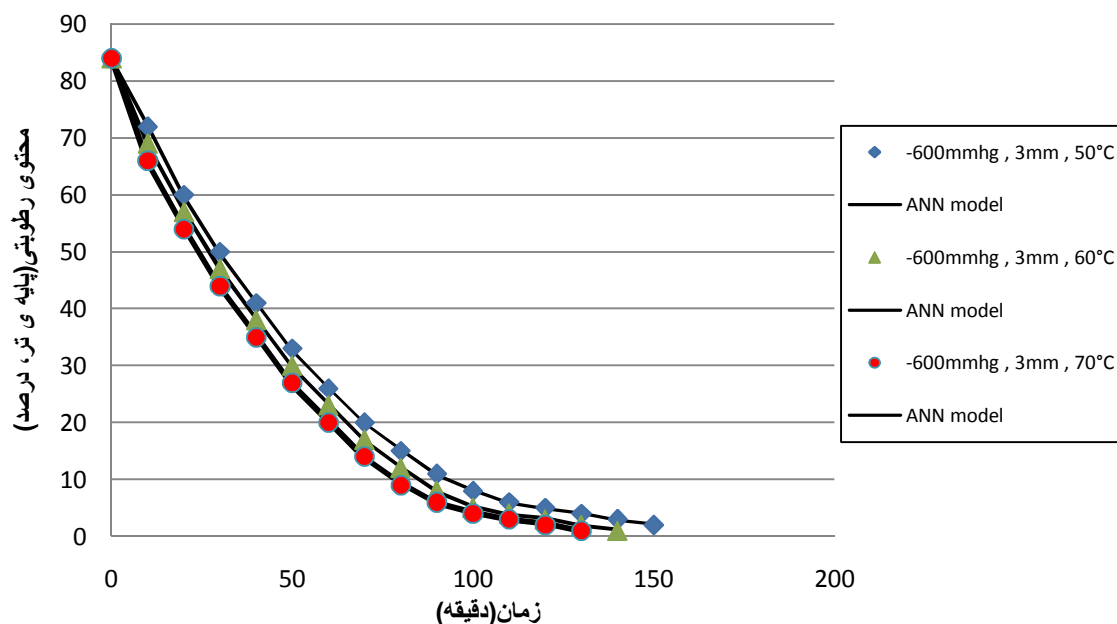
بر اساس شاخص میانگین مربعات خطا، بهترین نتیجه در ساختار با یک لایه ی میانی ۱-۲۰-۴ با تابع انتقال تانژانت سیگموئید و در ساختار با دو لایه ی میانی ۱-۲۰-۱۵-۴ با تابع انتقال لگاریتم سیگموئید مشاهده شد.

شکل ۱ نمودار تحلیل رگرسیونی ساختار منتخب ۱-۲۰-۴ را نشان می دهد. محور افقی در همه نمودارها مربوط به نتایج به دست آمده از انجام آزمایش ها و محور عمودی مربوط به محتوی رطوبتی پیش بینی شده توسط شبکه ی عصبی می باشد. با توجه به اینکه عملکرد شبکه در هر سه قسمت آموزش، ارزیابی و آزمون مطلوب می باشد خطوط مربوط به بهترین رگرسیون خطی به دست آمده در هر قسمت که به رنگ های سبز، آبی و قرمز می باشد بر خط چین، که مربوط به انطباق کامل نتیجه های پیش بینی با داده های آزمایشی می باشد، بر هم واقع گردیده اند و به سختی قابل تشخیص

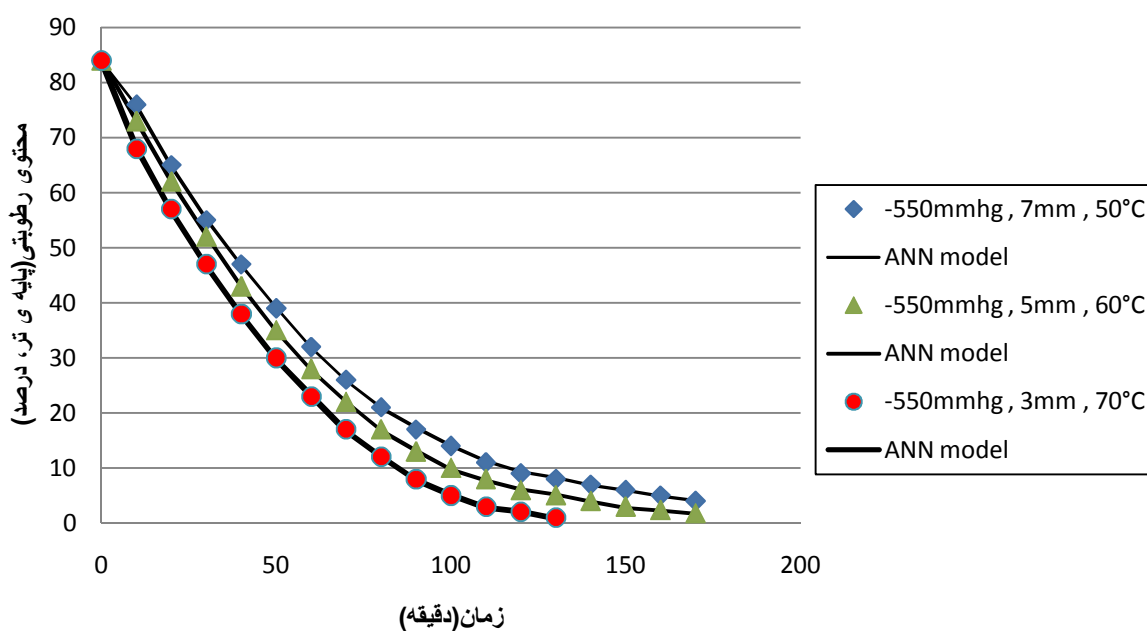


شکل ۱- نمودار تحلیل رگرسیونی ساختار ۱-۲۰-۴ با الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت تو تابع انتقال تانژانت سیگموئید

نمودار تغییرات محتوی رطوبت کیوی با گذشت زمان خشک شدن در دماهای مختلف در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- داده های آزمایشی و منحنی محتوی رطوبتی پیش بینی شده توسط ساختار ۱-۲۰-۱۵-۴ در فشار خلاء ۶۰۰ میلی متر جیوه و ضخامت ۳ میلی متر نمونه های کیوی

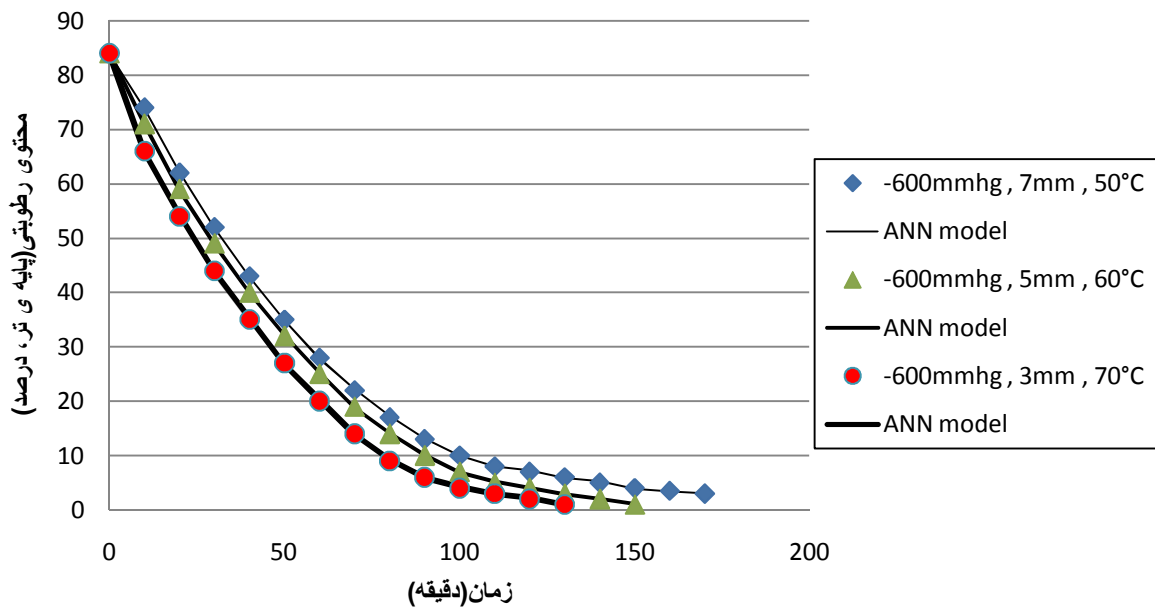


شکل ۳- داده های آزمایشی و منحنی محتوی رطوبتی پیش بینی شده با ساختار ۱-۲۰-۱۵-۴ در خلاء ۵۵۰ میلی متر جیوه

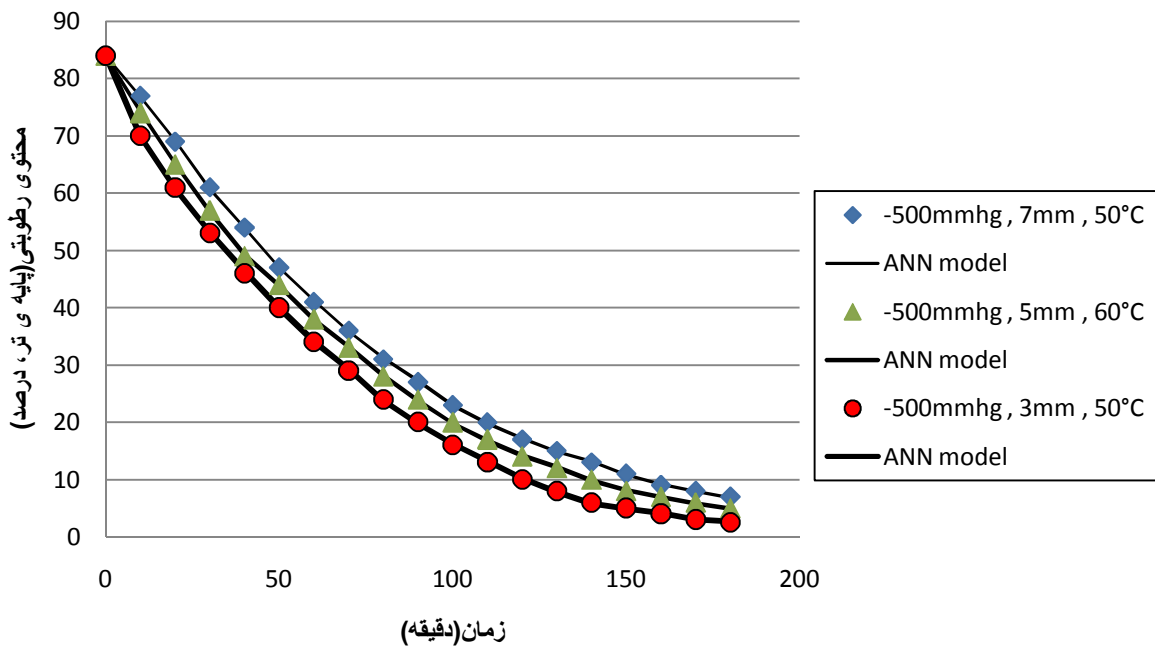
خشک کن قفسه ای با هوای داغ و میوه کاساوا، منلیک و همکاران (۲۰۱۰) در خشک کن انجمادی و محصول سیب، سینک و همکاران (۲۰۱۱) در خشک کن هوای داغ و محصول سیب زمینی شیرین، تریپاتی و کومار (۲۰۰۹) در خشک کن خورشیدی و محصول سیب زمینی هم خوانی دارد.

نمودار نتایج پیش بینی محتوی رطوبتی با شبکه ی عصبی ایجاد شده (ساختار ۱-۲۰-۱۵-۴) در مقابل داده های آزمایشی در سطوح خلاء مورد تحقیق در شکل های (۳) تا (۵) ارائه شده است.

نتایج این تحقیق با گزارش های سایر محققین در پیش بینی محتوی رطوبتی نظیر پونوی و همکاران (۲۰۰۶) در خشک کن خلاء و محصول گوجه فرنگی، لرت وراسیریکول و تیپسوان (۲۰۰۸) در



شکل ۴- داده های آزمایشی و منحنی محتوی رطوبتی پیش بینی شده با ساختار ۱-۲۰-۱۵-۴ در خلاء ۶۰۰ میلی متر جیوه



شکل ۵- داده های آزمایشی و منحنی محتوی رطوبتی پیش بینی شده با ساختار ۱-۲۰-۱۵-۴ در خلاء ۵۰۰ میلی متر جیوه

نتایج مدل های تجربی مقایسه شود. همچنین با توجه به اینکه کیفیت محصول نهایی عملیات خشک کردن حائز اهمیت می باشد، پارامترهای کیفی نظیر رنگ و طعم محصول نهایی می تواند به عنوان پارامترهای پیش بینی مد نظر قرار گیرد و بررسی شود.

در تحقیق های آنها نیز الگوریتم لونیبرگ- مارکوارت با توابع سیگموئیدی در لایه های میانی و تابع خطی در لایه ی خروجی بهترین نتایج را داشته است و با دقت قابل قبولی موفق به مدل سازی فرآیند خشک کردن گردیده اند. پیشنهاد می گردد در بررسی های آتی از سایر مدل های شبکه ی عصبی نیز استفاده گردد و نتایج با

نتیجه گیری

تمامی این ساختارها تابع انتقال مورد استفاده در لایه ی خروجی تابع خطی بود.

در مقایسه با مدل های ریاضی رایج خشک کردن محصولات کشاورزی از قبیل مدل پیچ ، مدل نیوتن، مدل میدیلی و همکاران، مدل دو جمله ای، مدل تقریب پخش، مدل هندرسون و پاییس و مدل لگاریتمیک، این مدل ها دارای ثوابت و ضرایب خاص خود می باشند که نیاز به عملیات زیاد و زمان بر برای تعیین این پارامترها و حل مدل می باشد و با توجه به تقریبی بودن پارامترها خطای پیش بینی آنها زیاد است. درمدل شبکه های عصبی مصنوعی در صورت نیاز امکان کاهش یا افزایش متغیرهای ورودی و خروجی وجود دارد. ضمن اینکه امکان پیش بینی بیش از دو متغیر در خروجی شبکه وجود دارد. هم چنین در حالی که امکان محاسبه پارامترهای کیفی در روش های ریاضی مدل سازی وجود ندارد در مدل شبکه های عصبی مصنوعی بطور هم زمان امکان اندازه گیری پارامترهای کمی و کیفی میسر می باشد.

مدل های شبکه ی عصبی مصنوعی ایجاد شده با ساختارهای منتخب به خوبی قادر به توصیف رفتار خشک شدن میوه ی کیوی در محدوده ی پارامتر های تحت آزمایش بودند. از میان الگوهای متعدد استفاده شده در قالب قاعده ی یادگیری پس انتشار، الگوریتم لونبرگ- مارکوارت بهترین عملکرد را نشان داد. در مقایسه ی صورت گرفته در خصوص نرخ یادگیری و ضریب اندازه حرکت، بهترین نتایج مربوط به نرخ یادگیری 0.12 و ضریب اندازه حرکت 0.05 بود. از بین ساختار های دارای یک لایه ی مخفی، ساختار $1-20-4$ با تابع انتقال تانژانت سیگموئید با توجه به دقت پیش بینی $99/44$ درصد و دقت شبیه سازی $99/75$ درصد و میانگین مربعات خطا 0.0016 بهترین ساختارها بود. از میان ساختار های دارای دو لایه مخفی، ساختار $1-20-15-4$ با توابع انتقال یکسان لگاریتم سیگموئید با توجه به دقت پیش بینی $99/81$ درصد و دقت شبیه سازی $99/86$ درصد و میانگین مربعات خطا 0.00147 مناسب ترین ساختارها انتخاب گردید. در

منابع

- البرزی، م.، 1383 ، آشنایی با شبکه های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
- زکی پور ملک آبادی، ا.، حمیدی اصفهانی، ز.، عباسی، س.، 1389 ، فرمولاسیون لواشک از ضایعات میوه ی کیوی، نشریه ی پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، 6 (4)، $270-263$.
- شایگانی سلطان پور، ع.ر.، گل محمدی، ع.، فرهپور، ف.، عباسی کوجکه، ا.، 1389 ، توسعه ی مدل پیش بینی محتوای رطوبتی موز در طی فرآیند خشک کردن با استفاده از شبکه ی عصبی مصنوعی، ششمین کنگره ی ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).
- فتحی، م.، محبی، م.، رضوی، س.م.ع.، 1388 ، مدل سازی سنتیک انتقال جرم طی فرآیند آبیگری اسمزی کیوی توسط شبکه های عصبی مصنوعی، فصلنامه ی علمی- پژوهشی فرآوری و نگهداری مواد غذایی، 1 (1)، $12-1$.
- کیا، م.، 1389 ، مبانی شبکه های عصبی مصنوعی، چاپ اول، انتشارات کیان رایان سبز.
- گرجیان، ش.، توکلی هاشجین، ت.، خوش تقاضا، م.ه.، 1389 ، مدل سازی سنتیک خشک شدن لایه ی نازک میوه ی زرشک به کمک شبکه ی عصبی مصنوعی، ششمین کنگره ی ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).
- محمدی، ع.، رفیعی، ش.، کیهانی، ع.ر.، امام جمعه، ز.، 1387 ، بررسی مدل خشک کردن ورقه های نازک کیوی (رقم هایوارد) در خشک کن لایه ی نازک، پنجمین کنگره ی ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد.
- منهاج، م.ب.، 1384 ، مبانی شبکه های عصبی مصنوعی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- وزارت جهاد کشاورزی، 1388 ، شناسنامه ی تصویری کیوی. www.agron.agri-jahad.ir، (۱۰ دی ۱۳۹۱).
- وزارت جهاد کشاورزی، 1387 ، آمار محصولات کشاورزی. www.maj.ir، (۱۲ بهمن ۱۳۹۱).
- ASABE., 2006, Moisture measurement: grain and seeds, ASABE Standard S352.2.FEB03, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph, MI 49085-9659, USA.
- Chegini, G.R., Khazaee, J., Ghobadian, B. & Goudarzi, A.M., 2008, Prediction of process and parameters in an orange juice spray dryer using neural networks. Journal of Food Engineering, 84, 534-543.
- Diamante, L., Durand, M., Savage, G. & Vanhanen, L., 2010, Effect of temperature on the drying characteristics, colour and ascorbic acid content of green and gold kiwifruits. International Food Research Journal, 17, 441-451.

- Erenturk, K., Erenturk, S. & Tabil, L.G., 2004, A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of *Echinacea Angustifolia*, regression analysis and neural network. *Computer and Electronics in Agriculture*, 45, 71-90.
- Farkas, I., Remenyi, P. & Biro, A., 2000, Modeling aspects of grain drying with a neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 29, 99-113.
- Fathi, M., Mohebbi, M. & Razavi, S.M.A., 2011, Application of image analysis and artificial neural network to predict mass transfer kinetics and color changes of osmotically dehydrated kiwifruit. *Food Bioprocess Technol*, 4, 1357-1366.
- Letworasirikul, S. & Tipsuwan, Y. 2008. Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network. *Journal of Food Engineering*, 84: 65-74.
- Menlik, T., Bahadır Ozdemir, M. & Kirmaci, V., 2010, Determination of freeze-drying behaviors of apples by artificial neural network. *Expert System with Applications*, 37, 7669-7677.
- Movagharnjad, K. & Nikzad, M., 2007, Modeling of tomato drying using artificial neural network. *Computers and Electronics in agriculture*, 59, 78-85.
- Poonnoy, P., Tansakul, A. & Manjeet, C., 2006, Artificial neural network modeling for temperature and moisture content prediction in tomato slices undergoing microwave-vacuum drying. *E. Food Engineering and Physical Properties*.
- Satish, S. & Pydi Setty, Y., 2005, Modeling of a continuous fluidized bed dryer using artificial neural networks. *Heat and Mass Transfer*, 32, 539-547.
- Singh, N., J. & Pandey, R., K. 2011. Neural network approaches for prediction of drying kinetics during drying of sweet potato. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(1).
- Tripathy, P.P. & Kumar, S. 2009. Neural network approach for food temperature prediction during solar drying. *International Journal of Thermal Sciences* 48 : 1452-1459.
- Topuz, A., 2010, Predicting moisture content of agricultural products using artificial neural networks. *Advances in Engineering Software*, 41, 464-470.



Prediction the moisture content of kiwifruit in vacuum drier using artificial neural network

H. Majidzadeh¹- B. Emadi^{2*}- A. A. Farzad³

Received: 03-04-2013

Accepted: 12-10-2013

Abstract

In this study, the moisture content of kiwifruit in vacuum dryer was predicted using artificial neural networks (ANN) method. The drying temperatures (50, 60 and 70°C), vacuum pressures (500, 550 and 600 mmHg), thicknesses of kiwifruit slices (3, 5 and 7mm) and drying times were considered as the independent input parameters and moisture content as the dependent parameter. Experimental data obtained from vacuum drying process, were used for training and testing the network. Several criteria such as training algorithm, learning rate, momentum coefficient, number of hidden layers, number of neurons in each hidden layer and activation function were given to improve the performance of the ANN. The total number of hidden layers and the number of neurons in each hidden layer were chosen by trial and error. The best training algorithm was LM with the least MSE value. Optimum values of learning rate and momentum for the ANN with GDM training algorithm were set at 0.2 and 0.05, respectively. The optimal topologies were 4-20-1 with Tansig activation function and MSE values of 0.0016 and 4-15-20-1 with Logsig activation function in both hidden layer and MSE values of 0.000147. The correlation between the predicted and experimental values in the optimal topologies was higher than 99.75%.

Keywords: Artificial Neural Network, Kiwifruit, Learning rate, Moisture content, Vacuum drying.

1, 2 And 3- Former MSc student and Associate Professors, Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Respectively.

(* - Corresponding author Email: Emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir)