

سینتیک خشک کردن چای با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

حسین قنادزاده^۱، بهروز عباسی^۲، ملیحه قویدل^{۳*}، نیما امامی^۴

۱- استاد گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه گیلان

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه گیلان

۳- دانشجوی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه علوم و فنون بابل

۴- دانشجوی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۸)

چکیده

خشک کردن برگ چای برای نگهداری طولانی مدت از ملزومات می باشد. برگ سبز چای در محدوده دماهای ۳۵ تا ۵۵ درجه سلسیوس و سرعت های ۷۰/۵ و ۷۰/۷ متر بر ثانیه هوای ورودی و بازه ی زمانی ۰ تا ۱۴۰ دقیقه در یک فرآیند خشک کن آزمایشگاهی خشک شد. بدین منظور ۴ نمونه برای هر دما در نظر گرفته شد و تغییرات وزن نمونه ها به طور پیوسته در هر آزمایش ثبت شد. فرآیند خشک کردن چای به روش شبکه های عصبی مصنوعی با چهار بردار ورودی (زمان دما، سرعت و رطوبت) و یک بردار خروجی (نسبت رطوبت) مدلسازی شده است و نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی با داده های تجربی مقایسه شدند و بهترین نتیجه توسط شبکه عصبی پس انتشارپ یشخور با الگوریتم آموزش لونیبرگ-مارکواردت و تابع فعالسازی تانژانت سیگموئید به دست آمد که نشان دهنده دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی است. خطای درصد نسبی میانگین و ضریب تعیین و خطای مجذور مربعات میانگین به ترتیب ۱/۳ و ۰/۹۹۹۸ و ۰/۰۰۰۰۸ می باشد.

کلید واژگان: خشک کردن برگ چای، شبکه عصبی پس انتشار، الگوریتم لونیبرگ-مارکواردت

* مسئول مکاتبات: malihe.ghavidel@yahoo.com

۱- مقدمه

چای که به زبان انگلیسی tea و به زبان چینی chai.tay نامیده می شود به صورت درخت یادرختچه است و مخصوص مناطق استوایی و اطراف آن است. چای در چین از زمانهای بسیار دور مورد استفاده قرار می گرفته و شهرتش متوجه این کشور می باشد. چای در چین قبل از تاریخ مسیح شناخته شده است و برای اولین بار توسط کینگ لونگ در قرن ۴، خواص پزشکی این گیاه کشف و بررسی شد. چای بهترین نوشیدنی پس از آب است. امروزه چای دم کرده یکی از پر طرفدارترین نوشیدنیهای غیر الکلی در جهان است و تقریباً مصرف آن هم ردیف با مصرف قهوه (کافه) است. هر یک فنجان چای حدود ۴ کیلو کالری (۱۷۰ گرم) انرژی دارد. چای دم کرده نه تنها دارای طعم و بوی خاصی است، بلکه اثرات فیزیولوژیکی و عملکردی فراوانی دارد با توجه به ترکیباتی که درون آن وجود دارد مانند پلی فنولها، آمینواسیدها ویتامینها، کربوهیدرات ها، کافئین و تیائین ها [۱].

چای ۱۱۰ سال پیش توسط کاشف السلطنه از هند به ایران آورده شد.

خشک کردن قدیمی ترین روش برای جلوگیری از فساد غذاست. هدف اصلی از خشک کردن مواد این است که بتوان آنها را برای مدت طولانی تری با کیفیت بالا نگهداری کرد و یکی از روش های قدیمی خشک کردن خشک کردن در فضای باز به کمک خورشید بود که برای خشک کردن سبزیجات، میوه ها و سایر محصولات کشاورزی استفاده می شد اما این روش همواره برای تولید در مقیاس بزرگ مناسب نبود و مشکلات بسیاری وجود داشت که مهم ترین آنها نداشتن توانایی کنترل کردن کامل عملیات خشک کردن، طولانی بودن زمان خشک کردن، آب و هوای نامعلوم، هجوم حشرات و مخلوط شدن با گرد و غبار و سایر مواد خارجی بود. اما امروزه فرآیند خشک کردن صنعتی این مشکلات را برطرف کرده است. در طی عمل خشک کردن مواد، که فرآیندی پیچیده است، انتقال حرارت و جرم به صورت همزمان در داخل مواد جامد و در لایه ی مرزی عامل خشک انجام می شود. به طور کلی شرایط خارجی و ساختار داخلی موادی که خشک می شوند، اثر مهمی در عمل خشک کردن دارند.

سینتیک خشک شدن درباره ی تغییرات زمانی مقادیر متوسط رطوبت و درجه حرارت ماده بحث می کند. سینتیک خشک شدن، مقدار رطوبت تبخیر شده، زمان خشک شدن، انرژی مصرفی و سایر مشخصات را تا حد امکان فقط به کمک خواص فیزیکی- شیمیایی مواد میتوان تعیین کرد. شدت خشک شدن که منعکس کننده تغییرات مقدار رطوبت ماده نسبت به زمان است، شدیداً تحت تأثیر پارامترهایی از فرآیند خشک شدن مانند درجه حرارت، رطوبت و سرعت هوا می باشد مقدار رطوبت مواد در فرآیند خشک کردن و به خصوص رطوبت نهایی، یکی از پارامترهای بسیار مهم در فن آوری خشک کردن است. کم خشک شدن مواد ممکن است باعث تشکیل کپک، رشد باکتریها و کلوخه شدن ذرات شود و بیش از حد خشک کردن ممکن است باعث خراب شدن کیفیت مواد و مصرف زیاد انرژی گردد[۲].

آگاهی از رفتار خشک کردن، در طراحی، شبیه سازی و بهینه سازی فرآیند خشک کردن اهمیت دارند. مراحل تولید چای در کارخانه به چهار قسمت تقسیم می شود. پلاس^۱، مالش^۲ تخمیر^۳، خشک^۴.

برگ تازه چای که ۷۵ الی ۸۰ درصد آب دارد در مرحله پلاس در معرض جریان باد سرد و گرم قرار می گیرد تا رطوبت آن کاهش یابد و هم چنین برگ به صورت مچاله شده یا پلاسیده درمی آید. به این دلیل چای را ابتدا باد سرد می دهند چون احتمال دارد اگر ابتدا چای در معرض باد گرم قرار گیرد دچار سوختگی شود. مهم ترین تغییری که در این مرحله رخ می دهد از دست دادن رطوبت برگ و پژمرده شدن آن می باشد که پلاس فیزیکی نامیده می شود. تغییرات شیمیایی که در برگ رخ می دهد به حداقل ۶ ساعت زمان نیاز دارد.

در مرحله مالش، در دستگاه مالش، چای خرد میشود. عمل اصلی این مرحله بیرون آوردن شیره سلولی و پوشیده شدن سطح برگ مالش خورده از آن می باشد. این شیره روی سطح برگ مالش خورده خشک شده و سبب مشکی شدن چای می گردد. هدف از عمل مالش تخریب دیواره سلولی برگ و مخلوط کردن اجزاء شیمیایی درون برگ با آنزیم هاست.

تخمیر چای عبارت است از یک فرآیند آنزیمی که در خلال آن مواد شیمیائی متشکله برگ سبز چای، پس از متلاشی شدن،

1. withering
2. rolling
3. fermentation
4. dry

در سه سرعت ۰/۳، ۰/۷، ۱/۱ متربر ثانیه و طول نمونه در سه اندازه کمتر از ۳ میلی متر، بین ۳ تا ۶ میلی مترو بیش تر از ۶ میلی متر انجام شد که در نتیجه شبکه بهینه دو لایه با یک لایه پنهان و ۳۰ نرون حاصل شد [۵].

۲- مواد و روش ها

شاخصاره (یک غنچه و دو برگ) که از درختچه چای چیده می شود در فصل ها و ماه های مختلف سال دارای رطوبت متفاوتی است. برگ های سبز چای از باغات چای واقع در شهرستان رودسر استان گیلان با عرض و طول جغرافیایی به ترتیب ۵۰/۲۶ و ۳۷/۱۲ برداشت و برگ هایی با شکل، اندازه و رنگ یکسان جهت همسانی نمونه ها انتخاب گردید. سپس داخل بسته های پلاستیکی در داخل یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا رطوبت در سطح همه برگها به صورت همگن شود. رطوبت متوسط نمونه ها ۲/۲ بر مبنای خشک بودند. پس از بیرون آوردن برگهای چای از یخچال و رسیدن دمای آنها به دمای محیط در دستگاه خشک کن پیشسازی که بدین منظور ساخته شد، قرار گرفتند. دستگاه خشک کن که نمای شماتیک و عکس آن در شکل (۱) آورده شده از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است. ۱- دمنده که

m

هوا را از محیط مکیده و با سرعت حداکثر ۳/۵ s⁻¹ به داخل یک گرم کننده الکتریکی هدایت می کند. ۲- گرم کننده الکتریکی که شامل المنت های حرارتی با قدرت ۳۰۰۰ وات می باشد و می تواند هوای گرم تادمای ۲۰۰ درجه سلسیوس تولید کند. ۳- دستگاه کنترلر دمای هوا، قلب اصلی این دستگاه میباشد و دمای هوای ورودی بستر را با دقت ۰/۱ درجه سلسیوس در مقدار دلخواه ثابت نگه می دارد. ۴- محفظه خشک کن که از شیشه ای استوانه ای شکل به قطر ۷/۸ سانتی متر ساخته شده و مواد برای خشک شدن در داخل این قسمت قرار داده می شوند و یک روزنه در وسط می باشد که برای کنترل دما در میان بستر میتواند مورد استفاده قرارگیرد. سرعت هوا نیز توسط دستگاه سرعت سنج با دقت ۰/۱ ± متر بر ثانیه اندازه گیری گردید.

نمونه ها در داخل دستگاه خشک کن قرار داده شدند بدین صورت که در هر آزمایش یک نمونه از ماده به نخی آویزان شد و وزن نخ و برگ به صورت مجزا یادداشت و داخل

اکسیده می شوند و برای این کار به اکسیژن احتیاج دارند. هدف از تخمیر، آن است که تغییرات لازم برای خوش طعم ساختن نوشابه چای فراهم شود. چای تخمیر نشده دارای یک طعم خام است که به آن طعم متالیک گویند.

هدف اصلی از مرحله خشک، متوقف ساختن تخمیر و کاهش مقدار رطوبت برگ حدوداً تا ۳ درصد است که این مقدار، سطح مناسبی برای ذخیره سازی چای می باشد. لذا درجه حرارتی که برگ تخمیر شده بایستی در معرض آن قرار گیرد باید در حدی باشد تا از فرآیند تخمیر جلوگیری به عمل آورد. در غیر این صورت تخمیر با سرعت بیش تری ادامه خواهد یافت که این حالت موجب ملایم شدن لیکور و نیز فقدان مواد قابل حل و روغن های معطر می گردد، عموماً به این حالت عنوان (آهسته جوشیدن)^۱ اطلاق می شود.

امروزه با توسعه سریع فناوری های پردازش رایانه ای و ایجاد نرم افزارها، از مزایای فناوری هوش مصنوعی مانند شبکه های عصبی برای حل مسائل مربوط به مدلسازی فرآیندها استفاده می شود. وارن مک کلاچ و والتر پیتر در اوایل دهه ۴۰ شبکه هایی را طراحی کردند که به طور کلی به عنوان اولین شبکه های عصبی شناخته می شوند. محققین بسیاری برای دستیابی به اهداف خود در زمینه خشک کردن از شبکه های عصبی استفاده کرده اند. اسلام و همکاران در سال (۲۰۰۳) پژوهشی در زمینه خشک کردن گوجه فرنگی توسط شبکه عصبی انجام دادند که تیمارها شامل سرعت هوا در محدوده ۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه و دمای هوای خشک کردن در محدوده ۴۰ تا ۵۵ درجه و رطوبت نسبی هوا در محدوده ۵ تا ۵۰ درصد و ضخامت ورقه های نمونه ۳ تا ۱۰ میلی متر بود [۳]. موقرنژاد و نیکزاد (۲۰۰۷)، فرآیند خشک کردن گوجه فرنگی را در خشک کن Tray dryer توسط شبکه ی عصبی مصنوعی با سه ورودی توان گرم کننده، سرعت جریان هوا، زمان خشک کردن و یک خروجی (نسبت رطوبت گوجه فرنگی خشک شده) مدلسازی نمودند [۴].

ارنتروک و همکاران در سال (۲۰۰۴)، تحقیقی در زمینه ی مقایسه ی تخمین خشک کردن دینامیکی گیاه آکناسه آ، آنگوتیسفولیا (یک گیاه دارویی با کاربرد پزشکی فراوان) به وسیله ی تحلیل رگرسیونی و شبکه ی عصبی انجام دادند این آزمایش در سه سطح دمایی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه سانتی گراد و

و نسبت رطوبت از معادله (۲) به دست می آید.

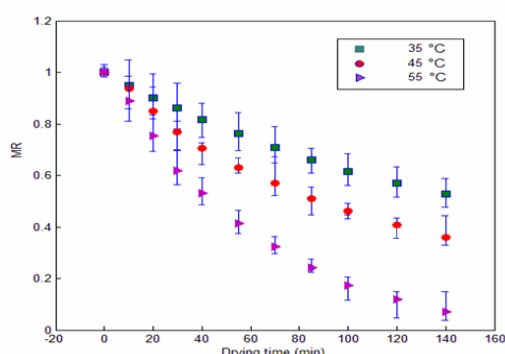
$$MR = \frac{X - X_e}{X_o - X_e}$$

چون میزان X_e (رطوبت تعادلی) در مقایسه با X_o و X بسیار کوچک است از آن صرف نظر می کنیم [۶ و ۴] و معادله به شکل زیر خواهد شد:

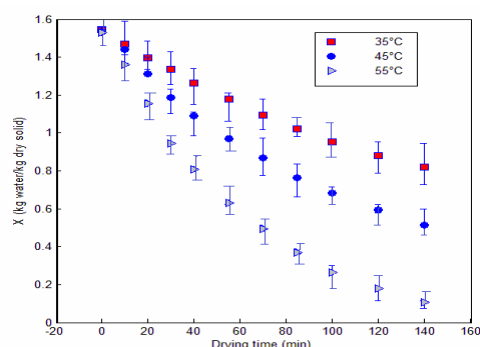
$$MR = \frac{X}{X_o}$$

۲-۱- تأثیر متغیرها بر خشک شدن

اثر متغیرهایی مثل دما و سرعت هوا را بر روی خشک شدن بررسی می کنیم. همانگونه که از نمودار ۱ و ۲ پیداست X (رطوبت) و MR (نسبت رطوبت) با گذشت زمان کاهش می یابد و هر چه دما بیش تر باشد میزان کاهش نیز بیشتر خواهد بود. تغییرات رطوبت در محدوده ۰/۰۵ تا ۱/۸۲ است. با توجه به معادله ی (۲) چون با گذشت زمان از ۰ تا ۱۴۰ دقیقه، X کاهش می یابد به تبع آن میزان MR (نسبت رطوبت) نیز کاهش پیدا می کند.



نمودار ۱ تغییرات رطوبت (gr/gr) بر پایه خشک با زمان در سرعت ۰/۷ متر بر ثانیه

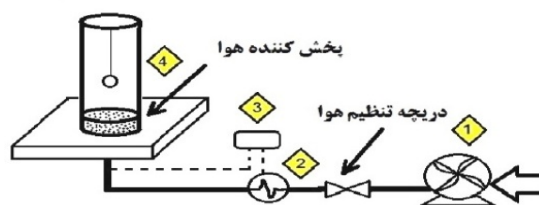


نمودار ۲ تغییرات نسبت رطوبت (بی بعد) با زمان در سرعت ۰/۷ متر بر ثانیه

دستگاه خشک کن به صورت آزاد رها شد. وزن و دمای سطح نمونه ها در بازه های زمانی متفاوت به ترتیب توسط ترازوی دیجیتال با دقت ± 0.001 گرم و دما سنج اشعه ای با دقت $0.1 \pm$ درجه سلسیوس اندازه گیری شد و در انتهای بازه زمانی خشک کردن، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت داخل آون با دمای $80 \pm$ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا مقدار جرم خشک هر نمونه که برای محاسبه رطوبت محصول مورد نیاز می باشد، تعیین شود.



(ب)



شکل ۱ عکس (الف) و نمای شماتیک (ب) خشک کن پیشنهادی ساخته شده جهت انجام آزمایشات (۱) دمنده ۲- گرم کننده ۳- کنترلر دما ۴- محفظه خشک کن

خشک کردن برگ های سبز چای در سه دمای هوای ورودی ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سلسیوس و در دو سرعت ۰/۵ و ۰/۷ متر بر ثانیه و در بازه ی زمانی ۰ تا ۱۴۰ دقیقه خشک شدند. دلیل عدم استفاده از سرعت های بالاتر برای برگ های چای این بود که چون وزن برگ ها نسبتاً خیلی کم بود سرعت بیشتر از ۰/۷ متر بر ثانیه باعث سیال شدن آن می شد. در هر یک از شرایط، آزمایش بر روی حداقل چهار نمونه انجام گردید و میانگین داده های این چهار نمونه به عنوان داده آزمایشگاهی آن شرایط در نظر گرفته شد وزن نمونه ها هر ۱۰ دقیقه یکبار توسط ترازوی نصب شده در خشک کن اندازه گیری می شود و پس از آن هر ۱۵ دقیقه یکبار تا برگ چای خشک شود. میزان رطوبت از طریق معادله (۱) محاسبه می شود:

$$X = \frac{(M_t - M_d)}{M_d}$$

دست آوردن رطوبت خروجی دارای دقت بالایی نیستند به همین دلیل از شبکه های عصبی برای یافتن رطوبت خروجی در فرآیند خشک کردن استفاده می شود [۴،۱۵].

۳- شبکه عصبی مصنوعی^۱ (ANN)

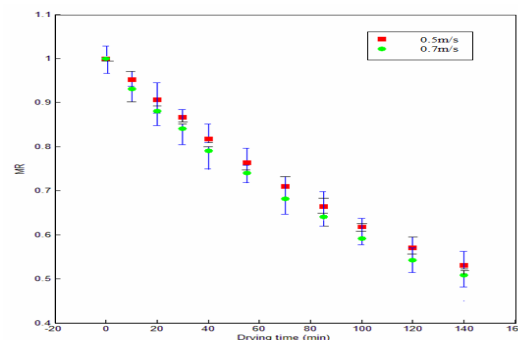
یک سیستم پردازش اطلاعات است که دارای ویژگی های مشترکی با شبکه های عصبی طبیعی است. پیش بینی با یک شبکه عصبی آموزش دیده به طور معمول سریعتر از عملکرد برنامه های مدلسازی متداول است، به علاوه امکان کاهش یا افزایش متغیرهای ورودی و خروجی در صورت نیاز وجود دارد و این شبکه قابلیت باز آموزی را دارد. شبکه های عصبی مصنوعی تعمیم یافته مدل های ریاضی تشخیص انسان بر اساس زیست شناسی عصبی است و بر پایه زیر استوار است:

۱. پردازش اطلاعات در اجزای ساده ای با تعداد فراوان به نام نرون^۲ صورت می گیرد. یک نرون می تواند در هر لحظه تنها یک سیگنال بفرستد، اگرچه آن سیگنال را می تواند به چندین نرون دیگر بفرستد.

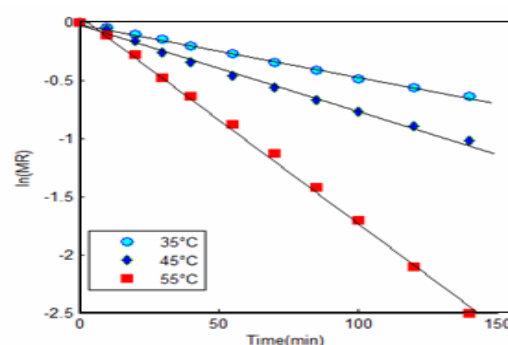
۲. سیگنال ها در بین نرون های شبکه از طریق پیوندها یا اتصالات^۳ آنها منتقل می شوند.

۳. هر پیوند، وزن^۴ مربوط به خود را دارد که در شبکه های عصبی رایج در سیگنال های انتقال یافته از آن ضرب میشود. ۴. عملکرد اساسی هر نرون مصنوعی شامل جمع زدن سیگنال های ورودی وزن دار آن و اعمال تابع خروجی، یا تابع فعالسازی^۵ است که معمولاً غیرخطی هستند.

تابع سیگموئید (منحنی هایی به شکل S) توابع فعال سازی سودمند و پر کاربردی هستند که متداول ترین آنها تابع لجستیک و تابع تانژانت هایپربولیک هستند. روشی برای تعیین وزن های روی پیوندهای شبکه وجود دارد که آن را الگوریتم آموزش یا یادگیری می نامند. پرکاربردترین الگوریتم آموزش، الگوریتم لونیگ-مارکواردت است. برای آموزش شبکه ی عصبی پس انتشار معمولاً دوره های زیادی لازم است [۱۴].



نمودار ۳ تغییرات نسبت رطوبت (بی بعد) با زمان در سرعت های متفاوت و در دمای ثابت ۳۵ درجه



نمودار ۴ تغییرات $\ln(MR)$ (بدون بعد) با زمان در سرعت ۰/۷ متر بر ثانیه

همانطور که از نمودار ۳ مشخص است تغییر سرعت نسبت به دما تأثیر چندانی بر میزان X و MR ندارد و هرچه سرعت بیش تر شود میزان MR بیشتر کاهش می یابد و به صفر نزدیک می شود. با استفاده از معادله ی هندرسون و پیبیس (معادله ۳ در جدول ۱) [۴] و قرار دادن زمان و MR به دست آمده از داده های تجربی در این معادله می توان میزان ضریب نفوذ را محاسبه نمود.

با رسم نمودار $\ln(MR)$ بر حسب زمان با استفاده از داده های تجربی می توان ضریب نفوذ را به دست آورد. طبق جدول ۲ میزان ضریب نفوذ با افزایش دما افزایش می یابد.

مدلسازی با استفاده از معادلات ریاضی گوناگون برای به

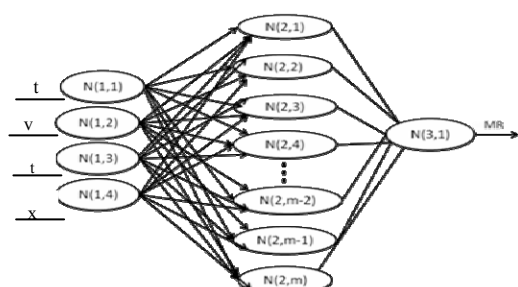
1. Artificial Neural Network
2. Neurons
3. Connections
4. weight
5. Activation Function

جدول ۱ برخی از معادلات ریاضی

شماره	معادله	نام معادله	منابع
۱	$MR = \exp(-k t)$	Newton	Mujumdar (۷)
۲	$MR = \exp(-k t n)$	Page	Diamante and Munro (۸)
۳	$MR = a \exp(-k t)$	Henderson and Pabis	Zhang and Litchfie (۹)
۴	$MR = a \exp(-k t) + c$	Logarithmic	Yagcioglu et al. (۱۰)
۵	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(k_1 t)$	Two-term	Henderson (۱۱)
۶	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and singh	Wang and Singh (۱۲)
۷	$MR = a \exp(-k t) + b \exp(-g t) + c \exp(-h t)$	Modified Henderson and Pabis	Karathanos (۱۳)

ورودی ارائه شده، تشکیل دهد. در مرحله ی پیش خور، سیگنال ها در یک جهت و از سمت واحدهای ورودی به سمت واحدهای خروجی (به سمت جلو) فرستاده می شوند و در مرحله پس انتشار یادگیری سیگنال ها در جهت عکس از لایه خروجی به لایه ورودی فرستاده می شوند.

شبکه عصبی مصنوعی با ۴ نرون ورودی (زمان، سرعت، دما، رطوبت) که با نماد $N(1,1)$ ، $N(1,2)$ ، $N(1,3)$ ، $N(1,4)$ نشان داده می شود (شکل ۲) و بعد از آن لایه پنهان (Z) و بعد لایه خروجی که یک نرون (نسبت رطوبت) دارد طراحی شده است.



شکل ۲ ساختار عمومی شبکه عصبی مورد استفاده

نرون های ورودی چهار سیگنال ورودی (چهار متغیر زمان، سرعت، دما و رطوبت) را به شکل بردار $X = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$ دریافت می کنند که برابر با $x_1 = t$ و $x_2 = v$ و $x_3 = t$ و $x_4 = x$ باشد. W_{i1} ، W_{i2} و W_{i3} و W_{i4} نشان داده می شوند و ورودی به لایه ی پنهان به صورت زیر خواهد بود:

$$Y_{in} = X_1 W_1 + X_2 W_2 + X_3 W_3$$
 در نهایت خروجی شبکه به صورت بردار $Y = [y]^T$ خواهد بود که همان نسبت رطوبت است [۱۵].

به منظور پردازش داده ها از شبکه ی پس انتشار پیشخور استفاده شده است. مبنای ریاضی الگوریتم پس انتشار، تکنیک

جدول ۲ مقادیر ضریب نفوذ در دماهای ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سلیسیوس

دما (°C)	ضریب نفوذ
۳۵	$4/964737999 e^{-7}$
۴۵	$8/688291498 e^{-7}$
۵۵	$2/234132099 e^{-6}$

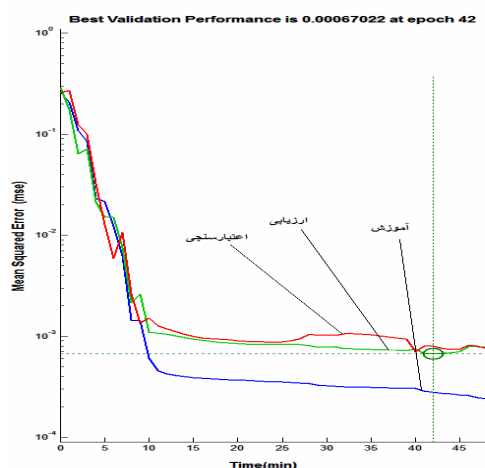
۳-۱- طراحی شبکه عصبی مصنوعی

با در نظر گرفتن چهار عامل زمان، سرعت، دما و رطوبت در همه ی آزمایش های خشک کردن، نسبت رطوبت برگ چای به دست می آید. شبکه ای که در این مقاله از آن استفاده شده، شبکه پس انتشار است، که با روش آموزش پس انتشار خطا یا قانون دلتای تعمیم یافته آموزش داده می شود و هدف آن به حداقل رساندن کل مربعات خطای خروجی محاسبه شده توسط شبکه و رسیدن به تعادل بین قابلیت یادگیری و تعمیم است. منظور از قابلیت یادگیری پاسخگویی به الگوهای ورودی به کار رفته برای آموزش و منظور از تعمیم، پاسخ دهی منطقی (خوب) به ورودی های شبیه اما نه دقیقاً یکسان با ورودی به کار رفته در آموزش است. آموزش یک شبکه با الگوریتم پس انتشار شامل سه مرحله پیش خور کردن الگوی آموزش ورودی محاسبه و پس انتشار کردن خطای مربوط و تنظیم وزن هاست. در مرحله پیش خور، هر واحد یک سیگنال ورودی را دریافت می کند و این سیگنال را به هر یک از واحدهای مخفی می فرستد سپس هر واحد مخفی تابع فعال سازی خود را محاسبه می کند و سیگنال خود را به همه واحدهای خروجی می فرستد و هر واحد خروجی، فعال سازی خور را فعال می کند تا پاسخ شبکه را برای الگوی

و N تعداد الگوهای آموزشی و N_{test} تعداد نرون های خروجی است و P خطای درصد نسبی میانگین و RMSE مجذور خطای مربعات میانگین است که هدف کمینه شدن MSE^1 و P^2 و $RMSE^3$ است [۴]. ساختار شبکه مورد استفاده در این مقاله در شکل ۲ نشان داده شده است.

۴- نتیجه گیری

روند یادگیری شبکه طراحی شده بهینه در نمودار ۵ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می کنید تا هشتمین چرخه آموزش، روند یادگیری چرخه های آموزش، ارزیابی و اعتبار سنجی بسیار بهم نزدیک است ولی پس از آن اندکی واگرایی مشاهده می شود و از آن به بعد مقدار MSE کاهش می یابد. بررسی ها نشان می دهد که شبکه عصبی پس انتشار پیشخور با تابع انتقال TANSIG با توپولوژی ۴-۱۱-۱ و ضریب تبیین ۰/۹۹۹۸ بهترین جواب را می دهد که نشان دهنده دقت بالای شبکه عصبی است.



نمودار ۵ نحوه یادگیری شبکه* FFBP با الگوریتم یادگیری

LM و تابع آستانه TANSIG با توپولوژی ۴-۱۱-۱

بهینه سازی کاهش گرادیان است. توابع فعال سازی مختلفی برای یافتن حالت بهینه شبکه ها استفاده می شود مانند تابع سیگموئید لگاریتمی، تابع خطی، تابع تانژانت. شبکه پس انتشار بر خلاف برخی از شبکه های دیگر، نمی تواند هر تابعی را به عنوان تابع فعال سازی بپذیرد این تابع باید پیوسته، مشتق پذیر و به صورت یکنوا نزولی باشد. متداول ترین توابع فعال سازی، تابع سیگموئید دو دویی است. تابع با دامنه (0,1) تابع لجستیک و با دامنه (-1,1) تابع هایپربولیک سیگموئید است.

$$F(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

الگوریتم به کار رفته برای بهنگام سازی وزن های شبکه، الگوریتم لونیگ-مارکوارت است که به شبکه اجازه می دهد تا با دقت بیش تری آموزش ببیند [۱۶].

برای آغاز کار با شبکه لازم است ابتدا داده ها را به دو دسته تقسیم کنیم. از میان ۲۶۴ داده، ۹۰٪ داده ها را برای آموزش به شبکه و ۱۰٪ داده ها را برای تست بر می گزینیم از ابزارهای نرم افزار MATLAB به نام (نسخه ۷/۱۴)

Neural Networks Toolbox استفاده شده است. برای

طراحی و ارزیابی شبکه های عصبی مصنوعی، از ضریب تبیین و معیار خطای مربعات میانگین و خطای درصد نسبی میانگین، مجذور خطای مربعات میانگین که معادله ی آن ها به صورت زیر است استفاده می شود:

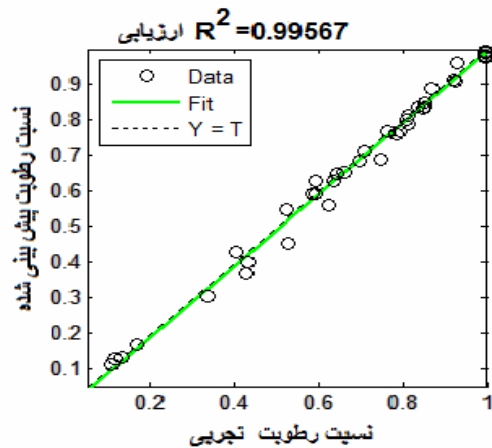
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N - N_p}$$

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{MR_{pre,i} - MR_{exp,i}}{MR_{exp,i}} \right|$$

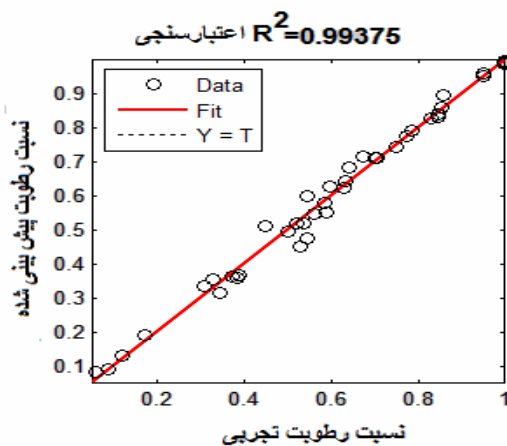
$$RMSE = \sqrt{\frac{(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}}$$

که MSE خطای مربعات میانگین و $MR_{pre,i}$ نسبت رطوبت پیش بینی شده توسط شبکه عصبی در نرون i ام و $MR_{exp,i}$ نسبت رطوبت تجربی (واقعی) در نرون i ام است

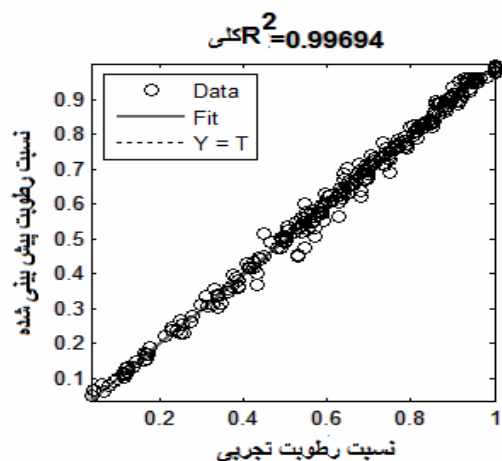
1. Mean Square Error
2. Mean Relative Percept Error
3. Root Mean Square Error
4. Topology



نمودار ۸ مقایسه نسبت رطوبت پیش بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله ارزیابی

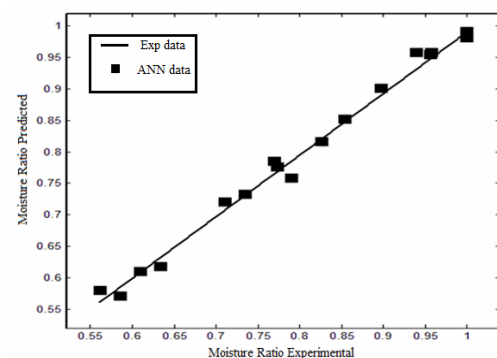


نمودار ۹ مقایسه نسبت رطوبت پیش بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله اعتبارسنجی

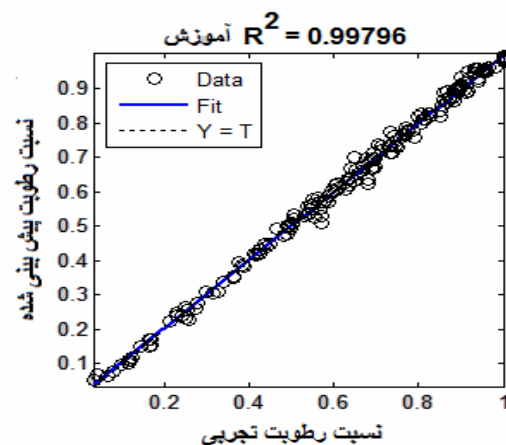


نمودار ۱۰ مقایسه نسبت رطوبت پیش بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در کل مراحل

همانطور که در نمودار ۶ مشاهده می شود شبکه عصبی پاسخی نزدیک به داده های تجربی را ارائه کرده است. در نمودارهای [۷-۱۰] می بینید ضریب تبیین برای مراحل آموزش^۱ و ارزیابی^۲ و اعتبارسنجی^۳ و کل مراحل نشان داده شده است. در جدول ۳ نتایج به دست آمده از مدلسازی به وسیله شبکه عصبی پس انتشار با تابع آستانه TANSIG و هم چنین خطای مجذور مربعات میانگین و خطای درصد نسبی و ضریب تبیین با تعداد لایه های متفاوت با نرونها متفاوت نشان داده شده است.



نمودار ۶ مقایسه داده های آزمایشگاهی با نتایج به دست آمده به روش شبکه ی عصبی



نمودار ۷ مقایسه نسبت رطوبت پیش بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله آموزش

1. Train
2. Test
3. Evaluation

جدول ۳ شبکه پس انتشار پیش خور با تابع آستانه TANSIG و تأثیر تعداد لایه های پنهان و تعداد نرون ها در میزان خطاها

تعداد لایه پنهان	تعداد نرون ها	RMSE	P%	$\bar{R}^2$
۱	۷	۰/۰۰۰۲۴۶	۹/۱۲۶۴	۰/۹۹۹۰
۱	۷	۰/۰۰۰۲۶۶	۳/۹۰۶۸	۰/۹۹۹۱
۱	۷	۰/۰۰۰۱۸۲	۲/۲۸۳۵	۰/۹۹۹۴
۱	۸	۰/۰۰۰۱۵۷	۲/۷۴۷۰	۰/۹۹۹۲
۱	۸	۰/۰۰۰۲۷۶	۳/۸۳۲۰	۰/۹۹۹۰
۱	۹	۰/۰۰۰۱۷۹	۲/۶۲۷۹	۰/۹۹۹۳
۱	۹	۰/۰۰۰۲۲۷	۴/۰۷۵۸	۰/۹۹۹۰
۱	۱۰	۰/۰۰۰۱۷۰	۲/۷۲۴۴	۰/۹۹۹۲
۱	۱۰	۰/۰۰۰۱۴۸	۳/۰۸۶۷	۰/۹۹۹۴
۱	۱۰	۰/۰۰۰۱۴۹	۲/۲۰۴۹	۰/۹۹۹۳
۱	۱۱	۰/۰۰۰۱۳۱	۱/۸۴۴۳	۰/۹۹۹۶
۱	۱۱	۰/۰۰۰۱	۳/۲۰۲۰	۰/۹۹۹۶
۱	۱۱	۰/۰۰۰۱۵۸	۲/۳۶۹۸	۰/۹۹۹۴
۱	۱۱	۰/۰۰۰۱۸۷	۲/۶۳۹۸	۰/۹۹۹۳
۱	۱۱	۰/۰۰۰۱۱۵	۲/۸۰۲۳	۰/۹۹۹۵
۱	۱۱	۰/۰۰۰۰۸۷	۲/۱۷۵۴	۰/۹۹۹۷
۱	۱۱	۰/۰۰۰۰۸۴	۱/۳۰۵۷	۰/۹۹۹۸
۱	۱۲	۰/۰۰۰۱۹۱	۴/۴۴۱۹	۰/۹۹۹۳
۱	۱۲	۰/۰۰۰۱۲۷	۳/۰۹۰۵	۰/۹۹۹۵
۱	۱۵	۰/۰۰۰۱۰۹	۱/۶۰۶۲	۰/۹۹۹۵
۲	۸-۸	۰/۰۰۰۱۵۱	۲/۶۰۶۱	۰/۹۹۹۴
۲	۹-۹	۰/۰۰۰۱۲۹	۲/۶۰۱۳	۰/۹۹۹۴
۲	۱۰-۱۰	۰/۰۰۰۱۶۹	۱/۹۸۰۹	۰/۹۹۹۴
۲	۱۰-۱۰	۰/۰۰۰۱۲۱	۲/۳۸۹۸	۰/۹۹۹۵
۲	۱۱-۱۱	۰/۰۰۰۱۵۸	۲/۶۵۰۲	۰/۹۹۹۳
۲	۱۲-۱۲	۰/۰۰۰۱۹۵	۴/۹۲۱۱	۰/۹۹۹۳
۳	۶-۶-۶	۰/۰۰۰۱۷۱	۲/۹۷۱۸	۰/۹۹۹۳
۳	۷-۷-۷	۰/۰۰۰۱۸۷	۲/۶۴۳۲	۰/۹۹۹۳
۳	۷-۷-۷	۰/۰۰۰۱۳۸	۲/۱۰۹۷	۰/۹۹۹۴
۳	۸-۸-۸	۰/۰۰۰۱۹۳	۲/۹۱۵۷	۰/۹۹۹۳
۳	۹-۹-۹	۰/۰۰۰۱۶۷	۲/۶۱۴۲	۰/۹۹۹۳
۳	۹-۹-۹	۰/۰۰۰۰۷۹	۲/۰۵۹۲	۰/۹۹۹۷
۳	۱۰-۱۰-۱۰	۰/۰۰۰۲۱۶	۲/۲۲۲۲	۰/۹۹۹۳
۳	۱۰-۱۰-۱۰	۰/۰۰۰۱۱۳	۲/۴۰۱۷	۰/۹۹۹۵
۳	۱۱-۱۱-۱۱	۰/۰۰۰۰۹۹	۲/۷۸۲۶	۰/۹۹۹۶

جدول ۴ معرفی علائم و نشانه ها

علائم	زیروندها
وزن نمونه در زمان t ، gr	M_t خشک d
وزن خشک نمونه، gr	M_d تعادلی e
رطوبت تعادلی	X_e حالت اولیه o
رطوبت اولیه	X_0 تجربی exp
نسبت رطوبت	MR پیش بینی شده pre

۵- منابع

- drying of sweet potato slices Sol. Energy 51, 271-276.
- [9] Zhang, Q. Litchfield, J.B. (1991). An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. Drying Technol. 9, 383-395.
- [10] Yagcioglu, A. Degirmencioglu, A. Cagatay, F. (1999). Drying characteristics of laurel leaves under different conditions. In: Bascetincelik, A. (Ed.), Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy. Adana, Turkey, pp. 565-569.
- [11] Henderson, S.M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. Trans. ASAE 17, 1167-1172.
- [12] Wang, C.Y. Singh, R.P. (1978). A single layer drying equation for rough rice, ASAE Paper No. 3001.
- [13] Karathanos, V.T. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. J. Food Eng. 39, 337-344.
- [14] fast, L. (1990). Fundamentals of neural networks.
- [15] Amiri Chayjan, R. Khoshtaghaza, M. and Amiri Parian, J. (1388). Variables Estimation and Important Order Determination of Effective Factors in Fixed Bed Drying of Rough Rice by Using Artificial Neural Networks. Journal of Food Sciences.
- [16] Sharifi, M. Rafie, S.H. Keyhan, A. Omid, M. (1389). Kinetic model simulation of thin-layer drying of orange fruit (var. Thompson) using artificial neural network. Sciences and Food Industrial
- [1] Yongsheng Ding, Hong, Yu. Shifen Mou. (2002). Direct determination of free amino acids and sugars in green tea by anion-exchange chromatography with integrated pulsed amperometric detection. Journal of Chromatography A 982(2002)237-244.
- [2] Strumilo, C. Kudra, T. Translated by : pahlevanzade. H. (1998). Drying, Principles, Application And Design. A publication of Tarbiat Modarres University.
- [3] Islam, M.R. Sabalani, S.S. and Mujumdar, A.S. (2003). An Artificial neural network model for prediction of drying rates. Drying Technology, Vol 121(9), 1867-1884.
- [4] Movagharnad, K. Nikzad, M. (2007). Modeling of tomato drying using artificial neural network. Computers and Electronics in Agriculture 59(2007)78-85.
- [5] Erenturk, K. Erenturk, S. Tabil, L.G. (2004). A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of Echinacea angustifolia: regression analysis and neural network. Comput. Electron. Agric. 45, 71-90.
- [6] Ghanadzadeh Gilani, H., Ghanadzadeh Samper, K. Khodaparast Haghi, R. (2013). Advanced process Control and simulation for chemical Engineers. Taylor & Francis group.
- [7] Mujumdar, A.S. (1987). Handbook of Industrial Drying. Marcel Dekker, New York.
- [8] Diamante, L.M. Munro, P.A. (1993). Mathematical modeling of thin layer solar

Drying kinetics of tea using artificial neural network model

Ghanadzade, H.¹, Abbasi, B.², Ghavidel, M.^{3*}, Imami, N.⁴

1. Professor, Department of chemical Engineering, University of guilan

2. Assistant Professor, Department of chemical Engineering, University of guilan

3. Graduate students, chemical Engineering, University of babol

4. Graduate students, chemical Engineering, University of guilan

(Received: 92/10/23 Accepted: 93/4/8)

Drying of the tea leaves for longer period of storage is always required. Tea green leaves in air temperature range from 35 to 55 degrees Celsius and input air velocities 0.5 and 0.7 meters per second and time range 0 to 140 minutes were dried in an experimental dryer process.

For this purpose, four samples were considered for each temperature. In each experiment, total weight changes of samples were recorded continuously.

Tea drying process by neural network method with four input vector (time, temperature, velocity and moisture) and one output vector (moisture ratio) has been modeled. The obtained Results of neural network were compared with the experimental data. The best result obtained to feed forward back propagation neural network with Leven berg- Marquardt algorithm and TANSIG threshold function which indicates high accuracy of the neural network. The mean relative percent error and correlation coefficient and root mean square error are 1.3, 0.9998, 0.00008, respectively.

Keywords: Tea leaves Drying, Feed Forward neural network, Liven berg–Marquardt Algorithm

* Corresponding Author E-Mail Address: malihe.ghavidel@yahoo.com