

مدل سازی فرآیند برشته شدن اسنک سویا تحت سامانه مادون قرمز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

هادی باقری^{a*}، مهدی کاشانی نژاد^b

^a دانش آموخته دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^b استاد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۸

چکیده

مقدمه: دانه سویا به عنوان یک منبع غنی از ترکیبات مغذی ضروری همچون پروتئین‌ها، روغن‌ها و ترکیبات زیست فعال شناخته می‌شود و دانه سویا این قابلیت را دارد که به عنوان یک اسنک و مغز برشته شده استفاده شود، اما وجود محدودیت‌های مثل طعم سویا، بافت سخت و طعم لوبیای گس مانند منجر به کاهش مصرف این منبع غنی گشته است، بنابراین برای بهبود و افزایش مصرف دانه سویا، باید این محدودیت‌ها برطرف گردد. برشته کردن می‌تواند منجر به ایجاد یک طعم مطلوب بدون هیچ گونه طعم لوبیایی و تلخ شود و به طور معنی‌داری باعث افزایش طعم، رنگ و بهبود بافت دانه سویا گردد.

مواد و روش‌ها: برای این مطالعه برشته کن مادون قرمز طراحی و ساخته شد و نمونه آماده شده دانه سویا (فرآوری شده) با توجه به شرایط آزمایش برشته شد. در این بررسی، مدل شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی سینتیک کاهش رطوبت در اسنک سویا در طول برشته کردن با استفاده از سامانه مادون قرمز توسعه داده شد. برای این منظور، توان لامپ مادون قرمز (۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ وات)، فاصله سطح لامپ از نمونه (۴، ۷ و ۱۰ سانتی‌متر) و زمان برشته کردن (۲۵ دقیقه) به عنوان ورودی در نظر گرفته شد و مقدار نسبت رطوبت (MR) به عنوان خروجی تخمین زده شد. علاوه بر این سه مدل ریاضی مختلف برای برازش داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت داده‌های برازش شده این سه مدل ریاضی با داده‌های برازش شده مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: براساس نتایج حاصل از به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی، مدل شبکه عصبی مصنوعی برای داده‌های نسبت رطوبت با یک لایه مخفی، تابع انتقال سیگموئید، قاعده یادگیری لیونبرگ مارکوآرت و تعداد ۴ نرون، با ۵۵ درصد برای زیر گروه آموزشی و ۲۵ و ۲۰ درصد به ترتیب برای هر یک از زیر گروه‌های ارزیابی و آزمایشی بهترین برازش را به همراه داشت. ضریب تبیین و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها بدست آمده برای مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰/۹۹۹۲ و ۰/۱۰۹۹ و برای بهترین مدل ریاضی به ترتیب ۰/۹۷۷۶ و ۰/۰۲۷۵۸ بود.

نتیجه گیری: این استنتاج وجود دارد که مدل شبکه عصبی مصنوعی به مراتب بهتر از مدل‌های ریاضی می‌تواند نسبت رطوبت را در اسنک سویا طی فرایند برشته شدن مورد برازش قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: اسنک، برشته کردن، سویا، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

دانه سویا یک منبع مناسب از ترکیبات ضروری همچون پروتئین، روغن و ترکیبات زیست فعال است و به عنوان یک غذایی سلامتی بخش شناخته می‌شود (Dondee *et al.*, 2011). دانه سویا به شکل‌های مختلف در بسیاری از کشورهای آسیا به خصوص چین مورد استفاده قرار گرفته است. اما وجود محدودیت‌های مثل طعم سویا منجر به استفاده از دانه سویا بیشتر به عنوان یک منبع روغنی شده است و سویای خام داری بافت سخت و طعم لوبیایی گس مانند است، بنابراین برای بهبود و افزایش مصرف سویا به عنوان اسنک در جهان باید این طعم برطرف و سفتی بافت کاهش یابد. برای این امر استفاده از فرآیند حرارتی به خصوص برشته کردن ضروری به نظر می‌رسد. برشته کردن منجر به ایجاد یک طعم مطلوب بدون هر گونه طعم لوبیایی و تلخ می‌شود و به طور معنی‌داری باعث افزایش طعم، رنگ و بهبود بافت دانه سویا می‌شود (Ozdemir & Devres, 1999; Kato *et al.*, 1980).

برشته کردن با هوای داغ و سطح داغ از رایج‌ترین روش‌های برشته کردن مغزها و دانه‌ها به شمار می‌آید. از آنجا که برشته کردن با هوای داغ یکی از فرایندهای حرارتی با هزینه زیاد می‌باشد، باید روش‌های جدید برشته کردن طراحی و مطالعه قرار بگیرد تا از این جهت منجر به کاهش هزینه فرآوری و تولید مغزها و دانه‌ها کاهش یابد (Kocabiyik & Tezer, 2009).

با توجه به پیشرفت تکنولوژی و علم، روش‌های جدید برشته کردن از جمله برشته کردن با ماکروویو^۱ و برشته کردن با جریان الکتریسیته^۲ مورد استفاده محققین مختلف قرار گرفت. از جمله مزایای این روش‌ها، کاهش زمان برشته شدن و بهبود کیفیت نسبی محصول تولید شده است؛ اما به دلیل عدم یکنواختی حرارت دهی، عمق کم نفوذ اشعه ماکروویو و مصرف بالای انرژی به خصوص با جریان الکتریسیته، استفاده از این روش‌ها با اشکال اساسی مواجه شد (Yang *et al.*, 2010). بنابراین به کارگیری روش‌های جدید که بتواند علاوه بر مزیت‌های بالا، از نظر میزان مصرف انرژی مقرون به صرفه باشد، لازم و ضروری است.

استفاده از سامانه مادون قرمز به عنوان یک روش جدید و مقرون به صرفه در برشته کردن مغزها و دانه‌ها به شمار می‌آید. بررسی روش‌های متفاوت برشته کردن (هوای داغ، مادون قرمز و ترکیب هوای داغ - مادون قرمز) حاکی از آن است که استفاده از اشعه‌های مادون قرمز در برشته کردن ضمن کاهش زمان و میزان انرژی مصرفی، باعث ایجاد تغییرات بافتی و رنگی مطلوب در مغز مورد نظر می‌شود (Yang *et al.*, 2010).

Pan و همکاران (۲۰۰۸، ۲۰۰۹) گزارش‌هایی را در ارتباط با به کارگیری و استفاده از سامانه مادون قرمز و سامانه مادون قرمز - هوای داغ برای خشک کردن، برشته کردن و پاستویزاسیون بادام انجام دادند. این پژوهشگران نشان دادند که استفاده از سامانه مادون قرمز - هوای داغ، روش مناسبی برای تولید بادام برشته پاستوریزه شده است و این روش به دلیل داشتن پتانسیل کاهش هزینه و زمان در مقایسه با روش هوای داغ از ارجحیت بالاتری برای برشته کردن بادام برخوردار است.

Sumnu و Ozkoc (۲۰۱۰) با بررسی امکان به کارگیری سامانه مادون قرمز برای برشته کردن چای و قهوه نشان دادند که این سامانه دارای عملکرد بسیار مناسب‌تری در مقایسه با روش برشته کردن هوای داغ است و از لحاظ زمان و هزینه روش مقرون به صرفه‌ای در مقایسه با هوای داغ به شمار می‌آید.

دانه سویا به عنوان یک منبع پروتئینی مهم در ایران می‌تواند همچون یک اسنک مورد استفاده قرار بگیرد، بنابراین تولید این اسنک باید به طور جدی مورد بررسی و مطالعه قرار بگیرد. با توجه به اهمیت برشته کردن در ریز ساختار و خصوصیات بافتی و نقش انتقال جرم و رطوبت در این پارامترها بررسی خصوصیات برشته شدن لایه نازک سویا با استفاده از سامانه مادون قرمز ضروری به نظر می‌رسد. به منظور بهبود کیفیت اسنک سویای برشته شده، لازم است که تغییرات سینتیکی رطوبت، بافت، میکروبی و فیزیکی در طول برشته کردن مورد بررسی قرار بگیرد. سینتیک کاهش رطوبت در دانه‌ها و آجیل‌ها وابسته به خصوصیات انتقال حرارت و جرم محصول در حال برشته شدن است و دانش توزیع دما و رطوبت در محصول برای طراحی دستگاه و فرایند، کنترل کیفیت، انتخاب شرایط

¹ Microwave

² Electric Furnace

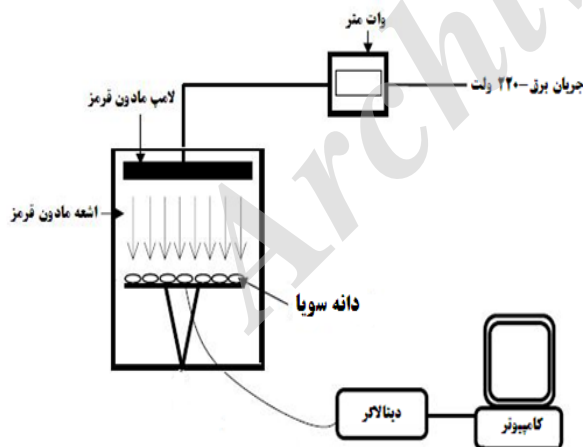
و متوسط ابعاد دانه سویا استفاده شده برای این آزمایش به ترتیب حدود ۰,۳/۶، ۳۵/۷ و ۴۶/۸ میلی‌متر بود.

- آماده‌سازی نمونه‌ها

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، دانه های سویا به مدت ۶ ساعت با نسبت وزنی یک به پنج در محلول آب نمک ۲۵ درصد قرار گرفت. در طی این مدت نمونه‌ها با به آرامی و با سرعت یکنواخت هم زده شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها از آب نمک خارج و توسط فیلتر پارچه‌ای آب نمک اضافی آن‌ها گرفته شد و در ادامه فرایند برشته کردن بر روی دانه‌های سویا انجام گرفت. در این مرحله رطوبت دانه سویا به حدود ۱۰۴ درصد بر پایه ماده خشک رسید.

- فرایند برشته کردن

به منظور ایجاد شرایط ثابت در اتاقک برشته کن، دستگاه به مدت ۱۵ دقیقه قبل از شروع فرایند روشن گردید. دانه‌های سویا به صورت لایه نازک در اتاقک برشته کن قرار گرفت. برشته کردن دانه‌های سویا با سامانه مادون قرمز (شکل ۱) در توان‌های (۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ وات)، در فواصل متغیر (۳، ۷ و ۱۰ سانتی‌متر) و زمان ثابت (۲۵ دقیقه) انجام گردید.



شکل ۱- شماتیکی از سامانه مادون قرمز به کار رفته برای برشته کردن دانه سویا

نگهداری و خصوصیات حمل و نقل حیاتی و ضروری است (Mayer, 1985).

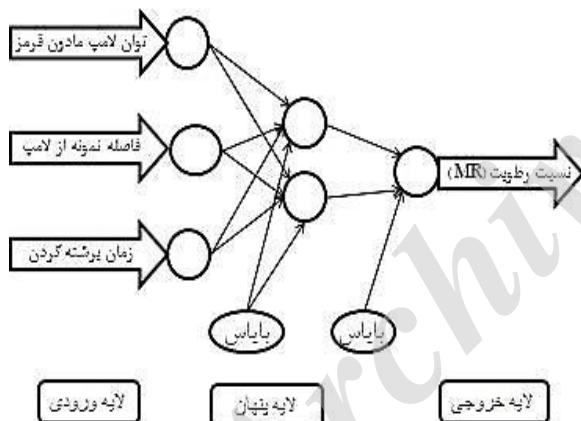
امروزه با توسعه فناوری‌های پردازش رایانه‌ای، از شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ (ANN) به طور گسترده‌ای منظور مدل‌سازی فرایندهای صنایع غذایی و پیشگویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیر خطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند و در اکثر موارد نتایج قابل قبولی توسط محققان گزارش شده است. همچنین هوشمند بودن روش تجزیه و تحلیل داده‌ها و عدم نیاز به آزمون‌های آماری را می‌توان از دیگر برتری‌های شبکه عصبی به شمار آورد. تفاوت تحقیق حاضر با موارد و کارهای قبلی انجام شده در این است که در این تحقیق یک روش جدید برشته کردن (روش حرارت‌دهی مادون قرمز) مورد استفاده قرار گرفته و از طرفی در این مطالعه، مدل‌سازی رفتار برشته شدن اسنک سویا با استفاده از شبکه عصبی با مدل‌های ریاضی مورد مقایسه شده است؛ و به نظر می‌رسد کنار هم قرار دادن روش جدید برشته کردن و مقایسه روش‌های مدل‌سازی یک نوآوری علمی و پژوهشی باشد. با توجه به مطالعه و دانش ما، تاکنون هیچ مطالعه‌ای در خصوص کاربرد شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرایند برشته کردن مغز بادام زمینی گزارش نشده است. لذا در این تحقیق، با استفاده از توابع ریاضی در قالب شبکه عصبی مصنوعی مقادیر مورد انتظار نسبت رطوبت در اسنک سویا با مقادیر مختلف توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و زمان برشته شدن اندازه‌گیری شده و با مقادیر نسبت رطوبت حاصل از نتایج آزمایشگاهی و مدل‌های ریاضی مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

سویای خام (گرگان ۳) از مرکز تحقیقات کشاورزی گرگان تهیه و تا زمان آزمایش در محل خشک و عاری از رطوبت نگهداری شد. بعد از سایزبندی، نمونه‌های با ابعاد یکسان برای انجام آزمایش انتخاب گردید. میزان رطوبت اولیه در دانه سویا حدود ۲/۶ درصد بر پایه ماده خشک بود

¹ Artificial Neural Network

یادگیری و هم چنین تعداد مناسب نرون در لایه مخفی، برنامه برای درصدهای مختلف یادگیری یعنی از ۵ تا ۶۰ درصد اجرا و بهترین نتایج مشخص شد. پس از انتخاب بهینه درصد داده‌های آموزشی، با در نظر گرفتن درصدهای مختلف برای داده‌های ارزیابی و آزمایش و با پارامترهای قبلی، مراحل تکرار و بهترین درصد برای هر یک از زیرگروه‌های ارزیابی و آزمایش انتخاب گردیدند. با مشخص شدن بهترین حالت برای تعداد نرون، تابع انتقال و قاعده یادگیری و نیز بهترین درصدها برای هر یک از زیرگروه‌ها با انجام مرحله‌ی آزمایش مقادیری برای نسبت رطوبت مربوط به تیمارهای آزمایش به دست آمد. این مقادیر حاصله به عبارتی مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی برای میزان نسبت رطوبت می‌باشد. ارزیابی شبکه عصبی با ساختارهای مختلف با استفاده از متغیرهای آماری میانگین مربع خطا^۲ (MSE)، میانگین مربع خطای نرمال شده^۳ (NMSE)، میانگین خطای (MAE) و ضریب همبستگی^۵ (r) صورت گرفت.



شکل ۲- شماتیک سیستم شبکه عصبی مورد استفاده در این مطالعه

- برازش داده‌ها و برآورد ضرایب ثابت در مدل‌های ریاضی

مدل‌سازی سنتیک کاهش رطوبت طی برشته شدن اهمیت زیادی در بررسی خصوصیات برشته کردن اسنک سویا دارد. معمولاً، رفتار افت رطوبت در طی زمان در فرآیند برشته شدن توسط معادلات نمایی به خوبی توصیف می‌شود. چندین مدل برای بیان سرعت افت رطوبت در طی

میزان نسبت رطوبت و کاهش آن طی برشته شدن از طریق معادله ۱ محاسبه گردید.

$$MR = \frac{M(t) - M_e}{M_0 - M_e} \quad (\text{معادله ۱})$$

که در آن $M(t)$ ، MR ، M_e و M_0 به ترتیب نسبت رطوبت، رطوبت بر مبنای خشک در هر لحظه از زمان برشته شدن، رطوبت تعادلی بر پایه خشک و رطوبت اولیه بر مبنای خشک می‌باشد. از آنجا که در اسنک سویا هدف برشته شدن می‌باشد و با توجه به اینکه مقدار میزان رطوبت تعادلی بسیار پایین است، بنابراین رطوبت تعادلی برای برشته شدن مطرح نیست و در نتیجه، می‌توان رابطه ۱ را به شکل ساده‌تری درآورد:

$$MR = \frac{M(t)}{M_0} \quad (\text{معادله ۲})$$

- مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی سنتیک کاهش رطوبت طی فرآیند برشته کردن اسنک سویا با استفاده از سامانه مادون قرمز توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخور^۱ انجام پذیرفت. پرسپترون چند لایه شامل یک لایه ورودی با نرون‌های نماینده متغیرهای ورودی، یک لایه خروجی با نرون‌های نماینده متغیرهای خروجی و یک یا چند لایه مخفی با تعدادی نرون مخفی می‌باشد. در این مدل‌سازی توان لامپ مادون قرمز، فاصله نمونه از لامپ مادون قرمز و زمان برشته شدن به عنوان متغیرهای ورودی (مستقل) و مقادیر نسبت رطوبت به عنوان متغیر خروجی (وابسته) انتخاب و تعداد لایه‌های پنهان یک لایه در نظر گرفته شد. در ابتدا داده‌ها بر اساس درصدهای انتخابی به سه گروه داده‌های یادگیری، داده‌های ارزیابی و داده‌های آزمون تقسیم شدند، سپس برای انتخاب بهترین مدل، برنامه برای حالات مختلف تعداد نرون‌های مخفی، نوع تابع انتقال، نوع قاعده یادگیری و درصد داده‌های مراحل یادگیری، ارزیابی و آزمایش اجرا گردید. محاسبات بر پایه‌ی یک لایه مخفی با تعداد ۱ تا ۲۰ نرون برای توابع انتقال تانژانت هیپربولیک و سیگموئید و قواعد یادگیری لیونبرگ مارکوآرت و مونتوم انجام گردید. پس از انتخاب بهترین تابع انتقال و قاعده

¹ Perceptron Feed-Forward ² Mean Squared Error
⁴ Mean Relative Error ⁵ Correlation Coefficient

³ Normalized Mean Squared Error

مقایسه مدل‌سازی شبکه عصبی و مدل‌سازی ریاضی عامل‌های متعددی نظیر ضریب تعیین¹ (R^2)، ضریب تعیین متعادل شده² ($Adj R^2$) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها³ (RMSE) برای ارزیابی برازش استفاده شد (Palipane & Driscoll, 1994; Madamba *et al.*, 1996).

یافته‌ها

سنیٹیک کاهش رطوبت در شکل ۳ آورده شده است و مقایسه ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف در یک لایه مخفی با توابع انتقال و توابع یادگیری در جدول ۲-۵ آورده شده است. جدول ۶ و ۷ به ترتیب نشان دهنده مقایسه درصد‌های مختلف برای داده‌های آموزشی در شبکه عصبی و مقایسه درصد‌های مختلف برای داده‌های ارزیابی و آزمایشی در شبکه عصبی می‌باشد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری و برازش مدل‌های ریاضی بر داده‌های آزمایشی در جدول ۸ نشان داده شده است و شکل ۴ نشان دهنده نتایج آنالیز حساسیت و شکل ۵ نشان دهنده اعتبار سنجی مدل‌های ریاضی و شبکه عصبی است.

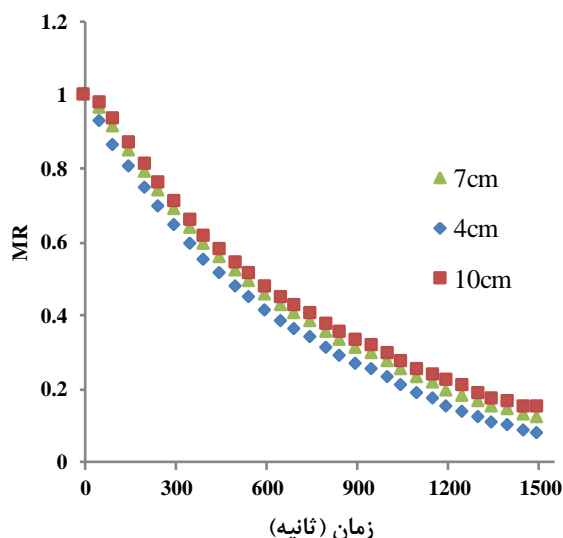
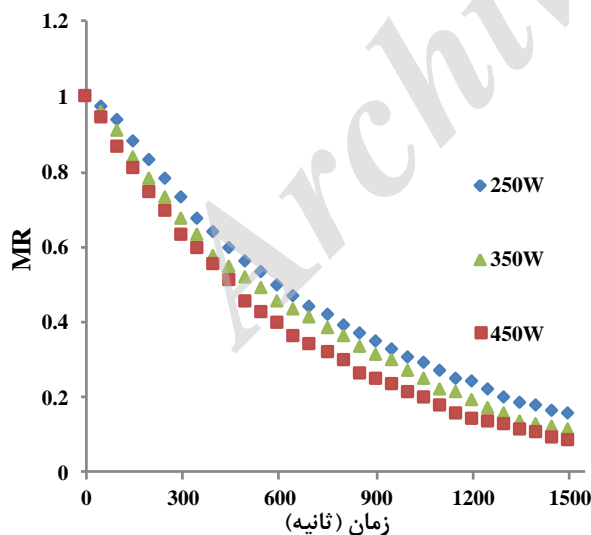
برشته‌شدن لایه نازک مغزها پیشنهاد شده است (Ozdemir & Devres, 1999; Kashaninejad *et al.*, 2007). در این مطالعه اطلاعات تجربی برشته‌کردن سویا با مدل‌های خشک‌کردن (برشته کردن) لایه نازک برازش شدند. تعدادی از این مدل‌ها از جمله هندرسون و پاییس، لگاریتمی و دو جمله‌ای برای بررسی روند برشته‌شدن لایه نازک دانه سویا انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مدل‌های ریاضی مورد استفاده برای برازش داده‌ها

شماره	نام مدل	مدل ریاضی
۱	هندرسون و پاییس	$MR = a \exp(-b.t)$
۲	لگاریتمی	$MR = a \exp(-bt) + c$
۳	دو جمله‌ای	$MR = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$

MR: نسبت رطوبت؛ t: زمان؛ a و c: ضرایب؛ b و d: ثابت مدل‌ها

تخمین شاخص‌های مدل‌های تجربی از داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات ۱۲ توسط رگرسیون غیرخطی روی تمام تیمارهای آزمایشی برشته‌شدن انجام شد. بدین ترتیب ضرایب و ثابت‌ها در فرایند برشته‌شدن محاسبه شد. در نهایت برای بررسی و



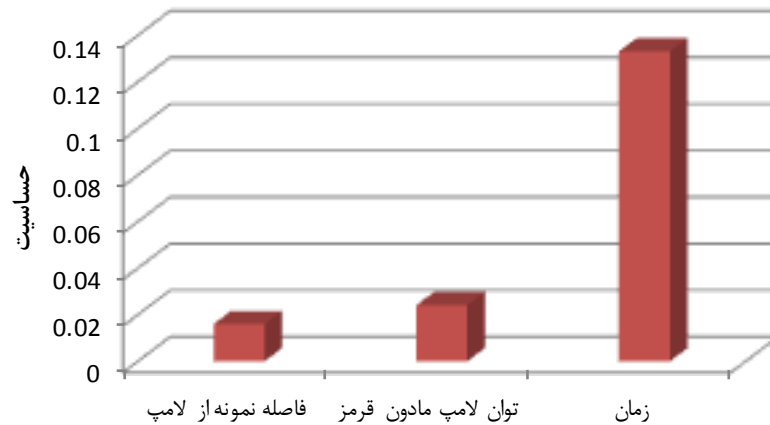
شکل ۳- اثر توان لامپ مادون قرمز و فاصله‌های مختلف بین لامپ مادون قرمز و نمونه بر سنیٹیک کاهش رطوبت طی برشته شدن دانه سویا .

¹ Coefficient of Determination

² Adjusted R-Squared

³ The Root Mean Square Error (RMSE)

مدل سازی فرآیند برشته شدن اسنک سویا تحت سامانه مادون قرمز

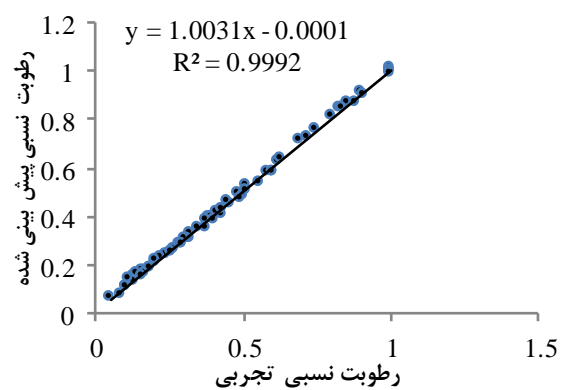
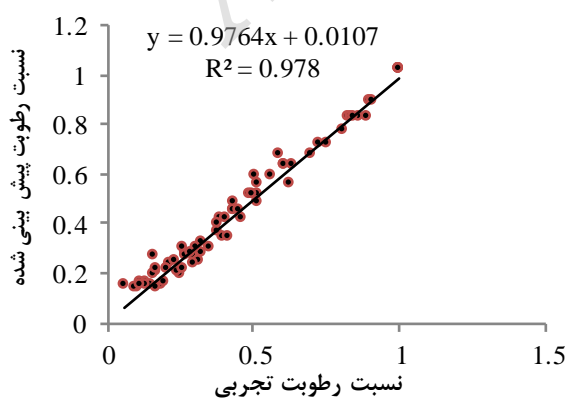


شکل ۴- نتایج آنالیز حساسیت مدل سازی سنتیک کاهش رطوبت در اسنک سویا طی برشته شدن با سامانه مادون قرمز.

جدول ۲- مقایسه ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی با نرون های مختلف در یک لایه مخفی با تابع انتقال تانژانت هیپربولیک و قواعد یادگیری لیونبرگ مارکوآرت

تعداد نرون ها	میانگین مربع خطا (MSE)	میانگین مربع خطای نرمال شده (NMSE)	میانگین خطای نسبی (MAE)	ضریب همبستگی (r)
۱	۰/۰۰۰۹۲	۰/۰۱۳۸	۰/۰۲۴۱	۰/۹۹۴۲
۲	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۴۴	۰/۰۱۴۶	۰/۹۹۹۳
۳	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۴۱	۰/۰۱۴۵	۰/۹۹۹۵
۴	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۰۷۲	۰/۰۱۹۱	۰/۹۹۹۳
۵	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۱۲۸۶	۰/۰۰۸۶۵	۰/۹۹۹۲
۶	۰/۰۰۲۵۶	۰/۰۰۳۸۷	۰/۰۴۴۲	۰/۹۸۳۰
۷	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۱۸۶	۰/۹۹۶۸
۸	۰/۰۰۲۰۶	۰/۰۰۳۱۰	۰/۰۳۳۰	۰/۹۹۳۹
۹	۰/۰۰۴۲۲	۰/۰۰۶۳۶	۰/۰۵۴۵	۰/۹۹۰۱
۱۰	۰/۰۱۰۱۸	۰/۱۵۲۵	۰/۰۸۸۸	۰/۹۷۶۳
۱۱	۰/۰۰۴۲۳	۰/۰۰۶۳۷	۰/۰۶۰۸	۰/۹۹۷۴
۱۲	۰/۰۰۰۸۶	۰/۰۱۳۰	۰/۰۲۵۶	۰/۹۹۷۷
۱۳	۰/۰۰۲۵۰	۰/۰۰۳۷۷	۰/۰۴۵۶	۰/۹۸۹۲
۱۴	۰/۰۰۳۸۳۷	۰/۰۵۷۸۶	۰/۱۷۶۹	۰/۹۸۳۵
۱۵	۰/۰۰۳۱۶۶	۰/۴۷۷۵	۰/۱۶۳۴	۰/۹۰۱۱
۱۶	۰/۰۰۲۶۲	۰/۰۰۳۹۵	۰/۰۴۶۱	۰/۹۸۳۸
۱۷	۰/۰۱۲۰۴	۰/۱۸۱۵	۰/۰۸۵۵	۰/۹۵۰۵
۱۸	۰/۰۰۶۷۷۸	۱/۰۲۲۱	۰/۲۰۶۳	۰/۴۸۲۰
۱۹	۰/۰۰۰۳۰۸	۰/۰۰۴۶۴	۰/۰۴۷۱	۰/۹۸۵۲
۲۰	۰/۱۱۲۴۹	۱/۶۹۶۴	۰/۳۰۲۷	۰/۸۳۹۶

۲۴



شکل ۵- مقادیر تجربی داده های ارزیابی در برابر مقادیر پیشگویی شده نسبت رطوبت با استفاده از مدل ریاضی دو جمله ای (a) و شبکه عصبی (b) طی برشته شدن اسنک سویا به روش مادون قرمز.

جدول ۳- مقایسه ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی با نرون های مختلف در یک لایه مخفی با تابع انتقال تانژانت هیپربولیک و قواعد یادگیری مومنتوم

تابع انتقال تانژانت هیپربولیک و قواعد یادگیری مومنتوم				
تعداد نرون ها	میانگین مربع خطا (MSE)	میانگین مربع خطای نرمال شده (NMSE)	میانگین خطای نسبی (MAE)	ضریب همبستگی (r)
۱	۰/۰۰۱۶۷	۰/۰۲۵۲	۰/۰۳۳۲	۰/۹۸۸۲
۲	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۰۶۷	۰/۰۱۶۷	۰/۹۹۷۴
۳	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۶۹	۰/۰۱۷۳	۰/۹۹۷۴
۴	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۳۸	۰/۰۱۲۵	۰/۹۹۸۴
۵	۰/۰۰۰۹۹	۰/۰۱۵۰	۰/۰۲۷۳	۰/۹۹۶۶
۶	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۴۱	۰/۰۱۳۰	۰/۹۹۸۰
۷	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۵۹	۰/۰۱۶۰	۰/۹۹۷۲
۸	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۴۸	۰/۰۱۴۰	۰/۹۹۷۷
۹	۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۱۴۱	۰/۰۲۶۵	۰/۹۹۳۶
۱۰	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۱۰۴	۰/۰۲۲۵	۰/۹۹۶۴
۱۱	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۵۸	۰/۰۴۵۷	۰/۹۹۴۰
۱۲	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۴۱	۰/۰۴۶۷	۰/۹۹۰۹
۱۳	۰/۰۰۰۱۸۶	۰/۰۰۲۸	۰/۰۳۷۱	۰/۹۹۵۴
۱۴	۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۷۱	۰/۰۱۶۲	۰/۹۹۶۹
۱۵	۰/۰۰۰۵۴۸	۰/۰۰۸۲۶	۰/۰۰۵۳۱	۰/۹۶۵۸
۱۶	۰/۰۰۰۲۹۹	۰/۰۰۴۴۹	۰/۰۰۳۰۱	۰/۹۸۷۸
۱۷	۰/۰۰۰۵۸۷	۰/۰۰۸۸۵	۰/۰۰۴۹۱	۰/۹۸۱۱
۱۸	۰/۰۰۰۰۹۳	۰/۰۰۱۴۱	۰/۰۰۲۵۰	۰/۹۹۵۳
۱۹	۰/۰۰۰۴۷۱	۰/۰۰۷۱۱	۰/۰۰۴۹۹	۰/۹۷۹۶
۲۰	۰/۰۰۰۱۳۳	۰/۰۰۲۰۰	۰/۰۰۳۳۹	۰/۹۹۷۱

جدول ۴- مقایسه ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی با نرون های مختلف در یک لایه مخفی با تابع انتقال سیگموئید و قواعد یادگیری لیونبرگ مارکوارت

تابع انتقال سیگموئید و قواعد یادگیری لیونبرگ مارکوارت				
تعداد نرون ها	میانگین مربع خطا (MSE)	میانگین مربع خطای نرمال شده (NMSE)	میانگین خطای نسبی (MAE)	ضریب همبستگی (r)
۱	۰/۰۰۱۴۶	۰/۰۲۲۱	۰/۰۳۱۳	۰/۹۸۹۸
۲	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۲۰	۰/۹۹۹۱
۳	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۳۱	۰/۰۱۲۲	۰/۹۹۹۲۲
۴	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۸۸	۰/۹۹۹۴
۵	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۰۸۷	۰/۰۲۲۴	۰/۹۹۹۱
۶	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۰۵۴	۰/۰۱۷۰	۰/۹۹۹۴
۷	۰/۰۰۰۸۲	۰/۰۱۲۴	۰/۰۲۵۶	۰/۹۹۵۶
۸	۰/۰۰۰۱۵۵	۰/۰۰۳۳۴	۰/۰۰۳۴۰	۰/۹۹۷۰
۹	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۲۷	۰/۰۱۱۳	۰/۹۹۹۳
۱۰	۰/۰۰۰۷۲	۰/۰۰۸	۰/۰۲۱۶	۰/۹۹۸۰
۱۱	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۸۰	۰/۰۱۸۴	۰/۹۹۸۱
۱۲	۰/۰۰۱۳۰۵	۰/۱۹۶۸	۰/۱۰۱۵	۰/۹۸۱۳
۱۳	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۵۳	۰/۰۱۶۳	۰/۹۹۷۶
۱۴	۰/۰۰۰۰۹۴	۰/۰۰۱۴۲	۰/۰۰۲۸۸	۰/۹۹۹۱
۱۵	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۵۶	۰/۰۱۵۸	۰/۹۹۷۸
۱۶	۰/۰۰۰۷۲	۰/۰۰۹	۰/۰۲۴۲	۰/۹۹۸۹
۱۷	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۲۷	۰/۰۱۰۷	۰/۹۹۹۰۹
۱۸	۰/۰۰۰۶۰	۰/۰۰۹۰	۰/۰۲۱۲	۰/۹۹۸۸
۱۹	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۱۱۳	۰/۰۲۵۷	۰/۹۹۹۲۹
۲۰	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۸۰	۰/۰۲۰۵	۰/۹۹۸۱۹

مدل سازی فرآیند برشته شدن اسنک سویا تحت سامانه مادون قرمز

جدول ۵- مقایسه ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی با نرون های مختلف در یک لایه مخفی با تابع انتقال سیگموئید و قواعد یادگیری مومنتم

تابع انتقال سیگموئید و قواعد یادگیری مومنتم						
تعداد نرون ها	میانگین مربع خطا (MSE)	میانگین مربع خطای نرمال شده (NMSE)	میانگین خطای نسبی (MAE)	ضریب همبستگی (r)		
۱	۰/۰۱۵۱۸	۰/۲۲۹۰	۰/۱۱۰۵	۰/۹۳۴۷		
۲	۰/۰۱۶۰۶	۰/۲۴۲۲	۰/۱۱۷۲	۰/۹۴۲۳		
۳	۰/۰۲۴۵۷	۰/۳۷۰۵	۰/۱۴۵۲	۰/۹۱۷۰		
۴	۰/۰۰۷۵۰	۰/۱۱۳۱	۰/۰۷۶۱۲	۰/۹۶۷۲		
۵	۰/۰۰۷۳۹	۰/۱۱۱۵	۰/۰۷۴۹	۰/۹۶۴۲		
۶	۰/۰۱۶۳۹	۰/۲۴۷۱	۰/۱۱۷۹	۰/۹۳۸۵		
۷	۰/۰۰۷۰۶	۰/۱۰۶۴	۰/۰۷۳۳	۰/۹۶۷۳		
۸	۰/۰۰۴۲۰	۰/۰۶۳۴	۰/۰۵۳۱	۰/۹۷۴۹		
۹	۰/۰۰۵۹۴	۰/۰۸۹۶	۰/۰۶۵۳	۰/۹۷۰۱		
۱۰	۰/۰۰۵۱۵	۰/۰۷۷۷	۰/۰۶۰۲	۰/۹۷۲۰		
۱۱	۰/۰۰۴۴۰	۰/۰۶۶۳	۰/۰۵۳۹	۰/۹۷۳۲		
۱۲	۰/۰۰۴۴۹	۰/۰۶۷۷	۰/۰۵۶۴	۰/۹۷۵۸		
۱۳	۰/۰۰۵۵۶	۰/۰۸۳۹	۰/۰۶۳۷	۰/۹۷۲۲		
۱۴	۰/۰۰۵۰۴	۰/۰۷۶۰	۰/۰۵۹۶	۰/۹۷۳۶		
۱۵	۰/۰۰۳۹۷	۰/۰۵۹۸	۰/۰۵۱۲	۰/۹۷۵۸۷		
۱۶	۰/۰۰۳۷۶	۰/۰۵۶۷	۰/۰۵۰۵	۰/۹۷۸۱		
۱۷	۰/۰۰۳۹۳۳۱۶۱	۰/۰۵۹۳	۰/۰۵۰۷	۰/۹۷۵۶		
۱۸	۰/۰۰۳۶۵۴۲۵۷	۰/۰۵۵۱	۰/۰۴۷۵	۰/۹۷۶۰		
۱۹	۰/۰۰۳۸۵۸۵	۰/۰۵۳۹	۰/۰۴۵۹	۰/۹۷۷۲		
۲۰	۰/۰۰۳۴۳۷۴۱۸	۰/۰۵۱۸	۰/۰۴۶۸	۰/۹۷۸۷		

۲۶

جدول ۶- مقایسه درصد های مختلف برای داده های آموزشی در شبکه عصبی با یک لایه مخفی با تابع انتقال سیگموئید و قاعده یادگیری لیونبرگ مارکوارت و تعداد ۴ نرون

درصد داده های یادگیری	درصد داده های اعتبارسنجی	درصد داده های ارزیابی	میانگین مربع خطا (MSE)	میانگین مربع خطای نرمال شده (NMSE)	میانگین خطای نسبی (MAE)	ضریب همبستگی (r)
۵	۴۷/۵	۴۷/۵	۰/۱۳۷۶۹	۱/۹۳۹۱	۰/۳۲۶۳	۰/۳۶۰۵
۱۰	۴۵	۴۵	۰/۰۶۴۷۸	۰/۹۱۴۲	۰/۲۱۹۳	۰/۷۳۴۴
۱۵	۴۲/۵	۴۲/۵	۰/۰۱۱۵۵	۰/۱۷۸۸	۰/۰۹۱۹	۰/۹۸۸۶۸
۲۰	۴۰	۴۰	۰/۰۷۹۲۹	۱/۱۸۴۱	۰/۲۶۴۱	۰/۹۲۸۴
۲۵	۳۷/۵	۳۷/۵	۰/۰۲۳۵۴	۰/۳۳۳۲	۰/۱۳۹۷	۰/۹۶۰۸
۳۰	۳۵	۳۵	۰/۰۵۳۱۲	۰/۷۴۵۵	۰/۲۱۵۴	۰/۹۵۱۰
۳۵	۳۲/۵	۳۲/۵	۰/۰۰۴۲۲	۰/۰۶۶۰	۰/۰۵۶۰	۰/۹۹۱۹
۴۰	۳۰	۳۰	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۹۳	۰/۹۹۹۲
۴۵	۲۷/۵	۲۷/۵	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۸۲۷	۰/۹۹۹۲
۵۰	۲۵	۲۵	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۷	۰/۹۹۸۷
۵۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۷۷	۰/۹۹۹۵
۶۰	۲۰	۲۰	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۷۶	۰/۹۹۹۳

جدول ۷- مقایسه درصد‌های مختلف برای داده‌های ارزیابی و آزمایشی در شبکه عصبی با یک لایه مخفی با تابع انتقال سیگموئید و قاعده یادگیری لیونبرگ مارکوآرت و تعداد ۴ نرون

درصد داده‌های یادگیری	درصد داده‌های اعتبارسنجی	درصد داده‌های ارزیابی	میانگین مربع خطا (MSE)	میانگین مربع خطای نرمال شده (NMSE)	میانگین خطای نسبی (MAE)	ضریب همبستگی (r)
۵۵	۵	۴۰	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۸۵	۰/۹۹۹۱
۵۵	۱۰	۳۵	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۸۷	۰/۹۹۹۱۶
۵۵	۱۵	۳۰	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۳۰	۰/۰۱۰۳	۰/۹۹۸۶
۵۵	۲۰	۲۵	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۶۴	۰/۹۹۹۶
۵۵	۲۵	۲۰	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۷۳	۰/۹۹۹۵
۵۵	۳۰	۱۵	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۷۴	۰/۹۹۹۲
۵۵	۳۵	۱۰	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۹۵	۰/۹۹۹۰
۵۵	۴۰	۵	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۷۳	۰/۹۹۹۶

جدول ۸- نتایج تجزیه و تحلیل آماری و برازش مدل‌های ریاضی بر داده‌های آزمایشی

نام مدل	ضریب تبیین (R^2)	ضریب تبیین تعدیل شده (R^2_{Adj})	ریشه متوسط مربع خطا (RMSE)
هندرسون و پاییس	۰/۹۵۵۳	۰/۳۹۴۶	۰/۰۳۹۵
لگاریتمی	۰/۹۵۵۶	۰/۹۵۴۹	۰/۰۳۹۴
دوجمله‌ای	۰/۹۷۷۶	۰/۹۷۵۴	۰/۰۲۷۶

بحث

پراکندگی نسبت رطوبت با توجه به فاصله نمونه از لامپ و توان لامپ مادون قرمز به عنوان تابعی از زمان در شکل ۳ آورده شده است. این منحنی‌ها نشان می‌دهند که محتوی رطوبت نمونه‌های سویا در طول برشته‌شدن بصورت مداوم و نمایی کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود با افزایش توان لامپ مادون قرمز سینتیک برشته شدن افزایش یافت (شکل ۳). علت افزایش سینتیک کاهش رطوبت و نرخ برشته شدن با افزایش توان به خاطر افزایش انرژی وارد شده به ملکول‌های آب در توان‌های بالاتر می‌باشد به گونه‌ای که در توان ۴۵۰ وات فرایند برشته شدن با شدت و سرعت بیشتری انجام می‌شود (Madamba, 2011). این موضوع به این دلیل است که با افزایش توان لامپ مادون قرمز، لایه سطحی و قسمت‌های داخلی دانه سویا به شدت گرم شده و در نتیجه باعث افزایش سرعت انتقال جرم و حرارت می‌گردد و رطوبت به سرعت خارج می‌شود (Doymaz, 2012).

امیری چایجان و همکاران (۲۰۱۳) از یک خشک کن مادون قرمز با توان‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ وات جهت خشک کردن پسته استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش نفوذپذیری رطوبت با افزایش توان مادون قرمز می‌باشد. همچنین توان مادون قرمز اثر معنی‌داری بر زمان خشک شدن پسته دارد و با افزایش توان، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. قسمت دوم شکل ۳ نشان دهنده اثر فاصله بین نمونه و لامپ مادون قرمز بر میزان رطوبت مغزها طی برشته کردن لایه نازک اسنک سویا می‌باشد. به گونه‌ای که بالاترین سینتیک کاهش رطوبت مربوط مغز برشته شده با فاصله ۴ سانتی‌متر بود و پایین‌ترین سینتیک کاهش رطوبت مربوط مغز برشته شده با فاصله ۱۰ سانتی‌متر مشاهده شد. صالحی و همکاران (۱۳۹۴) با مطالعه اثر فاصله لامپ مادون قرمز از ورقه‌های قارچ دکمه‌ای بر درصد کاهش وزن نمونه‌ها نشان دادند که با افزایش فاصله نمونه‌ها از منبع مادون قرمز، سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه‌های قارچ کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله لامپ

۲۵ وات از ۵ به ۲۰ سانتی‌متر، درصد کاهش وزن از ۹/۷۳ به ۶/۴۲ درصد برای نمونه قارچ با قطر یک سانتی‌متر، کاهش می‌یابد.

با توجه به این که تعداد نرون‌های لایه مخفی تاثیر زیادی بر روی خروجی مدل دارند، شبکه‌های مختلف با تعداد نرون‌های متعدد ساخته شد و بهترین شبکه با کمترین خطاهای آزمایش و بیشترین همبستگی انتخاب گردید. لازم به یادآوری است انتخاب تعداد نرون‌های بیشتر با پیچیده تر نمودن شبکه به زمان بیشتری برای انجام محاسبات نیازمند است به همین خاطر تعداد نرون‌های بیشتر از ۲۰ نرون برای این مطالعه تست نشد. مقایسه ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف در یک لایه مخفی با تابع انتقال تانژانت هیپربولیک و قواعد یادگیری لیونبرگ مارکوارت نشان داد که بهترین عملکرد شبکه در این ساختار با ۳ نرون دیده می‌شود این در حالی است که در شبکه عصبی با تابع انتقال تانژانت هیپربولیک و قواعد یادگیری مومنتم و شبکه عصبی با تابع تابع انتقال سیگموئید و قواعد یادگیری لیونبرگ مارکوارت و مومنتم به ترتیب ۴، ۴ و ۱۹ نرون مناسب تشخیص داده شد (جدول ۲، ۳، ۴ و ۵).

مدل‌سازی انتقال جرم آبگیری اسمزی پوست لیموی آفریقایی توسط Lertworasirikul و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پیش‌بینی میزان دفع آب و جذب مواد جامد توسط شبکه عصبی چند لایه با سه ورودی دما، زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی و غلظت مواد جامد نشان داد که بهترین شبکه با کمترین مجموع مربعات خطا و بیشترین میانگین ضریب رگرسیون با یک لایه مخفی و پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت به دست می‌آید.

همان‌طور که در جدول‌های ۴ و ۵ دیده می‌شود، شبکه عصبی با تابع انتقال سیگموئیدی و تابع قانون یادگیری مومنتم نسبت به شبکه عصبی با تابع انتقال سیگموئیدی و تابع قانون یادگیری لیونبرگ مارکوارت عملکرد ضعیف‌تری داشته است، بنابراین در این مطالعه تابع انتقال سیگموئیدی و تابع قانون یادگیری مومنتم سازگاری کمتری با هم در پیشگویی کاهش نسبت رطوبت طی برشته شدن دارند.

اما به طور کلی برای داده‌های تجربی با یک لایه مخفی بهترین تابع انتقال، قاعده یادگیری و تعداد نرون به

ترتیب سیگموئید، لیونبرگ مارکوارت و ۴ نرون به دست آمد. به این معنا که در این حالت کمترین مقادیر خطا و بیشترین ضریب همبستگی حاصل خواهد شد.

هم چنین بررسی‌های به عمل آمده در زمینه اختصاص درصد‌های مختلف داده‌ها برای هر یک از مراحل مدل‌سازی (آموزش، ارزیابی و آزمون) نشان داد که درصد‌های ۵۵ درصد برای زیر گروه آموزش، ۲۰ درصد برای زیر گروه ارزیابی و ۲۵ درصد برای آزمایش بهترین نتایج را به همراه خواهد داشت. در این حالت مقادیر MSE ، $NMSE$ ، MAE و r به ترتیب ۰/۰۰۰۰۷۲۴، ۰/۰۰۱۱۴، ۰/۰۰۶۴۳ و ۰/۹۹۹۶ بدست آمد (جدول ۶ و ۷). در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده بهترین مدل بر اساس کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی انتخاب گردید. به این ترتیب مدل شبکه عصبی سه لایه با ۴ نرون مخفی در لایه پنهان با تابع انتقال سیگموئیدی و قانون یادگیری لیونبرگ که در آن ۵۵ درصد برای زیر گروه آموزش، ۲۰ و ۲۵ درصد برای زیر گروه ارزیابی و آزمایش در نظر گرفته شده بود، به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید (جدول ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷).

مدل‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو با استفاده از الگوریتم ژنتیک شبکه عصبی مصنوعی بررسی شد. ساختارهای مختلف شبکه عصبی چندلایه پرسپترون برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آبگیری شده مورد آزمون قرار گرفته و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان به خوبی درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب و مقدار جذب مواد جامد در طی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی نماید. این مدل می‌تواند به منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد (Salehi et al., 2014).

به منظور بررسی مقدار تاثیرگذاری پارامترهای ورودی (توان لامپ مادون قرمز، فاصله نمونه از لامپ مادون قرمز و مدت زمان برشته کردن) و شناسایی تاثیرگذارترین عامل، تست آنالیز حساسیت بر روی شبکه انتخاب شده انجام شد. شکل ۵ نتایج نشان می‌دهند که مدت زمان برشته کردن بیشترین تاثیر را در مدل‌سازی نسبت رطوبت طی برشته کردن دارد.

علاوه بر مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی، نسبت رطوبت بدست آمده در شرایط مختلف فرایند (داده‌های

همان طور که در این نمودارها ملاحظه می‌گردد سازگاری خوبی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر تجربی وجود دارد. بنابراین می‌توان از مدل بهینه به دست آمده برای پیش بینی اثر متغیرهای ورودی بر کاهش نسبت رطوبت در طی برشته شدن اسنک سویا استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

برشته کردن یکی از روش‌های بهبود طعم و مزه در مغزها به شمار می‌آید. همچنین در این روش، زمان ماندگاری محصول برشته شده افزایش یافته و در نتیجه میزان فساد پذیری محصول کاهش می‌یابد. روش مادون قرمز از جمله روش‌های جدید و کارا بوده و این قابلیت را دارد که برای برشته کردن مناسب اسنک سویا به کار گرفته شود. با توجه به نتایج بدست آمده شبکه عصبی چند لایه پرسپترون با تابع انتقال سیگموئید و قواعد یادگیری لیونبرگ مارکوآرت با چهار نرون در لایه پنهان با یک نرون در لایه خروجی و سه نرون در لایه ورودی، توانست میزان کاهش نسبت رطوبت را طی برشته کردن اسنک سویا را با دقت بیشتری نسبت به مدل‌های خطی تخمین بزند. نتایج آنالیز حساسیت، زمان برشته کردن را به عنوان مؤثرترین پارامتر بر روی تغییر نسبت رطوبت دانه‌های سویا نشان داد. برای بهبود خصوصیات کیفی محصولات برشته شده به خصوص سویا، نیاز به مطالعات بیشتری در خصوص زمان نهایی برشته شدن و به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک همراه با شبکه عصبی در پیش‌بینی آن و غیره نیازمند است.

منابع

- Dondee, S., Meeso, N., Soponronnarit, S. & Siriamornpun, S. (2011). Reducing cracking and breakage of soybean grains under combined near-infrared radiation and fluidized-bed drying. *Journal of Food Engineering*, 104, 6–13.
- Doymaz, A. (2015). Infrared drying kinetics and quality characteristics of carrot slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2738–2745.
- Doymaz, I. (2012). Drying of pomegranate seeds using infrared radiation. *Food Science and Biotechnology*, 21, 1269–1275.

مورد استفاده برای تست شبکه عصبی) با ۳ مدل ریاضی نیز مورد برازش و مدل‌سازی قرار گرفت. بهترین مدل توصیف کننده روند برشته شدن لایه نازک اسنک سویا با بیشترین ضریب تعیین (R^2)، بیشترین ضریب تعیین متعادل شده ($Adj R^2$)، و کمترین مربع میانگین خطا (RMSE) انتخاب شد (Togrul & Pehlivan, 2002).

نتایج آماری به دست آمده از مدل‌سازی برشته کردن اسنک سویا با استفاده از سامانه مادون قرمز نشان داد که مدل دو جمله‌ای بهترین مدل جهت برازش داده‌های این روش می‌باشد (جدول ۸)، بنابراین مدل یاد شده پیش‌گویی بهتری نسبت به سایر مدل‌ها از داده‌های آزمایشی دارند و به خوبی ویژگی‌های برشته شدن لایه نازک اسنک سویا را توصیف می‌کنند (شکل ۳). جزئیات آنالیز آماری این سه مدل در جدول ۸ نشان داده شده است. مدل دو جمله‌ای توصیف بهتری را از رفتار برشته شدن از خود نشان داد و این مدل RMSE بسیار پایین، ضریب تعیین (R^2) و ضریب تعیین متعادل شده ($adj R^2$)، بالایی نیز داشت.

مدل‌سازی سینتیک خشک کردن برای بسیاری از مواد غذایی از جمله، خشک کردن هویج (Doymaz, 2015)، خشک کردن توت (Izli et al., 2014) و خشک کردن سیب (Wange et al., 2007) انجام شده است و نتایج این مطالعات نشان دهنده سازگاری مدل‌های مختلف بر سینتیک خشک شدن این محصولات کشاورزی می‌باشد. اما در مورد مدل‌سازی سینتیک برشته شدن مطالعه‌ای صورت نگرفته است به جز Ozdemir و Devres (۱۹۹۹)؛ این پژوهشگران نشان دادند که مدل تجربی تامسون قادر به توصیف سینتیک برشته شدن فندق می‌باشد.

برای مقایسه و بررسی اعتبارسنجی و نیکویی دو مدل شبکه عصبی و ریاضی از ضریب تعیین^۱ (R^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها^۲ (RMSE) استفاده شد. مقایسه و بررسی R^2 (0.9776) و RMSE (0.02758) مدل ریاضی دو جمله‌ای و مدل شبکه عصبی مصنوعی ($R^2 = 0.9992$, RMSE = 0.01099) نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی برازش بهتری از داده‌های تجربی را نشان می‌دهد. شکل‌های ۶ و ۷ نشان دهنده برازش داده‌های تجربی در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده بوسیله مدل دو جمله‌ای و مدل الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

¹ Coefficient of Determination

² The Root Mean Square Error (RMSE)

- Izli, N., Yıldız, G., Unal, H., Isik, E. & Uylaser, V. (2014). Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 9–17.
- Karathanos, V. T. & Belessiotis, V. G. (1999). Application of a thin layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74, 355–361
- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. & Tabil, L. G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, 78, 98–108.
- Kato, H., Doi, Y., Tsugita, T., Kosal, K., Kamiya, T. & Kurata, T. (1980). Changes in volatile flavour components of soybeans during roasting. *Food Chemistry*, 7, 87-94.
- Kocabiyik, H. & Tezer, D. (2009). Drying of carrot slices using infrared radiation. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 953–959.
- Lertworasirikul, S. & Saetan, S. (2010). Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel. *Journal of Food Engineering*, 98, 214–223.
- Madamba, I. (2011). Drying of eggplant slices in thin layers at different air temperatures. *Journal of Food Process and Preservation*, 35(2), 280-289.
- Madamba, P. S., Driscoll, R. H. & Buckle, K. A. (1996). Thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29, 75±97.
- Mayer, K. P. (1985). Infra-red roasting of nuts, particularly hazelnuts. *Confectionary Production*, 51, 313-314.
- Ozdemir, M. & Devres, Y.O. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42, 225–233.
- Palipane, K. B. & Driscoll, R. H. (1994). Thin-layer drying behavior of Macadamia in-shell nuts and kernels. *Journal of Food Engineering*, 23, 129-144.
- Pan, Z., Yang, J., Brandl, M., McHugh, H. T. & Bingol, G. (2008). Infrared heating for improved safety and processing efficiency of dry-roasted almonds. Report for Almond Board of California, 1–20.
- Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z. & Godarzi, M. (2014). Apricot Osmotic Drying Modeling Using Genetic Algorithm - Artificial Neural Network. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, (2), 25-32.
- Sumnu, S. G. & Ozkoc, S. O. (2010). Infrared heating for food and agricultural processing. CRC Press, 203-236.
- Togrul, I. T. & Pehlivan, D. (2002). Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*. 55(3), 209–216.
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F. & Zhao, G. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40, 36-46.
- Yaldiz, O., Ertekin, C. & Uzun, H. I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457–465.
- Yang, J., Bingol, G., Pan, Z., Brandl, M. T., McHugh, T. H. & Wang, H. (2010). Infrared heating for dry roasting and pasteurization of almonds. *Journal of Food Engineering*, 101, 273–280.