تدوین مدل مبتنی بر منطق فازی به منظور درجه‌بندی کیفی دانه‌های برنج

حماد ذرعی‌فروش[۱]، سعید مینایی[۲*]، محمدرضا علیزاده[۳]، احمد بناکار[۴]

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشینهای کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس minaee@modares.ac.ir
۳- استادیار بخش فنی مهندسی مؤسسه تحقیقات برنج کشور
۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در پژوهش حاضر، یک مدل مبتنی بر منطق فازی به عنوان سامانه تصمیم‌یار به منظور درجه‌بندی کیفی دانه‌های برنج تدوین گردید. با استفاده از یک سامانه پردازش تصویر، ویژگی‌های ابعادی و شدت نور دانه‌ها توسط یک دوربین ثبت و ذخیره شد. الگوریتم پردازش تصویر به منظور استخراج ویژگی‌های هندسی و شدت نور دانه‌ها و همچنین مدل فازی درجه‌بندی محصول در محیط نرم افزار MATLAB تدوین گردید. تعداد ۱۰۰ نمونه برنج رقم هاشمی با شرایط کیفی مختلف تهیه شد و کیفیت آن‌ها توسط کارشناسان مجرب در صنعت فرآوری برنج بصورت تجربی در پنج سطح خیلی بد، بد، متوسط، خوب و خیلی خوب درجه بندی گردید. به منظور ارزیابی سامانه استنتاج فازی تدوین شده، همان نمونه‌های برنج درجه‌بندی شده توسط کارشناسان به عنوان ورودی به مدل فازی تغذیه شدند. مدل فازی شامل دو متغیر زبانی ورودی (درجه سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های خرد) هر دو به صورت تابع عضویت مثلثی و یک متغیر زبانی خروجی (کیفیت محصول) به شکل تابع عضویت ذوزنقه‌ای بود. در مجموع، ۲۵ قاعده با عملگر منطقی AND، سامانه استنتاج ممدانی، روش مرکز حداکثرها برای غیرفازی‌سازی به کار گرفته شدند تا یک سامانه خبره مؤثر فازی برای درجه‌بندی کیفیت دانه‌های برنج ایجاد شود. نتایج بدست آمده حاکی از مطابقت ۹۴ درصدی نتایج حاصل از مدل درجه‌بندی با تصمیمات کارشناسان خبره بود. بنابراین، چنین مدلی می‌تواند به نحو مؤثری در قالب یک سامانه کنترل به منظور پایش کیفیت برنج در کارخانجات فرآوری این محصول مورد استفاده بگیرد.

واژگان کلیدی: دانه برنج، پردازش تصویر، درجه‌بندی، کیفیت، منطق فازی

مقدمه

محاسبات نرم روشی ابتکاری در راستای ایجاد سیستم‌های هوشمند است که امروزه به شدت مورد توجه مجامع علمی قرار گرفته است. دنیای پیرامون ما سرشار از پدیده‌ها و سیستم‌های پیچیده‌ای است که به سختی می‌توان توصیف و تعریف دقیقی برای ماهیت عملکردی و رفتاری آنها ارائه نمود. در مورد چنین پدیده‌هایی، به فرضیه‌هایی نیاز است که بتواند دانش بشری را در جهت مدل‌سازی صحیح رفتار سیستم در قالب روابط ریاضی یاری دهد. همان‌طور که می‌دانیم، حل مسائل پیچیده‌ی دنیای واقعی نیازمند بکارگیری سیستم‌های هوشمند است. این دسته سیستم‌ها ترکیبی از دانش، فناوری‌ها و روش‌شناسی‌های مختلف است. انتظار از این سیستم‌ها آن است که دارای توانایی مناسب برای کسب یک تخصص خاص در دامنه‌ی مشخصی بوده، بتوانند خود را با محیط تطابق داده و یاد بگیرند چطور با تغییرات محیط سازگار شوند و در نهایت در تقابل با محیط اطراف تصمیم خاصی را اتخاذ کرده و عمل مشخصی را انجام دهند. در مواجهه با مسائل محاسباتی دنیای واقعی، عموماً استفاده‌ی ترکیبی از روش‌های محاسباتی نسبت به استفاده‌ی انحصاری از تک تک آنها دارای عملکرد بهتری است. این واقعیت منجر به ایجاد چنین سیستم‌هایی در قالب محاسبات عصبی–فازی شده است. نظریه مجموعه‌های فازی که برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ میلادی توسط یک دانشمند ایرانی به نام پروفسور لطفی زاده مطرح شد، به دنبال ارائه راهکاری بود که بتواند ضعف منطق کلاسیک دو مقداری در مجموعه‌ها و ریاضیات دقیق را برای برخورد با مسائل موجود در دنیای واقعی و غیر دقیق پوشش دهد. گرچه این نظریه در ابتدا با مخالفت‌هایی در جوامع علمی مواجه شد، اما به تدریج اعتبار و کاربرد بیشتری یافت به طوری که امروزه تقریباً در تمامی زمینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (غضنفری و رضایی، ۱۳۸۵).

به‌طور کلی می‌توان گفت که سیستم‌های فازی برای ریاضی‌مند کردن دانش بشری مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانش بشری به دو صورت خود آگاه و ناخودآگاه است. منظور از دانش خودآگاه این است که دانش را می‌توان به صورت صریح و روشن درد قالب کلمات بیان کرد. در حالی که منظور از دانش ناخودآگاه وضعیت‌هایی است که انسان می‌داند چه کاری انجام می‌دهد، اما نمی‌تواند آن را به زور دقیق در قالب کلمات بیان کند. به عنوان مثال، یک راننده با تجربه کامیون می‌داند که در شرایط سخت جاده چگونه براند، اما اگر از او بخواهیم رفتار خود را در قالب کلمات بیان کند، شاید قادر به توصیف عملکرد خود در قالب کلمات نباشد. در این حالت گفته می‌شود این افراد دارای دانش ناخودآگاه هستند. در دانش خودآگاه به سادگی می‌توان از انسان خبره درخواست کرد که رفتار خود را در قالب عبارت‌های اگر–آنگاه بیان کرده و سپس آن را در مجموعه‌های فازی قرار دهیم. در دانش ناخودآگاه آن چه که می‌توان انجام داد این است که از انسان خبره بخواهیم رفتار خود را نمایش دهد و هنگامی که او در حال نمایش عملکرد خود است، مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌ها از روی عملکرد او جمع‌آوری می‌شود. بنابراین، مسأله مهم و اساسی در سیستم‌های فازی، ساخت مجموعه‌هایی متشکل از زوج‌های مرتب ورودی–خروجی است (وانگ، ۱۳۸۵).

مهمترین کاربرد منطق فازی در سیستم‌های کنترل پیشرفته نظیر کنترل فرآیندهای صنعتی، کنترل خودرو، کنترل ترافیک، کنترل سرعت قطار، سیستم‌های پزشکی و نظامی، لوازم خانگی و دوربین‌های تصویربرداری است (وانگ، ۱۳۸۵). در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در رشته کشاورزی به منظور طراحی سیستم‌های تصمیم‌یار با استفاده از منطق فازی صورت پذیرفته است. لرستانی و همکاران (۱۳۸۶) یک سیستم هوشمند را برای درجه‌بندی سیب گلدن دلیشز با استفاده از منطق فازی طراحی کردند. نتایج به دست آمده از سیستم توسعه داده شده فازی دارای همخوانی ۹۱/۲ درصد و ۹۵/۲ درصد به ترتیب برای حالت‌های ارزیابی بلادرنگ و آفلاین با نتایج حاصل از درجه‌بندی به وسیله کارشناس خبره را نشان داد. مهدی‌پور و همکاران (۱۳۸۵) روش فازی را در تعیین جیره غذایی طیور با روش‌های برنامه‌ریزی خطی متعارف و تقریباً بهینه مورد مقایسه قرار دادند. آنها گزارش کردند که جیره تنظیمی به روش فازی علاوه بر انعطاف پذیری، هزینه جیره را ۱/۲ درصد نسبت به جیره اصلی کاهش می‌دهد. همچنین روش فازی، هزینه جیره را نسبت به جیره تقریباً بهینه حدود ۱۰ درصد کاهش می‌دهد. دهرویه و همکاران (۲۰۱۰) یک سامانه مبتنی بر پردازش تصویر و منطق فازی را به منظور تشخیص عیوب و ابعاد و درجه‌بندی کیفیت تخم مرغ طراحی کردند. نتایج این ارزیابی بر روی سامانه درجه‌بندی فازی نشان‌دهنده‌ی دقت ۹۵/۴۰ درصد در تشخیص درجه‌ی تخم مرغ بود.

برنج، یکی از مهمترین محصولات غلات است که ارزش اقتصادی آن به میزان بسیار زیادی تحت تأثیر کیفیت تولید و فرآوری این محصول قرار دارد. به طور متداول، دو شاخص عمده برای تعیین کیفیت دانه‌های برنج در میان کارخانه‌داران و تولیدکنندگان این محصول مطرح است که عبارتند از درجه سفیدی و درصد دانه‌های خرد. بررسی این شاخص‌ها عمدتاً در کارخانجات توسط کارگران خطوط تبدیل به صورت بصری و تجربی صورت می‌پذیرد. یعنی یک شخص با توجه به مهارت و تجربه خود از کار با دستگاههای تولید برنج در کارخانجات، با نگاه کردن به نمونه محصول خروجی از ماشینهای تبدیل و بررسی شاخص‌های یاد شده، کیفیت محصول را ارزیابی کرده و در صورت لزوم تغییرات مورد نیاز را در سامانه تبدیل لحاظ می‌کند. با توجه به اینکه مطالعه تحقیقات گذشته نشان می‌دهد روش‌های مبتنی بر منطق فازی به خوبی قادر به شبیه‌سازی رفتار انسان در تصمیم‌گیری‌های غیر قطعی در بحث تشخیص و تعیین کیفیت محصولات غذایی هستند، بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، طراحی یک سامانه درجه‌بندی مبتنی بر منطق فازی به منظور شبیه‌سازی رفتار شخص خبره در ارزیابی و طبقه‌بندی شاخص‌های کیفی دانه‌های برنج است.

مواد و روش‌ها

ورودی سامانه فازی طراحی شده در این پژوهش، درجه سفیدی و درصد دانه‌های شکسته برنج بود که به صورت اعداد حقیقی از یک الگوریتم پردازش تصویر به دست می‌آیند. سامانه فازی ابتدا این اعداد قطعی را به مقادیر فازی تبدیل می‌کند. سپس با استفاده از موتور استنتاج حاصلضرب (حداقل) ممدانی قواعد فازی اعمال شده و پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها انجام می‌شود. در نهایت به

وسیله‌ی غیرفازی‌ساز مرکز حداکثرها، حاصل غیر فازی شده و به صورت عدد حقیقی که نماینده درجه کیفی دانه‌های برنج مورد آزمون است نمایش داده می‌شود.

مجموعه فازی

منطق فازی با مفهوم مجموعه فازی شروع می‌شود. یک مجموعه فازی عبارت است از یک مجموعه بدون عضو قطعی که مرز آن به طور واضح تعریف می‌شود. این مجموعه می‌تواند تمام عناصر مجموعه مرجع را فقط با یک درجه نسبی از تعلق شامل شود (Zadeh, 1965). به عبارت دیگر، مجموعه فازی به صورت مجموعه‌ای از زوج‌های مرتب به صورت زیر تعریف می‌گردد:

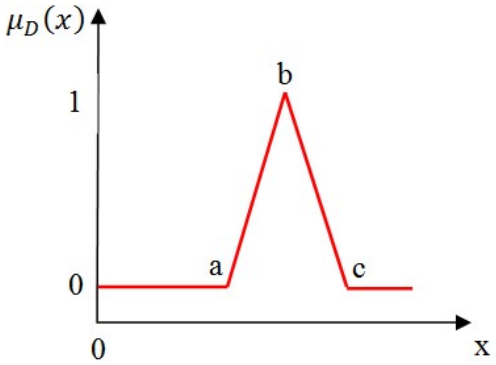
$$D = \{(x, \mu_D(x))\ \ x \epsilon X, \mu_D(x) \epsilon [0,1]\} \qquad (۱)$$

که در آن x عنصری از مجموعه مرجع X و D یک مجموعه فازی در X است. در رابطه بالا، $\mu_D(x)$ تابع عضویت مجموعه D است که درجه‌ای را نشان می‌دهد که هر عنصر x موجود در مجموعه X با آن درجه به مجموعه فازی D تعلق دارد. این تعریف به هر عنصر x در D یک عدد طبیعی $\mu_D(x)$ از بازه $[0,1]$ اختصاص می‌دهد. مقادیر بزرگ $\mu_D(x)$ نشانگر درجه عضویت بیشتر است.

به طور کلی یک سامانه فازی یا کنترل کننده منطق فازی از سه بخش اصلی فازی‌سازها، پایگاه دانش و غیرفازی‌سازها تشکیل شده است. اطلاعات ورودی به سامانه کنترل فازی، اطلاعات قطعی است که توسط فازی‌سازها در قالب مجموعه‌های فازی تعریف می‌شوند. این بخش بین ورودی و موتور استنتاج فازی قرار دارد. اگر $U \subset R^n$ (که در آن U مجموعه مرجع است) باشد، آنگاه فازی‌ساز به عنوان نگاشتی از یک نقطه $x \in U$ به یک مجموعه فازی A در U تعریف شده است. در طراحی یک فازی‌ساز باید چند معیار را در نظر گرفت. اول این که ورودی در نقطه X یک مقدار قطعی است، بنابراین مجموعه فازی A باید در نقطه X مقدار تعلق بزرگی داشته باشد. دوم اینکه اگر نویز ورودی به سامانه فازی اضافه شود، فازی‌ساز باید بتواند تأثیر نویز را کاهش داده و یا حذف کند. همچنین فازی‌ساز باید بتواند در ساده‌تر کردن محاسبات مربوط به موتور استنتاج فازی نقش داشته باشد. فازی‌سازها انواع مختلفی مانند فازی‌ساز منفرد، فازی‌ساز گوسی و فازی‌ساز مثلثی دارند (وانگ، ۱۳۸۵).

برای نوشتن قوانین فازی، به تعداد زیرگروه‌های هر عامل مورد بررسی به تابع عضویت نیاز است. تابع عضویت عبارت است از یک منحنی که مشخص می‌کند چگونه هر نمونه (نقطه) در فضای ورودی به یک درجه تعلق بین صفر و یک نگاشت می‌شود. فضای ورودی گاهی اوقات مجموعه مرجع است. توابع عضویت به طور معمول برای متغیرهای ورودی و خروجی تعریف شده و شامل انواع مختلفی مانند مثلثی، ذوزنقه‌ای و گوسی شکل هستند. در این تحقیق برای متغیرهای ورودی و خروجی توابع نوع مثلثی و ذوزنقه‌ای برگزیده شد.

یک تابع عضویت مثلثی با داشتن سه نقطه از محدوده تغییرات برای یک متغیر تعریف می‌شود (شکل ۱)، در حالی که تابع عضویت ذوزنقه‌ای بعنوان تابعی با چهار نقطه در محدوده تغییرات هر پارامتر تعریف می‌گردد.



شکل ۱. فرم کلی یک تابع عضویت مثلثی

توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای از لحاظ روابط ریاضی بصورت زیر تعریف می‌گردند:

$$\text{Trif}(x;a,b,c)=\begin{cases}0, & x<a\\ \frac{x-a}{b-a}, & a\le x<b\\ \frac{c-x}{c-b}, & b\le x<c\\ 0, & c\le x\end{cases} \quad (۲)$$

$$\text{Trapmf}(\text{x},\text{a},\text{b},\text{c},\text{d})=\begin{cases}0, & \text{x}\le \text{a}\\ \frac{\text{x}-\text{a}}{\text{b}-\text{a}}, & \text{a}<x<b\\ 1, & \text{b}<x<c\\ \frac{\text{d}-\text{x}}{\text{d}-\text{c}}, & \text{c}<x<d\end{cases} \quad (۳)$$

روابط فوق را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$\text{Trif}(x;a,b,c)=max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right) \quad (۴)$$

$$\text{Trapmf}(\text{x},\text{a},\text{b},\text{c},\text{d})=\max\left(\min\left(\frac{\text{x}-\text{a}}{\text{b}-\text{a}},1,\frac{\text{d}-\text{x}}{\text{d}-\text{c}}\right),0\right) \quad (۵)$$

در روابط بالا x بردار ورودی، و مقادیر a، b، c و d اعدادی هستند که از طریق اندازه‌گیری‌ها برای تعیین گستره‌های فازی بدست می‌آیند.

در منطق فازی، مجموعه‌های فازی و عملگرهای فازی نقش عمل و عملگر را دارند. در حقیقت، قوانین "اگر–آنگاه" شرایط لازم برای منطق فازی به منظور تصمیم‌گیری و درجه‌بندی را فرموله می‌کنند. یک رابطه فازی ساده بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{IF } x \text{ is } A, \text{THEN } y \text{ is } B \qquad (۶)$$

که A و B بعنوان متغیرهای زبانی برای متغیرهای x و y با مجموعه‌های فازی در محدوده‌ی X و Y تعریف می‌شوند.

مجموعه‌ای فازی می‌توانند در فرم ترکیبی با استفاده از عملگر AND نوشته شوند:

$$\mathrm{R_i}: \text{IF } x_i \text{ is } A_i \text{ AND } y_i \text{ is } B_i \text{ THEN } Z_i \text{ is } C_i \quad , \quad i = 1,2,\dots,\mathrm{n} \qquad (۷)$$

در رابطه بالا A_i و B_i مجموعه‌های فازی برای ورودی‌های x_i و y_i هستند که به متغیرهای زبانی همچون کم، متوسط و زیاد اختصاص می‌یابند (Mamdani and Assilian, 1975). در قسمت بعد از then رابطه مرکب، C_i شامل متغیرهای زبانی برای تعیین سطح فاکتورهای خروجی است که می‌تواند به صورت خوب، متوسط و بد باشد. Z_i متغیر خروجی (درجه کیفی محصول) و Ri نیز قاعده i ام است.

پایگاه دانش

پایگاه دانش عمل استنتاج خروجی را با توجه به عدد فازی ورودی انجام می‌دهد. پایگاه دانش به نوبه خود از پایگاه قواعد، پایگاه داده‌ها و موتور استنتاج فازی تشکیل شده است. راهبرد کنترل کلامی به طور عمده در قالب یک مجموعه قواعد شرطی به فرم رابطه شرطی اگر–آنگاه فازی بیان می‌گردد، بدین معنی که اگر مجموعه‌ای از شرایط برقرار باشد (فرض)، آنگاه مجموعه‌ای از نتایج قابل استخراج هستند (نتیجه). قواعد شرطی که از تجربیات کارشناس خبره استخراج می‌گردند، به صورت یک پایگاه قواعد بیانگر راهبرد کنترلی فازی بوده و یکی از بخش‌های مهم کنترل کننده فازی به شمار می‌روند. قواعد شرطی که در بخش پایگاه قواعد وجود دارند، بر اساس مفاهیم مبهم و متغیرهای زبانی استوارند که در قالب اعداد فازی بیان می‌شوند. فرم توابع عضویت مربوط به متغیرهای زبانی و فضای مرجع آنها همگی به صورت یک پایگاه داده در کنترل کننده فازی وجود دارد.

موتور استنتاج

موتور استنتاج که هسته اصلی کنترل کننده فازی است، با توجه به قواعد شرطی فازی موجود در پایگاه قواعد و اطلاعات موجود در پایگاه داده‌ها و دریافت ورودی از بخش فازی‌ساز، عمل استنتاج فازی را انجام داده و خروجی نهایی را که ورودی کنترلی به سیستم اصلی است، در قالب یک مجموعه فازی تعیین می‌نماید. موتور استنتاج فازی، نگاشتی از مجموعه فازی A در U به مجموعه فازی B در U است به طوری که اصول منطق فازی برای ترکیب قواعد اگر–آنگاه در پایگاه قواعد فازی استفاده شده باشد. برای نتیجه‌گیری از

روی یک مجموعه از قواعد، دو روش استنتاج مبتنی بر ترکیب قواعد و استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه وجود دارد. در استنتاج مبتنی بر ترکیب قواعد، تمام قواعد موجود در پایگاه قواعد فازی در یک رابطه U × V ترکیب شده و آنگاه به دیده قاعده اگر–آنگاه فازی تنها نگریسته می‌شود. در استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه، هر قاعده در پایگاه قواعد فازی یک خروجی فازی را معین کرده و خروجی نهایی، ترکیب M خروجی جداگانه (M بیانگر تعداد قواعد است) مجموعه‌های فازی خواهد بود، عمل ترکیب را می‌توان به وسیله اجتماع یا اشتراک انجام داد. موتور استنتاج نیز دارای انواع مختلفی از جمله موتور استنتاج حاصلضرب، موتور استنتاج لوکاشیویکز، موتور استنتاج زاده، موتور استنتاج دینس و موتور استنتاج کمینه (ممدانی) است (وانگ، ۱۳۸۵). موتورهای استنتاج حاصلضرب و کمینه مهمترین موتورهای استنتاج مورد استفاده در سیستم‌های فازی و کنترل فازی هستند. مزیت اصلی این موتورهای استنتاج در سادگی محاسباتشان است. در موتور استنتاج حاصلضرب، از استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اجتماع، استلزام حاصلضرب ممدانی، ضرب جبری برای اشتراک فازی و حداکثر برای اجتماع فازی استفاده می‌شود. اگر A و B مجموعه‌های فازی و x و y به ترتیب عضوهایی از این مجموعه‌ها باشند و n تعداد عضوهای مجموعه A و M نیز تعداد عضوهای مجموعه فازی B باشند، استلزام ممدانی (Q_{MP}) به صورت زیر تعریف می‌گردد (Zimmerman, 1996):

$$\mu_{Q_{MP}}(x,y) = \mu_A(x).\mu_B(y) \quad (۸)$$

موتور استنتاج حاصلضرب نیز به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\mu_B(y) = \max_l^M = \sup\left(\mu_A(x)\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^l}(x_i)\mu_{B^l}(y)\right) \quad (۹)$$

که در آن:

$\prod_{i=1}^{n}$: تابع حاصلضرب،

Sup: تابعی است که مقدار حداکثر را می‌دهد.

در موتور استنتاج کمینه یا به اختصار روش ممدانی، از استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اجتماع، استلزام کمینه ممدانی عملگر حداقل برای اشتراک فازی و حداکثر برای اجتماع فازی استفاده می‌شود.

$$\mu_{\mathrm{QMM}}(\mathrm{x},\mathrm{y}) = \min[\mu_A(x),\mu_B(y)] \quad (۱۰)$$

و موتور استنتاج کمینه نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_B(y) = \max_l^M = \sup\min\left(\mu_A(x),\mu_{A_i}^l(x_1),\dots,\mu_{A_n}(x_n),\mu_{B^l}(y)\right) \quad (۱۱)$$

در حقیقت منطق فازی، تئوری مجموعه‌های فازی و دلیل تقریب زدن می‌باشد تا نادقیق بودن و مبهم بودن در تصمیم‌گیری را مورد بررسی قرار دهد (Xu *et al*., 2002).

غیرفازی‌ساز

خروجی پایگاه دانش که ورودی کنترل به سیستم اصلی یا فرآیند تحت کنترل می‌باشد، در قالب یک مجموعه فازی ارائه می گردد که این مجموعه فازی باید به یک عدد غیر فازی جهت استفاده سیستم اصلی، تبدیل گردد. غیرفازی‌سازها بین موتور استنتاج فازی و خروجی (دنیای واقعی) قرار دارند. غیرفازی‌ساز به عنوان نگاشت از مجموعه فازی B در $V \subset R$ (که خروجی موتور استنتاج فازی است) به یک نقطه قطعی یا مقدار صریح $y^* \in V$ تعریف می‌گردد. به طور مفهومی، وظیفه غیرفازی‌ساز مشخص کردن نقطه‌ای است که بهترین نماینده مجموعه فازی B باشد. این موضوع مشابه مقدار میانگین یک متغیر تصادفی است. با این حال، از آنجا که مجموعه فازی B به روش‌های مختلفی ساخته می‌شود، ما نیز انتخاب‌های مختلفی برای تعیین این سه نقطه داریم. سه معیار برای انتخاب غیر فازی‌ساز می‌توان در نظر گرفت.

۱- توجیه‌پذیری: نقطه Y* از نظر شهودی باید نشان دهنده مجموعه فازی B باشد. به عنوان مثال، در وسط مجموعه B قرار گرفته باشد یا با درجه بالا به B تعلق داشته باشد.

۲- سادگی محاسبات: این معیار به خصوص برای کنترل فازی که در آن کنترلگر به صورت بلادرنگ عمل می‌کند بسیار مهم است.

۳- پیوستگی: یک تغییر کوچک در B نباید به تغییر بزرگی در B منجر شود.

غیرفازی‌سازی به روش‌های مختلف مثل غیر فازی‌سازی مرکز ثقل، غیرفازی‌سازی میانگین مراکز، غیرفازی‌سازی مرکز ماکسیمم، روش مرکز مجموع، روش ارتفاع، و روش اولین حداکثر انجام می‌گیرد. در این تحقیق از روش مرکز ماکسیمم‌ها استفاده شده است. روش مرکز ماکسیمم‌ها عبارت است از یک درجه وزنی از سطح زیر منحنی‌های تولید شده برای آن درجه مورد نظر در توابع تعلق خروجی. اگر a_1، a_2، ...، a_n سطوح مثاثی برش داده شده و C_1، C_2، ...،C_n مختصات مراکز آن سطوح روی محور Xها باشند، در این صورت مرکز سطح آن‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i C_i}{\sum_{i=1}^{n} a_i} \qquad (۱۲)$$

که در این رابطه n تعداد سطوح مورد نظر و G موقعیت مرکز سطح کل سطوح است.

آماده‌سازی نمونه‌ها

با توجه به دو شاخص کیفی مورد نظر در این تحقیق و متغیرهای زبانی ورودی سامانه درجه‌بندی فازی، ۲۵ نمونه با وضعیت‌های کیفی مختلف که در بردارنده‌ی تمام حالت‌های ممکن برای دانه‌های برنج است تهیه شد. به منظور تهیه نمونه‌ها ابتدا ۵ کیلوگرم برنج قهوه‌ای رقم هاشمی که از ارقام محلی و متداول برنج در شمال ایران است تهیه گردید. نمونه‌ها با استفاده از سفیدکن آزمایشگاهی (SATAKE, Model JNMS15, Japan) به برنج سفید تبدیل شدند. این سفیدکن از نوع سایشی بوده و ظرفیت آن برابر با ۲۵۰ گرم است. برای دستیابی به درجات سفیدی مورد نظر، مدت زمان سفیدکردن نمونه‌ها توسط سفیدکن آزمایشگاهی تغییر داده شد و سپس درجه سفیدی نمونه‌ها به وسیله‌ی یک سفیدسنج دیجیتال (KM, Model C-100, Japan) قابل اندازه‌گیری بود. پس از تهیه نمونه‌ها با درجات سفیدی مختلف، نمونه‌های مربوط به هر یک از درجات سفیدی به ۵ بخش تقسیم شدند تا ۵ درصد دانه شکسته مختلف برای هر یک از سطوح درجه سفیدی ایجاد گردد. برای این منظور، ابتدا دانه‌های خرد موجود در نمونه‌های سفید شده، با استفاده از یک الک دوار آزمایشگاهی (SATAKE, Model TRG 5A, Japan) به طور کامل از دانه‌های سالم جداسازی شدند و سپس با توجه به گستره دانه خرد بدست آمده از نتایج ارزیابی‌های صورت پذیرفته از کیفیت تولید برنج در کارخانجات شالیکوبی شمال کشور، ۵ وضعیت مختلف از لحاظ درصد دانه خرد در هر یک از سطوح درجه سفیدی ایجاد گردید. پس از تهیه ۲۵ نمونه با شرایط کیفی مختلف، نمونه‌ها برچسب‌گذاری شده و به منظور ارزیابی و تعیین درجه کیفی توسط کارشناسان مجرب به کارخانجات مختلف شالیکوبی در استان گیلان مراجعه شد. انجام فرآیند ارزیابی کیفیت توسط افرادی که سابقه کار با ماشینهای تولید و فرآوری برنج را دارند و از طریق تکمیل فرم‌های پرسشنامه که به همین منظور تهیه شده بود صورت پذیرفت. پس از جمع‌آوری فرم‌های پرسشنامه و با میانگین‌گیری از نظرات کارشناسان، ۲۵ نمونه محصول درجه‌بندی کیفی شدند.

پردازش تصویر دانه‌ها

با طراحی یک الگوریتم پردازش تصویر که با استفاده از جعبه ابزار Image Processing در نرم افزار MATLAB تهیه شده بود، دو شاخص کیفی مورد نظر در این تحقیق (درجه سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های خرد) محاسبه گردید. برای این منظور، از هر یک از ۲۵ نمونه محصول برنج در شرایط یکسان نورپردازی و عکسبرداری شد. برای تهیه تصاویر دانه‌های برنج، یک دوربین با وضوح تصویربرداری ۶۰۰ TV lines (SAMSUNG, MODEL SCB-2000, Korea) مجهز به کارت تصویرگیر به کار برده شد. تطبیق مقادیر بدست آمده از پردازش تصویر دانه‌ها برای شاخص‌های کیفی محصول با مقادیر واقعی این شاخص‌ها از طریق واسنجی مقادیر متناظر صورت پذیرفت. در مرحله بعد، شاخص‌های بدست آمده از پردازش تصاویر پس از واسنجی به عنوان ورودی سامانه درجه‌بندی فازی در نظر گرفته شدند.

تدوین مدل فازی

مرحله بعدی در تدوین سامانه درجه بندی، پیاده‌سازی فرآیند درجه‌بندی کیفیت محصول بود. این کار به کمک جعبه ابزار Fuzzy در نرم افزار MATLAB انجام شد. شاخص‌های کیفی مورد بررسی در این تحقیق (درجه سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های شکسته) به عنوان ورودی‌های مدل فازی در نظر گرفته شدند. این شاخص‌ها ابتدا در قالب مقادیر واقعی بودند. این متغیرهای رشته‌ای با استفاده از سیستم فازی به مقادیر فازی تبدیل شدند. قوانین فازی با استفاده از موتور استنتاج حاصلضرب (مینیمم) ممدانی اعمال شدند (Mamdani and Assilian, 1975). سپس قوانین فازی مورد پردازش قرار گرفت. در انتها، سامانه فازی با بکارگیری غیرفازی‌ساز مرکز حداکثرها (COM) غیرفازی شد و یک مقدار واقعی نشان دهنده کیفیت دانه‌های برنج به دست آمد. به منظور نوشتن اعداد فازی، برای متغیر زبانی درجه سفیدی، پنج تابع تعلق خیلی کم (۴۷-۳۵)، کم (۵۵-۴۶)، متوسط (۶۱-۵۴)، زیاد (۶۷-۶۰) و خیلی زیاد (۷۵-۶۶) برحسب درصد و برای متغیر زبانی درصد دانه خرد، پنج تابع تعلق خیلی کم (۱۵-۰)، کم (۲۱-۱۴)، متوسط (۳۰-۲۰)، زیاد (۴۰-۲۹) و خیلی زیاد (۶۰-۳۹) برحسب درصد در نظر گرفته شد. در مجموع با در نظر گرفتن تعداد سطوح متغیرهای زبانی ورودی، ۲۵ قانون If-Then با عملگر منطقی AND به دست آمد. برای خروجی سامانه فازی نیز پنج تابع تعلق شامل خیلی بد (۲۰-۰)، بد (۴۰-۲۰)، متوسط (۶۰-۴۰)، خوب (۸۰-۶۰) و خیلی خوب (۱۰۰-۸۰) بدون بعد در نظر گرفته شد. گستره در نظر گرفته شده برای هر یک از توابع تعلق، بر اساس ارزیابی‌های صورت پذیرفته از کیفیت تولید برنج در کارخانجات شالیکوبی شمال کشور انتخاب گردید.

در این پژوهش برای درجه‌بندی کیفیت محصول از دو شرط یکی برای درجه سفیدی دانه‌ها و دیگری برای درصد دانه‌های شکسته در قسمت مقدمه قواعد فازی استفاده شد. برای درجه سفیدی دانه‌ها از فاکتور شدت روشنایی دانه‌ها در تصاویر و برای درصد دانه‌های شکسته از فاکتورهای مربوط به مشخصات شکل هندسی دانه‌ها در تصاویر استفاده گردید. به دلیل اینکه فاکتورهای شدت روشنایی و فاکتورهای مربوط به شکل هندسی دانه‌ها به طور هم‌زمان مورد تحلیل قرار گرفته و در تصمیم‌گیری فازی دخالت داده می‌شوند، عملگر منطقی AND برای تدوین قوانین فازی بکار گرفته شد که تعریف ریاضی آن در رابطه زیر ارائه شده است:

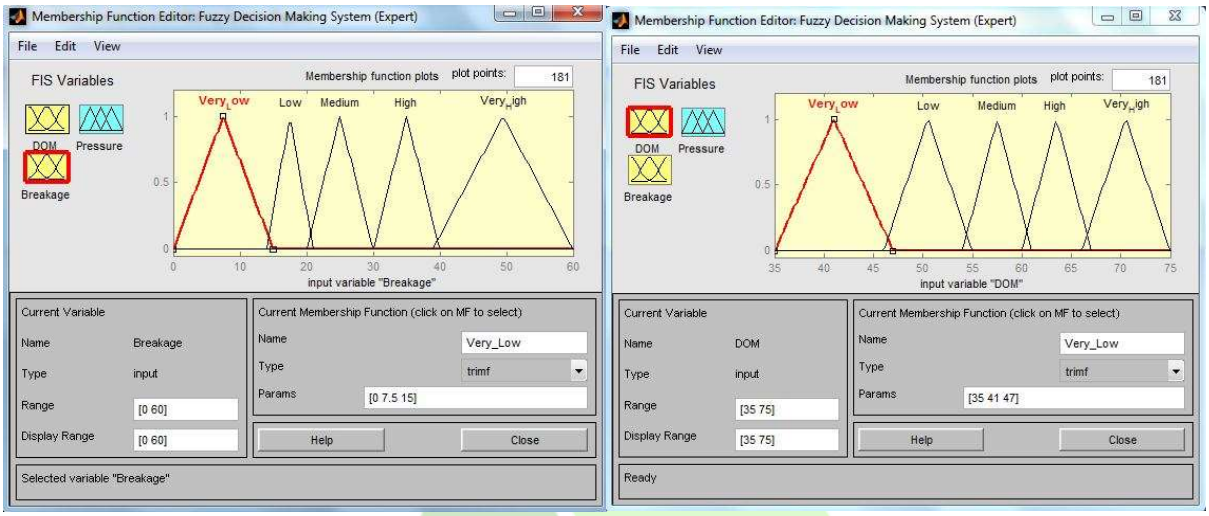
$$\mu_{A\cap B} = \min(\mu_A, \mu_B) \qquad (۱۳)$$

متغیر خروجی از طریق غیرفازی‌سازی به یک عدد قطعی تبدیل می‌شود. در این تحقیق روش مرکز حداکثرها مورد استفاده قرار گرفت. روش مرکز حداکثرها عبارت است از یک درجه وزنی از سطح زیر منحنی‌های تولید شده برای آن درجه مورد نظر در توابع تعلق خروجی.

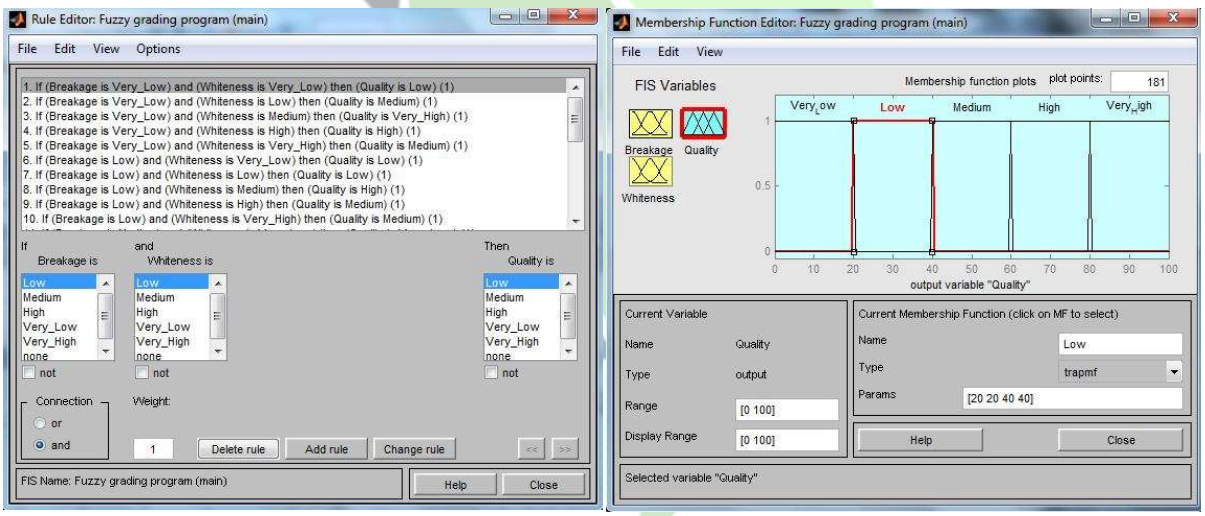
نتایج و بحث

در شکل ۲ فرآیند تعریف توابع عضویت برای شاخص‌های مورد ارزیابی و تعیین قوانین فازی برای درجه‌بندی کیفی دانه‌های برنج در نرم‌افزار MATLAB نشان داده شده است. با توجه به ترکیب توابع عضویت اختصاص یافته، در مجموع ۲۵ قانون فازی با

استفاده از عملگر AND در مجموعه‌های فازی بدست آمد. قوانین فازی بدست آمده در جدول ۱ ارائه شده‌اند. این قوانین به منظور برقراری ارتباط بین ورودی و خروجی متغیرها به کار گرفته شدند.



ب الف



د ج

شکل ۲. الف) توابع عضویت درجه سفیدی، ب) توابع عضویت درصد دانه خرد؛ ج) توابع عضویت کیفیت محصول؛ د) تعیین قوانین فازی برای درجه‌بندی کیفی دانه‌های برنج در محیط نرم‌افزار

پس از ایجاد مجموعه‌های فازی و تعیین قوانین فازی، درجه بندی کیفی دانه‌های برنج که از طریق کارشناسان خبره صورت پذیرفته بود با مقادیری که با استفاده از مدل مبتنی بر منطق فازی تهیه شده بود مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۳ ارزیابی قوانین فازی در مدل فازی تهیه شده در محیط نرم‌افزار MATLAB را نشان می‌دهد. این شکل خروجی مدل فازی را با در نظر گرفتن درجه

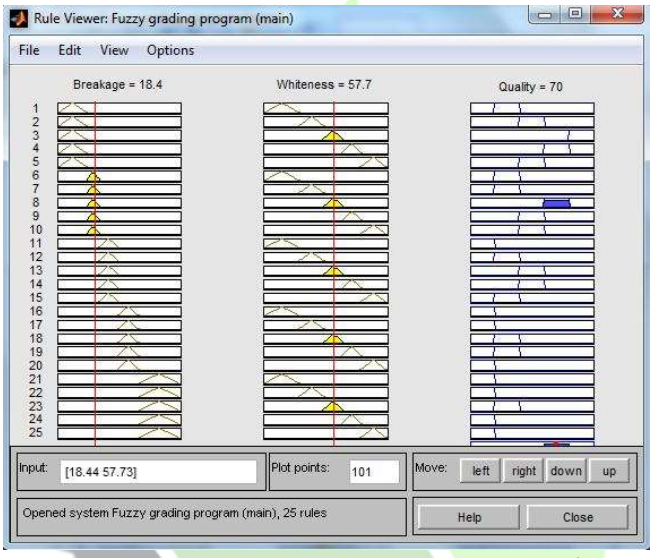
سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های خرد به‌ترتیب در گستره‌های کم (Low) و متوسط (Middle) نشان می‌دهد. در چنین شرایطی، خروجی مدل (درجه کیفی محصول) در گستره‌ی زیاد (High) قرار دارد. این نتیجه مطابق با تعاریف اولیه قوانین فازی می‌باشد.

جدول ۱. قوانین فازی بر اساس نظر کارشناسان خبره برای تعیین کیفیت دانه‌های برنج بر اساس درجه سفیدی و درصد دانه‌های خرد

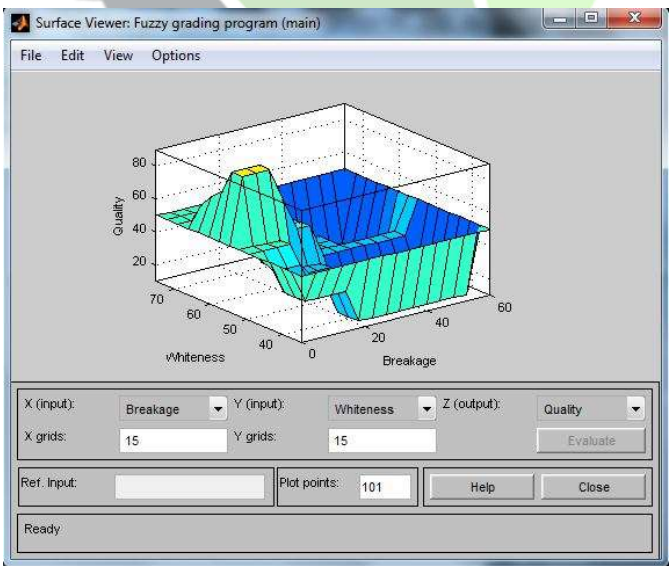
- 1. If (Breakage is Very Low) and (Whiteness is Very Low) then (Quality is Low)
- 2. If (Breakage is Very Low) and (Whiteness is Low) then (Quality is Medium)
- 3. If (Breakage is Very Low) and (Whiteness is Medium) then (Quality is Very High)
- 4. If (Breakage is Very Low) and (Whiteness is High) then (Quality is High)
- 5. If (Breakage is Very Low) and (Whiteness is Very High) then (Quality is Medium)
- 6. If (Breakage is Low) and (Whiteness is Very Low) then (Quality is Low)
- 7. If (Breakage is Low) and (Whiteness is Low) then (Quality is Low)
- 8. If (Breakage is Low) and (Whiteness is Medium) then (Quality is High)
- 9. If (Breakage is Low) and (Whiteness is High) then (Quality is Medium)
- 10. If (Breakage is Low) and (Whiteness is Very High) then (Quality is Medium)
- 11. If (Breakage is Medium) and (Whiteness is Very Low) then (Quality is Very Low)
- 12. If (Breakage is Medium) and (Whiteness is Low) then (Quality is Low)
- 13. If (Breakage is Medium) and (Whiteness is Medium) then (Quality is Medium)
- 14. If (Breakage is Medium) and (Whiteness is High) then (Quality is Medium)
- 15. If (Breakage is Medium) and (Whiteness is Very High) then (Quality is Low)
- 16. If (Breakage is High) and (Whiteness is Very Low) then (Quality is Very Low)
- 17. If (Breakage is High) and (Whiteness is Low) then (Quality is Very Low)
- 18. If (Breakage is High) and (Whiteness is Medium) then (Quality is Low)
- 19. If (Breakage is High) and (Whiteness is High) then (Quality is Low)
- 20. If (Breakage is High) and (Whiteness is Very High) then (Quality is Very Low)
- 21. If (Breakage is Very High) and (Whiteness is Very Low) then (Quality is Very Low)
- 22. If (Breakage is Very High) and (Whiteness is Low) then (Quality is Very Low)
- 23. If (Breakage is Very High) and (Whiteness is Medium) then (Quality is Low)
- 24. If (Breakage is Very High) and (Whiteness is High) then (Quality is Very Low)
- 25. If (Breakage is Very High) and (Whiteness is Very High) then (Quality is Very Low)

در شکل ۴ یک نمونه ناظر سطح (Surface viewer) از مدل فازی با در نظر گرفتن درجه سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های خرد بعنوان متغیرهای ورودی ارائه شده است. در این شکل می‌توان ملاحظه کرد که چگونه دو مقدار ورودی (درجه سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های خرد) بر یک مقدار خروجی (درجه کیفی محصول) تأثیرگذارند، یعنی در یک نما می‌توان عکس‌العمل را دید و این کمک خواهد کرد که چنانچه برخی از مشخصه‌های عملکردی مدل فازی درست نباشد، امکان بهبود فراهم شود. مشخص است که با افزایش درصد دانه‌های خرد که از نظر اقتصادی ارزش محصول را کاهش می دهد، درجه کیفی محصول کاهش می‌یابد. اما در مورد درجه سفیدی دانه ها، به دلیل اینکه حد معینی از این شاخص وجود دارد که در آن کیفیت محصول از نظر تولیدکنندگان مطلوب تلقی می‌شود، بنابراین افزایش درجه سفیدی با روند تقریباً نامنظمی از درجه کیفی ثبت شده در ناظر سطحی همراه است. به منظور ارزیابی مدل فازی، مشخصات مربوط به شدت روشنایی و ویژگی‌های ابعادی نمونه‌هایی که کیفیت آنها توسط کارشناسان خبره با توجه به دو شاخص کیفی مورد نظر تعیین شده بود، با استفاده از الگوریتم پردازش تصویر محاسبه شده و به عنوان ورودی مدل فازی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج حاصل از مقایسه این دو روش و ارزیابی دقت مدل درجه‌بندی فازی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که مدل فازی مورد استفاده در تحقیق قابلیت پیش‌بینی خوبی برای تعیین درجه کیفی دانه‌های برنج داشته است. دقت مدل در تخمین درجه کیفی دانه‌های برنج در گستره‌های "خیلی بد"، "بد"، "متوسط"، "خوب" و "خیلی خوب" به‌ترتیب برابر با ۸۷، ۱۰۰، ۸۳، ۱۰۰، و ۱۰۰ درصد بدست آمد.



شکل ۳. ارزیابی مدل فازی در محیط نرم‌افزار MATLAB



شکل ۴. ناظر سطح مدل فازی با در نظر گرفتن درجه سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های خرد به عنوان متغیرهای ورودی

جدول ۲. نتایج ارزیابی مدل درجه‌بندی فازی

خروجی	خبره	مدل فازی	دقت (٪)
خیلی خوب	۱	۱	۱۰۰
خوب	۳	۳	۱۰۰
متوسط	۶	۵	۸۳
بد	۷	۷	۱۰۰
خیلی بد	۸	۷	۸۷

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک مدل مبتنی بر منطق فازی تدوین گردید و به طور موفقیت آمیزی به عنوان یک روش تصمیم یار برای درجه بندی کیفی دانه‌های برنج مورد استفاده قرار گرفت. نتایج درجه‌بندی به وسیله منطق فازی مطابقت کلی خوبی با نتایج حاصل از درجه‌بندی محصول به وسیله شخص خبره نشان داد (دقت کلی ۹۴ درصد). همچنین مشاهده شد که انتخاب دو شاخص درجه سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های خرد برای درجه‌بندی کیفی محصول برنج بسیار مناسب بوده است.

فهرست منابع

۱- غضنفری، م.، رضایی، م. (۱۳۸۵). مقدمه‌ای بر نظریه مجموعه‌های فازی. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

۲- لرستانی، ع. ن.، امید، م.، طباطبائی‌فر، ا.، برقعی، ع.، و باقری شکوری، س. (۱۳۸۶). طراحی و ارزیابی یک سیستم هوشمند درجه‌بند سیب گلدن دلیشز با منطق فازی. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۸، شماره ۱، ص، ۱۰-۱.

۳- مهدی‌پور، ا.، صدرالاشرافی، س. م.، کرباسی، ع. (۱۳۸۵). مقایسه روش‌های برنامه‌ریزی خطی متعارف، تقریباً بهینه و فازی در تعیین جیره عذایی طیور. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، جلد ۱۲، شماره ۳، ص، ۴۸۷-۴۷۹.

۴- وانگ، ل. (۱۳۸۵). سیستم‌های فازی و کنترل فازی. (م. تشنه لب، ن. صفاپور، و د. افیونی، مترجم) تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

5- Dehrouyeh, M. H., M. Omid, H. Ahmadi, S. S. Mohtasebi and M. Jamzad. 2010. Grading and Quality Inspection of Defected Eggs Using Machine Vision. International Journal of Advance Science and Technology 16: 43-50.

6- Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy Sets, Information and Control 8 (3): 338-353.

7- Mamdani, E. H., and S. Assilian. 1975. An experiment in linguist synthesis with fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies 7(1): 1-13.

8- Zimmermann, H. J. 1996. Fuzzy Set Theory and its Applications. 3rd ed. Kluwer Academic Publishers. Boston, Dordrecht, London. pp.435.

9- Xu, B., D. S. Dale and Y. Huang. 2002. Cotton Color Classification by Fuzzy Logic. Textile Research Journal 72(6): 504-509.

Development of a Fuzzy-Logic-Based Model for Qualitative Grading of Rice Grains

Hemad Zareiforoush[1], Saeed Minaei[2*], Mohammad Reza Alizadeh[3], Ahmad Banakar[4]

1- PhD Candidate, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Tarbiat Modares University
minaee@modares.ac.ir
2- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Tarbiat Modares University
3- Rice Research Institute of Iran (RRII)
4- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Tarbiat Modares University

Abstract

A fuzzy-logic-based model as a decision support system was developed for qualitative grading of rice grains. Using an image processing system, the dimensional features and intensity characteristics of the grains were recorded. The image processing algorithm for obtaining dimensional features and light intensity of rice grains as well as the fuzzy grading model were developed in MATLAB software environment. One hundred samples with different qualitative conditions were provided and their quality were experimentally graded by rice processing industry experts in five levels, namely, very bad, bad, medium, good, and very good. In order to evaluate the fuzzy inference system, the samples graded by the experts were imported into the developed fuzzy model. The fuzzy model consisted of two input linguistic variables (degree of milling and percentage of broken grains), both in the form of triangle membership functions, and one output linguistic variable (product quality) in the form of trapezoidal function. Totally, 25 rules were applied for defuzzification process using the AND actuator, Mamdani inference motor, and Center-of-Maximum method. The results showed that a 94% confidence was existed between the model evaluations and the experts' opinions. Therefore, such a model can be effectively be applied in the form of control system for quality control of rice grains in rice processing mills.

Keywords: Rice, Image processing, Grading, Quality, Fuzzy logic