

مدل سازی پارامترهای کیفی توت سفید در فرآیند خشک شدن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

محمد رضا اصغری^۱، رحیم ابراهیمی^{۲*}، بهرام حسین زاده^۳، داود قنبریان^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شهرکرد

۲. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۴. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۹/۱۶)

چکیده

توت سفید یکی از میوه های سرشار از قند مفید بوده و از راه های نگهداری این محصول خشک کردن می باشد. امروزه شبکه های عصبی مصنوعی در مدل سازی خشک کردن در حال رشد و توسعه است. پژوهش حاضر با هدف مدل سازی کیفیت خشک شدن توت سفید توسط شبکه عصبی انجام گردید. آزمایش های خشک کردن توسط خشک کن جریان هوای داغ در دو رطوبت اولیه ($1 \pm 0.85\%$ و $1 \pm 0.80\%$) و در سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سه جریان هوای ۱/۵، ۲ و ۲/۵ متر بر ثانیه در رطوبت هوای ثابت خشک گردید. به منظور مدل سازی از شبکه عصبی چند لایه (MLP) با توابع آستانه مختلف و تعداد نورون مختلف و الگوریتم آموزش (trainlm) برای آموزش شبکه ها استفاده گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با ساختار (۳-۸-۳) با توابع آستانه لگاریتمی و تانژانت سیگموئید با ضریب تعیین (۰/۹۹۹۸) و مقدار میانگین مربعات خطا (۰/۰۰۰۰۲) در مقایسه با سایر ساختارهای شبکه، نتایج بهتری را ارائه می کند.

واژه های کلیدی: توت سفید، خشک کردن، مدل سازی، اسیدیتنه، درجه بریکس

مقدمه

ایجاد شده است (Rahman, 2007). بسته به نوع ماده غذایی و بافت آن سیستم های خشک کن مختلفی طراحی شده که یکی از این سیستم ها خشک کن تونل هوای گرم می باشد و در پژوهش حاضر از این نوع خشک کن استفاده شده است. لازمه پیش بینی کیفیت محصول در هر فرآیند، مدل سازی و کشف رابطه بین عواملی است که می توانند بر کیفیت خروجی فرآیند تاثیر گذار باشند. مدل های ساخته شده وضعیت محصول در طول فرآیند خشک کردن را بر اساس پارامترهایی مانند زمان، دما، محتوای رطوبتی بیان می کنند (Bonazzi & Dumoulin, 2011). شبکه های عصبی مصنوعی به عنوان یک الگوریتم فرا ابتکاری در زمینه مدل سازی و پیش بینی، مورد توجه بسیار قرار گرفته است که این محبوبیت را می توان به توانایی این شبکه ها در زمینه مدل سازی و پیش بینی در مورد فرآیندهای پیچیده و تشخیص نوسانات غیر تصادفی در داده ها و توانایی در کشف اثرات متقابل بین متغیرها (Hornik et al, 1989)، صرفه جویی اقتصادی در به کارگیری و فراغت از قیود دست و پاگیر مدل های کلاسیک (Togrul & pehlivan, 2004)، توانایی در کاهش تاثیر متغیرهای غیر موثر بر مدل از طریق تنظیم پارامترهای داخلی (Petrucci et al, 1974)، قابلیت پیش بینی تغییرات پارامتر مورد نظر با حداقل پارامترها (Bowers & Shedrow, 2000) دانست که موجب شده تا این الگوریتم فرا ابتکار بر دیگر روش های کلاسیک مدل سازی و پیش بینی از جمله رگرسیون برتری یابد.

خشکبار یکی از فرآورده های پرمصرف و با ارزش در جهان تلقی می شود که به دلیل ماندگاری بالا می تواند در تمامی فصول مورد استفاده قرار گیرد. در این میان توت از خانواده (Moraceae) است و شامل ۲۴ گونه و حداقل ۱۰۰ رقم شناخته شده می باشد. در ایران سه گونه ی توت به نام های توت سفید (*Morus alba*) توت سیاه (*Morus nigra*) و توت قرمز (*Morus rubra*) با ارقام متعدد وجود دارد. کیفیت توت های شسته نشده را می توان با نگهداری در یخچال به مدت چند روز در حد قابل قبول نگه داشت (Krulis et al, 2005; Duke, 1983). در ایران این محصول بیشتر به روش سنتی خشک می گردد که دارای مشکلات بهداشتی می باشد (Guine, 2006; Lahsasni et al, 2004). همچنین در خشک کردن صنعتی انتخاب روش خشکانیدن برای حفظ کیفیت توت خشک امری مهم به شمار می رود (Doymaz, 2004). فاکتورهایی که بر روی کیفیت محصول تاثیر گذارند عبارتند، از: مقدار رطوبت، ترکیبات، رقم یا گونه، اسیدیتنه، پیشینه محصول (رسیدگی و سن محصول)، ابعاد نمونه و روش خشک کردن وابسته می باشد (Sacmi, 1989). اخیرا تمایل به خشک کردن سریع و با کیفیت بالا در مواد غذایی

نمونه‌های سالم با آب ۱۵ درجه سلسیوس شسته و در ظروف مشبک قرار داده شدند. نمونه‌ها برای انجام آزمایش در یخچال در دمای ۴+ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

نحوه اجرای آزمایش

به منظور انجام آزمایش‌ها از خشک‌کن جریان هوای گرم استفاده گردید به این صورت که نمونه‌های مورد آزمایش در وسط کانال بر روی ظروفی که از توری ساخته شده بود و بر روی ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم که در زیر و خارج از کانال تعبیه شده بود قرار داده شدند. خشک‌کن آزمایشگاهی مورد استفاده دارای دمنده سانتریفوژ بوده که هوای گرم را به صورت موازی بر بستر مواد جریان می‌دهد. به منظور شروع آزمایش ابتدا دستگاه به مدت ۱۵ دقیقه بحالت کار درآمده تا دما و سرعت هوای خشک‌کن ثابت گردد سپس نمونه‌های توت سفید بر روی بستر خشک‌کن قرار داده شدند و وزن نمونه‌ها در بازه‌های زمانی ۲۰ دقیقه‌ای، توسط ترازو اندازه‌گیری شده و در رایانه ثبت گردید. دما و رطوبت نسبی محیط اطراف خشک‌کن از متغیرهای تعیین کننده در خشک کردن مواد غذایی هستند. از این رو در هر آزمایش دما و رطوبت نسبی هوای اطراف خشک‌کن به ترتیب با استفاده از دماسنج دیجیتالی Testo 925 با دقت $\pm 0.1^\circ\text{C}$ و رطوبت سنج Testo 400 با دقت ± 0.1 اندازه‌گیری و ثبت گردید. در طول آزمایش‌های خشک کردن، محدوده میانگین تغییرات دمای محیط 28 ± 3 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی هوا 15 ± 5 درصد بوده است. تحلیل آماری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دو سطح رطوبت اولیه (1 ± 0.85 و 1 ± 0.80) در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت‌های هوای ۱/۵، ۲ و ۲/۵ متر بر ثانیه انجام شد (Tzempelikos et al, 2014; Yilmaz et al, 2015). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 انجام شد و کلیه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری با یکدیگر مقایسه شدند.

تعیین میزان محتوای رطوبت

به منظور تعیین رطوبت اولیه توت سفید، نمونه‌های ۷۰ گرمی به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و خشک شدند (Hoseini, 1994) به طوری که تغییر وزنی بین دوبار توزین مشاهده نشد. این کار در ۳ تکرار انجام شد و از رابطه (۱) برای تعیین میزان رطوبت اولیه بر پایه‌تر استفاده گردید (Arslan et al, 2004). رطوبت اولیه بر پایه‌تر برای توت سفید تازه برداشت شده 1 ± 0.85 محاسبه گردید و رطوبت اولیه نمونه‌هایی که ۲۴ ساعت از برداشت آن‌ها

پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی کاربرد شبکه‌های عصبی صورت گرفته است. گروهی از پژوهشگران ایرانی، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی را در مدل‌سازی فرآیند انتقال جرم کدوی حلوايي بررسی نمودند نتایج نشان داد که بهترین چیدمان شبکه‌ی عصبی با یک لایه‌ی پنهان با ساختار ۲-۱۰-۱ و ۲-۱۸-۱ در پیش‌بینی پارامترهای جذب مواد جامد و کاهش آب دارای دقت خوبی می‌باشد (Mokhtarian & Shafafi, 2011). بررسی شاخص‌های کیفیت خشک‌شدن انگور در خشک‌کن جریان هوای گرم به کمک شبکه‌های عصبی نشان داد که شبکه پس انتشار با ساختار ۳-۶-۳ و الگوریتم یادگیری لوبنبرگ مارکوارت با تابع آستانه سیگموئید لگاریتمی قادر است زمان خشک‌شدن و پارامترهای کیفی محصول نهایی را با ضریب تعیین ۰/۹۹۹، ۰/۹۷۳، ۰/۹۹۳ و با خطاهای حقیقی ۰/۱۶۵، ۰/۳۹، ۰/۲۶ پیش‌بینی کند (Behroozie khazayi et al, 2007). در تحقیقی دیگر بکارگیری روش فراصوت در ارزیابی سفتی کیوی به کمک روش شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که ساختار ۱-۱۹-۲۳ برای پیش‌بینی سفتی کیوی بالاترین دقت ($R^2=0.957$) را دارا می‌باشد (jamshidi et al, 2014). در تحقیقی که خشک‌شدن توت سفید در آون مایکروویو با کمک شبکه‌های عصبی مدل‌سازی گردید و مشخص شد که شبکه‌های عصبی قادر است پیش‌بینی فرآیند خشک‌شدن توت سفید را با دقت و صحت عالی انجام دهد در این تحقیق متغیرهای زمان و قدرت خشک کردن به عنوان ورودی شبکه در نظر گرفته شد، از تابع انتقال نمایی و الگوریتم BFGS با ۸ نرون در لایه پنهان در ساختار شبکه استفاده گردید (Zarein & Jaliliantabar, 2014). محققین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، خواص فیزیکی و شیمیایی خشک کردن آب اسپری شده توت سیاه و سفید را پیش‌بینی کردند و از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار با معماری (۵-۱۴-۶) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور موثر قادر به پیش‌بینی خشک کردن آب اسپری شده توت سیاه و سفید می‌باشند (Fazaeli et al, 2013). از آنجا که اطلاعات اندکی در کشور ما از نظر عوامل موثر بر تولید توت خشک با کیفیت وجود دارد، لذا هدف از این تحقیق بررسی ویژگی‌های کیفی توت سفید با مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش اجرا: آماده سازی نمونه

نمونه‌های توت سفید از بازار شهرستان شهرکرد خریداری شده و توت‌های نارس و خراب به صورت دستی جدا و سپس

تعیین درجه بریکس (TDS)^۱

درصد مواد جامد محلول را درجه بریکس گویند که به روش رفراکتومتری تعیین می‌گردد. در دستگاه رفرکتومتر نور از محیط رقیق وارد محیط غلیظ می‌شود که محیط رقیق، مایع یا محلول مورد نظر و محیط غلیظ، منشور دستگاه می‌باشد. بمنظور انجام آزمایش به مقدار لازم از نمونه‌های تیمار شده برداشت شده و پس از صاف کردن توسط کاغذ صافی، میزان عبور نور (Transmittance) یا Optical Density در طول موج ۵۴۰nm از طریق رفرکتومتر در ۲۰ درجه سلسیوس بریکس مشخص گردید (Martin et al, 2009; Saini et al, 2001).

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

از قابلیت شبکه‌های عصبی مصنوعی همانند مدل‌سازی محتوای رطوبتی، برای مدل‌سازی تغییرات کیفیت محصول در طول فرآیند خشک‌کردن استفاده می‌شود. هر شبکه عصبی از لایه‌های: ورودی، میانی یا مخفی و خروجی تشکیل شده است. در لایه اول یا ورودی، تعداد نرون به تعداد عوامل اولیه و در لایه خروجی به تعداد عوامل نهایی مورد نظر، بستگی دارد. لایه مخفی می‌تواند از یک یا چندین لایه تشکیل شود که تعداد نرون‌های هر لایه آن متغیر است و عموماً به روش سعی و خطا تعیین می‌شود (Schalkoff, 1997). با توجه به اینکه در مدل‌سازی شبکه عصبی تعیین ماتریس ورودی و خروجی بسیار مهم است، ابتدا داده‌ها فراخوانده شده و سپس برای هر تیمار عمل میانگین‌گیری صورت پذیرفت (Khoshtaghaza et al, 2015). در ادامه شکل ۱ ساختار شبکه عصبی مورد استفاده در مدل‌سازی کیفیت محصول خشک‌شده را نشان می‌دهد. به منظور مدل‌سازی کیفیت توت سفید در فرآیند خشک‌کردن، از نتایج حاصل از بررسی کیفیت نمونه‌ها شامل: اسیدیته (pH) و درجه بریکس (tds) و همچنین مدت زمان خشک‌شدن به عنوان خروجی‌های شبکه استفاده شد. و پارامترهای دما، سرعت جریان هوا و رطوبت اولیه محصول به عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند.

در این پژوهش از شبکه‌های چند لایه پرسپترون MLP استفاده شد. این مدل به علت سادگی و در عین حال دقت بالا، کاربرد زیادی در مدل‌سازی خشک‌شدن محصولات کشاورزی دارد (Dayhoff, 1990). توابع زیادی در انتقال اعداد از لایه قبل به لایه بعد ممکن است مورد استفاده قرار گیرند.

می‌گذشت $1 \pm 0.8\%$ بر پایه تر بدست آمد.

$$Md = \frac{Wd - Ww}{Ww} * 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله (Md) میزان رطوبت بر پایه‌تر، (Wd) جرم خشک محصول و (Ww) جرم تر محصول می‌باشد. نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده در هر لحظه در طی خشک شدن از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این معادله: (MR) نسبت رطوبت، (M) رطوبت در لحظه جاری، (M_0) رطوبت اولیه، (M_e) رطوبت تعادلی می‌باشد. برای محصولاتی که دارای رطوبت زیاد هستند مقدار رطوبت تعادلی در مقایسه با رطوبت اولیه و رطوبت جاری بسیار کوچک بوده و از رابطه حذف می‌شود (Kassem, 1998; Yaldiz et al, 2001). بنابراین رابطه (۲) به صورت رابطه (۳) ساده می‌شود:

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (\text{رابطه ۳})$$

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی محصول نهایی

ویژگی‌های کیفی در میوه‌ها در طی خشک کردن به علت برخی واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی، تغییر می‌کند. در خشک‌کن‌ها ویژگی‌های کیفی محصول تحت تاثیر دما و سرعت هوای خشک‌کن قرار می‌گیرد و در تعیین قیمت نهایی محصول نقش بسزایی دارد (Kianmehr & Aghbashlo, 2011). پارامترهایی که بر روی کیفیت محصول نهایی تاثیر گذارند و در این تحقیق اندازه‌گیری شده‌اند عبارتند از: اسیدیته و درجه بریکس (Rahman, 2007; Rahman & Perera, 1999).

تعیین اسیدیته (pH)

جهت تعیین اسیدیته ابتدا عصاره پودر توت سفید تهیه گردید سپس ۱۰ گرم از پودر توت سفید با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد و با همزن به مدت ۳۰ دقیقه هم زده و در نهایت با کاغذ صافی، صاف شده و عصاره پودر توت سفید بدست آمد. مقدار 10°C از نمونه صاف شده را داخل بالن ژوژه 100°C ریخته و به حجم رسانده (رقت $\frac{1}{10}$ تهیه کرده) و 10°C از این نمونه را در مجاورت معرف فنل فتالئین باسود ۰/۰۱ نرمال تا ظهور رنگ ارغوانی تیتیر کرده و میزان اسیدیته برحسب اسیدسیتریک از رابطه (۴) تعیین گردید (Hoseini, 2000).

$$\text{اسیدسیتریک} = \frac{V \times 0.064 \times 100}{M} \times B \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این معادله: N، نرمالیه سود؛ M، وزن نمونه اولیه؛ V،

حجم مصرفی سود (N ۰/۰۱)؛ B، عکس رقت

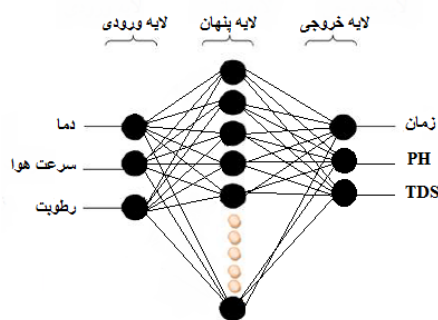
بهترین عملکرد موقعی است که R^2 مقداری نزدیک به ۱ داشته باشد و مقدار صفر برای R^2 نشان دهنده آن است که مقادیر خروجی برآورد شده توسط مدل به مقادیر واقعی خروجی نزدیک نمی‌باشد؛ (ب) شاخص میانگین مربعات خطا (MSE) که میانگین مربعات خطاهای محاسبه شده از مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد و طبق رابطه (۶) محاسبه می‌گردد (Chegini, 2008).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - p_i)^2 \quad (\text{رابطه ۶})$$

هر چه MSE مقادیر کمتری داشته باشد نشان دهنده آن است که مدل با خطای کمتری نسبت به پیش‌بینی مقادیر خروجی اقدام می‌نماید.

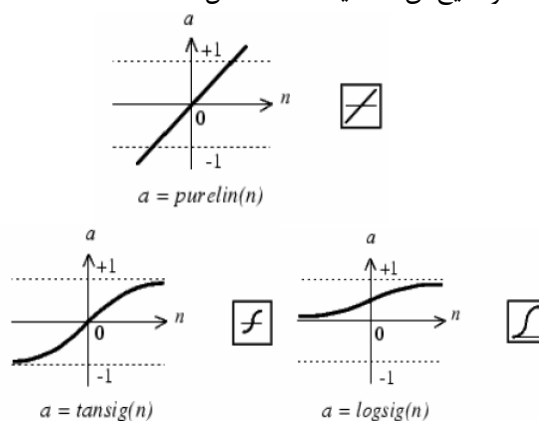
نتایج و بحث

پس از به دست آوردن مقادیر نسبت رطوبت در دما و سرعت‌های مختلف خشک کردن، منحنی‌های خشک کردن حاصل از داده‌های آزمایشی برازش شدند. شکل ۳ منحنی‌های خشک شدن توت سفید در دماها و سرعت‌های متفاوت را نشان می‌دهند. در شروع فرآیند خشک کردن، رطوبت اولیه محصول زیاد بوده و نرخ از دست دادن رطوبت زیاد است. به تدریج با پیشرفت زمان و کاهش رطوبت اولیه محصول نرخ کاهش رطوبت به طور طبیعی کاهش می‌یابد. منحنی آهنگ خشک شدن محصول در ابتدای فرآیند به علت تبخیر رطوبت سطحی با شیب زیادی به صورت نزولی و پس از این زمان به علت شروع نفوذ آب از درون ماده به سطح با شیب کمتری نزولی می‌باشد. در سرعت‌های پایین‌تر، مدت زمان کل خشک شدن بیشتر است و مشخص گردید با افزایش دما، زمان خشک کردن به علت افزایش گرادیان حرارتی در داخل جسم و در نتیجه افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصول کاهش می‌یابد (Amirnejat & Khoshtaghaza, 2011) و اثر دما بر زمان خشک شدن نسبت به سرعت هوای خشک‌کن بیشتر بوده است. روند کاهش رطوبت تحت شرایط مختلف آزمایش نشان داده که در خشک‌کن جریان هوای گرم با افزایش سرعت جریان هوا، زمان خشک کردن محصول کاهش می‌یابد. علت این پدیده در آن است که با افزایش سرعت جریان هوا فشار بخار محیط کاهش یافته و در نتیجه رطوبت محصول برای خروج از آن با مقاومت کمتری مواجه خواهد بود و با سرعت بیشتری از آن خارج می‌گردد (Togrul & pehlihan, 2004).



شکل ۱. معماری شبکه عصبی مصنوعی

توابع آستانه مختلفی چون سیگموئیدی (logsig)، لگاریتمی (tansig) و خطی (purelin) و الگوریتم‌های آموزش همراه با نظارت، مانند الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت (trainlm) استفاده و نتایج آن‌ها مقایسه شد (شکل ۲).

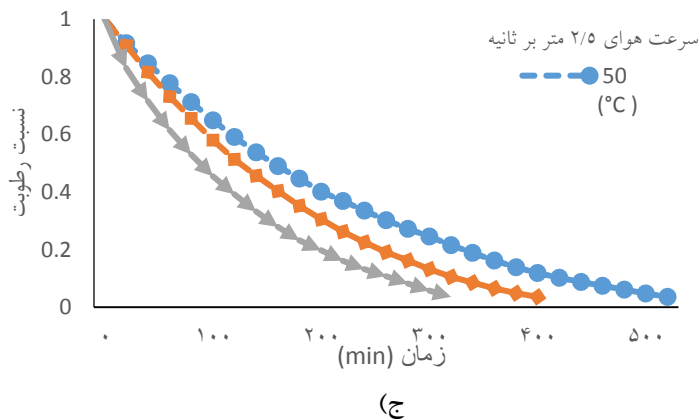
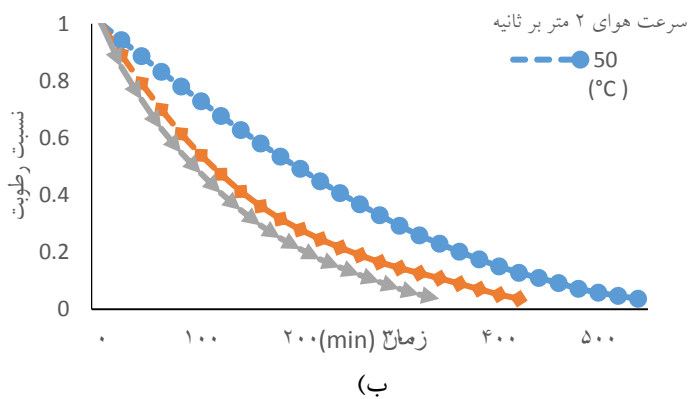
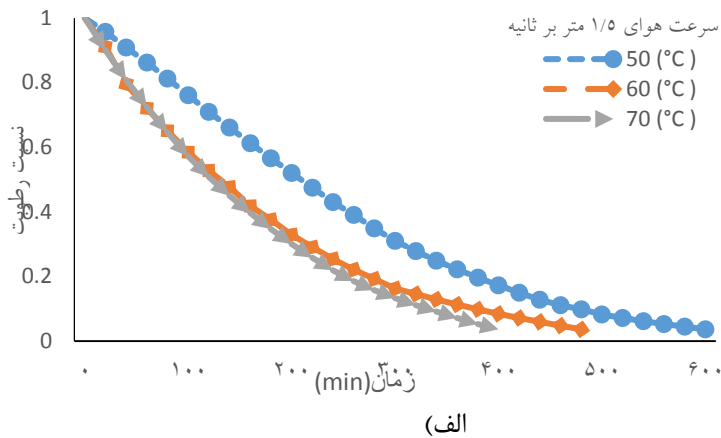


شکل ۲. توابع آستانه مورد استفاده در شبکه عصبی

فرآیند یادگیری و انتخاب بهترین تابع عملکرد شبکه

در ابتدا الگوهای ورودی شبکه نرمال‌سازی شده و سپس به صورت تصادفی به سه گروه آموزش (۰.۶۵)، ارزیابی (۰.۱۵) و آزمون (۰.۲۰) تقسیم‌بندی شدند. همچنین نرخ آموزش (lr) به روش آزمون و خطا برای تمامی حالات ۰/۲ و میزان مومنتوم ۰/۱ در نظر گرفته شد. الگوریتم مورد نیاز برای شبیه‌سازی شبکه عصبی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB R2012 توسعه داده شد. معیارهای ارزیابی پایایی که به منظور بررسی قدرت پیش‌بینی مدل عصبی فرآیند انتخاب شده‌اند، عبارتند از (Prats & Ferrer, 2008): الف) ضریب تعیین (R^2) بین مقادیر خروجی واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه که مطابق رابطه (۵) محاسبه می‌گردد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{رابطه ۵})$$



شکل ۳. منحنی‌های محتوای رطوبتی خشک شدن توت سفید در دماها و سرعت‌های جریان هوای مختلف

نتایج بررسی اثر رطوبت اولیه، دما و سرعت جریان هوا بر کیفیت توت سفید خشک

میزان اسیدیته (pH)

میزان اسیدیته توت خشک‌شده در شرایط مختلف آزمایش اندازه‌گیری شد که نتایج حاصل از آنالیز واریانس متغیرها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بر درصد اسیدیته توت خشک‌شده، در جدول (۱) خلاصه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود میزان اسیدیته تحت تاثیر پارامترهای خشک کردن قرار گرفته است بطوری که

نتایج بررسی اثر رطوبت اولیه، دما و سرعت جریان هوا بر زمان خشک کردن

بر اساس نتایج جدول (۱) اثر رطوبت اولیه، دما و سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است و اثر بلوک و اثر متقابل رطوبت اولیه و دما و اثر متقابل رطوبت اولیه و سرعت جریان هوا و همچنین اثر متقابل سه پارامتر رطوبت اولیه و دما و سرعت جریان هوا بر مدت زمان خشک‌شدن غیر معنی‌دار است و اثر متقابل دما و سرعت جریان هوا در سطح ۵٪ معنی‌دار شده است.

کیفیت این محصول در طول دوره خشک شدن می‌گردد می‌توان به عدم بکارگیری دماهای بالا در زمانی که محصول دارای رطوبت بحرانی است، اشاره کرد (Esmaeili Adabi et al, 2013). همچنین اثر سرعت جریان هوا را می‌توان به علت خنک شدن سطح محصول توسط جریان هوا دانست، به طوری که با افزایش سرعت جریان هوا، سطح محصول خنک‌تر گردیده و گرادیان حرارتی در داخل محصول کاهش می‌یابد و در نتیجه کیفیت بهتری حاصل می‌شود. دمای بالا و زمان خشک کردن طولانی سبب افت کیفیت محصول می‌شود. جهت حفظ کیفیت در محصولات می‌توان از دماهای پایین یا به کار بردن دماهای بالا و زمان‌های کوتاه به همراه سرعت جریان هوای بالاتر در فرآیند خشک کردن استفاده نمود (Mokhtarian & Coushki, 2012). باید توجه داشت با اینکه استفاده از دماهای بالا جهت خشک کردن محصولات سبب نابودی حداکثر ممکن از میکروپها می‌گردد. اما استفاده از دماهای پایین بهترین اثر حفاظتی را بر ویژگی‌های ارگانولپتیکی محصول خواهد داشت لذا استفاده از دمای مناسب در خشک‌کن‌ها امری ضروری می‌باشد (Chegini et al, 2008).

میانگین زمان خشک شدن بر اساس دماها و سرعت‌های مختلف به وسیله آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ مقایسه شده و نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است. همان طور که از نتایج مشاهده می‌گردد، دمای خشک‌کن در مدت زمان خشک شدن محصول تأثیر بیشتری نسبت به سرعت جریان هوا داشته به طوری که در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوای ۲/۵ متر بر ثانیه، زمان خشک شدن توت سفید ۱۱/۳ درصد از دمای ۶۰ درجه سلسیوس و ۱۷ درصد از دمای ۵۰ درجه سلسیوس با همان سرعت جریان هوای ۲/۵ متر بر ثانیه کوتاه‌تر بوده است همچنین زمان خشک شدن محصول در سرعت جریان هوای ۲/۵ متر بر ثانیه در ۷۰ درجه سلسیوس نسبت به سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه در همان دما ۸/۲ درصد کوتاه‌تر می‌باشد. در روش خشک کردن با جریان هوای گرم، زمان مورد نیاز برای گرم کردن کل جرم توت سفید تا دمای تبخیر از طریق رسانای گرما به درون آن، به دلیل هدایت گرمایی پایین آن، طولانی می‌باشد و چون خشک شدن محصول ابتدا در لایه خارجی آن صورت می‌گیرد، باعث می‌شود سطح ماده خشک شده و نفوذ پذیری آن کاهش پیدا کند (پدیده سخت شدگی). این لایه سخت شده، مانعی در

فاکتورهای رطوبت اولیه، دما و سرعت جریان هوا در سطح احتمال ۱٪ بر روی درصد اسیدیته تأثیر داشته ولی فاکتور بلوک و اثر متقابل کلیه فاکتورها معنی‌دار نگردیده است.

میزان درجه بریکس (TDS)

میزان بریکس در نمونه‌های خشک شده در سرعت‌های جریان هوای (۲/۵، ۲، ۱/۵ متر بر ثانیه) و سه دمای (۷۰، ۶۰، ۵۰ درجه سلسیوس) اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس متغیرها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بر درصد درجه بریکس توت خشک شده، در جدول (۱) خلاصه شده است. فاکتورهای دما و سرعت جریان هوا در سطح احتمال ۱٪ بر درجه بریکس محلول تأثیر داشته و تنها اثر رطوبت اولیه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شده و فاکتور بلوک و اثر متقابل کلیه فاکتورها معنی‌دار نگردیده. در ادامه با انجام آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار و نشان دادن نتایج و مقایسه مقادیر میانگین دما و سرعت هوای خشک‌کن در مدت زمان خشک کردن پرداخته شده است.

جدول ۱. تجزیه واریانس زمان، TDS و pH بر اساس سه فاکتور رطوبت اولیه، سرعت و دمای هوای خشک‌کن

منابع تغییرات	درجات آزادی	میانگین مربعات		
		PH	TDS	زمان
بلوک	۲	۰/۰۰۰۶۸۸ ^{ns}	۰/۰۱۰۵۶ ^{ns}	۴۷۴/۰۷۴ ^{ns}
رطوبت	۱	۰/۰۰۲۲۸۸ ^{**}	۰/۱۷۷۹۶ [*]	۱۷۰۶۶/۶۶۷ ^{**}
دما	۲	۰/۰۰۸۸۲۱ ^{**}	۳/۷۲۰۵۶ ^{**}	۱۶۵۲۵۱/۸۵۳ ^{**}
سرعت	۲	۰/۰۰۱۹۵۵ ^{**}	۳/۱۲۶۶۷ ^{**}	۱۷۴۲۹/۶۳۰ ^{**}
رطوبت×دما	۲	۰/۰۰۰۳۶۲ ^{ns}	۰/۰۶۷۹۶ ^{ns}	۱۵۵/۵۵۶ ^{ns}
دما×سرعت	۴	۰/۰۰۰۱۱۶ ^{ns}	۰/۰۶۸۸۹ ^{ns}	۴۰۷/۴۰۷ [*]
رطوبت×سرعت	۲	۰/۰۰۰۱۲۴ ^{ns}	۰/۰۸۰۷۴ ^{ns}	۱۵۵/۵۵۶ ^{ns}
رطوبت×دما×سرعت	۴	۰/۰۰۰۲۸۷ ^{ns}	۰/۰۰۷۴۱ ^{ns}	۱۱۱/۱۱۱ ^{ns}
خطای آزمایش	۳۴	۰/۰۰۰۱۷۴	۰/۰۳۱۱۴	۱۴۸/۱۴۸

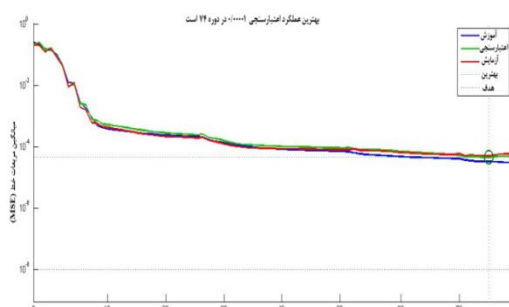
**و* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و ns غیر معنی‌دار

نتایج دیگری که از این مقایسه حاصل می‌شود می‌توان به اثر دما و سرعت جریان هوا بر میزان درجه بریکس در عصاره توت خشک شده اشاره کرد بطوری که خشک شدن در دماهای بالاتر باعث کاهش TDS و افزایش pH و در نتیجه کاهش کیفیت نمونه‌های توت سفید شده است و خشک شدن در سرعت جریان هوای بیشتر باعث افزایش TDS و کاهش pH و در نتیجه حفظ کیفیت محصول گردیده. از عواملی که سبب کاهش

پیش‌بینی کند (Mokhtarian & Coushki, 2012). در ادامه برای تحقیق دقیق‌تر بر روی مدل مورد نظر از نتایج خروجی شبکه عصبی استفاده گردیده است. در جدول (۳) نتایج میزان ضریب تعیین و خطای شبکه برای هر یک از متغیرهای وابسته در بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی مشخص گردیده است و شکل ۴ منحنی بهترین عملکرد اعتبارسنجی یا منحنی نحوه کاهش خطاهای شبکه را برای کل داده‌ها نشان می‌دهد. به نحوی که در منحنی عملکرد اعتبارسنجی میزان خطا را برابر با ۰/۰۰۰۰۱ نشان داده که این خود مشخص کننده عملکرد بالای شبکه و همچنین بیان کننده دقت بالای، مدل‌سازی انجام گرفته است.

نتیجه گیری

در این پژوهش از انواع مدل‌های مختلف شبکه عصبی برای تعیین بهترین شبکه در مدل‌سازی برخی از ویژگی‌های کیفی توت سفید از جمله (pH و TDS) مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور، ابتدا در هر تابع فعال سازی بهترین تفکیک داده‌ها تعیین گردید. در فرآیند بعدی مدل‌سازی داده‌ها از بهترین ترکیب تقسیم‌بندی برای هر تابع فعال سازی استفاده شد. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی نشان داد که تابع فعال سازی logsig-Tansig به دلیل داشتن کمترین خطای نسبی آزمون شبکه نسبت به سایر توابع از توان عملیاتی بالاتری در پیش‌بینی کیفیت محصول برخوردار می‌باشد. نتایج حاکی از آن بود که این شبکه با ۸ نرون در لایه پنهان، توانست پارامترهای کیفی pH و TDS را با مقادیر ضریب تعیین ۰/۹۹۹۸ و ۰/۹۹۹۲ و ۰/۹۹۹۸ پیش‌بینی نماید. بنابراین پژوهش حاضر نشان داد که شبکه عصبی به عنوان یک سیستم غیر خطی می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی فرآیندهای مواد غذایی از جمله خشک‌شدن توت سفید داشته که به عنوان یک روش غیر تخریبی و سریع می‌تواند در دیگر سیستم‌های کنترل اتوماتیک خشک‌کردن نیز بکار برده شود.



شکل ۴. منحنی بهترین عملکرد اعتبارسنجی

مقابل پخش رطوبت در سطح محصول ایجاد می‌کند و فرآیند خروج رطوبت از داخل محصول را طولانی می‌نماید (Amirnejat & Khoshtaghaza, 2011).

جدول ۲. مقایسه میانگین زمان خشک‌شدن در سرعت و دمای هوای

خشک‌کن بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪		
زمان خشک‌شدن (min)	سرعت (m/s)	دما (°C)
۶۰/۳a	۱/۵	
۵۶۰b	۲	۵۰
۵۱۰c	۲/۵	
۴۹۰/۷d	۱/۵	
۴۶۶/۷d	۲	۶۰
۴۲۶e	۲/۵	
۴۰۵/۳f	۱/۵	
۳۵۵g	۲	۷۰
۳۲۲/۷h	۲/۵	

نتایج شبکه عصبی

به منظور بررسی عملکرد شبکه‌های MLP در مدل‌سازی کیفیت میوه توت سفید از ترکیب مختلفی از لایه‌ها و نرون‌ها همراه با توابع فعال‌سازی مختلف مورد استفاده قرار گرفت. این ساختارها کاملاً به صورت سعی و خطا انتخاب و شبیه‌سازی شدند. در مرحله اول بعد از آموزش شبکه بهترین معماری شبکه عصبی مصنوعی بر اساس MSE و R^2 از میان ساختارهای مختلف به دست آمد. در جدول (۴) خلاصه‌ای از بهترین نتایج مدل‌سازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان داده شده است. نتایج حاصل از به‌کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختارهای مختلف، مشخص کرد که بهترین مدل شبکه عصبی دارای ساختاری با معماری (۳-۸-۳)، یعنی شبکه‌ای با ۳ متغیر غیر وابسته بعنوان ورودی شبکه و ۸ عنصر پردازش (نرون) در لایه پنهان و ۳ متغیر وابسته بعنوان خروجی شبکه عصبی مصنوعی بهترین نتیجه را برای مدل‌سازی کیفی توت سفید نشان داد. شبکه مورد نظر با الگوریتم یادگیری لوبنبرگ-مارکوارت (Trainlm) و تابع آستانه logsig و Tansig می‌باشد. این شبکه تغییرات کیفیت توت سفید را در شرایط مختلف آزمایش با ضریب تعیین ۰/۹۹۹۸ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۰۰۲ تخمین می‌زند. محققان به کاربرد شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی نسبت رطوبت و بررسی خصوصیات تغذیه‌ای گوجه فرنگی در طی خشک کردن پرداختند. نتایج آنان نشان داد که مدل شبکه عصبی پرسپترون همراه با تابع محرک لوگ سیگموئید به عنوان بهترین تابع محرک مدل توانست خصوصیات خشک شدن گوجه فرنگی را

جدول ۳. نتایج آنالیز شبکه عصبی در هر یک از پارامترهای کیفی

متغیرهای کیفی	آموزش		اعتبارسنجی		آزمایش	
	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
TDS	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۹۹۹۵	۰/۰۰۰۰۱	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۰۰۸
pH	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۰۰۳	۰/۹۹۹۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۹۹۹۳	۰/۰۰۰۰۲
Time	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۰۱

جدول ۴. نتایج ساختارهای مختلف شبکه عصبی در مدل سازی پارامترهای کیفی خشک کردن توت سفید

تابع آستانه	قاعده آموزش	تعداد نرون لایه پنهان	خطای شبکه (MSE)				R ²
			آموزش	ارزیابی	آزمون	ارزیابی	
Log/Pur	Trainlm	۵	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۹۹۹۷	
Log/Pur	Trainlm	۸	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۹۹۹۱	
Log/Pur	Trainlm	۱۲	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۹۹۹۸	
Log/Pur	Trainlm	۱۸	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۹۹۹۸	
Log/Tan	Trainlm	۵	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۹۹۹۲	
Log/Tan	Trainlm	۸	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۹۹۹۲	
Log/Tan	Trainlm	۱۲	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۹۹۹۰	
Log/Tan	Trainlm	۱۸	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۹۹۸۰	
Tan/Pur	Trainlm	۵	۰/۰۰۰۰۱۲۲	۰/۰۰۰۰۴۵۲	۰/۰۰۰۰۵۲۵	۰/۹۸۹۶	
Tan/Pur	Trainlm	۸	۰/۰۰۰۰۸۹۶	۰/۰۰۰۰۶۸۴	۰/۰۰۰۰۹۹۵	۰/۹۳۱۴	
Tan/Pur	Trainlm	۱۲	۰/۰۰۰۰۱۷۲	۰/۰۰۰۰۵۵۵	۰/۰۰۰۰۸۴۹	۰/۹۱۲۱	
Tan/Pur	Trainlm	۱۸	۰/۰۰۰۰۲۲۸۲	۰/۰۰۰۰۴۹۹	۰/۰۰۰۰۲۰۲	۰/۹۰۹۰	
Tan/Tan	Trainlm	۵	۰/۰۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۰۸۴۶	۰/۰۰۰۰۸۹۸	۰/۹۷۲۶	
Tan/Tan	Trainlm	۸	۰/۰۰۰۰۶۳۷	۰/۰۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۰۴۰۱	۰/۹۹۶۵	
Tan/Tan	Trainlm	۱۲	۰/۰۰۰۰۱۶۵	۰/۰۰۰۰۲۹۱	۰/۰۰۰۰۹۶۷	۰/۹۳۶۶	
Tan/Tan	Trainlm	۱۸	۰/۰۰۰۰۸۶۹	۰/۰۰۰۰۱۱۶	۰/۰۰۰۰۲۱۱	۰/۹۲۸۱	
Pur/pur	Trainlm	۵	۰/۰۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۰۰۹	۰/۹۹۹۳	
Pur/pur	Trainlm	۸	۰/۰۰۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۰۰۶۸	۰/۹۹۸۹	
Pur/pur	Trainlm	۱۲	۰/۰۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۹۹۹۸	
Pur/pur	Trainlm	۱۸	۰/۰۰۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۹۹	۰/۹۹۸۵	

عصبی و همچنین سایر مدل های شبکه های عصبی مصنوعی و توابع فعال سازی مختلف جهت مقایسه استفاده گردد و قدرت این ابزارها جهت کنترل فرآیند خشک کردن مورد ارزیابی قرار

به طور کلی پیشنهاد می گردد که در پژوهش های بعدی از سایر ابزارهای تخمین زن نظیر سیستم های فازی، سیستم استنتاج فازی- عصبی، روش شناسی سطح پاسخ تعدیل شده با شبکه

REFERENCES

- Arslan, O., Erzen, M., Sinan, S. & Ozensoy, O. (2004). Purification of mulberry (*Morus alba* L.) polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of its kinetic and electrophoretic properties, *Food chemistry*. 88(3): 479-484.
- Amirnejat, H., & Khoshtaghaza, M. (2011). Mathematical modeling of drying thin layer of edible mushrooms. In: Fifth National Congress of Agricultural Engineering and Mechanisation. 61-53. (In Farsi)
- Behroozie khazayi, N. (2007). Using artificial neural network to predict the quality parameters raisins. M.Sc thesis Mechanics of Agricultural Machinery. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modarres University. (In Farsi)
- Bonazzi, C. & Dumoulin, E. (2011). Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. *Modern Drying Technology Volume 3: Product Quality and Formulation*, First Edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Bowers, J. A. & Shedrow, C.B. (2000). Predicting stream water quality using artificial neural networks. WSRC-MS-2000-00112.
- Chegini, G.R., Khazaei, J., Ghobadian, B. & Goudarzi A.M. (2008) "Prediction of process and product parameters in an orange juice spray dryer using artificial neural networks" *Journal of Food Engineering*. 84: 534-543.
- Dayhoff, J. E. (1990). *Neural Network Principles*. Prentice-Hall International, U.S.A.
- Duke, J. A. (1983). *Handbook of Energy Crops*, Centre for New Crops & Plants Products, Purdue University.
- Doymaz, I. 2004. Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus.alba*). *J. Food engineering*. 65: 205-209.
- Esmaili Adabi, M., Nikbakht, A. M., Motevali, A. & Mousavi Seyedi, S. R. (2013). Investigation of Black Mulberry Drying Kinetics Applying Different Pretreatments. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 61: 23-44.
- Fazaeli, M., Emam, Z., Omid, M. & Kalbasi, A. (2013). Prediction of the Physicochemical Properties of Spray-Dried Black Mulberry (*Morus nigra*) Juice using Artificial Neural Networks. *Food Bioprocess Technol*. 6:585-590.
- Guine, R. (2006). Influence of drying method on density and porosity of pears. *Food and Bioprocess Processing*. 84(3): 179-185.
- Hornik, K., Stinchcombe, M. & White, H. (1989). "Multilayer Feed Forward Networks Are Universal Approximators", *Neural Networks*. 2: 359-366.
- Hoseini, Z. (1994). Conventional methods in food analysis. Shiraz University Press. (In Farsi)
- Hoseini, Z. (2000). Common methods for food analysis. Tabriz University Press. (In Farsi)
- Jamshidi, N., Hoseinpoor, A., Zaki, H., & Forooghira, A. (2014). The use of artificial neural networks in evaluating the Hayward variety kiwifruit firmness to sonication. In: Twenty-first National Congress of Food Science and Technology. Shiraz University. (In Farsi)
- Kianmehr, M. H. & Aghbashlo, M. (2011). Prediction of carrot cubes drying kinetics during fluidized bed drying by artificial neural network. *J Food Sci Technol*. 48(5): 542-550.
- Krulis, M., Kuhnert, S., Leiker, M. & Rohm, H. (2005). Influence of energy input and initial moisture on physical properties of microwave-vacuum dried strawberries.
- Kassem, A.S. (1998). Comparative studies on thin layer drying models for wheat. 13th international congress on agricultural engineering, Morocco. 6: 2-6.
- Khoshtaghaza, M. H., Hosseinzadeh, B., Fayyazi, A. & Amirnejat, H. (2015). Prediction of thin layer drying of edible mushroom moisture content by feed forward artificial neural networks method. *Journal of Food Science and Technology*. 50(13): 171-182. (In Farsi)
- Lahsasni, S., M. Kouhila & M. Mahrouz. (2004). Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*. 29: 211-224.
- Martin-Diana, A., Rico, D., Barat, J.M. & Barry-Ryan, C. (2009). Orange juices enriched with chitosan: Optimisation for extending the shelf-life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 10:590-600.
- Mokhtarian, M. & Shafafi, M. (2012). CRM to help predict the kinetics of osmotic dehydration process of neural network intelligent tools in a static state. In: *Journal of Food Science and Technology*. 7 (1): 73-61 (In Farsi).
- Mokhtarian, M. & Coushki, F. (2013). Estimation of tomato drying parameters using artificial neural networks. In: *Journal of Food Science and Technology*. 1(1): 74-61. (In Farsi)
- Prats-Montalban, J.M. & Ferrer, A. (2008). "Integration of Color and Textural Information in Multivariate Image Analysis: Defect Detection and Classification Issues", *Journal of Chemometrics*. 21 (2): 10-23.
- Petrucci, V., Canata, N., Bolin, H. R., Fuller, G. & Stafford, A. E. (1974). Use of oleic acid derivatives to accelerate drying of Thompson seedless grapes, *J. American oil chemistry*. 51: 77-80.
- Rahman, M. S. (2007). *Handbook of food preservation*. 2nd ed. CRC press. P. 408,409,420.
- Rahman, M. S. & Perera, C. O. (1999). Drying and food preservation. In *Handbook of food preservation*. Marcel Dekker New York. 173-216.
- Saini, R.S., Sharma, K.D., Dhankhar, O.P. & Kaushik, R. A. (2001). *Laboratory manual of analytical techniques in Horticulture*. Agrobios. Publisher

- India. 135P.
- Schalkoff, R. J. (1997). *Artificial neural networks*, McGraw-Hill.
- Sacmi, C. (1989). "From Technology Through Machinery to Kilns for SACMI Tile, Italy", SACMI Press.
- Tzempelikos, D. A., Vouros, A. P., Bardakas, A. V., Filios, A. E. & Margaris, D. P. (2014). Case studies on the effect of the air drying conditions on the convective drying of quinces. *Case Studies in Thermal Engineering*, 3, 79–85.
- Togrul, I. T. & pehlivan, D. (2004). Modelling of thin layer drying kinetic of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering*. 65: 413-425.
- Yaldiz, O. C. & Ertekinn, H. I. Uzun. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*. 26: 457-465.
- Yilmaz, F., M. Yuksekkaya, S., Vardin, H. & Karaaslan, M. (2015). The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil), *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*
- Zarein, M. & Jalilantabar, F. (2014). ANN Modeling of White Mulberry Drying by Microwave Oven, *Advances in Environmental Biology*. 8(16): 172-178.