

## رتبه‌بندی حالات بالقوه زیان آور با استفاده از تحلیل خوشه‌ای فازی

مطالعه موردی: واحد فولاد سازی شرکت فولاد آلیاژی ایران

دکترسید حیدر میرفخرالدینی \*

مسعود پورحمیدی \*\*

فائزه السادات میرفخرالدینی \*\*\*

### چکیده

در این مقاله سعی شده تا با روشن کردن معایب اصلی روش مرسوم FMEA، ضمن تشریح مفهوم تحلیل خوشه‌ای و مشخصات مدل‌های مختلف C-Means به طبقه‌بندی حالات بالقوه زیان آور و ارزیابی شرایط بالقوه برای بروز حوادث در واحد فولاد سازی شرکت فولاد آلیاژی ایران با استفاده از تلفیق روش‌های FMEA و خوشه‌بندی فازی پردازد. در این راستا، حالات بالقوه زیان آور همگن بر مبنای شاخص‌های احتمال بروز، شدت پیامد و تناوب مواجهه به کمک تکنیک خوشه‌بندی فازی C-Means (FCM) شناسایی گردیدند. در این پژوهش، تحلیل خوشه‌ای فازی در شرایط قبل از بهبود و پس از بهبود با استفاده از نرم افزار Data Engine 4.0 صورت گرفت. نتایج این تحقیق در باب تدوین راهبردهای عملی در جهت پیشگیری از وقوع حالات بالقوه زیان آور برای پژوهشگران، مدیران و کارشناسان ایمنی و بهداشت حرفه‌ای مفید خواهد بود. واژگان کلیدی: تحلیل حالات بالقوه خرابی، تحلیل خوشه‌ای تفکیکی، خوشه‌بندی فازی.

---

\* عضو هیأت علمی دانشکده اقتصاد مدیریت و حسابداری یزد، ایران (مسئول مکاتبات) mirfakhr@yahoo.com

\*\* کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان یزد، ایران

\*\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت جهانگردی، گرایش برنامه ریزی توسعه، دانشگاه علامه طباطبائی، ایران

## مقدمه

تحلیل حالات بالقوه خرابی روشی گروهی، نظام‌مند و آینده‌نگر برای شناسایی و پیشگیری از وقوع مشکل در محصول و فرآیند آن است. این روش برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ توسط ناسا پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۷۷ توسط شرکت فورد توسعه یافت. هدف FMEA رتبه بندی درجه رجحان ریسک در طراحی محصول یا طرح ریزی فرایند جهت تخصیص منابع محدود به عوامل مخاطره آمیز می باشد. در حال حاضر، FMEA در طراحی سیستم‌ها و زیر سیستم‌های مربوط به آن، طراحی قطعات جدید یا اعمال تغییرات در طرح‌های جاری، طراحی و توسعه فرایندهای تولید یا مونتاژ و طراحی و توسعه خدمات کاربرد دارد [۲، ۱]. لیکن علی‌رغم مزایای بسیار این روش، برخی از پژوهشگران (گیلکریست، ۱۹۹۳؛ دایا و رئوف، ۱۹۹۶؛ دنک، ۱۹۸۹) منطبق و تفکر عقلایی فراروی FMEA مرسوم را مورد انتقاد قرار داده اند. برخی از این استدلال‌ها عبارتند از: ارزیابی RPN کلیه نیازهای سنجش را برآورده نمی‌نماید؛ درجه رجحان ریسک به روش مرسوم، در احتساب اهمیت نسبی میان شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف مسامحه می‌نماید؛ درجه رجحان ریسک به روش مرسوم، توان تبیین میزان اثربخشی شاخص‌های صحیح را ندارد؛ دلیل استفاده از حاصل ضرب و عدم استفاده از عملگرهای دیگر مشهود نمی‌باشد؛ مجموعه‌های متفاوتی از  $S_d$  و  $S_f$  درجه رجحان ریسک مشابهی ایجاد می‌نمایند؛ اگرچه مفهوم ریسک کاملاً متفاوت است، رابطه میان  $S_f$  و مقیاس احتمال وقوع غیر خطی است، در حالی رابطه میان  $S_d$  و مقیاس احتمال وقوع خطی است.

جهت ترفیع ضعف‌های مذکور، جان بالز، نخستین بار در مقاله‌ای که در سال ۱۹۹۵ انتشار یافت، از رابطه اگر، آنگاه برای توسعه FMEA در محیط فازی استفاده نمود. بدین ترتیب که تمامی حالت‌های بین سه پارامتر شدت خطا، احتمال وقوع خطا و احتمال کشف خطا را از طرق رابطه اگر، آنگاه مورد محاسبه قرار می‌دهد. او و همکارانش در مقاله‌ای دیگر که در سال ۱۹۹۶ به چاپ رسید، از نقشه‌ها و گراف‌های شناسانده فازی برای نشان دادن روابط بین علل اثرات خطا استفاده نمودند. به دلیل آنکه نقشه‌ها و گراف‌های فازی می‌توانند نسبت‌ها و روابط بین اثر و علت را نشان دهند، لذا منطبق فازی جهت بهبود ارزیابی ریسک‌های بالقوه و ارتقاء قابلیت علت یابی و اولویت

بندی روش FMEA مورد توجه قرار گرفت. در سال ۲۰۰۲، زو و همکارانش از این رویکرد در ارزیابی خطرات بالقوه سیستم موتور استفاده نمودند. در ادامه، استدلال فازی و رابطه خاکستری به همراه FMEA جهت تعدیل ضعف‌های روش مرسوم FMEA در صنایع دریایی پیشنهاد گردید. علاوه بر این گایمرس و لاپا در سال ۲۰۰۴ نیز از این رویکرد در ارتقاء رویه رتبه‌بندی ریسک‌های بالقوه در نیروگاه‌های هسته‌ای بهره‌گرفتند. روش دیگری در مورد FMEA فازی نیز توسط کلین و چن مطرح گردید که یک مدل قطعی سازی نسبتاً آسان را جهت بدست آوردن مقادیر قطعی متغیرهای زبانی ارائه نمودند [۸،۹،۱۶،۱۸،۲۱]. در مطالعه حاضر با توسعه کاربرد روش‌های فازی بجای استفاده از مدل پایگاه قواعد فازی، ضرب مثلثی و گراف‌های فازی که در مقالات یاد شده به کار رفته‌اند، دسته‌بندی حالات بالقوه زیان آور با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی انجام می‌شود. خوشه‌بندی فازی این امکان را فراهم می‌آورد که علاوه بر استفاده از دانش افراد خبره، روابط درون مجموعه نیز در نظر گرفته شود.

## چارچوب نظری

### تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای به دنبال سازماندهی مجموعه‌ای از داده‌ها در یک سری خوشه است به طوری که داده‌ها (که معمولاً هر کدام نشان دهنده برداری از مقادیر کمی در یک فضای چند بعدی است) در هر خوشه بالاترین درجه شباهت را دارا بوده و داده‌های متعلق به خوشه‌های مختلف دارای حداکثر درجه عدم شباهت هستند. در تحلیل خوشه‌ای معمولاً  $p$  صفت بر روی  $n$  مورد (آزمودنی) اندازه‌گیری و ماتریس داده‌های خام تشکیل می‌شود. سپس ماتریس داده‌های خام به ماتریس شباهت‌ها یا فاصله‌ها تبدیل شده و با استفاده از یکی از تکنیک‌های طبقه‌بندی، موارد (آزمودنی‌ها) را بر اساس شباهت بین آنها گروه‌بندی می‌نمایند. هدف از تشکیل کلاسترها یا دسته‌ها آن است که در هر دسته مواردی را قرار دهیم که دارای واریانس یا تنوع کمتری نسبت به واریانس و تنوع موجود بین دسته‌ها باشند. علاوه بر تعیین دسته‌های واقعی آزمودنی‌ها، کاربرد دیگر تحلیل خوشه‌ای کاهش تعداد متغیرها (صفات) است. در

تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup> نیز تعداد داده‌ها کاهش می‌یابد و مجموعه‌ای از متغیرهای وابسته به هم به تعداد کمتری از متغیرها مستقل به هم تبدیل می‌شوند. لذا تحلیل مؤلفه اصلی، خود یک تحلیل خوشه‌ای است که در آن تاکید بر ستون‌های مربوط به ماتریس داده‌ها یعنی متغیرها است. در تابع تشخیص<sup>۲</sup> نیز بحث گروه بندی و تفاوت بین گروه‌ها مطرح است. ولیکن تفاوت آن با تحلیل خوشه‌ای در آن است که در آنالیز تشخیصی گروه‌ها از قبل معلوم و مشخص هستند و تابع تشخیص بیشتر پیرامون تفاوت آنها و انتساب افراد به گروه‌ها بحث می‌نماید، اما در تحلیل خوشه‌ای گروه‌ها از قبل معلوم نیستند. روش‌های مختلفی برای تحلیل خوشه‌ای مطرح شده است که مهمترین آنها تکنیک‌های سلسله مراتبی<sup>۳</sup> و تفکیکی (تجزیه‌ای)<sup>۴</sup> است. روش‌های سلسله مراتبی کاملاً سلسله مراتبی عمل می‌نمایند، بدین معنا که داده‌های ورودی در یک دنباله مرتب قرار می‌گیرند. روش‌های سلسله مراتبی می‌توانند تراکمی<sup>۵</sup> یا تفرقی<sup>۶</sup> باشند. در روش تراکمی دنباله‌ای از بخش‌ها ایجاد می‌شود که از خوشه‌بندی که در آن هر داده در یک خوشه قرار می‌گیرد شروع و با خوشه‌یابی که در آن تمام داده‌ها در یک خوشه قرار می‌گیرند، خاتمه می‌یابد. در روش تفرقی، ابتدا همه داده‌ها در یک خوشه قرار می‌گیرند و سپس عملیات شکستن تا رسیدن به یک حد توقف که معمولاً پیش از رسیدن به خوشه‌هایی با یک عضو می‌باشد، ادامه می‌یابد. تقسیم بندی یک مجموعه داده به تعداد خوشه از پیش تعیین شده مبحث بسیار مهمی در تحلیل داده، بازشناسی الگو و پردازش تصویر محسوب می‌شود. به طور کلی، مراحل روش‌های تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی شامل جمع آوری ماتریس داده‌ها، استاندارد کردن ماتریس داده‌ها در صورت لزوم، محاسبه شباهت بین جفت‌های افراد ماتریس داده‌های اصلی یا داده‌های استاندارد شده، استفاده از یک روش خوشه‌بندی برای دسته بندی شباهت‌ها و تشکیل نمودار درختی یا دندروگرام<sup>۷</sup> است. این نمودار شباهت بین تمام افراد (آزمودنی‌ها) را به صورت جفتی و به صورت مراتبی نشان می‌دهد. با استفاده

---

1- Principal component analysis

2- Discriminant function

3- Hierarchical

4- Partitional

5- Agglomerative

6- Divisive

7- Dendrogram

از دندوگرام می‌توان دسته‌ها را پیدا نمود. در روش‌های تفکیکی، بدست آوردن یک تفکیک از داده‌های ورودی در تعداد مشخصی از خوشه‌ها مورد نظر است. چنین روش‌های معمولاً دنبال تفکیکی هستند که یک تابع کارایی را بهینه نماید. برای بهبود کیفیت خوشه‌بندی، الگوریتم چندین بار و در نقاط شروع مختلف اجرا می‌شود و بهترین وضعیت بدست آمده از کل دفعات اجرا به عنوان خروجی خوشه‌بندی انتخاب می‌شود. به طور کلی، مراحل روش‌های تحلیل خوشه‌ای تفکیکی (تجزیه‌ای) شامل شناسایی دسته‌های اولیه، انتساب افراد به دسته‌های اولیه و تعیین محل مجدد افراد می‌باشد. لذا، برخلاف روش‌های سلسله‌مراتبی در روش‌های تفکیکی، امکان تصحیح بخش اولیه توسط تعیین مجدد افراد وجود دارد. روش‌های تفکیکی به دو بخش خوشه‌بندی سخت و خوشه‌بندی فازی تقسیم می‌شوند. در خوشه‌بندی سخت، هر داده به یک و فقط یک خوشه نسبت داده می‌شود. در حالیکه در خوشه‌بندی فازی، یک تفکیک فازی صورت می‌گیرد. بدین معنا که هر داده با یک درجه عضویت به هر خوشه متعلق است. در شرایط واقعی خوشه‌بندی فازی بسیار طبیعی‌تر از خوشه‌بندی سخت است. چون داده‌های موجود در مرز خوشه‌ها نیستند و با درجه تعلق بین ۰ تا ۱ که نشان دهنده تعلق نسبی آنها است، تفکیک می‌شوند. روش‌های k-means و Fuzzy c-means از جمله روش‌های تفکیکی می‌باشند [۶، ۷]. تفاوت اصلی این دو روش در این است که روش FCM دارای پارامترهای بیشتری از قبیل فازی‌کننده می‌باشند. همچنین در روش FCM، تفکیک نهایی یک مجموعه داده در خوشه‌های متفاوت به اندازه روش k-means شفاف نمی‌باشد [۱۵].

### مدل‌های خوشه‌بندی C-Means

فرایند اکتشافی داده مبتنی بر پارادایمی است که پارادایم اطلاعاتی  $(\mathcal{N}_E, \mathcal{N}_T)$  نامیده می‌شود که در آن  $\mathcal{N}_E$  اطلاعات تجربی (ماتریس داده‌ها) و  $\mathcal{N}_T$  اطلاعات نظری (مدل‌ها، مفروضات تئوری و ...) می‌باشد. در واقع تحلیل اکتشافی داده‌ها در چارچوب آماری نشان دهنده مقوله ویژه‌ای از اکتساب دانش است. بنابراین تحلیل اکتشافی داده‌ها می‌تواند به عنوان یک فرایند ذهنی شرح داده شود که از اطلاعات

ابتدایی (تجربی و نظری) آغاز می‌گردد و از طریق چندین رویه محاسباتی اطلاعات بیشتری را بدست می‌آورد. تحلیل خوشه‌ای نیز همانند رویه‌های متعدد اکتشاف داده‌ها می‌تواند مبتنی بر پارادایم اطلاعاتی باشد. در این راستا، ماهیت اطلاعاتی عناصر رویه‌های خوشه‌بندی را به صورت داده‌های مشاهده شده و مدل‌های خوشه‌بندی (اطلاعات تجربی و اطلاعات نظری) می‌شناسیم. لذا،  $\mathcal{K}_E$  و  $\mathcal{K}_T$  به ترتیب بیانگر عدم قطعیت تجربی و عدم قطعیت نظری می‌باشند. در اینجا، عدم قطعیت تجربی و نظری می‌تواند با استفاده از عبارت "فازی" بیان گردد (زاده، ۱۹۶۵). عدم قطعیت نظری در مدل خوشه‌بندی بویژه در تخصیص شی داده‌ها به خوشه‌ها لحاظ می‌گردد. همچنین جهت توجه به عدم قطعیت نظری در فرایند خوشه‌بندی، درجه عضویت هر شی داده به خوشه‌های گوناگون در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر، عدم قطعیت تجربی در ارتباط با عدم صحت و دقت در نظر گرفته می‌شود که در مورد ادراک بیان شده انسان در قضاوت‌ها نظیر موقعیت مشاهده شده (عالی، خوب، عادلانه)، داده‌های با ارزش فاصله‌ای (تعداد ضربان، دما) و اندازه‌گیری‌های مبهم صادق است. با در نظر گرفتن ماهیت ممکن عناصر اطلاعاتی (قطعی یا فازی) چهار موقعیت اطلاعاتی بدست می‌آید [۱۱]. جداول ۱ و ۲، موقعیت‌های مختلف اطلاعاتی را در مدل‌های خوشه‌بندی C-Means نشان می‌دهند. بدیهی است چارچوب جامع مدل‌های خوشه‌بندی C-Means، زمینه لازم برای تحلیل خوشه‌ای سایر ورودی‌ها اعم از قطعی یا فازی را فراهم می‌آورد.

جدول ۱. موقعیت‌های مختلف اطلاعاتی در مدل‌های خوشه‌بندی C-Means

اطلاعات عمومی	پارادایم اطلاعاتی	نوع
$X \equiv \{x_{ij}: i = 1, \dots, c; j = 1, \dots, n\}$ $x_{ij}$ نشان دهنده زامین متغیر قطعی مشاهده شده در شی $i$ ام است	$\mathfrak{S}_E$ CRISP $\mathfrak{S}_T$ CRISP پارادایم قطعی کامل (قطعی بودن داده‌ها و خوشه‌ها)	A
$X \equiv \{x_{ij} = (\alpha_{ij}, \beta_{ij}): i = 1, \dots, c; j = 1, \dots, n\}$ $\alpha_{ij}$ نشان دهنده مرکز و $\beta_{ij}$ نشان دهنده پراکندگی زامین متغیر فازی مشاهده شده در شی $i$ ام است. به طور معمول یک تابع پارامتریک (تابع عضویت) در فاصله $[\alpha_{ij} - \beta_{ij}, \alpha_{ij} + \beta_{ij}]$ تعریف می‌گردد.	$\mathfrak{S}_E$ FUZZY $\mathfrak{S}_T$ CRISP پارادایم فازی جزئی (فازی بودن داده‌ها و قطعی بودن خوشه‌ها)	B
$X \equiv \{x_{ij}: i = 1, \dots, c; j = 1, \dots, n\}$ $x_{ij}$ نشان دهنده زامین متغیر قطعی مشاهده شده در شی $i$ ام است	$\mathfrak{S}_E$ CRISP $\mathfrak{S}_T$ FUZZY پارادایم فازی جزئی (قطعی بودن داده‌ها و فازی بودن خوشه‌ها)	C
$X \equiv \{x_{ij} = (\alpha_{ij}, \beta_{ij}): i = 1, \dots, c; j = 1, \dots, n\}$ $x_{ij}$ نشان دهنده زامین متغیر فازی مشاهده شده در شی $i$ ام است	$\mathfrak{S}_E$ FUZZY $\mathfrak{S}_T$ FUZZY پارادایم فازی کامل (فازی بودن داده‌ها و خوشه‌ها)	D

منبع: درسوا و جیوردانی [۱۱]

جدول ۲. موقعیت‌های مختلف اطلاعاتی در مدل‌های خوشه‌بندی C-Means

نمایش گرافیکی	اطلاعات نظری	نوع
	$\min: \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij} (x_j - v_i)^2$ $\left( \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, u_{ij} \in \{0,1\}, m = 1 \right)$	A
	$\min: \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij} (x_j - v_i)^2$ $\left( \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, u_{ij} \in \{0,1\}, m = 1 \right)$	B
	$\min: \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m (x_j - v_i)^2$ $\left( \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, u_{ij} \in \{0,1\}, m > 1 \right)$	C
	$\min: \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m (x_j - v_i)^2$ $\left( \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, u_{ij} \in \{0,1\}, m > 1 \right)$	D

منبع: درسوا و جیوردانی [۱۱]

## روش پژوهش

### روش گردآوری داده‌ها و تعریف متغیرها

روش بررسی حاضر با توجه به ماهیت موضوع و هدف‌های مورد نظر مطالعه موردی است. جمع آوری داده‌ها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، روش‌های پیمایشی و دلفی صورت گرفت. در مرحله اول، شاخص‌های انتخابی برای خوشه‌بندی از طریق مطالعه کتب و مقالات بین‌المللی گردآوری شد و بعد از گفتگو با ۲۴ نفر از خبرگان در این زمینه (مدیران و کارشناسان واحد فولاد سازی، اساتید و متخصصان ایمنی و بهداشت حرفه‌ای)، ۳ شاخص نهایی برای خوشه‌بندی انتخاب گردید. در مرحله دوم، شناسایی حالات بالقوه زیان آور واحد فولاد سازی با استفاده از روش دلفی انجام گرفت و اجماع گروهی در نتایج در راند چهارم بدست آمد. بر این اساس، کمیته خبرگان ۵۵ ریسک شناخته شده را به تفکیک فعالیت‌ها رده بندی و پیامدهای حاصل از آنها را شناسایی نمود. در مرحله سوم، جهت ارزیابی حالات زیان آور پرسشنامه‌ای مبتنی بر سه شاخص احتمال بروز، شدت پیامدها و تناوب مواجهه با طیف امتیاز دهی ۱ تا ۱۰ طراحی گردید. جداول ۳، ۴ و ۵ عبارات توصیفی مربوط به هر یک از رتبه‌ها را در شاخص‌های مذکور نشان می‌دهد.

جدول ۳. رتبه بندی شاخص احتمال بروز (P)

عبارات توصیفی	شاخص احتمال
اجتناب ناپذیر	۱۰
تقریباً حتمی	۹
بسیار محتمل	۸
محتمل	۷
بیش از کاملاً تصادفی	۶
کاملاً تصادفی	۵
کمتر از کاملاً تصادفی	۴
نامحتمل	۳
بسیار نامحتمل	۲
تقریباً نادر	۱



جدول ۴. رتبه بندی شاخص شدت پیامدها (S)

عبارات توصیفی	شاخص شدت پیامد
مرگ	۱۰
ازکارافتادگی کلی دائمی	۹
ازکارافتادگی شدید دائمی	۸
ازکارافتادگی جزئی دائمی	۷
غیبت بیش از ۳ هفته یا از کارافتادگی برگشت پذیر	۶
غیبت بیش از ۳ هفته با بهبودی کامل	۵
غیبت بیش از ۳ روز و کمتر از سه هفته با بهبودی کامل	۴
غیبت کمتر از ۳ روز با بهبودی کامل	۳
صدمه جزئی بدون هدر رفتن وقت و بهبودی کامل	۲
صدمه انسانی خاصی انتظار نمی رود	۱

جدول ۵. رتبه بندی شاخص تناوب مواجهه (F)

عبارات توصیفی	شاخص تناوب
خطر دائماً وجود دارد	۱۰
خطر هر ثانیه یکبار بروز می کند	۹
خطر هر دقیقه یکبار بروز می کند	۸
خطر هر ۳۰ دقیقه یکبار بروز می کند	۷
خطر هر ساعت یکبار بروز می کند	۶
خطر هر شیفت یکبار بروز می کند	۵
خطر هر هفته یکبار بروز می کند	۴
خطر هر ماه یکبار بروز می کند	۳
خطر هر سال یکبار بروز می کند	۲
خطر ۵ سال یکبار بروز می کند	۱

### روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

در این پژوهش، نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها با استفاده از روش میانگین گیری دلفی تلفیق شدند. همچنین در مرحله چهارم، بعد از تبیین امتیاز هر یک از حالات بالقوه زیان آور در عوامل موثر، روش خوشه‌بندی فازی C-Means (FCM) برای خوشه‌بندی ریسک‌های بالقوه استفاده گردید. تحلیل خوشه‌ای فازی با استفاده از نرم افزار Data Engine 4.01 انجام گردید. در ادامه به شرح مختصری از این تکنیک می‌پردازیم. در مرحله پنجم، کمیته خبرگان با توجه به رتبه‌های تعیین شده راه کارهای عملی را جهت

بهبود هر یک ریسک‌ها شناسایی نمود. راه کارهای شناسایی شده پس از غربال‌گری در کمیته راهبردی به اجرا گذاشته شدند. در مرحله ششم، حالات بالقوه زیان آور پس از بهبود خوشه‌بندی شدند و نتایج با شرایط قبل از بهبود مقایسه گردید. بدیهی است جهت ورود داده‌های ریسک‌هایی که بهبود نیافته اند از داده‌های پیش از بهبود استفاده شده است.

### روش FCM<sup>۱</sup>

روسپینی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۹ اولین مدل خوشه‌بندی با ایده فازی را مطرح نمود. روش FCM یکی از معروف‌ترین روش‌های خوشه‌بندی فازی است [۱۳]. در این روش میزان عضویت یا تعلق هر شیء داده به هر خوشه در ماتریس عضویت ( $U = [u_{ij}]_{c \times n} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ ) که  $c$  تعداد خوشه‌ها و  $n$  تعداد اشیاء داده است) مشخص می‌شود. در این روش دو محدودیت اصلی وضع شده است؛ اول اینکه هیچ خوشه‌ای نباید تهی باشد ( $0 < \sum_{j=1}^n u_{ij} < n \forall i \in \{1, \dots, c\}$ ) و محدودیت دوم که محدودیت نرمال سازی نامیده می‌شود، بیان می‌کند که مجموع درجه عضویت هر داده به همه خوشه‌ها باید برابر یک باشد ( $\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1 \forall j \in \{1, \dots, n\}$ ).

$$M_{FCM} = \{U \in [0,1]^{c \times n} \mid \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, j = 1, \dots, n, \sum_{j=1}^n u_{ij} > 0, i = 1, \dots, c\}$$

روش FCM سعی می‌کند تا برای یک مجموعه نقاط داده، افزاهایی ( $c$  عدد خوشه به صورت فازی) بیابد که مجموع پراکنده‌گی‌های تمام متغیرهای  $Z$  در هر خوشه  $i$  را کمینه نماید. بر این اساس، تابع هدف FCM به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$J_{FCM}(U, V; X) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m (x_j - v_i)^2$$

که در آن  $d_{ij} = (x_j - v_i)$  فاصله بین داده  $x_j$  و مرکز خوشه  $i$  است و  $m$  میزان فازی بودن است (معمولاً  $m = 2$ ). پس اگر  $m$  به سمت یک ( $m \rightarrow 1$ ) میل کند، خوشه‌بندی قطعی یا سخت‌تر می‌شود و بر عکس اگر  $m$  به سمت بی‌نهایت ( $m \rightarrow \infty$ ) میل کند، خوشه‌بندی فازی تر خواهد شد. البته تابع  $J_{FCM}$  را نمی‌توان به طور مستقیم کمینه نمود، بنابراین باید از الگوریتم‌های تکراری استفاده کرد. برای حل این مشکل از جایگزینی بهینه به صورت زیر استفاده می‌شود:

1- Fuzzy C-Means

2- Ruspini

الف) یک عدد مثبت کوچک برای  $\varepsilon$  و مقادیر مناسبی برای  $m$ ،  $c$  را انتخاب (با استفاده از توابع روایی) و ماتریس  $V$  (مرکز یا میانه خوشه‌ها) را به صورت تصادفی تشکیل و مقدار  $t$  را نیز صفر قرار می‌دهیم.

ب) ماتریس عضویت را در  $t = 0$  محاسبه یا در  $t > 0$  بروز رسانی می‌نماییم. یعنی درجه عضویت برای پارامترهای ثابتی از خوشه‌ها به صورت زیر بهینه‌سازی می‌شوند.

$$u_{ij}^{(t+1)} = \frac{\left(\frac{1}{|x_j - v_i|^2}\right)^{\frac{1}{m-1}}}{\sum_{l=1}^c \left(\frac{1}{|x_j - v_l|^2}\right)^{\frac{1}{m-1}}} = \frac{1}{\sum_{l=1}^c \left(\frac{|x_j - v_l|}{|x_j - v_i|}\right)^{\frac{2}{m-1}}},$$

$$l = 1, \dots, N$$

در این رابطه مشاهده می‌شود که درجه عضویت علاوه بر فاصله همان داده تا خوشه به فاصله بین این داده و خوشه‌های دیگر نیز بستگی خواهد داشت. (ج) در گام آخر، ماتریس مرکز خوشه‌ها را با درجه عضویت‌های بهینه‌شده، بروز رسانی می‌نماییم.

$$v_i^{(t+1)} = \frac{\sum_{j=1}^n (u_{ij}^{(t+1)})^m x_j}{\sum_{j=1}^n (u_{ij}^{(t+1)})^m}$$

فرمول بروز رسانی ماتریس مرکز خوشه‌ها به پارامترهایی نظیر مکان، شکل و اندازه خوشه‌ها وابسته است. علاوه بر پارامترهای مذکور، نحوه اندازه‌گیری فاصله بسیار مؤثر خواهد بود.

د) تکرار گام‌های ب و ج تا زمانی که  $|U^{(t+1)} - U^{(t)}| < \varepsilon$  یا  $|V^{(t+1)} - V^{(t)}| < \varepsilon$  برقرار باشند [۱۹، ۳، ۵].

### سنجش روایی روش خوشه‌بندی FCM

در سال‌های اخیر، معیارهای زیادی جهت سنجش روایی روش خوشه‌بندی FCM مطرح گردیده است. کلیه این معیارها در دو طبقه اصلی تفکیک گردیده‌اند. نوع اول مبتنی بر افزایش فازی مجموعه نمونه و نوع دیگر بر اساس ساختار هندسی مجموعه نمونه

است. ایده اصلی توابع روایی مبتنی بر افراز فازی این است که کاهش میزان فازی بودن باعث افزایش عملکرد می گردد. توابع معرف نوع اول ضریب افراز<sup>۱</sup> (بیزدک، ۱۹۷۴) و آنتروپی افراز<sup>۲</sup> (بیزدک، ۱۹۷۵) می باشد. تحقیقات کاربردی نشان دهنده آن است که بیشینه سازی  $V_{pc}$  و کمینه سازی  $V_{pe}$  منجر به تفسیر بهتری از نمونه‌های مورد نظر می گردد. فقدان ارتباط مستقیم با مشخصه هندسی و همچنین تمایل به افزایش یکنواخت  $V_{pc}$  و کاهش یکنواخت  $V_{pe}$  با افزایش تعداد خوشه‌ها (c) از مهمترین نقایص این دو روش می باشند. روش‌های تابع روایی سوچنو - فوکویاما ( $V_{fs}$ ) سوچنو و فوکویاما، (۱۹۸۹) و تابع ایکسی بنی ( $V_{xb}$ ) (ایکسی و بنی، ۱۹۹۱) از جمله این روش‌ها می باشند. همچنین نتایج تحقیقات کاربردی نشان می دهد که کمینه سازی توابع  $V_{fs}$  و  $V_{xb}$  منجر به تفسیر مناسب‌تری می گردد. زیرا تابع  $V_{xb}$  با افزایش تعداد خوشه‌ها (c) به طور یک نواخت کاهش می یابد. لذا یک تابع جریمه می تواند برای آن وضع گردد. ولیکن حتی بدون وضع تابع جریمه، تابع  $V_{xb}$  دارای عملکرد مناسبی می باشد. بدیهی است درجه فازی بودن و متراکم بودن یک خوشه با کاهش تعداد خوشه‌ها کاهش می یابد. جدول ۶ نشان دهنده توابع سنجش روایی روش‌های خوشه‌بندی به طور خلاصه می باشد. همچنین قابل ملاحظه است که در برخی موارد این توابع نمی توانند به طور هم زمان به مقادیر بهینه خود دست یابند [۱۰، ۱۹، ۲۰].

جدول ۶. توابع سنجش روایی روش خوشه‌بندی FCM

تابع روایی	تابع هدف	جزء بهینه
ضریب افراز	$V_{pc}(U) = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ij}^2}{n}$	$Max(V_{pc})$
آنتروپی افراز	$V_{pe}(U) = -\frac{1}{n} \left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c [u_{ij} \log u_{ij}] \right\}$	$Min(V_{pe})$
تابع سوچنو، فوکویاما	$V_{fs}(U) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ij}^2 (\ X_j - v_i\ ^2 - \ v_i - \bar{v}\ ^2)$	$Min(V_{fs})$
تابع ایکسی، بنی	$V_{xb}(U) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^2 \ X_j - v_i\ ^2}{n * (\min_{i=1, \dots, c} \{ \ v_i - \bar{v}\ ^2 \})}$	$Min(V_{xb})$

منبع: وانگ و همکاران [۲۰]

جدول ۷، کمترین و بیشترین مقادیر شاخص‌های روایی را نشان می دهد.

1- Partition coefficient  
2- Partition entropy

جدول ۷. مقادیر شاخص‌های روایی در روش خوشه‌بندی FCM

افراز قطعی	بیشترین مقدار	کمترین مقدار	شاخص روایی
۱	۱	$1/c$	ضریب افراز (PC)
Max		۰	توان نسبت (PEX)
۰	$\ln c$	۰	آنتروپی افراز (PE)

### یافته‌های پژوهش

پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از نظرات خبرگان در پژوهش و تلفیق آنها با استفاده از میانگین گیری دلفی، فرم شناسایی خطرات، عوامل زیان آور و ارزیابی ریسک واحد فولاد سازی طراحی گردید (جداول ۱۱-۸) و بر مبنای آن ماتریس‌های تصمیم در شرایط قبل از بهبود و پس از بهبود طراحی شد. این ماتریس‌ها متشکل از ۵۵ سطر (تعداد ریسک‌ها) و ۳ ستون (تعداد شاخص‌ها) می‌باشد.

جدول ۸. فرم شناسایی خطرات، عوامل زیان آور و ارزیابی ریسک واحد فولاد سازی (نسوز)

ردیف	فعالیت	خطر	پیامد	F	S	P	اقدام کنترلی	مسئول انجام	تاریخ انجام	PRE	SRE	FRE	شماره ریسک
۱	کار در محیط فولادسازی	گرد و غبار	آسیب ریوی	۵	۷	۵							۱
			آسیب چشمی	۵	۳	۴							
		آلودگی صوتی	آسیب شنوایی	۶	۷	۷	استفاده از گوشی ایر پلاک	اپراتورهای مربوطه	بطور مستمر	۷	۲	۶	
۲	فعالیت در واحد نسوز	سوراخ شدن پاتیل	ریزش مذاب، مرگ	۷	۱۰	۴	دقت در نسوزکاری و چک نمودن مداوم پاتیل	نسوزکارها	بطور مستمر	۲	۱۰	۵	۴

جدول ۹. ادامه فرم شناسایی خطرات، عوامل زیان آور و ارزیابی ریسک واحد فولاد سازی (نسوز)

ردیف	فعالیت	خطر	پیامد	F	S	P	اقدام کنترلی	مسئول انجام	تاریخ انجام	PRE	SRE	FRE	شماره ریسک	
۳	برشکاری و تمیز کردن نازل و صفحات پاتیل	سقوط پاتیل	ریزش مذاب، مرگ	۷	۱۰	۳	PM بموقع جرتفیل	تعمیرات	بطور مستمر	۱	۱۰	۵	۵	
		پاشش مواد مذاب	سوختگی	۶	۴	۶								۶
		انفجار شیلنگ اکسیژن	سوختگی شدید	۶	۵	۶	استفاده از شیلنگ استاندارد و کنترل از نظر نداشتن نشئی و عدم تماس با روغن	اپراتورهای مربوطه	بطور مستمر	۵	۵	۶		۷
		عکس العمل شدید لانس اکسیژن	ضرب دیدگی اعضاء	۶	۶	۵	کنترل دوره ای سرلانس	اپراتورهای مربوطه	بطور مستمر	۵	۶	۵		۸
		نور مادون قرمز	آسیب بینایی ( آب مروارید )	۵	۷	۸	استفاده از محافظ صورت	برشکارها	بطور مستمر	۸	۲	۵		۹
		حرارت زیاد	گرمازدگی	۵	۳	۷							۱۰	
۴	تعمیر بلوک پرس پلاگ و بلوک خروج مذاب	حرارت زیاد	سوختگی	۵	۵	۸	ارتقاء کیفیت بلوک یا سرد کردن پاتیل	اپراتور/ مسئول واحد	بطور مستمر	۸	۱	۵		۱۱
		نور مادون قرمز	آسیب چشمی	۵	۷	۸	استفاده از عینک DIN <sub>4</sub>	مسئول واحد	در اسرع وقت	۸	۲	۵		۱۲

۱۳	۵	۱۰	۲	در اسرع وقت	مسئول واحد	استفاده از کمربند ایمنی	۵۱۰۵	مرگ	سقوط داخل پاتیل	کار با پیکور دستی (بادی)	۵
۱۴							۵۶۵	شکستگی	برخورد پاتیل با افراد		
۱۵							۵۵۵	سوختگی	پاشش مواد به صورت		
۱۶	۳	۵	۹	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از دستکش ضد ارتعاش، استفاده بیشتر از پیکور ماشینی، تقسیم کار	۴۷۹	مشکل اسکلتی عضلانی - عصبی دست	ارتعاش		
۱۷	۴	۲	۱۰	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از گوشی هدفون دار	۴۷۱۰	آسیب شنوایی	صدای زیاد		
۱۸	۴	۲	۱۰	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از ماسک فیلتر دار	۴۷۱۰	آسیب ریوی	گرد و غبار		
۱۹							۴۶۴	ضربه دیدگی پا، شکستگی	سقوط روی پا		
۲۰							۴۶۵	ضربه دیدگی شدید اعضاء	آزاد شدن شیلنگ هوا		

جدول ۱۰. ادامه فرم شناسایی خطرات، عوامل زیان آور و ارزیابی ریسک واحد فولاد سازی

شماره ریسک	FRES	RE	P	RE	تاریخ انجام	مسئول انجام	اقدام کنترلی	FSP	پیامد	خطر	فعالیت	ردیف
۲۱	۴	۲	۹	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	اپراتور مربوطه	استفاده از عینک محافظ چشم	۴۶۹	آسیب چشمی	پرتاب شدن مواد	تعویض صفحات و پرس پلاگ	۶
۲۲	۶	۲	۷	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	اپراتور مربوطه	استفاده از محافظ صورت، دستکش، کفش ایمنی ساقه بلند	۶۷۷	سوختگی و آسیب چشم و صورت	پاشش مواد با حرارت بالا		
۲۳	۵	۶	۵	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	اپراتور مربوطه	استفاده از ابزار مناسب	۶۶۵	شکستگی، سوختگی	سقوط صفحات روی پا		
۲۴								۵۷۵	بیماریهای ریوی	گرد و غبار کاست		
۲۵								۶۳۶	آسیب چشمی	پراکنده شدن ذرات		
۲۶	۵	۶	۵	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	اپراتور مربوطه	استفاده از تکیه گاه	۵۶۶	شکستگی اعضاء	سقوط پیکور		

۲۷	۵	۳	۸	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از محافظ صورت و دستکش	۵	۵	۸	سوختگی	حرارت		
۲۸	۶	۳	۵	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از کولر یا فن دمنده	۶	۳	۱۰	گرفتگی عضلات، گرمزدگی			
۲۹	۵	۲	۸	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از عینک DIN <sub>4</sub>	۵	۷	۸	آسیب چشمی	نور مادون قرمز		
۳۰							۵	۳	۱۰	گرفتگی عضلات، گرمزدگی	حرارت	نسوز کاری کوره قوس الکتریکی در حالت گرم و سرد	۷
۳۱	۵	۲	۱۰	در اسرع وقت	ایمنی فنی	استفاده از کفش ایمنی نسوز و دستکش نسوز	۵	۴	۱۰	سوختگی اعضاء	حرارت		
۳۲							۶	۷	۴	سوختگی	ریزیش مذاب		
۳۳	۶	۷	۳	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	دقت اپراتور در هنگام فعالیت	۶	۸	۶	شکستگی و قطع میخ دست	بسته شدن ناگهانی فلپ	E.B.T	۸
۳۴							۵	۵	۵	سوختگی سر و صورت	پاشش نسوز داغ	E.B.T	۹
۳۵	۴	۱۰	۱	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	سرد کردن کوره، ارتقاء دقت اپراتور	۴	۱۰	۴	مرگ	سقوط به داخل کوره	کف سازی در حالت گرم	۱۰
۳۶							۴	۴	۱۰	سوختگی اعضاء	حرارت شدید		
۳۷							۴	۳	۱۰	گرمزدگی			
۳۸	۴	۲	۸	در اسرع وقت	ایمنی فنی	استفاده از محافظ صورت DIN <sub>4</sub>	۴	۷	۸	آسیب چشمی (آب مروارید)	نور مادون قرمز	کف سازی در حالت گرم	۱۱
۳۹	۴	۴	۷	در اسرع وقت	ایمنی فنی	استفاده از ماسک فیلتردار	۴	۷	۷	آسیب ریوی	گرد و غبار ناشی از پاشش مواد نسوز		



جدول ۱۱. ادامه فرم شناسایی خطرات، عوامل زیان آور و ارزیابی ریسک واحد فولاد سازی

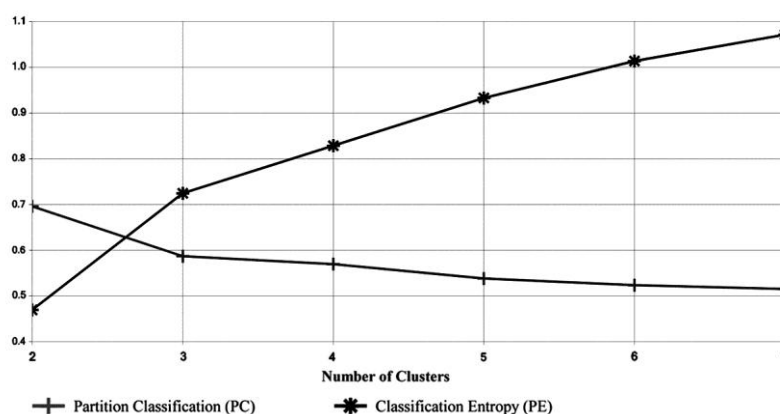
۴۰								۳	۵	۵	آسیب دیدگی اعضا	افزادن سرباره در هنگام تخریب	تعمیرات سرد و کوره قوس	۱۲	
۴۱	۳	۱۰	۲	بطور مستمر	اپراتور/ مسئول واحد ایمنی فنی	استفاده از زنجیر سیم بوکسل مناسب	۳	۱۰	۵	آسیب دیدگی شدید، مرگ	پاره شدن زنجیر یا بوکسل هنگام تخریب				
۴۲	۳	۲	۱۰	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از ماسک فیلتر دار	۳	۷	۱۰	آسیب ریوی	گرد و غبار هنگام تخریب				
۴۳							۴	۴	۷	سوختگی، گرمادگی	حرارت				
۴۴	۳	۷	۸	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	توزیع نیروی کار، رعایت اصول ارگونومی	۳	۷	۱۰	آسیب اسکلتی - عضلانی	ارگونومیکی				
۴۵							۳	۴	۱۰	آسیب دیدگی چشم - ورم ملتحمه	نور ماوراء بنفش	جوشکاری پلیت دماغه	۱۳		
۴۶	۳	۲	۱۰	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از ماسک فیلتر دار	۳	۷	۱۰	آسیب ریوی	فیوم فلزی				
۴۷	۴	۷	۴	بطور مستمر	کلیه افراد/ رانندگان جرثقیل	اعلان خطر توسط آپیر جرثقیل، استفاده از پلیت مناسب	۴	۱۰	۵	آسیب شدید اعضا، مرگ	خطر سقوط پالت آجر به داخل کوره				
۴۸	۵	۳	۷	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از کفش پنجه فولادی و دستکش ضد ضربه	۵	۶	۷	آسیب دیدگی دست و پا	سقوط آجر نسوز				
۴۹	۵	۷	۳	بطور مستمر	اپراتور/ مسئول واحد	استفاده از میکسر استاندارد	۵	۷	۶	آسیب دیدگی دست	خطر کار با میکسر	تعمیرات سرد کوره قوس	۱۴		
۵۰	۴	۱۰	۳	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از سیستم ارت کنترل سالم بودن سیم و اتصالات	۴	۱۰	۵	مرگ	خطر برق گرفتگی با دستگاه میکسر و اره				
۵۱							۴	۷	۶	قطع انگشتان دست	شکستن تیغه اره				
۵۲	۴	۳	۵	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از محافظ صورت	۴	۸	۵	کوری چشم، آسیب شدید	شکستن تیغه ازه				
۵۳	۴	۳	۶	بطور مستمر	اپراتور مربوطه	استفاده از محافظ صورت	۴	۸	۶	کوری چشم، آسیب شدید	پرتاب پاره آجر				
۵۴							۸	۴	۵	سوختگی اعضا	حرارت	فعالیت در قسمت نسوز کاری	۱۵		
۵۵	۵	۲	۶	در اسرع وقت	پیمانکار/ واحد ایمنی فنی	استفاده از ماسک فیلتر دار	۵	۷	۶	آسیب ریوی	گرد و غبار مواد نسوز				

با توجه به اینکه میزان فازی بودن  $m = 2$  و تعداد خوشه‌ها حداقل می‌بایست ۲ باشد، لذا میزان روایی تعداد خوشه‌ها بر اساس نتایج بدست آمده از نرم افزار Data Engine 4.01 به صورت زیر می‌باشد (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. میزان روایی تعداد خوشه‌ها بر مبنای شاخص‌های PE، PEX و PC

C	m	ضریب افراز (PC)	توان نسبت (PEX)	آنتروپی افراز (PE)
۲	۲	۰,۶۹۶۰۷۷	۶۰,۸۹۹۴	۰,۴۶۹۵۵
۳	۲	۰,۵۸۶۹۴۹	۹۵,۳۶۱۳۳	۰,۷۲۴۶۸۱
۴	۲	۰,۵۶۹۶۷۳	۱۶۰,۰۷۲۲	۰,۸۲۸۷۳۶
۵	۲	۰,۵۳۸۲۷	۲۱۴,۲۹۱۱	۰,۹۳۳۰۵۳
۶	۲	۰,۵۲۳۶۵۱	۲۶۹,۰۷۰۷	۱,۰۱۳۷۴۳
۷	۲	۰,۵۱۵۳۲	۳۳۹,۳۲۷۵	۱,۰۷۱۵۱۸

جدول ۱۲ نشان دهنده شاخص‌های روایی برای تعداد متفاوت خوشه‌ها می‌باشد. جهت تسهیل فرایند تصمیم‌گیری، نمودار دو بعدی زیر را با استفاده از دو شاخص PE و PC و همچنین تعداد خوشه‌ها ترسیم می‌نماییم تا میزان ارتباط هر یک از این شاخص‌ها را با تعداد خوشه‌ها بسنجیم (شکل ۱).



شکل ۱. رابطه میان تعداد خوشه‌ها با شاخص‌های روایی PE و PC

طبق قاعده، تعداد بهینه خوشه‌ها در جایی است که مقدار PE پایین‌تر از روند صعودی و مقدار PC بالاتر از روند نزولی قرار گیرد. در نمودار فوق مشهود است که در جایی که تعداد خوشه‌ها برابر ۴ می‌باشد، این قاعده برقرار است. لذا تعداد بهینه

خوشه‌ها برابر ۴ می باشد. در این قسمت، به صورت فرضی نام خوشه‌ها بر اساس حروف الفبای انگلیسی نام‌گذاری می‌گردد. جداول ۱۳ و ۱۴ به ترتیب نشان دهنده اطلاعات مرکز خوشه‌ها در سه شاخص احتمال بروز، شدت پیامدها و تناوب مواجهه در وضعیت پیش از بهبود و پس از بهبود می‌باشند.

جدول ۱۳. اطلاعات مرکز خوشه‌ها پیش از بهبود

نام خوشه	P	S	F
A	۶,۹۵۲۸۲	۲,۶۷۰۷۷	۵,۱۷۹۴۴
B	۹,۴۷۷۳۷	۲,۷۷۵۰۸	۳,۸۳۱۶۰
C	۲,۰۰۳۸۳	۹,۷۱۶۶۷	۴,۴۶۹۲۰
D	۴,۸۷۸۷۳	۵,۹۵۰۸۱	۴,۸۸۴۴۹

جدول ۱۴. اطلاعات مرکز خوشه‌ها پس از بهبود

نام خوشه	P	S	F
A	۸,۵۶۱۷۱	۶,۷۳۵۲۱	۴,۲۴۱۶۲
B	۹,۴۵۷۲۹	۳,۷۲۷۳۹	۴,۶۰۹۷۷
C	۴,۷۷۴۱۸	۹,۵۰۶۶۲	۴,۵۵۳۱۹
D	۵,۳۵۱۴۳	۵,۸۵۲۱۴	۵,۱۸۱۱۰

پس از اجرای راه کارها، در خوشه‌های A و B، میزان تاثیر شاخص شدت پیامد و در خوشه C، میزان تاثیر شاخص احتمال بروز افزایش یافته است، ولیکن در خوشه D میزان تاثیر هر سه شاخص تغییر چندانی نیافته است. جداول ۱۵-۱۶، درجه عضویت هر یک از حالات بالقوه زیان آور را در هر یک از خوشه‌ها نشان می دهد. واضح است که براساس منطق فازی هر یک از ریسک‌ها می تواند عضو چندین بخش باشد و میزان عضویت او بر اساس درجه عضویت او تعیین می گردد.

جدول ۱۵. نتایج خوشه‌بندی حالات بالقوه زیان آور

شماره ریسک	درجه عضویت پیش از بهبود				درجه عضویت پس از بهبود			
	D	C	B	A	D	C	B	A
۱	۰,۸۷۲۹۰	۰,۰۵۸۵۷	۰,۰۲۳۹۰	۰,۰۴۴۶۴	۰,۷۲۲۴۹	۰,۱۶۲۹۷	۰,۰۳۴۶۵	۰,۰۷۹۸۷
۲	۰,۳۹۴۸۲	۰,۰۷۵۱۸	۰,۱۰۹۰۶	۰,۰۴۲۰۹۴	۰,۰۵۴۲۷۱	۰,۱۲۵۷۴	۰,۱۷۸۰۴	۰,۱۵۳۴۹
۳	۰,۰۸۶۷۶	۰,۰۲۲۷۴	۰,۰۹۵۳۲	۰,۷۹۵۱۹	۰,۰۴۰۸۹۷	۰,۱۴۴۳۷	۰,۱۰۳۰۲	۰,۳۴۳۶۲
۴	۰,۰۳۷۸۳	۰,۰۹۴۱۹۲	۰,۰۰۸۳۱	۰,۰۱۱۹۴	۰,۱۹۴۵۱	۰,۶۳۶۲۳	۰,۰۵۸۰۶	۰,۱۱۱۱۹
۵	۰,۰۵۷۶۹	۰,۰۹۰۷۸۲	۰,۰۱۴۱۴	۰,۰۲۰۳۵	۰,۲۱۷۰۸	۰,۶۰۲۸۴	۰,۰۶۵۱۶	۰,۱۱۴۹۰
۶	۰,۲۹۸۵۱	۰,۰۴۸۲۷	۰,۰۹۴۱۸	۰,۰۵۵۹۰۴	۰,۰۵۸۱۰۲	۰,۰۷۷۴۵	۰,۱۸۸۱۹	۰,۱۵۳۳۱
۷	۰,۰۵۹۳۸۰	۰,۰۷۵۷۳	۰,۰۷۳۰۷	۰,۰۲۵۷۴۰	۰,۰۷۴۸۰۹	۰,۰۵۶۸۷	۰,۰۸۷۶۸	۰,۱۰۷۳۴
۸	۰,۹۹۱۷۷	۰,۰۰۲۵۳	۰,۰۰۱۷۲	۰,۰۰۳۹۹	۰,۸۷۹۶۸	۰,۰۴۹۷۰	۰,۰۲۶۶۱	۰,۰۴۳۹۸
۹	۰,۰۴۹۵۸	۰,۰۱۳۰۶	۰,۱۷۴۷۱	۰,۷۶۲۶۶	۰,۰۹۲۱۹	۰,۰۴۵۶۶	۰,۰۵۹۳۹	۰,۸۰۲۷۴
۱۰	۰,۰۱۵۶۰	۰,۰۰۲۹۱	۰,۰۱۹۴۹	۰,۹۶۲۰۰	۰,۲۸۶۴۷	۰,۰۶۵۶۶	۰,۰۴۶۴۰۶	۰,۱۸۳۸۰
۱۱	۰,۰۷۴۵۷	۰,۰۲۲۶۶	۰,۲۶۲۱۴	۰,۶۴۰۶۲	۰,۱۹۰۸۵	۰,۰۴۷۹۹	۰,۳۸۰۸۷	۰,۳۸۰۲۷
۱۲	۰,۰۴۹۵۸	۰,۰۱۳۰۶	۰,۱۷۴۷۱	۰,۷۶۲۶۶	۰,۰۹۲۱۹	۰,۰۴۵۶۶	۰,۰۵۹۳۹	۰,۸۰۲۷۴
۱۳	۰,۰۳۷۸۳	۰,۰۹۴۱۹۲	۰,۰۰۸۳۱	۰,۰۱۱۹۴	۰,۰۲۶۹۱	۰,۹۴۵۶۸	۰,۰۰۷۸۷	۰,۰۱۹۵۳
۱۴	۰,۹۹۱۷۷	۰,۰۰۲۵۳	۰,۰۰۱۷۲	۰,۰۰۳۹۹	۰,۹۶۶۹۴	۰,۰۱۳۷۳	۰,۰۰۶۸۴	۰,۰۱۲۴۸
۱۵	۰,۸۵۷۹۳	۰,۰۲۵۶۸	۰,۰۲۸۰۵	۰,۰۸۸۳۳	۰,۸۷۸۷۸	۰,۰۳۷۷۱	۰,۰۳۵۸۳	۰,۰۴۶۶۵
۱۶	۰,۱۵۳۵۲	۰,۰۵۷۷۲	۰,۰۸۲۹	۰,۱۸۰۴۷	۰,۰۱۸۸۴	۰,۰۱۲۳۵	۰,۰۲۶۷۴	۰,۹۴۲۰۵
۱۷	۰,۰۱۹۸۳	۰,۰۰۷۰۹	۰,۹۱۱۲۹	۰,۰۶۱۷۹	۰,۰۶۷۰۰	۰,۰۴۸۰۷	۰,۱۴۳۲۴	۰,۷۴۱۶۸
۱۸	۰,۰۱۹۸۳	۰,۰۰۷۰۹	۰,۹۱۱۲۹	۰,۰۶۱۷۹	۰,۰۶۷۰۰	۰,۰۴۸۰۷	۰,۱۴۳۲۴	۰,۷۴۱۶۸

جدول ۱۶. ادامه نتایج خوشه‌بندی حالات بالقوه زیان آور

۰,۷۱۶۰۱	۰,۱۲۸۰۰	۰,۰۵۸۵۲	۰,۰۹۷۴۷	۰,۶۷۱۵۹	۰,۱۶۴۹۸	۰,۰۶۱۶۷	۰,۱۰۱۷۴	۱۹
۰,۷۵۵۴۹	۰,۰۸۲۰۲	۰,۰۶۳۱۳	۰,۰۹۹۳۵	۰,۷۷۰۲۲	۰,۰۹۳۷۶	۰,۰۴۶۷۰	۰,۰۸۹۳۰	۲۰
۰,۰۲۳۰۸	۰,۰۰۷۴۲	۰,۸۸۰۸۶	۰,۰۸۸۶۴	۰,۰۴۴۱۱	۰,۰۲۱۳۳	۰,۱۱۳۰۹	۰,۸۲۱۴۶	۲۱
۰,۰۸۶۷۶	۰,۰۲۲۷۴	۰,۰۹۵۳۲	۰,۷۹۵۱۹	۰,۰۴۰۸۹۷	۰,۱۴۴۳۷	۰,۱۰۳۰۲	۰,۳۴۳۶۲	۲۲
۰,۹۹۱۷۷	۰,۰۰۲۵۳	۰,۰۰۱۷۲	۰,۰۰۳۹۹	۰,۸۷۹۶۸	۰,۰۴۹۷۰	۰,۰۲۶۶۱	۰,۰۴۳۹۸	۲۳
۰,۸۷۲۹۰	۰,۰۵۸۵۷	۰,۰۲۳۹۰	۰,۰۴۴۶۴	۰,۷۲۲۴۹	۰,۱۶۲۹۷	۰,۰۳۴۶۵	۰,۰۷۹۸۷	۲۴
۰,۱۶۴۱۵	۰,۰۳۳۴۶	۰,۰۸۳۹۲	۰,۷۱۸۴۷	۰,۴۴۸۰۸	۰,۰۹۰۰۰	۰,۲۸۶۷۹	۰,۱۷۵۱۲	۲۵

رتبه‌بندی حالات بالقوه زیان آور با استفاده از ... ۸۳

۰,۹۹۱۷۷	۰,۰۰۲۵۳	۰,۰۰۱۷۲	۰,۰۰۳۹۹	۰,۸۹۰۱۷	۰,۰۳۰۲۲	۰,۰۲۴۴۹	۰,۰۵۵۱۰	۲۶
۰,۰۵۵۱۶	۰,۰۱۲۴۴	۰,۱۵۳۲۶	۰,۷۷۹۱۴	۰,۱۹۰۸۵	۰,۰۴۷۹۹	۰,۳۸۰۸۷	۰,۳۸۰۲۷	۲۷
۰,۲۷۳۴۲	۰,۰۵۶۵۳	۰,۰۹۸۷۰	۰,۵۷۱۳۴	۰,۰۷۱۱۷	۰,۰۳۰۱۷	۰,۷۸۵۳۸	۰,۱۱۳۲۶	۲۸
۰,۰۴۹۵۸	۰,۰۱۳۰۶	۰,۱۷۴۷۱	۰,۷۶۲۶۶	۰,۰۹۲۱۹	۰,۰۴۵۶۶	۰,۰۵۹۳۹	۰,۸۰۲۷۴	۲۹
۰,۰۸۰۸۴	۰,۰۲۵۷۲	۰,۵۹۵۷۲	۰,۲۹۷۷۲	۰,۰۲۹۶۴	۰,۰۱۲۶۳	۰,۹۰۴۵۲	۰,۰۵۳۱۹	۳۰
۰,۰۷۴۰۸	۰,۰۲۴۹۴	۰,۵۸۵۶۹	۰,۳۱۵۳۰	۰,۰۱۹۲۲	۰,۰۰۸۳۳	۰,۹۲۴۸۴	۰,۰۴۷۶۶	۳۱
۰,۶۲۳۳۴	۰,۱۹۴۱۵	۰,۰۵۸۳۴	۰,۱۲۴۱۷	۰,۵۹۷۳۶	۰,۲۵۳۸۶	۰,۰۵۳۷۱	۰,۰۹۵۰۵	۳۲
۰,۵۲۷۷۰	۰,۲۸۶۳۱	۰,۰۶۰۹۱	۰,۱۲۵۰۷	۰,۳۷۶۳۸	۰,۳۶۶۰۳	۰,۰۶۶۸۰	۰,۱۹۰۷۸	۳۳
۰,۸۵۷۹۳	۰,۰۲۵۶۸	۰,۰۲۸۰۵	۰,۰۸۸۳۳	۰,۸۷۸۷۸	۰,۰۳۷۷۱	۰,۰۳۵۸۳	۰,۰۴۷۶۵	۳۴
۰,۰۴۸۷۸	۰,۹۲۰۱۷	۰,۰۱۳۳۵	۰,۰۱۷۷۰	۰,۰۵۰۷۰	۰,۹۰۱۵۴	۰,۰۱۴۹۰	۰,۰۳۲۸۵	۳۵
۰,۰۴۷۸۸	۰,۰۱۶۰۲	۰,۸۳۵۸۸	۰,۱۰۰۲۲	۰,۰۲۵۰۶	۰,۰۱۱۴۳	۰,۸۹۴۵۴	۰,۰۶۸۹۵	۳۶
۰,۰۱۰۶۲	۰,۰۰۳۶۲	۰,۹۵۷۱۴	۰,۰۲۸۶۲	۰,۰۳۳۹۷	۰,۰۱۵۱۲	۰,۸۸۵۰۸	۰,۰۶۵۸۰	۳۷
۰,۰۶۴۱۲	۰,۰۱۸۵۹	۰,۶۲۱۹۱	۰,۲۹۵۳۹	۰,۰۴۱۲۹	۰,۰۲۳۶۳	۰,۰۳۰۴۱	۰,۹۰۴۶۵	۳۸
۰,۲۳۱۷۳	۰,۰۴۳۰۵	۰,۳۲۴۹۸	۰,۴۰۰۲۵	۰,۲۵۶۲۳	۰,۱۲۰۵۳	۰,۰۸۱۲۷	۰,۵۴۱۹۵	۳۹
۰,۴۳۷۴۹	۰,۱۴۲۲۳	۰,۱۹۹۵۷	۰,۲۲۰۷۱	۰,۵۵۴۲۲	۰,۱۳۶۴۵	۰,۱۲۹۰۵	۰,۱۸۰۲۶	۴۰
۰,۱۴۶۴۱	۰,۷۴۸۹۹	۰,۰۴۸۰۱	۰,۰۵۶۵۸	۰,۰۹۶۱۱	۰,۷۸۴۲۳	۰,۰۳۴۳۴	۰,۰۸۵۲۹	۴۱
۰,۰۴۸۴۱	۰,۰۱۹۷۹	۰,۸۲۹۰۴	۰,۰۱۰۲۷۷	۰,۰۸۸۲۸	۰,۰۶۷۸۸	۰,۱۷۹۷۶	۰,۶۶۴۰۷	۴۲
۰,۲۳۱۷۳	۰,۰۴۳۰۵	۰,۳۲۴۹۸	۰,۴۰۰۲۵	۰,۳۱۹۳۶	۰,۰۶۷۷۰	۰,۳۷۱۵۱	۰,۲۴۱۴۱	۴۳
۰,۳۲۴۴۸	۰,۱۴۴۰۹	۰,۳۲۵۵۸	۰,۲۰۵۸۵	۰,۰۸۸۲۸	۰,۰۶۷۸۸	۰,۱۷۹۷۶	۰,۶۶۴۰۷	۴۴
۰,۰۷۵۰۸	۰,۰۳۰۱۰	۰,۷۷۶۸۸	۰,۱۱۷۹۴	۰,۰۷۰۱۸	۰,۰۳۴۸۲	۰,۷۰۶۴۴	۰,۱۸۸۵۴	۴۵
۰,۰۴۸۴۱	۰,۰۱۹۷۹	۰,۸۲۹۰۴	۰,۰۱۰۲۷۷	۰,۰۸۸۲۸	۰,۰۶۷۸۸	۰,۱۷۹۷۶	۰,۶۶۴۰۷	۴۶
۰,۶۲۷۰۶	۰,۲۲۸۸۳	۰,۰۵۷۶۵	۰,۰۸۶۴۶	۰,۰۳۰۰۳	۰,۹۳۶۵۰	۰,۰۰۹۴۳	۰,۰۲۴۰۲	۴۷
۰,۰۱۵۶۰	۰,۰۰۲۹۱	۰,۰۱۹۴۹	۰,۹۶۲۰۰	۰,۴۵۸۰۸	۰,۰۷۲۷۷	۰,۱۱۱۸۴	۰,۳۵۷۲۸	۴۸
۰,۵۸۴۲۲	۰,۲۹۴۰۶	۰,۰۴۲۵۱	۰,۰۷۹۲۱	۰,۶۴۷۱۹	۰,۱۴۳۵۳	۰,۰۵۰۲۳	۰,۱۵۹۰۲	۴۹
۰,۰۷۰۸۳	۰,۸۹۰۷۵	۰,۰۱۶۸۸	۰,۰۲۱۵۴	۰,۰۳۰۰۳	۰,۹۳۶۵۰	۰,۰۰۹۴۳	۰,۰۲۴۰۲	۵۰
۰,۶۳۷۴۴	۰,۱۲۹۶۱	۰,۱۰۳۸۴	۰,۱۲۹۱۱	۰,۰۵۰۲۱۳	۰,۱۹۴۴۳	۰,۰۶۸۳۰	۰,۲۳۵۱۳	۵۱
۰,۳۲۲۷۴	۰,۰۶۶۲۹	۰,۱۷۹۹۵	۰,۴۳۱۰۲	۰,۲۵۵۰۳	۰,۵۹۵۳۱	۰,۰۴۰۶۲	۰,۱۰۹۰۲	۵۲
۰,۲۲۲۸۷	۰,۰۴۵۰۸	۰,۲۲۷۶۹	۰,۰۵۰۴۳۶	۰,۲۸۰۲۲	۰,۴۴۱۷۱	۰,۰۵۸۹۱	۰,۲۱۹۱۵	۵۳
۰,۳۳۲۴۸	۰,۱۴۲۹۲	۰,۱۵۰۶۴	۰,۳۷۳۹۷	۰,۰۵۰۶۷۵	۰,۱۳۷۹۲	۰,۱۸۵۳۸	۰,۱۶۹۹۴	۵۴
۰,۰۷۲۶۰	۰,۰۱۶۰۶	۰,۰۷۱۷۲	۰,۸۳۹۶۱	۰,۶۴۷۱۹	۰,۱۴۳۵۳	۰,۰۵۰۲۳	۰,۱۵۹۰۲	۵۵

## تجزیه و تحلیل

در این پژوهش، ۵۵ مورد حالات بالقوه زیان آور شناسایی گردید و درجه عضویت هر یک از آنها محاسبه گردید. این مطالعه نشان داد که پیش از بهبود، ریسک‌های ۱۶، ۳۱، ۱۳، ۱۴ و پس از بهبود، ریسک‌های ۱۰، ۳۷، ۴، ۸ به ترتیب بیشترین درجه عضویت را در خوشه‌های A، B، C و D دارند. بدیهی است تغییر درجه عضویت سایر ریسک‌ها و بالطبع تغییر جایگاه آنها به دلیل تغییر میزان مولفه‌های ارزیابی است که در اثر افزایش سرمایه گذاری شرکت فولاد آلیاژی یزد در حوزه ایمنی واحد فولاد سازی و اجرای راه کارهای بهبود رخ داده است. با توجه به معیار پذیرش ریسک واحد فولاد سازی که معادل ۱۸۰ بود، برخی خطرات شناسایی شده دارای ریسک در حد پایین بوده و از نظر مدیریت سازمان نیازی به پیشنهاد یا طرح‌های مناسب جهت کاهش نداشتند. البته باید در نظر داشت که در روش FMEA توجه و تلاش بیش از حد روی کاهش اعداد RPN، موجب نادیده گرفتن تلاش برای کاهش حالات خطایی می‌شود که تاکنون اتفاق نیافتاده است. به عبارت دیگر، نباید خطاهایی با اولویت ریسک پایین را که شدت و یا میزان وقوع و یا قابلیت کشف ۸ یا بالاتر دارند، از قلم انداخت. لذا، در این پژوهش برای ترفیع مشکل مزبور کلیه ریسک‌ها اعم از ریسک‌های بهبود یافته و بهبود نیافته مجدداً خوشه‌بندی شدند. در میان سایر راه کارهای کنترلی، پیشگیری هزینه کمتر و راندمان بالاتری دارد؛ اما باید توجه داشت که انجام اقدامات پیشگیری به برنامه ریزی دقیق، ثبت اطلاعات، دانش فنی، آموزش پرسنل و توجه مدیریت سازمان احتیاج دارد. واضح است که در زمینه کاهش ریسک خطرات شناسایی شده باید هم به کاهش احتمال وقوع و هم به کاهش پیامدها توجه گردد. براین اساس آنچه که از طریق مشاورت با مهندسین فرایند و کارشناسان ایمنی و بهداشت حرفه ای بدست آمد، به نظر می‌رسد که انجام اقدامات پیشگیرانه واحد و تهیه و اجرای برنامه دقیق برای این اقدامات مهمترین پیشنهادی است که از طریق کاهش احتمال وقوع منجر به کاهش ریسک می‌گردد. در انجام مطالعات ارزیابی ریسک به منظور دستیابی به اطلاعات صحیح و دقیق در زمینه احتمال وقوع حوادث و شدت پیامدها، وجود سیستم‌های دقیق نگهداری سوابق ضروری می‌باشد [۴]. در این پژوهش با توجه به نوع ورودی نرم افزار، از داده‌های قطعی استفاده گردید. لذا به پژوهشگران توصیه می‌شود که در تحقیقات آتی از داده‌های فازی و یا سایر مدل‌های

خوشه‌بندی فازی (گوستافسون-کسل<sup>۱</sup>، FCRM<sup>۲</sup>، WFCM<sup>۳</sup>، SFCM<sup>۴</sup>، s-FCM<sup>۵</sup>، PCM<sup>۶</sup>، و FGC<sup>۷</sup>...) برای بخش بندی حالات بالقوه زیان آور استفاده نمایند و به مقایسه نتایج حاصله بپردازند [۳،۵،۱۲،۱۷،۱۹].

## نتیجه گیری

در این پژوهش که با هدف رتبه بندی حالات بالقوه زیان آور با استفاده از تحلیل خوشه‌ای فازی انجام گرفت، پس از تشریح مفهوم تحلیل خوشه‌ای و مدل‌های مختلف C-Means، ریسک‌های همگن به لحاظ شاخص‌های احتمال بروز، شدت پیامد و تناوب مواجهه به کمک تکنیک خوشه‌بندی فازی شناسایی گردیدند. نتیجه این رده بندی در بخش یافته‌های پژوهش در جداول مربوطه ذکر گردیده است. همان گونه که در جداول ملاحظه می‌شود، هر خوشه در بردارنده چند ریسک است و هر ریسک دارای ضریب عضویتی است که میزان و شدت تعلق آن ریسک را به خوشه مزبور بیان می‌کند. لذا، از جمله موارد بسیار حائز اهمیت این است که سازمان‌ها می‌بایست بیشتر سرمایه و تلاش شان را در راستای انجام اقدامات اصلاحی تاثیر گذار بر سایر ریسک‌های همگن صرف نمایند. شناسایی و رده بندی حالات بالقوه زیان آور بر مبنای شاخص‌های مزبور، امکان بررسی جامع تر و دقیق تر ریسک‌های بالقوه و بالطبع پیشگیری از وقوع پیشامدهای جانی و مالی را فراهم می‌آورد. با اذعان به اینکه تاکنون طبقه بندی جامعی از حالات بالقوه زیان آور در صنایع فولاد سازی ارائه نشده است، به نظر می‌رسد این پژوهش از نظر کاربردی در نوع خود منحصر به فرد است. لیکن با انجام مطالعات میدانی و با اضافه نمودن حالات بالقوه زیان آور، در سال‌های آینده می‌توان به نتایج بهتری دست یافت. در پایان خاطر نشان می‌سازیم که شیوه اجرایی انجام این تحقیق می‌تواند به عنوان یک الگو برای تحقیقات مشابه در بین شرکت‌های پیشرو کشور مورد استفاده قرار گیرد و منشا فواید فراوانی گردد.

---

1- Gustafson-Kessel  
2- Fuzzy C-Regression Model  
3- Weighted Fuzzy C-Means  
4- Supervised Fuzzy C-Means  
5- Suppressed Fuzzy C-Means  
6- Possibilistic C-Means  
7- Fuzzy Genetic Clustering

## منابع

۱. پورحمیدی، مسعود. تحلیل ریسک و ارزیابی شرایط بالقوه برای بروز حوادث در معادن زیرزمینی با استفاده از روش FMEA فازی مطالعه موردی: معدن شهید نیلچیان (دوپلان)، دومین کنگره خاورمیانه‌ای مدیریت ریسک، ۱۳۸۷، صص ۵-۱.
۲. رضائی، کامران. حسینی آشتیانی، حمید رضا. هوشیار، محمد. وزیری، فرزانه. مبانی QFD رویکردی مشتری مدار، چاپ سوم، نشر آتنا، ۱۳۸۴.
۳. سپهر، ریحانه. مرادی، محمد حسن. مشایخی، غنچه. کارد، لاله. بامدادیان، عطیه. بررسی و مقایسه روش‌های مختلف خوشه‌بندی فازی تفکیکی مبتنی بر روش استاندارد خوشه‌بندی فازی FCM، هفتمین کنفرانس سیستم‌های فازی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶، صص ۵-۱.
۴. عدل، جواد. قهرمانی، ابوالفضل. نسل سراجی، جبرائیل. ارزیابی ریسک در بخش شیرین سازی واحد تصفیه گاز پالایش گاز، مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دوره ۳، شماره ۴، ۱۳۸۴، صص ۴-۱.
۵. عسگریان، احسان. معین زاده، حسین. سریانی، محسن. حبیبی، جعفر. رویکرد جدید برای خوشه‌بندی فازی بوسیله الگوریتم ژنتیک، سیزدهمین کنفرانس ملی انجمن کامپیوتر ایران، جزیره کیش، ۱۳۸۶، صص ۳-۱.
۶. فرشادفر، عزت الله. اصول و روش‌های آماری چند متغیره، چاپ دوم، طاق بستان، ۱۳۸۴.
۷. ماردیا، کانتی. کنت، جان. بی بی، جان. تحلیل چند متغیره، طباطبایی، محمد مهدی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۶.
8. Chang, C. L., Wei, C. C., & Lee, Y.H. (1999). **Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory**. *Kybernetes*, 28 (9), 1072-1080.
9. Chensong, D. (2007). **Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation**. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24 (9), 958-971.
10. Chi, Z., Yan, H., & Pham, T. (1996). **Fuzzy algorithms: with applications to image processing and pattern recognition**. Singapore : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
11. D'Ursoa, P., & Giordani, P. (2006). **A weighted fuzzy c-means clustering model for fuzzy data**. *Computational Statistics & Data Analysis*, 50, 1496 – 1523.
12. Kalyani, S., & Swarup, K. S. (2010). **Supervised fuzzy c-means clustering technique for security assessment and classification in power systems**. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2 (3), 175-185.



13. Kockara, S., Mete, M., & Chen B, A. K. (2010). **Analysis of density based and fuzzy c-means clustering methods on lesion border extraction in dermoscopy images**. BMC Bioinformatics , 11 (6), 1-11.
14. Krouwer, J. S. (2004). **An improved failure mode effects analysis for hospitals**. Archives of Pathology & Laboratory Medicine , 128 (6), 663-667.
15. Schwämmle, V., & Jensen, O. N. (2010). **A simple and fast method to determine the parameters for fuzzy c-means cluster analysis**. Bioinformatics , 26 (22), 2841-2848.
16. Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). **Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling**. International Journal of Quality, 22 (9), 986-1004.
17. Szilágyi, L., Szilágyi, S. M., & Benyó, Z. (2010). **Analytical and numerical evaluation of the suppressed fuzzy c-means algorithm: a study on the competition in c-means clustering models**. Soft Computing , 14 (5), 495–505.
18. Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006). **Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures**. International Journal of Quality & Reliability Management , 23 (8), 1047-1066.
19. Valente de Oliveira, J., & Pedrycz, W. (2007). **Advances in fuzzy clustering and its applications**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
20. Wang, X., Wang, Y., & Wang, L. (2004). **Improving fuzzy c-means clustering based on feature-weight learning**. Pattern Recognition Letters , 25, 1123–1132.
21. Xu, L., Tang, L., Xie, M., Ho, L., & Zhu, M. (2002). **Fuzzy assessment of FMEA for engine systems**. Reliability Engineering & System Safety , 1 (75), 9-17.

