

به کارگیری مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی وزن‌دار به منظور تعیین میزان خرید بهینه از تأمین‌کنندگان

حمید شاهبندرزاده*، علیرضا پیکام**

چکیده

در دهه اخیر، مدیریت خرید در زنجیره تأمین و انتخاب تأمین‌کننده مناسب، چالشی برای شرکت‌ها در یک زنجیره عرضه بوده است؛ بنابراین در این مطالعه یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده که به‌طورکلی یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره است، به‌صورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در نظر گرفته شده است؛ در ادامه مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای تعیین مقادیر سفارش بهینه به تأمین‌کنندگان با توجه به محدودیت‌ها و اهداف پژوهش، طراحی و برای حل آن از «مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی وزن‌دار» و از روش «بیشینه - کمینه» استفاده شده و اوزان اهداف و محدودیت‌های فازی که از روش «تحلیل سلسله-مراتبی فازی» به‌دست می‌آیند در تابع هدف مدل بیشینه - کمینه قرار داده شده و مدل اجرا می‌شود. با فرض اینکه تصمیم‌گیرنده از جواب‌های به‌دست‌آمده راضی نباشد، از «مدل آریخان» با در نظر گرفتن وزن اهداف و محدودیت‌های فازی در این مدل، استفاده می‌شود تا در نهایت تصمیم‌گیرنده به سطح‌های دستیابی موردنظر خود در اهداف و محدودیت‌های فازی برسد و میزان سفارش بهینه به تأمین‌کنندگان، مشخص شود.

کلیدواژه‌ها: انتخاب تأمین‌کننده؛ برنامه‌ریزی چندهدفه فازی وزن‌دار؛ خرید بهینه؛
تحلیل سلسله‌مراتبی فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۴/۲۴.

* استادیار، دانشگاه خلیج فارس.

** دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس (نویسنده مسئول).

E-mail: peykam.alireza67@gmail.com

۱. مقدمه

هزینه تأمین مواد اولیه و قطعات ترکیبی از طریق فروشندگان، بخش قابل توجهی از هزینه تمام‌شده کالاها را تشکیل می‌دهد. به‌طور متوسط ۷۰ درصد ارزش محصول نهایی کارخانه‌ها را هزینه خرید مواد خام و خدمات دریافتی از بیرون تشکیل می‌دهد [۱۶]. این نسبت در شرکت‌هایی با فناوری بالا، حتی به ۸۰ درصد نیز می‌رسد [۹]؛ از این‌رو انتخاب فروشندگان برای شرکت‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. انتخاب تأمین‌کننده، تأثیر قابل توجهی بر بهینه‌سازی کیفیت، کمیت، ارسال به‌موقع و قیمت کالاها و خدمات خریداری‌شده دارد [۱۴، ۲۹]. به‌طور کلی می‌توان گفت که مسئله انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) است [۲۴]. زیرا لازم است تا تأمین‌کنندگان بر اساس بیش از یک شاخص یا معیار با یکدیگر مقایسه شوند؛ از سویی دیگر به‌منظور رعایت اهداف چندگانه در این نوع مسائل که مدیران را درگیر پاسخگویی به سهام‌داران و هیئت‌مدیره می‌کند، می‌توان اهداف متعددی را برای آنها در نظر گرفت [۱۹]. در این مقاله سعی شده با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه، مقدار مناسب خرید از هر تأمین‌کننده مشخص شود. از طرفی در شرایط واقعی، ارزیابی تأمین‌کننده با استفاده از اعداد دقیق و قطعی، در همه شاخص‌ها به دلیل ادراکات، قضاوت‌ها، بینش و ترجیحات انسانی [۱۰] و نیز نبود اطلاعات دقیق و کامل همواره ممکن نیست؛ بنابراین یکی از راهکارهای مناسب، ارزیابی با داده‌های فازی است. در این مقاله با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه فازی به تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان پرداخته شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبانی نظری فراوانی در حوزه انتخاب تأمین‌کننده و مدل‌های تصمیم‌گیری در مورد آن وجود دارد. در میان روش‌های کمی، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به‌طور وسیع برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده استفاده می‌شوند. این مطالعه بر مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه فازی برای انتخاب تأمین‌کننده تأکید دارد. بعد از اینکه وبر و کورنت^۱ (۱۹۹۳) «مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی چندهدفه» را برای انتخاب تأمین‌کننده معرفی کرده و با استفاده از آن به تأمین‌کنندگان تخصیص سفارش کردند، چندی دیگر از پژوهشگران نیز مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه را برای این مسئله ارائه دادند [۳۳]. رضایی و داوودی (۲۰۱۰) دو مدل غیرخطی عدد صحیح ترکیبی چندهدفه را برای مسائل اندازه‌انباشته چنددوره‌ای شامل چند محصول و چند تأمین‌کننده، توسعه دادند. هر مدل شامل سه تابع هدف اصلی [هزینه، کیفیت و سطح خدمت] و یک مجموعه از محدودیت‌ها است. هزینه‌های کلی شامل هزینه‌های خرید، سفارش، نگهداری [و برگشت

سفارش] و حمل‌ونقل است. هزینه سفارش به نظر، یک تابع وابسته «فراوانی سفارش» است. درحالی‌که کیفیت و سطح سرویس کل به‌عنوان توابع وابسته به زمان دیده می‌شوند. آنها با در نظر گرفتن پیچیدگی این مدل‌ها از یک سو و قابلیت الگوریتم ژنتیک از سوی دیگر، برای دستیابی به یک مجموعه جواب بهینه پارتو، یک الگوریتم ژنتیک با رویکردی نوآورانه برای حل مدل‌ها به کار بردند. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که در یک حل برگشت سفارش، خریداران قادرند اهدافشان را در مقایسه با حل‌هایی که در آن کمبودی وجود ندارد، بهتر بهینه کنند [۲۸].

آمید^۱ و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل چندهدفه فازی بیشینه - کمینه وزن‌دار برای تکمیل مدلی که خود برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در سال ۲۰۰۹ ارائه داده بودند، پیشنهاد کردند. مدل فعلی آنها عدم دقت داده‌ها و اهمیت تفاوت داده‌های کمی / کیفی را در نظر می‌گیرد [۴]. امین^۲ و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل استراتژیک برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه داده‌اند که شامل دو مرحله است. در مرحله اول، منطق فازی با الگوریتم SWOT اندازه‌گیری و ادغام شده است و در مرحله دوم، خروجی الگوریتم SWOT به‌عنوان ورودی برای یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی به‌منظور تعیین مقدار سفارش به‌کاربرده شده است [۵]. کیو^۳ و همکاران (۲۰۱۰) در مسئله انتخاب تأمین‌کننده، از روش «برنامه‌ریزی آرمانی فازی» استفاده کردند که در آن، استراتژی‌های زنجیره تأمین تولید برای این مسئله در نظر گرفته شده است [۱۸]. جولایی و همکاران (۲۰۱۰) از روش برنامه‌ریزی آرمانی برای ایجاد یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی چندهدفه به‌منظور تعیین مقدار سفارش به هر تأمین‌کننده انتخاب‌شده، استفاده کردند [۱۷]. سونرکارا^۴ (۲۰۱۱) روش TOPSIS فازی را برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در محیط نامعین به‌کاربرده و سپس با استفاده از «مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای»، مقدارهای سفارش تحت شرایط عدم اطمینان در تقاضا را برای هر کدام از تأمین‌کنندگان تعیین کرده است [۳۰]. در جدول ۱ تعدادی از مدل‌های فازی برنامه‌ریزی چندهدفه برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده در مبانی نظری مشاهده می‌شود.

1. Amid
2. Amin
3. Ku
4. Soner Kara

جدول ۱. پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه برنامه‌ریزی چندهدفه فازی

ردیف	رویکردها	منبع فازی سازی	مراجع
۱	رویکرد بیشینه - کمینه زیمرمن ^۱	سطح‌های آرمانی فازی برای توابع هدف و یا مقدارهای فروشنده به‌عنوان اعداد سمت راست	[۳۳، ۲۷، ۲۰، ۱۹]
۲	مدل جمعی وزن‌دار تیواری ^۲ و همکاران	سطح‌های آرمانی فازی برای توابع هدف و/ یا تقاضای فازی به‌عنوان یک ثابت سمت راست یا مقادیر فروشنده به‌عنوان اعداد سمت راست	[۳۷، ۳۱، ۳۲، ۱۸، ۳، ۲]
۳	برنامه‌ریزی هدف فازی با وزن‌دهی (نمایش سنتی)	سطح‌های آرمانی فازی برای توابع هدف	[۲۳]
۴	برنامه‌ریزی فازی با عملگر اصلاح‌شده	سطح‌های آرمانی فازی برای توابع هدف، بیشینه ظرفیت فروشنده و مقدار بودجه تخصیص داده‌شده به فروشندگان به‌عنوان عدد سمت راست	[۱۳]
۵	برنامه‌ریزی غیرخطی متوالی	پارامترهای مدل فازی به‌عنوان ضرایب تابع هدف و ثابت‌های سمت راست	[۳۶]
۶	مدل بیشینه-کمینه تکمیلی لای و هوانگ ^۳	سطح‌های آرمانی فازی برای توابع هدف و سطح تقاضا به‌عنوان اعداد سمت راست	[۷]

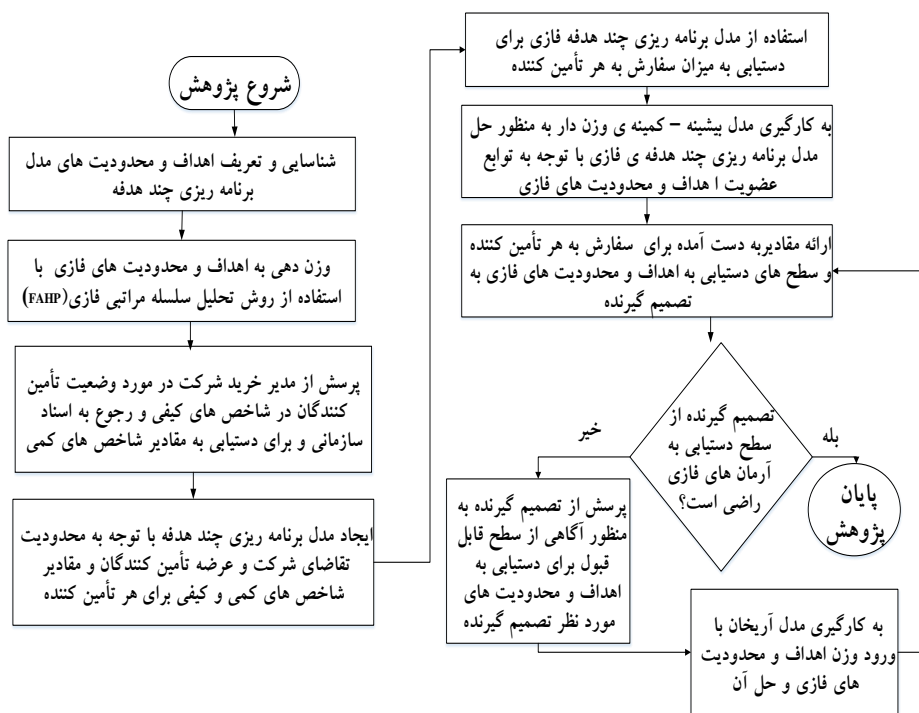
۳. روش‌شناسی پژوهش

با توجه به اینکه شیوه پژوهش حاضر کاربردی - میدانی است، از یک مطالعه موردی استفاده شده است؛ به این منظور، پس از در نظر گرفتن اهداف فازی کمینه‌کردن قیمت و بیشینه‌کردن کیفیت و تحویل به‌موقع و محدودیت تقاضای شرکت به‌عنوان محدودیت فازی و محدودیت ظرفیت تأمین‌کننده به‌عنوان محدودیت قطعی، اقدام به توزیع پرسش‌نامه مرسوم AHP بین شش خبره دانشگاهی صاحب‌نظر در این زمینه شده و پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) و رویکرد تجزیه و تحلیل توسعه‌ای چانگ، به‌منظور دستیابی به اوزان شاخص‌ها استفاده می‌شود. در مرحله بعد به طراحی مدل برنامه‌ریزی چندهدفه با استفاده از مقادیر شاخص‌های کیفی و کمی مربوط به تأمین‌کنندگان و محدودیت‌های تقاضای شرکت و عرضه تأمین‌کنندگان پرداخته می‌شود.

برای حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه در این پژوهش از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی و روش بیشینه - کمینه با توجه به توابع عضویت اهداف و محدودیت‌های فازی استفاده شده و خروجی FAHP که اوزان شاخص‌هاست در تابع هدف مدل بیشینه - کمینه قرار داده می‌شود و

1. Zimmerman
2. Tivari
3. Lai & Hwang

به عبارتی ضربی برای برآورده شدن اهداف و محدودیت‌ها در تابع هدف مدل فازی تعریف می‌شود. با حل این مدل مقدار سفارش تعیین شده برای هر تأمین کننده و سطح دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد. با فرض اینکه تصمیم‌گیرنده از سطح‌های دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی راضی نشده باشد، میزان سطح دستیابی به اهداف و محدودیت‌های موردنظر تصمیم‌گیرنده به صورت محدودیت در مدل ارائه شده در پژوهش که مدل آریخان با در نظر گرفتن وزن اهداف و محدودیت‌هاست، قرار داده می‌شود. اگر سطح‌های دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی موردقبول تصمیم‌گیرنده قرار گرفت، فرآیند حل به پایان می‌رسد در غیر این صورت سطح‌های دستیابی قابل قبول مجدداً از تصمیم‌گیرنده پرسش شده و مدل مجدداً اجرا می‌شود. این فرآیند تا زمانی که تصمیم‌گیرنده به سطح‌های موردنظرش در اهداف و محدودیت‌ها برسد، ادامه دارد. با اجرای این مدل، میزان سفارش تعیین شده برای هر تأمین کننده با در نظر گرفتن ارجحیت تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. مراحل انجام پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP). روش FAHP با ترکیب AHP ساعتی و «نظریه مجموعه فازی» توسعه داده شد. این روش برای انتخاب یک گزینه و تصدیق مسائل به‌وسیله ادغام مفاهیم مجموعه فازی و تجزیه و تحلیل ساختار سلسله‌مراتبی طراحی شد. ایده اساسی AHP، دریافت دانش خبرگان نسبت به پدیده مورد مطالعه است. کاربرد روش فازی به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد، داده‌های کمی و کیفی را در مدل تصمیم‌گیری ادغام کند. با وجود این AHP سنتی قادر به انعکاس درست فرآیندها نیست؛ به‌ویژه در شرایطی که مسائل تعریف نشده‌اند یا حل آن مستلزم عدم اطمینان در داده است. برای جبران این نقص، چانگ (۱۹۹۶) روشی با عنوان «روش تحلیل توسعه‌ای برای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی» پیشنهاد کرد. در این پژوهش از دیدگاه FAHP مطابق با روش تجزیه و تحلیل توسعه‌ای چانگ برای ارائه قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود تا عوامل مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده اولویت‌بندی و وزن دهی شوند. در این بررسی، مقایسات تصمیم‌گیرنده با واژه‌های زبان‌شناسی توصیف‌شده و با اعداد فازی بیان می‌شود که اعداد مربوط به آن برای بیان مقایسات زوجی بین زیرمعیارها استفاده شده است (جدول ۲).

جدول ۲. تابع عضویت متغیرهای زبانی تعیین وزن معیارها [۱۲]

ارجحیت سطر به سطر			ارجحیت سطر به ستون			
متغیر زبانی			متغیر زبانی			
عدد فازی معادل			عدد فازی معادل			
۱	۱	۱	اهمیت یکسان	۱	۱	اهمیت یکسان
۰/۳۷	۰/۵	۰/۷۵	یکسان تا نسبتاً مهم‌تر	۱/۳۳	۲	۲/۶۷
۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۴۳	نسبتاً مهم‌تر	۲/۳۳	۳	۳/۶۷
۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۳۰	نسبتاً تا بسیار مهم‌تر	۳/۳۳	۴	۴/۶۷
۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۳	بسیار مهم‌تر	۴/۳۳	۵	۵/۶۷

به‌منظور استفاده از روش FAHP، برای تجمیع نظرات خبرگان باید از عناصر ماتریس مقایسه، میانگین هندسی گرفته شود؛ سپس برای به‌کارگیری روش تحلیل توسعه‌ای چانگ، برای هر یک از سطرهای ماتریس زوجی، ارزش S_k که خود یک عدد فازی مثلثی است، به‌صورت زیر محاسبه شود.

$$S_K = \sum_{j=1}^n M_{ij} \otimes \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن k نشان‌دهنده شماره سطر و i و j به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها هستند. در این روش پس از محاسبه S_k ها باید درجه بزرگی آنها نسبت به یکدیگر را به دست آورد؛ به‌طور کلی اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 بر M_2 به صورت زیر تعریف می‌شود:

اگر $M_1 \geq M_2$ باشد:

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 & \text{رابطه (۲)} \\ V(M_1 < M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) & \text{رابطه (۳)} \end{cases}$$

در غیر این صورت:

$$hgt(M_1 \cap M_2) = \frac{U_1 - L_2}{(U_1 - L_2) + (m_2 - m_1)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

میزان بزرگی (V) یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) = \\ \text{Min}[V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_k)] \end{aligned} \quad \text{رابطه (۵)}$$

همچنین برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسات زوجی به صورت زیر عمل می‌شود:

$$w'(x_i) = \min\{V(S_i \geq S_k)\}, k = 1, 2, 3, \dots, n, k \neq i \quad \text{رابطه (۶)}$$

بنابراین بردار وزن شاخص‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$w' = [w'(x_1), w'(x_2), \dots, w'(x_n)]' \quad \text{رابطه (۷)}$$

که همان بردار ضرایب غیربهنجار است. برای به دست آوردن بردار هنجار:

$$w(x_k) = \frac{w'(x_k)}{\sum_{k=1}^n w'(x_k)} \quad \text{رابطه (۸)}$$

این مراحل برای تمام جدول‌ها انجام شده تا وزن‌های بهنجار شده آنها نیز به دست آید [۱].

تعیین سفارش بهینه به کمک برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه. مسئله انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره [چندهدفه] است و بیشتر مدل‌های برنامه‌ریزی که به این منظور تهیه شده‌اند، رویکردی چندمعیاره دارند. یک مدل عمومی ریاضی که با تغییرات مختصری در بسیاری از پژوهش‌ها [۳۴، ۳۵] به کار رفته، به صورت زیر است:

$$\text{Min}(z_1) = \sum_{i=1}^n p_i(x_i) \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\text{Max}(z_2) = \sum_{i=1}^n F_i(x_i) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$\text{Max}(z_3) = \sum_{i=1}^n S_i(x_i) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

S.t.

$$\sum_{i=1}^n x_i = D \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$x_i \leq C_i \quad \text{for all } i = 1, \dots, n \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$x_i \geq 0 \quad \text{and integer} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

در مدل بالا، i تأمین‌کننده i ام ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)، X_i تعداد واحدهای خریداری شده از تأمین‌کننده i ، D تقاضای کل در طول یک دوره ثابت، n تعداد تأمین‌کننده، P_i هزینه خرید هر واحد از تأمین‌کننده i ام، F_i درصد واحدهای قابل قبول دریافت شده از تأمین‌کننده i ام، S_i در صد دریافت‌های به موقع از تأمین‌کننده i ام و C_i ظرفیت تأمین‌کننده i ام است. در روابط بالا تابع هدف اول (۹) هزینه مالی کل را کمینه می‌کند و توابع هدف دوم (۱۰) و سوم (۱۱) به ترتیب کیفیت کل واحدهای خریداری شده و سطح خدمت واحدهای خریداری شده و نرخ تحویل به موقع محصول از تأمین‌کنندگان را بیشینه می‌کنند. همچنین محدودیت اول (۱۲) اطمینان می‌دهد که تقاضای کل برآورده می‌شود. محدودیت دوم (۱۳) به این معنی است که کمیت سفارش از هر تأمین‌کننده باید برابر یا کمتر از ظرفیت آن باشد و محدودیت سوم (۱۴) سفارش‌های منفی را حذف می‌کند. در این مطالعه، سطح‌های آرمانی برای اهداف و محدودیت‌های فازی در نظر گرفته می‌شود. برای حل مسئله بالا می‌توان از روش‌های حل مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه مانند روش‌های «نظریه مطلوبیت»، «برنامه‌ریزی آرمانی»، «برنامه‌ریزی فازی» و یا «روش‌های تعاملی» استفاده کرد که در این مقاله به روش‌های برنامه‌ریزی فازی اشاره می‌شود. در حالت کلی اهداف تعریف شده در رابطه با یکدیگر در تعارض هستند؛ به عبارت دیگر نمی‌توان جوابی برای

مسئله پیدا کرد که در آن همه اهداف بهینه شوند. برای حل چنین مسائلی از روش‌های «تصمیم‌گیری چندمعیاره پیوسته» (MODM) می‌توان استفاده کرد [اگر جواب‌های قابل قبول مسئله غیرقابل شمارش باشند، مسئله چندهدفه پیوسته نامیده می‌شوند].
مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی لای و هوانگ. لای و هوانگ (۱۹۹۳) فرض کردند که ضرایب غیرقطعی، توزیع مثلثی دارند. در این حالت مدل عمومی عبارت است از: L تابع هدف فازی و S محدودیت فازی [۲۱].

رابطه (۱۵) $Find\ x$

$S.t.$

$$c_k x \geq z_k, \quad k \in I_1 \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$c_k x \leq z_k, \quad k \in I_2 \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$a_r x \cong b_r, \quad r \in T \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$x \in X \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

که $I_1 \cup I_2 = \{1, 2, \dots, l\}$, $I_1 \cap I_2 = \emptyset$ و X مجموعه‌ای از محدودیت‌های خطی قطعی و قیدهای علامت است.

$$c_k x = \sum_{i=1}^n c_{ki} x_i \quad k = 1, \dots, l \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$a_r x = \sum_{i=1}^n a_{ri} x_i \quad r = 1, \dots, s \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

برای $k \in I_{1,2}$ ، Z_k سطح آرمانی نادقیق برای k امین تابع هدف است. $Z_k \in [Z_k^L, Z_k^U]$ به ترتیب مرزهای پایین و بالای آرمانی برای k امین تابع هدف فازی و $b_r \in [b_r^L, b_r^U]$ نیز به ترتیب مرزهای پایین و بالای آرمانی برای r امین محدودیت فازی هستند. طبق برنامه‌ریزی ریاضی فازی، هر هدف و محدودیت فازی در ضوابط زیرمجموعه‌ها و با توابع عضویت مناسب تعریف می‌شوند که به ترتیب با $\mu_K(C_K X)$ برای $K \in I_{1,2}$ و $\mu_r(\alpha_r X)$ برای $r \in T$ مشخص می‌شوند. در این مدل تمامی ضرایب، چه در تابع هدف و چه در ضرایب فنی و منابع، غیرقطعی هستند. برای حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی، رهیافت‌های مختلفی وجود دارد که در این مقاله به مدل‌های جمعی، مدل بیشینه-کمینه لای و وانگ و مدل آریخان اشاره شده و مطلوبیت

به‌دست‌آمده از حل مدل‌های جمعی فازی و بیشینه - کمینه با مطلوبیت مدل آریخان [با در نظر گرفتن نظر تصمیم‌گیرنده] مقایسه می‌شود. با فرض اینکه توابع عضویت خطی هستند، تعریف‌های ریاضی به صورت زیر خواهند بود:

$$\mu_k(c_k x) = \begin{cases} 1 & \text{if } c_k x \geq z_K^U \\ \frac{(c_k x) - z_K^L}{z_K^U - z_K^L} & \text{if } z_K^L \leq c_k x \leq z_K^U, \forall k \in I_1 \\ 0 & \text{if } c_k x \leq z_K^L \end{cases} \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$\mu_k(c_k x) = \begin{cases} 1 & \text{if } c_k x \leq z_K^L \\ \frac{z_K^U - (c_k x)}{z_K^U - z_K^L} & \text{if } z_K^L \leq c_k x \leq z_K^U, \forall k \in I_2 \\ 0 & \text{if } c_k x \geq z_K^L \end{cases} \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$\mu_r(a_r x) = \begin{cases} 0 & \text{if } c_k x \leq z_K^L \\ \frac{a_r x - b_r^L}{b_r - b_r^L} & \text{if } b_r^L \leq a_r x \leq b_r \\ \frac{b_r^U - (a_r x)}{b_r^U - b_r} & \text{if } b_r \leq a_r x \leq b_r^U \\ 0 & \text{if } a_r x \geq b_r^U \end{cases} \quad \forall r \in T \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

معادله (۲۲) افزایش خطی یکنواخت تابع عضویت $\mu_k(C_k X)$ برای بیشینه‌کردن اهداف با سطح‌های آرمانی فازی و معادله (۲۳) کاهش خطی یکنواخت تابع عضویت $\mu_k(C_k X)$ برای کمینه‌کردن اهداف با سطح‌های آرمانی فازی را نشان می‌دهد. معادله (۲۴) نیز تابع عضویت مثلثی $\mu_r(\alpha_r X)$ برای محدودیت‌هاست. Z_K^U برای توابع هدف بیشینه و Z_K^L برای توابع کمینه با حل مسئله چندهدفه به صورت یکسری مسائل تک‌هدفه [مسائل برنامه‌ریزی خطی معمولی] با استفاده از یک هدف و حذف دیگر اهداف در هر بار حل به دست آورده خواهد شد [بهترین مقادیر] و سپس با تبدیل تابع هدف بیشینه به کمینه و همچنین کمینه به بیشینه و حل مجدد مدل‌ها به صورت مستقل، بدترین جواب برای توابع هدف به دست می‌آید. در واقع با این کار مرز منطقه موجه مشخص می‌شود [۲۶].

مدل بیشینه - کمینه وزن‌دار. چن و تاسی (۲۰۰۱) نشان دادند که گاهی، به دلیل وزن زیاد برخی اهداف، سطح‌های دستیابی به اهداف، ممکن است متناظر با نسبت تعیین‌شده برای وزن‌ها نباشد؛ اگر این موضوع برای تصمیم‌گیرنده حائز اهمیت باشد، از روش بیشینه - کمینه وزن‌دار

استفاده می‌شود [۱۱]. مدل بیشینه-کمینه وزن‌دار، رویکردی برای حل مدل چندهدفه فازی است. در این مدل W_k و β_r به ترتیب وزن اهداف و محدودیت‌های فازی هستند. در این روش وزن اهداف در تابع هدف لحاظ شده که ضریبی برای برآورده شدن اهداف نیز هست. این مدل به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۱، ۲۲، ۲۵]:

$$\max \lambda + \left\{ \sum_{k=1}^l w_k \mu_k(c_k, x) + \sum_{r=1}^s \beta_r \mu_r(a_r, x) \right\} / (l + S) \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

S.t

$$\lambda \leq \mu_k(c_k, x), \quad k = 1, 2, \dots, l \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

$$\lambda \leq \mu_r(a_r, x), \quad r = 1, 2, \dots, s \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

$$\sum_{j=1}^l w_k + \sum_{r=1}^s \beta_r = 1 \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

$$w_k, \beta_r \geq 0 \quad \text{رابطه (۲۹)}$$

$$\lambda \in [0, 1] \quad \text{رابطه (۳۰)}$$

$$x \in X \quad \text{رابطه (۳۱)}$$

در معادله بالا λ کمینه درجه رضایت است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\min_{k,r} \{ \mu_k(c_k, x), \mu_r(a_r, x) \}, \quad \text{رابطه (۳۲)}$$

for $k = 1, 2, \dots, l; r = 1, 2, \dots, s$.

مدل فازی آریخان. آریخان (۲۰۱۳) در مدل خود نظرات و ارجحیت تصمیم‌گیرنده را نیز در حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی لای و وانگ در نظر می‌گیرد. مدل ارائه شده توسط او به صورت زیر است [۶]:

$$\max \lambda + \left\{ \sum_{k=1}^l \mu_k(c_k, x) + \sum_{r=1}^s \mu_r(a_r, x) \right\} / (l + S) \quad \text{رابطه (۳۳)}$$

S.t

$$\lambda \leq \mu_k(c_k, x), \quad k = 1, 2, \dots, l \quad \text{رابطه (۳۴)}$$

$$\lambda \leq \mu_r(a_r, x), \quad r = 1, 2, \dots, s \quad \text{رابطه (۳۵)}$$

$$\mu_k(c_k, x) \geq \alpha_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad \text{رابطه (۳۶)}$$

$$\mu_r(a_r, x) \geq \alpha_r, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad \text{رابطه (۳۷)}$$

$$\alpha_r, \alpha_k, \lambda \in [0, 1] \quad \text{رابطه (۳۸)}$$

$$x \in X \quad \text{رابطه (۳۹)}$$

λ کمینه درجه رضایت (۱۹) و α_k و α_r به ترتیب کمینه سطح‌های دستیابی قابل قبول برای هدف K ام و محدودیت l ام هستند که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شوند. در واقع حدی برای اهداف و محدودیت‌ها مشخص می‌شود.

مدل ارائه‌شده پژوهش. ایراد مدل آریخان این است که این مدل وزنی برای اهداف و محدودیت‌ها، قبل از حل مدل، در نظر نمی‌گیرد؛ به عبارت دیگر این مدل اولویتی برای برآورده شدن اهداف در نظر نگرفته و اهداف و محدودیت‌ها را دارای وزن و اهمیت یکسان در نظر می‌گیرد. در این مقاله با ارائه و توسعه مدل آریخان، مدل وزن‌داری ارائه می‌شود که علاوه بر در نظر گرفتن ترجیحات تصمیم‌گیرنده، بتواند اولویت و اهمیت شاخص‌ها را نیز در نظر بگیرد. مدل ارائه‌شده پژوهش به صورت زیر است:

$$\max \lambda + \left\{ \sum_{k=1}^l w_k \mu_k(c_k, x) + \sum_{r=1}^s \beta_r \mu_r(a_r, x) \right\} / (l + S) \quad \text{رابطه (۴۰)}$$

S.t.

$$\lambda \leq \mu_k(c_k, x), \quad k = 1, 2, \dots, l \quad \text{رابطه (۴۱)}$$

$$\lambda \leq \mu_r(a_r, x), \quad r = 1, 2, \dots, s \quad \text{رابطه (۴۲)}$$

$$\mu_k(c_k, x) \geq \alpha_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad \text{رابطه (۴۳)}$$

$$\mu_r(a_r, x) \geq \alpha_r, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad \text{رابطه (۴۴)}$$

$$\sum_{k=1}^l w_k + \sum_{r=1}^s \beta_r = 1, \quad w_k, \beta_r \geq 0 \quad \text{رابطه (۴۵)}$$

$$\alpha_r, \alpha_k, \lambda \in [0, 1] \quad \text{رابطه (۴۶)}$$

$$x \in X \quad \text{رابطه (۴۷)}$$

در مدل پژوهش λ کمینه درجه رضایت (رابطه ۳۳)، α_k و α_r به ترتیب کمینه سطح‌های دستیابی قابل قبول برای هدف K ام و محدودیت l ام و w_k و β_r به ترتیب وزن اهداف و محدودیت‌های فازی هستند که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شوند.

با نگاهی به راهبرد این‌گونه مدل‌ها مشخص می‌شود که چگونه یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه به یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی تبدیل شده و هر تابع هدف فازی به وسیله تابع عضویت آن مشخص و به صورت یک محدودیت تعریف می‌شود. بهینه‌کردن تابع هدف به صورت محدودیت در یک محیط فازی، درست همانند یک محیط غیرفازی است که در آن، تابع هدف با توجه به محدودیت‌ها بهینه می‌شود. تصمیم در محیط فازی، فصل مشترک محدودیت‌های فازی و توابع هدف فازی است؛ بنابراین رابطه بین محدودیت‌ها و هدف‌ها در یک محیط فازی کاملاً متقارن است [۸].

مورد مطالعه. به منظور نمایش کارایی و سودمندی روش پیشنهادی در یک مثال عددی، از یک مطالعه موردی استفاده شده است. مورد مطالعه در این مقاله یک کارخانه سازنده در و پنجره‌های دو و سه‌جداره در شهر بوشهر است. کارخانه، مواد اولیه موردنیاز خود را از سه تأمین‌کننده به نام «هونام» (A₁)، «زیگینیا آلمان» (A₂) و «یراق گستر» (A₃) خریداری می‌کند. در این مقاله با در نظر گرفتن معیارهای قیمت، کیفیت و تحویل به موقع و با توجه به محدودیت‌های تقاضای کارخانه و ظرفیت تأمین‌کنندگان، مقدار خرید از هر تأمین‌کننده مشخص می‌شود. اطلاعات تأمین‌کنندگان کارخانه در جدول ۳ نشان داده شده است [اعداد مرزی برای اهداف، با حل مدل بیشینه و مدل کمینه معمولی به دست می‌آید].

جدول ۳. اطلاعات تأمین‌کنندگان

تأمین‌کنندگان	قیمت	کیفیت (%)	تحویل به موقع (%)	ظرفیت تأمین‌کننده
هونام (A ₁)	۸۰	۷۰	۹۰	۲۵۰۰
زیگینیا (A ₂)	۹۰	۹۰	۷۰	۳۰۰۰
یراق گستر (A ₃)	۷۰	۸۰	۸۰	۳۵۰۰

در پژوهش حاضر، وزن شاخص‌های قیمت، کیفیت، تحویل به موقع و تقاضای تأمین‌کننده که به عنوان اهداف و محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی چندهدفه پژوهش هستند، از طریق روش FAHP و با رویکرد روش تجزیه و تحلیل توسعه‌ای چانگ به دست می‌آید. به منظور دستیابی به وزن اهداف و محدودیت‌های فازی، پرسش‌نامه مرسوم AHP بین شش خبره دانشگاهی و صنعت توزیع شد. پس از انجام محاسبات روش FAHP، وزن شاخص‌ها به صورت جدول ۴ گزارش می‌شود.

جدول ۴. وزن اهداف و محدودیت‌های فازی (وزن شاخص‌ها)

شاخص	قیمت	کیفیت	تحویل به موقع	تقاضای تأمین کننده
وزن	۰/۴۱۵	۰/۳۸۰	۰/۱۳۰	۰/۰۷۵

حال اگر شرکت مایل باشد بداند با توجه به تقاضای خود و ظرفیت تأمین کنندگان، به چه میزان از هر تأمین کننده خریداری کند تا مطلوبیتش بیشینه شود؛ برای حل، گام‌های زیر باید طی شود.

گام ۱: مدل انتخاب تأمین کننده چندهدفه فازی با توجه به رابطه (۱۴) به صورت زیر است

$$\text{Find } x_1, x_2, x_3 \quad \text{رابطه (۴۸)}$$

S.t.

$$80x_1 + 90x_2 + 70x_3 \leq z_1 \quad \text{رابطه (۴۹)}$$

$$0.7x_1 + 0.9x_2 + 0.8x_3 \leq z_2 \quad \text{رابطه (۵۰)}$$

$$0.9x_1 + 0.7x_2 + 0.8x_3 \leq z_3 \quad \text{رابطه (۵۱)}$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 5000 \quad \text{رابطه (۵۲)}$$

$$x_1 \leq 2500 \quad \text{رابطه (۵۳)}$$

$$x_2 \leq 3000 \quad \text{رابطه (۵۴)}$$

$$x_3 \leq 3500 \quad \text{رابطه (۵۵)}$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0 \quad \text{رابطه (۵۶)}$$

گام ۲: در این مرحله مدل‌های تک‌هدفه با استفاده از یک هدف و حذف دیگر اهداف به صورت بیشینه و کمینه به منظور دستیابی به مرزهای اهداف فازی حل می‌شود. مرز اهداف در جدول ۵ مشخص شده است؛ همچنین اعداد فازی مثلثی برای تقاضای فازی نیز به صورت $[۴۵۰۰, ۵۰۰۰, ۵۷۵۰]$ تعریف شده‌اند که بر اساس مصاحبه‌ای که با مدیر خرید کارخانه انجام شد به دست آمده است.

جدول ۵. منطقه موجه اهداف فازی

اهداف	قیمت	کیفیت	تحويل
	Z_1	Z_2	Z_3
Min	۳۶۵۰۰۰	۳۷۵۰	۳۸۴۰
Max	۱۶۷۰۰۰	۴۳۰۰	۴۴۲۰

گام ۳: توابع عضویت مربوط با استفاده از توابع عضویت معرفی شده (رابطه‌های ۲۲، ۲۳ و ۲۴) و با توجه به مرز اهداف ذکر شده در جدول ۵ ایجاد می‌شوند.

گام ۴: مدل بیشینه-کمینه وزن‌دار برای مثال توضیحی با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل شده و حل بهینه فازی به دست آمده است. خلاصه نتایج در جداول ۴ ارائه شده است.

$$\max \lambda + (0.415\lambda_1 + 0.380\lambda_2 + 0.130\lambda_3 + 0.075\lambda_4) / 4 \quad \text{رابطه (۵۷)}$$

$$S.t. \quad \text{رابطه (۵۸)}$$

$$\lambda \leq \lambda_1 \quad \text{رابطه (۵۹)}$$

$$\lambda \leq \lambda_2 \quad \text{رابطه (۶۰)}$$

$$\lambda \leq \lambda_3 \quad \text{رابطه (۶۱)}$$

$$\lambda \leq \lambda_4 \quad \text{رابطه (۶۲)}$$

$$\lambda_1 \leq (430000 - (80x_1 + 90x_2 + 70x_3)) / 65000 \quad \text{رابطه (۶۳)}$$

$$\lambda_2 \leq ((0.7x_1 + 0.9x_2 + 0.8x_3) - 3750) / 550 \quad \text{رابطه (۶۴)}$$

$$\lambda_3 \leq ((0.9x_1 + 0.7x_2 + 0.8x_3) - 3840) / 580 \quad \text{رابطه (۶۵)}$$

$$\lambda_4 \leq (5750 - (x_1 + x_2 + x_3)) / 750 \quad \text{رابطه (۶۶)}$$

$$\lambda_4 \leq ((x_1 + x_2 + x_3) - 4500) / 500 \quad \text{رابطه (۶۷)}$$

$$x_1 \leq 2500 \quad \text{رابطه (۶۸)}$$

$$x_2 \leq 3000 \quad \text{رابطه (۶۹)}$$

$$x_3 \leq 3500 \quad \text{رابطه (۷۰)}$$

$$\lambda, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \in [0, 1]$$

نتایج حل مدل بیشینه - کمینه وزن‌دار در جدول‌های ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است.

جدول ۶. تعداد خرید از هر تأمین‌کننده با حل مدل بیشینه - کمینه وزن‌دار

تعداد خرید از هونام (A_1)	X_1	۱۱۲۸
تعداد خرید از زیگینیا (A_2)	X_2	۵۸۰
تعداد خرید از براق گستر (A_3)	X_3	۳۴۹۹

جدول ۷. سطوح دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی با حل مدل بیشینه - کمینه وزن‌دار

سطح دستیابی به هدف قیمت	$\mu_1(C_1X)$	۰/۶۵۶
سطح دستیابی به هدف کیفیت	$\mu_2(C_2X)$	۰/۶۵۶
سطح دستیابی به هدف تحویل به‌موقع	$\mu_3(C_3X)$	۰/۶۵۶
سطح دستیابی به محدودیت تقاضا	$\mu_1(O_1X)$	۰/۷۲۴

جدول ۸. مقادیر اهداف و محدودیت‌های فازی با حل مدل بیشینه - کمینه وزن‌دار

مقدار تابع هدف کمینه کردن قیمت	۳۸۷۳۷۰
مقدار تابع هدف بیشینه کردن کیفیت	۴۱۱۰/۸
مقدار تابع هدف بیشینه کردن تحویل به‌موقع	۴۲۲۰/۴
مقدار محدودیت برآورده کردن تقاضا	۵۲۰۷

در جدول ۶ تعداد خرید از هر تأمین‌کننده مشخص شده است که تعداد ۱۱۲۸ واحد محصول از A_1 ، ۵۸۰ واحد از A_2 و ۳۴۹۹ واحد از A_3 است. در این حالت همان‌طور که در جدول‌های ۷ و ۸ مشخص است، بودجه‌ای برابر ۳۸۷۳۷۰ واحد برای خرید محصول در نظر گرفته می‌شود که با این بودجه، سطح دستیابی به هدف کمینه کردن قیمت محصولات برابر ۰/۶۵۶ می‌شود درحالی‌که تعداد تقاضای برآورده شده کارخانه برابر ۵۲۰۷ واحد خواهد بود که با این مقدار تقاضا، سطح دستیابی به محدودیت تقاضای کارخانه برابر ۰/۷۲۴ خواهد شد. به‌عبارتی پژوهشگران حدوداً ۶۵ درصد به هدف کمینه کردن قیمت محصولات و ۷۲ درصد برآوردن محدودیت تقاضای کارخانه، نائل شده‌اند.

گام ۵ و ۶: حال اگر تصمیم‌گیرنده با سطح‌های به‌دست‌آمده از مدل بیشینه - کمینه وزن‌دار راضی نشده و خواهان این باشد که سطح دستیابی به تابع هدف قیمت و محدودیت تقاضا کمتر از ۰/۸۰۰ نشود، برای حل این مسئله می‌توان از مدل فازی ارائه‌شده پژوهش با در نظر گرفتن وزن اهداف و محدودیت‌های فازی در مدل آریخان، استفاده کرد.

$$\max \lambda + (0.415\lambda_1 + 0.380\lambda_2 + 0.130\lambda_3 + 0.075\lambda_4) / 4 \quad \text{رابطه (۷۱)}$$

S.t.

- $\lambda \leq \lambda_1$ (رابطه ۷۲)
- $\lambda \leq \lambda_2$ (رابطه ۷۳)
- $\lambda \leq \lambda_3$ (رابطه ۷۴)
- $\lambda \leq \lambda_4$ (رابطه ۷۵)
- $\lambda_1 \leq (430000 - (80x_1 + 90x_2 + 70x_3)) / 65000$ (رابطه ۷۶)
- $\lambda_2 \leq ((0.7x_1 + 0.9x_2 + 0.8x_3) - 3750) / 550$ (رابطه ۷۷)
- $\lambda_3 \leq ((0.9x_1 + 0.7x_2 + 0.8x_3) - 3840) / 580$ (رابطه ۷۸)
- $\lambda_4 \leq (5750 - (x_1 + x_2 + x_3)) / 750$ (رابطه ۷۹)
- $\lambda_4 \leq ((x_1 + x_2 + x_3) - 4500) / 500$ (رابطه ۸۰)
- $x_1 \leq 2500$ (رابطه ۸۱)
- $x_2 \leq 3000$ (رابطه ۸۲)
- $x_3 \leq 3500$ (رابطه ۸۳)
- $\lambda, \lambda_2, \lambda_3, \in [0, 1]$ (رابطه ۸۴)
- $\lambda_1, \lambda_4 \in [0.80, 1]$ (رابطه ۸۵)

نتایج حل مدل پژوهش در جدول‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۹. خرید از هر تأمین‌کننده با حل مدل پژوهش

تعداد خرید از هونام (A_1)	X_1	۱۰۶۴
تعداد خرید از زیگینیا (A_2)	X_2	۵۳۲
تعداد خرید از یراق گستر (A_3)	X_3	۳۵۰۰

جدول ۱۰. سطوح دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی با حل مدل پژوهش

سطح دستیابی به هدف قیمت	$\mu_1(C_1X)$	۰/۸۰۰
سطح دستیابی به هدف کیفیت	$\mu_2(C_2X)$	۰/۴۹۷
سطح دستیابی به هدف تحویل به‌موقع	$\mu_3(C_3X)$	۰/۵۰۰
سطح دستیابی به محدودیت تقاضا	$\mu_1(\alpha_1X)$	۰/۸۷۲

جدول ۱۱. مقدار اهداف و محدودیت‌های فازی با حل مدل پژوهش

مقدار تابع هدف کمینه کردن قیمت	۳۷۸۰۰۰
مقدار تابع هدف بیشینه کردن کیفیت	۴۰۲۳/۶
مقدار تابع هدف بیشینه کردن تحویل به‌موقع	۴۱۳۰
مقدار محدودیت برآورده کردن تقاضا	۵۰۹۶

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

الگوریتم با فرض اینکه تصمیم‌گیرنده راضی شده، با حل بهینه فعلی پایان یافته است. با مقایسه جدول‌های ۶ تا ۱۱، مشخص می‌شود که با اعمال نظر تصمیم‌گیرنده چه تفاوتی در مقدار خرید از تأمین‌کنندگان ایجاد می‌شود؛ همچنین مشخص است که مقدار λ [سطح دستیابی به اهداف و محدودیت فازی] برای هدف کمینه کردن قیمت و محدودیت برآوردن تقاضا برابر خواسته تصمیم‌گیرنده شده است. همان‌طور که در جدول ۱۰ و ۱۱ ملاحظه می‌شود، با تغییر سطح دستیابی به هدف کمینه کردن قیمت از $0/656$ به $0/800$ ، مقدار بودجه خرید کارخانه از 387370 به 378000 تغییر کرده است که نشان می‌دهد پژوهشگران حدود ۸۰ درصد به هدف کمینه کردن قیمت محصولات دست یافته‌اند؛ همچنین مقدار تقاضا نیز از 5207 به 5096 تغییر پیدا کرد که نشان‌دهنده برآورده کردن محدودیت تقاضای کارخانه با مقدار کمتری تقاضا از تأمین‌کنندگان است.

با افزایش سطح دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی ممکن است از سطح دستیابی به اهداف دیگر فازی کم شود که در واقع این هزینه‌ای است که تصمیم‌گیرنده در قبال افزایش سطح دستیابی به اهداف موردنظرش باید متحمل شود. در جدول ۱۰ مشخص است که سطح دستیابی به هدف بیشینه کردن کیفیت از $0/656$ به $0/497$ و سطح دستیابی به هدف بیشینه کردن تحویل به‌موقع از $0/656$ به $0/500$ کاهش یافته است؛ همچنین با این اعمال نظر مقدار خرید از هر تأمین‌کننده تغییر می‌یابد. با مقایسه جدول‌های ۶ و ۹ مشخص می‌شود که در مدل بیشینه - کمینه وزن‌دار مقدار خرید از A_1 ، 1128 واحد بوده است که با اعمال نظر تصمیم‌گیرنده به 1064 واحد، مقدار خرید از A_2 از 580 به 532 واحد و مقدار خرید از A_3 از 3499 به 3500 واحد تغییر پیدا کرده است.

اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده. به منظور اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده در این پژوهش، مدل ارائه‌شده با داده‌هایی که آریخان مدل خود را با آن آزموده است، آزمون و اعتبارسنجی می‌شود. داده‌های استفاده‌شده توسط آریخان در جدول ۱۲ آورده شده است:

جدول ۱۲. داده‌های مورد استفاده برای آزمایش مدل پژوهش

تأمین کنندگان	قیمت	کیفیت (%)	تحويل به موقع (%)	ظرفیت تأمین کننده
A ₁	۵	۸۰	۹۰	۴۰۰
A ₂	۷	۹۰	۸۰	۴۵۰
A ₃	۴	۸۵	۸۵	۴۵۰

منطقه موجه اهداف نیز با حل مدل‌های تک‌هدفه با استفاده از یک هدف و حذف دیگر اهداف به صورت بیشینه و کمینه به صورت جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۳. منطقه موجه اهداف فازی در مدل آریخان

اهداف	قیمت	کیفیت	تحويل
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
مرزها	Min	۶۶۰	۶۷۵/۵
	Max	۴۹۰۰	۷۰۰

در مدل آریخان، تصمیم‌گیرنده تعیین کرده است که سطح دستیابی به هدف کمینه کردن قیمت و سطح دستیابی به برآوردن محدودیت تقاضا از ۰/۷۵ کمتر نشود؛ همچنین مقدار تقاضای فازی نیز برابر با [۸۷۵, ۸۰۰, ۷۵۰] است. نتایج حل مدل ارائه شده پژوهش با وزنی که از روش FAHP به دست آمد و با استفاده از داده‌های مدل آریخان، در جدول ۱۴ نشان شده است.

جدول ۱۴. مقایسه نتایج حل مدل آریخان و مدل ارائه شده پژوهش با داده‌های یکسان

	مدل پژوهش	مدل آریخان
تعداد خرید از هونام (A ₁)	۴۵۰	۴۵۰
تعداد خرید از زیگینیا (A ₂)	۱۲۳	۱۲۶
تعداد خرید از براق گستر (A ₃)	۲۴۵	۲۴۱
سطح دستیابی به هدف قیمت	۰/۷۵۰	۰/۷۵۱
سطح دستیابی به هدف کیفیت	۰/۶۸۷	۰/۶۷۵
سطح دستیابی به هدف تحويل به موقع	۱/۰۰	۱/۰۰
سطح دستیابی به محدودیت تقاضا	۰/۷۶۰	۰/۷۵۳
مقدار تابع هدف کمینه کردن قیمت	۳۸۸۶	۳۸۸۷
مقدار تابع هدف بیشینه کردن کیفیت	۶۹۸/۲	۶۸۸/۷
مقدار تابع هدف بیشینه کردن تحويل به موقع	۷۰۱/۴	۷۰۰/۲
مقدار محدودیت برآورده کردن تقاضا	۸۱۸	۸۱۷

با مقایسه نتایج حل مدل‌های آریخان و مدل ارائه‌شده پژوهش، مشخص شد که با در نظر گرفتن وزن اهداف و محدودیت‌های فازی در تابع هدف مدل آریخان، تعداد تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان تغییر پیدا می‌کند. ممکن است این تغییر در این مثال کوچک، قابل توجه نباشد؛ اما وقتی هدف صنعتی بزرگ بوده و هر واحد خرید از هر تأمین‌کننده مستلزم صرف هزینه‌های بالایی برای شرکت باشد، اهمیت این تغییرات مشخص می‌شود؛ بنابراین با در نظر گرفتن وزن اهداف و محدودیت‌های فازی و به‌نوعی تعریف اولویتی برای برآورده شدن این اهداف و محدودیت‌ها، نتایج به واقعیت نزدیک‌تر خواهد شد و می‌توان مدل را دارای اعتبار و قابل به‌کارگیری برای صنایع مختلف معرفی کرد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده به‌عنوان مسئله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در نظر گرفته شده است. در مدل انتخاب تأمین‌کننده چندهدفه عمومی، سه تابع هدف به‌عنوان کمینه قیمت، بیشینه کیفیت و بیشینه دریافت به‌موقع به ترتیب با سطح‌های آرمانی و تقاضای فازی برای ساخت مدل ریاضی در نظر گرفته شده و هر پارامتر فازی به‌صورت ریاضی با استفاده از یک تابع عضویت خطی مناسب نشان داده شده است. در این پژوهش از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به‌منظور رسیدن به وزن و اهمیت اهداف و محدودیت‌های فازی استفاده شده است. در گام بعدی این اوزان در مدل برنامه‌ریزی چندهدفه قرار داده شده و با روش حل فازی بیشینه - کمینه وزن‌دار و با در نظر گرفتن محدودیت تقاضا و عرضه تأمین‌کنندگان، مدل اجرا شد. با فرض راضی‌نشدن تصمیم‌گیرنده از جواب‌ها و سطح‌های دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی، مدل ارائه‌شده پژوهش که مدل توسعه‌یافته آریخان است، قادر است نظر و ارجحیت تصمیم‌گیرنده در صورتی که خواستار دستیابی به سطح بالاتری از مطلوبیت در اهداف و محدودیت‌های فازی باشد را در مدل بیشینه - کمینه لحاظ و با در نظر گرفتن وزن و اهمیت اهداف و محدودیت‌های فازی، سطح بالاتری از دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی را در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار دهد؛ البته در نظر گرفتن ارجحیت نظر تصمیم‌گیرنده در مدل در مورد هدف و محدودیت خاصی، سطح دستیابی به اهداف و محدودیت‌های دیگر را کاهش می‌دهد که به‌صورت طبیعی این هزینه‌ای است که تصمیم‌گیرنده برای رسیدن به مطلوبیت بیشتر در اهداف و محدودیت‌های موردنظرش، باید برای اهداف و محدودیت‌های دیگر بپذیرد.

در نهایت می‌توان گفت، مدل ارائه‌شده در این پژوهش در مقایسه با مدل آریخان، وزن و اهمیت شاخص‌ها که در واقع همان اهمیت اهداف و محدودیت‌های فازی است را در نظر گرفته است که می‌تواند در سطح دستیابی به اهداف و محدودیت‌های فازی و همچنین در مقدار سفارش

بهبود به تأمین‌کنندگان تأثیر بگذارد و در نهایت جواب قابل‌اتکاتری به‌دست آید؛ همچنین سعی شده وزن شاخص‌ها، از یک روش علمی به‌دست آورده شود تا بتوان با اطمینان بیشتری به نتایج پژوهش، اتکا کرد.

منابع

۱. آذر، ع؛ رجب‌زاده، ع. (۱۳۸۹). تصمیم‌گیری کاربردی رویکرد MADM. تهران: نگاه دانش، چاپ چهارم.
2. Amid, A, Ghodsypour, S, & O'Brien, C. (2009). A weighted additive fuzzy multi-objective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 121, 323-332.
3. Amid, A, Ghodsypour, S, & O'Brien, C. (2006). Fuzzy multi-objective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 104, 394-407.
4. Amid, A, Ghodsypour, S, & O'Brien, C. (2010). A Weighted max-min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*.
5. Amin, S, Razmi, J, & Zhang, G. (2010). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Expert Systems with Applications*.
6. Arikan, F. (2013). A fuzzy solution approach for multi objective supplier selection. *Expert Systems with Applications*.
7. Arikan, F. (2011). An Augmented Max-min Model For Multiple Objective Supplier Selection. *9th International Congress on Logistics and Supply Chain Management*.
8. Burton, T. (1988). JIT/Repetitive sourcing strategies: tying the knot with your suppliers. *Production and Inventory Management Journal*, 38-41.
9. Carrera, D, & Mayorga, R. (2008). Supply chain management: a modular Fuzzy Inference System approach in supplier selection for new product development. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(1), 1-12.
10. Chen, L, & Wang, T-C. (2009). Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR. *Int. J. Production Economics*, 12, 233-242.
11. Chen, L. & Tasi, F. (2001). Fuzzy Goal Programming with Different Importance and Priorities. *European Journal of Operational Research*, 133, 548-556.
12. Chang, D.Y. (1992). "Extent Analysis and Synthetic Decision, Optimization Techniques and Applications". WorldScientific, Singapore.
13. Díaz-Madroño, M, Peidro, D, Mula, J, & Ferriols, F. (2010). Fuzzy Multiobjective Mathematical Programming Approaches for Operational Transport Planning. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 44(9).
14. Dulmin, R, & Mininno, V. (2003)". Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9, 177-187.
15. Faez, F, Ghodsypour, S, & O'Brien, C. (2009). Vendor selection and order allocation using an integrated fuzzy case-based reasoning and mathematical programming model. *International Journal of Production Economics*, 395-408.
16. Ghobadian, A, Stainer, A, & Kiss, T. (1993). A computerized vendor rating system. *Proceedings of the First International Symposium on Logistics*, 321-328.
17. Jolai, F, Yazdian, S, Shahanaghi, K, & Azari Khojasteh, M. (2010). Integrating fuzzy TOPSIS and multi-period goal programming for purchasing

multiple products from multiple suppliers." *Journal of Purchasing and Supply Management* .

18. Ku, C, Chang, C, & Ho, H. (2010). Global supplier selection using fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy goal programming. *Quality and Quantity*, 44(4), 623 - 640.

19. Kumar, M, Vrat, P, & Shankar, R. (2006)". A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *Int. J. Production Economic*, 273-285.

20. Kumar, M, Vrat, P, & Shankar, R. (2004). A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, 69 – 85.

21. Lai, Y, & Hwang, C. (1993). "Possibilistic linear programming for managing interest rate risk. *Fuzzy Sets and Systems*, 49, 121–133.

22. Lai, Y, & Hwang, C. (1996). Fuzzy multiple objective decision making-methods and applications"

23. Lee, A, Kang, H, & Chang, C. (2009). Fuzzy multiple goal programming applied to TFT-LCD supplier selection by downstream manufacturers. *Expert System with Applications*, 36, 6318-6325.

24. Lin, Y-T, Lin, C-L, Yu, H-C, & Tzeng, G. (2010). A novel hybrid MCDM approach for outsourcing vendor selection: A case study for a semiconductor company in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 37, 4796-4804.

25. Lin, C.-C. (2004). A weighted max–min model for fuzzy goal programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 142, 407–420.

26. Hwang, C., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Heidelberg.

27. Özgen, D, Önüt, S, Gülsün, B, Tuzkaya, U, & Tuzkaya, G. (2008). A two-phase possibilistic linear programming methodology for multi-objective supplier evaluation and order allocation problems. *Information Sciences*, 178, 485-500.

28. Rezaei, J, Davoodi, M. (2010). Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection. *Int. J. Production Economics*, 130.

29. Sarkis, J, Talluri, S, & Gunasekaran, A. (2007). A strategic model for agile virtual enterprise partner selection. *International Journal of Operations and Production Management*, 27, 1213-1234.

30. Soner Kara, S. (2011). Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment. *Expert Systems with Applications*, 38, 2133-2139.

31. Wang, T, Chen, Y, Wang, W, & Su, T. (2010). Analysis of outsourcing cost effectiveness using a linear programming model with fuzzy multiple goals. *International Journal of Production Research*, 48(2), 501-523.

32. Wang, T, & Yang, Y. (2009). A fuzzy supplier selection in quantity discount environment. *Expert System with Applications*, 36, 12179-12187.

33. Weber, C, & Current, J. (1993). A multi-objective approach to vendor selection. *European Journal of Operations Research*, 68.

34. Weber, C, & Current, J. (2002). Theory and Methodology: A multi – objective approach to vendor selection. *European Journal of Operational Research*, 68, 173-184

35. Weber, C, Current, J, & Desia. (2003). Non_cooperative negotiation strategies for vendor selection. *European Journal of Operational Reserch*, 108.
36. Wu, D, Zhang, Y, Wu, D, & Olson, D. (2010). Fuzzy multi-objective programming for supplier selection and risk modeling: A possibility approach. *European Journal of Operations Research*, 200, 774-787.
37. Yucel, A, Guneri, A. (2010). A weighted additive fuzzy programming approach for multi-criteria supplier selection. *Expert Systems with Application*.