

Design of Fuzzy System for Sensory Evaluation of Dried Apple Slices Using Infrared Radiation

HASSAN SABBAGHI^{1*}, AMAN MOHAMMAD ZIAIFAR², MAHDI KASHANINEJAD³

1. Ph.D. Graduated of Food Materials & Processing Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Associate professor, Department of Food Materials & Processing Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Professor, Department of Food Materials & Processing Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

(Received: Feb. 20, 2017- Revised: June. 26, 2018- Accepted: Oct. 3, 2018)

ABSTRACT

In food industry, the use of quality monitoring and evaluating systems which increase the production efficiency and desirability of product is increasing. Fuzzy logic has provided an appropriate tool in the design of the decision maker systems based on human experience. In this study, a fuzzy system was designed for sensory evaluation of apple slices during drying using infrared radiation. For this purpose, the slices of apple were prepared in three thicknesses of 5 (Thin), 9 (Moderate) and 13 mm (Thick). Intermittent radiation operation was performed at three constant temperatures of 70 (Low), 75 (Moderate) and 80 °C (High) to achieve a moisture level of 15 (Low), 20 (Moderate) and 25 % kg/kg, wb (High). Evaluating the sensory attributes including color, aroma, flavor, texture and overall acceptability was performed by ten trained panelists using linguistic and hedonic method. Similarity analysis between sensory properties in terms of importance and statistical analysis for considering the impact of process conditions on the desirability were also performed. Finally, the fuzzy model has been set. The results showed that, color and texture are of the same importance with Pearson correlation coefficient (PCC) equal to 0.981 in the sensory evaluation. Sensory qualities of apple slices were better in thin slices, low temperature and moderate humidity. Fuzzy model with mean absolute percentage error (MAPE) equal to 14.54 %, had a good prediction about average evaluated scores.

Keywords: Fuzzy logic, Sensory evaluation, Apple, Infrared, Similarity analysis

* Corresponding Author's E-mail: hassansabbaghi@gmail.com

طراحی سیستم فازی ارزیابی حسی برای برش‌های سیب خشک‌شده با پرتودهی مادون قرمز

حسن صباغی*^۱، امان محمد ضیائی فر^۲، مهدی کاشانی نژاد^۳

۱. دانش‌آموخته دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان،

ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳. استاد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۱۱)

چکیده

در صنایع غذایی، کاربرد سیستم‌های نظارت و ارزیابی کیفیت با هدف بازدهی و مطلوبیت بیشتر محصول رو به افزایش است. منطق فازی ابزار مناسبی را در طراحی سیستم‌های تصمیم‌گیرنده برپایه تجربیات انسانی فراهم کرده است. در این پژوهش، سیستم فازی جهت ارزیابی حسی برش‌های سیب طی خشک‌کردن با پرتودهی مادون قرمز طراحی شد. بدین منظور، برش‌های سیب در سه ضخامت ۵ (نازک)، ۹ (متوسط) و ۱۳ mm (ضخیم) تهیه شدند. عملیات پرتودهی متناوب در سه دمای ثابت ۷۰ (پایین)، ۷۵ (متوسط) و ۸۰ °C (بالا) تا دستیابی به سطح رطوبت ۱۵ (کم)، ۲۰ (متوسط) و ۲۵ kg/kg, wb (زیاد) انجام شد. ارزیابی ویژگی‌های حسی شامل رنگ، آروما، طعم، بافت و پذیرش کلی توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش‌دیده به روش لفظی و هدونیک انجام گرفت. تجزیه و تحلیل شباهت میان خصوصیات حسی از نظر اهمیت و آنالیز آماری تاثیر شرایط فرآیند روی مطلوبیت نمونه‌ها انجام شد. در نهایت مدل فازی تنظیم گردید. نتایج نشان داد که، در ارزیابی حسی دو عامل رنگ و بافت با ثابت همبستگی پیرسون (PCC) برابر با ۰/۹۸۱، از اهمیت مشابهی برخوردار بودند. کیفیت حسی برش‌های سیب در ضخامت کم، دمای پایین و رطوبت متوسط مطلوب‌تر بود. مدل فازی با میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) برابر با ۱۴/۵۴ درصد، پیش‌بینی عددی مطلوبی از متوسط نمرات ارزیابی داشت.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، ارزیابی حسی، سیب، مادون قرمز، تجزیه و تحلیل شباهت

مقدمه

شده است که با هدف سودآوری بهتر، بازدهی تولید بالاتر، کارآمدی بیشتر فرآیند و تلاش برای ایمنی و در نهایت کیفیت بیشتر محصول انجام می‌گیرد. نیاز به اتوماسیون ارزیابی کیفی در صنعت غذا به دلایلی از جمله (۱) حذف وظایف تکراری و خسته‌کننده، (۲) کنترل کیفیت بهتر به دلیل الزامات قانونی و مرزهای کیفی بسیار حساس، (۳) حذف کنترل کیفیت خارج از خط تولید به دلیل نیاز به اصلاح سریع‌تر در صورت انحراف از فرآیند، استانداردها و مشخصات کیفی و (۴) تشخیص مواد خارجی و آلودگی در مواد غذایی حین تولید، اهمیت دارد. بهبود ارزیابی کیفی فرآیند به منظور دستیابی به مفهوم مدیریت کیفیت کلی (total quality management) یا شاخص TQM بسیار مهم است (Odetunji & Kehinde, 2005).

ابزار منطق فازی (fuzzy logic) توانایی بیان حدی از وقوع یک پدیده را به صورت لفظی (مانند زیاد، کم، متوسط و اغلب) فراهم می‌کند که قدرت تشخیصی را در مدل‌سازی فراهم می‌نماید. این روش از تئوری احتمالات برای توضیح وقوع یک پدیده بهره می‌گیرد و بر اساس آن شانس مورد انتظار برای وقوع

در صنایع غذایی کیفیت محصول نهایی، به صورت برآیندی بین چندین پارامتر شامل خواص حسی (بافت، رنگ و پذیرش کلی) و خصوصیات فیزیکی (ابعاد محصول و تغییرات جرم) و کیفیت میکروبی سنجیده می‌شود. مدیریت ویژگی‌های کیفی طی تولید با هدف کنترل آن‌ها کار آسانی نیست (Perrot et al., 2006). در واقع، عملکرد بسیاری از عملیات فرآوری حرارتی برای محصولات غذایی به میزان زیادی به کنترل، نظارت و ارزیابی حسی توسط انسان، وابسته است (Brown et al., 2001). امروزه، صنعت غذا، با چالش‌های جدیدی از جمله افزایش روز افزون رقابت جهانی، وضع مقررات جدید و تقاضای مصرف‌کننده برای محصولی با کیفیت بالاتر رو به رو است. افزایش حجم تولید محصولات غذایی مستلزم به کارگیری سیستم‌های کنترل و ارزیابی کیفیت و ایجاد اتوماسیون (automation) در فرآیندها

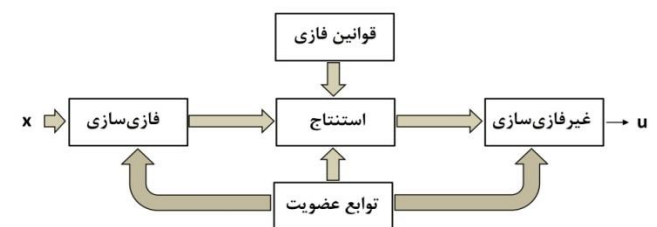
* نویسنده مسئول: hassansabbaghi@gmail.com

که در این حالت اطلاعات جمع آوری شده از کارشناسان برای توسعه قوانین فازی در این مدل‌ها به کار گرفته می‌شوند (Chaturvedi, 2009). بنابراین، منطق فازی می‌تواند ایجاد کننده یک سیستم تشخیصی کیفی هوشمند بر پایه مدل‌سازی غیرخطی باشد (Odetunji & Kehinde, 2005). متغیرهای ارزیابی حسی مانند بافت، رنگ، طعم و یا پذیرش جهت کنترل فرآیند، مفاهیمی مبهم و ذهنی (subjective) هستند و نمی‌توانند صرفاً به صورت داده‌های عددی بیان گردند (Brown *et al.*, 2001). بنابراین، برای فرآیندهای شدیداً غیرخطی از جمله ارزیابی حسی که فاقد مدل ساده ریاضی هستند، کنترل فازی روش مناسبی است. در این حالت، مدل منطقی فازی می‌تواند با استفاده از اطلاعات مربوط به قضاوت حسی (organoleptic judgment) کاربران آموزش‌دیده در ارتباط با کیفیت ماده غذایی و اهمیت نسبی مربوط به هر یک از خصوصیات حسی ایجاد گردد (Chatterjee *et al.*, 2014).

در بسیاری از سیستم‌های مهندسی در صنایع غذایی طبقه‌بندی خصوصیات کیفی توسط متخصصین انسانی صورت می‌گیرد که به دلیل فقدان دستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشد (Tsekouras *et al.*, 2002). سیستم‌های نظارتی فازی، در زمینه ارزیابی کیفیت و پشتیبانی از تصمیم ارزیابان و متخصصین غذا نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در رابطه با مواد غذایی، ارزیابی کیفیت توسط سیستم‌های متخصص (expert systems) به عنوان سیستم‌های تشخیص‌دهنده پشتیبان با کاربرد روش‌های استدلال فازی می‌تواند در دو حالت عمده از یکدیگر قابل تفکیک باشند. در حالت اول انجام آنالیز شیمیایی مواد غذایی موجب تمرکز در ایجاد هوش مصنوعی جهت تسهیل آنالیز دستگاهی و تجزیه مواد غذایی می‌گردد. بنابراین، این امر امکان دستیابی به سیستم نظارت برخط (online monitoring) پارامترهای شیمیایی کلیدی در آزمایشگاه را با توجه به نوع محصول فراهم می‌کند. حالت عمده دوم، موضوع ارزیابی کیفیت محصول را از دیدگاه انسان بررسی می‌کند و به تشخیص مطلوبیت کیفی ماده غذایی تولید شده از نظر مصرف‌کننده می‌پردازد. ایده استفاده از منطق فازی برای نشان دادن ارزیابی حسی انسان یک میدان تحقیقاتی جدید محسوب می‌شود و برای ایجاد یک مکانیسم کنترلی پیشخور (feedforward) و پسخور (feedback) با چند ورودی و یک خروجی به کار می‌رود (Birle *et al.*, 2013).

یکی از فرآیندهای نوین در صنعت غذا، عملیات همزمان بلانچینگ خشک مادون قرمز و آبزدایی میوه‌ها و سبزیجات می‌باشد که موجب افزایش کیفیت محصول نهایی می‌گردد

یک پدیده را اندازه‌گیری می‌کند (Kilimann *et al.*, 2005). شکل (۱) اجزای اصلی یک سیستم فازی را نشان می‌دهد (Seth *et al.*, 2009). مقدار عددی معمولی (crisp) به صورت ورودی x در مرحله فازی‌سازی (fuzzification) به مجموعه فازی (fuzzy set) تبدیل می‌شوند. یک مجموعه فازی به صورت سیستمی است که به اعضای خود اجازه دریافت مقادیر مختلفی از تابع عضویت (membership function) را در حدواسط بین بازه $[0-1]$ می‌دهد. در صورتی که عدد ۱ به معنی وقوع کامل یک پدیده تعریف شود، هر چقدر عدد حاصل از تابع عضویت به ارزش ۱ نزدیکتر باشد، احتمال وقوع آن پدیده بیشتر خواهد بود (Klir & Yuan, 1995). در واقع، فازی‌سازی فرآیند تغییر مقادیر عددی واقعی (داده‌ها) به مقادیر فازی است که توسط انواع مختلف فازی‌سازها (fuzzifiers) یا توابع عضویت انجام می‌گیرد. بعد از ایجاد مقادیر فازی، مرحله تجزیه و تحلیل در ماشین استنتاج (inference machine) با کمک قوانین فازی (fuzzy rules) و عملگرهای فازی (fuzzy operators) آغاز می‌شود. بعد از تحلیل، داده‌های فازی خروجی از موتور استنتاج طی فرآیندی به نام غیرفازی‌سازی (defuzzification) به مقدار خروجی (u) تبدیل می‌گردند و با توجه به آن عمل تصمیم‌گیری انجام می‌گیرد (Birle *et al.*, 2007; *et al.*, 2013).



شکل ۱- اجزای اصلی یک سیستم فازی

منطق فازی یک ساختار دارای قابلیت استدلال بشری را فراهم می‌کند و منجر به طراحی سیستم‌های تصمیم‌گیرنده برپایه تجربیات انسانی و درک هرچه بیشتر فرآیندهای غذایی می‌گردد. علت این امر این است که انسان بسیاری از مفاهیم را به صورت فازی (به معنای غیر دقیق، ناواضح و مبهم) درک می‌کند و در قالب لفظی بیان می‌کند (Lao *et al.*, 2012). مدل‌سازی فازی موجب کنترل اتوماتیک فرآیند در قالب عبارات کیفی مانند بهره‌وری کم، رنگ روشن‌تر و قوام خوب و سایر خروجی‌ها در سیستم‌های رایانه‌ای می‌شود (Rywoytycki, 2002). منطق فازی از دسته مدل‌های منطقی است که دارای الفاظ منطقی برای متغیرها و پارامترها هستند، در حالی که در سایر روش‌های معمول مدل‌سازی، متغیرها ارزش‌هایی عددی می‌باشند. مدل‌های منطقی اطلاعات کیفی را استفاده می‌کنند

پژوهشی دیگر، روشی برای ارزیابی حسی براساس منطق فازی در چای خشک پیشنهاد شد. نتایج نشان داد که منطق فازی به طور مناسبی جهت پیش‌بینی قضاوت درباره ویژگی‌های کیفی مخصوص چای قابل استفاده است (Debjani *et al.*, 2013).

پژوهش حاضر جهت به دست آوردن اطلاعات حسی در هر دو مقیاس لفظی و عددی در ارتباط با کیفیت برش‌های سیب خشک‌شده با حرارت‌دهی متناوب مادون قرمز (دمای سطحی ثابت طی پرتودهی) انجام شده است. مراحل اساسی در مدل‌سازی فازی و ایجاد سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری در ارزیابی حسی طی این پژوهش شامل (۱) بررسی اهمیت لفظی خصوصیات کیفی با تجزیه و تحلیل شباهت و رتبه‌بندی (۲) محاسبه نمرات ارزیابی حسی نمونه‌ها (۳) بررسی امتیاز لفظی کیفی (۴) تخمین تابع عضویت و قانون نویسی در مقیاس فازی، خواهد بود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی برش‌های سیب

سیب وارپته زرد لبنانی (*golden delicious*) در دمای 1 ± 0 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد نگهداری شد (Acevedo *et al.*, 2008). نمونه‌ها پس از پوست‌گیری در سه اندازه به صورت برش‌هایی با ضخامت ۵، ۹ و ۱۳ میلی‌متر و با قطر ۲۰ میلی‌متر آماده شدند. میانگین محتوی رطوبت سیب توسط آون (Binder FD53) با دمای 103 ± 0 °C به مدت ۲۴ ساعت برابر با 1 ± 84 درصد بر مبنای وزن مرطوب اندازه‌گیری شد (AOAC, 2000).

عملیات پرتودهی متناوب مادون قرمز

برش‌های سیب بلافاصله وارد عملیات همزمان بلانچینگ و خشک‌کردن مادون‌قرمز شدند. شکل (۲) اجزای دستگاه خشک‌کن اتوماتیک را نشان می‌دهد (Liu *et al.*, 2014). این سیستم قابلیت مانیتورینگ وزن و کنترل دما را طی پرتودهی دارد. دمای سطحی نمونه در محفظه خشک‌کن به طور مداوم با استفاده از ترموکوپل نوع K و سیستم کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر (Programmable Logic Controller) یا PLC کنترل می‌گردد. جهت انجام آزمایش، عملیات پرتودهی متناوب در سه دمای سطحی ثابت برابر با ۷۰، ۷۵، ۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. برش‌های سیب پس از توزین اولیه در داخل خشک‌کن قرار گرفته و تا دستیابی به سطح رطوبت ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد برحسب وزن مرطوب، فرآوری شدند.

(Zhu *et al.*, 2010). این فرآیند در ارتباط با کیفیت برش‌های سیب به صورت مدل‌سازی فازی مطالعه نشده است. بررسی منابع نشان می‌دهد که بیشتر مقالات فازی منتشر شده در زمینه صنایع غذایی با هدف کنترل فرآیند می‌باشند (Perrot *et al.*, 2006). پیش‌بینی خصوصیات حسی و کیفی طی حرارت‌دهی مادون قرمز به خصوص برای میوه‌ها و سبزیجات کمتر مورد توجه قرار گرفته است. اما در ارتباط با پیش‌بینی خواص حسی و کیفی سایر محصولات غذایی بر پایه مدل‌های غیرخطی و فازی پژوهش‌هایی انجام شده است.

در مطالعه‌ای مجموع پژوهش‌های ۱۰ ساله که در زمینه منطق فازی در صنایع غذایی بوده است، طبقه‌بندی شد. آن‌ها بیان کردند، نخستین مقاله در زمینه کاربرد منطق فازی در زمینه کیفیت مواد غذایی در سال ۱۹۹۱ میلادی منتشر شد و سپس از سال ۱۹۹۶ میلادی پژوهش‌ها در این زمینه گسترش یافت. این پژوهش‌ها در زمینه‌های مختلفی بود که عبارت‌اند از: (۱) به عنوان ارزش‌یابی کیفی توصیفی توسط یک تیم، اپراتور یا مصرف‌کننده (۲) اندازه‌گیری غیر مستقیم خصوصیات یک محصول غذایی (۳) تشخیص (diagnosis)، نظارت (supervision) و کنترل کیفیت مواد غذایی. نتایج آن‌ها نشان داد که ۸۰ درصد پژوهش‌ها در زمینه‌های دوم و سوم بوده است و همچنین ۷۵ درصد پژوهش‌های منتشر شده از سال ۲۰۰۰ میلادی تا سال ۲۰۰۶ میلادی، با تمرکز به ارزیابی حسی می‌باشند (Perrot *et al.*, 2006).

در پژوهشی مدل‌های سینتیکی، شبکه عصبی و منطق فازی برای توصیف کیفیت بافت نخودفرنگی‌های خشک طی پخت در دمای ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی و منطق فازی با کاربرد وزن‌دهی، توابع عضویت و قوانین به جای انرژی فعال‌سازی و ثابت‌های سینتیکی، انعطاف‌پذیری بالاتری را در توصیف کیفیت بافت طی فرآوری نشان دادند (Xie *et al.*, 1998).

کاربرد منطق فازی و تجزیه و تحلیل شباهت (similarity analysis) جهت ارزیابی خصوصیات حسی یک محصول سنتی در هندوستان به نام چهانای پودو (*chhana podo*) نیز بررسی شده است. این مطالعه با هدف پیدا کردن سطح قابل قبول ترکیبات برای تشکیل مخلوط خوراک تولیدی و همچنین مطالعه ارزیابی حسی نمونه‌های این محصول سنتی انجام گرفت. نتایج نشان داد که منطق فازی جهت اعتبارسنجی نتایج بهینه‌سازی کیفی فرآیند می‌تواند به کار رود (Mukhopadhyay *et al.*, 2013).

خیلی بد	بد	متوسط	خوب	خیلی خوب
Very bad	Bad	Moderately	Good	Very good
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10

شکل ۳- مقیاس حسی هدونیک با پنج تقسیم‌بندی برای مجموعه فازی

بی اهمیت	تا حدی مهم	مهم	خیلی مهم	به شدت مهم
Not at all important	Somewhat important	Important	Highly important	Extremely important
0-20	20-40	40-60	60-80	80-100

شکل ۴- مقیاس وزن‌دهی اهمیت هر یک از خصوصیات حسی برای ارزیاب‌ها

تجزیه و تحلیل شباهت برای اهمیت خصوصیات حسی

تجزیه و تحلیل شباهت در مقیاس لفظی میان خصوصیات حسی از نظر اهمیت در میان مصرف‌کنندگان با ساخت ماتریس مجاورت و مقایسه توسط ثابت همبستگی پیرسون (pearson correlation coefficient) یا PCC با در نظرگیری آستانه عدم تشابه (dissimilarity threshold) برابر با ۰/۹۵ در نرم افزار XLSTAT نسخه ۲۰۱۶ انجام شد (Mukhopadhyay et al., 2013). همچنین روی ماتریس شباهت تشکیل‌شده، آنالیز مقیاس‌بندی چند بُعدی (multidimensional scaling) انجام شد. بدین منظور بُعد شباهت مورد نیاز (dm) که نشان‌دهنده تغییرات در اثر بزرگ‌شدن جامعه هست، با استفاده از (رابطه ۱) در نرم افزار برابر با حداکثر ۲ بُعد محاسبه شد. در این رابطه c نشان دهنده تعداد کپی‌های مورد نیاز برای چند برابر شدن جامعه‌ای با اندازه a است، به طوری که میزان استرس خام (raw stress) پیش‌بینی (عددی بین صفر تا یک) کاهش یابد (Christensen, 2015). تابع استرس خام (S^*) به صورت (رابطه ۲) قابل تعریف است. در این رابطه؛ d_{ij} نشان‌دهنده فاصله اصلی (orginal distance) و D_{ij} نشان‌دهنده فاصله اقلیدسی (euclidean distance) (فاصله با یک خط راست) میان مختصات دو نقطه است. رتبه‌دهی میان خصوصیات حسی به صورت جفت‌شده براساس کمترین عدم شباهت (dissimilarity)، اختلاف (disparity) و فاصله (distance) در مختصات دو بُعدی انجام گرفت و نقشه پیکربندی (configuration) رسم شد. در نهایت، نحوه تغییرات عدم شباهت در برابر نسبت فاصله به اختلاف به شکل دیاگرام شپرد (shepard diagram) مشخص گردید (Kruskal, 1964).

$$dm = \frac{\ln c}{\ln a} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$S^* = \sum_{i < j} (d_{ij} - D_{ij})^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

تجزیه و تحلیل آماری

در مقیاس معمولی، بررسی آماری تاثیر ضخامت، دما و درصد



شکل ۲- سیستم خشک‌کن مادون قرمز و لوازم آن، (۱) کامپیوتر (۲) ترازو (۳) سینی نمونه (۴) تابش‌کننده سرمایی مادون قرمز با توان ۱۰۰۰ وات (۵) کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر (PLC) (۶) محفظه خشک‌کن (۷) ترموکوپل‌ها

ارزیابی حسی

مطابق کار پژوهشگران دیگر در طراحی سیستم فازی، ارزیابی خصوصیات حسی شامل رنگ، آروما، طعم، بافت و پذیرش کلی توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش دیده براساس اطلاعات جدول (۱) انجام شد (Kupongsak & Tan, 2006). مقیاس ترتیبی مشخص‌شده در پنج تقسیم‌بندی لفظی براساس روش هدونیک در شکل (۳) نشان داده شده است. هر پنلیست با انتخاب یک عدد از یک تا ده ضمن در نظرگیری امتیاز لفظی، ارزیابی حسی را انجام داد. نمرات از ۱ تا ۱۰ معادل با الفاظ خیلی خوب (۹ و ۱۰)، خوب (۷ و ۸)، متوسط (۵ و ۶)، بد (۳ و ۴)، خیلی بد (۱ و ۲) است. همچنین مطابق کار پژوهشگران دیگر جهت انجام وزن‌دهی (weightage) به هر یک از خصوصیات حسی، از ارزیاب‌ها درخواست شد که اولویت شخصی خود را در رابطه با اهمیت هر یک از خصوصیات حسی با نمره‌دهی درصدی به صورت "بی اهمیت (۰ تا ۲۰)، تا حدی مهم (۲۰ تا ۴۰)، مهم (۴۰ تا ۶۰)، خیلی مهم (۶۰ تا ۸۰)، به شدت مهم (۸۰ تا ۱۰۰)" مطابق شکل (۴) مشخص نمایند (Debjani et al., 2012; Singh et al., 2013).

جدول ۱- اطلاعات آموزش نحوه قضاوت حسی درباره برش‌های آبردایی شده

ویژگی‌های عمومی مطلوب	خاصیت حسی
رنگ یک‌نواخت، فاقد لکه‌های قهوه‌ای، رنگ زرد و طبیعی سیب	رنگ
محصولی با عطر طبیعی سیب و بوی تشدید شده مطلوب سیب	آروما
طعم طبیعی نزدیک به سیب، مزه فاقد ترکیبات تلخ قهوه‌ای شدن	طعم
احساس دهانی مطلوب از نظر بافت، عدم سختی بافت، عدم چروکیدگی	بافت
مطلوبیت نهایی محصول از مجموع خواص حسی ارزیابی شده با توجه کلی به اهمیت	پذیرش کلی

بینی مدل فازی برای نمرات ارزیابی حسی با استفاده از میانگین درصد خطای مطلق (mean absolute percentage error) یا شاخص MAPE مطابق (رابطه ۳) انجام گرفت (Chen et al., 2015). در این رابطه، P و o به ترتیب مقدار مشاهده شده و مقدار پیش‌بینی شده است و n تعداد مشاهده می‌باشد.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P-o}{o} \right| \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

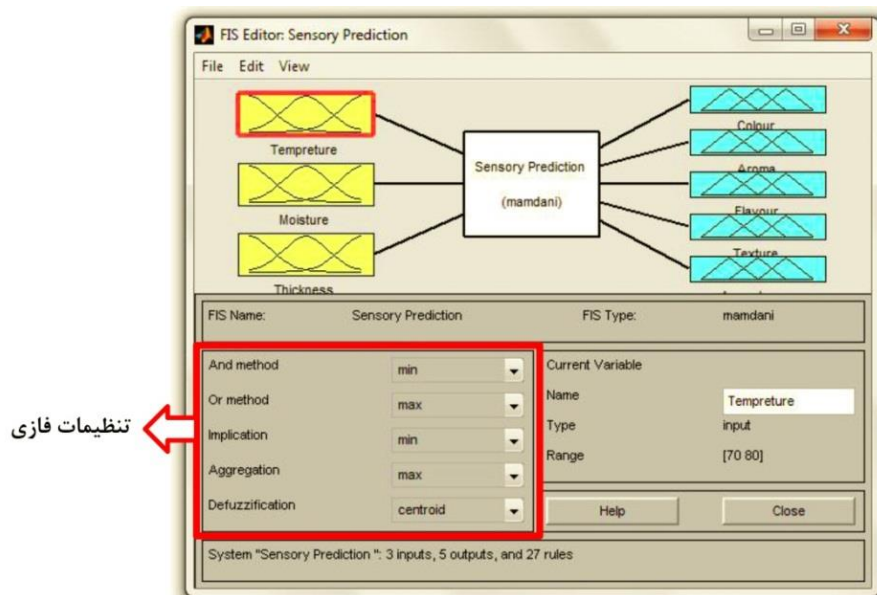
تنظیمات موتور استنتاج

موتور استنتاج به صورت استنتاج فازی ممدانی (mamdani) در نظر گرفته شد. تنظیمات در شکل (۵) نشان داده شده است. تقاطع یا اشتراک فازی (and method) مطابق (رابطه ۴) به صورت محاسبه حداقل مقدار درجه عضویت (μ) بین دو مجموعه A و B در نظر گرفته شد. تفکیک یا اتحاد فازی (or method) به صورت حداکثر درجه عضویت مطابق (رابطه ۵) بین این دو مجموعه تفسیر شد. پیش از استفاده از روش دلالت (implication method)، باید وزن قانون تخمین زده شود. در اینجا چون وزن برای همه قوانین برابر ۱ است، بدین ترتیب هیچ اثری روی فرآیند دلالت ندارد و روش حداقل انتخاب شد. برای فرآیند تجمع (aggregation) و ایجاد یک مجموعه فازی برای هر متغیر خروجی، روش حداکثر انتخاب شد. غیرفازی‌سازی به روش مرکزی (centroid) با محاسبه میانگین وزنی (\bar{y}) حاصلضرب درجه عضویت در مقدار عنصر خروجی مطابق (رابطه ۶) برای هر نقطه فرضی (y_i) انجام شد (Sivanandam et al., 2007).

رطوبت روی نمره‌دهی خصوصیات حسی بررسی شده با در نظرگیری طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل انجام شد. داده‌های درصد اهمیت خصوصیات حسی، با آزمون F یک طرفه تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین نیز به صورت آزمون دانکن (duncan test) با سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) انجام گرفت. آنالیز با کمک نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ و با در نظرگیری ۱۰ تکرار انجام شد.

توسعه مدل فازی

مدل‌سازی فازی پیش‌بینی‌کننده خصوصیات کیفی محصول با توجه به شرایط فرآیند با استفاده از ویرایشگر FIS در نرم افزار MATLAB انجام شد. مقادیر لفظی برای دما ($^{\circ}C$) به صورت پایین یا Low (۷۰)، متوسط یا Moderate (۷۵) و بالا یا High (۸۰) در نظر گرفته شد. به همین ترتیب برای ضخامت (mm) نیز الفاظ نازک یا Thin (۵)، متوسط یا Moderate (۹) و ضخیم یا Thick (۱۳) در نظر گرفته شد. محتوی رطوبت نهایی (%) نیز با الفاظ پایین یا Low (۱۵)، متوسط یا Moderate (۲۰) و بالا یا High (۲۵) مشخص شد. بدین منظور نمرات بدست آمده از مرحله آزمون حسی که به صورت لفظی طبقه‌بندی شده‌است به عنوان خروجی سیستم فازی در نظر گرفته می‌شود و ورودی سیستم شرایط دمایی، رطوبت و ضخامت می‌باشد. قانون‌نویسی با توجه به اطلاعات لفظی بدست آمده از ارزیابی حسی به صورت عبارات شرطی قوانین پیچیده "اگر- آنگاه یا If-Then" انجام شد. در نهایت اعتبار سنجی (validation) کیفیت پیش



شکل ۵- تنظیمات فازی برای ویرایشگر FIS

مثلی (شکل ۶-الف)، تابع S (شکل ۶-ب) و تابع Z (شکل ۶-ج) را نشان می‌دهد. این توابع سه نقطه مکانی مختلف بصورت a، b و c دارند که تغییرات برای تابع مثلی، S شکل و Z شکل به ترتیب به صورت (رابطه ۷)، (رابطه ۸) و (رابطه ۹) قابل محاسبه است. شکل (۷) هیستوگرام توابع عضویت ورودی (شکل ۷-الف) و خروجی (شکل ۷-ب) را نشان می‌دهد (Sivanandam et al., 2007; Singh et al., 2012).

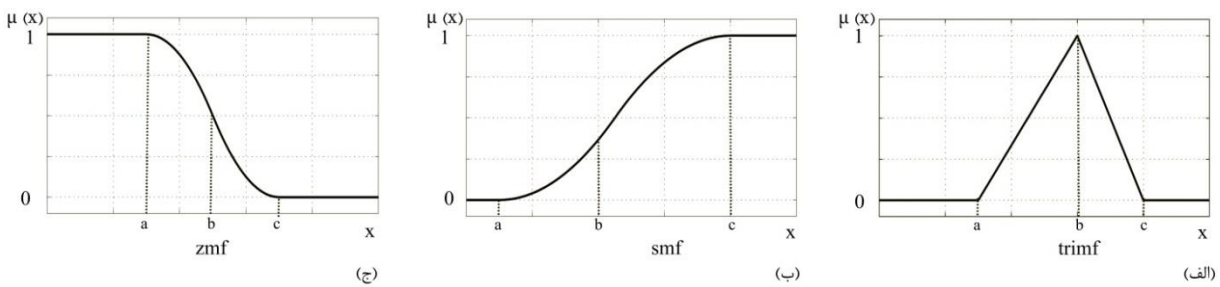
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \text{(رابطه ۵)}$$

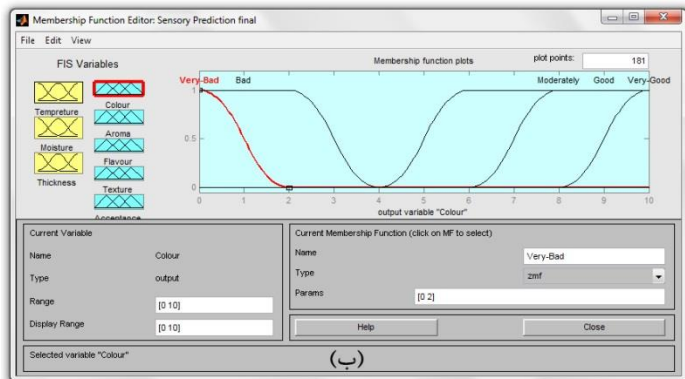
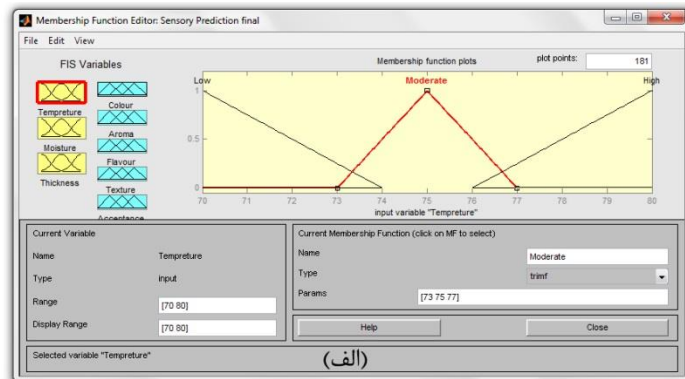
$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu_B(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_B(y_i)} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

تعیین توابع عضویت

جهت تنظیم هیستوگرام توابع عضویت، تابع عضویت مثلی (triangular) با نام مخفف trimf برای ورودی‌ها و دو تابع عضویت به صورت منحنی‌های S با نام smf و Z با نام zmf برای خروجی‌ها در نظر گرفته شد. شکل (۶) توابع عضویت



شکل ۶- توابع عضویت چندجمله‌ای (الف) مثلی (ب) S شکل (ج) Z شکل



شکل ۷- هیستوگرام توابع عضویت (الف) ورودی و خروجی (ب)

$$S(x;a,b,c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{2(x-a)^2}{(c-a)^2} & a \leq x < b \\ 1 - \frac{2(x-c)^2}{(c-a)^2} & b \leq x < c \\ 1 & c < x \end{cases} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

$$f(x;a,b,c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x < c \\ 0 & c < x \end{cases} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

نزدیکی با خصوصیات فیزیکی و بافت محصولات برش میوه دارد (Barrett et al., 2010).

جدول ۲- نتایج فراوانی لفظی برای اهمیت خصوصیات حسی

خواص حسی	بی اهمیت	تا حدی مهم	مهم	خیلی مهم	به شدت مهم
رنگ	۰	۰	۱	۳	۶
طعم	۰	۲	۶	۱	۱
آروما	۱	۴	۵	۰	۰
بافت	۰	۱	۱	۳	۵
پذیرش کلی	۰	۰	۱	۶	۳

$$Z(x;a,b,c) = \begin{cases} 1 & x < a \\ 1 - \frac{2(x-a)^2}{(c-a)^2} & a \leq x < b \\ \frac{2(x-c)^2}{(c-a)^2} & b \leq x \leq c \\ 0 & c < x \end{cases}$$

نتایج و بحث

اهمیت خصوصیات حسی در ارزیابی

جدول (۲) نتایج فراوانی لفظی میزان اهمیت حسی از نظر ارزیاب‌ها را نشان می‌دهد. با انجام تجزیه و تحلیل شباهت بین خصوصیات حسی مطابق ماتریس شباهت در جدول (۳)، مشخص شد که رنگ و بافت با داشتن ثابت همبستگی پیرسون بالای ۰/۹۵ از نظر فراوانی الفاظ اهمیت، با هم شباهت دارند. اگرچه در مقیاس معمولی اختلاف معنی‌داری میان درصد اهمیت رنگ، بافت و پذیرش کلی (زیرگروه A) مطابق جدول (۴) مشاهده نشد. جدول ANOVA برای این مقایسه در جدول (۵) نشان داده شده است. در مجموع، می‌توان رده‌بندی اهمیت را برای خواص حسی به صورت رنگ <= بافت < پذیرش کلی < طعم < آروما در نظر گرفت. پژوهشگران در آنالیز تشابه اهمیت خصوصیات حسی نتایج یکسانی را در رابطه با رنگ در مواد غذایی مشاهده کردند (Mukhopadhyay et al., 2013). همچنین بیان کردند که رنگ و ظاهر محصول می‌تواند موجب رغبت در مصرف برش‌های میوه شود. ظاهر ارتباط بسیار

جدول ۳- ماتریس شباهت با استفاده از ثابت همبستگی پیرسون برای

مقایسه اهمیت خواص حسی در مقیاس لفظی

خواص حسی	رنگ	طعم	آروما	بافت	پذیرش کلی
رنگ	۱	-۰/۲۰۹	-۰/۶۲۷	۰/۹۸۱	۰/۶۵۴
طعم	-۰/۲۰۹	۱	۰/۸۱۸	-۰/۲۱۳	-۰/۲۰۹
آروما	-۰/۶۲۷	۰/۸۱۸	۱	-۰/۵۸۶	-۰/۶۲۷
بافت	۰/۹۸۱	-۰/۲۱۳	-۰/۵۸۶	۱	۰/۶۸۶
پذیرش کلی	۰/۶۵۴	-۰/۲۰۹	-۰/۶۲۷	۰/۶۸۶	۱

* آستانه عدم تشابه = ۰/۹۵

جدول ۴- مقایسه میانگین اهمیت خصوصیات حسی در مقیاس معمولی

خصوصیت حسی	A	B
رنگ	۷۸	-
بافت	۷۲	-
پذیرش کلی	۶۹	-
طعم	-	۴۹
آروما	-	۳۶
معنی‌داری	۰/۲۲۵	۰/۰۷۱

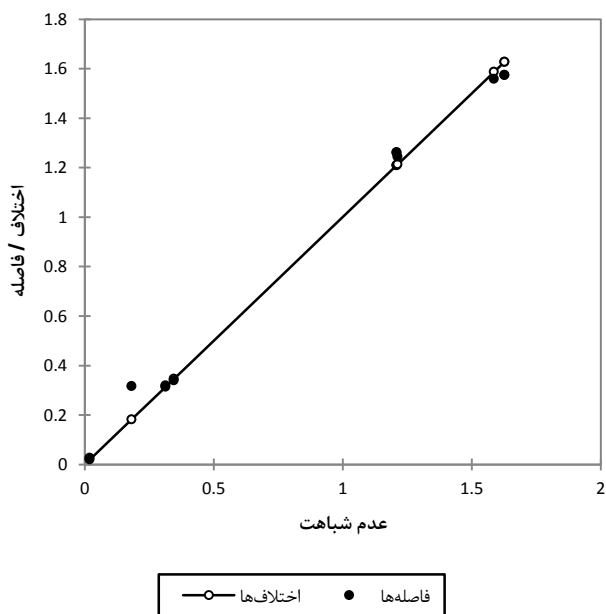
جدول ۵- جدول ANOVA برای داده‌های درصد اهمیت خواص حسی شامل رنگ، طعم، آروما، بافت و پذیرش کلی ($P < 0.05$)

مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
۱۲۴۲۸/۰۰۰	۴	۳۱۰۷/۰۰۰	۱۲/۵۵۱	۰۰۰/۰۰۰
۱۱۱۴۰/۰۰۰	۴۵	۲۴۷/۵۵۶		
۲۳۵۶۸/۰۰۰	۴۹			

در مقیاس دو بُعدی به همراه رتبه‌بندی براساس کمترین عدم شباهت در جدول (۶) نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، رنگ و بافت با ارزش عدم شباهت و اختلاف ۰/۰۱۹ و فاصله ۰/۰۲۵ بیشترین شباهت را از نظر اهمیت به یکدیگر دارند. همچنین، خصوصیات (آروما و پذیرش کلی) و (آروما و رنگ) با فاصله ۱/۵۷۴ بیشترین اختلاف و عدم شباهت را دارند. در ارزیابی حسی حفظ رنگ میوه‌ها طی خشک‌کردن به عنوان یک عامل تجاری مهم در درک کیفیت و پذیرش این محصولات اهمیت زیادی دارد (Haug et al., 2013). در رابطه

مقایسه خصوصیات حسی در مختصات دو بُعدی

براساس ماتریس شباهت ایجاد شده، میزان اختلاف در مختصات مقایسه دو بُعدی، میزان شباهت دقیق خصوصیات حسی را مشخص می‌نماید. شکل (۸) میزان کاهش استرس خام پیش‌بینی را در اثر مقایسه دو بُعدی نشان می‌دهد که از ۰/۲۰۵ به ۰/۰۳۱ کاهش یافت. میزان استرس خام زیر ۰/۱ نشان‌دهنده نتیجه مقایسه عالی در مقیاس دو بُعدی است. شکل (۹) نقشه پیکربندی مقایسه خصوصیات حسی در مقیاس دو بُعدی را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه جفتی خصوصیات حسی

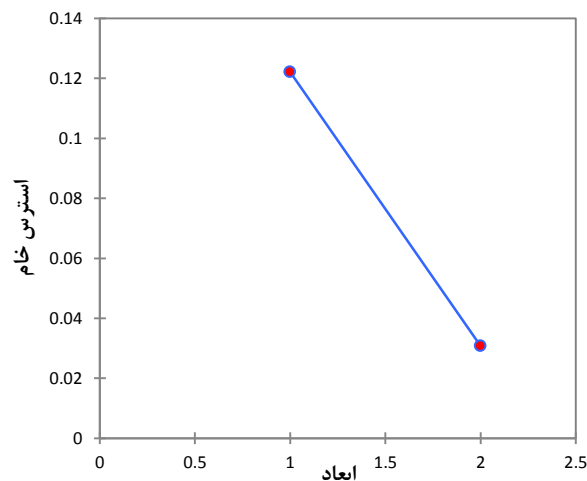


شکل ۱۰- دیاگرام شپرد برای تغییرات [عدم شباهت] در برابر [نسبت اختلاف به فاصله] در فواصل و اختلافات خواص حسی در تجزیه و تحلیل دو بُعدی

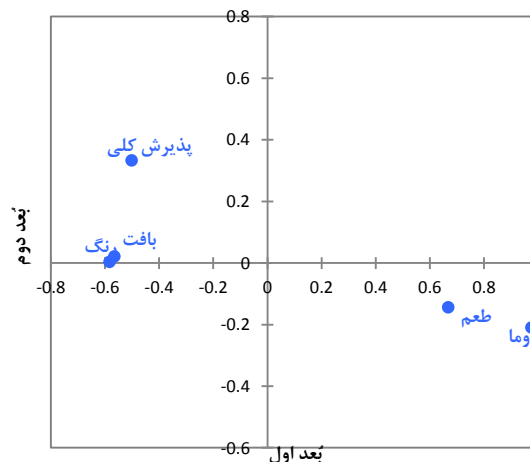
نتایج نمرات ارزیابی حسی

جدول (۷) جزئیات مقایسه سطوح مختلف دما، رطوبت و ضخامت برش‌های سیب را از نظر نمرات ارزیابی حسی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، به‌طور کلی دمای ۷۰°C، رطوبت ۲۰ و ۲۵ درصد بر حسب وزن مرطوب، از نظر ارزیابی خصوصیات حسی به‌خصوص رنگ، نمرات بالاتری را کسب کردند. در رابطه با ضخامت الگوی منظمی مشاهده نشد و ضخامت برش ۵ میلی‌متر به دلیل چروکیدگی کمتر مطلوبیت بافت و پذیرش کلی بالاتری نشان داد. شرایطی که منجر به تبخیر زیاد آب شود (دمای بالا یا ضخامت زیاد یا سطح رطوبت نهایی پایین) می‌تواند تنش چروکیدگی بزرگی در محصول ایجاد

با محصولی مانند نان نیز به‌طور مشابه، اهمیت رنگ و بافت در ارزیابی حسی بسیار نزدیک به هم گزارش شده است (Singh *et al.*, 2012). شکل (۱۰) دیاگرام شپرد را نشان می‌دهد که نحوه تغییرات عدم شباهت در برابر نسبت فاصله/اختلاف را به صورت خطی توصیف می‌نماید.



شکل ۸- تغییرات استرس خام در برابر ابعاد



شکل ۹- نقشه پیکربندی مقایسه خصوصیات حسی در مختصات دو بُعدی (استرس خام = ۰/۰۳۱)

جدول ۶- مقایسه جفتی و رتبه بندی عدم شباهت، اختلاف و فاصله در مختصات دو بُعدی (استرس خام = ۰/۰۳۱)

رتبه (فاصله)	رتبه (اختلاف)	رتبه (عدم شباهت)	فاصله	اختلاف	عدم شباهت	مقایسه جفتی
۱	۱	۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	رنگ-بافت
۲	۲	۲	۰/۳۱۵	۰/۱۸۲	۰/۱۸۲	طعم-آروما
۳	۳	۳	۰/۳۱۸	۰/۳۱۴	۰/۳۱۴	بافت-پذیرش کلی
۴	۴	۴	۰/۳۴۰	۰/۳۴۶	۰/۳۴۶	رنگ-پذیرش کلی
۶	۵	۵	۱/۲۶۰	۱/۲۰۹	۱/۲۰۹	رنگ-طعم
۷	۵	۵	۱/۲۶۲	۱/۲۰۹	۱/۲۰۹	طعم-پذیرش کلی
۵	۶	۶	۱/۲۴۴	۱/۲۰۹	۱/۲۱۳	طعم-بافت
۸	۷	۷	۱/۵۵۹	۱/۵۸۶	۱/۵۸۶	آروما-بافت
۱۰	۸	۸	۱/۵۷۴	۱/۶۲۷	۱/۶۲۷	رنگ-آروما
۹	۸	۸	۱/۵۷۴	۱/۶۲۷	۱/۶۲۷	آروما-پذیرش کلی

جدول ۷- مقایسه نمرات ارزیابی حسی (مقیاس معمولی) براساس سطوح مختلف فاکتورهای دما، رطوبت و ضخامت ($P < 0.05$)

فاکتور	سطوح	رنگ	آروما	طعم	بافت	پذیرش
دما (°C)	۷۰	۸/۵±۰/۸۶۴ ^A	۹/۲۷±۰/۶۵ ^A	۸/۹±۰/۵۶۳ ^A	۸/۱۸±۰/۷۸۷ ^A	۸/۱±۰/۶۳۷ ^A
	۷۵	۷/۶۲±۰/۷۸۷ ^B	۹/۱۸±۰/۷۲۷ ^A	۸/۸±۰/۴۰۳ ^A	۶/۶۲±۰/۹۴۳ ^B	۶/۷۶±۰/۷۸۳ ^B
	۸۰	۶/۷±۰/۷۴۱ ^C	۸/۹۶±۰/۴۴۷ ^B	۸/۴۷±۰/۶۲۳ ^B	۵/۴۹±۱/۱۰۴ ^C	۵/۷۸±۰/۹۰۹ ^C
معنی داری (sig.)		۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
رطوبت (%)	۱۵	۷/۳۷±۰/۹۸۸ ^B	۹/۰۳±۰/۶۷۸ ^B	۸/۵۸±۰/۶۵۳ ^B	۶/۵۲±۱/۴ ^C	۶/۶۸±۱/۲۵۳ ^B
	۲۰	۷/۸±۱/۰۷۳ ^A	۹/۱۳±۰/۶۰۳ ^{AB}	۸/۶۹±۰/۵۱۲ ^B	۶/۷۸±۱/۴۸۲ ^B	۶/۹۱±۱/۲۳۳ ^A
	۲۵	۷/۶۶±۱/۱۵۳ ^A	۹/۲۳±۰/۶۰۱ ^A	۸/۹±۰/۴۷۵ ^A	۶/۹۹±۱/۴۶۵ ^A	۷/۰۴±۱/۱۹۸ ^A
معنی داری (sig.)		۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
ضخامت (mm)	۵	۷/۴۶±۱/۰۴ ^B	۹/۰۶±۰/۶۴۲ ^B	۸/۶۷±۰/۶ ^A	۷/۴۴±۱/۱۹۱ ^A	۷/۳۹±۰/۹۴۴ ^A
	۹	۷/۵۸±۱/۰۷ ^{AB}	۹/۰۸±۰/۶۴۰ ^B	۸/۷۱±۰/۶۰۴ ^A	۶/۸۲±۱/۲۵۹ ^B	۶/۸۴±۱/۱۵۱ ^B
	۱۳	۷/۷۹±۱/۱۲۷ ^A	۹/۳۷±۰/۵۹۶ ^A	۸/۷۹±۰/۴۸۶ ^A	۶/۰۲±۱/۵۴۳ ^C	۶/۴±۱/۳۷۳ ^C
معنی داری (sig.)		۰/۰۱۲	۰/۰۴۴	۰/۲۹۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

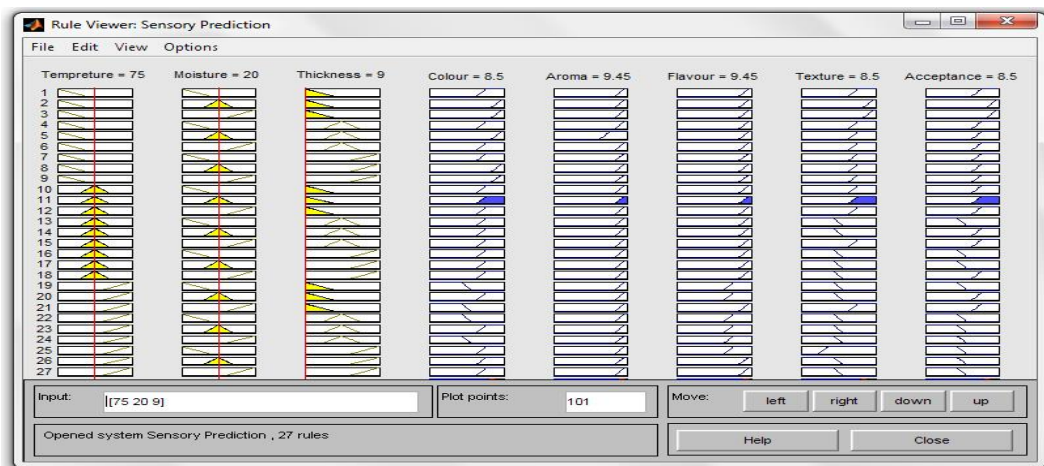
* حروف انگلیسی مقایسه بین سطوح هر فاکتور را نشان می‌دهد.

درصد برآورد شد که در طراحی این مدل میزان مطلوبی است و با انجام اصلاحات بیشتر در مدل فازی می‌توان این میزان خطا را به میزان بیشتری نیز برحسب تجربه کاهش داد. اگرچه در مقیاس لفظی نحوه پیش‌بینی کیفی ارزیابی حسی بسیار مطلوب است. پژوهش‌های دیگری نیز به طور مشابه پیش‌بینی اولیه مطلوبی از کنترل فازی ارزیابی حسی گزارش کردند (Lazim et al., 2009; Singh et al., 2012; Mukhopadhyay et al., 2013). جهت کاهش بیشتر خطای پیش‌بینی فازی استفاده از سری‌های زمانی فازی (fuzzy time series) یا FTS نیز پیشنهاد شده است که صحت پیش‌بینی را در رابطه با پارامترهای کیفی متغیر با زمان، افزایش می‌دهد (Chen et al., 2015). پیکربندی و دستیابی به نقشه متغیرهای کیفی طی ارزیابی حسی با مرور زمان می‌تواند به اصلاحات بیشتر مدل فازی و پیش‌بینی رفتار مصرف‌کننده کمک نماید (Lazim et al., 2009).

کند و بافت برش‌ها در مقایسه با نمونه‌هایی که به آرامی خشک شدند، بیشتر دچار آسیب خواهد شد و در نتیجه پذیرش کیفی کمتری خواهد داشت (Nowak & Lewicki, 2005). در واقع مشخص شده است که ضخامت برش اثر معنی‌داری روی خصوصیات کیفی محصول دارد و طی پرتودهی متناوب تغییر رنگ سطحی نامطلوب و شدید مشاهده نمی‌شود (Zhu et al., 2010).

مدل فازی پیش‌بینی‌کننده ارزیابی حسی

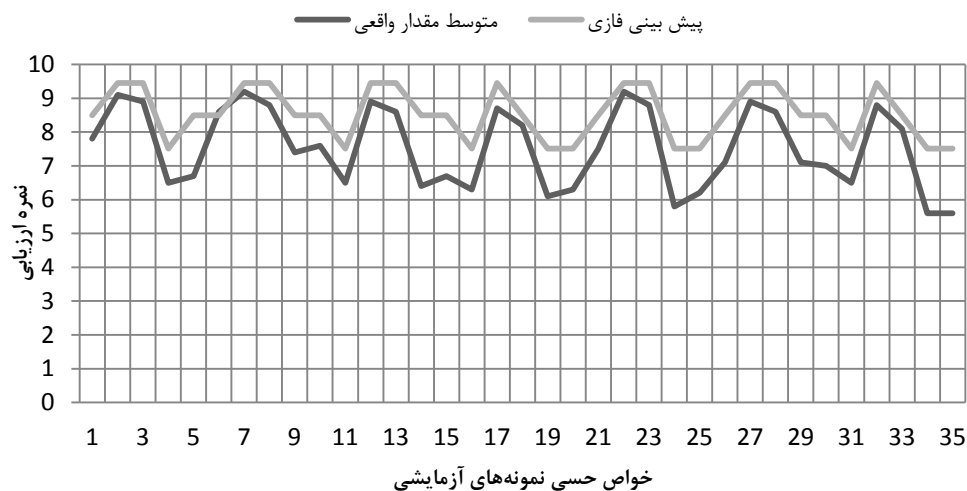
جدول (۸) ماتریس قانون نویسی براساس نتایج فراوانی لفظی در ارزیابی حسی نمونه‌های آزمایشی را نشان می‌دهد. بر این اساس مدل پیش‌بینی فازی طراحی شد که نمای گرافیکی قانون‌نویسی شامل ۲۷ قانون مجزا در شکل (۱۱) نشان داده شده است. شکل (۱۲) مقایسه میزان نمره ارزیابی حسی در پیش‌بینی فازی و متوسط مقدار واقعی را نشان می‌دهد. میزان میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) برای پیش‌بینی فازی حدود ۱۴/۵۴



شکل ۱۱- نمایش گرافیکی قوانین فازی در ویرایشگر FIS

جدول ۸- ماتریس قانون نویسی براساس فراوانی الفاظ خیلی خوب (VG)، خوب (G)، متوسط (M)، بد (B) و خیلی بد (VB) در ارزیابی حسی، اعداد داخل پرانتز نشان دهنده فراوانی است.

پذیرش	بافت	طعم	آروما	رنگ	رطوبت	ضخامت	دما
VG(3), G(7)	VG(3), G(7)	VG(6), G(4)	VG(7), G(3)	VG(2), G(8)	۱۵	۵	۷۰
VG(5), G(5)	VG(7), G(3)	VG(9), G(1)	VG(9), G(1)	VG(5), G(5)	۲۰		
VG(5), G(5)	VG(9), G(1)	VG(9), G(1)	VG(9), G(1)	VG(5), G(5)	۲۵		
VG(2), G(8)	VG(3), G(6), M(1)	VG(7), G(3)	VG(9), G(1)	VG(3), G(7)	۱۵	۹	
VG(3), G(7)	VG(4), G(6)	VG(2), G(8)	VG(2), G(8)	VG(5), G(5)	۲۰		
VG(3), G(7)	VG(5), G(5)	VG(3), G(7)	VG(10)	VG(5), G(5)	۲۵		
G(10)	G(8), M(2)	VG(7), G(3)	VG(9), G(1)	VG(5), G(5)	۱۵	۱۳	
VG(1), G(9)	G(9), M(1)	VG(8), G(2)	VG(9), G(1)	VG(8), G(2)	۲۰		
VG(2), G(8)	G(10)	VG(10)	VG(10)	VG(7), G(3)	۲۵		
G(8), M(2)	G(9), M(1)	VG(6), G(4)	VG(6), G(4)	G(8), M(2)	۱۵	۵	۷۵
G(10)	G(9), M(1)	VG(7), G(3)	VG(9), G(1)	G(10)	۲۰		
G(10)	VG(2), G(7), M(1)	VG(8), G(2)	VG(9), G(1)	VG(1), G(9)	۲۵		
G(4), M(6)	G(3), M(7)	VG(8), G(2)	VG(8), G(2)	VG(1), G(8), M(1)	۱۵	۹	
G(6), M(4)	G(4), M(6)	VG(9), G(1)	VG(8), G(2)	VG(2), G(8)	۲۰		
G(6), M(4)	G(6), M(4)	VG(9), G(1)	VG(7), G(3)	VG(2), G(8)	۲۵		
G(4), M(6)	G(1), M(9)	VG(8), G(2)	VG(8), G(2)	VG(1), G(9)	۱۵	۱۳	
G(4), M(6)	G(2), M(8)	VG(8), G(2)	VG(8), G(2)	VG(3), G(7)	۲۰		
G(5), M(5)	G(4), M(6)	VG(8), G(2)	VG(10)	VG(3), G(6), M(1)	۲۵		
G(3), M(7)	G(2), M(8)	VG(3), G(7)	VG(7), G(3)	G(3), M(7)	۱۵	۵	۸۰
G(5), M(5)	G(4), M(6)	VG(4), G(6)	VG(9), G(1)	G(7), M(3)	۲۰		
G(7), M(3)	G(5), M(5)	VG(6), G(4)	VG(9), G(1)	G(4), M(6)	۲۵		
M(10)	M(9), B(1)	VG(3), G(7)	VG(8), G(2)	G(5), M(5)	۱۵	۹	
M(10)	G(1), M(9)	VG(3), G(7)	VG(9), G(1)	G(7), M(3)	۲۰		
G(1), M(9)	G(1), M(9)	VG(4), G(6)	VG(8), G(2)	VG(1), G(3), M(6)	۲۵		
M(6), B(4)	G(5), M(5)	VG(4), G(6)	VG(9), G(1)	G(6), M(4)	۱۵	۱۳	
M(8), B(2)	M(5), B(5)	VG(7), G(3)	VG(10)	G(7), M(3)	۲۰		
G(1), M(7), B(2)	M(5), B(5)	VG(9), G(1)	VG(10)	G(6), M(4)	۲۵		



شکل ۱۲- مقایسه نمره ارزیابی حسی در پیش‌بینی فازی و متوسط مقدار واقعی

نتیجه گیری

متوسط موجب مطلوبیت نمرات ارزیابی خواص حسی شد و با افزایش ضخامت به دلیل چروکیدگی از مطلوبیت کلی برش‌های سیب کاسته شد. مدل‌سازی فازی جهت پیش‌بینی همزمان کیفیت محصول می‌تواند مناسب باشد. با انجام تجزیه و تحلیل شباهت و

تجزیه و تحلیل شباهت میان خصوصیات حسی از نظر اهمیت نشان داد که رنگ و بافت به ترتیب مهمترین ویژگی‌های حسی محصول از نظر مصرف‌کننده می‌باشند. دمای پایین و رطوبت

عنوان الگویی جهت انجام آنالیز حسی و طراحی سیستم تصمیم‌گیری پشتیبان اجرا در محیط نرم افزارهایی مانند "Fuzzy control⁺⁺ و LabVIEW" به کار گرفته شود.

مدل‌سازی فازی می‌تواند در تعیین مطلوبیت نهایی محصول با توجه به اهمیت ویژگی‌های حسی تصمیم‌گیری نمود. این پژوهش می‌تواند در بخش تحقیق و توسعه کارخانجات صنایع غذایی، به

REFERENCES

- Acevedo, N. C., Briones, V., Buera, P., & Aguilera, J. M. (2008). Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs. *Journal of Food Engineering*, 85(2), 222-231.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis. 17th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, Unites States.
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 369-389.
- Birle, S., Hussein, M., & Becker, T. (2013). Fuzzy logic control and soft sensing applications in food and beverage processes. *Food Control*, 29(1), 254-269.
- Brown, R., Rothwell, T., & Davidson, V. (2001). A fuzzy controller for infrared roasting of cereal grain. *Canadian Biosystems Engineering*, 43, 3.9-3.16.
- Chatterjee, D., Bhattacharjee, P., & Bhattacharyya, N. (2014). Development of methodology for assessment of shelf-life of fried potato wedges using electronic noses: Sensor screening by fuzzy logic analysis. *Journal of Food Engineering*, 133, 23-29.
- Chaturvedi, D. K. (2009). Modeling and simulation of systems using MATLAB and Simulink: CRC Press.
- Chen, H.-W., Wang, Z.-C., Kuo, S.-Y., & Chou, Y.-H. (2015). A Novel Method for Stock Forecasting based on Fuzzy Time Series Combined with the Longest Common/Repeated Sub-sequence. arXiv preprint arXiv:1506.06366.
- Christensen, R. H. B. (2015). Statistical methodology for sensory discrimination tests and its implementation in sens R.
- Debjani, C., Das, S., & Das, H. (2013). Aggregation of sensory data using fuzzy logic for sensory quality evaluation of food. *Journal of food science and technology*, 50(6), 1088-1096.
- Haug, M. T., King, E. S., Heymann, H., & Crisosto, C. H. (2013). Sensory Profiles for Dried Fig (*Ficus carica* L.) Cultivars Commercially Grown and Processed in California. *Journal of Food Science*, 78(8), S1273-S1281.
- Kilimann, K., Hartmann, C., Delgado, A., Vogel, R., & Gänzle, M. (2005). A fuzzy logic-based model for the multistage high-pressure inactivation of *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* MG 1363. *International Journal of Food Microbiology*, 98(1), 89-105.
- Klir, G., & Yuan, B. (1995). Fuzzy sets and fuzzy logic (Vol. 4): Prentice hall New Jersey.
- Kruskal, J. B. (1964). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*, 29(1), 1-27.
- Kupongsak, S., & Tan, J. (2006). Application of fuzzy set and neural network techniques in determining food process control set points. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(9), 1169-1178.
- Lao, S., Choy, K. L., Ho, G. T., Yam, R. C., Tsim, Y., & Poon, T. (2012). Achieving quality assurance functionality in the food industry using a hybrid case-based reasoning and fuzzy logic approach. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5251-5261.
- Lazim, M., & Suriani, M. (2009). Sensory evaluation of the selected coffee products using fuzzy approach. *World Academy of Science, Engineering and Technology Technol*, 50, 717-720.
- Liu, Y., Zhu, W., Luo, L., Li, X., & Yu, H. (2014). A mathematical model for vacuum far-infrared drying of potato slices. *Drying Technology*, 32(2), 180-189.
- Mukhopadhyay, S., Majumdar, G., Goswami, T., & Mishra, H. (2013). Fuzzy logic (similarity analysis) approach for sensory evaluation of chhana podo. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 204-210.
- Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2005). Quality of infrared dried apple slices. *Drying Technology*, 23(4), 831-846.
- Odetunji, O. A., & Kehinde, O. O. (2005). Computer simulation of fuzzy control system for gari fermentation plant. *Journal of Food Engineering*, 68(2), 197-207.
- Perrot, N., Ioannou, I., Allais, I., Curt, C., Hossenlopp, J., & Trystram, G. (2006). Fuzzy concepts applied to food product quality control: A review. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(9), 1145-1154.
- Rywotycycki, R. (2002). The effect of fat temperature on heat energy consumption during frying of food. *Journal of Food Engineering*, 54(3), 257-261.
- Seth, K., Sharma, A., & Seth, A. (2009). Component Selection Efforts Estimation—a Fuzzy Logic Based Approach. *International Journal of Computer Science and Security(IJCSS)*, 3(3), 210-215.
- Singh, K., Mishra, A., & Mishra, H. (2012). Fuzzy analysis of sensory attributes of bread prepared from millet-based composite flours. *LWT-Food Science and Technology*, 48(2), 276-282.
- Sivanandam, S., Sumathi, S., & Deepa, S. (2007). Introduction to fuzzy logic using MATLAB (Vol. 1): Springer.

- Tsekouras, G., Sarimveis, H., Raptis, C., & Bafas, G. (2002). A fuzzy logic approach for the classification of product qualitative characteristics. *Computers & chemical engineering*, 26(3), 429-438.
- Xie, G., Xiong, R., & Church, I. (1998). Comparison of kinetics, neural network and fuzzy logic in modelling texture changes of dry peas in long time cooking. *LWT-Food Science and Technology*, 31(7-8), 639-647.
- Zhu, Y., Pan, Z., McHugh, T. H., & Barrett, D. M. (2010). Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 8-16.