مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال یازدهم، شماره چهارم (پیاپی ٤٣)، زمستان ۹۳، ص ص ۳۷-۱۵
شاپا ۷۲۸٦-۲۲۵۱

مدل یکپارچه‌ی چند هدفه رضایت بخش فازی برای مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده با اقلام چندگانه و تخصیص بهینه‌ی سفارش

رضا علیخانی*[1]، محسن صادق عمل نیک[2]
۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران، پردیس البرز، گروه مدیریت صنعتی، کرج، ایران
۲- دانشیار، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲ اردیبهشت ۱۳۹۳
پذیرش مقاله: ۱۰ شهریور ۱۳۹۳

چکیده
در محیط رقابتی امروز، انتخاب تامین کننده‌ی مناسب یکی از تصمیمات بسیار مهم در مدیریت زنجیره‌ی تامین به شمار می‌رود. انتخاب تامین‌کننده مساله تصمیم‌گیری چند معیاره‌ای است که بسیاری از ورودی‌های آن به صورت دقیق و صریح قابل بیان نیست. در این مقاله، به کمک روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی رویکردی یکپارچه برای بهینه‌سازی رضایت‌بخش ارایه شده است. روش‌های مذکور با هدف غلبه بر عدم اطمینان و ابهامات موجود در ورودی‌های مدل و اولویت‌بندی توابع و محدودیت‌های فازی مدل به کار رفته است. از مدل پیشنهادی در حل مساله‌ی انتخاب تامین‌کنندگان با اقلام چندگانه و تخصیص بهینه‌ی سفارش استفاده شده است. خروجی مدل مبین تخصیص سفارش به هر یک از تامین‌کنندگان با در نظر گرفتن معیارهای هزینه، کیفیت خدمات و کیفیت محصول است.

کلمات کلیدی: انتخاب تامین‌کننده، برنامه‌ریزی آرمانی فازی، برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی، بهینه‌سازی رضایت بخش، تخصیص سفارش.

۱ مقدمه
آن چه در دنیای رقابتی امروز بیش از هر مقوله‌ی دیگری در مدیریت زنجیره‌ی تامین خودنمایی می‌کند، انتخاب تامین‌کننده‌ی مناسب است. حجم بالای تحقیقات صورت گرفته در این حوزه موید این ادعا است [۱و۲]. انتخاب تامین‌کننده نقشی کلیدی در مدیریت زنجیره‌ی تامین ایفا می‌کند و فعالیت‌هایی چون ارزیابی، رتبه‌بندی و انتخاب از بین گزینه‌های موجود و در مواقعی تخصیص سفارش به این گزینه با توجه به معیارهای بعضاً متعارض را شامل می‌شود. مدیران خرید باید تحلیلی دقیق از معیارهای مؤثر بر مساله داشته باشند. تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، مدیران را در ارزیابی گزینه‌های موجود یاری می‌کند. بسته به شرایط خرید، معیارها از درجات اهمیت

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: Reza.Alikhani@ut.ac.ir

گوناگونی برخوردار بوده، باید وزن داده شود [۳]. در دنیای واقعی، تعیین دقیق اطلاعات و پارامترهای مساله‌ی انتخاب تامین کننده‌ی امکان‌پذیر نیست. به طوری که هنگام تصمیم‌گیری مقادیر بعضی از معیارها به صورت مبهم یا کیفی ابراز می‌شود. برای مثال، گفته می‌شود کیفیت این محصول بالا است یا نحوه‌ی خدمت‌دهی این تامین کننده ضعیف است و یا قیمت این کالا مناسب است [۴]. از این رو، مدل‌های قطعی به سادگی قادر به مقابله با این ابهامات نیست. تحت این شرایط، استفاده از نظریه‌ی مجموعه‌های فازی یکی از بهترین راهکارهای موجود است. این نظریه یکی از کاراترین رویکردهای غلبه بر ابهامات، اطلاعات نادقیق و پیچیده در حل مساله‌ی انتخاب تامین کننده به شمار می‌رود.

اساساً مسایل انتخاب تامین کننده به دو نوع کلی منبع‌یابی منفرد و منبع‌یابی چندگانه تقسیم می‌شود [۵]. در منبع‌یابی منفرد، محدودیت‌ها در فرایند انتخاب تامین کننده لحاظ نمی‌شود و خریدار تنها به تعیین بهترین (ارجح‌ترین) تامین کننده می‌پردازد. این در حالی است که در منبع یابی چندگانه، محدودیت‌هایی نظیر ظرفیت، کیفیت و تحویل به موقع در فرایند انتخاب تامین کننده لحاظ می‌شود. این باعث می‌گردد تا ناتوانی یک تامین کننده در پاسخ‌گویی کامل به تقاضای خریدار، وی را ناچار به تامین نیاز خود از چندین تامین کننده کند. تحت این شرایط، خریدار با دو نوع تصمیم مواجه است: (۱) کدام تامین کننده بهترین است و (۲) از هر تامین کننده چه مقدار باید خرید.

در این مقاله، مساله‌ی منبع‌یابی چندگانه و تخصیص مناسب اقلام چندگانه به تامین کنندگان در قالب مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره با داده‌ها و پارامترهای مبهم و نادقیق بررسی می‌شود. در این مدل، سطوح مطلوب توابع هدف که شامل هزینه، کیفیت خدمات و کیفیت قطعات است، به صورت فازی لحاظ می‌شود. فراهم بودن امکان تعیین قطعی اوزان توابع هدف باعث شده تا از برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی برای این منظور استفاده شود. ضمن آن که عدم امکان تعیین دقیق اوزان محدودیت‌های فازی باعث شده تا از متغیرهای زبانی در قالب برنامه‌ریزی بهینه‌ی فازی برای محاسبه‌ی آن‌ها استفاده شود. در واقع، مدل به صورت رویکرد فازی بدیعی که قابلیت استفاده از راه حل‌های کیفی و کمی را دارا است، یکپارچه می‌گردد. در ادامه، مقاله بدین شرح سازماندهی شده است.

در بخش دوم، مروری مختصر بر پیشینه‌ی تحقیق خواهیم داشت. بخش سوم به توضیح روش برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی پرداخته به دلایل برتری آن نسبت به روش‌های مرسوم برنامه‌ریزی ترجیحی فازی اشاره می‌کند. بخش چهارم به معرفی برنامه‌ریزی آرمانی فازی رضایت بخش، نحوه‌ی تفهیم متغیرهای زبانی به مدل و سازوکار بهینه‌سازی می‌پردازد. در بخش پنجم گام‌های حل مدل پیشنهادی توضیح داده می‌شود. بخش ششم به حل مدل بر اساس داده‌های واقعی و بخش هفتم به بحث درباره‌ی نتایج مدل و تحلیل حساسیت می‌پردازد. در نهایت، مقاله با یک نتیجه‌گیری به پایان می‌رسد.

۲ مروری بر تحقیقات مشابه

چنان که پیش‌تر اشاره شد، مساله‌ی انتخاب و ارزیابی تامین‌کننده به شکلی گسترده مورد مطالعه قرار گرفته و روش‌های متعددی برای حل این نوع مساله ارایه شده است. طبق بررسی‌های صورت گرفته توسط هو و همکاران [۶] و دیبوئر و همکاران [۷]، محققان در حل مساله‌ی انتخاب تامین‌کنندگان عمدتاً از روش‌های استدلال موردگرا، سیستم‌های تصمیم‌یار، هوش مصنوعی [۸]، مدل‌های آماری [۶]، تحلیل پوششی داده‌ها [۹]، فرایند تحلیل سلسله مراتبی [۱۰]، هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت [۱۱]، برنامه‌ریزی ریاضی [۱۲] و مدل‌های یکپارچه [۱۳] استفاده می‌کنند. با توجه به کثرت روش‌ها و رویکردهای مورد استفاده، در این مقاله اشاره‌ای مختصر به مطالعاتی می‌شود که از برنامه‌ریزی فازی و رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره سود برده‌اند.

ایرول و فرل [۱۴] با توجه به توابع هدف متناقض و معیارهای کمی و کیفی، روشی را برای انتخاب تامین‌کنندگان ارایه دادند. کومار و همکاران [۱۵] از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه‌ی فازی عدد صحیح برای انتخاب تامین‌کننده در یک زنجیره‌ی تامین سود بردند. عمید و دیگران [۴]، به توسعه‌ی مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه‌ی فازی برای مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده مبادرت ورزیدند. مدل پیشنهادی آنان ضمن فائق آمدن بر مشکل ابهام و نادقیق بودن داده‌ها، تصمیم‌گیرنده را در یافتن بهترین شیوه‌ی تخصیص سفارش به تامین‌کنندگان یاری می‌کند. هم‌چنین عمید و همکاران [۱۶] در مقاله‌ی دیگر به ارایه‌ی مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده پرداختند. این مدل شباهت زیادی با مدل ارایه شده در [۴] داشت و تنها تفاوت آن لحاظ نمودن تخفیف قیمتی در مدل است. در این مدل، تخفیف قیمتی نقش به سزایی در مقدار سفارش داشته است. در تحقیقی دیگر عمید و همکاران [۱۷]، مدل ماکسی- مین موزونی را با هدف‌های چندگانه‌ی فازی برای مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده ارایه دادند. این مدل شامل سه تابع هدف هزینه، کیفیت خدمات و کیفیت محصول بوده و اوزان هر تابع هدف با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده است. اوزکوک و تیریاکی [۱۸] رویکرد جبرانی فازی برای حل مساله‌ی چند هدفه‌ی انتخاب تامین‌کننده با اقلام چندگانه را ارایه دادند. مدل آن‌ها ضمن بررسی مساله‌ی تخصیص، به تعیین سهم سفارش برای هر تامین‌کننده می‌پردازد. وو و همکاران [۱۹] با در نظر گرفتن ریسک موجود در مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده، به توسعه‌ی یک مدل چندهدفه‌ی فازی پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که اعمال معیارهای کیفی در مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده احتمال انتخاب تامین‌کننده‌ای خاص را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شمشادی و همکاران [۲] انتخاب تامین‌کننده را به عنوان مساله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی گروهی بررسی کرده، نظرات خبرگان را در قالب واژه‌های زبانی برآورد نمودند. سپس به مدد روش ویکور فازی و آنتروپی اوزان توابع هدف را به دست آوردند. یوسل و گونری [۲۰] برای غلبه بر ابهامات و عدم اطمینان در مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده، رویکرد برنامه‌ریزی فازی تجمیعی موزون را ارایه دادند. برای تعیین اوزان معیارهای مساله از اعداد فازی ذوزنقه‌ای استفاده شده است. نهایتاً مدل برنامه‌ریزی با هدف‌ها و محدودیت‌های فازی حل شده و مقدار بهینه سفارش برای هر تامین‌کننده مشخص شده است. آریکان [۲۱] مساله‌ی منبع‌یابی چندگانه را در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف‌های چندگانه بررسی کرد و برای حل آن از مدل برنامه‌ریزی فازی سود برد. لین [۲۲] با بررسی اثر وابستگی بین معیارهای ارزیابی به کمک روش‌های

فرایند تحلیل شبکه‌ای، برنامه‌ریزی ترجیحی فازی و برنامه‌ریزی خطی چند هدفه در قالب یک مدل یکپارچه‌ی تصمیم به شناسایی تامین‌کنندگان برجسته پرداخت. مدل وی قادر به تخصیص بهینه‌ی مقادیر سفارش به هر یک از تامین‌کنندگان منتخب است.

مرور پیشینه، حکایت از ناتوانی پژوهش‌های پیشین در ارایه‌ی مدلی منعطف و قوی دارد که بتواند شرایط عدم اطمینان و توازن بین اهداف متعارض را بررسی کند و همزمان به سطحی از رضایت‌مندی برای اهداف و هم‌چنین محدودیت‌های فازی نایل آید. مدل برنامه ریزی فازی رویکرد کارایی برای غلبه بر شرایط عدم اطمینان پیرامون مساله‌ی انتخاب تامین کننده به شمار می‌آید؛ اما نتایج حاصل از مدل یکپارچه باید برای مدیر یا تصمیم گیرنده، رضایت بخش بوده، مطابق با ترجیحات وی باشد که این موضوع شکاف تحقیقاتی مساله‌ی مورد بررسی است. از این‌رو، در پژوهش حاضر برنامه‌ریزی فازی به کار گرفته شده است و توازن بین بهینه کردن مدل و ترجیحات اهمیتی تصمیم گیرنده کاملاً برای مدل قابل فهم است. از سویی دیگر، تعیین یک بردار اهمیت توابع در برنامه ریزی چند هدفه از موضوعات چالشی مساله‌ی انتخاب تعیین کننده می‌باشد که مدل این پژوهش به شایستگی در برآورد آن موفق بوده است. در این مقاله سعی بر آن است که چارچوبی کارا برای مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده با اقلام چندگانه توسعه داده شود. در شرایطی که مواجهه‌ی تصمیم‌گیرنده با هدف‌ها و محدودیت‌های فازی گریزناپذیر است، با اتکا به روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی فازی و ترجیحی فازی لگاریتمی، مدل رضایت‌بخش ترکیبی برای حل مساله‌ی منبع‌یابی چندگانه با تخصیص اقلام چندگانه در شرایط فازی پیشنهاد شده است. بررسی نتایج حاصل از مدل، حکایت از کارایی، صحت و دقت بالای آن دارد.

۳-۱ برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی

میخایلف [۲۳] برای به دست آوردن بردار اوزان از یک مجموعه‌ی قطعی و مقایسه‌ای، رویکرد برنامه‌ریزی ترجیحی فازی را ارایه کرد. تعیین درجه‌ی اهمیت‌ها نوعاً مساله‌ای بهینه‌سازی است که با هدف افزایش رضایت تصمیم‌گیرنده به تعیین برداری قطعی می‌کوشد [۲۴].

فرض کنید به جای مقایسات زوجی قطعی، تصمیم گیرنده قضاوت‌های خود را با استفاده از ماتریس مقایسه با مقادیر فازی انجام دهد. برای مثال، بسیار محتمل است که معیار i به اندازه m_{ij} برابر مهم‌تر از معیار j باشد و این در حالی است که m_{ij} بین دو مقدار l_{ij} و u_{ij} قرار دارد؛ لذا ماتریس مقایسه‌ی زوجی فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\tilde{A}=\left(\tilde{a}_{ij}\right)_{n\times n}=\begin{bmatrix} ۱ & (l_{۱۲},m_{۱۲},u_{۱۲}) & \dots & (l_{۱n},m_{۱n},u_{۱n}) \\ (l_{۲۱},m_{۲۱},u_{۲۱}) & ۱ & \dots & (l_{۲n},m_{۲n},u_{۲n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (l_{n۱},m_{n۱},u_{n۱}) & (l_{n۲},m_{n۲},u_{n۲}) & \dots & ۱ \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

که در آن $0< l_{ij} \le m_{ij} \le u_{ij}$ و به ازای تمامی $i,j=1,\ldots,n\ (i\neq j)$ همواره داریم $u_{ij}=1/l_{ji}$، $m_{ij}=1/m_{ji}$ و $l_{ij}=1/u_{ji}$. اگر $i=j$ آنگاه $\tilde{a}_i=\tilde{a}_j=(1,1,1)$. هم‌چنین بردار اولویت قطعی $(w_1,w_2,\ldots,w_n)^T$ که از $\tilde{A}$ حاصل شده و در آن $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$ باید نامعادله‌ی زیر را برآورده سازد:

$$l_{ij} \mathrel{\tilde{\le}} \frac{w_i}{w_j} \mathrel{\tilde{\le}} u_{ij} \tag{۲}$$

در رابطه‌ی فوق $\tilde{\le}$ به معنی «کوچک‌تر یا مساوی فازی» و به ازای $i \neq j$ همواره $w_i, w_j > 0$. میخایلف [۲۵] برای اندازه‌گیری درجه رضایت نسبت‌های قطعی w_i/w_j با توجه به طرفین نامعادله (۲) تابع عضویت جدیدی به شرح زیر ارایه کرد:

$$\mu_{ij}\left(\frac{w_i}{w_j}\right)=\begin{cases}\dfrac{(w_i/w_j)-l_{ij}}{m_{ij}-l_{ij}}, & \dfrac{w_i}{w_j}\le m_{ij}\\[2ex] \dfrac{u_{ij}-(w_i/w_j)}{u_{ij}-m_{ij}}, & \dfrac{w_i}{w_j}\ge m_{ij}\end{cases} \tag{۳}$$

در روش برنامه‌ریزی ترجیحی فازی، بردار اهمیت را با بالاترین درجه‌ی عضویت، می‌توان به شرح زیر ارایه داد:

$$\lambda = max\left[\min\left\{\mu_{ij}(w_i/w_j) \mid i=1,\ldots,n-1; j=i+1,\ldots,n\right\}\right] \tag{۴}$$

انتظار می‌رود، بردار اولویت حاصل بهترین جواب ممکن باشد. از این رو، میخایلف [۲۶] برنامه‌ریزی ترجیحی فازی زیر را بر اساس مدل اولویت‌بندی غیرخطی ارایه کرد. این مدل توسعه‌ی روش برنامه‌ریزی ترجیحی فازی برای ماتریس مقایسات زوجی با مقادیر قطعی در محیط فازی است.

$$\begin{aligned} &Max \quad \lambda\\ &s.t.\\ &\qquad \mu_{ij}(w_i/w_j)\ge\lambda, \quad i=1,\ldots,n-1, \quad j=i+1,\ldots,n,\\ &\qquad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1, \quad w_i>0, \quad i=1,\ldots,n.\end{aligned} \tag{۵}$$

مدل فوق را می‌توان به شرح زیر بازنویسی کرد:

$$\begin{aligned} &Max \quad \lambda\\ &s.t.\\ &\qquad -w_i + l_{ij}w_j + \lambda\left(m_{ij}+l_{ij}\right)w_j \le 0, \quad i=1,\ldots,n-1, \quad j=i+1,\ldots,n,\\ &\qquad w_i + u_{ij}w_j + \lambda\left(u_{ij}+m_{ij}\right)w_j \le 0, \quad i=1,\ldots,n-1, \quad j=i+1,\ldots,n,\\ &\qquad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1, \quad w_i>0, \quad i=1,\ldots,n.\end{aligned} \tag{۶}$$

با حل مساله‌ی برنامه‌ریزی غیر خطی فوق، بردار (w^*, λ^*) به دست می‌آید که مولفه‌ی نخست آن بردار اولویت با بالاترین درجه‌ی تابع عضویت در ناحیه‌ی موجه فازی و مولفه‌ی دوم مقدار بالاترین سطح رضایت است و به عنوان «شاخص سازگاری» تلقی می‌شود [۲۵]. اگر $w^*, \lambda^* \geq ۰$ در معادله (۲) دارای جواب باشد، بدان معنی است که قضاوت‌های فازی در مجموعه‌ی اولیه نسبتاً سازگار است. در غیر این صورت، ناسازگاری شدیدی بین قضاوت‌های فازی وجود داشته و جواب بهینه‌ی حاصل تنها تا حدی ماتریس مقایسه‌ی زوجی را برآورده خواهد ساخت و به عبارت دیگر بهترین جواب ممکن را در ماتریس ناسازگار مقایسه‌ی زوجی ارایه خواهد داد.

$$\mu_{ij}\left(\frac{w_i}{w_j}\right) \in (-\infty, ۰),\ if\ \ \frac{w_i}{w_j} < l_{ij}\ \ or\ \ \frac{w_i}{w_j} > u_{ij} \tag{۷}$$

$$\mu_{ij}\left(\frac{w_i}{w_j}\right) \in [۰, ۱],\ if\ \ l_{ij} \leq \frac{w_i}{w_j} \leq u_{ij} \tag{۸}$$

بررسی‌ها نشان می‌دهد معادله‌ی (۶) تقارن و غیرخطی بودن را در طرفین اعداد فازی کاملاً در نظر نمی‌گیرد و برای به دست آوردن جواب بهینه نیاز به کنکاش‌های بیشتری است [۲۷]. هم‌چنین وانگ و چین [۲۸] یافته‌های مبنی بر عدم توانایی معادله‌ی (۶) را به صورت زیر ارایه دادند:

۱. درجه‌ی عضویت منفی بی‌معنی است.
۲. وقتی بین قضاوت‌های فازی ناسازگاری شدید وجود داشته باشد، مدل، جواب‌های بهینه‌ی چندگانه خواهد داشت.
۳. بردار اهمیت یا اوزان به دست آمده از درایه‌های بالا و پایین قطر اصلی یکسان نیست و دارای جواب‌های کاملاً متفاوت است (برای مشاهده‌ی مثال‌های عددی به مرجع [۲۸] مراجعه کنید).

از این رو، برای غلبه بر کاستی‌های مدل برنامه‌ریزی ترجیحی فازی و یافتن بردار اهمیتی منحصر به فرد، وانگ و چین [۲۸] مدل برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی را به شرح زیر ارایه کردند. لگاریتم معادله‌ی (۱) به شکل معادله‌ی تقریبی زیر نشان داده می‌شود:

$$\ln \tilde{a}_{ij} \approx \left(lnl_{ij}, lnm_{ij}, lnu_{ij}\right), i, j = ۱, \ldots, n \tag{۹}$$

بنابراین، لگاریتم قضاوت فازی مثلثی ماتریس $\tilde{a}_{ij}$ یک عدد فازی مثلثی با تابع عضویت زیر خواهد بود.

$$\mu_{ij}\left(\ln\frac{w_i}{w_j}\right) = \begin{cases} \dfrac{\ln\left(w_i / w_j\right) - \ln l_{ij}}{\ln m_{ij} - \ln l_{ij}}, & \ln\left(\dfrac{w_i}{w_j}\right) \leq \ln m_{ij} \\ \dfrac{\ln u_{ij} - \ln\left(w_i / w_j\right)}{\ln u_{ij} - \ln m_{ij}}, & \ln\left(\dfrac{w_i}{w_j}\right) \geq \ln m_{ij} \end{cases} \tag{۱۰}$$

کـه در آن $\mu_{ij}\left(ln\left(w_i / w_j\right)\right)$ درجـه عضـویت $ln(w_i / w_j)$ بـوده، متعلـق بـه قضـاوت فـازی مثلثـی تقریبـی $\tilde{a}_{ij}=\left(lnl_{ij}, lnm_{ij}, lnu_{ij}\right)$ است؛ بنابراین، بردار اهمیت با بالاترین درجـه‌ی عضـویت بـه صـورت زیـر توصـیف می‌شود:

$$\lambda = Min\left\{\mu_{ij}\left(ln\frac{w_i}{w_j}\right) \middle| \; i=1,\ldots,n-1;\; j=i+1,\ldots,n\right\} \tag{۱۱}$$

معادله‌ی (۱۱) به مساله‌ی زیر قابل تبدیل است:

$$\begin{aligned} & Max \quad \lambda \\ & s.t. \\ & \qquad \mu_{ij}\left(ln\frac{w_i}{w_j}\right) \geq \lambda, \quad i=1,\ldots,n-1, \quad j=i+1,\ldots,n, \\ & \qquad w_i > 0, \quad i=1,\ldots,n. \end{aligned} \tag{۱۲}$$

یا

$$\begin{aligned} & Max \quad 1-\lambda \\ & s.t. \\ & \qquad lnw_i - lnw_j - \lambda\, ln\left(\frac{m_{ij}}{l_{ij}}\right) w_j \geq \ln l_{ij}, \quad i=1,\ldots,n-1, \;\; j=i+1,\ldots,n, \\ & \qquad -lnw_i + lnw_j + \lambda\, ln\left(\frac{u_{ij}}{m_{ij}}\right) w_j \geq -\ln l_{ij}, \quad i=1,\ldots,n-1, \;\; j=i+1,\ldots,n, \\ & \qquad w_i > 0, \quad i=1,\ldots,n. \end{aligned} \tag{۱۳}$$

برای اجتناب از پیچیدگی محاسبات دو معادله‌ی فوق، محدودیت نرمال‌سازی موقتاً حذف مـی‌شـود. البتـه پـس از حل معادله‌ی (۱۳) می‌توان اولویت‌ها یا اهمیـت‌هـا را نرمـال کـرد. فـرض بـر ایـن اسـت کـه $w_i \geq 1,\; i=1,\ldots,n$ به‌طوری که $\ln w_i \geq 0,\; i=1,\ldots,n$. اگر چه نیازی به فرض غیر منفی بودن $\ln w_i \geq 0,\; i=1,\ldots,n$ نیست، بـرای ساده سازی نتایج، این محدودیت اضافه شده است.

در برخی موارد، معادله‌ی (۱۳) مقادیر منفی برای درجه‌ی عضـویت λ تولیـد مـی‌کنـد. علـت ایـن اسـت کـه همه‌ی نامعادله‌های $lnw_i - lnw_j - \lambda\, ln\left(\frac{m_{ij}}{l_{ij}}\right) w_j \geq \ln l_{ij}$ و $-lnw_i + lnw_j + \lambda\, ln\left(\frac{u_{ij}}{m_{ij}}\right) w_j \geq -\ln l_{ij}$ را نمی‌توان هم‌زمان حل کرد. برای فایق آمدن بر این مشـکل، متغیرهـای انحرافـی غیـر منفـی δ_{ij} و η_{ij} بـرای تمـامی $j=i+1,\ldots,n$ و $j=i+1,\ldots,n$ به مدل اضافه می‌شود. حال با توجه به آنچه گفته شد، نامعادلات زیر قابلیـت حل هم‌زمان خواهد یافت:

$$lnw_i - lnw_j - \lambda\, ln\left(\frac{m_{ij}}{l_{ij}}\right) + \delta_{ij} \geq \ln l_{ij}, \quad i=1,\ldots,n-1;\; j=i+1,\ldots,n \tag{۱۴}$$

$$-lnw_i + lnw_j + \lambda ln\left(\frac{u_{ij}}{m_{ij}}\right) + \eta_{ij} \geq -\ln l_{ij}, \quad i = 1,\ldots,n-1;\ j = i+1,\ldots,n \tag{۱۵}$$

کمینه کردن متغیرهای انحرافی تا بیش‌ترین حد ممکن بسیار مطلوب است. از این رو، مدل برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی با اولویت‌های غیرخطی به شکل زیر فرموله می‌شود:

$$\begin{aligned}
&Min \quad (1-\lambda)^2 + M.\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\left(\delta_{ij}^2 + \eta_{ij}^2\right)\\
&s.t.\\
&\quad y_i - y_j - \lambda \ln\left(m_{ij}/l_{ij}\right) + \delta_{ij} \geq \ln l_{ij}, \qquad i = 1,\ldots,n-1,\ \ j = i+1,\ldots,n,\\
&\quad -y_i + y_j - \lambda \ln\left(u_{ij}/m_{ij}\right) + \eta_{ij} \geq -\ln u_{ij}, \qquad i = 1,\ldots,n-1,\ \ j = i+1,\ldots,n,\\
&\quad \lambda,\ y_i \geq 0, \qquad i = 1,\ldots,n\\
&\quad \delta_{ij},\ \eta_{ij} \geq 0, \quad i = 1,\ldots,n-1, \qquad j = i+1,\ldots,n.
\end{aligned} \tag{۱۶}$$

که در آن $y_i = lnw_i$ برای $i = 1,\ldots,n$ و M عدد ثابت بسیار بزرگ معینی (برای مثال $M = 10^3$) است. از جریمه‌ی M برای یافتن اوزان با کم‌ترین مقدار تخطی ممکن در قضاوت‌های فازی استفاده شده است. جواب‌های بهینه برای مدل (۱۶) y_i^* به ازای $i = 1,\ldots,n$ است؛ بنابراین، همان‌طور که پیش‌تر به آن اشاره شد، اولویت‌های نرمال شده برای $\tilde{A} = \left(\tilde{a}_{ij}\right)_{n\times n}$ به مانند زیر قابل حصول است:

$$w_i^* = \frac{\exp\left(y_i^*\right)}{\sum_{i=1}^{n}\exp\left(y_i^*\right)}, \quad i = 1,\ldots,n \tag{۱۷}$$

که در آن $\exp\left(y_i^*\right) = e^{y_i^*}$ به ازای $i = 1,\ldots,n$ است. قابل توجه است که مطلوب به دست آوردن مقادیر مثبت برای λ^* می‌باشد. اگر $\lambda^* = 0$، می‌توان نتیجه گرفت که ناسازگاری شدیدی در ماتریس مقایسه‌ی زوجی وجود دارد مگر آن که $\gamma = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\left(\delta_{ij}^2 + \eta_{ij}^2\right) = 0$. هر اندازه مقدار $\gamma\left(\gamma \geq 0\right)$ کم‌تر باشد، ناسازگاری مشاهده شده در ماتریس مقایسات زوجی فازی کم‌تر خواهد بود. هم‌چنین γ می‌تواند به عنوان شاخص ناسازگاری برای ماتریس مقایسه‌ی زوجی فازی لحاظ شود.

۳-۲ برنامه‌ریزی آرمانی فازی

تصمیم‌گیری در شرایط ابهام و عدم قطعیت بسیار خطیر و پیچیده است. نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی برای غلبه بر این مشکلات ابزار بسیار مناسبی است [۲۹]. لطفی زاده [۳۰] نخستین بار مجموعه‌ای فازی با حدود غیر دقیق را ارایه کرد. بی‌گمان ابهام و عدم قطعیت دو جزء لاینفک اغلب مسایل تصمیم‌گیری محسوب می‌شود که با افزایش انعطاف‌پذیری مدل می‌توان بر آن‌ها چیره شد [۳۱]. هر اندازه در یک مساله تصمیم‌گیری ابهام و عدم قطعیت

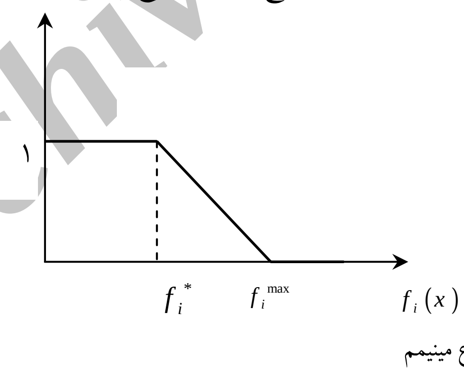
بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد، نتایج حاصل کم‌تر موجب سردرگمی تصمیم گیرنده شده، به واقعیت بیش‌تر نزدیک خواهد بود. مجموعه‌ی فازی A به مانند زیر تعریف می‌شود:

$$A=\left\{x,\mu_A\left(x\right)|\,x\in A\right\} \tag{۱۸}$$

که $A\to[\circ,۱]$ تابع عضویت A و $\mu_A\left(x\right)$ که در آن $x\in A$ درجه‌ی عضویت نامیده می‌شود. توابع عضویت به شکل‌های گوناگون مانند خطی، هذلولی، هذلولی معکوس، نمایی، و خطی منقطع است [۳۲]. تابع عضویت شبه مثلثی برای مساله‌ی چند هدفه، بیش‌ترین کاربرد را در پیشینه‌ی تحقیق داشته است. بر اساس تعریف تابع عضویت تیواری [۳۳]، هر تابع بین کم‌ترین و بیش‌ترین سطوح تمایل خود محدود شده، کمینه یا بیشینه بودن تابع مدنظر است. اگر تابع از نوع کمینه باشد، تابع عضویت آن به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{f_i}\left(x\right)=\begin{cases}۱ & f_i\left(x\right)\le f_i^*\\ ۱-\dfrac{f_i\left(x\right)-f_i^*}{f_i^{\max}-f_i^*} & f_i^*\le f_i\left(x\right)\le f_i^{max}\\ \circ & f_i\left(x\right)\ge f_i^{max}\end{cases} \tag{۱۹}$$

که در آن f_i^* سطح مطلوبیت برای تابع هدف $f_i\left(x\right)$، $f_i^{\max}$ حد مجاز برای $f_i\left(x\right)$، و (f_i^*,f_i^{max}) فاصله‌ی مجاز برای تابع هدف فازی $f_i\left(x\right)$ است. شکل (۱) تابع هدف از نوع کمینه را به عنوان یک عدد فازی نشان می‌دهد.

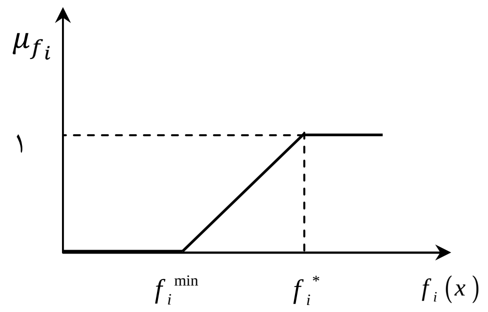


شکل ۱. تابع عضویت برای تابع هدف از نوع مینیمم

هم‌چنین اگر تابع هدف از نوع بیشینه باشد، تابع عضویت آن به شکل زیر خواهد بود:

$$\mu_{f_i}\left(x\right)=\begin{cases}۱ & f_i\left(x\right)\ge f_i^*\\ ۱-\dfrac{f_i^*-f_i\left(x\right)}{f_i^*-f_i^{min}} & f_i^{min}\le f_i\left(x\right)\le f_i^*\\ \circ & f_i\left(x\right)\le f_i^{min}\end{cases} \tag{۲۰}$$

که در آن $(f_i^{\min}, f_i^*)$ فاصله‌ی مجاز قابل پذیرش برای تصمیم‌گیرنده خواهد بود (شکل ۲).



شکل ۲. تابع عضویت برای تابع هدف از نوع ماکسیمم

در نهایت مساله‌ی چندهدفه‌ی زیر قابلیت حل خواهد داشت:

$$\begin{aligned} & Max \quad \left[Min\left(\mu_{f_i}(x)\right) \right] \\ & s.t. \\ & \qquad x \in A. \end{aligned} \tag{۲۱}$$

۳-۳ روش بهینه‌سازی رضایت‌بخش برمبنای برنامه‌ریزی آرمانی فازی

برای یافتن بردار بهینه‌ی x، مساله‌ی چندهدفه‌ی فازی با محدودیت‌های فازی به صورت زیر بررسی می‌شود:

$$\begin{aligned} & Find \quad x \\ & s.t. \\ & \qquad f_j(x) \le f_j^*, && \text{برای توابع هدف فازی} \\ & \qquad g_r(x) \le b_r, && \text{برای محدودیت‌های فازی} \\ & \qquad g_k(x) \le b_k, && \text{برای مقادیر قطعی} \\ & \qquad x \ge 0. \end{aligned} \tag{۲۲}$$

مدل موزون جمع‌پذیر پیشنهاد شده توسط تیواری [۳۳] در پیشینه تحقیق بسیار رایج است. به ویژه در مواقعی که تصمیم‌گیرنده ترجیح می‌دهد برای هر تابع هدف به صورت مجزا اهمیت خاصی قایل باشد.

$$\begin{aligned} & Max \quad V(\mu) = \sum_{j=1}^{J} w_j \mu_j(x) + \sum_{h=1}^{H} w_h \mu_h(x) \\ & s.t. \\ & \qquad \mu_j(x) \le \mu_{f_j}(x), && \text{برای توابع هدف فازی} \\ & \qquad \mu_h(x) \le \mu_{g_h}(x), && \text{برای محدودیت‌های فازی} \\ & \qquad g_k(x) \le b_k, && \text{برای مقادیر قطعی} \\ & \qquad x_i \ge 0, \quad i = 1, 2, \ldots, n, \\ & \qquad \mu_j, \mu_h \in [0, 1]. \end{aligned} \tag{۲۳}$$

که در آن w_j و w_h ضرایب اوزان بوده، به ترتیب اهمیت توابع هدف و محدودیت‌های فازی را نشان می‌دهد.

در دنیای واقعی، تصمیم‌گیرنده به ویژه در شرایط ابهام و عدم صراحت در مورد توابع هدف، محدودیت‌ها و محیط اطراف، به ندرت قادر به ارایه‌ی دقیق اوزان مدنظر خود است. از این رو، برخی محققین برای نمایش اهمیت توابع هدف از واژه‌های زبانی کمک گرفته‌اند [۳۴]، درجه‌ی عضویت بالاتر به توابع مهم‌تر اختصاص داده‌اند [۳۵] یا برای واژه‌های زبانی روابط دودویی فازی تعریف کرده‌اند [۳۶]. از آن‌جا که مطالعات ذکر شده، دارای نواقص و یا مشکلاتی در تعیین اهمیت توابع هدف است، در این مقاله مدلی برای بهینه‌سازی رضایت بخش برنامه‌ریزی آرمانی فازی بر اساس مدل لی و هو ارایه شده است که حتی در شرایطی که تصمیم گیرنده قادر به تعیین اوزان توابع هدف و محدودیت‌های فازی نباشد، قابل استفاده است. به علاوه، برای بیان اهمیت توابع هدف یا محدودیت‌هایی که امکان تعیین دقیق اهمیت آن‌ها وجود ندارد، از واژه‌های زبانی به شرح جدول (۱) استفاده شده است. به عنوان مثال، محدودیت $g_q(x)$ «تا حدی مهم» و محدودیت $g_h(x)$ «بسیار مهم» است و $h,q \in \{1,\dots,H\}, h \neq q$. ضمن آن که اشتراک بین مجموعه‌ها تهی است.

جدول ۱. واژه‌های زبانی برای بیان اهمیت مجموعه‌های فازی

واژه‌های زبانی	مخفف نام مجموعه
خیلی بی اهمیت	S_{vu}
تا حدی بی اهمیت	S_{su}
بی اهمیت	S_u
متوسط	S_g
با اهمیت	S_i
تا حدی با اهمیت	S_{si}
خیلی با اهمیت	S_{vi}

در صورت به کارگیری واژه‌های زبانی به جای اوزان دقیق، مدل (۲۳) قادر به حل مساله نخواهد بود. از این رو، لی و هو [۳۷] از واژه‌های زبانی برای بیان تفاوت اهمیت توابع هدف استفاده کردند. در این مقاله، از رویکرد مزبور برای بیان تفاوت اهمیت محدودیت‌های فازی استفاده شده است. اگر محدودیت $g_q(x)$ «تا حدی با اهمیت» و محدودیت $g_h(x)$ «بسیار با اهمیت» و $h \in \{1,\dots,H\}, q \neq h$ باشد، خواهیم داشت:

$$g_q(x) \in S_{si}, \quad g_h(x) \in S_{vi}, \quad S_{si}, S_{vi} \subset \{1,\dots,H\}, \quad S_{si} \cap S_{vi} = \phi$$

نامعادله‌ی (۲۴) بیانگر مقایسه‌ی نسبت کلاسیک بین محدودیت q و h است.

$$\mu_q \leq \mu_h \tag{۲۴}$$

که در آن μ_q و μ_h به ترتیب درجات رضایت بخش برای $\mu_{gq}(x)$ و $\mu_{gh}(x)$ است. متغیر اختلاف اهمیت بین محدودیت‌ها (λ) به مدل (۱۴) اضافه شده تا وجود جواب و ناحیه‌ی موجه را برای مدل تضمین کند.

$$\mu_q - \mu_h \le \lambda \tag{۲۵}$$

μ_q و μ_h متعلق به بازه $[0,1]$ است. در نتیجه، λ متعلق به بازه $[-1,1]$ خواهد بود. مثبت بودن مقدار λ حکایت از رضایت‌بخش نبودن جواب حاصل دارد و منفی بودن λ نشان می‌دهد نتایج حاصل بازه ترجیحی و اهمیت فازی مورد نظر را دربر گرفته است. با توجه به توضیحات داده شده، مدل بهینه سازی به شرح زیر ارایه می گردد:

$$\begin{aligned}
&Max \quad \sum_{j=1}^{J} w_j \mu_j(x) + \sum_{h=1}^{H} \mu_h(x)/h - \omega.\lambda \\
&s.t. \\
&\qquad \mu_j(x) \le \mu_{f_j}(x), && \text{برای توابع هدف فازی} \\
&\qquad \mu_h(x) \le \mu_{g_h}(x), && \text{برای محدودیت‌های فازی} \\
&\qquad g_k(x) \le b_k, && \text{برای محدودیت‌های قطعی} \\
&\qquad \mu_q - \mu_h \le \lambda, \quad q, h \in \{1,\dots,H\}, q \ne h, \\
&\qquad x_i \ge 0, \quad i = 1,2,\dots,n, \\
&\qquad \mu_j, \mu_h \in [0,1], \ \lambda \in [-1,1].
\end{aligned} \tag{۲۶}$$

که در آن ω ضریب وزن متغیر تفاوت اهمیت (λ) است. با افزایش ω اختلاف اهمیت شدت یافته و λ کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، تصمیم گیرنده با تغییر مقدار پارامتر ω امکان تحقق نتایج دلخواه را برای خود فراهم می‌سازد. ضمناً هنگامی که $\omega > \omega^*$ باشد، جواب بهینه نهایی بدون تغییر خواهد ماند (ω^* کم‌ترین مقداری است که در آن جواب بهینه به دست آمده است).

تابع هدف مدل بهینه سازی (۲۶) دارای سه جزء است: ۱- مجموع درجات عضویت مطلوب برای توابع هدف فازی، ۲- مجموع درجات عضویت مطلوب برای محدودیت‌های فازی و ۳- اختلاف اهمیت‌ها برای محدودیت‌های فازی. متغیرهای مدل شامل درجات رضایت بخش μ_j و μ_r، اختلاف اهمیت محدودیت‌های فازی λ، و متغیر تصمیم x_i است. مدل پیشنهادی قادر به بیشینه‌سازی جداگانه‌ی هر یک از درجات عضویت توابع و محدودیت‌های فازی است، بسته به نظر تصمیم گیرنده قادر به تعیین تفاوت اهمیت بین محدودیت‌های فازی بوده، آن‌ها را مدنظر قرار می‌دهد.

٤ فرمول‌بندی مساله

با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی، روش بهینه‌سازی رضایت‌بخش پیشنهادی طی الگوی هفت مرحله‌ای زیر ارایه شده است (شکل ۳).

گام ۱. اهداف و محدودیت‌های مساله را شناسایی کنید.

گام ۲. سطوح تمایل برای اهداف و محدودیت‌های فازی را تعیین کنید.

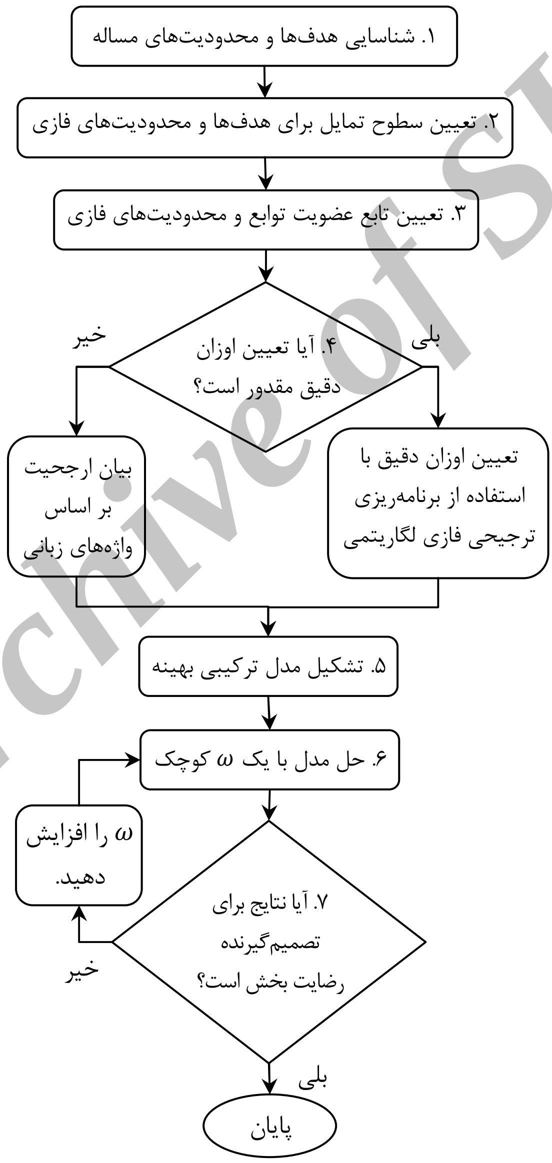
گام ۳. با توجه به بیشینه یا کمینه بودن، تابع عضویت توابع و محدودیت‌های فازی را مشخص نمایید.

گام ۴. از تصمیم گیرنده بخواهید اوزان دقیق خود را برای μ_j و μ_h با استفاده از برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی مشخص کند. در غیر این صورت، ارجحیت خود را بر اساس واژه‌های زبانی بیان دارد.

گام ۵. مدل ترکیبی بهینه‌ی مناسب را با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی و برنامه‌ریزی ترجیحی فازی شکل دهید.

گام ۶. ابتدا مدل را با یک ω کوچک حل کنید.

گام ۷. در صورت رضایت بخش بودن نتایج برای تصمیم‌گیرنده توقف کنید (جواب بهینه است). در غیر این صورت، با افزایش ω به گام ۶ باز گردید.



شکل ۳. مراحل اجرای مدل پیشنهادی تحقیق

٤-١ مدل برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی انتخاب تامین‌کننده با اقلام چندگانه

مدل کلی انتخاب تامین‌کننده به صورت زیر است [١٥]:

$$\begin{aligned} &Min \quad Z_1, Z_2, \ldots, Z_k, \\ &Max \quad Z_{k+1}, Z_{k+2}, \ldots, Z_J \\ &s.t. \\ &\qquad x \in X_d, X_d = \{x \mid g(x) \le b_k, k = 1, \ldots, k\}. \end{aligned} \tag{27}$$

که در آن $Z_1, Z_2, \ldots, Z_k$ هدف‌هایی است که قصد کمینه کردن آن‌ها را داریم، مانند هزینه و $Z_{k+1}, Z_{k+2}, \ldots, Z_J$ هدف‌هایی است که قصد بیشینه کردن آن‌ها را داریم، مانند سود و کیفیت. X_d مجموعه جواب‌های موجهی است که در آن محدودیت‌های مدل برآورده می‌شود.

مفروضات، اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترهای مدل برای توسعه‌ی مدل چندهدفه‌ی انتخاب تامین‌کننده با اقلام چندگانه به شرح زیر است:

مفروضات:

١- تخفیف در مدل بررسی نمی‌شود.

٢- قصور در ارایه‌ی محصول از سوی تامین‌کننده مجاز نیست.

٣- اقلام چندگانه توسط هر تامین‌کننده ارایه می‌شود.

٤- کاربرد هر یک از اقلام در محصول نهایی دارای اهمیت‌های غیر یکسان است.

اندیس‌ها:

i اندیس تامین‌کننده $i = 1, 2, \ldots, n$

s اندیس اقلام (قطعات) $s = 1, 2, \ldots, S$

j اندیس توابع هدف $j = 1, 2, \ldots, J$

h اندیس محدودیت‌های فازی $h = 1, 2, \ldots, H$

k اندیس محدودیت‌های قطعی $k = 1, 2, \ldots, K$

متغیر تصمیم:

$x_{i,s}$ مقدار سفارش قطعه s از تامین‌کننده‌ی i

پارامترها:

D_s مقدار تقاضا برای قطعه‌ی s

$c_{i,s}$ حد بالای تعداد قطعه‌ی s اخذ شده از تامین‌کننده‌ی i

n تعداد تامین‌کنندگان

$p_{i,s}$ قیمت واحد قطعه‌ی s، خریداری شده از تامین‌کننده‌ی i

$k_{i,s}$ درصد سطح کیفیت ارایه قطعه‌ی s، خریداری شده از تامین‌کننده‌ی i

$r_{i,s}$ درصد سطح کیفیت قطعه‌ی s، خریداری شده از تامین‌کننده‌ی i

$f_{i,s}$ درصد تعداد برگشتی قطعه‌ی s، خریداری شده از تامین‌کننده‌ی i

F_s بیشترین حد تعداد برگشتی برای قطعه‌ی s

B_s محدودیت بودجه‌ی تخصیص داده شده به قطعه‌ی s

توابع هدف

۱- کمینه کردن هزینه‌ی خرید کل: خریدار قصد دارد هزینه‌ی خرید کل را به کمترین حد ممکن رساند. از این رو، تابع هدف آن به شکل زیر خواهد بود:

$$Min\ Z_1 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{s} p_{i,s} x_{i,s} \qquad (28)$$

۲- بیشینه کردن کیفیت خدمات‌دهی ارایه‌ی محصول. نرخ کیفیت سرویس دهی در ارایه‌ی محصول یکی از معیارهای مهم انتخاب تامین‌کننده است. این نرخ مواردی چون خدمات پس از فروش، تحویل به موقع، سهولت ارایه‌ی محصول و ... را شامل می‌شود. این تابع کیفیت خدمات کل را بیشینه کرده که به شکل زیر نشان داده می‌شود:

$$Max\ Z_2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{s} k_{i,s} x_{i,s} \qquad (29)$$

۳- بیشینه کردن کیفیت محصول. خریدار بر آن است که کیفیت قطعات را به بیشترین حد خود رساند. در این صورت تابع هدف آن به شکل زیر خواهد بود:

$$Max\ Z_3 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{s} r_{i,s} x_{i,s} \qquad (30)$$

لازم به ذکر است، از میان معیارهای مورد بررسی برای مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده در پیشینه تحقیق، سه تابع هدف فوق بیشترین کاربرد را داشته و تقریباً در تمامی مقالات مورد استفاده قرار گرفته است.

محدودیت‌ها:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i,s} \ge D_s,\ s = 1,2,\ldots,S \qquad (31)$$

$$x_{i,s} \le C_{i,s},\ i = 1,2,\ldots,n.\ s = 1,2,\ldots,S \qquad (32)$$

$$\sum_{i=1}^{n} f_{i,s} x_{i,s} \le F_s,\ s = 1,2,\ldots,S \qquad (33)$$

$$\sum_{i=1}^{n} p_{i,s} x_{i,s} \le B_s,\ s = 1,2,\ldots,S \qquad (34)$$

$$x_{i,s} \ge 0 \qquad (35)$$

محدودیت (۳۱) مربوط به تقاضای قطعه‌ی s بوده و محدودیت (۳۲) بیانگر بیش‌ترین مقدار قطعه‌ی s ارایه شده توسط تامین‌کننده‌ی i است. محدودیت (۳۳) مربوط به قطعات برگشتی قطعه‌ی s بوده و محدودیت (۳۴) مربوط به بودجه‌ی تخصیص یافته برای خرید قطعه‌ی s است. در نهایت، محدودیت (۳۵) فرض غیرمنفی بودن متغیر تصمیم را تضمین می‌کند.

۵ مثال عددی و نتایج محاسباتی

گام ۱. در این بخش حل مدل پیشنهادی با مثال عددی ارایه می‌شود. برای حل مدل از داده‌های (و نـه مفروضـات) مقاله‌ی اوزکوک و تیریاکی [۱۸] استفاده شده است. شرکت درصدد خرید چهار قطعه از سه تامین‌کننده است که هر یک قادر به تولید قطعات مورد نظر هستند. داده‌های مورد نیاز برای انتخاب مساله‌ی تامین‌کننده در جدول‌های (۲) و (۳) منعکس شده است. طبق روابط توضیح داده شده در بخش‌های پیشین، مدل عددی مساله‌ی برنامه‌ریزی رضایت بخش فازی انتخاب تامین‌کننده با اقلام چندگانه به صورت زیر خواهد بود:

$$
\begin{aligned}
&Z_{۱} = \\
&۸/۲۸x_{۱۱} + ۶/۴۳x_{۱۲} + ۱۰x_{۱۳} + ۷/۷۷x_{۱۴} + ۱۱/۶x_{۲۱} + ۹/۳x_{۲۲} + ۱۶/۷۱x_{۲۳} + ۱۱/۸۱x_{۲۴} \\
&+ ۲۴/۶۳x_{۳۱} + ۱۱/۷۴x_{۳۲} + ۱۷/۸۴x_{۳۳} + ۱۰/۷۹x_{۳۴} \\
&Z_{۲} = \\
&۰/۷۵x_{۱۱} + ۰/۸۰x_{۱۲} + ۰/۹۰x_{۱۳} + ۰/۸۳x_{۱۴} + ۰/۷۳x_{۲۱} + ۰/۹۰x_{۲۲} + ۰/۸۴x_{۲۳} + ۰/۹۳x_{۲۴} \\
&+ ۰/۹۲x_{۳۱} + ۰/۸۸x_{۳۲} + ۰/۷۴x_{۳۳} + ۰/۹۶x_{۳۴} \\
&Z_{۳} = \\
&۰/۹۴x_{۱۱} + ۰/۷۵x_{۱۲} + ۰/۸۸x_{۱۳} + ۰/۶۵x_{۱۴} + ۰/۹۰x_{۲۱} + ۰/۸۵x_{۲۲} + ۰/۹۰x_{۲۳} + ۰/۸۰x_{۲۴} \\
&+ ۰/۹۷x_{۳۱} + ۰/۸۵x_{۳۲} + ۰/۷۵x_{۳۳} + ۰/۸۰x_{۳۴} \\
&s.t. \\
&x_{۱۱} + x_{۲۱} + x_{۳۱} \geq ۱۵۰۰ \\
&x_{۱۲} + x_{۲۲} + x_{۳۲} \geq ۶۰۰ \\
&x_{۱۳} + x_{۲۳} + x_{۳۳} \geq ۵۰۰ \\
&x_{۱۴} + x_{۲۴} + x_{۳۴} \geq ۸۰۰ \\
&x_{۱۱} \leq ۵۰۰,\ \ x_{۱۲} \leq ۳۰۰,\ \ x_{۱۳} \leq ۲۵۰,\ \ x_{۱۴} \leq ۴۰۰, \\
&x_{۲۱} \leq ۶۵۰,\ \ x_{۲۲} \leq ۳۰۰,\ \ x_{۲۳} \leq ۲۰۰,\ \ x_{۲۴} \leq ۱۰۰ \\
&x_{۳۱} \leq ۵۵۰,\ \ x_{۳۲} \leq ۲۵۰,\ \ x_{۳۳} \leq ۴۰۰,\ \ x_{۳۴} \leq ۵۰۰, \\
&۰/۰۵x_{۱۱} + ۰/۰۶x_{۲۱} + ۰/۰۳x_{۳۱} \mathrel{\tilde{\leq}} F_{۱} \\
&۰/۰۲x_{۱۲} + ۰/۰۱x_{۲۲} + ۰/۰۲x_{۳۲} \mathrel{\tilde{\leq}} F_{۲} \\
&۰/۰۱x_{۱۳} + ۰/۰۴x_{۲۳} + ۰/۰۱x_{۳۳} \mathrel{\tilde{\leq}} F_{۳} \\
&۰/۰۶x_{۱۴} + ۰/۰۲x_{۲۴} + ۰/۰۲x_{۳۴} \mathrel{\tilde{\leq}} F_{۴} \\
&۸/۲۸x_{۱۱} + ۱۱/۶x_{۲۱} + ۱۴/۶۳x_{۳۱} \leq ۲۵۰۰۰ \\
&۶/۴۳x_{۱۲} + ۹/۳x_{۲۲} + ۱۱/۷۴x_{۳۲} \leq ۵۴۰۰ \\
&۱۰x_{۱۳} + ۱۶/۷۱x_{۲۳} + ۱۷/۸۴x_{۳۳} \leq ۷۰۰۰ \\
&۷/۷۷x_{۱۴} + ۱۱/۸۱x_{۲۴} + ۱۰/۷۹x_{۳۴} \leq ۷۵۰۰ \\
&x_{۱۱}, x_{۱۲}, x_{۱۳}, x_{۱۴}, x_{۲۱}, x_{۲۲}, x_{۲۳}, x_{۲۴}, x_{۳۱}, x_{۳۲}, x_{۳۳}, x_{۳۴} \geq ۰
\end{aligned}
$$

گام ۲و ۳. مقادیر مطلوب و بدترین حالت ممکن بـرای هـر یـک از سـه تـابع هـدف و محـدودیت‌هـای فـازی در جدول‌های (۴) و (۳) ارایه شده است. در این مثال، فرض بر این است که کاربرد قطعات در محصول نهـایی دارای اهمیت یکسان نیست. از این رو، انتظار داریم قطعات با اهمیت‌تر کیفیت بـالاتری را دارا باشـد. حـال بـا توجـه بـه

موارد ذکر شده و داده‌های مورد نیاز، توابع عضویت فازی برای توابع هدف و محدودیت‌های فازی به شکل زیر خواهد بود:

$$\mu_{Z_۱}(x) = (۴۵۱۲۶/۵ - Z_۱(x)) \div (۴۵۱۲۶/۵ - ۳۹۱۷۷/۵)$$
$$\mu_{Z_۲}(x) = (Z_۲(x) - ۲۷۹۹/۴۵) \div (۳۰۸۰/۳۴ - ۲۷۹۹/۴۵)$$
$$\mu_{Z_۳}(x) = (Z_۳(x) - ۲۸۶۱/۳۴) \div (۳۱۵۲/۱۲ - ۲۸۶۱/۳۴)$$
$$\mu_{g_۱}(x) = (۱۲۰ - g_۱(x)) \div (۱۲۰ - ۸۰)$$
$$\mu_{g_۲}(x) = (۶۰ - g_۲(x)) \div (۶۰ - ۴۰)$$
$$\mu_{g_۳}(x) = (۴۰ - g_۳(x)) \div (۴۰ - ۲۰)$$
$$\mu_{g_۴}(x) = (۶۰ - g_۴(x)) \div (۶۰ - ۴۰)$$

جدول ۲. داده‌های مساله‌ی انتخاب تامین کننده

	تامین کننده ۱				تامین کننده ۲				تامین کننده ۳			
محصول	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
$p_{i,s}$ (قطعه/$)	۸/۲۸	۶/۴۳	۱۰	۷/۷۷	۱۱/۶	۹/۳	۱۶/۷۱	۱۱/۸۱	۲۴/۶۳	۱۱/۷۴	۱۷/۸۴	۱۰/۷۹
$r_{i,s}$ (٪)	۹۴	۷۵	۸۸	۶۵	۹۰	۸۵	۹۰	۸۰	۹۷	۸۵	۷۵	۸۰
$k_{i,s}$ (٪)	۷۵	۸۰	۹۰	۸۳	۷۳	۹۰	۸۴	۹۳	۹۲	۸۸	۷۴	۹۶
$c_{i,s}$ (قطعه)	۵۰۰	۳۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۶۵۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۵۰	۲۵۰	۴۰۰	۵۰۰
$f_{i,s}$ (٪)	۵	۲	۱	۶	۶	۱	۴	۲	۳	۲	۱	۲

جدول ۳. داده‌های مساله‌ی انتخاب تامین کننده

محصول		۱	۲	۳	۴
D_s (قطعه)		۱۵۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۸۰۰
F_s (قطعه)	g_h^*	۸۰	۴۰	۲۰	۴۰
	g_h^{max}	۱۲۰	۶۰	۴۰	۶۰
B_s ($)		۲۵۰۰۰	۵۴۰۰	۷۰۰۰	۷۵۰۰

جدول ٤. مقادیر مطلوب برای توابع هدف فازی

	$Z_۱$	$Z_۲$	$Z_۳$
Z_j^*	۳۹۱۷۷/۵	۳۰۸۰/۳۴	۳۱۵۲/۱۲
$Z_j^{min/max}$	۴۵۱۲۶/۵	۲۷۹۹/۴۵	۲۸۶۱/۳۴

گام ۴. از تصمیم‌گیرنده خواسته شد تا اوزان توابع هدف و محدودیت‌های فازی را مشخص کند. تعیین اوزان دقیق برای توابع هدف فازی امری ممکن بود؛ اما از آن‌جا که نسبت دادن اوزان دقیق به محدودیت‌های فازی مقدور نبود، از متغیرهای زبانی استفاده شد. بر این اساس، قطعه‌ی اول بسیار با اهمیت، قطعه‌ی دوم تا حدی با اهمیت، قطعه‌ی سوم با اهمیت و قطعه‌ی چهارم با اهمیت متوسط در نظر گرفته شد. برای تعیین اوزان اهمیت سه

تابع هدف مدل ماتریس مقایسه‌ی زوجی به شرح جدول (۵) از طرف تصمیم‌گیرنده ارایه شد. هم‌چنین اوزان توابع هدف با استفاده از برنامه‌ریزی ارجحیت فازی لگاریتمی و جدول (۵) در نرم افزار اکسل کد نویسی و نتایج مطابق جدول (۶) حاصل شد. شاخص ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی برابر با (12×10^{-8}) است که بیانگر سازگاری بالای ماتریس مذکور است.

جدول ۵. ماتریس مقایسه زوجی توابع هدف

j	هزینه	کیفیت خدمات	کیفیت قطعه
هزینه	$\left(\frac{1}{1},\frac{1}{1},\frac{1}{1}\right)$	$\left(\frac{1}{3},\frac{1}{2},\frac{2}{3}\right)$	$\left(\frac{1}{5},\frac{1}{3},\frac{1}{2}\right)$
کیفیت خدمات	$\left(\frac{2}{3},\frac{6}{3},\frac{9}{3}\right)$	$\left(\frac{1}{1},\frac{1}{1},\frac{1}{1}\right)$	$\left(\frac{1}{3},\frac{2}{3},\frac{3}{3}\right)$
کیفیت قطعه	$\left(\frac{2}{1},\frac{3}{1},\frac{5}{1}\right)$	$\left(\frac{2}{2},\frac{3}{2},\frac{6}{2}\right)$	$\left(\frac{1}{1},\frac{1}{1},\frac{1}{1}\right)$

$$
\begin{aligned}
Min \quad & (1-\lambda)^2 + 1000\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=i+1}^{3}\left(\delta_{ij}^2+\eta_{ij}^2\right)\\
s.t. \quad & \\
& y_1 - y_2 - \lambda\ln\left(\frac{3}{2}\right) + \delta_{12} \geq \frac{\ln 1}{3},\\
& -y_1 + y_2 - \lambda\ln\left(\frac{4}{3}\right) + \eta_{12} \geq -\frac{\ln 2}{3},\\
& y_1 - y_3 - \lambda\ln\left(\frac{5}{3}\right) + \delta_{13} \geq \frac{\ln 1}{5},\\
& -y_1 + y_3 - \lambda\ln\left(\frac{3}{2}\right) + \eta_{13} \geq -\frac{\ln 1}{2},\\
& y_2 - y_3 - \lambda\ln\left(\frac{2}{1}\right) + \delta_{23} \geq \frac{\ln 1}{3},\\
& -y_2 + y_3 - \lambda\ln\left(\frac{3}{2}\right) + \eta_{23} \geq -\frac{\ln 3}{3},\\
& \lambda, y_i \geq 0, \quad i = 1,2,\\
& \delta_{ij}, \eta_{ij} \geq 0, \quad i = 1,2, \; j = 2,3.
\end{aligned}
$$

جدول ٦ . اوزان مربوط به هر یک از توابع هدف فازی

تابع هدف	y	w
هزینه	۲/۳۲	۰/۱۷
کیفیت خدمات	۴/۳۹	۰/۳۳
کیفیت قطعه	۶/۹۶	۰/۵۰

گام۵. مدل ترکیبی بهینه برای انتخاب تامین کننده با اقلام چندگانه با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی به شکل زیر خواهد بود:

$$
\begin{aligned}
&\text{Max} \quad 0.17\mu_1 + 0.33\mu_2 + 0.5\mu_3 + \frac{\sum_{h=1}^{4}\mu_h}{4} - 4.722\lambda \\
&s.t. \\
&\quad \mu_j(x) \le \mu_{Z_j}(x), \qquad j = 1,2,3, \\
&\quad \mu_h(x) \le \mu_{g_h}(x), \qquad h = 1,2,3,4, \\
&\quad \mu_{h=2}(x) - \mu_{h=1}(x) \le \lambda, \\
&\quad \mu_{h=3}(x) - \mu_{h=2}(x) \le \lambda, \\
&\quad \mu_{h=4}(x) - \mu_{h=3}(x) \le \lambda, \\
&\quad x_{11} + x_{21} + x_{31} \ge 1500, \\
&\quad x_{12} + x_{22} + x_{32} \ge 600, \\
&\quad x_{13} + x_{23} + x_{33} \ge 500, \\
&\quad x_{14} + x_{24} + x_{34} \ge 800, \\
&\quad x_{11} \le 500, \;\; x_{12} \le 300, \;\; x_{13} \le 250, \;\; x_{14} \le 400, \\
&\quad x_{21} \le 650, \;\; x_{22} \le 300, \;\; x_{23} \le 200, \;\; x_{24} \le 100 \\
&\quad x_{31} \le 550, \;\; x_{32} \le 250, \;\; x_{33} \le 400, \;\; x_{34} \le 500, \\
&\quad 8.28x_{11} + 11.6x_{21} + 14.63x_{31} \le 25000, \\
&\quad 6.43x_{12} + 9.3x_{22} + 11.74x_{32} \le 5400, \\
&\quad 10x_{13} + 16.71x_{23} + 17.84x_{33} \le 7000, \\
&\quad 7.77x_{14} + 11.81x_{24} + 10.79x_{34} \le 7500, \\
&\quad \left\{ g_r(x) \le r = 1 \in S_{vi}, 2 \in S_{si}, 3 \in S_i, 4 \in S_g \right\}, \\
&\quad S_{vi} \cap S_{si} = \phi, S_{si} \cap S_i = \phi, S_i \cap S_g = \phi, \\
&\quad x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34} \ge 0, \\
&\quad \mu_j, \mu_h \in [0,1], \; \lambda \in [-1,1].
\end{aligned}
$$

گام ۶ و ۷. مدل ترکیبی برنامه‌ریزی آرمانی فازی با نرم‌افزار لینگو حل و نتایج رضایت‌بخش طبق جدول (۷) حاصل شد. نهایتاً طبق آنچه مورد انتظار بود، مقادیر تامین قطعه از هر یک از تامین کنندگان به دست آمد.

جدول ۷. میزان سفارش تخصیص یافته از هر قطعه به هر تامین کننده

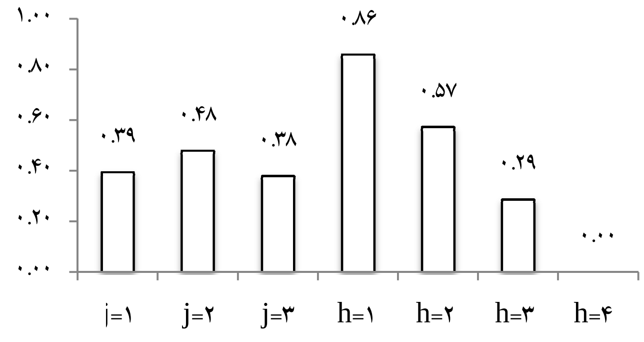
x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}
۵۰۰	۳۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۴۵۰	۳۰۰	۲۰۰	۰	۵۵۰	۵۸	۶۴	۴۰۷

٦ بحث

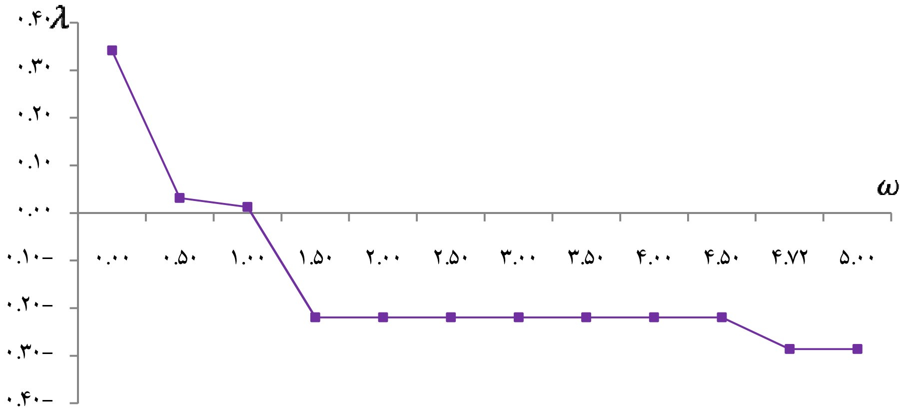
در این تحقیق، مدل برنامه ریزی آرمانی فازی ارایه شده با یکپارچه نمودن برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی و برنامه‌ریزی چندهدفه با محدودیت‌های فازی و استفاده از متغیرهای زبانی به دنبال راه حلی بهینه برای مساله‌ی انتخاب تامین کننده با اقلام چندگانه و تخصیص سفارش به هر یک از تامین کنندگان بود. مدل ترکیبی مذکور تا حد زیادی قابلیت غلبه بر عدم اطمینان همراه با اوزان و ارجحیت‌های مربوط به مساله را داشته و در قالب چارچوبی بهینه قادر به یکپارچه‌سازی مساله است. مدل‌های آرمانی فازی مرسوم که در بخش پیشینه‌ی تحقیق به بحث گذاشته شد اغلب قادر به فرموله کردن مسایل با محدودیت‌ها و ضرایب تابع هدف معلوم بوده است. به بیان دیگر، در این مدل‌ها فرض بر این است که ضرایب معلوم و قطعی صریحاً قابل محاسبه است و عوامل خارجی بر مساله اثر نمی‌گذارد. این در حالی است که در دنیای واقعی، به ندرت می‌توان ادعا کرد که ابهام و عدم اطمینان از مساله حذف شده و بر آن اثر نمی‌گذارد. از این رو، مدل ارایه شده به خوبی قابلیت مواجه با مسایلی را دارد که به میزان قابل توجهی متاثر از ابهامات ناشی از عوامل خارجی است.

مقادیر λ و ω

شکل (۴) بیانگر مقادیر رضایت‌بخش مطلوب برای هر کدام از توابع و محدودیت‌های فازی در سطح جواب بهینه است. مقدار λ هنگامی که ω بین بازه [۴/۷۲۲، ۰) است، در حال کاهش است (شکل۵). از این رو، همان طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، $\omega^* = ۴/۷۲۲$ می‌تواند به عنوان کمترین مقداری که در آن جواب بهینه حاصل می‌شود، تلقی گردد. هم‌چنین λ در بازه [۰/۳۴۱ ، ۰/۳۳۳-] قرار دارد که طبق انتظار، مقادیر منفی خود را نیز به دست آورده است. به همین دلیل، تصمیم گیرنده کاملاً متقاعد شده، نتایج به دست آمده در برگیرنده‌ی حدود اهمیت فازی است.



شکل ٤. درجات رضایت بخش برای توابع هدف و محدودیت‌های فازی



شکل ۵. مقادیر تفاوت اهمیت با افزایش مقدار ضریب ω

تحلیل حساسیت

از دو رویکرد برای نمایش حساسیت مدل استفاده می‌شود. نخست، وزن یک یا برخی توابع هدف تغییر یابد. دوم، اهمیت محدودیت‌های فازی تغییر یابد. بر این اساس، ابتدا با تغییر وزن تابع هدف دوم (دو برابر شدن وزن آن) مدل حل شد؛ سپس اهمیت کاربرد قطعات چنین در نظر گرفته شد که قطعه‌ی چهارم بسیار با اهمیت، قطعه‌ی دوم و سوم تا حدی با اهمیت و قطعه‌ی اول با اهمیت است. جدول‌های (۸) و (۹) نتایج حاصل را از حل دو رویکرد نشان می‌دهد.

جدول ۸. میزان سفارش تخصیص یافته از هر قطعه به هر تامین‌کننده (با تغییر وزن تابع هدف دوم)

x_{34}	x_{33}	x_{32}	x_{31}	x_{24}	x_{23}	x_{22}	x_{21}	x_{14}	x_{13}	x_{12}	x_{11}
۴۰۷	۶۴	۵۸	۵۵۰	۰	۲۰۰	۳۰۰	۶۵۰	۴۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۵۰۰

جدول ۹. میزان سفارش تخصیص یافته از هر قطعه به هر تامین‌کننده (با تغییر اهمیت قطعات)

x_{34}	x_{33}	x_{32}	x_{31}	x_{24}	x_{23}	x_{22}	x_{21}	x_{14}	x_{13}	x_{12}	x_{11}
۴۲۵	۶۴	۵۸	۵۵۰	۰	۲۰۰	۳۰۰	۶۵۰	۳۷۵	۲۵۰	۳۰۰	۵۰۰

۷ نتیجه و جمع‌بندی

انتخاب تامین‌کننده یک مساله‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی پیچیده است و پیچیدگی آن با بیان نادقیق پارامترهای مدل، تشدید می‌شود. در دنیای واقعی، امکان بیان دقیق بسیاری از ورودی‌های مدل وجود ندارد. در مدل ارایه شده توسط این مقاله، ابهامات و تفاوت اهمیت‌ها مورد توجه قرار گرفته است. این مدل با یکپارچه کردن برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی و برنامه‌ریزی آرمانی فازی با هدف‌ها و محدودیت‌های فازی به حل مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده با اقلام چندگانه پرداخت و مقادیر تخصیص بهینه‌ی سفارش را برای هر تامین‌کننده با در نظر گرفتن معیارهای هزینه، کیفیت خدمات و کیفیت قطعات مشخص کرد. استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای

مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره نیازمند برآورد اوزان دقیق برای توابع هدف است. برای غلبه بر نارسایی‌های وارد بر روش‌های مرسوم در استخراج اوزان از مقایسات زوجی فازی، در این تحقیق از برنامه‌ریزی ترجیحی فازی لگاریتمی استفاده شد. پیروی از این رویکرد موجب گردید تا از هر ماتریس مقایسات زوجی فازی فقط یک بردار بهینه‌ی قطعی منحصر به فرد حاصل شود. اهمیت محدودیت‌های فازی که توسط تصمیم‌گیرنده به صورت کیفی بیان شده بود، به کمک مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی رضایت بخش قابل فهم گردید و در قالب مدل بهینه سازی کمی شد. مدل ارایه شده، در قالب مساله‌ای واقعی اجرا شد. از آن‌جا که مدل حاضر یکی از جدیدترین رویکردها برای مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده، به عنوان مساله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره تلقی می‌شود، پیشنهاد می‌گردد این روش برای دیگر حوزه‌های زنجیره‌ی تامین مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

[۱] آذر، ع.، موسوی، ع.، (۱۳۹۳). طراحی مدل احتمالی و استوار یکپارچه سه مرحله‌ای برای انتخاب تامین کننده با رویکرد عدم قطعیت. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۴۰ (۱)، ۱۸-۱.

[2] Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., Tarokh, M. J., (2011). A fuzzy VIKOR for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. Expert Systems with Applications, 38: 12160-12167.

[3] Dulmin, R., Mininno, V., (2003). Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. Journal of Purchasing and Supply Management, 9: 177-187.

[4] Amid, A., Ghodsypour, S. H., O’Brien, C., (2006). A fuzzy multi-objective linear model for supplier selection in a supply chain. International Journal of Production Economics, 104: 394-407.

[5] Xia, W., Wu, Z., (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. Omega the International Journal of Management Science, 35: 494-504.

[6] 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: 16-24.

[7] De Boer, L., Labro, E., Morlacchi, P., (2001). A review of methods supporting supplier selection. European Journal of Purchasing and Supply Management, 7: 75-89.

[8] Choy, K.L., Lee, W.B., Lo, V., (2003). Design of a case based intelligent supplier relationship management system- the integration of supplier rating system and product coding system. Expert Systems with Applications, 25: 87-100.

[9] Talluri, S., (2002). A buyer-seller game model for selection and negotiation of purchasing bids. European Journal of Operational Research, 143: 171-180.

[10] Tam, M. C. Y., Tummala, V. M. R., (2001). An application of AHP in vendor selection of telecommunications systems. Omega, 29: 171-182.

[11] Roodhooft, F., Konings, J., (1997). Vendor selection and evaluation an activity based costing approach. European Journal of Operational Research, 96: 97-102.

[12] Zhu, J., (2004). A buyer-seller game model for selection and negotiation of purchasing bids: extensions and new models. European Journal of Operational Research. 154: 150-156.

[13] Lin, R. H., (2012). An integrated model for supplier selection under fuzzy situation. International Journal of Production Economics, 138: 55-61.

[14] Erol, I., Ferrell, W., (2003). A methodology for selection problems with multiple conflicting objectives and both qualitative and quantitative criteria. International Journal of Production Economics, 86, 187-199.

[15] Kumar, M., Vart, P., Shankar, R., (2006). A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain. International Journal of Production Economics, 101: 273-285.

[16] Amid, A., Ghodsypour, S. H., O’Brien, C., (2009). A weighted Additive fuzzy multi-objective model for supplier selection problem under price breaks in a supply chain. International Journal of Production Economics, 121: 323-332.

[17] Amid, A., Ghodsypour, S. H., O'Brien, C., (2011). A weighted max-min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain. International Journal of Production Economics, 131: 139-145.
[18] Ozkok, B. A., Tiryaki, F., (2011). A compensatory fuzzy approach to multi-objective linear supplier selection problem with multiple-item. Expert Systems with Applications, 38: 11363-11368.
[19] Wu, D. F., Zhang, Y., Wu, D., Olson, D. L., (2010). Fuzzy multi-objective programming for supplier selection and risk modeling: A possibility approach. European Journal of Operational Research, 200: 774-787.
[20] Yücel, A., Güneri, A. F., (2011). A weighted additive fuzzy programming approach for multi-criteria supplier selection. Expert Systems with Applications, 38: 6281-6286.
[21] Arikan, F., (2013). A fuzzy solution approach for multi objective supplier selection. Expert Systems with Applications, 40: 947-952.
[22] Lin, R. H., (2009). An integrated FANP-MOLP for supplier evaluation and order allocation. Applied Mathematical Modelling, 33: 2730-2736.
[23] Mikhailov, L., (2002). Fuzzy analytical approach to partnership selection in formation of virtual enterprise. Omega, 30: 393-401.
[24] Wang, T. C., Chen, Y. H., (2007). Applying consistent fuzzy preference relations to partnership selection. Omega, 35: 384-388.
[25] Mikhailov, L., (2003). Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgments. Fuzzy Set and Systems, 134: 365-385.
[26] Mikhailov, L., (2000). A fuzzy programming method for deriving priorities in analytic hierarchy process. Journal of Operational Research Society, 51: 341- 349.
[27] Rezaei, J., Ortt, R., Scholten, V., (2013). An improved fuzzy preference programming to evaluate entrepreneurship orientation. Applied Soft Computing, 13: 2749–2758.
[28] Wang, Y. M., Chin, K. S., (2011). Fuzzy analytical hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology. International Journal of Approximate Reasoning, 52: 541-553.
[29] Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S., Thakur, L. S., (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. Expert Systems with Applications, 39: 8182-8192.
[30] Zadeh, L. A., (1965). Information and control. Fuzzy Sets, 8: 338-353.
[31] Yu, C. S., (2002). A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems. Computer and Operations Researches, 29: 1969-2001.
[32] Sakawa, M., Yano, H., Yumine, T., (1987). An interactive fuzzy satisficing method for multi-objective linear programming problems and its application. IEEE Transactions on SCM, 17: 654-661.
[33] Tiwari, R. N., Dharmar, S., Rao, J. R., (1987). Fuzzy goal programming – an additive model. Fuzzy Sets and Systems, 24: 27-34.
[34] Narsimhan, R., (1980). Goal programming procedure in fuzzy environment. Decision Sciences. 11: 246-325.
[35] Chen, L. H., Tsai, F. C., (2001). Fuzzy goal programming with different importance and priorities. European Journal of Operational Research, 133: 548-556.
[36] Aköz, O., Petrovic, D., (2007). A fuzzy goal programming method with imprecise goal hierarchy. European Journal of Operational Research. 1819: 1427-1433.
[37] Li, S., Hu, C., (2009). Satisfying optimization method based on goal programing for fuzzy multiple objective optimization problem. European Journal of Operational Research, 197: 657-684.