

مدل تلفیقی اولویت‌بندی فازی و پرومته برای انتخاب تأمین‌کننده

ابراهیم کرمی^۱، رحیم فوکردی^۲

چکیده: ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان از ارکان مهم مدیریت زنجیره تأمین است. تاکنون پژوهشگران با اتکا به نظریه مجموعه‌های فازی، راهکارهایی را برای مواجهه با عدم اطمینان نشئت‌گرفته از شرایط مبهم و سربسته مسئله چندمعیاره انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه داده‌اند. با وجود این، پیچیدگی محاسبات در روش‌های سنتی وزن‌دهی فازی یکی از ایرادهای وارد بر این روش‌ها بوده است. در این مقاله، برای پرهیز از این پیچیدگی‌ها، استفاده از روش اولویت‌بندی فازی پیشنهاد شده است. این روش به فازی‌زدایی اعداد فازی شده و استانداردسازی بردار وزن اهمیت شاخص‌ها نیازی ندارد و می‌تواند بدون اتکا به مقایسه‌های زوجی خبرگان و با استفاده از مدل بهینه‌سازی فازی، بهترین ماتریس وزن‌های اهمیت را ارائه دهد. ترکیب نتایج این روش با روش رتبه‌بندی پرومته، چارچوب اثربخشی را برای حل مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه داده است. به‌کارگیری این چارچوب برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان قطعات یکی از شرکت‌های خودروسازی ایران، مؤید این ادعا است.

واژه‌های کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، اولویت‌بندی فازی، پرومته، زنجیره تأمین، صنعت خودروسازی.

۱. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد ساوه)، ساوه، ایران

۲. استادیار گروه مدیریت دانشکده مدیریت دانشگاه قم، قم، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۹

نویسنده مسئول مقاله: رحیم فوکردی

E-mail: r.foukerdi@qom.ac.ir

مقدمه

امروزه زنجیره‌های تأمین، اهمیت فزاینده‌ای در جهان رقابتی کسب‌وکار پیدا کرده‌اند. شرکت‌ها برای تحقق هدف‌های راهبردی خود به برقراری روابط قوی و یکپارچه با تأمین‌کنندگان نیاز دارند. از این رو، انتخاب تأمین‌کننده، یکی از گام‌های اساسی در مدیریت زنجیره‌های تأمین محسوب می‌شود (سنوار، توزکایا و کهرمان، ۲۰۱۴)؛ به‌طوری که تصمیم‌گیری صحیح در این باره، موجب کاهش هزینه‌های خرید، برقراری رابطه پایدار با تأمین‌کننده‌ها و تقویت راهبرد رقابتی در بازار می‌شود (محمدی مطلق، محمدی مطلق و رضایی‌نور، ۱۳۹۴).

اصولاً در مسئله انتخاب تأمین‌کننده، به‌دنبال تعریف مدل‌ها و روش‌هایی برای تحلیل و سنجش عملکرد تعدادی از آنها هستیم. تاکنون روش‌ها و چارچوب‌های متنوع و متعددی برای حل این مسئله ارائه شده است، اما شاهد به‌کارگیری روش اولویت‌بندی فازی^۱ و ترکیب آن با سایر روش‌های تصمیم‌گیری نبوده‌ایم. مقاله حاضر با ترکیب روش یادشده و روش پرومته^۲، چارچوب جدیدی را برای حل مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده ارائه می‌دهد. روش اولویت‌بندی فازی یکی از روش‌های وزن‌دهی و رتبه‌بندی ریاضی است که با هدف پرهیز از محاسبات پیچیده روش‌های سنتی وزن‌دهی و رتبه‌بندی (مانند فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی) ابداع شده است. این روش، ضمن کمینه‌کردن ناسازگاری‌های موجود در ماتریس قضاوت‌های زوجی، سعی در یافتن بردار وزن اهمیت معیارها دارد. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، این بردار به‌عنوان ورودی روش پرومته به کار می‌رود. پرومته یکی از انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است که به دلیل سادگی بر سایر روش‌های فراررتبه‌بندی^۳ ترجیح داده می‌شود. پرومته با فراهم کردن توابع ترجیحی متعدد، فرصت دستیابی به تعریف واقعی‌تری از معیارهای تصمیم را فراهم می‌آورد. در ادامه، سازماندهی مقاله به این شرح است؛ ابتدا مروری اجمالی بر مسئله انتخاب تأمین‌کننده خواهیم داشت؛ سپس به روش‌های اولویت‌بندی فازی و پرومته اشاره می‌کنیم. در بخش روش پژوهش، چارچوب پیشنهادی برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده معرفی می‌شود و در ادامه، این چارچوب برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده در نمونه واقعی به کار گرفته می‌شود. سرانجام، مقاله با نتیجه‌گیری و طرح فرصت‌هایی برای پژوهش‌های آتی پایان می‌یابد.

1. Fuzzy prioritization method
 2. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)
 3. Outranking

پیشینه پژوهش

به دلیل اهمیت راهبردی انتخاب تأمین‌کننده و تأثیر مهم آن در مدیریت زنجیره تأمین، پژوهش‌های گسترده‌ای در این حوزه اجرا شده است که می‌توان آنها را از دو دیدگاه «معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان» و «روش‌های ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان» بررسی کرد. در ادامه، مروری اجمالی بر این دو دیدگاه خواهیم داشت.

به‌زعم ناظری، مفتاحی و شه‌ارون (۲۰۱۱)، انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین فرایندهای مدیریت کالا و خدمات در زنجیره تأمین است. به‌ویژه، در شرکت‌های تولیدی، مواد اولیه و قطعات تا ۷۰ درصد از هزینه‌های تولید محصول را به خود اختصاص می‌دهند. در این موقعیت، واحد خرید نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش هزینه‌ها دارد (هوشمندی ماهر، امیری و الفت، ۱۳۹۳). اغلب در مسئله انتخاب تأمین‌کننده، تصمیم‌گیرنده ناچار به ارزیابی همزمان تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای چندگانه و گاه متعارض است، بنابراین این مسئله در زمره مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره قرار می‌گیرد (شاه‌بندرزاده، جعفرنژاد و رئیسی، ۱۳۹۰). جدول ۱ متدوال‌ترین معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد.

جدول ۱. معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان

| معیار | ژن (۲۰۱۱) | اولوکان، سبکی و اولوکان (۲۰۰۳) | چونی و هارتلی (۱۹۹۶) | کاروین (۱۹۹۳) | الرام (۱۹۹۰) | آ - شاقسی لیمان و (۱۹۸۲) |
|-------------------------|-----------|--------------------------------|----------------------|---------------|--------------|--------------------------|
| کیفیت | * | | * | * | * | |
| تحویل به‌موقع | * | * | * | * | * | * |
| امتیاز ممیزی فرایند | | | * | | * | |
| امتیاز ممیزی سیستمی | | * | * | | * | |
| امتیاز ممیزی امکان‌سنجی | | | * | * | * | |
| قیمت | * | * | * | * | * | * |
| ثبات مدیریتی | * | | * | * | * | |
| انعطاف‌پذیری | | | | * | * | * |
| موقعیت جغرافیایی | * | * | | | * | |
| اعتماد متقابل | | | * | | * | * |
| شهرت و جایگاه در صنعت | * | * | * | * | * | * |

با مرور روش‌های سنتی ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، به این نکته پی می‌بریم که روش‌های نام برده به‌طور عمده به الزامات شرکت‌ها نگاه جزیره‌ای دارند و کمتر ملاحظات زنجیره تأمین را در نظر گرفته‌اند؛ این در حالی است که مدیریت موفق روابط بین تأمین‌کنندگان و مشتریان در زنجیره تأمین مستلزم همکاری و تشریک مساعی همه عناصر زنجیره است. در نتیجه، شرکت‌ها برای دستیابی و حفظ عملکرد بالای زنجیره، همکاری نزدیک با تعداد اندکی تأمین‌کننده را ترجیح می‌دهند.

طی سال‌های اخیر، شاهد تمرکز پژوهشگران به استفاده از روش‌های ریاضی برای حل مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان بوده‌ایم. آگراوال، شاهی، میشر، بگ و سینگ (۲۰۱۱) پس از مرور ۶۸ مقاله چاپ‌شده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را متداول‌ترین روش‌های ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان معرفی کردند. طبق یافته‌های آنها، توزیع فراوانی روش‌های استفاده‌شده به این صورت بوده است: تحلیل پوششی داده‌ها (۳۰ درصد)؛ مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی (۱۷ درصد)؛ فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (۱۵ درصد)؛ استدلال مبتنی بر مورد^۱ (۱۱ درصد)؛ فرایند تحلیل شبکه‌ای (۵ درصد)؛ نظریه مجموعه‌های فازی (۱۰ درصد)؛ روش ساده رتبه‌بندی چند - مشخصه^۲ (۳ درصد)؛ الگوریتم ژنتیک (۲ درصد)؛ و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند الکترا و پرومته (۷ درصد).

دی بوئر، لایرو و مورلاچی (۲۰۰۱) فرایند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان را به دو مرحله «ارزیابی اولیه» و «انتخاب نهایی» تقسیم کردند. هدف از مرحله ارزیابی اولیه، کاستن از تعداد تأمین‌کنندگان و رسیدن به مجموعه کوچکی از تأمین‌کنندگان قابل قبول است. بررسی آنها نشان داد که تحلیل پوششی داده‌ها، تحلیل خوشه‌ای و سیستم‌های استدلالی مبتنی بر مورد، مشهورترین روش‌های استفاده‌شده در این گام هستند؛ ضمن آن که مدل‌های وزن‌دهی خطی، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌های آماری و مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی اغلب در گام انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان به کار رفته‌اند.

هو، ژو و دی (۲۰۱۰) با مرور ۷۸ مقاله چاپ‌شده در نشریه‌های مرتبط طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸، دریافتند که بین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، تحلیل پوششی داده‌ها متداول‌ترین روشی بوده که به‌تنهایی استفاده شده است؛ ضمن آن که ترکیب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با برنامه‌ریزی آرمانی، یکپارچه‌سازی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با روش تحلیل پوششی داده‌ها، تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه‌های عصبی مصنوعی، برنامه‌ریزی آرمانی، تحلیل روابط

1. Case based reasoning
2. Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART)

خاکستری، برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته غیرخطی، برنامه‌ریزی چند - هدفه و نظریه مجموعه‌های فازی، از متداول‌ترین روش‌های ترکیبی استفاده‌شده پژوهشگران بوده است. در دنیای واقعی، ارزیابی بشر از اهمیت نسبی الزامات و خواسته‌های مشتری، اغلب ذهنی بوده و دقیق نیست. واژگان زبانی برای بیان احساسات یا قضاوت‌ها عموماً مبهم^۱ (و سربسته^۲) هستند؛ حتی به‌رغم طراحی مقیاس‌های ساده و فهم‌پذیر، نگاشت ادراک و (قضاوت‌های ذهنی) افراد با دشواری‌ها و پیچیدگی‌هایی همراه است (بویوکوزکان، ارتای، کهرمان و روان، ۲۰۰۴). به ظاهر تلفیق نظریه مجموعه‌های فازی با روش‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری، متداول‌ترین راهبرد پژوهشگران برای مواجهه با این شرایط بوده است. برای مثال، تلفیق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی / فرایند تحلیل شبکه‌ای با نظریه مجموعه‌های فازی به‌شکل گسترده‌ای توسط پژوهشگران به‌کار رفته است.

به‌عنوان جمع‌بندی از این بخش باید گفت، با وجود قابلیت‌ها و قوت‌های روش پرومته، از این روش در مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کمتر استفاده شده است؛ ضمن آن که تاکنون شاهد به‌کارگیری روش اولویت‌بندی فازی و / یا تلفیق آن با سایر روش‌های تصمیم‌گیری در پیشینه ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان نبوده‌ایم.

روش اولویت‌بندی فازی

اولویت‌بندی فازی یکی از روش‌های وزن‌دهی ریاضی است که نخستین بار وانگ، چو و وو (۲۰۰۷) آن را مطرح کردند. در این روش به‌جای محاسبات فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی از یک مدل خطی بهینه‌سازی فازی برای تعیین وزن‌های نرمال‌شده شاخص‌ها استفاده می‌شود. فرض کنید رابطه ۱ نشان‌دهنده یک ماتریس مقایسه زوجی فازی n بُعدی باشد که در آن اعداد مثلثی فازی a_{ij} به‌صورت (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) بیان می‌شوند $(i, j = 1, 2, \dots, n)$.

$$\tilde{A} = \{a_{ij}\} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{m1} & \tilde{a}_{m2} & \dots & \tilde{a}_{mn} \end{bmatrix} \quad a_{ij} = a_{ji} = (1, 1, 1) \quad \text{if } i = j \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این روش، بردار $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ باید بتواند نامعادله فازی زیر را ارضا کند:

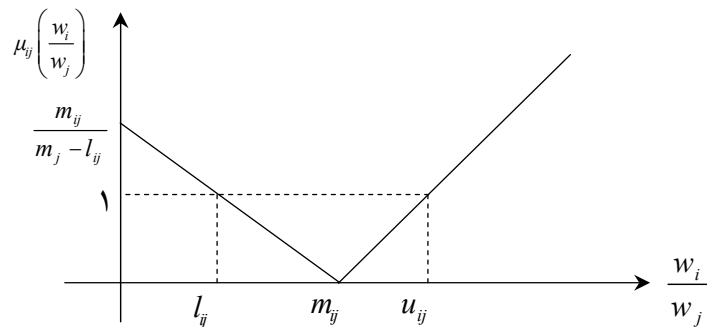
1. Vague
2. Ambiguity

$$l_{ij} \leq \frac{w_i}{w_j} \leq m_{ij} \tag{رابطه ۲}$$

در این رابطه، $w_i, w_j > 0$ و $i \neq j$ و علامت \leq به معنای کوچک تر مساوی فازی است. با توجه به طرفین نامعادله فازی (رابطه ۲)، می توان برای اندازه گیری درجه ارضای نسبت های مختلف w_i/w_j تابع زیر را تعریف کرد:

$$\mu_{ij} \left(\frac{w_i}{w_j} \right) = \begin{cases} \frac{m_{ij} - (w_i/w_j)}{m_{ij} - l_{ij}}, & 0 < \frac{w_i}{w_j} \leq m_{ij} \\ \frac{(w_i/w_j) - m_{ij}}{u_{ij} - m_{ij}}, & \frac{w_i}{w_j} > m_{ij} \end{cases} \tag{رابطه ۳}$$

طبق شکل ۱، $\mu_{ij} (w_i/w_j)$ می تواند بزرگ تر از ۱ باشد و در فاصله $(0, m_{ij}]$ به طور خطی کاهش و در فاصله $[m_{ij}, \pm\infty)$ به طور خطی افزایش یابد. هرچه $\mu_{ij} (w_i/w_j)$ کمتر باشد، نسبت w_i/w_j پذیرفته تر خواهد بود؛ زیرا طبق شکل ۱، با افزایش $\mu_{ij} (w_i/w_j)$ ، از محدوده مجاز نرخ سازگاری معتبر (زیر ۱ و نزدیک به ۱) فاصله می گیریم.



شکل ۱. تابع اندازه گیری درجه ارضای نسبت به w_i/w_j

برای یافتن بردار وزن های $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ، نسبت های w_i/w_j باید بتوانند به ازای $i, j = 1, 2, \dots, n$ و $i \neq j$ تا حد امکان همه $n(n-1)$ مقایسه زوجی فازی (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) را

برآورده سازند. می‌توان مدل برنامه‌ریزی غیرخطی فازی زیر را برای محاسبه ماتریس وزن‌های W تدارک دید.

$$\begin{aligned} \text{رابطه ۴)} \quad \text{Min } J(w_1, w_2, \dots, w_n) &= \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[m_{ij} \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \right] \\ &= \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\delta \left(m_{ij} - \frac{w_i}{w_j} \right) \left(\frac{m_{ij} - (w_i/w_j)}{m_{ij} - l_{ij}} \right)^p \right. \\ &\quad \left. + \delta \left(\frac{w_i}{w_j} - m_{ij} \right) \left(\frac{(w_i/w_j) - m_{ij}}{u_{ij} - m_{ij}} \right)^p \right] \end{aligned}$$

Subject to :

$$\sum_{k=1}^n w_k = 1, w_k > 0, k = 1, 2, \dots, n$$

$$i \neq j, p \in N,$$

$$\delta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$$

شاخص قدرت p ($1 \leq p \leq \pm\infty$) مقدار ثابتی است که درجه تأکید تصمیم‌گیرندگان بر انحراف‌های موجود را مشخص می‌کند، به گونه‌ای که هرچه این شاخص بزرگ‌تر باشد، تأکید بیشتری بر بزرگ‌ترین انحراف است. ارزش p در هر صورت به معیارهای ذهنی تصمیم‌گیرنده بستگی دارد (اصغرپور، ۱۳۹۰، ۱۳-۱۲). تابع $J(w_1, w_2, \dots, w_n)$ در برخی نقاط مشتق‌پذیر نیست؛ از این رو الگوریتم‌های عمومی برای بهینه‌کردن این تابع به توابع محدبی محدود می‌شوند که برای حل رابطه ۴ مناسب نیستند. بنابراین، از الگوریتم ژنتیک که قابلیت خوبی در حل مسائل پیچیده گسسته با توابع هدف مشتق‌ناپذیر دارد، برای حل این مدل استفاده می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷).

از آنجا که محدودیت‌های مسئله بهینه‌سازی رابطه ۴ غیرخطی هستند، الگوریتم ژنتیک استفاده شده برای دستیابی به راه‌حل بهینه با تکنیک جریمه جن و چنگ (۱۹۹۶) ترکیب می‌شود. هدف از این کار، جلوگیری از یافتن جواب‌های غیرموجه توسط الگوریتم ژنتیک است. فرض

کنید x یکی از کروموزوم‌های جمعیت $P(t)$ باشد؛ در این صورت، تابع جریمه ورود به فضای ناموجه به شرح زیر تعریف می‌شود (جن و چنگ، ۱۹۹۶):

$$p(x) = 1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{\Delta b_i(x)}{\Delta b_i^{\max}} \right)^k \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\Delta b_i(x) = \max \{0, g_i(x) - b_i\}$$

$$\Delta b_i^{\max} = \max \{\varepsilon, \Delta b_i(x); x \in P(t)\}$$

در رابطه ۵، $\Delta b_i(x^j)$ مقدار تخطی از محدودیت i توسط j امین کروموزوم، $\Delta b_i(x)$ حداکثر تخطی صورت گرفته از محدودیت i توسط کروموزوم‌های جمعیت و ε مقدار مثبت بسیار کوچکی است که برای اجتناب از صفر شدن مخرج کسر رابطه ۵ در نظر گرفته می‌شود. در مسائل بهینه‌سازی مقید، جواب‌های ناموجه بخش نسبتاً بزرگی از جمعیت هر نسل را به خود اختصاص می‌دهند. این رویکرد جریمه با تعدیل نرخ جرایم در هر نسل، توازن را بین حفظ اطلاعات و فشار جرایم ناشی از ناموجه بودن کروموزوم‌ها برقرار می‌کند.

برای اندازه‌گیری درجه سازگاری ماتریس مقایسه‌های زوجی فازی \tilde{A} ، از شاخص γ استفاده می‌شود. این شاخص با استفاده از مقادیر ماتریس $W^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)^T$ و به کمک رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$\gamma = \exp \left\{ - \max_{ij} \left\{ \mu_{ij} \left(\frac{w_i^*}{w_j^*} \right) \mid i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j \right\} \right\} \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه، $\mu_{ij}(w_i^*/w_j^*)$ تابع رابطه ۳ است. شاخص γ همواره در فاصله $0 < \gamma \leq 1$ قرار می‌گیرد. اگر γ بزرگ‌تر از $0.3679 = e^{-1}$ باشد، همه w_i^*/w_j^* ها در نامساوی زوجی فازی متناظر، سازگاری مناسبی دارد. به ازای $\gamma = 1$ ماتریس مقایسه‌های زوجی فازی کاملاً سازگار است. بنابراین، هر چه شاخص γ به دست آمده از رابطه ۵ بزرگ‌تر باشد، ماتریس مقایسه‌های زوجی متناظر، سازگاری بیشتری خواهد داشت.

روش پرومته

روش پرومته یکی از روش‌های فرار تبه‌بندی است که توسط برانز و همکاران (۱۹۸۴، ۱۹۸۶) و برانز و وینک (۱۹۸۵) به پیشینه پژوهش وارد شده است (نصرالهی، ۱۳۹۴). در مقایسه با سایر

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فهم و کاربرد این روش به مراتب آسان‌تر است. این روش برای مسائلی با چند گزینه محدود و تعدادی معیار گاه متضاد، مناسب است، از این رو در گروه روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه قرار می‌گیرد.

به باور ماکاریس، اسپرینگل، دبروکر و وربکه (۲۰۰۴)، به کارگیری پرومته مستلزم در اختیار داشتن اطلاعاتی درباره اهمیت (وزن) نسبی معیارها و تابع ترجیح تصمیم‌گیرندگان است. در این روش، از توابع ترجیحی مختلفی برای مقایسه سهم گزینه‌ها در هر شاخص استفاده می‌شود. پرومته با ارائه این توابع ترجیحی، فرصت دستیابی به تعریفی واقعی‌تر از معیارهای تصمیم را فراهم می‌آورد. این موضوع، پرومته را به یکی از روش‌های کارا و اثربخش در اخذ تصمیم‌های زنجیره تأمین تبدیل کرده است. گام‌های عمومی الگوریتم پرومته به شرح زیر است (گلدرومن، اسپنگلر و رنتز، ۲۰۰۰):

۱. به ازای هر معیار j ، تابع ترجیح $p_j(d)$ را تعیین کنید.
۲. بردار اهمیت نسبی $w^T = (w_1, \dots, w_k)$ را برای معیارها تعریف کنید. اگر اهمیت معیارها یکسان باشد، درایه‌های این بردار برابر خواهند بود. البته، لزومی به نرمال بودن مقادیر بردار اهمیت نسبی ($\sum_{k=1}^K w_k = 1$) نیست.
۳. به ازای هر زوج - گزینه $a_i, a_{i'} \in A$ ، رابطه فرارته‌بندی π را چنین تعریف کنید:

$$\pi = \begin{cases} A \times A \rightarrow [0, 1] \\ \pi(a_i, a_{i'}) = \sum_{k=1}^K w_k \cdot (p_k(f_k(a_i)) - p_k(f_k(a_{i'}))) \end{cases} \quad \text{رابطه ۷}$$

$\pi(a_i, a_{i'})$ شاخصی است که شدت ارجحیت گزینه a_i بر گزینه $a_{i'}$ را از نگاه تصمیم‌گیرنده، ضمن توجه همزمان به همه معیارهای تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. اصولاً این شاخص برابر با میانگین موزون توابع ترجیح $p_k(d)$ است و می‌توان آن را روی نموداری موسوم به نمودار ارزش فرارته‌بندی^۱ نمایش داد.

۱. به عنوان معیار سنجش قدرت گزینه $a_i \in A$ ، جریان خروجی از این گزینه را به شرح رابطه ۸ تعریف می‌کنیم:

$$\Phi^+(a_i) = \frac{1}{T-1} \cdot \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^n \pi(a_i, a_{i'}) \quad \text{رابطه ۸}$$

جریان خروجی، برابر با مجموع مقادیر پیکان‌هایی است که از یک گره (گزینه) خارج می‌شوند. بنابراین معیاری را برای نمایش برتری این گره بر سایر گره‌ها در اختیار قرار می‌دهد.

۲. به‌عنوان معیار سنجش ضعف گزینه $a_i \in A$ ، جریان ورودی به این گزینه را به شرح رابطه ۹ تعریف می‌کنیم.

$$\Phi^-(a_i) = \frac{1}{T-1} \cdot \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^n \pi(a_{i'}, a_i) \quad (\text{رابطه ۹})$$

جریان ورودی برابر با مجموع مقادیر پیکان‌هایی است که به یک گره وارد می‌شوند. بنابراین معیاری را برای نمایش برتری سایر گره‌ها بر این گره در اختیار قرار می‌دهد.

۳. با توجه به جریان‌های ورودی و خروجی به هر گزینه، آنها را رتبه‌بندی کنید. اصولاً، هر چه جریان‌های خروجی از یک گزینه بیشتر از جریان‌های ورودی به آن گزینه باشد، رتبه آن گزینه بالاتر خواهد بود.

در نسخه پرومته ۱، گزینه a_i زمانی بر گزینه $a_{i'}$ برتری دارد که یکی از شرایط رابطه ۱۰ برقرار باشد (داگدویرن، ۲۰۰۸):

$$\begin{aligned} &\Phi^+(a_i) > \Phi^+(a_{i'}) \text{ و } \Phi^-(a_i) < \Phi^-(a_{i'}) \quad \text{یا} \\ &\Phi^+(a_i) > \Phi^+(a_{i'}) \text{ و } \Phi^-(a_i) = \Phi^-(a_{i'}) \quad \text{یا} \\ &\Phi^+(a_i) = \Phi^+(a_{i'}) \text{ و } \Phi^-(a_i) < \Phi^-(a_{i'}) \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

با توجه به رابطه ۱۰، اگر گزینه‌ای جریان مثبت و جریان منفی بیشتری نسبت به گزینه دیگر داشته باشد، پرومته ۱ قادر به مقایسه این دو گزینه نخواهد بود. از این رو پرومته ۱، یک روش رتبه‌بندی جزئی^۱ تلقی می‌شود. برای رفع این اشکال، در نسخه پرومته ۲، خالص جریان‌های ورودی و خروجی گزینه‌ها (رابطه ۱۱) مبنای رتبه‌بندی آنها قرار می‌گیرد (البدوی، چارسوقی و اصفهانی‌پور، ۲۰۰۷):

$$\Phi(a_i) = \Phi^+(a_i) - \Phi^-(a_i) \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

پرومته ۲ امکان مقایسه همه گزینه‌ها را فراهم می‌کند، از این رو یک روش رتبه‌بندی کامل^۲ محسوب می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

صنعت خودروسازی همواره یکی از پیشگامان پیروی از تفکر زنجیره تأمین بوده است. بیشتر شرکت‌های موفق این صنعت با اتکا به روش‌های مدیریت زنجیره تأمین، هزینه‌های تولید را به میزان چشمگیری کاهش داده و بر توان رقابتی خود افزوده‌اند. امروزه بیشتر خودروسازها تأمین قطعات مورد نیاز خود را به قطعه‌سازان بیرونی واگذار کرده‌اند؛ از این رو ماهیت این صنعت به گونه‌ای است که تأمین‌کنندگان نقش مهمی در موفقیت آن دارند. شرکت سایپا به‌عنوان یکی از خودروسازان بزرگ کشور از این قاعده مستثنا نیست. هم‌اکنون، بخش اعظمی از تلاش‌های این شرکت به ساماندهی و مدیریت تأمین‌کنندگان اختصاص دارد. در این مقاله، به پیشنهاد مدیران و کارشناسان واحد خرید شرکت، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان یکی از قطعات اصلی محصول پراید مد نظر قرار گرفت. برای این منظور، فهرستی پنج‌تایی از تأمین‌کنندگان بالقوه این قطعه در اختیار پژوهشگران قرار گرفت. همه این تأمین‌کنندگان از پیش شرط‌های اولیه واحد خرید (مثل قابلیت‌های فنی، امکانات و تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، ظرفیت قابل قبول و سابقه طولانی در صنعت) برخوردار بودند. با وجود این، به دلیل برخی ملاحظه‌های سازمانی، واحد خرید تنها مایل به ادامه همکاری با یکی از این تأمین‌کنندگان بود.

در این پژوهش، پس از مرور پیشینه، فهرستی از معیارهای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان فراهم می‌شود؛ سپس با نظرخواهی از خبرگان در قالب پرسشنامه، این فهرست تعدیل شده و مجموعه‌ای از معیارهای کلیدی ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان شرکت سایپا شناسایی می‌شود. در ادامه، به کمک پرسشنامه تعیین اهمیت نسبی معیارهای کلیدی و روش اولویت‌بندی فازی، بردار وزن اهمیت این معیارها محاسبه می‌شود. پرسشنامه یادشده براساس مقیاس هفت‌سطحی (۱= ترجیح یکسان تا ۷= ترجیح محض) طراحی شده است. چون به‌طور مستقیم امکان عملیات ریاضی روی مقادیر کلامی این پرسشنامه وجود ندارد (بوزبورا و بسکیس، ۲۰۰۷)، باید این مقیاس فازی‌سازی شود. برای این منظور، از مقیاس تعدیل‌یافته جدول ۲ بهره می‌بریم.

بردار وزن‌های به‌دست‌آمده از روش اولویت‌بندی فازی، به‌عنوان ورودی پرومته در نظر گرفته می‌شود. به کمک مستندات شرکت و با بهره‌مندی از نظر خبرگان، ماتریس تصمیم روش پرومته، بسته به کمی یا کیفی بودن معیارها شکل می‌گیرد. در این خصوص، از خبرگان درخواست شده است به کمک مقیاس لیکرت از ۱ (خیلی کم) تا ۵ (خیلی زیاد)، امتیاز هر تأمین‌کننده را در قبال تک‌تک معیارهای کیفی اعلام کند. برای تجمیع نظر خبرگان، از میانگین حسابی استفاده می‌شود. سرانجام، ماتریس تصمیم به‌دست‌آمده از این فرایند و بردار وزن اهمیت شاخص‌های به‌دست‌آمده از روش اولویت‌بندی فازی، امکان رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان توسط روش پرومته را فراهم می‌کنند.

جدول ۲. مقیاس تبدیل یافته به اعداد فازی مثلثی

| مقیاس کلامی | مقیاس فازی مثلثی | مقیاس معکوس فازی مثلثی |
|---------------------|---------------------------------|---|
| ترجیح یکسان | $(1, 1, 1)$ | $(1, 1, 1)$ |
| ترجیح تقریباً یکسان | $(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$ | $(\frac{2}{3}, 1, 2)$ |
| کمی ارجح | $(1, \frac{3}{2}, 2)$ | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$ |
| به شدت ارجح | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ |
| ارجحیت بسیار شدید | $(2, \frac{5}{2}, 3)$ | $(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2})$ |
| ترجیح محض | $(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$ | $(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5})$ |

بوزبورا و بسکیس (۲۰۰۷)

یافته‌های پژوهش

در پیشینه پژوهش، از میان معیارهای متنوع ارزیابی و انتخاب تأمین کننده، ۱۱ معیار فراوانی بیشتری داشتند، از این رو، معیارهای یادشده در اختیار ۱۵ نفر از کارشناسان و مدیران حوزه‌های مهندسی خرید، واحد برنامه‌ریزی و تأمین و واحد سیستم‌ها که در زمینه ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان دست کم ۱۰ سال سابقه داشتند، قرار گرفت. این افراد، ضمن تأیید این ۱۱ معیار، معیار دوازدهمی را به این فهرست افزودند. جدول ۳ نتایج فرایند شناسایی و تعدیل معیارهای ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان را نشان می‌دهد.

جدول ۳. معیارهای ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان (یافته‌های پژوهش)

| معیار | کُد | محل احصا | معیار | کُد | محل احصا |
|-------------------------|----------------|-------------|-------------------------|-----------------|-------------|
| کیفیت | C _۱ | مرور پیشینه | ثبات مدیریتی | C _۷ | مرور پیشینه |
| تحويل به موقع | C _۲ | مرور پیشینه | انعطاف‌پذیری | C _۸ | مرور پیشینه |
| امتیاز ممیزی فرایند | C _۳ | مرور پیشینه | توجه به رویکردهای بهبود | C _۹ | نظر خبرگان |
| امتیاز ممیزی سیستمی | C _۴ | مرور پیشینه | موقعیت جغرافیایی | C _{۱۰} | مرور پیشینه |
| امتیاز ممیزی امکان‌سنجی | C _۵ | مرور پیشینه | اعتماد متقابل | C _{۱۱} | مرور پیشینه |
| قیمت | C _۶ | مرور پیشینه | شهرت و جایگاه در صنعت | C _{۱۲} | مرور پیشینه |

پس از تعیین فهرست معیارهای ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان، از خبرگان درخواست شد تا به مقایسه زوجی این معیارها بپردازند. پاسخ‌های خبرگان با استفاده از رابطه ۱۲ به اعداد فازی مثلی تبدیل شدند و پس از تلفیق نظر خبرگان به کمک میانگین هندسی فازی، پارامترهای مدل اولویت‌بندی فازی مشخص شد. جدول ۴ برآیند مقایسه‌های زوجی فازی شده را برای ۱۲ معیار پژوهش نشان می‌دهد.

در گام بعد، از مدل غیرخطی فازی (رابطه ۱۲) و مقادیر مندرج در جدول ۳ برای محاسبه بردار وزن اهمیت هر ۱۲ معیار پژوهش استفاده شد.

$$Min J(w_1, \dots, w_r) = \text{رابطه ۱۲}$$

$$\begin{aligned} Min & \delta \left(\frac{.182 - w_1}{w_r} \right) \left(\frac{.182 - (w_1/w_r)}{.182 - .167} \right)^P + \delta \left(\frac{w_1}{w_r} - .182 \right) \left(\frac{(w_1/w_r) - .182}{.190 - .182} \right)^P \\ & + \delta \left(\frac{.174 - w_1}{w_r} \right) \left(\frac{.174 - (w_1/w_r)}{.174 - .157} \right)^P + \delta \left(\frac{w_1}{w_r} - .182 \right) \left(\frac{(w_1/w_r) - .174}{.185 - .174} \right)^P + \dots \\ & + \delta \left(\frac{1.08 - w_{1r}}{w_{1r}} \right) \left(\frac{1.08 - (w_{1r}/w_{1r})}{1.08 - 1.04} \right)^P + \delta \left(\frac{w_{1r}}{w_{1r}} - 1.08 \right) \left(\frac{(w_{1r}/w_{1r}) - 1.08}{1.31 - 1.08} \right)^P \\ & + \delta \left(\frac{.188 - w_{1r}}{w_{1r}} \right) \left(\frac{.188 - (w_{1r}/w_{1r})}{.188 - .170} \right)^P + \delta \left(\frac{w_{1r}}{w_{1r}} - .188 \right) \left(\frac{(w_{1r}/w_{1r}) - .188}{.193 - .188} \right)^P \end{aligned}$$

st:

$$w_1 + w_r + w_r + w_r + w_\delta + w_\epsilon + w_\gamma + w_\lambda + w_i + w_{1r} + w_{1r} = 1$$

$$w_k > 0 \text{ where } i \neq j, P \in N, \text{ و } \delta(x) = \begin{cases} \cdot & x < \cdot \\ 1 & x \geq \cdot \end{cases}$$

به‌طور مشخص مقادیر مختلف p نتایج متفاوتی را برای وزن‌های به‌دست‌آمده از حل مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی فازی (رابطه ۱۲) در پی خواهد داشت. با وجود این، حل این مدل به‌ازای مقادیر مختلف p نشان داد نوسان مقادیر ماتریس w به‌ازای $P \geq 10$ بسیار ناچیز است. از این رو در مدل یادشده، شاخص قدرت برابر ۱۰ در نظر گرفته شد. با حل مسئله بهینه‌سازی از طریق الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب، بردار وزن اهمیت شاخص‌ها به شرح جدول ۵ به‌دست آمد.

جدول ۵. وزن شاخص‌ها با استفاده از روش اولویت‌بندی فازی

| وزن (w_j) | کُد | معیار | وزن (w_j) | کُد | معیار |
|---------------|----------|-------------------------|---------------|-------|-------------------------|
| ۰/۰۶۳ | C_7 | ثبات مدیریتی | ۰/۰۴۰ | C_1 | کیفیت |
| ۰/۱۰۵ | C_8 | انعطاف‌پذیری | ۰/۰۵۹ | C_2 | تحويل به‌موقع |
| ۰/۱۳۳ | C_9 | توجه به رویکردهای بهبود | ۰/۰۶۶ | C_3 | امتیاز ممیزی فرایند |
| ۰/۱۱۴ | C_{10} | موقعیت جغرافیایی | ۰/۱۴۳ | C_4 | امتیاز ممیزی سیستمی |
| ۰/۰۸۲ | C_{11} | اعتماد متقابل | ۰/۱۱۷ | C_5 | امتیاز ممیزی امکان‌سنجی |
| ۰/۰۳۰ | C_{12} | شهرت و جایگاه در صنعت | ۰/۰۴۹ | C_6 | قیمت |

$$\gamma = ۰/۹۷۹$$

برای محاسبه امتیاز تأمین‌کنندگان برای معیارهای کیفی، از خبرگان درخواست شد امتیاز هر تأمین‌کننده را با استفاده از مقیاس لیکرت از ۱ (خیلی کم) تا ۵ (خیلی زیاد) مشخص کنند. جدول ۶ برآیند نظر خبرگان را نشان می‌دهد.

جدول ۶. امتیاز تأمین‌کنندگان در قبال معیارهای کیفی (برآیند نظر خبرگان)

| تأمین‌کننده | انعطاف‌پذیری | اعتماد | ثبات مدیریت | توجه به بهبود | شهرت | موقعیت جغرافیایی |
|-------------|--------------|--------|-------------|---------------|------|------------------|
| A_1 | ۳/۱۱ | ۴/۱۷ | ۳/۵۰ | ۳/۱۱ | ۳/۱۱ | ۲/۳۹ |
| A_2 | ۳/۵۰ | ۴/۱۷ | ۳/۵۰ | ۳/۱۱ | ۳/۵۰ | ۳/۵۰ |
| A_3 | ۳/۷۸ | ۳/۵۰ | ۳/۸۹ | ۳/۵۰ | ۲/۷۸ | ۳/۵۰ |
| A_4 | ۱/۷۲ | ۲/۷۸ | ۲/۳۹ | ۲/۳۹ | ۲/۷۸ | ۲/۳۹ |
| A_5 | ۳/۲۲ | ۳/۶۱ | ۲/۲۸ | ۲/۸۹ | ۳/۴۴ | ۲/۸۳ |

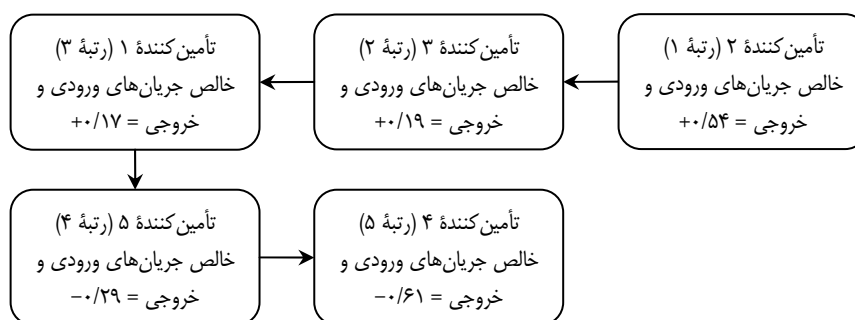
به‌علاوه، برای دستیابی به امتیاز تأمین‌کنندگان برای معیارهای کمی، از بانک اطلاعاتی شرکت استفاده شد. جدول ۷ نتایج را نشان می‌دهد.

با ورود ضرایب مدل در نرم‌افزار ویژوال پرومته و استفاده از بردار وزن‌های به‌دست‌آمده از روش رتبه‌بندی فازی، در این مرحله به کمک نسخه دوم روش رتبه‌بندی پرومته، تأمین‌کنندگان رتبه‌بندی می‌شوند. با توجه به ماهیت معیارهای قیمت و تحويل به‌موقع، از تابع ترجیح کمینه‌سازی و برای سایر معیارها از تابع ترجیح بیشینه‌سازی در محاسبات استفاده شده است.

نتایج اجرای پرومته ۲ در نمودار شکل ۲ به نمایش گذاشته شده است. این نمودار براساس خالص جریان‌های ورودی به / خروجی از هر گزینه ترسیم شده است.

جدول ۷. امتیاز تأمین‌کنندگان در قبال معیارهای کمی (منبع: مستندات شرکت)

| تأمین‌کننده | تحويل به موقع | کیفیت | فرایند | سیستم | قیمت | امکان‌سنجی |
|----------------|---------------|-------|--------|-------|---------|------------|
| A _۱ | ۰/۸۵ | ۸۸ | ۸۳ | ۸۰ | ۴۸۰,۲۲۴ | ۸۶ |
| A _۲ | ۰/۸۸ | ۸۵ | ۸۵ | ۸۱ | ۴۶۸,۸۲۸ | ۸۷ |
| A _۳ | ۰/۷۹ | ۸۲ | ۸۰ | ۷۸ | ۴۴۰,۰۰۰ | ۷۹ |
| A _۴ | ۰/۷۵ | ۷۶ | ۷۹ | ۷۵ | ۴۶۰,۰۰۰ | ۷۷ |
| A _۵ | ۰/۸۱ | ۸۲ | ۷۸ | ۸۰ | ۴۵۶,۳۰۰ | ۸۱ |



شکل ۲. نتایج رتبه‌بندی کامل توسط پرومته ۲

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

طبق اطلاعات مندرج در جدول ۵، «امتیاز ممیزی سیستمی» مهم‌ترین معیار (با امتیاز ۰/۱۴۳) و «شهرت و جایگاه تأمین‌کننده در صنعت» (با امتیاز ۰/۰۳۰) کم‌اهمیت‌ترین معیار ارزیابی و

انتخاب تأمین‌کنندگان شناخته شد. همچنین در ارزیابی تأمین‌کنندگان، معیار «توجه به رویکردهای بهبود» در رتبه دوم اهمیت قرار گرفت. به ظاهر علاقه خبرگان به گنجاندن این معیار میان سایر معیارهای احصاشده از پیشینه پژوهش با این موضوع بی‌ارتباط نیست. سرانجام، اهمیت اندک معیارهای تحویل به‌موقع (با امتیاز ۰/۰۵۹)، قیمت (با امتیاز ۰/۰۴۹)، کیفیت (با امتیاز ۰/۰۴۰) و شهرت و جایگاه در صنعت (با امتیاز ۰/۰۳۰)، در این مسئله همگن بودن پنج تأمین‌کننده را در این چهار معیار نشان می‌دهد. نزدیکی مقدار شاخص $\gamma = ۰/۹۷۹$ به عدد ۱ مؤید سازگاری زیاد نتایج مدل اولویت‌بندی فازی است.

طبق اطلاعات مندرج در شکل ۲، خالص جریان‌های ورودی به / خروجی از تأمین‌کننده ۲ بیش از سایر تأمین‌کنندگان است؛ از این رو، این تأمین‌کننده به‌عنوان نخستین انتخاب برای ادامه همکاری با واحد خرید شرکت سایپا معرفی شد. البته، اولویت‌بندی پنج تأمین‌کننده بررسی شده به‌صورت $A_1 \gg A_2 \gg A_3 \gg A_4 \gg A_5$ است.

روش اولویت‌بندی فازی به فازی‌زدایی اعداد فازی شده و استانداردسازی بردار وزن اهمیت شاخص‌ها نیازی ندارد. این ویژگی یکی از مزیت‌های روش یادشده نسبت به روش‌های سنتی وزن‌دهی فازی است. به‌علاوه، روش اولویت‌بندی فازی حتی در صورت عدم ارائه مقایسه‌های زوجی توسط تصمیم‌گیرنده، باز هم قادر به محاسبه بردار وزن معیارهاست. با وجود این، در حالی که وانگ و همکارانش (۲۰۰۷) به پشتوانه روابط ریاضی مقادیر $\gamma \geq ۰/۳۶۷۹$ را برای سازگار دانستن ماتریس مقایسه‌های زوجی فازی ارائه‌شده توسط خبرگان پیشنهاد می‌دهند، این رویکرد پشتوانه عملی لازم را ندارد. یکی از راه‌های اعتبارسنجی عملی این حد آستانه، حل مسائل مختلف تصمیم‌گیری به دو روش اولویت‌بندی فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و مقایسه استنباط‌های مبتنی بر میزان سازگاری در این دو روش است.

در کنار روش اولویت‌بندی فازی، روش پرومته با ارائه توابع ترجیحی متنوع، فرصت دستیابی به تعریف واقعی‌تر از معیارهای تصمیم را فراهم کرده است. این ویژگی‌ها باعث می‌شود تا ترکیب این دو روش از قابلیت زیادی برای حل مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده برخوردار باشد. البته، استفاده از منابع مختلف داده‌ای و بهره‌گیری همزمان از معیارهای کمی و کیفی، می‌تواند به تقویت چارچوب پیشنهادی کمک کند. سرانجام، استفاده از چارچوب پیشنهادی این مقاله برای حل سایر مسائل چندمعیاره سازمانی و زنجیره تأمین پیشنهاد می‌شود.

References

- Agarwal, P., Sahai, M., Mishra, V., Bag, M. & Singh, V. (2011). A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2(4), 801-810.
- Albadvi, A., Chaharsooghi, S. K. & Esfahanipour, A. (2007). Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE. *European Journal of Operational Research*, 177(2), 673-683.
- Asgharpour, M. J. (2011). *Multi criteria decision making*. Tehran: University of Tehran press (UTP). (in Persian)
- Barns, J.P., Mareschal, B. & Vincke P. (1984). PROMETHEE: A new family of outranking methods in MCDM. In: Brans J.P. (ed.) *Operational Research IFORS 84*. North-Holland, Amsterdam, 477-490.
- Bozburu, F. T. & Beskese, A. (2007). Prioritization of organizational capital measurement indicators using fuzzy AHP. *International Journal of Approximate Reasoning*, 44(2), 124-147.
- Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228-238.
- Brans, J.P. & Vincke, P. (1985). A preference ranking organization method. *Management Science*, 31(6), 647-656.
- Büyüközkan, G., Ertay, T., Kahraman, C. & Ruan, D. (2004), Determining the importance weights for the design requirements in the house of quality using the fuzzy analytic network approach. *International Journal of Intelligent Systems*, 19(5), 443-461.
- Chen, Y.-J. (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181(9), 1651-1670.
- Choi, T. Y., & Hartley, J. L. (1996). An exploration of supplier selection practices across the supply chain. *Journal of Operations Management*, 14(4), 333-343.
- Dağdeviren, M. (2008). Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(4), 397-406.
- de Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2), 75-89.
- Elram, M. L. (1990). The supplier selection decision in strategic partnerships. *Journal of Purchasing and Material Management*, 26(4): 8-14.

- Garvin, A.D. (1993). Building a learning organization, *Harvard Business Review*, 71(4), 78-81.
- Geldermann, J., Spengler, T., & Rentz, O. (2000). Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1), 45-65.
- Gen, M. & Cheng, R. (1996). A survey of penalty techniques in genetic algorithms. Evolutionary Computation, *Proceedings of IEEE International Conference*, Nagoya, Japan, May, 804-809.
- Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16-24.
- Hooshmandi Maher, M., Amiri, M., & Olfat, L. (2014), A mathematical model for supplier selection and order allocation in a supply chain considering uncertainty in design variables- for print. *Quarterly Journal of Industrial Management*, 6(1), 151-180. (in Persian)
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 16(6), 382-394.
- Lehmann, D.R., O'Shaughnessy (1982). Decision criteria used in buying different categories of products. *Journal of Purchasing and Materials*, 18(1): 9-14.
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., & Verbeke, A. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 307-317.
- Mohammadi Motlaq, H., Mohammadi Motlaq, A., & Rezaeinoor, J. (2015), Design an expert system for evaluation and selection supplier. *Quarterly Journal of Industrial Management*. (in Persian)
- Nasrollahi, M. (2015), Evaluating and ranking construction projects contractors using F-PROMETHEE (Case study: Mehr Housing Project of Hashtgerd New Town). *Quarterly Journal of Industrial Management*, 7(1), 175-188. (in Persian)
- Nazeri, A., Meftahi, H., Shahraroun, A.M. (2011). Supplier evaluation and selection in SCM using Fuzzy AHP. *International Proceedings of Economics Development & Research*, 19, 143-147.
- Senvar, O., Tuzkaya, G., & Kahraman, C. (2014). Multi Criteria Supplier Selection Using Fuzzy PROMETHEE Method. In C. Kahraman & B. Öztayşi (Eds.), *Supply Chain Management under Fuzziness* (Vol. 313, pp. 21-34): Springer Berlin Heidelberg.

- Shahbandarzadeh, H., Jafarnezhad, A., & Raeisi, R. (2011), Using a Modified Extension of Mixed Fuzzy and Crisp Axiomatic Design Method in Vendor Selection for Supply Chain. *Quarterly Journal of Industrial Management*, 7(3), 37-54. (in Persian)
- Wang, L., Chu, J., & Wu, J. (2007). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 151-163.