



استفاده از روش انفیس برای مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن صمغ دانه "به" با خشک‌کن فروسرخ نوید گودینی^۱، اشرف گوهری اردبیلی^{۲*}، فخرالدین صالحی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>انفیس (سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی) یک روش ترکیبی عصبی-فازی برای مدل‌سازی پدیده‌های انتقال (جرم و حرارت) در فرآوری مواد غذایی است. در این مطالعه ابتدا جهت خشک‌کردن صمغ استخراج شده از دانه "به"، از یک خشک‌کن فروسرخ استفاده گردید. سپس از روش انفیس برای مدل‌سازی و پیش‌بینی درصد تغییرات وزن این صمغ هنگام خشک شدن در خشک‌کن فروسرخ استفاده شد. در خشک‌کن فروسرخ اثر فاصله نمونه‌ها از لامپ پرتودهی و اثر ضخامت صمغ درون ظرف بر زمان خشک شدن و درصد کاهش وزن صمغ دانه "به" در طی زمان خشک‌کردن، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک‌کردن این صمغ با روش فروسرخ نشان داد با کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی از ۱۰ به ۵ سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن صمغ دانه "به" از ۵۸/۰ دقیقه به ۲۹/۳ دقیقه کاهش یافت (ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر). همچنین با کاهش ضخامت صمغ موجود در ظرف نمونه از ۱/۵ به ۰/۵ سانتی‌متر نیز میانگین زمان خشک‌کردن صمغ استخراج شده از ۴۵/۷ دقیقه به ۱۹/۳ دقیقه کاهش یافت (فاصله ۷/۵ سانتی‌متر). مدل انفیس با ۳ ورودی زمان خشک‌کردن، فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی و ضخامت صمغ موجود در ظرف نمونه برای پیش‌بینی درصد تغییرات وزن این صمغ هنگام خشک شدن در خشک‌کن فروسرخ، توسعه یافت. مقادیر ضریب تبیین محاسبه شده برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن صمغ با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی کاهشی مبتنی بر انفیس برابر ۰/۹۸۳ بود. در مجموع می‌توان بیان داشت که میزان ضریب تبیین بالای بین نتایج تجربی و خروجی‌های مدل انفیس بیانگر دقت قابل قبول و قابلیت استفاده از این روش در مدل‌سازی فرایندهای انتقال جرم و حرارت در صنایع غذایی است.</p>	<p>تاریخ های مقاله :</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵</p> <p>کلمات کلیدی:</p> <p>انتقال جرم، خوشه‌بندی کاهشی، درصد کاهش وزن، سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی، صمغ دانه "به"</p> <p>DOI: 10.22034/FSCT.19.131.83 DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.131.7.8</p> <p>* مسئول مکاتبات: a.gohari@basu.ac.ir</p>

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت و کاربرد هیدروکلوئیدهای در صنایع غذایی و قیمت بالای این محصولات، توجه به صمغ‌های گیاهی و بومی افزایش یافته و در ایران به دلیل وجود منابع گیاهی، پژوهشگران به فکر جایگزینی صمغ‌های گیاهی بومی با نمونه‌های تجاری هستند [۱، ۲]. یکی از این هیدروکلوئیدها، صمغ دانه "به" می‌باشد. صمغ دانه "به" دارای راندمان استخراج بالا، ساختار ژل مانند قوی و حجم هیدرودینامیکی بالایی است و می‌تواند به‌عنوان جایگزین چربی در محصولات غذایی به‌عنوان قوام دهنده به کار برده شود. برای مثال غیبی و اشرفی‌پورقائلو (۲۰۲۰) تأثیر افزودن اینولین و پودر صمغ دانه "به" بر خواص فیزیکوشیمیایی و کیفی ماست کم‌چرب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که افزودن اینولین باعث کاهش معنی‌دار میزان آب اندازه‌گیری گردید و در سطوح بالاتر صمغ دانه "به" (۰/۵ درصد)، با گذشت زمان از شدت افزایش آب اندازه‌گیری کاسته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از اینولین و صمغ دانه به در سطوح بهینه، در تهیه ماست کم‌چرب استفاده نمود [۳].

صمغ استخراج شده از دانه "به"، به علت فعالیت آبی بالا باید سریعاً خشک شود. هدف از فرآیند خشک کردن این صمغ، جلوگیری از فساد، افزایش زمان ماندگاری، کاهش وزن و صرفه‌جویی در هزینه حمل‌ونقل است. پژوهشگران روش‌های مختلفی را برای خشک کردن صمغ استخراج شده از دانه گیاهان مورد استفاده قرار داده‌اند. خشک‌کن فرسوخ یکی از روش‌های رایج خشک کردن مواد غذایی است. این موضوع می‌تواند زمان خشک کردن را کاهش دهد، هزینه انرژی را پایین آورده و همچنین به شکل مساوی دما را در محصول پراکنده نماید که منجر به تولید محصول دارای کیفیت بالاتری می‌شود [۴، ۵].

تئوری سیستم‌های فازی بر مبنای فرآیند کلی پردازش اطلاعات در مغز عمل می‌کند. یک سیستم فازی با قوانین اگر-آنچه با تعریف توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی‌ها مشخص می‌شود [۶]. روش انفیس (سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی) به‌عنوان روشی نوین جهت مدل‌سازی و بررسی سینتیک فرآیندهای مختلف اعمال شده بر مواد غذایی

مطرح می‌باشد. روش انفیس نوعی شبکه عصبی مصنوعی^۲ (ANN) است که بر اساس سیستم فازی تاکاگی-سوگنو^۳ می‌باشد و این سیستم می‌تواند شبکه‌های عصبی و مفاهیم منطقی فازی^۴ (FL) را ترکیب کرده و از خصوصیات هر دو آنها در یک قاب بهره‌مند گردد. روش انفیس مطابق با مجموعه قوانین فازی اگر-آنچه است که قابلیت یادگیری برای تقریب زدن توابع غیرخطی را دارا می‌باشد [۷، ۸]. از جمله ویژگی‌های روش فازی و انفیس می‌توان به این موارد اشاره کرد: ۱- مفهوم منطقی فازی به‌راحتی قابل فهم است. ۲- مفاهیم ریاضی که فازی را نتیجه می‌دهند، بسیار ساده هستند. ۳- فازی بسیار انعطاف‌پذیر است. ۴- فازی این قابلیت را دارد که توابع غیرخطی را با هر پیچیدگی دلخواه مدل کند. ۵- اساس منطقی فازی بر زبان طبیعت بنا گذاشته شده است [۹]. این روش توسط برخی از پژوهشگران برای مدل‌سازی رفتار خشک شدن محصولات کشاورزی استفاده و نتایج قابل قبولی هم گزارش شده است [۷، ۸، ۱۰-۱۳].

یکی از مزایای منحصربه‌فرد سیستم انفیس این است که قبل از استفاده از مدل، نیازی به وجود رابطه مشخص بین متغیرهای ورودی و خروجی نیست، زیرا این رابطه از طریق یک فرآیند خودآموز مشخص می‌شود. تاکنون در ارتباط با مدل‌سازی سینتیک خشک کردن صمغ دانه "به" با روش انفیس (سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی) تحقیقی صورت نگرفته است؛ بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی اثر ضخامت لایه صمغ و فاصله لامپ از نمونه بر سینتیک خشک شدن صمغ دانه "به" و مدل‌سازی فرآیند با استفاده از روش انفیس می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- استخراج صمغ دانه "به"

در این پژوهش دانه "به" از استان کرمانشاه تهیه و ناخالصی آن‌ها کاملاً جداسازی گردید. جهت استخراج صمغ، ابتدا دانه "به" به مدت ۲۰ دقیقه درون آب با دمای ۴۰ درجه سلسیوس و نسبت دانه به آب برابر ۱ به ۳۰ قرار گرفتند. سپس جهت جدا کردن صمغ خارج شده از دانه‌ها، از دستگاه آبمیوه‌گیری (ناسیونال، مدل MG-176NR، ژاپن) استفاده شد. برای هر مرحله از خشک کردن، صمغ تازه استخراج و به خشک‌کن

2. Artificial neural network (ANN)
3. Takagi-Sugeno
4. Fuzzy logic (FL)

1. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)

است. در آموزش ساختار انفیس از روش هیبرید که ترکیب روش حداقل مربعات و روش پس انتشار می‌باشد، استفاده شد. در این پژوهش از سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو و روش خوشه‌بندی کاهشی^۳ برای ایجاد ساختار سامانه انفیس استفاده شد. در روش خوشه‌بندی کاهشی، توابع عضویت بعد از تولید خوشه‌ها به صورت خودکار به دست می‌آیند. ساختار انفیس با دامنه تأثیر^۴ برابر ۰/۵، فاکتور اسکواش^۵ برابر ۱/۲۵، نسبت پذیرش^۶ برابر ۰/۵ و نسبت رد شدن^۷ برابر ۰/۱۵ آموزش دید. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۲۵ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. ۲۵ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۵۰ درصد) استفاده گردید. حد خطا که برای ایجاد یک معیار توقف آموزش مورد استفاده قرار می‌گیرد بر روی صفر تنظیم و تعداد سیکل‌های یادگیری هم ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد [۱۰].

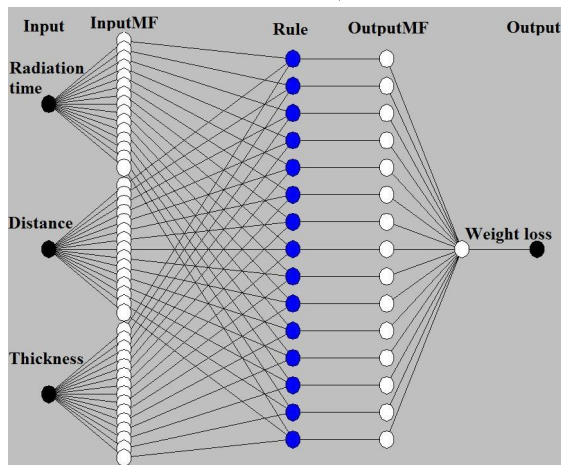


Fig 1 The ANFIS model structures for modeling of drying process of quince seed gum using infrared dryer.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی سینتیک تغییرات وزن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی و ضخامت صمغ بر زمان خشک شدن صمغ دانه "به" در جدول ۱ گزارش شده است. همان‌گونه که در این جدول

منتقل شد. در مرحله بعدی صمغ استخراج شده درون ظروف مخصوص خشک‌کردن با سامانه فرورسرخ با ارتفاع‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ سانتی‌متر ریخته شده و درون خشک‌کن قرار گرفت.

۲-۲- فرآیند خشک‌کردن

جهت خشک‌کردن صمغ استخراج شده از دانه "به"، از خشک‌کن فرورسرخ با توان ۳۷۵ وات استفاده گردید و فاصله نمونه‌ها از سطح لامپ در سه فاصله ۰/۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر تنظیم شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتال لوترون^۱ با دقت $\pm 0/01$ گرم که در خشک‌کن تعبیه شده بود، ثبت گردید.

میزان کاهش وزن (WL)، از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

$$WL = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

WL: درصد کاهش وزن صمغ در طی فرآیند خشک‌کردن

M_0 : وزن اولیه نمونه (g)

M_t : وزن نمونه (g) بعد از خشک شدن بعد از زمان t

۲-۳- آنالیز آماری

در این پژوهش اثر فاصله نمونه‌ها از لامپ پرتودهی (در سه سطح) و اثر ضخامت صمغ درون ظرف (در سه سطح) بر زمان خشک شدن و درصد کاهش وزن صمغ دانه "به" در طی زمان خشک‌کردن، مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام و برای مقایسه میانگین پاسخ‌های مشاهده شده، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از برنامه (۲۰۰۷) Excel استفاده شد.

۲-۴- مدل‌سازی به روش نرو- فازی

برای مدل‌سازی اثر زمان خشک‌کردن، فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی و ضخامت صمغ موجود در ظرف نمونه بر درصد تغییرات وزن صمغ دانه "به" هنگام خشک شدن به روش فرورسرخ از جعبه‌ابزار انفیس نرم‌افزار متلب ویرایش R2012a استفاده شد. در شکل ۱ ساختار ایجاد شده برای انفیس شامل تعداد ورودی‌ها، توابع عضویت ورودی، قوانین، توابع عضویت خروجی و پاسخ نهایی (افت وزن صمغ) به نمایش در آمده

3. Subtractive clustering
4. Range of influence
5. Squash factor
6. Accept ratio
7. Reject ratio

1. Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)
2. Weight loss

۱۰ سانتی متر، زمان خشک شدن صمغ دانه "به" افزایش یافته است. طولانی ترین زمان خشک کردن (۵۸ دقیقه) که اختلاف معناداری هم با سایر نمونه ها دارد ($P < 0.05$)، مربوط به نمونه با ضخامت ۱/۵ سانتی متر است که در فاصله ۱۰ سانتی متری از لامپ فروسرخ قرار گرفته است. گودینی و همکاران (۲۰۲۲) فرآیند خشک شدن صمغ دانه بالنگو با خشک کن فروسرخ را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که با کاهش فاصله نمونه ها از منبع حرارتی و همچنین کاهش ضخامت صمغ بالنگو موجود در ظرف نمونه، زمان خشک کردن کاهش می یابد [۱۴].

Table 1 Results of analysis of variance for drying time parameters of quince seed gum drying

Sources of changes	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square	F	P
Distance	2	800.67	400.33	21.66	0.000
Thickness	2	2933.56	1466.78	79.36	0.000
Distance × Thickness	4	589.78	147.44	7.98	0.001
Error	18	332.67	18.48		
Total	26	4656.67			

۲۹/۳ دقیقه کاهش یافت (ضخامت ۱/۵ سانتی متر). همان طور که در این شکل ملاحظه می شود، زمانی که فاصله لامپ فروسرخ از سطح نمونه ها تا ۱۰ سانتی متر افزایش می یابد، زمان خشک کردن نمونه ها به شدت افزایش یافته که این به دلیل کاهش سرعت انتقال جرم (خروج رطوبت) با افزایش فاصله لامپ است. این نتایج هم راستا با نتایج امینی و همکاران (۲۰۲۰) برای خشک کردن موسیلاژ دانه ریحان با خشک کن فروسرخ بود [۱].

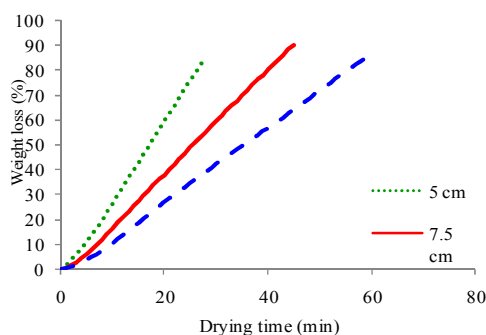


Fig 3 Effect of samples distance from heating lamp on the weight loss (%) of quince seed gum during infrared drying (1.5 cm thickness).

این پژوهشگران گزارش کرده اند که تغییر فاصله لامپ حرارت دهی فروسرخ از سطح نمونه های مرطوب بر زمان خشک شدن آنها اثر معنی داری دارد و با افزایش فاصله لامپ، زمان خشک

مشاهده می شود اثر فاکتورهای فاصله نمونه ها و ضخامت صمغ بر زمان خشک شدن معنی دار بوده است ($P < 0.05$). همچنین اثر متقابل فاصله نمونه ها × ضخامت صمغ بر مدت زمان خشک شدن صمغ دانه "به" نیز معنی دار است ($P < 0.05$). نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر فاصله نمونه ها از منبع حرارتی و ضخامت صمغ موجود در ظرف نمونه اثر معنی داری ($P < 0.05$) بر خروج آب از صمغ دانه "به" دارد و با کاهش فاصله و ضخامت نمونه ها، زمان خشک شدن کاهش می یابد. همان طور که در شکل ۲ ملاحظه می شود، در تمامی ضخامت ها، با افزایش فاصله نمونه ها از منبع حرارتی از ۵ به

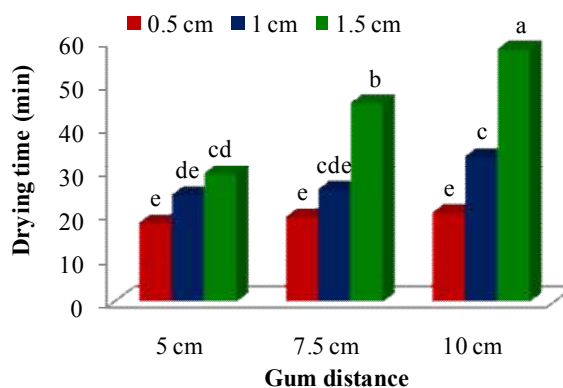


Fig 2 The interaction effects of gum distance and gum thickness on the drying time of quince seed gum (Power=375W). Means with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

در شکل ۳ اثر فاصله لامپ حرارتی از سطح صمغ دانه "به" بر سرعت خروج رطوبت از نمونه ها و در نتیجه درصد تغییرات وزن در طی اعمال فروسرخ به نمایش در آمده است. بررسی تغییرات وزن نمونه ها در طی زمان نشان داد که با کاهش فاصله نمونه های از منبع حرارتی، رطوبت با سرعت بیشتری از نمونه ها خارج شده و نمونه ها سریع تر خشک می شوند. به طور کلی، با کاهش فاصله لامپ ها از ۱۰ به ۵ سانتی متر، میانگین زمان خشک شدن صمغ دانه "به" از ۵۸/۰ دقیقه به

پژوهش حد خطا که برای ایجاد یک معیار توقف آموزش مورد استفاده قرار می‌گیرد بر روی صفر تنظیم و تعداد سیکل‌های یادگیری هم ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد. مقدار خطا در برابر تعداد سیکل‌های یادگیری تشکیل شده، در شکل ۵ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بعد از حدود ۱۳۰ سیکل آموزشی، مقدار خطا کاهش یافته و مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد که نشان دهنده توانایی روش هیبرید در بهینه کردن پارامترهای انفیس است.

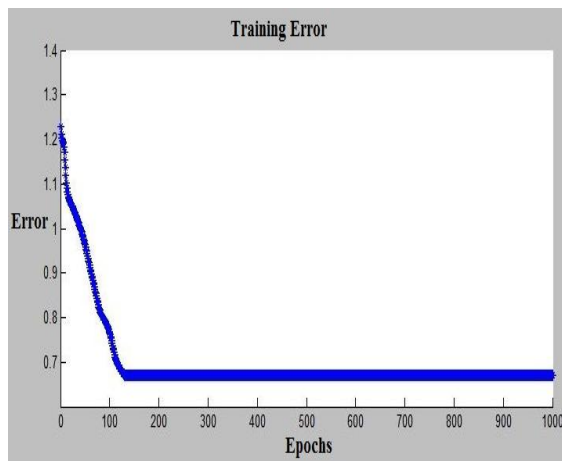


Fig 5 The training error values versus epochs during training of ANFIS structure

در مورد صمغ دانه "به" ترکیب بهینه مدل فازی سوگنو زمانی که تعداد قوانین برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن برابر ۱۵ بود، بدست آمد. در شکل ۶ قوانین و توابع ایجاد شده توسط جعبه‌ابزار انفیس نرم‌افزار متلب برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن صمغ دانه "به" در طی زمان خشک شدن را مشاهده می‌کنید.

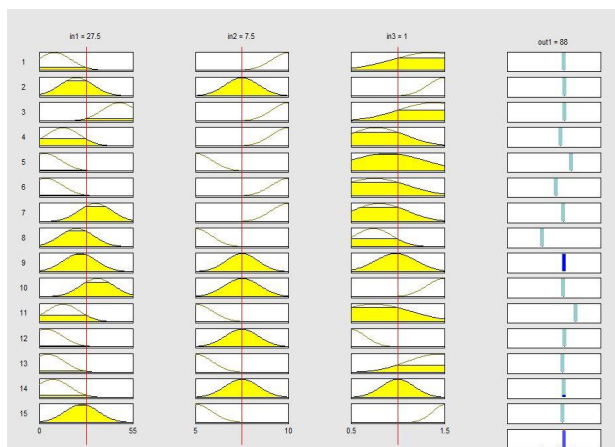


Fig 6 The ANFIS rules for prediction of drying time of quince seed gum.

شدن افزایش می‌یابد. در پژوهش دیگری امینی و همکاران در سال ۲۰۲۲ گزارش کردند که با افزایش توان پرتودهی در یک خشک‌کن فرسوخ، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت افزایش و در نتیجه زمان خشک‌کردن صمغ دانه ریحان کاهش می‌یابد. همچنین، بر اساس نتایج این پژوهش، با کاهش فاصله نمونه‌ها از سطح لامپ پرتودهی نیز ضریب نفوذ مؤثر رطوبت افزایش می‌یابد [۱۵].

در شکل ۴ اثر ضخامت صمغ بر درصد کاهش وزن صمغ دانه "به" درون خشک‌کن فرسوخ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش ضخامت نمونه‌ها، زمان خشک شدن صمغ دانه "به" افزایش یافته است. کمترین زمان خشک‌کردن مربوط به نمونه با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر است و بیشترین زمان خشک‌کردن نیز مربوط به نمونه با ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر است.

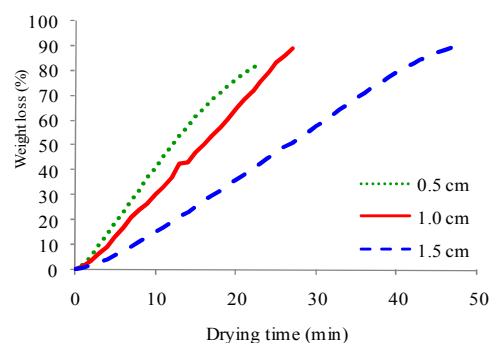


Fig 4 Effect of samples thickness on the weight loss (%) of quince seed gum during infrared drying (7.5 cm distance).

افزایش زمان خشک‌کردن با افزایش ضخامت نمونه، مربوط به قدرت نفوذ پایین امواج فرسوخ است که حدود ۰/۵ سانتی‌متر قدرت نفوذ دارند؛ لذا با افزایش ضخامت نمونه‌ها، سرعت انتقال حرارت و گرم شدن نمونه کاهش یافته و در نتیجه خروج رطوبت کاهش می‌یابد. به‌طور میانگین، با کاهش ضخامت نمونه‌ها از ۰/۵ به ۱/۵ سانتی‌متر میانگین زمان خشک شدن صمغ دانه "به" از ۴۵/۷ دقیقه به ۱۹/۳ دقیقه، کاهش یافت (فاصله ۷/۵ سانتی‌متر).

۳-۲- نتایج مدل‌سازی انفیس

در روش انفیس، متداول‌ترین روش خوشه‌بندی فازی، الگوریتم خوشه‌بندی کاهشی فازی است. در این الگوریتم، یک خوشه با درجه مشخص برای هر نقطه داده وجود دارد که توسط یک سطح تابع عضویت توضیح داده می‌شود. در این

لایه نازک ورقه‌های سیب‌زمینی توسط عظیمی نژادیان و مرادی (۲۰۲۰) انجام شده است. با توجه به نتایج گزارش شده، مدل انفیس با ضریب تبیین ۰/۹۹۹ و میانگین مربعات خطای کمتر نسبت به سایر روش‌ها، در برآورد داده‌های تجربی عملکرد بهتری داشته است [۱۹].

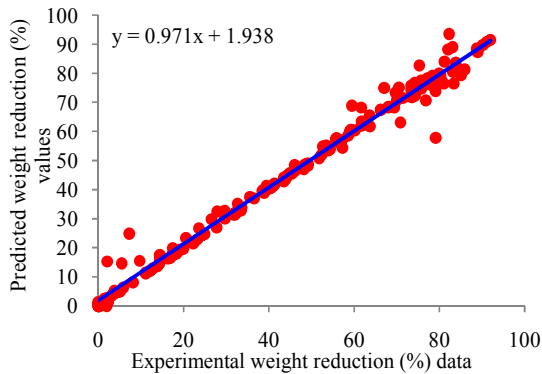


Fig 7 Predicted values (by ANFIS model) versus experimental data of weight reduction (%) of quince seed gum during infrared drying.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر زمان پرتودهی با لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت نمونه‌ها بر تغییرات وزن و خروج رطوبت از صمغ دانه "به" در طی خشک‌کردن با خشک‌کن فروسرخ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار سینتیک تغییرات وزن و خروج رطوبت از محلول صمغ مؤثر بودند. با کاهش فاصله نمونه از لامپ و کاهش ضخامت نمونه‌ها، سرعت خروج رطوبت از نمونه‌ها افزایش یافت و با سرعت بیشتری وزن نمونه‌ها کاهش یافت. روش انفیس یک روش مناسب برای مدل‌سازی و بررسی پدیده انتقال جرم در طی فرآوری مواد غذایی است. مقادیر ضریب تبیین محاسبه شده برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن صمغ دانه "به" با روش مدل‌سازی انفیس برابر ۰/۹۸۳ بود. نتایج مدل‌سازی با روش انفیس نشان داد که از این روش عملکرد خوبی داشته و می‌توان از آن برای محاسبه متغیرهای وابسته (پاسخ) در فرآیند خشک‌کردن استفاده کرد.

۵- منابع

[1] Amini, G., Salehi, F., Rasouli, M. 2020. Drying process modeling of basil seed

ساختار انفیس در این پژوهش شامل سه ورودی (زمان، فاصله و ضخامت) بود که با استفاده از این قوانین ایجاد شده توسط نرم‌افزار می‌توان در شرایط مختلف پارامتر خروجی را پیش‌بینی نمود. در این بخش از نرم‌افزار، با وارد کردن مقادیر دلخواه از سه ورودی، نرم‌افزار درصد کاهش وزن صمغ دانه "به" را با دقت بالایی محاسبه می‌کند. برای مثال، همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، هنگامی که پارامترهای ورودی زمان برابر ۲۷/۵ دقیقه، فاصله لامپ از سطح صمغ ۷/۵ سانتی‌متر و ضخامت صمغ ۱ سانتی‌متر باشد، درصد کاهش وزن صمغ دانه "به" برابر ۸۸ درصد پیش‌بینی می‌شود. در پژوهشی علمی، مدل‌سازی انرژی مصرفی توت‌فرنگی بر پایه الگوی مصرف انرژی با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی، انفیس و رگرسیون در شهرستان دزفول توسط سبزی‌پور و باقرپور (۲۰۱۹) انجام شده است. نتایج مقایسه مدل رگرسیون با مدل شبکه عصبی و انفیس نشان داد که مدل انفیس مقدار خروجی را با دقت بیشتری نسبت به بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی برآورد می‌کند و شبکه عصبی مصنوعی هم نسبت به مدل رگرسیون تخمین بهتری را داشته است [۱۶].

سیستم‌های فازی در دو زمینه کلی بسیار مفید هستند. اول در موقعیت‌هایی که شامل سیستم‌هایی بسیار پیچیده هستند که رفتارهای آن‌ها به خوبی درک نشده است و دوم در شرایطی که یک راه حل تقریبی اما سریع موردنیاز باشد [۱۷]. مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۵۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیش‌بینی شده درصد کاهش وزن صمغ دانه "به" در طی فرآیند خشک‌کردن توسط سامانه فروسرخ، توسط ساختار انفیس در شکل ۷ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب تبیین نشان‌دهنده کارایی بالای روش انفیس در مدل‌سازی و پیش‌بینی فرآیند انتقال جرم صمغ دانه "به" می‌باشد. به‌طورکلی این روش به آسانی فرآیندهای غیرخطی از جمله خشک‌کردن فروسرخ را بدون نیاز به ایجاد معادلات پیچیده، توصیف و پیش‌بینی می‌کند. رحمان و همکاران (۲۰۱۲) هدایت حرارتی میوه‌ها و سبزی‌های مختلف را با استفاده از مدل‌های رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی و روش انفیس پیش‌بینی کرده‌اند. در بین روش‌های ذکر شده، مدل انفیس مقادیر هدایت حرارتی را با کمترین خطاها و نزدیک‌ترین داده‌ها به داده‌های تجربی پیش‌بینی کرد [۱۸]. مقایسه مدل‌های ریاضی، شبکه عصبی مصنوعی و انفیس در پیش‌بینی منحنی خشک شدن

- rotundata) in a convective hot air dryer: application of ANFIS in the prediction of drying kinetics, *Heliyon*. 6, e03555.
- [12] Abbaspour-Gilandeh, Y., Jahanbakhshi, A., Kaveh, M. 2020. Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS, *Food science & nutrition*. 8, 594-611.
- [13] Nasiri, A., Mobli, H., Rafiee, S., Rezaei, K. 2014. Kinetic model simulation of thin-layer drying of thyme (*Thymus vulgaris* L.) using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization*. 36, 37-48.
- [14] Godini, N., Gohari Ardabili, A., Salehi, F. 2022. Experimental investigation and modeling of drying process of balangu seeds gum using infrared dryer by genetic algorithm-artificial neural network method, *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 19, 31-38.
- [15] Amini, G., Salehi, F., Rasouli, M. 2022. Color changes and drying kinetics modeling of basil seed mucilage during infrared drying process, *Information Processing in Agriculture*. 9, 397-405.
- [16] Sabzealipour, F., Bagherpour, H. 2019. Modeling energy consumption of strawberries on the basis of energy consumption pattern using artificial neural network and ANFIS and regression in dezfoul county, *Plant Production Technology*. 11, 207-219.
- [17] Zengqiang, M., Cunzhi, P., Yongqiang, W. 2008. Road safety evaluation from traffic information based on ANFIS. in: 2008 27th Chinese Control Conference, IEEE, 554-558.
- [18] Rahman, M. S., Rashid, M. M., Hussain, M. A. 2012. Thermal conductivity prediction of foods by Neural Network and Fuzzy (ANFIS) modeling techniques, *Food and Bioproducts Processing*. 90, 333-340.
- [19] Azimi-Nejadian, H., Moradi Hassan Abad, M. 2020. Comparison of mathematical models, artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) in prediction of instantaneous drying curves of potato slices in a microwave dryer, *Food Engineering Research*. 19, 137-154.
- mucilage by infrared dryer using artificial neural network, *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 17, 23-31.
- [2] Salehi, F. 2020. Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: A review, *International Journal of Fruit Science*. 20, S570-S589.
- [3] Gheybi, N., Ashrafi, R. 2020. The effect of inulin and quince seed gum powder on the physicochemical and qualitative properties of low fat yogurt, *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 50, 963-975.
- [4] Farokhpour, F., Roomiani, L., Zarinabadi, S. 2021. Experimental investigation of fish fillet drying process using IR radiation, *Research and Innovation in Food Science and Technology*. 10, 83-94.
- [5] Salehi, F. 2020. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review, *International Journal of Fruit Science*. 20, 586-602.
- [6] Hasanipanah, M., Jahed Armaghani, D., Khamesi, H., Bakhshandeh Amnieh, H., Ghoraba, S. 2016. Several non-linear models in estimating air-overpressure resulting from mine blasting, *Engineering with Computers*. 32, 441-455.
- [7] Salehi, F. 2020. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: A review, *International Journal of Fruit Science*. 20, 506-520.
- [8] Satorabi, M., Salehi, F., Rasouli, M. 2021. The influence of xanthan and balangu seed gums coats on the kinetics of infrared drying of apricot slices: GA-ANN and ANFIS modeling, *International Journal of Fruit Science*. 21, 468-480.
- [9] Sivanandam, S., Sumathi, S., Deepa, S. 2007. Introduction to fuzzy logic using MATLAB, Springer,
- [10] Amini, G., Salehi, F., Rasouli, M. 2021. Drying kinetics of basil seed mucilage in an infrared dryer: Application of GA-ANN and ANFIS for the prediction of drying time and moisture ratio, *Journal of Food Processing and Preservation*. 45, e15258.
- [11] Ojediran, J. O., Okonkwo, C. E., Adeyi, A. J., Adeyi, O., Olaniran, A. F., George, N. E., Olayanju, A. T. 2020. Drying characteristics of yam slices (*Dioscorea*



Application of ANFIS approach for modeling of drying process of quince seed gum using infrared dryer

Godini, N. ¹, Gohari Ardabili, A. ^{2*}, Salehi, F. ³

1. MSc Student, Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 04/ 28
Accepted 2022/ 11/ 16

Keywords:

Adaptive neuro-fuzzy inference system,
Mass transfer,
Quince seed gum,
Subtractive clustering,
Weight loss percentage.

DOI: 10.22034/FSCT.19.131.83

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.131.7.8

*Corresponding Author E-Mail:
a.gohari@basu.ac.ir

ABSTRACT

ANFIS (Adaptive neuro-fuzzy inference system) is a combined neuro-fuzzy method for modeling transport phenomena (mass and heat) in the food processing. In this study, first, an infrared dryer was used to dry the extracted gum from quince seed. Then, ANFIS method was used to modeling and predicting the weight changes percentage of this gum when drying in infrared dryer. In the infrared dryer, the effect of samples distance from the radiation lamp and the effect of the gum thickness inside the container on the drying time and the weight loss percentage of quince seed gum during drying time were investigated. The results of drying of this gum by infrared method showed that by reducing the samples distance from the heat source from 10 to 5 cm, the average drying time of quince seed gum decreased from 58.0 minutes to 29.3 minutes (thickness 1.5 cm). Also, by reducing the gum thickness in the sample container from 1.5 to 0.5 cm, the average drying time of the extracted gum decreased from 45.7 minutes to 19.3 minutes (distance 7.5 cm). The ANFIS model was developed with 3 inputs of drying time, samples distance from heat source and gum thickness in the sample container to predict the weight changes percentage of this gum when drying in infrared dryer. The calculated coefficients of determination values for predicting the weight loss percentage of gum using the ANFIS-based subtractive clustering algorithm was 0.983. In general, it can be said that the high coefficients of determination between the experimental results and the outputs of the ANFIS model indicate the acceptable accuracy and usability of this method in modeling heat and mass transfer processes in the food industry.