

# رتبه‌بندی سیستم اندازه‌گیری شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو از طریق روش تلفیقی MSA – MADM در شرایط فازی

علیرضا علی‌نژاد\* (دانشیار)

نعیا حیدریان (کارشناس ارشد)

علی طاهری‌نژاد (کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۴۰۱ (دوری ۱-۳۸، شماره ۲، ص. ۷۵-۷۷، پژوهشی)

تجزیه و تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری، مقایسه و رتبه‌بندی آن‌ها برای یافتن سیستم اندازه‌گیری کارآمد و الگوپذیری از آن امری ضروری است که سبب بهبود وضعیت سیستم‌های ناکارآمد و به دنبال آن کاهش ریسک تولید می‌شود. هدف این مقاله رتبه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری پنج شرکت قطعه‌سازی خودرو (یعنی هدایت سرمایه کاسپین، پیوند خودرو، فراسازان، سردساز خودرو و دناقطعه) است که تأمین‌کننده‌ی قطعات برای شرکت‌های سایپا و ایران‌خودرو هستند. برای این کار، این مقاله یک روش ترکیبی از تحلیل سیستم اندازه‌گیری (MSA) و تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) در شرایط عدم قطعیت فازی را ارائه و توسعه می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شرکت دناقطعه با جریان خالص ۱/۸۱۸ کارآمدترین سیستم اندازه‌گیری را در اختیار دارد. براساس نتایج این مطالعه، پیشنهاد می‌شود شرکت‌های خودروسازی سایپا و ایران‌خودرو دستورالعمل‌های اجرایی سیستم اندازه‌گیری شرکت منتخب را به‌عنوان سیستم اندازه‌گیری الگو برای سایر شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو عملیاتی کنند.

واژگان کلیدی: تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری (MSA)، تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، شرایط عدم قطعیت، تکنیک کریتیک<sup>۱</sup>، تکنیک پامسیم<sup>۲</sup>.

## ۱. مقدمه

راستای افزایش کیفیت اتخاذ کرد. اندازه‌گیری مطلوب و دقیق مستلزم این است که تمام عوامل مؤثر در سیستم اندازه‌گیری نظیر: اپراتور، ابزار، محیط اندازه‌گیری، دستورالعمل اندازه‌گیری و ... در حد مطلوب باشند.<sup>[۱]</sup> برای پشتیبانی از فرایندهای تصمیم‌گیری مدل‌های متعددی در طول سال‌ها ایجاد شده است.

در حوزه‌ی مطالعاتی تحقیق و مدیریت عملیات، تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)<sup>۲</sup> می‌تواند راه حل مناسبی جهت ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها تحت معیارهای متضاد باشد. این رشته به‌طور گسترده توسط محققان و متخصصان مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین روش‌های MCDM تأثیرات زیادی بر کیفیت تصمیم‌گیری دارند. تصمیم‌گیری ماهیت همه‌ی فعالیت‌های مدیریتی است و به دو دسته تصمیم‌گیری‌های چندهدفه (MODM)<sup>۳</sup> و تصمیم‌گیری‌های چندشاخصه (MADM)<sup>۴</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند. تصمیم‌گیری یکی از وظایف اصلی مدیریت است. در این مقاله یک روش جدید و ترکیبی جهت تجزیه و تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری ارائه شده است.

هدف این مقاله ارزیابی و گزینش برترین سیستم اندازه‌گیری شرکت‌های ساخت

کنترل کیفیت و مدیریت محصولات در حین تولید برای اطمینان از رضایت مشتری، امری ضروری است. با این حال، اثر بخشی آنها تا حد زیادی به داده‌های جمع‌آوری شده از خط تولید بستگی دارد. برای این منظور، معمولاً در کاربردها از تجزیه و تحلیل سیستم اندازه‌گیری (MSA)<sup>۱</sup> که طراحی رویکردی آزمایشی برای ارزیابی کیفیت اندازه‌گیری‌هاست، استفاده می‌شود.<sup>[۱]</sup> امروزه کیفیت داده‌های حاصل از اندازه‌گیری بیش از هر زمان دیگری مورد توجه بوده و به ویژگی‌های آماری حاصل از اندازه‌گیری‌های مکرری بستگی دارد که تحت شرایط پایدار، در یک سیستم اندازه‌گیری انجام می‌پذیرد. به بیان دیگر کیفیت سیستم اندازه‌گیری به دلیل این که حتی می‌تواند نوسانات فرایند تولید را تحت‌الشعاع قرار دهد از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است. اگر کیفیت سیستم اندازه‌گیری و ارقام نمونه‌برداری حاصل از آن پایین باشد، تجزیه و تحلیل فرایند اعتبار مناسبی نخواهد داشت و نمی‌توان تصمیم‌گیری صحیح را در

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۱۱/۲۵، اصلاحیه ۱۴۰۰/۱۰/۲۵، پذیرش ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

DOI:10.24200/J65.2022.56897.2176

روش کلاسیک برخوردار است. محب علیزاده<sup>[۶]</sup> به ارائه روشی برای تحلیل قابلیت سیستم اندازه‌گیری متغیر در محیط فازی پرداخت، جایی که داده‌های به دست آمده از فرایند اندازه‌گیری، تحت مطالعه‌ی اعداد فازی فرض می‌شوند. برای انجام این هدف، یک جفت از مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی بر اساس اصل بسط‌زاده برای محاسبه‌ی کاهش سطح  $\alpha$  و معیار ارزیابی فرموله شد که اغلب برای تجزیه و تحلیل قابلیت سیستم اندازه‌گیری متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس روشی برای رتبه‌بندی اعداد فازی برای ارزیابی این که آیا قابلیت سیستم اندازه‌گیری متغیر در محیط فازی رضایت‌بخش است یا خیر، مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از یک مثال تجربی نشان‌دهنده شد که ترکیب‌سازی در داده‌های اندازه‌گیری منجر به تحلیل قابلیت دقیق‌تر می‌شود. کیو و هیوانگ<sup>[۷]</sup> پژوهشی با هدف بررسی تکرارپذیری و تکثیرپذیری در یک سیستم اندازه‌گیری نوری انجام دادند. پروچی و همکاران<sup>[۸]</sup> روشی برای تحلیل چندمتغیره‌ی یک سیستم اندازه‌گیری، بر اساس مطالعات شاخص برآیند تکرارپذیری و تکثیرپذیری پیشنهاد کردند. بالستراسی و همکاران<sup>[۹]</sup> رویکرد وزنی برای تحلیل واریانس چندمتغیره در تحلیل سیستم اندازه‌گیری را بررسی کردند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های تجربی نشان می‌دهد که مؤثرترین استراتژی وزن برداری در مطالعات GR&R، استراتژی وزنی درصدی از مقادیر ویژه استخراج شده از ماتریس یک سیستم اندازه‌گیری است. این مطالعات که صرفاً تغییرپذیری پیمانه‌ی را شامل می‌شوند، برای تعیین این که آیا سیستم اندازه‌گیری قادر به نظارت بر یک فرایند تولیدی خاص است، کافی نیستند. اگر تغییرات ناشی از سیستم اندازه‌گیری نسبت به تغییرات فرایند کم باشد، آنگاه سیستم اندازه‌گیری قادر به تشخیص آن است. این بدان معناست که سیستم می‌تواند برای نظارت بر فرایند مورد استفاده قرار گیرد. سیانی و همکاران<sup>[۱۰]</sup> به بررسی روش‌های تکرارپذیری و تکثیرپذیری به‌عنوان دو مشخصه‌ی اصلی هر سیستم اندازه‌گیری پرداختند. هر دو این ویژگی‌ها نقش مهمی در تحلیل اندازه‌گیری‌ها دارند و می‌توانند اطلاعات زیادی بدهند در مورد این که چه کسی، چه تأثیری بر هر سیستم اندازه‌گیری می‌گذارد. آوچ و قانع لاکلاهی<sup>[۱۱]</sup> یک رویکرد فازی برای نمودار کنترل برای بررسی ثبات ابزار اندازه‌گیری پرداختند. در این تحقیق داده‌ها به اعداد فازی ذوزنقه‌ی تبدیل شدند و حدود کنترل با استفاده از روش برش  $\alpha$ ، فازی شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با استفاده از این نمودار در حالت فازی هم می‌توان ثبات سیستم اندازه‌گیری را مورد مطالعه قرار داد. خطای اندازه‌گیری یک منبع تغییر اجتناب‌ناپذیر در هر فرایند تصمیم‌گیری بر اساس تحقیقات تجربی است. اجزای تغییر ناشی از سیستم اندازه‌گیری و فرایند تولید باید تخمین زده شود و علل ویژه تغییر در هر زمان ممکن کاهش یابد. رابسون و همکاران<sup>[۱۲]</sup> پژوهشی بر اساس شاخص تکرارپذیری و تکثیرپذیری و نیز روش مقایسه‌ی چندگانه (Scott-Knott)، در حوزه‌ی تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری ارائه کردند. یوان و همکاران<sup>[۱۳]</sup> به منظور اطمینان از صحت و دقت تجهیزات تشخیص کیفیت زغال‌سنگ، از سه شاخص تکرارپذیری و تکثیرپذیری، درصد تغییر و تعداد دسته‌های مجزا، برای ارزیابی قابلیت تجهیزات بهره بردند. مطالعات ذکر شده بر چگونگی استفاده از حالات عدم قطعیت (مانند حالت فازی) برای ارزیابی سیستم‌های اندازه‌گیری و نیز تأثیر شاخص‌های اندازه‌گیری بر سیستم‌ها متمرکز بوده‌اند. در ادامه به مرور مطالعاتی می‌پردازیم که با استفاده از تکنیک‌های MADM به بررسی و رتبه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری پرداخته‌اند. نهایتاً شکاف تحقیقات پیشین و نوآوری و مشارکت‌های تحقیق حاضر ارائه می‌شود.

علینژاد و همکاران<sup>[۱۴]</sup> از روش ویکور<sup>۱۰</sup> برای رتبه‌بندی سیستم‌های مختلف اندازه‌گیری به منظور بالا رفتن کیفیت سیستم اندازه‌گیری استفاده کردند. برای این

قطعات خودرو است. در همین راستا با مرور دقیق ادبیات موجود و بررسی تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده، ضمن شناسایی ماهیت مسئله‌ی تحقیق، فهرست کاملی از معیارهای مورد توجه در مقوله‌ی تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری استخراج شده است. در مرحله‌ی بعد وزن هر یک از شاخص‌های تأثیرگذار بر سیستم‌های اندازه‌گیری مبتنی بر تکنیک CRITIC<sup>۵</sup> و با استفاده از نرم افزارهای Minitab و Excel به دست آمده است. با تعیین وزن شاخص‌ها، به دلیل وابستگی بین شاخص‌های تحلیل سیستم اندازه‌گیری، از تکنیک PAMSSSEM<sup>۶</sup> فازی به منظور رتبه‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین سیستم اندازه‌گیری استفاده شده است. مقایسه‌ی سیستم‌های اندازه‌گیری مختلف می‌تواند در انتخاب پیمانکار تحلیل سیستم اندازه‌گیری، به منظور کاهش خطر تولید یا تصمیم‌گیری صحیح مفید باشد. همچنین از نقاط قوت سیستم اندازه‌گیری منتخب می‌توان برای بهبود وضعیت سایر سیستم‌های اندازه‌گیری استفاده کرد. برای این منظور در این مقاله، کاربرد روش‌های مختلف MADM در MSA به کار گرفته شده است.

## ۲. پیشینه‌ی تحقیق

در قرن هجدهم و نوزدهم، کنترل کیفیت به آنچه امروزه وجود دارد شباهت نداشت. در سال ۱۹۳۱ میلادی، انقلاب کیفیت رخ داد و به‌عنوان نقطه‌ی عطفی در حوزه‌ی کنترل کیفی در نظر گرفته شد. شوارت کتابی به‌نام «کنترل کیفیت اقتصادی محصولات»<sup>[۱]</sup> نوشت. او در این کتاب نشان داد که تغییرپذیری یک واقعیت غیرقابل انکار در زندگی صنعتی است. این تغییرات با اصول احتمالات قابل تشخیص بود. در دسامبر سال ۱۹۴۰ بخش جنگ آمریکا کمیته‌ی را برای بررسی استانداردهای کیفیت که بر توسعه و بهره‌برداری از نمودارهای کنترل تمرکز داشت تأسیس کرد که گزارش‌های آن در سال‌های ۱۹۴۱ و ۱۹۴۲ منتشر شد. در اکتبر سال ۱۹۴۵، سیزده نفر<sup>۷</sup> جامعه مهندسی کیفیت را تشکیل دادند که در سال آتی با فدراسیون دیگری ادغام شدند و جامعه‌ی آمریکایی را برای حوزه‌ی کنترل کیفیت<sup>۸</sup> ایجاد کردند که تا به امروز وجود دارد. در سال ۱۹۸۷، جنرال موتور اولین شرکتی بود که دستورالعمل‌هایی برای اندازه‌گیری توانایی سیستم ارائه کرد. پس از آن شرکت فورد در سال ۱۹۸۹، موارد دیگری را به دستورالعمل‌های قبل اضافه کرد. در سال ۱۹۹۰ و ۱۹۹۴ به ترتیب گروه رابرت بوش در آلمان و گروه مرسدس بنز دستورالعمل‌های اندازه‌گیری جدیدی را منتشر کردند. در حالت کلی یک مرجع برای بهبود وضعیت و استاندارد کردن دستورالعمل‌های اندازه‌گیری مورد نیاز است که شامل همه فرمت‌های گزارش فنی، اصطلاحات، اطلاعات و طراحی باشد. بر این اساس شرکت کرایسلر، فورد و جنرال موتور برای اولین بار تصمیم به ایجاد دستورالعمل‌های مشترک و ارائه کتاب مرجع تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری گرفتند که در سال ۱۹۹۵ ویرایش دوم از این کتاب منتشر شد.<sup>[۴]</sup>

پس از آشنایی با تاریخچه‌ی سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترل کیفی، اکنون مقالاتی را در این حوزه‌ی تحقیقاتی و نیز در راستای مسئله‌ی تحقیق مرور می‌کنیم. کاظمی و همکاران<sup>[۵]</sup> به توسعه‌ی یک روش فازی برای افزایش صحت و دقت در محاسبه شاخص‌های تکرارپذیری و تکثیرپذیری ابزار GR&R<sup>۹</sup> با استفاده از اعداد فازی مثلثی پرداختند. آنان با پیاده‌سازی روش پیشنهادی از طریق مطالعه‌ی موردی قطعه‌ی کلاچ در صنعت خودرو در شرکت کاپیران و مقایسه‌ی نتایج آن با حالت کلاسیک نشان دادند که روش فازی از حساسیت و کارآمدی بیشتری نسبت به

- بر اساس مطالب ارائه شده، نوآوری‌ها و مشارکت‌های کلیدی این تحقیق به شرح زیر است:
- ارائه و توسعه‌ی یک روش ترکیبی از MSA و MADM برای تجزیه و تحلیل و رتبه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری؛
- استفاده از تکنیک PAMSSEM در شرایط عدم قطعیت (حالت فازی) به منظور افزایش کیفیت سیستم‌های اندازه‌گیری؛
- پیاده‌سازی روش ترکیبی ارائه شده در مورد مطالعاتی صنعت خودروسازی.

### ۳. روش پژوهش

#### ۳.۱. گام‌های پژوهش

در این بخش، مراحل اصلی پژوهش بیان می‌شود. پیش از ارائه‌ی جزئیات، برای درک صحیح از طراحی تحقیق و گام‌های پژوهش به شکل ۱ مراجعه کنید. به طور خلاصه گام‌های پژوهش به شرح زیر است:

گام ۱. در این گام ابتدا سیستم‌های اندازه‌گیری عملیاتی در پنج شرکت قطعه‌سازی خودرو شناسایی می‌شوند. پس از شناسایی سیستم‌ها، بر اساس روش اصلی MSA، داده‌های شش شاخص اندازه‌گیری برای شرکت‌های مذکور گردآوری می‌شوند. شاخص‌های MSA تعیین شده در گام اول، شاخص‌های مورد استفاده در تکنیک‌های MADM در گام بعدی را تشکیل می‌دهند؛

گام ۲. در این گام پس از تعیین شاخص‌های مورد بررسی، ابتدا وزن شاخص‌ها با استفاده از تکنیک CRITIC به دست می‌آید و مراحل لازم پیش از رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها (شرکت‌های قطعه‌سازی) انجام می‌شود. نهایتاً، با استفاده از تکنیک PAMSSEM در شرایط عدم قطعیت (حالت فازی) رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها صورت می‌پذیرد.

#### ۳.۲. مبانی نظری

##### ۳.۲.۱. شاخص‌های تحلیل سیستم اندازه‌گیری

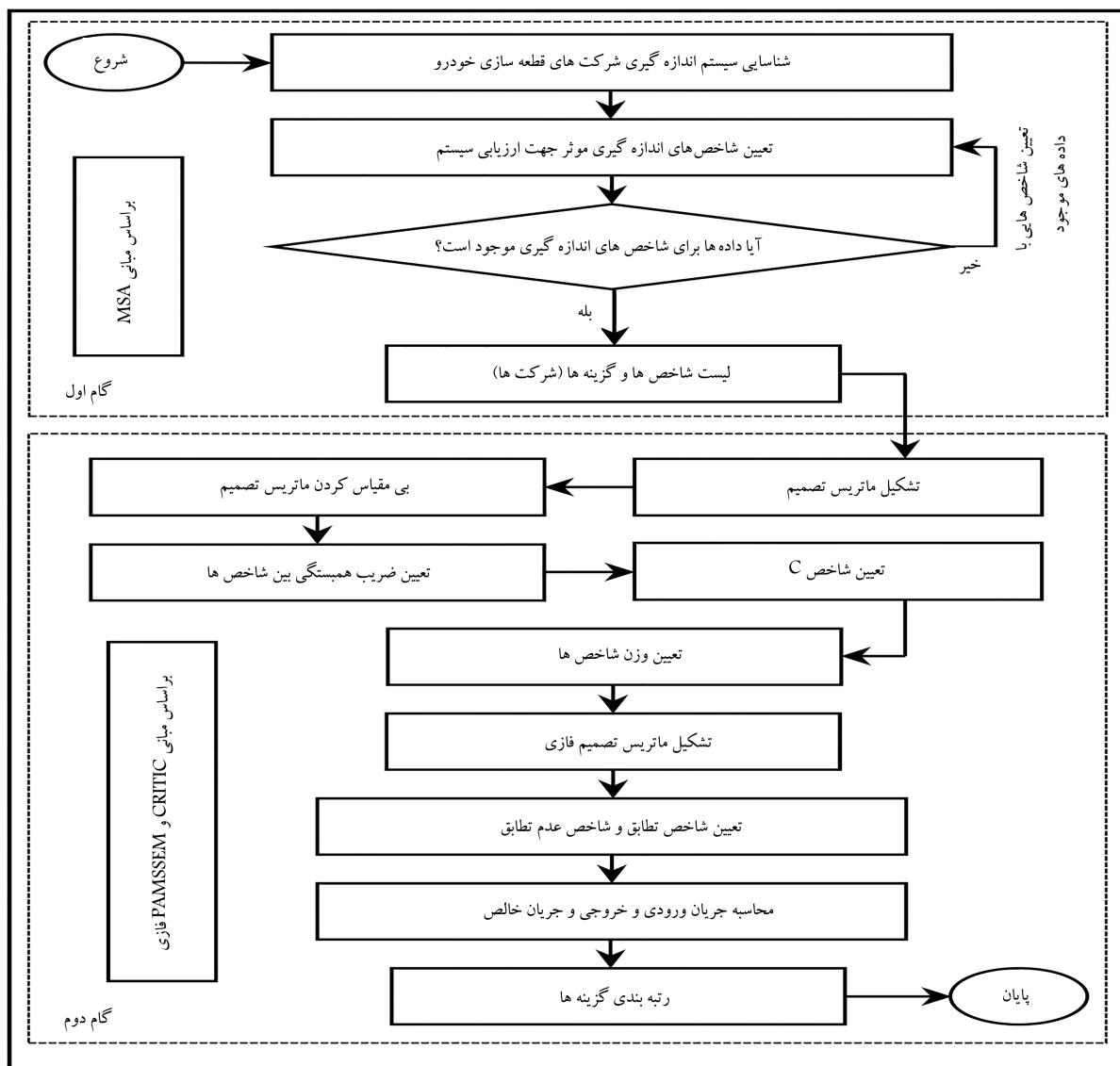
یک برنامه تضمین کیفیت موفق در هر سازمانی به سیستم‌های اندازه‌گیری مناسبی نیاز دارد. مفهوم سیستم اندازه‌گیری به نیروی انسانی، ماشین‌آلات، مواد و روش‌های مربوط در به دست آوردن اندازه‌گیری‌ها اشاره دارد. MSA مجموعه روش‌هایی است که برای تعیین مقدار تغییرات ناشی از سیستم اندازه‌گیری و معتبر بودن داده‌های اندازه‌گیری استفاده می‌شود.<sup>[۱]</sup> تجزیه و تحلیل سیستم اندازه‌گیری ابزاری برای تحلیل کیفیت سیستم اندازه‌گیری است و هدف اصلی آن، بهبود کیفیت برای کاهش انحرافات ناشی از سیستم اندازه‌گیری است. همانطور که می‌دانیم خروجی سیستم اندازه‌گیری در مورد مشخصه‌های کمی، به صورت یک عدد بیان می‌شود.<sup>[۲]</sup> برای ارزیابی سیستم اندازه‌گیری شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو<sup>۱۵</sup> مشخصه‌های کمی زیر بررسی و مواردی که داده‌های آن‌ها در دسترس بود به عنوان شاخص‌های نهایی انتخاب شدند.

- شاخص تمایل ( $Bias$ ): تفاوت بین میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری  $(\bar{X})$  و اندازه واقعی قطعه  $(X_m)$  را تمایل می‌نامند که از رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید؛

$$Bias = \bar{X} - X_m \quad (1)$$

منظور، یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره از روش VIKOR ارائه شد. آن‌ها همچنین برای محاسبه‌ی وزن شاخص‌ها از روش AHP<sup>۱۱</sup> استفاده کردند. لی و همکاران<sup>[۱۵]</sup> به مطالعه‌ی یک رویکرد بهبود یافته مبتنی بر TOPSIS به نام TIWR پرداختند. این روش شاخص‌های کیفیت آب و استانداردهای مربوط به کل فرایند را مورد بررسی قرار می‌دهد و همبستگی بین شاخص‌ها را با استفاده از معیارهای ارزیابی از طریق روش ارتباط بین معیار (CRITIC) در نظر می‌گیرد. یافته‌های حاصل از این تحقیق تلویحات مهمی برای تصمیم‌گیرندگان و محققان در به کارگیری رویکرد TIWR در حفاظت و مدیریت محیط زیست آب دارد. شاه‌بندرزاده و ولی<sup>[۱۶]</sup> ارزیابی و انتخاب روش‌های بهینه‌ی دفع پسماند شهر تهران با استفاده از تکنیک Arreste را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با توجه به ماهیت عدم اطمینان و ابهام موجود در میزان بهینه‌ی دفع پسماندهای شهر تهران، از منطق فازی استفاده کردند. در این تحقیق برای وزن‌دهی شاخص‌ها از روش CRITIC استفاده شد و در نهایت روش‌های بهینه‌ی دفع پسماند شهر تهران اولویت‌بندی شدند. سایکاوا<sup>[۱۷]</sup> روشی برای ارزیابی سیستم اندازه‌گیری با استفاده از شاخص تکرارپذیری و تکثیرپذیری پیشنهاد کرد. آسودو و همکاران<sup>[۱۸]</sup> به مطالعه‌ی ارزیابی عملکرد مکانیکی دوره‌های اصطکاک درجه‌بندی شده باز (OGFCs)<sup>۱۲</sup> تقویت شده با الیاف نایلون و پلی پروپیلن<sup>۱۳</sup> پرداختند. برای این منظور، طراحی آزمایش‌ها در نظر گرفتن سه عامل کنترل به نام فیبر، محتوای چسب و محتوای فیبر انجام شد. واکنش‌های مختلف مانند حفره‌های هوا کل، حفره‌های هوای به هم پیوسته، اتلاف جرم در شرایط خشک و اتلاف جرم در شرایط مرطوب ثبت شدند. بعلاوه، یک بهینه‌سازی چندهدفه از طریق روش کریتیک-واسپاس CRITIC-WASPAS انجام شد. زنگ و همکاران<sup>[۱۹]</sup> یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه جدید را بر اساس روش برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)، روش TOPSIS و مقادیر فازی شهودی پیشنهاد کردند که در آن، روش NLP برای رسیدن به وزن‌های بهینه اعمال شد. دشی و دیسای<sup>[۲۰]</sup> مطالعه‌ی با هدف اثبات علمی بودن تجزیه و تحلیل سیستم اندازه‌گیری برای بهبود کیفیت مداوم، به طور خاص برای شرکت‌های کوچک و متوسط اتومبیل انجام دادند. شارما و همکاران<sup>[۲۱]</sup> تحقیقی را با هدف ارزیابی دقیق بودن سیستم اندازه‌گیری با استفاده از GR&R ارائه کردند. دوآلی و همکاران<sup>[۲۲]</sup> با استفاده از شاخص‌های تجزیه و تحلیل سیستم اندازه‌گیری، شامل ثبات، تمایل، تکرارپذیری و تکثیرپذیری، سیستم‌های اندازه‌گیری در یک کارخانه‌ی تولید موتورسیکلت را ارزیابی کردند.

در تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده که در فوق‌الذکر، تجزیه و تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری و همچنین تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه در برخی موارد به تنهایی مورد استفاده قرار گرفته است. چیزی که کم‌تر دیده می‌شود، استفاده روش ترکیبی از MSA و MADM در شرایط عدم قطعیت جهت تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری است. لذا شکاف تحقیقاتی در پژوهش‌های پیشین استفاده از تکنیک MADM در شرایط عدم قطعیت به منظور افزایش کیفیت سیستم‌های اندازه‌گیری است که قابل توجه است. در این تحقیق ابتدا با بررسی ادبیات موضوع شاخص‌های مؤثر بر سیستم‌های اندازه‌گیری شناسایی شده و سپس برای وزن‌دهی از روش کریتیک استفاده شده است. نهایتاً، به دلیل وابسته بودن شاخص‌ها از تکنیک پامسیم جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است، زیرا در این تکنیک نیازی به استقلال شاخص‌ها از یکدیگر نیست. تکنیک پامسیم با رویکردی فرارته‌بندی و با توجه به نوع اصلی یا ترتیبی بودن مقادیر هر شاخص، به الگوسازی ترجیحات تصمیم‌گیرندگان برای انتخاب گزینه برتر می‌پردازد.



شکل ۱. ساختار کلی روش تحقیق و گام‌های پژوهش.

- شاخص تکرارپذیری (EV): اگر یک اپراتور به طور مکرر یک مشخصه از قطعه‌ی مشابه را در مکان و با ابزار مشابه اندازه‌گیری کند تکرارپذیری رخ داده است. خطای تکرارپذیری از رابطه‌ی ۲ به دست می‌آید که در آن میانگین دامنه نمونه‌هاست و  $d_r$  از جداول کیفی مختص به این شاخص به دست می‌آید؛
- شاخص برآیند تکرارپذیری و تکثیرپذیری (R&R): نشان‌دهنده‌ی یک فاصله‌ی ۹۹ درصدی برای دامنه‌ی نوسانات سیستم اندازه‌گیری است و میزان دقت سیستم اندازه‌گیری را نشان می‌دهد که از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید:

$$R\&R = \sqrt{AV^2 + EV^2} \quad (5)$$

- شاخص قدرت تفکیک سیستم اندازه‌گیری (NDC):<sup>۱۶</sup> این شاخص به کمترین فواصل قابل تشخیص و تفکیک توسط سیستم اندازه‌گیری اشاره دارد. در صورتی که سیستم اندازه‌گیری دارای توانایی تفکیک مناسب نباشد ممکن است توان تشخیص نوسان‌های موجود در فرایند را در قطعاتی که مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند نداشته باشد. لذا باید از سیستم اندازه‌گیری تواناتری استفاده کرد. قدرت تفکیک را می‌توان از طریق رابطه‌ی ۶ بیان کرد؛
- شاخص تکثیرپذیری (AV): پراکندگی ناشی از تغییر هر کدام از عوامل مؤثر در سیستم اندازه‌گیری، مانند اپراتور، ابزار، روش و ... هنگام اندازه‌گیری مکرر قطعات است. مقدار خطای تکثیرپذیری بر اساس روابط ۳ و ۴ به دست می‌آید (n تعداد قطعات و r تعداد دفعات اندازه‌گیری است)؛

$$EV = 5/15 \times \frac{\bar{R}}{d_r} \quad (2)$$

$$AV = \sqrt{\left(5/51 \times \frac{\bar{X}_{DIF}}{d_r}\right) - \left(\frac{EV^2}{n \cdot r}\right)} \quad (3)$$

$$\bar{X}_{DIF} = Max \bar{X} - Min \bar{X} \quad (4)$$

$$NDC = \frac{141 \times PV}{R\&R} \quad (6)$$

که در آن  $r_{ij}$  درایه‌ی ماتریس تصمیم برای گزینه  $i$  در شاخص  $j$  است.

قدم ۲. بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم: برای بی‌مقیاس کردن شاخص‌های مثبت و منفی ماتریس تصمیم به ترتیب از روابط ۱۴ و ۱۵ استفاده می‌شود:

$$x_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^-}{r_i^+ - r_i^-}; \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (14)$$

$$x_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^+}{r_i^- - r_i^+}; \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (15)$$

که در آن، مقدار بی‌مقیاس شده‌ی ماتریس تصمیم برای گزینه  $i$  در شاخص  $j$  است. برای  $r_i^+$  و  $r_i^-$  نیز روابط ۱۶ و ۱۷ برقرار است:

$$r_i^+ = \text{Max}(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) \quad (16)$$

$$r_i^- = \text{Min}(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) \quad (17)$$

قدم ۳. تعیین ضریب همبستگی بین شاخص‌ها: ضریب همبستگی میان شاخص‌ها بر اساس رابطه‌ی ۱۸ به دست می‌آید:

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}}; \quad j, k \in \{1, \dots, n\} \quad (18)$$

که در آن  $\bar{x}_k$  و  $\bar{x}_j$  میانگین دو گروه شاخص‌های  $j$  و  $k$  هستند که برای  $\bar{x}_j$  از رابطه‌ی ۱۹ و به طور مشابه برای  $\bar{x}_k$  به دست می‌آید:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m x_{ij}; \quad i = 1, \dots, m \quad (19)$$

قدم ۴. تعیین شاخص  $C$ : در این قدم ابتدا با کمک رابطه‌ی ۲۰ میزان انحراف استاندارد هر شاخص به دست می‌آید:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}; \quad i = 1, \dots, m \quad (20)$$

سپس با استفاده از رابطه‌ی ۲۱ شاخص  $C$  تعیین می‌شود:

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}); \quad j = 1, \dots, n \quad (21)$$

قدم ۵. تعیین وزن شاخص‌ها: نهایتاً اوزان شاخص‌ها از رابطه‌ی ۲۲ محاسبه می‌شود:

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j}; \quad j = 1, \dots, n \quad (22)$$

### ۳.۲.۳. تکنیک PAMSSEM&II

روش PAMSSEM توسط مارتل، کیس و روسو در ۱۹۹۶ میلادی معرفی شد که با یک رویکرد فرارته‌بندی، با توجه به نوع اصلی یا ترتیبی بودن مقادیر هر شاخص، به الگوسازی ترجیحات تصمیم‌گیرندگان، برای انتخاب گزینه‌ی برتر می‌پردازد. تکنیک اول PAMSSEM تنها به بررسی جریان‌های خروجی و ورودی به دست آمده اختصاص دارد و در آن رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها صورت می‌گیرد. اما در تکنیک دوم PAMSSEM، جریان خالص به‌عنوان مقادیر نهایی تعیین می‌شود و رتبه‌بندی

PV (نوسان‌های قطعه به قطعه) برابر پراکندگی قطعات استفاده شده در آزمایش است که از رابطه‌ی ۷ به دست می‌آید:

$$PV = \Delta / 15 \times \frac{RP}{d_r} \quad (7)$$

• شاخص توانایی ابزار اندازه‌گیری  $(C_g, C_{gk})$ : با محاسبه‌ی شاخص توانایی ابزار اندازه‌گیری، می‌توان تغییرات ذاتی هر وسیله‌ی اندازه‌گیری را بررسی کرد. همچنین می‌توان تکرارپذیری و تمایل یک ابزار را به طور هم‌زمان ارزیابی کرد. مقادیر  $C_g$  و  $C_{gk}$  از روابط ۸ و ۹ به دست می‌آیند:

$$C_g = \frac{0.2 \times T}{6 \times S_g} \quad (8)$$

$$C_{gk} = \frac{0.1 \times T \times |\bar{X}_g - \bar{X}_m|}{3 \times S_g} \quad (9)$$

• شاخص زیندگی  $(R^z)$  و ارتباط خطی: با استفاده از فاکتور خطی بودن مشخص می‌شود که آیا ابزار اندازه‌گیری در تمام محدوده‌ی قابل اندازه‌گیری خود یکسان کار می‌کند؟ مقدار زیندگی و درصد خطی بودن از روابط ۱۰ و ۱۱ به دست می‌آید:

$$R^z = \frac{\left[ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_i y_j - \frac{\sum_{i=1}^m x_i \sum_{j=1}^n y_j}{n} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^m x_i^2 - \frac{[\sum_{i=1}^m x_i]^2}{n} \right] \left[ \sum_{j=1}^n y_j^2 - \frac{[\sum_{j=1}^n y_j]^2}{n} \right]} \quad (10)$$

$$\text{Linearity} = |a| \times 100 \quad (11)$$

در روابط ۱۰ و ۱۱،  $y$  نشان‌دهنده‌ی تمایل قطعه،  $x$  اندازه واقعی قطعه و  $n$  تعداد قطعات مورد استفاده و  $a$  شیب خط است که از رابطه‌ی ۱۲ به دست می‌آید:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_i y_j - \left[ \frac{\sum_{i=1}^m x_i \sum_{j=1}^n y_j}{n} \right]}{\sum_{i=1}^m x_i^2 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{n} \right]^2} \quad (12)$$

### ۲.۲.۳. تکنیک CRITIC

یکی از تکنیک‌های MADM که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته تکنیک CRITIC است. این تکنیک در سال ۱۹۹۵ میلادی توسط دیاکولاکی و همکاران [۲۲] ارائه شد و به طور کلی برای تعیین وزن شاخص‌ها به کار می‌رود. از ویژگی‌های این روش این است که نیازی به استقلال شاخص‌ها نیست و شاخص‌های کیفی به شاخص‌های کمی تبدیل می‌شوند. در این تکنیک وزن شاخص‌ها با استفاده از معادل ریاضی دو مفهوم اساسی یعنی شدت تقابل عملکرد گزینه‌ها در هر شاخص و تعارض شاخص‌های ارزیابی با یکدیگر تعیین می‌شود. مراحل اجرای تکنیک CRITIC به شرح زیر است:

قدم ۱. تشکیل ماتریس تصمیم: در این ماتریس گزینه‌ها و شاخص‌ها بیان می‌شوند که بر اساس اطلاعات دریافتی از تصمیم‌گیرنده هستند. ماتریس تصمیم به صورت رابطه‌ی ۱۳ است:

$$X = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n}; \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (13)$$

قدم ۸. محاسبه‌ی جریان ورودی و خروجی: جریان ورودی ( $\varphi^+$ ) و جریان خروجی ( $\varphi^-$ ) هر یک از گزینه‌ها طبق روابط ۳۰ و ۳۱ محاسبه می‌شود:

$$\varphi^+(A_i) = \sum_{A_{i'} \in A} \varphi(A_i, A_{i'}) \quad ; \quad i, i' \in \{1, \dots, m\} \quad (30)$$

$$\varphi^-(A_i) = \sum_{A_{i'} \in A} \varphi(A_{i'}, A_i) \quad ; \quad i, i' \in \{1, \dots, m\} \quad (31)$$

قدم ۹. محاسبه‌ی جریان خالص: در این قدم جریان خالص هر یک از گزینه‌ها از رابطه‌ی ۳۲ به دست می‌آید:

$$\varphi(A_i) = \varphi^+(A_i) - \varphi^-(A_i) \quad ; \quad i = 1, \dots, m \quad (32)$$

قدم ۱۰. رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها بر اساس تکنیک PAMSSEM I: بر اساس جریان‌های ورودی و خروجی، رتبه‌بندی جزئی از طریق تکنیک PAMSSEM I انجام می‌گیرد. طبق رابطه‌ی ۳۳، گزینه‌ی  $A_i$  از گزینه‌ی  $A_{i'}$  بهتر خواهد بود، اگر:

$$A_i P A_{i'} \text{ if } \begin{cases} A_i P^+ A_{i'} \text{ and } A_i P^- A_{i'} \\ A_i P^+ A_{i'} \text{ and } A_i I^- A_{i'} \\ A_i I^+ A_{i'} \text{ and } A_i P^- A_{i'} \end{cases} \quad (33)$$

قدم ۱۱. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس تکنیک PAMSSEM II: در این تکنیک با توجه به جریان خالص و طبق رابطه‌ی ۳۴، گزینه‌ی  $A_i$  از گزینه‌ی  $A_{i'}$  بهتر خواهد بود، اگر:

$$A_i P^{II} A_{i'} \text{ if } \varphi(A_i) > \varphi(A_{i'}) \quad (34)$$

## ۴. تحلیل داده و نتایج محاسباتی

### ۴.۱. گزینه‌ها و شاخص‌ها

چنان‌که پیش‌تر بیان شد، گزینه‌های  $A_i$  این پژوهش شامل سیستم اندازه‌گیری پنج شرکت تولیدی در زمینه قطعات خودرو است:

- $A_1$ : شرکت هدایت سرمایه کاسپین؛
- $A_2$ : شرکت پیوند خودرو؛
- $A_3$ : شرکت فراسازان؛
- $A_4$ : شرکت سردساز خودرو؛
- $A_5$ : شرکت دناقطعه.

شاخص‌های ( $C_j$ ) مورد بررسی در سیستم اندازه‌گیری شرکت‌های مذکور نیز در جدول ۱ آمده است. پس از جمع‌آوری داده‌های شاخص‌ها ( $C_j$ ) برای هر یک از گزینه‌ها ( $A_i$ )، گام دوم پژوهش (شکل ۱) پیاده‌سازی می‌شود که در بخش‌های بعدی به آن خواهیم پرداخت.

### ۴.۲. تعیین وزن شاخص‌ها بر اساس تکنیک CRITIC

در این بخش پس از شناسایی گزینه‌ها و شاخص‌ها، داده‌های مورد نظر از پنج شرکت تولیدی مذکور به صورت میدانی جمع‌آوری شده است. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده اولین قدم از تکنیک CRITIC یعنی تشکیل ماتریس تصمیم انجام می‌پذیرد.

کامل گزینه‌ها صورت می‌گیرد.<sup>[۲۴]</sup> مراحل اجرای این تکنیک به شرح زیر است: قدم ۱. تشکیل ماتریس تصمیم: این ماتریس، همانند قدم اول از تکنیک کورتیک و مطابق با رابطه‌ی ۱۳ تشکیل می‌شود.

قدم ۲. تعیین وزن شاخص‌ها: در این نوشتار وزن شاخص‌ها از طریق تکنیک CRITIC محاسبه شده است؛

قدم ۳. تعیین آستانه‌ها: آستانه‌ی بی‌تفاوتی ( $Q$ )، آستانه‌ی ترجیح ( $P$ ) و آستانه‌ی رد ( $V$ ) توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. پارامترها در این تحقیق از کتاب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ی گسسته (MADM)<sup>[۲۵]</sup> گرفته شده است؛ قدم ۴. تعیین شاخص‌های فرارتابه‌ی محلی: شاخص فرارتابه‌ی محلی برای شاخص‌ها با اعداد اصلی از رابطه‌ی ۲۳ به دست می‌آید:

$$\delta(A_i, A_{i'}) = \sum_{i=1}^m A_{i'} \left( \sum_{i'=1}^m A_{i'} \bar{\delta}_j(A_i, A_{i'}) \cdot f_j(A_i) \right) \cdot f_j(A_{i'}) \quad (23)$$

که در آن مقادیر  $f_j(A_i)$  و  $f_j(A_{i'})$  توابع چگالی احتمال (گسسته) هستند و برابر با ۱ فرض می‌شوند. مقدار شاخص  $\bar{\delta}_j(A_i, A_{i'})$  نیز بر اساس روابط ۲۴ و ۲۵ تعیین می‌شود:

$$\bar{\delta}_j(A_i, A_{i'}) = \begin{cases} 0 & \text{if } \Delta_j \leq -P_j \\ \frac{\Delta_j - P_j}{P_j - q_j} & \text{if } -P_j < \Delta_j < -q_j \quad ; \quad P_j \geq q_j \geq 0 \\ 1 & \text{if } \Delta_j \geq -q_j \end{cases} \quad (24)$$

$$\Delta_j = K_j(A_i) - K_j(A_{i'}) \quad (25)$$

قدم ۵. تعیین شاخص تطابق: شاخص تطابق میان گزینه‌ها با استفاده از رابطه‌ی ۲۶ تعیین می‌شود:

$$C(A_i, A_{i'}) = \sum_{j=1}^n \delta_j(A_i, A_{i'}) \cdot W_j \quad ; \quad i, i' \in \{1, \dots, m\} \quad (26)$$

قدم ۶. تعیین شاخص عدم تطابق: شاخص عدم تطابق میان گزینه‌ها نیز از رابطه‌ی ۲۷ و ۲۸ محاسبه می‌شود:

$$D(A_i, A_{i'}) = \sum_{A_{i'}} (\sum_{A_{i'}} \bar{D}_j(A_i, A_{i'}) \cdot f_j(A_{i'})) \cdot f_j(A_i) \quad (27)$$

$$\bar{D}_j(A_i, A_{i'}) = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta_j \leq -V_j \\ -\left(\frac{\Delta_j + P_j}{V_j - p_j}\right) & \text{if } -V_j < \Delta_j < -p_j \quad ; \quad V_j > p_j \\ 0 & \text{if } \Delta_j \geq -p_j \end{cases} \quad (28)$$

قدم ۷. تعیین درجه فرارتابه‌ی: در این قدم، درجه‌ی فرارتابه‌ی بر اساس رابطه‌ی ۲۹ تعیین می‌شود:

$$\varphi(A_i, A_{i'}) = C(A_i, A_{i'}) \times \prod_{j=1}^n [1 - D_j^2(A_i, A_{i'})] \quad ; \quad 0 \leq \varphi(A_i, A_{i'}) \leq 1 \quad (29)$$

جدول ۱. شاخص‌های سیستم اندازه‌گیری.

شاخص	علامت اختصاری	مطلوبیت
%R&R	$C_1$	منفی
$C_g$	$C_2$	مثبت
$C_{gk}$	$C_3$	مثبت
BIAS	$C_4$	منفی
NDC	$C_5$	مثبت
%R <sup>t</sup>	$C_6$	مثبت

جدول ۲. ماتریس تصمیم‌گیری.

گزینه‌ها	$C_6^+$	$C_5^+$	$C_4^-$	$C_3^+$	$C_2^+$	$C_1^-$
$A_1$	۱٫۲	۹	۰٫۰۰۴	۱٫۵۴	۱٫۵۶	۱۴٫۵۵
$A_2$	۲٫۸	۱۴	۰٫۰۰۱	۱٫۳۸	۱٫۴۲	۹٫۷۵
$A_3$	۰٫۷	۲۵	۰٫۰۰۵	۱٫۴۱	۱٫۵۹	۵٫۶۱
$A_4$	۰٫۷۵	۱۱	۰٫۰۰۱	۱٫۳۴	۱٫۳۵	۱۲
$A_5$	۱٫۶	۱۴	۰٫۰۰۲	۱٫۶۸	۱٫۷۲	۵٫۳۷

جدول ۳. ماتریس بی‌مقیاس شده‌ی تصمیم‌گیری.

گزینه‌ها	$C_6$	$C_5$	$C_4$	$C_3$	$C_2$	$C_1$
$A_1$	۰٫۲۳۸	۰	۰٫۲۵	۰٫۵۸۸	۰٫۵۶۸	۰
$A_2$	۱	۰٫۳۱۲	۱	۰٫۱۱۸	۰٫۱۸۹	۰٫۵۵۲
$A_3$	۰	۱	۰	۰٫۲۰۶	۰٫۶۴۹	۰٫۹۷۴
$A_4$	۰٫۰۲۴	۰٫۱۲۵	۱	۰	۰	۰٫۲۷۸
$A_5$	۰٫۴۲۸	۰٫۳۱۲	۰٫۷۵	۱	۱	۱

جدول ۴. میانگین مقادیر هر شاخص.

شاخص‌ها	$C_6$	$C_5$	$C_4$	$C_3$	$C_2$	$C_1$
میانگین	۰٫۳۳۸	۰٫۳۵	۰٫۶	۰٫۳۸۲	۰٫۴۸۱	۰٫۵۵۵

پیوست ماتریس تصمیم‌گیری مثلی را نشان می‌دهد. وزن شاخص‌ها در مرحله‌ی قبلی با استفاده از تکنیک CRITIC و با در نظر گرفتن خاصیت بی‌مقیاسی  $(\sum_{j=1}^n w_j = 1)$  به دست آمد که نتایج فازی شده‌ی این اوزان در جدول ۱۰ در پیوست آمده است.

در قدم ۳، آستانه‌ی بی‌تفاوتی ( $Q$ )، آستانه‌ی ترجیح ( $P$ ) و آستانه‌ی رد ( $V$ ) تعیین می‌شود که نتایج آن بر اساس کتاب تکنیک‌های چندشاخصی گسسته (MADM) [۲۵] در جدول ۱۱ آورده شده است. جدول ۱۲ در بخش «پیوست» نیز شامل پارامترهای  $Q$ ،  $P$  و  $V$  به صورت فازی مثلی است. در قدم ۴ بر اساس روابط ۲۳ تا ۲۵ و با استفاده از نرم‌افزار Excel (روش رتبه‌بندی هسته‌یی یا مرکزی)، ۱۷ ماتریس فرارته‌یی محلی به دست آمده است (جدول ۱۳ در پیوست). در قدم ۵ (طبق رابطه‌ی ۲۶) با استفاده از حاصل ضرب ماتریس فرارته‌یی هر شاخص در ماتریس اوزان فازی شده هر شاخص، جدول ۱۴ (در پیوست) به دست می‌آید. نهایتاً ماتریس تطابق فازی مطابق جدول ۱۵ (در پیوست) تشکیل می‌شود. در قدم ۶ نوبت به تعیین شاخص عدم تطابق می‌رسد. برای این منظور با استفاده از رابطه‌ی ۲۸ ابتدا شاخص  $\bar{D}_j(A_i, A_{it})$  از روش رتبه‌بندی هسته‌یی یا مرکزی به دست می‌آید (جدول ۱۶ در پیوست). برای به دست آوردن شاخص عدم تطابق باید اعداد فازی به اعداد قطعی تبدیل شوند. برای این منظور از روش مرکز نقل ۱۸ استفاده می‌شود:

$$x_m^1 = \frac{L+M+U}{3} : x_m^2 = \frac{L+2M+U}{4} : x_m^3 = \frac{L+3M+U}{5} \quad (35)$$

$$Crispnumber = z = Max(x_m^1, x_m^2, x_m^3)$$

طبق رابطه‌ی ۳۵ اعداد فازی به اعداد قطعی تبدیل شده‌اند (جدول ۱۷ در پیوست). نتایج دی‌فازی شده‌ی شاخص  $\bar{D}_j(A_i, A_{it})$  و همچنین مقادیر شاخص عدم تطابق (طبق رابطه‌ی ۲۷) به ترتیب در جدول ۱۸ و ۱۹ در پیوست آمده است. در قدم ۷ باید درجه‌ی فرارته‌یی گزینه‌ها (رابطه‌ی ۲۹) محاسبه شود که پس از انجام محاسبات جدول ۲۰ تشکیل می‌شود.

پس از تعیین درجه فرارته‌یی گزینه‌ها، در قدم ۸ و بر اساس روابط ۳۰ و ۳۱ جریان‌های ورودی و خروجی هر یک از گزینه‌ها به دست آمده است. به طور مثال برای گزینه  $A_1$  داریم:

جریان ورودی:

$$\varphi^+(A_1) = 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

جریان خروجی:

$$\varphi^-(A_1) = 0/733 + 0 + 0 + 1/0.31 = 1/764$$

برای سایر گزینه‌ها نیز به روش بالا عمل می‌شود که نتایج آن در جدول ۲۱ آمده است.

با توجه به محاسبه‌ی جریان خالص گزینه‌ها، در قدم بعدی جریان خالص هر یک از آنها نیز طبق رابطه‌ی ۳۲ محاسبه می‌شود:

$$\varphi_1 = 0 - 1/764 = -1/764$$

$$\varphi_2 = 1/764 - 0 = 1/764$$

$$\varphi_3 = 0/611 - 0 = 0/611$$

$$\varphi_4 = 0 - 2/429 = -2/429$$

$$\varphi_5 = 1/818 - 0 = 1/818$$

یادآور می‌شود جنس و واحد اعداد ماتریس تصمیم، بر اساس تعاریف شاخص‌ها (جدول ۱) تعیین می‌شود (به بخش ۱.۳.۲. مراجعه شود).

در قدم ۱ (گام اول) از تکنیک CRITIC ماتریس تصمیم به صورت جدول ۲ تشکیل می‌شود. در قدم ۲، لازم است تا اعداد ماتریس برای شاخص‌های مثبت و منفی بی‌مقیاس شوند. این عمل بر اساس روابط ۱۴ تا ۱۷ انجام می‌پذیرد (جدول ۳). در قدم ۳ میانگین مقادیر هر شاخص و همچنین ضریب همبستگی میان شاخص‌ها (روابط ۱۸ و ۱۹) تعیین می‌شود که به ترتیب در جدول ۴ و ۵ آمده است. پس از آن در قدم ۴، طبق رابطه‌ی ۲۰ ابتدا میزان انحراف معیار هر شاخص محاسبه می‌شود (جدول ۶). پس از آن با استفاده از رابطه‌ی ۲۱ میزان شاخص  $C$  تعیین می‌شود که نتایج آن در جدول ۷ مشخص است. نهایتاً در قدم ۵ و مطابق با رابطه‌ی ۲۲ وزن شاخص‌ها تعیین می‌شود (جدول ۸).

### ۳.۴. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس تکنیک PAMSSEM فازی

در این بخش مراحل رتبه‌بندی نهایی شرکت‌های قطعه‌سازی مشروح است. در قدم اول از تکنیک PAMSSEM، بر اساس اعداد فازی مثلی، ماتریس تصمیم در شرایط قطعی به ماتریس تصمیم در شرایط عدم قطعیت تبدیل می‌شود. جدول ۹ در

جدول ۵. ضریب همبستگی میان شاخص‌ها.

شاخص‌ها	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$C_1$	۱	۰٫۵۷۶	۰٫۲۸۲	-۰٫۱۴۵	۰٫۷۶۱	۰٫۲۷
$C_2$	۰٫۵۷۶	۱	۰٫۸۸۲	-۰٫۵۰۶	۰٫۲۹۲	-۰٫۰۹۵
$C_3$	۰٫۲۸۲	۰٫۸۸۲	۱	-۰٫۱۷۸	-۰٫۱۸۰	۰٫۰۵۹
$C_4$	-۰٫۱۴۵	۰٫۵۰۶	-۰٫۱۷۸	۱	-۰٫۵۳۹	۰٫۵۲۶
$C_5$	۰٫۷۶۱	۰٫۲۹۲	-۰٫۱۸۰	-۰٫۵۳۹	۱	-۰٫۲۲۵
$C_6$	۰٫۲۷	-۰٫۰۹۵	۰٫۰۵۹	۰٫۵۲۶	-۰٫۲۲۵	۱

جدول ۶. میزان انحراف استاندارد شاخص‌ها.

شاخص‌ها	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
میزان	۰٫۴۳۶	۰٫۳۹۴	۰٫۴۱۹	۰٫۴۵۴	۰٫۳۷۸	۰٫۴۰۹
انحراف استاندارد						

جدول ۷. میزان شاخص  $C$ .

شاخص‌ها	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
میزان	۱٫۵۲۶	۱٫۵۱۷	۱٫۷۳۳	۲٫۶۵۲	۱٫۸۹۳	۱٫۹۲۶
شاخص $C$						

جدول ۸. وزن شاخص‌ها بر اساس تکنیک CRITIC.

شاخص‌ها	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$W_j$	۰٫۱۳۶	۰٫۱۳۵	۰٫۱۵۴	۰٫۲۳۶	۰٫۱۶۸	۰٫۱۷۱

سپس جریان‌های خالص گزینه‌ها به صورت نزولی مرتب می‌شوند:

$$\varphi_5 > \varphi_2 > \varphi_3 > \varphi_1 > \varphi_4$$

نهایتاً گزینه  $A_5$  (شرکت دنا قطعه) مناسب‌ترین سیستم اندازه‌گیری را دارد و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها به صورت زیر است:

$$A_5 > A_2 > A_3 > A_1 > A_4$$

## ۵. یافته‌ها، بحث و پیشنهادهای پژوهش

به‌طورکلی اعتبار هر عمل پژوهشی به نتایج استخراج شده و قابلیت بهره‌برداری از آن بستگی دارد. در ابتدا، کلیات پژوهش شامل شرح موضوع و زمینه‌ی پژوهش، سؤالاتی که محقق در جست‌وجوی پاسخ به آنهاست، اهداف، سوالات و قلمرو زمانی و مکانی پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش پس از جمع‌آوری، دسته‌بندی و تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده، ضمن شناسایی شاخص‌های مؤثر بر سیستم‌های اندازه‌گیری، با استفاده از روش CRITIC، به وزن‌دهی شاخص‌ها پرداخته شد. نهایتاً با استفاده از روش PAMSSSEM، رتبه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری پنج شرکت تولیدکننده قطعات خودرو انجام پذیرفت. با توجه به نتایج به دست آمده در بخش قبل، شرکت دنا قطعه با جریان خالص دارای مناسب‌ترین سیستم اندازه‌گیری و بعد از آن شرکت پیوند خودرو با

جریان خالص ۱٫۷۶۴ در رتبه‌ی دوم قرار دارد. شرکت‌های فراسازان، هدایت سرمایه کاسپین و سردساز خودرو به ترتیب با جریان‌های خالص ۰٫۶۱۱، ۱٫۷۶۴- و ۲٫۲۴۹- در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بر اساس این نتایج، پیشنهادهای کاربردی برای مدیران کیفیت در صنعت خودروسازی که MSA را در سطح تأمین‌کنندگان پیاده‌سازی می‌کنند به شرح زیر است:

- مدیران کیفی هر یک از شرکت‌های مذکور، باید با توجه به رتبه‌ی شرکت، دستورالعمل‌های عملیاتی MSA که در شرکتی با یک رتبه بالاتر پیاده‌سازی شده است، الگوسازی کنند. برای مثال شرکت سردساز خودرو که با جریان خالص منفی در رتبه‌ی آخر ارزیابی قرار دارد، باید به بررسی و مقایسه‌ی نقاط ضعف و قوت خود نسبت به شرکت هدایت سرمایه کاسپین بپردازد؛ زیرا سیر صعودی و پیشرفت در پیاده‌سازی سیستم اندازه‌گیری مطلوب باید مرحله به مرحله طی شود. این روند باید تا رسیدن به سیستم اندازه‌گیری الگو (شرکت دناقطعه) طی شود؛
- مدیران کیفیت باید به ایجاد واحدهای تحقیق و توسعه (R&D) با تمرکز بر حوزه‌ی MSA و گسترش فعالیت‌های آن بپردازند. واحدهای R&D با به‌کارگیری افراد متخصص و خبیره در حوزه‌ی MSA می‌توانند با فراگیری و الگوگیری از پیشرفته‌ترین سیستم‌های اندازه‌گیری دنیا در صنعت خودروسازی، مسیر ارتقاء و پیشرفت شرکت‌های داخلی را هموار کنند؛
- ایران خودرو و سایپا به‌عنوان مشتریان قطعات خودرو، می‌توانند شرکت‌های مذکور را ملزم به ارتقاء سطح سیستم اندازه‌گیری خود و رعایت استانداردهای مورد نظر کرده و فرایندهای بازرسی و تضمین کیفیت را بیش از پیش عملیاتی کنند.

## ۶. نتیجه‌گیری

اگر کیفیت سیستم اندازه‌گیری و در نتیجه کیفیت ارقام حاصل از آن پایین باشد، تجزیه و تحلیل فرایند اعتبار مناسبی نخواهد داشت و امکان اتخاذ تصمیمات نادرست در رابطه با پذیرش یا عدم پذیرش وجود دارد و بدیهی است که هزینه‌های ناشی از آن بالا می‌رود. با توجه به اهمیت MSA، شاخص‌های مؤثر و مقادیر آنها برای شرکت دناقطعه (جدول ۲)، می‌توان نتیجه گرفت که میزان شاخص‌های R&R،  $C_g$  و  $C_{gk}$  تأثیر زیادی بر کیفیت ارزیابی سیستم‌های اندازه‌گیری دارند. با توجه به این که R&R برآیند دقت و صحت سیستم اندازه‌گیری است و  $C_g$  و  $C_{gk}$  توانایی سیستم را اندازه‌گیری می‌کنند، می‌توان به اهمیت و تأثیر آنها پی برد. چنان‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، کمترین مقدار R&R و بیشترین مقدار  $C_{gk}$  و  $C_g$  مربوط به گزینه‌ی پنجم (شرکت دناقطعه) است که گزینه‌ی برتر شناخته شده است. میزان پارامترهای  $P$ ،  $Q$  و  $V$  همچنین وزن شاخص‌ها بر رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها نیز



جدول ۹. ماتریس تصمیم فازی مثلثی.

	$C_1^-$	$C_2^+$	$C_3^+$	$C_4^-$	$C_5^+$	$C_6^+$
$A_1$	(۱/۳۸۳, ۱/۴۵۵, ۱/۵۲۷)	(۱/۴۹, ۱/۵۶, ۱/۶۳)	(۱/۴۷, ۱/۵۴, ۱/۶۱)	(۰/۰۰۳۸, ۰/۰۰۴, ۰/۰۰۴۲)	(۸/۵۵, ۹, ۹/۴۵)	(۱/۱۴, ۱/۲, ۱/۲۶)
$A_2$	(۹/۲۷, ۹/۷۵, ۱۰/۲۳)	(۱/۳۵, ۱/۴۲, ۱/۴۹)	(۱/۳۲, ۱/۳۸, ۱/۴۴)	(۰/۰۰۰۸, ۰/۰۰۱, ۰/۰۰۱۲)	(۱۳/۳, ۱۴, ۱۴/۷)	(۲/۶۶, ۲/۸, ۲/۹۴)
$A_3$	(۵/۳۳, ۵/۶۱, ۵/۸۹)	(۱/۵۲, ۱/۵۹, ۱/۶۶)	(۱/۳۴, ۱/۴۱, ۱/۴۸)	(۰/۰۰۴۸, ۰/۰۰۵, ۰/۰۰۵۲)	(۲۲/۷۵, ۲۵, ۲۶/۲۵)	(۰/۶۷, ۰/۷, ۰/۷۳)
$A_4$	(۱/۱۴, ۱/۲, ۱/۲/۶)	(۱/۲۹, ۱/۳۵, ۱/۴۱)	(۱/۲۸, ۱/۳۴, ۱/۴۰)	(۰/۰۰۰۸, ۰/۰۰۱, ۰/۰۰۱۲)	(۱۰/۴۵, ۱۱, ۱۱/۵۵)	(۰/۷۲, ۰/۷۵, ۰/۷۸)
$A_5$	(۵/۱۱, ۵/۳۷, ۵/۶۳)	(۱/۶۴, ۱/۷۲, ۱/۸۰)	(۱/۶۰, ۱/۶۸, ۱/۷۹)	(۰/۰۰۱۸, ۰/۰۰۲, ۰/۰۰۲۲)	(۱۳/۳, ۱۴, ۱۴/۷)	(۱/۵۲, ۱/۶, ۱/۶۸)

جدول ۱۰. اوزان فازی شاخص‌ها.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$W_j$	(۰/۱۳, ۰/۱۳۶, ۰/۱۴۲)	(۰/۱۲۹, ۰/۱۳۵, ۰/۱۴۱)	(۰/۱۴۷, ۰/۱۵۴, ۰/۱۶۱)	(۰/۲۲۵, ۰/۲۳۶, ۰/۲۴۷)	(۰/۱۶, ۰/۱۶۸, ۰/۱۷۶)	(۰/۱۶۳, ۰/۱۷۱, ۰/۱۷۹)

جدول ۱۱. مقادیر آستانه‌های  $P$ ,  $Q$  و  $V$ .

پارامترها	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$V$	۰/۳۵	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۱	۱	۰/۰۲
$P$	۰/۳۳	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۱	۲	۰/۰۱۵
$Q$	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۲	۰	۳	۰/۰۰۵

جدول ۱۲. پارامترهای فازی شده  $P$ ,  $Q$  و  $V$ .

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$V$	(۰/۳۴, ۰/۳۵, ۰/۳۶)	(۰/۱۰۵, ۰/۱۱, ۰/۱۱۵)	(۰/۰۸۶, ۰/۰۹, ۰/۰۹۴)	(۰/۰۰۹۵, ۰/۰۰۱, ۰/۰۰۱۵)	(۰/۹۵, ۱, ۱/۰۵)	(۰/۱۴۲, ۰/۱۵, ۰/۰۲۱)
$P$	(۰/۳۲, ۰/۳۳, ۰/۳۴)	(۰/۰۹۵, ۰/۱, ۰/۱۰۵)	(۰/۰۷۶, ۰/۰۸, ۰/۰۸۴)	(۰/۰۰۹۵, ۰/۰۰۱, ۰/۰۰۱۵)	(۱/۹, ۲, ۲/۱)	(۰/۱۴۲, ۰/۰۱۵, ۰/۰۱۵۷)
$Q$	(۰/۱۴۳, ۰/۱۵, ۰/۱۵۷)	(۰/۰۷۶, ۰/۰۸, ۰/۰۸۴)	(۰/۰۱۹, ۰/۰۲, ۰/۰۲۱)	(-۰/۰۵, ۰, ۰/۰۵)	(۲/۸۵, ۳, ۳/۱۵)	(۰/۰۰۴۷, ۰/۰۰۵, ۰/۰۰۵۳)

جدول ۱۳. ماتریس فرارتابی محلی بر اساس روش رتبه‌بندی هسته‌یی.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$A_1, A_2$	.	۱	۱	.	.	.
$A_1, A_3$	.	۱	۱	۱	.	۱
$A_1, A_4$	.	۱	۱	.	.	۱
$A_1, A_5$	.	.	.	.	.	.
$A_2, A_3$	.	.	(-۱/۲۹۱, -۱/۸۳۳, -۳/۶۳۱)	۱	.	۱
$A_2, A_4$	۱	۱	۱	۱	۱	۱
$A_2, A_5$	.	.	.	۱	۱	۱
$A_3, A_4$	۱	۱	۱	.	۱	.
$A_3, A_5$	(-۶/۸۷۱, -۳/۱۶۷, -۰/۱۰۲)	.	.	.	۱	.
$A_3, A_6$	.	.	.	۱	.	.
$A_4, A_1$	۱	.	.	۱	۱	۱
$A_4, A_2$	۱	۱	۱	۱	۱	۱
$A_4, A_3$	۱	۱	۱	.	۱	.
$A_4, A_5$	۱	۱	۱	۱	۱	۱
$A_4, A_6$	۱	۱	۱	(-۱/۰۷۳, -۲, -۳/۶۳۱)	۱	.
$A_5, A_1$	۱	۱	۱	.	۱	.
$A_5, A_2$	۱	۱	۱	.	۱	.
$A_5, A_3$	۱	۱	۱	(-۰/۴۳۶, -۲/۵, -۴/۲۴۶)	۱	۱
$A_5, A_4$	۱	۱	۱	۱	۱	۱
$A_5, A_6$	۱	۱	۱	.	۱	۱

جدول ۱۴. نتایج حاصل ضرب اوزان شاخص‌ها در مقادیر فرارته‌بندی.

	C <sub>۱</sub>			C <sub>۲</sub>			C <sub>۳</sub>			C <sub>۴</sub>			C <sub>۵</sub>			C <sub>۶</sub>		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
A <sub>۱</sub> , A <sub>۴</sub>	.	.	.	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.
A <sub>۱</sub> , A <sub>۴</sub>	.	.	.	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	.	.	.	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۱</sub> , A <sub>۴</sub>	.	.	.	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	.	.	.	.	.	.	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۱</sub> , A <sub>۵</sub>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
A <sub>۴</sub> , A <sub>۴</sub>	.	.	.	.	.	.	-/۰.۴۷۸	-/۱۲۸۲	-/۱۵۸۵	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	.	.	.	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۴</sub> , A <sub>۴</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۴</sub> , A <sub>۵</sub>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۴</sub> , A <sub>۴</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	.	.	.	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	.	.	.
A <sub>۴</sub> , A <sub>۵</sub>	-/۱۹۷۶	-/۳۳۱	-/۰.۱۲	.	.	.	.	.	.	.	.	.	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	.	.	.
A <sub>۴</sub> , A <sub>۵</sub>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	.	.	.	.	.	.
A <sub>۴</sub> , A <sub>۱</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	.	.	.	.	.	.	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۴</sub> , A <sub>۱</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	.	.	.	.	.	.	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	.	.	.
A <sub>۴</sub> , A <sub>۱</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	.	.	.	.	.	.	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	.	.	.
A <sub>۵</sub> , A <sub>۱</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۴</sub> , A <sub>۴</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	.	.	.	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	.	.	.
A <sub>۴</sub> , A <sub>۴</sub>	.	.	.	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۰.۱۲	-/۳.۰۸	-/۱۵۳۴	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	.	.	.	.	.	.
A <sub>۵</sub> , A <sub>۴</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	.	.	.	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	.	.	.
A <sub>۴</sub> , A <sub>۴</sub>	.	.	.	.	.	.	-/۲۷۵	-/۳۸۵	-/۶۲۴	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	.	.	.	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۵</sub> , A <sub>۴</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	-/۲۲۵	-/۲۳۶	-/۲۴۷	.	.	.	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹
A <sub>۵</sub> , A <sub>۴</sub>	-/۱۱۳	-/۱۳۶	-/۱۴۲	-/۱۲۹	-/۱۳۵	-/۱۴۱	-/۱۴۷	-/۱۵۴	-/۱۶۱	.	.	.	-/۱۶	-/۱۶۸	-/۱۷۶	-/۱۶۳	-/۱۷۱	-/۱۷۹

جدول ۱۷. شاخص تطابق دی فازی شده.

شاخص تطابق	عدد قطعی
$C(A_1, A_1)$	۰/۲۹۸
$C(A_1, A_2)$	۰/۷۱۷
$C(A_1, A_3)$	۰/۴۷۴
$C(A_1, A_4)$	۰
$C(A_2, A_1)$	۰/۱۳۲
$C(A_2, A_2)$	۱/۰۳۱
$C(A_2, A_3)$	۰/۵۹۳
$C(A_2, A_4)$	۰/۶۱۱
$C(A_3, A_1)$	۰/۱۰۴
$C(A_3, A_2)$	۰/۲۴۳
$C(A_3, A_3)$	۰/۷۳۳
$C(A_3, A_4)$	۰/۴۵۲
$C(A_4, A_1)$	۰/۵۵۷
$C(A_4, A_2)$	۱/۰۳۱
$C(A_4, A_3)$	۰/۶۱۱
$C(A_4, A_4)$	۰/۰۸۷
$C(A_5, A_1)$	۰/۶۱۱
$C(A_5, A_2)$	۰/۰۱۰
$C(A_5, A_3)$	۰/۸۵۷
$C(A_5, A_4)$	۰/۷۸۷

جدول ۱۸. نتایج دی فازی شده  $\bar{D}_j(A_i, A_{i'})$ .

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$A_1, A_1$	۱	۰	۰	۰	۱	۱
$A_1, A_2$	۱	۰	۰	۰	۱	۰
$A_1, A_3$	۱	۰	۰	۰	۱	۰
$A_1, A_4$	۱	۰	۰	۰	۱	۱
$A_2, A_1$	۱	۰	۰	۰	۱	۰
$A_2, A_2$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_2, A_3$	۱	۰	۰	۰	۰	۰
$A_2, A_4$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_3, A_1$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_3, A_2$	۱	۱	-۵/۵۲۷	۰	۱	۱
$A_3, A_3$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_3, A_4$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_4, A_1$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_4, A_2$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_4, A_3$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_4, A_4$	۱	۰	۰	۰	۱	۱
$A_5, A_1$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_5, A_2$	۱	۰	۰	۰	۱	۰
$A_5, A_3$	۰	۰	۰	۰	۱	۰
$A_5, A_4$	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۱۵. ماتریس تطابق فازی.

	L	M	U
$C(A_1, A_1)$	۰/۲۷۶	۰/۲۸۹	۰/۳۰۲
$C(A_1, A_2)$	۰/۱۶۶۴	۰/۱۶۹۶	۰/۱۷۲۸
$C(A_1, A_3)$	۰/۱۴۳۹	۰/۱۴۶۰	۰/۱۴۸۱
$C(A_1, A_4)$	۰	۰	۰
$C(A_2, A_1)$	۰/۱۴۳۱	۰/۱۴۲۵	-۰/۱۱۵۹
$C(A_2, A_2)$	۰/۱۹۵۴	۱/۰۰۰	۱/۰۴۶
$C(A_2, A_3)$	۰/۱۵۴۸	۰/۱۵۷۵	۰/۱۶۰۲
$C(A_2, A_4)$	۰/۱۵۶۶	۰/۱۵۹۳	۰/۱۶۲۰
$C(A_3, A_1)$	-۰/۱۸۱۶	-۰/۲۶۳	۰/۱۶۳
$C(A_3, A_2)$	۰/۲۲۵	۰/۲۶۳	۰/۲۴۷
$C(A_3, A_3)$	۰/۱۶۷۸	۰/۱۷۱۱	۰/۱۷۴۴
$C(A_3, A_4)$	۰/۱۴۱۹	۰/۱۴۳۹	۰/۱۴۵۹
$C(A_4, A_1)$	۰/۱۵۱۵	۰/۱۵۴۰	۰/۱۵۶۵
$C(A_4, A_2)$	۰/۱۹۵۴	۱/۰۰۰	۱/۰۴۶
$C(A_4, A_3)$	۰/۱۵۶۶	۰/۱۵۹۳	۰/۱۶۲۰
$C(A_4, A_4)$	۰/۳۴۲	۰/۰۶۳	-۰/۱۱۴۶
$C(A_5, A_1)$	۰/۱۵۶۶	۰/۱۵۹۳	۰/۱۶۲۰
$C(A_5, A_2)$	۰/۱۱۱۳	۰/۰۲۲	-۰/۱۱۹۸
$C(A_5, A_3)$	۰/۱۷۹۴	۰/۱۸۳۲	۰/۱۸۷۰
$C(A_5, A_4)$	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۶۴	۰/۱۷۹۹

جدول ۱۶. نتایج روش رتبه بندی مرکزی.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$A_1, A_1$	۱	۰	۰	۰	۱	۱
$A_1, A_2$	۱	۰	۰	۰	۱	۰
$A_1, A_3$	۱	۰	۰	۰	۱	۰
$A_1, A_4$	۱	۰	۰	۰	۱	۱
$A_2, A_1$	۱	۰	۰	۰	۱	۰
$A_2, A_2$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_2, A_3$	۱	۰	۰	۰	۰	۰
$A_2, A_4$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_3, A_1$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_3, A_2$	۱	۱	(-۵/۱۶۴, -۷, -۸/۵۵۴)	۰	۱	۱
$A_3, A_3$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_3, A_4$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_4, A_1$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_4, A_2$	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$A_4, A_3$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_4, A_4$	۱	۰	۰	۰	۱	۱
$A_5, A_1$	۰	۰	۰	۰	۰	۱
$A_5, A_2$	۱	۰	۰	۰	۱	۰
$A_5, A_3$	۰	۰	۰	۰	۱	۰
$A_5, A_4$	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۱۹. شاخص عدم تطابق.

شاخص عدم تطابق	مقادیر شاخص عدم تطابق
$D(A_1, A_1)$	۳
$D(A_1, A_2)$	۲
$D(A_1, A_3)$	۲
$D(A_1, A_4)$	۳
$D(A_1, A_5)$	۲
$D(A_2, A_1)$	۰
$D(A_2, A_2)$	۱
$D(A_2, A_3)$	۰
$D(A_2, A_4)$	۱
$D(A_2, A_5)$	-۱/۵۲۷
$D(A_3, A_1)$	۱
$D(A_3, A_2)$	۱
$D(A_3, A_3)$	۰
$D(A_3, A_4)$	۱
$D(A_3, A_5)$	۳
$D(A_4, A_1)$	۱
$D(A_4, A_2)$	۲
$D(A_4, A_3)$	۱
$D(A_4, A_4)$	۳
$D(A_4, A_5)$	۰

جدول ۲۰. درجه فرارته‌بندی گزینه‌ها.

$A_5$	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$
۰	۰	۰	۰	-
۰	۱,۰۳۱	۰	-	۰,۷۳۳
۰	۰,۶۱۱	-	۰	۰
۰	-	۰	۰	۰
-	۰,۷۸۷	۰	۰	۱,۰۳۱

جدول ۲۱. جریان‌های ورودی و خروجی گزینه‌ها.

گزینه‌ها	$\varphi^+$	$\varphi^-$
$A_1$	۰	۱,۷۶۴
$A_2$	۱,۷۶۴	۰
$A_3$	۰,۶۱۱	۰
$A_4$	۰	۲,۴۲۹
$A_5$	۱,۸۱۸	۰

- امروزه خودروسازان به دنبال انتخاب بهترین بازار و بهترین تأمین‌کنندگان و ارائه‌دهندگان خدمات مطلوب هستند. استفاده از دیگر تکنیک‌های MADM مانند آنچه که در این پژوهش به‌عنوان مدل پیشنهادی به کار رفت می‌تواند در انتخاب مناسب‌ترین سیستم اندازه‌گیری تأمین‌کنندگان قطعات خودرو کمک شایانی کند. به طور مثال، استفاده از تکنیک CRITIC فازی برای وزن‌دهی به شاخص‌ها می‌تواند موجب بهبود دقت و اعتبار نتایج باشد؛
- پیشنهاد می‌شود رویکرد این پژوهش در مورد کاوی‌های مختلف در صنایع و سازمان‌هایی که سیستم اندازه‌گیری در آنها از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است (به جز صنعت خودروسازی) پیاده‌سازی شود؛
- استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۲۰</sup> برای رتبه‌بندی و ارزیابی سیستم‌های اندازه‌گیری در شرایط عدم قطعیت (حالت نوتروسوفیک، خاکستری و ...)
- پیشنهاد می‌شود برای دریافت نتایج دقیق، معتبر و قابل استناد از آزمایشات تحقیقی، نه تنها از داده‌ها و اطلاعات موجود در مقالات و کتب استفاده شود بلکه از طریق پرسش‌نامه‌ی خبرگان برای تعیین پارامترهای تکنیک‌های MADM استفاده شود.

مؤثر بوده‌اند. آنچه مسلم است هر پژوهش با مشکلات و محدودیت‌هایی روبروست که محقق را در جامعیت بخشیدن به هدف دچار اشکال می‌کند. فرایند انجام این تحقیق نیز با مشکلاتی مواجه بود که می‌توان با توجه به تخصصی بودن میبخت مورد مطالعه به ازدیاد سوالات، عدم دسترسی به اطلاعات صحیح برای پارامترهای روش PAMSSEM با توجه به عدم انجام مطالعات قبلی در این زمینه و ضریب احتمال خطا در پاسخ اشاره کرد. توجه و تمرکز بر موارد مطالعاتی ذیل به پژوهش‌گران آینده، پیشنهاد می‌شود:

9. gage Repeatability & reproducibility
10. VIKOR
11. analytic hierarchy process
12. open-graded friction courses
13. polypropylene
14. non-linear programming
۱۵. هدایت سرمایه کاسپین، پیوندخودرو، فراسازان، سردساز خودرو و دنا قطعه.
16. number of distinct categories
17. core ranking method
18. center of gravity
19. research and development
20. data envelopment analysis

## پانویس‌ها

1. measurement systems analysis
2. multi criteria decision making
3. multi objective decision making
4. multi attribute decision making
5. criteria importance through intercriteria correlation
6. physical asset management strategy execution enforcement mechanism
۷. اعضای گروه کنترل کیفیت جنگ
8. American society for quality control (ASQC)

## منابع (References)

- Chen, L. and Chang, C. "Approaches for measurement system analysis considering randomness and fuzziness", *International Journal of Fuzzy System Applications (IJFSA)*, **9**(2), pp. 98-131 (2020).
- Goodarzi, A., Dastoor Niko, N., Taheri, A. and et al., *Analysis of the System of Measuring Concepts and Implementation Methods*, In Sapco Publications, 2th Edn., Tehran, (In Persian) (2003).
- Shewhart, W., *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, D. Van Nostrand Company, Inc, New York (1931).
- Automotive Industry Action Group (AIAG). "Measurement systems analysis reference manual", American Society for Quality Control, 2th Edn., Chrysler, Ford, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force, USA (1995).
- Kazemi, A., Haleh H., Hajipour, V. and et al. "Developing a method for increasing accuracy and precision in measurement system analysis: a fuzzy approach", *In Journal of Industrial Engineering*, **6**, pp. 25-32, (In Persian) (2010).
- Moheb-Alizadeh, H. "Capability analysis of the variable measurement system with fuzzy data", *In Applied Mathematical Modelling*, **38**(19-20), pp. 4559-4573 (2013).
- Kuo, C.C. and Huang, P.J. "Repeatability and reproducibility study of thin film optical measurement system", *In Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, **124**(18), pp. 3489-3493 (2013).
- Peruchi, R.S., Balestrassi, P.P., Paiva, A.P. and et al. "New multi variate gage R&R method for correlated characteristics", *In International Journal of Production Economics*, **144**(1), pp. 301-315 (2013).
- Balestrassi, P.P., Peruchi, R.S., Paiva, A.P. and et al. "Weighted approach for multivariate analysis of variance in measurement system analysis", *In Precision Engineering*, **38**(3), pp. 651-658 (2014).
- Ciani, L., Zanobini, A., Sereni, B. and et al. "Repeatability and reproducibility techniques for the analysis of measurement systems", *In Elsevier Measurement*, **86**, pp. 125-132 (2016).
- Avakh Darestani, S. and Laklayeh, G. "Development of a fuzzy model of measurement system analysis considering the stability of measurement tools", *In Sixth International Conference on Engineering and Art*, Rasht, (In Persian) (2016).
- Robson, B.D.P., Rogério, S.P. and Anderson, P.P. "Combining scott-knott and GR&R methods to identify special causes of variation", *In Elsevier, Measurement*, **82**, pp. 135-144 (2016).
- Yuan, Q., Yin, X., Yan, W. and et al. "A new approach for the capability analysis based on measurement system analysis: a case study for coal quality detection equipment", *Int. J. Appl. Decis. Sci.*, **9**(1), pp. 17-38 (2016).
- Alinezhad, A., Amir, A. and Ziamanesh, M. "Combination VIKOR model and measurement systems analysis (MSA)", *In Journal of Industrial Strategic Management*, **2**, pp. 52-63 (2017).
- Li, Z.H., Yang, T. and Huang, C.H. SH. "An improved approach for water quality evaluation: TOPSIS-based informative weighting and ranking (TIWR) approach", *In Ecological Indicators*, **89**, pp. 356-364 (2017).
- Shahbandehzadeh, H. and Vali, M. "Selection of the optimal method of final waste disposal in Tehran using Arreste technique with fuzzy data", *In the Second International Conference on Industrial Management*, (20-31 April), Mazandaran (2017).
- Saikaew, C. "An implementation of measurement system analysis for assessment of machine and part variations in turning operation", *In Elsevier, Measurement*, **118**, pp. 246-252 (2018).
- Acevedo, C., Rojas, I., González, P. and et al. "Multiple-response optimization of open graded friction course reinforced with fibers through CRITIC-WASPAS based on taguchi methodology", *In Construction and Building Materials*, **233**, pp. 117274-117290 (2019).
- Zeng, S.H., Chen, SH. M. and Fan, K. Y. "Interval-valued intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making based on nonlinear programming methodology and topsis method", *In Information Sciences*, **506**, pp. 424-442 (2019).
- Doshi, J.A. and Desai, D.A. "Measurement system analysis for continuous quality improvement in automobile SMEs: multiple case study", *In Total Quality Management & Business Excellence*, **30**(5-6), pp. 626-640 (2019).
- Sharma, M., Sahni S.P. and Sharma, S. "Validating a destructive measurement system using Gauge R&R - a case study", *In Engineering Management in Production and Services*, **11**(4), pp. 34-42 (2019).
- Doaly, C.O., Sriwana, I.K. and Salomon, L. "Analysis the measurement quality system of clearance tappet using measurement system analysis on motorcycle manufacturing company", *In IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng.* **852** 012124 (2020).
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. and Papayannakis, L. "Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method", *In Computers & Operations Research*, **22**(7), pp. 763-770 (1995).
- Alinezhad, A. and Khalili, J. "New techniques in multidisciplinary decisions", *In Amirkabir University Jihad Publications*, 3th Edn, pp. 96, Tehran (In Persian) (2017).
- Hamidi, N., *MADM Discrete Multi-Index Decision Making Techniques*, In Mehregan Danesh Publications, Tehran, (In Persian) (2020).