

## مدل بهینه‌سازی دومرحله‌ای استوار وزن دار برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها در شرایط عدم قطعیت

مصطفی جوکار\*، مرضیه مظفری\*\*، علی اکبر اکبری\*\*\*

### چکیده

در این پژوهش، تلفیقی از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای سناریومحور و رویکرد بهینه‌سازی استوار در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها در شرایط ریسک تأمین پیشنهاد می‌شود. عدم قطعیت در تأمین مواد اولیه تحت سه سناریوی افزایش تحریم، ثبات تحریم و حذف تحریم در نظر گرفته می‌شود. در گام نخست، عوامل کلیدی در انتخاب تأمین‌کنندگان شناسایی شده و با روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به هر یک از تأمین‌کنندگان وزنی اختصاص داده می‌شود. در گام دوم، این وزن‌ها به‌عنوان ورودی در مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای وارد می‌شوند و متغیرهای مرحله دوم را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ سپس رویکرد فرمول‌بندی استوار مالوی برای استوارسازی و همچنین خطی‌سازی مدل به‌کار می‌رود. مدل حاصل یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح است که توسط CPLEX برای یک مطالعه موردی اجرا می‌شود و نتایج مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مدل استوار صورت می‌پذیرد و موازنه بین هزینه کل و مقدار تقاضای تأمین‌نشده نشان داده می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش؛ عدم قطعیت؛ تحلیل سلسله‌مراتبی فازی؛ برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای؛ بهینه‌سازی استوار.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۹.

\* کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

\*\* استادیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

E-mail: m\_mozafari@iauec.ac.ir

\*\*\* استادیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

## ۱. مقدمه

انتخاب تأمین‌کنندگان دارای فرآیند اساسی یافتن بهترین گزینه یا تأمین‌کننده برای تهیه اقلام با توجه به معیارهای مختلف است. امروزه تولیدکنندگان برای حضور در دنیای رقابتی کسب‌وکار باید محصولات را با بهترین کیفیت در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه به دست مشتریان برسانند. انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله چندمعیاره شامل هر دو نوع معیارهای کمی و کیفی است. اهمیت نسبی معیارها و زیر معیارها توسط مدیریت ارشد و مدیران خرید مبتنی بر استراتژی‌های زنجیره تأمین مشخص می‌شود. موفقیت یک زنجیره تأمین به‌شدت به فرایند درست انتخاب تأمین‌کنندگان وابسته است؛ به طوری که هر گونه کمبود در هماهنگی این فرایند به تأخیر بیش‌ازحد و خدمات ضعیف به مشتری منجر خواهد شد [۱].

زنجیره تأمین یک مدل کسب‌وکار یکپارچه برای مدیریت تدارکات است. این بخش، جریان کالا را از تأمین‌کنندگان به سمت تولید و از زنجیره‌های توزیع به سمت مصرف‌کننده نهایی پوشش می‌دهد [۲]. هدف از انتخاب، شناسایی تأمین‌کنندگانی با بالاترین ظرفیت برای رفع نیازهای شرکت به‌طور سازگار و با هزینه قابل‌قبول است [۳]. وبر<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۱) رویکردهای کمی برای انتخاب تأمین‌کننده را در سه طبقه گروه‌بندی کردند: ۱. مدل‌های وزنی خطی، ۲. مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و ۳. رویکردهای آماری/احتمالی [۴].

رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حل مسائل بهینه‌سازی با عدم قطعیت داده‌ها در اوایل دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شد و اخیراً به‌طور گسترده‌ای مطالعه شده و توسعه یافته است. تحت این رویکرد یک جواب زیر بهینه که برای کلیه حالت‌های متغیر غیرقطعی عملکرد قابل‌قبولی از نظر بهینگی و موجه بودن داشته باشد مورد پذیرش قرار می‌گیرد [۵]. دو دلیل برای استفاده از بهینه‌سازی استوار عبارتند از: ۱. بهینه‌سازی استوار نسبت به رویکرد احتمالی از لحاظ حل مدل راحت‌تر است؛ ۲. دانش واضحی از توزیع احتمالی از داده‌های دارای عدم قطعیت نیاز نیست و از داده‌های تاریخی و تجربه‌های تصمیم‌گیرنده می‌توان در بعضی موارد برای استنتاج بازه دارای عدم قطعیت استفاده کرد [۶].

در این پژوهش بر مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص خرید در یک زنجیره تأمین تولیدی در شرایط ریسک تأمین و با در نظر گرفتن توأمان معیارهای کیفی و کمی، تمرکز خواهد شد. پس از استفاده از رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی<sup>۲</sup> (FAHP) وزن تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای کیفی ارزیابی شده و سپس وزن‌ها وارد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای<sup>۳</sup> می‌شود و متغیرهای مرحله دوم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عدم قطعیت در تأمین مواد اولیه تحت سه

۱. Weber

۲. Fuzzy Analytical Hierarchy Process

۳. Two-Stage Stochastic Programming

سناریوی افزایش، پایداری و یا حذف تحریم‌ها در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اهمیت تأمین مواد اولیه و جلوگیری از تقاضای تأمین‌نشده، برای حصول جواب‌های استوار که عملکرد خوبی از لحاظ بهینگی و موجه‌بودن دارند از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود و موازنه بین هزینه‌ها و تقاضای تأمین‌نشده موردبررسی قرار می‌گیرد. مدل ارائه‌شده قابلیت این را دارد که به صورت هم‌زمان عوامل کیفی همچون سابقه همکاری، توان مالی، قابلیت انعطاف‌پذیری و شایستگی زیست‌محیطی و عوامل کمی همچون هزینه‌ها را در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان در نظر بگیرد و عدم قطعیت‌های موجود در آن‌ها را لحاظ کند؛ همچنین انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌های بهینه با در نظر گرفتن ریسک‌های تأمین تحت سناریوهای مختلف به صورت استوار صورت می‌گیرد.

سازمان‌دهی این مقاله به این صورت است که در بخش دوم، مرور جامعی بر مبانی نظری موضوع صورت می‌گیرد و خلأهای پژوهشی و نوآوری مقاله بیان می‌شود. در بخش سوم به تعریف مسئله، مدل‌سازی ریاضی و استوارسازی مدل و خطی‌سازی آن پرداخته خواهد شد؛ همچنین نحوه محاسبه وزن‌های فازی و ورود به مدل ریاضی موردبحث قرار می‌گیرد. در بخش چهارم به نتایج محاسباتی و حل یک مطالعه موردی پرداخته می‌شود و تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای اصلی مدل استوار صورت می‌گیرد. بخش پنجم نیز به نتیجه‌گیری و ارائه محورهای برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبانی مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌ها با استفاده از دو رویکرد اصلی «تصمیم‌گیری چندمعیاره» و «برنامه‌ریزی ریاضی» بررسی شده است. در دسته برنامه‌ریزی ریاضی، وبر و همکاران (۱۹۹۱)، مرور جامعی بر مسئله انتخاب تأمین‌کننده با چند آیت، تأمین‌کننده متعدد، محدودیت منابع و مقدار تخفیف انجام دادند [۴]. در پژوهش داهیل<sup>۱</sup> (۲۰۰۳)، یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح (MOMIP<sup>۲</sup>) برای تعیین تعداد تأمین‌کنندگان و تهیه مقدار سفارش توسعه داده شد [۷]. شاهبندرزاده و پیکام<sup>۳</sup> (۲۰۱۵)، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی وزن‌دار برای تعیین میزان خرید بهینه از تأمین‌کنندگان ارائه کردند [۸]. در پژوهشی به یک مدل دومرحله‌ای با رویکرد فازی برای انتخاب تأمین‌کننده و مسئله تخصیص سفارش پرداخته شد به طوری که در مرحله نخست، از یک مدل چندهدفه فازی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده با توجه به اقدامات ذهنی استفاده شد و در مرحله دوم، رویکرد برنامه‌ریزی

۱. Dahel

۲. Multi Objective Mixed Integer Programming

۳. Shahbandarzadeh & Paykam

آرمانی برای تعیین مقدار سفارش اختصاص داده شده به تأمین کننده به کار رفت و از روش بیشینه-سازی کمینه برای تبدیل مدل چندهدفه فازی به یک مدل تک‌هدفه فازی استفاده شد [۹]. ترب و سارکیس<sup>۱</sup> (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه‌ریزی عددصحيح برای انتخاب تأمین کنندگان و تخصیص خرید تحت ملاحظات پایداری ارائه کردند [۱۰]. حسنی و محمدی تبار (۲۰۱۸)، یک مدل چند-دوره‌ای برای تعیین میزان سفارش‌ها در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی با در نظر گرفتن امکان سفارش هم‌زمان ارائه دادند [۱۱]. در دسته تصمیم‌گیری چندمعیاره، عیدی و بختیاری (۲۰۱۶)، به مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان در یک زنجیره تأمین سبز به روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی مبتنی بر سطوح آلفا در یک مطالعه موردی پرداختند [۱۲]. در پژوهش مشابهی با تلفیق دو رویکرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و ویکور، رتبه‌بندی تأمین کنندگان در یک محیط فازی مورد مطالعه قرار گرفت [۱۳].

در پژوهش دیگری مسئله انتخاب تأمین کننده را با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها و شبیه‌سازی مونت کارلو با در نظرگیری عدم قطعیت در ورودی‌ها و خروجی‌ها بررسی شد [۱۴]. فلاح لاجیمی و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب تأمین کنندگان ارائه دادند. در این پژوهش، ابتدا شاخص‌های انتخاب تأمین کننده شناسایی و سپس با روش تصمیم‌گیری بهترین-بدترین وزن‌دهی شدند. در ادامه تأمین کنندگان با استفاده از تابع خطی قطعه‌ای و تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره رتبه‌بندی شدند [۱۵]. دسته دیگری از پژوهش‌ها ترکیب دو رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه‌ریزی ریاضی را برای رتبه‌بندی تأمین کنندگان و تخصیص بهینه سفارش‌ها مطرح کرده‌اند. شیا و وو<sup>۲</sup> (۲۰۰۷)، یک رویکرد یکپارچه از AHP<sup>۳</sup> و برنامه‌ریزی چند هدفه عددصحيح برای حل مشکل چندمنبعی با ظرفیت تأمین کنندگان پیشنهاد دادند [۱۶]. برک<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، اثر روش‌های قیمت‌گذاری و محدودیت ظرفیت تأمین کنندگان در راه‌حل بهینه برای مسئله انتخاب تأمین کننده را بررسی کردند [۱۷].

عمید و همکاران (۲۰۰۹)، یک مدل چندهدفه فازی برای تعیین مقدار سفارش با توجه به حداقل‌سازی هزینه خالص، تعداد اقلام برگشتی و تأخیر تحویل پیشنهاد دادند. با افزودن وزن فازی و برنامه‌ریزی خطی عددصحيح، آن‌ها یک رویکرد برای حل این مسئله چندمنبعی تک محصولی را ارائه کردند [۱۸]. در پژوهش دیگری یک روش یکپارچه متشکل از AHP و برنامه‌ریزی سازهی فازی برای انتخاب تأمین کننده با در نظرگیری سه معیار برای به حداقل رساندن هزینه‌ها، تعداد واحدهای معیوب و نرخ تأخیر تحویل ارائه شده است [۱۹]. این مدل تنها برای مسئله‌های تک محصولی قابل اجرا است. مفاخری و همکاران (۲۰۱۱)، ترکیبی از رویکرد برنامه-

۱. Trapp & Sarkis

۲. Xia & Wu

۳. Analytical Hierarchy Process

۴. Burke

ریزی پویا و AHP را برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد کردند؛ به طوری که در گام نخست، وزن هرمعیار توسط روش AHP تعیین می‌شود و در گام بعد وزن‌ها به‌عنوان ورودی در یک مدل برنامه‌ریزی پویا برای تعیین تخصیص بهینه سفارش‌ها در دوره‌های مختلف در نظر گرفته می‌شوند [۲۰].

آیهان و کیلیک<sup>۱</sup> (۲۰۱۵)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح به‌منظور به‌حداکثر رساندن امتیاز تأمین‌کننده ارائه دادند. آن‌ها از یک روش تلفیقی تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و برنامه‌ریزی خطی عددصحیح برای انجام بهترین تخصیص به تأمین‌کننده از کل تقاضای درخواستی از هر آیتم با هدف به‌حداکثر رساندن امتیاز کل تأمین‌کننده استفاده کردند. در پژوهش آن‌ها مسائل به صورت چندآیتمی و چند تأمین‌کننده و چندمعیاری با در نظر گرفتن تخفیف است [۲۱]. پژوهش‌های ذکر شده همگی مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان را در محیط پارامترهای قطعی بررسی کرده‌اند؛ اگرچه در سال‌های اخیر توجه به عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسئله از تقاضا، تأمین و هزینه‌ها افزایش یافته است [۲۲]. در پژوهشی یک مدل دومرحله‌ای برنامه‌ریزی تصادفی و محدودیت‌های شانسی برای تعیین مجموعه‌ای حداقل از تأمین‌کنندگان و مقدار سفارش با در نظر گرفتن تخفیف، عدم قطعیت در تقاضا و ظرفیت منبع ارائه شد. مدل برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو و مدل محدودیت‌های شانسی با یک توزیع احتمالی با فرض مستقل بودن به‌کار رفت. این مدل دومرحله‌ای دارای دو هدف کم‌کردن تعداد تأمین‌کنندگان و هزینه‌های کل شامل هزینه موجودی و حمل‌ونقل و هزینه خرید با توجه به در نظر گرفتن مقادیر تخفیف است [۲۳]. حمامی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح مبتنی بر سناریو به‌منظور حداقل رساندن کل هزینه‌های موردانتظار شامل قیمت خرید، هزینه حمل‌ونقل و هزینه مدیریت زنجیره تأمین مسئله انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند. در این مدل چند آیتم، چند تأمین‌کننده و چند معیار با در نظر گرفتن مقدار تخفیف و نوسانات نرخ ارز ارائه شد [۲۴]. حسینی و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی - فازی دوهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص خرید در شرایط بحران پیشنهاد کردند [۲۵]. وحیدی و همکاران (۲۰۱۸)، ترکیبی از QFD و برنامه‌ریزی تصادفی - فازی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان در شرایط بحران پیشنهاد دادند [۲۶]. در پژوهش مشابهی بابر و امین<sup>۳</sup> (۲۰۱۸)، ترکیب QFD فازی و برنامه‌ریزی چندهدفه تصادفی را برای در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای کیفی و کمی در شرایط عدم قطعیت تقاضا و هزینه‌ها ارائه کردند [۲۷].

۱. Ayhan & Kilic

۲. Hammami

۳. Babbar & Amin

اخیراً رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حل مسائل بهینه‌سازی با عدم قطعیت داده‌ها به‌طور گسترده‌ای توسعه یافته است. ربیع و همکاران (۲۰۱۱)، مدل چندهدفه استوار را برای انتخاب تأمین‌کنندگان قطعات در «شرکت ایران خودرو» بررسی کردند. آن‌ها در پژوهش خود پارامترهای هزینه حمل‌ونقل و ظرفیت تأمین‌کنندگان را به‌صورت متغیر تصادفی در بازه متقارن در نظر گرفتند و در پایان برای ارزیابی کیفیت جوابها از تکنیک شبیه‌سازی استفاده کردند [۲۸]. بابایی و عمرانی (۲۰۱۷)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کننده بر اساس بهینه‌سازی استوار ارائه کردند و اهداف انتخاب تأمین‌کننده تحت تدارکات ناب را بر اساس کاهش هزینه، خطای برنامه‌ریزی تحویل و افزایش سطح کیفیت در نظر گرفتند [۲۹]. یحیی‌زاده اندواری و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل بهینه‌سازی استوار برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها و بیشینه‌سازی مطلوبیت خرید در شرایط عدم قطعیت تقاضا ارائه کردند [۳۰]. فو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۶)، مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را در محیط غیرقطعی با رویکرد بهینه‌سازی استوار مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها تقاضا را به‌عنوان پارامتر غیرقطعی مطرح کرده و معیار ریسک تصمیم‌گیرنده و جریمه اختلاف از تقاضا را در تابع هدف لحاظ کردند [۳۱]. از جمله مطالعات مرتبط دیگر می‌توان به پژوهش فرخ و همکاران (۲۰۱۶)، اشاره کرد [۳۲]. کیم<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، مسئله انتخاب تأمین‌کننده در یک زنجیره حلقه‌بسته سه‌رده‌ای را با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح استوار برای شرایط عدم قطعیت تقاضا و تعداد مرجوعی بررسی کردند [۳۳]. مرور پژوهش‌های مرتبط پیشین و مقایسه ویژگی‌های پژوهش حاضر با مقاله‌های موجود در مبنای نظری در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول ۱. مقایسه پژوهش حاضر و پژوهش‌های مرتبط پیشین

ردیف پژوهش	تعداد ارقام	معیارها		عدم قطعیت		رویکرد مدل‌سازی عدم قطعیت		رویکرد مدل‌سازی
		تعداد معیارها	کیفی	کمی	قطعی	پارامتر غیرقطعی	فازی احتمالی	
[۳۵]	چند	چند	*	*	تقاضا	*	*	تأسیس فازی و برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
[۲۰]	یک	چند	*	*				AHP و برنامه‌ریزی خطی پویا
[۲۱]	چند	چند	*	*	وزن معیارها	*	*	FAHP و برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح
[۳۱]	چند	یک	*	*	تقاضا		*	بهینه‌سازی استوار
[۳۳]	یک	یک	*	*	تقاضا و تعداد		*	بهینه‌سازی استوار

۱. Fu

۲. Kim

رویکرد مدل‌سازی	رویکرد مدل‌سازی عدم قطعیت		عدم قطعیت		معیارها		تعداد اقسام	تعداد معیارها	پژوهش حاضر
	فازی	احتمالی	پارامتر غیر قطعی	قطعی	کمی	کیفی			
QFD و برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی	*	*	مرجوعی ریسک تأمین در شرایط بحران		*	*	چند	چند	[۲۶]
QFD فازی و برنامه-ریزی چندهدفه تصادفی	*	*	تقاضا و هزینه‌ها		*	*	چند	چند	[۲۷]
برنامه‌ریزی دوهدفه تصادفی	*		ریسک تأمین در شرایط بحران		*		چند	یک	[۲۵]
تأسیس فازی		*	وزن معیارها		*		چند	چند	[۳۶]
ANP و ویکور فازی		*	وزن معیارها		*		چند	یک	[۱۳]
FAHP و برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استوار	*	*	وزن معیارها و ریسک تأمین		*	*	چند	چند	پژوهش حاضر

به عقیده چای و نای<sup>۱</sup> (۲۰۱۹)، با توجه به اینکه فرایند انتخاب تأمین‌کنندگان ذاتاً یک فرایند چندمرحله‌ای متشکل از غربالگری و تهیه فهرست کوتاه، تعیین معیارهای ارزیابی، رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها است، استفاده از رویکردهای تلفیقی در زمینه تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهینه‌سازی برای حل این مسئله ضروری است. آن‌ها نشان دادند در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران از مسئله عدم قطعیت تقاضا به مسئله ریسک تأمین تغییر روند داده است [۲۲]. با بررسی‌های پژوهش‌های مرتبط پیشین به نظر می‌رسد که عدم قطعیت در مسئله تخصیص و انتخاب تأمین‌کننده بیشتر در وزن معیارها و پارامتر تقاضا مطرح شده است و پژوهش‌های اندکی در سال‌های اخیر ریسک تأمین در شرایط بحران را با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی در نظر گرفته‌اند [۲۵-۲۶]. بنا بر دانش پژوهشگران در پژوهش حاضر برای نخستین بار از تلفیق دو رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و بهینه‌سازی استوار وزن‌دار برای در نظر گرفتن ریسک تأمین در شرایط تحریم بهره‌گیری می‌شود. از سوی دیگر با توجه به جدول ۱، پژوهش‌هایی که رویکرد استوار را در مسئله انتخاب تأمین‌کننده ارائه کرده‌اند، تنها بر عامل هزینه به‌عنوان یک معیار کمی تمرکز داشته‌اند و از معیارهای کیفی صرف‌نظر کرده‌اند. از دیگر نکات برجسته پژوهش حاضر، به‌کارگیری رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای در نظر گرفتن توأمان معیارهای کیفی و کمی در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها است. از آنجاکه

۱. Chai & Ngai

عوامل کیفی و ذهنی و ارزیابی‌های غیردقیق، ماهیتی فازی و مبهم دارند [۳۴]، رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده می‌شود.

### ۳. روش شناسی پژوهش

در این پژوهش، مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها در یک زنجیره تأمین تولیدی با در نظر گرفتن یک تولیدکننده و چندین تأمین‌کننده خارجی بررسی می‌شود. با در نظر گرفتن ریسک تأمین در شرایط تحریم، عدم قطعیت با رویکرد مبتنی بر سناریو مورد مطالعه قرار می‌گیرد. از آنجا که معیارهای متعدد کیفی و کمی در انتخاب تأمین‌کنندگان مؤثر هستند، یک مدل یکپارچه با تلفیق رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره FAHP<sup>۱</sup>، برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و بهینه‌سازی استوار برای مدل‌سازی و حل مسئله پیشنهاد می‌شود. در گام نخست، معیارهای کلیدی در انتخاب تأمین‌کنندگان شناسایی شده و با روش FAHP به هر یک از تأمین‌کنندگان وزنی اختصاص داده می‌شود. در گام دوم، این وزن‌ها به عنوان ورودی در مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای وارد می‌شوند و متغیرهای مرحله دوم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با توجه به اهمیت تأمین مواد اولیه و جلوگیری از تقاضای تأمین‌نشده، رویکرد فرمول‌بندی استوار مالوی<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۵)، برای استوارسازی مدل استفاده می‌شود؛ به طوری که جواب‌های با عملکرد قابل قبول از نظر بهینگی و مواجه بودن تحت تمام سناریوهای محتمل به دست آید [۳۷]. در ادامه مهم‌ترین مفروضات مسئله و همچنین تشریح علائم ریاضی به‌منظور مدل‌سازی مسئله ارائه می‌شود.

**مفروضات مسئله و علائم ریاضی.** با توجه به ویژگی‌های مسئله انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت تأمین به‌طور کلی می‌توان مفروضات زیر را بیان کرد:

- چندین تأمین‌کننده و چندین آیتم برای خرید وجود دارد؛
- هیچ‌یک از تأمین‌کنندگان نمی‌تواند کل آیتم‌ها را تأمین کند؛
- ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان محدود است؛
- افق تصمیم‌گیری نامحدود در نظر گرفته شده است؛
- مقدار سفارش در کل دوره مورد بررسی نمی‌تواند از مقدار تقاضا بیشتر شود؛
- میزان کمبود تا حدی پذیرفته است که سطح خدمت زنجیره تضمین شود؛
- تعداد قطعات معیوب و نرخ دیرکرد تأمین نمی‌تواند از حد مشخصی بیشتر شود؛
- معیارهای کیفی چندگانه مؤثر در انتخاب تأمین‌کنندگان علاوه بر معیار هزینه در نظر گرفته می‌شود؛

۱. Fuzzy Analytical Hierarchy Process

۲. Mulvey



– عدم قطعیت در تأمین تقاضا تحت سه سناریو افزایش تحریم، ثبات تحریم و حذف تحریم در نظر گرفته می‌شود.

علائم ریاضی برای مدل‌سازی مسئله به شرح زیر ارائه شده‌اند.

#### مجموعه‌ها

K	مجموعه تأمین‌کنندگان
R	مجموعه آیتم‌ها (قطعات)
S	مجموعه سناریوها
M	تعداد کل قطعات مورد استفاده در یک پروژه
Q	عنوان محصول

#### پارامترها

$C_k^r$	ظرفیت تأمین‌کننده $k$ ام برای قطعه $r$
$g^r$	هزینه یک واحد کمبود قطعه $r$
$A_k^r$	هزینه حمل‌ونقل یک واحد از تأمین‌کننده $k \in K$
$E_k^s$	هزینه حمل‌ونقل یک واحد از تأمین‌کننده $k \in K$
$M_r^q$	تعداد قطعاتی که برای ساخت یک مجموعه $q$ نیاز است.
$Z_k^r$	نرخ معیوبی قطعه $r$ برای تأمین‌کننده $k \in K$
$J^r$	هزینه جریمه برای قطعه معیوب $r$
$N_k^r$	نرخ دیرکرد قطعه $r$ برای تأمین‌کننده $k \in K$
$B^r$	هزینه جریمه برای دیرکرد قطعه $r$
$D^q$	مقدار تقاضا برای محصول $q$
$O_r^+$	حداکثر نرخ دیرکرد پذیرفته‌شده برای قطعه $r$
$O_r^-$	حداکثر نرخ معیوب پذیرفته‌شده برای قطعه $r$
$L_k^r$	هزینه سفارش مجدد قطعه $r$ برای تأمین‌کننده $k$
$w_k$	وزن تأمین‌کننده $k$

#### متغیرهای تصمیم مرحله اول

$p_s$	احتمال وقوع سناریوها
$x_k^r$	متغیر باینری انتخاب تأمین‌کننده $k \in K$

### متغیرهای تصمیم مرحله دوم

$y_k^{rs}$  مقدار تحویل داده شده قطعه  $r$  از تأمین کننده  $k \in K$   
 $U^{rs}$  میزان تقاضای ارضاننده (مواد یا قطعه تأمین نشده) برای محصول  $r$

### فرمول‌بندی مسئله

محاسبه وزن‌ها با رویکرد FAHP. ابتدا درخت تحلیل سلسله مراتبی تشکیل و سپس ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف و ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها، ایجاد می‌شود و تصمیم‌گیرندگان، هر یک به صورت مجزا به قضاوت ماتریس‌ها می‌پردازند. در این پژوهش، معیارهای انتخاب شده توسط خبرگان متشکل از ۴ معیار سابقه همکاری، توان مالی، قابلیت انعطاف‌پذیری و شایستگی زیست‌محیطی است. در مرحله بعد با استفاده از تحلیل توسعه چانگ<sup>۱</sup> (۱۹۹۶)، وزن‌های نسبی معیارها و گزینه‌ها بر اساس رابطه ۱، محاسبه می‌شود.

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{ki}^j * \left[ \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ki}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

سپس درجه ارجحیت (درجه امکان‌پذیری)  $S_i$  بر  $S_k$  مطابق روابط ۳ و ۴، محاسبه خواهد شد:

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1, & m_1 \geq m_2 \\ V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (3)$$

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

$$V(M_1 \geq M_2 \geq \dots \geq M_K) = V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_K) \quad (4)$$

$$\hat{W}(X_i) = \min\{V(S_i \geq S_k)\} \dots \dots K = 1, 2, 3, \dots, n, k \neq i \quad (5)$$

بنابراین بردار وزن شاخص‌ها به صورت رابطه ۶ خواهد بود:

۱. Chang

$$\hat{W} = [\hat{W}(X_1), \hat{W}(X_2), \dots, \hat{W}(X_n)] \quad (6)$$

که همان بردار ضرایب ناپهنجار تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است. بر اساس رابطه  $W_i = \frac{\hat{W}_i}{\sum \hat{W}_i}$  وزن‌های بهنجار شده شاخص‌ها به دست می‌آید. حال وزن‌های به دست آمده از هر تأمین کننده به صورت  $\sum \frac{1}{w_i}$  در مدل احتمالی لحاظ می‌شود. وزن‌های به دست آمده در قالب پارامتر  $w_k$  در مدل احتمالی لحاظ می‌شوند تا اثر معیارهای کیفی نادیده گرفته نشود. در ادامه ابتدا به فرمول‌بندی مدل دومرحله‌ای تصادفی و سپس مدل استوار شده با شرایط چند تأمین کننده، چندآیتمی، تک دوره‌ای و دارای کمبود پرداخته می‌شود.

### مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای وزن‌دار

$$\text{Min} \sum_{s=1}^s P_s \left\| \sum_{k=1}^K \left[ \sum_{r=1}^R (A_k^r y_k^{rs}) / w_k + (Z_k^r J^r y_k^{rs}) / w_k \right. \right. \quad (7)$$

$$\left. \left. + (N_k^r B^r y_k^{rs}) / w_k + E_k^s y_k^{rs} + (L_k^r y_k^{rs}) / w_k \right] \right\|$$

$$+ \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R x_k^r$$

St:

$$\sum_{k=1}^K x_k^r \leq N, \forall r \quad (8)$$

$$y_k^{rs} \leq C_k^r * x_k^r, \forall r, \forall k, \forall s \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^K y_k^{rs} \leq D^q M_r^q, \forall r, \forall s \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^K y_k^{rs} \geq \alpha * D^q M_r^q, \forall r, \forall s \quad (11)$$

$$Z_k^r y_k^{rs} \leq O_r^q \left( \sum_{q=1}^Q D^q M_r^q \right), \forall r, \forall k, \forall s \quad (12)$$

$$N_k^r y_k^{rs} \leq O_r^q \left( \sum_{q=1}^Q D^q M_r^q \right), \forall r, \forall k, \forall s \quad (13)$$

$$U_{rs} = \sum_{q=1}^Q D^q M_r^q - \sum_{k=1}^K y_k^{rs} \quad (۱۴)$$

$$x_k^r \in \{0, 1\}, y_k^{rs}, U_{rs} \in \mathbb{R}^+ \quad (۱۵)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تابع هدف (رابطه ۷)، هزینه خرید، قطعات معیوب، قطعات دارای دیرکرد، حمل‌ونقل و تولید مجدد یک مجموعه را حداقل می‌کند. محدودیت‌های مدل به شرح زیر هستند: رابطه ۸، نشان می‌دهد که تعداد تأمین‌کننده نباید برای هر قطعه بیشتر از  $N$  باشد و رابطه ۹، به ظرفیت تأمین‌کننده اشاره دارد. رابطه ۱۰، نمایانگر این است که مقدار خرید در کل دوره موردبررسی نباید بیش از تقاضای دوره باشد و رابطه ۱۱، اشاره به این دارد که حداقل میزان خرید  $\alpha$  درصد تقاضای کل است. رابطه ۱۲، محدودیت بازدارنده قطعات معیوب و رابطه ۱۳، محدودیت بازدارنده قطعات دارای دیرکرد است. رابطه ۱۴، مقدار کمبود را نشان می‌دهد و رابطه ۱۵، حدود متغیرها را مشخص می‌کند.

**مدل بهینه‌سازی استوار.** با توجه به وجود عدم قطعیت در پارامتر تأمین قطعه یا مواد و با توجه به ماهیت گسسته و سناریویی داده‌ها از فرمول‌بندی استوار مالوی و همکاران (۱۹۹۵)، برای خطی و استوارسازی مدل استفاده شده که تابع هدف آن به صورت رابطه ۱۶، است.

$$\text{Min} \sum_{s=1}^S P_s f(x, y_s) + \delta \sum_{s=1}^S P_s (Q_s^+ + Q_s^-) + \gamma \sum_{s=1}^S p_s \eta_s \quad (۱۶)$$

در رابطه بالا،  $x$  متغیر طراحی است که قبل از فهم پارامترهای احتمالی تصمیم‌گیری می‌شود و نمی‌توان آن را بعد از فهم تغییر داد و  $y_s$  متغیر کنترلی است که بعد از فهم سناریوی  $s$  مشخص می‌شود؛ همچنین به خاطر عدم قطعیت پارامترها ممکن است مدل برای تعدادی از سناریوها غیرموجه شود؛ بنابراین  $\eta_s$  غیرموجه بودن مدل را تحت هر سناریو  $s$  نشان می‌دهد. در این مسئله کمبود با  $\eta_s$  نشان داده می‌شود که اگر کمبود تحت سناریوی  $s$  روی ندهد،  $\eta_s$  برابر صفر است و در غیر این صورت مقدار مثبتی از معادله را خواهد گرفت.

رابطه  $Q_s^+ + Q_s^-$  از رابطه  $|f(x, y_s) - \sum_{s=1}^S P_s f'(x, y_s)|$  به دست آمده و همان فرمول انحراف معیار است که تنها برای خطی‌سازی مدل از رابطه بالا استفاده شده است. در صورتی که  $f(x, y_s)$  از  $\sum_{s=1}^S P_s f'(x, y_s)$  بزرگ‌تر باشد به  $Q_s^+$  و در غیر این صورت  $Q_s^-$  تفسیر می‌شود. بدیهی است همواره یکی از مقادیر  $Q_s^+$  و  $Q_s^-$  صفر است.

پارامترهای  $\gamma$  و  $\delta$  به ترتیب وزن داده‌شده برای کمبود مدل و وزن اختصاص یافته به واریانس راه‌حل است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اولی هزینه منفعت را بین استواری مدل و راه‌حل و دومی ضریب ریسک را در مدل نشان می‌دهد؛ بنابراین تابع هدف استوار مسئله به صورت رابطه ۱۷، است و تابع هدف دارای سه قسمت هزینه موردانتظار، استواری راه‌حل به‌ازای تغییر سناریوها و استواری مدل به‌ازای عدم‌تأمین به‌موقع قطعه است.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{s=1}^r P_s \left\| \sum_{k=1}^K \left[ \sum_{r=1}^R (A_k^r y_k^{rs}) / w_k + (Z_k^r J^r y_k^{rs}) / w_k \right. \right. \\ & \left. \left. + (N_k^r B^r y_k^{rs}) / w_k + E_k^s y_k^{rs} + (L_k^r y_k^{rs}) / w_k \right] \right. \\ & \left. + \sum_{r=1}^R g^r U^{rs} \right\| + \delta \sum_{s=1}^S P_s (Q_s^+ + Q_s^-) \\ & + \gamma \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R p_s U^{rs} + \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^r x_k^r \end{aligned} \quad (17)$$

St:

$$y_k^{rs} \leq C_k^r x_k^r, \forall r, \forall k, \forall s \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^K y_k^{rs} \leq D^q M_r^q, \forall r, \forall s \quad (19)$$

$$\sum_{k=1}^K y_k^{rs} \geq \alpha * D^q M_r^q, \forall r, \forall s \quad (20)$$

$$Z_k^r y_k^{rs} \leq O_r^r \left( \sum_{q=1}^Q D^q M_r^q \right), \forall r, \forall k, \forall s \quad (21)$$

$$N_k^r y_k^{rs} \leq O_r^r \left( \sum_{q=1}^Q D^q M_r^q \right), \forall r, \forall k, \forall s \quad (22)$$

$$U_{rs} = \sum_{q=1}^Q D^q M_r^q - \sum_{k=1}^K y_k^{rs}, \forall r, \forall s \quad (23)$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R \{ (A_k^r y_k^{rs}) / w_k + (Z_k^r J^r y_k^{rs}) / w_k + (N_k^r B^r y_k^{rs}) / w_k + E_k^s y_k^{rs} \\
 & + (L_k^r y_k^{rs}) / w_k \} \\
 & - \sum_{s=1}^S P_s \left\| \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R \{ (A_k^r y_k^{rs}) / w_k + (Z_k^r J^r y_k^{rs}) / w_k \right. \\
 & \left. + (N_k^r B^r y_k^{rs}) / w_k + E_k^s y_k^{rs} + \frac{L_k^r y_k^{rs}}{w_k} \right\} \\
 & = Q_s^+ - Q_s^-, \quad \forall s \\
 & x_k^r \in \{0, 1\}, y_k^{rs}, U_{rs} \in \mathbb{R}^+
 \end{aligned} \tag{24}$$

$$\tag{25}$$

به طوری که رابطه ۲۴، مقدار تفاضل سناریوها را نشان می‌دهد.

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

یک مطالعه موردی در شرکت تولیدکننده جعبه دنده به منظور انتخاب و تخصیص تأمین‌کنندگان قطعات مجموعه جعبه دنده در نظر گرفته شد که نتایج آن‌ها به شرح زیر است: این مجموعه متشکل از ۵ زیرمجموعه مکانیکی است که به صورت کامل برونسپاری شده است و در این گام با توجه به نوع محصول تعدادی تأمین‌کنندگان مشخص شده (۴۰ تأمین‌کننده) و با توجه به ارزیابی اولیه توسط خبرگان، تعدادی از آن‌ها (۶ تأمین‌کننده) به گام دوم راه یافتند و قرار است بین ۶ تأمین‌کننده‌ای که بیشترین امتیاز را کسب کرده‌اند، زیرمجموعه‌های مکانیکی توزیع شود. تأمین‌کنندگانی که در گام نخست شناسایی شدند با استفاده از FAHP و با توجه به معیارهای سابقه همکاری و توان مالی و قابلیت انعطاف و شایستگی زیست‌محیطی مورد ارزیابی اولیه قرار گرفتند و وزن هر تأمین‌کننده مطابق مراحل زیر تعیین شد. ماتریس تجمیع‌شده مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف در جدول ۲، نشان داده شده است.

جدول ۲. جدول ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف

سابقه همکاری	توان مالی	انعطاف‌پذیری	زیست‌محیطی
(۱، ۱، ۱)	(۱، ۲، ۴)	(۱، ۳، ۵)	(۱، ۲، ۴)
(۰/۲۵، ۰/۵، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۷، ۹)	(۱، ۳، ۵)
(۰/۲، ۰/۳۳، ۱)	(۰/۱، ۰/۱، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۳، ۵، ۷)
(۰/۲، ۰/۵، ۱)	(۰/۲، ۰/۳، ۱)	(۰/۱، ۰/۲، ۰/۳)	(۱، ۱، ۱)

در این گام با استفاده از تحلیل توسعه چانگ، وزن‌های نسبی معیارها و گزینه‌ها محاسبه می‌شود؛ در نتیجه بر اساس رابطه  $W_i = \frac{W_1}{\sum W_1}$  وزن‌های بهنجارشده شاخص‌ها به صورت  $w_1=0/33$  و  $w_2=0/39$ ،  $w_3=0/26$ ،  $w_4=0/03$  با توجه به معیار سابقه همکاری را نشان می‌دهد.

جدول ۳. ماتریس‌های تجمیع‌شده مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها با توجه به معیار سابقه همکاری

سابقه همکاری	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	(1, 1, 1)	(0/5, 0/5, 1)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 2, 4)
A2	(1, 2, 4)	(1, 1, 1)	(0/5, 0/5, 1)	(0/4, 0/2, 0/3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)
A3	(0/2, 0/3, 1)	(1, 2, 4)	(1, 1, 1)	(2, 4, 6)	(1, 2, 4)	(0/2, 0/3, 1)
A4	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)	(0/7, 0/5, 0/5)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 2, 4)
A5	(0/2, 0/3, 1)	(1, 1, 1)	(0/5, 0/5, 1)	(0/2, 0/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)
A6	(0/5, 0/5, 1)	(0/5, 0/5, 1)	(1, 3, 5)	(0/5, 0/5, 1)	(0/5, 0/5, 1)	(1, 1, 1)

وزن‌های بهنجارشده شاخص‌ها عبارت‌اند از:  $w_5=0/126$ ،  $w_6=0/139$ ،  $w_7=0/205$ ،  $w_8=0/186$ ،  $w_9=0/151$ ،  $w_{10}=0/192$ . جدول ۴، مقایسات زوجی تأمین‌کنندگان با توجه به معیار توان مالی را نشان می‌دهد.

جدول ۴. ماتریس‌های تجمیع‌شده مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها با توجه به معیار توان مالی

توان مالی	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	(1, 1, 1)	(2, 4, 6)	(0/2, 0/3, 1)	(1, 2, 4)	(1, 1, 1)	(0/2, 0/5, 1)
A2	(0/1, 0/2, 0/5)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(2, 4, 6)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)
A3	(1, 3, 5)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0/1, 0/2, 0/5)	(3, 5, 7)
A4	(0/2, 0/5, 1)	(1, 2, 4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(2, 4, 6)
A5	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 4, 6)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)
A6	(1, 2, 4)	(0/2, 0/3, 1)	(0/1, 0/2, 0/3)	(0/1, 0/2, 0/5)	(0/2, 0/3, 1)	(1, 1, 1)

وزن‌های بهنجارشده شاخص‌ها عبارت‌اند از:  $w_{11}=0/167$ ،  $w_{12}=0/183$ ،  $w_{13}=0/108$ ،  $w_{14}=0/185$ ،  $w_{15}=0/189$ ،  $w_{16}=0/169$ . جدول ۵، مقایسات زوجی تأمین‌کنندگان با توجه به معیار قابلیت انعطاف‌پذیری را نشان می‌دهد.

جدول ۵. ماتریس‌های تجمیع‌شده مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها با توجه به معیار قابلیت انعطاف‌پذیری

انعطاف‌پذیری	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(0/2, 0/3, 1)	(2, 4, 6)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)
A2	(0/2, 0/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(1, 2, 4)	(1, 1, 1)	(0/2, 0/3, 1)
A3	(1, 3, 5)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 4, 6)	(2, 4, 6)
A4	(0/1, 0/2, 1)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(1, 4, 6)
A5	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0/1, 0/2, 1)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)
A6	(0/2, 0/5, 1)	(1, 3, 5)	(0/1, 0/2, 1)	(0/1, 0/2, 1)	(0/2, 0/3, 1)	(1, 1, 1)

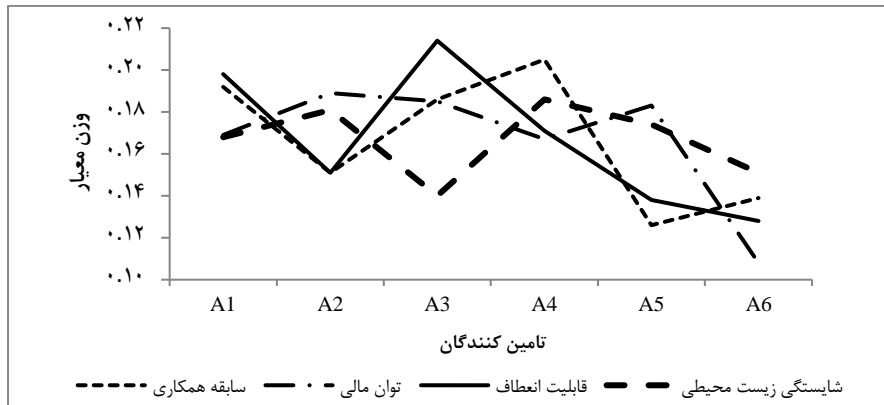
وزن‌های به‌نجارشده شاخص‌ها عبارت‌اند از:  $w_4=0/128$ ,  $w_5=0/138$ ,  $w_6=0/171$ ,  $w_1=0/198$ ,  $w_2=0/151$ ,  $w_3=0/214$ . جدول ۶ مقایسات زوجی تأمین‌کنندگان با توجه به معیار شایستگی زیست‌محیطی را نشان می‌دهد.

جدول ۶. ماتریس‌های تجمیع‌شده مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها با توجه به معیار شایستگی زیست‌محیطی

زیست محیطی	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(0/2, 0/3, 1)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 2, 4)	(1, 1, 1)
A2	(0/2, 0/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(1, 2, 4)	(1, 1, 1)	(2, 4, 6)
A3	(1, 3, 5)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0/2, 0/3, 1)	(0/1, 0/2, 0/5)
A4	(1, 2, 4)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 4)	(1, 4, 6)
A5	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(0/2, 0/5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)
A6	(1, 1, 1)	(0/1, 0/2, 0/5)	(2, 4, 6)	(0/1, 0/2, 0/5)	(0/2, 0/3, 1)	(1, 1, 1)

اوزان به‌نجارشده شاخص‌ها عبارت‌اند از:  $w_4=0/186$ ,  $w_5=0/174$ ,  $w_6=0/151$ . بر اساس محاسبات بالا حساسیت هر تأمین‌کننده با توجه به هر یک از معیارهای سابقه همکاری، توان مالی، قابلیت انعطاف و شایستگی زیست‌محیطی مطابق شکل ۱، است.





شکل ۱. حساسیت هر تأمین‌کننده با توجه به معیارها

حال با توجه به معیارها و فرمول‌های محاسبه وزن با استفاده از روش تحلیل سلسله فازی وزن هر تأمین‌کننده مطابق جدول ۷ به دست می‌آید.

جدول ۷. وزن نهایی هر یک از تأمین‌کنندگان

$k_6$	$k_5$	$k_4$	$k_3$	$k_2$	$k_1$	وزن تأمین‌کنندگان
۰/۱۲۶	۰/۱۵۴	۰/۱۸۳	۰/۱۹۳	۰/۱۸۶	۰/۱۸۶	$W(k)$

با توجه به جنس مواد اولیه به‌کاررفته در محصول و عدم تولید بعضی از آن‌ها در داخل و همچنین روشن نبودن سیاست کشور به لحاظ حذف تحریم‌ها، این موضوع بر هزینه تأمین مواد یا قطعه یا مجموعه‌ها تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل در بازه زمان‌بندی پروژه، سه سناریوی افزایش تحریم‌ها، ثبات تحریم و حذف آن‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. در صورت شدیدتر شدن تحریم‌ها، هزینه‌ها افزایش خواهد یافت و برعکس. بر خلاف رویکردهای احتمالی، همان‌طور که در مبانی نظری پژوهش بیان شد، نیازی به شناسایی توزیع احتمالی این عدم قطعیت در مدل‌های استوار نیست. این نکته یکی از نقاط قوت رویکرد استوار به روش مالوی و همکاران (۱۹۹۵) است باشد. با توجه به این نکته و مشورت با متخصصان در این شرکت احتمال وقوع سناریوی اول ۰/۳۹ و سناریوی دوم ۰/۴۹ و سناریوی سوم ۰/۱۲ برآورد شده است. جدول ۸، نشان‌دهنده هزینه‌های مدل در مسئله موردبررسی است.

جدول ۱. جدول پارامترهای مدل

اقلام $r$	هزینه کمبود $g(r)$	هزینه نگهداری $H(r)$	هزینه جریمه قطعات معیوب $J(r)$	هزینه جریمه دیرکرد $B(r)$	حداکثر نرخ دیرکرد $o_2(r)$	حداکثر نرخ معیوبی $o_1(r)$
$r_1$	۶۵	۱۴	۲۲۰	۱۳۸	-/۱۳	۰/۰۴
$r_2$	۹۴	۱۴	۲۳۵	۱۷۹	-/۱۳	۰/۰۴
$r_3$	۸۴	۲۵	۲۵۰	۲۵۲	-/۱۳	۰/۰۴
$r_4$	۸۳	۱۶	۲۰۵	۲۰۵	-/۱۳	۰/۰۴
$r_5$	۹۱	۱۷	۱۸۰	۱۹۸	-/۱۳	۰/۰۴

ظرفیت پیمانکار اول برای قطعات اول تا پنجم در بازه [۳۱۰, ۷۰۰]، ظرفیت پیمانکار دوم در بازه [۲۲۰, ۶۵۰]، ظرفیت پیمانکار سوم در بازه [۲۵۰, ۱۲۰۰]، ظرفیت پیمانکار چهارم در بازه [۱۵۰, ۱۱۰۰]، ظرفیت پیمانکار پنجم در بازه [۲۰۰, ۶۵۰] و ظرفیت پیمانکار ششم در بازه [۸۵۰, ۳۰۰] قرار دارد. هزینه پیمانکار اول برای خرید قطعات اول تا پنجم در بازه [۲۰۰, ۷۲۲۷]، هزینه پیمانکار دوم در بازه [۱۶۵, ۵۲۴۴]، هزینه پیمانکار سوم در بازه [۱۹۲, ۶۹۳۸]، هزینه پیمانکار چهارم در بازه [۲۲۸, ۸۲۷۲]، هزینه پیمانکار پنجم در بازه [۲۳۵, ۸۵۱۷] و هزینه پیمانکار ششم در بازه [۱۷۵, ۶۳۵۱] است. هزینه حمل‌ونقل یک واحد برای تأمین‌کننده اول برای ۳ سناریو در بازه [۲۱, ۲۵] واحد، برای تأمین‌کننده دوم در بازه [۲۵, ۲۸] واحد، برای تأمین‌کننده سوم در بازه [۲۱, ۲۳] واحد، برای تأمین‌کننده چهارم در بازه [۲۰, ۲۲] واحد، برای تأمین‌کننده پنجم در بازه [۲۲, ۲۴] واحد و برای تأمین‌کننده ششم در بازه [۲۳, ۲۷] واحد قرار دارد. نرخ معیوبی مجموعه‌های اول تا پنجم برای تأمین‌کننده اول در بازه [۰/۰۲, ۰/۰۵] واحد، برای تأمین‌کننده دوم در بازه [۰/۰۱, ۰/۰۵] واحد، برای تأمین‌کننده سوم در بازه [۰/۰۲, ۰/۰۴] واحد، برای تأمین‌کننده چهارم در بازه [۰/۰۱, ۰/۰۵] واحد و برای تأمین‌کننده پنجم در بازه [۰/۰۱, ۰/۰۵] واحد و برای تأمین‌کننده ششم در بازه [۰/۰۱, ۰/۰۵] واحد است. نرخ دیرکرد مجموعه‌های اول تا پنجم برای تأمین‌کننده اول در بازه [۰/۰۸, ۰/۲] واحد، برای تأمین‌کننده دوم در بازه [۰/۰۴, ۰/۲] واحد، برای تأمین‌کننده سوم در بازه [۰/۰۸, ۰/۱۶] واحد، برای تأمین‌کننده چهارم در بازه [۰/۰۴, ۰/۲] واحد، برای تأمین‌کننده پنجم در بازه [۰/۰۴, ۰/۲] واحد و برای تأمین‌کننده ششم در بازه [۰/۰۲, ۰/۲] واحد قرار دارد. هزینه سفارش مجدد برای پیمانکار اول برای خرید قطعات اول تا پنجم در بازه [۸۰, ۲۹۸۱] و برای پیمانکار دوم در بازه [۵۸, ۲۰۹۷]، برای پیمانکار سوم در بازه [۷۶, ۲۷۷۵]، برای پیمانکار چهارم در بازه [۹۱, ۳۳۰۹]، برای پیمانکار پنجم در بازه [۹۴, ۳۴۰۶] و برای پیمانکار ششم در بازه [۷۰, ۲۵۴۰] است. تعداد قطعه اول در مجموعه Q ۷۵ واحد، برای قطعه دوم ۵۰ واحد، برای قطعه سوم ۱۰۰ واحد، برای قطعه چهارم ۱۲۵ واحد و برای قطعه پنجم ۲۵ واحد

است. میزان وزن قرارداده‌شده برای واریانس راه‌حل ( $\delta$ ) یک، مقدار تقاضا برای محصول  $d(q)$  معادل ۲۵ و وزن قرارداده‌شده برای کمبود مدل (۷) ۲۰۰۰ است. با استفاده از نرم‌افزار گمز و حل‌کننده CPLEX، مقدار تابع هدف برابر با  $(3/186362e^{+7})$  به دست آمده و مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در جدول‌های ۹ و ۱۰، نشان داده شده است.

جدول ۹. میزان خرید از تأمین‌کنندگان در سناریوهای مختلف  $y_{SK}^r$ 

$r_5$	$r_4$	$r_3$	$r_2$	$r_1$	
۱۵۳/۵	-	-	-	-	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_1$ در سناریوی اول $(s_1, k_1) S_1$
۲۲۰	۳۱۲/۵۵	۲۵۰	۱۲۵	۱۸۷/۵	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_2$ در سناریوی اول $(s_1, k_2) S_1$
۲۵۰	-	-	-	-	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_3$ در سناریوی اول $(s_1, k_3) S_1$
۱۵۵	-	-	-	-	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_1$ در سناریوی دوم $(s_2, k_1) S_2$
۲۲۰	۳۱۲/۵۵	۲۵۰	۱۲۵	۱۸۷/۵	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_2$ در سناریوی دوم $(s_2, k_2) S_2$
۲۵۰	-	-	-	-	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_3$ در سناریوی دوم $(s_2, k_3) S_2$
۱۵۵	-	-	-	-	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_1$ در سناریوی سوم $(s_3, k_1) S_3$
۲۲۰	۳۱۲/۵۵	۲۵۰	۱۲۵	۱۸۷/۵	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_2$ در سناریوی سوم $(s_3, k_2) S_3$
۲۵۰	-	-	-	-	خرید کالا از تأمین‌کننده $k_3$ در سناریوی سوم $(s_3, k_3) S_3$

جدول ۱۰. میزان تقاضای تأمین‌نشده

میزان تقاضای تأمین‌نشده در سناریوهای مختلف $U^{FS}$					
$r_5$	$r_4$	$r_3$	$r_2$	$r_1$	
۱/۶۷	۲۸۱۲/۵	۲۲۵۰	۱۱۲۵	۱۶۸۷/۵	$s_1$
-	۲۸۱۲/۵	۲۲۵۰	۱۱۲۵	۱۶۸۷/۵	$s_2$
-	۲۸۱۲/۵	۲۲۵۰	۱۱۲۴/۴۳	۱۶۸۷/۵	$s_3$

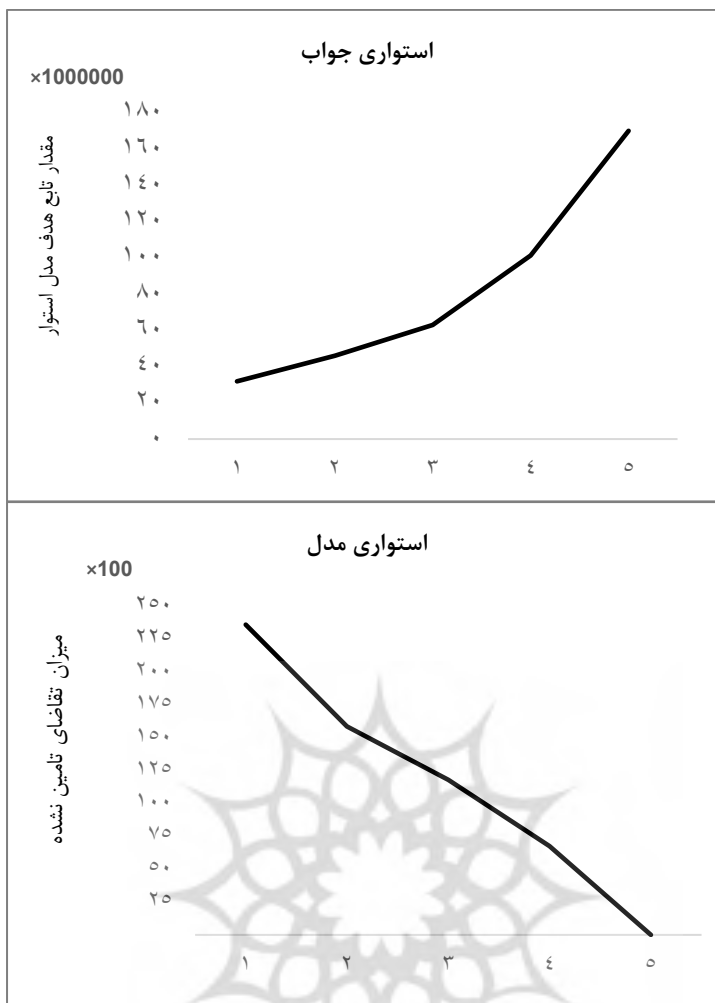
از آنجاکه هدف در مدل‌های بهینه‌سازی استوار، کاهش تغییرات در ازای سناریوهای مختلف است، ممکن است مقدار هزینه در مدل استوار بیشتر از مقدار هزینه در مدل برنامه‌ریزی احتمالی

باشد که این مقدار افزایش در تابع هدف، جبران‌کننده تغییرات در سناریوهای مختلف است. مهم‌ترین پارامتری که تغییرات آن در مدل حاضر باعث تغییرات چشمگیر در هزینه‌ها و تقاضای تأمین‌نشده می‌شود، پارامتر  $\gamma$  است. به همین منظور تحلیل حساسیتی بر روی این پارامتر مطابق جدول ۱۱، انجام شد. علت ضریب بالای  $\gamma$  مقیاس بزرگ داده‌ها است.

جدول ۱۱. تأثیر تغییرات ضریب  $\gamma$  بر نتایج مدل

دلتا ( $\delta$ )	گاما ( $\gamma$ )	مجموع تقاضای ارضاننشده	مقدار تابع هدف (مدل استوار)
۱	۲۰۰۰	۲۲۶۳۴/۴۳	۳/۱۸۶۳۶۲e+۷
۱	۴۰۰۰	۱۵۸۷۸/۵۲۴	۴/۶۰۸۷۷۶e+۷
۱	۸۰۰۰	۱۱۸۱۰/۲۲۶	۶/۲۸۸۸۹۸e+۷
۱	۲۰۰۰۰	۶۷۵۰/۵۷۶	۱/۰۱۳۵۳۷e+۸
۱	۱۴۰۰۰۰	۰	۸۱/۷۰۱۰۶e+۸

با افزایش پارامتر  $\gamma$  که در واقع ضریب استواری مدل است، تقاضای تأمین‌نشده از طریق افزایش هزینه بیشتر در تابع هدف جبران و استواری مدل از لحاظ رسیدن به راه‌حل شدنی افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر تغییر در تقاضای تأمین‌نشده پوشش داده شده است. از طرف دیگر با کاهش پارامتر  $\gamma$  اهمیت کاهش هزینه‌ها (بهینگی جواب) نسبت به کاهش تغییرات افزایش یافته و میزان تقاضای تأمین‌نشده افزایش می‌یابد. موازنه بین استواری جواب و استواری مدل در شکل ۲، نشان داده شده است. این موازنه در مسئله پژوهش مطابق انتظار دیده می‌شود. در واقع تعیین ضرایب اهمیت جریمه مربوط به استواری جواب و استواری مدل با توجه به دیدگاه تصمیم‌گیرنده می‌تواند جواب‌های متفاوتی را ایجاد کند. نکته مهم دیگر در مدل استوار پیشنهادی، توانایی آن در استفاده بیشتر از ظرفیت تأمین‌کنندگان است.



شکل ۲. موازنه استواری جواب و استواری مدل

با افزایش مقادیر گاما که در واقع ضریب موازنه بین استواری مدل و استواری راه‌حل است، مقادیر تقاضای ارضانگشته و استواری جواب مطابق انتظار تغییر می‌کند.

##### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این در این پژوهش با تلفیق تحلیل سلسله‌مراتبی فازی با مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و بهینه‌سازی استوار، اثر عوامل غیرکمی به‌طور هم‌زمان در مدل به‌منظور انتخاب بهترین تأمین‌کننده و تخصیص بهینه سفارش‌ها بررسی شد. ریسک تأمین تحت سناریوهای مختلف تحریم به‌عنوان عامل عدم قطعیت در نظر گرفته شد. رویکرد پیشنهادی به‌منظور انتخاب تأمین-

کنندگان «مجموعه جعبه دنده» در یک زنجیره تأمین تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌های کلیدی شایستگی زیست‌محیطی، قابلیت انعطاف‌پذیری، سابقه همکاری و توان مالی به‌عنوان معیارهای کیفی در فاز نخست بررسی شدند و سپس مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای تشکیل شد. نکته قابل‌توجه در مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای پیشنهادشده تأکید بر کیفیت محصول با لحاظ کردن دو محدودیت قطعات معیوب و دارای دیرکرد علاوه بر عامل هزینه‌ها است. در نهایت رویکرد بهینه‌سازی استوار مالوی به‌منظور حصول جواب‌های استوار با کمینه تغییرات تحت سناریوهای مختلف و موازنه بین استواری جواب و استواری مدل مورد بحث قرار گرفت. این رویکرد تلفیقی پیشنهادی می‌تواند به مدیران ارشد سازمان‌ها یاری رساند تا جواب‌های استوار و مقاوم به تغییرات را جهت انتخاب و تخصیص خرید در شرایط ریسک تأمین به‌دست آورند و با تغییر پارامترهای اهمیت تحت کنترل خود، بهترین جواب را از میان جواب‌های حاصل برگزینند. مدل پیشنهادشده توانایی در نظر گرفتن مجموعه معیارهای کیفی و کمی را در مسئله انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت دارد. در پژوهش‌های آتی می‌توان از یک مدل چنددوره‌ای و همچنین میزان تخفیف با توجه به حجم خرید و همچنین از سایر رویکردهای استوارسازی استفاده کرد.



## منابع

۱. Chan, F.T.S., & Kumar, N. (۲۰۰۷). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP based approach. *Omega*, ۳۵, ۴۱۷-۴۳۱.
۲. Gunasekaran, A., & Ngai, E.W.T. (۲۰۰۴). Virtual supply chain management. *Production Planning and Control*, ۱۵( ۶), ۵۸۴-۵۹۵.
۳. Gunasekaran, A., & Ngai, E.W.T. (۲۰۰۴). Information systems in supply chain integration and management. *European Journal of Operational Research*, ۱۵۹, ۲۶۹-۲۹۵.
۴. Weber, C.A., Current, JR, & Benton, W.C. (۱۹۹۱) Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, ۵۰( ۱), ۲-۱۸.
۵. Bertsimas, D., & Sim, M. (۲۰۰۴). The Price of Robustness. *Operations research*. ۵۲( ۱), ۳۵-۵۳.
۶. Alem, D.J., & Morabito, R. (۲۰۱۲). Production planning in furniture settings via robust optimization. *Computers & Operations Research*, ۳۹( ۲), ۱۳۹-۱۵۰.
۷. Dahel, N-E. (۲۰۰۳). Vendor Selection and Order Quantity Allocation in Volume Discount Environments. *Supply Chain Management: An International Journal*, ۸( ۴), ۳۳۵-۳۴۲.
۸. Shahbandarzadeh, H., & Paykam, A. (۲۰۱۵). Employment of a Weighted Fuzzy Multi-Objective Programming Model to Determine the Amount of Optimum Purchasing from Suppliers. *Journal of Industrial Management Perspective*, ۹( ۲), ۱۲۹-۱۵۲ (In Persian).
۹. Cebi, F., Otay, I. (۲۰۱۵). A two-stage fuzzy approach for supplier evaluation and order allocation problem with quantity discounts and lead time. *Information Sciences* ۳۳۹, ۱۴۳-۱۵۷.
۱۰. Trapp, A. C., & Sarkis, J. (۲۰۱۶). Identifying Robust portfolios of suppliers: a sustainability selection and development perspective. *Journal of Cleaner Production*, ۱۱۲, ۲۰۸۸-۲۱۰۰.
۱۱. Hasani, P., Mohammaditabar, D. (۲۰۱۸). A Multi Period Lot-Sizing Model in Three-Echelon Supply Chain by Considering Payment Methods and Joint Replenishment of Inventory Items. *Journal of Industrial Management Perspective*, ۸( ۲), ۱۴۱-۱۶۵ (In Persian).
۱۲. Eydi, A., & Bakhtiari, M. (۲۰۱۶). Evaluating and Selecting Two-Layers of Suppliers in Green Supply Chain using Hierarchical Fuzzy Topsis based on Alpha Levels. *Journal of Industrial Management Perspective*, ۶( ۲), ۹۱-۱۲۱. (In Persian)
۱۳. Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., & Smarandache, F. (۲۰۱۹). An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *Computers in Industry*, ۱۰۶, ۹۴-۱۱۰.
۱۴. Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., & Sciancalepore, F. (۲۰۱۶). A stochastic cross efficiency data envelopment analysis approach for supplier selection under uncertainty. *International Transactions in Operational Research*, ۲۲( ۴), ۷۲۵-۷۴۸.
۱۵. Fallah Lajimi, H., Mohammadi Kani, S., & Rasooli Khatir, Z. (۲۰۱۹). Applying of Piecewise Linear Value Functions in LARG Suppliers Ranking: Multi-Criteria Decision Making Mixed Approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, ۹( ۱), ۱۱۵-۱۴۰ (In Persian).
۱۶. Xia, W., & Wu, Z. (۲۰۰۷). Supplier Selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega-The International journal of Management Science*, ۳۵( ۵), ۴۹۴-۵۰۴.

۱۷. Burke, G.J., Carrillo, J., Vakharia, A.J., (۲۰۰۸). Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts. *European Journal of Operational Research*, ۱۸۶(۱), ۳۱۷-۳۲۹.
۱۸. Amid, A., Ghodsypour, S.H., & O'Brien, C. (۲۰۰۹). A Weighted additive fuzzy multi-objective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, ۱۲۱(۲), ۳۲۳-۳۳.
۱۹. Wang, T., Yang, Y., (۲۰۰۹). A Fuzzy model for supplier selection in quantity discount environments. *Expert Systems with applications*, ۳۶(۱۰): ۱۲۱۷۹-۱۲۱۸۷.
۲۰. Mafakheri, F., Breton, M., & Ghoniem, A. (۲۰۱۱). Supplier selection-order allocation: A two-stage multiple criteria dynamic programming approach. *International Journal of Production Economics*, ۱۳۲(۱), ۵۲-۵۷.
۲۱. Ayhan, M.B., Kilic, H.S. (۲۰۱۵). A two stage approach for supplier selection problem in multi-item/multi-supplier environment with quantity discounts. *Computers and Industrial Engineering* ۸۵(۲), ۱-۱۲.
۲۲. Chai, J., & Ngai, E. W. (۲۰۱۹). Decision-making techniques in supplier selection: Recent accomplishments and what lies ahead. *Expert Systems with Applications*, ۱۱۲۹۰۳.
۲۳. Li, L., & Zabinsky, Z.B. (۲۰۱۱). Incorporating uncertainty into a supplier selection problem. *International Journal of Production Economics*, ۱۲۴(۲), ۳۴۴-۳۵۶.
۲۴. Hammami, R., Temponi, C., & Frein, Y. (۲۰۱۴). A scenario-based stochastic model for supplier selection in global context with multiple buyers, currency fluctuation uncertainties, and price discounts. *European Journal of Operational Research*, ۲۲۳, ۱۵۹-۱۷۰.
۲۵. Hosseini, S., Morshedlou, N., Ivanov, D., Sarder, M. D., Barker, K., & Al Khaled, A. (۲۰۱۹). Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks. *International Journal of Production Economics*, ۲۱۳, ۱۲۴-۱۳۷.
۲۶. Vahidi, F., Torabi, S. A., & Ramezankhani, M. J. (۲۰۱۸). Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Journal of Cleaner Production*, ۱۷۴, ۱۳۵۱-۱۳۶۵.
۲۷. Babbar, C., & Amin, S. H. (۲۰۱۸). A multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on fuzzy QFD in beverages industry. *Expert Systems with Applications*, ۹۲, ۲۷-۳۸.
۲۸. Rabieh, M., Azar, A., Modarres Yazdi, M., Fetanat Fard Haghghi, M. (۲۰۱۱). Designing a Multi-Objective Resource-Based Mathematical Modeling: An Approach to Supply Chain Risk Reduction (Case Study: Iran Khodro Supply Chain). *Journal of Industrial Management Perspective*, ۱(۱), ۵۷-۷۷ (in Persian).
۲۹. Babaei, M., & Omrani, H. (۲۰۱۷). Robust optimization approach for supplier selection under lean procurement. *International journal of industrial engineering and production management*, ۲۸(۲), ۴۵۹-۴۶۹ (In Persian).
۳۰. Yahyazade, Y., Olfat, L., & Amiri, M. (۲۰۱۶). Robust optimization approach for Supplier selection and order allocation in an uncertain environment. *Industrial Management Studies*, ۱۴(۴۰), ۲۵-۵۲. (In Persian)
۳۱. Fu, Y., Lai, K. K., & Liang, L. (۲۰۱۶). A robust optimisation approach to the problem of supplier selection and allocation in outsourcing. *International Journal of Systems Science*, ۴۷(۴), ۹۱۳-۹۱۸.
۳۲. Farrokh, M., Azar, A., & Jandaghi, G. (۲۰۱۶). Developing a Robust Fuzzy Programming Approach for Closed Loop Supply Chain Design. *Journal of Industrial Management Perspective*, ۷(۲), ۹-۴۳ (In Persian).



۳۳. Kim, J., Do Chung, B., Kang, Y., & Jeong, B. (۲۰۱۸). Robust optimization model for closed-loop supply chain planning under reverse logistics flow and demand uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, ۱۹۶, ۱۳۱۴-۱۳۲۸.
۳۴. Sanayei, A., Mousavi, S.F., & Yazdankhah, A. (۲۰۱۰). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert System with Applications*, ۳۷, ۲۴-۳۰.
۳۵. Kara, S. S. (۲۰۱۱). Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment. *Expert Systems with Applications*, ۳۸(۳), ۲۱۳۳-۲۱۳۹.
۳۶. Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (۲۰۱۹). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, ۵۰, ۹-۲۴.
۳۷. Mulvey, J., Vanderbei, R., & Zenios, S. (۱۹۹۵). Robust optimization of large-scale systems. *Operations Research*, ۴۳, ۲۶۴-۸۱.
۳۸. Chang, D. Y. (۱۹۹۶). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, ۹۵(۳), ۶۴۹-۶۵۵.



# A Weighted Robust Two-Stage Stochastic Optimization Model for Supplier Selection and Order Allocation under Uncertainty

Mostafa Jokar\*, Marzieh Mozafari\*\*, Ali Akbar Akbari\*\*\*

## Abstract

This paper presents an integrated model as a combination of fuzzy analytical hierarchy process (FAHP), scenario-based two-stage stochastic programming and robust optimization approaches for the problem of supplier selection and order allocation under supply risk conditions. Uncertainties in the supply of materials are considered under three scenarios: increased sanctions, stability of sanctions, and sanctions removal. In the first step, the main qualitative factors for the selection of suppliers are identified and a specific weight is assigned to each supplier through FAHP. In the second step, these weights are introduced as inputs to a two-stage stochastic programming model and affect the second-stage variables. In the third step, we use the Mulvey formulation and then linearize the resulted robust two-stage stochastic model. The model is a integer linear programming model solved by CPLEX for a case study and the results are discussed. Finally, a sensitivity analysis is performed on the parameters of the robust model and the balance between the total cost and the unfulfilled demand is shown.

**Keywords: Supplier Selection and Order Allocation Problem; Uncertainty; Fuzzy Analytical Hierarchy Process; Two-Stage Stochastic Programming; Robust Optimization.**

---

Received: June, 08, 2019, Accepted: March, 19, 2020.

\* M.A., Department of Industrial Engineering, Electronic Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

\*\* Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Electronic Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author).

E-mail: m\_mozafari@iauec.ac.ir

\*\*\* Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.