



مقاله پژوهشی

بررسی روند خشک کردن ارقام مختلف برنج ایرانی با پیش تیمار اهمیک در خشک کن ماکروویو و مدل سازی با روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی

محسن آزادبخت^{۱*}، محمد واحدی ترشیزی^۲، حسن جعفری^۳

۱. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۱۷، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۱۱/۱۴، تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۲۱)

چکیده

در این تحقیق، فرآیند خشک کردن چهار رقم برنج (فجر، طارمی، دم‌سیاه و ندا) به کمک خشک کن ماکروویو و با استفاده از پیش تیمار اهمیک بررسی شد برای پیش تیمار سه ولتاژ ۱۲۵ V، ۱۵۰، ۱۷۵ و در سه زمان ۵، ۱۰، ۱۵ min انتخاب و تغییرات وزن اندازه گیری و ثبت شد. سپس در ماکروویو با توان ۶۰۰ W قرار داده و تا زمان خارج شدن رطوبت کل نمونه‌ها و ثابت شدن وزن، هر دو دقیقه یک بار توزین شد. نتایج به دست آمده از آزمایش با استفاده از روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی تحلیل و مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه انجام شده بر روی ارقام برنج‌ها در فرآیند اهمیک نشان داد که رقم فجر به مراتب بیشتر از رقم‌های دیگر (طارمی دم‌سیاه و ندا) در طول فرآیند پیش تیمار اهمیک و همچنین در حین خشک شدن توسط ماکروویو مقدار رطوبت خارج شده بیشتری را داشته است؛ بعد از آن، رقم طارمی و دم‌سیاه بیشترین میزان خارج سازی رطوبت را به خود اختصاص دادند و کمترین میزان خارج سازی رطوبت، طی فرآیند حرارت دهی اهمیک و خشک کردن، در رقم ندا بوده است. همچنین برای کاهش وزن در خشک کردن با ماکروویو نیز فاکتورهای افزایش ولتاژ فرآیند اهمیک و زمان فرآیند اهمیک میزان رطوبت بیشتری را نسبت به ولتاژ و زمان‌های پایین داشت و رقم فجر نسبت به ارقام دیگر، کاهش وزن بیشتری را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر پیش بینی شده از مدل‌های RSM و شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که میزان دقت شبکه عصبی مصنوعی ۰/۳۰ بیشتر از دقت اعداد پیش بینی شده با RSM بوده است.

کلیدواژه‌ها: گرمایش اهمیک، خشک کن ماکروویو، برنج، روش سطح پاسخ، شبکه عصبی مصنوعی

*نویسنده مسئول: azadbakht@gau.ac.ir

۱. مقدمه

سوپ‌ها، طاس کباب و تکه‌های میوه در شربت [۷]، مواد غذایی پروتئین‌دار که طی حرارت‌دهی، تمایل به دناتوراسیون و کواگولاسیون دارند [۸]، آب‌میوه‌ها، پوره‌ها [۵]، مواد غذایی که شامل آب و یون‌های نمک فراوان هستند و همچنین مواد غذایی ویسکوز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹-۶]. الکترودها در فرآیند گرمایش اهمی به‌عنوان نقطه اتصال هادی‌های جامد و مایع، می‌توانند ضمن ایفای نقشی اساسی در فرآیند گرمایش اهمی، بر انتقال جریان به‌صورت یکنواخت در محیط گرمایش نیز تأثیرگذار باشند [۱۰]. سارانگ و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی رسانایی الکتریکی میوه‌ها و گوشت‌ها در روش گرمایش اهمی پرداختند. آن‌ها بیان کردند که طراحی مؤثر سیستم گرمایش اهمی به ضریب هدایت الکتریکی ماده غذایی وابسته است. آن‌ها ضریب هدایت الکتریکی را برای شش میوه تازه شامل: گلابی، سیب زرد، هلو، سیب قرمز، توت‌فرنگی و آناناس و همچنین برای سه قطعه گوشت شامل: گوشت مرغ، گراز و گاو در دمای اتاق به‌دست آوردند. آن‌ها اعلام کردند که در همه نمونه‌ها ضریب هدایت الکتریکی با افزایش دما افزایش یافت و ضریب هدایت الکتریکی میوه‌ها نسبت به نمونه‌های گوشت، بیشتر بود. همچنین بیشترین رسانایی الکتریکی را در هلو و توت‌فرنگی، نسبت به سیب و گلابی، گزارش کردند [۱۰]. فرآیند کاهش محتوای آب مهم-ترین گام در صنعت غذایی و شیمیایی است. تنوع وسیع مواد خوراکی خشک‌شده مورد مصرف روزانه (انواع خشکبار) و تمایل بشر برای حفظ منابع طبیعی، از طریق کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش تغییرات کیفی محصول، تأکیدی بر لزوم درک کامل فرآیند خشک‌کردن است [۱۱]. با مطالعه رفتار مواد بعد از خشک‌شدن مشاهده می‌شود که تغییرات فیزیکی - شیمیایی بسیاری، از جمله تغییر در ساختمان سلولی، رنگ و ظرفیت نگهداری آب در مواد ایجاد می‌شود که تحت تأثیر شرایط خشک‌شدن قرار می‌گیرند. فرآیند خشک‌شدن، معمولاً به کمک نمودارهایی که با محورهای مقدار رطوبت - زمان خشک‌شدن و یا نرخ خشک‌شدن - مقدار رطوبت ساخته می‌شود، به‌خوبی توصیف می‌شود و اطلاعات لازم برای تعیین این منحنی‌ها، معمولاً در شرایط آزمایشگاهی با اندازه‌گیری تغییرات زمانی جرم یک نمونه از

حرارت‌دادن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های فرآوری مواد غذایی است که توسط بشر به‌مدت هزاران سال در زمینه‌های مختلف فرآوری غذا استفاده شده است. با این وجود، فن‌آوری مورد استفاده برای حرارت‌دادن مواد غذایی، به‌منظور فرآوری آن‌ها، در طول قرن بیستم تحول شگرف یافت که تا کنون نیز ادامه دارد. از آنجا که در روش‌های سنتی حرارت‌دهی مواد غذایی یعنی انتقال حرارت از محیط مایع به جامد، باعث افت کیفیت محصول می‌شود؛ این ضرورت احساس شد که باید به‌دنبال روش‌هایی بود که باعث تولید حرارت در داخل ماده غذایی شوند. فناوری‌هایی نظیر حرارت‌دهی اهمی، دی‌الکتریک (شامل حرارت‌دهی ماکروویو و حرارت‌دهی فرکانس رادیویی) و حرارت‌دهی القایی، توسعه یافتند که می‌توانند حداقل به‌طور جزئی، جایگزین روش‌های حرارتی سنتی شوند که اصولاً بر پایه انتقال حرارت به روش هدایت، جابه‌جایی و تشعشع هستند [۱] فرآیندهای حرارتی مرسوم، اساساً شامل مکانیزم انتقال حرارت به‌صورت همرفت، هدایتی و یا تابشی هستند [۲]. مقاومت داخلی ماده در برابر هدایت حرارتی، باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود. برای غلبه بر این مشکل، فن‌آوری‌های جایگزین بررسی شدند که یکی از این فن‌آوری‌ها، استفاده از انرژی الکتریکی به‌طور مستقیم در فرآوری مواد غذایی است [۳]. گرمایش اهمی یک تکنیک گرمایش الکتریکی است که بر اساس عبور جریان الکتریکی از میان یک ماده غذایی که دارای مقاومت الکتریکی است، کار می‌کند [۴]. از گرمایش اهمی، تحت عنوان گرمایش مستقیم الکتریکی، گرمایش الکتریکی و گرمایش رسانایی الکتریکی نیز یاد می‌شود. مواد غذایی که شامل آب و یون‌های نمک فراوان هستند، برای به‌کارگیری گرمایش اهمی مناسب هستند [۵]. مزیت آشکار روش گرمایش اهمی نسبت به روش‌های مرسوم، عدم وجود اختلاف دما در محلول و محدودیت‌های ضریب انتقال حرارت است. همچنین از مزایای روش گرمایش اهمی می‌توان به کاهش تغییرات رنگ و کیفیت و همچنین کاهش زمان فرآوری و عملکرد بالای آن اشاره کرد [۶]. روش اهمیک، برای مواد غذایی حاوی قطعات جامد، مانند

رطوبت هر وارپته، از آون استفاده شد تا رطوبت اولیه نمونه‌ها مشخص شود.

۲.۲. فرآیند اهمیک

در این تحقیق، نمونه‌های هر وارپته برنج تحت پیش‌تیمار اهمیک قرار گرفت. برای انجام فرآیند اهمیک، محلول آب و نمک فراهم شد. محلول به‌کاررفته در این پژوهش، با انحلال نمک در آب مقطر با غلظت ۱ درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق، محفظه شیشه‌ای با ضخامت ۱۰ mm با ابعاد (طول ۱۱ cm، عرض ۸ cm، ارتفاع ۱۵ cm) ساخته شد و یک الکتروود از جنس استیل ضدزنگ با ابعاد $8 \text{ cm}^2 \times 15$ ساخته و استفاده شد. همچنین دیتالاگر، مدل 88598 AZ 4ch K SD Logger برای ثبت تغییرات دما تا رسیدن به نقطه جوش و رگلاتور ولتاژ نیز برای تنظیم ولتاژ موردنظر به کار گرفته شد. برای ثبت وزن از ترازوی دیجیتال مدل DJ 2000 A با دقت $0.1 \pm 0.1 \text{ g}$ استفاده شد. مقدار ثابت ۲۰ g از هر نمونه (فجر، طارمی دم‌سیاه و ندا) را در جعبه شیشه‌ای قرار داده شد. سپس با سه ولتاژ ۱۲۵V، ۱۵۰ و ۱۷۵، طی ۵، ۱۰ و ۱۵ min، با فرآیند اهمیک، جوشانده شدند. پس از اتمام مراحل فرآیند اهمیک، نمونه‌ها بیرون آورده شدند تا آب اضافی از روی آن تبخیر شود و در نهایت با ترازوی دیجیتال توزین شدند (شکل ۱).

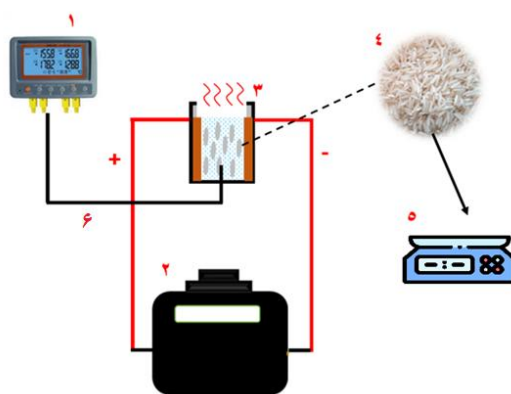
ماده به دست می‌آید [۱۲].

برنج محصولی است که در حین کاهش محتوی رطوبت، باید دقت داشت که تا کیفیت آن نیز حفظ شود. از این رو، ارقام مختلف برنج تحت حالت‌های مختلف پیش‌تیمار اهمیک قرار گرفتند. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر روند خشک شدن برنج در فرآیند اهمیک و خشک‌کردن نهایی آن با ماکروویو و مقایسه با یک نمونه بدون اهمیک بود تا بتوان با استفاده از این روش‌ها، میزان تغییرات وزنی را بررسی و پیش‌بینی کرد. برای این کار، از روش‌های سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. آماده‌سازی نمونه

برای این آزمایش، برنج‌های (چهار وارپته فجر، طارمی، دم‌سیاه و ندا) از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان گرگان تهیه شد که این وارپته‌ها، بیشتر در استان گلستان کشت می‌شوند و برنج مصرفی و مورد نیاز مردم استان است. نمونه‌ها به آزمایشگاه گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل و برای انجام آزمایش، دانه‌های شکسته از دانه‌های سالم جدا شدند تا میزان خطای آزمایش کاهش پیدا کند. پس از مرتب‌سازی نمونه‌ها، دسته‌بندی‌ها و کدگذاری‌های لازم برای شروع آزمایش انجام شد. همچنین قبل از آزمایش، برای تعیین



شکل (۱) شماتیک فرآیند اهمیک

۱. دیتالاگر، ۲. رگلاتور، ۳. سلول اهمیک، ۴. دانه‌های برنج، ۵. ترازو، ۶. ترمومتر

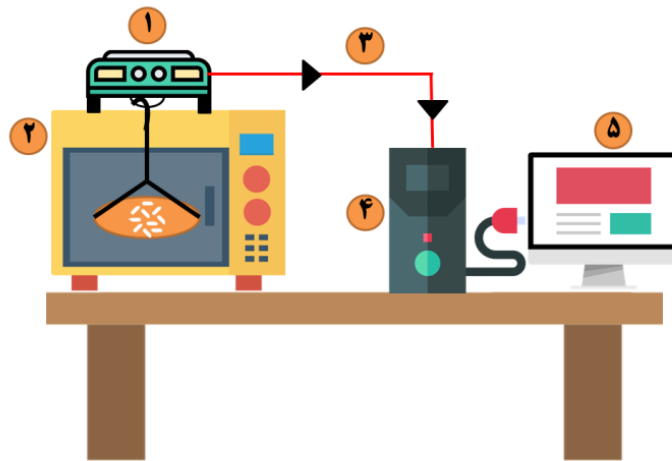
Fig 1. Schematic of the Ohmic process

1. Data logger, 2. Regulator, 3. Ohmic cell, 4. Rice grains, 5. Balance, 6. Thermometer

۳.۲. خشک‌کن ماکروویو

متصل به ترازو سوراخ شد و در فرآیند خشک‌کردن نمونه‌ها هر دو دقیقه، وزن نمونه‌ها توسط ترازوی قرار داده‌شده بر روی ماکروویو، ثبت گردید تا به مرحله‌ای که تغییرات وزن در نمونه‌ها وجود نداشت؛ و در آن زمان فرآیند خشک شدن متوقف شد (شکل ۲).

وزن نمونه‌ها پس از پیش‌تیمار اهمیتک ثبت a و د و نمونه‌ها با استفاده از خشک‌کن ماکروویو مدل SD-3855WCR با مشخصات ۲۳۰V، ۵۰Hz و توان مگنت ۹۰۰ W در توان ۶۰۰ W انجام شد که بدنه ماکروویو، جهت قرارگیری سینی



شکل (۲) شماتیک خشک‌کن ماکروویو استفاده‌شده در تحقیق

۱. ترازو، ۲. دستگاه خشک‌کن ماکروویو، ۳. کابل RS3232، ۴. کیس ثبت داده، ۵. صفحه نمایش داده‌ها

Fig 2. Schematic of the microwave dryer used in the research

1. Digital Balance, 2. Microwave Dryer, 3. RS3232 Cable, 4. Data Case, 5. Data Display

تحلیل واریانس، برای شناسایی مدل برتر است [۱۴]. وابستگی یک پاسخ به ورودی‌ها به صورت معادله (۱) است [۱۵].

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon \quad (1)$$

ضریب تعیین یا برازش یکی از آزمون‌های مورد استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس برای شناسایی مدل برتر است. محققین برای سنجش دقت مدل خود از R^2_{adj} استفاده می‌کنند. ضریب برازش R^2_{adj} حالت اصلاح شده ضریب تعیین R^2 است و همواره با افزایش عامل‌ها به مدل افزوده شود کاهش می‌یابد [۳]. در جدول (۱) موارد مورد نیاز روش سطح پاسخ آورده شده است. برای فاکتور برنج فاکتور ۱- تا +۱ در چهار سطح ۱ رقم فجر، ۰/۵ رقم طارمی، ۰/۵ - دم‌سیاه و ۱- رقم ندا در نظر گرفته شد.

۴.۲. مدل‌سازی با استفاده از روش سطح پاسخ^۱

روش سطح پاسخ، مجموعه‌ای از روش‌های آماری و ریاضی است که برای تجزیه و تحلیل نتایج تجربی کاربرد داد [۱۳]. این روش در طراحی، بهبود و فرمول‌بندی محصولات جدید نیز بسیار کاربردی است. گسترده‌ترین کاربرد روش پاسخ سطح در زمینه‌های صنعتی است. از روش پاسخ سطح، در شرایطی که متغیرهای ورودی زیادی به عملکرد و ویژگی‌های کیفیت محصول در فرآیند تأثیر دارند، استفاده می‌شود [۱۴]. مدل درجه ۲ برای فرآیندهای صنعتی مناسب است و دارای نقاط قوت زیادی است. همچنین با استفاده از تحلیل واریانس ANOVA، مدل‌های ارائه‌شده برای پاسخ‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و ضرایب رگرسیون برای جمله‌های خطی، برهمکنش و درجه ۲ تخمین زده شد و با استفاده از ضریب همگرایی (R^2) کیفیت برازش معادله مدل‌ها بیان شد. ضریب تعیین یا برازش یکی از آزمون‌های مورد استفاده در تجزیه و

1. Response surface method

جدول (۱) متغیرهای مستقل سطوح آزمون
Table 1. Independent variables of test levels

متغیر Variable	سطح Level	
	-1	+1
ولتاژ Voltage	125	175
زمان اهمیک Ohmic time	5	15
ارقام برنج Rice Varieties	-1	+1

حداقل میزان خطا و حداکثر پایداری شبکه، به صورت میانگین برابر ۵۰۰۰ سیکل یادگیری^۷ جهت شبیه‌سازی داده‌ها توسط شبکه عصبی منظور گردید. الگوریتم برآورد خطا در شبکه‌های تشکیل شده با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا^۸ صورت گرفت. برای ارزیابی شبکه، دو معیار ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا^۹ استفاده شد. ضریب تبیین میزان همبستگی بین داده‌های خروجی شبکه عصبی و داده‌های مشاهده شده را تعیین می‌کند و از رابطه (۲-۲) محاسبه می‌شود که مقدار ایده‌آل برابر یک است. میانگین مربعات خطا، اختلاف بین داده‌های پیش بینی شده و داده‌های واقعی را تعیین می‌کند (رابطه ۴-۲) و ریشه آن از رابطه (۲-۵) محاسبه می‌شود. هدف یک شبکه خوب این است که میزان این خطا را به کمترین مقدار برساند و مقدار ایده‌آل آن برابر صفر است.

پارامترهای آماری شامل میانگین مربعات خطا^{۱۰}، ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین و میانگین خطای مطلق^{۱۱} برای ورودی‌ها محاسبه شد و روابط با استفاده از فرمول‌های جدول (۲) محاسبه شد.

۵.۲. مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش، شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه برای مدل‌سازی ولتاژ اهمیک، مدت‌زمان فرآیند حرارت‌دهی و نوع رقم برنج جهت پیشگویی میزان تغییرات وزن طی خشک‌کردن با ماکروویو انتخاب شد. شبکه عصبی چندلایه پرسپترون یک شبکه پیش‌خور^۱ با یک ورودی، یک یا چندلایه پنهان و یک‌لایه خروجی است. این شبکه، توسط یک‌لایه پنهان برای آزمایش انتخاب شد که در هر لایه به ترتیب تعداد ۳، ۶ و ۹ نرون قرار داده شد که برای هر یک از تعداد نرون‌ها شبکه به صورت جداگانه شبیه‌سازی شد و این شبیه‌سازی، با استفاده از نرم‌افزار نروسولیشن^۲ انجام شد. همچنین از تابع فعال‌سازی^۳ TanhAxon در لایه پنهان ورودی و خروجی استفاده شد. در این تحقیق، روش بهینه‌سازی لونیگ - مارکوت^۴ به منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ۸۰٪ از داده‌ها برای آموزش، ۱۰٪ برای ارزیابی شبکه^۵ و ۱۰٪ از داده‌ها برای آزمون شبکه^۶ مورد استفاده قرار گرفت. ولتاژ اهمیک، مدت‌زمان فرآیند حرارت‌دهی و نوع رقم برنج به عنوان ورودی‌های شبکه و تغییرات وزن طی فرآیند حرارت‌دهی اهمیک و تغییرات وزن طی خشک‌کردن با ماکروویو خروجی‌های شبکه مورد نظر بودند. تعداد ۵ تکرار برای شبیه‌سازی داده‌های شبکه عصبی مصنوعی، جهت رسیدن به

8. Back propagation error
9. (RMSE) Root mean squared error
10. Mean Square Error (MSE)
11. Mean Absolute Error (MAE)

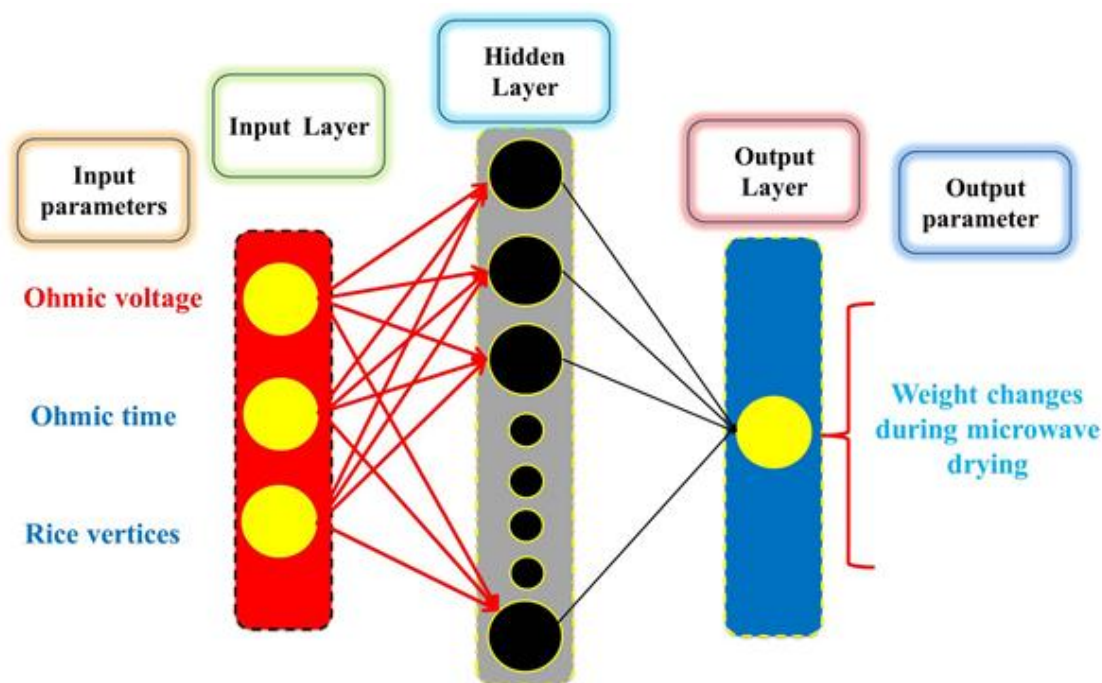
1. Feed-Forward
2. NeuroSolution
3. Activation function
4. Levenberg-Marquardt (LM)
5. Validating data
6. Testing data
7. Epoch

جدول (۲) رابطه‌های شبکه عصبی

Table 2. Neural Network Relationships

فرمول	شماره فرمول	رفرنس
$\text{Tanh} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	(۲)	[18]
$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{(P_i - O_i)^2}$	(۳)	[19]
$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{(P_i - O_i)^2}}$	(۴)	[20]
$= \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \text{MSE}$	(۵)	[21]
$= \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n}} \text{RMSE}$	(۶)	[22]
$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - O_i }{n}$	(۷)	[21]

در معادلات ۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ شامل مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مقادیر واقعی (Oi) و مقدار متوسط داده (O) است.



شکل (۳) دیاگرام شبکه عصبی مصنوعی تشکیل شده

Fig 3. diagram of the artificial neural network

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تغییرات وزن دانه‌های برنج طی فرآیند حرارت-

دهی اهمیت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و ضرایب پیشگویی میزان تغییرات وزن طی فرآیند اهمیت در جدول (۳) نشان

داده شده است و با توجه به جدول، می‌توان برای تغییرات وزن بیان کرد که مدل استفاده شده و نوع رقم در سطح $P < 0.0001$ معنی‌دار شده است و دو فاکتور ولتاژ اهمیت و مدت‌زمان فرآیند حرارت‌دهی معنی‌دار نشده است. همچنین اثر متقابل ولتاژ اهمیت و نوع رقم هم در سطح $P < 0.0020$

معنی دار شد. از طرفی با توجه به این که میزان Lack of Fit R^2 adjusted می توان بیان کرد که چون مقادیر بسیار نزدیک آن معنی دار نشده است، می توان گفت که این امر، نشان دهنده مناسب بودن مدل پس از کاهش تعداد جملات غیر معنی دار است. همچنین با توجه به جدول و مقادیر R^2 و R^2 adjusted مقدار پیش بینی شده نیز بسیار خوب و مطلوب است.

جدول (۳) آنالیز واریانس برای مدل انتخاب شده جهت تغییرات وزن طی فرآیند اهمیتیک

Table 3. analysis of variance for the model selected for weight changes during the Ohmic process

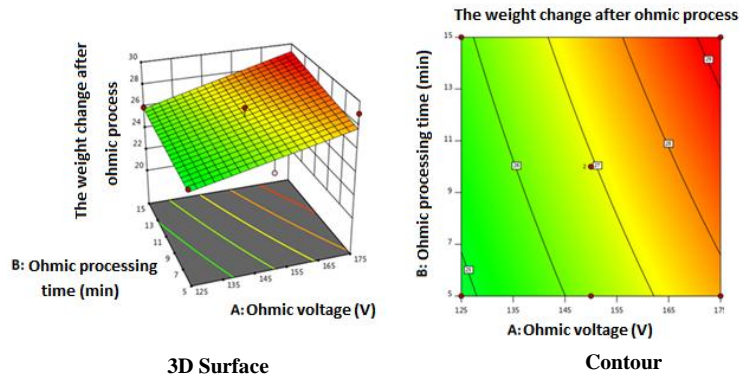
مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی DF	ضریب تخمین Coefficient of estimation	Source
Significant < 0.0001	14.16	11.18	6	24.91	Model
0.1680	2.13	1.68	1	0.3948	A-ولتاژ اهمیتیک Ohmic voltage
0.1204	2.76	2.18	1	0.4192	B-زمان فرآیند اهمیتیک Ohmic process time
< 0.0001	64.71	51.10	1	2.02	C-رقم برنج Rice varieties
0.6529	0.2119	0.1673	1	0.1377	AB
0.0020	14.74	11.64	1	1.21	AC
0.4475	0.6135	0.4845	1	0.2236	BC
		0.7896	13		Residual
		0.9332	11		Lack of Fit
		0.0000	2		Pure Error
			19		Cor Total
				0.8673	R^2
				0.8060	Adjusted R^2
				0.6411	Predicted R^2
				14.3849	Adeq Precision

افزایش ولتاژ و زمان فرآیند اهمیتیک، تغییرات وزن نیز در طول فرآیند افزایش می یابد و دلیل این امر مسلماً خروج آب طی مدت زمان بیشتر از بافت نمونه ها بوده است. خارج شدن رطوبت از نمونه ها، سبب کاهش وزن آن ها شده و نسبت به وزن اولیه، تغییرات بیشتری مشهود است. همان طور که در شکل (۴) contour نشان داده شده است، در ولتاژهای V ۱۲۵ تا ۱۵۰ و زمان فرآیند ۵ min تا ۱۵، کمترین میزان تغییرات وزنی و تأثیرات آن نمودار است و در بازه ولتاژ V ۱۵۵ تا ۱۶۷ نیز مقدار نسبت به قبل افزایش یافته است و از

با توجه به ضرایب تخمینی که در جدول (۳) نشان داده شده است، از بین ضرایب تخمین ولتاژ اهمیتیک و زمان فرآیند، بیشترین تأثیر را زمان فرآیند داشته است که این امر را می توان چنین توجیه کرد که وقتی نمونه ها درون آب قرار گرفتند، آب به نقطه ای جوش رسیده و از این رو مدت زمان فرآیند حرارت دهی تأثیر بیشتری بر روی میزان جذب آب در نمونه ها داشته، چراکه ولتاژ اهمیتیک برای گرم نگه داشتن آب صرف شده و تأثیر کمتری را بر روی میزان تغییرات وزن نمونه داشته است. در شکل (۴) نشان داده شده است که با

زمان خشک‌شدن را کاهش دهد؛ چراکه افزایش ولتاژ تولید حرارت بیشتر درون نمونه‌ها را در پی دارد و به دلیل گرمایش اهمی، اختلاف فشار بخار زیادی بین مرکز و سطح نمونه‌ها ایجاد می‌شود [۱۶].

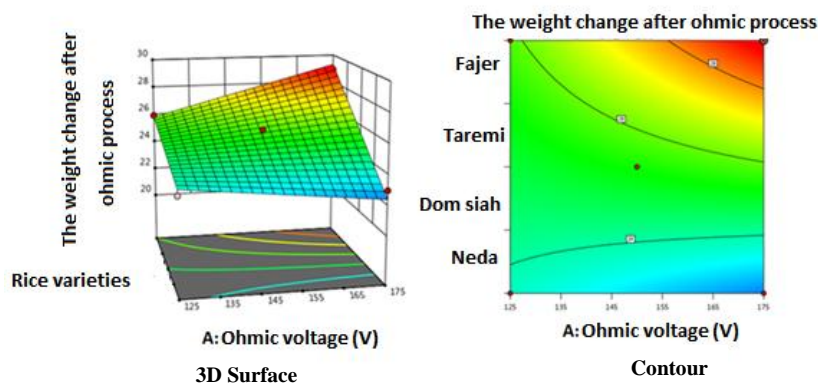
ولتاژ ۱۶۵ V به بعد، با افزایش ولتاژ و زمان فرآیند میزان تغییرات وزن نیز افزایش یافته است؛ این مطلب را می‌توان در منطقه قرمز مشاهده کرد. حسین‌پور و همکاران (۲۰۱۴) نیز در استفاده از روش اهمیک به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان ولتاژ می‌تواند مقدار نرخ پیش خشک‌شدن را افزایش



شکل (۴) تأثیر ولتاژ اهمیک و زمان فرآیند، بر میزان تغییرات وزن طی فرآیند اهمیک
Fig 4. Effect of ohmic processing time and ohmic voltage on weight changes in the ohmic process

دیگر داشته است. همان‌طور که در شکل (۵) contour نشان داده شده است، بیشترین میزان تغییرات وزن در رقم فجر و زمانی بوده که ولتاژ بین ۱۵۵ تا ۱۷۵ بوده است و با افزایش ولتاژ، میزان تغییرات وزن نیز افزایش داشته است. از طرفی با انجام پیش‌ تیمار اهمیک، نمونه‌ها تا مرحله میانی خشک‌شدن پیش رفته و آماده خشک‌شدن توسط خشک‌کن می‌شوند و بخشی از رطوبت نمونه‌ها توسط پیش‌ تیمار خارج می‌شود [۱۶].

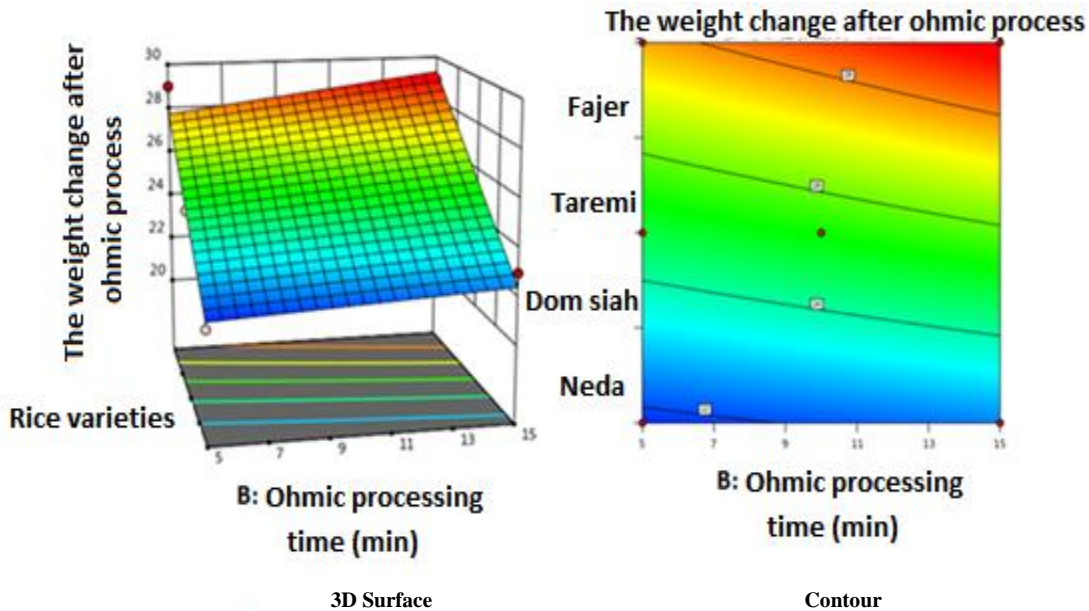
مقادیر ضرایب ولتاژ اهمیک و رقم برنج‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است که رقم برنج با ضریب ۲/۰۲ نسبت به ولتاژ اهمیک ضریب بالاتری داشته و این امر نشان می‌دهد که میزان تغییرات وزن و افزایش آب نمونه‌های برنج بیشتر به نوع رقم آن‌ها بستگی دارد. با توجه به شکل (۵)، مشاهده می‌شود که با افزایش ولتاژ و تغییرات نوع برنج رقم ندا به سمت رقم فجر، میزان تغییرات وزن طی فرآیند نیز افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد که تفاوت در رقم برنج، میزان کاهش وزن بیشتری را طی فرآیند اهمیک نسبت به رقم‌های



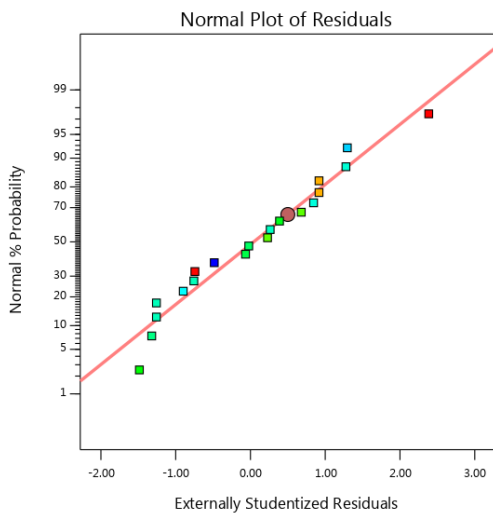
شکل (۵) تأثیر ولتاژ اهمیک و نوع رقم، بر میزان تغییرات وزن طی فرآیند اهمیک
Fig 5. Effect of ohmic voltage and rice varieties on weight changes in the ohmic process

وزن در طول فرآیند اهمیتیک باشد. همان طور که در شکل (۶) contour نمایان است، بیشترین میزان تغییرات وزن در رقم فجر و زمانی بوده که از ۸ min به سمت ۱۵ min رفته و با افزایش زمان فرآیند اهمیتیک، میزان تغییرات وزن نیز افزایش داشته است.

شکل (۶) نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان فرآیند اهمیتیک و تغییرات نوع برنج به سمت فجر میزان تغییرات وزن طی فرآیند نیز افزایش می‌یابد و خروج آب از بافت نسبت به رقم‌های دیگر در این رقم بیشتر بوده است که شاید خصوصیات فیزیکی یکی از اصلی‌ترین دلایل این تغییرات



شکل (۶) تأثیر نوع رقم و زمان فرآیند بر میزان تغییرات وزن، طی فرآیند اهمیتیک
Fig 6. Effect of ohmic processing time and rice varieties on weight changes in the ohmic process



شکل (۷) بررسی توزیع نرمال باقی‌مانده
Fig7. shows the residual normal distribution in the ohmic processing

در شکل (۷)، میزان پراکندگی خطاها نشان داده شده است. با توجه به اینکه مقادیر به دست آمده بسیار نزدیک به خط رسم شده‌اند، می‌توان بیان کرد که مقادیر پراکندگی، خطای مناسبی برای میزان تغییرات وزن به دست آمده است؛ این امر نشان‌دهنده عدم اختلاف زیاد بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل بوده است که توانسته مقادیر نزدیک به اعداد واقعی را به دست آورد. این امر یک توزیع نرمال را نشان می‌دهد و بیانگر سازگار بودن مدل و داده‌های واقعی با داده‌های پیش‌بینی شده است.

نتایج حاصل از Sequential Model Sum of Squares تغییرات وزن برنج‌ها، طی فرآیند حرارت‌دهی اهمیت را نشان می‌دهد که چگونه یک عبارت در مدل نهایی شرکت می‌کند. جدول (۴)، نتایج حاصل از مدل‌های تشکیل شده مدل اثر متقابل فاکتورها و خطی بهترین مدل بوده‌اند.

جدول (۴) بهترین مدل‌های تشکیل شده برای داده‌ها

Table 4. the best models for the data

مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sun square	نوع مدل Model
		12465.02	1	12465.02	Mean vs Total
0.0002	12.95	18.26	3	54.77	Linear vs Mean
0.0142	5.19	4.10	3	12.29	2FI vs Linear
0.3889	1.11	0.8570	3	2.57	Quadratic vs 2FI
0.2895	2.11	0.9138	7	6.40	Cubic vs Quadratic
		0.4326	3	1.30	Residual
		627.12	20	12542.36	Total

اهمیک و نوع رقم برنج، با هم معنی‌دار شده است. برای حالت درجه دوم، فاکتورها هیچ سطح معنی‌داری مشاهده نشده است. با توجه به این که میزان Lack of Fit آن معنی‌دار نشده، چنین دریافت می‌شود که این امر، نشان‌دهنده مناسب بودن مدل پس از کاهش تعداد جملات غیرمعنی‌دار است. همچنین با توجه به جدول و مقادیر R^2 adjusted و R^2 می‌توان بیان کرد که چون مقادیر بسیار نزدیک به یک هستند، مدل پیش‌بینی فرآیند بسیار قوی و مناسب بوده و مقدار R^2 adjusted پیش‌بینی‌شده نیز بسیار خوب و مطلوب است.

۲.۳. تغییرات وزن دانه‌های برنج در خشک‌کن ماکروویو

جدول (۵)، نتایج حاصل از تجزیه واریانس و ضرایب پیشگویی میزان تغییرات وزن در ماکروویو را نشان می‌دهد و با توجه به جدول می‌توان برای تغییرات وزن در ماکروویو بیان کرد که مدل استفاده شده $P < 0.0001$ معنی‌دار شده است و فاکتورهای ولتاژ اهمیت و رقم برنج به ترتیب در سطح $P < 0.0001$ و $P < 0.0001$ معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل دو فاکتور ولتاژ اهمیت و مدت‌زمان اهمیت، با هم و ولتاژ

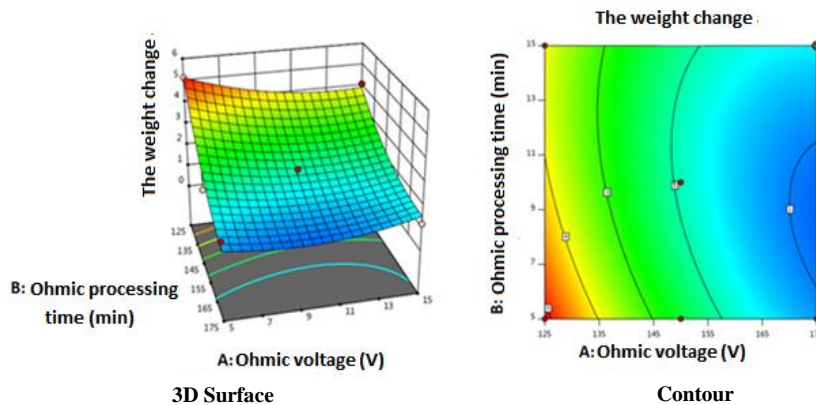
جدول (۵) آنالیز واریانس برای مدل انتخاب شده، جهت تغییرات وزن در خشک‌کن ماکروویو
Table 5. analysis of variance for the selected model for weight changes in the microwave dryer

مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum square	ضریب تخمین Coefficient of estimation	مدل Model	
Significant	0.0001	14.87	4.06	9	36.52	0.6616	
	0.0094	10.26	2.80	1	2.80	-0.5131	A- ولتاژ اهمیت Ohmic voltage
	0.4535	0.6083	0.1660	1	0.1660	-0.1182	B- زمان فرآیند اهمیت Ohmic process time
	0.0323	6.18	1.69	1	1.69	-0.3694	C- رقم برنج Rice varieties
	0.0436	5.33	1.45	1	1.45	0.4101	AB
	0.0002	34.67	9.46	1	9.46	-1.09	AC
	0.6281	0.2498	0.0682	1	0.0682	-0.0839	BC
	0.0481	5.07	1.38	1	1.38	0.5842	A ²
	0.1539	2.38	0.6498	1	0.6498	0.4405	B ²

0.0001	37.33	10.19	1	10.19	1.62	C ²
		0.2729	10	2.73		Residual
		0.3411	8	2.73		Lack of Fit
		0.0000	2	0.0000		Pure Error
			19	39.25		Cor Total
					0.9305	R ²
					0.8679	Adjusted R ²
					0.6315	Predicted R ²
					12.1588	Adeq Precision

بیشتری در فرآیند اهمیت بوده‌اند؛ بیشترین مقدار تغییرات وزن، زمانی مشاهده شد که نمونه‌ها در ولتاژ ۱۲۵ V و زمان فرآیند اهمیت ۵ min بود. همان‌طور که در شکل (۸) contour پیداست، در ولتاژهای ۱۲۵ تا ۱۳۵ و زمان فرآیند ۵ تا ۹ min، بیشترین میزان تغییرات وزنی و تأثیرات آن مشاهده شده است و در بازه ولتاژ ۱۵۷ تا ۱۷۵ نیز مقدار نسبت به قبل کاهش یافته است. سالنگه و همکاران نیز بر روی تأثیر پیش‌تیمار اهمیت در حین خشک‌کردن انگور، به نتایج مشابه‌ای رسیدند که استفاده از پیش‌تیمار اهمیت، سبب بهبود خشک‌کردن شده است [۱۷].

مقادیر ضرایب ولتاژ اهمیت و مدت‌زمان فرآیند اهمیت در جدول (۵) مندرج است که فاکتور زمان با ضریب ۰/۱۱۸ - نسبت به فاکتور ولتاژ اهمیت ضریب بزرگ‌تری دارد؛ این ضریب بزرگ‌تر نشان‌دهنده تأثیر بیشتر فاکتور زمان، نسبت به فاکتور ولتاژ اهمیت است. همچنین در شکل (۸) نشان داده شده است که با افزایش ولتاژ و زمان فرآیند اهمیت، میزان تغییرات وزن طی فرآیند خارج‌سازی رطوبت توسط خشک‌کن کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که افزایش زمان فرآیند اهمیت و ولتاژ اهمیت سبب کاهش رطوبت نمونه‌ها شده و همین امر، سبب کاهش میزان تغییرات وزن نمونه‌هایی شود که ولتاژ و مدت زمان



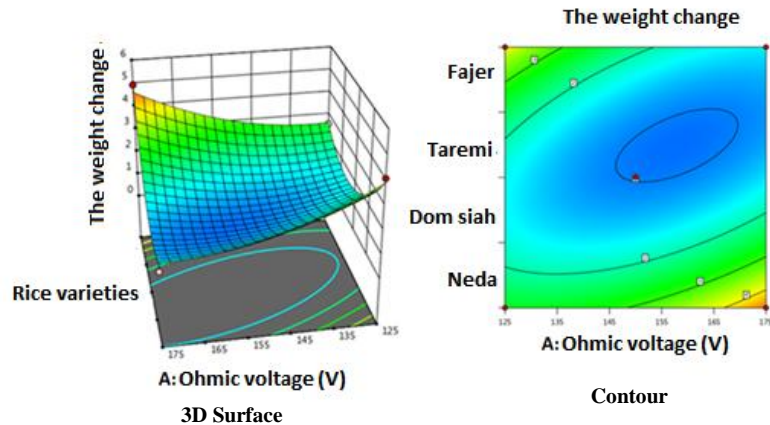
شکل (۸) تأثیر ولتاژ اهمیت و زمان فرآیند اهمیت بر میزان تغییرات وزن در خشک‌کن ماکروویو
Fig 8. Effect of ohmic voltage and ohmic process time on weight changes in microwave dryer

رقم برنج به سمت فجر، میزان تغییرات وزن طی فرآیند نیز افزایش می‌یابد و رقم فجر و ندا تغییر وزن کمتری را نسبت به رقم‌های طارم و دم‌سیاه داشته‌اند. بر این اساس، اهمیت تأثیر بیشتری بر روی رقم ندا و فجر داشته است، زیرا در طی خشک‌شدن توسط خشک‌کن ماکروویو نیز بیشترین تغییرات

با توجه به ضرایب تخمین ولتاژ اهمیت و رقم برنج که در جدول (۵) نشان داده شده است، از بین ولتاژ اهمیت و رقم برنج نیز بیشترین تأثیر را رقم برنج داشته است؛ چراکه ضریب تخمین بزرگ‌تری نسبت به ولتاژ اهمیت داشته است. با توجه به شکل (۹) درمی‌یابیم که با افزایش ولتاژ و تغییرات

بوده است و با افزایش ولتاژ، میزان تغییرات وزن نیز رو به فزونی است.

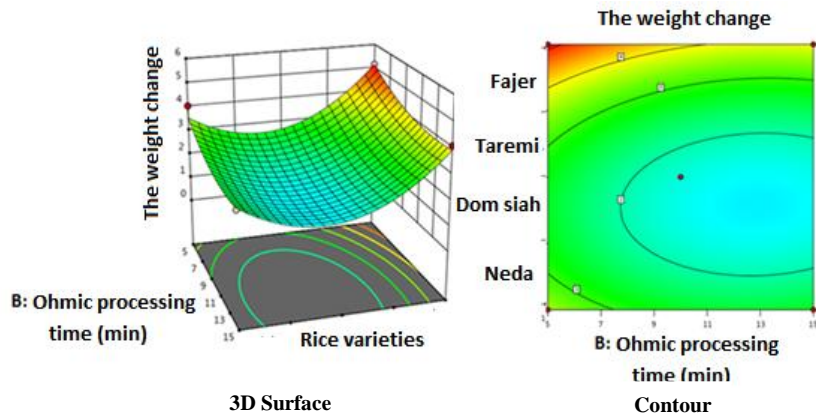
وزن برای این دو رقم ثبت شده است. همان‌طور که در شکل (۹) contour نشان داده شده است، بیشترین میزان تغییرات وزن در رقم ندا و زمانی بوده که ولتاژ بین ۱۶۷ V تا ۱۷۵



شکل (۹) تأثیر ولتاژ اهمیک و نوع رقم بر میزان تغییرات وزن در خشک‌کن ماکروویو
 Fig 9. Effect of ohmic voltage and rice varieties on weight changes in microwave dryer

شکل (۱۰) مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱۰) contour مشخص است، بیشترین میزان تغییرات وزن در رقم فجر و زمانی بوده است که از ۸ min به سمت ۱۵ min افزایش داشته است. با افزایش زمان فرآیند اهمیک، میزان تغییرات وزن نیز بالا خواهد رفت. این امر را می‌توان با میزان انتشار رطوبت مرتبط دانست. این امر هنگام خشک‌شدن، موجب بروز تفاوت در بین این نوع نمونه‌ها می‌شود. در کل، پیش‌تیمار اهمیک با ایجاد حرکت جنبشی مولکول آب در نمونه‌ها، سبب می‌شود در حین پیش‌تیمار و اهمیک، تغییراتی وزنی داشته باشیم [۱۷].

همان‌طور که در شکل (۱۰) نشان داده شده است، با افزایش مدت‌زمان فرآیند اهمیک و تغییرات نوع برنج به سمت فجر، میزان تغییرات وزن طی فرآیند نیز افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار تغییرات وزن، در این رقم برنج مشاهده شد. این امر نشان می‌دهد که در رقم فجر، فاکتور مدت‌زمان اهمیک تأثیر معنی‌داری را بر روی تغییرات وزن داشته است؛ چراکه با افزایش مدت‌زمان اهمیک، تغییرات وزن کمتر شده است. به تعبیر دیگر، طی فرآیند اهمیک رطوبت بیشتری از نمونه رقم فجر خارج شده است که برای رقم ندا، طارم و دم‌سیاه کمتر بوده است؛ این امر با تغییرات رنگی کمتر، در

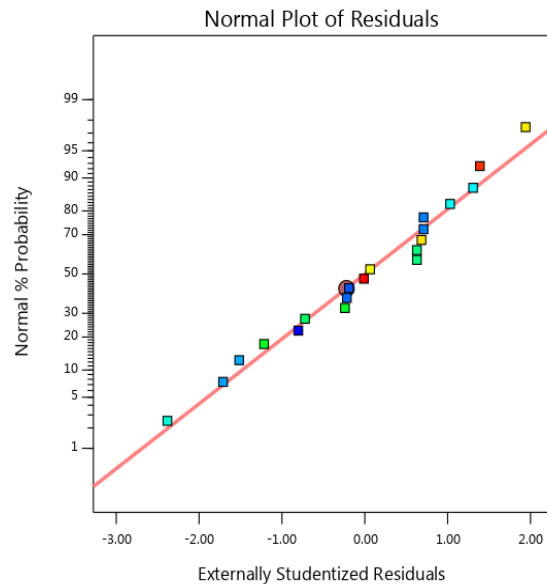


شکل (۱۰) تأثیر نوع رقم و زمان فرآیند بر میزان تغییرات وزن در خشک‌کن ماکروویو
 Fig 10. Effect of ohmic processing and rice varieties on weight changes in microwave dryer

خطای مناسبی برای میزان تغییرات وزن به دست آمده است؛ این امر نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل مناسب بوده که توانسته مقادیر نزدیک به خط را به دست آورد و توزیع نرمال مناسبی ایجاد نموده است که نتایج سازگار بودن مدل و داده‌های واقعی با داده‌های پیش‌بینی شده را نشان می‌دهند. با افزایش ولتاژ، میزان بالارفتن دمای نمونه‌ها زیاد می‌شود و همین امر، سبب می‌شود زمان فرآیند افزایش یافته و مدت زمان بیشتری در فرآیند اهمیت بمانند؛ در نتیجه افزایش فشار بخار در داخل نمونه‌ها، میزان انتشار رطوبت مؤثر نمونه‌ها و در پی آن، فعالیت مولکول‌های آب را افزایش می‌دهد.

نتایج حاصل از Sequential Model Sum of Squares نشان می‌دهد که چگونه یک عبارت پیچیده در مدل نهایی شرکت می‌کند. با توجه به جدول (۶) نتایج حاصل از مدل‌های تشکیل شده تغییرات وزن برنج‌ها در ماکروویو نشان داده شده است. برای ضریب تغییرات وزن طی فرآیند حرارت دهی بهترین مدل، مدل درجه دوم در اثر متقابل فاکتورها بوده است.

در شکل (۱۱)، میزان پراکندگی خطاها نشان داده شده است.



شکل (۱۱) بررسی توزیع نرمال باقی‌مانده در خشک‌کن ماکروویو
Fig 11. shows the residual normal distribution in the microwave dryer

با توجه به این که مقادیر به دست آمده به خط رسم شده بسیار نزدیک هستند، می‌توان بیان کرد که مقادیر پراکندگی،

جدول (۶) بهترین مدل‌های تشکیل شده برای داده‌ها در خشک‌کن ماکروویو

Table 6. the best models for the data in the microwave dryer

نوع مدل	مجموع مربعات sum of squares	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares	مقدار F	مقدار P
Mean vs Total	103.74	1	103.74		
Linear vs Mean	5.72	3	1.91	0.9092	0.4585
2FI vs Linear	11.54	3	3.85	2.27	0.1282
Quadratic vs 2FI	19.26	3	6.42	23.53	< 0.0001
Cubic vs Quadratic	2.38	7	0.3394	2.88	0.2075
Residual	0.3536	3	0.1179		
Total	142.99	20	7.15		

فرآیند اهمیت و تغییرات وزن طی خشک‌کردن با ماکروویو در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) آورده شده است.

با توجه به مقادیر R نشان داده شده برای تغییرات وزن طی فرآیند حرارت‌دهی اهمیت در جدول (۷) نشان می‌توان بیان کرد که RSM توانسته به خوبی داده‌ها را مورد بررسی آماری

۳.۳. بررسی پیش‌بینی داده‌ها با شبکه عصبی مصنوعی و RSM

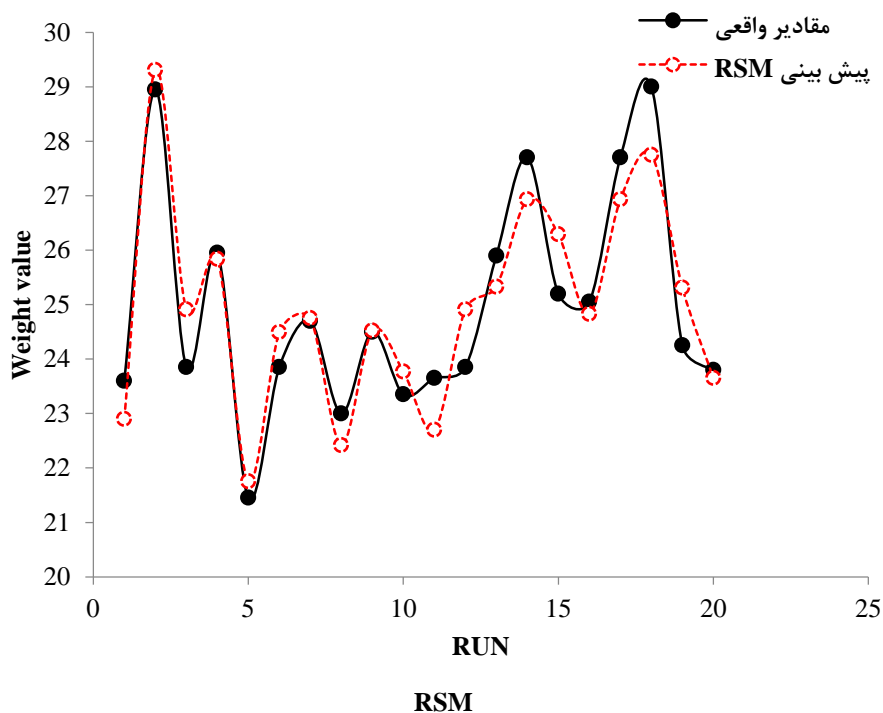
برای شبیه‌سازی داده‌ها از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و RSM استفاده شد که در روش RSM مقادیر پیش‌بینی شده مدل در جدول (۷) نشان داده شده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی داده‌ها برای تغییرات وزن طی

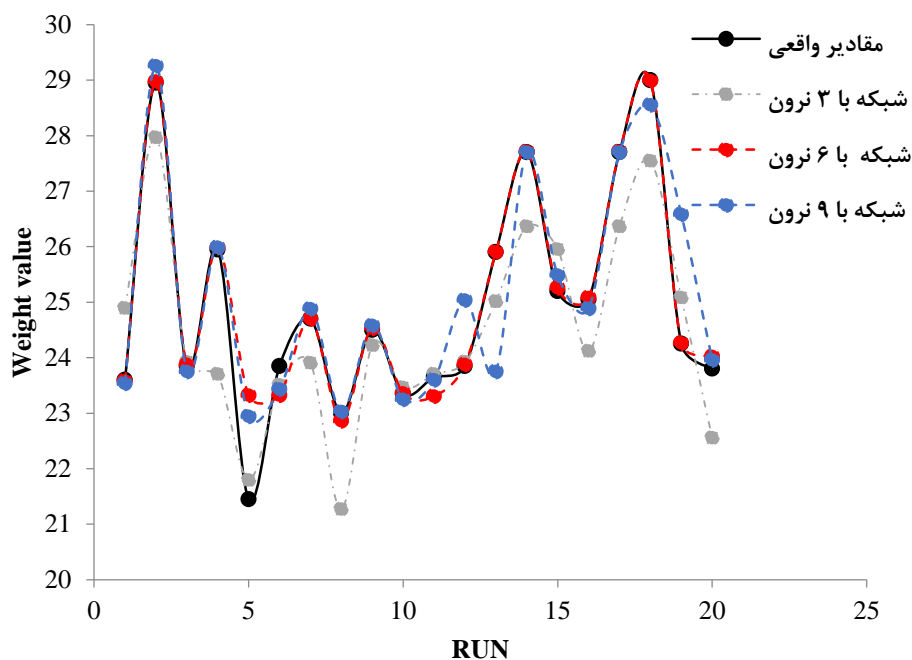
داده‌های واقعی به صورت نقطه به نقطه مقایسه شده است تا بتوان به راحتی فهمید که چه مقدار بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی تطابق وجود دارد و با توجه به شکل، می‌توان فهمید که نقاط پیش‌بینی با RSM اصلاً دقیق نبوده است.

قرار دهد، اما در شبیه‌سازی داده‌های پیش‌بینی شده خوب عمل نکرده و از آن طرف شبکه عصبی مصنوعی را می‌توان ابزار قدرتمندتری نسبت به RSM، برای شبیه‌سازی داده‌ها دانست؛ چراکه میزان تمامی R ها بالای ۰/۹۰ بوده که بسیار خوب است. همچنین در شکل (۱۲) نیز پیش‌بینی داده‌ها و

جدول (۷) مقادیر R های پیش‌بینی شده توسط روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی
Table 7. R values predicted by response surface methodology and artificial neural networks

تغییرات وزن طی فرآیند اهمیک Weight changes during the Ohmic process	تغییرات وزن طی خشک کردن با ماکروویو Weight changes during microwave drying	R
0.6411	0.6315	RSM
0.933	0.943	شبکه با سه ترون 3 neurons in the hidden layer
0.997	0.999	شبکه با ۶ ترون 6 neurons in the hidden layer
0.994	0.989	شبکه با ۹ ترون 9 neurons in the hidden layer





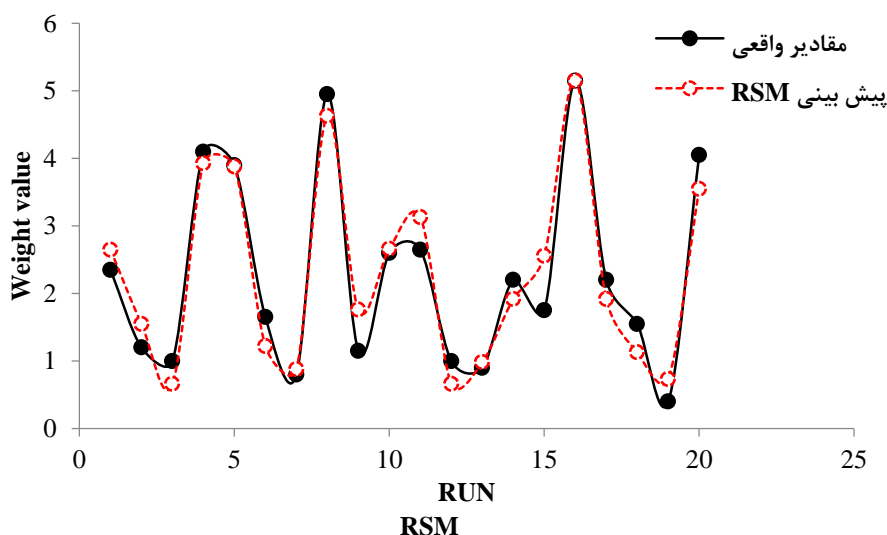
شبکه عصبی مصنوعی

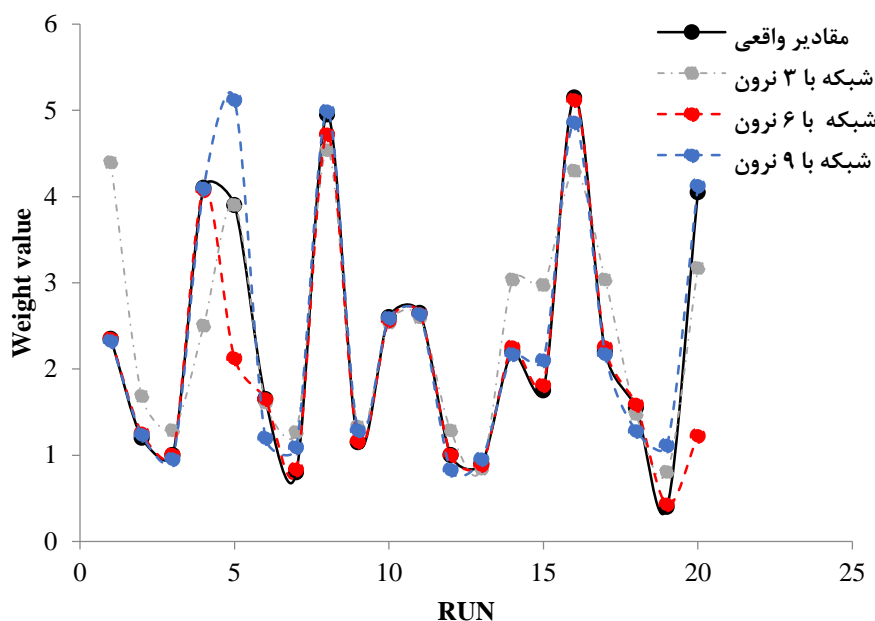
شکل (۱۲) مقادیر پیش‌بینی شده با شبکه عصبی مصنوعی و RSM برای تغییرات وزن طی فرآیند اهمیک

Fig 12. Predicted values with artificial neural network and RSM for weight changes during ohmic process

شکل (۱۳) نیز به صورت نقطه‌به‌نقطه مقادیر پیش‌بینی شده نشان داده شده است و در مجموع می‌توان بیان کرد که برای پیش‌بینی داده‌ها بهتر است که از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شود.

همچنین برای تغییرات وزن طی خشک‌کردن با ماکروویو نیز تمامی مقادیر R ها، بالای ۰/۹۰ بوده است که می‌توان از دقت بالای شبکه عصبی برای پیش‌بینی داده‌ها باشد و مقدار R پیش‌بینی داده‌ها با RSM اصلاً مناسب نبوده است در





شبکه عصبی مصنوعی

شکل (۱۳) مقادیر پیش‌بینی شده با شبکه عصبی مصنوعی و RSM برای تغییرات وزن طی خشک کردن
Fig 13. Predicted values with artificial neural network and RSM for weight changes during drying

میزان آب خارج شده را در فرآیند اهمیت نشان داده و وزنش کمتر شده است؛ اما برای رقم برنج و زمان فرآیند، تفاوت بین تمامی رقم‌ها وجود داشته است. رقم دم‌سیاه بین رقم طارمی و ندا قرار داشته و میانگین تغییرات وزن رقم برنج فجر در طول فرآیند حرارت‌دهی اهمیت، متفاوت از هر سه رقم برنج بوده است.

برای فرآیند خشک کردن برنج توسط ماکروویو ولتاژ اهمیت و رقم برنج معنی‌دار شده است، اما میزان زمان فرآیند اهمیت معنی‌دار نشده است و هر سه فاکتور، رابطه معکوسی با خشک شدن داشته است. از طرفی برای خشک شدن مدل درجه دوم در برابر اثر متقابل پیشنهاد شده و برای فرآیند خشک شدن توسط خشک‌کن ماکروویو ولتاژ ۱۲۵ V تا ۱۳۵ V کمترین تغییرات وزن طی خشک شدن را داشته است، زیرا کمترین میزان خارج‌سازی رطوبت در این ولتاژها طی فرآیند اهمیت بوده است.

اثر فاکتور رقم برنج و ولتاژ اهمیت در تغییرات وزن برای رقم‌های ندا و فجر، تقریباً در یک راستا و برای طارمی و

۴. نتیجه‌گیری

برای فرآیند خارج‌سازی رطوبت در طی فرآیند اهمیت، دو فاکتور ولتاژ اهمیت و زمان فرآیند اهمیت معنی‌دار نشده، اما زمان فرآیند مؤثرتر بوده و فقط رقم برنج از نظر آماری و مدل‌سازی تفاوت معنی‌داری را در مدل پیشنهادی داشته که مدل پیشنهادی، اثر متقابل در برابر خطی بهترین مدل شناخته شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده برای تغییرات وزن طی فرآیند اهمیت، می‌توان بیان کرد که هرچه میزان زمان فرآیند و ولتاژ اهمیت بیشتر بوده، میزان تغییرات وزنی نیز رو به فزونی داشته؛ یعنی رطوبت بیشتری از نمونه خارج شده است و از ولتاژ ۱۶۵ V تا ۱۷۵ V و زمان فرآیند ۸ min، تقریباً تغییرات وزن ثابت و بیشترین مقدار بوده است.

برای اثر ولتاژ اهمیت و رقم برنج نیز می‌توان گفت که رقم دم‌سیاه و طارم، در یک دامنه تغییرات وزن و فجر و ندا هم در دسته‌های جداگانه‌ای از تغییرات وزن قرار داشته‌اند و بیشترین تغییرات وزن برای نمونه فجر بوده است که بالاترین

مصنوعی نشان داد که میزان دقت شبکه عصبی مصنوعی، به مراتب بیشتر از دقت اعداد پیش‌بینی شده با RSM بوده است؛ چرا که مقادیر R شبکه عصبی نزدیک‌تر به یک بوده و همچنین تطابق بیشتری، نسبت به حالت RSM، با داده‌های واقعی داشته است.

دم‌سیاه در یک دامنه بوده است. همچنین فاکتور مدت‌زمان فرآیند حرارت‌دهی اهمیت در طی خشک‌کردن میزان تفاوت زیادی را بین ارقام مختلف نشان دهد و تقریباً همگی دامنه تغییرات وزن خشک‌شدن‌شان یکسان بوده است. همچنین مقادیر پیش‌بینی‌شده از مدل‌های RSM و شبکه عصبی

منابع

- [1] T. Imai, K. Uemura, N. Ishida, S. Yoshizaki, A. Noguchi.(2007). Ohmic heating of Japanese white radish *Rhaphanus sativus* L. *Int. J. Food Sci. Technol.* 30 , 461– 472. doi:10.1111/j.1365-2621.1995.tb01393.x.
- [2] A. Goullieux, J.-P. Pain, Ohmic Heating, in: *Emerg. Technol. Food Process. Elsevier*, pp. 469–505. doi:10.1016/B978-012676757-5/50020-7.
- [3] C.M.A.-C. Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery.(1995). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. publish in wiley.
- [4] K. Sastry, Q. Li.(2005). Modeling and optimization of ohmic heating of foods inside a flexible. *J. Food Proc Eng.* 28(4):417 - 436
- [5] F. Icier, C. Ilicali.(2005). Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Res. Int.* 38 1135–1142. doi:10.1016/j.foodres.2005.04.003.
- [6] I. Castro, J.. Teixeira, S. Salengke, S.. Sastry, A.(2004). Vicente, Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 5 27–36. doi:10.1016/j.ifset.2003.11.001.
- [7] M.R. Zareifard, H.S. Ramaswamy, M. Trigui, M. Marcotte.(2003). Ohmic heating behaviour and electrical conductivity of two-phase food systems. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 4 , 45–55.
- [8] L.-J. Wang, D. Li, E. Tatsumi, Z.-S. Liu, X.D. Chen, L.-T. Li.(2007). Application of two-stage ohmic heating to tofu processing. *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 46,486– 490.
- [9] H.S.R. M. Marcotte, M. Trigui.(2000). Effect of salt and citric acid on electrical conductivities and ohmic heating of viscous liquids. *J. Food Process. Preserv.* 24 , 389 – 406. doi:10.1111/j.1745-4549.2000.tb00427.x.
- [10] S. Sarang, S.K. Sastry, L. Knipe.(2008). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *J. Food Eng.* 87, 351–356.
- [11] Aghabashlo ., M.(2008). Fabrication and Evaluation of a Semi- Continuous Experimental Dryer Suitable for Small Fruits and Vegetables Based on Thin-layer Kinetics. Thesis. [In persian]
- [12] A. Midilli, H. Kucuk, Z. Yapar.(2002). A New Model For Single-Layer Drying. *Dry. Technol.* 20 , 1503–1513. doi:10.1081/DRT-120005864.
- [13] C. Coff, Incorporation, Digestion and Incarnation, History. (n.d.) 1–9. doi:10.1016/j.aqpro.2013.07.003.
- [14] C.M.A.-C. by Raymond H. Myers , Douglas C. Montgomery.(2009). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 3rd Edition, 3rd ed., Wiley.*
- [15] H. Han, B. Li, H. Wu, W. Shao.(2015). Multi-objective shape optimization of double pipe heat exchanger with inner corrugated tube using RSM method Design of Experiments. *Int. J. Therm. Sci.* 90 (2015) 173–186. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2014.12.010.
- [16] A. Hosainpour, H. Darvishi, F. Nargesi, A. Fadavi.(2014). Ohmic pre-drying of tomato paste. *Food Sci. Technol. Int.* 20 , 193–204. doi:10.1177/1082013213480360.
- [17] S. Salengke, S.K. Sastry.(2005). Effect of ohmic pretreatment on the drying rate of grapes and adsorption isotherm of raisins. *Dry. Technol.* 23 , 551–564. doi:10.1081/DRT-200054131.
- [18] M.Y. B. Khoshnevisan, Sh. Rafiee, M. Omid.(2013). Prediction of environmental indices of Iran wheat production using artificial neural networks. *Int. J. Energy Environ.* 4 . 339–348.
- [19] M. Azadbakht, H. Aghili, A. Ziaratban, M.V. Torshizi.(2017). Application of artificial neural network method to exergy and energy analyses of fluidized bed dryer for potato cubes. *Energy.* 120 .

947–958. doi:10.1016/j.energy.2016.12.006.

[20] M. Azadbakht, M.V. Torshizi, F. Noshad, A. Rokhbin.(2018). Application of artificial neural network method for prediction of osmotic pretreatment based on the energy and exergy analyses in microwave drying of orange slices. *Energy*. 165. 836–845. doi:10.1016/j.energy.2018.10.017.

[21] M. Azadbakht, M.V. Torshizi, A. Ziaratban.(2016). Application of Artificial Neural

Network (ANN) in predicting mechanical properties of canola stem under shear loading. *Agric. Eng. Int.* 18 . 413–425.

[22] M. Azadbakht, M. Vehedi Torshizi, H. Aghili, A. Ziaratban.(2018).Application of artificial neural network (ann) in drying kinetics analysis for potato cubes. *Carpathian J. Food Sci. Technol.* 10 .96–106. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19981100164>.



Investigation of drying process of different Iranian rice cultivars by Ohmic pre-treatment in microwave dryer and modeling by response surface methodology and artificial neural network

Mohsen Azadbakht^{*1}, Mohammad Vahedi Torshizi², Hassan Jafari³

1.Associate Professor, Department of Bio-system mechanical engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

2.MSc Graduated, Department of Bio-system mechanical engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

3.MSc Graduated, Department of Bio-systems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University(SANRU), Sari, Iran.

Abstract

In this research, investigation drying of four rice cultivars (Fajr, Taromi , Dom-siah and Neda) were done by microwave dryer and using ohmic pre-treatment. Three voltages of 125, 150, 175 volts were selected for the pre- treatment ohmic in three times 5, 10 and 15 min and the weight changing were measured and recorded. Finally, the samples placed in the microwave by power 600 watt and every two minutes until dry weight changes were measured. The results of the experiment were analyzed using response surface methodology and artificial neural network. Investigation on rice varieties in the ohmic process showed that Fajr variety had the highest water extraction and weight loss compared to other varieties (Taromi , Dom-siah and Neda) and during the pre-treatment process of ohmic and also during drying by the microwave, those had more moisture extracted. And after that, Tarom and Dom-Siah had the highest amount of moisture removal, Also the lowest moisture removal during the Ohmic heating and drying process were in Neda cultivar. In addition to weight loss in drying with a microwave dryer, Increasing voltage and ohmic time had higher moisture content than low voltage and low ohmic time and rice cultivar Fajr had more weight loss than other cultivars. Also, the predicted values of the response surface method (RSM) models and artificial neural network showed that the accuracy of the artificial neural network was 0.30 more than the predicted RSM numbers.

Keywords: Ohmic Heating, Microwave dryer, Rice, Response Surface Method, Artificial Neural Network.

^{*} Corresponding author: azadbakht@gau.ac.ir