Arshive of SID

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

یک روش ترکیبی نوین برای مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی

خداکرم سلیمی‌فرد[1*]، رحیم قاسمیه[2]، میثم دسترنج[1]
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

مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات یک موضوع پیچیده و مهم در سیستم‌های تولیدی و صنعتی است. انتخاب نامناسب ممکن است به بروز مسئله‌های زیادی رهنمون شود که بر بهره‌وری، دقت، انعطاف‌پذیری و کیفیت محصولات اثر منفی دارند. به‌دلیل متفاوت‌بودن شاخص‌های تأثیرگذار، نیاز است به دیدگاه کارشناسان و مدیران برای دامنهٔ پذیرفتنی در سنجش هر شاخص توجه شود. در این پژوهش رویکردی ترکیبی با به‌کارگیری روش وزن‌دهی ضریب همبستگی و انحراف شاخص و نیز روش طراحی مبتنی بر بدیهیات با عددهای فازی برای مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی برای یک مسئلهٔ واقعی به کار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد رویکرد پیشنهادی برای مدیران و کارشناسان شرکت، رضایت‌بخش است و می‌توان در تصمیم‌گیری برای انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات قابل پیاده کرد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات، تصمیم‌گیری، روش وزن‌دهی ضریب همبستگی، طراحی مبتنی بر بدیهیات.

* نویسنده مسئول salimifard@pgu.ac.ir

www.SID.ir

Arshive of SID

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 مسئلهٔ آشکار برای تولیدکنندگان است (کوسیاک[۱]، 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[۲] و همکاران، ۱۹۸۷).

در گذشته مدیران بر این باور بودند که هزینه‌های درنظرگرفته‌شده برای تکمیل امکانات لازم در راه‌اندازی یک خط تولید برابر با خرید ماشین‌ها، نصب و راه‌اندازی است (الموتوا[۳]، ۲۰۰۵)؛ اما درنظرنگرفتن 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. درواقع این عامل، نقطه‌ضعف اصلی در این روش تصمیم‌گیری بوده است (کوناک[۴] و همکاران، ۲۰۰۸). جرارد[۵] (۱۹۸۸) به این نتیجه رسید که روش درست در انتخاب ماشین‌آلات، تنها درنظرگرفتن هزینه‌های خرید نیست. به گفتهٔ وی به دلیل تغییر پیاپی در تولید و ارائه‌کردن 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 مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی است (دوران و آگویلو[۶]، ۲۰۰۸). این مسئله با روش‌های گوناگون تحقیق در عملیات[۶] 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 درنهایت 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[۷] و همکاران، ۲۰۰۴).

همچنین، همیشه ماشین‌آلات تولیدی برای کاربردها، برنامه‌ها و شرایط مختلفی برنامه‌ریزی می‌شوند. انتخاب ماشین‌آلات باید براساس شاخص‌های ازپیش‌تعریف‌شده باشد. به‌دلیل گوناگونی ماشین‌آلات در بازار، انتخاب یکی از میان گزینه‌های موجود که بتواند بیشترین نیازمندی‌های خریدار را برآورده سازد، کار دشواری است؛ زیرا باید همهٔ شاخص‌های تصمیم را برای انتخاب یک گزینه مناسب در نظر گرفت (مایلهام و همکاران، ۱۹۸۷). ازاین‌رو، پژوهش برای دستیابی به روشی جامع در انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی که همه جوانب را در نظر بگیرد، بایسته است.

یک مسئلهٔ انتخاب به‌صورت ذاتی دارای شاخص‌هایی برای ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی

www.SID.ir

Arshive of SID

است. درنتیجه، مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات به‌عنوان یک مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندشاخصه در نظر گرفته شده است که پژوهشگرانی همچون حاذقی (۱۳۸۸)؛ عبدالله‌زاده و همکاران (۱۳۸۴)؛ تابوکانون[8] و همکاران (۱۹۹۴) و یورداکول[9] (۲۰۰۴) با استفاده از تکنیک‌هایی مانند تحلیل سلسله‌مراتبی و ارتوگرال کارساک و کوزگونکایا[10] (۲۰۰۲)؛ چان[11] و همکاران (۲۰۰۵)؛ زارع مهرجردی[12] (۲۰۰۹)، با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفهٔ فازی و تانسل و یوسف[13] (۲۰۱۲) با تاپسیس، به مدل‌سازی و حل مسئله پرداخته‌اند. این دسته از تکنیک‌ها با تعیین شاخص‌هایی با وزن معین و شناسایی گزینه‌های پیشنهادی، به ارزیابی هر گزینه با هر شاخص پرداخته و پس از بررسی عملکرد همهٔ گزینه‌ها، برترین گزینه را پیشنهاد می‌دهد. این در حالی است که در فرایند انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی، خواسته‌ها و نیازهای تصمیم‌گیرنده بسیار تعیین‌کننده است و باید در فرایند انتخاب تأثیر داده شود. تکنیک‌های تصمیم‌گیری به‌کاررفته برای مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات این توانمندی را ندارند و گزینه‌ها را تنها با توجه به عملکرد آن‌ها در شاخص‌ها و بدون توجه به نیاز تصمیم‌گیرنده ارزیابی می‌کنند. درصورتی‌که ممکن است بسیاری از گزینه‌ها در منطقهٔ موجه خواست تصمیم‌گیرنده جای نگیرد و درواقع نباید در فرایند تصمیم‌گیری وارد شوند.

همچنین، پژوهشگران تلاش نموده‌اند تا مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات را با روش‌های دیگر مانند برنامه‌ریزی خطی (بخشی کیادهی و همکاران، ۱۳۸۹؛ جها و جها[14] ، ۱۹۹۸)، برنامه‌ریزی عدد صحیح (استک[15] ، ۱۹۸۳؛ سارین و چن[16] ، ۱۹۸۷؛ لیونگ[17] و همکاران، ۱۹۹۳؛ گوتیرز و ساهینیدیس[18] ، ۱۹۹۶؛ ابوگمیلا و متولی[19] ، ۲۰۰۳ و سوجونو و لشکری[20] ۲۰۰۷)، روش‌های بهینه‌سازی فراابتکاری (چان و همکاران، ۱۹۹۸؛ چو و هونگ[21] ، ۲۰۰۰؛ وانگ[22] و همکاران، ۲۰۰۲؛ جهرمی و توکلی مقدم[23] ، ۲۰۱۱ ؛ چان و سوارنکا[24] ، ۲۰۰۶)، سیستم‌های خبره (چتورو[25] و همکاران، ۲۰۰۵) حل نمایند. همچنین، هادوک و هارتسهورن[26] (۱۹۸۹)، چیل[27] (۲۰۰۴)، و دلن و پرات[28] (۲۰۰۶) در پژوهش‌های خود یک سیستم پشتیبانی تصمیم برای انتخاب تجهیزات پیشنهاد دادند. روش‌هایی مانند شبکه‌های پتری (ردی[29] و همکاران، ۱۹۹۲)، شبیه‌سازی (سوبرامانیام[30] و همکاران، ۲۰۰۰) و شبکه‌های عصبی (آلبرتی و سیورانا[31]، ۲۰۰۹) نیز با موفقیت به کار برده شده است.

از سویی، با درنظرگرفتن نیازهای تصمیم‌گیرنده، فرایند پیشنهاد گزینه‌ها برای ارزیابی نیز هدفمندتر می‌شود. این پژوهش در پی پاسخگویی به پرسش‌های زیر است:

چگونه می‌توان نیازهای تصمیم‌گیرنده را در فرایند انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی وارد کرد؟

چگونه می‌توان برای کاهش دخالت نظرهای ذهنی خبرگان و افزایش عینیت وزن شاخص‌ها، با استفاده از ماتریس تصمیم به وزن‌دهی شاخص‌ها پرداخت؟

www.SID.ir

Arshive of SID

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 تاثیر زیادی داشته باشد؛ بنابراین تعریف درست از وزن شاخص‌ها بسیار مهم است. تکنیک طراحی مبتنی بر بدیهیات[۳۲] (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 ارائه‌شده که در ادامه به آن پرداخته شده، تمام اهداف بیان شده را در نظر گرفته است و در آن سعی شده تمام محدودیت‌های یک مسئلهٔ 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[۳۳] (CCSD) وزن شاخص‌های عینی مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات به دست می‌آید، سپس برای انتخاب بهترین گزینه، وزن‌های مشخص‌شده در روش طراحی مبتنی بر بدیهیات استفاده می‌شود.

۲-۱-۱- تعیین وزن شاخص‌ها

به دلیل ماهیت مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی، و مهم‌بودن انتخاب دقیق گزینهٔ مدِنظر، 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 حداقل‌شدن 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. شیوهٔ کار این‌گونه است که نخست یکی از شاخص‌ها حذف می‌گردد. اگر ضریب همبستگی شاخص حذف‌شده 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 زیای داده شود. در ادامه شیوهٔ وزن‌دهی به شاخص‌ها در مسئلهٔ 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

www.SID.ir

Arshive of SID

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 گزینهٔ 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 سنجش‌ناپذیری ارزش‌های داده شده به گزینه‌ها نسبت به شاخص‌های مختلف، باید ماتریس تصمیم را به‌صورت 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.

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \; ; \; i = 1, \dots, n; \; j \in \Omega_b \qquad (۱)$$

$$z_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \; ; \; i = 1, \dots, n; \; j \in \Omega_b \qquad (۲)$$

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

در رابطه‌های بالا

$x_j^{min} = \min_{1\le i\le n}\{x_{ij}\}, x_j^{max} = \max_{1\le i\le n}\{x_{ij}\}$ و Ω_b و Ω_c

به‌ترتیب مجموعهٔ نمایه برای شاخص‌های سود و شاخص‌های هزینه و z_{ij} مقدار بهنجار شدهٔ x_{ij} هستند. ماتریس بهنجارشدهٔ تصمیم را می‌توان همانند رابطهٔ (۳) نشان داد.

$$Z = (z_{ij})_{n*m} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} o_1 & o_2 & \dots & o_m \end{array} \\ \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nm} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۳)$$

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

$$\sum_{j=1}^{m} w_i = 1 \qquad (۴)$$

همان‌گونه که هوانگ و یون[۳۴] (۱۹۸۱) اشاره می‌کند، براساس روش وزن‌دهی افزایشی ساده[۳۵] (SAW) مقدار ارزیابی کلی هر گزینهٔ 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.

$$d_i = \sum_{j=1}^{m} z_{ij} w_j \; ; i = 1, \dots, n \qquad (۵)$$

رابطهٔ (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 محاسبهٔ رتبه شاخص‌ها به صورت وزن‌دهی ذهنی صورت گرفته است. در روش CCSD برای شروع کار وزن‌دهی به شاخص‌ها، نخست شاخص Q_j از مجموعهٔ شاخص‌ها حذف می‌شود. با حذف این شاخص، مقدار ارزیابی کلی برای هر گزینه، بدون درنظرگرفتن

www.SID.ir

Arshive of SID

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

$$d_{ij} = \sum_{k=1,k\neq j}^{m} z_{ij} w_k \; ; i = 1, \dots, n \qquad (۶)$$

ضریب همبستگی میان مقدار شاخص Q_j و مقدار ارزیابی کل می‌تواند به‌صورت رابطهٔ (۷) بیان شود:

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(z_{ij} - \bar{z}_j\right)\left(d_{ij} - \bar{d}_j\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(z_{ij} - \bar{z}_j\right)^2 \sum_{i=1}^{n}\left(d_{ij} - \bar{d}_j\right)^2}} \qquad (۷)$$

که در رابطهٔ (۷) داریم:

$$\begin{aligned} \bar{z}_j &= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_{ij} \; ; j = 1, \dots, m \\ \bar{d}_j &= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_{ij} \\ &= \sum_{k=1,k\neq j}^{n} \bar{z}_k w_k \; ; j = 1, \dots, m \end{aligned} \qquad (۸)$$

اگر R_j به اندازهٔ 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، دراین‌صورت بیان می‌شود که نزدیک به عدد ۱- است و ارزیابی کل بدون در نظر گرفتن شاخص Q_j دارای توزیع عددی و رتبهٔ معکوس است. به سخن دیگر، افزودن Q_j به مجموعهٔ شاخص‌ها تأثیر چشمگیری در تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی گزینهٔ جایگزین خواهد داشت، ازاین‌رو 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 مسئلهٔ 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 رابطهٔ (۹) تعریف نمود:

$$w_j = \frac{\sigma_j\sqrt{1 - R_j}}{\sum_{k=1}^{m}\sigma_k\sqrt{1 - R_k}} \; ; j = 1, \dots, m \qquad (۹)$$

که σ_j مقدار انحراف استاندارد از شاخص Q_j است و با رابطهٔ (۱۰) به دست می‌آید:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(z_{ij} - \bar{z}_j\right)^2} \qquad (۱۰)$$

ریشهٔ 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 دردست‌داشتن 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[۳۶]، ۲۰۱۰).

www.SID.ir

Arshive of SID

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 مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی وجود دارد. در اکثر این مطالعات از تکنیک‌هایی استفاده شده است که تنها به مقایسهٔ 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 هزینهٔ 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 خواستهٔ 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 مطالعهٔ 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 مسئلهٔ 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 مقایسهٔ 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 علی‌رغم 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"[۳۷] و "بدیهی اطلاعاتی"[۳۸] (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)[۳۹] است (سا[۴۰]، ۱۹۹۰). نیازهای وظیفه‌ای یا FRها به عنوان حداقل نیازهای مستقلی هستند که اهداف طرح را

www.SID.ir

Arshive of SID

بیان می‌کنند. بدیهی اطلاعاتی تضمین می‌کند که در میان آن دسته از طرح‌هایی که بدیهی مستقل را برآورده می‌کنند، طرحی که کمترین محتوای اطلاعاتی[۴۱] را دارا باشد، بهترین طرح است (سا، ۲۰۰۱). اطلاعات که از جهت محتوای اطلاعاتی تعریف می‌شوند، و با I_i نمایش داده می‌شوند به ساده‌ترین بیان، احتمال برآورده‌سازی FRهای داده شده را نشان می‌دهند. طرحی که دارای بیشترین احتمال موفقیت باشد به عنوان بهترین طرح معرفی می‌شود (کولاک و کهرمان[۴۲]، ۲۰۰۵).

به بیان ساده‌تر، بدیهی استقلال همان محدودهٔ سیستم است که نشان‌دهندهٔ هر یک از گزینه‌های در دسترس است. محدودهٔ طراحی نیز همان نیازهای تصمیم‌گیرنده براساس هر شاخص است که برای به دست آوردن بدیهی اطلاعاتی یا همان محتوای اطلاعاتی به دست می‌آید.

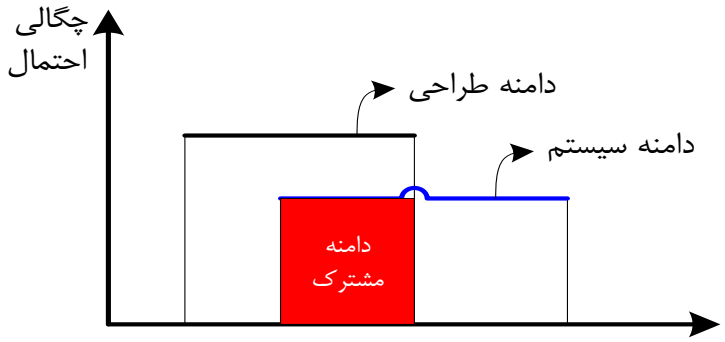
برای به دست آوردن محتوای اطلاعاتی، نیاز به مساحت ناحیهٔ مشترک بین محدودهٔ سیستم و محدودهٔ طراحی است. شاخص‌ها در مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی، فازی و غیرفازی هستند. نحوهٔ محاسبهٔ محتوای اطلاعاتی متفاوت است که در ادامه نشان داده شده است.

الف) محتوای اطلاعاتی شاخص‌های دقیق

در محاسبهٔ محتوای اطلاعاتی شاخص‌های دقیق ممکن است دو حالت رخ دهد. حالت اول مربوط به گزینه‌هایی است که دارای تابع یکنواخت در محدودهٔ سیستم می‌باشد که این حالت در شکل (۱) نشان داده شده است. همچنین نحوهٔ محاسبه محتوای اطلاعاتی از رابطه (۱۱) به دست می‌آید.

$$I_i = log_2\left(\frac{1}{P_i}\right)$$
$$P_i = \frac{common\ area}{system\ range} \qquad (۱۱)$$

در رابطه (۱۱) I_i محتوای اطلاعاتی یک گزینه و P_i احتمال دستیابی گزینهٔ بررسی‌شده به الزامات عملکردی، براساس شاخص بررسی‌شده است. در اینجا *common range* اندازهٔ مساحت مشترک بین محدودهٔ سیستم و محدودهٔ طراحی و *system range* اندازهٔ مساحت محدودهٔ سیستم گزینهٔ بررسی‌شده است.



شکل (۱) محتوای اطلاعاتی در شاخص‌های دقیق و یکنواخت

www.SID.ir

Arshive of SID

$$I_i = log_2\left(\frac{1}{P_i}\right)$$
$$P_i = \int_{dr^l}^{dr^u} p_s(FR)dFR \qquad (۱۲)$$

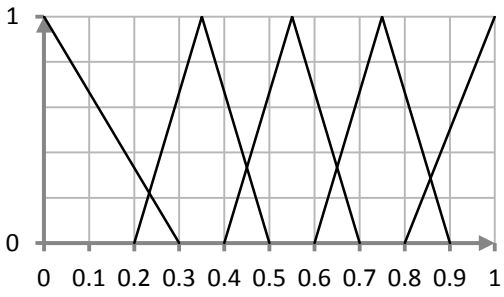
حالت دوم مربوط به گزینه‌هایی است که دارای محدودهٔ سیستم به صورت یک متغیر تصادفی پیوسته هستند که با یک تابع نشان داده می‌شود. با استفاده از رابطهٔ (۱۲) محتوای اطلاعاتی گزینهٔ مدِ نظر به دست می‌آید. در این رابطه، $p_z(FR)$ نشان دهنده تابع چگالی احتمال گزینهٔ بررسی شده است که P_i احتمال موفقیت با درنظرگرفتن تابع چگالی احتمال محدودهٔ سیستم با محدودهٔ طراحی (FR) با کران پایین محدودهٔ طراحی (dr^l) و کران بالای محدودهٔ 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 ۵تایی (ضعیف، متوسط، خوب، خیلی‌خوب و عالی) تبدیل کرد که در شکل ۲ نشان داده شده است. کهرمان و سبی[۴۳] (۲۰۰۹) از این طیف برای مسئلهٔ فازی طراحی مبتنی بر بدیهیات (FAD)[۴۴] استفاده کرده‌اند. بر اساس شکل (۲)، متغیر زبانی ضعیف با مقدار (۰/۳، ۰، ۰)، متغیر زبانی متوسط با مقدار (۰/۵، ۰/۳۵، ۰/۲)، متغیر زبانی خوب با مقدار (۰/۷، ۰/۵۵، ۰/۴)، متغیر زبانی خیلی‌خوب 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 محاسبهٔ محدودهٔ 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 مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی برای مثال، یک شاخص سود که الزامات کارکردی (FR) را با توجه به شکل (۲) طراحان "متوسط" انتخاب کرده باشند، در نظر بگیرید. چنانچه از گزینه‌های موجود یکی دارای محدودهٔ 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.



شکل (۲) بازهٔ اعداد فازی مثلثی (کهرومان و سبی، ۲۰۰۹)

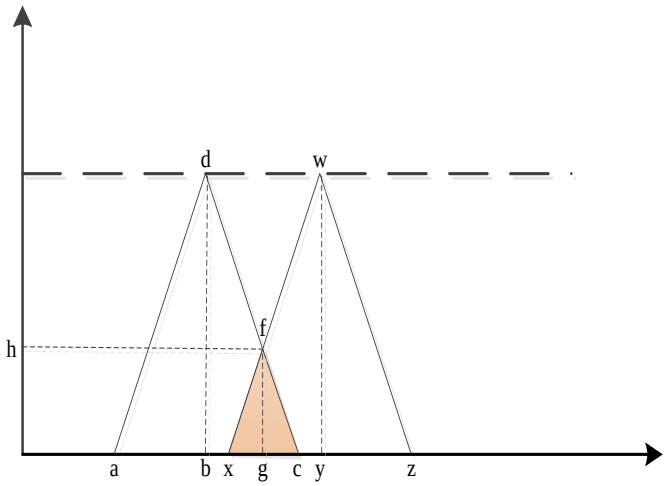
www.SID.ir

Arshive of SID

حال اگر گزینهٔ دیگرِ در شاخص مطرح شده در مثال بالا با توجه به شکل (۲) دارای رتبهٔ عالی باشد، بنابراین هیچ فضای مشترکی بین الزامات کارکردی (FR) و محدودهٔ طراحی وجود ندارد و نتیجهٔ آن براساس رابطهٔ (۱۱) دارای محتوای اطلاعاتی صفر می‌شود که باعث حذف گزینهٔ موردنظر از تصمیم‌گیری می‌شود. گزینهٔ حذف‌شده که در یک شاخص بدون هیچ‌گونه پرداخت اضافی دارای رتبهٔ 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 درنظرنگرفتن مسئلهٔ بیان‌شده در بالا می‌باشد.

برای برطرف‌کردن این مشکلات دو رویکرد متفاوت از سوی پژوهشگرانی همچون کهرامان و سبی (۲۰۰۹) و چلیک[۴۵] و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد شد. هر کدام از این رویکردها دارای نواقصی بودند از جمله (۱) درنظرنگرفتن الزامات عملکردی مطرح شده تصمیم‌گیرندگان برای هر شاخص به صورت صحیح؛ (۲) حذف نشدن انتخاب‌هایی که با حداقل نیازهای طراحان محدودهٔ مشترکی ندارند، و (۳) مقایسه‌پذیر 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 محدودهٔ طراحی یا همان الزامات عملکردی، و عدد فازی مثلثی $\tilde{S} = (a, b, c)$ برای محدودهٔ سیستم تعریف شود. با توجه به شکل (۳) فرض بر این است که شاخص بررسی‌شده با ماهیت سود و $c > x$ است.



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

محتوای اطلاعاتی در شکل حاضر را می‌توان با استفاده از FAD معمولی محاسبه کرد، زیرا دارای محدودهٔ مشترک است و باید مساحت مثلث Δxfc به دست آورد؛ مساحت مثلث را می‌توان به‌صورت رابطهٔ (۱۳) محاسبه کرد.

www.SID.ir

Arshive of SID

$$S_{\Delta xfg} = \overline{xc} \times \overline{fg}/2 \qquad (۱۳)$$

قاعدهٔ مثلث که xc است بـه راحتـی در دسـترس است. اما برای بـه دسـت آوردن ارتفـاع مثلـث (fg) باید نقطهٔ $f(g,h)$ را داشت. از آنجا که این نقطه بـر روی دو خط راست (dc) و (wx) است می‌تـوان بـا داشتن معادله خط‌های یاد شده و با استفاده از شـیب آن‌ها به مختصات نقطهٔ موردنظر دست یافت.

$$\overline{dc}: h = \frac{g-c}{b-c}$$
$$\overline{wx}: h = \frac{g-x}{y-x} \qquad (۱۴)$$

که با برابر قراردادن دو رابطهٔ بالا مـی‌تـوان مقـدار (h) را از رابطه (۱۵) به دست آورد.

$$h = \frac{c-x}{y-x-b+c} \qquad (۱۵)$$

با استفاده از رابطهٔ (۱۶) می‌توان مسـاحت مثلـث مدنظر که برابر با مساحت ناحیـهٔ مشـترک اسـت، بـه دست آورد.

$$common\ area = S_{\Delta xfc} = \frac{(c-x)^2}{2(y-x-b+c} \qquad (۱۶)$$

همچنین مساحت محدودهٔ سیستم را مـی‌تـوان از رابطهٔ (۱۷) به دست آورد.

$$system\ range = S_{abc} = \frac{\overline{ac} \times 1}{2} = \frac{c-a}{2} \qquad (۱۷)$$

با توجه به روابـط گفتـه‌شـده مـی‌تـوان محتـوای اطلاعاتی را در روش جدید به‌صورت رابطهٔ (۸) بیان کرد.

$$I = log_2\left(\frac{system\ range}{common\ area}\right) = log_2\left(\frac{(c-a)(c-b)+(c-a)(y-x)}{(c-x)^2}\right) \qquad (۱۸)$$

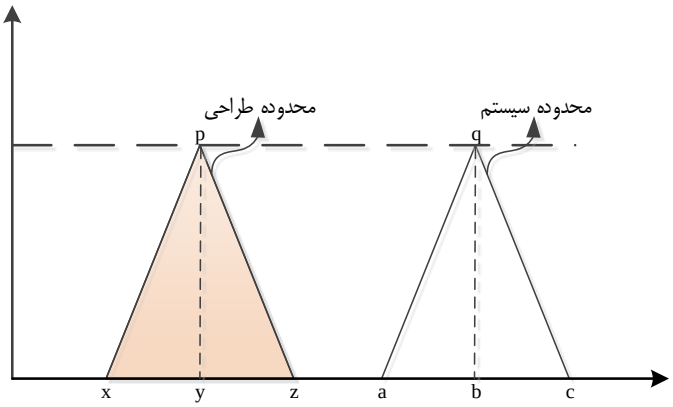
همچنین، در حالتی که $z < c$ باشد، می‌توان محتـوای اطلاعاتی را همانند رونـد بـالا محاسـبه کـرد. نتیجـهٔ نهایی به صورت رابطهٔ (۱۹) خواهد بود.

$$I = log_2\left(\frac{system\ range}{common\ area}\right) = log_2\left(\frac{(c-a)(z-y)+(c-a)(b-a)}{(z-a)^2}\right) \qquad (۱۹)$$

همان‌گونه که در شکل (۳) دیـده مـی‌شـود، اگـر $c \le x$ باشد، محدودهٔ مشترک صفر خواهد بـود و بـا توجه به شاخص سود بررسی‌شده، گزینهٔ مـدِ نظـر از محـدودهٔ طراحـی کمتـر اسـت، بنـابراین، محتـوای اطلاعـاتی برابـر بـا بـی‌نهایـت (∞) در نظـر گرفتـه می‌شود. اما تا اینجا محدودیت‌هـای بیـان شـده رفـع نشده‌اند. این محدودیت‌ها زمانی اتفاق می‌افتند که در شاخص‌هـایی بـا "ماهیـت سـود" محـدودهٔ طراحـی توسط طراحان پایین‌تـر از محـدودهٔ سیسـتم در نظـر گرفته شود. به عنوان مثال با توجه به شـکل (۴) اگـر محـدودهٔ طراحـی یـک شـاخص توسـط طراحـان "متوسـط" در نظـر گرفتـه شـود و در مثـال فرضـی، گزینهٔ اول در شاخص موردنظر که ماهیت سـود دارد، "خیلی‌خـوب" و گزینـهٔ دوم "عـالی" کسـب کننـد، بنابراین، محدودیت‌هایی که به دنبال رفع آن هسـتیم، شکل می‌گیرد. شکل (۴) این موضـوع را بـه تصـویر می‌کشد.

www.SID.ir

Arshive of SID



شکل (۴) محدودهٔ طراحی پایین‌تر از محدودهٔ سیستم در شاخص با ماهیت سود

همان‌طور که در شکل (۴) نمایش داده شده است، هیچ مساحت مشترکی بین محدودهٔ طراحی و محدودهٔ سیستم وجود ندارد و طبق AD فازی معمولی هر گزینه با این خاصیت، دارای محتوای اطلاعاتی بی‌نهایت شده و از چرخهٔ تصمیم‌گیری حذف می‌شود که مخالف با واقعیت است.

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

اگر محدودهٔ سیستم پایین‌تر از محدودهٔ طراحی باشد و بین آن‌ها هیچ مساحت مشترکی وجود نداشته باشد، پس محتوای اطلاعاتی (I) برای گزینهٔ بررسی‌شده برابر بی‌نهایت است؛

اگر محدودهٔ سیستم پایین‌تر از محدودهٔ طراحی باشد و بین آن‌ها محدودهٔ مشترک وجود داشته باشد، با استفاده از رابطهٔ (۱۸) محتوای اطلاعاتی آن به دست می‌آید

اگر محدودهٔ سیستم دقیقاً منطبق با محدودهٔ طراحی باشد، محتوای اطلاعاتی برای گزینهٔ مدِنظر صفر قرار داده شود؛

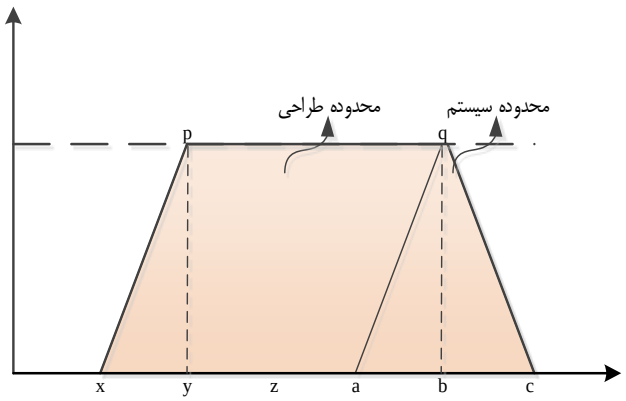
اگر محدودهٔ سیستم بالاتر از محدودهٔ طراحی باشد، برای اینکه گزینهٔ مدنظر حذف نشود، با استفاده از بهبود محتوای اطلاعاتی و روشی که پیشنهاد شده است می‌توان این مهم را انجام داد.

در تکنیک AD که تاکنون ارائه شده است، گزینه‌ها بر اساس جمع محتوای اطلاعاتی که از شاخص‌های مختلف کسب می‌کنند، رتبه‌بندی می‌شوند، و هر گزینه که دارای مجموع محتوای اطلاعاتی کوچک‌تری باشد، انتخاب می‌شود. همچنین کمترین مقدار محتوای اطلاعاتی که در روش AD می‌تواند به یک گزینه براساس یک شاخص اختصاص داده شود، صفر است؛ این مقدار به گزینه‌ای اختصاص داده می‌شود که محدودهٔ سیستم آن، منطبق با محدودهٔ طراحی باشد. اما زمانی که محدودهٔ سیستم بهتر از محدودهٔ طراحی باشد باید به محتوای اطلاعاتی عددی تعلق گیرد که بهتر از صفر باشد. بنابراین، در رویکرد جدید باید از اعداد منفی برای نشان‌دادن محتوای اطلاعاتی استفاده کرد، یعنی اعداد منفی دارای ارزش بیشتری برای انتخاب گزینه‌ها هستند. به‌دلیل کمبودی که عدد فازی مثلثی محدودهٔ طراحی دارد، باید به یک عدد فازی ذوزنقه‌ای تبدیل شود. این عدد از ابتدای محدودهٔ

www.SID.ir

Arshive of SID

طراحی تا پایان محدودهٔ سیستم در نظر گرفته می‌شود. شکل (۵) بیانگر این موضوع است.



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

از آنجا که تابع لگاریتمی در پایهٔ ۲ در بازهٔ $[0,1]$، یک عدد منفی است و هرچه به سمت صفر نزدیک‌تر باشد، نتیجهٔ منفی بزرگتری دارد. بنابراین، می‌توان از این فرصت برای محاسبهٔ 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 پایهٔ ۲ باید کسر شود. هر چه میزان عدد به دست‌آمده از رابطهٔ (۲۰)، به صفر نزدیک‌تر باشد، نتیجه کار عدد منفی بزرگ‌تری خواهد بود. این "مقدار" با استفاده از رابطهٔ (۲۰) محاسبه می‌شود.

$$S_{xpqc} - (S_{xyz} + S_{abc} - common\ area) \quad (۲۰)$$

بنابراین، هنگامی که $a < z\ and\ x < a, or\ z \leq a$ (بیانگر حالتی است که محدودهٔ طراحی پایین‌تر از محدودهٔ سیستم باشد)، می‌توان با استفاده از رابطهٔ زیر محتوای اطلاعاتی را محاسبه کرد. با توجه به شکل (۵)، S_{xpqc} نشان دهندهٔ مساحت ذوزنقه، S_{xyz} نشان دهندهٔ مساحت عدد فازی مثلثی محدودهٔ طراحی و S_{abc} نشان دهندهٔ مساحت عدد فازی مثلثی محدودهٔ 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 رابطهٔ (۲۱) به دلیل اینکه دوبار در محاسبات، این مقدار مساحت از مساحت کل ذوزنقه کسر می‌شود، 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.

$$I_i = log_2\left[1 - \left(S_{xpqc} - (S_{xyz} + S_{abc} - common\ area)\right)\right] \quad (۲۱)$$

برای اثبات رابطهٔ (۲۱) که همه محدودیت‌های بیان شده را برآورده کرده است، شکل (۴) را در نظر می‌گیریم. رابطهٔ $S_{xpqc} - (S_{xyz} + S_{abc} - common\ area)$ برای به دست آوردن مساحت میان دو محدودهٔ سیستم و طراحی است. هرچه این مساحت بیشتر باشد، مقدار رابطهٔ (۲۰) بزرگ‌تر، و نتیجه آن مقدار منفی بیشتری برای رابطهٔ (۲۱) است که برای به‌دست آوردن محتوای

www.SID.ir

Arshive of SID

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

$$common\ area = h \times (z-a) = \frac{(z-a)^2}{(b-a-y+z)} \qquad (۲۲)$$

با درنظرگرفتن تمام استدلال‌ها، می‌توان رابطهٔ نهایی «محاسبهٔ محتوای اطلاعاتی» برای تمام شاخص‌هایی که فازی و با ماهیت سود هستند، به‌صورت رابطهٔ (۲۳) بیان کرد.

(۲۳)

$$I_i = \begin{cases} \infty & \text{if } z \le a \\ \log_2\left(\dfrac{(c-a)(z-y)+(c-a)(b-a)}{(z-a)^2}\right) & \text{if } a < z \wedge a > x; \\ 0 & \text{if } \tilde{S}=\tilde{D}; \\ I_i = \log_2\left[1-\left(S_{xpqc}-\left(S_{xyz}+S_{abc}-common\ area\right)\right)\right] & \text{if } x < c \wedge a < x, \vee c \le x; \end{cases}$$

همان‌طور که پیشتر نیز گفته شد، همه محاسبات و استدلال‌های انجام‌گرفته، برای شاخص‌های با ماهیت سود صورت پذیرفته است که رابطهٔ (۲۳) خروجی این محاسبات است. برای شاخص‌های با ماهیت هزینه نیز می‌توان مانند آنچه انجام گرفت، به اثبات رابطهٔ مطابق با این نوع شاخص‌ها پرداخت، یعنی محدودیت‌های بیان شده برای شاخص‌های با ماهیت هزینه، زمانی رخ می‌دهد که محدودهٔ طراحی بالاتر از محدودهٔ سیستم باشد (یعنی محدودهٔ سیستم نسبت به آنچه طراحان محدودهٔ طراحی انتخاب کرده‌اند دارای هزینهٔ کمتری است).

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

(۲۴)

$$I_i = \begin{cases} \infty & \text{if } z \le a; \\ \log_2\left(\dfrac{(c-a)(z-y)+(c-a)(b-a)}{(z-a)^2}\right) & \text{if } a < z \wedge a > x; \\ 0 & \text{if } \tilde{S} = \tilde{D}; \\ I_i = \log_2\left[1-\left(S_{xpqc}-\left(S_{xyz}+S_{abc}-common\ area\right)\right)\right] & \text{if } x < c \wedge a < x, \vee c \le x; \end{cases}$$

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

$$common\ area = h \times (c-x) = \frac{(c-x)^2}{(y-x-b+c)} \qquad (۲۵)$$

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 رابطهٔ (۲۶) استفاده کرد (کولاک و کهرمان، ۲۰۰۵).

www.SID.ir

Arshive of SID

$$I_{ij} = \begin{cases} \left[\log_2 \frac{1}{p_{ij}}\right]^{\frac{1}{w_j}}, & 0 \le I_{ij} < 1 \\ \left[\log_2 \frac{1}{p_{ij}}\right]^{w_j}, & I_{ij} > 1 \\ w_j, & I_{ij} = 1 \end{cases} \qquad (۲۶)$$

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، رابطهٔ 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 فاصلهٔ میان محتوای اطلاعاتی به دست آمده برای هر گزینه براساس هر شاخص حفظ خواهد شد. پس از تأثیر دادن وزن با استفاده از رابطهٔ (۲۶)، می‌توان با جمع محتوای اطلاعاتی مربوط به هر شاخص که وزن بر روی آن‌ها تاثیر 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.

۳- یافته‌های پژوهش

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

در مرحلهٔ 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 مسئلهٔ این پژوهش انتخاب شد.

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

۱- هزینه (قیمت تمام‌شدهٔ 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 قطعهٔ کار در خط تولید)؛

www.SID.ir

Arshive of SID

۶- درصد خرابی (میزان خرابی یک دستگاه در ۱۰۰۰ قطعهٔ 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 قابل‌استفاده‌بودن دستگاه در روز و در کل دقت و سرعت عمل دستگاه در کار)؛

۱۰- محیط زیست (فیلترهای جلوگیرنده 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 ارائه‌شده و گزینه‌های در دسترس شرکت صاشیراز تشکیل می‌شود. بر این اساس، پس از تحقیق و بررسی بازارهای داخلی و خارجی کارشناسان به هشت گزینهٔ 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 مایل هستند. در جدول (۱) ماتریس تصمیم‌گیری مسئلهٔ 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 رابطهٔ (۷) برای محاسبه ضریب همبستگی و از رابطهٔ (۱۰) برای محاسبهٔ انحراف شاخص، استفاده شده و پس از آن با استفاده از رابطهٔ (۹) وزن هر شاخص با استفاده از روش CCSD محاسبه شده است. نتایج محاسبات در جدول (۲) آمده است.

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

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

www.SID.ir

Arshive of SID

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): محدودهٔ طراحی برای هر شاخص

شاخص	محدودهٔ طراحی	شاخص	محدودهٔ 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

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

در مسئلهٔ کنونی، شاخص‌ها در روش طراحی مبتنی بر بدیهیات به سه دسته گروه‌بندی می‌شوند: دستهٔ 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 می‌گیرند. دستهٔ 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 دستهٔ 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. نتیجهٔ محاسبه محتوای اطلاعاتی برای گزینه‌ها براساس شاخص‌ها، در جدول (۴) نشان داده شده است.

www.SID.ir

Arshive of SID

جدول (۴) ماتریس محتوای اطلاعاتی

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

جدول (۵) تأثیر وزن در ماتریس محتوای اطلاعاتی

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

پس از به‌دست‌آوردن محتوای اطلاعاتی، نخست با استفاده از روش بیان‌شده داده‌ها را بهنجار کرده تا اعداد منفی از جدول حذف شوند. سپس، وزن‌های به‌دست آمده از روش CCSD را در محتوای

www.SID.ir

Arshive of SID

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

مسئلهٔ انتخاب ماشین تراش CNC با روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نیز حل شده است. به‌این‌منظور ابتدا، شاخص‌های فازی به اعداد نظیر تبدیل شد. آنگاه با بکارگیری الگوریتم روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ماشین HTC50N به‌عنوان گزینهٔ برتر به دست آمد. این در حالی است که در روش طراحی مبتنی بر بدیهیات، ماشین یادشده از آن دسته گزینه‌هایی است که به‌دلیل قرارنگرفتن در محدودهٔ طراحی، از مجموعهٔ گزینه‌ها حذف شد. این موضوع بیانگر توانمندی روش طراحی مبتنی بر بدیهیات است که با درنظرگرفتن محدودهٔ طراحی، الزامات انتخاب‌کننده را در مدل مسئله در نظر می‌گیرد؛ درحالی‌که روش تحلیل سلسله‌مراتبی به چنین چیزی توجه ندارد.

همچنین، مسئلهٔ یاد شده با روش تاپسیس نیز حل شد. پاسخ نهایی در روش تاپسیس همانند پاسخ روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ماشین HTC50N بود. ازاین‌رو، 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 به دست آورده است نادقیق و غیراستاندارد است؛ زیرا معیارهای کیفی به درستی و براساس استاندارد واقعی که برای گزینه‌ها وجود دارد، مدِنظر قرار نمی‌گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

همان گونه که بیان شد، یکی از مسائلی که در دنیای امروز، از تصمیم‌گیری برای حل آن استفاده می‌شود، مسئلهٔ 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 اقتصادی‌بودن آن، تأثیر شگرف دارد. ازاین‌رو، مسئلهٔ انتخاب ماشین‌آلات یکی از چالش‌های اساسی مدیران است. انتخاب ماشین‌آلات یک فرایند خوب‌تعریف‌شده نیست. این به آن دلیل است که شاخص‌های گوناگونی بر روی این انتخاب تأثیر می‌گذارند. این واقعیت باعث می‌شود تا انتخاب ماشین‌آلات، یک مسئلهٔ تصمیم‌گیری پیچیده و چندشاخصه باشد.

در این پژوهش روشی ارائه شد که افزون بر درنظرگرفتن همهٔ محدودیت‌های موجود در یک مسئلهٔ تصمیم گیری، 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 به‌صورتِ عینی و با استفاده از ماتریس تصمیم‌گیری بدست می‌آید. پس از آن با استفاده از روش طراحی مبتنی بر بدیهیات بهترین گزینه شناسایی می‌شود.

www.SID.ir

Arshive of SID

نتایج این پژوهش نشان داد که برون‌داد روش پیشنهادی با دیگر روش‌های شناخته‌شده در زمینهٔ رتبه‌بندی، تفاوت‌های زیادی دارد. بکارگیری مفهوم محدودهٔ 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 فاصلهٔ میان گزینه‌ها را حفظ می‌کند؛ درحالی‌که در روش‌های دیگر، اندازهٔ فاصله مطرح نیست و تنها رتبه‌بندی گزینه‌ها ارئه می‌شود. روش پیشنهادی به همهٔ شاخص‌ها وزن‌های عینی می‌دهد، اما روش‌های دیگر (مانند تحلیل سلسله‌مراتبی) بیشتر از وزن‌دهی ذهنی استفاده می‌کنند، درنتیجه اشتباه ذهنی پاسخ‌دهندگان در تخیصص 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 نخستین‌بار در مسئلهٔ 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 توجهی وجود داشت که با استفاده از رویکرد پیشنهادی این پژوهش، می‌توان مشکلات موجود در فرایند انتخاب را برطرف کرد. پیشنهاد می‌شود برای توسعهٔ 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 توسعهٔ Change»، مدیریت نظامی، ۶۳-۹۴.

عبداله زاده، وحید.، محلوجی، هاشم.، و کریم معجنی، الناز. (۱۳۸۴). «ارزیابی و انتخاب تجهیزات گنتری‌کرین 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 intellgent and facturing*, 22 (2), 263-277.

Almutawa, S., Savsar, M., & Al-rashidan, K. (2005). "Optimum machine selection in multistag e manufacturing systems". *Internati onal Journal of Product ion Research*, 43 (6), 1109 – 1126.

Buyurgan, N., Saygin, C., & Kilic, S.E. (2004). "Tool allocation in flexible manufacturing systems with toolalternatives". *Robotics and Computer-*

www.SID.ir

Arshive of SID

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 ProcessingTechno;ogy*, 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.

www.SID.ir

Arshive of SID

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*

پی‌نوشت

1 Kusiak
2 Mileham
3 Almutawa
4 Konak
5 Gerrard

www.SID.ir

Arshive of SID

6 Duran & Aguilo
7 Buyurgan
8 Tabucanon
9 Yurdakul
10Ertugral 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)
36Leo
37 Independent Axiom
38 Information Axiom
39 Functional Requirements
40 Suh
41Information Content
42Kulak, O., Kahraman,
43Kahraman & Cebi
44 Fuzzy Axiomatic Design
45 Celik

www.SID.ir