

## بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میزان چروکیدگی نخود سبز در یک خشک‌کن بستر سیالی با کمک ماکروویو

لیلا مؤمن زاده<sup>۱\*</sup> - علی زمردیان<sup>۲</sup> - داریوش مولا<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۳

### چکیده

در این تحقیق خواص خشک شدن نخود سبز (*Pisum satium*) با رطوبت اولیه ۷۶٪ بر پایه خشک (db) در یک خشک‌کن بستر سیالی با کمک ماکروویو مورد مطالعه قرار گرفت. چهار سطح دمای هوای خشک‌کننده (۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد) و پنج سطح توان ماکروویو از جمله پارامترهای مورد مطالعه می‌باشد. یکی از مهمترین تغییرات فیزیکی که در زمان خشک کردن مواد غذایی همراه با نفوذ رطوبت بخارج از ماده رخ می‌دهد، کاهش حجم پوسته خارجی یا چروکیدگی می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان چروکیدگی محصول، در ابتدا و انتهای هر آزمایش توسط یک کولیس سه بعد عمود بر هم نمونه‌ها اندازه‌گیری و یادداشت شد تغییرات حجم قرائت گردید. مشاهده شد که با افزایش توان ماکروویو و دمای هوای خشک‌کننده مورد استفاده میزان چروکیدگی محصول به دلیل سرعت بخشیدن به نرخ خروج رطوبت کاهش می‌یابد. در ادامه این تحقیق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل مناسبی برای یافتن مدت میزان چروکیدگی (پارامتر خروجی شبکه) ارائه گردید. توان ماکروویو، دمای هوای خشک‌کننده و محتوای رطوبت دانه به عنوان پارامترهای ورودی مدل می‌باشد. نتیجه نشان داد که شبکه عصبی مورد استفاده با ۴ نرون و تابع logsig و الگوریتم پس انتشار trainrp بهینه حالت ممکن برای پیش‌بینی میزان چروکیدگی محصول می‌باشد. برای اعتبار سنجی مدل از (RMSE)، (MAE) و (SE) استفاده شد و نتایج نشان داد که این مقادیر کمتر از ۵٪ می‌باشد این در حالی است که ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بیشتر از ۹۸٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نخودسبز، خشک‌کن بسترسیالی، ماکروویو، شبکه عصبی مصنوعی

### مقدمه

سیالی<sup>۵</sup>، خشک‌کن‌های تبخیری، خشک‌کن‌های استوانه‌ای<sup>۶</sup>، خشک‌کن‌های انجمادی<sup>۷</sup>، خشک‌کن‌های رطوبت‌گیری اسمزی<sup>۸</sup>، خشک‌کن‌های ماکروویو<sup>۹</sup> و دی‌الکتریک<sup>۱۰</sup> می‌باشد، ادامه یافته است. می‌توان گفت که خشک‌کن‌ها بستر سیالی یکی از مناسبترین خشک‌کن‌ها در میان خشک‌کن‌های ذکر شده می‌باشد چون در آنها یکنواختی خشک شدن افزایش می‌یابد (۱۷). اما مشکلی که این خشک‌کن‌های بستر سیالی در خشک کردن مواد دارد، نیاز آنها به مدت زمان زیاد برای خشک کردن محصول است. می‌توان گفت که ادغام خشک‌کن‌های بستر سیالی و میکروویو موجب بهبود در

فرایند خشک کردن<sup>۲</sup> می‌تواند یکی از مهمترین فرایندها در تهیه مواد غذایی از محصولات کشاورزی باشد. خشک کردن حذف حداکثر آب از محصول مورد نظر با هدف افزایش مدت ماندگاری است. تکنولوژی خشک کردن با استفاده از انرژی خورشید پدید آمده تا به تکنولوژی امروزه که شامل خشک‌کن‌های صفحه‌ای، خشک‌کن‌های تونلی<sup>۳</sup>، خشک‌کن‌های پاششی<sup>۴</sup>، خشک‌کن‌های بستر

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

۳- استاد بخش مهندسی شیمی دانشگاه شیراز

(\*)- نویسنده مسئول: (Email: leilymomen@yahoo.com)

- 2- Drying
- 3- Tunnel dryer
- 4- Spray dryer

- 5- Fluidized bed dryer
- 6- Drum dryer
- 7- Freeze dehydration
- 8- Osmotic dehydration
- 9- Microwave dryer
- 10- Dielectric dryer

سنجی می شود.

### مواد و روش ها

هدف از تلفیق روش خشک کن بستر سیالی و ماکروویو و انجام این آزمایشات توسعه دامنه کاری و ارزیابی عملکرد آن برای نخود فرنگی (*Pisum sativum*) تازه برداشت شده بوده است.

### ساختمان خشک کن و متعلقات آن:

دستگاه خشک کن تلفیقی از قسمت های اصلی زیر است که عبارتند از: کمپرسور، سوپاپ تنظیم کننده هوا، جریان سنج، ترموستات، دستگاه کنترل کننده حرارت، لوله های عبور دهنده هوا و اجاق ماکروویو که شرح در شکل (۱) اجزاء این خشک کن نشان داده شده است.

سیستم تأمین و انتقال هوا مورد استفاده برای این خشک کن تلفیقی یک کمپرسور<sup>۲</sup> می باشد. این کمپرسور تولیدی شرکت تهران کمپرسور می باشد که مدل آن SCLL – TC و دارای قدرت ۱۵ اسب بخار و فشار Ybar و میزان دقت هوادهی آن  $\pm 1/2 \text{ m}^3/\text{min}$  می باشد. میزان جریان هوای مورد نیاز برای به حالت سیال در آوردن محصولات در این آزمایشات  $1/650 \text{ l}/\text{min}$  بود که توسط کمپرسور تأمین گردید. این میزان دبی برای تولید یک بستر سیال با این نمونه از محصولات مناسب می باشد به گونه ای که گرمادهی و تابش اشعه به صورت یکنواخت اعمال گردد (۱). هوای خروجی از کمپرسور در ادامه مسیر از یک جریان سنج<sup>۳</sup>  $1/\text{min} \pm 1$  عبور کرده. در این آزمایشات به دلیل نیاز به یک دبی ثابت این دبی مرتباً توسط این دستگاه جریان سنج مورد بررسی قرار می گرفت. ماکروویو استفاده شده در این تحقیق مدل (LG, MC – 2003TR (S) و کشور سازنده آن کره می باشد که با فرکانس ۲۴۵۰ MHz کار می کند. حجم تقریبی ماکروویو  $0.075 \text{ m}^3$  بوده با ابعاد خارجی: (ارتفاع)  $376 \text{ mm} \times$  (عرض)  $574 \text{ mm} \times$  (طول)  $505 \text{ mm}$ . توان قابل استفاده در این ماکروویو می تواند در پنج سطح مختلف: ۱۸۰، ۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰ و ۹۰۰ وات تنظیم شود. بر روی دهانه ورودی هوای داخل ماکروویو یک استوانه از جنس پیرکس<sup>۴</sup> (QVF) تعبیه شده است. این استوانه قسمت خشک کن بستر سیالی دستگاه مورد استفاده را تشکیل می دهد. ابعاد این استوانه عبارتند از:  $90 \text{ mm}$  قطر داخلی (  $100 \text{ mm}$  قطر خارجی) و  $280 \text{ mm}$  ارتفاع و می توان گفت تاثیر ارتفاع استوانه (اثر دیواره ای)<sup>۵</sup> در این خشک کن کمتر از ده می باشد باشد پس می توان از آن صرف نظر کرد. برای اندازه گیری وزن

مدت زمان مصرفی و کیفیت محصول می شود. علاوه بر این مزیت یکنواختی در خشک کردن محصول بدلیل تابش پرتو میکروویو افزایش می یابد (۱).

یکی از مهمترین تغییرات فیزیکی که در زمان خشک کردن مواد غذایی همراه با نفوذ رطوبت بخارج از ماده رخ می دهد، کاهش حجم پوسته خارجی یا چروکیدگی میباشد. پدیده چروکیدگی تأثیرات فراوانی بر روی نرخ خشک شدن و همچنین ضریب نفوذ<sup>۱</sup> مواد که یکی از پارامترهای اساسی در فرایند خشک کردن قلمداد می گردد می گذارد (۹). از دست دادن رطوبت و عامل گرما باعث می گردد که ماده غذایی تغییر شکل داده و ابعاد آن کاهش یابد (۱۰). معمولاً نسبت حجم نهائی به حجم اولیه نمونه خشک شونده، چروکیدگی اطلاق می گردد.

در طول فرایند خشک شدن، خروج آب از سلول باعث کاهش تنشی می گردد که از طرف مایع بر دیواره سلول اعمال گردیده است. این کاهش تنش باعث چروکیدگی مواد می گردد. کمیت این پدیده مهم می باشد زیرا اجازه می دهد تا سینتیک خشک شدن و در نتیجه کلاً پدیده خشک شدن مورد تغییر قرار گیرد (۱۲).

برای حل مدل این فرایند روش های معمول (موازنه جرم و انرژی) حل معادلات موجود است اما بخاطر وقت گیر بودن حل این معادلات روش های سریع تری چون شبکه عصبی مصنوعی هم موجود است. شبکه های عصبی از عناصر عملیاتی ساده ای به صورت موازی ساخته می شوند. این عناصر از سیستم های عصبی زیستی الهام گرفته شده اند شبکه های عصبی از دو ویژگی اساسی یادگیری براساس ارائه داده های تجربی و ساختارپذیری موازی برخوردار می باشند. این شبکه ها برای مسائل کنترل، علی الخصوص سیستم های پیچیده که مدل سازی این سیستم ها یا میسر نیست و یا به سختی انجام می شود بسیار مناسب می باشد (۶).

در این زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفته است همچون: کیلیاتریک و همکاران (۱۹۵۵)، سوزوکی و همکاران (۱۹۶۷)، لانگ و همکاران (۱۹۹۴)، اچانتا و همکاران (۱۹۹۷)، هرناردز و همکاران (۲۰۰۰)، هاتمی پور و مولا (۲۰۰۲ و ۲۰۰۳)، سبلانی و رحمان (۲۰۰۳)، استاتیش و پیدی (۲۰۰۴)، عباسی سورکی و مولا (۲۰۰۸).

هدف از انجام این تحقیق بررسی بهبود کیفی محصول نخود سبز نسبت به خشک کردن سنتی به وسیله اندازه گیری خواص فیزیکی (بررسی میزان چروکیدگی) ماده خشک شونده. در این تحقیق از نخود به عنوان ماده خشک شونده استفاده می شود و با کمک گرفتن از روش های شبکه عصبی مدل مناسبی را برای این فرایند ارائه خواهد شد در نهایت با مقایسه جواب های بدست آمده از مدل و داده های بدست آمده در طول آزمایش مدل بدست آمده ارزش

2- High – pressure air source  
3- Rota meter  
4- Pyrex  
5- Wall effect

1- Diffusion

$$SE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (D_{p,exp,i} - D_{p,cal,ir})^2}}{N - 1} \quad (۳)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{D}_{p,exp,i} - \bar{D}_{p,cal,i})^2 \right]^{1/2} \quad (۴)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (D_{p,exp,i} - \bar{D}_{p,exp,i})^2 - \sum_{i=1}^N (D_{p,exp,i} - \bar{D}_{p,cal,i})^2}{\sum_{i=1}^N (D_{p,exp,i} - \bar{D}_{p,exp,i})^2} \quad (۵)$$

همان گونه که در تصویر (۲) نشان داده شده ورودی های این شبکه عصبی شامل توان ماکروویو در شش سطح، دمای هوای خشک کننده در چهار سطح و محتوای رطوبتی محصول در هر زمان و خروجی این شبکه میزان چروکیدگی محصول در محتوای رطوبت مورد نظر می باشد. لایه میانی در این شبکه تک لایه می باشد که شامل ۴ نرون است با اجرای شبکه و بررسی حالت های مختلف شبکه عصبی می توان گفت که تابع Logsig و نوع آموزش trainrp و الگوریتم پس انتشار بهینه حالت برای اجرای شبکه مورد نظر می باشد. با بررسی خطای میان خروجی حاصل از شبکه و خروجی حاصل از انجام آزمایشات می توان دید که این شبکه دارای کمترین خطای خروجی می باشد.

### مراحل انجام آزمایش

در هر مرحله از آزمایشات سه دانه از محصول مورد استفاده در آزمایش به داخل بستر سیال آویزان کرده تا به عنوان نمونه مرتباً وزن شوند. این سه نمونه باید به گونه ای انتخاب شوند که نماینده کل محصول باشند. آویزان کردن توسط نخ نسوز بوده و در توده محصول معلق می باشد. شرایط دمای هوای محیط و دمای هوای ورودی و خروجی به ماکروویو در طول آزمایشات مرتباً کنترل می شد. زمانی خشک شدن پایان می پذیرفت که چند توزین آخر در دقایق پایانی دارای اختلاف حدود ۰/۰۰۵ گرم باشد.

در شروع و پایان هر آزمایش تغییرات قطر میانگین (معادله ۱) مورد محاسبه قرار می گرفت تا از این راه میزان چروکیدگی محصول محاسبه شود. در این آزمایش ها چهار سطح دمای هوای خشک کننده: ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد ( $\pm 1$  درجه سانتی گراد) می باشد و شش سطح توان ماکروویو: صفر، ۱۸۰، ۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰ و ۹۰۰ وات ( $\pm 10$  وات) مورد استفاده قرار گرفتند. در طی این آزمایشات رطوبت نخود سبز از ۷۶٪ به ۲۵٪ بر پایه خشک رسید.

نمونه ها از یک ترازو با دقت  $\pm 0/005$  g مدل MW-150 OT و ظرفیت ۱۵۰ گرم استفاده شده است.

### سنجش چروکیدگی محصول

برای اندازه گیری میزان چروکیدگی محصول، در ابتدا و انتهای هر آزمایش توسط یک کولیس (Mitutoyo, Japan, 0.05mm) سه بعد عمود بر هم نمونه ها اندازه گیری و یادداشت شد تغییرات حجم قرائت گردید (معادله (۱)) (۱۱).

$$D = \sqrt[3]{\frac{abc}{3}} \quad (۱)$$

### مدل شبکه عصبی مورد استفاده برای تخمین میزان

#### چروکیدگی نخود سبز:

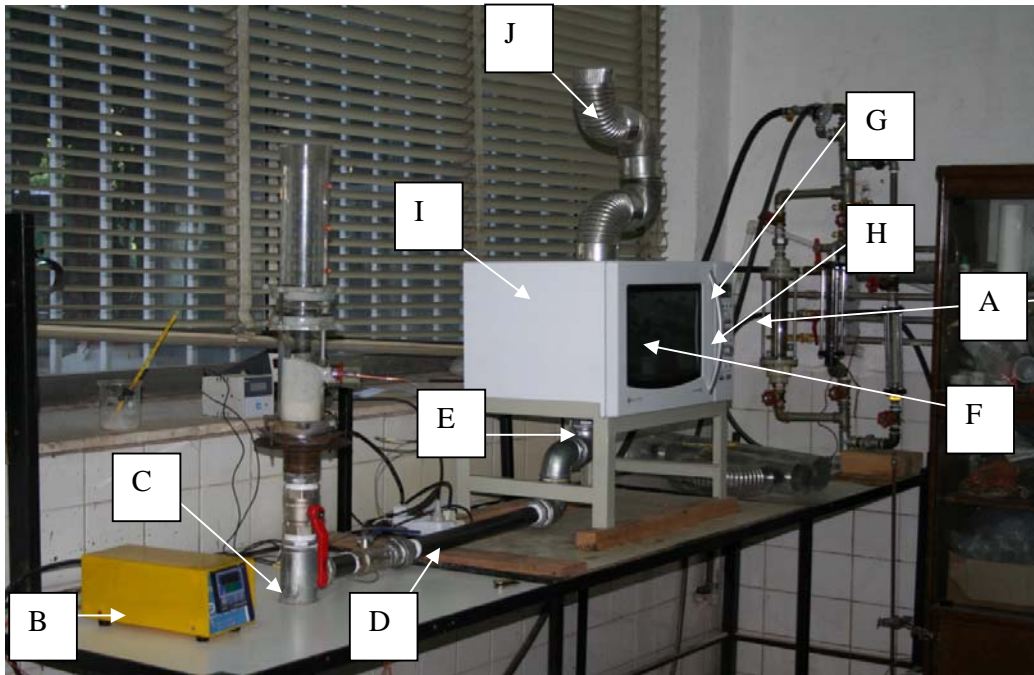
داده های به دست آمده در مدت آزمایشات به دو قسمت تقسیم می شوند یک قسمت برای آموزش شبکه<sup>۱</sup> و قسمت دیگر برای اعتبارسنجی<sup>۲</sup> مدل استفاده شده به کار می رود (۱۶).

شبکه مورد استفاده در این پروژه یک لایه ورودی<sup>۳</sup>، یک لایه میانی<sup>۴</sup> و یک لایه خروجی<sup>۵</sup> دارد. لایه ورودی شامل سه دسته از داده ها می باشد: توان ماکروویو، دمای هوای ورودی به خشک کن، رطوبت سنجی محصول در هر زمان، لایه خروجی نیز یک دسته می باشد که شامل میزان چروکیدگی محصول در محتوای رطوبت مورد نظر می باشد.

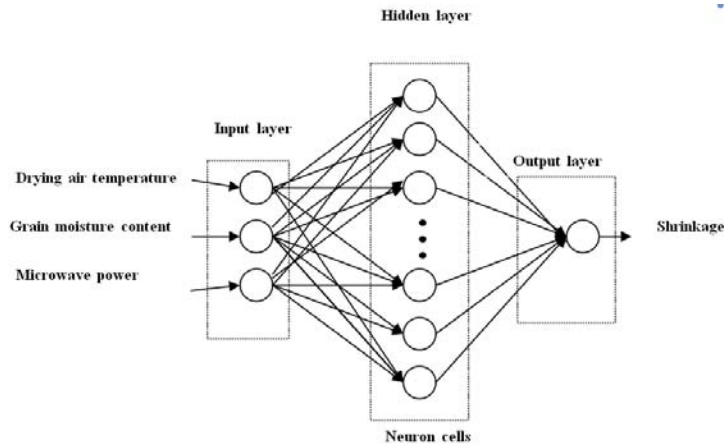
همان گونه که بیان شد داده های آزمایش به دو دسته تقسیم می شود. داده های مورد استفاده برای آموزش شبکه برای نخود فرنگی ۱۳۰ داده می باشد و باقیمانده داده ها ۳۴ داده می باشد که برای اعتبارسنجی مدل بکار گرفته شد. نرم افزار مورد استفاده برای این مدل مطلب ۷۰۰ می باشد. در جدول (۱) فهرستی از تابع های آموزشی در شبکه آورده شده است. هم چنین با فرمول های آماری مدل به دست آمده اعتبارسنجی شده به گونه ای که (MAE)<sup>۶</sup>، (SE)<sup>۷</sup> و (RMSE)<sup>۸</sup> کمترین میزان خود را حاصل کرده و (R<sup>2</sup>)<sup>۹</sup> ماکزیمم مقدار مقدار باشد. که در ذیل به این معادلات اشاره شده است:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |D_{p,exp,i} - \bar{D}_{p,cal,ir}| \quad (۲)$$

- 1- Training
- 2- Validation
- 3- Input layer
- 4- Hidden layer
- 5- Output layer
- 6- Mean absolute error
- 7- Standard error
- 8- Root mean square error
- 9- Correlation coefficient



شکل ۱- خشک کن تلفیقی بستر سیالی و ماکروویو مورد استفاده در پروژه  
 G: زمان سنج، H: تنظیم قدرت ماکروویو، I: دستگاه ماکروویو، J: مسیر خروج هوا، A: روماتر، B: ترموستات، C: سیستم کنترل حرارت<sup>۱</sup>  
 D: مسیر عبور هوا، E: شبکه مخصوص عبور هوا، F: نمونه های مورد آزمایش



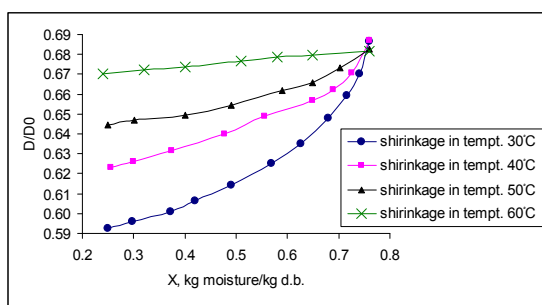
شکل ۲- شماتیکی از مدل عصبی مورد استفاده برای تعیین میزان چروکیدگی محصول

- 1- Timer
- 2- Microwave power control
- 3- Microwave oven
- 4- Air exit
- 5- Rotameter
- 6- Temperature controller
- 7- Heat control system
- 8- Air duct
- 9- Air distributor

جدول ۱- فهرستی از تابع های آموزشی پس انتشار در شبکه عصبی

Transfer function	Training algorithms
logsig (Log sigmoid)	scg (Scaled conjugate gradient back propagation)
tansig (Hyperbolic tangent sigmoid)	cgp (Polak-Ribiere conjugate gradient back propagation)
poslin (Positive linear)	bfg (BFGS quasi-Newton back propagation)
satlin (Saturating linear)	lm (Levenberg-Marquardt back propagation)
	rp (Resilient back propagation; Rprop)

همان گونه که بیان شد سرعت خروج آب را تسریع بخشیده و مجالی به تغییر شکل محصول نمیدهد.



شکل ۳- تغییرات مقدار چروکیدگی نخود سبز نسبت به مقدار رطوبت برای دماهای مختلف هوای خشک کننده در خشک کن بستر سیالی در حالت بدون استفاده از انرژی گرمایی ماکروویو

### شبکه عصبی مورد استفاده برای تخمین میزان چروکیدگی محصول نخودسبز در خشک کن بستر سیالی با کمک ماکروویو:

با توجه به این که شبکه های عصبی ابزار مناسبی برای بدست آوردن مدل های پیچیده غیرخطی بوده که برای محاسبه آنها نیاز به حل معادلات پیچیده نمی باشد و برای آموزش شبکه عصبی تنها به داده های ورودی - خروجی که در آزمایشگاه بدست آمده اند نیازمند است. ابزار مناسبی برای حل معادلات و یافتن مدل مناسب می باشد. برای اجرای این برنامه از الگوریتم پس انتشار استفاده شده که تابع آموزشی آن logsig از نوع trainlm می باشد. در ابتدای شروع اجرای برنامه با یک نرون آموزش شروع گردید تا نهایتاً ۸ نرون آموزش داده شد. در ابتدای آموزش تا ۳ نرون مرتباً خطای مدل افزایش می یافت و از ۳ تا ۴ نرون خطا روند کاهشی را نشان داد و بین ۴ تا حداکثر ۸ نرون دیگر تفاوت معنی داری بین خطاها مشاهده نگردید. بنابراین تصمیم گرفته شد تا شبکه با ۴ نرون آموزش داده شود. با کمک داده های آزمایشگاهی باقیمانده (کل داده ها ۱۶۴ داده می باشد، ۱۳۰ داده جهت آموزش، ۳۴ داده جهت ارزیابی) صحت

### نتایج و بحث

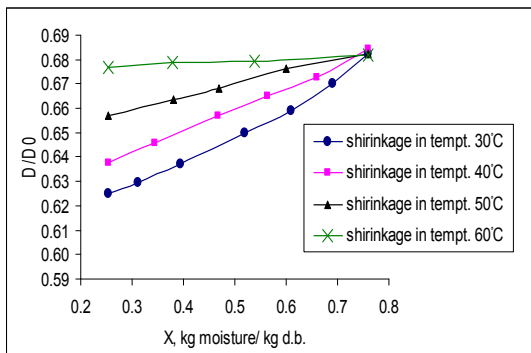
همان گونه که قبلاً بیان شد یکی از مهمترین تغییرات فیزیکی نامطلوب که در زمان خشک کردن مواد غذایی همراه با خروج رطوبت رخ می دهد چروکیدگی می باشد و این پدیده بر روی شدت خشک شدن و هم چنین ضریب نفوذ مواد که یکی از پارامترهای اساسی در فرآیند خشک کردن می باشد اثر می گذارد.

شکل های ۳ و ۴ تغییرات چروکیدگی ( $D/D_0$ ) را برای هوای خشک کننده ۳۰ و ۴۰ و ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد برای سیستم های بستر سیالی به تنهایی و تلفیق بستر سیالی و ماکروویو به ترتیب برای ذرت دانه ای و نخود سبز نشان می دهند و شکل ۵ نرخ تغییرات کاهش حجم را نسبت به پیشرفت فرایند خشک شدن که در درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی گراد به عنوان نمونه رسم شده است نشان می دهد. بدیهی است در سایر درجه حرارت های هوای خشک کننده روند تغییرات مانند نمودار فوق الذکر است. در حالتی که از توان ماکروویو استفاده نشده چروکیدگی بالا بوده ولی در حالت ترکیبی چروکیدگی به میزان قابل توجهی کاهش یافته و تقریباً نمودارها خطی می باشند. نتایج بیانگر آن است که در دماهای بالاتر مقدار چروکیدگی کاهش می یابد، ولی در حالت استفاده از خشک کن بستر سیالی با کمک ماکروویو به عنوان منبع گرمایش، چروکیدگی با سرعت کمتری افزایش می یابد. نخود فرنگی دارای رطوبت اولیه زیاد میباشد و در طول فرایند خشک شدن بواسطه چروکیدگی که قابل ملاحظه هم میباشد، تغییراتی در ساختمان اولیه آنها پدید می آید. بافت نخود سبز دارای خاصیتی بنام فشار تورمی<sup>۱</sup> میباشد، بدین صورت که مایع موجود در دیواره سلول فشاری بر دیواره سلول ایجاد می نماید و مایع در داخل سلول تحت فشار قرار می گیرد. در طول فرایند خشک شدن، خروج آب از سلول باعث کاهش تنش می گردد که از طرف مایع بر دیواره سلول اعمال گردیده است. این کاهش تنش باعث چروکیدگی بافت تشکیل دهنده ماده می گردد. کمیت این پدیده مهم بوده زیرا اجازه می دهد تا سینتیک خشک شدن و در نتیجه کلاً پدیده خشک شدن دستخوش تغییرات گردد. این در حالی است که انرژی ماکروویو

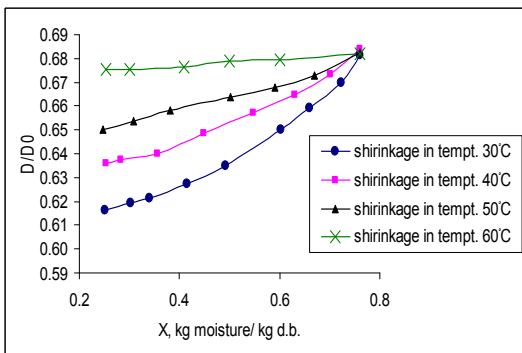
<sup>۱</sup>. Turgor pressure

جدول (۲) مقادیر (MAE)، (SE) و (RMSE) که در حداقل میزان خود می باشد نشان داده شده است.

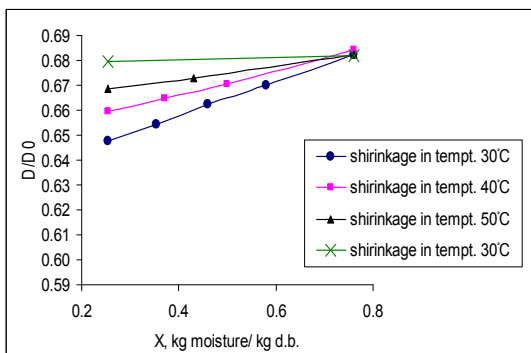
عملکرد شبکه مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل (۶) داده های آزمایشگاهی با داده های پیشبینی شده مورد مقایسه قرار گرفته که از ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بسیار بالایی برخوردار است. هم چنین در



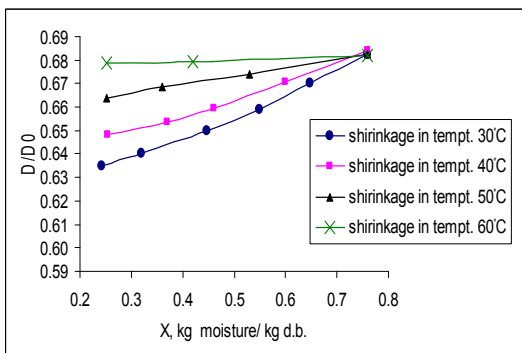
(b)



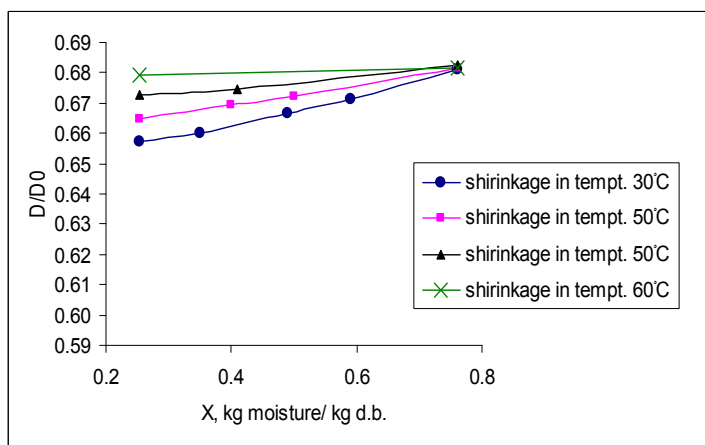
(a)



(d)



(c)

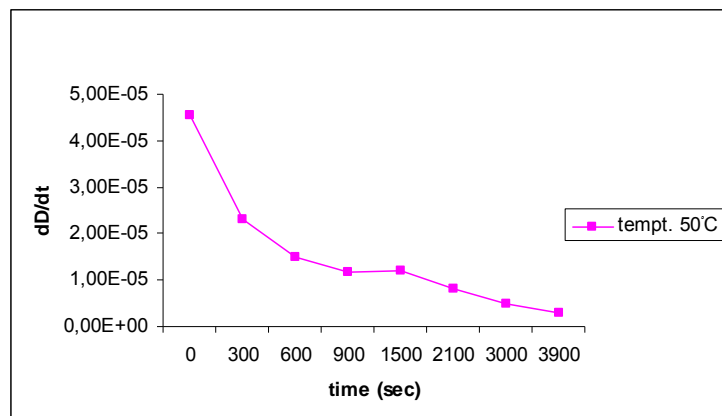


(e)

شکل ۴- تغییرات مقدار چروکیدگی نخود سبز نسبت به مقدار رطوبت برای دماهای مختلف هوای خشک کننده در خشک کن بستر سیالی در حالت با استفاده از انرژی گرمایی ماکروویو،

(a: 180, b: 360, c: 540, d: 720 and e: 900W)

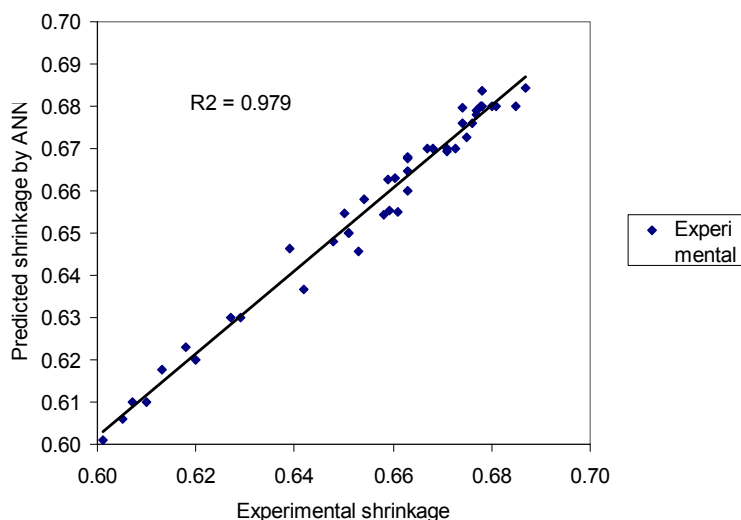
(b)



شکل ۵- تغییرات کاهش حجم نسبت به پیشروی فرایند خشک شدن

جدول ۲- نتایج حاصل از استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین میزان چروکیدگی برای محصول نخود سبز

منابع خطا	میزان خطا
Mean absolute error (MAE)	۰/۵۱۶
Root mean square error (RMSE)	۰/۶۵۲
Standard error (SE)	۰/۱۵۸
Correlation coefficient ( $R^2$ )	۰/۹۷۹



شکل ۶- مقایسه داده های آزمایشگاهی با داده های پیش بینی شده توسط شبکه عصبی برای تخمین میزان چروکیدگی دانه های نخود سبز

محصول به دلیل سرعت بخشیدن به نرخ خروج رطوبت کاهش می یابد. با افزایش دمای هوای خشک کننده نیز میزان چروکیدگی محصول کاهش می یابد.  
خشک کن بستر سیالی علی رغم خشک کردن یکنواخت

### نتیجه گیری

نتایج آزمایشات مشخص کرد: با افزایش توان ماکروویو مورد استفاده میزان چروکیدگی

مدل ANN مشخص شد که ANN ابزاری توانمند در مدل کردن خشک کن بستر سیالی می باشد. افزایش داده های ورودی به شبکه عصبی امکان شبیه سازی دقیق تر را برای مدل فراهم می کند. انتخاب تعداد نرون بر اساس تجربه های به دست آمده امری بسیار مهم در انتخاب مدل می باشد.

محصول احتیاج به مدت زمان زیادی برای خشک کردن دارد و این موجب افزایش چروکیدگی محصول گشته و کیفیت آن را کاهش می دهد. ادغام این روش با خشک کن ماکروویو نشان داد که مدت زمان مورد نیاز برای خشک کردن محصول به صورت قابل توجهی کاهش یافته است و چروکیدگی کاهش میابد. از مقایسه داده های تجربی با اطلاعات به دست آمده از

### نمادها

a, b, c	اندازه سه قطر عمود بر هم
D	قطر میانگین نمونه
D <sub>0</sub>	قطر اولیه نمونه
MAE	Mean absolute error
X	محتوای رطوبت
N	تعداد مشاهدات
R <sup>2</sup>	Correlation coefficient
RMSE	Root mean square error
SE	Standard error
t	زمان
D <sub>p, exp, i</sub>	چروکیدگی محصول در هر آزمایش
D <sub>p, cal, i</sub>	چروکیدگی محصول بدست آمده از شبکه عصبی

### منابع

1. Abbasi Souraki, B., and Mowla, D., 2008, Axial and radial moisture diffusivity in cylindrical fresh green beans in a fluidized bed dryer with energy carrier: Modeling with and without shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 88, 9-19.
2. Achanta, S., Okos, M.R., Cushman, J. H., and Kessler, D. P., 1997. Moisture transport in shrinkage gels during saturated drying. *AIChE L.*, 43, 2112-2122.
3. Hatamipour, M. S., and Mowla, D., 2002, Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. *Journal of Food Engineering*, 55, 247-252.
4. Hatamipour, M. S., and Mowla, D., 2003, Correlations for shrinkage, density and diffusivity for drying of maize and green peas in a fluidized bed with energy carrier. *Journal of Food Engineering*, 59, 221-227.
5. Hernandez, J.A.; Pavon, G., and Garcia, M.A., 2000. Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modeling food-drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 45, 1-10.
6. Kerdpi boon, S., Kerr, W., Devahastin, S., 2006, Neural network prediction of physical propertt changes of dried carrot as a function of fractal dimension a moisture content. *Food Research International*, 39(10), 1110-1118.
7. Kilpatrick, P. W.; Lowe, E. and Van Arsdel, W. B., 1955. Tunnel dehydrators for fruit and vegetables. In *Advances in Food Research*, ed. W. B. Van Arsdel, Vol. 6, Academic Press, New York, 313-372.
8. Lang, W.; Sokhansanj, S. and Rohani, S., 1994. Dynamic shrinkage and variable parameters in Bakker-Arkema's mathematical simulations of wheat and canola drying. *Drying Technology*, 12 (7), 1687-1708
9. Lima, A.G.B., Nebra, S.A., and Queiroz, M.R. 2002. Simultaneous Moisture Transport and Shrinkage, During Drying of Solids with Ellipsoidal Configuration. *Chemical Engineering Journal*, 86, No. 1-2, 85-93.
10. Mayor, L., and Sereno A. M. 2004. Modeling shrinkage during convective drying of food material: a review. *Journal of Food Engineering*, 18, 373-386
11. Mohsenin, N.N., 1996, Physical characteristics, In *Physical properties of plants and animal materials*, (Gordon and Breach Science Publishers, Canada), pp. 79-127.
12. Prado, MET. Drying of dates (Phoenix Dactylifera L.) to obtain dried date (passa). Campinas, UNICAMP 1998; Master Degree Thesis.
13. Sablani, S. and Rahman, M. 2003. Using neural networks to predict thermal conductivity of food as a function



- of moisture content, temperature and apparent porosity. *Food Research International*, 36(6), 617-623.
14. Satish, S., and Pydi Setty, Y., 2004, Modeling of a continuous fluidized bed dryer using artificial neural networks. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32,539-547.
  15. Suzuki, K.; Kiyoshi, K.; Hasegawa, T. and Hosaka, H., 1976. Shrinkage in dehydration of root vegetables. *Journal of Food Science*, 41, 1189-1193.
  16. Tripathy, P.P., and Kumar S., 2008. Neural network approach for food temperature prediction during solar drying. *International Journal of Thermal Science*, 48, 1452-1459.
  17. Strumillo C, and T Kudra. *Drying: principles, applications, and design*. Editors. Gordon and Breach science publishers 1996, USA.

## Applying Artificial Neural Network for Shrinkage Prediction of Green Pea in a Microwave Assisted Fluidized Bed Dryer

L. Momenzadeh<sup>1\*</sup>- A. Zomorodian<sup>2</sup>- D. Mowla<sup>3</sup>

Received: 5-10-2010

Accepted: 23-4-2011

### Abstract

In this search drying characteristics of green pea (*Pisum sativum*) with an initial moisture content of 76% (db) was studied in a fluidized bed dryer assisted by microwave heating. Four drying air temperatures (30, 40, 50 and 60°C) and five microwave powers (180, 360, 540, 720 and 900W) were adopted. At each drying operating conditions the volume of green pea was calculated by measuring the three principal characteristic dimensions and the variation of the ratio of mean diameter of the kernel to its initial mean diameter was investigated for different operating conditions. It has been shown that power of microwave and temperature of drying could reduce the shrinkage of particles considerably. Furthermore, in this study, the application of Artificial Neural Network (ANN) for predicting the drying time (output parameter) was investigated. Microwave power; drying air temperature and green pea moisture content were considered as input parameters for the model. An ANN model with 4 neurons was selected for studying the influence of transfer functions and training algorithms. The results revealed that a network with the logsig transfer function and trainrp back propagation algorithm made the most accurate predictions for the green pea drying system. In order to test the ANN model, (RMSE), (MAE) (SE) were calculated and found that the random errors were within and acceptable range of  $\pm 5\%$  with correlation coefficient ( $R^2$ ) of 98%.

**Keywords:** Green pea, Fluidized bed dryer, Microwave, Artificial Neural Network

---

1&2- Graduate student and Associate Prof., Agricultural Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran  
(\*- Corresponding author Email: leilymomen@yahoo.com)

3- Professor, Chemical Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran