

کاربرد شبکه‌های هوش مصنوعی و استنتاج عصبی فازی تطبیقی برای تعیین محتوای رطوبتی برگ چای سبز براساس پارامترهای رنگی

محمد شهابی قویونلویی^۱، شاهین رفیعی^{۲*}، سید سعید محتسبی^۳، سلیمان حسین پور^۴

- ۱، دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
 - ۲، ۳، استادان، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
 - ۴، دانش‌آموخته دوره دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۷/۱۶)

چکیده

استفاده از پردازش تصویر و سامانه‌های هوش مصنوعی در زمینه کشاورزی و صنایع غذایی روزبه‌روز بیشتر می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، بررسی امکان استفاده از پردازش تصویر در پیش‌بینی روند تغییرات محتوای رطوبتی برگ‌های چای سبز در حین خشک‌شدن با استفاده از سامانه‌های پیش‌گویی شبکه عصبی مصنوعی و استنتاج فازی عصبی تطبیقی است. آزمایش‌های خشک‌کردن به‌روش لایه نازک و براساس عوامل مؤثر در خشک‌شدن در پنج دمای ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، و ۹۰ درجه سلسیوس و سه سرعت جریان هوای ۰/۵، ۱، و ۱/۵ متربرثانه انجام گرفت. نتایج حاصل از استخراج پارامترهای رنگی تصاویر برگ‌گرفته از نمای بالای نمونه‌ها، به‌عنوان داده‌های ورودی سامانه‌های هوش مصنوعی، برای تعیین محتوای رطوبتی آن‌ها به‌کار برده شد. در پایان، بهترین نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی با دو لایه پنهان (شامل ۱۲ نرون در لایه اول و ۱۵ نرون در لایه دوم) با ضریب تعیین ۰/۹۴۸ و مجذور میانگین مربعات خطای ۰/۰۹۲ گردید.

کلیدواژه‌گان: پردازش تصویر، چای سبز، خشک‌کردن، هوش مصنوعی.

مقدمه

نیز است. تغییرات رنگ محصول در حین فرایند خشک‌شدن می‌تواند در فضاهای رنگی گوناگون بررسی شود و معیاری برای تعیین کیفیت قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های فرایند خشک‌کردن، پیش‌بینی تغییرات محتوای رطوبتی در طول دوره زمان است که معیاری برای ارزیابی کیفیت خشک‌شدن محصول و میزان مصرف انرژی است.

تعیین سینتیک خشک‌شدن نوعی غذای استفاده‌شده در کشورهای جنوبی آسیا با نام کاساواکراکرس با مدل‌های مکانیکی مانند: نیوتون، پیچ، اصلاح‌شده پیچ، و هندرسون و پابیس به‌وسیله Lertworasirikul در سال ۲۰۰۸ انجام پذیرفت و با مدل‌های پیش‌بینی در سامانه‌های هوش مصنوعی مانند: شبکه عصبی پیشخور چندلایه و سامانه استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) مقایسه گردید. با مقایسه مقادیر پارامترهای آماری برای هر یک از مدل‌ها، مدل MFNN با بیشترین مقدار ضریب تعیین (R^2) و کمترین مقدار میانگین خطای مطلق (MAE) بین مقادیر آزمایشی و پیش‌بینی‌شده، بهترین مدل برای توصیف تغییر محتوای رطوبتی کاساواکراکرس در طول زمان خشک‌شدن شناخته شد.

نسبت خشک‌شدن انگور دانه‌دار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیشخور پیش‌بینی و میزان دقت این پیشگویی با

قدمت بوته چای که محصول برگ‌های جوانه *Camelia Sinensis* است، به هزاران سال پیش در چین برمی‌گردد، به‌طوری‌که در ابتدا برای انسان استفاده‌ای نداشت و پس از مدتی به خواص دارویی آن پی‌بردند. کاربرد این گیاه در ایران به حدود صد سال قبل برمی‌گردد. مدل‌های استفاده از این گیاه به‌صورت‌های تخمیری (چای سیاه)، غیر تخمیری (چای سبز)، و نیمه تخمیری گزارش شده است (Najafi et al., 2006). براساس آمار ارائه شده وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت چای در کشور نسبت به ۳۸ سال گذشته ۱۳ درصد رشد داشته است، در حالی که تولید میزان برگ سبز چای بیش از ۵ برابر شده است که این نشان‌دهنده افزایش تولید با کیفیت پایین است (Moj news agency, 2010). بنابراین، تحقیق درباره پارامترهای مؤثر در ارتقا کیفیت چای ضروری به‌نظر می‌رسد. رنگ، به‌ویژه در این نوع محصول که بازارپسندی محصول بیشتر از جانب رنگ آن است، از شاخص‌های مهم کیفیت مواد غذایی است، و نشانگر ویژگی‌های شیمیایی، بیوشیمیایی، و میکروبیولوژیکی محصول

* نویسنده مسئول: shahinrafiee@ut.ac.ir

رویگردی جدید، از سامانه استنتاج عصبی فازی نوع انفیس^۱ برای پیش‌بینی میزان دقیق رطوبت و چربی در گوشت سرخ‌شده شترمرغ استفاده شده است. تعیین محتوای رطوبتی نمونه‌های سرخ‌شده و همچنین مقدار چربی در نمونه خشک‌شده، براساس استاندارد AOAC (1990) انجام پذیرفت. محتوای رطوبت با قرارگرفتن نمونه‌ها در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت و تعیین میزان چربی در نمونه‌های خشک پودر شده نیز با استفاده از عصاره‌گیر سوکسله^۲ و حلال اتری صورت پذیرفت. نتایج پیش‌بینی میزان محتوای رطوبتی و چربی از طریق این سامانه به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۶ و ۰/۹۲ به دست آمد.

در زمینه استفاده از سامانه‌های هوش مصنوعی و روش‌های تجربی خشک‌کردن و پردازش روی تصاویر گرفته‌شده در حین خشک‌شدن محصولات کشاورزی به طور جداگانه تحقیقات زیادی صورت گرفته است، اما در استفاده از نتایج آنالیز تصویر به‌عنوان ورودی این سامانه‌ها در حوزه خشک‌کردن محصولات کشاورزی به‌منظور تعیین محتوای رطوبتی تحقیقات محدودی انجام گرفته است. از این رو هدف از این پژوهش، بررسی امکان استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از پارامترهای رنگی در شبیه‌سازی سینتیک خشک‌شدن برگ‌های چای سبز در حین خشک‌شدن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و استنتاج عصبی فازی تطبیقی و تعیین بهترین سامانه براساس میزان دقت پیش‌بینی تغییرات رطوبتی است.

مواد و روش‌ها

تهیه محصول اولیه: برای شروع آزمایش، برگ‌های تازه چای سبز از مزارع واقع در شهر تنکابن تهیه گردید. باتوجه به اینکه از تفاوت‌های مهم بین فرایندهای تولید چای سیاه و چای سبز، عملیات تخمیر است، باید به‌منظور جلوگیری از تخمیر، تغییر رنگ و پژمردگی محصول، زمان بین برداشت و خشک‌کردن محصول کوتاه شود.

آزمایش‌های خشک‌کردن: در این تحقیق، روش انجام آزمایش‌های خشک‌کردن به‌صورت لایه‌نازک است که در این روش توده لایه نازک محصول، ضخامت از محصول است که دما و رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده در هنگام عبور از آن تغییر نمی‌کند (Jayas *et al.*, 1991). برای انجام آزمایش‌ها، از خشک‌کن لایه‌نازک آزمایشگاهی ساخته‌شده در گروه مهندسی

مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی مقایسه شده است (Cakmak & Yildiz, 2011). در شبکه عصبی طراحی‌شده از سه متغیر ورودی: محتوای رطوبتی، تغییرات دمایی هوای گرم، نسبت جریان هوای گرم، و همچنین یک لایه پنهان استفاده شد و با استفاده از آزمون و خطا در تعیین تعداد نرون‌ها در لایه پنهان، سرانجام تعداد ۱۰ نرون انتخاب گردید. تابع آموزشی استفاده شده در این تحقیق از نوع تانژانت هیپربولیک سیگموئیدی با الگوریتم یادگیری لوبنبرگ - مارکوارت بود. ۴۰ درصد داده‌های آزمایشی به آموزش شبکه اختصاص داده شد. داده‌هایی که باقی ماندند، به‌طور مساوی برای تست و ارزیابی به‌کار برده شدند. داده‌های آموزشی با رگرسیون غیرخطی و داده‌های آزمایش نیز با هر دو نوع رگرسیون خطی و غیرخطی مدل شد. در پایان، با تعیین پارامترهای آماری شامل مقادیر R^2 ، RMSE و MAE، مدل شبکه عصبی طراحی‌شده نتایج دقیق‌تری داشت.

Mohebbi *et al.* (2007) از شبکه عصبی مصنوعی و پردازش تصویر در پیش‌بینی تغییرات محتوای رطوبتی میگو در حین خشک‌شدن استفاده نمودند. در این تحقیق، تصویربرداری به‌صورت آنلاین نبود و در هر بار تصویربرداری نمونه‌ها از دستگاه خشک‌کن خارج شدند و سپس مقادیر میانگین و واریانس پارامترهای رنگی مانند L (روشنایی و تیرگی)، a (سبزی به قرمزی)، b (آبی به زردی) در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه در حین خشک‌شدن برای دماهای بین ۱۰۰°C تا ۱۳۰°C و با فواصل دمایی ۵°C محاسبه و به‌عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی به‌کار برده شدند. شبکه عصبی طراحی‌شده از نوع پیشخور با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا با یک لایه پنهان و با تعداد پنج نرون بود و با در نظر گرفتن ۷۰ درصد داده‌ها به‌عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد به‌عنوان تست و ارزیابی شبکه استفاده شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از تصویربرداری از محصول در حین خشک‌شدن و پردازش تصاویر، می‌تواند به‌عنوان راهکاری کم‌هزینه در تعیین کیفیت فرایند خشک‌شدن پیشنهاد گردد و از داده‌های به‌دست‌آمده می‌توان در طراحی سامانه هوشمند شبکه عصبی در پیش‌گویی سینتیک تغییرات محتوای رطوبتی محصول استفاده کرد.

Amiryousefi *et al.* (2011) سرعت تغییرات جرم گوشت شترمرغ ناشی از سرخ‌کردن با دستگاه مایکروویو را بررسی کردند. این تغییرات جرم، ناشی از بخارشدن آب موجود در چربی گوشت است. از آنجاکه رطوبت و چربی از شاخص‌های مهم در تعیین سلامت و طعم مطلوب غذاست، در این تحقیق با

1. ANFIS
2. Soxhlet Extractor

دستگاه خارج می‌شد و نمونه‌ها روی آن قرار می‌گرفت و سینی مجدداً به دستگاه منتقل می‌گردید. خشک‌کردن تا زمان رسیدن رطوبت نمونه‌ها به حالت تعادل و ثابت ماندن وزن نمونه‌ها ادامه می‌یافت. در پایان هر آزمایش، برگ‌های چای سبز در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت به منظور به دست آوردن رطوبت نهایی، قرار داده شدند (AOAC, 1990). سرانجام، براساس رابطه ۱ نسبت‌های رطوبتی برای هر آزمایش تعیین گردید.

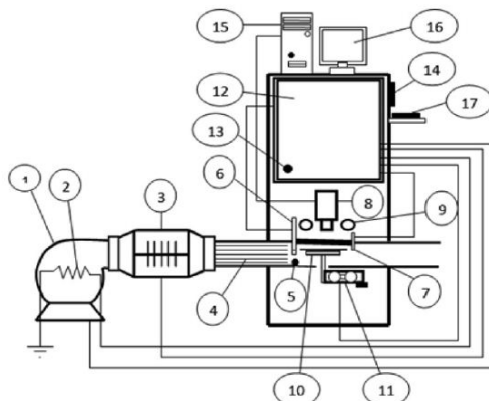
$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن MR: نسبت رطوبت، M_o : رطوبت اولیه، M: رطوبت در لحظه جاری و M_e : رطوبت تعادلی است.

عکس برداری، پردازش، و استخراج پارامترهای رنگی از تصاویر

در این تحقیق، از تصویربرداری هم‌زمان با خشک‌شدن نمونه‌ها استفاده شده است. به دلیل تمایل داشتن نمونه‌ها به رنگ سبز تیره و برای آسان کردن تفکیک نمونه‌ها از سینی، رنگ پیش‌زمینه که همان سینی قرارگیری نمونه‌ها بود، سفید در نظر گرفته شد. ارتباط دوربین با رایانه PC به کار گرفته شده، با پورت USB برقرار گردید و برای تعیین تعداد تصویربرداری و فاصله زمانی بین آن‌ها، از برنامه نوشته شده در محیط MATLAB 7.7 (Math works, Natick, M A) استفاده گردید. تصویربرداری، در فاصله زمانی یک دقیقه در طول دوره فرایند خشک‌شدن از بالای سینی نمونه‌ها انجام می‌گرفت. آنالیز رنگ نمونه‌ها در طول دوره فرایند خشک‌شدن با استفاده از تصاویر و الگوریتم طراحی شده‌ای که در محیط متلب (MATLAB) کدنویسی و پیاده‌سازی شده است، صورت پذیرفت. در این الگوریتم، تصویر رنگی با فرمت JPEG به عنوان ورودی و مقادیر a^* ، b^* به عنوان خروجی در نظر گرفته شدند. قطعه‌بندی تصاویر یکی از مشکل‌ترین کارهای پردازش تصویر است. دقت قطعه‌بندی، احتمال نهایی موفقیت یا شکست در تحلیل کارهای رایانه‌ای را تعیین می‌کند. قطعه‌بندی تصاویر با هدف جداسازی نمونه‌ها از سینی، با استفاده از یکی از روش‌های موجود برای این کار انجام گرفت. روش به کار رفته مبتنی بر حد آستانه‌ای و براساس روش اتسوز^۳ با اعمال منطقی که کمترین میزان واریانس میان‌کلاسی پیکسل‌های سیاه و سفید تصاویر را به وجود می‌آورد، است. تمایز دادن دقیق نقاط مرزی بین لبه نمونه‌ها و سینی از طریق تکنیک اتساع^۴ و سایش^۵ صورت پذیرفت. عملگرهای باز و بسته

مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران استفاده گردید (Hosseinpour et al., 2011) (شکل ۱).



شکل ۱. خشک‌کن آزمایشگاهی استفاده شده: ۱. فن ۲. المنت پیش‌گرمکنی ۳. المنت‌های حرارتی ۴. لوله‌های مستقیم‌کننده ۵. سنسور سرعت هوا ۶ و ۷. سنسورهای دما ۸. دوربین دیجیتال ۹. لامپ‌های فلورسنت ۱۰. صفحه پلت فرم ۱۱. لود سل ۱۲. واحد کنترل ۱۳. سنسور دمای بیرون ۱۴. HMI. ۱۵. کامپیوتر ۱۶. مانیتور ۱۷. صفحه کلید (Hosseinpour et al., 2011).

تصاویر با دوربینی دیجیتالی (Canon G9 digital color camera, Japan) که در فاصله ۴۰ سانتی‌متری بالای نمونه‌ها قرار داشت، با ابعاد 3000×4000 پیکسل دریافت شد. نورپردازی با دو عدد لامپ فلورسنت که در فاصله ۴۵ سانتی‌متری نمونه‌ها و در زاویه ۴۵ درجه قرار گرفته بودند، صورت گرفت. برای تنظیمات شرایط اولیه آزمایش که شامل: تنظیم دما، سرعت هوا، روشن کردن لامپ‌ها و دوربین، و صفر کردن لودسل بود، از صفحه HMI^۱ (FV035ST-C10) استفاده شد تا اجرای گرافیکی دستورها امکان‌پذیر شود.

در این تحقیق آزمایش‌ها در پنج سطح دمایی ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، و ۹۰ درجه سلسیوس و سه سطح سرعت هوای ورودی $1/5$ ، 1 ، و $5/1$ متربرثانیه انجام گرفت. برای انجام هر مرحله از آزمایش با استفاده از صفحه HMI شرایط لازم هر آزمایش شامل دما و سرعت هوا تنظیم شد. برای رسیدن وضعیت سامانه به حالت پایدار، کلیه آزمایش‌ها، ۱۰ دقیقه بعد از روشن کردن خشک‌کن شروع می‌گردید. سپس ظرف خالی محصول در داخل خشک‌کن قرار می‌گرفت و با زدن دکمه طراحی شده در صفحه تنظیمات HMI، وزن نمایشی صفر می‌شد. این کار به منظور حذف تأثیر نیروی شناوری وارد شده از طرف جریان هوا روی سینی، حذف تأثیر احتمالی دمای هوا بر نیروسنج، و همچنین حذف وزن سینی نمونه‌هاست. سپس باردیگر سینی نمونه‌ها از

2. Thresholding Based
3. Otsu's Method
4. Dilation
5. Erosion

حد اقل سازی خطای موجود از الگوریتم یادگیری لونیگ-مارکوارت^۷ (LM) بر مبنای ماتریس هسین استفاده گردید. فرایند آموزش در شبکه‌های عصبی مصنوعی به کمک داده‌های آموزشی، با ارتباط دادن نرون‌ها در هر دوره آموزش صورت می‌گیرد تا مقادیر پیش‌بینی‌شده به مقادیر واقعی نزدیک‌تر شود و در نتیجه خطای حاصل از خطای تعیین‌گردیده کمتر شود. از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی تانژانت برای لایه‌ها استفاده شد و تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌ها برای هر لایه معمولاً به روش آزمون و خطا در طول دوره آموزش انجام گرفت. پس از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB، براساس شبکه پرسپترون، با توجه به اینکه پارامترهای رنگی L^* ، b^* و a^* برای هر تصویر را می‌توان به‌عنوان ورودی شبکه در نظر گرفت و اختصاص دادن سه نرون برای لایه ورودی شبکه، تعیین تعداد نرون در لایه‌های پنهان، و تعداد لایه پنهان بر مبنای بهترین نتایج خروجی که پیش‌بینی تغییرات محتوای رطوبتی بود، صورت پذیرفت.

مدل سازی با سامانه استنتاج عصبی فازی تطبیقی

سامانه فازی مبتنی بر قواعد منطقی "اگر- آنگاه" است که براساس مفاهیم متغیرهای زبانی و تصمیم‌گیری فازی، فضا سازی لازم را برای نتیجه‌گیری از متغیرهای ورودی به‌منظور رسیدن به متغیرهای خروجی ایجاد می‌کند. ترکیب این سامانه با شبکه‌های عصبی که نتیجه‌گیری آن براساس اطلاعات ورودی به‌صورت عددی است، به سامانه استنتاج عصبی فازی تطبیقی می‌انجامد. مزیت اصلی این ایده نسبت به روش‌های معمول، نیاز نداشتن به توصیف ریاضی سامانه در حین مدل‌سازی است. علاوه بر این، در مقایسه با روش‌های فازی یا شبکه‌های عصبی فواید هر دو روش را دارد، به‌طوری که این ایده کم‌بودن حجم محاسبات و راحت‌بودن آموزش را که از مزایای شبکه عصبی است، به سامانه‌های فازی اضافه می‌کند و استنتاج قوی سامانه‌های فازی را به شبکه‌های عصبی می‌افزاید. این مدل‌سازی شامل دو قسمت شناسایی ساختار و شناسایی پارامتر است. مدل‌سازی فازی و روش‌های شبکه عصبی به‌طور معمول به ترتیب برای این دو بخش به‌کار می‌روند. اما به‌طور کلی فرایند مدل‌سازی عصبی فازی، مدل‌سازی فازی و شبکه‌های عصبی را در افزایش سرعت همگرایی، افزایش دقت تخمین، و دیگر مسائل بهبود می‌بخشد (Castellano et al., 2001). در این روش ترکیبی، بخش فازی، رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی را برقرار می‌کند و مشخصه‌های توابع عضویت بخش فازی و تعیین

یکی از ترکیب‌های متداول اتساع و سایش‌اند که در این تحقیق از آن‌ها استفاده گردید. از راه‌های موجود برای تبدیل فضای رنگی تصاویر دیجیتال از RGB به $b^*a^*L^*$ می‌توان به روش‌های خطی^۱، نمایی^۲، مستقیم^۳، گاما^۴ و شبکه عصبی^۵ اشاره کرد. روش استفاده‌شده در این تحقیق، گاما بود و برای دریافت اطلاعات از پیکسل‌های تصاویر در فضای رنگی RGB، با روشی دومرحله‌ای ابتدا تصاویر RGB در دامنه [0,1] به فضای XYZ تبدیل شد و سپس، تبدیل از فضای XYZ به فضای $b^*a^*L^*$ انجام گرفت (Leon et al., 2006).

نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر $b^*a^*L^*$ به‌ازای هر یک از تصاویر گرفته‌شده در بازه‌های زمانی یک دقیقه در طول خشک‌شدن نمونه‌ها، به‌عنوان داده‌های ورودی به سامانه‌های هوش مصنوعی استفاده شد. به‌منظور کالیبره کردن مقادیر ارزش‌های رنگی استخراجی براساس روش ذکر شده با مقادیر واقعی آن‌ها که از دستگاه رنگ‌سنجی هانتر^۶ به‌دست‌آمد، مطابق با روش ذکر شده به‌وسیله Leon et al. (2006) از دوازده چارت رنگی که همه طیف‌های رنگی را پوشش می‌دادند، استفاده گردید و با عکس‌برداری از آن‌ها در همان شرایط نورپردازی انجام‌گرفته در زمان خشک‌کردن نمونه‌ها، مقادیر ارزش‌های رنگی با روش مذکور و از طریق دستگاه رنگ‌سنجی خارج شد و براساس میزان همبستگی به‌دست آمده بین داده‌های هر دو روش، مقادیر ارزش‌های رنگی برای کل تصاویر مطابق با دستگاه رنگ‌سنجی کالیبره گردید.

مدل سازی با شبکه عصبی

به‌منظور مدل‌کردن تغییرات محتوای رطوبتی نمونه‌ها در حین خشک‌شدن براساس تغییرات ارزش رنگی آن‌ها، از نرم‌افزار MATLAB نسخه 7.7 (R2007a) به‌منظور طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده گردید. با معرفی شبکه پرسپترون به‌وسیله Frank Rosenblatt در سال ۱۹۵۸، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در کاربردهای عملی و در زمینه‌های گوناگون آغاز گردید (Rosenblatt, 1962). در این پژوهش نیز از شبکه پرسپترون چندلایه پیشخور (MLP) استفاده گردید. الگوریتم یادگیری در شبکه عصبی مصنوعی روشی است برای تنظیم بین ضرایب وزن و بایاس در شبکه که تابع خطا را کمینه می‌کند. به‌منظور سرعت‌بخشیدن در حیطه آموزش شبکه و

1. linear
2. Quadratic
3. Direct
4. Gamma
5. Neural Networks
6. Hunter Lab Colorimeter

7. Levenberg- Marquardt Algorithm

(MAE)، و میانگین خطای بایاس (MBE) که مطابق با روابط ۲ تا ۵ است، استفاده گردید:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (\text{رابطه ۴})$$

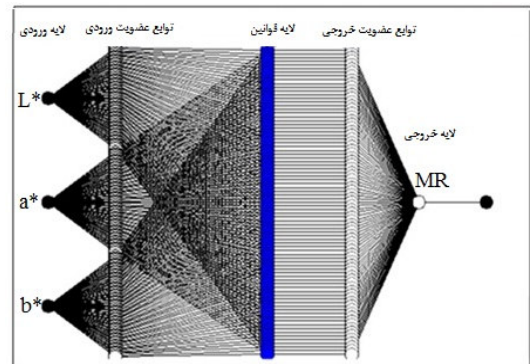
$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این روابط N : تعداد نمونه، \bar{P} : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل، P_i : مقادیر پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل، \bar{O} : میانگین مقادیر واقعی، و O_i : مقادیر واقعی است. هرچه مقدار ضریب تعیین به یک نزدیک‌تر، و مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق کوچک‌تر و میانگین خطای بایاس به صفر نزدیک‌تر شود، نتایج مدل طراحی شده بهتر است.

نتایج و بحث

از آنجا که عوامل متغیر در دستگاه خشک‌کن ابرای اعمال تغییرات در شرایط خشک‌کردن، دما و سرعت جریان هوای خشک‌شدن بودند، پس از انجام آزمایش‌های اولیه مبنی بر تعیین محدوده تغییرات این دو متغیر و با مراجعه به تحقیقات مشابه در حوزه خشک‌کردن سبزیجات و محصولات کشاورزی به‌روش لایه‌نازک (Nassiri, 2012)، سرانجام بازه ۵۰ تا ۹۰ درجه سلسیوس برای دما و ۰/۵ تا ۱/۵ متربرثانیه برای سرعت جریان هوای خشک‌شدن تعیین گردید. مدت زمان رسیدن نمونه‌ها به نسبت رطوبتی ۰/۵ (نیم‌خشک‌شدن) و ۰/۱ (خشک‌شدن کامل) برای تیمارهای گوناگون در شکل ۳ نشان داده شده است و اثر تغییرات دما و سرعت جریان هوا بر محتوای رطوبتی در طول مدت زمان خشک‌شدن محصول در شکل ۴ مشهود است. فرایند خشک‌کردن تا رسیدن رطوبت نمونه‌ها به‌مقدار تعادلی ادامه یافت. رطوبت اولیه نمونه‌ها در ابتدای انجام آزمایش، بین ۷۰ تا ۷۵ درصد (بر پایه تر) بود و در پایان آزمایش به هفت تا ۱۰ درصد رسیدند. در تحقیق انجام‌شده به‌وسیله Temple and Bostel (2001) که فرایند خشک‌شدن چای برای تولید چای سیاه را بررسی کردند نیز، مقادیر رطوبت اولیه با تحقیق انجام‌شده برابر بود، ولی رطوبت

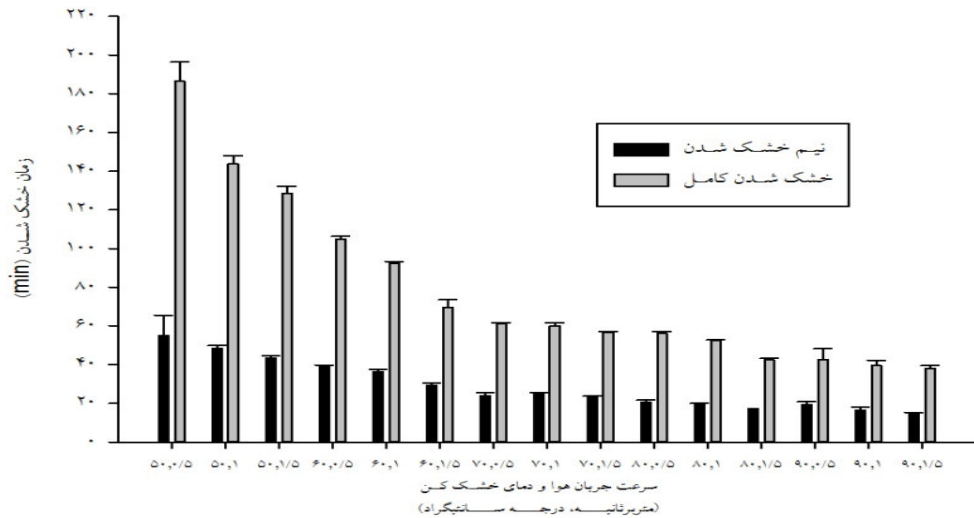
پارامترهای توابع عضویت به‌وسیله شبکه عصبی تعیین می‌شود (Teshnehlab et al., 1999). استفاده از این سامانه معمولاً به‌صورت ساختار شبکه‌ای پیشخور و دارای ۵ لایه است (Amiryousefi et al., 2011) (شکل ۲).



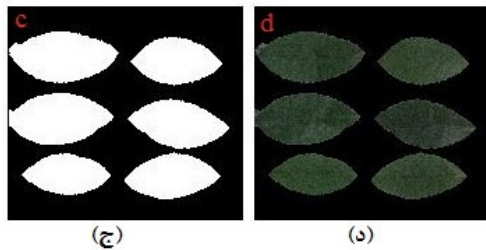
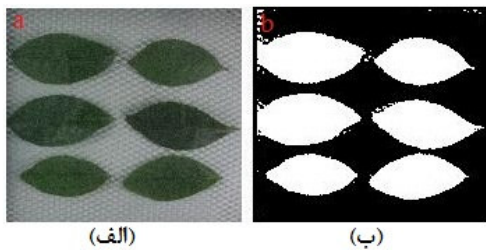
شکل ۲. ساختار فازی عصبی طراحی شده براساس سامانه فازی سوگنو

سامانه استنتاج عصبی فازی تطبیقی استفاده‌شده در این تحقیق، سامانه فازی سوگنو^۱ است و از خصوصیات اصلی آن داشتن خروجی یگانه است. لذا متناسب با تحقیق حاضرست که تغییرات محتوای رطوبتی فقط به‌عنوان خروجی سامانه مدنظر قرار گیرد. برای طراحی سامانه استنتاج تطبیقی عصبی فازی به‌منظور مدل‌کردن تغییرات محتوای رطوبتی نمونه‌ها در حین خشک‌شدن براساس تغییرات ارزش رنگی آن‌ها نیز از نرم‌افزار MATLAB نسخه 7.7 (R2007a) استفاده گردید که برای استفاده از سامانه سوگنو، خروجی به‌صورت تابعی ثابت یا درجه اول براساس پارامترهای ورودی تعیین می‌گردد. توابع عضویت استفاده‌شده از نوع مثلثی است و قواعد استفاده‌شده برای آموزش در این سامانه، الگوریتمی ترکیبی از پس‌انتشار خطا و کاهش مربعات خطا بود که به‌روش هیبریدی نیز مشهور است. اصلاح پارامترهای توابع عضویت خروجی که خطی یا ثابت هستند، با روش کاهش مربعات خطا صورت می‌پذیرد و تعیین پارامترهای توابع عضویت مربوط به ورودی‌ها به‌علت غیرخطی بودن توابع، با روش پس‌انتشار خطا انجام می‌گیرد. در بخش آموزش سامانه عصبی، ۸۰ درصد داده‌های مربوط به شرایط خشک‌کردن و ارزش‌های رنگی تصاویر، به یادگیری اختصاص داده شد و ۲۰ درصد به‌عنوان ارزیابی سامانه آموزش‌دیده به‌کار برده شد.

به‌منظور مقایسه و ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی طراحی‌گردیده، از چهار شاخص آماری: ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق

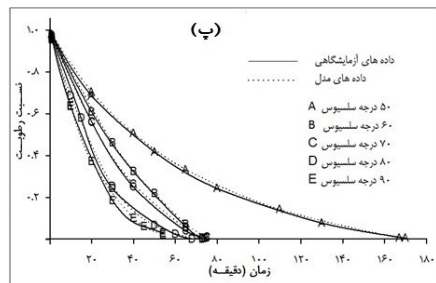
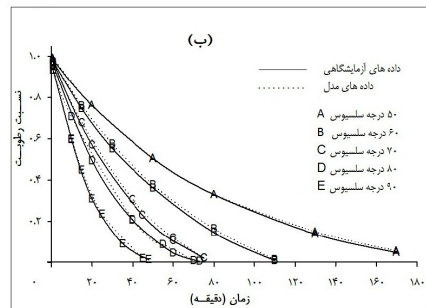
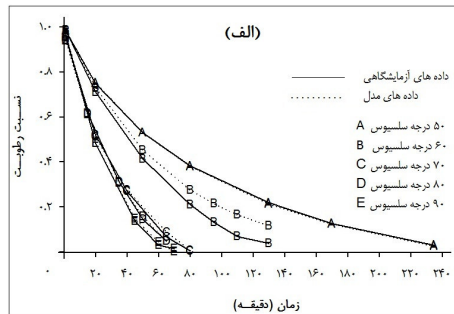


شکل ۳. منحنی تغییرات مدت زمان خشک شدن در سرعت و جریان هوای گوناگون خشک کردن



شکل ۵. مراحل پردازش روی تصاویر نمونه‌ها: (الف) تصویر اولیه. (ب) آستانه‌گذاری به روش اتسوز. (ج) استفاده از تکنیک اتساع و سایش. (د) قرارگرفتن نقاب طراحی شده روی تصویر اصلی

نهایی کمتر از مقدار به دست آمده در این تحقیق (دوونیم تا سه درصد بر مبنای تر) است که علت این است که فرایند خشک کردن در تولید چای سبز در مدت زمان طولانی تر و دمای کمتر نسبت به چای سیاه انجام می‌گیرد. پردازش تصاویر روی نزدیک به ۱۳۵۰ عکس گرفته شده از نمونه‌ها در شرایط گوناگون خشک شدن و همچنین چارت‌های رنگی صورت پذیرفت (شکل ۵). روابط رگرسیونی بین مقادیر پارامترهای رنگی به دست آمده از دستگاه رنگ‌سنجی و عکس‌های دیجیتالی گرفته شده از چارت‌های رنگی با نرم‌افزار (MATLAB 7.10.0 (R2010a)) در شکل ۶ ارائه شده است.



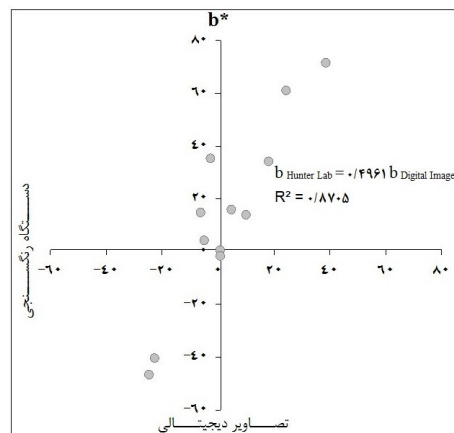
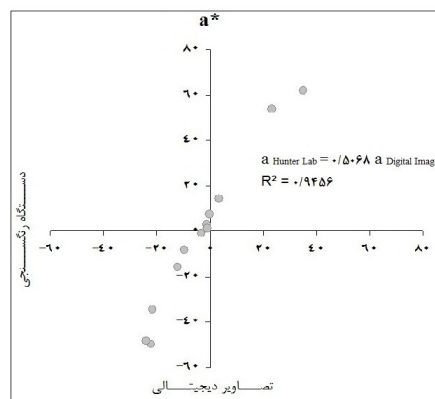
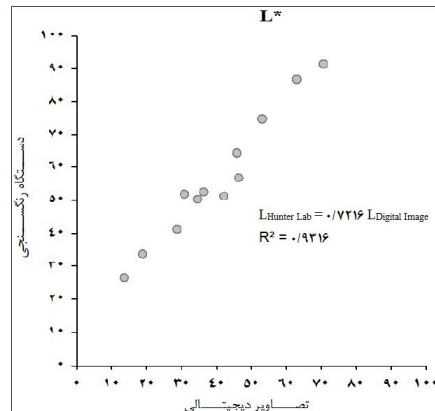
شکل ۴. مقایسه منحنی خشک شدن بر اساس داده‌های آزمایشگاهی با مدل نیوتونی برتر (میدیلی و همکاران) در سرعت (الف) ۰/۵، (ب) یک و (پ) ۱/۵ متر بر ثانیه در دماهای آزمایش شده

پنهان برای لایه اول و دوم به ترتیب: ۱۲ و ۱۵ نرون به دست آمد. در سامانه استنتاج عصبی فازی طراحی شده نیز، تعداد ۵ تابع عضویت به ازای هر ورودی به عنوان بهترین نتیجه به دست آمد. باتوجه به اینکه از سه ورودی در این سامانه استفاده شده است، با در نظر گرفتن سه متغیر به ازای هر تابع عضویت (از نوع مثلثی) در مجموع ۴۵ پارامتر غیرخطی تعریف گردید. قوانین فازی، که در این سامانه برابر با ۱۲۵ قانون و با داشتن چهار پارامتر در روابط فازی تعریف شده به ازای هر قانون است، در مجموع ۵۰۰ پارامتر خطی تعیین گردید. نتایج حاصل از محاسبه مقادیر پارامترهای آماری در جدول ۱ آمده است و نزدیکی مقادیر خروجی سامانه طراحی شده برتر با مقادیر به دست آمده از آزمایش برای محتوای رطوبتی در یکی از آزمایش ها، در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱. نتایج حاصل از مقایسه مدل های طراحی شده

نام شبکه	MBE	MAE	RMSE	R ²
با یک لایه پنهان ANN	-۰/۰۰۳۷۱	۰/۰۷۷۹۶	۰/۱۰۰۱۰۳	۰/۹۳۷۵۰۴
با دو لایه پنهان ANN	-۰/۰۰۲۴۷	۰/۰۶۸۰۷۸	۰/۰۹۱۸۴۹	۰/۹۴۷۷۵۱
ANFIS	-۰/۰۰۳۵۷	۰/۰۷۷۴۰۵	۰/۱۱۷۸۵۶	۰/۹۱۴۱

با محاسبه شاخص های آماری برای مقادیر پیش بینی شده با سامانه های هوش مصنوعی طراحی شده، شبکه عصبی مصنوعی با دو لایه پنهان با دقت بهتری نسبت به سایر سامانه ها، در پیش بینی سینتیک خشک شدن بر اساس پارامترهای رنگی نمونه ها به دست آمد. در تحقیق صورت گرفته بر سینتیک خشک شدن هویج که مقایسه میزان دقت پیش گویی بین شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک بود نیز، بهترین نتایج را شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده به دست آورد (Erenturk & Erenturk, 2007). در بررسی سینتیک خشک شدن کاساوا کرکرس که بر اساس مدل های مکانیکی و سامانه های هوش مصنوعی شبکه عصبی و استنتاج فازی عصبی تطبیقی صورت پذیرفت، باردیگر شبکه عصبی مصنوعی با بهترین دقت شناخته شد (Lertworasirikul, 2008). از آنجاکه در مطالب گذشته، به این موضوع اشاره گردید که سامانه عصبی فازی نسبت به شبکه های عصبی مصنوعی دقت بالاتر و قدرت تخمین بهتری دارند، در این تحقیق با اینکه نتایج به دست آمده از تخمین خروجی سامانه (محتوای رطوبتی) بسیار به هم نزدیک بود، اما سامانه عصبی فازی به مقدار اندکی نسبت به شبکه های عصبی مصنوعی ضعیف تر عمل کرده است و علت را باید در روش فازی استفاده شده برای سامانه عصبی فازی جستجو کرد. در سامانه فازی سوگنوی استفاده شده، برخلاف روش دیگر فازی، یعنی ممدانی (که دارای خروجی شامل مجموعه ها و



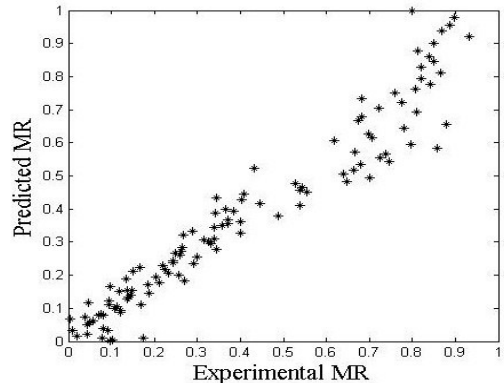
شکل ۶. برازش مقادیر ارزش های رنگی استخراجی از دستگاه رنگسنجی و روش تبدیل RGB به *L, *a و *b ارائه شده به وسیله Leon et al

پس از کالیبره کردن داده های ارزش رنگی تصاویر (روشنایی *L، قرمزی *a، و زردی *b) با مدل های خطی به دست آمده (شکل ۶)، از آن ها به عنوان ورودی در شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. در پایان بهترین نتایج برای تعداد نرون در لایه های پنهان در شبکه های عصبی مصنوعی طراحی شده با یک لایه پنهان برابر ۲۷ نرون و همچنین برای مدل سازی با دو لایه

نتیجه گیری

در این پژوهش امکان سنجی استفاده از پردازش تصاویر برگرفته از نمونه‌های برگ چای سبز در حین خشک شدن در پیش‌بینی روند تغییرات محتوای رطوبتی آن‌ها بررسی گردید. به‌منظور کاهش هزینه‌های آزمایش برای استخراج ارزش‌های رنگی تصاویر، از روش کالیبره کردن داده‌های تصاویر دیجیتال با دستگاه رنگ‌سنجی استفاده گردید. شبکه‌های هوش مصنوعی و استنتاج عصبی فازی تطبیقی در این تحقیق به‌کار برده شد و همچنین میزان دقت هر یک در تعیین بهترین خروجی سامانه از نظر نزدیکی به مقدار واقعی محتوای رطوبتی اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها، به‌دست آمد. سرانجام، شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده با دو لایه پنهان شامل ۱۲ نرون در لایه اول و ۱۵ نرون در لایه دوم، با ضریب تعیین ۰/۹۴۸ و مجذور میانگین مربعات خطای ۰/۰۹۲، بهترین نتایج را در پیش‌بینی روند تغییرات محتوای رطوبتی برگ‌های چای سبز در حین خشک شدن با استفاده از داده‌های پارامترهای رنگی به دست آورد.

روابط فازی است)، خروجی طراحی شده در محیط برنامه‌نویسی MATLAB به‌صورت تابع ریاضی درجه صفر و با حداکثر درجه اول است و نسبت به شبکه‌های عصبی که آموزش و نحوه ارتباط دادن داده‌های ورودی و خروجی براساس روابط پیشرفته ریاضی است، ضعیف‌تر عمل می‌کند.



شکل ۷. مقایسه خروجی شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده با دو لایه پنهان با مقادیر به‌دست آمده در یکی از آزمایش‌ها

نمادها

a*	ارزش رنگی سبزی به قرمزی	MR	نسبت رطوبت
b*	ارزش رنگی آبی به زردی	N	تعداد مشاهدات
L*	ارزش رنگی روشنایی و تیرگی	\bar{O}	میانگین مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده
M	رطوبت در لحظه جاری d.b.	O_i	مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده
M_0	رطوبت اولیه kg water/kg dry matter	\bar{P}	میانگین مقادیر تخمین به‌وسیله هوش مصنوعی
M_e	رطوبت تعادلی kg water/kg dry matter	P_i	مقادیر تخمین به‌وسیله هوش مصنوعی
MAE	میانگین خطای مطلق	R^2	ضریب تعیین
MBE	میانگین خطای بایاس	RMSE	ریشه میانگین مربعات خطای داده‌ها

REFERENCES

- Amiryousefi, M.R., Mohebbi, M., Khodaiyan, F., and Asadi, S. (2011). An empowered a using self-organizing map clustering to predict mass transfer kinetics in deep-fat frying of ostrich meat plates. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 76, 89–95.
- AOAC. (1990). Official method of analysis. Association of Official Analytical Chemists (No. 934.06). Arlington, VA.
- Cakmak, G and Yildiz, C. (2011). The prediction of seedy grape drying rate using a neural network method. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 132–138.
- Castellano, G., and Faneli, A.M., (2001). A self-organizing neural network inference network. University dehli Studi di Bari, Dipartimento di Informatica, Via E. Orabona, 4-70126 Bari-ITALY.
- Erenturk, S., and Erenturk, K., (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering*, 78, 905-912.
- Hosseinpour, S., Rafiee, S., and Mohtasebi, S.S., (2011). Application of Image Processing to Analyze Shrinkage and Shape Changes of Shrimp Batch during Drying. *Journal of Drying Technology*, 29(12), 1416-1438.
- Jayas, D.S., Cenkowski, S., Pabis, S., and Muir, W.E., (1991). Review of thin layer drying and wetting equations. *Journal of Drying Technology*, 9(3), 551-588.
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., and Leon, J. (2006). Color measurement in L*a*b units from RGB digital image. *Food Research International*, 39(10), 1084–1091.
- Lertworasirikul, S. (2008). Drying kinetics of semi-finished cassava crackers: A comparative study. *Food Science and Technology*, 41, 1360–1371.
- Mohebbi, M. Akbarzadeh Totonchi, M.R. Shahidi, F., and Pourshahabi, M.R. (2007). Investigate the possibility of machine vision and artificial neural

- networks in predicting moisture content of dried shrimp. In: Proceeding of *the 4th Conference on machine vision and image processing*, 13-14 feb, Ferdowsi university of mashhad, Iran.
- Moj news agency (Social groups). (2010). Review the status of the country's tea industry. info@mojnews.com. (In farsi)
- Najafi, A., Shokrani, R., shahedi, M., and Nori, L. (2006). Evaluate possibility of green tea beverage produced from the sheet of green tea. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 4(2), 1-11.
- Nassiri, A. (2012). Effect of drying temperature and air velocity on the quantity of essential oil extracted from Garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.) and Peppermint (*Mentha piperita* L.). M.Sc. dissertation. University of Tehran. (In Farsi).
- Rosenblatt, F. (1962). Principles of neurodynamics: perceptrons and the theory of brain mechanisms. 616 pages. Spartan Books.
- Temple, S.J and Boxtel, A.J.B. (2001). Automatic Endpoint Determination for Batch Tea Dryer. *Journal of Agriculture Engineering*, 58, 51-56.
- Teshnehlab, M., Saffarpour, N., and Afyouni, D. (1999). Fuzzy systems and fuzzy control. Compilation by Wang, L. K. N. Toosi University of Technology Publications. Tehran. (In farsi)