فصلنامه علمی ـ پژوهشی مطالعات مدیریت
صنعتی سال ششم، شماره ۱۶، بهار ۸۹
صفحات ۱۶۷ تا ۱۸۸

Motaleat-e modiriat-e sanati
Vol. 6,No.16, Spring 2010

تصمیم‌گیری گروهی برای انتخاب ابزار ماشین با استفاده از روش ویکور فازی

دکترمقصود امیری *

چکیده

انتخاب ابزارهای ماشین مناسب برای یک شرکت تولیدی به دلیل تاثیرگذاری در فرایند تولید بسیار مهم است. وجود اطلاعات نادقیق باعث دشوارتر شدن این انتخاب می‌شود. روش VIKOR یکی از روش‌های جدید برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است که هدف آن انتخاب بهترین گزینه بر اساس نزدیکترین جواب ممکن به جواب ایده‌آل است. در این مقاله یک رویکرد فازی برای روش VIKOR پیشنهاد خواهد شد که رتبه‌بندی گزینه‌ها و اوزان اهمیت معیارها به عنوان اعداد فازی در نظر گرفته می‌شوند. همچنین در روش پیشنهادی، وزن اهمیت نظرات تصمیم‌گیرندگان (DMs) متفاوت در نظر گرفته می‌شود. برای تشریح روش پیشنهادی، یک مثال عددی درباره مسأله انتخاب ابزار ماشین ارائه خواهد شد که معیارهای ارزیابی گزینه‌ها عبارتند از: انعطاف پذیری، قابلیت اطمینان

* عضو هیئت علمی دانشگاه علامه طباطبایی mg_Amiri@yahoo.com

و تعمیرپذیری ماشین‌ها.

واژگان کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، رویکرد فازی، روش VIKOR، انتخاب ابزار ماشین.

مقدمه

امروزه برای توسعه یک محیط تولید کارا، مسأله انتخاب ابزار ماشین مناسب در شرکت‌های تولیدی به موضوع بسیار مهمی تبدیل شده است، زیرا انتخاب ابزار ماشین ناکارامد می‌تواند روی عملکرد یک سیستم تولیدی تأثیر سوء بگذارد (آیاگ و اوزدمیر، ۲۰۰۶). با توجه به اینکه برای یک انتخاب ابزار ماشین، گزینه‌های ممکن و اهداف متضاد بسیاری وجود دارند، لذا انتخاب یک ابزار ماشین مناسب، فرایند مشکل و زمانبری است که نیازمند دانش پیشرفته، تجربه و آزمایشات عمیق است. از اینرو فرایند فوق برای مهندسین، مدیران و همچنین تولید کننده ابزار ماشین یا فروشنده آن، وظیفه مشکل و پیچیده‌ای قلمداد می‌گردد. جرارد (۱۹۹۸a) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسید که برای دستیابی به یک انتخاب نهایی، نقش ستاد مهندسی ۶ درصد بوده و مابقی به مدیریت میانی و ارشد تعلق دارد (یعنی ۹۴ درصد). استفاده از ابزارهای مناسب در یک شرکت تولیدی می‌تواند منجر به بهبود فرایندهای تولید، استفاده موثر از منابع، افزایش بهره‌وری و تسهیل انعطاف پذیری سیستم، تکرارپذیری و قابلیت اطمینان گردد (اونات و همکاران، ۲۰۰۸).

در مسأله انتخاب ابزار ماشین، فرد تصمیم گیرنده[1] (DM) به مجموعه‌ای از معیارهای کیفی و کمی همچون اندازه میز کار، جنبش محوری، قدرت، سرعت اسپیندل[2]، سرعت محور، تعداد ابزار، اندازه ماشین و هزینه ماشین، مواد قطعه کار، اندازه قطعه کار، پیچیدگی قطعه کار، سرعت برداشتن مواد، تلورانس نهایی و نوع فرایند (کالپاکجیان و اشمیت ۲۰۰۱، سان ۲۰۰۲، ارسلان و همکاران ۲۰۰۴)، برای تحلیل و ارزیابی مناسب و موثر نیاز دارد. بنابراین ارزیابی گزینه‌های ابزار ماشین، یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره[3] (MCDM) باوجود معیارهای کمی و کیفی

1- Decision Maker
2- Spindle
3- Multiple Criteria Decision Making

است. تصمیم‌گیری چند معیاره ابزار کاربردی گسترده‌ای برای تعیین بهترین جواب از میان چندین گزینه با چندین معیار/ شاخص است. روش‌های تعیین بهترین جواب در یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره شامل محاسبه مطلوبیت گزینه‌ها و رتبه‌بندی مطلوبیت‌ها است. جواب گزینشی با بیشترین مطلوبیت، به عنوان جواب بهینه در نظر گرفته می‌شود.

در ادبیات موضوع، مقالات مختلفی وجود دارند که برای حل مسائل انتخاب ابزار ماشین، مدل‌هایی را پیشنهاد داده‌اند. برای مثال ارسلان و همکاران (۲۰۰۴)، لین و یانگ (۱۹۹۶)، اوئلجنبرونز و همکاران (۱۹۹۵) و یورداکول (۲۰۰۴) فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1] (AHP) را برای مسأله انتخاب ابزار ماشین پیشنهاد دادند. واسیلاش (۱۹۹۷) یک برنامه کامپیوتری که «انتخابگر ابزار ماشین» نامیده شد را توسعه داد، بطوری که یک مجموعه ممکن از ابزارهای ماشین را با جستجو میان داده‌ها و حذف موارد غیر موثر به دست می‌آورد. جرجاکلوس (۲۰۰۵) یک مدل امتیازدهی را استفاده کرد که شاخص‌های ماشین‌ها را از لحاظ فنی و تجاری در بر می‌گرفت.

داده‌های ارزیابی مسأله انتخاب ماشین برای معیارهای ذهنی مختلف و اوزان معیارها معمولاً در واژه‌ها و عبارات کلامی[2] بیان می‌شوند. مطالعات ذکر شده در بالا از رویکردهای غیر فازی[3] تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌کنند و عدم قطعیت و عدم دقتی که ممکن است در رابطه با قضاوت‌های تصمیم‌گیرنده رخ دهند را در محاسبات منظور نمی‌کنند.

رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای مسائلی که ابهام و عدم دقت را در نظر می‌گیرند، پیشنهاد شده است. برای مثال، چو و لین (۲۰۰۳) یک رویکرد[4] TOPSIS فازی را برای انتخاب روبات پیشنهاد کردند و وانگ و همکاران (۲۰۰۰) نیز یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی را برای کمک به تصمیم گیرنده جهت پرداختن به مسأله انتخاب ماشین برای یک سلول تولیدی انعطاف پذیر توسعه دادند.

در مطالعات دیگر، پگرو و رانگون (۱۹۹۸) و جیانگ و هسو (۲۰۰۳) از AHP

1- Analytic Hierarchy Process
2- Linguistic
3- Crisp
4- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

فـازی برای انتخـاب فناوری‌های تولید پیشرفته استفاده کردند و دیویدزیچ و رپ (۱۹۹۹) نیز در مطالعه‌ای برای انتخاب ابزار ماشین‌ها از میان گزینه‌های موجود از رویکرد کلامی فازی استفاده کردند. آیس و یورداکول (۲۰۰۹) یک سیستم پشتیبان تصمیم را توسعه دادند که یک ماژول با چندین سوال، یک مجموعه ممکن از مراکز ماشین گذاری را تعیین می‌کند. مدل توسعه یافته از هر دو روش AHP فازی و TOPSIS فازی مطابق با دقت مورد نیاز برای دسته‌بندی مراکز ماشین گذاری ممکن استفاده می‌کند.

یورداکول و آیس (۲۰۰۹) روی مزیت اعداد فازی در مدل تصمیم‌گیری چند معیاره برای مسائل انتخاب ابزار ماشین، مطالعه کردند. آنها استفاده از اعداد فازی را زمانی که سطح زیادی از ابهامات در داده‌ها وجود دارند، پیشنهاد کردند. البته به غیر از ارزیابی غیر فازی که باید اولویت داده شوند. دوران و آگوئیلو (۲۰۰۸) یک روش AHP را براساس اعداد فازی توسعه دادند. آنها سپس روش چند شاخصه پیشنهادی را برای ارزیابی و توجیه یک سیستم تولیدی پیشرفته توسط یک مسأله عددی تشریح کردند. آیاگ و اوزدمیر (۲۰۰۹) یک فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی را برای حل مسائل انتخاب ابزار ماشین پیشنهاد کردند. سیمرون و همکاران (۲۰۰۷) نیز یک سیستم پشتیبان تصمیم[1] را برای انتخاب ابزار ماشین با استفاده از الگوریتم AHP پیشنهاد کردند.

برخی کمبودهای بکارگیری از روش AHP را می‌توان اینگونه برشمرد (ساعتی ۱۹۸۱، آیاگ و اوزدمیر ۲۰۰۶):۱) روش AHP اساساً در مورد مسائل تصمیم‌گیری غیرفازی استفاده می‌شود، ۲) روش AHP بر بسیاری از مقیاس‌های غیر متوازن قضاوتی می‌پردازد، ۳) روش AHP در محاسبه عدم قطعیت، قضاوت ذهنی افراد را به صورت یک عدد در نظر نمی‌گیرد، ۴) رتبه‌بندی روش AHP نسبتاً نادقیق[2] است، و ۵) قضاوت ذهنی، انتخاب و اولویت تصمیم گیرندگان روی نتایج AHP تأثیر زیادی دارد.

علیرغم مطالب گسترده‌ای که در مبانی نظری بیان می‌شوند، هنوز موضوعات

1- Decision Support System
2- Imprecise

مختلف رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره فازی جستجو نشده‌اند (یورداکول و آیس، ۲۰۰۹). از سوی دیگر ارزیابی انسانی روی شاخص‌های کیفی همواره ذهنی بوده و بنابراین نادقیق است. چنین موضوع مهمی می‌تواند استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی در رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره را توجیه نماید.

روش VIKOR روش جدید در تصمیم‌گیری چند معیاره است که اخیراً برای حل اینگونه مسائل با معیارهای متضاد و نامتناسب (واحدهای سنجش متفاوت) معرفی و توسعه یافته است (اوپریکوویچ . ژنگ، ۲۰۰۷). در این مقاله از ترکیب روش VIKOR با نظریه مجموعه‌های فازی و عبارات کلامی برای غلبه بر عدم قطعیت در رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است. در این مقاله از نظرات گروهی افراد تصمیم گیرنده به نحوی استفاده می‌شود که اوزان اهمیت هر یک از تصمیم گیرندگان در انتخاب نهایی متفاوت خواهد بود.

در بخش بعدی نگرشی کلی بر روش VIKOR ارائه می‌شود. در بخش ۳، برخی تعاریف و نمادهای مهم در رویکرد فازی مرور خواهند شد. بخش ۴، روی ارائه روش پیشنهادی VIKOR فازی متمرکز خواهد شد، بطوری که برای تشریح آن، یک مثال عددی در بخش ۵ ارائه می شود. نهایتاً در بخش ۶ به بحث و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

روش VIKOR

روش VIKOR توسط اوپریکوویچ (۱۹۹۸) و اوپریکوویچ و ژنگ (۲۰۰۲) توسعه یافته است. کلمه VIKOR برگرفته از نام صربستانی VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje به معنی "بهینه‌سازی چند معیاره و حل سازشی[1]" است (چو و همکاران، ۲۰۰۷). روش VIKOR برای بهینه‌سازی چند معیاره سیستم‌های پیچیده توسعه یافته است (اوپریکوویچ و ژنگ، ۲۰۰۴). این روش روی دسته‌بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه‌ها تمرکز داشته و جواب‌های سازشی را برای یک مسأله با معیارهای متضاد تعیین می‌کند، بطوری که قادر است تصمیم گیرندگان را

1-Multi-criteria optimization and compromise solution

برای دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. در اینجا جواب سازشی نزدیکترین جواب موجه به جواب ایده‌آل است که کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌گردد (اوپریکوویچ و ژنگ، ۲۰۰۴). این جواب سازشی یک شاخص رتبه‌بندی چند معیاره بر اساس نزدیکی به جواب ایده‌آل را مطرح می‌سازد (اوپریکوویچ، ۱۹۹۸).

مطابق (اوپریکوویچ و ژنگ، ۲۰۰۷)، اندازه چند معیاره برای رتبه‌بندی سازشی از L_P-metric به عنوان یک تابع یکپارچه در روش برنامه‌ریزی سازشی (یو، ۱۹۷۳) استفاده می‌کند. m گزینه متفاوت با $A_1, A_2, \ldots, A_m$ نمایش داده می‌شوند. برای گزینه A_i، رتبه‌بندی jامین معیار توسط f_{ij}نمایش داده می‌شود، یعنی f_{ij} بیانگر ارزش معیار jام برای گزینه i ام است، بطوری که n تعداد معیارها می‌باشد. توسعه روش VIKOR با فرم L_P-metric زیر آغاز گردید:

$$L_{P,i} = \left\{ \sum_{j=1}^{n} [w_j (f_j^+ - f_{ij}) / (f_j^+ - f_j^-)]^P \right\}^{1/P}$$

بطوری که $1 \le P \le \infty$ بوده و $i = 1,2,\ldots,m$. در روش VIKOR، $L_{1,i} = S_i = \sum_{j=1}^{n} [w_j (f_j^+ - f_{ij}) / (f_j^+ - f_j^-)]$ و $L_{\infty,i} = R_i = \max_j \left\{ w_j (f_j^+ - f_{ij}) / (f_j^+ - f_j^-) \right\}$ برای اندازه رتبه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. $L_{1,i}$ به عنوان ثبات[1] تفسیر می‌شود و می‌تواند برای تصمیم گیرندگان اطلاعاتی پیرامون ماکزیمم مطلوبیت گروهی یا اکثریت را فراهم آورد. بطور مشابه $L_{\infty,i}$ نیز به عنوان عدم ثبات[2] تفسیر شده و اطلاعاتی پیرامون حداقل اثر فردی مخالف را برای تصمیم گیرندگان فراهم می‌آورد.

یکی دیگر از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بر پایه نزدیکی به جواب ایده‌آل، روش TOPSIS است. در TOPSIS، گزینه انتخابی باید کمترین فاصله از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله از جواب ضد ایده‌آل را داشته باشد. روش TOPSIS دو نقطه مرجع (ایده‌آل و ضد ایده‌آل) را معرفی می‌کند ولی اهمیت نسبی فواصل از این دو نقطه را در نظر

1- Concordance
2- Discordance

نمی‌گیرد. روش‌های VIKOR و TOPSIS انواع متفاوتی از نرمال سازی[1] را برای حذف واحدهای سنجش معیارها بکار می‌گیرند، در حالی که روش VIKOR از نرمال سازی خطی و روش TOPSIS از نرمال سازی برداری استفاده می‌کنند. مقدار نرمال سازی شده در روش VIKOR به واحد سنجش معیار وابسته نیست و این در حالی است که مقادیر نرمال سازی شده توسط روش TOPSIS ممکن است به واحد سنجش معیار وابسته باشند (چو و همکاران، ۲۰۰۷).

رویکرد فازی

در یک فرایند تصمیم‌گیری، تصمیم گیرندگان معمولاً با تردیدها، مسائل و عدم قطعیت‌هایی روبرو می‌شوند. به عبارت دیگر، زبان طبیعی برای بیان ادراک یا قضاوت همواره به صورت ذهنی، غیرقطعی یا مبهم است. برای رفع ابهام و ذهنی بودن قضاوت تصمیم گیرنده، نظریه مجموعه‌های فازی (زاده، ۱۹۶۵) برای بیان واژه‌های کلامی در فرایند تصمیم‌گیری معرفی گردید. بلمن و زاده (۱۹۷۰) متدولوژی تصمیم‌گیری چند معیاره فازی را برای فقدان دقت در تخصیص اوزان اهمیت معیارها توسعه دادند، بطوری که رتبه‌بندی‌های گزینه‌ها باتوجه به معیارهای ارزیابی صورت گرفت.

برای ارائه روش پیشنهادی، لازم است که در ابتدا برخی تعاریف و نمادهای مهم نظریه مجموعه های فازی بر اساس دوبیوس و پراد (۱۹۸۰)، کافمن و گوپتا (۱۹۹۱) و تسو (۲۰۰۹) مرور شوند:

اعداد فازی

یک عدد فازی $\tilde{A}=[a_1,a_2,a_3,a_4]$، بطوری که $-\infty<a_1\le a_2\le a_3\le a_4<+\infty$ و $a_1,a_2,a_3,a_4\in R$، به عنوان یک زیر مجموعه فازی در R بیان می‌شود که دارای تابع عضویت $f_{\tilde{A}}(x)$ است. تابع عضویت $f_{\tilde{A}}(x)$ یک تصویر پیوسته از R به بازه بسته [0,1]؛ $f_{\tilde{A}}(x)=0$ است که برای همه $x\in(-\infty,a_1]$ و $x\in[a_2,+\infty)$؛ $f_{\tilde{A}}(x)$ روی

1- Normalization

$x \in [a_1, a_2]$ اکیداً صعودی است؛ همچنین $f_{\tilde{A}}(x) = 1$ برای $x \in [a_2, a_3]$؛ $f_{\tilde{A}}(x)$ روی $x \in [a_3, a_4]$ اکیداً نزولی است. $\tilde{B} = [b_1, b_2, b_3]$ به عنوان یک عدد فازی مثلثی تعریف می‌شود، اگر $f_{\tilde{B}}(x)$ به صورت زیر باشد:

$$f_{\tilde{B}}(x) = \begin{cases} (x - b_1)/(b_2 - b_1), & b_1 \le x \le b_2 \\ (x - b_3)/(b_2 - b_3), & b_2 \le x \le b_3 \\ 0, & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

عملیات استاندارد ریاضی در مجموعه فازی

روابط زیر عملیات استاندارد ریاضی برای اعداد فازی مثلثی $\tilde{A} = [a_1, a_2, a_3]$ و $\tilde{B} = [b_1, b_2, b_3]$ و عدد غیرفازی n که می‌توان آنرا به صورت $\tilde{n} = [n, n, n]$ بیان کرد را در مجموعه R نشان می‌دهد:

$$(\tilde{A} \oplus \tilde{B}) = [a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3]$$
$$(\tilde{A} \ominus \tilde{B}) = [a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3]$$
$$(\tilde{A} \otimes \tilde{B}) \cong [a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3]$$
$$(\tilde{A} \otimes n) \cong [a_1 n, a_2 n, a_3 n].$$

عملیات فازی زدایی

فازی زدایی روش تبدیل یک مجموعه اعداد فازی به مقادیر غیرفازی به منظور رتبه‌بندی ترتیب آنها است. بسیاری از روش‌های فازی زدایی در دهه‌های گذشته توسعه یافته‌اند. بررسی پیرامون توسعه این روش‌ها را می‌توان در وانگ و کرره (b، ۲۰۰۱a)، لیکویچ و کرره (۱۹۹۹) جستجو کرد. در روش مقدار میانگین[1]، از تفکیک‌های چپ و راست (کافمن و گوپتا ۱۹۸۸، چو و لین ۲۰۰۹)، که علاوه بر ساده بودن از همه اطلاعات تابع عضویت نیز استفاده می‌کنند، برای فازی زدایی استفاده می‌شود.

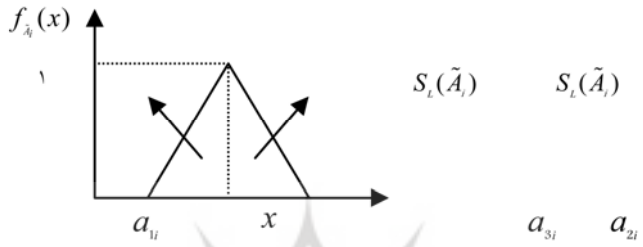
مجموعه اعداد فازی $\tilde{A}_i = [a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}]$ برای $i = 1, \ldots, I$ را در نظر بگیرید. مقدار فازی زدایی شده $\tilde{A}_i$ که توسط روش مقدار میانگین $S(\tilde{A}_i)$ نمایش داده می‌شود را به صورت زیر تعریف می‌کنند:

1- Mean value

$$S(\tilde{A}_i)=\frac{1}{2}\left(S_L(\tilde{A}_i)+S_R(\tilde{A}_i)\right)$$

$$S(\tilde{A}_i)=\frac{1}{2}\left((a_{2i}-\int_{a_{1i}}^{a_{2i}} f_{\tilde{A}_i}(x))+(a_{2i}+\int_{a_{2i}}^{a_{3i}} f_{\tilde{A}_i}(x))\right)=\frac{a_{1i}+2a_{2i}+a_{3i}}{4},$$

بطوری که $S_L(\tilde{A}_i)$ و $S_R(\tilde{A}_i)$ به ترتیب ناحیه چپ و راست عدد فازی $\tilde{A}_i$ را مطابق شکل ۱ نمایش می‌دهند.



شکل ۱. عدد فازي مثلثي $\tilde{A}_i$

روش پیشنهادي VIKOR فازي

مفروضات و گام‌های روش پیشنهادی به صورت زیر هستند:

مفروضات

k فرد تصمیم گیرنده وجود دارند که اهمیت نظرات هر یک در تصمیم نهایی متفاوت است ($k=1,...,K$).

m گزینه[1] برای انتخاب وجود دارند ($i=1,...,m$).

n معیار / شاخص[2] برای تصمیم‌گیری وجود دارند ($j=1,...,n$).

قدم ۱ (تشکیل ماتریس معیار- فرد تصمیم گیرنده)

برای تعیین وزن اهمیت معیارها، از k فرد تصمیم گیرنده و از طریق متغیرهای کلامی[3] استفاده می‌شود. اگر $\tilde{x}_{jk}$ یک متغیر کلامی باشد که بتواند عبارات کلامی

1- Alternative
2- Criterion/Attribute
3- Linguistic variables

خیلی خوب، خوب، بیطرفانه، ضعیف و خیلی ضعیف را از نظر تصمیم گیرنده k برای معیار jام نشان دهد، آنگاه می‌توان به هر عبارت کلامی یک عدد فازی مثلثی مطابق با جدول ۱ نسبت داد:

جدول ۱. عبارات کلامی برای اوزان اهمیت هر معیار

نماد	عبارت کلامی	عدد فازی مثلثی
γ	خیلی خوب	$\tilde{\gamma}=(\gamma^L,\gamma^m,\gamma^R)$
λ	خوب	$\tilde{\lambda}=(\lambda^L,\lambda^m,\lambda^R)$
ξ	بیطرفانه	$\tilde{\xi}=(\xi^L,\xi^m,\xi^R)$
ρ	ضعیف	$\tilde{\rho}=(\rho^L,\rho^m,\rho^R)$
μ	خیلی ضعیف	$\tilde{\mu}=(\mu^L,\mu^m,\mu^R)$

از اینرو ماتریس معیار ـ فرد تصمیم گیرنده می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$\begin{array}{c} \\ C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} D_1 & D_2 & \cdots & D_K \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1K} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \cdots & \tilde{x}_{nK} \end{bmatrix} \end{array}\begin{array}{c} w_j \\ \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \\ \vdots \\ \tilde{w}_n \end{bmatrix} \end{array}$$

بطوری که $\tilde{w}_j$ وزن اهمیت فازی معیار jام است. اگر $\omega_k=[0,1]$ وزن اهمیت نسبی نظرات تصمیم گیرنده kام در فرایند تصمیم گیری باشد، آنگاه:

$$\tilde{w}_j=(\min\{x_{j1}^L,x_{j2}^L,...,x_{jK}^L\},\omega_1 x_{j1}^m+\omega_2 x_{j2}^m+...+\omega_K x_{jK}^m,\max\{x_{j1}^R,x_{j2}^R,...,x_{jK}^R\})$$

قدم ۲ (تشکیل ماتریس فرد تصمیم گیرنده ـ گزینه‌ها ـ معیار)

برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، از k فرد تصمیم گیرنده و از طریق متغیرهای کلامی استفاده می‌شود. اگر $\tilde{y}_{kij}$ یک متغیر کلامی باشد که عبارات کلامی خیلی پایین، پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا را از نظر تصمیم گیرنده k برای گزینه iام و براساس معیار jام دربرگیرد، آنگاه می‌توان به هر عبارت کلامی یک عدد فازی مثلثی مطابق جدول ۲ نسبت داد:

جدول ۲. عبارات كلامي براي رتبه‌بندي گزينه‌ها

نماد	عبارت كلامي	عدد فازي مثلثي
σ	خيلي بالا	$\tilde{\sigma}=(\sigma^L,\sigma^m,\sigma^R)$
τ	بالا	$\tilde{\tau}=(\tau^L,\tau^m,\tau^R)$
η	متوسط	$\tilde{\eta}=(\eta^L,\eta^m,\eta^R)$
ψ	پايين	$\tilde{\psi}=(\psi^L,\psi^m,\psi^R)$
χ	خيلي پايين	$\tilde{\chi}=(\chi^L,\chi^m,\chi^R)$

از اینرو ماتریس فرد تصمیم گیرنده ـ گزینه‌ها ـ معیار به صورت زیر نوشته می‌شود:

		C_1	C_2	$\cdots$	C_n
D_1	A_1	$\tilde{y}_{111}$	$\tilde{y}_{112}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{11n}$
	A_2	$\tilde{y}_{121}$	$\tilde{y}_{122}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{12n}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdots$	$\vdots$
	A_m	$\tilde{y}_{1m1}$	$\tilde{y}_{1m2}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{1mn}$
D_2	A_1	$\tilde{y}_{211}$	$\tilde{y}_{212}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{21n}$
	A_2	$\tilde{y}_{221}$	$\tilde{y}_{222}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{22n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdots$	$\vdots$
	A_m	$\tilde{y}_{2m1}$	$\tilde{y}_{2m2}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{2mn}$
D_K	A_1	$\tilde{y}_{K11}$	$\tilde{y}_{K12}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{K1n}$
	A_2	$\tilde{y}_{K21}$	$\tilde{y}_{K22}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{K2n}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdots$	$\vdots$
	A_m	$\tilde{y}_{Km1}$	$\tilde{y}_{Km2}$	$\cdots$	$\tilde{y}_{Kmn}$

قدم ۳ (ترکیب ماتریسهای معیار ـ فرد تصمیم گیرنده و تصمیم گیرنده ـ گزینه‌ها ـ معیار)

اگر $\tilde{z}_{ij}$ یک متغیر فازی درباره گزینه i ام بر اساس معیار j ام باشد، آنگاه می‌توان یک ماتریس ترکیبی را به صورت زیر نوشت:

	C_1	C_2	$\cdots$	C_n
وزن معیار	$\tilde{w}_1$	$\tilde{w}_2$	$\cdots$	$\tilde{w}_n$
A_1	$\tilde{z}_{11}$	$\tilde{z}_{12}$	$\cdots$	$\tilde{z}_{1n}$
A_2	$\tilde{z}_{21}$	$\tilde{z}_{22}$	$\cdots$	$\tilde{z}_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdots$	$\vdots$
A_m	$\tilde{z}_{m1}$	$\tilde{z}_{m2}$	$\cdots$	$\tilde{z}_{mn}$

بطوری که:

	C_1	C_2	...	C_n
وزن معیار	$\tilde{w}_1$	$\tilde{w}_2$	...	$\tilde{w}_n$
A_1	$= (\min\{y^L_{111},...,y^L_{K11}\}, \omega_1 x^m_{111} + + \omega_K x^m_{K11}, \max\{y^R_{111},...,y^R_{K11}\})$	$\tilde{z}_{12} = (\min\{y^L_{112},...,y^L_{K12}\}, \omega_1 x^m_{112} + ... + \omega_K x^m_{K12}, \max\{y^R_{112},...,y^R_{K12}\})$	...	$\tilde{z}_{1n} = (\min\{y^L_{11n},...,y^L_{K1n}\}, \omega_1 x^m_{11n} + .. + \omega_K x^m_{K1n}, \max\{y^R_{11n},...,y^R_{K1n}\})$
A_2	$= (\min\{y^L_{121},...,y^L_{K21}\}, \omega_1 x^m_{121} + + \omega_K x^m_{K21}, \max\{y^R_{121},...,y^R_{K21}\})$	$\tilde{z}_{22} = (\min\{y^L_{122},...,y^L_{K22}\}, \omega_1 x^m_{122} + ... + \omega_K x^m_{K22}, \max\{y^R_{122},...,y^R_{K22}\})$	...	$\tilde{z}_{2n} = (\min\{y^L_{12n},...,y^L_{K2n}\}, \omega_1 x^m_{12n} + . + \omega_K x^m_{K2n}, \max\{y^R_{12n},...,y^R_{K2n}\})$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A_m	$\tilde{z}_{m1} = (\min\{y^L_{1m1},...,y^L_{Km1}\}, \omega_1 x_{n2} = (\min\{y^L_{1m2},...,y^L_{Km2}\}, \omega x^m_{1m2} + ... + \omega_K x^m_{Km1}, \max\{y^R_{1m1},...,y^R_{Km1} + \omega_K x^m_{Km2}, \max\{y^R_{1m2},...,y^R_{Km2}\})$		...	$\tilde{z}_{nn} = (\min\{y^L_{1mn},...,y^L_{Kmn}\}, \omega_1 x^m_{1mn} + + \omega_K x^m_{Kmn}, \max\{y^R_{1mn},...,y^R_{Kmn}\})$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

قدم ۴ (استفاده از یک روش فازی زدایی برای تبدیل اعداد فازی به اعداد غیرفازی)

درایه‌های ماتریس قدم ۳ بر اساس یکی از روش‌های فازی زدایی به اعداد غیر فازی نظیر قابل تبدیل هستند. بطوری که:

	C_1	C_2	$\cdots$	C_n
وزن معیار	w_1	w_2	$\cdots$	w_n
A_1	f_{11}	f_{12}	$\cdots$	f_{1m}
A_2	f_{21}	f_{22}	$\cdots$	f_{2m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
A_m	f_{m1}	f_{m2}	$\cdots$	f_{mn}

بطوری که w_j و f_{ij} به ترتیب مقادیر فازی زدایی شده اعداد فازی $\tilde{w}_j$ و $\tilde{z}_{ij}$ هستند.

قدم ۵ (تعیین مقادیر ایده‌آل و ضد ایده‌آل معیارها)

اگر معیار jام از نوع سود باشد، آنگاه مقادیر ایده‌آل و ضد ایده‌آل آن به صورت زیر است:

$$f_j^+ = \max_i(f_{ij})$$
$$f_j^- = \min_i(f_{ij})$$

اگر معیار jام از نوع زیان باشد، آنگاه مقادیر ایده آل و ضد ایده آل آن به صورت زیر است:

$$f_j^+ = \min_i(f_{ij})$$
$$f_j^- = \max_i(f_{ij})$$

قدم ٦ (محاسبه مقادیر S_i و R_i برای همه گزینه‌ها)

اگر معیار jام از نوع سود باشد، آنگاه مقادیر S_i و R_i مطابق زیر به دست خواهند آمد:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{w_j(f_j^+ - f_{ij})}{f_j^+ - f_j^-}$$
$$R_i = \max_j \left\{ \frac{w_j(f_j^+ - f_{ij})}{f_j^+ - f_j^-} \right\}$$

بطوریکه S_i و R_i به ترتیب اندازه مطلوبیت[1] و اندازه عدم اثر[2] گزینه i ام می باشند.

قدم ۷ (تعیین مقادیر Q_i برای همه گزینه‌ها)

$$Q_i = v\left(\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}\right) + (1-v)\left(\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right)$$

بطوری که $S^* = \min_i\{S_i\}$، $S^- = \max_i\{S_i\}$، $R^* = \min_i\{R_i\}$ و $R^- = \max_i\{R_i\}$ می‌باشد. Q_i نیز شاخص VIKOR بوده و ارزش VIKOR گزینه i ام را بیان می‌کند. v وزنی برای استراتژی ماکزیمم مطلوبیت گروهی[3] است که معمولاً برابر ۰/۵ است (کاکار ۱۹۸۵، اوپریکوویچ ۱۹۹۸).

قدم ۸ (رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس ترتیب نزولی مقادیر به دست آمده برای Si، Ri و Qi).

قدم ۹ (انتخاب بهترین گزینه (هووانگ و همکاران، ۲۰۰۹))

بهترین گزینه (با کمترین Q_i) تحت شرایطی محقق خواهد شد که دو شرط زیر برقرار شوند:

شرط اول (ویژگی پذیرش)

$$Q(A^{[2]}) - Q(A^{[1]}) \geq DQ$$

$$DQ = \frac{1}{m-1}$$

بطوری که:

$A^{[2]}$ از نظر رتبه‌بندی بر اساس معیار Q، گزینه مورد نظر در موقعیت یا جایگاه دوم قرار دارد.

$A^{[1]}$ بهترین گزینه با کمترین مقدار برای Q.

m تعداد گزینه‌ها.

1- Utility measure
2- Regret measure
3- Group utility

شرط دوم (ثبات پذیرش در تصمیم‌گیری)

گزینه $A^{[1]}$ باید همچنین بهترین رتبه را در S یا (و) R *داشته* باشد.

اگر یکی از شروط بالا برقرار نشد، آنگاه یک مجموعه جواب‌های سازشی به صورت زیر پیشنهاد می‌شوند:

۱) اگر تنها شرط دوم برقرار نشد، گزینه $A^{[1]}$ و $A^{[2]}$ یا

۲) اگر شرط اول برقرار نشد، گزینه $A^{[1]}$، $A^{[2]}$،...، $A^{[m]}$.

$A^{[m]}$ گزینه ای در موقعیت m ام است که رابطه $Q(A^{[m]}) - Q(A^{[1]}) < DQ$ در مورد آن صادق باشد.

مثال عددی

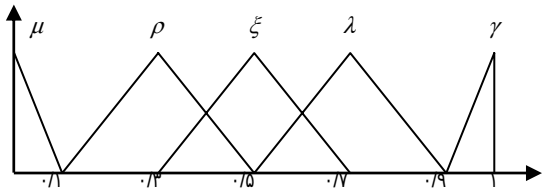
یک مجموعه از گزینه‌های موجود برای انتخاب ابزار ماشین را در نظر بگیرید. چهار گزینه A_1، A_2، A_3 و A_4 وجود دارند که معیارهای انتخاب بهترین گزینه عبارتند از: انعطاف پذیری (C_1)، قابلیت اطمینان (C_2) و تعمیرپذیری (C_3). برای فرایند تصمیم‌گیری و انتخاب، سه فرد تصمیم گیرنده D_1، D_2 و D_3 وجود دارند که اهمیت نظرات هر یک از آنها متفاوت است. روش پیشنهادی برای فرایند انتخاب بهترین ماشین به منظور کاربردی نمودن آن مطابق با گام‌های زیر تشریح می‌گردد:

قدم ۱: نظرات تصمیم گیرندگان پیرامون وزن اهمیت هر معیار به صورت عبارات کلامی است که در جدول ۳ به نمایش در آمده‌اند:

جدول ۳. وزن اهمیت کلامي معیارها با استفاده از سه تصمیم گیرنده

	D_1	D_2	D_3
C_1	ξ	λ	λ
C_2	γ	γ	γ
C_3	γ	γ	λ

شکل ۲ اعداد فازی مثلثی مربوط به هر یک از عبارات کلامی جدول ۳ را نمایش می‌دهد:



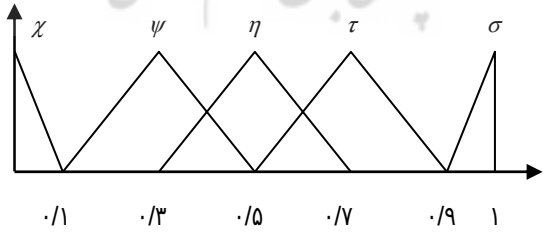
شکل ۲. اعداد فازي مثلثي براي وزن اهميت معيارها

قدم ۲: نظرات تصمیم گیرندگان پیرامون رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس هر معیار به صورت عبارات کلامی است که در جدول ۴ به نمایش در آمده‌اند:

جدول ۴. رتبه بندي کلامي گزينه‌ها توسط تصميم گيرندگان تحت معيارهاي مختلف

		C_1	C_2	C_3
D_1	A_1	η	τ	η
	A_2	σ	τ	σ
	A_3	ψ	η	η
	A_4	τ	τ	τ
D_2	A_1	η	η	τ
	A_2	σ	σ	τ
	A_3	χ	ψ	χ
	A_4	ψ	η	ψ
D_3	A_1	η	η	η
	A_2	τ	τ	σ
	A_3	ψ	ψ	η
	A_4	τ	τ	ψ

شکل ۳ اعداد فازی مربوط به هریک از عبارات کلامی جدول ۴ را نشان می‌دهد:



شکل ۳. اعداد فازي مثلثي براي رتبه‌بندي گزينه‌ها

قدم ۳: اگر وزن اهمیت تصمیم گیرندگان به صورت $\omega_1 = 0/3$، $\omega_2 = 0/4$ و $\omega_3 = 0/3$ باشد، آنگاه می‌توان وزن اهمیت فازی هر معیار و رتبه‌بندی فازی گزینه‌ها را مطابق جدول ۵ نمایش داد:

جدول ۵. مقادیر فازي براي تصمیم‌گیري درباره گزینه‌ها و وزن اهمیت هر معیار

	C_1	C_2	C_3
$\tilde{w}_j$	(۰/۳ ،۰/۶۴ ،۰/۹)	(۰/۹ ،۱ ،۱)	(۰/۵ ،۰/۹۱ ،۱)
A_1	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)	(۰/۳ ،۰/۵۶ ،۰/۹)	(۰/۳ ،۰/۵۸ ،۰/۹)
A_2	(۰/۵ ،۰/۹۱ ،۱)	(۰/۵ ،۰/۸۲ ،۱)	(۰/۵ ،۰/۸۸ ،۱)
A_3	(۰ ،۰/۱۸ ،۰/۵)	(۰/۱ ،۰/۳۶ ،۰/۷)	(۰ ،۰/۳ ،۰/۷)
A_4	(۰/۱ ،۰/۵۴ ،۰/۹)	(۰/۳ ،۰/۶۲ ،۰/۹)	(۰/۱ ،۰/۴۲ ،۰/۹)

قدم ۴: مقادیر فازی زدایی شده اعداد فازی جدول ۵ با استفاده از روش فازی زدایی مقدار میانگین، مطابق با جدول ۶ خواهند بود:

جدول ۶. مقادیر غیر فازي براي تصمیم‌گیري درباره گزینه‌ها و وزن اهمیت هر معیار

	C_1	C_2	C_3
w_j	۰/۶۲	۰/۹۷۵	۰/۸۳
A_1	۰/۵	۰/۵۸	۰/۵۹
A_2	۰/۸۳	۰/۷۸۵	۰/۸۱۵
A_3	۰/۲۱۵	۰/۳۸	۰/۳۲۵
A_4	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۴۶

قدم ۵. مقادیر ایده‌آل و ضد ایده‌آل معیارها با توجه به اعداد فازی زدایی شده جدول ۶ به صورت زیر خواهند بود:

$$\begin{cases} f_1^+ = 0/83,\ f_2^+ = 0/785,\ f_3^+ = 0/815 \\ f_1^- = 0/215,\ f_1^- = 0/38,\ f_1^- = 0/325 \end{cases}$$

قدم‌هاي ۶ و ۷. جدول ۷ مقادیر S_i، R_i و Q_i را براي تمام گزینه‌ها ارائه مي‌کند:

جدول ۷. مقادیر S، R و Q براي تمام گزینه‌ها

	A_1	A_2	A_3	A_4
S_i	۱/۲۰۷	۰	۲/۴۲۵	۱/۳۳۵
R_i	۰/۴۹۴	۰	۰/۹۷۵	۰/۶۰۱
Q_i	۰/۵۰۲	۰	۱	۰/۵۸۳

بطوری که $S^* = 0$، $S^- = 2/425$، $R^* = 0$ و $R^- = 0/975$ است.

قدم ۸. جدول ۸، رتبه‌بندی گزینه‌ها را براساس ترتیب صعودی مقادیر S_i، R_i و Q_i ارائه می‌کند:

جدول ۸ . رتبه‌بندي گزینه‌ها بر اساس S، R و Q به ترتیب صعودي

رتبه‌بندي گزینه‌ها	۱	۲	۳	۴
توسط S	A_2	A_1	A_4	A_3
توسط R	A_2	A_1	A_4	A_3
توسط Q	A_2	A_1	A_4	A_3

قدم ۹: همانطور که ملاحظه می‌شود، چون $Q(A_1) - Q(A_2) \geq \frac{1}{4-1}$ است، پس گزینه A_2 شرط پذیرش به عنوان بهترین گزینه را دارد. از آنجایی که A_2 بهترین رتبه‌بندی را بر اساس S و R دارد، لذا شرط ثبات پذیرش در تصمیم‌گیری را نیز دارد. از اینرو بهترین گزینه برای انتخاب، A_2 می‌باشد.

نتیجه‌گیری

روش VIKOR یکی از روش‌های کاربردی تصمیم‌گیری چند معیاره است که اخیراً معرفی شده است. این روش بر پایه نزدیکی تابع هدف به مقدار ایده‌آل و برگرفته از روش برنامه‌ریزی سازشی است. روش VIKOR ابزاری مفید برای تصمیم‌گیری چند معیاره در شرایطی است که تصمیم گیرنده قادر به بیان اولویت خود در آغاز طراحی سیستم نمی‌باشد. به دلیل آنکه جواب سازشی به دست آمده یک حداکثر مطلوبیت گروهی و یک حداقل اثر فردی مخالف را فراهم می‌آورد، لذا این جواب سازشی می‌تواند مورد پذیرش تصمیم گیرندگان قرار گیرد. باتوجه به

این حقیقت که در برخی موارد، تعیین دقیق مقدار واقعی شاخص‌ها مشکل است و این مقادیر به عنوان داده‌های فازی در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین در این مقاله یک رویکرد فازی از روش VIKOR ارائه گردید که رتبه‌بندی گزینه‌ها و اوزان اهمیت هر معیار به صورت عبارات کلامی بیان گردیدند و اهمیت نظرات تصمیم گیرندگان نیز متفاوت در نظر گرفته شد.

روش پیشنهادی در مورد یک مسأله انتخاب ابزار ماشین با سه معیار انعطاف پذیری، قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری و چهار گزینه پیشنهادی تشریح گردید که نظرات سه تصمیم گیرنده برای انتخاب بهترین گزینه در نظر گرفته شدند. برای تبدیل عبارات کلامی به اعداد غیر فازی از روش فازی زدایی مقدار میانگین استفاده شد که در نهایت بهترین گزینه با در نظر گرفتن محیط فازی انتخاب گردید. روش پیشنهادی قادر است تا برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره تحت شرایط غیرقطعی مورد استفاده قرار گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع و ماخذ

Arslan, M.C., Catay, B., and Budak, E. (2004). A decision support system for machine tool selection. ***Journal of Manufacturing Technology Management***, 15(1), 101–109.

Ayağ, Z., and Özdemir, R.G. (2006). A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives. ***Journal of Intelligent*** *Manufacturing*, 17, 179–190.

Ayağ, Z., and Özdemir, R.G. (2009). An intelligent approach to machine tool selection through fuzzy analytic network process. ***Journal of Intelligent Manufacturing***.

Bellman, R.E., and Zadeh, L.A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. ***Management Science***, 17(4), 141–164.

Chu, T.-C., and Lin, Y.-C. (2003). A fuzzy Topsis method for robot selection. ***International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 21, 284–290.

Chu, M.-T., Shyu, J., Tzeng, G.-H., and Khosla, R. (2007). Comparison among three analytical methods for knowledge communities group-decision analysis. ***Expert Systems with Applications***, 33(4), 1011–1024.

Chu, T.C., and Lin, Y. (2009). An extension to fuzzy MCDM. ***Computers and mathematics with applications***, 57, 445–454.

Çimren, E., Çatay, B., and Budak, E. (2007). Development of a machine tool selection system using AHP. ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 35, 363–376.

Devedzic, G.B., and Pap, E. (1999). Multicriteria-multistages linguistic evaluation and ranking of machine tools. ***Fuzzy Sets and Systems***, 102(3), 451–461.

Dubois, D., and Prade, H. (1980). ***Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications***. Academic Press Inc, New York.

Dura'n,O., and Aguilo, J. (2008). Computer-aided machine-tool selection based on a Fuzzy-AHP approach. ***Expert Systems with Applications***, 34(3), 1787–1794.

Georgakellos, D.A. (2005). Technology selection from alternatives: A scoring model for screening candidates in equipment purchasing. ***International Journal of Innovation and Technology Management***, 2(1), 1–18.

Gerrard, W. (1988a). Selection Procedures Adopted by Industry for Introducing New Machine Tools. Advances in manufacturing technology. III. Proceedings of 4th national conference on production research (pp. 525–531).

Huang, J.-J., Tzeng, G.-H., and Liu, H.-H. (2009). A Revised VIKOR Model for Multiple Criteria Decision Making - The Perspective of Regret Theory. In: Shi, Y. et al (Eds.) ***Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making***. Springer, Berlin Heidelberg (pp. 761-768).

Iç, Y.T., and Yurdakul, M. (2009). Development of a decision support system for machining center selection. ***Expert Systems with Applications***, 36(2), 3505–3513.

Jiang, B.C., and Hsu, C.-H. (2003). Development of a fuzzy decision model for manufacturability evaluation. ***Journal of Intelligent*** *Manufacturing*, 14(2), 169–181.

Kackar, R.N. (1985). Off-line quality control, parameter design and the Taguchi method. ***Journal of Quality Technology***, 17, 176–188.
Kalpakjian, S., and Schmid, S.R. (2001). ***Manufacturing Engineering and Technology***. 4th ed. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, NJ.
Kaufmann, A., and Gupta, M.M. (1988). ***Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science***. North-Holland, Amsterdam.
Kaufmann, A., and Gupta, M. (1991). ***Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications***. Van Nostrand Reinhold, New York.
Leekwijck, W.V., and Kerre, E.E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. ***Fuzzy Sets and Systems***, 108, 159–178.
Lin, Z.-C., and Yang, C.-B. (1996). Evaluation of machine selection by the AHP method. ***Journal of Material Processing Technology***, 57(3–4), 253–258.
Oeltjenbruns, H., Kolarik, W.J., and Schnadt-Kirschner, R. (1995). Strategic planning in manufacturing systems-AHP application to an equipment replacement decision. ***International Journal of Production Economics***, 38(2–3), 189–197.
Önüt, S., Kara, S.S., and Efendigil, T. (2008). A hybrid fuzzy MCDM approach to machine tool selection. ***Journal of Intelligent*** *Manufacturing*, 19, 443–453.
Opricovic, S. (1998). ***Multi-criteria Optimization of Civil Engineering Systems***. Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
Opricovic, S., and Tzeng, G.-H. (2002). Multicriteria planning of post-earthquake sustainable reconstruction. ***Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering***, 17(3), 211–220.
Opricovic, S., and Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. ***European Journal of Operational Research***, 156(2), 445–455.
Opricovic, S., and Tzeng, G.-H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. ***European Journal of Operational Research***, 178(2), 514–529.
Pegero, A., and Rangone, A. (1998). A reference framework for the application of MADM fuzzy techniques to selecting AMTS. ***International Journal of Production Research***, 36(2), 437–458.
Saaty, T.L. (1981). ***The Analytical Hierarchy Process***. Mcgraw Hill, New York.
Sun, S. (2002). Assessing computer numerical control machines using data envelopment analysis. ***International Journal of Production Research***, 40(9), 2011–2039.
Tsao, C.-T. (2009). The revised algorithms of fuzzy variance and an application to portfolio selection. ***Soft Computing***, 14, 329–337.
Vasilash, G.S. (1997). Machine tool selection made simple. ***Automotive Manufacturing and Production***, 109(3), 66–67.
Wang, T.Y., Shaw, C.-F., and Chen, Y.-L. (2000). Machine selection in flexible manufacturing cell: A fuzzy multiple attribute decision making approach. ***International Journal of Production Research***, 38(9), 2079–2097.
Wang, X., and Kerre, E.E. (2001a). Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities (I). ***Fuzzy Sets and Systems***, 118(3), 375–385.
Wang, X., and Kerre, E.E. (2001b). Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities (II). ***Fuzzy Sets and Systems***, 118(3), 387–405.

Yu, P. (1973). A class of solutions for group decision problems. *Management Science*, 19(8), 936–946.
Yurdakul, M. (2004). AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. ***Journal of Materials Processing Technology***, 146(3), 365–376.
Yurdakul, M., and Iç, Y.T. (2009). Analysis of the benefit generated by using fuzzy numbers in a TOPSIS model developed for machine tool selection problems. ***Journal of materials processing technology***, 209, 310–317.
Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. ***Information Control***, 8, 338–353.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی