

مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم، شماره (۲)، پیاپی (۱۳)، پاییز و زمستان ۱۳۹۵  
دریافت: ۹۲/۸/۳۰ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۴  
صص: ۲۱-۴۴

## یک روش ترکیبی نوین برای مسئله انتخاب ماشین آلات و تجهیزات تولیدی

خداکرم سلیمی فرد<sup>۱\*</sup>، رحیم قاسمی<sup>۲</sup>، میثم دسترنج<sup>۱</sup>

- ۱- استادیار- گروه مدیریت صنعتی - دانشگاه خلیج فارس - بوشهر - ایران
- ۲- استادیار- گروه مدیریت صنعتی - دانشگاه خلیج فارس - بوشهر - ایران
- ۳- دانشجوی دکتری- گروه مدیریت صنعتی - دانشگاه یزد - یزد - ایران

### چکیده

مسئله انتخاب ماشین آلات یک موضوع پیچیده و مهم در سیستم های تولیدی و صنعتی است. انتخاب نامناسب ممکن است به بروز مسئله های زیادی رهنمون شود که بر بهره وری، دقت، انعطاف پذیری و کیفیت محصولات اثر منفی دارند. به دلیل متفاوت بودن شاخص های تأثیرگذار، نیاز است به دیدگاه کارشناسان و مدیران برای دامنه پذیرفتنی در سنجش هر شاخص توجه شود. در این پژوهش رویکردی ترکیبی با به کارگیری روش وزن دهی ضریب همبستگی و انحراف شاخص و نیز روش طراحی مبتنی بر بدیهیات با عددهای فازی برای مسئله انتخاب ماشین آلات پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی برای یک مسئله واقعی به کار گرفته شده است. نتایج نشان می دهد که کاربرد رویکرد پیشنهادی برای مدیران و کارشناسان شرکت، رضایت بخش است و می توان در تصمیم گیری برای انتخاب ماشین آلات و تجهیزات قابل پیاده کرد.

واژه های کلیدی: انتخاب ماشین آلات و تجهیزات، تصمیم گیری، روش وزن دهی ضریب همبستگی، طراحی مبتنی بر بدیهیات.

## ۱- مقدمه

امروزه تولیدکنندگان برای اینکه سهم بازار خود را حفظ کنند یا گسترش دهند، ناچار به ایجاد سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر و پایین‌نگه‌داشتن قیمت محصولات هستند. این وابستگی قیمت محصول به نوع سیستم تولیدی، یک مسئله آشکار برای تولیدکنندگان است (کوسیاک<sup>۱</sup>، ۱۹۸۷). برای اینکه قیمت تمام‌شده محصول در کمترین میزان ممکن باشد، مدیران در پی انتخاب ماشین‌آلاتی هستند که بیشترین سازگاری را با خط تولید داشته باشند و بتواند در تولید محصول جدید نیز به کار آیند (مایلهام<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۸۷).

در گذشته مدیران بر این باور بودند که هزینه‌های در نظر گرفته‌شده برای تکمیل امکانات لازم در راه‌اندازی یک خط تولید برابر با خرید ماشین‌ها، نصب و راه‌اندازی است (الموتوا<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵)؛ اما در نظر نگرفتن دیگر شاخص‌های مؤثر ممکن است به یک انتخاب رضایت‌مند منجر نشود، زیرا در این رویکرد هیچ شاخص دیگری جز هزینه برای انتخاب ماشین در نظر گرفته نمی‌شود. در واقع این عامل، نقطه ضعف اصلی در این روش تصمیم‌گیری بوده است (کوناک<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). جرارد<sup>۵</sup> (۱۹۸۸) به این نتیجه رسید که روش درست در انتخاب ماشین‌آلات، تنها در نظر گرفتن هزینه‌های خرید نیست. به گفته وی به دلیل تغییر پیاپی در تولید و ارائه کردن محصول جدید، برای اینکه ماشین‌ها نیز قدرت تطبیق‌پذیری با شرایط تغییر داشته باشند، باید در خرید ماشین‌آلات برای خط تولید افزون بر شاخص هزینه، شاخص‌های دیگری مانند قابلیت سازگاری با تجهیزات، نیروی انسانی و سیستم کنترل،

وجود سرویس پشتیبانی برای ماشین، بهره‌وری ماشین و میزان ساعاتی که ماشین در روز می‌تواند کارایی لازم را داشته باشد، انعطاف‌پذیری ماشین، و مانند این‌ها را در انتخاب ماشین‌آلات در نظر گرفت. توجه به نکاتی از این دست بیانگر مسئله انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی است (دوران و آگیلو<sup>۶</sup>، ۲۰۰۸). این مسئله با روش‌های گوناگون تحقیق در عملیات مدل‌سازی و حل شده است. از طرفی، نوع سیستم‌های تولیدی شامل ماشین‌آلات و تجهیزات به‌طور مستقیم در کیفیت کالا، بهره‌وری نیروی کار، هدایت منابع مالی سازمان، و در نهایت رضایت مشتریان تأثیر دارد. با توجه به تنوع سیستم‌های موجود، نیاز به استفاده از روش‌های کارا برای آسان‌سازی و بهینه‌سازی فرایند انتخاب، یک نیازمندی سازمانی است (بویورگان<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۴).

همچنین، همیشه ماشین‌آلات تولیدی برای کاربردها، برنامه‌ها و شرایط مختلفی برنامه‌ریزی می‌شوند. انتخاب ماشین‌آلات باید براساس شاخص‌های از پیش تعریف‌شده باشد. به دلیل گوناگونی ماشین‌آلات در بازار، انتخاب یکی از میان گزینه‌های موجود که بتواند بیشترین نیازمندی‌های خریدار را برآورده سازد، کار دشواری است؛ زیرا باید همه شاخص‌های تصمیم را برای انتخاب یک گزینه مناسب در نظر گرفت (مایلهام و همکاران، ۱۹۸۷). از این رو، پژوهش برای دستیابی به روشی جامع در انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی که همه جوانب را در نظر بگیرد، بایسته است. یک مسئله انتخاب به‌صورت ذاتی دارای شاخص‌هایی برای ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی

جها و جها<sup>۱۴</sup>، (۱۹۹۸)، برنامه ریزی عدد صحیح (استک<sup>۱۵</sup>، ۱۹۸۳؛ سارین و چن<sup>۱۶</sup>، ۱۹۸۷؛ لیونگ<sup>۱۷</sup> و همکاران، ۱۹۹۳؛ گوتیرز و ساهیندیس<sup>۱۸</sup>، ۱۹۹۶؛ ابوگمیلا و متولی<sup>۱۹</sup>، ۲۰۰۳ و سوجونو و لشکری<sup>۲۰</sup>، ۲۰۰۷)، روش های بهینه سازی فراابتکاری (چان و همکاران، ۱۹۹۸؛ چو و هونگ<sup>۲۱</sup>، ۲۰۰۰؛ وانگ<sup>۲۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۲؛ جهرمی و توکلی مقدم<sup>۲۳</sup>، ۲۰۱۱؛ چان و سوارنکا<sup>۲۴</sup>، ۲۰۰۶)، سیستم های خبره (چتورو<sup>۲۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۵) حل نمایند. همچنین، هادوک و هارتسهورن<sup>۲۶</sup> (۱۹۸۹)، چیل<sup>۲۷</sup> (۲۰۰۴)، و دلن و پرات<sup>۲۸</sup> (۲۰۰۶) در پژوهش های خود یک سیستم پشتیبانی تصمیم برای انتخاب تجهیزات پیشنهاد دادند. روش هایی مانند شبکه های پتری (ردی<sup>۲۹</sup> و همکاران، ۱۹۹۲)، شبیه سازی (سوبرامانیام<sup>۳۰</sup> و همکاران، ۲۰۰۰) و شبکه های عصبی (آلبرتی و سیورانا<sup>۳۱</sup>، ۲۰۰۹) نیز با موفقیت به کار برده شده است.

از سویی، با در نظر گرفتن نیازهای تصمیم گیرنده، فرایند پیشنهاد گزینه ها برای ارزیابی نیز هدفمندتر می شود. این پژوهش در پی پاسخگویی به پرسش های زیر است:

چگونه می توان نیازهای تصمیم گیرنده را در فرایند انتخاب ماشین آلات و تجهیزات تولیدی وارد کرد؟

چگونه می توان برای کاهش دخالت نظرهای ذهنی خبرگان و افزایش عینیت وزن شاخص ها، با استفاده از ماتریس تصمیم به وزن دهی شاخص ها پرداخت؟

است. در نتیجه، مسئله انتخاب ماشین آلات و تجهیزات به عنوان یک مسئله تصمیم گیری چندشاخصه در نظر گرفته شده است که پژوهشگرانی همچون حاذقی (۱۳۸۸)؛ عبدالله زاده و همکاران (۱۳۸۴)؛ تابوکانون<sup>۸</sup> و همکاران (۱۹۹۴) و یورداکول<sup>۹</sup> (۲۰۰۴) با استفاده از تکنیک هایی مانند تحلیل سلسله مراتبی و ارتوگراال کارساک و کوزگونکایا<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۲)؛ چان<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵)؛ زارع مهرجردی<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۹)، با استفاده از برنامه ریزی چندهدفه فازی و تانسل و یوسف<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۲) با تاپسیس، به مدل سازی و حل مسئله پرداخته اند. این دسته از تکنیک ها با تعیین شاخص هایی با وزن معین و شناسایی گزینه های پیشنهادی، به ارزیابی هر گزینه با هر شاخص پرداخته و پس از بررسی عملکرد همه گزینه ها، برترین گزینه را پیشنهاد می دهد. این در حالی است که در فرایند انتخاب ماشین آلات و تجهیزات تولیدی، خواسته ها و نیازهای تصمیم گیرنده بسیار تعیین کننده است و باید در فرایند انتخاب تأثیر داده شود. تکنیک های تصمیم گیری به کاررفته برای مسئله انتخاب ماشین آلات این توانمندی را ندارند و گزینه ها را تنها با توجه به عملکرد آنها در شاخص ها و بدون توجه به نیاز تصمیم گیرنده ارزیابی می کنند. در صورتی که ممکن است بسیاری از گزینه ها در منطقه موجه خواست تصمیم گیرنده جای نگیرد و در واقع نباید در فرایند تصمیم گیری وارد شوند.

همچنین، پژوهشگران تلاش نموده اند تا مسئله انتخاب ماشین آلات را با روش های دیگر مانند برنامه ریزی خطی (بخشی کیادهی و همکاران، ۱۳۸۹)؛

انتخاب بهترین گزینه، وزن‌های مشخص شده در روش طراحی مبتنی بر بدیهیات استفاده می‌شود.

## ۲-۱-۱- تعیین وزن شاخص‌ها

به دلیل ماهیت مسئله انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی، و مهم‌بودن انتخاب دقیق گزینه مدنظر، استفاده از وزن‌دهی عینی مؤثرتر از روش‌های دیگر به نظر می‌رسد. استفاده از وزن‌دهی عینی و با توجه به اطلاعات واقعی در ماتریس تصمیم‌گیری، باعث حدافل شدن خطا می‌شود. اگر چه استفاده از وزن‌های عینی باعث افزایش دقت در انتخاب می‌شود، اما تا جایی که نویسندگان این پژوهش آگاهی یافته‌اند و با بررسی مقالات، مشخص شد که تاکنون در روش طراحی مبتنی بر بدیهیات از وزن‌دهی عینی استفاده نشده است. روش CCSD از ترکیب ضریب همبستگی (CC) و انحراف شاخص (SD) برای تعیین وزن شاخص‌ها در تصمیم‌گیری چندشاخصه و تحلیل حساسیت یکپارچه در تعیین وزن بهره می‌گیرد. شیوه کار این‌گونه است که نخست یکی از شاخص‌ها حذف می‌گردد. اگر ضریب همبستگی شاخص حذف شده بزرگ باشد، پس این شاخص اثر کمی دارد و باید به آن وزنی کمی اختصاص داد و در غیر اینصورت باید به آن وزن زیادی داده شود. همچنین، اگر شاخص یادشده دارای انحراف استاندارد بزرگ باشد یعنی شاخص مهمی است و باید به آن وزن زیادی داده شود. در ادامه شیوه وزن‌دهی به شاخص‌ها در مسئله انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی شرح داده می‌شود.

فرض کنید که  $n$  گزینه  $(A_1, A_1, \dots, A_n)$  برای انتخاب وجود دارد. شمار شاخص‌هایی که گزینه‌ها

چگونه می‌توان در انتخاب ماشین‌آلات با رعایت وزن‌دهی عینی و برآورده‌سازی حداقل نیازهای تصمیم‌گیرندگان، یک تصمیم بهتر گرفت؟

## ۲- روش پژوهش

این پژوهش در پی روشی است که نیازهای خریداران ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی را پیش از تصمیم‌گیری در مسئله، اعمال کند؛ روشی که بتواند تأثیر شاخص‌های فازی و دقیق را هم‌زمان بر تصمیم مشخص کند. وزن شاخص‌های تصمیم‌گیری می‌تواند در انتخاب مناسب‌ترین گزینه تأثیر زیادی داشته باشد؛ بنابراین تعریف درست از وزن شاخص‌ها بسیار مهم است. تکنیک طراحی مبتنی بر بدیهیات<sup>۳۲</sup> (AD) این نیازمندی‌ها را پوشش می‌دهد و نیازهای تصمیم‌گیرنده را به طور مستقیم در فرایند تصمیم‌گیری وارد می‌کند. تکنیک طراحی مبتنی بر بدیهیات در حوزه‌های گوناگون تصمیم‌گیری دارای کارایی و سودمندی زیاد و استفاده فراوان است. روش ترکیبی ارائه شده که در ادامه به آن پرداخته شده، تمام اهداف بیان شده را در نظر گرفته است و در آن سعی شده تمام محدودیت‌های یک مسئله انتخاب را جواب‌گو باشد.

## ۲-۱- ترکیب روش ضریب همبستگی و انحراف

### شاخص با طراحی مبتنی بر بدیهیات

در رویکرد پیشنهادی این پژوهش، نخست با استفاده از روش ضریب همبستگی و انحراف شاخص<sup>۳۳</sup> (CCSD) وزن شاخص‌های عینی مسئله انتخاب ماشین‌آلات به دست می‌آید، سپس برای

$$Z = (z_{ij})_{n \times m} = \begin{matrix} & o_1 & o_2 & \dots & o_m \\ A_1 & \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_n & \begin{bmatrix} z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (3)$$

همچنین،  $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$  بردار وزن شاخص‌ها است که در آن  $w_j \geq 0$ ، و همیشه خواهیم داشت:

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (4)$$

همان‌گونه که هوانگ و یون<sup>۳۴</sup> (۱۹۸۱) اشاره می‌کند، براساس روش وزن‌دهی افزایشی ساده<sup>۳۵</sup> (SAW) مقدار ارزیابی کلی هر گزینه تصمیم با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید. برای محاسبه مقدار ارزیابی کل می‌توان هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری به کار گرفته شود، زیرا وزن‌های اصلی در پایان با استفاده از روش CCSD به دست می‌آید.

$$d_i = \sum_{j=1}^m z_{ij} w_j; i = 1, \dots, n \quad (5)$$

رابطه (۵) یک تابع خطی از وزن شاخص‌ها است. هر کدام از گزینه‌های موجود در فرایند تصمیم‌گیری که دارای بزرگترین مقدار ارزیابی کلی باشد، به عنوان انتخاب فرایند تصمیم‌گیری معرفی می‌شود. تا اینجا به دست آوردن وزن و محاسبه رتبه شاخص‌ها به صورت وزن‌دهی ذهنی صورت گرفته است. در روش CCSD برای شروع کار وزن‌دهی به شاخص‌ها، نخست شاخص  $Q_j$  از مجموعه شاخص‌ها حذف می‌شود. با حذف این شاخص، مقدار ارزیابی کلی برای هر گزینه، بدون در نظر گرفتن

بر اساس آن‌ها سنجیده می‌شود با  $Q_1, Q_2, \dots, Q_m$  نمایش داده می‌شود. با توجه به این دو موضوع، شکل ماتریس تصمیم به صورت  $X = (x_{ij})_{n \times m}$  تعریف می‌شود، که  $x_{ij}$  ارزش گزینه  $A_i$  با توجه به شاخص  $Q_j$  است.

شاخص‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته نخست بیانگر شاخص‌هایی هستند که ماهیت آن‌ها سود است، که می‌توان به کیفیت، میزان انعطاف-پذیری، خدمات پس از فروش و مانند این‌ها اشاره کرد. دسته دوم شاخص‌هایی هستند مانند هزینه، مدت‌زمان انجام فرایند، و مانند این‌ها که از ماهیت هزینه‌ای برخوردار هستند. با توجه به سنجش ناپذیری ارزش‌های داده شده به گزینه‌ها نسبت به شاخص‌های مختلف، باید ماتریس تصمیم را به صورت بهنجار شده تبدیل کرد تا بتوان آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود. برای این منظور از رابطه‌های (۱) و (۲) که بیشترین کاربرد را در روش‌های بهنجارسازی دارند، استفاده می‌شود.

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}; i = 1, \dots, n; j \in \Omega_b \quad (1)$$

$$z_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}; i = 1, \dots, n; j \in \Omega_c \quad (2)$$

رابطه (۱) برای بهنجارسازی شاخص‌های با ماهیت سود، و رابطه (۲) برای بهنجارسازی شاخص‌های با خاصیت هزینه استفاده می‌شود.

در رابطه‌های بالا

$$x_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\}, x_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\} \text{ و } \Omega_b \text{ و } \Omega_c$$

به ترتیب مجموعه نمایه برای شاخص‌های سود و شاخص‌های هزینه و  $Z_{ij}$  مقدار بهنجار شده  $x_{ij}$  هستند. ماتریس بهنجار شده تصمیم را می‌توان همانند رابطه (۳) نشان داد.

جایگزین خواهد داشت، از این رو باید وزن بسیار زیادی به این شاخص اختصاص داد.

افزون بر این، اگر یکی از شاخص‌ها برای تمام گزینه‌ها تا حدودی مساوی یکدیگر باشند، می‌توان آن شاخص را بدون اینکه تأثیری بر مسئله تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی داشته باشد، حذف کرد. به عبارت دیگر، شاخص‌هایی با انحراف استاندارد (SD) بزرگتر، باید وزن بیشتری نسبت به آن‌هایی که انحراف استاندارد کوچکتری دارند، دریافت کنند. با توجه به آنچه گفته شد، می‌توان وزن هر شاخص را به صورت رابطه (۹) تعریف نمود:

$$w_j = \frac{\sigma_j \sqrt{1 - R_j}}{\sum_{k=1}^m \sigma_k \sqrt{1 - R_k}} ; j = 1, \dots, m \quad (9)$$

که  $\sigma_j$  مقدار انحراف استاندارد از شاخص  $Q_j$  است و با رابطه (۱۰) به دست می‌آید:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{ij} - \bar{z}_j)^2} \quad (10)$$

ریشه دوم  $1 - R_j$  باعث کمتر شدن اختلاف میان بیشترین و کمترین وزن می‌شود؛ در صورت نبود ریشه دوم این مقدار، اختلاف بین بیشترین و کمترین وزن بزرگتر می‌گردد.

با استفاده از روش بیان شده، با در دست داشتن وزن‌های اولیه (با توجه به نظرات کارشناسان و خبرگان ارائه می‌شود) و داشتن ماتریس تصمیم، می‌توان به مقدار وزن هر یک از شاخص‌ها دست یافت و حتی برخی از آنان را برای راحتی کار حذف کرد. این وزن‌ها به صورت عینی هستند که از روش CCSD به دست می‌آیند (وانگ و لئو<sup>۳۶</sup>، ۲۰۱۰).

شاخص حذف شده، دوباره با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$d_{ij} = \sum_{k=1, k \neq j}^m z_{ij} w_k ; i = 1, \dots, n \quad (6)$$

ضریب همبستگی میان مقدار شاخص  $Q_j$  و مقدار ارزیابی کل می‌تواند به صورت رابطه (۷) بیان شود:

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^n (z_{ij} - \bar{z}_j)(d_{ij} - \bar{d}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (z_{ij} - \bar{z}_j)^2 \sum_{i=1}^n (d_{ij} - \bar{d}_j)^2}} \quad (7)$$

که در رابطه (۷) داریم:

$$\begin{aligned} \bar{z}_j &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{ij} ; j = 1, \dots, m \\ \bar{d}_j &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij} \\ &= \sum_{k=1, k \neq j}^m \bar{z}_k w_k ; j = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (8)$$

اگر  $R_j$  به اندازه کافی بزرگ و نزدیک به عدد ۱ باشد، پس شاخص  $Q_j$  و ارزیابی کل که بدون در نظر گرفتن شاخص  $Q_j$  محاسبه شده است، دارای همان توزیع عددی و رتبه‌بندی است. به سخن دیگر، به دلیل نزدیک بودن به ۱،  $Q_j$  اثر کمی در تصمیم‌گیری دارد؛ بنابراین، باید به این شاخص وزن کمی اختصاص داده شود. اما اگر  $R_j$  بسیار پایین باشد، در این صورت بیان می‌شود که نزدیک به عدد ۱- است و ارزیابی کل بدون در نظر گرفتن شاخص  $Q_j$  دارای توزیع عددی و رتبه معکوس است. به سخن دیگر، افزودن  $Q_j$  به مجموعه شاخص‌ها تأثیر چشمگیری در تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی گزینه

## ۲-۱-۲- روش طراحی مبتنی بر بدیهیات در حل

### مسائل انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی

همانطور که در بخش پیش گفته شد، مطالعات گوناگونی برای حل مسئله انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی وجود دارد. در اکثر این مطالعات از تکنیک‌هایی استفاده شده است که تنها به مقایسه گزینه‌ها با یکدیگر و انتخاب بهترین گزینه در میان گزینه‌های موجود می‌پردازند. مشکل این روش‌ها در این است که به گزینه‌های در نظر گرفته شده، فارغ از توجه به خواست‌ها و مطلوبیت‌های تصمیم‌گیرندگان از هر گزینه در هر شاخص می‌پردازند. به عنوان مثال در شاخص هزینه، تنها گزینه‌ها مقایسه می‌شوند و هرکدام هزینه پایین‌تری داشته باشند، مطلوب‌تر هستند. البته، مشخص نیست میزان مطلوبیت از دیدگاه تصمیم‌گیرندگان چه دامنه‌ای از هزینه‌ها است؛ یا به عبارتی حداکثر هزینه‌ای که یک سازمان تمایل به پرداخت آن دارد، مشخص و مقایسه نمی‌شود. در صورتی که اگر این شاخص نیز وجود داشت نه تنها گزینه‌ها با خواسته تصمیم‌گیرندگان مقایسه می‌شوند، بلکه همچنین این امکان وجود دارد که تعدادی از آن‌ها را از همان ابتدا به دلیل برآورده نساختن خواست سازمان در یک یا چند شاخص حذف و از صرف زمان برای مطالعه آن‌ها خودداری کرد. یکی از تکنیک‌هایی که دارای این قابلیت می‌باشد، تکنیک AD است. تا جایی که نویسندگان این پژوهش آگاهی دارند، در حل مسائل مربوط به انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی از آن استفاده نشده است. همچنین، مشخص است که در شرایط واقعی شاخص‌های انتخاب شده برای مسئله بحث شده هم

به صورت دقیق و هم به دلیل نبود اطلاعات دقیق و کامل، از فازی استفاده می‌شوند. بنابراین، روش AD برای اطلاعات کامل و روش AD فازی برای اطلاعات ناقص ساخته شده و توسعه یافته‌اند و همان‌طور که بیان شد به دلیل اینکه هم شاخص‌های کیفی و هم کمی وجود دارد باید از هر دو روش استفاده شود. در بسیاری از کاربردها در دنیای واقعی، برخی از داده‌های تصمیم می‌توانند به دقت ارزیابی شوند. اما، در برخی دیگر که نمی‌توان از داده‌های دقیق استفاده نمود، می‌توان از عددهای فازی استفاده کرد. تکنیک AD صرفاً به مقایسه گزینه‌ها با یکدیگر نمی‌پردازد، بلکه گزینه‌ها با خواست تصمیم‌گیرندگان نیز مقایسه و در صورت برآورده نساختن نیازها، حذف می‌شوند. این قابلیت، تکنیک یاد شده را علی-رغم اینکه تاکنون در انتخاب ماشین‌آلات استفاده نشده است، به گزینه‌ای مناسب برای تصمیم‌گیری تبدیل می‌کند.

### - معرفی تکنیک طراحی مبتنی بر بدیهیات (AD)

دو تخصیص بدیهی وجود دارد که پایه و اساس این روش را می‌سازد. وجود تخصیص‌های بدیهی مهم‌ترین پایه و اساس روش AD را تشکیل می‌دهند، که عبارتند از "بدیهی مستقل"<sup>۳۷</sup> و "بدیهی اطلاعاتی"<sup>۳۸</sup> (منظور از بدیهی آن چیزی است که الزامی است. در واقع، خواست‌هایی است که به طور بدیهی باید در گزینه‌ها وجود داشته باشند). بدیهی مستقل ضامن حفظ نیازهای وظیفه‌ای (FR)<sup>۳۹</sup> است (سا<sup>۴۰</sup>، ۱۹۹۰). نیازهای وظیفه‌ای یا FRها به عنوان حداقل نیازهای مستقلی هستند که اهداف طرح را

هستند. نحوه محاسبه محتوای اطلاعاتی متفاوت است که در ادامه نشان داده شده است.

### الف) محتوای اطلاعاتی شاخص های دقیق

در محاسبه محتوای اطلاعاتی شاخص های دقیق ممکن است دو حالت رخ دهد. حالت اول مربوط به گزینه هایی است که دارای تابع یکنواخت در محدوده سیستم می باشد که این حالت در شکل (۱) نشان داده شده است. همچنین نحوه محاسبه محتوای اطلاعاتی از رابطه (۱۱) به دست می آید.

$$I_i = \log_2 \left( \frac{1}{P_i} \right) \quad (11)$$

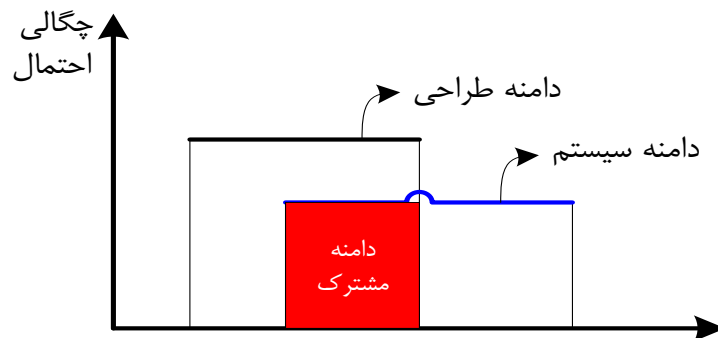
$$P_i = \frac{\text{common area}}{\text{system range}}$$

در رابطه (۱۱) محتوای اطلاعاتی یک گزینه و  $P_i$  احتمال دستیابی گزینه بررسی شده به الزامات عملکردی، براساس شاخص بررسی شده است. در اینجا  $\text{common range}$  اندازه مساحت مشترک بین محدوده سیستم و محدوده طراحی و  $\text{system range}$  اندازه مساحت محدوده سیستم گزینه بررسی شده است.

بیان می کنند. بدیهی اطلاعاتی تضمین می کند که در میان آن دسته از طرح هایی که بدیهی مستقل را برآورده می کنند، طرحی که کمترین محتوای اطلاعاتی<sup>۴۱</sup> را دارا باشد، بهترین طرح است (سا، ۲۰۰۱). اطلاعات که از جهت محتوای اطلاعاتی تعریف می شوند، و با  $I_i$  نمایش داده می شوند به ساده ترین بیان، احتمال برآورده سازی FR های داده شده را نشان می دهند. طرحی که دارای بیشترین احتمال موفقیت باشد به عنوان بهترین طرح معرفی می شود (کولاک و کهرمان<sup>۴۲</sup>، ۲۰۰۵).

به بیان ساده تر، بدیهی استقلال همان محدوده سیستم است که نشان دهنده هر یک از گزینه های در دسترس است. محدوده طراحی نیز همان نیازهای تصمیم گیرنده براساس هر شاخص است که برای به دست آوردن بدیهی اطلاعاتی یا همان محتوای اطلاعاتی به دست می آید.

برای به دست آوردن محتوای اطلاعاتی، نیاز به مساحت ناحیه مشترک بین محدوده سیستم و محدوده طراحی است. شاخص ها در مسئله انتخاب ماشین آلات و تجهیزات تولیدی، فازی و غیر فازی



شکل (۱) محتوای اطلاعاتی در شاخص های دقیق و یکنواخت



متوسط با مقدار (۰/۵، ۰/۳۵، ۰/۲)، متغیر زبانی خوب با مقدار (۰/۷، ۰/۵۵، ۰/۴)، متغیر زبانی خیلی خوب با مقدار (۰/۹، ۰/۷۵، ۰/۶) و متغیر زبانی عالی با مقدار (۱، ۱، ۰/۸) نشان داده می‌شود.

طراحی مبتنی بر بدیهیات فازی (FAD) در محاسبه محدودۀ طراحی دارای یک مشکل بزرگ و جدی است. همانطور که بیان شد، معمولاً شاخص‌ها به دو دسته سود و هزینه تقسیم می‌شوند. بنابراین، مقدار بیشتر در یک گزینه برای شاخص سود و یا پایین بودن مقدار یک گزینه در شاخص هزینه بسیار آشکار در موفقیت آن گزینه برای انتخاب می‌باشد. با این حال این واقعیت بدیهی در قوانین موجود در FAD نقض شده است.

در مسئله انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی برای مثال، یک شاخص سود که الزامات کارکردی (FR) را با توجه به شکل (۲) طراحی "متوسط" انتخاب کرده باشند، در نظر بگیرید. چنانچه از گزینه‌های موجود یکی دارای محدودۀ سیستم "ضعیف" و دیگری دارای ماهیت "خوب" باشد، ارزش محتوای اطلاعاتی (I) برای هر دو گزینه یکسان خواهد بود؛ در صورتی که تفاوت زیادی بین این دو گزینه وجود دارد. این مسئله برای شاخص هزینه نیز صادق است که یکی از ضعف‌های بزرگ FAD است.

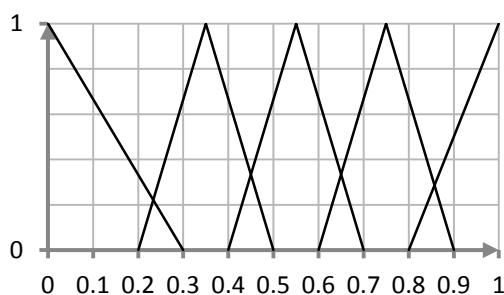
$$I_i = \log_2 \left( \frac{1}{P_i} \right) \quad (12)$$

$$P_i = \int_{dr^l}^{dr^u} p_s(FR) dFR$$

حالت دوم مربوط به گزینه‌هایی است که دارای محدودۀ سیستم به صورت یک متغیر تصادفی پیوسته هستند که با یک تابع نشان داده می‌شود. با استفاده از رابطه (۱۲) محتوای اطلاعاتی گزینه مد نظر به دست می‌آید. در این رابطه،  $p_z(FR)$  نشان دهنده تابع چگالی احتمال گزینه بررسی شده است که  $P_i$  احتمال موفقیت با در نظر گرفتن تابع چگالی احتمال محدودۀ سیستم با محدودۀ طراحی (FR) با کران پایین محدودۀ طراحی ( $dr^l$ ) و کران بالای محدودۀ طراحی ( $dr^u$ ) است.

### ب) محتوای اطلاعاتی شاخص‌های فازی با رویکرد جدید

داده‌های فازی با توجه به شرایط مسئله می‌تواند به صورت مجموعه‌های فازی یا اعداد فازی باشد. به طور سیستماتیک می‌توان اصطلاحات زبانی را به اعداد فازی به صورت طیف ۵ تایی (ضعیف، متوسط، خوب، خیلی خوب و عالی) تبدیل کرد که در شکل ۲ نشان داده شده است. کهرمان و سبی<sup>۳۳</sup> (۲۰۰۹) از این طیف برای مسئله فازی طراحی مبتنی بر بدیهیات (FAD)<sup>۳۴</sup> استفاده کرده‌اند. بر اساس شکل (۲)، متغیر زبانی ضعیف با مقدار (۰، ۰، ۰/۳)، متغیر زبانی



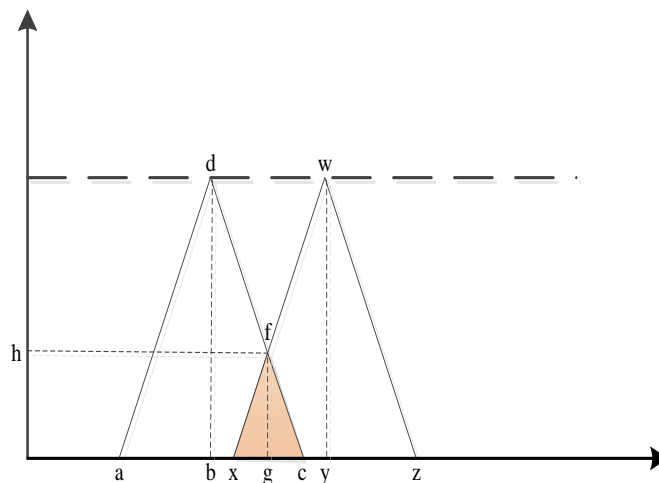
شکل (۲) بازۀ اعداد فازی مثلثی (کهرمان و سبی، ۲۰۰۹)

پیشنهاد شد. هر کدام از این رویکردها دارای نواقصی بودند از جمله (۱) در نظر نگرفتن الزامات عملکردی مطرح شده تصمیم‌گیرندگان برای هر شاخص به صورت صحیح؛ (۲) حذف نشدن انتخاب‌هایی که با حداقل نیازهای طراحان محدوده مشترکی ندارند، و (۳) مقایسه پذیر بودن میزان کارایی و اهمیت هر گزینه با گزینه‌های دیگر برای اینکه محدودیت‌های بیان شده بررسی شوند. نویسندگان این پژوهش، رویکرد زیر را مطرح کردند، که به شرح آن پرداخته می‌شود.

فرض کنید عدد فازی مثلثی  $\tilde{D} = (x, y, z)$  برای محدوده طراحی یا همان الزامات عملکردی، و عدد فازی مثلثی  $\tilde{S} = (a, b, c)$  برای محدوده سیستم تعریف شود. با توجه به شکل (۳) فرض بر این است که شاخص بررسی شده با ماهیت سود و  $c > x$  است.

حال اگر گزینه دیگر در شاخص مطرح شده در مثال بالا با توجه به شکل (۲) دارای رتبه عالی باشد، بنابراین هیچ فضای مشترکی بین الزامات کارکردی (FR) و محدوده طراحی وجود ندارد و نتیجه آن براساس رابطه (۱۱) دارای محتوای اطلاعاتی صفر می‌شود که باعث حذف گزینه مورد نظر از تصمیم‌گیری می‌شود. گزینه حذف شده که در یک شاخص بدون هیچ‌گونه پرداخت اضافی دارای رتبه عالی است، می‌تواند انتخاب مناسبی برای تصمیم‌گیرندگان باشد. این مسئله برای شاخص هزینه نیز صادق است. پس می‌توان چنین بیان کرد که یکی دیگر از ضعف‌های AD فازی در نظر نگرفتن مسئله بیان شده در بالا می‌باشد.

برای برطرف کردن این مشکلات دو رویکرد متفاوت از سوی پژوهشگرانی همچون کهرامان و سبی (۲۰۰۹) و چلیک<sup>۲۵</sup> و همکاران (۲۰۰۹)



شکل (۳) محدوده طراحی، محدوده سیستم و محدوده مشترک

به دست آورد؛ مساحت مثلث را می‌توان به صورت رابطه (۱۳) محاسبه کرد.

محتوای اطلاعاتی در شکل حاضر را می‌توان با استفاده از FAD معمولی محاسبه کرد، زیرا دارای محدوده مشترک است و باید مساحت مثلث  $\Delta xfc$

$$I = \log_2 \left( \frac{\text{system range}}{\text{common area}} \right) \quad (18)$$

$$= \log_2 \left( \frac{(c-a)(c-b) + (c-a)(y-x)}{(c-x)^2} \right)$$

همچنین، در حالتی که  $z < c$  باشد، می توان محتوای اطلاعاتی را همانند روند بالا محاسبه کرد. نتیجه نهایی به صورت رابطه (۱۹) خواهد بود.

$$I = \log_2 \left( \frac{\text{system range}}{\text{common area}} \right) \quad (19)$$

$$= \log_2 \left( \frac{(c-a)(z-y) + (c-a)(b-a)}{(z-a)^2} \right)$$

همان گونه که در شکل (۳) دیده می شود، اگر  $c \leq x$  باشد، محدوده مشترک صفر خواهد بود و با توجه به شاخص سود بررسی شده، گزینه مد نظر از محدوده طراحی کمتر است، بنابراین، محتوای اطلاعاتی برابر با بی نهایت ( $\infty$ ) در نظر گرفته می شود. اما تا اینجا محدودیت های بیان شده رفع نشده اند. این محدودیت ها زمانی اتفاق می افتند که در شاخص هایی با "ماهیت سود" محدوده طراحی توسط طراحان پایین تر از محدوده سیستم در نظر گرفته شود. به عنوان مثال با توجه به شکل (۴) اگر محدوده طراحی یک شاخص توسط طراحان "متوسط" در نظر گرفته شود و در مثال فرضی، گزینه اول در شاخص مورد نظر که ماهیت سود دارد، "خیلی خوب" و گزینه دوم "عالی" کسب کنند، بنابراین، محدودیت هایی که به دنبال رفع آن هستیم، شکل می گیرد. شکل (۴) این موضوع را به تصویر می کشد.

$$S_{\Delta xfg} = \bar{xc} \times \bar{fg}/2 \quad (13)$$

قاعده مثلث که  $xc$  است به راحتی در دسترس است. اما برای به دست آوردن ارتفاع مثلث ( $fg$ ) باید نقطه  $f(g, h)$  را داشت. از آنجا که این نقطه بر روی دو خط راست ( $dc$ ) و ( $wx$ ) است می توان با داشتن معادله خط های یاد شده و با استفاده از شیب آن ها به مختصات نقطه مورد نظر دست یافت.

$$\bar{dc}: h = \frac{g-c}{b-c} \quad (14)$$

$$\bar{wx}: h = \frac{g-x}{y-x}$$

که با برابر قرار دادن دو رابطه بالا می توان مقدار ( $h$ ) را از رابطه (۱۵) به دست آورد.

$$h = \frac{c-x}{y-x-b+c} \quad (15)$$

با استفاده از رابطه (۱۶) می توان مساحت مثلث مدنظر که برابر با مساحت ناحیه مشترک است، به دست آورد.

$$\text{common area} = S_{\Delta xfc} \quad (16)$$

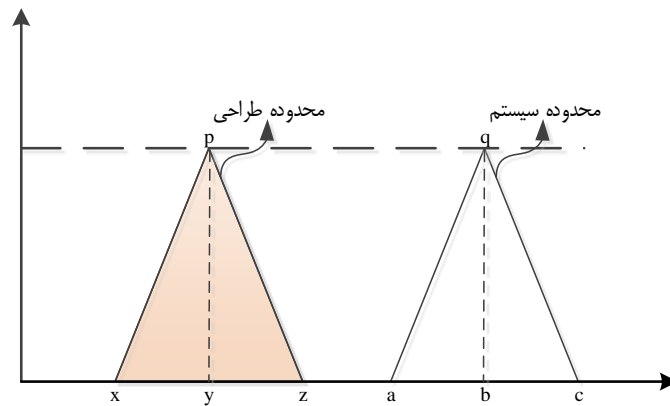
$$= \frac{(c-x)^2}{2(y-x-b+c)}$$

همچنین مساحت محدوده سیستم را می توان از رابطه (۱۷) به دست آورد.

$$\text{system range} = S_{abc} = \frac{\bar{ac} \times 1}{2} \quad (17)$$

$$= \frac{c-a}{2}$$

با توجه به روابط گفته شده می توان محتوای اطلاعاتی را در روش جدید به صورت رابطه (۸) بیان کرد.



شکل (۴) محدوده طراحی پایین تر از محدوده سیستم در شاخص با ماهیت سود

از بهبود محتوای اطلاعاتی و روشی که پیشنهاد شده است می توان این مهم را انجام داد. در تکنیک AD که تاکنون ارائه شده است، گزینه ها بر اساس جمع محتوای اطلاعاتی که از شاخص های مختلف کسب می کنند، رتبه بندی می شوند، و هر گزینه که دارای مجموع محتوای اطلاعاتی کوچک تری باشد، انتخاب می شود. همچنین کمترین مقدار محتوای اطلاعاتی که در روش AD می تواند به یک گزینه براساس یک شاخص اختصاص داده شود، صفر است؛ این مقدار به گزینه ای اختصاص داده می شود که محدوده سیستم آن، منطبق با محدوده طراحی باشد. اما زمانی که محدوده سیستم بهتر از محدوده طراحی باشد باید به محتوای اطلاعاتی عددی تعلق گیرد که بهتر از صفر باشد. بنابراین، در رویکرد جدید باید از اعداد منفی برای نشان دادن محتوای اطلاعاتی استفاده کرد، یعنی اعداد منفی دارای ارزش بیشتری برای انتخاب گزینه ها هستند. به دلیل کمبودی که عدد فازی مثلثی محدوده طراحی دارد، باید به یک عدد فازی ذوزنقه ای تبدیل شود. این عدد از ابتدای محدوده

همان طور که در شکل (۴) نمایش داده شده است، هیچ مساحت مشترکی بین محدوده طراحی و محدوده سیستم وجود ندارد و طبق AD فازی معمولی هر گزینه با این خاصیت، دارای محتوای اطلاعاتی بی نهایت شده و از چرخه تصمیم گیری حذف می شود که مخالف با واقعیت است.

پس به طور خلاصه روش پیشنهادی در شاخص با ماهیت سود باید دربرگیرنده موارد زیر باشد:

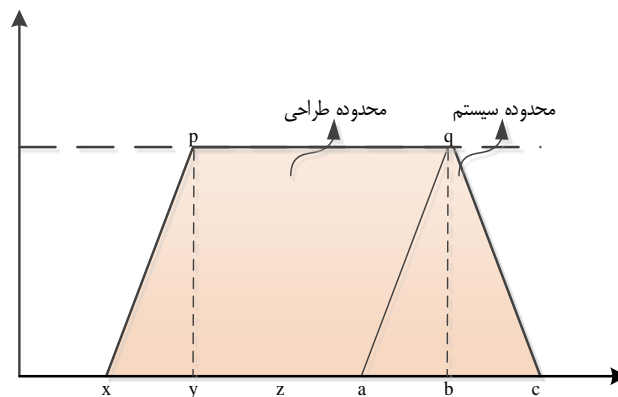
اگر محدوده سیستم پایین تر از محدوده طراحی باشد و بین آنها هیچ مساحت مشترکی وجود نداشته باشد، پس محتوای اطلاعاتی (I) برای گزینه بررسی شده برابر بی نهایت است؛

اگر محدوده سیستم پایین تر از محدوده طراحی باشد و بین آنها محدوده مشترک وجود داشته باشد، با استفاده از رابطه (۱۸) محتوای اطلاعاتی آن به دست می آید

اگر محدوده سیستم دقیقاً منطبق با محدوده طراحی باشد، محتوای اطلاعاتی برای گزینه مدنظر صفر قرار داده شود؛

اگر محدوده سیستم بالاتر از محدوده طراحی باشد، برای اینکه گزینه مدنظر حذف نشود، با استفاده

طراحی تا پایان محدوده سیستم در نظر گرفته می شود. شکل (۵) بیانگر این موضوع است.



شکل (۵) محدوده طراحی با عدد فازی ذوزنقه‌ای در روش پیشنهادی

مثلی محدوده سیستم هستند. اگر  $a < z$  and  $x < a$  باشد، *common area* بزرگتر از صفر است؛ زیرا در این حالت حتماً هم‌پوشانی خواهیم داشت. همچنین در رابطه (۲۱) به دلیل اینکه دوبار در محاسبات، این مقدار مساحت از مساحت کل ذوزنقه کسر می شود، پس باید یک بار به مجموع مساحت‌ها افزوده شود. اما در هنگامی که  $z < a$  آنگاه هیچ هم‌پوشانی وجود ندارد و مقدار *common area* برابر صفر خواهد بود.

$$I_i = \log_2 [1 - (S_{xpqc} - (S_{xyz} + S_{abc} - \text{common area}))] \quad (21)$$

برای اثبات رابطه (۲۱) که همه محدودیت‌های بیان شده را برآورده کرده است، شکل (۴) را در نظر می‌گیریم. رابطه آوردن مساحت میان دو محدوده سیستم و طراحی است. هرچه این مساحت بیشتر باشد، مقدار رابطه (۲۰) بزرگتر، و نتیجه آن مقدار منفی بیشتری برای رابطه (۲۱) است که برای به دست آوردن محتوای

از آنجا که تابع لگاریتمی در پایه ۲ در بازه  $[0, 1]$ ، یک عدد منفی است و هرچه به سمت صفر نزدیک‌تر باشد، نتیجه منفی بزرگتری دارد. بنابراین، می‌توان از این فرصت برای محاسبه محتوای اطلاعاتی استفاده کرد. برای انجام این کار نیاز به یک "مقدار" با ارزش کوچک‌تر از ۱ است، که از عدد ۱ در لگاریتم با پایه ۲ باید کسر شود. هر چه میزان عدد به دست آمده از رابطه (۲۰)، به صفر نزدیک‌تر باشد، نتیجه کار عدد منفی بزرگ‌تری خواهد بود. این "مقدار" با استفاده از رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود.

$$S_{xpqc} - (S_{xyz} + S_{abc} - \text{common area}) \quad (20)$$

بنابراین، هنگامی که  $a < z$  and  $x < a$ , or  $z \leq a$  (بیانگر حالتی است که محدوده طراحی پایین‌تر از محدوده سیستم باشد)، می‌توان با استفاده از رابطه زیر محتوای اطلاعاتی را محاسبه کرد. با توجه به شکل (۵)،  $S_{xpqc}$  نشان دهنده مساحت ذوزنقه،  $S_{xyz}$  نشان دهنده مساحت عدد فازی مثلی محدوده طراحی و  $S_{abc}$  نشان دهنده مساحت عدد فازی

ماهیت هزینه نیز می‌توان مانند آنچه انجام گرفت، به اثبات رابطه مطابق با این نوع شاخص‌ها پرداخت، یعنی محدودیت‌های بیان شده برای شاخص‌های با ماهیت هزینه، زمانی رخ می‌دهد که محدوده طراحی بالاتر از محدوده سیستم باشد (یعنی محدوده سیستم نسبت به آنچه طراحان محدوده طراحی انتخاب کرده‌اند دارای هزینه کمتری است).

بنابراین، برای شاخص‌های با ماهیت هزینه، محاسبه محتوای اطلاعاتی به صورت رابطه (۲۴) انجام می‌گیرد.

$$I_i = \begin{cases} \infty & \text{if } z \leq a; \\ \log_2 \left( \frac{(c-a)(z-y) + (c-a)(b-a)}{(z-a)^2} \right) & \text{if } a < z \wedge a > x; \\ 0 & \text{if } \tilde{S} = \tilde{D}; \\ I_i = \log_2 [1 - (S_{\text{spc}} - (S_{\text{ztc}} + S_{\text{abc}} - \text{common area}))] & \text{if } x < c \wedge a < x, \forall c \leq x; \end{cases} \quad (24)$$

در شاخص‌های با ماهیت هزینه مقدار مساحت مشترک از رابطه (۲۵) محاسبه می‌شود.

$$\text{common area} = h \times (c - x) = \frac{(c - x)^2}{(y - x - b + c)} \quad (25)$$

### ۲-۱-۳- تأثیر وزن در محتوای اطلاعاتی

برای اینکه تأثیر وزن هر یک از شاخص‌ها را در محتوای اطلاعاتی بتوان تأثیر داد، باید از رابطه (۲۶) استفاده کرد (کولاک و کهرمان، ۲۰۰۵).

اطلاعاتی از آن استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال اگر طراحان محدوده طراحی را "متوسط" در نظر بگیرند، و دو گزینه با محدوده سیستم "خیلی خوب" و "عالی" وجود داشته باشد، مساحتی که بین محدوده طراحی و گزینه با محدوده سیستم "خیلی خوب" وجود دارد، کمتر از مساحتی است که بین محدوده طراحی و گزینه با محدوده سیستم "عالی" وجود دارد. در نتیجه، عدد منفی به دست آمده از رابطه (۲۱) برای گزینه با محدوده سیستم خیلی خوب کمتر از عدد منفی به دست آمده از رابطه (۲۱) برای گزینه با محدوده سیستم عالی، است. مساحت ناحیه مشترک از رابطه (۲۲) محاسبه می‌شود.

$$\text{common area} = h \times (z - a) = \frac{(z - a)^2}{(b - a - y + z)} \quad (22)$$

با در نظر گرفتن تمام استدلال‌ها، می‌توان رابطه نهایی «محاسبه محتوای اطلاعاتی» برای تمام شاخص‌هایی که فازی و با ماهیت سود هستند، به صورت رابطه (۲۳) بیان کرد.

$$I_i = \begin{cases} \infty & \text{if } z \leq a \\ \log_2 \left( \frac{(c-a)(z-y) + (c-a)(b-a)}{(z-a)^2} \right) & \text{if } a < z \wedge a > x; \\ 0 & \text{if } \tilde{S} = \tilde{D}; \\ I_i = \log_2 [1 - (S_{\text{spc}} - (S_{\text{ztc}} + S_{\text{abc}} - \text{common area}))] & \text{if } x < c \wedge a < x, \forall c \leq x; \end{cases} \quad (23)$$

همان‌طور که پیشتر نیز گفته شد، همه محاسبات و استدلال‌های انجام گرفته، برای شاخص‌های با ماهیت سود صورت پذیرفته است که رابطه (۲۳) خروجی این محاسبات است. برای شاخص‌های با

### ۳- یافته‌های پژوهش

انتخاب شاخص‌ها برای حل مسئله تصمیم‌گیری که در این پژوهش انتخاب ماشین آلات و تجهیزات تولیدی است، بسیار ضروری است. به همین دلیل چندین راه برای انتخاب شاخص‌های تصمیم‌گیری به کار گرفته شد.

در مرحله نخست، با گردآوری اطلاعات دستگاه‌های تراشکاری CNC از وبگاه‌ها و فروشنده-های مختلف، شاخص‌های مؤثر در این نوع ماشین‌ها شناسایی شد. سپس، بر اساس دیدگاه کارشناسان و کاربران دستگاه‌های تراشکاری CNC در شرکت صاشیراز، از میان شاخص‌های شناسایی شده، آن‌هایی که دارای اهمیت ویژه بودند به عنوان شاخص مؤثر در مسئله این پژوهش انتخاب شد.

در مرحله دوم، در جلسه‌ای که مدیران و متخصصان مکانیک آشنا به دستگاه‌های تراشکاری CNC حضور داشتند، شاخص‌های دیگری که به صورت تخصصی مربوط به فعالیت‌های مدنظر در صاشیراز بود، شناسایی شد. شاخص‌های شناسایی شده برای حل مسئله انتخاب ماشین تراشکاری CNC در شرکت صاشیراز شامل موارد زیر است:

- ۱- هزینه (قیمت تمام‌شده دستگاه تا نصب در شرکت)؛
- ۲- میزان حرکت محور عرضی ماشین تراش؛
- ۳- میزان حرکت محور طولی ماشین تراش؛
- ۴- قطر تراشکاری؛
- ۵- طول تراشکاری (طول قطعه کار در خط تولید)؛

$$I_{ij} = \begin{cases} \left[ \log_2 \frac{1}{p_{ij}} \right]^{w_j}, & 0 \leq I_{ij} < 1 \\ \left[ \log_2 \frac{1}{p_{ij}} \right]^{w_j}, & I_{ij} > 1 \\ w_j, & I_{ij} = 1 \end{cases} \quad (26)$$

وزن‌های هر شاخص با استفاده از روش CCSD به دست آمده است.

چون ماتریس به دست آمده از محتوای اطلاعاتی گزینه‌ها براساس شاخص‌ها ممکن است دارای اعداد منفی باشد، رابطه تأثیر وزن (۲۶) را نمی‌توان برای آن‌ها به کار برد. از اینرو، می‌توان با استفاده از تغییر متغیر، همه عددهای ماتریس محتوای اطلاعاتی را به صفر و اعداد مثبت تبدیل کرد. برای این کار، به صورت سطری و برای هر شاخص، کمترین عدد منفی را انتخاب و همه عددهای سطر را از کمترین عدد منفی که دارای بیشترین ارزش است، کم می‌کنیم. همچنین، ممکن است در سطری عدد منفی وجود نداشته باشد که آن سطر را بدون تغییر در ماتریس نهایی اعمال می‌کنیم. در ماتریس به دست آمده همه عددها مثبت یا صفر هستند. این تغییرات هیچ تأثیری بر نتایج نخواهد داشت؛ زیرا فاصله میان محتوای اطلاعاتی به دست آمده برای هر گزینه براساس هر شاخص حفظ خواهد شد. پس از تأثیر دادن وزن با استفاده از رابطه (۲۶)، می‌توان با جمع محتوای اطلاعاتی مربوط به هر شاخص که وزن بر روی آن‌ها تأثیر داده شده است، محتوای اطلاعاتی کل را برای هر گزینه به دست آورد. گزینه‌ای که دارای کمترین مقدار محتوای اطلاعاتی شد، گزینه مد نظر است.

هشت گزینه مناسب با شرایط قابل قبول برای خرید، دست یافتند. این هشت گزینه از چهار شرکت متفاوت که در مدل‌های مختلف و با شرایط منحصر به خودشان طراحی و وارد بازار شده‌اند، انتخاب شده‌اند. دستگاه‌های حاضر تراشکاری CNC به دو صورت بستر تخت و بستر میل هستند. در جدول (۱) ماتریس تصمیم‌گیری مسئله انتخاب ماشین تراشکاری CNC در صاشیراز نشان داده شده است. این ماتریس بیانگر داده‌هایی است که برای هر گزینه به انتخاب کارشناسان یا از مشخصات اصلی دستگاه استخراج شده است.

برای تعیین وزن شاخص‌ها با استفاده از روش CCSD که برگرفته از ضریب همبستگی و انحراف شاخص می‌باشد، از رابطه (۷) برای محاسبه ضریب همبستگی و از رابطه (۱۰) برای محاسبه انحراف شاخص، استفاده شده و پس از آن با استفاده از رابطه (۹) وزن هر شاخص با استفاده از روش CCSD محاسبه شده است. نتایج محاسبات در جدول (۲) آمده است.

۶- درصد خرابی (میزان خرابی یک دستگاه در ۱۰۰۰ قطعه کاری)؛

۷- قابلیت سازگاری (میزان سازگاری ماشین جدید با خط تولید)؛

۸- سرویس پشتیبانی؛

۹- بهره‌وری (توان دستگاه در ارائه خدمت به شرکت، آسانی کار اپراتور با دستگاه، مقدار زمان قابل استفاده بودن دستگاه در روز و در کل دقت و سرعت عمل دستگاه در کار)؛

۱۰- محیط زیست (فیلترهای جلوگیری از گرد و غبار و صدای کم دستگاه در حین کار).

با توجه به نظر کارشناسان صاشیراز و ماهیت شاخص‌های قابلیت سازگاری، سرویس پشتیبانی، بهره‌وری و محیط زیست، و این چهار شاخص به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند.

ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس شاخص‌های ارائه شده و گزینه‌های در دسترس شرکت صاشیراز تشکیل می‌شود. بر این اساس، پس از تحقیق و بررسی بازارهای داخلی و خارجی کارشناسان به

جدول (۱) ماتریس تصمیم‌گیری مسئله انتخاب ماشین تراش CNC در صاشیراز

HTC 2050	HTC 50N	CAK 100	CAK 50*850	TC50	TC20	VMC-125H	VMC-1050	دستگاه‌ها شاخص‌ها
۴/۵-۵	۵/۵-۶	۴/۹-۵/۵	۳/۱-۳/۹	۵/۱-۵/۵	۴/۵-۴/۸۵	۵/۲-۵/۵	۴/۸-۵/۲	هزینه (۱۰ هزار دلار)
۰-۱۵۳	۰-۲۷۰	۰-۵۰۵	۰-۲۵۰	۰-۲۹۰	۰-۱۷۰	۰-۸۰۰	۰-۵۰۰	حرکت محور عرضی (mm)
۰-۵۳۰	۰-۱۶۰۰	۰-۲۸۰۰	۰-۸۵۰	۰-۱۰۴۰	۰-۴۰۰	۰-۱۱۴۳	۰-۸۰۰	حرکت محور طولی (mm)
۰-۲۶۰	۰-۵۰۰	۰-۱۰۰۰	۰-۵۰۰	۰-۵۲۸	۰-۴۲۰	۰-۲۲۰	۰-۲۰۰	قطر تراشکاری روی میز (mm)
۰-۵۰۰	۰-۱۵۰۰	۰-۲۶۵۰	۰-۸۹۰	۰-۱۱۲۵	۰-۵۲۰	۰-۴۲۰	۰-۴۰۰	طول تراشکاری روی میز (mm)
۰-۰/۱۵	۰-۰/۱۵	۰/۱-۰/۳۵	۰/۱-۰/۳۵	۰/۱۵-۰/۳	۰/۱۵-۰/۳	۰/۱-۰/۲	۰/۱-۰/۲	درصد خرابی در ۱۰۰۰ عدد
متوسط	متوسط	خوب	خوب	عالی	عالی	ضعیف	ضعیف	قابلیت سازگاری (فازی)
خیلی خوب	خیلی خوب	عالی	عالی	ضعیف	ضعیف	خوب	خوب	سرویس و پشتیبانی (فازی)
عالی	عالی	خیلی خوب	خیلی خوب	متوسط	متوسط	خوب	خوب	بهره‌وری (فازی)
متوسط	متوسط	عالی	عالی	خوب	خوب	عالی	عالی	محیط زیست (فازی)



جدول (۲) وزن شاخص‌ها با استفاده از روش CCSD

شاخص	وزن	شاخص	وزن
هزینه	۰/۱۰۲	درصد خرابی	۰/۱۳۸
حرکت محور عرضی	۰/۱۱۹	قابلیت سازگاری	۰/۱۲۹
حرکت محور طولی	۰/۰۶۳	سرویس و پشتیبانی	۰/۰۷
قطر تراشکاری روی میز	۰/۰۶۲	بهره‌وری	۰/۱۰۸
طول تراشکاری روی میز	۰/۰۶۹	محیط زیست	۰/۱۴۰

جدول (۳): محدوده طراحی برای هر شاخص

شاخص	محدوده طراحی	شاخص	محدوده طراحی
هزینه (۱۰ هزار دلار)	حداکثر ۵/۳	درصد خرابی در ۱۰۰۰ عدد	۰-۰/۱۷۵
حرکت محور عرضی (mm)	بالای ۱۵۰	قابلیت سازگاری (فازی)	خوب
حرکت محور طولی (mm)	بالای ۵۰۰	سرویس و پشتیبانی (فازی)	متوسط
قطر تراشکاری روی میز (mm)	بالای ۱۸۰	بهره‌وری (فازی)	خوب
طول تراشکاری روی میز (mm)	بالای ۳۰۰	محیط زیست (فازی)	خوب

می‌گیرند. دسته دوم، شاخص‌های دقیقی هستند که دارای تابع توزیع احتمال غیریکنواخت می‌باشند. شاخص هزینه و شاخص میزان درصد خرابی در ۱۰۰۰ عدد از جمله شاخص‌های این دسته هستند و دسته سوم، شاخص‌های فازی است که دربرگیرنده شاخص‌های قابلیت سازگاری، سرویس و پشتیبانی، بهره‌وری و ایمنی و محیط زیست است. محتوای اطلاعاتی برای این شاخص‌ها با استفاده از رویکرد پیشنهادی نویسندگان این پژوهش محاسبه می‌شود. نتیجه محاسبه محتوای اطلاعاتی برای گزینه‌ها براساس شاخص‌ها، در جدول (۴) نشان داده شده است.

پس از تعیین وزن با توجه به نظرات کارشناسان شرکت، محدوده طراحی مربوط به هر شاخص مشخص شد. محدوده طراحی بیانگر الزاماتی است که براساس نظر تصمیم‌گیرندگان باید در مسئله تأثیر داده شود. جدول (۳) الزامات کارشناسان شرکت را نشان داده است.

در مسئله کنونی، شاخص‌ها در روش طراحی مبتنی بر بدیهیات به سه دسته گروه‌بندی می‌شوند: دسته نخست، شاخص‌های دقیق با تابع توزیع احتمال یکنواخت است. شاخص‌های حرکت محور عرضی، حرکت محور طولی، قطر تراشکاری روی میز و طول تراشکاری روی میز در این دسته جای

جدول (۴) ماتریس محتوای اطلاعاتی

HTC 2050	HTC 50N	CAK 100	CAK 50*850	TC50	TC20	VMC-125H	VMC-1050	دستگاه‌ها شاخص‌ها
۰	∞	۱/۱۳۹	۰	۱/۲۲۴	۰	۱/۶۵۳	۰	هزینه
۵/۶۷۳	۱/۱۷۲	۰/۵۰۸	۱/۳۲۲	۱/۰۵	۳/۰۸	۰/۲۹۸	۰/۵۱۴	حرکت محور عرضی
۴/۱۳۲	۰/۵۴۲	۰/۲۸۴	۱/۲۸	۰/۹۴۶	∞	۰/۸۱۳	۱/۴۱۵	حرکت محور طولی
۰/۶۹۹	۰/۶۴۴	۰/۲۸۶	۰/۶۴۴	۰/۶۰۲	۰/۸۰۸	۲/۴۵۸	۳/۳۲۲	قطر تراشکاری روی میز
۱/۳۲۲	۰/۳۲۲	۰/۱۷۲	۰/۵۹۳	۰/۴۴۸	۱/۲۴۱	۱/۸۱	۲	طول تراشکاری روی میز
۰	۰	۱/۸۴۲	۱/۸۴۲	۱/۲۶۵	۱/۲۶۵	۰/۵۵۸	۰/۵۵۸	درصد خرابی در ۱۰۰۰ عدد
۳/۱۷	۳/۱۷	۰	۰	-۰/۴۶۴	-۰/۶۴۶	∞	∞	قابلیت سازگاری
-۰/۴۱۵	-۰/۴۱۵	-۰/۹۳	-۰/۹۳	۳/۷۵۵	۳/۷۵۵	-۰/۱۲۵	-۰/۱۲۵	سرویس و پشتیبانی
-۰/۶۴۶	-۰/۶۴۶	-۰/۱۲۵	-۰/۱۲۵	۳/۱۷	۳/۱۷	۰	۰	بهره‌وری
۳/۱۷	۳/۱۷	-۰/۶۴۶	-۰/۶۴۶	۰	۰	-۰/۶۴۶	-۰/۶۴۶	محیط زیست

جدول (۵) تأثیر وزن در ماتریس محتوای اطلاعاتی

HTC 2050	HTC 50N	CAK 100	CAK 50*850	TC50	TC20	VMC-125H	VMC-1050	دستگاه‌ها شاخص‌ها
۰	∞	۱/۰۱	۰	۱/۰۲	۰	۱/۰۵۳	۰	هزینه
۱/۲۳	۱/۰۱۹	۰/۰۰۳۴	۱/۰۳۴	۱/۰۰۶	۱/۱۴۳	۳/۸۲E-5	۰/۰۰۳۷	حرکت محور عرضی
۱/۰۹۳	۵/۹۹E-5	۲/۱E-9	۱/۰۱۶	۰/۴۱۴	∞	۰/۰۳۷	۱/۰۲۲	حرکت محور طولی
۱/۰۳۳	۰/۰۰۰۸۳	۱/۷۱E-9	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۳۲	۱/۰۵۷	۱/۰۷۷	قطر تراشکاری
۰/۰۹۱۲	۷/۳۷E-8	۸/۸۳E-12	۰/۰۰۰۵	۸/۸۳E-6	۰/۰۸۶	۰/۱۲۵	۰/۱۳۸	طول تراشکاری
۰	۰	۱/۰۸۸	۱/۰۸۸	۱/۰۳۳	۱/۰۳۳	۰/۰۱۴۶	۰/۰۱۴۶	درصد خرابی
۱/۱۸۱	۱/۱۸۱	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۶	۰	۰	∞	∞	قابلیت سازگاری
۷/۶۴E-5	۷/۶۴E-5	۰	۰	۱/۱۱۴	۱/۱۱۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	سرویس و پشتیبانی
۰	۰	۴/۴۷E-5	۴/۴۷E-5	۱/۱۴۹	۱/۱۴۹	۰/۰۰۰۸۲	۰/۰۰۰۸۲	بهره‌وری
۱/۱۹۸	۱/۱۹۸	۰	۰	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۴۲	۰	۰	محیط زیست
۵/۸۲۸	ردگزین	۲/۱۰۷*	۳/۱۴۱	۵/۷۴۲	ردگزین	ردگزین	ردگزین	جمع محتوای اطلاعاتی

اعداد منفی از جدول حذف شوند. سپس، وزن‌های به‌دست آمده از روش CCSD را در محتوای

پس از به‌دست آوردن محتوای اطلاعاتی، نخست با استفاده از روش بیان‌شده داده‌ها را به‌نچار کرده تا

به دست آورده است نادقیق و غیراستاندارد است؛ زیرا معیارهای کیفی به درستی و براساس استاندارد واقعی که برای گزینه‌ها وجود دارد، مدنظر قرار نمی‌گیرد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

همان گونه که بیان شد، یکی از مسائلی که در دنیای امروز، از تصمیم‌گیری برای حل آن استفاده می‌شود، مسئله انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی است. انتخاب ماشین‌آلات از مسائل اصلی در سازمان‌های تولیدی است. تعداد و ظرفیت و نوع کارکردهای یک دستگاه، بر هزینه‌های سازمان و همچنین اقتصادی بودن آن، تأثیر شگرف دارد. از این‌رو، مسئله انتخاب ماشین‌آلات یکی از چالش‌های اساسی مدیران است. انتخاب ماشین‌آلات یک فرایند خوب تعریف شده نیست. این به آن دلیل است که شاخص‌های گوناگونی بر روی این انتخاب تأثیر می‌گذارند. این واقعیت باعث می‌شود تا انتخاب ماشین‌آلات، یک مسئله تصمیم‌گیری پیچیده و چندشاخصه باشد.

در این پژوهش روشی ارائه شد که افزون بر در نظر گرفتن همه محدودیت‌های موجود در یک مسئله تصمیم‌گیری، بهترین جواب را به تصمیم‌گیرندگان ارائه می‌کند. این روش از ترکیب دو روش CCSD و طراحی مبتنی بر بدیهیات به دست آمده است. در این روش ابتدا، با استفاده از روش CCSD وزن شاخص‌ها به صورت عینی و با استفاده از ماتریس تصمیم‌گیری بدست می‌آید. پس از آن با استفاده از روش طراحی مبتنی بر بدیهیات بهترین گزینه شناسایی می‌شود.

اطلاعاتی تأثیر داده و جمع محتوای اطلاعاتی کل برای هر گزینه مشخص شد (جدول ۵).

همان‌گونه که در جدول (۵) دیده می‌شود، کمترین جمع محتوای اطلاعاتی مربوط به ماشین تراشکاری "CAK 100" است و به‌عنوان بهترین گزینه براساس خواسته‌های شرکت انتخاب می‌شود.

برای مقایسه توان کاربردی روش پیشنهادی این پژوهش، مسئله انتخاب ماشین با دو روش دیگر نیز حل شد. در زیر یافته‌های به دست آمده ارائه شده است.

مسئله انتخاب ماشین تراش CNC با روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نیز حل شده است. به این منظور ابتدا، شاخص‌های فازی به اعداد نظیر تبدیل شد. آنگاه با بکارگیری الگوریتم روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ماشین HTC50N به‌عنوان گزینه برتر به دست آمد. این در حالی است که در روش طراحی مبتنی بر بدیهیات، ماشین یادشده از آن دسته گزینه‌هایی است که به دلیل قرار نگرفتن در محدوده طراحی، از مجموعه گزینه‌ها حذف شد. این موضوع بیانگر توانمندی روش طراحی مبتنی بر بدیهیات است که با در نظر گرفتن محدوده طراحی، الزامات انتخاب‌کننده را در مدل مسئله در نظر می‌گیرد؛ در حالی که روش تحلیل سلسله‌مراتبی به چنین چیزی توجه ندارد.

همچنین، مسئله یاد شده با روش تاپسیس نیز حل شد. پاسخ نهایی در روش تاپسیس همانند پاسخ روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ماشین HTC50N بود. از این‌رو، روش تاپسیس نیز گزینه‌ای را به‌عنوان بهترین گزینه معرفی کرد که با معیارهای انتخاب‌کنندگان سازگاری ندارد. افزون بر این، میزان اختلاف و طبقه‌بندی که روش تاپسیس میان گزینه‌ها

توجهی وجود داشت که با استفاده از رویکرد پیشنهادی این پژوهش، می‌توان مشکلات موجود در فرایند انتخاب را برطرف کرد. پیشنهاد می‌شود برای توسعه کاربردهای روش ترکیبی پیشنهادی، مسئله‌های دیگر تصمیم‌گیری نیز با این روش حل شوند.

### منابع

بخشی کیادهی، مهران، بانکی، محمدتقی، و جوانشیر، حسن. (۱۳۸۹). «مدیریت استراتژی‌های انتخاب ماشین‌آلات در پروژه‌های عمرانی»، بنا، ۴۲، ۲۱-۳۰.

حاذقی، محمدهادی. ه. (۱۳۸۸). «انتخاب فناوری تجهیزات نظامی از روش AHP فازی و آنالیز توسعه Change»، مدیریت نظامی، ۶۳-۹۴.

عبداله زاده، وحید، محلوچی، هاشم، و کریم معجنی، الناز. (۱۳۸۴). «ارزیابی و انتخاب تجهیزات گتتری کرین با استفاده از روش AHP گروهی»، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران.

- Abou Gamila, M., & Motavalli, S. (2003). "A modeling technique for loading and scheduling problems". *Robot. Comp.-Integ. Manu*, 19 (1), 45-54.
- Alberti, M., & Ciurana, J. (2009). "Design of a decision support system for machine tool selection based on machine characteristics and performance tests". *Journal of intelligent and facturing*, 22 (2), 263-277.
- Almutawa, S., Savsar, M., & Al-rashidan, K. (2005). "Optimum machine selection in multistage manufacturing systems". *International Journal of Production Research*, 43 (6), 1109 - 1126.
- Buyurgan, N., Saygin, C., & Kilic, S.E. (2004). "Tool allocation in flexible manufacturing systems with tool alternatives". *Robotics and Computer-*

نتایج این پژوهش نشان داد که برون‌داد روش پیشنهادی با دیگر روش‌های شناخته‌شده در زمینه رتبه‌بندی، تفاوت‌های زیادی دارد. بکارگیری مفهوم محدوده طراحی باعث اعمال مستقیم دیدگاه و محدودیت‌های انتخاب‌کنندگان در مسئله می‌گردد. این کار باعث می‌شود گزینه‌هایی از فرایند انتخاب حذف شوند که اگر چه خوب هستند اما با نظرات انتخاب‌کنندگان سازگار نیستند. از دیگر سودمندی‌های این روش، توجه هم‌زمان به معیارهای کمی و کیفی است که در دیگر روش‌های همانند امکان‌پذیر نیست. هرچند در برخی از روش‌ها مانند تحلیل سلسله‌مراتبی با تبدیل معیارهای کیفی به کمی، آن‌ها را در محاسبه وارد می‌کند، اما تبدیل یادشده باعث نادقیق‌شدن معیارهای تصمیم‌گیری می‌شود. همچنین، روش طراحی مبتنی بر بدیهیات فاصله میان گزینه‌ها را حفظ می‌کند؛ درحالی‌که در روش‌های دیگر، اندازه فاصله مطرح نیست و تنها رتبه‌بندی گزینه‌ها ارائه می‌شود. روش پیشنهادی به همه شاخص‌ها وزن‌های عینی می‌دهد، اما روش‌های دیگر (مانند تحلیل سلسله‌مراتبی) بیشتر از وزن‌دهی ذهنی استفاده می‌کنند، در نتیجه اشتباه ذهنی پاسخ‌دهندگان در تخصیص وزن‌ها می‌تواند به انتخاب نادرست در فرایند تصمیم‌گیری رهنمون شود. وزن‌های عینی در مقایسه با وزن‌های ذهنی از اشتباه کمتری برخوردار است.

در این پژوهش برای نخستین بار در مسئله انتخاب ماشین‌آلات از روشی استفاده شده است که افزون بر توجه به نیازهای تصمیم‌گیرندگان، در فرایند حل مسئله می‌تواند شاخص‌های فازی و دقیق را هم‌زمان در نظر بگیرد. همچنین، در روش طراحی مبتنی بر بدیهیات فازی محدودیت‌های درخور

- Duran, O., & Aguilo, J. (2008). "Computer-aided machine-tool selection based on a Fuzzy-AHP approach". *Expert Systems with Applications*, 34 (3), 1787–1794.
- Ertugrul Karsak, E., & Kuzgunkaya, O. (2002). "A fuzzy multiple objective programming approach for the selection of a Flexible manufacturing system". *International Journal of Production Economics*, 79 (2), 101- 111.
- Gerrard, W. (1988). "Selection procedures adopted by industry for introducing new machine tools". *Fourth Natl. Conf. on Production Research* (pp. 525-531). London: Aduanees in Manufacturing Technology.
- Gutierrez, R., & Sahinidis, N. (1996). "A Branch- and-Approach for Machine Selection in just-in-time Manufacturing System". 34 (3), 797-818.
- Haddock, J., & Hartshorn, T. (1989). A decision support system for specific machine selection". *Journal of Computer. Industrial. Engineering*, 16 (2), 277–286.
- Hwang, C., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision-making. Methods and Applications*, Springer, Berlin.
- Jahromi, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). "A novel 0-1 linear integer programming model for dynamic machine-tool selection and operation allocation in a flexible manufacturing system". *Journal of Manufacturing Systems*, 31 (2), 224-231.
- Jha, N., & Jha, P. (1998). "Integrated automatic optimal design of manufacturing systems". *Journal of Materials Processing Technology*, 73 (1), 30–41.
- Kahraman, C., & Cebi, S. (2009). "A new multi-attribute decision making method: Hierarchical fuzzy axiomatic design." *Expert Systems with Applications*, 36 (3), 4848–4861.
- Karsak, E. E., & Kuzgunkaya, O. (2002). "A fuzzy multiple objective programming approach for the selection of a flexible manufacturing system". *Production Economics*, 79 (2), 101-111.
- Konak, A., Kulturel-Konak, S., & Azizoglu, M. (2008). "Minimizing the number of tool switching instants in Flexible Manufacturing Systems". *International Journal of Production Economics*, 116 (2), 298–307.
- Integrated Manufacturing*, 20 (4), 341–349.
- Celik, M., Kahraman, C., Cebi, S., & Er, I. (2009). "Fuzzy axiomatic design-based performance evaluation model for docking facilities in shipbuilding industry: The case of Turkish shipyards". *Expert Systems with Applications*, 36 (1), 599–615.
- Chan, F., & Swarnkar, R. (2006). "Ant colony optimization approach to a goal programming model for a machine tool selection and operation allocation problem in an FMS". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22 (4), 353–362.
- Chan, F., Ip, R., & Lau, H. (2001). "Integration of expert system with analytic hierarchy process for the design of material handling equipment selection system". *Journal of Materials Processing Technology*, 116 (2), 137–145.
- Chan, F., Mak, K., Luong, L., & Ming, X. (1998). "Machine-component grouping using genetic algorithms". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 14 (5), 339–346.
- Chan, F.T.S., Swarnkar, R., & Tiwari, M.K. (2005). "Fuzzy goal-programming model with an artificial immune system (AIS) approach for a machine tool selection and operation allocation problem in a flexible manufacturing system". *International Journal of Production Research*, 43 (19), 4147 – 4163.
- Chou, Y. C., & Hong, I. H. (2000). "A methodology for product mix planning in semiconductor foundry manufacturing". *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 13 (3), 278–285.
- Chtourou, H., Masmoudi, W., & Maalej, A. (2005). "An expert system for manufacturing systems machine selection". *Expert Systems with Applications*, 28 (3), 461–467.
- Cil, I. (2004). "Internet-based CDSS for modern manufacturing processes selection and justification". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20 (3), 177–190.
- Delen, D., & Pratt, D. (2006). "An integrated and intelligent DSS for manufacturing systems". *Expert Systems with Applications*, 30 (2), 325–336.

- Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16 (12), 902–908.
- Suh, N. (1990). *The Principles of Design*. New York: Oxford University Press.
- Suh, N. P. (2001). *Axiomatic design; advanced applications*. New York : Oxford.
- Sujono, S., & Lashkari, R. (2007). "A multi-objective model of operation allocation and material handling system selection in FMS design". *International Journal of Production Economics*, 105 (1), 116–133.
- Tabucanon, M., Batanov, D., & Verma, D. (1994). "Decision support system for multicriteria machine selection for flexible manufacturing systems". *Computers in Industr*, 25 (2), 131-143.
- Tansel, Y. (2012). "An exper imental design approach using TOPSIS method for the selection of computer- integrated manufact uring technologies". *Robotics and Computer-Integrated Manuf acturing*, 28 (2), 245 –256.
- Wang, X., Da, Z., Balaji, A., & Jawahir, I. (2002). "Performance -based optimal selection of cutting conditions and cutting tools in multi pass turning operations using genetic algorithms". *International Journal of Production Research*, 40 (9), 2053 - 2065.
- Wang, Y.-M., & Luo, Y. (2010). Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 51 (1), 1-12.
- Yurdakul, M. (2004). "Selection of computer-integrated manufacturing technologies using a combined analytic hierarchy process and goal programming model". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20 (4), 329–340.
- Zare Mehrjerdi, Y. (2009). "A decision-making model for flexible manufacturing system". *Assembly Automation*, 29 (1), 32 – 40.
- Kulak, O., Kahraman, C. (2005a). "Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process". *Information Sciences*, 170 (2), 191–210.
- Kulak, O., & Kahraman, C. (2005b). "Multi-attribute comparison of advanced manufacturing systems using fuzzy vs. crisp axiomatic design approach". *International Journal of Production Economics*, 95 (3), 415–424.
- Kusiak, A. (1987). "Artificial intelligence and operations research in flexible manufacturing systems". *INFOR*, 25 (1), 2-12.
- Leung, L., Maheshwari, S., & Miller, W. (1993). "Concurrent part assignment and tool allocation in FMS with material handling considerations". *International Journal of Production Research*, 31 (1), 117–138.
- Mileham, A., Bucknell, K., & ttunt, L. (1987). "An expertsystem approach to machine tool selection". *Third Natl. Conf. on Production Research* (pp. 112-116). London: Advances in Manufacturing Technology.
- Reddy, C., Chetty, O., & Chaudhuri, D. (1992). A Petri net based approach for analyzing tool management issues in FMS. *International Journal of Production Research*, 30 (6), 2027–2039.
- Sarin, S., & Chen, C. (1987). The machine loading and tool allocation problem in a flexible manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 25 (7), 1081–1094.
- Stecke, K. (1983). "Formulation and solution of nonlinear integer production planning problem for flexible manufacturing system". *International Journal of Managment Science*, 29 (3), 273–288.
- Subramaniam, V., Ramesh, G., Hong, T., & Wong, Y. (2000). "Machine selection rules in a dynamic job shop". *Internatinal*

- 6 Duran & Aguilo
- 7 Buyurgan
- 8 Tabucanon
- 9 Yurdakul
- 10 Ertugral Karsak & Kuzgunkaya
- 11 Chan
- 12 Zare Mehrjerdi
- 13 Tansel & Yusuf
- 14 Jha & Jha
- 15 Stecke
- 16 Sarin & Chen
- 17 Leung
- 18 Gutierrez & Sahinidis
- 19 Abou Gamila & Motavalli
- 20 Sujono & Lashkari
- 21 Chou & Hong
- 22 Wang
- 23 Jahromi & Tavakkoli-Moghaddam
- 24 Chan & Swarnkar
- 25 Chtourou
- 26 Haddock & Hartshorn
- 27 Cil
- 28 Delen & Pratt
- 29 Reddy
- 30 Subramaniam
- 31 Alberti & Ciurana
- 32 Axiomatic Design (AD)
- 33 Correlation Coefficient and Standard Deviation
- 34 Hwang & Yoon
- 35 Simple Additive Weighting, (SAW)
- 36 Leo
- 37 Independent Axiom
- 38 Information Axiom
- 39 Functional Requirements
- 40 Suh
- 41 Information Content
- 42 Kulak, O., Kahraman,
- 43 Kahraman & Cebi
- 44 Fuzzy Axiomatic Design
- 45 Celik

