



استفاده از روش نرو- فازی برای مدل‌سازی فرآیند آبگیری از برش‌های موز به روش اسمز- فراصوت

فخرالدین صالحی<sup>۱\*</sup>، رعنا چراغی<sup>۲</sup>، مجید رسولی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۳- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
	تاریخ های مقاله :
	تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶
	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶
	کلمات کلیدی:
	انفیس، خوشه‌بندی کاهشی، سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی، فراصوت، مدل‌سازی.
	DOI: 10.22034/FSCT.19.125.243
	DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.30.9
	* مسئول مکاتبات: F.Salehi@Basu.ac.ir
سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی (نرو- فازی یا انفیس) یک شبکه ترکیبی عصبی- فازی شناخته شده برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده است. در این سیستم 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 مطالعه از مدل انفیس برای پیش‌بینی کاهش وزن (%). جذب مواد جامد (%). کاهش آب (%). و آبگیری مجدد (%). برش‌های موز آب‌گیری شده به روش اسمز-فراصوت استفاده شده. مدل انفیس با ۳ ورودی توان فراصوت (در سه سطح ۰، ۷۵ و ۱۵۰ وات)، زمان تیمار فراصوت (در سه زمان ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه) و غلظت محلول ساکارز (در سه سطح ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه بریکس) برای پیش‌بینی ویژگی‌های برش‌های موز آبگیری شده، توسعه یافت. مقادیر ضریب تبیین محاسبه شده برای پیش‌بینی کاهش وزن (%). جذب مواد جامد (%). کاهش آب (%). و آبگیری مجدد (%). برش‌های موز آبگیری شده با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی کاهشی مبتنی بر انفیس به ترتیب برابر ۰/۹۳، ۰/۹۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۱ بود. در مجموع می‌توان بیان داشت که میزان ضرایب تبیین بالای بین نتایج تجربی و خروجی‌های مدل انفیس بیانگر دقت قابل قبول و قابلیت استفاده از این روش در کنترل فرایندهای پیچیده صنایع غذایی از جمله فرآیندهای آبگیری و خشک کردن است.	

## ۱- مقدمه

سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی<sup>۱</sup> (نرو- فازی یا انفیس) به‌عنوان روشی نوین جهت مدل‌سازی و بررسی سینتیک فرآیندهای مختلف اعمال شده بر مواد غذایی مطرح شده است. روش نرو- فازی نوعی شبکه عصبی مصنوعی<sup>۲</sup> (ANN) است که بر اساس سیستم فازی تاکاگی-سوگنو<sup>۳</sup> می‌باشد و این سیستم می‌تواند شبکه‌های عصبی و مفاهیم منطق فازی<sup>۴</sup> (FL) را ترکیب کرده و از خصوصیات هر دو آنها در یک قاب بهره‌مند گردد. به‌طور دقیق‌تر، انفیس یک شبکه پرسپترون<sup>۵</sup> پیشخور چندلایه است که از الگوریتم یادگیری شبکه عصبی و سیستم‌های استنتاج فازی برای ایجاد رابطه بین ورودی‌ها و خروجی هدف استفاده می‌کند. سیستم تطبیقی فازی مطابق با مجموعه قوانین فازی اگر-آنگاه است که قابلیت یادگیری برای تقریب زدن توابع غیرخطی را دارا می‌باشد [۱، ۲]. این روش توسط پژوهشگران برای مدل‌سازی رفتار خشک شدن محصولات مختلفی استفاده شده است. برای مثال رفتار خشک شدن لایه‌نازک آویشن باغی در خشک‌کن لایه‌نازک تحقیقاتی به‌کمک روش انفیس توسط نصیری و همکاران در سال ۲۰۱۴ مورد بررسی قرارگرفت [۳]. آزمایش‌ها در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و سه سطح سرعت ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه انجام گرفت. از چهار مدل انفیس برای شبیه‌سازی سینتیک خشک شدن استفاده گردید. برای ایجاد ساختار سامانه استنتاج فازی از دو روش خوشه‌بندی شبکه‌ای<sup>۶</sup> و خوشه‌بندی کاهشی<sup>۷</sup> استفاده شد. برای تعیین بهترین مدل از دو معیار ضریب تبیین و ریشه متوسط خطای داده‌ها استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل انفیس می‌تواند داده‌های آزمایشگاهی را به‌خوبی پیش‌بینی کند. همچنین تکنیک خوشه‌بندی کاهشی در مقایسه با روش خوشه‌بندی شبکه‌ای روشی مناسب برای ایجاد ساختار سامانه استنتاج فازی در فرآیند پیش‌بینی نسبت رطوبت در مبحث خشک شدن لایه‌نازک آویشن باغی می‌باشد. در پژوهشی دیگر، کاربرد روش انفیس برای مدل‌سازی تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی

تا حدی خشک‌شده در حین نگهداری و همچنین مشخص کردن تأثیرات فعالیت آب، دما و زمان نگهداری بر این پارامترها توسط تائو و همکاران در سال ۲۰۱۶ بررسی شد. از طریق مدل‌سازی انفیس، اثرات شرایط ذخیره‌سازی بر روی خواص گوجه‌فرنگی مذکور تعیین شد. هنگامی که از مدل‌سازی انفیس برای پیش‌بینی لیکوپن و محتوی فنلی کلی، آلودگی رنگی و میکروبی استفاده شد، ضرایب تبیین برای همه‌ی مدل‌های استفاده‌شده بالاتر از ۰/۸۶ بود و عملکرد بهتری را برای پیش‌بینی در مقایسه با مدل‌های توسعه‌یافته توسط روش سطح پاسخ نشان داد. نتایج کلی نشان‌داد استفاده از روش انفیس می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای بررسی کاهش کیفیت و آلودگی میکروبی گوجه‌های گیلاسی تا حدی خشک‌شده در حین نگهداری و همچنین شناسایی شرایط مناسب نگهداری مورد استفاده قرار گیرد [۴].

اساس فرآیند آبیگری اسمزی، قرار دادن قطعات محصولات کشاورزی مانند میوه‌ها و سبزی‌های تازه در یک محلول هایپرتونیک است. این فرایند در فرآوری مواد غذایی با رطوبت متوسط به‌عنوان یک فرآیند مقدماتی به‌منظور افزایش کیفیت محصول نهایی به کار می‌رود. محلول‌های مورد استفاده در روش اسمزی دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کمتری در مقایسه با سلول‌های محصول مورد نظر هستند. با توجه به اینکه دیواره دیواره سلول‌های گیاهان می‌توانند به‌عنوان یک غشاء نیمه‌تراوا عمل کنند، لذا یک نیروی محرکه مؤثر جهت حرکت آب بین محصول و محلول اسمزی ایجاد می‌شود و چون این دیواره کاملاً انتخابی عمل نمی‌کند، لذا بخشی از مواد حل شده محلول (نمک یا قند) به درون سلول‌های ماده غذایی نفوذ می‌کند [۵-۷]. گروهی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که استفاده ترکیبی از فرآیندهای آبیگری اسمزی و امواج فراصوت<sup>۸</sup> به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از فرآیند خشک‌کردن، باعث افزایش کیفیت محصول نهایی خشک‌شده و همچنین افزایش سرعت فرآیند خشک‌کردن می‌شود [۸-۱۲]. صالحی و همکاران (۲۰۲۲) از این روش برای بهبود فرآیند آبیگری از برش‌های موز [۱۲]، بشری و همکاران (۲۰۱۵) برای آبیگری از ریواس [۱۳]، اشراقی و همکاران (۲۰۱۴) برای آبیگری از کیوی [۱۴] و سمیع و همکاران (۲۰۱۹) برای آبیگری از

1. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)
2. Artificial neural network (ANN)
3. Takagi-Sugeno
4. Fuzzy logic (FL)
5. Perceptron
6. Grid partition
7. Subtractive clustering

8. Ultrasound

اسمزی، نمونه‌ها از محلول خارج شده و بر روی یک دستمال کاغذی جهت حذف شدن محلول سطحی قرار گرفت. بعد از حذف رطوبت سطحی، مجدداً نمونه‌ها توزین گردید. سپس جهت تعیین میزان کاهش رطوبت و جذب مواد جامد، نمونه‌های خارج شده از محلول اسمزی در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند.

## ۲-۳- محاسبه پارامترهای فرآیند اسمزی

درصد کاهش وزن (WR)<sup>۱۰</sup>، درصد جذب مواد جامد (SG)<sup>۱۱</sup> و درصد کاهش آب (WL)<sup>۱۲</sup> برش‌های موز بر اساس توزین آنها در مراحل مختلف (قبل از آبیگری اسمزی، بعد از اسمز و بعد از خشک‌کردن در آون) از طریق معادلات زیر محاسبه گردید [۱۲]. توزین نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (کیا مدل SL1000) و با دقت یک صدم گرم انجام شد.

$$WR = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، پارامترهای WR درصد کاهش وزن برش‌های موز در مرحله اسمز،  $A_0$  جرم اولیه نمونه برش‌های موز (g) و  $A_t$  جرم برش‌های موز بعد از اسمز (g) می‌باشند.

$$SG = \frac{S_t - S_0}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه، پارامترهای SG درصد جذب مواد جامد،  $S_t$  مقدار ماده جامد نمونه بعد از اسمز (g) و  $S_0$  مقدار ماده جامد نمونه اولیه (g) می‌باشند.

$$WL = \frac{W_0 - W_t}{A_0} \times 100 = \frac{W_0 - (A_t - S_t)}{A_0} \quad (3)$$

در این رابطه، پارامترهای WL درصد کاهش آب در مرحله اسمز،  $W_0$  رطوبت اولیه نمونه (g) و  $W_t$  رطوبت نمونه بعد از اسمز (g) می‌باشند.

برای اندازه‌گیری مقدار آبیگری مجدد، بعد از اعمال پیش‌ تیمار اسمز-فراصوت بر برش‌های موز، نمونه‌ها به روش هوای داغ خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک توزین و درون آب با دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. نسبت وزن نمونه بعد از آبیگری مجدد به وزن نمونه خشک ضرب در ۱۰۰، به‌عنوان درصد آبیگری مجدد در نظر گرفته شد [۱۲].

توت‌فرنگی [۱۵] بررسی نموده و استفاده از این روش را برای آبیگری از محصولات کشاورزی مختلف توصیه کرده‌اند.

با بررسی مقالات منتشر شده متوجه شدیم که پژوهشی مبنی بر بررسی استفاده از روش انفیس برای مدل‌سازی فرآیند آبیگری از برش‌های موز به روش اسمز-فراصوت انجام نگرفته است. لذا هدف از این مطالعه استفاده از روش انفیس برای مدل‌سازی اثر توان فراصوت، زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی (حاوی ساکارز) بر درصد کاهش وزن، درصد جذب مواد جامد، درصد کاهش آب و درصد آبیگری مجدد برش‌های موز تیمار شده توسط فرآیند آبیگری اسمز-فراصوت می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده‌سازی ماده اولیه

برای انجام این پژوهش ابتدا برش‌های موز با ضخامت ۵ میلی‌متر توسط چاقوی تیز و با دقت برش خوردند، و بعد از توزین، در دستگاه حمام فراصوت حاوی محلول اسمزی (ساکارز) قرار گرفتند. برش‌های موز مورد استفاده به‌طور میانگین دارای رطوبت اولیه ۷۴/۸۴ درصد بر مبنای مرطوب بودند. رطوبت برش‌های موز مطابق روش AOAC (۲۰۱۰) و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس محاسبه شد [۱۶].

### ۲-۲- فرآیند آبیگری اسمزی

برای تهیه محلول‌های اسمزی از ساکارز استفاده شد. برای اعمال تیمار اسمز-فراصوت بر برش‌های موز هنگام آبیگری اسمزی، از دستگاه حمام فراصوت ساخت شرکت بکر<sup>۹</sup> (ایران) مدل vCLEAN1-L6 با فرکانس کاری ۴۰ کیلوهرتز استفاده شد [۱۲].

در این پژوهش، اثر توان فراصوت در سه سطح ۰، ۷۵ وات و ۱۵۰ وات، اثر زمان اعمال فراصوت (مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی) در سه سطح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه و اثر غلظت محلول اسمزی حاوی ساکارز در سه سطح ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه بریکس بر کارایی فرآیند آبیگری اسمزی برش‌های موز بررسی شد. در آزمایش‌ها نسبت وزنی برش‌های موز به محلول اسمزی ۱ به ۵۰ انتخاب و دمای سیستم هم بر روی ۵۰ درجه سلسیوس تنظیم شد. بعد از طی شدن زمان آبیگری

10. Weight reduction (WR)  
11. Solid gain (SG)  
12. Water loss (WL)

9. Laboratory, Ultrasonic, vCLEAN1-L6, Backer, Iran.

## ۲-۴- مدل‌سازی به روش نرو- فازی

برای مدل‌سازی اثر توان فراصوت، زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی بر درصد کاهش وزن، درصد جذب مواد جامد، درصد کاهش آب و درصد آبیگری مجدد برش‌های موز تیمار شده توسط فرآیند آبیگری اسمز-فراصوت از جعبه‌ابزار انفیس نرم‌افزار متلب ویرایش R2012a استفاده شد. 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 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<sup>۱۳</sup> برابر ۰/۵، فاکتور اسکواش<sup>۱۴</sup> برابر ۱/۲۵، نسبت پذیرش<sup>۱۵</sup> برابر ۰/۵ و نسبت رد شدن<sup>۱۶</sup> برابر ۰/۱۵ آموزش دید. بر اساس روش آزمون‌وخطا مشخص شد در صورتی که ۳۵ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. ۳۵ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۳۰ 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 [۱۷].

## ۳- نتایج و بحث

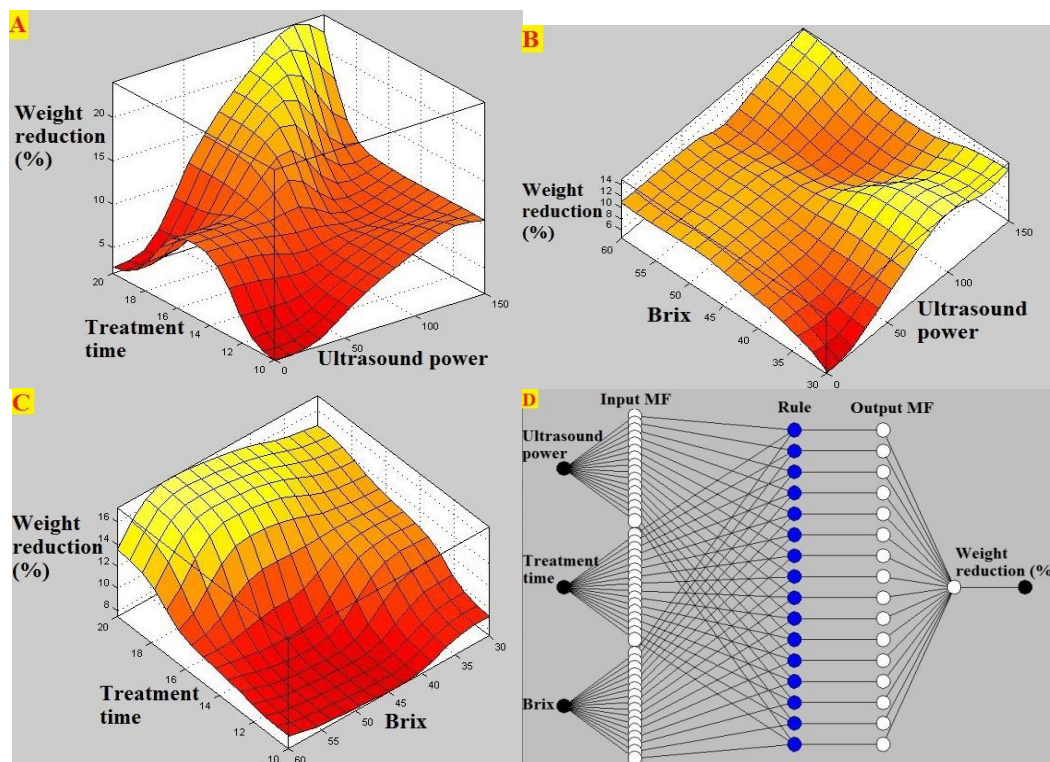
### ۳-۱- درصد کاهش وزن

در نمودارهای سه‌بعدی شکل ۱، اثر توان فراصوت و زمان اعمال فراصوت (شکل A)، اثر توان فراصوت و غلظت محلول اسمزی یا بریکس (شکل B) و اثر زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی (شکل C)، بر درصد کاهش وزن برش‌های موز هنگام آبیگری اسمزی به نمایش در آمده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش توان

فراصوت، درصد کاهش وزن نمونه‌ها بیشتر شده است که به دلیل خروج بیشتر رطوبت از نمونه‌ها بوده است. با افزایش زمان اعمال تیمارهای اسمزی نیز رطوبت بیشتر از برش‌های موز خارج شده و در نتیجه تغییرات وزن برای این نمونه‌ها بیشتر شده است. همچنین، با افزایش غلظت محلول اسمزی، به دلیل افزایش فشار اسمزی، رطوبت بیشتری از برش‌های موز خارج شد و در نتیجه تغییرات وزن برای نمونه‌هایی که در معرض محلول‌های اسمزی غلیظ‌تر بودند، بیشتر بود. این نتایج هم‌راستا با نتایج آذرپژوه و همکاران (۲۰۱۹) هنگام بررسی تأثیر پیش‌تیمار اسمز-فراصوت بر ژل آلوه‌ورا [۹] و صالح نژاد و همکاران (۲۰۱۸) هنگام بررسی تأثیر پیش‌تیمار اسمز-فراصوت بر ورقه‌های گوجه‌فرنگی بود [۱۸].

در بخش D شکل ۱ نیز ساختار کلی شبکه مدل‌سازی انفیس با سه ورودی (توان فراصوت، زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی)، ۴۸ تابع عضویت ورودی، ۱۶ قانون در لایه میانی، ۱۶ تابع عضویت خروجی و یک پاسخ خروجی (درصد کاهش وزن) گزارش شده است. با استفاده از این ساختار بهینه می‌توان درصد کاهش وزن برش‌های موز هنگام آبیگری به روش ترکیبی اسمز-فراصوت را پیش‌بینی نمود. در شکل ۲ نیز بخش سوم داده‌های آزمایشگاهی درصد کاهش وزن (داده‌هایی که برای آموزش و ارزیابی استفاده نشده بودند) در برابر داده‌های پیش‌بینی شده توسط این ساختار بهینه قرار گرفته است تا توانایی مدل‌سازی این شبکه انفیس بهتر دیده شود. ضریب تبیین (R) محاسبه شده برای این دوسری داده برابر ۰/۹۳ است. کارایی تکنیک‌های مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک شبکه عصبی و انفیس برای تخمین محتوی رطوبت برش‌های پایا در طول خشک‌کردن با هوای گرم توسط یوسفی (۲۰۱۷) مورد ارزیابی قرار گرفت. به سیستم انفیس و الگوریتم ژنتیک شبکه عصبی سه ورودی زمان خشک‌کردن (۰ تا ۳۲۰ دقیقه)، دمای خشک‌کردن (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس) و ضخامت نمونه‌ها در سه اندازه ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر برای پیش‌بینی نسبت رطوبت داده شد.

13. Range of influence
14. Squash factor
15. Accept ratio
16. Reject ratio

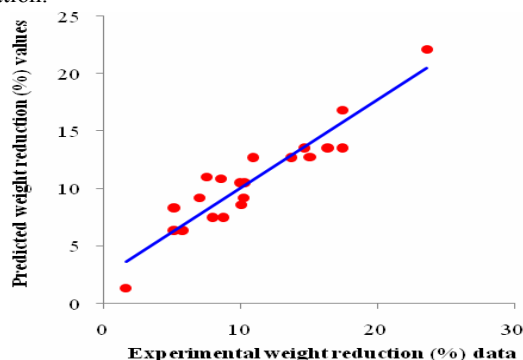


**Fig 1** Response surface diagram for "A" ultrasound power & treatment time, "B" ultrasound power & osmotic solution concentration (Brix) and "C" treatment time & osmotic solution concentration versus weight reduction (%). Also, "D" is the ANFIS structure for prediction of weight reduction (%) of banana slices during osmotic dehydration.

ضریب تبیین بالا  $R=0.9967$  و مقدار میانگین مربع خطای نسبی کم  $RMSE=0.0161$  مناسب می‌سازد [۱۹].

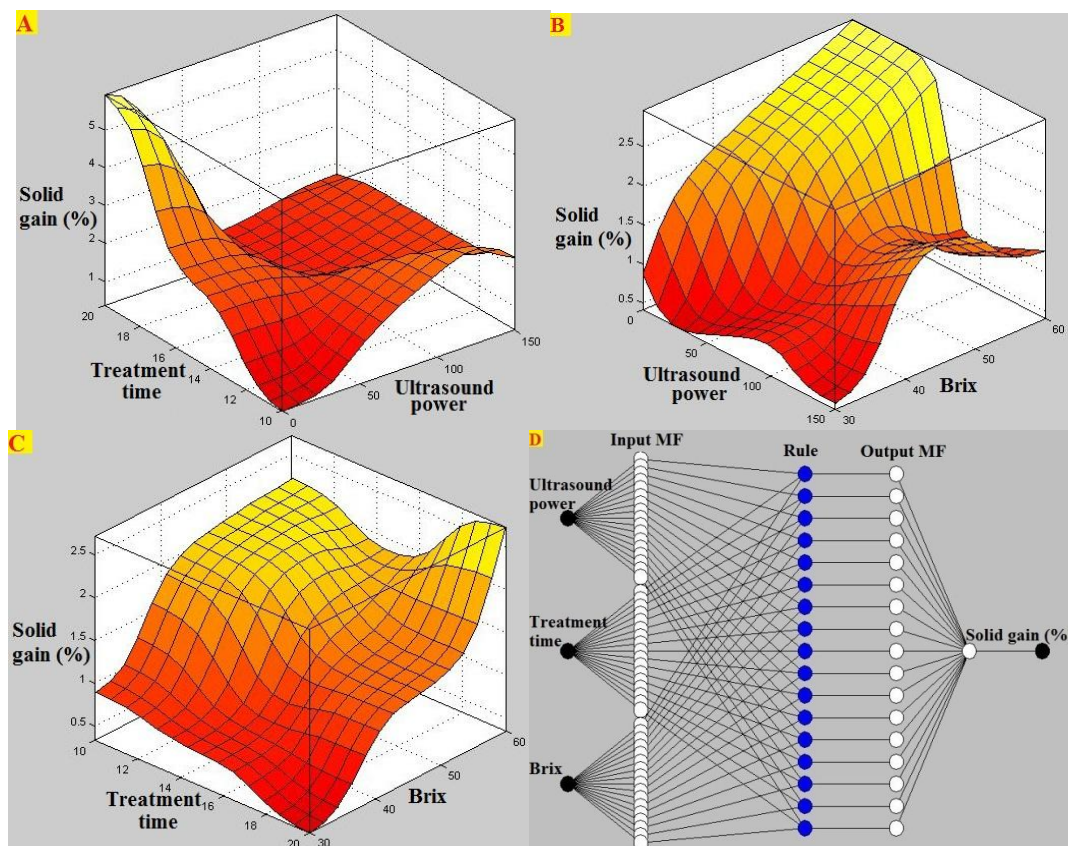
### ۲-۳- درصد جذب مواد جامد

در نمودارهای سه‌بعدی شکل ۳، اثر توان فراصوت و زمان اعمال فراصوت (شکل A)، اثر توان فراصوت و غلظت محلول اسمزی یا بریکس (شکل B) و اثر زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی (شکل C)، بر درصد جذب مواد جامد برش‌های موز هنگام آبگیری اسمزی به نمایش در آمده است. این نمودارها نشان می‌دهند که با افزایش توان فراصوت، درصد جذب مواد جامد نمونه‌ها کمتر شده که این موضوع نشان دهنده کاهش جذب ساکارز توسط نمونه‌های آبگیری شده است. با افزایش زمان فرآیند آبگیری اسمزی نیز درصد جذب مواد جامد برش‌های موز افزایش یافت. همچنین، با افزایش غلظت محلول اسمزی نیز به دلیل افزایش غلظت محیط، برش‌های موز ساکارز بیشتری را جذب خود کرده و در نتیجه درصد جذب مواد جامد محاسبه شده برای این نمونه‌ها افزایش یافت.



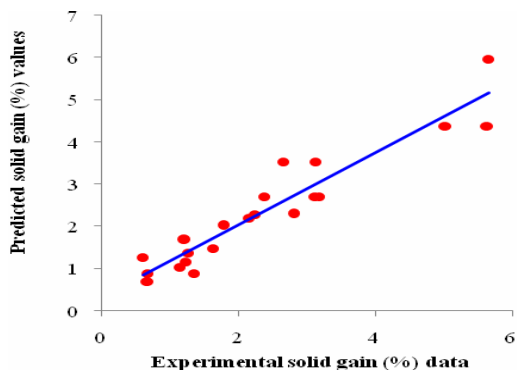
**Fig 2** Predicted values (by ANFIS model) versus experimental data of weight reduction (%) of banana slices during osmotic dehydration.

از توابع عضویت مثلثی استفاده شد و ۲۷ قانون برای طراحی انفیس ارائه شد. نتایج نشان داد که مدل انفیس با توابع عضویت مثلثی برای تمامی متغیرهای ورودی و تابع خطی برای داده‌ی خروجی (نسبت رطوبت) بهترین مطابقت را با داده‌های تجربی دارد که آنرا برای پیش‌بینی نسبت رطوبت با



**Fig 3** Response surface diagram for "A" ultrasound power & treatment time, "B" ultrasound power & osmotic solution concentration (Brix) and "C" treatment time & osmotic solution concentration versus solid gain (%). Also, "D" is the ANFIS structure for prediction of solid gain (%) of banana slices during osmotic dehydration.

ویسکوزیته ظاهری آن‌ها را با استفاده از روش انفیس مدل‌سازی کردند. مدل‌های انفیس استفاده‌شده برای مقادیر ویسکوزیته ظاهری شیره زردآلو و خرما با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۷۹ عملکرد خوبی داشتند و مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده با نتایج تجربی نشان داد که از مدل‌های انفیس می‌توان به‌طور مؤثری برای پیش‌بینی پارامترهای مختلف استفاده کرد [۲۰].



**Fig 4** Predicted values (by ANFIS model) versus experimental data of solid gain (%) of banana slices during osmotic dehydration.

در بخش D شکل ۳ نیز ساختار کلی شبکه مدل‌سازی انفیس با سه ورودی (توان فراصوت، زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی)، ۵۱ تابع عضویت ورودی، ۱۷ قانون در لایه میانی، ۱۷ تابع عضویت خروجی و یک پاسخ خروجی (درصد جذب مواد جامد) گزارش شده است.

با استفاده از این ساختار بهینه می‌توان درصد جذب مواد جامد توسط برش‌های موز هنگام آبگیری به روش ترکیبی اسمز-فراصوت را پیش‌بینی نمود. در شکل ۴ نیز بخش سوم داده‌های آزمایشگاهی درصد جذب مواد جامد (داده‌هایی که برای آموزش و ارزیابی استفاده نشده بودند) در برابر داده‌های پیش‌بینی شده توسط این ساختار بهینه قرار گرفته است تا توانایی مدل‌سازی این شبکه انفیس

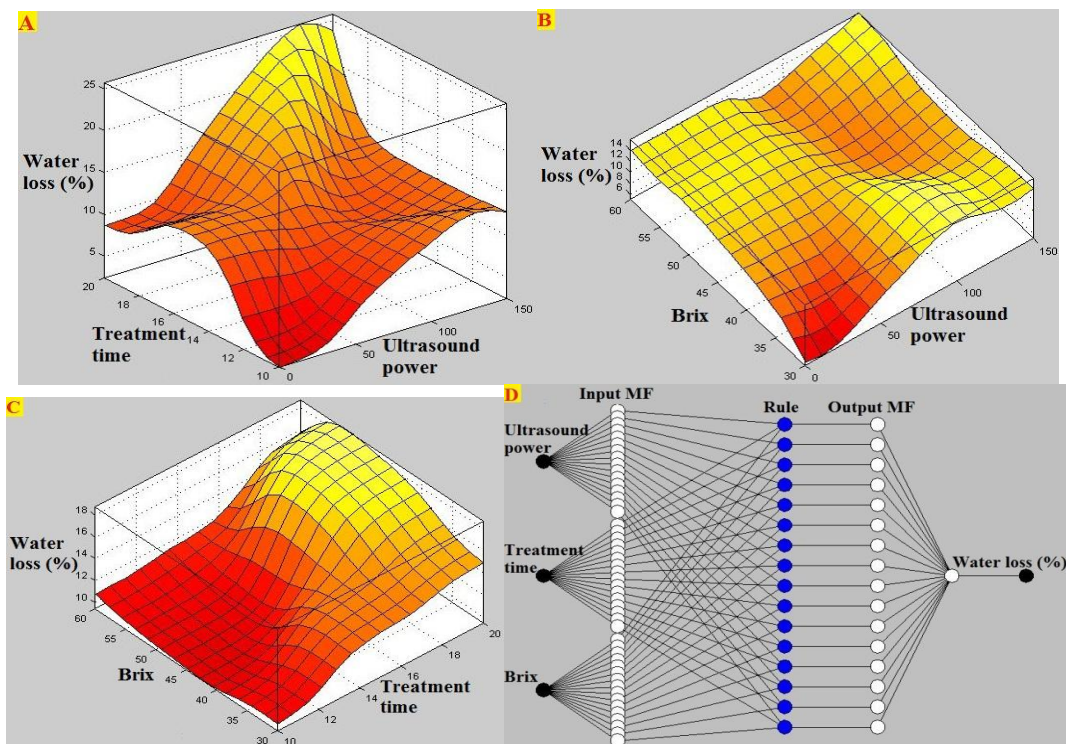
هتر دیده شود. ضریب تبیین ( $R^2$ ) محاسبه شده برای این دوسری داده برابر ۰/۹۵ است. در رابطه با کارایی روش انفیس برای استفاده در صنایع غذایی مطالعات زیادی انجام شده است. برای مثال کارامان و کایاسیر (۲۰۱۱) تأثیر دما بر روی خصوصیات رئولوژیکی شیره زردآلو و خرما را بررسی کرده و

اسمزی (شکل C)، بر درصد کاهش آب (خروج رطوبت) برش‌های موز هنگام آبیگری اسمزی به نمایش در آمده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش توان فراصوت، درصد کاهش آب نمونه‌ها بیشتر شد. با افزایش زمان اعمال تیمارهای اسمزی نیز رطوبت بیشتر از برش‌های موز خارج شد و در نتیجه درصد کاهش رطوبت برای این نمونه‌ها بیشتر شد. با افزایش غلظت محلول اسمزی نیز به دلیل افزایش فشار اسمزی، رطوبت بیشتری از برش‌های موز خارج شد و در نتیجه درصد کاهش آب برای نمونه‌هایی که در معرض محلول‌های اسمزی غلیظ‌تر بوده‌اند، بیشتر بوده است. این نتایج هم‌راستا با نتایج صالح‌نژاد و همکاران (۲۰۱۸) هنگام بررسی اثر پیش‌تیمار ترکیبی اسمز-فراصوت بر بهبود فرایند خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی [۱۸] و نتایج پژوهش اشراقی و همکاران (۲۰۱۴) هنگام بررسی اثر پیش‌تیمار ترکیبی اسمز-فراصوت بر خشک شدن ورقه‌های کیوی بود [۱۴].

در پژوهش دیگری، مدل‌سازی انفیس برای تشخیص فساد گوشت توسط بینی الکترونیکی توسط کودوگیانیس و الشجاری (۲۰۱۶) استفاده شده است. نتایج این پژوهش کارایی روش اتخاذشده را تأیید کرد و نشان داد که اطلاعات ناپایدار در ترکیب، با استفاده کارآمد یک طرح مدل‌سازی می‌تواند به‌عنوان یک روش جایگزین برای ارزیابی دقیق محصول در طول ذخیره‌سازی در دماهای مختلف در نظر گرفته شود [۲۱].

### ۳-۳- درصد کاهش آب

انفیس، مزایای شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی را به‌گونه‌ای ترکیب می‌کند که قوانین و توابع عضویت سیستم‌های فازی توسط شبکه عصبی مصنوعی تعیین می‌شود. بنابراین انفیس یک ابزار متنوع و مؤثرتر از شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی به‌تنهایی است [۱۷]. در نمودارهای سه‌بعدی شکل ۵، اثر توان فراصوت و زمان اعمال فراصوت یا بریکس (شکل A)، اثر توان فراصوت و غلظت محلول اسمزی یا بریکس (شکل B) و اثر زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول

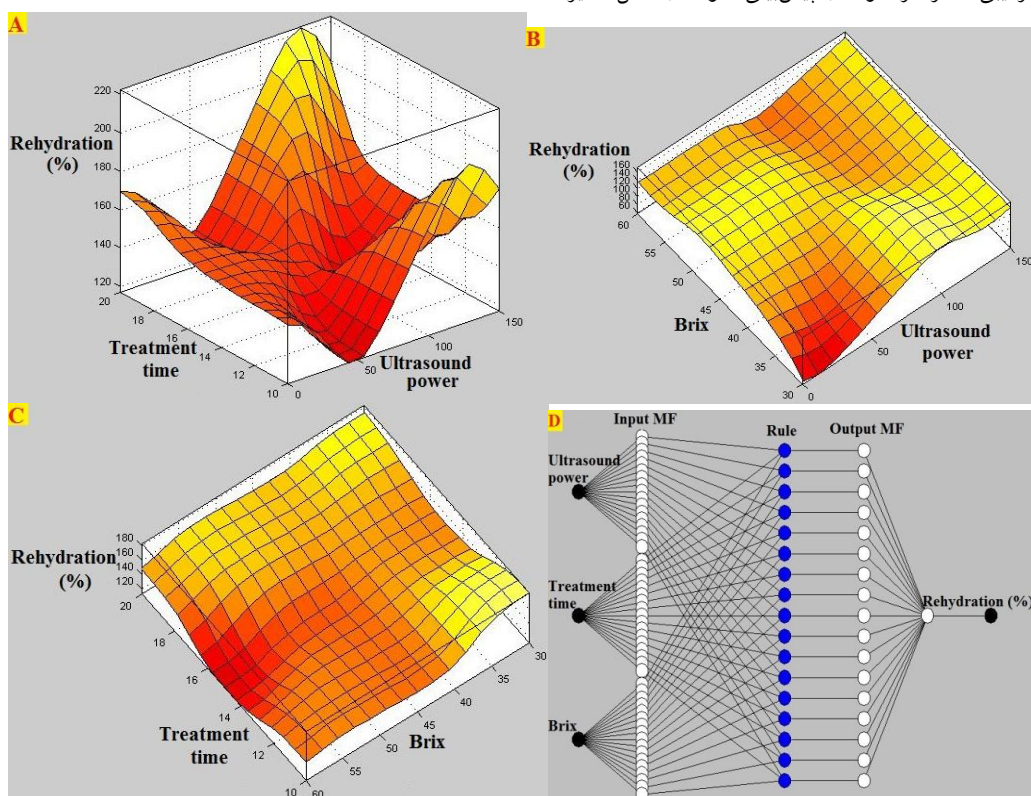


**Fig 5** Response surface diagram for "A" ultrasound power & treatment time, "B" ultrasound power & osmotic solution concentration (Brix) and "C" treatment time & osmotic solution concentration versus water loss (%). Also, "D" is the ANFIS structure for prediction of water loss (%) of banana slices during osmotic dehydration.

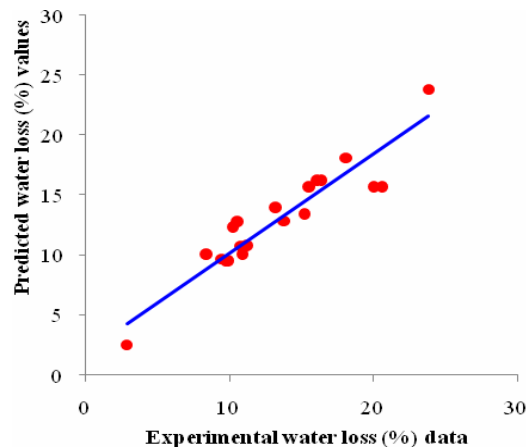
بخش سوم داده‌های آزمایشگاهی درصد کاهش آب (داده‌هایی که برای آموزش و ارزیابی استفاده نشده بودند) در برابر داده‌های پیش‌بینی شده توسط این ساختار بهینه قرار گرفته است تا توانایی مدل‌سازی روش انفیس بهتر دیده شود. ضریب تبیین ( $r$ ) محاسبه شده برای این دوسری داده برابر  $0/94$  است. در پژوهشی توسط شیرازی و همکاران (۲۰۱۸) از سیستم استنتاج فازی-عصبی (انفیس) در مدل‌سازی استخراج روغن از بادام‌زمینی با پیش‌تیمار مایکروویو استفاده شده است. میزان ضرایب همبستگی بالا بین نتایج آزمایشگاهی و خروجی‌های مدل بیانگر دقت قابل قبول و قابلیت استفاده از مدل انفیس در کنترل فرایند استخراج روغن بادام‌زمینی با پیش‌تیمار مایکروویو بوده است [۲۲].

### ۳-۴- درصد آبگیری مجدد

در نمودارهای سه‌بعدی شکل ۷، اثر توان فراصوت و زمان اعمال فراصوت (شکل A)، اثر توان فراصوت و غلظت محلول اسمزی یا بریکس (شکل B) و اثر زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی (شکل C)، بر درصد آبگیری مجدد برش‌های موز خشک‌شده به نمایش در آمده است.



**Fig 7** Response surface diagram for "A" ultrasound power & treatment time, "B" ultrasound power & osmotic solution concentration (Brix) and "C" treatment time & osmotic solution concentration versus rehydration (%). Also, "D" is the ANFIS structure for prediction of rehydration (%) of dried banana slices.



**Fig 6** Predicted values (by ANFIS model) versus experimental data of water loss (%) of banana slices during osmotic dehydration.

در بخش D شکل ۵ نیز ساختار کلی شبکه مدل‌سازی انفیس با سه ورودی (توان فراصوت، زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی)، ۴۸ تابع عضویت ورودی، ۱۶ قانون در لایه میانی، ۱۶ تابع عضویت خروجی و یک پاسخ خروجی (درصد کاهش آب) گزارش شده است. با استفاده از این ساختار بهینه می‌توان درصد کاهش آب برش‌های موز هنگام آبگیری به روش ترکیبی اسمز-فراصوت را پیش‌بینی نمود. در شکل ۶ نیز



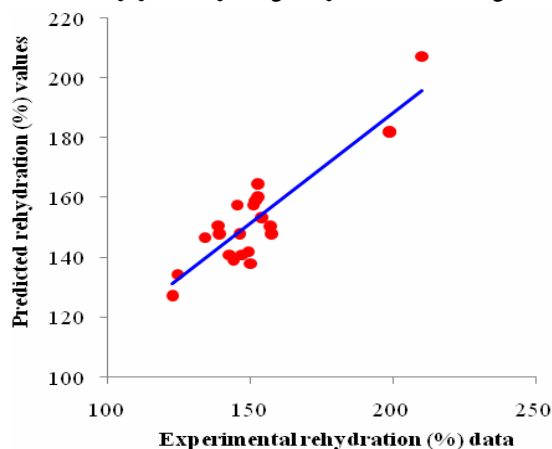
(%) و آبیگری مجدد (%). برش‌های موز آب‌گیری شده به روش اسمز-فراصوت استفاده شد. مقادیر ضرایب همبستگی (r) محاسبه شده برای پیش‌بینی کاهش وزن (%). جذب مواد جامد (%). کاهش آب (%) و آبیگری مجدد (%). برش‌های موز آبیگری شده با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی کاهشی مبتنی بر انجیس به ترتیب برابر ۰/۹۳، ۰/۹۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۱ بود. در مجموع، به دلیل دقت و توانایی بالا، ساختار ساده و همچنین توانایی مدل کردن سیستم‌های پیچیده، می‌توان روش مدل‌سازی انجیس را برای استفاده در بخش‌های مختلف صنایع غذایی و به‌خصوص مدل کردن فرآیندهای خشک‌کردن، پیشنهاد نمود.

## ۵- منابع

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Tao, Y., Li, Y., Zhou, R., Chu, D. T., Su, L., Han, Y., Zhou, J. 2016. Neuro-fuzzy modeling to predict physicochemical and microbiological parameters of partially dried cherry tomato during storage: effects on water activity, temperature and storage time, *Journal of Food Science and Technology*. 53, 3685-3694.
- [5] Deepika, S., Sutar, P. P. 2017. Osmotic dehydration of lemon (*Citrus limon* L.) slices: Modeling mass transfer kinetics correlated with dry matter holding capacity and juice sac losses, *Drying Technology*. 35, 877-892.
- [6] Salehi, F. 2020. Food industry machines and equipment, Bu-Ali Sina University Press, Hamedan, Iran.

همان‌طور که در این سه نمودار مشاهده می‌شود، پارامترهای توان فراصوت، زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی باعث تغییر درصد آبیگری مجدد برش‌های موز شده‌اند اما روند خطی و مشخصی برای آنها مشاهده نمی‌شود. البته با افزایش توان فراصوت، درصد آبیگری مجدد نمونه‌ها بیشتر شد.

در بخش D شکل ۷ نیز ساختار کلی شبکه مدل‌سازی انجیس با سه ورودی (توان فراصوت، زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی)، ۵۱ تابع عضویت ورودی، ۱۷ قانون در لایه میانی، ۱۷ تابع عضویت خروجی و یک پاسخ خروجی (درصد آبیگری مجدد) گزارش شده است. با استفاده از این ساختار بهینه می‌توان درصد آبیگری مجدد توسط برش‌های موز خشک‌شده را پیش‌بینی نمود. در شکل ۸ نیز بخش سوم داده‌های آزمایشگاهی درصد آبیگری مجدد (داده‌هایی که برای آموزش و ارزیابی استفاده نشده بودند) در برابر داده‌های پیش‌بینی شده توسط این ساختار بهینه قرار گرفته است تا توانایی مدل‌سازی این شبکه انجیس بهتر دیده شود. ضریب تبیین (r) محاسبه شده برای این دوسری داده برابر ۰/۹۱ است.



**Fig 8** Predicted values (by ANFIS model) versus experimental data of rehydration (%) of dried banana slices.

## ۴- نتیجه‌گیری

از میان روش‌های موجود برای مدل‌سازی، سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی (نرو-فازی یا انجیس) ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی خصوصیات محصولات غذایی مختلف و شبیه‌سازی روابط غیرخطی پیچیده بین خواص مواد غذایی و فاکتورهای فرآوری می‌باشد. در این مطالعه از مدل انجیس برای پیش‌بینی کاهش وزن (%). جذب مواد جامد (%). کاهش آب

- osmotic and ultrasonic pre-treatments on the quality of strawberry drying process in hot air drying method, *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 50, 705-715.
- [16] AOAC. 2010. Official methods of analysis, 16th edition. , *Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA*.
- [17] 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.
- [18] Saleh Nejad, L., Rahimi, R., Babapoor, A. 2018. Study of the effects of osmotic-ultrasonic pretreatment conditions on the moisture loss, solids uptake, and water rehydration process of tomato flakes, *Iranian Chemical Engineering Journal*. 17, 71-80.
- [19] Yousefi, A. R. 2017. Estimation of papaw (*Carica papaw* L.) moisture content using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and genetic algorithm-artificial neural network (GA-ANN), *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 12, 767-779.
- [20] Karaman, S., Kayacier, A. 2011. Effect of temperature on rheological characteristics of molasses: Modeling of apparent viscosity using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), *LWT-Food Science and Technology*. 44, 1717-1725.
- [21] Kodogiannis, V. S., Alshejari, A. 2016. Neuro-fuzzy based identification of meat spoilage using an electronic nose. in: 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS), IEEE, 96-103.
- [22] Shirazi, R., Bakhshabadi, H., Bazrafshan, M. 2018. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) application in modeling the oil extraction from peanut with microwave pretreatment, *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 15, 61-72.
- [7] Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., Godarzi, M. 2015. Apricot osmotic drying modeling using genetic algorithm - artificial neural network, *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 7, 65-76.
- [8] Salehi, F. 2020. Physico-chemical properties of fruit and vegetable juices as affected by ultrasound: A review, *International Journal of Food Properties*. 23, 1748-1765.
- [9] Azarpazhooh, E., Sharayeei, P., Gheybi, F. 2019. Evaluation of the effects of osmosis pretreatment assisted by ultrasound on the impregnation of phenolic compounds into aloe vera gel and dry product quality, *Food Engineering Research*. 18, 143-154.
- [10] Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., Youssef, M. M. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review, *Food Research International*. 48, 410-427.
- [11] Fernandes, F. A., Gallão, M. I., Rodrigues, S. 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration, *LWT-Food Science and Technology*. 41, 604-610.
- [12] Salehi, F., Cheraghi, R., Rasouli, M. 2022. Influence of sonication power and time on the osmotic dehydration process efficiency of banana slices, *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 19, 197-206.
- [13] Bashari, S., Tavakolipour, H., Mokhtarian, M. 2015. Monitoring the thin layer drying kinetics of rhubarb during ultrasound-osmotic dehydration process, *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 46, 255-263.
- [14] Eshraghi, E., Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., Beiraghi-Toosi, S., Aalami, M. 2014. Studying the effect of osmosis-ultrasound compound pre-treatment on drying kiwi fruit sheets, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 9, 323-329.
- [15] Samie, A., Ghavami Jolandan, S., Zaki Dizaji, H., Hojjati, M. 2019. The effect of



## Application of neuro-fuzzy approach for modeling of dehydration process from banana slices by osmosis-ultrasound method

Salehi, F. <sup>1\*</sup>; Cheraghi, R. <sup>2</sup>; Rasouli, M. <sup>3</sup>

1. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2. MSc Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

3. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

### ABSTRACT

Adaptive neuro-fuzzy inference system (neuro-fuzzy or ANFIS) is a well-known hybrid neuro-fuzzy network for modeling complex systems. In this system, the most frequently used fuzzy clustering method is the fuzzy subtractive clustering algorithm. In this algorithm, a cluster with a certain degree has each data point, explained by a membership function level. In this study, ANFIS model was used for prediction of weight reduction (%), solid gain (%), water loss (%) and rehydration (%) of banana slices dehydrated by osmosis-ultrasound method. The ANFIS model was developed with 3 inputs of sonication power (at three levels of 0, 75 and 150 watts), ultrasound treatment time (at three times of 10, 15 and 20 minutes) and sucrose solution concentration (at three levels of 30, 45 and 60 °Brix) to predict the characteristics of dehydrated banana slices. The calculated coefficient of determination values for prediction of weight reduction (%), solid gain (%), water loss (%) and rehydration (%) of dehydrated banana slices using the ANFIS-based subtractive clustering algorithm were 0.93, 0.95, 0.94, and 0.91, respectively. In general, it can be said that the high coefficients of determination between the experimental results and the outputs of the ANFIS model indicate acceptable accuracy and usability of this method in controlling complex processes in the food industry, including dehydration and drying processes.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2022/ 02/ 05

Accepted 2022/ 06/ 06

#### Keywords:

Adaptive neuro-fuzzy inference system,  
ANFIS,  
Modeling,  
Sonication, Subtractive clustering.

**DOI:** 10.22034/FSC.T.19.125.243

**DOR:** 20.1001.1.20088787.1401.19.125.30.9

\*Corresponding Author E-Mail:  
F.Salehi@Basu.ac.ir