

ارائه‌ی یک مدل جدید چند هدفه‌ی فازی برای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین

ابوالفضل کاظمی* (دانشیار)

مسعود دلدار (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

مهندسی صنایع و مدیریت شریف
دوری ۱-۲۸۰، شماره ۲، ص. ۶۵-۵۵

امروزه، تأمین منابع شرکت از بیرون، تبدیل به یک رویکرد تجاری مهم شده است؛ چرا که این امر می‌تواند مزیتی رقابتی را در تولید مؤثرتر و کارآتر محصول یا خدمات شرکت به همراه داشته باشد. مروری بر ادبیات انتخاب تأمین‌کننده نشان می‌دهد که اگرچه موضوع انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله‌ی چندمنظوره است، ماهیت چندمنظوره‌ی آن تا حدود زیادی ناشناخته باقی مانده است. همچنین ماهیت مبهم و غیردقیق عوامل تصمیم‌گیری عملاً قابل چشم‌پوشی نیست. در دنیای واقعی، تأمین‌کنندگان معمولاً یک تأخیر در پرداخت را برای خریداران و به منظور جلب توجه آن‌ها در نظر می‌گیرند. اما در ادبیات انتخاب تأمین‌کننده به این موضوع چندان توجهی نداشته است. در این مقاله، برای نخستین بار در ادبیات موضوع، از تابع هدفی که ارزش فعلی خالص پول را برای خریدار در نظر می‌گیرد استفاده شده است.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین، انتخاب تأمین‌کننده، برنامه‌ریزی چندمنظوره، فازی، تأخیر در پرداخت.

۱. مقدمه

یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین اجزاء مدیریت زنجیره‌ی تأمین، انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب در راستای اهداف شرکت یا سازمان است. با توسعه‌ی روش‌های علمی تأمین طی دهه‌ی گذشته، فرایند انتخاب تأمین‌کنندگان نیز با تحولاتی روبه‌رو بوده است. توسعه‌ی سیستم‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان، انتخاب براساس معیارهای علمی، کاهش تعداد تأمین‌کنندگان و توسعه‌ی روابط با تأمین‌کنندگان از جمله‌ی این تحولاتند.^[۱] انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب، هزینه‌های خرید مواد اولیه و نیز زمان انتظار تا رسیدن محموله‌ی سفارش داده‌شده^۱ را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و نیز، موجب ارتقاء سطح رقابت‌پذیری مؤسسه می‌شود. به عقیده‌ی بسیاری از متخصصان، انتخاب تأمین‌کننده مهم‌ترین فعالیت بخش خرید است.^[۲] مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که تحت تأثیر عوامل متعددی است که اغلب در تقابل با یکدیگرند.^[۳] در نظر گرفتن توابع هدفی مانند کمینه‌کردن هزینه‌ها، بیشینه‌کردن کیفیت، و کمینه‌کردن زمان تحویل به صورت هم‌زمان، ماهیت مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده را به یک مسئله‌ی چندمنظوره تبدیل کرده است.^[۴] به علاوه، تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده پیچیده است، چرا که باید توابع هدف مختلفی را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفت. از طرف دیگر در دنیای واقعی، در بیشتر موارد این توابع هدف با یکدیگر در تعارض خواهند بود. بنابراین در فرایند انتخاب تأمین‌کننده، تبدلات میان معیارها باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند؛ در چنین شرایطی

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۷/۴، اصلاحیه ۱۳۹۰/۱۰/۹، پذیرش ۱۳۹۱/۲/۹.

برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در ارزیابی یک مجموعه از گزینه‌ها^۲، می‌توان از تکنیک‌های «تصمیم‌گیری معیار چندمنظوره (MCDM)^۳» بهره گرفت. ضمناً در بیشتر فعالیت‌های تجاری از قبیل انتخاب تأمین‌کننده، اهمیت یا وزن اهداف و محدودیت‌ها برای تصمیم‌گیرندگان یکسان نیست و با توجه به موقعیت‌ها و وضعیت‌های خرید، وزن‌دهی معیارها ضرورت می‌یابد.^[۵] به علاوه، در دنیای واقعی برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده، بیشتر اطلاعات ورودی قطعی نیستند و در چنین مواردی، نظریه‌ی مجموعه‌های فازی یکی از بهترین ابزارها برای مواجهه با عدم قطعیت است؛ ابزاری که در بیشتر مطالعات اخیر در حوزه‌ی انتخاب تأمین‌کننده نیز به‌خوبی مورد استفاده قرار گرفته است.

در ادبیات تحقیق، کیفیت محصول و مواد اولیه برای هر خریدار -- در مقایسه با سایر عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری -- همواره یکی از کلیدی‌ترین معیارها برای انتخاب تأمین‌کننده محسوب شده است. بنابراین ضمن رعایت لزوم بیشینه‌سازی سطح کیفیت، در نظر گرفتن سطحی قابل قبول برای آن در مدل‌سازی مسئله ضروری به نظر می‌رسد که در نظر گرفتن آن در قالب محدودیت‌ها، رضای این امر را به صورت مؤکد در پی خواهد داشت. لحاظ کردن محدودیت کیفیت قابل قبول، آن هم به‌طور فازی و غیردقیق، از جمله موارد جدیدی است که می‌توان به آن پرداخت. در نظر گرفتن چنین محدودیتی به صورت فازی، علاوه بر تطابق بیشتر مدل بر واقعیت، با وسیع‌تر کردن فضای موجه امکان بی‌جواب ماندن مسئله را کاهش می‌دهد.

در دنیای واقعی، فروشندگان معمولاً برای تشویق خریداران به افزایش اندازه‌ی

سفارش، یک دوره تأخیر را در دریافت هزینه کالای فروش رفته برای خریدار در نظر می‌گیرند. در طول این دوره تأخیر، خریدار می‌تواند از این عدم پرداخت پول و دریافت تقاضای خود سود ببرد؛ در حالی که فروشندگان بهره‌ی درآمدشان را در طول این مدت از دست می‌دهند.^[۶] بنابراین، از دید خریداری که اقدام به انتخاب تأمین‌کنندگان می‌کند، کمینه‌کردن ارزش فعلی پولی که قرار است پرداخت کند، به‌عنوان تابع هدف در مدل‌سازی مسئله‌ی چندمنظوره‌ی «انتخاب تأمین‌کننده» ضروری به نظر می‌رسد؛ و این از دیگر موارد جدیدی است که می‌توان به بررسی آن پرداخت.

این تحقیق تلاش می‌کند با در نظر گرفتن تأخیر در پرداخت پول برای خریدار و فرموله‌کردن آن در قالب تابع NPV -- که همان ارزش زمانی پول برای خریدار است، و چون از جنس هزینه است باید کمینه شود -- و نیز افزودن محدودیت فازی کیفیت قابل قبول برای هر تأمین‌کننده، مدل‌های موجود در این زمینه را توسعه دهد و با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی چندمنظوره به حل مدل حاصل بپردازد.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره‌ی تأمین مسئله‌ی جدیدی نیست و ادبیات و تاریخچه‌ی آن غنی است. مطالعات بسیاری در این زمینه انجام گرفته که معیارها و روش‌های ابداعی و تلفیقی بسیاری را برای حل مسئله‌ی حائز اهمیت «انتخاب تأمین‌کننده» شامل می‌شود. تحقیقات تجربی و آکادمیک زیادی نیز در این حوزه انتشار یافته است. اولین مقالات در این حوزه در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ -- زمانی که کاربردهای برنامه‌ریزی خطی و محاسبات علمی در آغاز راه خود قرار داشت -- منتشر شد.^[۷] از آن هنگام تاکنون در مطالعات متعددی، مبحث انتخاب تأمین‌کننده مورد بررسی قرار گرفته است. دیکسون برای اولین بار اهمیت ۲۳ معیار را براساس مطالعه‌ی مدیران خرید برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده، شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و به این نتیجه رسید که سه عامل کیفیت استاندارد، تحویل به موقع کالا و سابقه‌ی اجرایی^۴، عوامل ضروری و بسیار مهمی هستند که در امر انتخاب تأمین‌کننده مطرح است.^[۸] و بر تحقیق خود را با مطالعه‌ی ۷۴ مقاله‌ی مرتبط با انتخاب تأمین‌کننده، که اولین آن‌ها در سال ۱۹۶۶ انجام شده بود، آغاز کرد. توجه اصلی و ویژه‌ی او به معیارها و روش‌های تحلیلی به‌کار رفته در فرایند انتخاب تأمین‌کننده متمرکز داشت. وی کارش را با مطالعه‌ی تحقیق دیکسون (۱۹۶۶) و به‌منظور فراهم‌آوردن دیدگاه وسیعی از معیارهایی که هم از نظر محققین و هم از نظر متخصصین اجرایی در امر انتخاب تأمین‌کننده مهم بود، آغاز کرد. او بر این باور بود که تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده -- به دلیل ضرورت توجه به معیارهای مختلف در فرایند تصمیم‌گیری -- پیچیده است، و تجزیه و تحلیل این معیارها برای انتخاب و اندازه‌گیری عملکرد تأمین‌کنندگان از سال ۱۹۶۰ به بعد مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. اصلی‌ترین هدف و برآز انجام تحقیقش، مروری بر مطالعات انجام‌شده پس از مطالعات دیکسون در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کننده بود تا بدین‌وسیله مهم‌ترین معیارها و شاخص‌های مهم از نظر محققین و متخصصین اجرایی را مشخص کند. وی همچنین به این نتیجه رسید که به‌دلیل ماهیت چندمنظوره‌ی مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده، کاربرد شیوه‌های برنامه‌ریزی چندمنظوره می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات مفید و سودمند آتی باشد.^[۹] از مطالعه‌ی او بر به بعد نیز تحقیقات زیادی در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کننده انجام گرفت. عده‌ی از محققین، تحقیقات و مطالعاتی

را تحت عنوان مروری بر مطالعات صورت‌گرفته در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کننده انجام داده‌اند. محققین در سال ۱۹۹۸ در مطالعه‌ی، علاوه بر مروری بر مدل‌های مورد استفاده در انتخاب تأمین‌کننده، کاربرد مفهوم «هزینه‌ی کل مالکیت»^۵ را به‌عنوان مبنای مقایسه‌ی مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد دادند.^[۱۰] همچنین در سال ۲۰۰۰ در مطالعه‌ی، محققین با مروری بر مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کننده، چارچوبی را ارائه دادند که در آن مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده از تعریف مسئله و فرموله‌کردن معیارها و کیفیت تأمین‌کنندگان بالقوه تا انتخاب نهایی تأمین‌کننده را شامل می‌شد. آن‌ها در مطالعه‌شان، روش‌های به‌کار رفته در ادبیات انتخاب تأمین‌کننده را به دو دسته‌ی کیفی^۶ و کمی^۷ تقسیم کردند.^[۱۱] در سال ۲۰۰۷ نیز مروری جامع بر مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده و اندازه‌ی انباشته‌ی سفارش^۸ انجام شد.^[۱۲] مطالعه‌ی آن‌ها که تحقیقات مربوطه را از سال ۱۹۵۰ تا سال ۲۰۰۶ پوشش می‌داد، مطالعات پیشین را با ارائه‌ی مطالبی که در بزرگ‌ترین کل فرایند خرید بود و محیط‌های تهیه‌ی مواد^۹ مبتنی بر اینترنت را پوشش می‌داد، تکمیل می‌کرد. آن‌ها برای رفع نیازهاشان، عمده‌ی تمرکز خود را بر انتخاب نهایی تأمین‌کننده قرار دادند که متشکل از تعیین بهترین ترکیب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش بین آن‌ها بود. همچنین تحقیقاتی که در آن‌ها از مدل‌های محاسباتی^{۱۰} و تحقیق در عملیات^{۱۱} استفاده شده بود، بسیار مورد توجه قرار گرفتند.^[۱۳] در سال ۲۰۰۹ نیز رویکردهای^{۱۲} تصمیم‌گیری چندمعیاری (MCDM) مورد استفاده در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ مورد بررسی قرار گرفت.^[۱۴] در آن مطالعه، رویکردهای مورد استفاده در انتخاب تأمین‌کننده به دو دسته‌ی رویکردهای غیرترکیبی^{۱۳} و رویکردهای ترکیبی^{۱۴} تقسیم شد. نتیجه‌ی آن تحقیق ارزشمند نشان داد که رویکردهای MCDM بهتر از رویکردهای مبتنی بر هزینه^{۱۵} است.^[۱۵] در چارچوب مفاهیم برنامه‌ریزی چندمنظوره نیز محققین بسیاری مطالعات ارزشمندی را به انجام رسانده‌اند. در سال ۲۰۰۶ مدلی چندمنظوره برای تعیین بهترین تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آن‌ها پایه‌ریزی شد.^[۱۶] در سال ۲۰۰۷ مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده به‌عنوان مسئله‌ی چندمنظوره در نظر گرفته شد که دارای سه تابع هدف بود. آن‌ها سه روش حل برای مسئله ارائه و آن‌ها را با هم مقایسه کردند.^[۱۷]

در سال ۱۹۷۰ یک مدل برنامه‌ریزی فازی برای تصمیم‌گیری در محیط‌های فازی پیشنهاد شد^[۱۸] و در مطالعه‌ی دیگر، در سال ۱۹۷۸، با استفاده از همین مدل مسائل برنامه‌ریزی خطی چندمنظوره حل شد. در این مدل اهمیت اهداف فازی و محدودیت‌های فازی یکسان در نظر گرفته شد و به‌همین دلیل این مدل را مقارن می‌نامند. در بیشتر فعالیت‌های تجاری از قبیل انتخاب تأمین‌کننده، اهمیت یا وزن‌های اهداف و محدودیت‌ها برای تصمیم‌گیرندگان یکسان نیستند. بنابراین، چنین به نظر می‌رسد که مدل‌های مقارن برای مسائل تصمیم‌گیری چندمنظوره در دنیای واقعی چندان مناسب نیستند زیرا اهداف ممکن است از اهمیت یکسانی برخوردار نباشند.^[۱۹] در سال ۲۰۰۶ محققین برای اولین بار یک مدل سه‌هدفی خطی فازی برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده بسط دادند که در آن برای اهداف و محدودیت‌ها وزن‌های متفاوتی منظور شد و ابهام و عدم قطعیت موجود در داده‌های ورودی مدل آن‌ها لحاظ شده بود. در این مدل سه تابع هدف هزینه، کیفیت و سطح خدمات در نظر گرفته شده بود و هدف، تعیین میزان بهترین سفارش به هرکدام از تأمین‌کنندگان بود. یک روش حل نیز برای حل این مدل پیشنهاد داده شد.^[۲۰] در مطالعه‌ی دیگر در سال ۲۰۰۹، یک مدل چندمنظوره خطی عدد صحیح مختلط برای حل مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده فرموله شد. این کار، هم از نظر توابع هدف و محدودیت‌ها و هم از نظر روش حل، مشابه تحقیق قبلی در سال ۲۰۰۹ بود. تنها تفاوت این مدل با مدل

قطعی در نظر گرفتند، اما درخصوص تابع هدف و محدودیت‌های مسئله فازی چنین بحث می‌شود: تصمیم فازی همچون تصمیم‌گیری در شرایط غیرفازی است که در آن انتخاب یک یا چند گزینه بیشتر از سایرین تابع هدف را بهینه می‌کند. در نتیجه، با توجه به این تعریف در تصمیم‌گیری غیرفازی، در تصمیم‌گیری فازی اشتراک («و» منطقی) بین محدودیت‌ها و تابع هدف برای انتخاب بهینه‌ی تابع هدف مطرح می‌شود. «تصمیم» در شرایط فازی از اشتراک بین تابع هدف فازی و محدودیت‌های فازی مسئله به دست می‌آید. [۱۹، ۱۷]

۵. **تصمیم‌گیری چندمنظوره‌ی فازی:** در این تصمیم‌گیری تعداد n هدف فازی وجود دارد که می‌بایست در مواجهه با m محدودیت فازی به‌طور همزمان بهینه شود. در سال ۱۹۷۰ پژوهش‌گران تعریفی که از MODM^{۱۹} فازی ارائه کرده‌اند چنین است:

فرض کنید n هدف فازی به‌صورت $\tilde{G}_1, \tilde{G}_2, \dots, \tilde{G}_n$ و m محدودیت فازی به‌صورت $\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \dots, \tilde{C}_m$ در فضای X داده شده است. آنگاه مجموعه‌ی فازی تصمیم، از اشتراک اهداف فازی و محدودیت‌های فازی به دست می‌آید. یعنی:

$$\tilde{D} = (\tilde{G}_1, \tilde{G}_2, \dots, \tilde{G}_n) \cap (\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \dots, \tilde{C}_m) \quad (4)$$

$$\mu_{\tilde{D}} = \min \{ \mu_{\tilde{G}_i}, \mu_{\tilde{C}_j} \}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

نوع دیگری از تصمیم‌گیری چندمنظوره‌ی فازی نیز وجود دارد که در آن توابع هدف به‌صورت کلاسیک تعریف می‌شوند، ولی بهینه‌سازی آن‌ها به‌طور فازی انجام می‌شود. ساختار کلی این مدل چنین است:

$$\max_x f_1(x)$$

$$\max_x f_2(x)$$

:

$$\max_x f_n(x)$$

s.t.

$$x \in S$$

$f_i(x)$ هدف i ام مسئله است و S فضای جواب مسئله است. در این مدل بیشینه‌کردن حدودی اهداف مد نظر است. برای حل مسئله‌ی فوق ابتدا می‌بایست تابع عضویت اهداف در راستای بیشینه‌شدن به دست آید. در این حالت، تابع عضویت برای بیشینه‌کردن فازی به معنی درجه‌ی ارضاشدن آن هدف از بیشینه‌شدن است. برای به دست آوردن تابع عضویت اهداف، ابتدا مقدار بیشینه یا همان مقدار بهینه‌ی هر هدف -- که جدا از سایر اهداف در مواجهه با محدودیت‌ها حل می‌شود -- به دست می‌آید. مقدار بیشینه‌ی هدف i ام را M_i می‌نامیم که به‌صورت رابطه‌ی ۶ به دست می‌آید:

$$M_i = \max f_i(x)$$

s.t.

$$x \in S$$

(۶)

قبلی، در نظر گرفتن تخفیف در مدل بود. [۱۵] در مقالات بررسی شده، موردی یافت نشد که در آن تشویق خریداران به افزایش حجم سفارش خود از طریق تأخیر در دریافت پول از جانب تأمین‌کنندگان، به‌عنوان یک تابع هدف برای خریدار لحاظ شده باشد. این در حالی است که از دیدگاه خریداری که اقدام به انتخاب تأمین‌کنندگان می‌کند، کمینه‌کردن ارزش فعلی پول^{۱۶} که قرار است بپردازد، به‌عنوان تابع هدف به‌همراه سایر توابع هدف در مسئله‌ی چندمنظوره‌ی انتخاب تأمین‌کننده، ضروری به نظر می‌رسد.

در بخش‌های بعدی، مرور مختصری خواهیم داشت بر مفاهیم مورد استفاده در این نوشتار و پس از طرح عنوان این مفاهیم، مدل پیشنهادی تحقیق به‌همراه یک مثال عددی تشریح می‌شود.

۳. تعاریف مورد نیاز

در این قسمت مروری خواهیم داشت بر مفاهیم اساسی مورد نیاز در این پژوهش. در این تحقیق از مفهوم مجموعه‌های فازی و اعداد فازی مثلثی و دوزنقه‌ی استفاده می‌شود.

۱. **عدد فازی مثلثی^{۱۷}:** عدد فازی مثلثی A ، یا به‌طور خلاصه عدد مثلثی A بر روی مجموعه‌ی اعداد حقیقی با تابع عضویت طبق رابطه‌ی ۱ تعریف می‌شود.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_M-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_M \\ \frac{x-a_M}{a_M-a_2}, & a_M \leq x \leq a_2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

۲. **عدد فازی دوزنقه‌ی^{۱۸}:** عدد فازی دوزنقه‌ی یا به‌طور خلاصه عدد دوزنقه‌ی بر روی مجموعه‌ی اعداد با تابع عضویت طبق رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود. گویم عدد فازی دوزنقه‌ی $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ مثبت است هرگاه $a_1 > 0$ باشد.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{b_1-a_1}, & a_1 \leq x \leq b_1 \\ 1, & b_1 \leq x \leq b_2 \\ \frac{x-a_4}{b_2-a_4}, & b_2 \leq x \leq a_4 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

۳. **ضرب دو عدد فازی دوزنقه‌ی:** به‌طورعام، حاصل ضرب دو عدد فازی دوزنقه‌ی لزوماً یک عدد فازی دوزنقه‌ی نیست. با توجه به روش‌های متعددی که برای ضرب دو عدد فازی دوزنقه‌ی در ادبیات موضوع پیشنهاد شده، در تحقیق حاضر این مفهوم چنین مورد استفاده قرار می‌گیرد که اگر فرض کنیم \tilde{A} و \tilde{B} دو عدد فازی دوزنقه‌ی مثبت باشند، آنگاه عدد فازی \tilde{C} که به‌صورت رابطه‌ی ۳ تعریف می‌شود، با تقریب خوبی حاصل ضرب آن‌ها را در قالب یک عدد فازی دوزنقه‌ی ارائه می‌کند که در آن $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_2, b_2)$. [۱۸-۱۶]

$$\tilde{C} = \tilde{A} \times \tilde{B} \cong (a_1 b_1, a_2 b_2, a_2 b_2, a_2 b_2) \quad (3)$$

۴. **تصمیم فازی:** در سال ۱۹۷۰، محققین با در نظر گرفتن یک مدل کلاسیک تصمیم‌گیری، یک مدل تصمیم‌گیری در شرایط فازی را مطرح ساختند که دانشمندان دیگری آن را توسعه دادند. آن‌ها تصمیم‌گیری را تحت شرایط

۴. مدل پیشنهادی تحقیق

۴.۱. مدل انتخاب تأمین‌کننده‌ی چندمنظوره

یک مدل چندمنظوره‌ی کلی برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده را می‌توان چنین بیان کرد:

$$\begin{aligned} \min & Z_1, Z_2, \dots, Z_k \\ \max & Z_{k+1}, Z_{k+2}, \dots, Z_p \\ s.t. & \\ & x \in X_d, \\ & X_d = \{x | g(x) \leq b_r, r = 1, 2, \dots, m\} \end{aligned} \quad (13)$$

که در آن Z_1, Z_2, \dots, Z_k اهداف یا معیارهای منفی‌اند -- نظیر هزینه و تأخیر در زمان تحویل و... -- و $Z_{k+1}, Z_{k+2}, \dots, Z_p$ توابع یا معیارهای مثبت‌اند -- از قبیل کیفیت، زمان تحویل به‌موقع، خدمات پس از فروش و غیره. X_d مجموعه‌ی جواب‌های ممکن^{۲۲} است که در محدودیت‌های مدل از قبیل تقاضا و ظرفیت تأمین‌کننده و غیره صدق می‌کند. یک مدل خطی معمول برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده به‌صورت رابطه‌ی ۱۴ است:^[۳]

$$\begin{aligned} \min & Z_1 = \sum_{i=1}^n P_i x_i \\ \max & Z_2 = \sum_{i=1}^n F_i x_i \\ \max & Z_3 = \sum_{i=1}^n S_i x_i \\ s.t. & \\ & \sum_{i=1}^n x_i \geq D \\ & x_i \leq C_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ & x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (14)$$

که در آن D مقدار تقاضا در طی دوره، x_i اعداد واحدهای خریداری‌شده از تأمین‌کننده‌ی i ام، P_i هزینه‌ی خرید هر واحد از تأمین‌کننده‌ی i ام، C_i ظرفیت تأمین‌کننده‌ی i ام، F_i درصد سطح کیفیت تأمین‌کننده‌ی i ام، S_i درصد سطح خدمات تأمین‌کننده‌ی i ام، و n تعداد تأمین‌کنندگان است. توابع هدف فوق به‌ترتیب برای کمینه‌کردن هزینه‌ی پولی کل و بیشینه‌کردن کیفیت و سطح خدمات موارد خریداری‌شده فرموله شده‌اند. محدودیت $\sum_{i=1}^n x_i \geq D$ برای تضمین برآمدن از عهده‌ی تقاضاست و مجموعه محدودیت‌های $x_i \leq C_i$ بدین معناست که مقدار سفارش هر تأمین‌کننده باید کوچک‌تر یا مساوی با ظرفیت آن باشد و محدودیت‌های $x_i \geq 0$ مانع از تقاضاهای منفی در مدل می‌شود.

در دنیای واقعی، تصمیم‌گیرندگان اطلاعات کامل و دقیقی راجع به معیارهای تصمیم‌گیری و محدودیت‌ها ندارند. برای مسائل انتخاب تأمین‌کننده، داده‌های جمع‌آوری‌شده قطعی نیستند و این داده‌ها عموماً به‌طور ذاتی فازی‌اند. در ادامه، یک مدل چندمنظوره‌ی فازی برای مواجهه با مسئله توسعه داده می‌شود.

۴.۲. مدل انتخاب تأمین‌کننده‌ی فازی

یک مدل جامع چندمنظوره‌ی خطی را می‌توان چنین نشان داد:
بردار x را که به شکل ترانواده به‌صورت $x^T = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ نشان داده شده

سیس مقدار حداقل تابع هدف i ام، به‌عنوان بدترین مقدار که با m_i نشان داده می‌شود به‌صورت رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} m_i &= \min f_i(x) \\ s.t. & \\ & x \in S \end{aligned} \quad (7)$$

در نتیجه برای تابع هدف i ام، همیشه رابطه‌ی ۸ برقرار است:

$$m_i \leq f_i(x) \leq M_i \quad (8)$$

با محاسبه‌ی M_i و m_i برای اهداف مسئله، می‌توان طبق رابطه‌ی ۹ تابع عضویت بیشینه‌شدن هر هدف را به دست آورد:

$$\mu_i(f_i(x_i)) = \frac{f_i(x) - m_i}{M_i - m_i} \quad (9)$$

در نهایت، جواب بهینه‌ی مسئله طبق رابطه‌ی ۱۰ به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \max & \min_i \{f_i(x)\} \\ s.t. & \\ & x \in S \end{aligned} \quad (10)$$

که پس از اعمال تغییرات لازم، مسئله‌ی فوق تبدیل به یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی می‌شود که به‌راحتی قابل حل است.^[۱۷]

۶. بهره^{۲۰}: بهره، پاداش پرداختی بر پول، برحسب پول در تاریخ معین است. نرخ بهره در واقع هزینه‌ی است که باید برای دریافت اعتبار پرداخته شود. به‌عبارتی، بهره هزینه‌ی استفاده از سرمایه است. هرچه میزان نرخ بهره بیشتر باشد، هزینه‌ی بیشتری برای استفاده از سرمایه پرداخت خواهد شد.

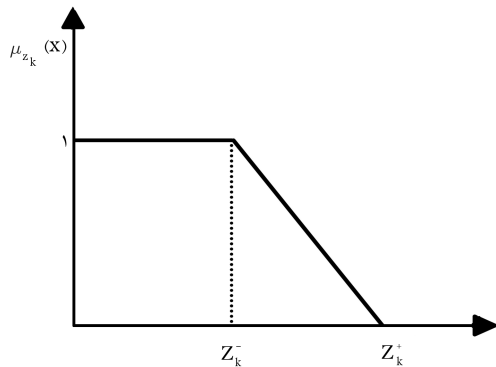
۷. ارزش زمانی پول^{۲۱} و ارزش فعلی خالص: به مبلغ اولیه‌ی پولی که در بانکی پس‌انداز می‌شود یا به‌عنوان سرمایه‌گذاری در جایی منظور می‌شود، پس از مدتی مبلغی افزوده خواهد شد. این مبلغ اضافی که بر اثر وجود نرخ بهره (یا نرخ بازگشت سرمایه) ایجاد می‌شود، توصیف‌گر مفهوم ارزش زمانی پول است.

واحدهای پولی از نظر زمانی با یکدیگر متفاوت‌اند. آن دسته از واحدهای پولی که زودتر به دست می‌آیند با ارزش‌تر از آن دسته واحدهای پولی هستند که دیرتر تحصیل می‌شوند. محاسبه‌ی ارزش فعلی یک فرایند مالی، تبدیل ارزش آینده‌ی کلیه‌ی دریافت‌ها و پرداخت‌ها به ارزش فعلی در زمان حال است.^[۲۰] چنانچه میزان پولی که اکنون داریم برابر با A واحد پولی و نرخ بهره در یک دوره‌ی مالی برابر با i درصد باشد، با توجه به روابط زیر ملاحظه می‌شود که ارزش این مقدار پول پس از n دوره‌ی مالی برابر خواهد بود با:

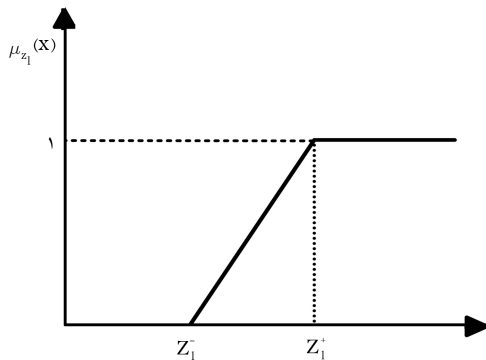
$$A(1+i)^n \quad (11)$$

اکنون اگر بخواهیم بعد از n دوره‌ی مالی و با نرخ بهره‌ی i درصد، مقدار پول‌مان برابر با B باشد، آنگاه ارزش فعلی پول برابر خواهد بود با:

$$NPV = B(1+i)^{-n} \quad (12)$$



الف) کمیته کردن تابع هدف Z_k (اهداف منفی)؛



ب) بیشینه کردن تابع هدف Z_l (اهداف مثبت).

شکل ۱. تابع هدف به عنوان یک عدد فازی.

چنین تعریف می‌شوند:

$$\mu_{Z_k}(x) = \begin{cases} 1 & Z_k \leq Z_k^- \\ \frac{Z_k^+ - Z_k(x)}{Z_k^+ - Z_k^-}, & Z_k^- \leq Z_k(x) \leq Z_k^+ \\ 0 & Z_k \geq Z_k^+ \end{cases}$$

$k = 1, 2, \dots, p$

$$\mu_{Z_l}(x) = \begin{cases} 1 & Z_l \geq Z_l^+ \\ \frac{Z_l(x) - Z_l^-}{Z_l^+ - Z_l^-}, & Z_l^- \leq Z_l(x) \leq Z_l^+ \\ 0 & Z_l \leq Z_l^- \end{cases}$$

$l = p + 1, \dots, q$ (۱۸)

تابع عضویت خطی برای محدودیت‌های فازی نیز عبارت است از:

$$\mu_{g_r}(x) = \begin{cases} 1 & g_r(x) \leq b_r \\ \frac{1 - g_r(x) - b_r}{d_r}, & b_r \leq g_r(x) \leq b_r + d_r \\ 0 & g_r(x) \geq b_r + d_r \end{cases}$$

$r = 1, 2, \dots, h$ (۱۹)

با توجه به شکل ۲، d_r ها مقادیر ثابتی می‌باشند که بیانگر تجاوز مجاز از حدود محدودیت نامساوی m ام هستند.

با توجه به توضیحات یادشده، مدل توسعه داده شده در این تحقیق به صورت

و توابع هدف Z_k را کمیته و توابع هدف Z_l را بیشینه می‌کند چنان بیاید که در آن:

$$Z_k = \sum_{i=1}^n c_{ki} x_i, \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$Z_l = \sum_{i=1}^n c_{li} x_i, \quad l = p + 1, p + 2, \dots, q$$

$$x \in X_d,$$

$$X_d = \{x | g(x) = \sum_{i=1}^n a_{ri} x_i \leq b_r, \quad r = 1, 2, \dots, m, x \geq 0\}$$

(۱۵)

سطر آخر مربوط به محدودیت‌های مسئله، و c_{ki} و c_{li} و a_{ri} و b_r مقادیر قطعی z یا فازی‌اند. [۳]

در سال ۱۹۷۸ مسائل ۱۵ با استفاده از برنامه‌ریزی فازی خطی حل شد. [۱۹] بدین منظور، برنامه‌ی خطی فازی با تفکیک هر تابع هدف Z_j به مقادیر بیشینه (Z_j^+) و کمیته‌اش (Z_j^-) ، و با حل مسئله‌ی ۱۶ فرمول‌بندی شد:

$$Z_k^+ = \max Z_k, x \in X_a$$

$$Z_k^- = \min Z_k, x \in X_d$$

$$Z_l^+ = \max Z_l, x \in X_d$$

$$Z_l^- = \min Z_l, x \in X_a$$

(۱۶)

Z_j^+ و Z_j^- از طریق حل مسئله‌ی چندمنظوره به دست می‌آیند؛ به این ترتیب که مسئله هر بار با در نظر گرفتن فقط یکی از توابع هدف و همان محدودیت‌های مسئله حل شود. $x \in X_d$ به این معناست که جواب‌ها باید در محدودیت‌ها صدق کنند، در حالی که $x \in X_a$ مجموعه‌ی تمام جواب‌های بهینه است که از طریق حل توابع هدف به صورت انفرادی به دست آمده است. با توجه به این نکته که برای هر تابع هدف Z_j ، مقدار آن به‌طور خطی بین Z_j^- و Z_j^+ تغییر می‌کند، می‌توان آن را به عنوان یک عدد فازی با تابع عضویت خطی $\mu_{Z_j}(x)$ (شکل ۱) در نظر گرفت. [۳]

چنان که عنوان شد، مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی ۱۷ با اهداف فازی و نیز با محدودیت‌های فازی را می‌توان به شکل روابط ۱۷ نشان داد. بردار x را به‌گونه‌ی پیدا کنید که:

$$\tilde{Z}_k = \sum_{i=1}^n c_{ki} x_i \leq Z_k^0, \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$\tilde{Z}_l = \sum_{i=1}^n c_{li} x_i \leq Z_l^0, \quad l = p + 1, p + 2, \dots, q$$

s. t.

$$\tilde{g}_i(x) = \sum_{i=1}^n a_{ri} x_i \leq b_r, \quad r = 1, 2, \dots, h$$

$$g_p(x) = \sum_{i=1}^n a_{pi} x_i \leq b_p, \quad p = h + 1, h + 2, \dots, m$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(۱۷)

در این مدل، علامت \sim نشان‌گر محیط‌های فازی است. نماد $\leq \sim$ در مجموعه محدودیت‌ها به معنای «ضرورتاً کوچک‌تر یا مساوی با»، و نماد $\geq \sim$ نیز به معنای «ضرورتاً بزرگ‌تر یا مساوی با» است. Z_l^0 و Z_k^0 سطوحی هستند که تصمیم‌گیرنده قصد رسیدن به آن‌ها را دارد. با فرض این که توابع عضویت مبتنی بر ارجحیت یا رضایت خطی‌اند، عضویت خطی برای اهداف کمیته (Z_k) و اهداف بیشینه (Z_l)

۳.۴. عملگرهای تصمیم‌گیری

در مدل‌سازی برنامه‌ریزی فازی، با استفاده از روش زیرمان یک جواب فازی، با اشتراک بین تمام مجموعه‌های فازی -- اعم از اهداف فازی یا محدودیت‌های فازی -- به دست خواهد آمد. در این راه حل، رابطه‌ی بین توابع هدف و محدودیت‌ها در یک محیط فازی کاملاً متقارن است. به عبارت دیگر، توابع هدف و محدودیت‌ها هیچ‌گونه اولویتی نسبت به یکدیگر ندارند و همگی وزن یکسانی دارند.^[۱۹] بنابراین، بسته به مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده، موقعیت‌ها و وضعیت‌هایی را باید در نظر گرفت که در آن‌ها اهداف فازی و محدودیت‌های فازی از اهمیت یکسانی برای تصمیم‌گیرنده برخوردار نیستند. برای حل این مشکل می‌توان از مدل جمع‌پذیروزنی^{۲۴} بهره جست. این مدل به صورت روابط ۲۳ پیشنهاد شده است:

$$\mu_D(x) = \sum_{j=1}^q w_j \mu_{Z_j}(x) + \sum_{r=1}^h \beta_r \mu_{g_r}(x) \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^q w_j + \sum_{r=1}^h \beta_r = 1, \quad w_j, \beta_r \geq 0$$

که در آن w_j و β_r ضرایب وزنی هستند، و اهمیت نسبی مابین اهداف فازی و محدودیت‌های فازی را بیان می‌دارند. به منظور حل مدل فوق، یک مدل برنامه‌ریزی خطی قطعی می‌سازیم که از نظر مفهومی معادل با این مدل است. در ادبیات موضوع، دو گونه از این مدل‌ها که معادل با این مدل فازی‌اند، معرفی شده است. مدل اول به صورت رابطه‌ی ۲۴ معرفی شد،^[۲] و مدل دوم نیز در قالب رابطه‌ی ۲۵ مورد بررسی قرار می‌گیرد.^[۲۱] مثال عددی این تحقیق با استفاده از مدل ۲۴ تبدیل به مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی شده و حل می‌شود. در نهایت، جواب‌های به دست آمده با استفاده از مفهوم α -برش مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت.

$$\max \sum_{j=1}^q w_j \lambda_j + \sum_{r=1}^h \beta_r \gamma_r \quad (24)$$

s.t.

$$\lambda_j \leq \mu_{Z_j}(x), \quad j = 1, 2, \dots, q$$

$$\gamma_r \leq \mu_{g_r}(x), \quad r = 1, 2, \dots, h$$

$$g_p(x) \leq b_p, \quad p = h + 1, \dots, m$$

$$\lambda \in [0, 1], \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad r = 1, 2, \dots, h$$

$$\sum_{j=1}^q w_j + \sum_{r=1}^h \beta_r = 1$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \lambda \in [0, 1]$$

$$\max \lambda \quad (25)$$

s.t.

$$w_j \lambda \leq \mu_{Z_j}(x), \quad j = 1, 2, \dots, q$$

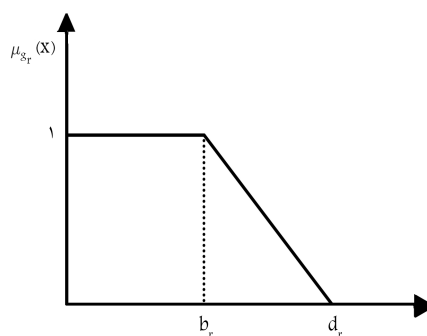
$$\beta_r \lambda \leq \mu_{g_r}(x), \quad r = 1, 2, \dots, h$$

$$g_p(x) \leq b_p, \quad p = h + 1, \dots, m$$

$$\lambda \in [0, 1], \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad r = 1, 2, \dots, h$$

$$\sum_{j=1}^q w_j + \sum_{r=1}^h \beta_r = 1$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \lambda \in [0, 1]$$



شکل ۲. تابع عضویت خطی برای محدودیت‌های فازی.

رابطه‌ی ۲۰ خواهد بود:

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^n P_i x_i (1+i)^{-d_i}$$

$$\max Z_2 = \sum_{i=1}^n F_i x_i$$

$$\max Z_3 = \sum_{i=1}^n S_i x_i$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^n x_i \geq D$$

$$\sum_{i=1}^n (1 - F_i) x_i \leq QD$$

$$x_i \leq C_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

اگر فرض کنیم هزینه خرید هر واحد از تأمین‌کننده‌ی i ام باشد، و اگر بنا باشد P_i تمام هزینه به صورت نقد پرداخت شود، تابع هدف هزینه‌ی که خریدار می‌خواهد آن را کمینه کند به صورت رابطه‌ی ۲۱ خواهد بود:

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^n P_i x_i \quad (21)$$

که در آن x_i تعداد واحدهای خریداری شده از تأمین‌کننده‌ی i ام است. اما با توجه به این که در این مدل تأمین‌کنندگان تأخیری در امر پرداخت برای خریدار در نظر گرفته‌اند، رابطه‌ی ۲۱ دارای ظاهری متفاوت خواهد بود. برای در نظر گرفتن تأخیر در پرداخت، از مفهوم NPV استفاده می‌کنیم. اگر فرض کنیم که نرخ بهره‌ی بازار i و بیشترین دوره‌ی که تأمین‌کننده‌ی i ام برای خریدار در نظر می‌گیرد برابر d_i باشد، در این صورت با استفاده از دو رابطه‌ی ۱۲ و ۲۱، تابع هدف مربوط به هزینه برای خریدار عبارت خواهد بود از:

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^n P_i x_i (1+i)^{-d_i} \quad (22)$$

که در آن P_i قیمتی است که تأمین‌کننده با توجه به تأخیری که برای خریدار در نظر گرفته، برای یک واحد کالا ارائه می‌کند. در مدل فوق، F_i درصد سطح کیفیت تأمین‌کننده‌ی i ام و x_i تعداد واحدهای خریداری شده از تأمین‌کننده‌ی i ام، S_i درصد سطح خدمات تأمین‌کننده‌ی i ام، D میزان تقاضا (که به صورت فازی بیان می‌شود)، و Q بیشترین نرخ خرابی قابل قبول برای خریدار برحسب درصد است که آن نیز به صورت فازی بیان می‌شود. C_i نیز ظرفیت تأمین‌کننده‌ی i ام است.

جدول ۲. جدول مربوط به اطلاعات تأمین کنندگان.

تأمین کننده	هزینه	کیفیت (%)	خدمات (%)	ظرفیت
تأمین کننده ۱	۸,۹۵۴	۸۵	۷۵	۵۰۰
تأمین کننده ۲	۷,۷۷۸	۸۰	۹۰	۶۰۰
تأمین کننده ۳	۱۰,۲۱۷	۹۵	۸۵	۵۵۰

جدول ۳. مجموعه داده‌ها برای توابع عضویت.

$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$	
۹۶۴۸,۶۵	۸۲۴۸,۴	-	Z_1 (هزینه)
-	۹۰۵	۸۲۰	Z_2 (سطح کیفیت)
-	۸۸۰	۸۰۵	Z_3 (سطح خدمات)
۱۱۰۰	۱۰۰۰	۹۵۰	تقاضا
۱۷۵	۱۵۰	-	محدودیت مربوط به کیفیت

مقدار تأخیری که در پرداخت برای خریدار در نظر گرفته‌اند عنوان شده است. مقادیر فازی زدایی شده‌ی هزینه، کیفیت و سطح خدمات و محدودیت‌های تأمین کنندگان در جدول ۲ ارائه شده است. تقاضا یک عدد فازی است و پیش‌بینی می‌شود که مطابق جدول ۳ حدود ۱۰۰۰ مورد باشد. همچنین، بیشترین نرخ خرابی قابل قبول برای خریدار حدوداً برابر با ۱۵٪ است. با استفاده از رابطه ۵، عدد فازی مربوط به سمت راست محدودیت کیفیت قابل قبول به صورت شکل ۳ خواهد بود. فرمول‌بندی خطی چندمنظوره برای این مثال عددی به صورت زیر خواهد بود:

$$\min Z_1 = 8,954x_1 + 7,778x_2 + 10,217x_3$$

$$\max Z_2 = 0,85x_1 + 0,8x_2 + 0,95x_3$$

$$\max Z_3 = 0,75x_1 + 0,9x_2 + 0,85x_3$$

s.t.

$$x_1 + x_2 + x_3 \cong 1000$$

$$0,15x_1 + 0,2x_2 + 0,05x_3 \leq 150$$

$$x_1 \leq 500$$

$$x_2 \leq 600$$

$$x_3 \leq 550$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, 3$$

سه تابع هدف فوق، یعنی Z_1 ، Z_2 و Z_3 ، به ترتیب نماینده‌ی هزینه، کیفیت و خدمات هستند. x_i نیز تعداد واحدهای خریداری شده از تأمین‌کننده‌ی i ام است. برای فازی کردن توابع هدف و محدودیت تقاضا برای مسئله‌ی فوق مطابق گام‌های ۲ تا ۵، از تابع عضویت خطی استفاده می‌کنیم. مجموعه‌ی داده‌ها برای مقادیر حدود پایین و بالا برای توابع هدف و یک عدد فازی برای تقاضا در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین توابع عضویت برای ۳ تابع هدف و محدودیت‌های تقاضا و کیفیت به صورت شکل‌های ۳ تا ۷ است (گام ۵):

۴.۴. الگوریتم حل مدل

گام ۱: مدل انتخاب تأمین‌کننده را طبق معیارها و محدودیت‌های خریدار و تأمین‌کننده می‌سازیم.

گام ۲: مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی چندمنظوره را با در نظر گرفتن فقط یک تابع هدف حل می‌کنیم. این کار را برای تمام توابع هدف انجام می‌دهیم. بدین ترتیب، بهترین مقادیر برای توابع هدف به دست می‌آید.

گام ۳: از نتایج حاصل از گام ۲ مقادیر متناظر با هر هدف را تعیین می‌کنیم.

گام ۴: از گام ۳ برای هر تابع هدف، مطابق با مجموعه جواب‌ها برای هر هدف، یک حد پایینی و یک حد بالایی پیدا می‌کنیم. برای تابع هدف Z_j از روابط ۱۶، Z_j^+ و Z_j^- به ترتیب نشان‌دهنده‌ی حد پایینی و حد بالایی است.

گام ۵: برای توابع هدف و محدودیت‌های فازی مطابق رابطه‌ی ۱۸ و ۱۹، توابع عضویت را به دست می‌آوریم.

گام ۶: از گام ۵ و ارجحیت‌های تصمیم‌گیرنده، براساس تصمیم‌گیری جمع‌پذیر وزنی فازی و مطابق روابط ۲۴ مدل قطعی معادل با مسئله‌ی بهینه‌سازی فازی را فرمول‌بندی می‌کنیم.

گام ۷: بردار بهینه‌ی x^* را -- جواب کارای z^* مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی چندمنظوره با ارجحیت‌های تصمیم‌گیرنده است (همان مسئله‌ی اولیه) -- به دست می‌آوریم.^[۳]

در بخش بعدی، با استفاده از یک مثال عددی، مدل تحقیق و الگوریتم حل آن توضیح داده خواهند شد.

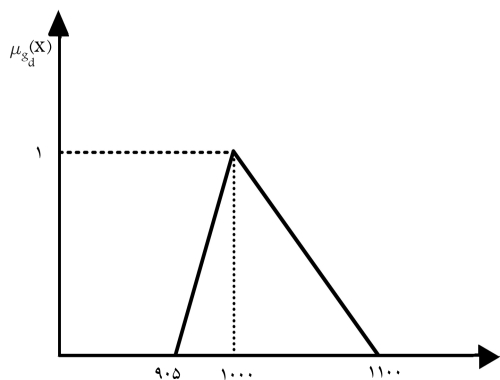
۵. مثال عددی

در این قسمت، با ذکر مثالی، مدل توسعه داده‌شده در این تحقیق به همراه روش حل آن تشریح خواهد شد. مثال مورد استفاده در این قسمت همان مثال عددی عنوان شده در مقاله‌ی عمید و همکاران^[۳] است که در آن تغییرات لازم اعمال می‌شود.

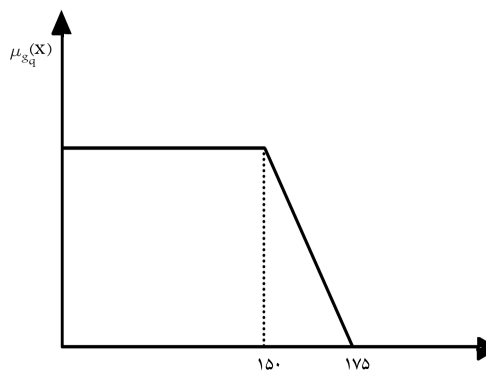
در تهیه‌ی یک محصول جدید برای بازار، فرض کنید سه تأمین‌کننده را باید مد نظر قرار داد. معیارهای خرید عبارت‌اند از: هزینه، کیفیت و سطح خدمات. محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان و کیفیت محصول نیز در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌کنیم که داده‌های ورودی از عملکرد تأمین‌کنندگان در مورد این معیارها صریح و دقیق نباشند. در جدول ۱، قیمت یک واحد کالا از هر یک از تأمین‌کنندگان و نیز

جدول ۱. هزینه‌ی یک واحد کالا برای هر یک از تأمین‌کنندگان با احتساب تأخیر در پرداخت پول.

تأمین‌کننده	هزینه	میزان تأخیر در پرداخت بر حسب دوره مالی	نرخ بهره‌ی بازار (%)	قیمت یک واحد کالا با احتساب تأخیر در پرداخت
تأمین‌کننده ۱	۹,۵	۲	۳	۸,۹۵۴
تأمین‌کننده ۲	۸,۵	۳	۳	۷,۷۷۸
تأمین‌کننده ۳	۱۱,۵	۴	۳	۱۰,۲۱۷



شکل ۷. عدد فازی مربوط به محدودیت تقاضا.



شکل ۳. عدد فازی مربوط به محدودیت کیفیت قابل قبول.

فرمول‌بندی چندمنظوره‌ی فازی برای مسئله‌ی فوق چنین خواهد بود:

$$\tilde{Z}_1 = 1,954x_1 + 7,778x_2 + 10,217x_3 \leq Z_1^*$$

$$\tilde{Z}_2 = 0,85x_1 + 0,8x_2 + 0,95x_3 \geq Z_2^*$$

$$\tilde{Z}_3 = 0,75x_1 + 0,9x_2 + 0,85x_3 \geq Z_3^*$$

s. t.

فرض می‌کنیم در این مثال، تصمیم‌گیرنده وزن‌های اهمیت نسبی زیر را برای اهداف و محدودیت‌ها در نظر گرفته باشد:

$$x_1 + x_2 + x_3 \cong 1000$$

$$0,15x_1 + 0,2x_2 + 0,5x_3 \leq 150$$

$$x_1 \leq 500$$

$$x_2 \leq 600$$

$$x_3 \leq 550$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, 3$$

تابع هدف هزینه = 0,2، تابع هدف کیفیت = 0,3، تابع هدف خدمات = 0,25، محدودیت تقاضا = 0,15 و برای محدودیت کیفیت وزن 0,1 تخصیص داده شده باشد. اکنون براساس تصمیم‌گیری فازی جمع‌پذیروزنی، فرمول‌بندی مسئله‌ی تک‌منظوره‌ی قطعی برای مثال فوق عبارت خواهد بود از (گام ۶):

$$\max 0,2\lambda_1 + 0,3\lambda_2 + 0,25\lambda_3 + 0,15\gamma_1 + 0,1\gamma_2$$

$$\lambda_1 \leq \frac{9648,65 - (1,954x_1 + 7,778x_2 + 10,217x_3)}{1400,65}$$

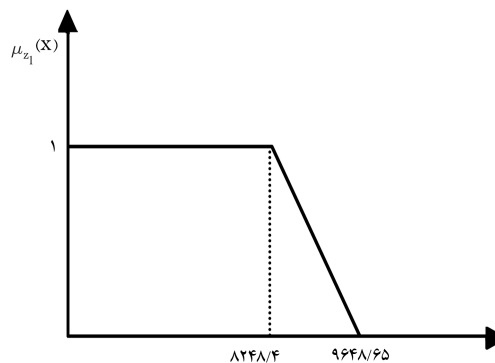
$$\lambda_2 \leq \frac{(0,854x_1 + 0,8x_2 + 0,95x_3) - 120}{85}$$

$$\lambda_3 \leq \frac{(0,75x_1 + 0,9x_2 + 0,85x_3) - 105}{75}$$

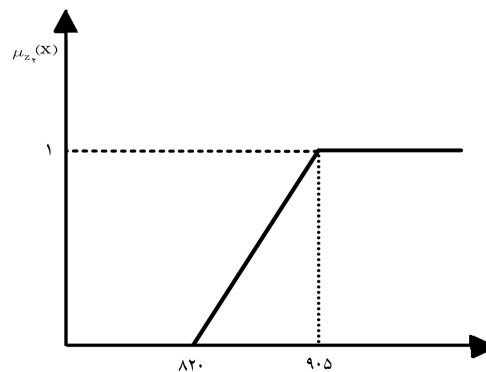
$$\gamma_1 \leq \frac{1100 - (x_1 + x_2 + x_3)}{100}$$

$$\gamma_2 \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3) - 950}{50}$$

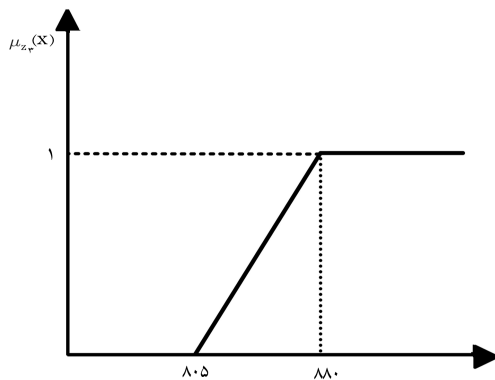
$$\gamma_3 \leq \frac{175 - (0,15x_1 + 0,2x_2 + 0,5x_3)}{25}$$



شکل ۴. عدد فازی مربوط به تابع هدف هزینه.



شکل ۵. عدد فازی مربوط به تابع هدف کیفیت.



شکل ۶. عدد فازی مربوط به تابع سطح خدمات.

جدول ۴. جواب‌های مختلف مسئله به‌ازای α - برش‌های متفاوت.

α - برش‌های مختلف								مقادیر متغیرها و توابع هدف
۰٫۹	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۶	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۲	
۲۹۰	۱۷۹	۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	x_1
۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۵۸۲	۵۳۶	۴۹۰	۴۶۴	۴۷۹	x_2
۱۱۱	۲۲۲	۳۳۳	۴۱۹	۴۶۸	۵۱۷	۵۵۰	۵۵۰	x_3
۸۳۹۷٫۵	۸۵۳۷٫۷	۸۶۷۷٫۹	۸۸۰۷٫۷	۸۹۵۰٫۶	۹۰۹۳٫۴	۹۲۲۸٫۳	۹۳۴۵	Z_1
۸۳۱٫۹۵	۸۴۳٫۰۵	۸۵۴٫۱۵	۸۶۳٫۶۵	۸۷۳٫۴	۸۸۳٫۱۵	۸۹۳٫۹	۹۰۵٫۷	Z_2
۸۵۱٫۸۵	۸۶۲٫۹۵	۸۷۴٫۰۵	۸۹۷٫۹۵	۸۸۰٫۲	۸۸۰٫۴۵	۸۸۵٫۱	۸۹۸٫۶	Z_3
۱۰۰۱	۱۰۰۱	۱۰۰۱	۱۰۰۱	۱۰۰۴	۱۰۰۷	۱۰۱۴	۱۰۲۹	مقدار تقاضا
۱۶۹٫۰۵	۱۵۷٫۹۵	۱۴۶٫۸۵	۱۳۷٫۳۵	۱۳۰٫۶	۱۲۳٫۸۵	۱۲۰٫۳	۱۲۳٫۳	میزان خرابی در کل محموله
۰٫۹	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۶	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۲۲۱	تابع عضویت تابع هزینه
۰٫۱۳	۰٫۲۶	۰٫۳۹۱	۰٫۵۱۴	۰٫۶۲۸۲	۰٫۷۳۷	۰٫۸۶۷	۱	تابع عضویت تابع کیفیت
۰٫۶۱۴	۰٫۷۶	۰٫۹	۱	۱	۱	۱	۱	تابع عضویت تابع خدمات
۱	۱	۱	۰٫۹۸۹	۰٫۹۶	۰٫۹۳۵	۰٫۸۶۹	۰٫۷۲	تابع عضویت تقاضا
۰٫۲۴۲	۰٫۶۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	تابع عضویت محدودیت کیفیت

باشد مقدار هزینه‌ی کم‌تری را متقبل شود. چنانچه تصمیم‌گیرنده بخواهد به سطوحی از توابع عضویت بالاتر از آنچه که اکنون به آن رسیده نائل شود، برای رسیدن به این مقصود، می‌توان از مفهوم α - برش استفاده کرد. بدین منظور، اگر به‌عنوان مثال بخواهیم مقدار تابع عضویت برای تابع هدف هزینه‌ی بالاتر از 0.75 باشد، باید محدودیت 0.8 را $\mu_{Z_i}(x) \geq 0.8$ را نیز به مدل اضافه کرده و سپس اقدام به حل مدل کرد. تصمیم‌گیرنده می‌تواند از مقادیر مختلف α برای رسیدن به خواسته‌اش استفاده کند. طبیعی است که جواب‌های حاصل از این اقدامات در هر مرحله متفاوت خواهند بود.

در جدول ۴ مقادیر x_i ها به‌همراه مقادیر توابع هدف و توابع عضویت آن‌ها به‌ازای مقادیر مختلف α نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می‌شود با تغییر مقدار عضویت تابع هدف اول، مقادیر پارامترهای مدل و مخصوصاً مقادیر تخصیص یافته به هر یک از تأمین‌کنندگان نیز تغییر می‌کند. تأمین‌کننده‌ی اول که در ابتدا نمی‌تواند کالایی را بفروشد، با تغییر اولویت‌های تصمیم‌گیرنده و نسبت دادن اوزان مختلف، قادر به تأمین بخشی از احتیاجات خریدار خواهد بود. برای هر یک از معیارهای دیگر نیز چنانچه تصمیم‌گیرنده خواسته‌ی دیگری را غیر از جوابی که مدل ارائه کرده خواستار باشد، می‌توان با استفاده از α - برش برای آن معیار، درصد برآوردن هدف تصمیم‌گیرنده بود.

۷. نتیجه‌گیری

چنان که عنوان شد، مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های بخش خرید است که به‌دلیل راهکارهایی که در زنجیره‌ی تأمین وجود دارد، روز به‌روز بر اهمیت آن افزوده می‌شود. انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در آن اهداف از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند. در دنیای واقعی، داده‌های ورودی صریح و قطعی نیستند. این تحقیق با توسعه‌ی یک مدل چندمنظوره و با رویکردی فازی و در نظر گرفتن ارزش زمانی پول برای خریدار، توانست با داده‌هایی که به‌صورت

$$x_1 \leq 500$$

$$x_2 \leq 600$$

$$x_3 \leq 550$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \gamma_1, \gamma_2 \in [0, 1]$$

برای حل این مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی از نرم‌افزار Lingo استفاده می‌شود. جوابی که بعد از حل مسئله به کمک نرم‌افزار به‌دست می‌آید چنین خواهد بود:

$$x_1 = 0, x_2 = 479, x_3 = 550$$

این جواب عبارت است از: مقدار تابع هدف هزینه $9345/12$ ، مقدار تابع هدف کیفیت $905/7$ ، مقدار تابع هدف خدمات $898/6$.

مقدار تابع عضویت نیز برای هر یک از توابع هدف و محدودیت‌ها چنین است: تابع هدف هزینه 0.221 ، تابع هدف کیفیت 1 ، تابع هدف خدمات 1 ، محدودیت تقاضا 0.719 و محدودیت کیفیت 1 .

۶. تجزیه و تحلیل داده‌ها

چنان که انتظار نیز می‌رفت، تأمین‌کننده‌ی سوم به‌دلیل کیفیت بالای محصولی که ارائه می‌کند و نیز تبادل میان سایر معیارهای مدل، از تمامی ظرفیت خود استفاده خواهد کرد. بنابراین، خریدار به میزان 550 واحد از تأمین‌کننده‌ی سوم خرید می‌کند و مابقی خرید خود را از تأمین‌کننده‌ی دوم تأمین خواهد کرد. مقادیر محاسبه‌شده برای توابع عضویت نیز با اولویت‌های تصمیم‌گیرنده سازگار است. این بدان معناست که توابع هدف مدل با توجه به وزنی که توسط تصمیم‌گیرنده به خود گرفته‌اند، توابع عضویت‌شان نیز متناسب با همان وزن‌ها مقدار خواهند گرفت.

با توجه به مقادیر توابع عضویت حساب‌شده در فوق، ملاحظه می‌شود که مقدار تابع عضویت برای تابع هدف هزینه یعنی 0.221 ، موضوعی که در اینجا مطرح می‌شود این است که شاید این میزان درجه‌ی عضویت که متناظر با مقدار $9345/12$ است، تصمیم‌گیرنده را راضی نکند؛ به عبارت دیگر ممکن است تصمیم‌گیرنده مایل

۱. مدل به‌کار رفته برای انتخاب تأمین‌کننده در این تحقیق برای حالتی بود که تنها یک محصول مد نظر خریدار است. لذا می‌توان حالتی را مورد تحقیق و بررسی قرار داد که در آن خریدار قصد خرید چندین محصول را از تأمین‌کنندگان مختلف دارد.
۲. می‌توان معیارهای دیگری را در مسئله مد نظر قرار داد. مثلاً می‌توان از توابع هدف دیگری مانند کاهش سطح ریسک استفاده کرد.
۳. با استفاده از مفاهیم مطرح شده در این تحقیق، می‌توان مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده را چنان مدل‌سازی کرد که حل آن با استفاده از روش‌های معمولی بهینه‌سازی ممکن نباشد، و استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری برای حل آن ضرورت یابد.
۴. در این تحقیق فرض بر آن بود که اوزان اهمیت نسبی اهداف و محدودیت‌ها توسط تصمیم‌گیرنده تعیین شده و وارد مدل می‌شوند. به‌عنوان تحقیقی جامع، می‌توان معیارهای تصمیم‌گیری در امر انتخاب تأمین‌کننده را با هم در نظر گرفت و با استفاده از روش‌های وزن‌دهی مناسب مانند ANP اوزان این معیارها را به‌دست آورده و وارد مدل کرد.

متغیرهای زبانی وارد مدل می‌شوند و ابهام دارند نیز مسئله را فرموله کرده و آن را حل کند. همچنین با افزودن محدودیت کیفیت قابل قبول برای خریدار، این امکان برای وی به‌وجود می‌آید که مقادیری را که قصد خرید آن‌ها را از تأمین‌کنندگان مختلف دارد، به‌نحوی تخصیص دهد که مطمئن باشد به کم‌ترین میزان کیفیت مورد نظر رسیده است. بنابراین، با توجه به این که در دنیای واقعی معمولاً میزان تأخیری در پرداخت‌ها از طرف تأمین‌کنندگان و به‌منظور جلب توجه خریداران در نظر گرفته می‌شود، مدلی که در این تحقیق به‌کار رفت می‌تواند به تصمیم‌گیرنده در انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب کمک کند.

۸. پیشنهادات برای تحقیقات آتی

با توجه به نتایج و یافته‌های این تحقیق و مواردی که مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان پیشنهاداتی را برای تحقیقات آتی و در ارتباط با مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده ارائه داد. برخی از این پیشنهادات به شرح زیر هستند:

پانویس‌ها

1. lead time
2. alternatives
3. multiple criteria decision making
4. performance history
5. total cost of ownership (TCO)
6. qualitative
7. quantitative
8. order lot sizing
9. procurement
10. computational models
11. operation research
12. approach
13. individual approaches
14. integrated approaches
15. cost-based approaches
16. net present value (NPV)
17. triangular fuzzy number
18. trapezoidal fuzzy number
19. multi objective decision making
20. interest
21. time value of money
22. feasible solutions
23. crisp
24. weighted additive
25. efficient

منابع (References)

1. Monczka, R.M.; Handfield, R.B.Giunipero, L.C. and Patterson, J.L., *Purchasing and Supply Chain Management*, 4th Edition, South-Western College/West-USA, pp.236(2008).

2. Weijun, X. and Zhiming, W. "Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments", *International Journal of Management Science, Omega*, **35**, pp. 494-504 (2007).
3. Amid, A.; Ghodsypour, S.H. and O'Brein, C. "Fuzzy multi-objective linear model for supplier selection in a supply Chain", *International Journal of Production Economics*, **104**, pp. 394-407 (2006).
4. Shaligram, P. "A two objective model for decision making in a supply Chain", *International Journal of Production Economics*, **111**, pp. 378-388 (2008).
5. Dulmin, R. and Mininno, V. "Supplier selection using a multi-criteria decision aid method", *Journal of Purchasing and Supply Management*, **9**, pp. 177-187 (2003).
6. Liang-Hsuan, C. and Fu-Sen, K. "Integrated vendor-buyer cooperative inventory models with variant permissible delay in payments", *European Journal of Operational Research*, **183**, pp. 658-673 (2007).
7. Assaoui, N.; Haouari, M. and Hassini, E. "Supplier selection and order lot sizing modeling: A review", *Computers & Operations Research*, **34**, pp. 3516-3540 (2007).
8. Dickson, G.W. "An analysis of vendor selection systems and decisions", *Journal of Purchasing*, **2**(1), pp. 5-17 (1966).
9. Weber, C.A.; Current. J.R. and Benton. W.C. "Vendor selection criteria and methods", *European Journal of Operational Research*, **50**, pp. 2-18 (1991).
10. Degraeve, Z. and Roodhooft, F. "A mathematical programming approach for procurement using activity based costing", *Journal of Business Finance and Accounting*, **27**(1-2), pp. 69-98 (2000).

11. De Boer, L.; Labro, E. and Morlacchi, P. "A review of methods supporting supplier selection", *European Journal of Purchasing and Supply Management*, **7**(2), pp. 75-89 (2001).
12. William, H.; Xiaowei, X. and Prasanta, K.D. "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review", *European Journal of Operational Research*, **202**, pp. 16-24 (2009).
13. Narasimhan, R.; Talluri, S. and Mahapatra, S.K. "Multi-product, multicriteria model for supplier selection with product life-cycle considerations", *Decision Sciences*, **37**(4), pp. 577-603 (2006).
14. Wadhwa, V. and Ravindran, A.R. "Vendor selection in outsourcing", *Computers and Operations Research*, **34**(12), pp. 3725-3737 (2007).
15. Amid, A.; Ghodspour, S.H. and O'Brien, C. "A weighted additive fuzzy multi-objective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain", *International Journal Production Economics*, pp. 323-332 (2009).
16. Klir, G.J. and Yuan, Bo., *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Theory and Applications*, Prentice Hall, pp. 103-108 (1995).
17. Zimmerman, H.J., *Fuzzy Set Theory and its Applications*, Third Edition, Kluwer Academic Publishers, pp. 265-272 (1996).
18. Ertuğrul, İ. "Fuzzy Group Decision Making for the Selection of Facility Location", *Group Decision and Negotiation*, pp. 725-740 (2011).
19. Zimmermann, H.J. "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, **1**, pp. 45-55 (1978).
20. Peterson, D.P. and Fabozzi, F.J., *Foundations and Applications of the Time Value of Money*, Wiley, p. 198 (2009).
21. Lin, C.C. "A weighted max-min model for fuzzy goal programming", *Fuzzy Sets and Systems*, **142**(3), pp. 407-420 (2004).

