*چشم‌انداز مدیریت صنعتی*
شماره ۱۱ ـ پاییز ۱۳۹۲
ص‌ص ۱۸۸ ° ۱۶۳

# تولید قوانین فازی از نمونه‌های آموزشی برای سیستم‌های طبقه‌بندی فازی

**ناصر مطهری فریمانی*، منصور مؤمنی**، حمیدرضا یزدانی*****

**چکیده**

در سال‌های اخیر، روش‌های زیادی برای تولید قوانین فازی براساس نمونه‌های آموزشی پیشنهاد شده است. یکی از روش‌هایی پیشنهادشده اخیر، روش چن و تسای است که در سال ۲۰۰۸ ارائه شد و برمبنای سه شاخص مقدار آستانه‌ای ویژگی $\alpha$، مقدار آستانه‌ای طبقه‌بندی $\beta$ و مقدار آستانه‌ای سطحی $\gamma$ قرار گرفته است. این روش متوسط نرخ دقت طبقه‌بندی بالاتری نسبت به سایر روش‌های موجود داشته است. در بخش تولید قوانین موقت، نویسندگان پیشنهادی برای اصلاح روش ارائه کرده‌اند و روش اصلاح‌شده را در یک مطالعه موردی به‌کار گرفته‌اند. آنچه در این تحقیق، مورد توجه بوده است، آزمون روش اصلاح‌شده CT08 روی یک حوزه کاربردی و ارائه یک سیستم طبقه‌بندی برای گوشی‌های تلفن همراه بوده است. روش اصلاح‌شده در موضوع گوشی‌های تلفن همراه، مقدار ۰/۲ دقت بالاتر را نسبت به اصل روش CT08 نشان داد.

**کلیدواژه‌ها: فازی؛ طبقه‌بندی؛ نمونه آموزشی؛ گوشی تلفن همراه.**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

---

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۷/۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۱۱/۲۴

* استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول).

E-mail: n.motahari@um.ac.ir

** دانشیار، دانشگاه تهران.

*** استادیار، پردیس فارابی دانشگاه تهران.

### ۱. مقدمه

طبقه‌بندی موضوع‌های مختلف از دیرباز علاقه‌مندان زیادی داشته است. با گسترش علم مدیریت، از اوایل قرن بیستم این مبحث نه‌تنها از لحاظ دامنه کاربرد رشد چشمگیری داشته است، بلکه ازنظر میزان توجه به مدل‌های ریاضی و کمی نیز قابل تأمل است. در بسیاری از مدل‌های طبقه‌بندی، داده‌های ورودی از تصمیم‌گیری‌های ذهنی افراد حاصل می‌شود که ماهیت کاملاً کیفی دارد؛ بنابراین همواره تبیین ذهنیات کیفی فرد درقالب شاخص‌های کمی از دغدغه‌های اندیشمندان این حوزه بوده است. در سال ۱۹۶۷ پروفسور لطفعلی عسگرزاده، با معرفی اعداد فازی گامی بزرگ درجهت کاهش مشکلات این حوزه برداشت. با معرفی اعداد فازی، سیستم‌هایی تحت‌عنوان سیستم‌های طبقه‌بندی فازی نیز متولد شدند تا بتوانند براساس داده‌های ورودی قوانینی را تبیین کنند که در شرایط معینی قابل‌تعمیم باشند و بدین ترتیب سیستمی جایگزین سیستم طبقه‌بندی سلیقه‌ای انسان شود. رشد این سیستم هیچ‌گاه متوقف نشد و احتمالاً هیچ‌گاه متوقف نخواهد شد. در این سیستم‌ها روش‌های مختلفی برای تعامل با داده‌های ورودی پیشنهاد می‌شود تا بتوانند نرخ دقت طبقه‌بندی را نسبت به گذشته ارتقاء دهند؛ بنابراین گام برداشتن درجهت بهبود این روش‌ها، به ایجاد مبانی قابل‌اعتمادی برای افراد بشر در حوزه موردکاربرد آن‌ها، یعنی طبقه‌بندی، منجر خواهد شد.

### ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در ابتدای این بخش به‌صورت خلاصه مفاهیم پایه مجموعه‌های فازی را مرور می کنیم [۱۵].

*تعریف ۱:* U به‌عنوان مجموعه مرجع درنظر گرفته می‌شود $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. یک مجموعه فازی مانند A روی مجموعه مرجع U به‌صورت رابطه ۱ نشان داده می‌شود:

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \cdots + \mu_A(x_n)/x_n \qquad \text{رابطه ۱}$$

$\mu_A$ نشان‌دهنده تابع عضویت مجموعه فازی A است که دامنه آن همه اعضای مجموعه U است و برد آن اعداد حقیقی در بازه صفر تا یک است، $\mu_A: U \to [0,1]$.

*تعریف۲:* A و B دو مجموعه فازی در مجموعه مرجع U است. اجتماع دو مجموعه فازی A و B که به‌صورت $A \cup B$ نشان داده می‌شود، یک مجموعه فازی است که تابع عضویت آن به‌صورت رابطه ۲ است:

$$\mu_{A\cup B}(x) = max\big(\mu_A(x), \mu_B(x)\big), \quad \forall x \in U \qquad \text{رابطه ۲}$$

*تعریف۳:* A و B دو مجموعه فازی در مجموعه مرجع U هستند. اشتراک دو مجموعه فازی A و B که به‌صورت $A \cap B$ نشان داده می‌شود، یک مجموعه فازی است که تابع عضویت آن به‌صورت رابطه ۳ است:

$$\mu_{A\cap B}(x) = min\big(\mu_A(x), \mu_B(x)\big), \quad \forall x \in U \qquad \text{رابطه ۳}$$

*تعریف۴:* متمم مجموعه فازی A که با $\bar{A}$ نمایش داده می‌شود، یک مجموعه فازی است که تابع عضویت آن به‌صورت رابطه ۴ است:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \quad \forall x \in U \qquad \text{رابطه ۴}$$

داده‌های رنگین‌کمانی نخستین‌بار توسط رونالد فیشر در سال ۱۹۳۶ به‌عنوان مثالی در تحلیل تمایزات[1] مطرح شدند. این داده‌های نمونه که با موضوعیت طبقه‌بندی سه نوع گل خاص مطرح شده بودند، به نام «داده‌های رنگین‌کمانی فیشر» یا «داده‌های رنگین‌کمانی گل» معروف شده‌اند.

در سال‌های اخیر، برخی روش‌ها برای تولید قوانین فازی از نمونه‌های آموزشی برای تبیین رفتار داده‌های رنگین‌کمانی پیشنهاد شده است.

هانگ و لی در سال ۱۹۹۶ [۱]، هانگ و چن در سال ۱۹۹۹ [۲]، کاسترو و دیگران در سال ۱۹۹۹ [۳]، وو و چن در سال ۱۹۹۹ [۴] و چانگ و چن در سال ۲۰۰۱ [۵] روشی را برای تولید قوانین فازی از داده‌های آموزشی برای مواجهه با مشکلات طبقه‌بندی داده‌های رنگین‌کمانی ارائه کردند. چن و چانگ در سال ۲۰۰۵ [۶]، چن و تسای در سال ۲۰۰۵ [۷]، چن و فنگ در سال ۲۰۰۵ [۸،۹]، چن و لین در سال ۲۰۰۵ [۱۰،۱۱]، چن و دیگران در سال ۲۰۰۶ [۱۲] و ... روشی را برای ایجاد توابع عضویت و تولید قوانین فازی از نمونه‌های آموزشی پیشنهاد کردند.

چن و چن در سال ۲۰۰۲ [۱۳] روشی را برمبنای الگوریتم ژنتیک برای ایجاد توابع عضویت و قوانین فازی برای مواجهه با مشکلات طبقه‌بندی داده‌های رنگین‌کمانی ارائه کردند.

چن و تسای در سال ۲۰۰۸ [۱۴]، روشی را برای تولید قوانین فازی از نمونه‌های آموزشی بیان کردند و هدف اصلی خود را از این روش حل مشکلات طبقه‌بندی داده‌های رنگین‌کمانی می‌دانستند. طبق نتایجی که آن‌ها از اجرای روش خود روی داده‌های رنگین‌کمانی فیشر که به‌عنوان یک مجموعه داده استاندارد در این مبحث مورد استفاده قرار می‌گیرد کسب کرده‌اند، متوسط نرخ دقت طبقه‌بندی برابر با ۹۷/۱۶۶ به‌دست آمده است که درمقایسه با روش‌های پیشنهادی دیگر، تا این زمان بالاترین نرخ دقت طبقه‌بندی برای این داده‌های استاندارد را دارد.

1. Discriminant Analysis

جدول ۱ نرخ دقت طبقه‌بندی در روش‌های مختلف مطرح‌شده در سال‌های اخیر را بر پایه داده‌های فیشر مقایسه می‌کند:

*جدول ۱. دقت طبقه‌بندی روش‌های مختلف*

| روش پیشنهادی | متوسط نرخ دقت طبقه‌بندی |
|---|---|
| روش هانگ و لی – ۱۹۹۶ | ۹۵/۵۷ |
| روش هانگ و چن – ۱۹۹۹ | ۹۵/۵۷ |
| روش کاسترو – ۱۹۹۹ | ۹۶/۶۰ |
| روش اول چن و فنگ – ۲۰۰۵ | ۹۶/۷۲ |
| روش چن و تسای – ۲۰۰۵ | ۹۶/۸۲ |
| روش چن و چانگ – ۲۰۰۵ | ۹۶/۸۸ |
| روش دوم چن و فنگ – ۲۰۰۵ | ۹۶/۹۶ |
| روش چن و تسای – ۲۰۰۸ | ۹۷/۱۶۶ |

در این تحقیق از روش پیشنهادی چن و تسای در سال ۲۰۰۸ برای طبقه‌بندی گوشی‌های تلفن همراه تولیدشده توسط شرکت نوکیا در بازار ایران استفاده کرده‌ایم. این روش برای سهولت به‌صورت خلاصه CT08 نام‌گذاری شده است.

روش CT08 برای مواجهه با حل مشکلات داده‌های رنگین‌کمانی پیشنهاد شده است. این روش، ایجاد توابع عضویت و تولید قوانین فازی از نمونه‌های آموزشی را براساس مقدار آستانه‌ای ویژگی $\alpha$، مقدار آستانه‌ای طبقه‌بندی $\beta$ و مقدار آستانه‌ای سطحی $\gamma$ انجام می‌دهد که $\alpha, \beta, \gamma \in [0,1]$.

برای مقایسه گوشی‌های تلفن همراه معیارهای بسیار متنوعی وجود دارد و هریک از معیارها برای کاربران متفاوت از درجات اهمیت متفاوتی نیز برخوردار است. به‌طورکلی این معیارها را به سه دسته اساسی می‌توانیم تقسیم کنیم که عبارت‌اند از: «طراحی»، «امکانات» و «عملکرد».

طراحی عبارت است از مجموعه ویژگی‌های ظاهری گوشی، اعم از شکل، اندازه، وزن، وضعیت قرارگیری در دست، وضعیت صفحه‌کلید و ... . عملکرد مجموعه ویژگی‌هایی است که در بیشتر گوشی‌های تلفن همراه مشترک هستند و درحال‌حاضر جزو ویژگی‌های پایه گوشی‌ها محسوب می‌شوند؛ مانند قابلیت آنتن‌دهی، دوربین عکاسی، صفحه‌نمایش و ... . امکانات مجموعه ویژگی‌های اضافی است که در زمره ویژگی‌های پایه گوشی‌های تلفن همراه محسوب نمی‌شود و گوشی‌های مختلف، برخی از آن‌ها را دارند. امکانات با گذشت زمان و ایجاد تکنولوژی‌های جدیدتر در دسته ویژگی‌هایی از نوع «عملکرد» گوشی‌های تلفن همراه قرار می‌گیرد.

در تحقیق حاضر، سه ویژگی کلی «طراحی»، «امکانات» و «عملکرد» را به‌عنوان ورودی های سیستم طبقه‌بندی فازی مورداستفاده قرار داده‌ایم و قیمت گوشی‌های تلفن همراه را به عنوان خروجی سیستم درنظر گرفته‌ایم.

براساس این اصل در بازاریابی که همواره باید رابطه‌ای منطقی بین داشته‌های هر محصول و قیمت محصول برقرار باشد، در این تحقیق کشف این رابطه در گوشی‌های تلفن همراه تولیدی در شرکت نوکیا را بررسی کرده‌ایم.

وب‌سایتی در زمینه فروش گوشی‌های تلفن همراه [۱۶] با میانگین بازدید بالا، از کاربران خود براساس دسته‌بندی ذکرشده نظرسنجی به عمل می‌آورد. از داده‌های موجود در این وب سایت به‌عنوان نمونه‌های آموزشی و آزمایشی برای تولید و ارزیابی قوانین فازی استفاده شده است.

## ۳. روش‌شناسی پژوهش

روش CT08 درقالب دو مرحله تولید قوانین فازی و تعیین کلاس نمونه‌های آموزشی توضیح داده می شود.

### مرحله اول: تولید قوانین فازی

*گام ۱:* بیشترین و کمترین مقدار هریک از ورودی‌های نمونه‌های آموزشی محاسبه و برای هریک از خروجی‌ها تفکیک می‌شود.

*گام ۲:* درجه آنتروپی هریک از ورودی‌ها براساس رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

رابطه ۵
$$v_i = \frac{|PD|}{|WD|}$$

$v_i$ بیانگر درجه آنتروپی ورودی $X_i$ است.

WD عبارت است از دامنه کل مربوط به ورودی $X_i$. $|WD|$ نیز عبارت است از طول یا اندازه WD.

PD عبارت است از مجموعه‌ای از فواصل مختلف مانند $I_1$، $I_2$، ...، $I_p$ که در آن‌ها «دامنه‌های منفرد ورودی $X_i$ به‌ازای خروجی‌های مختلف» با یکدیگر همپوشانی ندارند. دامنه منفرد[1] ورودی $X_i$ باتوجه به خروجی $Y_i$ عبارت است از فاصله بین بیشترین و کمترین مقدار ورودی $X_i$ در جدول خروجی $Y_i$.

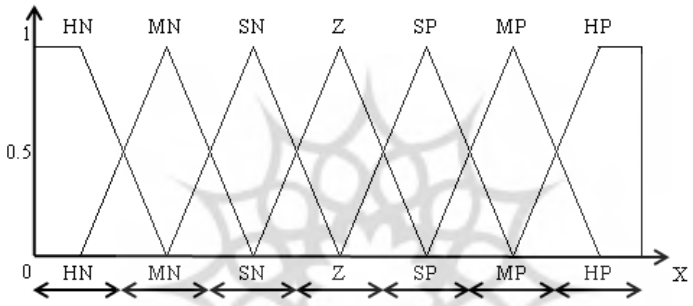
1. Individual Domain

*گام ۳:* ابتدا باید ویژگی‌هایی که درجه آنتروپی آن‌ها از مقدار آستانه‌ای ویژگی[1] که با $\alpha$ نمایش داده می‌شود بزرگ‌تر است، مشخص شود و سپس این ویژگی‌های شناسایی‌شده براساس درجه آنتروپی به‌صورت نزولی مرتب شوند.

مقدار آستانه‌ای ویژگی ($\alpha$) مقداری است که توسط کاربر تعیین شده است و نشان می‌دهد که کدام ویژگی‌ها در طبقه‌بندی تأثیر بیشتری دارند. $\alpha$ همواره در دامنه $[0,1]$ قراردارد.

*گام ۴:* ویژگی $X_i$ با بزرگ‌ترین درجه آنتروپی انتخاب می‌شود، سپس همه مقادیر بیشینه و کمینه آن در خروجی‌های مختلف که در گام یک به‌دست آمده بودند در یک خط نوشته می‌شوند و به‌صورت صعودی مرتب می‌شوند.

مقدار ۰/۰۰۵ از مقادیر قرارگرفته در جایگاه‌های فرد کم می‌شود و به مقادیر قرارگرفته در جایگاه‌های زوج اضافه می‌شود. بار دیگر مقادیر به‌صورت صعودی مرتب می‌شوند. این مقادیر به‌عنوان نقاط تقاطع توابع عضویت فازی برای ویژگی $X_i$ درنظر گرفته می‌شوند (شکل ۱).




*شکل ۱. توابع عضویت فازی برای ویژگی $X$*

*گام ۵:* توزیع آماری مقدار ویژگی $X_i$ در نمونه‌های آموزشی در فواصل به‌دست آمده در شکل ۱ به‌دست می‌آید. سپس براساس این قاعده قوانین فازی تولید می‌شوند:

اگر بیشترین نمونه‌های آموزشی که در فاصله $\mathrm{I}$ قرار گرفته‌اند، خروجی $\boldsymbol{Y_j}$ داشته باشند، قانون زیر استنباط خواهد شد:

$$IF \quad X_i \quad is \quad I_m \quad THEN \quad Y = Y_j$$

گفتنی است که مجموعه فازی متناظر با فاصله $\mathrm{I}$ مجموعه فازی $\mathrm{I}$ نام‌گذاری شده است؛ به سخن دیگر، مجموعه‌های فازی ایجادشده برای یک ویژگی با فواصل شناسایی‌شده روی طیف مقداری آن ویژگی متناظر است.

1. Attribute Threshold Value

*گام ۶:* در این گام باید نرخ دقت طبقه‌بندی[1] برای قوانین تولیدشده محاسبه شود. اگر این نرخ دقت طبقه‌بندی برای یک قانون برابر یا بزرگ‌تر از مقدار آستانه‌ای طبقه‌بندی، یعنی $\beta$ باشد، آن قانون نهایی است و فرآیند درمورد آن به پایان رسیده است؛ درغیراین‌صورت باید به گام بعدی برویم.

مقدار آستانه‌ای طبقه‌بندی[2] که توسط کاربر تعیین می‌شود، برای این منظور است که تعیین شود آیا نرخ دقت طبقه‌بندی در سطح مطلوبی قرار دارد یا خیر. مقدار آستانه‌ای طبقه‌بندی ($\beta$) همواره در دامنه $[0,1]$ قراردارد.

نحوه محاسبه نرخ دقت طبقه‌بندی برای قانون $R_i$ به این صورت است که برای همه نمونه‌های آموزشی، مقدار ویژگی $X_i$ در همه مجموعه‌های فازی مرتبط با آن ویژگی بررسی می‌شود تا مشخص شود آن نمونه آموزشی ازلحاظ ویژگی $X_i$ به کدام مجموعه فازی تعلق دارد، سپس به قوانین تولیدشده مراجعه می‌شود تا خروجی که آن قانون معرفی می‌کند شناخته شود و سپس این خروجی با خروجی واقعی آن نمونه آموزشی مقایسه می‌شود. اگر یکسان باشند مشخص می‌شود که آن قانون به‌درستی طبقه‌بندی را انجام داده و درغیراین‌صورت بیانگر خطا داشتن قانون در طبقه‌بندی است.

نرخ دقت طبقه‌بندی براساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

رابطه ۶
$$CAR = \frac{\text{نمونه هایی که به درستی طبقه شده‌بندی اند}}{\text{تعداد کل نمونه های آموزشی}}$$

*گام ۷:* ویژگی دوم ($W_i$) ازلحاظ بزرگی درجه آنتروپی از بین ویژگی‌هایی که درجه آنتروپی آن‌ها بزرگ‌تر از مقدار آستانه‌ای ویژگی($\alpha$) است، انتخاب می‌شود. گام چهار به‌صورت کامل درمورد این ویژگی باید اجرا شود.

*گام ۸:* از بین قوانین فازی تولیدشده، قوانینی که نرخ خطای طبقه‌بندی آن‌ها بزرگ‌تر از مقدار آستانه‌ای سطحی ($\gamma$) است، باید مشخص شوند. مقدار آستانه‌ای سطحی $\gamma$ که توسط کاربر تعیین می‌شود، نشان می‌دهد که کدام قوانین فازی باید اصلاح شوند. مقدار $\gamma$ همواره در دامنه $[0,1]$ قراردارد.

نرخ خطای طبقه‌بندی برای هریک از قوانین فازی تولیدشده براساس رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

رابطه ۷
$$CER = \frac{\text{تعداد نمونه هایی که به درستی طبقه بندی نشده اند}}{\text{تعداد کل نمونه های آموزشی}}$$

1. Classification Accuracy Rate
2. Classification threshold Value

*گام ۹:* قانونی انتخاب می‌شود که بیشترین نرخ خطای طبقه‌بندی را دارد؛ به عنوان مثال قانون شماره n انتخاب شده است:

$$IF \quad X_i \ \ is \ \ I_m \quad THEN \quad Y = Y_j$$

سپس نمونه‌های آموزشی که براساس آن قانون به‌درستی طبقه‌بندی نشده‌اند، شناسایی می شوند و درادامه، توزیع آماری مقادیر ویژگی $W_i$ مربوط به این نمونه‌های آموزشی که به‌درستی طبقه‌بندی نشده‌اند، در هریک از فواصل به‌دست آمده از گام ۷ محاسبه می‌شود. فرض شده است فواصل $I_k$ فواصلی هستند که حداقل یک نمونه آموزشی به آن‌ها تعلق گرفته است.

اکنون توزیع آماری نمونه‌هایی را که براساس قانون شماره n به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند، در فواصل $I_k$ باید تعیین کرد. این قسمت از گام ۹، بخش پیشنهادی نویسندگان برای اصلاح روش است. دراصل روش پیشنهادی تنها توزیع آماری نمونه‌هایی که به‌درستی طبقه‌بندی نشده اند سنجیده می‌شود؛ درحالی‌که باید همه نمونه‌های آموزشی، اعم از اینکه درست یا نادرست طبقه‌بندی شده‌اند، موردتوجه قرار گیرند؛ چون حتی نمونه آموزشی که درست طبقه‌بندی شده است، اما در فاصله $I_k$ قرار گرفته است، می‌تواند در تولید قانون جدید مجدداً نقش ایفا کند.

اگر بیشترین نمونه‌های آموزشی که در فاصله $I_k$ قرار گرفته‌اند، خروجی $Y_l$ داشته باشند، این قانون موقتی استنباط خواهد شد:

$$IF \quad W_i \ \ is \ \ I_k \quad THEN \quad Y = Y_l$$

اکنون باید قانون اولیه با این قانون موقتی ترکیب شود تا قانون جدیدی به‌دست آید و آن قانون اولیه نیز اصلاح شود. با برداشتن قسمت شرط قانون اولیه و افزودن آن به قانون موقتی ساخته‌شده، قانون جدیدی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$IF \ X_i \ \ is \ \ I_m \ AND \ \ W_i \ \ is \ \ I_k \quad THEN \quad Y = Y_l$$

با افزودن مکمل قسمت شرط قانون موقتی به قانون اولیه، قانون اولیه نیز اصلاح می‌شود:

$$IF \quad X_i \ \ is \ \ I_m \ AND \ \ W_i \ \ is \ \ \overline{I_k} \quad THEN \quad Y = Y_j$$

**مرحله دوم: تعیین کلاس نمونه‌های آزمایشی**

در ابتدای تحقیق نمونه‌های موجود برای استفاده به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ نمونه‌های آموزشی و نمونه‌های آزمایشی. از نمونه‌های آموزشی برای تولید قوانین استفاده می‌شود و از

نمونه‌های آزمایشی برای ارزیابی قوانین تولیدشده. نحوه آزمودن یک نمونه شامل دو مرحله است.

نمونه آزمایشی $T_i$ مفروض است. مراحل آزمودن عبارت‌اند از:

*گام i*: برای هر قانون فازی تولیدشده مانند $R_i$، باید اقدامات زیر صورت گیرد:

درجه عضویت نمونه $T_i$ در هریک از مجموعه‌های فازی بیانشده در قسمت شرط $R_i$ باید محاسبه شود. مقدار کمینه این درجه عضویت‌ها، تعیین می‌شود و با M نمایش داده می‌شود. اگر خروجی قانون $R_i$، $O_i$ باشد مقدار M بیانگر آن است که تا چه حد ممکن است خروجی نمونه آموزشی $T_i$ برابر $O_i$ باشد.

*گام ii*: از بین قوانین مختلف، قانونی انتخاب می‌شود که بیشترین مقدار M را دارد. خروجی این قانون، خروجی پیشنهادی سیستم برای نمونه $T_i$ خواهد بود.

## ٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

*گام صفر:* ابتدا مجموعه‌های فازی مختلف برای خروجی‌ها تعریف می‌شوند. سپس درجه عضویت خروجی نمونه‌های آموزشی در هریک از مجموعه‌های فازی خروجی محاسبه می‌شود و آن مجموعه فازی که خروجی بیشترین درجه عضویت را نسبت به آن دارد، به‌عنوان طبقه یا کلاس آن نمونه آموزشی منظور می‌شود. از این پس، منظور از خروجی هر نمونه آموزشی، همین کلاس یا طبقه به‌دست آمده است. یک سیستم طبقه‌بندی فازی موردتوجه است که ورودی‌های آن‌ها عبارت‌اند از «طراحی»، «امکانات» و «عملکرد» و خروجی آن نیز عبارت است از سطح قیمت گوشی تلفن همراه. سطح قیمت گوشی‌های تلفن همراه به سه مجموعه فازی تقسیم می‌شود؛ «گران»، «متوسط» و «ارزان». اطلاعات مربوط به نمونه‌های آموزشی را در جدول شماره ۱ نشان داده‌ایم. نمونه‌های آموزشی که براساس خروجی‌ها دسته‌بندی شده‌اند، به صورت جدول ۲ هستند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

*جدول ۲. نمونه‌های آموزشی دسته‌بندی شده براساس خروجی‌ها*

| ارزان | | | | متوسط | | | | گران | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شماره نمونه | طراحی | امکانات | عملکرد | شماره نمونه | طراحی | امکانات | عملکرد | شماره نمونه | طراحی | امکانات | عملکرد |
| ۷ | ۶/۲۶ | ۵/۳۷ | ۶/۵۲ | ۳ | ۵/۸۵ | ۵/۰۴ | ۵/۳ | ۱ | ۶/۱۹ | ۵/۸۴ | ۶/۰۸ |
| ۱۸ | ۶/۲۱ | ۵/۴۱ | ۵/۸۹ | ۴ | ۴/۳۷ | ۳/۸۸ | ۴/۰۷ | ۲ | ۶/۷۵ | ۶/۸۱ | ۶/۷۶ |
| ۱۹ | ۷/۶۶ | ۶/۶۵ | ۷/۰۲ | ۶ | ۷/۳۲ | ۷/۱ | ۷/۱۹ | ۵ | ۶/۹۱ | ۶/۷۳ | ۶/۷ |
| ۲۰ | ۶/۲۱ | ۴/۸۲ | ۵/۴۴ | ۸ | ۵/۸۳ | ۶/۰۶ | ۶/۰۱ | ۹ | ۶/۶۳ | ۶/۹۳ | ۶/۸۸ |
| ۲۹ | ۶/۵۸ | ۵/۷۳ | ۶/۳۱ | ۱۲ | ۶/۶۴ | ۶/۰۲ | ۶/۱۹ | ۱۰ | ۶/۰۶ | ۶/۶۴ | ۶/۵۵ |
| | | | | ۱۳ | ۶/۸۱ | ۶/۸۱ | ۶/۷۸ | ۱۱ | ۷/۸۶ | ۷/۹۱ | ۷/۹۱ |
| | | | | ۱۴ | ۶/۹۹ | ۶/۰۶ | ۶/۶۷ | ۲۲ | ۶/۲۹ | ۶/۳۱ | ۶/۰۳ |
| | | | | ۱۵ | ۶/۰۸ | ۶/۷۵ | ۶/۸۶ | ۲۴ | ۶/۴۶ | ۶/۵۲ | ۶/۵۳ |
| | | | | ۱۶ | ۷/۰۶ | ۷/۹۵ | ۶/۲۵ | ۲۸ | ۶/۰۷ | ۶/۷۷ | ۶//۷۸ |
| | | | | ۱۷ | ۶/۷۹ | ۶/۱۱ | ۶/۳۱ | ۳۰ | ۶ | ۶/۰۸ | ۵/۰۸ |
| | | | | ۲۱ | ۶/۹۵ | ۶/۱۳ | ۶/۲۳ | | | | |
| | | | | ۲۳ | ۶/۴۶ | ۶/۱۴ | ۶/۱۶ | | | | |
| | | | | ۲۵ | ۶/۷۲ | ۶/۰۷ | ۶/۶۱ | | | | |
| | | | | ۲۶ | ۷/۳۷ | ۵/۶۷ | ۵/۵۶ | | | | |
| | | | | ۲۷ | ۷/۲۵ | ۶/۰۵ | ۶/۲۳ | | | | |

*گام۱:* بیشترین و کمترین مقدار هریک از ورودی‌های نمونه‌های آموزشی به تفکیک هریک از خروجی‌ها به صورت جدول ۳ به‌دست آمده است.

*جدول ۳. مقادیر بیشینه و کمینه نمونه‌های آموزشی*

| | طراحی | | امکانات | | عملکرد | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | min | max | min | max | min | max |
| ارزان | ۶/۲۱ | ۷/۶۶ | ۴/۸۲ | ۶/۶۵ | ۵/۴۴ | ۷/۰۲ |
| متوسط | ۴/۳۷ | ۷/۳۷ | ۳/۸۸ | ۷/۹۵ | ۴/۰۷ | ۷/۱۹ |
| گران | ۶ | ۷/۸۶ | ۵/۰۸ | ۷/۹۱ | ۵/۰۸ | ۷/۹۱ |

*گام ۲:* $|WD|$ برای ویژگی‌های مختلف به‌صورت جدول ۴ است.

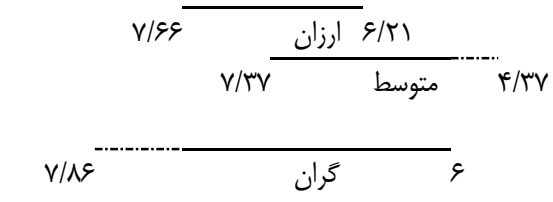
*جدول ۴. مقادیر* |WD| *برای ویژگی‌های مختلف*

| | WD | | \|WD\| |
|---|---|---|---|
| | LB | UB | |
| **طراحی** | ۳/۴ | ۷/۸ | ۳/۴۹ |
| **امکانات** | ۳/۸ | ۷/۹ | ۴/۰۷ |
| **عملکرد** | ۴ | ۷/۹ | ۳/۸۴ |

جدول ۵. مقادیر $ID$ برای ویژگی‌های مختلف

| | ارزان | | متوسط | | گران | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | LB | UB | LB | UB | LB | UB |
| طراحی | ۶/۲ | ۷/۶ | ۴/۳ | ۷/۳ | ۶ | ۷/۸ |
| امکانات | ۴/۸ | ۶/۶ | ۳/۸ | ۷/۹ | ۵/۰ | ۷/۹ |
| عملکرد | ۵/۴ | ۷/۰ | ۴/۰ | ۷/۱ | ۵/۰ | ۷/۹ |

براساس جدول ۵، فواصل مختلف برای ورودی «طراحی» به‌صورت شکل ۲ خواهد بود:

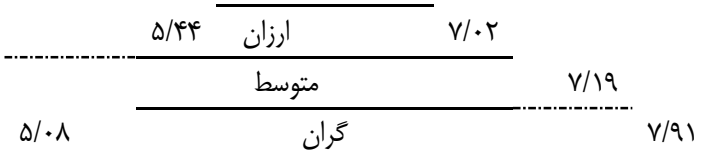



شکل ۲. فواصل منفرد برای ویژگی طراحی

مجموع فواصلی که با نقطه‌چین نمایش داده شده‌اند، بخش‌هایی هستند که دامنه‌های منفرد مربوط به طراحی با یکدیگر همپوشانی ندارند. مقدار $|PD|$ برای طراحی ۱/۸۳ است.
فواصل مختلف برای ورودی «امکانات» به‌صورت شکل ۳ خواهند بود:

شکل ۳. فواصل منفرد برای ویژگی امکانات

مقدار $|PD|$ برای امکانات ۰/۹۸ است.
فواصل مختلف برای ورودی «عملکرد» به‌صورت شکل ۴ خواهند بود:




*شکل ۴. فواصل منفرد برای ویژگی عملکرد*

مقدار $|PD|$ برای عملکرد ۱/۷۳ است.

درجه آنتروپی هریک از ورودی‌ها به‌صورت جدول ۶ است. $v_i$ بیانگر درجه آنتروپی ورودی $X_i$ است که i می‌تواند سه مقدار مختلف طراحی، امکانات و عملکرد داشته باشد.

*جدول ۶. درجه آنتروپی‌های ویژگی‌های ورودی*

| | WD | | \|WD\| | \|PD\| | $v_i$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | LB | UB | | | |
| طراحی | ۴/۳۷ | ۷/۸۶ | ۳/۴۹ | ۱/۸۳ | ۰/۵۲۴ |
| امکانات | ۳/۸۸ | ۷/۹۵ | ۴/۰۷ | ۰/۹۸ | ۰/۲۴۱ |
| عملکرد | ۴/۰۷ | ۷/۹۱ | ۳/۸۴ | ۱/۷۳ | ۰/۴۵۱ |

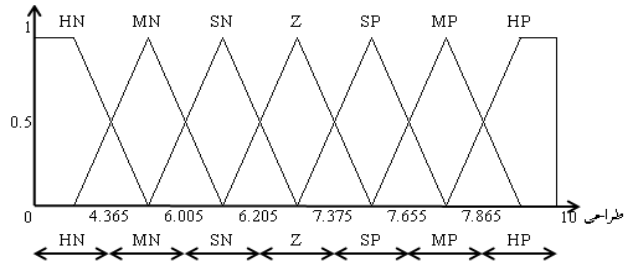
*گام ۳:* مقدار درنظر گرفته شده برای $\alpha$ در این تحقیق ۰/۲ است. سه ویژگی «طراحی»، «امکانات» و «عملکرد»، ویژگی‌هایی هستند که درجه‌ی آنتروپی آن‌ها بزرگ‌تر از $\alpha$ است (۰/۵۲۴ ، ۰/۲۴۱و ۴/۵۱ > ۰/۴)

*گام ۴:* برای ویژگی «طراحی» که درجه آنتروپی آن بزرگ‌تر از $\alpha$ و بزرگ‌تر از درجات آنتروپی متغیرهای دیگر است، مقادیر بیشینه و کمینه در خروجی‌های مختلف این‌گونه است: ۶/۲۱، ۷/۶۶، ۴/۳۷ ، ۷/۳۷، ۶ و ۷/۸۶ .

مرتب‌شده این مقادیر به‌صورت صعودی عبارت است از: ۴/۳۷، ۶، ۶/۲۱، ۷/۳۷، ۷/۶۶، ۷/۸۶.

پس از کسر مقدار ۰/۰۰۵ از نقاط واقع در جایگاه‌های فرد و افزودن این مقدار به نقاط واقع در جایگاه‌های زوج، سری جدید این‌گونه خواهد بود: ۴/۳۶۵، ۶/۰۰۵، ۶/۲۰۵ ، ۷/۳۷۵، ۷/۶۵۵، ۷/۸۶۵.

شکل توابع عضویت فازی برای ویژگی «طراحی» به‌صورت شکل ۵ خواهد بود:




*شکل ۵. توابع عضویت فازی برای ویژگی طراحی*

*گام ۵:* توزیع آماری مقدار ویژگی «طراحی» در نمونه‌های آموزشی در فواصل به‌دست آمده که در شکل ۶ نمایش داده شده است، به‌صورت جدول ۷ است.

*جدول ۷. توزیع آماری ویژگی طراحی نمونه‌های آموزشی*

| طراحی | HN | | MN | | SN | | Z | | SP | | MP | | HP | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۴/۳۶۵ | ۴/۳۶۵ | ۴/۰۰۵ | ۴/۰۰۵ | ۶/۲۰۵ | ۶/۲۰۵ | ۷/۳۷۵ | ۷/۳۷۵ | ۷/۶۵۵ | ۷/۶۵۵ | ۷/۸۶۵ | ۷/۸۶۵ | ۱۰ |
| تعداد نمونه‌ها | ۰ | | ۴ | | ۴ | | ۲۰ | | ۰ | | ۲ | | ۰ | |
| خروجی | --- | | ۲ | | ۳ | | ۲ | | --- | | ۳ | | --- | |

براساس قاعده بیان‌شده در گام ۵، نسبت به تولید قوانین فازی اقدام می‌شود. قوانین فازی استنتاج‌شده عبارت خواهند بود از:

*قانون ۱:* اگر طراحی برابر با MN باشد، قیمت متوسط است.

*قانون ۲:* اگر طراحی برابر با SN باشد، قیمت گران است.

*قانون ۳:* اگر طراحی برابر با Z باشد، قیمت متوسط است.

*قانون ۴:* اگر طراحی برابر با MP باشد، قیمت گران است.

*گام ۶:* در این گام باید نرخ دقت طبقه‌بندی[1] مطابق رابطه ۸ برای قوانین تولیدشده محاسبه شود.

رابطه ۸
$$CAR = \frac{\text{نمونه‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند}}{\text{تعداد کل نمونه‌های آموزشی}}$$

نرخ دقت طبقه‌بندی برای هریک از قوانین عبارت است از:

برای قانون ۱: $CAR = \frac{۳}{۴} = ۰/۷۵$ برای قانون ۲: $CAR = \frac{۳}{۴} = ۰/۷۵$

1. Classification Accuracy Rate

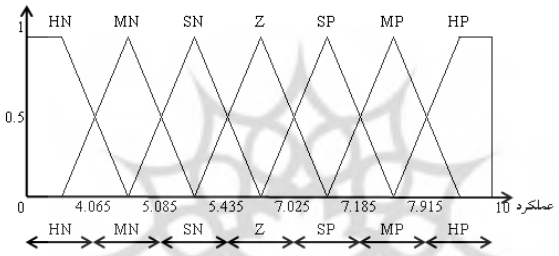
برای قانون ۳: $CAR = \frac{۱۱}{۲۰} = ۰/۵۵$ برای قانون ۴: $CAR = \frac{۱}{۲} = ۰/۵۰$

مقدار آستانه‌ای طبقه‌بندی ($\beta$) برابر با ۰/۹ درنظر گرفته شده است؛ بنابراین هیچ‌یک از قوانین، نرخ دقت برابر یا بزرگ‌تر از $\beta$ ندارند و باید به گام بعد رفت.

*گام ۷:* برای ویژگی «عملکرد» که درجه آنتروپی آن بزرگ‌تر از $\alpha$ و ازلحاظ بزرگی درجه آنتروپی ویژگی دوم است، مقادیر بیشینه و کمینه در خروجی‌های مختلف بدین‌صورت است: ۵/۴۴، ۷/۰۲، ۴/۰۷، ۷/۱۹، ۵/۰۸ و ۷/۹۱.

مرتب‌شده این مقادیر به‌صورت صعودی عبارت است از: ۴/۰۷، ۵/۰۸، ۵/۴۴، ۷/۰۲، ۷/۱۹، ۷/۹۱.

پس از کسر مقدار ۰/۰۰۵ از نقاط واقع در جایگاه‌های فرد و افزودن این مقدار به نقاط واقع در جایگاه‌های زوج، سری جدید بدین‌صورت خواهد بود: ۴/۰۶۵، ۵/۰۸۵، ۵/۴۳۵، ۷/۰۲۵، ۷/۱۸۵، ۷/۱۹ .




*شکل ۶. توابع عضویت فازی برای ویژگی عملکرد*

*گام ۸:* از بین قوانین فازی تولیدشده، قوانینی که نرخ خطای طبقه‌بندی آن‌ها بزرگ‌تر از مقدار آستانه‌ای سطحی ($\gamma$) است، باید مشخص شوند. مقدار آستانه‌ای سطحی $\gamma$ که توسط کاربر تعیین می‌شود، نشان می‌دهد که کدام قوانین فازی باید اصلاح شوند. مقدار $\gamma$ همواره در دامنه $[0,1]$ قراردارد. مقدار آستانه‌ای سطحی $\gamma$ برابر با ۰/۱ درنظر گرفته شده است.

نرخ خطای طبقه‌بندی برای هریک از قوانین فازی تولیدشده عبارت است از:

برای قانون ۱: $CER = \frac{۱}{۴} = ۰/۲۵$ برای قانون ۲: $CER = \frac{۱}{۴} = ۰/۲۵$

برای قانون ۳: $CER = \frac{۹}{۲۰} = ۰/۴۵$ برای قانون ۴: $CER = \frac{۱}{۲} = ۰/۵۰$

*گام ۹:* قانون ۴ بیشترین نرخ خطای طبقه‌بندی را دارد؛ بنابراین به‌عنوان قانون اولیه برای اصلاح انتخاب می‌شود.

قانون ۴: اگر طراحی برابر با MP باشد، قیمت‌گران است.

نمونه آموزشی ۱۹ براساس قانون ۴ به‌درستی طبقه‌بندی نشده است. ازلحاظ ویژگی «عملکرد» نمونه شماره ۱۹ در فاصله Z قرار می‌گیرد.

نمونه آموزشی ۱۱ براساس قانون ۴ به‌درستی طبقه‌بندی شده است. ازلحاظ ویژگی عملکرد، نمونه شماره ۱۱ در فاصله Z قرار نمی‌گیرد؛ بنابراین تنها یک قانون موقت به شرح ذیل ایجاد خواهد شد:

قانون موقتی: اگر عملکرد برابر با Z باشد، قیمت ارزان است.

با برداشتن قسمت شرط قانون شماره ۴ و افزودن آن به قانون موقتی، قانون جدید که به عنوان شماره ۵ شماره‌گذاری می‌شود، به‌صورت زیر ساخته می‌شود:

قانون ۵: اگر طراحی برابر با MP و عملکرد برابر با Z باشد، قیمت ارزان است.

با افزودن مکمل قسمت شرط قانون موقتی به قانون ۴، این قانون نیز به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

قانون ۴: اگر طراحی برابر با MP باشد و عملکرد برابر با Z نباشد، قیمت گران است.

گام ۹ باید تا زمانی‌ادامه یابد که درجه خطای طبقه‌بندی تمامی قوانین کوچک‌تر یا برابر با $\gamma$ شوند. مجدداً درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف محاسبه می‌شود:

*جدول ۸. درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف*

| شماره قانون | ۱ | | ۲ | ۳ | | ۵ | ٤ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طراحی | HN | MN | SN | Z | SP | MP | | HP |
| عملکرد | | | | | | Z | Z' | |
| تعداد نمونه‌ها | ۰ | ۴ | ۴ | ۲۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۰ |
| خروجی | --- | ۲ | ۳ | ۲ | --- | ۱ | ۳ | --- |
| تعداد نمونه‌های نادرست | --- | ۱ | ۱ | ۹ | --- | ۰ | ۰ | --- |
| نرخ خطای طبقه‌بندی | | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۴۵ | | ۰ | ۰ | |

باتوجه به جدول ۸ قانون ۳ بیشترین نرخ خطای طبقه‌بندی را دارد؛ بنابراین این قانون برای اصلاح و بازنگری باید انتخاب شود.

قانون ۳: اگر طراحی برابر با Z باشد، قیمت متوسط است.

نمونه‌های آموزشی که براساس قانون ۳ به‌درستی طبقه‌بندی نشده‌اند، نمونه‌های ۲، ۵، ۷، ۹، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۹ هستند.

ازلحاظ ویژگی «عملکرد» توزیع آماری این نمونه‌ها به‌صورت جدول ۹ هستند.

*جدول ۹. توزیع آماری ویژگی عملکرد نمونه‌های آموزشی*

| عملکرد | HN | MN | SN | Z | SP | MP | HP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد نمونه‌ها | ۰ | ۰ | ۰ | ۹ | ۰ | ۰ | ۰ |

چنانکه می‌بینیم، تمامی ۹ نمونه در فاصله Z قرار می‌گیرند. نمونه‌های آموزشی که براساس قانون ۳ به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند، نمونه‌های ۶، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ هستند. ازلحاظ ویژگی «عملکرد»، ۸ نمونه، یعنی نمونه‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ در فاصله Z قرار می‌گیرند. بیشتر این نمونه‌ها (۱۰ مورد) به کلاس خروجی متوسط تعلق دارند؛ بنابراین تنها یک قانون موقت به شرح ذیل ایجاد خواهد شد:

قانون موقتی: اگر عملکرد برابر با Z باشد، قیمت متوسط است.

با برداشتن قسمت شرط قانون شماره ۳ و افزودن آن به قانون موقتی، قانون جدید که به عنوان شماره ۶ نام‌گذاری می‌شود، به‌صورت زیر ساخته می‌شود:

قانون ۶: اگر طراحی و عملکرد برابر با Z باشد، قیمت گران است.

با افزودن مکمل قسمت شرط قانون موقتی به قانون ۳، این قانون نیز به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

قانون ۳: اگر طراحی برابر با Z باشد و عملکرد برابر با Z نباشد، قیمت متوسط است.

درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف مجدداً به صورت جدول ۱۰ محاسبه شده است.

*جدول ۱۰. درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف*

| شماره قانون | ۱ | ۲ | ٦ | ۳ | ٥ | ٤ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طراحی | HN | MN | SN | Z | SP | MP | HP |
| عملکرد | | | z | | z | | |
| تعداد نمونه‌ها | ۰ | ۴ | ۱۹ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ |
| خروجی | --- | ۲ | ۳ | ۲ | --- | ۳ | --- |
| تعداد نمونه‌های نادرست | --- | ۱ | ۱ | ۰ | --- | ۰ | --- |
| نرخ خطای طبقه‌بندی | | ۰/۲۵ | ۰/۴۷۴ | ۰ | | ۰ | |

بااینکه قانون ۶ بیشترین نرخ خطای طبقه‌بندی را دارد، چون براساس ویژگی «عملکرد» نیز تجزیه و تحلیل شده است، باید با ویژگی دیگری آن را موردآزمون قرار دهیم که در مراحل بعدی این کار صورت خواهد گرفت.

تنها قوانین ۱و ۲ باقی مانده‌اند که ازلحاظ ویژگی عملکرد بررسی نشده‌اند. باتوجه به برابری نرخ خطای طبقه‌بندی برای این دو قانون، به‌دلخواه قانون ۱ را برای بررسی انتخاب می‌کنیم.

قانون ۱: اگر طراحی برابر با MN باشد، قیمت متوسط است.

نمونه آموزشی شماره ۳۰ براساس قانون ۱ به‌درستی طبقه‌بندی نشده است.

ازلحاظ ویژگی «عملکرد» نمونه شماره ۳۰ در فاصله MN قرار می‌گیرد.

نمونه‌های آموزشی ۳، ۴ و ۸ براساس قانون ۱ به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند. ازلحاظ ویژگی عملکرد تنها نمونه شماره ۴ در فاصله MN قرار می‌گیرد.

نمونه شماره ۳۰ خروجی گران و نمونه شماره ۴ خروجی متوسط را معرفی می‌کنند.

با انتخاب دلخواه خروجی گران، یک قانون موقت به‌شرح ذیل ایجاد خواهد شد:

قانون موقتی: اگر عملکرد برابر با MN باشد، قیمت گران است.

با برداشتن قسمت شرط قانون شماره ۱ و افزودن آن به قانون موقتی، قانون جدیدی به صورت زیر ساخته می‌شود:

قانون ۷: اگر طراحی و عملکرد برابر با MN باشد، قیمت گران است.

با افزودن مکمل قسمت شرط قانون موقتی به قانون ۱، این قانون نیز به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

قانون ۱: اگر طراحی برابر با MN باشد و عملکرد برابر با MN نباشد، قیمت متوسط است.

درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف مجدداً به صورت جدول ۱۱ محاسبه شده است.

*جدول ۱۱. درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف*

| شماره قانون | ۷ | ۱ | ۲ | ٦ | ۳ | ۵ | ٤ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طراحی | HN | MN | | SN | Z | | SP | MP | HP |
| عملکرد | | MN | | | z | | | z | |
| تعداد نمونه‌ها | ۰ | ۲ | ۲ | ۴ | ۱۹ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ |
| خروجی | --- | ۳ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | --- | ۳ | --- |
| تعداد نمونه‌های نادرست | --- | ۱ | ۰ | ۱ | ۹ | ۰ | --- | ۰ | --- |
| نرخ خطای طبقه‌بندی | | ۰/۵ | ۰ | ۰/۲۵ | ۰/۴۷۴ | ۰ | | ۰ | |

چون هنوز قانونی باقی مانده است که نرخ خطای طبقه‌بندی آن بزرگ‌تر از $\gamma$ است و هنوز ویژگی «عملکرد» درمورد آن آزمون نشده است، همچنان باید در همین گام به فعالیت ادامه دهیم. نرخ خطای طبقه‌بندی قانون ۲ بزرگ‌تر از صفر است.

قانون ۲: اگر طراحی برابر با SN باشد، قیمت ارزان خواهد بود.

نمونه شماره ۱۵ براساس قانون ۲ به‌درستی طبقه‌بندی نشده است.

ازلحاظ ویژگی «عملکرد» نمونه شماره ۱۵ در فاصله Z قرار می‌گیرد.

نمونه‌های آموزشی ۱، ۱۰ و ۲۸ براساس قانون ۲ به‌درستی طبقه‌بندی شده است. ازلحاظ ویژگی عملکرد، این سه نمونه در فاصله Z قرار می‌گیرند.

همه نمونه‌های مربوط به قانون شماره ۲، چه آن‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند و چه آن هایی که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند، ازلحاظ ویژگی «عملکرد» تفاوتی با هم ندارند؛ لذا باز هم نمونه‌های ۱، ۱۰، ۱۵ و ۲۸ در یک دسته قرار می‌گیرند. برای این دسته خروجی ارزان بیشترین فراوانی را دارد.

یک قانون موقت به شرح ذیل ایجاد خواهد شد:

قانون موقتی: اگر عملکرد برابر با Z باشد، قیمت ارزان است.

با برداشتن قسمت شرط قانون شماره ۲ و افزودن آن به قانون موقتی، قانون جدید که به عنوان شماره ۸ نام‌گذاری می‌شود، به‌صورت زیر ساخته می‌شود:

قانون ۸: اگر طراحی برابر با SN و عملکرد برابر با Z باشد، قیمت ارزان است.

با افزودن مکمل قسمت شرط قانون موقتی به قانون ۲، این قانون نیز بدین‌صورت اصلاح می‌شود:

قانون ۲: اگر طراحی برابر با SN باشد و عملکرد برابر با Z نباشد، قیمت ارزان است.

برای قانون شماره ۲ هیچ نمونه آموزشی وجود ندارد که در حیطه شرط آن قرار گیرد؛ لذا عملاً این قانون از لیست قوانین حذف خواهد شد. درجه خطای طبقه بندی نیز به صورت جدول ۱۲ خواهد بود.

جدول ۱۲. درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف

| شماره قانون | ۷ | ۱ | ۸ | ۲ | ٦ | ۳ | SP | ٥ | MP | ٤ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طراحی | HN | MN | | SN | | Z | | | | HP |
| عملکرد | | MN | NN | Z | Z | Z | | z | | |
| تعداد نمونه‌ها | ۰ | ۲ | ۲ | ۴ | ۰ | ۱۹ | ۰ | ۱ | ۱ | ۰ |
| خروجی | --- | ۲ | ۳ | ۳ | --- | ۲ | --- | ۱ | ۳ | --- |
| تعداد نمونه‌های نادرست | --- | ۰ | ۱ | ۱ | --- | ۹ | --- | ۰ | ۰ | --- |
| نرخ خطای طبقه‌بندی | --- | ۰ | ۰/۲۵ | ۰/۵ | --- | ۰/۴۷۴ | --- | ۰ | ۰ | --- |

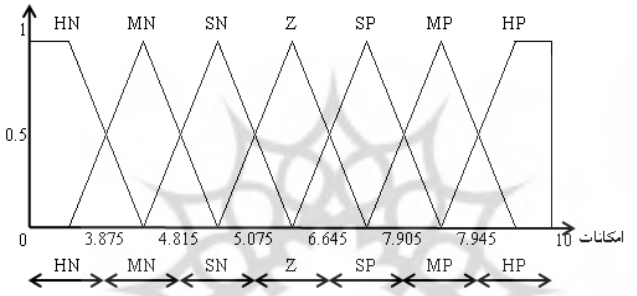
باتوجه به اینکه همچنان قوانینی وجود دارند که نرخ خطای طبقه‌بندی آن‌ها بزرگ‌تر از $\gamma = 0.1$ است یا به عبارت دیگر دقت خطای طبقه‌بندی آن‌ها از $0.9 =$ کمتر است، باید به گام ۷ بازگردیم.

گام ۷: ویژگی سوم و آخرین ویژگی ($W_i$) ازلحاظ بزرگی درجه آنتروپی، از بین ویژگی‌هایی انتخاب می‌شود که درجه آنتروپی آن‌ها بزرگ‌تر از مقدار آستانه‌ای ویژگی ($\alpha = 0.2$) است. گام چهار به‌صورت کامل درمورد این ویژگی باید اجرا شود.

برای ویژگی «امکانات» که درجه آنتروپی آن بزرگ‌تر از$\alpha$ و ازلحاظ بزرگی درجه آنتروپی ویژگی آخر است، مقادیر بیشینه و کمینه در خروجی‌های مختلف به‌صورت زیر است: ۴/۸۲، ۶/۶۵، ۳/۸۸، ۷/۹۵، ۵/۰۸ و ۷/۹۱ .

مرتب‌شده این مقادیر به‌صورت صعودی عبارت است از: ۳/۸۸، ۴/۸۲، ۵/۰۸، ۶/۶۵، ۷/۹۱ و ۷/۹۵.

پس از کسر مقدار ۰/۰۰۵ از نقاط واقع در جایگاه‌های فرد و افزودن این مقدار به نقاط واقع در جایگاه‌های زوج، سری جدید به‌صورت زیر خواهد بود: ۳/۸۷۵، ۴/۸۱۵، ۵/۰۷۵، ۶/۶۴، ۷/۹۰۵ و ۷/۹۴۵. شکل ۷ توابع عضویت فازی برای ویژگی امکانات را نشان می دهد.




*شکل ۷. توابع عضویت فازی برای ویژگی امکانات*

گام ۸: از بین قوانین فازی تولیدشده، باید قوانینی که نرخ خطای طبقه‌بندی آن‌ها بزرگ‌تر از مقدار آستانه‌ای سطحی ($\gamma$) است، مشخص شوند که عبارت‌اند از قوانین ۶، ۷ و ۸.

گام ۹: قانونی که بیشترین نرخ خطای طبقه‌بندی را دارد انتخاب می‌شود که عبارت است از قانون ۷ با نرخ خطای طبقه‌بندی برابر ۰/۵.

قانون ۷: اگر طراحی و عملکرد برابر با MN باشد، قیمت گران است.

نمونه آموزشی ۴ براساس قانون ۷ به‌درستی طبقه‌بندی نشده است. ازلحاظ ویژگی «امکانات» نمونه شماره ۴ در فاصله MN قرار می‌گیرد.

نمونه آموزشی ۳۰ براساس قانون ۷ به‌درستی طبقه‌بندی شده است. ازلحاظ ویژگی امکانات، نمونه شماره ۳۰ در فاصله MN قرار نمی‌گیرد.

باتوجه به خروجی نمونه ۴ که قیمت متوسط است، یک قانون موقت به شرح ذیل ایجاد می شود:

قانون موقتی: اگر امکانات برابر با MN باشد، قیمت متوسط است.

با برداشتن قسمت شرط قانون شماره ۷ و افزودن آن به قانون موقتی، قانون جدید که به عنوان شماره ۹ نام‌گذاری می‌شود، به‌صورت زیر ساخته می‌شود:

قانون ۹: اگر طراحی، عملکرد و امکانات برابر MN باشد، قیمت متوسط است.

با افزودن مکمل قسمت شرط قانون موقتی به قانون ۷، این قانون نیز به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

قانون ۷: اگر طراحی و عملکرد برابر با MN باشد و امکانات برابر MN نباشد، قیمت گران است.

درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف مطابق جدول ۱۳ محاسبه می‌شود.

*جدول ۱۳. درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف*

| شماره قانون | ۹ | ۷ | ۱ | ۸ | ۲ | ٦ | ۳ | ٥ | ٤ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طراحی | MN | | | SN | | Z | | MP | |
| عملکرد | MN | | NN | z | | z | | z | |
| امکانات | MN | NN | | | | | | | |
| تعداد نمونه‌ها | ۱ | ۱ | ۲ | ۴ | ۰ | ۱۹ | ۱ | ۱ | ۱ |
| خروجی | ۲ | ۳ | ۲ | ۳ | --- | ۲ | ۲ | ۱ | ۳ |
| تعداد نمونه‌های نادرست | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | --- | ۹ | ۰ | ۰ | ۰ |
| نرخ خطای طبقه‌بندی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۲۵ | --- | ۰/۴۷۴ | ۰ | ۰ | ۰ |

باتوجه به جدول بالا، قانون ۶ بیشترین نرخ خطای طبقه‌بندی را دارد؛ بنابراین برای اصلاح و بازنگری باید انتخاب شود.

قانون ۶: اگر طراحی و عملکرد برابر با Z باشد، قیمت گران است.

نمونه‌های آموزشی ۲، ۵، ۷، ۹، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۹ براساس قانون ۶ به‌درستی طبقه‌بندی نشده‌اند. ازلحاظ ویژگی «امکانات» توزیع آماری این نمونه‌ها به‌صورت جدول ۱۴ است.

*جدول ۱۴. توزیع آماری ویژگی امکانات نمونه‌های آموزشی*

| امکانات | HN | MN | SN | Z | SP | MP | HP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد نمونه‌ها | ۰ | ۰ | ۱ | ۵ | ۳ | ۰ | ۰ |

فواصلی که تعداد نمونه‌ها در آن صفر است کنار گذاشته می‌شوند؛ پس ادامه تحلیل‌ها باید روی فواصل دیگر که عبارت‌اند از SN، Z و SP صورت گیرد.

نمونه‌های آموزشی ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ براساس قانون ۶ به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند. ازلحاظ ویژگی «امکانات»، توزیع آماری این نمونه‌ها در فواصل SN، Z و SP به‌صورت جدول ۱۵ است.

*جدول ۱۵. توزیع آماری ویژگی امکانات نمونه‌های آموزشی که براساس قانون ۶ به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند*

| امکانات | SN | Z | SP |
|---|---|---|---|
| تعداد نمونه‌ها (از نمونه‌های نادرست طبقه‌بندی شده) | ۱ | ۵ | ۳ |
| تعداد نمونه‌ها (از نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده) | ۰ | ۸ | ۱ |

خروجی که بیشتر نمونه‌ها در هر فاصله معرفی می‌کنند، به‌صورت جدول ۱۶ است:

*جدول ۱۶. خروجی با بیشترین فراوانی برای ویژگی امکانات*

| امکانات | SN | Z | SP |
|---|---|---|---|
| خروجی با بیشترین فراوانی | ۱ | ۲ | ۳ |

به جدول بالا، سه قانون موقت به شرح زیر ایجاد می‌شود:

قانون موقتی الف: اگر امکانات برابر با SN باشد، قیمت ارزان است.

قانون موقتی ب: اگر امکانات برابر با Z باشد، قیمت متوسط است.

قانون موقتی ج: اگر امکانات برابر با SP باشد، قیمت گران است.

با برداشتن قسمت شرط قانون شماره ۶ و افزودن آن به قانون‌های موقتی، قانون‌های جدید زیر ساخته می‌شوند:

قانون ۱۰: اگر طراحی و عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر با SN باشد، قیمت ارزان است.

قانون ۱۱: اگر طراحی، عملکرد و امکانات برابر با Z باشد، قیمت متوسط است.

قانون ۱۲: اگر طراحی و عملکرد برابر با Z و امکانات برابر با SP باشد، قیمت گران است.

با افزودن مکمل قسمت شرط مجموع قانون‌های موقتی به قانون ۶، این قانون به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

قانون ۶: اگر طراحی و عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر با SN، Z و SP نباشد، قیمت گران است.

مجدداً درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف به صورت جدول ۱۷ محاسبه می‌شود:

*جدول ۱۷. نرخ طبقه‌بندی قوانین مختلف*

| شماره قانون | ۹ | ۷ | ۱ | ۸ | ۲ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ٦ | ۳ | ۵ | ٤ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طراحی | MN | | SN | | | | Z | | | MP | | |
| عملکرد | MN | | MN' | Z | Z' | | | Z | | Z' | Z | Z' |
| امکانات | MN | MN' | | | | SN | Z | SP | SN' Z' SP' | | | |
| تعداد نمونه‌ها | ۱ | ۱ | ۲ | ۴ | ۰ | ۱ | ۱۳ | ۴ | ۱۹ | ۱ | ۱ | ۱ |
| خروجی | ۲ | ۳ | ۲ | ۳ | --- | ۱ | ۲ | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | ۳ |
| تعداد نمونه‌های نادرست | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | --- | ۰ | ۵ | ۱ | ۹ | ۰ | ۰ | ۰ |
| نرخ خطای طبقه‌بندی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۲۵ | --- | ۰ | ۰/۳۸۵ | ۰/۲۵ | ۰/۴۷۴ | ۰ | ۰ | ۰ |

قانونی انتخاب می‌شود که بیشترین نرخ خطای طبقه‌بندی را دارد و هنوز ویژگی سوم، یعنی «امکانات»، درمورد آن بررسی نشده است. این قانون عبارت است از قانون ۸، با نرخ خطای طبقه‌بندی برابر ۰/۲۵.

قانون ۸: اگر طراحی برابر با SN باشد و عملکرد برابر با Z باشد، قیمت گران است.

نمونه آموزشی شماره ۱۵ براساس قانون ۸ به‌درستی طبقه‌بندی نشده است. ازلحاظ ویژگی «امکانات»، نمونه شماره ۱۵ در فاصله SP قرار می‌گیرد.

نمونه‌های آموزشی ۱، ۱۰ و ۲۸ براساس قانون ۸ به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند. ازلحاظ ویژگی امکانات، تنها نمونه شماره ۲۸ در فاصله SP قرار می‌گیرد.

باتوجه به خروجی نمونه ۱۵ که قیمت متوسط است، قانون موقت زیر ایجاد می‌شود:

قانون موقتی: اگر امکانات برابر با SP باشد، قیمت متوسط است.

با برداشتن قسمت شرط قانون شماره ۸ و افزودن آن به قانون موقتی، قانون جدید زیر ساخته می‌شود:

قانون ۱۳: اگر طراحی برابر با SN باشد، عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر SN باشد، قیمت متوسط است.

با افزودن مکمل قسمت شرط قانون موقتی به قانون ۸، این قانون نیز به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

قانون ۸: اگر طراحی برابر با SN باشد، عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر SN نباشد، قیمت گران است.

مجدداً درجه خطای طبقه‌بندی قوانین مختلف به صورت جدول ۱۸ محاسبه می‌شود:

*جدول ۱۸. نرخ طبقه‌بندی قوانین مختلف*

| شماره قانون | ۹ | ۷ | ۱ | ۱۳ | ۸ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ٦ | ۳ | ۵ | ٤ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طراحی | | MN | | SN | | | | Z | | | | MP |
| عملکرد | MN | | MN' | Z | | | | Z | | Z' | Z | Z' |
| امکانات | MN | MN' | | SP | SP' | SN | Z | SP | SN' Z' SP' | | | |
| تعداد نمونه‌ها | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ | ۱۳ | ۴ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| خروجی | ۲ | ۳ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | ۳ |
| تعداد نمونه‌های نادرست | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۵ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| نرخ خطای طبقه بندی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰/۳۸ | ۰/۲۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |

باتوجه به اینکه هر سه ویژگی موجود، موردبررسی قرار گرفته‌اند و همچنان قوانینی وجود دارند که نرخ خطای طبقه‌بندی آن‌ها بالاتر از مقدار آستانه‌ای سطحی ($\gamma$)، یعنی صفر است، عملیات تولید قوانین فازی به پایان می‌رسد و طبق روش مورداستفاده، بهترین قوانینی که می توانند رفتار این نمونه‌های آموزشی را توضیح دهند، عبارت‌اند از:

قانون ۱: اگر طراحی برابر با MN باشد و عملکرد برابر با MN نباشد، قیمت متوسط است.

قانون ۳: اگر طراحی برابر با Z باشد و عملکرد برابر با Z نباشد، قیمت متوسط است.

قانون ۴: اگر طراحی برابر با MP باشد و عملکرد برابر با Z نباشد، قیمت گران است.

قانون ۵: اگر طراحی برابر با MP و عملکرد برابر با Z باشد، قیمت ارزان است.

قانون ۶: اگر طراحی و عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر با SN، Z و SP نباشد، قیمت گران است.

قانون ۷: اگر طراحی و عملکرد برابر با MN باشد و امکانات برابر MN نباشد، قیمت گران است.

قانون ۸: اگر طراحی برابر با SN باشد، عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر SN نباشد، قیمت گران است.

قانون ۹: اگر طراحی، عملکرد و امکانات برابر MN باشد، قیمت متوسط است.

قانون ۱۰: اگر طراحی و عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر با SN باشد، قیمت ارزان است.

قانون ۱۱: اگر طراحی، عملکرد و امکانات برابر با Z باشد، قیمت متوسط است.

قانون ۱۲: اگر طراحی و عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر با SP باشد، قیمت گران است.

قانون ۱۳: اگر طراحی برابر با SN باشد، عملکرد برابر با Z باشد و امکانات برابر SN باشد، قیمت متوسط است.

از ۱۰ نمونه آزمایشی برای آزمودن سیستم طبقه‌بندی ساخته‌شده استفاده کردیم. جدول ۱۹ نشان دهنده این ۱۰ نمونه است.

*جدول ۱۹. نمونه‌های آزمایشی*

| شماره نمونه | طراحی | امکانات | عملکرد | قیمت | کلاس |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۶/۸۶ | ۵/۳۵ | ۶ | ۴۸ | ۱ |
| ۲ | ۷/۰۵ | ۶/۳۴ | ۶/۸۵ | ۱۲۵ | ۲ |
| ۳ | ۶/۷۴ | ۶/۷۲ | ۶/۷۶ | ۲۶۲ | ۳ |
| ۴ | ۶/۸۸ | ۶/۶۱ | ۶/۷۴ | ۸۷ | ۲ |
| ۵ | ۷/۲۵ | ۷/۳۶ | ۷/۲۳ | ۱۴۳ | ۲ |
| ۶ | ۶/۴۶ | ۶/۳۱ | ۶/۳۲ | ۴۹۰ | ۳ |
| ۷ | ۶/۳۷ | ۶/۳۳ | ۶/۳۱ | ۴۴۴ | ۳ |
| ۸ | ۶/۲۹ | ۶/۳۱ | ۶/۳ | ۴۵۳ | ۳ |
| ۹ | ۶/۸ | ۶/۶۴ | ۶/۷۶ | ۱۹۷ | ۲ |
| ۱۰ | ۷/۴۹ | ۵/۸۷ | ۷/۱۲ | ۳۸ | ۱ |

جدول ۲۰ نحوه تعیین خروجی نمونه آزمایشی شماره ۱ را نشان می‌دهد.

*جدول ۲۰. نحوه تعیین خروجی نمونه آزمایشی شماره ۱*

| شماره قانون | ۹ | ۷ | ۱ | ۱۳ | ۸ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ٦ | ۳ | ۵ | ٤ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طراحی | | MN | | | SN | | | Z | | | | MP |
| | | ۰ | | | ۰ | | | ۰/۹۰۴۱ | | | | ۰ |
| عملکرد | | MN | MN' | | Z | | | Z | | Z' | Z | Z' |
| | | | | | | | | ۰/۹۰۱۴ | | ۰/۰۹۹ | | |
| امکانات | MN | MN' | | SP | SP' | SN | Z | SP | SN' Z' SP' | | | |
| | | | | | | ۰/۹۰۷ | ۰/۰۹۳ | ۰ | ۰ | | | |
| M | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۹۰۱ | ۰/۰۹۳ | ۰ | ۰ | ۰/۰۹۹ | ۰ | ۰ |

قانون ۱۰ بزرگ‌ترین مقدار M را دارد؛ بنابراین خروجی این قانون که برابر قیمت ارزان است، به‌عنوان خروجی پیشنهادی سیستم طبقه‌بندی برای نمونه آزمایشی شماره یک معرفی می‌شود. قیمت واقعی این نمونه نیز در دسته ارزان قرار دارد.

جدول ۲۱ نشان‌دهنده خروجی‌های پیشنهادی سیستم برای نمونه‌های آزمایشی دیگر است.

*جدول ۲۱. خروجی‌های پیشنهادی و واقعی نمونه‌های آزمایشی*

| شماره نمونه | کلاس واقعی | کلاس پیشنهادی | شماره نمونه | کلاس واقعی | کلاس پیشنهادی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ارزان | ارزان | ۶ | گران | متوسط |
| ۲ | متوسط | متوسط | ۷ | گران | گران |
| ۳ | گران | گران | ۸ | گران | گران |
| ۴ | متوسط | متوسط | ۹ | متوسط | متوسط |
| ۵ | متوسط | متوسط | ۱۰ | ارزان | متوسط |

ضریب عملکرد این سیستم طبقه‌بندی فازی عبارت است از:

$$\text{ضریب عملکرد سیستم طبقه بندی فازی} = \frac{\text{نمونه هایی که به درستی طبقه شده‌بندی اند}}{\text{تعداد کل نمونه های آموزشی}} = \frac{۱}{۱۰} = ۰/۸$$

قوانینی که نحوه تولید آن‌ها در این مقاله تشریح شده است، براساس روش اصلاح‌شده CT08 است و ضریب عملکرد به‌دست آمده نیز از نتایج به‌کارگیری این روش اصلاح‌شده روی داده‌های مربوط به گوشی‌های تلفن همراه است؛ اما اصل این روش نیز توسط نویسندگان روی همین داده پیاده‌سازی شده است که ضریب عملکرد کسب‌شده در این حالت برابر ۰/۶ بوده است؛ بنابراین روش اصلاح‌شده در موضوع موردمطالعه این تحقیق، مقدار ۰/۲ دقت بالاتر را نسبت به اصل روش CT08 نشان می‌دهد که عدد قابل‌تأملی است.

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روش CT08 از جدیدترین روش‌های پیشنهادی تولید قوانین فازی است که براساس نرخ دقت بالایی که در طبقه‌بندی داده‌های استاندارد فیشر در مقایسه با روش‌های پیشنهادی دیگر به‌دست آورده است، از روش‌های معتبر و قابل‌اتکاء به شمار می‌رود. آنچه در این تحقیق موردنظر بوده است، آزمون روش اصلاح‌شده CT08 روی یک حوزه کاربردی و ارائه یک سیستم طبقه‌بندی برای گوشی‌های تلفن همراه بوده است. روش اصلاح‌شده در موضوع گوشی‌های تلفن همراه، ۰/۲ دقت بالاتر را نسبت به اصل روش CT08 نشان می‌دهد. در این تحقیق بین نمونه‌های آموزشی مختلف تأثیرات مختلف درنظر گرفته نشده است؛ اما در تحقیقات آینده می‌توانیم روش CT08 را به‌صورت موزون ساختاربندی و اجرا کنیم. در مطالعاتی مانند این مورد که نمونه‌های آموزشی از برآیند یک نظرسنجی به‌دست می‌آیند، باید به‌میزان تأثیرگذاری نمونه‌ها، مقدارهای وزنی متفاوتی را مثلاً برمبنای تعداد نظرات ارائه‌شده و ...، اختصاص دهیم.

## منابع

1. Hong, T. P., & Lee, C. Y. (1996). Induction of fuzzy rules and membership functions from training examples. Fuzzy Sets and Systems, 84(1), 33˚47.

2. Hong, T. P., & Chen, J. B. (1999). Finding relevant attributes and membership functions. Fuzzy Sets and Systems, 103(3), 389˚404.

3. Castro, J. L., Castro-Schez, J. J., & Zurita, J. M. (1999). Learning maximal structure rules in fuzzy logic for knowledge acquisition in expert systems. Fuzzy Sets and Systems, 101(3), 331˚342.

4. Wu, T. P., & Chen, S. M. (1999). A new method for constructing membership functions and fuzzy rules from training examples. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics˘ Part B: Cybernetics, 29(1), 25˚40.

5. Chang, C. H., & Chen, S. M. (2001). Constructing membership functions and generating weighted fuzzy rules from training data. In Proceedings of the 2001 ninth national conference on fuzzy theory and its applications, Chungli, Taoyuan, Taiwan, Republic of China (pp. 708˚713).

6. Chen, S. M., & Chang, C. H. (2005). A new method to construct membership functions and generate weighted fuzzy rules from training instances. Cybernetics and Systems, 36(4), 397˚414.

7. Chen, S. M., & Tsai, F. M. (2005). A new method to construct membership functions and generate fuzzy rules from training instances. International Journal of Information and Management Sciences, 16(2), 47˚72.

8. Chen, S. M., & Fang, Y. D. (2005a). A new approach for handling the Iris data classification problem. International Journal of Applied Science and Engineering, 3(1), 37˚49.

9. Chen, S. M., & Fang, Y. D. (2005b). A new method to deal with fuzzy classification problems by tuning membership functions for fuzzy classification systems. Journal of Chinese Institute of Engineers, 28(1), 169˚173.

10. Chen, S. M., & Lin, H. L. (2005a). Generating weighted fuzzy rules for handling classification problems. International Journal of Electronic Business Management, 3(2), 116˚128.

11. Chen, S. M., & Lin, H. L. (2005b). Generating weighted fuzzy rules from training instances using genetic algorithms to handle the Iris data classification problem. Journal of Information Science and Engineering, 22(1), 175˚188.

12. Chen, Y. C., Wang, L. H., & Chen, S. M. (2006). Generating weighted fuzzy rules from training data for dealing with the Iris data classification problem. International Journal of Applied Science and Engineering, 4(1), 41˚52.

13. Chen, S. M., & Chen, Y. C. (2002). Automatically constructing membership functions and generating fuzzy rules using genetic algorithms. Cybernetics and Systems, 33(8), 841˚862.

14. Chen, S.M. & Tsai, F.M. (2008). Generating fuzzy rules from instances for fuzzy classification systems. Expert Systems with Applications, 35, 611-621.

15. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8, 338˚353.

16-http://www.gsm.ir/