پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صص ۱۰۳-۱۲۷
نوع مقاله: پژوهشی

مدل‌سازی مسئله چندهدفه فازی انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی و ریسک خریدار

مجتبی حاجیان حیدری*

استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

چکیده

انتخاب تأمین‌کننده یکی از مسائل کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین است که با استفاده از آن، شرکت‌ها می‌توانند تأمین‌کنندگان مناسب را شناسایی و ارزیابی کنند. اهداف مختلفی در این زمینه می‌تواند در نظر گرفته شود که گاه با یکدیگر در تعارض هستند. از جمله مهم‌ترین این اهداف می‌توان به هزینه، کیفیت و قابلیت اطمینان تأمین‌کننده اشاره کرد. در این مقاله مجموعه تأمین‌کنندگان در قالب یک سیستم در نظر گرفته می‌شود که در نهایت، تأمین‌کنندگان به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که سطح قابلیت اطمینان حداکثر شود، هزینه خرید کمینه شود و سطح سرویس که در قالب کیفیت محصولات دریافتی است، به حداکثر مقدار ممکن برسد. از طرف دیگر، از آنجا که معمولاً در دنیای واقعی دسترسی به اطلاعات دقیق برای ارزیابی تأمین‌کنندگان میسر نیست، از نظریه فازی در مدل‌سازی استفاده شده است. همچنین، مکانیزمی که در عمل توسط تأمین‌کنندگان برای ترغیب خریداران به خرید بیشتر استفاده می‌شود، تخفیف است. در این مقاله مدل‌سازی، با در نظر گرفتن ارائه تخفیف کلی برای محصولات مختلف مورد تقاضای خریدار انجام شده است. علاوه بر این، میزان ریسک‌پذیری خریدار در انتخاب تأمین‌کننده نیز در مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. در نهایت، مدل ارائه شده با در نظر گرفتن حالات مختلف ریسک‌پذیری خریدار حل گردیده و نتایج آن ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: انتخاب تأمین‌کننده، برنامه‌ریزی چندهدفه، تصمیم‌گیری فازی، تحفیف کلی، ریسک.

---

* نویسنده مسئول مقاله E-mail: hajianheidary@atu.ac.ir

۱- مقدمه

گسترش روزافزون زنجیره‌های تأمین و نیز افزایش هزینه‌های تأمین، انتخاب تأمین‌کننده را به یکی از چالشی‌ترین مسائل مدیریت زنجیره‌تامین، تبدیل کرده است. انتخاب نادرست تأمین‌کننده می‌تواند منجر به از بین رفتن منابع مالی و فنی در زنجیره شود [۱]. بخش مهمی از تحقیقات در حوزه انتخاب تأمین‌کننده صرفاً بر هدف کاهش هزینه متمرکز شده‌اند [۲] اما مدل‌سازی تک هدفه برای انتخاب تأمین‌کننده، زنجیره تأمین را در معرض ریسک‌های مختلفی قرار می‌دهد [۳]. خریدار نسبت به میزان ریسک‌پذیری خود می‌تواند از بین تأمین‌کنندگان با ویژگی‌های مختلف، تأمین‌کنندگان مدنظرش را انتخاب نماید. به‌طورکلی، دو روش برای تأمین وجود دارد: منبع‌یابی تکی و منبع‌یابی چندگانه. در منبع‌یابی تکی هر کدام از تأمین‌کنندگان قادر به تأمین نیازهای مشتری است. در منبع‌یابی چندگانه هر یک از تأمین‌کنندگان با محدودیت‌هایی برای برآورده‌سازی نیازهای مشتریان روبه‌رو هستند که قادر به تأمین همه نیازهای مشتری نیستند. در این گونه مسائل علاوه بر انتخاب تأمین‌کننده، میزان کالای سفارش داده شده از هر تأمین‌کننده نیز تعیین می‌شود [۴]. همچنین ارائه تخفیف از طرف تأمین‌کننده برای ترغیب خریداران به خرید بیشتر می‌تواند علاوه بر این که باعث سودآوری بیشتر تأمین‌کننده شود، هزینه‌های خریدار را کاهش دهد.

مسئله انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله با معیارهای چندگانه است [۵]. طاهردوست و برارد[۱] تحلیلی روی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده مورد استفاده در مقالات مختلف ارائه کرده‌اند [۶]. آن‌ها ۲۵ شاخص متداول استفاده شده در انتخاب تأمین‌کننده را بررسی کرده‌اند. از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به معیارهای کیفیت، قیمت اشاره کرد. گاهی اهداف در نظر گرفته شده برای انتخاب تأمین‌کننده با یکدیگر همسو نیستند. از طرف دیگر ممکن است یک تأمین‌کننده در برخی از اهداف برتر باشند اما در سایر اهداف عملکرد بدتری نسبت به سایر تأمین کنندگان داشته باشند. بنابراین در مسئله انتخاب تأمین‌کننده، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

افزایش رقابت پذیری در زنجیره‌های تأمین و اختلال‌هایی که در زنجیره‌های تأمین به وجود می‌آید، نیاز به مدل‌سازی عدم قطعیت در زنجیره تأمین را افزایش داده است. تأمین‌کنندگان اصلی‌ترین منبع ریسک بیرونی به شمار می‌روند [۷]. تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت و ابهام بسیار دشوار است و منطق فازی می‌تواند در این زمینه کمک بسزایی کند [۸]. همچنین احتمالی

تعریف کردن بعضی از پارامترها مانند تقاضا با آنچه در واقعیت رخ می‌دهد، تطابق زیادی دارد. در چنین شرایطی، برآورده شدن تقاضا با یک احتمال معقول برای تصمیم‌گیرنده مطلوبیت دارد. خریدار ریسک‌گریز احتمال برآورده شدن تقاضای مشتری را در بالاترین حد ممکن در نظر می‌گیرد اما خریدار ریسک‌پذیر به منظور کاهش هزینه‌های خرید، برآورده شدن تقاضای مشتری با احتمالات پایین‌تر را می‌پذیرد. یک رویکرد رایج برای حل مسائل فازی یا احتمالی، استفاده از روش‌های غیرفازی کردن و یا روش‌های غیر احتمالی کردن اعداد تصادفی فازی برای دستیابی به مسئله قطعی می‌باشد. یکی از پرکاربردترین تکنیک‌های غیرفازی کردن، روش مرکز ثقل است [۹].

در شرایط عدم قطعیت، شرکت‌ها توجه زیادی به افزایش قابلیت اطمینان زنجیره‌های تأمین خود دارند تا بتوانند به موقع تقاضاهای مشتریان را پوشش دهند. یک زنجیره تأمین کارآ، نیازمند قابلیت اطمینان بالا است. زنجیره تأمین در صورتی قابل اطمینان است که بتواند با وجود اختلال‌های تأمین، عملکرد خوبی داشته باشد [۱۰].

در این مقاله، با فرض وجود تخفیف و تقاضاهای احتمالی، مدل‌سازی مسئله انتخاب تأمین‌کننده در شرایط فازی در حالت چند کالایی انجام شده است. وزن‌های در نظر گرفته شده برای اهداف و محدودیت‌ها به صورت فازی در نظر گرفته شده است. اهداف در نظر گرفته شده در این مسئله شامل حداقل کردن هزینه خرید کالاها، بیشینه کردن کیفیت کالاهای دریافت شده و حداکثر کردن قابلیت اطمینان دریافت سفارش‌ها است. همچنین در مدل‌سازی مسئله از دو اپراتور ترکیب خطی موزون توابع عضویت به عنوان یک تکنیک جبرانی و روش حداکثر-حداقل موزون به عنوان تکنیکی غیرجبرانی استفاده شده است.

سازماندهی بخش‌های باقیمانده مقاله بدین صورت است: در بخش ۲، پژوهش‌های پیشین مرتبط با موضوع مقاله مرور شده‌اند. در بخش ۳، مدل‌سازی ریاضی مسئله ارائه شده است. در بخش ۴، نتایج حل مدل تحلیل مورد بررسی قرار گرفته است. بخش ۵ نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای مطالعات آتی اختصاص داده شده است.

۲- مرور ادبیات

بر اساس مطالعه‌ای که اوکامپو[۲] و همکاران روی مقالات منتشر شده در سال‌های اخیر انجام داده‌اند، یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در حوزه انتخاب تأمین‌کننده، مدل‌سازی مسئله در شرایط عدم قطعیت و تحلیل مسئله به منظور حداکثر کردن قابلیت اطمینان تأمین است

[۱۱]. آن‌ها همچنین پرکاربردترین روش‌های مورد استفاده در این حوزه را تصمیم‌گیری چندمعیاره/ چندهدفه، تصمیم‌گیری فازی و برنامه‌ریزی ریاضی بیان کرده‌اند.

در مسائل انتخاب تأمین‌کننده معمولاً چند هدف متناقض وجود دارد که برنامه‌ریزی چندهدفه را به روشی مناسب برای تحلیل این گونه مسائل تبدیل می‌کند. برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی رویه اصلی در پژوهش‌های انتخاب کننده چندهدفه است [۱۲]. اغلب، در مسائل انتخاب تأمین‌کننده علاوه بر اینکه تأمین‌کننده‌های مناسب تعیین می‌شوند، تصمیمات دیگری از جمله موجودی، میزان تخصیص و... مشخص می‌شود. در ادامه، مطالعات مرتبط با حوزه تصمیم‌گیری چندهدفه فازی در ادبیات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اوزوک و تیریاکی[۳] یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده چندکالایی را در صنعت نساجی در حالت فازی با استفاده از یک برنامه‌ریزی چندهدفه خطی مدل‌سازی و حل کرده‌اند [۱۳]. توابع هدف آن‌ها حداقل کردن هزینه خرید، حداکثر کردن کیفیت سرویس و حداکثر کردن کیفیت کالاها بوده است.

آریکان[۴] یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده چندهدفه را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی بررسی کرده است [۱۴]. سه هدفی که در این مقاله در نظر گرفته شده است عبارت‌اند از: حداقل‌سازی هزینه، حداکثرسازی کیفیت و حداکثرسازی زمان تحویل. در مدل ارائه شده، تقاضا و سطح سرویس به‌صورت فازی در نظر گرفته شده است. ضمناً از تابع عضویت خطی برای تعریف پارامترهای فازی مسئله استفاده شده است. آن‌ها مسئله چندهدفه را با استفاده از اپراتور ترکیب خطی موزون به یک مسئله تک هدفه تبدیل کرده‌اند.

کاظمی و همکاران مسئله چندهدفه انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص را با در نظر گرفتن اهداف فازی مدل‌سازی کرده‌اند [۱۵]. آن‌ها مدل‌سازی خود را در حالت خطی انجام داده‌اند و با استفاده از برنامه‌ریزی فازی آرمانی، مدل خود را حل کرده‌اند. یکی از پیشنهادهای آن‌ها برای مطالعات آتی، در نظر گرفتن تخفیف در مدل‌سازی مسئله است.

بداغی و همکاران یک مدل چندهدفه فازی وزن‌دهی شده را برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه کرده‌اند [۱۶]. مدل آن‌ها علاوه بر انتخاب تأمین‌کننده، تصمیماتی نظیر تخصیص سفارش به تامین‌کنندگان و زمان‌بندی تحویل سفارش‌های مشتریان را نیز پوشش می‌دهد. آن‌ها حداقل‌سازی هزینه و حداکثرسازی انعطاف پذیری تأمین‌کنندگان را به عنوان دو هدف اصلی مسئله خود در نظر گرفته‌اند. همچنین در این تحقیق ادعا شده است که تحقیقات کمی در

حوزه انتخاب تأمین‌کننده با لحاظ کردن عدم قطعیت از نوع احتمالی در مدل‌سازی‌های چندهدفه فازی وجود دارد. آن‌ها در مدل‌سازی خود، تقاضا را دارای توزیع احتمالی نرمال در نظر گرفته‌اند.

حاجی خانی و همکاران یک مدل چندهدفه فازی برای مسئله انتخاب و تخصیص تأمین‌کننده در زنجیره تأمین کالاهای کشاورزی توسعه داده‌اند [۱۷]. آن‌ها ملاحظات مربوط به تخفیف کالاها و پوشش را نیز در مدل‌سازی خود در نظر گرفته‌اند. همچنین آن‌ها به دلیل پیچیدگی زمانی مسئله، برای حل مدل چندهدفه از الگوریتم فراابتکاری NSGA-II و PSO استفاده کرده‌اند. علاوه بر این، آن‌ها پیشنهاد داده‌اند که در مطالعات آتی کاهش اختلال، ریسک و ضایعات لحاظ شود.

همچنین خلیل زاده و همکاران مسئله انتخاب تأمین‌کننده را با درنظر گرفتن پارامترهای فازی مدل‌سازی کرده‌اند [۱۸]. توابع هدف آن‌ها کاهش هزینه خرید، هزینه حمل‌ونقل و افزایش قابلیت تحویل به موقع است. آن‌ها در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تأمین کننده‌ها را به عنوان پیشنهاد خود برای محققان آتی ارائه کرده‌اند.

علاوه بر این در نظر گرفتن تخفیف حجمی به فروشندگان کمک می‌کند تا با ارائه قیمت-های پایین‌تر، حجم مشتریان بیشتری را جذب کنند و فروش بیشتری داشته باشند. از طرف دیگر، ارائه تخفیف منافع اقتصادی برای خریداران در پی دارد. بنابراین می‌توان تخفیف را در زنجیره تأمین به عنوان یک عامل تسهیل‌کننده فروش به شمار آورد. در سیستم‌های مدیریت موجودی، یکی از پرکاربردترین روش‌های اعمال تخفیف، تخفیف کلی است. در تخفیف کلی با افزایش خرید مشتری، قیمت کالا به ازای هر واحد کاهش می‌یابد.

مانربا[5]و همکاران ضمن بررسی یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده دارای ظرفیت محدود در شرایط تحفیف کلی، بر لزوم در نظر گرفتن عدم قطعیت و مدل‌سازی فازی در مکانیزم انتخاب تأمین‌کننده تاکید کرده‌اند [۱۹]. آن‌ها ضمن تصادفی در نظر گرفتن تقاضا، از برنامه‌ریزی تصادفی برای انتخاب تأمین‌کننده بهره برده‌اند. مطالعاتی که مسئله انتخاب تأمین‌کننده را بصورت چندهدفه در حالت فازی و با در نظر گرفتن تخفیف بررسی کرده‌اند، محدود است. در ادامه این مطالعات مرور شده‌اند.

آقایی و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه فازی برای انتخاب تأمین‌کننده در شرایط تخفیف با در نظر گرفتن معیار ریسک ارائه کرده‌اند [۲۰]. آن‌ها در مدل خود برای

برآورده شدن تقاضا از محدودیت‌های احتمالی استفاده کرده‌اند. مدل آن‌ها در حالت تک کالایی بررسی شده است. ناصری و چیتگر یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی چندهدفه را برای انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن تخفیف پیشنهاد داده‌اند [۲۱]. پژوهش آن‌ها متمرکز بر ارائه روشی جدید مبتنی بر برش آلفا برای حداقل کردن فاصله جواب مسئله تا جواب ایده‌آل بوده است. آن‌ها در نظر گرفتن مفروضاتی نظیر احتمالی بودن تقاضا و سایر معیارهای عدم قطعیت را به عنوان نقاط قابل بهبود پژوهش خود عنوان کرده‌اند. میرزایی و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن تخفیف افزایشی را بررسی کرده‌اند [۲۲]. مدلی که آن‌ها بررسی کرده‌اند دوهدفه، چند کالایی و چند دوره‌ای بوده است. محدودیت بودجه و ظرفیت برای تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شده است. دو هدف بررسی شده در این مدل حداقل‌سازی هزینه خرید و حداقل کردن میزان خرید است.

جنبه دیگری که در ادبیات تحقیق به‌خصوص در سال‌های اخیر توجه زیادی به آن شده است، بررسی قابلیت اطمینان تأمین‌کننده است. اولین بار اسنایدر[۶] احتمال خرابی و از کارافتادگی تجهیزات را به عنوان قابلیت اطمینان تجهیزات در زنجیره تأمین معرفی کرد و اثر آن را در مکان‌یابی‌ها و تخصیص‌های زنجیره تأمین در نظر گرفت [۲۳]. یانگ[۷] قابلیت اطمینان تأمین‌کننده را در قالب توانایی تأمین‌کننده در تحویل به موقع سفارش‌های مشتری تعریف کرده است [۲۴]. وی یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای انتخاب تأمین‌کننده با لحاظ حداقل‌سازی هزینه خرید و حداکثرکردن قابلیت اطمینان تأمین‌کننده ارائه کرده است. ناصری و کریمی [۲۵] قابلیت اطمینان تأمین‌کننده در شرایط اختلال را با استفاده از شبکه بیزین و با رویکرد فازی تخمین زده‌اند. تیرکلایی و همکاران یک مدل ترکیبی فازی برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار و قابل اطمینان ارائه کرده‌اند [۱۰]. آن‌ها از روش برنامه‌ریزی آرمانی وزن-دار استفاده کرده‌اند. آن‌ها پیشنهاد کرده‌اند که از روش‌های برنامه‌ریزی فازی برای توسعه مدل استفاده شود. همان‌طور که در قبل نیز بیان شد، تحلیل ریسک در انتخاب تأمین‌کننده موضوع مهمی است که این مقاله با تحلیل قابل اطمینان بودن یا نبودن تأمین‌کنندگان به آن پرداخته است. سایر پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر به موضوع تحلیل ریسک در انتخاب تأمین‌کننده پرداخته‌اند، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای تحلیل ریسک استفاده کرده‌اند [۲۶ و ۲۷]. با هدف تبیین نوآوری مقاله حاضر، خلاصه نزدیک‌ترین پژوهش‌های انجام شده در جدول زیر ارائه می‌شود:

جدول ۱. مرور نزدیک‌ترین پژوهش‌های مرتبط قبلی

عنوان پژوهش	ویژگی‌های مدل						رویکرد مدلسازی / حل
	چند کالایی	چند هدفه	تقاضای احتمالی	در نظر گرفتن تخفیف	قابلیت اطمینان	تحلیل ریسک	
[۱۳]	*	*	*	-	-	-	برنامه‌ریزی خطی
[۱۶]	-	*	*	-	-	-	برنامه‌ریزی ریاضی
[۱۷]	*	*	-	*	-	-	روش‌های فراابتکاری
[۱۹]	-	*	*	*	-	-	برنامه‌ریزی تصادفی
[۲۰]	-	*	*	*	-	-	برنامه‌ریزی فازی
[۲۲]	*	*	-	*	-	-	برنامه‌ریزی آرمانی
[۱۰]	*	*	-	-	*	*	برنامه‌ریزی ریاضی
پژوهش حاضر	*	*	*	*	*	*	برنامه‌ریزی فازی

با توجه مطالعات انجام شده، پژوهشی که مسئله انتخاب تأمین‌کننده قابل اطمینان را در حالت چندهدفه فازی با در نظر گرفتن شرایط تخفیف، احتمالی در نظر گرفتن تقاضا و چندکالایی بودن بررسی کرده باشد، وجود ندارد. بر اساس مرور ادبیات ارائه شده در این بخش، پژوهش‌های پیشین هر کدام بخشی از این مفروضات را پوشش داده‌اند و به عنوان پیشنهاد برای مطالعات آتی در نظر گرفتن سایر مفروضات را پیشنهاد داده‌اند. بنابراین در این تحقیق سعی شده است این شکاف تحقیقاتی پوشش داده شود. در این مقاله، یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده چندهدفه فازی با در نظر گرفتن تخفیف کلی و تقاضا و سطح سرویس احتمالی با استفاده از تکنیک جبرانی و غیرجبرانی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- مدل‌سازی

در این بخش، مدل‌سازی ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده ارائه می‌شود. ابتدا مفروضات مدل پیشنهادی ارائه می‌شود و سپس متغیرها و پارامترهای استفاده شده در مدل‌سازی معرفی می‌گردد و بعد از آن فرموله‌بندی مسئله ارائه می‌شود.

۳-۱- مفروضات مدل

مفروضات مدل تحقیق شامل موارد ذیل است:

برآورده شدن تقاضای مشتری بر اساس سطح سرویس تعیین شده محقق می‌شود.

هر یک از تأمین‌کنندگان امکان ارسال هر کدام از کالاها را به خریدار دارند.

هر تأمین‌کننده کل حجم سفارش داده شده توسط خریدار را بسته به حجم سفارش با قیمت‌های مختلف عرضه می‌کند.

قابلیت اطمینان هر یک از تأمین‌کنندگان متفاوت است.

۳-۲- معرفی نمادهای مدل

اندیس‌ها:

i: اندیس کالاها (i=۱,...,I)

j: اندیس تأمین‌کنندگان (j=۱,...,J)

k: اندیس سطوح تخفیف (k=۱,...,K)

پارامترها:

p_{ijk}: قیمت کالای i ام اگر از تأمین‌کننده j ام در سطح تخفیف k ام خریداری شود.

q_{ijk}: کیفیت کالای i ام اگر از تأمین‌کننده j ام در سطح تخفیف k ام خریداری شود.

d_k: نقطه انتهایی سطح تخفیف k ام (مقدار $d_.$ برابر ε در نظر گرفته می‌شود)

Cap_{ij}: ظرفیت تأمین‌کننده j ام از کالای i ام

D_i: تقاضای تصادفی کالای i ام

$R_{i,j}$: قابلیت اطمینان تأمین‌کننده j ام برای ارائه محصول i ام

O_j: هزینه سفارش‌دهی از تأمین‌کننده j ام

β_i: سطح سرویس مطلوب خریدار برای کالای i ام

B: میزان بودجه در اختیار خریدار

v_{ij}: هزینه متغیر حمل کالای i از محل تأمین‌کننده j به محل خریدار

متغیرهای تصمیم:

x_{ijk}: مقدار خرید کالای i ام از تأمین‌کننده j ام در سطح تخفیف k ام

y_{ijk}: یک متغیر باینری است. برابر یک است اگر کالای i ام از تأمین‌کننده j ام در سطح تخفیف k ام سفارش داده شود و در غیر این صورت برابر صفر است.

w_j: یک متغیر باینری است. برابر یک است اگر تأمین‌کننده j ام فعال باشد و صفر است در غیر این صورت.

مدل ریاضی پیشنهادی مسئله:

$$Min\ \tilde{Z}_1 = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} p_{ijk}\, x_{ijk} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} v_{ij}\, x_{ijk} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} O_j\, y_{ijk} \quad (1)$$

$$Max\ \tilde{Z}_2 = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} q_{ijk}\, x_{ijk} \quad (2)$$

$$Max\ \tilde{Z}_3 = \prod_{i=1}^{I}\left(1 - \prod_{i=1}^{m}\left(1 - R_{i,j} w_j\right)\right) \quad (3)$$

$$S.t.$$

$$\sum_{k=1}^{K} x_{ijk} \le Cap_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} p_{ijk}\, x_{ijk} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} v_{ij}\, x_{ijk} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=11}^{J}\sum_{k=1}^{K} O_j\, y_{ijk} \le B \quad (5)$$

$$\Pr\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \gtrsim D_i\right) \gtrsim \beta \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_{ijk} = 1 \quad (7)$$

$$w_j \le \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} y_{ijk} \le M w_j \quad (8)$$

$$d_{k-1}(y_{ijk}) < x_{ijk} < y_{ijk}(d_k - \varepsilon) \quad (9)$$

$$x_{ijk} \ge 0, w_j, y_{ijk} \in \{0,1\} \quad (10)$$

در این مدل تابع هدف (۱) کمینه شدن هزینه‌های خرید، حمل‌ونقل و سفارش‌دهی را تضمین می‌کند [۱۰]. تابع هدف (۲) حداکثرسازی کیفیت را نشان می‌دهد. تابع هدف (۳) منجر به حداکثرسازی قابلیت اطمینان تامین‌کنندگان می‌شود. در این مقاله قابلیت اطمینان تأمین، معادل قابلیت اطمینان محاسبه شده از کل سیستم تأمین‌کنندگان زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است [۲۵]. نحوه محاسبه قابلیت اطمینان کل تأمین‌کنندگان در بخش ۳-۳ توضیح داده شده است. در این مقاله از ساختار سری-موازی برای محاسبه قابلیت اطمینان کل سیستم استفاده شده است. همچنین با توجه به تابع هدف تعریف شده، تأمین‌کنندگان به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که قابلیت اطمینان سیستم تأمین حداکثر شود. در صنعت، یک تأمین‌کننده با افزایش انعطاف‌پذیری خود در واقع قابلیت اطمینان خود برای پاسخگویی به نیازهای مشتری را افزایش می‌دهد.

محدودیت (۴) تضمین می‌کند که میزان سفارش از محصول i از تأمین‌کننده j از ظرفیت تعیین شده

بیشتر نشود. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که مجموع هزینه خریدار از بودجه در نظر گرفته شده بیشتر نشود. محدودیت (۶) بیانگر این است که احتمال برآورده شدن تقاضای مشتری از سطح سرویس تعیین شده بیشتر باشد [۱۳، ۱۹]. این محدودیت به واقعیت بسیار نزدیک است زیرا در عمل برآورده شدن تقاضا با توجه به اختلالاتی که در سطح زنجیره تأمین ممکن است رخ دهد، به صورت احتمالی ممکن است. تعیین سطح سرویس می‌تواند بر اساس میزان ریسک‌پذیری خریدار انجام شود. یعنی هرچه خریدار ریسک‌گریزتر باشد، سطح سرویس بالاتری را در نظر می‌گیرد و هرچه ریسک-پذیرتر باشد، سطوح سرویس پایین‌تر را نیز قبول می‌کند. این محدودیت به‌صورت فازی و احتمالی تعریف شده است که باید با استفاده از توابع عضویت مناسب به حالت قطعی تبدیل شود. در بخش بعدی در این ارتباط توضیحاتی ارائه می‌شود. محدودیت (۷) نشان‌دهنده این است که چون مدل بر اساس تخفیف کلی بنا نهاده شده است، خریدار فقط یکی از سطوح تخفیف را می‌تواند انتخاب کند. محدودیت (۸) بیانگر این است که اگر یک تأمین‌کننده انتخاب نشد، میزان سفارش از آن تأمین‌کننده هم باید صفر باشد. محدودیت (۹) تعیین می‌کند که خریدار از کدام یک از سطوح تخفیف برای سفارش کالاهای موردنیاز خود استفاده می‌کند. در نهایت محدودیت (۱۰) نشان‌دهنده نحوه تعریف متغیرهای تصمیم مسئله است.

۳-۳- قابلیت اطمینان سیستم تأمین

مجموعه تأمین‌کنندگان یک زنجیره تأمین را می‌توان به‌صورت یک سیستم مرکب در نظر گرفت که اجزای آن تأمین‌کنندگان بالقوه هستند. نحوه استقرار اجزای این سیستم بر میزان قابلیت اطمینان سیستم اثرگذار خواهد بود. به منظور محاسبه قابلیت اطمینان، به‌طورکلی نحوه استقرار اجزای یک سیستم مرکب را به‌صورت ساختارهای پایه‌ای زیر در نظر می‌گیرند:

ساختار سری: در یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده چندکالایی، قابلیت اطمینان تأمین هر کالا می‌تواند به‌عنوان یک زیر سیستم در نظر گرفته شود که در نهایت قابلیت اطمینان تأمین به-صورت حاصل‌ضرب قابلیت اطمینان تأمین هر محصول به‌دست می‌آید.

$$R_{Series} = \prod_{i=۱}^{n} R_i \qquad (۱۱)$$

ساختار موازی: این سیستم زمانی به‌طور کامل از کار خواهد افتاد که همه تأمین‌کنندگان دچار اختلال شوند و هیچ کالایی تأمین نشود. در حالت عادی بدون لحاظ کردن محدودیت ظرفیت همه تأمین‌کنندگان می‌توانند پاسخگوی نیازهای خرده‌فروش باشند.

$$R_{Parallel} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - R_i) \quad (12)$$

ساختار موازی-سری: اگر فرض کنیم که m زیرسیستم به صورت موازی به یکدیگر متصل شده باشند و در هر زیرسیستم n_i جزء وجود داشته باشد، قابلیت اطمینان کل سیستم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{Parallel-Series} = 1 - \prod_{i=1}^{m}\left(1 - \prod_{j=1}^{n_i} R_{ij}\right) \quad (13)$$

ساختار سری-موازی: در ساختارهای زنجیره تأمین چندمحصولی برای به‌دست آوردن قابلیت اطمینان کل سیستم می‌توان تأمین‌کنندگان هر محصول را به‌صورت یک ساختار موازی در نظر گرفت که در نهایت، برای به‌دست آوردن قابلیت اطمینان کل سیستم می‌توان قابلیت اطمینان تأمین محصولات را در هم ضرب کرد. چنین ساختاری مشابه یک ساختار سری-موازی عمل می‌کند [۲۸]. اگر فرض کنیم که m زیرسیستم به‌صورت سری به یکدیگر متصل شده باشند و در هر زیرسیستم n_i جزء وجود داشته باشد، قابلیت اطمینان کل سیستم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{Series-Parallel} = \prod_{i=1}^{m}\left(1 - \prod_{j=1}^{n_i}(1 - R_{ij})\right) \quad (14)$$

۴-۳- تابع عضویت محدودیت احتمالی فازی

محدودیت ارضای تقاضا در مدل پیشنهادی در این مقاله به‌صورت احتمالی-فازی تعریف شده است. ابتدا باید این محدودیت از حالت فازی خارج شود. برای این منظور با بهره‌گیری از مقادیر ثابت و از پیش تعیین شده σ_i و مفروضات زیر، تابع عضویت آن‌ها را مشخص می‌کنیم:

حالت اول: محدودیت فازی به‌طور دقیق برآورده شود. در این شرایط، تصمیم‌گیرنده به‌طور کامل از برآورده شدن محدودیت احساس رضایت می‌کند. به عبارت دیگر، مطلوبیت آن یک است.

$$\Pr\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \geq D_i\right) \geq \beta_i \quad (15)$$

حالت دوم: محدودیت فازی برآورده نشود. در این شرایط، تصمیم‌گیرنده به‌طور کامل از برآورده نشدن محدودیت ناراضی است. به عبارت دیگر، مطلوبیت آن صفر است.

$$\Pr\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \geq D_i\right) \leq \sigma_i \quad (16)$$

حالت سوم: محدودیت فازی تا حدی برآورده شود. در این حالت، تصمیم‌گیرنده دارای رضایتی بین صفر تا صد درصد است. به عبارت دیگر، مطلوبیت آن عددی بین صفر و یک است. هر چه که به حالت اول نزدیک‌تر شود، میزان مطلوبیت به‌صورت خطی افزایش می‌یابد.

$$\sigma_i \leq \Pr\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \geq D_i\right) \leq \beta_i \qquad (17)$$

محدودیت‌های بالا با استفاده از تابع عضویت زیر به حالت قطعی تبدیل می‌شود:

$$\mu_{g_i(x)} = \begin{cases} 1, & \Pr\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \geq D_i\right) \geq \beta_i \\ f_{\mu_{g_i(x)}}, & \sigma_i \leq \Pr\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \geq D_i\right) \leq \beta_i \\ 0, & \Pr\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \geq D_i\right) \leq \sigma_i \end{cases} \qquad (18)$$

و در نهایت در صورتی که تابع توزیع تقاضا مشخص باشد، می‌توان با استفاده از معکوس تابع توزیع تجمعی تقاضا عبارات بالا را از حالت احتمالی نیز خارج کرد. در نتیجه داریم:

$$\mu_{g_i(x)} = \begin{cases} 1, & \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \geq F^{-1}(\beta_i) \\ f_{\mu_{g_i(x)}}, & F^{-1}(\sigma_i) \leq \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \leq F^{-1}(\beta_i) \\ 0, & \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \leq F^{-1}(\sigma_i) \end{cases} \qquad (19)$$

که در آن $f_{\mu_{g_i(x)}}$ به‌صورت یک رابطه خطی مطابق زیر تعریف می شود:

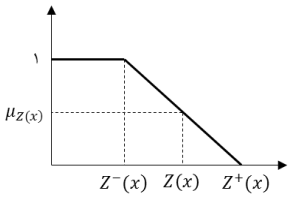
$$f_{\mu_{g_i(x)}} = \frac{\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} - F^{-1}(\sigma_i)}{F^{-1}(\beta_i) - F^{-1}(\sigma_i)} \qquad (20)$$

پس از تعیین تابع عضویت، محدودیت‌ها بر حسب اعداد دقیق برای محاسبه توابع عضویت اهداف، هر یک از آن‌ها را جداگانه بهینه کرده و مقدار سایر توابع هدف را به ازای بردار بهینه حاصل محاسبه می‌کنیم.

۵-۳- تابع عضویت اهداف

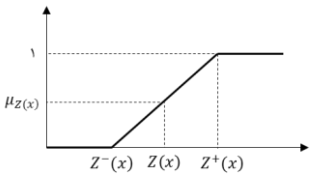
در ارتباط با توابع هدف فازی، ابتدا کمترین و بیشترین مقدار هر تابع به‌دست می‌آید و بر اساس آن، توابع عضویت اهداف بر اساس روابط خطی نمایش داده شده در شکل‌های ۱ تا ۳ به‌دست می‌آید.

$$\mu_{Z(x)} = \begin{cases} ۱, & Z(x) \le Z^{-}(x) \\ \dfrac{Z(x) - Z^{-}(x)}{Z^{+}(x) - Z^{-}(x)}, & Z^{-}(x) \le Z(x) \le Z^{+}(x) \\ ۰, & Z^{+}(x) \le Z(x) \end{cases} \qquad (۲۱)$$



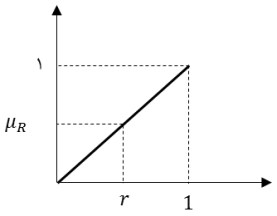
شکل ۱. تابع عضویت هدف هزینه

$$\mu_{Z(x)} = \begin{cases} ۱, & Z^{+}(x) \le Z(x) \\ \dfrac{Z^{+}(x) - Z(x)}{Z^{+}(x) - Z^{-}(x)}, & Z^{-}(x) \le Z(x) \le Z^{+}(x) \\ ۰, & Z(x) \le Z^{-}(x) \end{cases} \qquad (۲۲)$$



شکل ۲. تابع عضویت هدف کیفیت

$$\mu_R = r \qquad (۲۳)$$



شکل ۳. تابع عضویت هدف قابلیت اطمینان

در بخش بعدی، مثال‌های عددی برای تحلیل مسئله در شرایط مختلف ارائه شده است.

۴- مثال عددی

یک زنجیره تأمین دو سطحی شامل یک خرده‌فروش و چندین تأمین‌کننده را در نظر بگیرید. خرده‌فروش قصد دارد که با هدف کمینه کردن هزینه خرید، بیشینه کردن کیفیت و افزایش قابلیت اطمینان بهترین انتخاب را از بین تأمین‌کنندگان برای تأمین کالاهای مختلف موردنیاز مشتریان خود داشته باشد. تأمین‌کنندگان برای افزایش فروش تخفیف‌های کلی ارائه می‌کنند به این ترتیب که با افزایش حجم خرید خرده فروش قیمت خرید کاهش می‌یابد.

۱-۴- ویژگی‌های تأمین‌کنندگان

به منظور اینکه طیف مختلفی از تأمین‌کنندگان را در قالب یک مثال عددی بررسی کنیم، در این مقاله ویژگی‌های تأمین‌کنندگان را به‌صورت زیر در نظر گرفته‌ایم.

تأمین‌کنندگان بر اساس سطح قیمت محصولات و سطح کیفیت محصولات و قابلیت اطمینان تأمین به دو سطح بالا و پایین قابل دسته‌بندی هستند. ویژگی‌های تأمین‌کنندگان مورد بررسی در این بخش به‌صورت جدول ۱ است:

جدول ۱. ویژگی‌های تأمین‌کنندگان

	سطح قیمت	سطح کیفیت	قابلیت اطمینان تأمین	محصولات عرضه شده		
				۱	۲	۳
تأمین‌کننده ۱	بالا	بالا	زیاد	*	*	*
تأمین‌کننده ۲	بالا	بالا	کم			*
تأمین‌کننده ۳	بالا	پایین	کم	*	*	
تأمین‌کننده ۴	بالا	پایین	زیاد	*	*	*
تأمین‌کننده ۵	پایین	پایین	کم		*	
تأمین‌کننده ۶	پایین	پایین	زیاد	*	*	*
تأمین‌کننده ۷	پایین	بالا	کم	*		

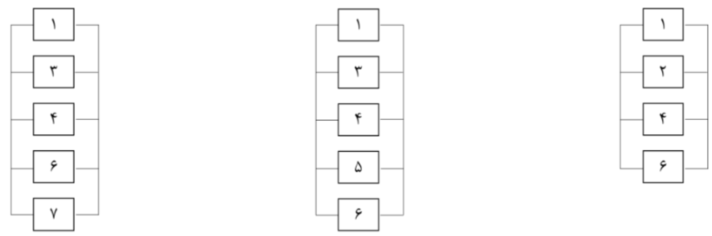
اطلاعات مربوط به تأمین‌کنندگان و کالاهایی که ارائه می‌کنند در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. اطلاعات تأمین‌کنندگان و محصولات آن‌ها

		قیمت			کیفیت	قابلیت اطمینان تأمین
		حجم خرید کم (کمتر از ۱۰۰)	حجم خرید متوسط (بین ۱۰۰ تا ۳۰۰)	حجم خرید زیاد (بیشتر از ۳۰۰)		
تأمین‌کننده ۱	محصول ۱	۲۰	۱۸	۱۶	۸۵٪	۹۵٪
	محصول ۲	۲۲	۲۰	۱۸	۹۰٪	
	محصول ۳	۲۴	۲۲	۲۰	۹۵٪	
تأمین‌کننده ۲	محصول ۱	–	–	–	–	۵۰٪
	محصول ۲	–	–	–	–	
	محصول ۳	۲۴	۲۲	۲۰	۹۰٪	
تأمین‌کننده ۳	محصول ۱	۲۰	۱۸	۱۶	۵۰٪	۵۰٪

		قیمت			کیفیت	قابلیت اطمینان تأمین
		حجم خرید کم (کمتر از ۱۰۰)	حجم خرید متوسط (بین ۱۰۰ تا ۳۰۰)	حجم خرید زیاد (بیشتر از ۳۰۰)		
	محصول ۲	۲۲	۲۰	۱۸	۵۵٪	
	محصول ۳	–	–	–	–	
تأمین‌کننده ۴	محصول ۱	۲۰	۱۸	۱۶	۵۰٪	۹۵٪
	محصول ۲	۲۲	۲۰	۱۸	۵۵٪	
	محصول ۳	۲۴	۲۲	۲۰	۶۰٪	
تأمین‌کننده ۵	محصول ۱	–	–	–	–	۵۰٪
	محصول ۲	۱۲	۱۰	۸	۵۵٪	
	محصول ۳	–	–	–	–	
تأمین‌کننده ۶	محصول ۱	۱۰	۸	۶	۵۰٪	۹۵٪
	محصول ۲	۱۲	۱۰	۸	۵۵٪	
	محصول ۳	۱۴	۱۲	۱۰	۶۰٪	
تأمین‌کننده ۷	محصول ۱	۱۰	۸	۶	۹۰٪	۵۰٪
	محصول ۲	–	–	–	–	
	محصول ۳	–	–	–	–	

محدودیت تأمین هر یک از تأمین‌کنندگان برای هر کالای قابل ارائه توسط آن‌ها ۵۰۰ است. برای محاسبه تابع هدف قابلیت اطمینان با توجه به اطلاعات ذکر شده در دو جدول اخیر می‌توان شکل زیر را در نظر گرفت:



قابلیت اطمینان تامین محصول ۱ $= 1 - (1 - R_1)(1 - R_3)(1 - R_4)(1 - R_6)(1 - R_7)$

قابلیت اطمینان تامین محصول ۲ $= 1 - (1 - R_1)(1 - R_3)(1 - R_4)(1 - R_5)(1 - R_6)$

قابلیت اطمینان تامین محصول ۳ $= 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_4)(1 - R_6)$

شکل ۴. قابلیت اطمینان تأمین برای محصولات ۱ و ۲ و ۳

همچنین فرض کنید که تقاضاهایی که به دست خرده فروش می‌رسد از توزیع نرمال تبعیت می‌کند و پارامترهای آن مطابق جدول ۳ باشد.

جدول ۳. پارامترهای احتمالی تقاضا

	میانگین	واریانس
D_1	۱۰۰۰	۱۰
D_2	۷۰۰	۲۰
D_3	۴۰۰	۳۰

به منظور تحلیل حساسیت خرده فروش نسبت به ریسک، در این مقاله مقادیر β_i (حد بالای سطح سرویس در نظر گرفته شده برای محصول i) و σ_i (حد پایین سطح سرویس در نظر گرفته شده برای محصول i) در سه حالت ریسک‌پذیر، ریسک‌گریز و بی‌تفاوت نسبت به ریسک بررسی شده است. مقادیر این پارامترها در هر یک از این شرایط، مطابق جدول ۴ در نظر گرفته شده است.

جدول ۴. مقادیر پارامترهای سطح سرویس بر اساس حساسیت خرده فروش نسبت به ریسک

	ریسک‌گریز		بی‌تفاوت به ریسک		ریسک‌پذیر	
	β_i	σ_i	β_i	σ_i	β_i	σ_i
محصول ۱	۰/۸۵	۰/۷	۰/۹	۰/۱	۰/۴	۰/۲۵
محصول ۲	۰/۹	۰/۷۵	۰/۹	۰/۱	۰/۴۵	۰/۳
محصول ۳	۰/۹۵	۰/۸	۰/۹	۰/۱	۰/۵	۰/۳۵

تابع عضویت تقاضای فازی احتمالی مسئله طبق رابطه زیر قابل تعیین است:

$$f_{\mu_{g_i(x)}} = \frac{\sum_{k=1}^{3}\sum_{j=1}^{8} x_{ijk} - F^{-1}(\sigma_i)}{F^{-1}(\beta_i) - F^{-1}(\sigma_i)} \qquad (۲۴)$$

بودجه در اختیار خرده‌فروش برابر ۲۰ هزار واحد پولی است. هزینه سفارش‌دهی از هر تأمین‌کننده و هزینه متغیر حمل هر کالا از هر تأمین‌کننده در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. هزینه سفارش‌دهی و هزینه متغیر حمل هر کالا از تأمین‌کنندگان مختلف

هزینه	تأمین‌کننده ۱			تأمین‌کننده ۲			تأمین‌کننده ۳			تأمین‌کننده ۴			تأمین‌کننده ۵			تأمین‌کننده ۶			تأمین‌کننده ۷		
	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳
حمل	۲	۲/۵	۳	۲/۵	۲/۷	۳	۲/۵	۳	۳/۳	۲	۲/۵	۳	۲/۵	۲/۷	۳	۲	۲/۵	۳	۲	۲/۵	۳
سفارش	۱۰۰			۱۰۰			۱۰۰			۱۰۰			۵۰			۵۰			۵۰		

به منظور محاسبه توابع عضویت تابع هدف‌ها، هر یک از آن‌ها را به‌صورت جداگانه بهینه کرده و مقدار سایر تابع هدف‌ها را به ازای بردار بهینه حاصل محاسبه می‌کنیم. نتایج در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. دامنه تغییرات مقادیر توابع هدف

	$\mu = ۰$	$\mu = ۱$
تابع هدف اول	۲۰۰۰۰	۱۰۸۲۶
تابع هدف دوم	۲۲۷۶/۳	۴۷۶۱/۲
تابع هدف سوم	۰/۶۷	۰/۹۲

وزن‌های توابع هدف و محدودیت‌ها به‌صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند:

جدول ۷. وزن‌های توابع و محدودیت‌های فازی

محدودیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶
وزن فازی	(۰/۷۵، ۱/۲۵، ۱)	(۰/۵، ۱/۵، ۱)	(۰/۶، ۰/۸، ۱/۲)	(۰/۹، ۱، ۱/۲)	(۱، ۲، ۳)	(۱، ۲، ۳)
تابع هدف	۱	۲	۳	–	–	–
وزن فازی	(۱، ۲، ۳)	(۱/۵، ۲/۵، ۳)	(۱/۵، ۲، ۳)	–	–	–

۲-۴- اپراتورهای ترکیب توابع فازی

در این بخش، دو اپراتور جبرانی مجموع وزنی و غیرجبرانی ماکزیمم-مینیمم را که در حل مسئله مورد استفاده قرار گرفته‌اند، معرفی می‌کنیم. با استفاده از این اپراتورها، مسئله چندهدفه فازی به یک مسئله تک هدفه پارامتری تبدیل می‌شود.

۱-۲-۴- مجموع وزنی توابع عضویت

بلمن[۸] و زاده روش پیچیده یا روش مجموع وزنی را که در آن تابع عضویت تصمیم از جمع وزنی توابع عضویت محدودیت‌ها و توابع هدف تشکیل می‌شود، معرفی کردند [۲۹].

$$
\begin{aligned}
&Max\ \mu_D(x) = \sum_{p=۱}^{۳} \omega_p \lambda_p + \sum_{q=۱}^{۶} \tau_q \gamma_q \\
&\quad S.t. \\
&\lambda_p \le \mu_{z_p}(x), p = ۱,۲,۳ \\
&\quad \gamma_q \le \mu_{g_q}(x), q = ۱,۲ \dots ,۶ \\
&\sum_{p=۱}^{۳} \omega_p + \sum_{q=۱}^{۶} \tau_q = ۱ \\
&\omega_p, \tau_q \ge ۰;\ p = ۱,۲,۳;\ \ q = ۱,۲ \dots ,۶
\end{aligned} \qquad (۲۵)
$$

سایر محدودیت‌ها مشابه محدودیت‌های مدل اصلی است.

۲-۲-۴- روش ماکزیمم-مینیمم وزن داده شده

لین[۹] روش ماکزیمم-مینیمم موزون را برای حل مسائل چندهدفه فازی ارائه نمود که در آن پس از وزن‌دهی به هر یک از اهداف و محدودیت‌های فازی، مدل حاصل به‌صورت زیر در می‌آید [۳۰]:

$$
\begin{aligned}
&Max\ \lambda \\
&\quad S.t. \\
&\omega_p \lambda \le \mu_{z_p}(x) \\
&\tau_q \lambda \le \mu_{g_q}(x) \\
&\textstyle\sum_{p=۱}^{۳} \omega_p + \sum_{q=۱}^{۶} \tau_q = ۱ \\
&\omega_p, \tau_q, \lambda \ge ۰;\ p = ۱,۲,۳;\ \ q = ۱,۲ \dots ,۶
\end{aligned} \qquad (۲۶)
$$

سایر محدودیت‌ها مشابه محدودیت‌های مدل اصلی است.

۳-۴- غیرفازی کردن وزن‌های فازی مورد استفاده

در این بخش، فرض شده است که اعداد به‌کارگرفته شده به‌صورت فازی مثلثی هستند. یک روش مرسوم برای غیرفازی کردن اعداد مثلثی فازی روش مرکز ثقل است. در این روش

مرکز ثقل اعداد فازی به عنوان یک عدد دقیق برای پارامتر موردنظر تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال، اگر عدد فازی بصورت (a_1, a_2, a_3) باشد، فرم غیرفازی شده آن بر اساس روش مرکز ثقل بصورت $\frac{1}{3}(a_1 + a_2 + a_3)$ محاسبه می‌شود.

پس از انجام محاسبات و اجرای عملیات نرمال‌سازی، وزن‌های غیرفازی شده محدودیت‌ها و توابع هدف به صورت جدول ۸ محاسبه می‌شود:

جدول ۸. وزن‌های غیرفازی شده محدودیت‌ها و توابع هدف

محدودیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶
وزن فازی	۰/۱۲۷	۰/۱۲۷	۰/۱۱	۰/۱۳۱	۰/۲۵۳	۰/۲۵۳
تابع هدف	۱	۲	۳	–	–	–
وزن فازی	۰/۳۰۸	۰/۳۵۹	۰/۳۳۳	–	–	–

بنابراین اکنون می‌توان جواب مدل‌های ارائه شده در بخش ۴-۱-۲ و ۴-۲-۲ را با استفاده از روش‌های حل برنامه‌ریزی خطی به‌دست آورد.

جدول ۹. تأثیر میزان ریسک‌پذیری خرده‌فروش بر مقادیر تابع هدف و تأمین‌کنندگان انتخاب شده

	مجموع وزنی توابع عضویت													ماکزیمم-مینیمم وزن داده شده									
	Z۳	Z۲	Z۱	تأمین‌کنندگان انتخاب شده										Z۳	Z۲	Z۱	تأمین‌کنندگان انتخاب شده						
				۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷							۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
ریسک‌گریز	۰/۸۷	۳۴۲۲	۲۰۰۰۰	*					*	*				۰/۹۱	۴۲۹۳	۲۰۰۰۰	*					*	*
بی‌تفاوت به ریسک	۰/۷۴	۳۱۵۲۱	۱۵۳۹۴	*	*	*	*		*	*				۰/۷۹	۳۲۰۷۸	۱۶۴۷۱	*	*		*	*	*	*
ریسک‌پذیر	۰/۶۹	۳۰۲۲۸	۱۹۷۴۹	*	*	*	*	*	*	*				۰/۷۳	۴۰۵۴۱	۱۹۹۴۶	*	*	*	*	*	*	*

جدول ۱۰ اطلاعات مربوط به خرید هر یک از انواع خرده‌فروشان از هر محصول ارائه شده از هر تأمین‌کننده را بر اساس اطلاعات روش ماکزیمم – مینیمم وزن داده شده، نشان می‌دهد:

جدول ۱۰. نحوه خرید خرده‌فروشان بر اساس میزان ریسک‌پذیری آن‌ها

	ریسک‌گریز			بی‌تفاوت به ریسک			ریسک‌پذیر		
	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳
تأمین‌کننده ۱	*	*	*	*	*	–	*	*	*
تأمین‌کننده ۲	–	–	–	–	–	*	–	–	*
تأمین‌کننده ۳	–	–	–	–	–	–	*	–	–
تأمین‌کننده ۴	–	–	–	–	–	*	*	*	–
تأمین‌کننده ۵	–	–	–	–	*	–	–	*	–
تأمین‌کننده ۶	*	–	*	*	–	*	*	*	*
تأمین‌کننده ۷	*	–	–	*	–	–	*	–	–

نتایج زیر را از مثال عددی حل شده می‌توان دریافت نمود:

- نتایج نشان می‌دهد که تأمین‌کنندگان ۱، ۶ و ۷ به دلیل اینکه در دو هدف از بین سه هدف موجود نسبت به بقیه تأمین کنندگان وضعیت بهتری دارند، مورد توجه خرده‌فروشان قرار گرفته‌اند و همه خرده‌فروشان این سه تأمین کننده را انتخاب کرده‌اند.
- خرده‌فروش ریسک‌گریز به دلیل تمایل به برآورده‌سازی تقاضای مشتریان سطح سفارش بیشتری نسبت به سایر انواع خرده‌فروشان دارد اما پراکندگی خرید کمتری دارد. دلیل آن تمایل به افزایش سطح کیفیت است که تأمین‌کنندگانی که سطح کیفیت بالاتری دارند، بیشترین میزان خرید از آن‌ها انجام شده است. از طرفی، تمایل به افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها خرید این خرده‌فروش را متمرکز بر تأمین‌کنندگان ۱، ۶ و ۷ در بالاترین سطح خرید کرده است.
- تأمین‌کننده ۳ به دلیل وضعیت نامطلوب اهداف (سطح قیمت بالا، سطح کیفیت پایین و سطح قابلیت اطمینان پایین) توسط خرده‌فروشان ریسک‌گریز و بی‌تفاوت به ریسک انتخاب

نشده است. میزان خرید خرده‌فروش ریسک‌پذیر از این تأمین‌کننده کم است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک خرده‌فروش و چندین تأمین‌کننده در نظر گرفته شده است که خرده‌فروش بر اساس میزان ریسک‌پذیری خود به انتخاب تأمین‌کنندگان مختلف و تعیین میزان سفارش از آن‌ها اقدام می‌نماید. همچنین سه هدف در نظر گرفته شده در این مقاله کاهش هزینه، افزایش کیفیت و افزایش قابلیت اطمینان است. به‌علاوه سیستم تأمین در نظر گرفته شده به صورت چندکالایی همراه با ارائه تخفیف‌های کلی توسط تأمین-کنندگان مختلف است. تصمیم‌گیری در مورد انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت فازی بررسی شده است. علاوه بر این، برآورده شدن تقاضا به‌صورت احتمالی در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی مدل پیشنهادی برای انتخاب تأمین‌کننده، یک مثال عددی شامل ۷ تأمین‌کننده با ویژگی‌های مختلف تعریف شد و نحوه تصمیم‌گیری خرده‌فروشان حساس به ریسک، برای سفارش کالا از تأمین‌کنندگان مختلف بررسی شد. برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم تأمین، از مفاهیم مهندسی قابلیت اطمینان سیستم استفاده شده است.

از آنجا که ریسک‌پذیری خرده‌فروش بر اساس احتمال برآورده شدن تقاضا تعریف شده است، خرده‌فروش ریسک‌گریز تمایل به افزایش سفارش از تأمین‌کنندگان دارد. با توجه به اینکه هر یک از تأمین‌کنندگان تعریف شده در مثال عددی ویژگی‌های مختلفی از نظر اهداف تعریف شده دارند، تصمیم‌گیری خرده‌فروش باید به‌گونه‌ای باشد که با کمترین هزینه، بیشترین کیفیت و بیشترین قابلیت اطمینان بتواند در سطح ریسک‌پذیری تعیین شده پاسخگوی تقاضای مشتریان باشد. به این دلیل و نیز بر اساس نتایج به‌دست آمده از حل مثال عددی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ریسک‌گریزی باعث کاهش پراکندگی در خرید می‌شود. توسعه نتایج این تحقیق می‌تواند در مسائل انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت به منظور تحلیل ریسک‌پذیری مشتریان مورد استفاده قرار گیرد. همچنین به عنوان پیشنهادی برای مطالعات آتی انتخاب تأمین‌کننده در شرایط پایداری زنجیره تأمین، موضوعی است که می‌تواند توسط محققین آتی مورد توجه قرار گیرد.

۶- پی‌نوشت‌ها

۱. Brard
۲. Ocampo
۳. Ozkok, Tiryaki
۴. Arikan
۵. Manerba
۶. Snyder
۷. Yang
۸. Bellman
۹. Lin

۷- منابع

[1] Taghavifard S M T, dehghani M H, aghaei M. (2015) The Model for Lot Sizing Problem with Supplier Selection and Solving by NSGA-II (Case Study: Morvarid Panberiz Company). Management Research in Iran; 19 (2) :65-8۹.

[2] Baskaran, V., Nachiappan, S., & Rahman, S. (2012). Textile suppliers' sustainability evaluation using the grey approach. International Journal of Production Economics, 135(2), 647–658.

[3] Madadi, A., Kurz, M. E., Taaffe, K. M., Sharp, J. L., & Mason, S. J. (2014). Supply network design: Risk-averse or risk-neutral? Computers & Industrial Engineering, ۷۸, ۵۵–۶۵.

[4] Berger, P. and Zeng, A. (2006) 'Single versus multiple sourcing in the presence of risks', Journal of Operation Research Society, Vol. 57, No. 3, pp.250–2۶۱.

[5] Hamidi N, akbari shemirani R, Shirdel G, Taleshi B. (2012) Selection of optimal supplier using a hybrid fuzzy model based on criteria interrelationship: A case study of an Iranian braking system manufacturer company. Management Research in Iran. 16 (3) :59-81.

[6] Taherdoost H., Brard A. (2018) Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods, 12th International Conference Interdisciplinary in Engineering, Tirgu Mures, Romania.

[7] Alimohammdlou M., Bonyani A. (2020) A decision framework for supplier selection under a fuzzy environment, Modern Researches in Decision Making, Volume 5, Issue 4, pp. 119-143.

[8] 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, 8182-8۱۹۲.

[9] Tuljak-Suban D., Bajec P. (2018) The Influence of Defuzzification Methods to Decision Support Systems Based on Fuzzy AHP with Scattered Comparison Matrix: Application to 3PLP Selection as a Case Study, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems Vol. 26, No. 3, 475–491.

[10] Tirkolaee EB, Mardani A, Dashtian Z, Soltani M, Weber G-W (2019) A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design, Journal of Cleaner Production, doi: https:// doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119517.

[11] Ocampo L.A., Abad G.K., Cabusas K.G.L., Padon M.L.A., Sevilla N. (2018) Recent approaches to supplier selection: A review of literature within 2006–۲۰۱۶, International Journal of Integrated Supply Management 12(1/2):22.

[12] Chai J., Liu J.N.K., Ngai E.W.T. (2013) Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature, Expert Systems with Applications, 40 (2013) 3872–3885.

[13] Ozkok B.A., Tiryaki F. (2011) A compensatory fuzzy approach to multi-objective linear supplier selection problem with multiple-item, Expert Systems with Applications Volume 38: 9, 11363-11368

[14] Arikan, F. (2012). A Fuzzy Solution Approach for Multi Objective Supplier Selection. Expert Systems with Applications, 40:3, 947-9۵۲.

[15] Kazemi, N., Ehsani, E., Glock, C.H. and Schwindl, K. (2015) ‘A mathematical

programming model for a multi-objective supplier selection and order allocation problem with fuzzy objectives', Int. J. Services and Operations Management, Vol. ۲۱, □□. ۴, □□.۴۳۵–۴۶۵.

[16] Gholamreza Bodaghi, Fariborz Jolai & Masoud Rabbani (2017): An integrated weighted fuzzy multi-objective model for supplier selection and order scheduling in a supply chain, International Journal of Production Research, Volume 56, 2018 - Issue 10, pp. 1-25.

[17] Hajikhani A., Khalilzadeh M., Sadjadi S.J. (2018) A fuzzy multi-objective multi-product supplier selection and order-allocation problem in supply chain under coverage and price considerations: An urban agricultural case study, Scientia Iranica E, 25(1), pp. 431-449.

[18] Khalilzadeh, M., Karami, A. and Hajikhani, A. (2020), "The multi-objective supplier selection problem with fuzzy parameters and solving the order allocation problem with coverage", Journal of Modelling in Management, Vol. 15 No. 3, pp. ۷۰۵–۷۲۵.

[19] Manerba D., Mansini R., Perboli G. (2018) The Capacitated Supplier Selection problem with Total Quantity Discount policy and Activation Costs under uncertainty, International Journal of Production Economics, 198, 119–13۲.

[20] Aghai S., Mollaverdi N., Sabbagh M.S. (2014) A fuzzy multi-objective programming model for supplier selection with volume discount and risk criteria, International Journal of Advanced Manufacturing Technology71:1483–1۴۹۲.

[21] Nasseri S.H., Chitgar S. (2018) A New Approach for Solving Fuzzy Supplier Selection Problems Under Volume Discount. In: Cao BY. (eds) Fuzzy Information and Engineering and Decision. IWDS 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 646. Springer, Cham.

[22] Mirzaee, H., Naderi, B., Pasandideh, S.H.R (2018) A preemptive fuzzy goal programming model for generalized supplier selection and order allocation with

incremental discount, Computers & Industrial Engineering, Volume 122, Pages ۲۹۲-۳۰۲.

[23] Snyder, L.V.,(2003)."Supply chain robustnes and reliability: models and algorithms (PHD Tesis), in Dept. of Industrial and Engineering and Management Sciences. Northwestern University: Evanston, IL.

[24] Yang K.H. (2016) Supplier Selection by Considering Cost and Reliability, International Journal of Economics and Management Engineering, 10:7, 2292-۲۲۹۶.

[25] Naseri P., Karimi M.H. (2019) Estimate the reliability of the supplier in the disruption using Bayesian networks and fuzzy approach, Modern Researches in Decision Making, Volume 4, Issue 1, pp. 197-2۱۸.

[26] Tavana M., Shabaani A., Mohammadabadi S.M., Varzgani N. (2021), An integrated fuzzy AHP- fuzzy MULTIMOORA model for supply chain risk-benefit assessment and supplier selection, International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, DOI: 10.1080/23302674.2020.1737754

[27] Fagundes, M.V.C.; Hellingrath, B.; Freires (2021) F.G.M. Supplier Selection Risk: A New Computer-Based Decision-Making System with Fuzzy Extended AHP. Logistics 2021, 5, 13. https://doi.org/10.3390/logistics5010013

[28] Ha, C., Jun, H-B., Ok, C. (2۰۱۸) □ □□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□ □□□□□

Structures for Supply Chain Reliability: A Procurement Capability Perspective, Computers & Industrial Engineering, Volume 120, Pages 334-3۴۵.

[29] Bellman, R.E. and L.A. Zadeh (1970) "Decision-making in a fuzzy environment". Management science, p. 141-164.

[30] Lin, C.C. (2004) "A weighted max–min model for fuzzy goal programming". Fuzzy sets and systems, 142(3): p. 407-420.