

مدلسازی سینتیک خشک شدن لایه نازک میوه زرشک (*Berberis Vulgaris*) به کمک شبکه عصبی مصنوعی

شیوا گرجیان^{۱*}، تیمور توکلی هاشجین^۲، محمد هادی خوش تقاضا^۳

۱- کارشناس ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی (دانشجوی دکتری)، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۲۵)

چکیده

به منظور بررسی سینتیک خشک شدن میوه زرشک، آزمایش‌هایی در سه سطح دمایی و سه سطح سرعت بر روی نمونه‌های شاهد و تیمار شده با شوک حرارتی و امولسیون ۶٪ کربنات پتاسیم + ۳٪ روغن زیتون^۱ در ۳ تکرار در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل اجرا گردید. بیشترین مدت زمان خشک شدن ۲۹۲۰ دقیقه، برای نمونه‌های شاهد در دمای ۶۰°C و سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه و کمترین مدت زمان ۷۰ دقیقه برای نمونه‌های تیمار شده با امولسیون در دمای ۸۰°C و سرعت ۱ متر بر ثانیه ثبت شد. در این تحقیق از شبکه پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری لونیگ-مارکواریت و توابع غیرخطی تانزانت سیگموئیدی و سیگموئید لگاریتمی برای مدلسازی فرایند خشک شدن استفاده شد. تعداد نوروهای ورودی شبکه برابر چهار متغیر در ورودی (نوع پیش‌تیمار، دمای هوا، سرعت هوا و زمان) و خروجی شبکه میزان رطوبت زرشک می‌باشد. بهترین توپولوژی از شبکه MLP با الگوریتم یادگیری LM و تابع آستانه Tansig، ۱-۱۶-۳۰-۴ با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹۲ و خطای حقیقی ۰/۰۰۰۲۵ بود. علاوه بر این بهترین توپولوژی از شبکه MLP با الگوریتم یادگیری LM و تابع آستانه Logsig، ۱-۵-۲۵-۴ با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹۱ و خطای حقیقی ۰/۰۰۰۳۲ بود.

کلید واژه‌گان: میوه زرشک، شبکه عصبی مصنوعی، پیش‌تیمار، بلوک کاملاً تصادفی، پرسپترون.

* مسئول مکاتبات: shgorjian@yahoo.com

۱- مقدمه

میوه زرشک (*Berberis Vulgaris*) به عنوان گیاه دارویی در جهان شناخته شده است. عصاره میوه زرشک صفرابر، تصفیه کننده خون، خوشبو کننده دهان، متعادل کننده اعمال روده، ضد نقرس و مسهل، مسکن حرارت معده، تنظیم کننده ترشح صفرا، کاهش دهنده فشارخون، ضد التهاب و اسپاسم و نشاط آور است. میوه زرشک دارای حدود ۴ درصد مواد قندی، ۶۵ درصد اسید مالیک و اسید تارتاریک و مقداری صمغ می باشد [۱]. زرشک تازه به رنگ قرمز روشن، گوشتی، بیضوی شکل و دارای طعمی ترش است. پوست میوه زرشک خشن و مومی است، لذا باید قبل از خشک کردن این پوست شکاف داده شود. پیش تیمارهایی نظیر غوطه‌وری در محلول‌های شیمیایی، تیمارهای حرارتی و روش‌های مکانیکی نرخ از دست دادن رطوبت در میوه‌های با پوست مومی را افزایش می‌دهند تا رطوبت به راحتی به سطح آمده و از آن خارج شود [۲]. در حال حاضر زرشک به شیوه‌های کاملاً سنتی و بدون پیش تیمار خشک می‌گردد. مهم‌ترین مشکل این روش افزایش هزینه و کندی فرایند خشک شدن است که افزایش خطر صدمه به محصول در اثر باران‌های پاییزه و آلودگی به انواع کپک، مخمر و اتلاف حدود ۳۰ تا ۳۵ درصدی محصول سالیانه را در پی دارد [۳]. آگاهی از رفتار خشک شدن در طراحی، شبیه‌سازی، و بهینه‌سازی فرایند خشک شدن مهم است [۴]. در حین فرایند بایستی کنترل‌های دقیقی به منظور جلوگیری از ضایعات حرارتی اعمال گردد [۵]. میوه زرشک برای خشک شدن نیاز به شرایط ویژه‌ای دارد و رسیدن به یک رطوبت نهایی یکنواخت در محصول یکی از پارامترهای مهم در فرایند خشک کردن این محصول است. انجام همزمان تخمین و کنترل خشک کردن، نیازمند حل معادلات دیفرانسیل تخمین رطوبت و دمای محصول است. فرایند خشک کردن زرشک شامل انتقال همزمان جرم و حرارت است. این پدیده در سطوح مختلف قابل مدلسازی ریاضی است. مدل‌های موجود قابلیت ایجاد کنترل مناسب در فرایند خشک کردن در کاربردهای صنعتی را ندارند. با این وجود، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی این امکان را فراهم می‌آورد که ابزاری قدرتمند جهت تامین اهداف بالا در دسترس باشد. مطالعاتی بر روی زرشک به منظور توصیف فرایند خشک شدن به روش لایه نازک انجام شده است. آغباشلو و همکاران (۱۳۸۷)، آزمایش‌هایی در سه دمای

۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سه سطح سرعت هوای ۰/۵، ۱ و ۲ متر بر ثانیه انجام دادند. در مقایسه با سرعت، دما بر روی زمان خشک شدن تاثیر قابل توجه‌تری داشت [۶]. مولا و فلاحی (۱۳۷۴) سیستیک خشک شدن دانه‌های زرشک را مورد بررسی قرار دادند و سپس چگونگی خشک کردن زرشک در یک خشک‌کن بستر سیال آزمایش شد و پارامترهای موثر بر افزایش راندمان این نوع خشک‌کن مشخص گردید. نتایج نشان داد که خشک‌کن بستر سیال نسبت به سایر روش‌ها به مراتب کارایی بالاتری دارد و بهتر می‌تواند خصوصیات کیفی زرشک را حفظ نماید. تاثیر غوطه‌وری زرشک در محلول کربنات پتاسیم و روغن اتیل اولئات، و آب گرم (۵۰°C) بر فرایند خشک شدن آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجربی نشان داد نمونه‌های تیمار شده با تیزاب (محلول روغن اتیل اولئات و کربنات پتاسیم)، آب ۵۰°C و بدون پیش تیمار بترتیب طی زمانهای ۲۱، ۴۱ و ۳۹ ساعت به محتوای رطوبت تعادلی رسیده‌اند. این کاهش زمان، ناشی از اثرات پیش تیمار روی حبه‌ها (ایجاد ترک و حذف لایه واکسی سطح نمونه‌ها) بود. بر اساس گزارش ریوا^۱ و پری^۲ (۱۹۸۶) کربنات پتاسیم بخصوص وقتی که همراه با روغن اولئات باشد با حذف لایه مومی و ایجاد شکاف‌های ریز در انگور، زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد و از قهوه‌ای شدن و دیگر واکنشهای تجزیه کننده که کیفیت را تحت تاثیر قرار می‌دهند نیز می‌کاهد. آنها از محلول ۳٪ اتیل اولئات و ۲/۵٪ کربنات پتاسیم برای ۳ دقیقه در آب ۴۰°C استفاده کردند. پنگاوان^۳ و همکاران (۱۹۹۸) در پژوهشی تاثیر پیش تیمارهای روغن اتیل اولئات، روغن زیتون و محلول هیدروکسید سدیم داغ بر روی انگور سلطانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از محلول شیمیایی داغ بسیار مفید خواهد بود اما جابجا کردن یک محلول داغ به سادگی امکان‌پذیر نیست [۷].

اساس روش‌های هوشمند، استفاده از دانش نهفته در داده‌های آزمایش، تلاش برای استخراج روابط ذاتی بین آنها و تعمیم آن در موقعیت‌های دیگر است. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از مهمترین روش‌های هوش مصنوعی بوده که در آن با الهام از مدل مغز انسان، ضمن اجرای فرایند آموزش، اطلاعات مربوط به داده‌ها، در قالب وزن‌های شبکه ذخیره

1. Riva
2. Peri
3. Pangavhane

حاکی از آن بود که یک مدل بازخوردی در متغیرهای ورودی می‌تواند برای تخمین مناسب رطوبت در خشک‌کن‌های بستر ثابت به‌کار رود. همچنین افزایش تعداد متغیرهای ورودی، افزایش معنی‌داری روی دقت مدل نداشت. سبلانی^۶ و رحمان^۷ (۲۰۰۳) از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی ضریب هدایت حرارتی مواد غذایی به عنوان تابعی از محتوای رطوبتی، دما و تخلخل ظاهری استفاده کردند. شبکه بدست آمده قادر بود قابلیت هدایت حرارتی را با دقت میانگین خطای نسبی ۱۲/۶٪ و میانگین خطای مطلق ۰/۰۸۱ پیش‌بینی کند.

بررسی سینتیک خشک شدن این محصول و مدلسازی روند خشک شدن آن تحت شرایط مختلف جهت آگاهی از رفتار این محصول به منظور طراحی خشک‌کن مناسب ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق سعی شده است تا با بررسی سینتیک خشک شدن این محصول تحت بازه‌های مختلف دمایی و سطوح مختلف سرعت هوا و همچنین تحت اعمال پیش‌تیمارهای مختلف نتایج دقیق‌تر و کامل‌تری به‌دست آید. همچنین داده‌های تجربی حاصل از انجام آزمایش‌ها با شبکه عصبی مصنوعی مدل خواهد شد و دقت توپولوژی‌های مختلف به منظور انتخاب بهترین توپولوژی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

زرشک‌های تازه و رسیده از نوع پفکی و بدون هسته از یک مغازه محلی در استان خراسان جنوبی تهیه شدند. نمونه‌ها به منظور کاهش اثرات فعالیتهای میکروبی تا قبل از شروع آزمایش در دمای ۴°C در یخچال نگهداری شدند. محتوای رطوبت اولیه با استفاده از روش آون داغ به روش وزنی تعیین گردید. بدین منظور نمونه‌های ۲۰ گرمی در دمای ۱۰۵ ± ۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت (تا زمانی که تغییرات بین دو مرحله متوالی توزین نمونه‌ها بسیار کم و ناچیز شود) درون آون قرار گرفته و میزان رطوبت اولیه میوه زرشک ۷۳/۴۴٪ بر پایه تر تعیین شد.

می‌شوند [۸]. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی^۱ (ANN) به طور موفقیت‌آمیزی در تخمین مسائل در فرایندهای طبیعی عمل کرده‌اند. روش شبکه‌های عصبی نسبت به بسیاری از روش‌های معمولی آماری و قطعی مزایا دارد. در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی، این روش مقادیر پیش‌بینی را ملزم به قرارگیری در اطراف مقدار میانگین نکرده و به همین دلیل تغییر پذیری واقعی داده را حفظ می‌کند [۹]. شبکه عصبی مصنوعی (ANN) سیستم عظیم پردازش اطلاعات با توزیع موازی است که مشخصه‌های عملکردی معینی مشابه شبکه عصبی بیولوژیکی مغز انسان دارد [۱۰]. انواع مشهوری از شبکه‌های عصبی نظیر پرسپترون چند لایه^۲ (MLP)، تابع پایه‌ای شعاعی^۳ (RBF) و شبکه‌های عصبی برگشتی^۴ (RNN) وجود دارند. اما همه آن‌ها شامل چند جزء اساسی هستند: گره‌ها، لایه‌ها و اتصالات [۱۱]. هر گره سیگنالی را از یک اتصال دریافت می‌کند و سپس سیگنال‌ها قبل از عمل کردن با هم جمع می‌شوند و جهت ایجاد خروجی به تابع انتقال می‌روند. در مرحله بعد سیگنال‌های خروجی به دیگر گره‌ها انتشار پیدا می‌کنند تا به خروجی شبکه دست پیدا کنند. همچنین آن‌ها توانایی پذیرفتن تنظیمات جدید آزمایش را دارند و شبکه می‌تواند برای محدوده وسیعی از خروجی‌ها آموزش داده شود [۱۲].

فارکاس^۵ و همکاران (۲۰۰۰a) از شبکه عصبی برای یک خشک‌کن بستر ثابت استفاده کردند. هدف از این تحقیق، استفاده از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تعیین رابطه بین توزیع رطوبت در مواد خشک‌کردنی بود. پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری عبارت بودند از دمای هوای خشک‌کن، رطوبت نسبی و بده هوا. نتایج بدست آمده نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با دقت بیشتر و خطای کمتری قادر به مدلسازی فرایند خشک کردن است. طی پژوهشی دیگر فارکاس و همکاران (۲۰۰۰b) دقت مدل‌های مختلفی از شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی توزیع رطوبت در خشک‌کن‌های بستر ثابت کشاورزی مورد بررسی قرار دادند. متغیرهای ورودی عبارت بودند از دمای هوای ورودی و خروجی، رطوبت مطلق هوا و بده هوا. نتایج بدست آمده

1. Artificial Neural Network
2. Multi Layer Perceptron
3. Radial Basis Function
4. Recurrent neural network
5. Farkas

6. Sablani
7. Rahman

۱-۲- آماده سازی محصول

با توجه به اینکه پوسته زرشک مومی است، به منظور تسهیل در خروج آب از داخل و روی پوسته از پیش تیمار استفاده شد؛

- P_0 : نمونه‌های شاهد

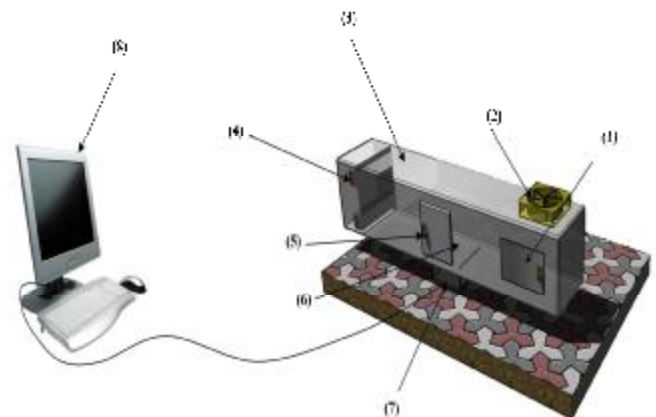
- P_1 : شوک حرارتی: قرار دادن نمونه‌ها در آب با دمای 85°C به مدت ۶۰ ثانیه، سپس قرار دادن آن‌ها در آب با دمای 10°C [۱۳]؛

- P_2 : قراردادن نمونه‌ها در امولسیون ۳٪ روغن زیتون و ۶٪ کربنات پتاسیم با دمای 50°C ، به مدت ۲ دقیقه [۱۵].

برای اطمینان از قابلیت انبار کردن زرشک پس از خشک شدن، زرشک‌ها تا تامین میزان رطوبت ۱۸٪ بر پایه تر در داخل خشک‌کن قرار گرفتند [۹].

۲-۲- روش انجام آزمایش

در این تحقیق از خشک‌کن لایه نازک در مقیاس آزمایشگاهی، ساخته شده در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، استفاده شد (شکل ۱). وزن نمونه‌های داخل خشک‌کن به طور منظم توسط کامپیوتر متصل به خشک‌کن ثبت شد.



شکل ۱ طرح واره خشک‌کن هوای داغ با جریان هوای افقی: (۱) دریاچه کنترل جریان هوا، (۲) فن گریز از مرکز، (۳) اتاقک هوای گرم، (۴) گرم‌کن‌ها، (۵) دریاچه دسترسی به نمونه‌ها، (۶) سینی مشبک محصول، (۷) ترازوی دیجیتال، (۸) کامپیوتر جهت ذخیره مقادیر وزنی.

مقدار نسبت رطوبت^۱ (MR) در هر نقطه زمانی به منظور تهیه نمودارهای خشک‌کردن با استفاده از معادله زیر محاسبه شد

$$MR = \frac{x - x_e}{x_o - x_e} \quad [6]$$

در این معادله x و x_e به ترتیب محتوای رطوبت در زمان t و محتوای رطوبت تعادلی^۲ می‌باشند. با داشتن جرم ماده خشک محصول و جرم محصول در هر فاصله زمانی که اندازه‌گیری شده است، محتوای رطوبتی محصول در هر فاصله زمانی از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۴]:

$$X_i = \frac{m_i - m_d}{m_i} \times 100$$

در این معادله X_i میزان رطوبتی بر پایه تر در فاصله زمانی i ، m_i مقدار جرم محصول در فاصله زمانی i و m_d وزن خشک محصول که بر حسب کیلوگرم می‌باشد.

۳-۲- تنظیمات شبکه عصبی مصنوعی

در این تحقیق از شبکه پرسپترون چندلایه برای پیش‌بینی تغییرات میزان رطوبت تحت هر شرایط آزمایش استفاده شد. خروجی شبکه میزان رطوبت زرشک، ورودی، نوع پیش‌تیمار، دمای هوا، سرعت هوا و زمان و تعداد لایه‌های میانی و نوروں‌های لایه میانی به روش آزمون و خطا انتخاب شد تا مقدار خطای خروجی شبکه کمترین مقدار باشد، به عبارتی شبکه بهینه حاصل شود (شکل ۲).

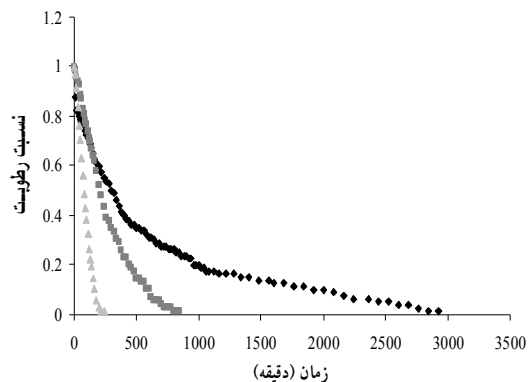
در این تحقیق ۶۰٪ داده‌ها برای آموزش^۳، ۳۰٪ برای ارزیابی^۴ و ۱۰٪ برای آزمون^۵ استفاده شد. نرم افزار "Matlab R2009" برای طراحی و ارزیابی شبکه استفاده شد. برای یافتن شبکه‌های با معماری مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزشی، از معیار خطای مربعات میانگین^۶ استفاده شد [۱۴]:

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} - T_{ip})^2}{n_p \times n_0}$$

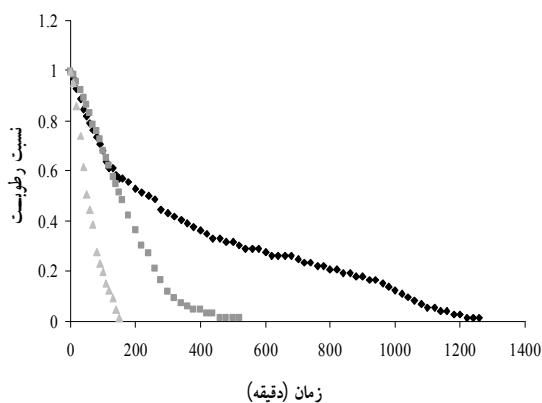
در این معادله MSE خطای مربعات میانگین در مرحله آموزش، S_{ip} خروجی شبکه در نوروں i و الگوی p ، T_{ip} خروجی هدف (حقیقی) در نوروں i و الگوی p ، n_0 تعداد

1. Moisture ratio
2. Equilibrium moisture content
3. Train
4. Test
5. Evaluation
6. Mean square error

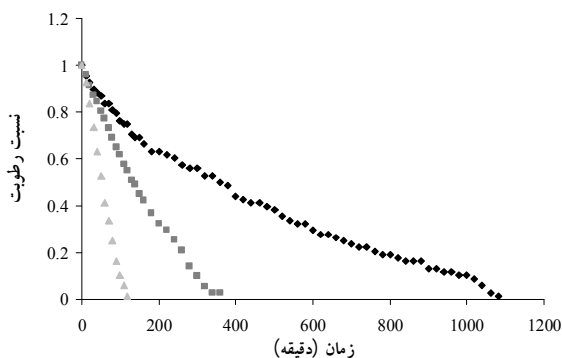
درجه سانتی‌گراد و سه سطح سرعت ۰/۳، ۰/۵ و ۱ متر بر ثانیه رسم شد (شکل‌های ۳ تا ۵). در دمای ۶۰°C، مدت زمان لازم برای رسیدن زرشک به محتوای رطوبت مورد نظر (۱/۱۸٪ بر پایه تر) ۲۹۲۰ دقیقه، برای دمای ۷۰°C، ۸۴۰ دقیقه و برای دمای ۸۰°C، ۲۰۰ دقیقه ثبت شد.



شکل ۲ روند خشک شدن نمونه‌های شاهد در سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه (۶۰°C, ۷۰°C, ۸۰°C)

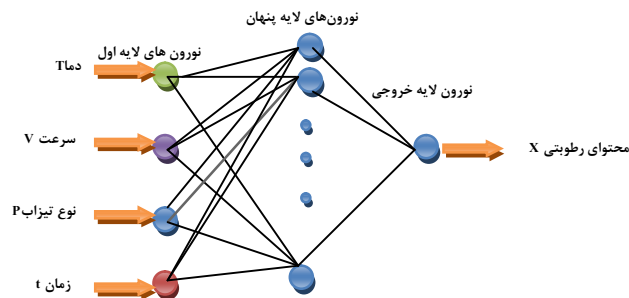


شکل ۳ روند خشک شدن نمونه‌های شاهد در سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه (۶۰°C, ۷۰°C, ۸۰°C)



شکل ۴ روند خشک شدن نمونه‌های شاهد در سرعت ۱ متر بر ثانیه (۶۰°C, ۷۰°C, ۸۰°C)

نورون‌های لایه خروجی، N تعداد نورون‌های خروجی و m تعداد الگوهای آموزشی است. از توابع آستانه سیگموئیدی لگاریتمی^۱ و تانزانت سیگموئیدی^۲ در لایه پنهان و از تابع خطی^۳ در لایه خروجی استفاده شد.



شکل ۵ ساختار شبکه برای پیش‌بینی تغییرات میزان رطوبت.

برای شبکه MLP، m تعداد نورون‌های لایه خارجی، W_{ij} وزن بین لایه i و j ، y_i خروجی نورون i ام و b_j مقدار بایاس نورون لایه j ام است. X_j مجموع ورودی‌های وزن دار هر نورون لایه j است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$X_j = \sum_{i=1}^m W_{ij} Y_i + b_j$$

الگوریتم LM نسبت به بقیه الگوریتم‌ها دارای سرعت بیشتر و در مقابل حجم محاسباتی بالاتری می‌باشد. به طور کلی این الگوریتم برای مسائل تخمینی خوب عمل می‌کند. لذا در این تحقیق از الگوریتم یادگیری لوبنرگ-مارکوآرت^۴ استفاده شد. این الگوریتم به طور کلی بر اساس ماتریس هسین^۵ است که برای بهینه‌سازی غیرخطی بر مبنای حداقل مربعات استفاده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات میزان رطوبت زرشک با گذشت

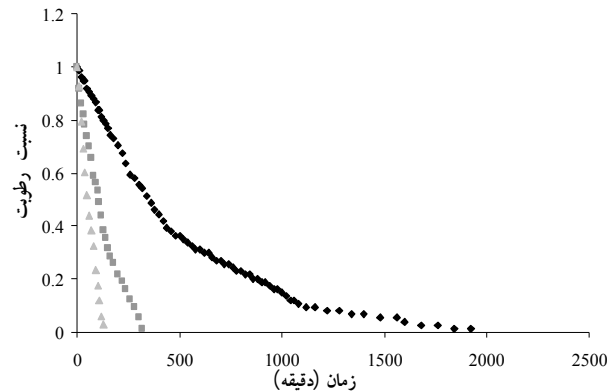
زمان طی فرایند خشک شدن

منحنی‌های نسبت رطوبت در مقابل زمان خشک‌شدن برای نمونه‌های شاهد و تیمار شده در سه سطح دمایی ۶۰، ۷۰ و ۸۰

1. Logsig
2. Tansig
3. Pureline
4. Levenberg- Marquard Algorithm
5. Hessian Matrix

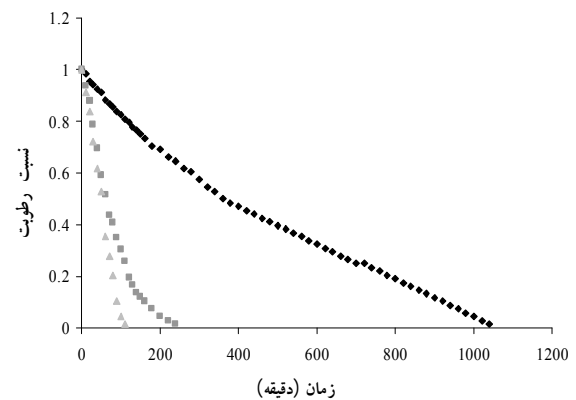
همانطوریکه انتظار می‌رفت، با افزایش دما از 60°C به 80°C مدت زمان خشک شدن کاهش یافت. علاوه بر این افزایش سرعت هوای ورودی به خشک‌کن نیز به دلیل افزایش سرعت تبخیر سطحی، مدت زمان خشک شدن را کاهش داد به طوری که در سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه برای هر سه سطح دمایی به ترتیب مقادیر ۱۰۸۰، ۳۶۰ و ۱۲۰ دقیقه ثبت شد. با توجه به اینکه دماهای بالا در پوسته میوه ترک ایجاد می‌کنند، لذا به خروج رطوبت بیشتر کمک کرده و در نتیجه تاثیر دما بر کاهش مدت زمان خشک شدن آشکارتر است. نتایج حاصل از روند خشک شدن نمونه‌های تیمار شده با شوک حرارتی نشان داد که کمترین مدت زمان ثبت شده برای تیمار دمایی 80°C و سرعت ۱ متر بر ثانیه به مقدار ۹۰ دقیقه می‌باشد. در مقایسه با نمونه شاهد مدت زمان خشک شدن نمونه‌های تیمار شده کاهش پیدا کرد (شکل‌های ۶ تا ۸).

در نمونه‌های تیمار شده با امولسیون بیشترین مدت زمان خشک شدن در دمای 60°C و سرعت 0.3 متر بر ثانیه، برابر با ۱۰۸۰ دقیقه و کمترین مدت زمان در دمای 80°C و سرعت ۱ متر بر ثانیه، برابر با ۷۰ دقیقه ثبت شد (شکل‌های ۹ تا ۱۱). پیش تیمار امولسیون با حذف لایه مومی روی پوسته زرشک و ذرات چسبیده به هم در مجراهای داخلی میوه، نه تنها خروج رطوبت، بلکه عبور آن را از داخل میوه نیز تسهیل می‌کند. مدت زمان غوطه‌وری زرشک در این آزمایش (۲ دقیقه)، فرصت کافی را برای انجام واکنش‌های شیمیایی جهت حذف موانع عبور رطوبت به خارج از زرشک را فراهم می‌کند. در پژوهشی که فرایند خشک کردن انگور سرخ مورد بررسی قرار گرفت، امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم با مدت زمان غوطه‌وری ۲ دقیقه به عنوان موثرترین پیش تیمار گزارش شد [۱۳]. استفاده از روغن زیتون در کاهش مدت زمان خشک شدن موثر است که می‌تواند به علت رسوب روغن روی سطح میوه باشد [۱۳]. در بررسی اثر پیش تیمارها در کاهش زمان خشک شدن، در دمای 70°C و سرعت 0.3 متر بر ثانیه مدت زمان خشک شدن برای نمونه شاهد ۸۴۰ دقیقه، برای نمونه تیمار شده با شوک حرارتی ۳۲۰ دقیقه و برای نمونه تیمار شده با امولسیون ۲۲۰ دقیقه ثبت شد. استفاده از پیش تیمار امولسیون نسبت به شوک حرارتی کاهش بیشتری در مدت زمان خشک شدن داشت.



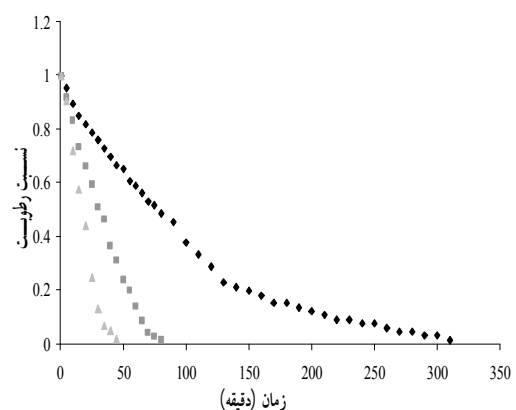
شکل ۶ روند خشک شدن نمونه‌های تیمار شده (P_1)

در سرعت 0.3 متر بر ثانیه (60°C , 70°C , 80°C)



شکل ۷ روند خشک شدن نمونه‌های تیمار شده (P_1)

در سرعت 0.5 متر بر ثانیه (60°C , 70°C , 80°C)



شکل ۸ روند خشک شدن نمونه‌های تیمار شده (P_1)

در سرعت ۱ متر بر ثانیه (60°C , 70°C , 80°C)

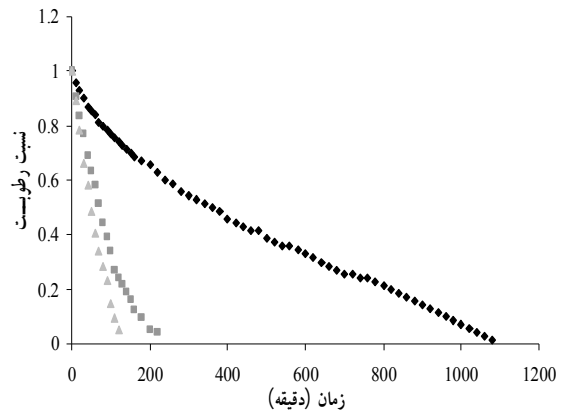
۲-۳- پیش بینی میزان رطوبت به کمک شبکه

عصبی مصنوعی

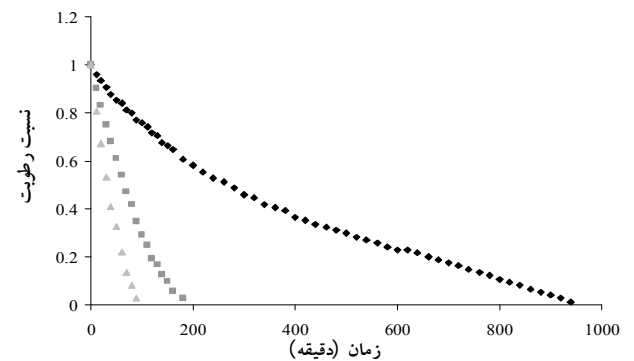
به منظور تعیین بهترین توپولوژی برای شبکه آزمایش‌های اولیه انجام شد. توپولوژی‌های مختلف تک لایه با تعداد مختلف نورون‌ها و همچنین دولایه با تعداد مختلف نورون در هر لایه با توابع آستانه مختلف بکار برده شدند. میزان آهنگ یادگیری روی ۰/۱ و ضریب اندازه حرکت روی ۰/۴ تنظیم شد. شبکه با تعداد ثابت ۲۰ چرخه آموزش داده شد. توپولوژی‌های مختلف تک لایه و دو لایه از شبکه MLP با الگوریتم یادگیری LM با توابع آستانه مختلف بکار برده شد (جدول ۲).

جدول (۱) دو نتیجه مهم را بررسی می‌کند. اول اینکه افزایش تعداد لایه‌های پنهان به بیش از یک لایه، عملکرد شبکه را به طور معناداری افزایش داد. دوم اینکه تعداد نورون‌ها در لایه‌های پنهان، منجر به افزایش عملکرد شبکه شد. اما با افزایش تعداد بیشتر نورون‌ها در لایه‌های پنهان عملکرد کاهش یافت. با افزوده شدن تعداد نورون‌ها شبکه بیش از حد آموزش خواهد دید. بیش‌آموزی زمانی رخ می‌دهد که شبکه ظرفیت پذیرش اطلاعات بسیار زیادی دارد و در مقابل اطلاعات موجود در داده‌ها برای آموزش تمامی نورون‌های لایه‌های پنهان کافی نیست. در این حالت شبکه ممکن است که در قبال داده‌های آموزش عملکرد خوبی داشته باشد اما در قبال داده‌های آزمون عملکرد بسیار پایین‌تری خواهد داشت.

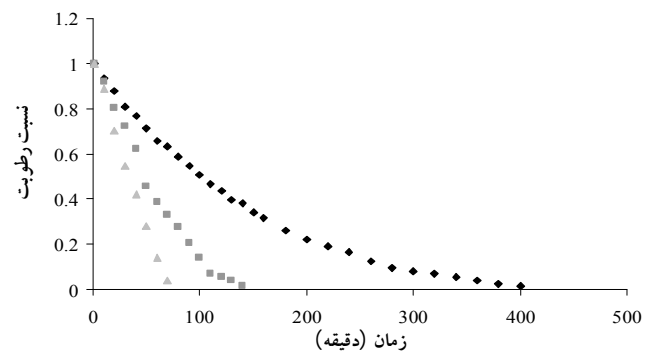
همانطوریکه نتایج جدول نشان می‌دهند، مقدار خطای شبکه با تعداد دولایه بهتر از شبکه با یک لایه عمل کرده است. این نوع شبکه‌ها اصطلاحاً به شبکه‌های کم عمق^۱ معروفند. در جایی که افزایش تعداد نورون‌ها در لایه پنهان اول منجر به کاهش کارایی شبکه شد، تعداد نورون‌ها را در لایه دوم زیادتر انتخاب شد. این کار به کاهش خطای شبکه انجامید.



شکل ۹ روند خشک شدن نمونه‌های تیمار شده (P_2) در سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه (60°C , 70°C , 80°C)



شکل ۱۰ روند خشک شدن نمونه‌های تیمار شده (P_2) در سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه (60°C , 70°C , 80°C)



شکل ۱۱ روند خشک شدن نمونه‌های تیمار شده (P_2) در سرعت ۱ متر بر ثانیه (60°C , 70°C , 80°C)

جدول ۱ نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم یادگیری LM، تابع آستانه Tansig.

| MSE | تعداد نورون لایه میانی | | تعداد لایه میانی |
|---------|------------------------|-----|------------------|
| | دوم | اول | |
| ۰/۰۰۸۳۳ | - | ۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۵۴۵ | - | ۱۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۴۸۶ | - | ۱۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۲۹۳ | - | ۲۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۳۴۶ | - | ۲۵ | ۱ |
| ۰/۰۱۰۵ | ۵ | ۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۳۹۵ | ۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۲۷۳ | ۵ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۳۱۳ | ۵ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۳۱۷ | ۱۰ | ۱۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۷۴ | ۱۰ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۳۰ | ۱۵ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۲۴۸ | ۲۰ | ۱۵ | ۲ |

جدول ۲ نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم یادگیری LM، تابع آستانه Logsig.

| MSE | تعداد نورون لایه میانی دوم | | تعداد لایه میانی |
|---------|----------------------------|-----|------------------|
| | دوم | اول | |
| ۰/۰۶۳۸ | - | ۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۴۹۲ | - | ۱۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۴۲۲ | - | ۱۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۳۱۸ | - | ۲۰ | ۱ |
| ۰/۰۰۳۸۵ | - | ۲۵ | ۱ |
| ۰/۰۲۸۵ | ۵ | ۵ | ۱ |
| ۰/۰۰۴۰۱ | ۵ | ۱۰ | ۱ |
| ۰/۰۱۰۹ | ۵ | ۱۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۲۴۶ | ۵ | ۲۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۷۳ | ۵ | ۲۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۸۷۴ | ۵ | ۳۰ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۰۰ | ۱۰ | ۲۵ | ۲ |
| ۰/۰۰۱۴۷ | ۱۵ | ۲۵ | ۲ |

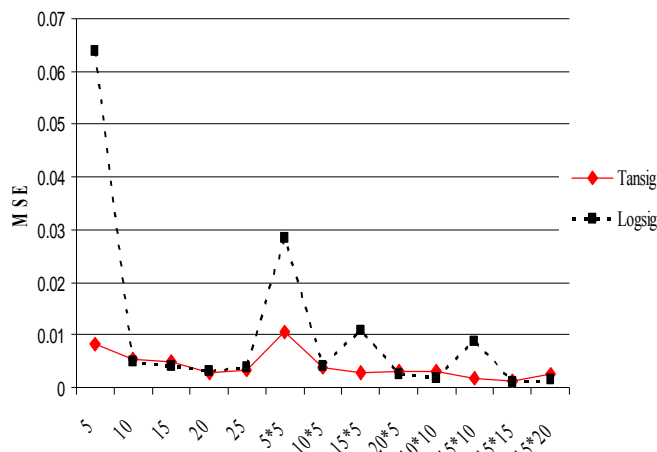
تعداد نورون‌ها به بیش از تعداد مورد نیاز، خطا را افزایش دهیم. افزایش بیش از حد تعداد نورون‌ها منجر به افزایش حجم محاسبات شده و بر پیچیدگی محاسبات می‌افزاید. در آموزش

نتایج کلی که می‌توان از روند آموزش با تغییر تعداد لایه‌ها و نورون‌ها در هر لایه گرفت این است که چه در حالتی که شبکه یک لایه پنهان دارد و چه در حالتی که دو لایه، نباید با افزایش

است، شبکه با تعداد یک لایه پنهان و ۵ نورون در این لایه در قبال تابع آستانه Tansig عملکرد خوبی نشان داده است در حالی که عملکرد برای تابع Logsig مناسب نیست. در تعداد نورون ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ در یک لایه پنهان هر دو تابع آستانه عملکردی شبیه به هم دارند. ولی در شروع کار شبکه با دو لایه پنهان و ۵ نورون در هر لایه تابع آستانه Tansig عملکردی مشابه شروع کار شبکه با ۵ نورون در یک لایه پنهان داشت. با افزایش نورون‌ها عملکرد شبکه با تابع آستانه Logsig بهبود پیدا می‌کند. علاوه بر این در توپولوژی ۱-۱۰-۱ و ۱-۱۵-۱-۵-۱-۱۵ خطای شبکه برای تابع Logsig بیشتر از Tansig می‌باشد. اما باز هم در بقیه توپولوژی‌ها عملکرد دو تابع آستانه یکسان است. به طور کلی نمی‌توان نتیجه‌گیری کرد که یک تابع آستانه بر دیگری ارجح است.

به منظور تحلیل رگرسیونی نتایج حاصل از عملکرد شبکه‌های فوق در یادگیری از رگرسیون خطی و شاخص ضریب همبستگی "R" بین مقادیر واقعی و مقادیر تخمین زده شده توسط شبکه برای داده‌های آموزشی، آزمون و اعتبارسنجی استفاده شد. نتایج حاصل از این بررسی برای توپولوژی‌های مختلف در جدول (۳) و (۴) نشان داده شده است.

شبکه با تابع آستانه Logsig نیز این روند مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از شبکه بهترین توپولوژی‌ها برای شبکه با تابع آستانه Tansig، ۱-۲۰-۱ و ۱-۱۵-۱۵-۱ می‌باشند و برای تابع آستانه Logsig بهترین توپولوژی‌ها ۱-۲۰-۱ و ۱-۲۵-۱۰-۱ می‌باشند. عملکرد شبکه در قبال استفاده از دو نوع تابع آستانه با تعداد یک و دو لایه پنهان بررسی شد (شکل ۱۲).



تعداد نورون‌ها و لایه‌های پنهان

شکل ۱۲ مقایسه مقدار خطای ارزیابی برای ساختارهای با یک و دو لایه میانی برای دو تابع آستانه Tansig و Logsig.

در هر دو حالت عملکرد شبکه در تعداد چرخه آموزشی ثابت مورد بررسی قرار گرفت. همانطوریکه در شکل نشان داده شده

جدول ۳ نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی توپولوژی‌های مختلف شبکه با تابع آستانه Tansig

| توپولوژی | R (آموزش) | R (اعتبارسنجی) | R (آزمون) |
|-----------|-----------|----------------|-----------|
| ۴-۵-۱ | ۰/۹۸۸ | ۰/۹۸۸ | ۰/۹۸۱ |
| ۴-۱۰-۱ | ۰/۹۹۲ | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۸۸ |
| ۴-۱۵-۱ | ۰/۹۹۳ | ۰/۹۹۲ | ۰/۹۹۳ |
| ۴-۲۰-۱ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۳ |
| ۴-۲۵-۱ | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۱ |
| ۴-۵-۵-۱ | ۰/۹۸۶ | ۰/۹۸۳ | ۰/۹۸۱ |
| ۴-۱۰-۵-۱ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۶ |
| ۴-۱۵-۵-۱ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۷ |
| ۴-۲۰-۵-۱ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۳ | ۰/۹۹۰ |
| ۴-۱۰-۱۰-۱ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۱ | ۰/۹۹۴ |
| ۴-۱۰-۱۵-۱ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۵ |
| ۴-۱۵-۱۵-۱ | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۶ |
| ۴-۲۰-۱۵-۱ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۵ |

جدول ۴ نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی توپولوژی‌های مختلف شبکه با تابع آستانه Logsig.

| توپولوژی | R (آموزش) | R (اعتبارسنجی) | R (آزمون) |
|-----------|-----------|----------------|-----------|
| ۴-۵-۱ | ۰/۹۰۷ | ۰/۸۹۴ | ۰/۸۷۵ |
| ۴-۱۰-۱ | ۰/۹۹۳ | ۰/۹۹۳ | ۰/۹۹۳ |
| ۴-۱۵-۱ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۰ |
| ۴-۲۰-۱ | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۳ | ۰/۹۹۵ |
| ۴-۲۵-۱ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۸۹ | ۰/۹۸۹ |
| ۴-۵-۵-۱ | ۰/۹۵۹ | ۰/۹۴۸ | ۰/۹۵۶ |
| ۴-۱۰-۵-۱ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۲ | ۰/۹۹۲ |
| ۴-۱۵-۵-۱ | ۰/۹۸۵ | ۰/۹۸۱ | ۰/۹۸۵ |
| ۴-۲۰-۵-۱ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۸ |
| ۴-۲۵-۵-۱ | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۷ |
| ۴-۳۰-۵-۱ | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۸۲ | ۰/۹۸۱ |
| ۴-۲۵-۱۰-۱ | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۸ |
| ۴-۲۵-۱۵-۱ | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۷ |

۵- منابع

- [1] Anonymous 1. Available on www.qayen.com. (In Persian)
- [2] Kim, M.H. and R.T, Toledo. 1987. Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated Rabbiteye blueberries. Food Science 52(4): 980-984.
- [3] Anonymous 2. Available on. www.meymand.com. (In Persian)
- [4] Senadeera, W., B.R., Young, G., and Wijesinghe, B., 2003. Influence of shapes on drying kinetics during fluidized bed drying. Food Engineering. 58: 277-283.
- [5] Chajii, H., Ghassem Zade, H., Ranjbar, A., 2008. Effect of Ethyl-Oleate oil and Potassium Carbonate powder and warm water on drying kinetics of Barberry. Fifth national congress of Engineering of Agricultural Machinery and Mechanization. (In Persian)
- [6] Aghbashlo, M., Kianmehr, M., Arab Husseini, A. 2008. Evaluation of Thin-layer Drying models for describing of drying kinetics of Barberry. Fifth national congress of Engineering of Agricultural Machinery and Mechanization. (In Persian).
- [7] Pangavhane, D.R., Sawhney, and R.L., Sarsavadia, P.N. 1998. Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. Food Engineering., 39: 211-216.

از نتایج حاصل در جدول اینگونه برمی‌آید که همانطوریکه انتظار می‌رود در بسیاری از موارد مقدار ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش بیشتر از داده‌های آزمون است. همچنین شبکه‌های بهینه شده که دارای مقدار MSE کمتری بودند مقدار ضریب همبستگی بیشتری را هم نشان می‌دهند که نشانگر تخمین خوب شبکه و نزدیک بودن مقادیر خروجی از شبکه به مقادیر واقعی است.

۴- نتیجه گیری

- با افزایش دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن، مدت زمان خشک شدن کاهش یافت.

- تاثیر دمای هوای ورودی به خشک‌کن در کاهش مدت زمان خشک شدن بسیار بیشتر از تاثیر سرعت هوای ورودی به خشک‌کن است.

- پیش تیمار امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم نسبت به پیش تیمار شوک حرارتی تاثیر بیشتری در کاهش مدت زمان خشک شدن نشان داد.

- شبکه عصبی مصنوعی با خطای قابل قبولی قادر به مدلسازی فرایند خشک کردن است و شبکه‌های با ساختار تک-لایه با تعداد نورون‌های بیشتر خطای کمتری را نتیجه دادند اما با افزایش تعداد بیشتر نورون‌ها خطای افزایش یافت و استفاده از ساختار دولایه مقدار خطای کمتری را نتیجه داد.

- [14] Heristev, R.M. 1998. The ANN Book. GNU Public License. USA.
- [15] Farkas, I., Reményi, P., and BirÓ, B. 2000a. A neural network topology for modeling grain drying. *Computers and Electronics in Agriculture*. 26: 147-158.
- [16] Farkas, I., Reményi, P., and BirÓ, B. 2000b. Modeling aspects of grain drying with a neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*. 29: 99-113.
- [17] Riva, M. and Peri, C. 1986. Kinetics of sun and air drying of different varieties of seedless grapes. *Food Technology*. 21: 199-208.
- [18] Sablani, S.S and Rahman, M. S. 2003. Using neural networks to predict thermal conductivity of food as a function of moisture content, temperature and apparent porosity. *Food Research International*, 36: 617–623.
- [19] Mola, D., Fallahi, H. 1995. Usage of Fluid beds in drying of Barberry. Engineering faculty. Shiraz university. Firs seminar of Barberry. (In Persian)
- [8] Dayhoff, J. E. 1990. *Neural Network Principles*. Prentice-Hall International, U.S.A.
- [9] Behroozi Khazae, N. 2007. Quality prediction of Raisin using Artificial Neural Network. M.sc. thesis. Department of Mechanic of Agricultural Machinery. Agricultural faculty. Tarbiat Modares University. (In Persian)
- [10] Satish, S and Pydi Setty, Y.P. 2005. Modeling of a continuous fluidized bed dryer using artificial neural networks. *Int. Commun. Heat and Mass Transfer* 32: 539–547.
- [11] Movagharnejad, K., Nikzad, and Maryam., 2007. Modeling of tomato drying using artificial neural network. *Computers and Electronics in agriculture*. 59: 78-85.
- [12] Amiri Chayjan, R., 2006. Intelligent Prediction of drying process of Rice. P.h.d thesis. Department of Mechanic of Agricultural Machinery. Agricultural faculty. Tarbiat Modares University. (In Persian)
- [13] Telis, V., Lourencon, V.A., Gabas, A.L., and Telis-Romero, J. 2006. Drying rates of Rubi grapes submitted to chemical pretreatments for raisin production. *Pesq.agropec.bras.,Brasilia.*, 41: 503-509.

Modeling of thin-layer drying kinetics of barberry Fruit (*Berberis Vulgaris*) using artificial neural network

Gorjian, Sh. ^{1*}, Tavakoli Hashtjin, T. ², Khosh Taghaza, M. H. ³

1. M.Sc. graduate (Ph.D. student) of Agricultural Machinery Mechanics, Tarbiat Modares University

2. Professor of Agricultural Machinery Mechanics, Tarbiat Modares University

3. Associated professor of Agricultural Machinery Mechanics, Tarbiat Modares University

(Received: 89/9/23 Accepted: 89/12/25)

In order to investigate the effect of different levels of temperature, velocity and pretreatment on the drying time of thin layer of Barberries (*berberis vulgaris*), an experiment using a factorial experiment conducted carried out based on completely randomized block design with three levels of temperature and three levels of velocity for untreated berries and treated berries with heat shocking and "6% K₂CO₃ + 3% olive oil" emulsion with three replicates. Drying times were affected by temperature and pretreatment at the probability level of 99%. The maximum drying time was recorded 2920 minutes for untreated berries at the temperature and velocity of 60 °C and 0.3 m/s respectively and the minimum drying time was recorded 70 minutes for treated berries with K₂CO₃ and olive oil emulsion. In our study multi layer perceptron (MLP) Neural Network with an adjustment learning algorithm of Levenberg-Marquardt with sigmoid logarithm and sigmoid tangent functions were used. The best topology of MLP with LM learning algorithm and Tansig threshold function can predict the moisture content was 4-30-16-1 with correlation coefficient of 0.9992 and actual error of 0.00025. Besides the best topology of this neural structure with Logsig threshold function can predict the moisture content was 4-25-5-1 with correlation coefficient of 0.9991 and actual error of 0.00032. These results indicate ability of artificial neural network to model and predict drying process.

Keywords: Barberry fruit, Artificial Neural Network, Pretreatment, Completely randomized block, Perceptron.

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