

کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی در پیش‌بینی نسبت رطوبت و بررسی خصوصیات حسی و تغذیه‌ای و گوجه فرنگی در طی خشک کردن

محسن مختاریان^{1*}، فاطمه کوشکی²

¹ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، باشگاه پژوهشگران جوان، سبزوار، ایران
² دانش آموخته کارشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، گروه علوم و صنایع غذایی، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: 90/9/5 تاریخ پذیرش: 91/1/22

چکیده

در این پژوهش، خشک کردن لایه‌ای نازک گوجه فرنگی توسط خشک کن هوای داغ آزمایشگاهی شبیه‌سازی گردید. فرآیند خشک کردن در دو دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ انجام گرفت. داده‌های خشک کردن توسط 8 مدل سینتیکی برازش داده شد. بهترین مدل از طریق R^2 ، RMSE و χ^2 مشخص گردید. فرآیند مدل‌سازی نشان داد که مدل لگاریتمی، بهترین کارایی را داشت. همچنین، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی گوجه فرنگی، نظیر چروکیدگی، اسیدیته، غلظت یون هیدروژن و رنگ در طی خشک کردن تعیین گردید. نتایج، نشان داد که دمای هوای خشک کردن تاثیر معنی داری روی رنگ برش‌های گوجه فرنگی داشت. علاوه بر این، در این تحقیق، مطلوبیت برگه‌های گوجه فرنگی تهیه شده به وسیله‌ی آزمون حسی مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمون، کیفیت‌های حسی رنگ، عطر، طعم، شکل ظاهری و قابلیت جویدن (تردی بافت) نمونه‌ها مد نظر قرار گرفت. نتایج، نشان داد که دمای هوای خشک کردن تاثیر معنی داری روی شکل ظاهری داشت ($P < 0.01$). نتایج مدل‌سازی، نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون همراه با تابع محرک لوگ سیگموئید به عنوان بهترین تابع محرک مدل، توانست نسبت رطوبت را با ضریب رگرسیون 0/996 پیش‌بینی نماید.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن هوای داغ، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی، ارزیابی حسی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی.

1- مقدمه

گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill) یکی از سبزیجات تجاری می‌باشد که به مقدار زیادی در جهان تولید می‌شود. تولید جهانی گوجه فرنگی در تقویم سال 2008 به 136229711 میلیون تن رسیده است (12). خشک کردن سبزیجات به عنوان روشی است جهت بهبود قدرت ماندگاری و یکی از روش‌هایی است که از قرن‌ها پیش متداول بوده است. برخلاف سبزیجات خشک که فقط برای مدت کوتاهی و در شرایط خاصی نگه داری شوند، فرآورده‌های خشک شده را می‌توان در مدت‌های طولانی، بدون کاهش ارزش غذایی نگه داری نمود. همچنین، سبزیجات خشک شده به دلیل وزن توده‌ی کم به آسانی و راحتی حمل و نقل می‌شوند. در برخی مواد، خشک کردن، سبب کاهش قابل توجهی در حجم شده و این سبب کاهش فضای مورد نیاز جهت نگه داری می‌گردد (19). برای رسیدن به این اهداف باید فرآیند خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی را مدل سازی نمود تا بتوان بر اساس الگوی به دست آمده از مدل، روند خشک کردن محصول را پیش بینی نمود. هدف از استخراج مدل خشک کردن محصولات کشاورزی، پیش بینی نحوه‌ی خشک کردن محصولات می‌باشد. عملیات خشک کردن یکی از مهم ترین مراحل در فرآیندهای شیمیایی و صنعتی مواد غذایی می‌باشد. پایه و اساس بحث خشک کردن فرآورده‌های غذایی حذف آب و افزایش مواد جامد در یک سطح قابل قبول می‌باشد که در این حالت، فساد میکروبی و واکنش‌های نامطلوب شیمیایی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد (14). پژوهش‌های زیادی در رابطه با خشک کردن و مدل سازی ریاضی محصولات غذایی انجام گرفته است که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. ساسلیک و همکاران (2006) گوجه فرنگی را به صورت ورقه‌های نازک در دمای $70^{\circ}C$ به مدت 24 ساعت خشک کردند. رطوبت متوسط در حد 93/35٪ بود. مدل تقریب بخش به علت دارا بودن بیش ترین میزان R2 و کم ترین $2^{\circ}C$ به عنوان بهترین مدل برای خشک کردن ورقه‌های نازک گوجه فرنگی پیشنهاد گردید (20). دویماز و اسماعیل (2011) ویژگی‌های خشک کردن گیلان را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، تاثیر امولسیون‌های قلیایی و اتیل اولئات روی ویژگی‌های خشک کردن گیلان در چهار سطح دمایی $60^{\circ}C$

70 و 75 مورد بررسی قرار گرفت. مدل پیچ به عنوان بهترین مدل برای توصیف ویژگی‌های خشک کردن گیلان ارائه گردید (11). درمزن لوگلو (2007) و همکاران سینتیک مدل‌سازی و تخریب کیفیت گوجه فرنگی را در طی خشک کردن اسمزی مورد بررسی قرار دارند (7). لویسکی و همکاران (2002) تاثیر پیش تیمار را روی ویژگی‌های خشک کردن گوجه فرنگی بررسی نمودند. یون‌های کلسیم مورد استفاده در خشک کردن گوجه فرنگی تاثیری زیادی در سنتیک خشک کردن و خصوصیات باز آپوشی فرآورده‌ی خشک شده دارد. نتایج، نشان داد که چروکیدگی بافت گوجه فرنگی پیش تیمار شده با کلرید کلسیم کم‌تر از گوجه فرنگی از پیش تیمار نشده می‌باشد (15).

شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش‌های محاسباتی نوینی برای پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده می‌باشند. ایده‌ی اصلی این گونه شبکه‌ها الهام گرفته از شیوه‌ی کارکرد سیستم عصبی زیستی، برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش قرار دارد (21). پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی صورت گرفته است. گروهی از پژوهشگران ایرانی، کاربرد ابزار هوشمند شبکه‌ی عصبی مصنوعی را در مدل سازی فرآیند انتقال جرم کدوی حلواپی بررسی نمودند. نتایج، نشان داد که بهترین چیدمان شبکه‌ی عصبی با یک لایه‌ی پنهان در پیش‌بینی پارامترهای جذب مواد جامد و کاهش آب به ترتیب شبکه‌ی ای با پیکربندی 2-10-1 و 2-18-1 بوده، همچنین در بین شبکه‌ی عصبی با دو لایه‌ی پنهان بهترین چیدمان در تخمین پارامترهای جذب مواد جامد و کاهش آب، چیدمان 2-6-6-1 و 2-22-22-1 می‌باشد (2). گروه دیگری از محققین مدل سازی خشک کردن گوجه فرنگی را با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی بررسی کردند. داده‌های با کمک مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی و و مدل‌های تجربی مدل سازی گردید. نتایج، نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی دقت بالاتری را در پیش‌بینی داده‌های تجربی داشت (18). در پژوهشی دیگر، مقدار محتوی رطوبتی موز در فرآیند آبگیری با دو روش غیر حرارتی آبگیری اسمزی و اولتراسوند و با کمک شبکه‌ی عصبی مصنوعی و ژنتیک الگوریتم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، نشان داد که به کارگیری شبکه‌ی عصبی با 7 و 10 نرون در اولین و دومین لایه‌ی مخفی میزان محتوی رطوبتی را با ضریب تبیین 0/94 پیش بینی می‌کند (17).

بیولوژیکی و اکثراً مواد غذایی به کار برده می‌شود مورد برآزش قرار گرفت (8، 22 و 23).

جدول 1- مدل‌های دینامیکی مختلف ارائه شده توسط نویسندگان برای منحنی‌های خشک کردن

نام مدل	معادله‌ی مدل
نیوتن	$MR = \exp(-kt)$
بیج	$MR = \exp(-kt^n)$
بیج اصلاح شده	$MR = \exp(-(kt)^n)$
هندرسون و پاییس	$MR = a \exp(-kt)$
لگاریتمی	$MR = a \exp(-kt) + C$
تامسون	$t = a \ln(MR) + b(\ln(MR))^2$
آق باشلو و همکاران	$MR = \exp(-kt/1+k_1t)$
دیامنت و همکاران	$\ln(-\ln MR) = a + b \ln t + c (\ln t)^2$

در این تحقیق، برای انتخاب مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده‌ی سینتیک خشک کردن لایه‌ای نازک برش‌های گوجه فرنگی، ضریب همبستگی (R^2)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) و کای اسکور (χ^2) ما بین داده‌های تجربی و نتایج پیش‌بینی شده توسط هر مدل محاسبه و با مدل‌های دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. این معیارها توسط معادلات زیر، محاسبه شدند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{pre,i})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right)} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-Z} \quad (4)$$

در این معادلات، $MR_{exp,i}$ نسبت رطوبت برش‌های گوجه فرنگی مشاهده شده در i امین اندازه‌گیری، $MR_{pre,i}$ نسبت رطوبت برش‌های گوجه فرنگی پیش‌بینی شده‌ی مدل در i امین اندازه‌گیری، N تعداد مشاهدات و Z تعداد ضرایب ثابت مدل می‌باشد. برای سنجش بهترین مدل جهت پیش‌بینی نحوه‌ی خشک

هدف از این پژوهش بررسی سینتیک خشک کردن برگه‌های گوجه فرنگی و بررسی خصوصیات حسی، تغذیه‌ای محصول در طی خشک کردن می‌باشد. همچنین در این پژوهش، امکان سنجی پیش‌بینی نسبت رطوبت گوجه فرنگی توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به دست آمده با مدل‌های تجربی مقایسه گردید.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده‌سازی ماده‌ی اولیه

گوجه فرنگی‌های تازه (ریو گرند Y^1) از بازار محلی خریداری شد. میانگین قطر و وزن گوجه‌ها به ترتیب 4/5 سانتی‌متر و 135 گرم بود. آن‌ها در دمای 5 درجه‌ی سانتیگراد و رطوبت نسبی 80-90 درصد نگه‌داری گردید. قبل از هر آزمایش، مواد خام شست و شو و در اندازه‌های 5 میلی‌متر برش زده شد. رطوبت اولیه‌ی نمونه‌ها از طریق آون (Memmert, model UNE 400 PA, Scheabach, Germany) در دمای 105 درجه‌ی سانتیگراد تعیین و مقدار آن 92/37٪ (مبنای تر) محاسبه گردید (4).

2-2- مدل‌سازی ریاضی منحنی‌های خشک کردن

در این تحقیق، نسبت رطوبت نمونه‌های گوجه فرنگی توسط معادله‌ی زیر محاسبه گردید:

$$MR = \frac{(m_t - m_e)}{(m_0 - m_e)} \quad (1)$$

در این معادله، m_t مقدار رطوبت در زمان t ، m_0 مقدار رطوبت اولیه، m_e مقدار رطوبت تعادلی می‌باشد. نمونه‌ها در دو دمای $60^\circ C$ و $70^\circ C$ در خشک‌کن جابه‌جایی هوای داغ خشک گردید. در این تحقیق، رفتار کاهش رطوبت با گذشت زمان مورد مطالعه قرار گرفت. مدل‌های منحنی خشک کردن لایه‌ای نازک گوجه فرنگی بر اساس مدل‌های توصیه شده توسط محققانی که در این زمینه کار نموده‌اند طبق جدول 1، انتخاب گردید. در این مطالعه، فرآیند مدل‌سازی ریاضی توسط نرم‌افزار کامپیوتر Sigma Plot نسخه 11 شبیه‌سازی گردید. منحنی‌های خشک کردن توسط 8 مدل رطوبت نسبی مختلف که به طور وسیعی برای مواد

¹ - Rio grand Y

جهت تعیین رنگ نمونه، ابتدا گوجه فرنگی‌های خشک شده ا آسیاب گردیدند. سپس، مقدار کمی از نمونه‌ی پودر گوجه فرنگی به دست آمده توزین شده و با مقدار مشخصی آب مقطر مخلوط شد تا یک نمونه هموزن با بریکس به دست آید. سپس، این نمونه توسط کاغذ صافی 0/45 میکرومتر، صاف شده و 4 میلی لیتر از عصاره‌ی حاصل با 10 میلی لیتر استون مخلوط و مجدداً صاف گردید. سپس، جذب عصاره‌ی شفاف شده حاصل به روش اسپکتروفتومتری (Shimadzu, Model UV-120-02, Japan) در طول موج 420 نانومتر اندازه گیری شد (1).

2-4-2- تعیین اسیدیته و غلظت یون هیدروژن²

مقدار اسیدیته‌ی نمونه بر حسب درصد اسید سیتریک به روش تیتراسیون تعیین گردید. همچنین، میزان غلظت یون هیدروژن توسط pH متر دیجیتال اندازه گیری شد.

2-4-3- تعیین چروکیدگی³

جهت تعیین میزان چروکیدگی نمونه‌ی خشک شده از رابطه‌ی (7) استفاده گردید.

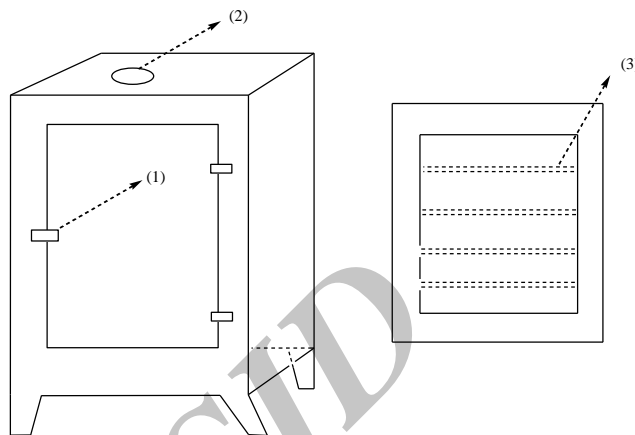
$$\%SKG = \frac{V}{V_0} \quad (7)$$

در این معادله، V_0 حجم گوجه فرنگی تازه بر حسب سانتی متر مکعب و V حجم گوجه فرنگی خشک شده بر حسب سانتی متر مکعب می‌باشد. حجم نمونه‌ها با اندازه گیری قطر و ضخامت برش‌ها توسط کولیس (مدل ورتکس⁴، M502، با دقت 0/01 میلی متر) محاسبه گردید (13).

2-5- آزمون ارزیابی حسی

آزمون ارزیابی حسی به وسیله‌ی یک گروه ارزیاب حسی متشکل از 10 نفر از متخصصان صنایع غذایی انجام پذیرفت. کلیه‌ی ارزیابی‌ها به روش تک چشایی⁵ و با امتیازبندی هدونیک⁶ پنج نقطه‌ای صورت گرفت. بدین ترتیب که پرسش‌نامه‌هایی تهیه شده و از هر فرد 5 سؤال پرسیده شد و برای هر سؤال 5 گزینه به عنوان پاسخ موجود بود. سؤالات مطرح شده عبارتند از: رنگ، عطر، طعم و مزه، شکل ظاهری و قابلیت جویدن (تردی بافت). هر فرد

شدن برش‌های گوجه فرنگی معیارهای R^2 ، RMSE و χ^2 مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، مدل خشک کردن با حداکثر همبستگی R^2 و حداقل RMSE و χ^2 به عنوان مدل مناسب برای توصیف سینتیک خشک کردن برش‌های گوجه فرنگی، انتخاب گردید (9).



شکل 1- طرحواره‌ی خشک کن جابه جایی هوای داغ، (1) درب خشک کن، (2) خروجی هوا و (3) طبقات.

2-3- محاسبه‌ی ضریب انتشار رطوبت

برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ موثر از قانون دوم فیک، استفاده شد.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 X}{\partial X^2} \quad (5)$$

که در آن، X مقدار رطوبت موضعی در مینای خشک، t زمان، X مشخصه‌ی فضایی¹ و D_{eff} ضریب نفوذ موثر (m^2/s) می‌باشد. قانون دوم فیک، اغلب برای توصیف پدیده‌ی نفوذ رطوبت به کار می‌رود. حل معادله‌ی فیک برای یک تیغه به صورت زیر می‌باشد:

$$MR = \frac{m_t - m_e}{m_0 - m_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left(- (2n + 1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (6)$$

که در آن، D_{eff} ضریب نفوذ موثر، L نیم ضخامت تیغه بر حسب متر و t زمان خشک کردن بر حسب دقیقه می‌باشد.

2-4- ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محصول خشک

شده

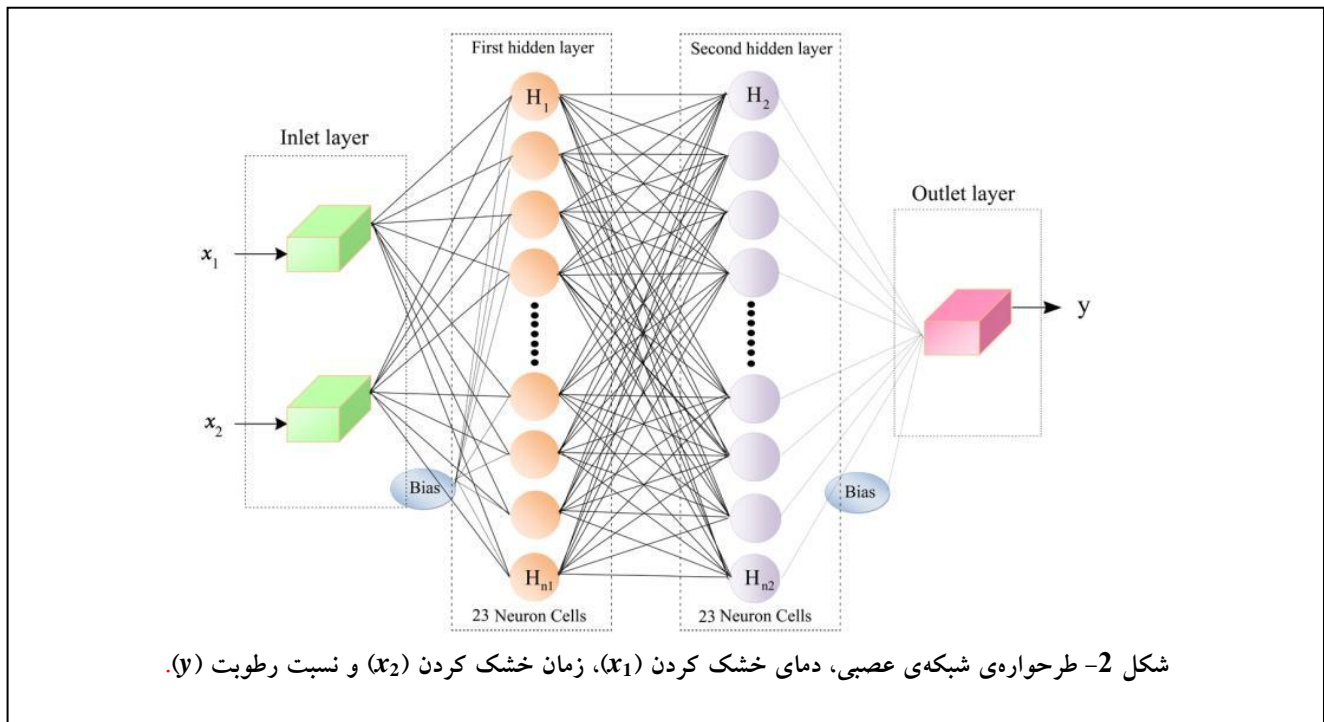
2-4-1- تعیین رنگ

2 -pH
3 -Shrinkage (SKG)
4 -Vertex
5 -Single Stimulus
6 -Hedonic

1 - Spatial coordinate

گردد. به منظور یافتن بهترین پیکربندی، تعداد 1-2 لایه پنهان با 23-2 عدد نرون در هر لایه پنهان، نرخ یادگیری 0/4، ضریب مومنتوم 0/9 و توابع فعال سازی لگاریتم سیگموئید (رابطه‌ی 8) و تانژانت هیپربولیک (رابطه‌ی 9) در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید.

با توجه به سلیقه‌ی خود یکی از گزینه‌های خیلی خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد را علامت زد. در نهایت با دادن امتیاز به هر گزینه (خیلی خوب = 5، خوب = 4، متوسط = 3، بد = 2 و خیلی بد = 1)، به وسیله نرم افزار SAS نسخه 9/1 و آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح 0/05 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (3).



6-2- شبکه‌ی عصبی مصنوعی

برای مدل سازی با شبکه‌ی عصبی مصنوعی از نرم افزار SPSS نسخه‌ی 19 (2011) استفاده گردید. نوع شبکه طراحی شده پرسپترون چند لایه¹ (MLP) بود که در آن لایه‌ی ورودی شامل دو نرون (دمای خشک کردن x_1) و زمان خشک کردن (x_2) و لایه‌ی خروجی شامل یک نرون (نسبت رطوبت y) بود. بنابراین، مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی بر اساس 2 ورودی و 1 خروجی طراحی گردید. همان طور که مشاهده می‌گردد شکل 2 ساختار شماتیک شبکه‌ی عصبی پرسپترون را نشان می‌دهد. بهینه سازی ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی با بررسی چیدمان‌های مختلف شبکه و نیز ارزیابی همبستگی بین خروجی‌های شبکه‌ی عصبی و داده‌های آزمایشی انجام گرفت. برای بهینه سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی پارامترهای مختلف شبکه نظیر تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون در هر لایه پنهان، نوع تابع فعال سازی در لایه پنهان و خروجی، نرخ یادگیری و ضریب مومنتوم باید ارزیابی

$$\text{logsig} = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (0, +1) \quad (8)$$

$$\text{tanh} = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}} \quad (-1, +1) \quad (9)$$

جهت مدل سازی شبکه‌ی عصبی ابتدا داده‌ها به دو قسمت تقسیم گردید به طوری که 70 درصد داده‌ها برای آموزش و 30 درصد باقیمانده برای ارزیابی شبکه در نظر گرفته شدند. به منظور مقایسه‌ی کارایی شبکه‌ی عصبی برای پیش بینی نسبت رطوبت از شاخص‌های ضریب تبیین¹ و خطای نسبی میانگین³ استفاده گردید (رابطه‌ی 10 و 11).

$$\text{MRE} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|(P_{ANN,i} - P_{exp,i})|}{P_{exp,i}} \right) \times 100 \quad (10)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_{ANN,i} - P_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{ANN,i} - MR_{ANN,i})^2} \right] \quad (11)$$

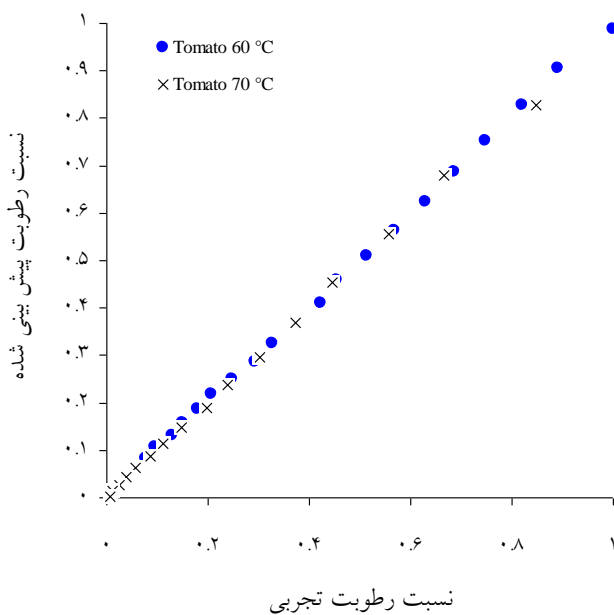
2 - Coefficient of determined (R^2)

3 - Mean Relative Error (MRE)

1 - Multi Layer Perceptron (MLP)

مطلب است که مدل دینامیکی به دست آمده‌ی لگاریتمی بهتر می‌تواند ویژگی‌های خشک کردن گوجه فرنگی را توصیف نماید. نتایج مشابه، توسط دویماز و اسمائیل (2011) مشاهده گردید (11). جدول 4، مقادیر ثابت‌های به دست آمده در مورد مدل‌های دینامیکی در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.

شکل 4، نتایج تغییرات آهنگ خشک کردن را بر حسب تابعی از زمان برای برش‌های گوجه فرنگی در دماهای مختلف نشان می‌دهد. همان طور که از نتایج مشاهده می‌گردد افزایش دمای هوا منجر به افزایش آهنگ خشک کردن و کاهش زمان خشک کردن می‌گردد. نتایج مشابه، توسط دویماز و اسمائیل (2011) گزارش گردید (11). مقادیر انتشار رطوبت مؤثر گوجه فرنگی در دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ به ترتیب $1/23 \times 10^{-10}$ و $2/36 \times 10^{-10}$ محاسبه گردید. همان طور که مشاهده می‌گردد در یک شرایط مشابه مقادیر انتشار رطوبت در دمای $70^{\circ}C$ بیش‌تر از دمای $60^{\circ}C$ می‌باشد. نتایج مشابه برای میوه جات و سبزیجات مختلف در جدول 5، نشان داده شده است.



شکل 3- مقایسه‌ی نتایج نسبت رطوبت داده‌های تجربی و پیش‌بینی شده برای مدل لگاریتمی

در این معادلات، P_{ANN} مقدار پیش‌بینی شده برای پارامترهای خروجی از شبکه، P_E مقادیر داده‌های تجربی به دست آمده از آزمایش و N تعداد مشاهدات می‌باشد (2).

2-7- تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز آماری ویژگی‌های نمونه‌ی گوجه فرنگی با استفاده از طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه‌ی میانگین داده با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری 1٪ با کمک نرم افزار SAS نسخه 9/1 انجام گرفت. متغیر مستقل دمای خشک کردن نمونه‌ها ($60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$) بود. متغیرهای وابسته‌ی فرآیند اسمری شامل رنگ، چروکیدگی، اسیدیته و غلظت یون هیدروژن می‌باشد. کلیه‌ی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- ارزیابی سینتیک خشک کردن گوجه فرنگی

8 مدل دینامیکی خشک کردن لایه ای نازک گوجه فرنگی در دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ مورد برازش قرار گرفت. پارامترهای آماری مورد آزمون شامل R^2 ، χ^2 و RMSE بود. مقادیر آنالیز آماری برای هر یک از این پارامترها در جداول 2 و 3 به طور مختصر، نمایش داده شده است. در همه‌ی حالت‌ها مقدار R^2 برای مدل‌های مورد برازش، بیش‌تر از 0/9746 بود. بازه‌ی تغییرات R^2 بین 0/9746 تا 0/9918، χ^2 به ترتیب 0/00006287 تا 0/003474 و مقدار دامنه‌ی تغییر RMSE نیز به ترتیب 0/00723 تا 0/17014 قرار داشت. نتایج آنالیز آماری، نشان داد که مدل لگاریتمی¹ دارای بالاترین R^2 و کم‌ترین χ^2 و RMSE می‌باشد. بنابراین، بالاتر بودن ضریب تبیین و کم بودن کای اسکور و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا مهم‌ترین دلایل در انتخاب بهترین مدل مورد برازش می‌باشد. مقایسه‌ی نسبت رطوبت داده‌های تجربی² و داده‌های پیش‌بینی شده³ برای بهترین مدل مورد برازش در دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ در شکل 3 نمایش داده شده است. مقادیر نسبت رطوبت داده‌های پیش‌بینی بر حسب داده‌های تجربی به صورت یک خط راست روی نمودار می‌باشد که خود گویای این

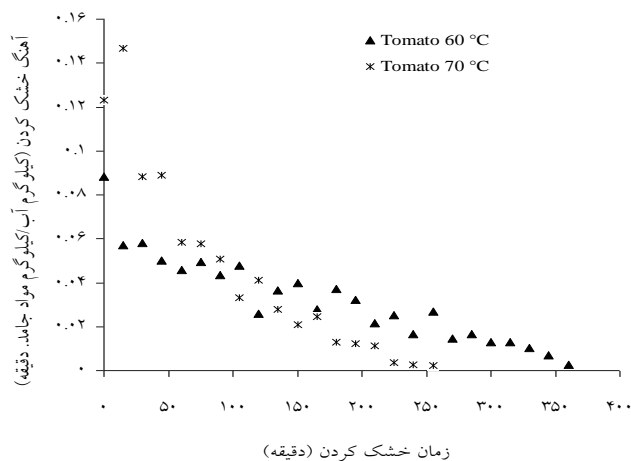
1 -Logarithmic Models

2 -MR_{exp}

3 -MR_{pre}

شکل 4- تغییرات آهنگ خشک کردن در مقابل زمان در دماهای

مختلف در طی خشک کردن هوای داغ



جدول 2- نتایج آماری مدل‌های خشک کردن لایه ای نازک گوجه فرنگی در دمای 60 °C

نام مدل	χ^2	RMSE	R ²
نیوتن	0/0004849	0/02140	0/9899
پیچ	0/0002100	0/01366	0/9890
پیچ اصلاح شده	0/0002100	0/01366	0/9901
هندرسون و پابیس	0/0004301	0/01955	0/9892
لگاریتمی	6/2876×10 ⁻⁵	0/00723	0/9918
تامسون	0/0021767	0/04398	0/9889
آق باشلو و همکاران	0/0002076	0/01382	0/9912
دیامنت و همکاران	0/0234418	0/14362	0/9881

جدول 3- نتایج آماری مدل‌های خشک کردن لایه ای نازک گوجه فرنگی در دمای 70 °C

نام مدل	χ^2	RMSE	R ²
نیوتن	0/0018039	0/04161	0/9802
پیچ	0/0007400	0/02609	0/9902
پیچ اصلاح شده	0/0007400	0/02609	0/9902
هندرسون و پابیس	0/0016620	0/03910	0/9825
لگاریتمی	6/2986×10 ⁻⁵	0/00744	0/9918
تامسون	0/0031287	0/05365	0/9801
آق باشلو و همکاران	0/0001117	0/00996	0/9909
دیامنت و همکاران	0/0347401	0/017014	0/9746

جدول 4- ضرایب ثابت مدل‌ها در شرایط مختلف خشک کردن

نام مدل	دما (°C)	k (min ⁻¹)	k ₁	n	a	b	c
نیوتن	60	0/0072211	-	-	-	-	-
	70	0/0138659	-	-	-	-	-
پیچ	60	0/0023720	-	1/21883	-	-	-
	70	0/0084288	-	1/11068	-	-	-
پیچ اصلاح شده	60	0/0070210	-	1/21883	-	-	-
	70	0/0135665	-	1/11068	-	-	-
هندرسون و پابیس	60	0/0075253	-	-	1/04236	-	-
	70	0/0142317	-	-	1/02766	-	-
لگاریتمی	60	0/0047543	-	-	1/22091	-	-0/2321
	70	0/0123027	-	-	1/06011	-	-0/0530
تامسون	60	-	-	-	-0/00223	-0/0000261	-
	70	-	-	-	-0/00713	-0/0000544	-
آق باشلو و همکاران	60	0/005424	-0/00134	-	-	-	-
	70	0/012042	-0/00125	-	-	-	-
دیامنت و همکاران	60	-	-	-	-0/06433	-1/41010	0/2829
	70	-	-	-	-0/06998	-1/22732	0/280

جدول 5- مقایسه‌ی مقادیر انتشار رطوبت مؤثر گوجه فرنگی و سایر محصولات

منابع	D _{eff} (m ² /s)	دامنه‌ی دما (°C)	محصولات
دویماز (2004 b)	55	6.76-12.6×10 ⁻¹⁰	زرد آلو
دویماز (2004 a)	70-50	0.77-9.33×10 ⁻⁹	هویچ
دویماز و اسمائیل (2011)	75-60	1.54-5.68×10 ⁻¹⁰	آلبالو
مقاله‌ی حاضر	70-60	1.23-2.36×10 ⁻¹⁰	گوجه فرنگی

جدول 6- مقایسه‌ی ویژگی‌های کیفی برش‌های گوجه فرنگی خشک شده و تازه

ویژگی‌های کیفی	گوجه فرنگی تازه	گوجه‌ی خشک شده در دمای 60°C	گوجه‌ی خشک شده در دمای 70 °C
رنگ (جذب در طول موج 420 نانومتر)	^c 0/199 ± 0/001	^b 0/381 ± 0/001	^a 0/542 ± 0/002
عبور نور ¹ (در طول موج 420 نانومتر)	^a 63/13 ± 0/25	^b 41/16 ± 0/28	^c 28/26 ± 0/20
حجم گوجه خشک شده (cm ³)	^a 40/08 ± 0/96	^b 5/343 ± 1/28	^b 4/659 ± 0/34
چروکیدگی (بدون بعد)	-	^a 87/354 ± 1/15	^a 88/803 ± 0/92
غلظت یون هیدروژن (pH)	^a 4/24 ± 0/00	^b 4/2 ± 0/005	^c 4/18 ± 0/005
اسیدیته (% اسید سیتریک)	^c 0/486 ± 0/00	^b 0/755 ± 0/01	^a 0/789 ± 0/009

* میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف آماری معنی داری در سطح احتمال 1 % ندارند.

3-2- تغییرات کیفیت برش‌های گوجه فرنگی در طی خشک

شدن

3-2-1- تغییرات رنگ

میزان تغییرات رنگ گوجه فرنگی قبل و بعد از خشک شده، مورد سنجش قرار گرفت. ارزیابی رنگ در طی خشک شده در دمای هوای مختلف خشک کردن در جدول 6 نشان داده شده است. نتایج تغییرات رنگ حاکی از آن بود که میزان جذب رنگ (در طول موج 420 نانومتر) در گوجه فرنگی تازه نسبت به نمونه‌های خشک شده کم‌ترین میزان را داشته و از لحاظ آماری در اختلاف آماری معنی داری با هم نشان دادند. نتایج، نشان داد که دمای هوای خشک کردن تاثیر معنی داری روی تغییرات رنگ داشته به طوری که برش‌های خشک شده در دمای $70^{\circ}C$ دارای بالاترین میزان جذب (کم‌ترین میزان عبور نور) بوده و بیش‌ترین امتیاز آماری را به خود اختصاص داده است ($P < 0.01$). نتایج، نشان داد که واکنش‌های غیر آنزیمی مایلارد نقش اساسی در تغییرات رنگ در طی خشک شدن، ایفا می‌نمایند (5).

3-2-2- چروکیدگی و حجم

جدول 6 درصد تغییرات چروکیدگی و حجم برش‌های گوجه فرنگی را در دمای مختلف، نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد که در دمای مختلف بین نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ هیچ اختلاف آماری معنی داری مشاهده نگردید اگرچه نمونه‌ی خشک شده در دمای $70^{\circ}C$ دارای امتیاز آماری بالاتری نسبت به نمونه $60^{\circ}C$ می‌باشد ($P < 0.01$). این پدیده در دماهای خشک کردن بالا به احتمال زیاد به علت اختلاف زیاد بین دمای گوجه فرنگی و دمای انتقال شیشه‌ای بوده و ساختار ماده غذایی قادر به تحمل آن نبوده و فروپاشی اتفاق می‌افتد (6، 16). با نگاه کوتاه با جدول 6 مشاهده می‌گردد که حجم نمونه در دمای $60^{\circ}C$ نسبت به نمونه $70^{\circ}C$ بیش‌تر می‌باشد. همچنین، نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اختلاف آماری معنی داری بین دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ مشاهده نشد اگرچه حجم نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ دارای بالاترین امتیاز آماری می‌باشد ($P < 0.01$).

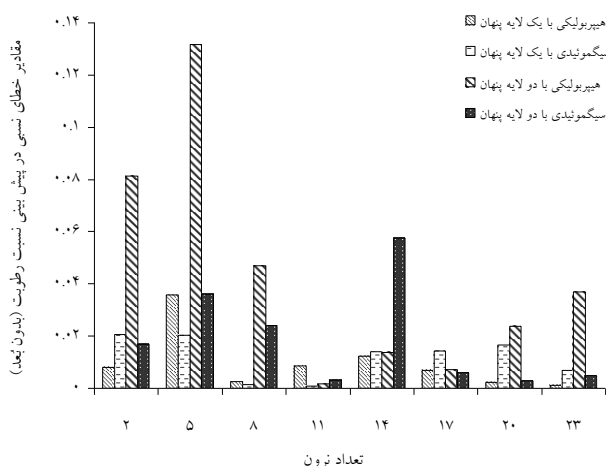
3-2-3- تغییرات غلظت یون هیدروژن و اسیدیته

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که دمای هوای خشک کردن تاثیر معنی داری روی غلظت یون هیدروژن و اسیدیته نمونه‌ی خشک شده در سطح احتمال 99٪ داشته است (جدول 6). نتایج، نشان داد که غلظت یون هیدروژن در نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ دارای امتیاز آماری بالاتری نسبت به نمونه‌ی خشک شده در دمای $70^{\circ}C$ می‌باشد. همچنین، نتایج آنالیز آماری اسیدیته نشان داد که میزان اسیدیته نمونه‌ی خشک شده در دمای $70^{\circ}C$ دارای امتیاز آماری بالاتری نسبت به نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ می‌باشد.

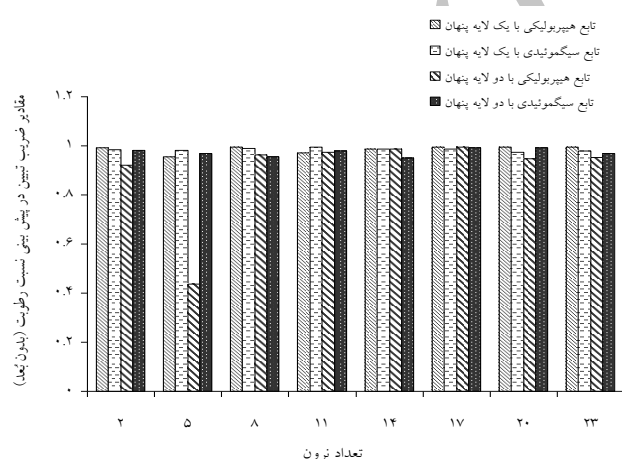
3-3- آنالیز حسی برش‌های گوجه فرنگی

نتایج آنالیز حسی برش‌های گوجه فرنگی در دمای مختلف در شکل 5، نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن بود که بین پذیرش رنگ، پذیرش عطر، پذیرش طعم و پذیرش تردی بافت (قابلیت جویدن) هیچ گونه اختلاف آماری معنی داری در سطح احتمال 99٪ وجود ندارد. این در حالی است که بین نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ از لحاظ پذیرش ظاهر اختلاف آماری معنی داری مشاهده می‌گردد. از نظر پذیرش رنگ همان‌طور که گفته شد، هیچ اختلاف آماری معنی داری مشاهده نگردید و نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ دارای بالاترین امتیاز حسی بود. دلیل این پدیده به علت واکنش‌های قهوه‌ای شدن بوده که سبب تغییرات نامطلوب در رنگ نمونه شده و این مساله به خوبی توسط ارزیاب‌ها مشخص گردیده است. از لحاظ پذیرش عطر، نتایج نشان داد که هیچ گونه اختلاف معنی داری مشاهده نشده و هر دو نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ دارای امتیاز آماری برابر می‌باشد. همچنین، نتایج آنالیز حسی پذیرش طعم، نشان داد که نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ دارای بیش‌ترین امتیاز می‌باشد. به نظر می‌رسد که هنگامی که رطوبت از محصول خارج می‌شود همراه با بخار آب خارج شده، برخی از ترکیبات فرار که نقطه تبخیر پائین دارند نیز خارج می‌شوند که این پدیده، باعث اتلاف غیر قابل برگشت در طعم می‌گردد. پذیرش ظاهر برش‌های خشک شده در دماهای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ نشان داد که بین دو نمونه، اختلاف آماری معنی داری وجود داشته و

خصوص شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه همراه با تابع فعال سازی لوگ سیگموئید با یک لایه‌ی پنهان نشان داد که چیدمان 1-11-2، یعنی شبکه‌ی ای با 2 ورودی، 11 نرون در لایه‌ی پنهان و 1 خروجی، بهترین نتیجه را در پیش بینی نسبت رطوبت داشت. همچنین، نتایج شبکه‌ی عصبی پرسپترون همراه با تابع محرک لوگ سیگموئید با دو لایه‌ی پنهان نشان داد که این شبکه توانست نسبت رطوبت را با تعداد 20 نرون در لایه‌ی پنهان اول و دوم با ضریب تبیین 0/992 پیش‌بینی نماید.

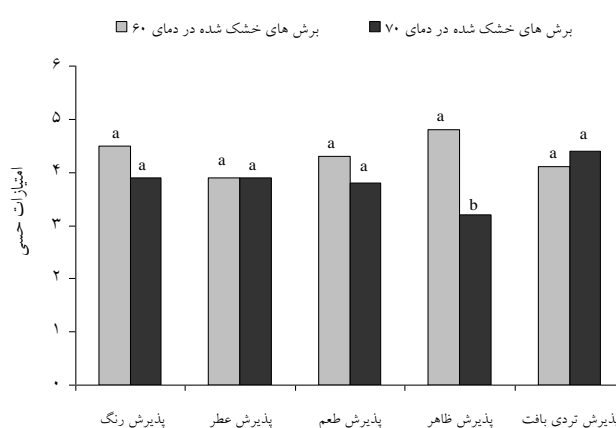


شکل 6- تغییرات مقادیر خطای نسبی در پیش بینی نسبت رطوبت با تغییرات نرون‌ها



شکل 7- تغییرات مقادیر ضریب تبیین در پیش بینی نسبت رطوبت با تغییرات نرون‌ها

نمونه‌ی خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ دارای بالاترین امتیاز حسی می‌باشد. علاوه بر این، پنجمین امتیاز حسی یعنی پذیرش تردی بافت (قابلیت جویدن) هر دو نمونه، نشان داد که بین دو نمونه هر اختلاف آماری معنی داری در سطح احتمال 99٪ وجود نداشته اگرچه نمونه‌ی خشک شده در دمای $70^{\circ}C$ دارای امتیاز آماری بالاتری می‌باشد. به نظر می‌رسد که میزان تردی بافت ارتباط مستقیمی با رطوبت محصول مورد نظر دارد که این مساله به خوبی توسط ارزیاب‌ها مورد توجه قرار گرفت که هر چه رطوبت بالاتر می‌رود میزان تردی کاهش می‌یابد.



شکل 5- نتایج تجزیه واریانس ارزیابی حسی برش‌های گوجه فرنگی در دمای مختلف

3-4- مدل سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی

در این پژوهش ترکیبی از لایه‌ها و نرون‌های مختلف همراه با توابع فعال سازی مختلف برای مدل سازی شبکه‌ی عصبی پرسپترون مورد استفاده قرار گرفت. شبکه‌ی عصبی با یک لایه‌ی پنهان، تعداد 2 تا 23 نرون به طور تصادفی انتخاب و قدرت شبکه در پیش بینی پارامترهای اسمزی کیوی تخمین زده شد. برای آموزش شبکه پرسپترون از الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده گردید. نتایج حاصل از بهینه سازی شبکه‌ی عصبی پرسپترون همراه با توابع فعال سازی لوگ سیگموئید¹ و تانژانت هیپربولیک همراه چیدمان‌های به دست آمده در حالت‌های مختلف در شکل‌های 6 و 7، نشان داده شده است. شکل 6، تغییرات مقادیر خطای نسبی را در برابر تعداد نرون‌ها در پیش بینی نسبت رطوبت نشان می‌دهد. بررسی نتایج به دست آمده در

1 - Logarithm sigmoid- Logarithm sigmoid activation function (logsig-logsig)

سبب کاهش زمان و بالا رفتن سرعت و انتشار مؤثر گردید. به طوری که در دمای $70^{\circ}C$ دارای کم‌ترین زمان خشک کردن بود. بعد از آنالیز آماری مدل، نتایج نشان داد که در بین مدل‌های دینامیکی مورد برازش، مدل لگاریتمی به دلیل داشتن حداکثر R^2 و حداقل χ^2 و RMSE این مدل به عنوان بهترین مدل برای خشک کردن لایه ای نازک گوجه فرنگی انتخاب گردید. همچنین در این پژوهش، خواص فیزیکی و شیمیایی محصول در گوجه فرنگی‌های تازه و خشک شده در دو دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ مورد آزمایش قرار گرفت. علاوه بر این، در این پژوهش، ویژگی‌های حسی محصول تولیدی توسط ارزیاب‌های آموزش دیده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، حاکی از آن بود که بین پذیرش رنگ، پذیرش عطر، پذیرش طعم و پذیرش تردی بافت (قابلیت جویدن) هیچ گونه اختلاف آماری معناداری در سطح احتمال 99٪ وجود ندارد. این در حالی است که بین نمونه خشک شده در دمای $60^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ از لحاظ پذیرش ظاهر، اختلاف آماری معنی داری مشاهده می‌گردد.

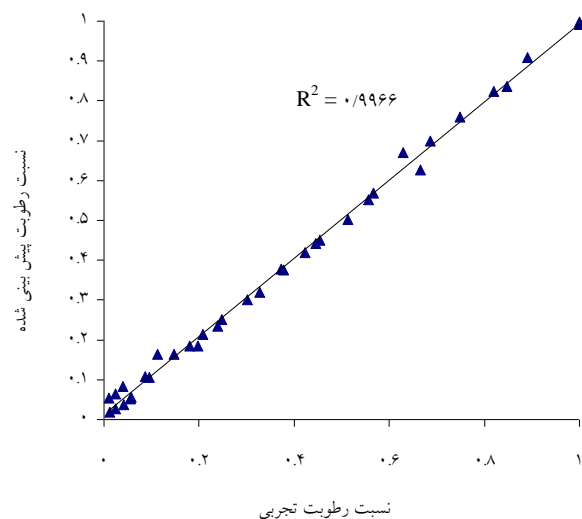
برای بررسی امکان سنجی تخمین نسبت رطوبت با کمک شبکه‌ی عصبی مصنوعی از شبکه‌ی پرسپترون چند لایه با توابع مختلف استفاده گردید. نتایج، نشان داد که شبکه‌ی عصبی با تابع فعال سازی لوگ سیگموئید با 11 نرون در لایه‌ی پنهان توانست مقدار نسبت رطوبت را با ضریب تبیین 0/996 پیش‌بینی نماید. این در حالی است که بهترین مدل تجربی (مدل لگاریتمی) توانست مقدار نسبت رطوبت را با ضریب تبیین 0/9918 برازش نماید. بنابراین، مقایسه‌ی نتایج مدل به دست آمده از دو روش مدل سازی کلاسیک و مدل شبکه‌ی عصبی نشان داد که شبکه‌ی عصبی مصنوعی از قدرت بالاتری نسبت به مدل‌های تجربی در پیش‌بینی مقدار نسبت رطوبت برخوردار می‌باشد.

5- منابع

- 1- فلاحی، م. 1372. صنایع تبدیلی گوجه فرنگی (رب)، انتشارات بارثاوا
- 2- مختاریان، م. و شفاف زنونزبان، م. 1390. پیش‌بینی سینتیک فرآیند آبگیری اسمزی کدوی حلوايي به کمک ابزار هوشمند شبکه‌ی عصبی مصنوعی در حالت استاتیک. مجله‌ی علوم و فناوری غذایی، پیاپی 7، شماره‌ی 1، صفحات 61-73

از طرف دیگر، نتایج شبکه‌ی عصبی پرسپترون همراه با تابع فعال سازی تاژانت هیپربولیک نشان داد که شبکه‌ی عصبی با پیکربندی 1-23-2، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی نسبت رطوبت داشت به طوری که این شبکه توانست نسبت رطوبت را در طی فرآیند خشک کردن لایه‌ی نازک گوجه فرنگی با ضریب رگرسیون 0/995 تخمین بزند (مقدار خطای نسبی در این حالت 0/00117 درصد محاسبه گردید).

مقایسه‌ی نتایج توابع مختلف شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی نسبت رطوبت گوجه فرنگی نشان داد که تابع لوگ سیگموئیدی با 11 نرون در لایه‌ی پنهان به عنوان بهترین مدل در پیش‌بینی نسبت رطوبت گوجه فرنگی انتخاب گردید. نمودار حساسیت مدل مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه‌ی عصبی پرسپترون همراه با تابع فعال‌سازی لگاریتم سیگموئید در برابر مقادیر تجربی برای بهترین چیدمان (ساختار 1-11-2) مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون نشان داد که داده‌ها به طور تصادفی در اطراف خط رگرسیونی قرار گرفته‌اند که این خود، دلیلی بر ارزیابی دقیق شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی نسبت رطوبت گوجه فرنگی می‌باشد (شکل 8).



شکل 8- مقادیر پیش‌بینی شده و تجربی شبکه‌ی عصبی پرسپترون همراه با تابع فعال‌سازی لگاریتم سیگموئید در پیش‌بینی نسبت رطوبت نمونه‌ی آزمایشی

4- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تاثیر دما بر روی ویژگی‌های خشک کردن گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. افزایش دمای خشک کردن،

- some vegetables. *Journal of Food Engineering*, 59: 391-403.
- 15- Lewicki, P. P. VuLe, H. and Pomaranska, L. W. 2002. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 54: 141-146.
- 16- Mayor, L. and Sereno, A. M. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61: 373-386.
- 17- Mohebbi, M. Shahidi, F. Fathi, M. Ehtiati, A. and Noshad, M. 2010. Prediction of moisture content in pre-osmosed and ultrasounded dried banana using genetic algorithm and neural network. *Journal of Food and Bioproducts Processing*. In Press.
- 18- Movagharnejad, K. Nikzad, M. 2007. Modeling of tomato drying using artificial neural network. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 59: 78-85.
- 19- Mwithiga, G. and Olwal, J. O. 2005. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering*, 71: 373-378.
- 20- Sacilik, K. Keskin, R. and Elicin, A. K. 2006. Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73: 231-238.
- 21- Sharifi, M. Thin layer drying process modeling of orange slice (Thompson cultivar). MSc Thesis of Department of Agricultural Machinery, University of Tehran. 2007.
- 22- Taheri-Garavand, A. Rafiee, S. and Keyhani, A. 2011. Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of tomato influence of air dryer conditions. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 2: 147-160.
- 23- Togrul, I. T. and Pehlivan, D. 2002. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55: 209-216.
- 3- میرزایی مقدم، ح. توکلی هشتچین، ت. مینایی، س. و ذکی دیزجی، ح. 1385. اثر رطوبت، درجه‌ی رسیدگی و رقم بر خواص کیفی بر گه‌ی کیوی. *مجله‌ی علوم و صنایع غذایی ایران*. دوره‌ی 3، شماره‌ی 2، صفحات 67-76.
- 4- AOAC, 1990. Official Method of Analysis. 15th ed., vol.2. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington.
- 5- Cernisev, S. 2010. Effect of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato. *Journal of Food Engineering*, 96: 114-118.
- 6- Champion, D. Meste, M. L. and Simatos, D. 2000. Towards an improved understanding of glass transition and relaxations in foods: molecular mobility in the glass transition range. *Journal of Trends Food Sci Technol*, 11: 41-55.
- 7- Dermesonlouoglou, E. K. Giannakourou, M. C. and Taoukis, P. S. 2007. Kinetic modeling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage. *Journal of Food Chemistry*, 103: 985-993.
- 8- Diamante, L. M. Ihns, R. Savage, G. P. and Vanhanen, L. 2010. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 45: 1956-1962.
- 9- Doymaz, I. 2004a. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61: 359-364.
- 10- Doymaz, I. 2004b. Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl-oleate on the drying kinetics of apricots. *Journal of Biosystems Engineering*, 89: 281-287.
- 11- Doymaz, I. and Ismail, O. 2011. Drying characteristics of sweet cherry. *Journal of Food and Bioproducts Processing*, 89: 31-38.
- 12- FAS, 2003. Processed tomato products outlook and situation in selected countries. FAS/USDA Horticultural and Tropical Product Division, September 2003. Online Service. Available from: http://www.fas.usda.gov/hp/Hort_Circular/2004/03-25-04%20tomato%20article.pdf.
- 13- Figiel, A. 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*, 98: 461-470.
- 14- Krokida, M. K. Karathanos, V. T. Maroulis, Z. B. and Marinos-Kouris, D. 2003. Drying kinetics of