



## مدل‌سازی میزان انرژی مورد نیاز و سنتتیک خشک کردن اسطوخودوس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

محمد یونسی الموتی<sup>۱\*</sup>، حمید خفاجه<sup>۲</sup>، محمد زارعین<sup>۲</sup>

۱- دانشیار مرکز آموزش عالی امام خمینی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
۲- دانش آموخته دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
\* ایمیل نویسنده مسئول: [mohamadyounesi@yahoo.com](mailto:mohamadyounesi@yahoo.com)  
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۳۱)

### چکیده

در این مطالعه به بررسی پارامترهای زمان خشک کردن، ارزیابی مدل‌های ریاضی جهت تعیین بهترین مدل، ارزیابی توپولوژی‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی MLP جهت تعیین بهترین شبکه برای گیاه اسطوخودوس با خشک‌کن مایکروویو با محدوده توان ۱۰۰-۱۰۰۰ وات و فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز در چهار سطح توان ۳۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ وات پرداخته شده است. از شبکه عصبی مصنوعی MLP برای پیش‌بینی ارتباط بین پارامترهای سنتتیک خشک کردن (نسبت رطوبت و نرخ خشک شدن) و بازده انرژی مصرفی با تغییرات توان مصرفی مایکروویو با بکارگیری نرم افزار استاتستیکا استفاده شد. از بین مدل‌های برآزش شده، مدل میدیلی به عنوان بهترین مدل با توجه به معیارهای  $R^2$ ،  $\chi^2$  و RMSE انتخاب شد. سطوح توان مایکروویو بر مدت زمان خشک شدن تأثیر داشت، به طوری که زمان خشک شدن برای توان ۹۰۰ وات ۱۸۰ ثانیه و برای توان ۳۰۰ وات ۶۶۰ ثانیه به دست آمد. به منظور پیش‌بینی پارامترهای سنتتیک خشک کردن و بازده انرژی مصرفی، شبکه MLP دارای یک ورودی و سه خروجی به طور موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به طور کلی نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی MLP یک ابزار بسیار قدرتمند در پیش‌بینی پارامترهای سنتتیک خشک کردن و بازده انرژی مصرفی گیاه دارویی اسطوخودوس بر اساس مقادیر توان مصرفی مایکروویو است.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه عصبی مصنوعی، اسطوخودوس، پیش‌بینی، بازده انرژی مصرفی مایکروویو، گیاه دارویی

## مقدمه

تولید برخی محصولات را کاهش می‌دهد (Zarein *et al.*, 2013b). خشک کردن با مایکروویو سریع‌تر، یکنواختی بهتر فرآیند خشک شدن و بازده انرژی بیشتر در مقایسه با خشک کردن با جریان هوا گرم می‌باشد. همچنین به دلیل انرژی متمرکز شده توسط امواج مایکروویو به فقط به ۲۵-۲۰ درصد فضا برای خشک کردن نسبت به روش‌های معمول احتیاج دارد (Kumar *et al.*, 2013). روش‌های متداول تحلیل پارامترهای کیفی و منحنی خشک کردن محصولات کشاورزی و غذایی در چرخه فرآوری بر مبنای روش‌های آماری یا معادلات رگرسیونی است. از آنجا که پیش‌بینی شاخصهای کیفی شامل چند متغیر ورودی و خروجی است، تحلیل آماری یا ریاضی آن مشکل و تفسیر آن دشوار است، از این رو باعث پیچیده شدن مسئله می‌شود. لذا سیستمی در پیش‌بینی دقیق‌تر عمل می‌کند که از الگوهای ورودی آموزش ببیند که این امر با بکارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی امکان‌پذیر خواهد بود (Poonnoy *et al.*, 2007). پژوهش‌های مختلفی برای خشک کردن محصولات غذایی با خشک‌کن مایکروویو انجام شده است. درویشی و همکاران لایه‌های هویج را در خشک‌کن مایکروویو، همرفتی و ترکیب مایکروویو - همرفتی خشک کرده و اثرات آن را بر زمان خشک کردن، آهنگ تبخیر و تغییرات رنگ مورد بررسی و مقایسه قرار دادند (Darvishi *et al.*, 2012). زارعین و همکاران مدل‌سازی ریاضی را برای خشک کردن لایه‌های هویج با خشک‌کن مایکروویو به دست آورده‌اند (Zarein *et al.*, 2013 a). وانگ و همکاران مدل‌سازی ریاضی را برای خشک کردن سیب با

اسطوخودوس با نام علمی ( *Lavandula stricta Del.* ) گیاهی چندین ساله به ارتفاع حدود نیم‌متر با برگ‌های متقابل، باریک، دراز سبز رنگ و پوشیده از کرک‌های سفید پنبه‌ای است. گل‌های آن به رنگ بنفش و بصورت سنبله می‌باشد. قسمت مورد استفاده این گیاه، گل‌ها و سرشاخه‌های گلدار آن است. این گیاه دارویی بوی بسیار مطبوعی داشته، طعم آن تلخ است و به علت بوی مطبوع آن در صنعت عطرسازی استفاده می‌شود (Bakkali *et al.*, 2008). خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد است (Arslan *et al.*, 2004) (Rajamohan *et al.*, 2014). در خشک‌کن‌های با هوای گرم به دلیل این که هدایت حرارتی پایین است و انتقال حرارت به قسمت‌های داخلی ماده غذایی محدود شده است، راندمان انرژی پایین آمده، مدت زمان طولانی‌تری برای خشک کردن لازم است (Esmaili *et al.*, 2007). برای رفع این مشکل و جلوگیری از کاهش کیفیت و دستیابی به یک فرآیند حرارتی مؤثر، از مایکروویو برای خشک کردن مواد غذایی استفاده شده است. کاربرد مایکروویو در خشک کردن، گستره‌ی وسیعی از صنایع شامل صنایع غذایی، صنایع شیمیایی، اتومبیل‌سازی و غیره را در برمی‌گیرد. در هر مورد سامانه‌های خشک کردن مایکروویو، زمان خشک کردن را به طور قابل توجهی کاهش داده‌اند، بدون این که اثر منفی بر روی کیفیت محصول داشته باشند. گرمایش حجمی ناشی از نفوذ مایکروویو و کاهش هزینه‌های فرآیند، مایکروویو را به منبع جذاب انرژی حرارتی تبدیل کرده است. زمان‌های کوتاه‌تر فرآوری، به میزان قابل توجهی هزینه‌های

شد. بهترین شبکه با دو لایه پنهان که در هر کدام ۴ نورون بود، بدست آمد. شبکه بدست آمده قادر بود قابلیت هدایت حرارتی را با دقت میانگین خطای نسبی ۱۲/۶٪ و میانگین خطای مطلق ۰/۰۸۱ پیش‌بینی کند (Erenturk & Erenturk, 2007). فرآیند خشک کردن گیاه دارویی اسطوخودوس یک فرآیند غیر خطی و زمان‌بر است و یکی از مهمترین مسائل در خشک کردن آن رسیدن به یک محتوای رطوبت نهایی مطلوب است. خشک کردن بیش از حد اسطوخودوس، باعث مصرف زیاد انرژی شده و کیفیت محصول خشک شده نیز کاهش می‌یابد و با توجه به محدودیتهای تکنولوژیکی در اندازه‌گیری پیوسته محتوای رطوبتی و نارضایتی از دقت آن و همچنین نبودن دقت مناسب مدل‌های فیزیکی بر اساس پارامترهای هوای خشک در اندازه‌گیری محتوای رطوبت در فرآیندهای غیرخطی و زمان-بر، باعث شده از روش‌های هوش مصنوعی بخصوص از شبکه‌های عصبی مصنوعی در کنترل فرآیند خشک کردن استفاده شود. استفاده از شبکه‌های عصبی در طراحی و انتخاب شرایط کاری بهینه و کنترل خشک‌کن می‌تواند به کار رود. بنابراین هدف از این پژوهش، مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی MLP برای پیش‌بینی ارتباط بین پارامترهای سنتتیک خشک کردن (نسبت رطوبت و نرخ خشک شدن)، ارائه بهترین مدل ریاضی و بازده انرژی مصرفی با تغییرات توان مصرفی میکروویو می‌باشد.

خشک‌کن میکروویو با و بدون پیش خشک کردن با جریان هوای داغ به دست آورده‌اند (Wang *et al.*, 2007). همچنین پژوهش‌های مختلفی برای پیش‌بینی پارامترهای خشک کردن محصولات غذایی با خشک‌کن میکروویو با بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی انجام شده است. نانوکاناری و همکاران عملکرد برنج سالم را در شلتوک‌های خشک شده به روش خشک کردن بستر سیال به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آنها نشان داد که شبکه پس انتشار پیشرو با توپولوژی ۱-۷-۱۳-۷ و الگوریتم آموزش لونیبرگ-مارکواریت و تابع آستانه تانژانت سیگموئید، قادر است راندمان تبدیل شلتوک را به برنج سفید با ضریب تبیین ۹۵/۴۸ و خطای متوسط مطلق ۰/۰۱۹ در شرایط مختلف خشک کردن شلتوک در گستره بستر سیال پیش‌بینی نماید (Nanvakenari *et al.*, 2021). در تحقیق دیگری برای پیش‌بینی منحنی تغییرات رطوبتی و دما با زمان در خشک کردن انبه و کاساوار از شبکه عصبی MLP با الگوریتم آموزش لونیبرگ مارکواریت استفاده شد. متغیرهای تاثیرگذار بکار رفته به عنوان ورودی عبارت بودند از: دمای هوا، سرعت هوا، رطوبت نسبی هوا، زمان و کاهش حجم و متغیر خروجی عبارت بود از: تغییرات رطوبت و دما در طول خشک شدن. در بررسی برای افزایش توانایی شبکه عصبی در پیش‌بینی از روش بی‌بعد کردن پارامترهای ورودی و خروجی شبکه استفاده شد (Hernandez-Perez *et al.*, 2004). همچنین از شبکه عصبی مصنوعی MLP برای پیش‌بینی قابلیت هدایت حرارتی مواد غذایی به عنوان تابعی از محتوای رطوبتی، دما و تخلخل ظاهری استفاده

## مواد و روش‌ها

### مواد مورد آزمایش

اسطوخودوس مورد آزمایش از مزرعه گیاهان دارویی مرکز امام خمینی (ره) تهیه شد و برای انجام آزمایش در یخچال در دمای  $3^{\circ}\text{C}$  + سلسیوس نگهداری شد. میزان رطوبت اولیه نمونه با روش خشک کردن در آون بدست آمد. نمونه های ۱۰ گرمی در آون در دمای  $105 \pm 1^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس قرار گرفته و خشک شد. بطوری که تغییر وزنی بین دو بار توزین مشاهده نشد. این کار در ۳ تکرار انجام شد. فرمول زیر برای تعیین میزان رطوبت اولیه بر پایه خشک استفاده شد (Zarein et al., 2019).

$$M(\% d.b.) = \frac{m_0 - m_f}{m_f} \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $M$  درصد رطوبت بر پایه خشک (بدون بعد)،  $m_0$  جرم اولیه نمونه (گرم)،  $m_f$  جرم نمونه بعد از خشک کردن در آون میکروویو (گرم) می‌باشد. برای انجام فرآیند خشک کردن، اسطوخودوس به ضخامت متوسط ۵ میلی‌متر انتخاب شد و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال مدل (Mettler, Japan) با دقت  $0.01 \pm$  گرم، در نمونه‌های ۱۰ گرمی توزین شد. فرآیند خشک کردن اسطوخودوس با استفاده از خشک‌کن میکروویو (ME9114ST-Samsung) از نوع خانگی با محدوده توان ۱۰۰-۱۰۰۰ وات و فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز در چهار سطح توان ۷۰۰، ۵۰۰، ۳۰۰ و ۹۰۰ وات انجام شد. خشک کردن نمونه ها در هر

سطح توان در ۳ تکرار انجام شد. توزین نمونه‌ها هر ۱۵ ثانیه توسط ترازوی دیجیتال با دقت  $0.01 \pm$  گرم انجام شد (Ertekin & Yaldiz, 2004).

### تعیین پارامترهای سینتیک خشک کردن نسبت رطوبت

برای تعیین مقدار نسبت رطوبت، توزین نمونه-ها تا زمانی که درصد رطوبت بر پایه تر به ۲۰٪ برسد ادامه می‌یابد. نسبت رطوبت اسطوخودوس در طول خشک کردن با استفاده از فرمول (۲) محاسبه شد:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$

که در آن  $MR$  کسر رطوبتی (بدون بعد)،  $M_t$  میزان رطوبت در هر لحظه (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده جامد)،  $M_e$  رطوبت تعادلی (کیلوگرم ماده جامد/کیلوگرم آب) و  $M_0$  محتوی رطوبت اولیه (کیلوگرم ماده جامد/کیلوگرم آب) می‌باشد. مقدار  $M_e$  در مقایسه با  $M_0$  و  $M_t$  کوچک می‌باشد. از این رو می‌توان از آن صرف نظر کرد و معادله به صورت زیر ساده می‌شود (Diamante & Munro, 1993):

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (3)$$

معادله‌های متعددی برای پیش‌بینی روند خشک شدن محصولات وابسته به دمای خشک شدن ارائه شده است (Poonnoy et al., 2007). این معادله‌ها در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- مدل‌های ریاضی مورد استفاده برای پیش‌بینی فرآیند خشک شدن

شماره مدل	نام مدل	معادله مدل
۱	نیوتون	MR=exp (-kt)
۲	بیچ	MR = exp(-kt <sup>n</sup> )
۳	هندرسون و پاپیس	MR=a.exp (-kt)
۴	تقریبی انتشار	MR=a exp(-kt)+(1-a)exp(-kbt)
۵	میدیلی	MR = a.exp(-kt <sup>n</sup> )+b.t

بعد از آن با گذشت زمان، نرخ خشک شدن بطور مداوم کاهش می‌یابد. این ویژگی نرخ خشک شدن برای گیاه دارویی اسطوخودوس توسط رابطه (۴) محاسبه گردید (Cui et al., 2004):

$$DR = \frac{MC_{t+dt} - MC_t}{dt} \quad (4)$$

که در آن DR آهنگ تبخیر (g/min)، محتوای رطوبت در زمان t+dt، (g) MC<sub>t+dt</sub> محتوای رطوبت در زمان t (g)، dt فاصله زمانی بین وزن کردن نمونه‌ها (min) است.

### بازده انرژی مصرفی میکروویو

این بازده به صورت نسبت گرمای نهان تبخیر رطوبت نمونه به مقدار انرژی که برای تبخیر رطوبت از آب آزاد نیاز است، تعریف می‌شود. برای تعیین بازده انرژی مصرفی میکروویو از رابطه‌ی (۵) استفاده می‌گردد (Alibas, 2007):

$$E = \frac{L_f(M_i - M_o)}{3600Pt(100 - M_o)} \quad (5)$$

که در آن L<sub>f</sub>، گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)، M<sub>i</sub>، میزان رطوبت اولیه محصول (% w.b.)، M<sub>o</sub>، میزان رطوبت

سه معیار ضریب تبیین R<sup>2</sup>، مربع کای χ<sup>2</sup> و ریشه میانگین مربعات خطا RMSE، برای تعیین بهترین برازش استفاده شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - \bar{MR}_{exp,i})^2} \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N - z} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N} \right)} \quad (6)$$

در روابط فوق MR<sub>exp,i</sub> رطوبت نسبی آزمایشگاهی نام، MR<sub>pre,i</sub> رطوبت نسبی پیش‌بینی شده نام، n تعداد مشاهدات و z تعداد ثابت‌های خشک شدن می‌باشند. بهترین برازشی که می‌تواند خصوصیات خشک شدن اسطوخودوس را توصیف کند، مدل دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین R<sup>2</sup> و کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا RMSE و مربع کای χ<sup>2</sup> می‌باشد.

### نرخ خشک شدن

نرخ خشک شدن در لحظات اولیه با گذشت زمان به سرعت افزایش می‌یابد و به یک نقطه اوجی که بیشترین مقدار نرخ خشک شدن است می‌رسد و

مخفی Tanh و تابع انتقال لایه‌ی خروجی Identity استفاده شد. دو معیار ضریب تبیین  $R^2$  و ریشه میانگین مربعات خطا RMSE، برای تعیین بهترین توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی بکار گرفته شد (Zarein et al., 2019):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - \overline{MR_{exp,i}})^2} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N} \right)} \quad (7)$$

در روابط فوق  $MR_{exp,i}$  رطوبت نسبی آزمایشگاهی نام،  $MR_{pre,i}$  رطوبت نسبی پیش‌بینی شده نام،  $n$  تعداد مشاهدات و  $z$  تعداد ثابت‌های خشک شدن می‌باشند. بهترین توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی که می‌تواند پارامترهای خشک-کردن اسطوخودوس را توصیف کند، مدل دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین  $R^2$  و کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا  $RMSE$  می‌باشد.

### نتایج و بحث

طبق نتایج بدست آمده در جدول ۲، بهترین مدل آموزش با شبکه ۱-۱۵-۳ MLP با ۱۵ نورون در لایه پنهان با بیشترین ضریب تبیین (۰/۸۹۵) و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (۰/۰۲۸) حاصل شد.

نهایی محصول ( $w.b.$  %)،  $P$  توان مصرفی میکروویو ( $kW$ ) و  $t$  مدت زمان فرآیند خشک‌کردن (h) می‌باشد.

### شبکه عصبی مصنوعی MLP

شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP)، مدل معماری شبکه محبوب است که در بسیاری از برنامه‌های کاربردی تحقیقاتی در پزشکی، مهندسی، مدل‌سازی ریاضی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. در MLP، مجموع وزنی ورودی‌ها و ترم بایاس از طریق یک تابع انتقال برای تولید خروجی و واحدهای در یک توپولوژی لایه‌ای Feed-forward به نام Feed Forward Neural Network تا سطح فعال‌سازی، عبور داده می‌شود (Venkatesan & Anitha, 2006). برای حل مسائل غیرخطی از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) استفاده شد. ترکیب تعداد نورون-های لایه مخفی با سه خروجی (نسبت رطوبت، نرخ خشک‌شدن و بازده انرژی مصرفی میکروویو) و یک لایه ورودی (توان مصرفی میکروویو) مورد ارزیابی قرار گرفت؛ بطوری که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه و ۱۵ درصد برای ارزیابی و ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی شبکه در نظر گرفته شد. جهت ارزیابی توپولوژی‌های مختلف با استفاده از نرم افزار استاتستیکا (STATISTICA 12.0, USA) توسط شبکه عصبی MLP از تابع انتقال لایه‌ی

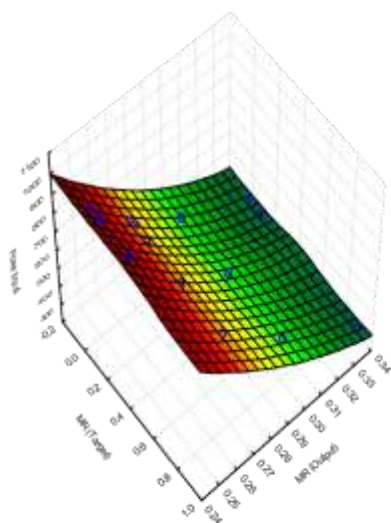
جدول ۲- نتایج مربوط به پیش‌بینی پارامترهای سنتتیک خشک کردن و بازده انرژی مصرفی میکروویو

با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی MLP

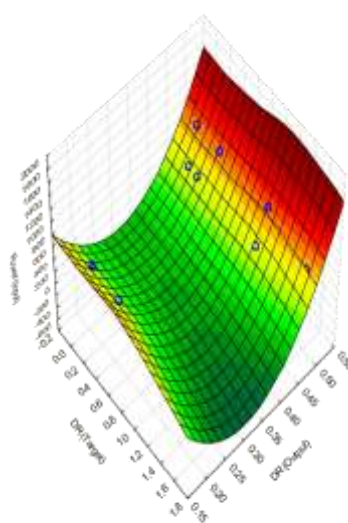
شماره شبکه	توپولوژی شبکه	R <sup>2</sup>	RMSE
۱	۳-۱۵-۱	۰/۸۹۵	۰/۰۲۸
۲	۳-۱۲-۱	۰/۸۶۳	۰/۰۳۳
۳	۳-۸-۱	۰/۸۵۲	۰/۰۳۹
۴	۳-۱۳-۱	۰/۸۳۲	۰/۰۴۲
۵	۳-۱۹-۱	۰/۸۲۹	۰/۰۴۸
۶	۳-۵-۱	۰/۸۱۴	۰/۰۵۴
۷	۳-۱۴-۱	۰/۸۰۵	۰/۰۵۹
۸	۳-۷-۱	۰/۷۹۱	۰/۰۶۲
۹	۳-۱۸-۱	۰/۷۸۵	۰/۰۶۷
۱۰	۳-۹-۱	۰/۷۸۳	۰/۰۷۱

تایید تحقیقات انجام شده، نشان داد که با توجه به مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از شبکه عصبی مصنوعی بهتر با مقادیر اندازه‌گیری شده، شبکه‌های عصبی مصنوعی از دقت و عملکرد بالایی برخوردارند. شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند به عنوان ابزاری کارآمد در جهت پیش‌بینی پارامترهای سنتتیک خشک کردن و بازده انرژی مصرفی میکروویو موثر واقع شوند (Yilmaz & Kaynar, 2011).

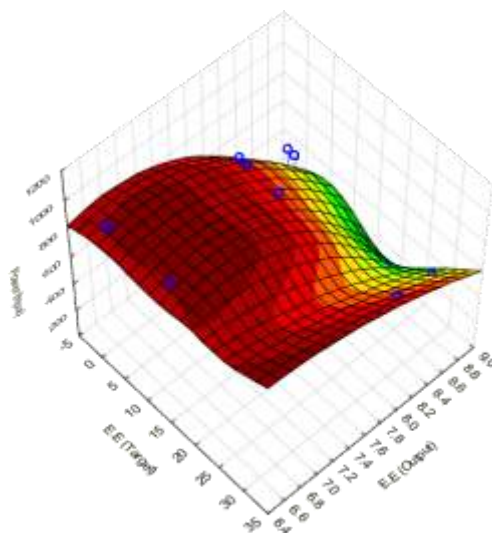
در شکل ۱ ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده پارامترهای سنتتیک خشک کردن (نسبت رطوبت و نرخ خشک شدن) و بازده انرژی مصرفی میکروویو نمونه‌های اسطوخودوس توسط شبکه ۳-۱۵-۱ MLP نشان داده شده است. در این شکل، محور عمودی مقادیر تغییرات توان مصرفی میکروویو می‌باشد. نتایج به دست آمده در



(الف) نسبت رطوبت



(ب) نرخ خشک شدن



(ج) بازده انرژی مصرفی مایکروویو

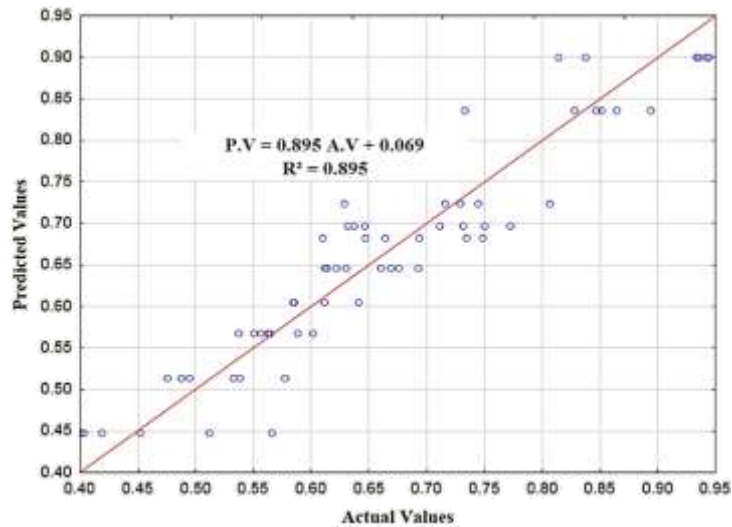
شکل ۱- نمودار سه بعدی ارتباط بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده با شبکه عصبی ۱-۱۵-۳ MLP، (الف) نسبت رطوبت، (ب) نرخ خشک شدن و (ج) بازده انرژی مصرفی مایکروویو

بازده انرژی مصرفی مایکروویو نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ارتباط بالایی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده توسط این شبکه برآزش شده است؛ لذا با

شکل ۲ نتیجه کلی حاصل از شبکه MLP برای ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توان مصرفی مایکروویو را در با مقایسه با پارامترهای سینتیک خشک کردن و

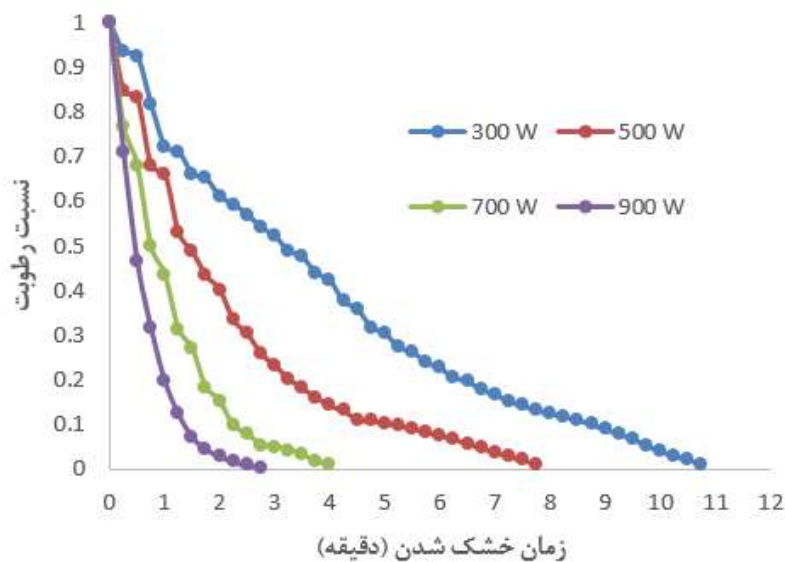


اطمینان بالایی می‌توان از این شبکه، جهت پیش‌بینی پارامترهای ذکر شده با کمترین زمان و با دقت بالا استفاده نمود.



شکل ۲- ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توان مصرفی مایکروویو در مقایسه با پارامترهای سنیتیک خشک کردن و بازده انرژی مصرفی مایکروویو توسط شبکه عصبی ۱-۱۵-۳ MLP

تغییرات نسبت رطوبت در ازای زمان برای خشک کردن اسطوخودوس در توان‌های مختلف مایکروویو در شکل (۳) ارائه گردید.



شکل ۳- منحنی نسبت رطوبت- زمان برای خشک کردن اسطوخودوس در سطوح مختلف توان مایکروویو

خشک‌شدن زیاد می‌باشد به طوری که زمان خشک شدن برای توان ۹۰۰ وات ۱۸۰ ثانیه و برای توان ۳۰۰ وات ۶۶۰ ثانیه دقیقه به دست آمد. با افزایش توان از ۳۰۰ به ۹۰۰ وات، زمان خشک‌شدن اسطوخودوس، ۷/۷۲٪ کاهش می‌یابد.

در ادامه مدل‌سازی ریاضی فرآیند خشک‌کردن اسطوخودوس بصورت تحلیل رگرسیونی چند متغیره در محیط نرم‌افزار متلب انجام شد. بهترین مدلی که می‌تواند سینتیک خشک‌شدن اسطوخودوس را توصیف کند با توجه به بیشترین مقدار  $R^2$  و کمترین مقادیر  $\chi^2$  و  $RMSE$  انتخاب شد. در جدول (۳) مقادیر  $R^2$ ،  $\chi^2$  و  $RMSE$  حاصل از برازش مدل‌های ریاضی در توان‌های مختلف مایکروویو آمده است. با مقایسه این مقادیر، مشخص شد که مدل میدیلی بهترین مدل برای توان‌های ۳۰۰، ۷۰۰، ۵۰۰ و ۹۰۰ وات بود که می‌توانست رفتار خشک‌شدن اسطوخودوس را پیش‌بینی کند.

شکل (۳) تغییرات نسبت رطوبت خشک شدن اسطوخودوس در توان‌های مختلف مایکروویو نسبت به زمان را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل زمان خشک‌شدن اسطوخودوس با توجه به توان‌های مختلف مایکروویو متفاوت می‌باشد. با افزایش توان خروجی مایکروویو، کاهش بیشتری در رطوبت نسبی محصول اتفاق می‌افتد، زیرا این‌گونه به نظر می‌رسد که افزایش توان خروجی مایکروویو باعث افزایش شدت پرتوهای مایکروویو و دمای درون محفظه و کاهش بیشتر میزان رطوبت اسطوخودوس می‌شود. به عبارت دیگر توان بالاتر باعث انتقال بیشتر جرم و حرارت شده و کاهش رطوبت شدیدتر است. از طرفی نمودارهای شکل (۱)، بیانگر این نکته می‌باشند که با گذشت زمان در طی فرآیند خشک‌کردن، سرعت خشک شدن و از دست دادن رطوبت کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی را سایر پژوهشگران در خشک‌کردن لایه‌های هویج با استفاده از مایکروویو به دست آورده‌اند (Zarein *et al.*, 2013a). در توان پایین‌تر مدت زمان

جدول ۳- مقادیر  $R^2$ ،  $\chi^2$  و  $RMSE$  حاصل از برازش مدل‌های ریاضی در توان‌های مختلف مایکروویو

توان مایکروویو (وات)	مدل	$R^2$	$\chi^2$	$RMSE$
۳۰۰	نیوتون	۰/۹۹۵	۰/۰۰۰۲۸۹	۰/۰۱۶۸۶
	پیچ	۰/۹۹۶۳	۰/۰۰۰۲۳۷	۰/۰۱۵۴۷
	هندرسون و پابیس	۰/۹۹۷۲	۰/۰۰۰۱۶۸	۰/۰۱۲۸
	تقریبی انتشار	۰/۹۹۵	۰/۰۰۰۲۸۶	۰/۰۱۷۱۸
	میدیلی	۰/۹۹۷۵	۰/۰۰۰۱۵۴	۰/۰۱۲۷۱
۵۰۰	نیوتون	۰/۹۹۴	۰/۰۰۰۲۹۳	۰/۰۱۶۸۹
	پیچ	۰/۹۹۵۹	۰/۰۰۰۲۴۱	۰/۰۱۵۵۲
	هندرسون و پابیس	۰/۹۹۶۸	۰/۰۰۰۱۷۳	۰/۰۱۳۱

۰/۰۱۷۲۳	۰/۰۰۰۲۹۲	۰/۹۹۳	تقریبی انتشار	
۰/۰۱۲۷۵	۰/۰۰۰۱۵۹	۰/۹۹۷۱	میدیلی	
۰/۰۱۶۹۳	۰/۰۰۰۲۹۵	۰/۹۹۳	نیوتون	
۰/۰۱۵۵۷	۰/۰۰۰۲۴۶	۰/۹۹۵۲	پیچ	
۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۰۱۷۷	۰/۹۹۶۲	هندرسون و پابیس	۷۰۰
۰/۰۱۷۲۹	۰/۰۰۰۲۹۶	۰/۹۹۱	تقریبی انتشار	
۰/۰۱۲۷۷	۰/۰۰۰۱۶۳	۰/۹۹۷۰	میدیلی	
۰/۰۱۶۸۱	۰/۰۰۰۲۸۱	۰/۹۹۴	نیوتون	
۰/۰۱۵۴۵	۰/۰۰۰۲۳۸	۰/۹۹۵۶	پیچ	
۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۰۱۶۵	۰/۹۹۶۷	هندرسون و پابیس	۹۰۰
۰/۰۱۷۱۵	۰/۰۰۰۲۸۴	۰/۹۹۳	تقریبی انتشار	
۰/۰۱۲۶۹	۰/۰۰۰۱۵۱	۰/۹۹۸۳	میدیلی	

با توجه به اینکه مدل میدیلی برای توان‌های ۳۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ وات به عنوان بهترین مدل ریاضی برازش شده انتخاب شد، ضرایب آن در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴- ضرایب و شاخص آماری مربوط به مدل میدیلی برای سطوح مختلف توان میکروویو

R <sup>2</sup>	n	k	b	a	توان
					میکروویو (وات)
۰/۹۹۷	۱/۰۳۵	۰/۳۲۴۹	$6/512 \times 10^{-4}$	۱/۰۶	۳۰۰
۰/۹۹۸	۱/۱۱۸	۰/۵۶۹۴	$7/726 \times 10^{-4}$	۱/۰۱۸	۵۰۰
۰/۹۹۸	۱/۲۳۸	۰/۵۷۸۰۲	$24/39 \times 10^{-4}$	۱/۰۲۸	۷۰۰
۰/۹۹۹	۱/۲۹۶	۰/۹۶۴۱	$31/45 \times 10^{-4}$	۱/۰۳۷	۹۰۰

### نتیجه‌گیری

ارزیابی، شبکه عصبی با توپولوژی ۳-۱۵-۱ MLP، به عنوان بهترین شبکه آموزش‌دیده با توجه به بیشترین مقدار R<sup>2</sup> و کمترین مقدار RMSE برای پیش‌بینی فرآیند خشک‌شدن است که میزان R<sup>2</sup> اغلب در حدود ۰/۷۸۳ تا ۰/۸۹۵ و میزان میانگین مربع خطای نسبی در حدود ۰/۰۲۸ تا ۰/۰۷۱ بود.

در این پژوهش، از شبکه عصبی مصنوعی MLP جهت پیش‌بینی پارامترهای سنتتیک خشک‌کردن و بازده انرژی مصرفی میکروویو گیاه دارویی اسطوخودوس استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که از بین شبکه‌های مختلف مورد

مایکروویو تأثیر دارد. با افزایش توان خروجی مایکروویو، رطوبت نسبی محصول بیشتر کاهش می‌یابد، به طوری که زمان خشک شدن برای توان ۹۰۰ وات ۳ دقیقه و برای توان ۳۰۰ وات ۱۱ دقیقه به دست آمد. از طرفی زمان خشک شدن از توان ۳۰۰ وات تا توان ۹۰۰ وات ۷/۷۲٪ کاهش را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که خشک کردن با مایکروویو به دلیل کاهش زمان خشک شدن، روش مناسبی برای خشک کردن بیشتر گیاهان از جمله گیاهان دارویی برای حفظ کیفیت آن‌ها می‌باشد.

همچنین در این تحقیق، یک مدل ریاضی برای مدل کردن نرخ تبخیر اسطوخودوس ارائه شده است. نرخ تبخیر برحسب تابعی از زمان و توان برای خشک شدن اسطوخودوس بیان شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که از بین مدل‌های برازش شده، مدل میدیلی به عنوان بهترین مدل با توجه به بیشترین مقدار  $R^2$  و کمترین مقادیر، مربع کای  $\chi^2$  و RMSE برای توصیف فرآیند خشک شدن است که میزان  $R^2$  اغلب در حدود ۰/۹۹۷۱ تا ۰/۹۹۸۳ و میزان  $\chi^2$  و مربع میانگین خطای نسبی RMSE به ترتیب در حدود  $1/51 \times 10^{-4}$  تا  $1/63 \times 10^{-4}$  و  $0/01277$  تا  $0/01269$  بود. همچنین مشاهده شد که توان مایکروویو برای خشک کردن اسطوخودوس بر مدت زمان خشک شدن در یک خشک‌کن

## REFERENCES

- Alibas, I., 2007. Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. *Biosyst. Eng.* 96, 495–502.
- Arslan, O., Erzenegin, M., Sinan, S., Ozensoy, O., 2004. Purification of mulberry (*Morus alba* L.) polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of its kinetic and electrophoretic properties. *Food Chem.* 88, 479–484.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M., 2008. Biological effects of essential oils—a review. *Food Chem. Toxicol.* 46, 446–475.
- Cui, Z.-W., Xu, S.-Y., Sun, D.-W., 2004. Effect of microwave-vacuum drying on the carotenoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of Chinese chive leaves. *Dry. Technol.* 22, 563–575.
- Darvishi, H., Banakar, A., Zarein, M., 2012. Mathematical modeling and thin layer drying kinetics of carrot slices. *Glob. J. Sci. Front. Res. Math. Decis. Sci.* 12, 56–64.
- Diamante, L.M., Munro, P.A., 1993. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Sol. energy* 51, 271–276.
- Erenturk, S., Erenturk, K., 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *J. Food Eng.* 78, 905–912.
- Ertekin, C., Yaldiz, O., 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *J. Food Eng.* 63, 349–359.

- Esmaili, M., Rezazadeh, G., Sotudeh-Gharebagh, R., Tahmasebi, A., 2007. Modeling of the seedless grape drying process using the generalized differential quadrature method. *Chem. Eng. Technol. Ind. Chem. Equipment-Process Eng.* 30, 168–175.
- Hernandez-Perez, J.A., Garcia-Alvarado, M.A., Trystram, G., Heyd, B., 2004. Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 5, 57–64.
- Kumar, P.S., Kanwat, M., Choudhary, V.K., 2013. Mathematical modeling and thin-layer drying kinetics of bamboo slices on convective tray drying at varying temperature. *J. Food Process. Preserv.* 37, 914–923.
- Mohsenin, N., 1986. Physical properties of plant and animal materials Gordon Breach Science. *New York*.
- Nanvakenari, S., Movagharnejad, K., Latifi, A., 2021. Evaluating the fluidized-bed drying of rice using response surface methodology and artificial neural network. *LWT* 147, 111589.
- Poonnoy, P., Tansakul, A., Chinnan, M., 2007. Artificial neural network modeling for temperature and moisture content prediction in tomato slices undergoing microwave-vacuum drying. *J. Food Sci.* 72, E042–E047.
- Rajamohan, N., Rajasimman, M., Rajeshkannan, R., Saravanan, V., 2014. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the removal of Aluminum by modified Eucalyptus camaldulensis barks. *Alexandria Eng. J.* 53, 409–415.
- Venkatesan, P., Anitha, S., 2006. Application of a radial basis function neural network for diagnosis of diabetes mellitus. *Curr. Sci.* 91, 1195–1199.
- Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X., Hu, X., 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *J. Food Eng.* 80, 536–544.
- Yilmaz, I., Kaynar, O., 2011. Multiple regression, ANN (RBF, MLP) and ANFIS models for prediction of swell potential of clayey soils. *Expert Syst. Appl.* 38, 5958–5966.
- Zarein, M., Banakar, A., Khafajeh, H., 2013a. Mathematical modeling, energy consumption and thin layer drying kinetics of carrot slices under microwave oven. *Int. J. Agric. Crop Sci.* 5, 2057.
- Zarein, M., Khoshtaghaza, M.H., Ghobadian, B., Ameri Mahabadi, H., 2019c. Prediction and optimization of fish biodiesel characteristics using permittivity properties. *J. Agric. Sci. Technol.* 21, 309–322.
- Zarein, M., Samadi, S.H., Ghobadian, B., 2013b. Kinetic drying and mathematical modeling of apple slices on dehydration process. *J Food Process Technol* 4, 1–4.



## Modeling the Amount of Required Energy and Kinetics of Lavender Drying Using Artificial Neural Network

Mohammad Younesi Alamouti<sup>1</sup>, Hamid Khafajeh<sup>2</sup>, Mohammad Zarien<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Associate professor of Farm Power and Machinery, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

<sup>2</sup>Graduated with a Ph.D in Biosystem Mechanics Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

\*Corresponding Author's Email: mohamadyunesi@yahoo.com  
(Received: March. 14, 2023 – Accepted: July. 22, 2023)

### ABSTRACT

In this study, various parameters of drying, evaluation of mathematical models to determine the best model, and evaluation of different topologies of MLP artificial neural network to determine the best network for a lavender plant with a microwave dryer with a power range of 100-1000 watts and The frequency of 2450 MHz is provided in four power levels of 300, 500, 700 and 900 watts. MLP artificial neural network was used to predict the relationship between drying kinetic parameters (moisture ratio and drying rate) and efficiency of energy consumption with changes in microwave power consumption using Statistical software. Among the fitted models, the Midili model was chosen as the best model according to  $R^2$ ,  $\chi^2$ , and RMSE criteria. Microwave power levels had an effect on drying time, with drying times of 180 seconds for 900 W power and 660 seconds for 300 W power. In order to predict drying kinetic parameters and energy consumption efficiency, an MLP network with one input and three outputs were successfully used. The results generally showed that the MLP artificial neural network is a very powerful tool in predicting drying kinetic parameters and energy efficiency of lavender medicinal plants based on microwave power consumption values.

**Keywords:** Artificial neural network, Lavender, prediction, The efficiency of microwave energy consumption, Medicinal plant