Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 10, Serial Number 38, Summer 2020, Pages 111-135 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.10.2.111

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.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال دهم، شماره ۳۸، تابستان ۱۳۹۹، ص‌ص ۱۱۱ – ۱۳۵ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.10.2.111

مدل بهینه‌سازی دومرحله‌ای استوار وزن‌دار برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها در شرایط عدم‌قطعیت

مصطفی جوکار*، مرضیه مظفری، علی‌اکبر 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. عدم‌قطعیت 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. درنهایت 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؛ عدم‌قطعیت؛ 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 کمّی 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؛ به‌طوری‌که 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[1] و همکاران (۱۹۹۱) رویکردهای کمّی 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 موجه‌بودن 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 عدم‌قطعیت نیاز نیست و از داده‌های تاریخی و تجربه‌های تصمیم‌گیرنده می‌توان در بعضی موارد برای استنتاج بازه دارای عدم‌قطعیت استفاده کرد [۶].

در این پژوهش بر مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص خرید در یک زنجیره تأمین تولیدی در شرایط ریسک تأمین و با درنظرگرفتن توأمان معیارهای کیفی و کمّی، تمرکز خواهد شد. پس از با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی[2] (FAHP) وزن تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای کیفی ارزیابی شده و سپس وزن‌ها وارد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای[3] می‌شود و متغیرهای مرحله دوم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عدم‌قطعیت در تأمین مواد اولیه تحت

1. Weber
2. Fuzzy Analytical Hierarchy Process
3. Two-Stage Stochastic Programming

سه 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 به‌صورت هم‌زمان عوامل کیفی همچون سابقه همکاری، توان مالی، قابلیت انعطاف‌پذیری و شایستگی زیست‌محیطی و عوامل کمّی همچون هزینه‌ها را در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان در نظر بگیرد و عدم‌قطعیت‌های موجود در آن‌ها را لحاظ کند؛ همچنین انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌های بهینه با درنظرگرفتن ریسک‌های تأمین تحت سناریوهای مختلف به‌صورت 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 محورهایی 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 آیتم، تأمین‌کننده متعدد، محدودیت منابع و مقدار تخفیف انجام دادند [۴]. در پژوهش داهیل[1] (۲۰۰۳)، یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح (MOMIP[2]) برای تعیین تعداد تأمین‌کنندگان و تهیه مقدار سفارش توسعه داده شد [۷]. شاهبندرزاده و پیکام[3] (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

1. Dahel
2. Multi Objective Mixed Integer Programming
3. Shahbandarzadeh & Paykam

برنامه‌ریزی آرمانی برای تعیین مقدار سفارش اختصاص‌داده‌شده به تأمین‌کننده به‌کار رفت و از روش بیشینه‌سازی کمینه برای تبدیل مدل چندهدفه فازی به یک مدل تک‌هدفه فازی استفاده شد [۹]. ترپ و سارکیس[1] (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص خرید تحت ملاحظات پایداری ارائه کردند [۱۰]. حسنی و محمدی‌تبار (۲۰۱۸)، یک مدل چنددوره‌ای برای تعیین میزان سفارش‌ها در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی با درنظرگرفتن امکان سفارش هم‌زمان ارائه دادند [۱۱]. در دسته تصمیم‌گیری چندمعیاره، عیدی و بختیاری (۲۰۱۶)، به مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان 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 تأمین‌کنندگان در یک محیط فازی مورد مطالعه قرار گرفت [۱۳].

در پژوهش دیگری مسئله انتخاب تأمین‌کننده را با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها و شبیه‌سازی مونت‌کارلو با در نظرگیری عدم‌قطعیت در ورودی‌ها و خروجی‌ها بررسی شد [۱۴]. فلاح لاجیمی و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه دادند. در این پژوهش، ابتدا شاخص‌های انتخاب تأمین‌کننده شناسایی و سپس با روش تصمیم‌گیری بهترین–بدترین وزن‌دهی شدند. در ادامه تأمین‌کنندگان 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 تأمین‌کنندگان و تخصیص بهینه سفارش‌ها مطرح کرده‌اند. شیا و وو[2] (۲۰۰۷)، یک رویکرد یکپارچه از AHP[3] و برنامه ریزی چند هدفه عددصحیح برای حل مشکل چندمنبعی با ظرفیت تأمین‌کنندگان پیشنهاد دادند [۱۶]. برک[4] و همکاران (۲۰۰۸)، اثر روش‌های قیمت‌گذاری و محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان در راه‌حل بهینه برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده 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 عددصحیح، 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 سازشی فازی برای انتخاب تأمین‌کننده با درنظرگیری سه معیار برای به‌حداقل رساندن هزینه‌ها، تعداد واحدهای معیوب و نرخ تأخیر تحویل ارائه شده است [۱۹]. این مدل تنها

1. Trapp & Sarkis
2. Xia & Wu
3. Analytical Hierarchy Process
4. Burke

برای مسئله‌های تک محصولی قابل‌اجرا است. مفاخری و همکاران (۲۰۱۱)، ترکیبی از رویکرد برنامه‌ریزی پویا و AHP را برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد کردند؛ به‌طوری‌که 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[1] (۲۰۱۵)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح به‌منظور به‌حداکثررساندن 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 به حداکثررساندن امتیاز کل تأمین‌کننده استفاده کردند. در پژوهش آن‌ها مسائل به‌صورت چندآیتمی و چند تأمین‌کننده و چندمعیاری با درنظرگرفتن تخفیف است [۲۱]. پژوهش‌های ذکرشده همگی مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان را در محیط پارامترهای قطعی بررسی کرده‌اند؛ اگرچه در سال‌های اخیر توجه به عدم‌قطعیت‌های 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 درنظرگرفتن تخفیف، عدم‌قطعیت در تقاضا و ظرفیت منبع ارائه شد. مدل برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو و مدل محدودیت‌های شانسی با یک توزیع احتمالی با فرض مستقل‌بودن 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 درنظرگرفتن مقادیر تخفیف است [۲۳]. حمامی[2] و همکاران (۲۰۱۴)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح مبتنی بر سناریو به‌منظور حداقل‌رساندن 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 درنظرگرفتن 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 ـ فازی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان در شرایط بحران پیشنهاد دادند [۲۶]. در پژوهش مشابهی بابر و امین [3] (۲۰۱۸)، ترکیب QFD فازی و برنامه‌ریزی چندهدفه تصادفی را برای درنظرگرفتن هم‌زمان معیارهای کیفی و کمّی در شرایط عدم‌قطعیت تقاضا و هزینه‌ها ارائه کردند [۲۷].

1. Ayhan & Kilic
2. Hammami
3. Babbar & Amin

اخیراً رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حل مسائل بهینه‌سازی با عدم‌قطعیت داده‌ها به‌طور گسترده‌ای توسعه یافته است. ربیعه و همکاران (۲۰۱۱)، مدل چندهدفه استوار را برای انتخاب تأمین‌کنندگان قطعات در «شرکت ایران‌خودرو» 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 شبیه سازی 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 عدم‌قطعیت تقاضا ارائه کردند [۳۰]. فو[1] و همکاران (۲۰۱۶)، مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌ها را در محیط غیرقطعی با رویکرد بهینه‌سازی استوار موردمطالعه 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[2] و همکاران (۲۰۱۸)، مسئله انتخاب تأمین‌کننده در یک زنجیره حلقه‌بسته سه‌رده‌ای را با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی عددصحیح استوار برای شرایط عدم‌قطعیت تقاضا و تعداد مرجوعی بررسی کردند [۳۳]. مرور پژوهش‌های مرتبط پیشین و مقایسه ویژگی‌های پژوهش حاضر با مقاله‌های موجود در مبانی نظری در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول ۱. مقایسه پژوهش حاضر و پژوهش‌های مرتبط پیشین

پژوهش	تعداد اقلام	معیارها			عدم‌قطعیت			رویکرد مدل‌سازی عدم‌قطعیت			رویکرد مدل‌سازی
		تعداد معیارها	کیفی	کمی	قطعی	پارامتر غیرقطعی	فازی	احتمالی	استوار	
[۳۵]	چند	چند	*	*		تقاضا	*	*		تاپسیس فازی و برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای
[۲۰]	یک	چند	*		*					AHP و برنامه ریزی خطی پویا
[۲۱]	چند	چند	*			وزن معیارها	*			FAHP و برنامه‌ریزی خطی عددصحیح
[۳۱]	چند	یک		*		تقاضا			*	بهینه‌سازی استوار

1. Fu
2. Kim

پژوهش	تعداد اقلام	معیارها			عدم‌قطعیت		رویکرد مدل‌سازی عدم‌قطعیت			رویکرد مدل‌سازی
		تعداد معیارها	کیفی	کمی	قطعی	پارامتر غیرقطعی	فازی	احتمالی	استوار	
[۳۳]	یک	یک		*		تقاضا و تعداد مرجوعی			*	بهینه‌سازی استوار
[۲۶]	چند	چند	*	*		ریسک تأمین در شرایط بحران	*	*		QFD و برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی
[۲۷]	چند	چند	*	*		تقاضا و هزینه ها	*	*		QFD فازی و برنامه- ریزی چندهدفه تصادفی
[۲۵]	یک	چند		*		ریسک تأمین در شرایط بحران		*		برنامه‌ریزی دوهدفه تصادفی
[۳۶]	چند	چند	*			وزن معیارها	*			تاپسیس فازی
[۱۳]	یک	چند	*			وزن معیارها	*			ANP و ویکور فازی
پژوهش حاضر	چند	چند	*	*		وزن معیارها و ریسک تأمین	*	*	*	FAHP و برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استوار

به عقیده چای و نای[1] (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 عدم‌قطعیت تقاضا به مسئله ریسک تأمین تغییر روند داده است [۲۲]. با بررسی‌های پژوهش‌های مرتبط پیشین به نظر می‌رسد که عدم‌قطعیت 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 درنظرگرفتن 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 کمّی تمرکز داشته‌اند و از معیارهای کیفی صرف‌نظر کرده‌اند. از دیگر نکات برجسته پژوهش حاضر، به‌کارگیری رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای درنظرگرفتن توأمان معیارهای کیفی و کمّی در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها است. ازآنجاکه

1. 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 درنظرگرفتن یک تولیدکننده و چندین تأمین‌کننده خارجی بررسی می‌شود. با درنظرگرفتن ریسک تأمین در شرایط تحریم، عدم‌قطعیت با رویکرد مبتنی بر سناریو موردمطالعه قرار می‌گیرد. ازآنجاکه معیارهای متعدد کیفی و کمّی در انتخاب تأمین‌کنندگان مؤثر هستند، یک مدل یکپارچه با تلفیق رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره FAHP[1]، 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[2] و همکاران (۱۹۹۵)، برای استوارسازی مدل استفاده می‌شود؛ به‌طوری‌که جواب‌های با عملکرد قابل‌قبول از نظر بهینگی و موجه‌بودن 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 عدم‌قطعیت تأمین به‌طورکلی 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 موردبررسی 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؛

1. Fuzzy Analytical Hierarchy Process
2. Mulvey

ـ عدم‌قطعیت 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 مورداستفاده در یک پروژه
Q	عنوان محصول

پارامترها

C_k^r	ظرفیت تأمین‌کننده kام 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_2^r	حداکثر نرخ دیرکرد پذیرفته‌شده برای قطعه r
O_1^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 تحویل‌داده‌شده قطعه r از تأمین‌کننده $k \in K$

U^{rs} میزان تقاضای ارضانشده (مواد یا قطعه تأمین‌نشده) 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 به‌صورت مجزا به قضاوت ماتریس‌ها می‌پردازند. در این پژوهش، معیارهای انتخاب‌شده 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[1] (۱۹۹۶)، وزن‌های نسبی معیارها و گزینه‌ها بر اساس رابطه ۱، محاسبه می‌شود.

$$S_k = \sum_{j=1}^{n} M_{ki}^{j} * \left[\sum_{k=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} M_{ki}^{j}\right]^{-1} \quad (۱)$$

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

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1, & m_1 \geq m_2 \\ V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) \end{cases} \quad (۲)$$

$$hgt(M_1 \cap M_2) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (۳)$$

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

$$V(M_1 \geq M_2 \geq \cdots \geq M_K) = V(M_1 \geq M_2), \ldots, V(M_1 \geq M_K) \quad (۴)$$

$$\acute{W}(X_i) = \min\{V(S_i \geq S_k)\} \ldots\ldots\ldots K = 1,2,3, \ldots., n, k \neq i \quad (۵)$$

بنابراین بردار وزن شاخص‌ها به‌صورت رابطه ۶ خواهد بود:

1. Chang

$$\acute{W} = \left[\acute{W}(X_1), \acute{W}(X_2), \ldots., \acute{W}(X_n)\right] \quad (۶)$$

که همان بردار ضرایب نابهنجار تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است. بر اساس رابطه $W_i = \frac{\acute{W}_i}{\sum \acute{W}_i}$ وزن‌های بهنجارشده شاخص‌ها به‌دست می‌آید. حال وزن‌های به‌دست‌آمده از هر تأمین‌کننده به‌صورت $\sum \frac{1}{w_i}$ در مدل احتمالی لحاظ می‌شود.

وزن‌های به‌دست‌آمده 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 استوارشده با شرایط چند تأمین‌کننده، چندآیتمی، تک‌دوره‌ای و دارای کمبود پرداخته می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای وزن‌دار

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{s=1}^{s} P_s \left\| \sum_{k=1}^{K} \left[\sum_{r=1}^{R} (A_k^r y_k^{rs})/w_k + (Z_k^r J^r y_k^{rs})/w_k \right.\right. \\ & \left.\left. + (N_k^r B^r y_k^{rs})/w_k + E_k^s y_k^{rs} + (L_k^r y_k^{rs})/w_k \right] \right\| \\ & + \sum_{k=1}^{K} \sum_{r=1}^{R} x_k^r \end{aligned} \quad (۷)$$

St:

$$\sum_{k=1}^{K} x_k^r \leq N\,, \forall r \quad (۸)$$

$$y_k^{rs} \leq C_k^r * x_k^r, \forall r\,, \forall k, \forall \quad (۹)$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_k^{rs} \leq D^q M_r^q\,, \forall r, \forall s \quad (۱۰)$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_k^{rs} \geq \alpha * D^q M_r^q\,, \forall r, \forall s \quad (۱۱)$$

$$Z_k^r y_k^{rs} \leq O_1^r \left(\sum_{q=1}^{Q} D^q\, M_r^q\right)\,, \forall r\,, \forall k, \forall s \quad (۱۲)$$

$$N_k^r y_k^{rs} \leq O_2^r \left(\sum_{q=1}^{Q} D^q\, M_r^q\right)\,, \forall r\,, \forall k, \forall s \quad (۱۳)$$

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

$$x_{k}^{r} \in \{0,1\}, y_{k}^{rs}, U_{rs} \in \mathbb{R}^{+} \quad (۱۵)$$

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 α 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 عدم‌قطعیت 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 به‌صورت 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 نمی توان آن را بعد از فهم تغییر داد و y_s متغیر کنترلی است که بعد از فهم سناریوی s مشخص می‌شود؛ همچنین به‌خاطر عدم‌قطعیت پارامترها ممکن است مدل برای تعدادی از سناریوها غیرموجه شود؛ بنابراین η_s غیرموجه‌بودن مدل را تحت هر سناریو s نشان می‌دهد. در این مسئله کمبود با η_s نشان داده می‌شود که اگر کمبود تحت سناریوی s روی ندهد، η_s برابر صفر است و در غیر این صورت مقدار مثبتی از معادله را خواهد گرفت.

رابطه $Q_s^+ + Q_s^-$ از رابطه $\left| f(x, y_s) - \sum_{s=1}^{S} P_s' f'(x, y_s) \right|$ به‌دست 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 γ و δ به‌ترتیب وزن داده‌شده برای کمبود مدل و وزن اختصاص‌یافته به واریانس راه‌حل است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اولی هزینه منفعت را بین استواری مدل و راه حل و دومی ضریب ریسک را در مدل نشان می‌دهد؛ بنابراین تابع هدف استوار مسئله به‌صورت رابطه ۱۷، است و تابع هدف دارای سه قسمت هزینه موردانتظار، استواری راه‌حل به‌ازای تغییر سناریوها و استواری مدل به‌ازای عدم‌تأمین به‌موقع قطعه است.

$$\begin{aligned}\text{Min}\quad & \sum_{s=1}^{3} P_s \left\| \sum_{k=1}^{K} \left[\sum_{r=1}^{R} (A_k^r y_k^{rs})/w_k + (Z_k^r J^r y_k^{rs})/w_k \right.\right. \\ & \left. + (N_k^r B^r y_k^{rs})/w_k + E_k^s y_k^{rs} + (L_k^r y_k^{rs})/w_k \right] \\ & \left. + \sum_{r=1}^{R} g^r U^{rs} \right\| + \delta \sum_{s=1}^{S} P_s (Q_s^+ + Q_s^-) \\ & + \gamma \sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} p_s U^{rs} + \sum_{k=1}^{K} \sum_{r=1}^{r} x_k^r \end{aligned} \tag{۱۷}$$

St:

$$y_k^{rs} \le C_k^r x_k^r, \forall r, \forall k, \forall s \tag{۱۸}$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_k^{rs} \le D^q M_r^q, \forall r, \forall s \tag{۱۹}$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_k^{rs} \ge \alpha * D^q M_r^q, \forall r, \forall s \tag{۲۰}$$

$$Z_k^r y_k^{rs} \le O_1^r \left(\sum_{q=1}^{Q} D^q M_r^q \right), \forall r, \forall k, \forall s \tag{۲۱}$$

$$N_k^r y_k^{rs} \le O_2^r \left(\sum_{q=1}^{Q} D^q M_r^q \right), \forall r, \forall k, \forall s \tag{۲۲}$$

$$U_{rs} = \sum_{q=1}^{Q} D^q M_r^q - \sum_{k=1}^{K} y_k^{rs}, \forall r, \forall s \tag{۲۳}$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\{(A_k^r y_k^{rs})/w_k + (Z_k^r J^r y_k^{rs})/w_k + (N_k^r B^r y_k^{rs})/w_k + E_k^s y_k^{rs} + (L_k^r y_k^{rs})/w_k\} - \sum_{s=1}^{S} P_s \left\| \sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\{(A_k^r y_k^{rs})/w_k + (Z_k^r J^r y_k^{rs})/w_k + (N_k^r B^r y_k^{rs})/w_k + E_k^s y_k^{rs} + \frac{L_k^r y_k^{rs}}{w_k}\} \right\| = Q_s^+ - Q_s^- , \quad \forall s \tag{۲۴}$$

$$x_k^r \in \{0,1\}, y_k^{rs}, U_{rs} \in \mathbb{R}^+ \tag{۲۵}$$

به‌طوری‌که رابطه ۲۴، مقدار تفاضل سناریوها را نشان می‌دهد.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

یک مطالعه موردی در شرکت تولیدکننده جعبه دنده به‌منظور 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 به‌صورت 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، زیر مجموعه‌های مکانیکی توزیع شود. تأمین‌کنندگانی که در گام نخست شناسایی شداند با استفاده از FAHP و با توجه به معیارهای سابقه همکاری و توان مالی و قابلیت انعطاف و شایستگی زیست‌محیطی موردارزیابی 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**
سابقه همکاری	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۴، ۲، ۱)
توان مالی	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱، ۱، ۱)	(۹، ۷، ۵)	(۵، ۳، ۱)
قابلیت انعطاف‌پذیری	(۱، ۰/۳۳ ، ۰/۲)	(۰/۲، ۰/۱، ۰/۱)	(۱، ۱، ۱)	(۷، ۵، ۳)
شایستگی زیست‌محیطی	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۰/۳، ۰/۲، ۰/۱)	(۱، ۱، ۱)

در این گام با استفاده از تحلیل توسعه چانگ، وزن‌های نسبی معیارها و گزینه‌ها محاسبه می‌شود؛ درنتیجه بر اساس رابطه $W_i = \frac{\acute{W}_i}{\sum \acute{W}_i}$ وزن‌های بهنجارشده شاخص‌ها به‌صورت $w_۱$=۰/۳۳ و $w_۲$ =۰/۳۹، $w_۳$ =۰/۲۶، $w_۴$=۰/۰۳ است. جدول ۳، مقایسات زوجی تأمین‌کنندگان 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	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۵)	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۴، ۲، ۱)
A2	(۴، ۲، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۵)	(۳/۰، ۰/۲، ۰/۴)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)
A3	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۴، ۲، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۶، ۴، ۲)	(۴، ۲، ۱)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)
A4	(۱، ۱، ۱)	(۷، ۵، ۳)	(۵/۰، ۰/۵، ۰/۷)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۴، ۲، ۱)
A5	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۵)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)
A6	(۱، ۰/۵، ۰/۵)	(۱، ۰/۵، ۰/۵)	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۵)	(۱، ۰/۵، ۰/۵)	(۱، ۱، ۱)

وزن‌های بهنجارشده شاخص‌ها عبارت‌اند از: ۰/۱۳۹= $w_۶$، ۰/۱۲۶= $w_۵$، ۰/۲۰۵= $w_۴$، ۰/۱۸۶= $w_۳$، ۰/۱۵۱= $w_۲$، ۰/۱۹۲=$w_۱$. 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	(۱، ۱، ۱)	(۶، ۴، ۲)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۴، ۲، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۲)
A2	(۰/۵، ۰/۲، ۰/۱)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۶، ۴، ۲)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)
A3	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۵/۰، ۰/۲، ۰/۱)	(۷، ۵، ۳)
A4	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۵/۰، ۰/۲، ۰/۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۶، ۴، ۲)
A5	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۶، ۴، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)
A6	(۴، ۲، ۱)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۰/۳، ۰/۲، ۰/۱)	(۰/۵، ۰/۲، ۰/۱)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)

وزن‌های بهنجارشده شاخص‌ها عبارت‌اند از: ۰/۱۰۸=$w_۶$، ۰/۱۸۳= $w_۵$، ۰/۱۶۷= $w_۴$، ۰/۱۸۵= $w_۳$، ۰/۱۸۹= $w_۲$، ۰/۱۶۹=$w_۱$. 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

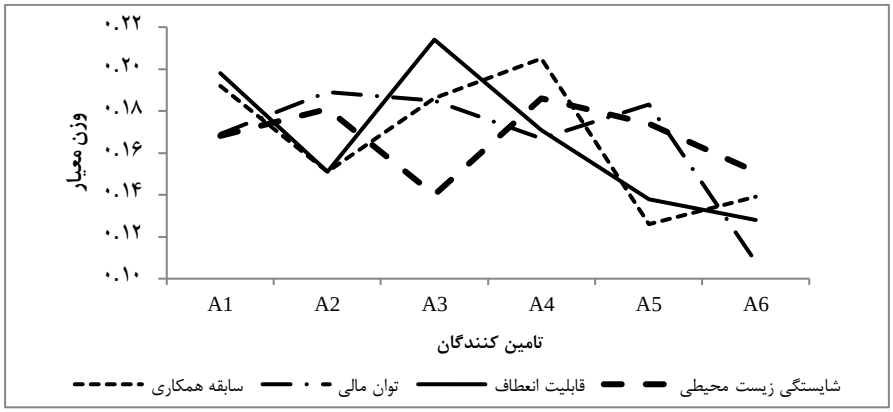
انعطاف‌پذیری	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۳، ۵)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۲، ۴، ۶)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۲، ۴)
A2	(۰/۲، ۰/۳، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۲، ۴)	(۱، ۲، ۴)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)
A3	(۱، ۳، ۵)	(۰/۲، ۰/۵، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۲، ۴، ۶)	(۲، ۴، ۶)
A4	(۰/۱، ۰/۲، ۱)	(۰/۲، ۰/۵، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۲، ۴)	(۱، ۴، ۶)
A5	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۱، ۰/۲، ۱)	(۰/۲، ۰/۵، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۳، ۵)
A6	(۰/۲، ۰/۵، ۱)	(۱، ۳، ۵)	(۰/۱، ۰/۲، ۱)	(۰/۱، ۰/۲، ۱)	(۰/۲، ۰/۳، ۱)	(۱، ۱، ۱)

وزن‌های بهنجارشده شاخص‌ها عبارت‌اند از: w_6=۰/۱۲۸، w_5 =۰/۱۳۸، w_4=۰/۱۷۱، w_3=۰/۲۱۴، w_2=۰/۱۵۱، w_1=۰/۱۹۸. 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	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۴، ۲، ۱)	(۱، ۱، ۱)
A2	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۶، ۴، ۲)
A3	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۰/۵، ۰/۲، ۰/۱)
A4	(۴، ۲، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۶، ۴، ۱)
A5	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)
A6	(۱، ۱، ۱)	(۰/۵، ۰/۲، ۰/۱)	(۶، ۴، ۲)	(۰/۵، ۰/۲، ۰/۱)	(۱، ۰/۳، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)

اوزان بهنجارشده شاخص‌ها عبارت‌اند از: w_6 =۰/۱۵۱، w_5 =۰/۱۷۴، w_4=۰/۱۸۶، w_3=۰/۱۴، w_2=۰/۱۸۵، w_1=۰/۱۶۴. بر اساس محاسبات بالا حساسیت هر تأمین‌کننده با توجه به هر یک از معیارهای سابقه همکاری، توان مالی، قابلیت اتعطاف 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

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

با توجه به جنس مواد اولیه به‌کاررفته در محصول و عدم‌تولید بعضی از آن‌ها در داخل و همچنین روشن‌نبودن 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 شدیدترشدن 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 عدم‌قطعیت 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 هزینه های مدل در مسئله موردبررسی است.

جدول ۸. 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	۰/۱۳	۰/۰۴
r_2	۹۴	۱۴	۲۳۵	۱۷۹	۰/۱۳	۰/۰۴
r_3	۸۴	۲۵	۲۵۰	۲۵۲	۰/۱۳	۰/۰۴
r_4	۸۳	۱۶	۲۰۵	۲۰۵	۰/۱۳	۰/۰۴
r_5	۹۱	۱۷	۱۸۰	۱۹۸	۰/۱۳	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 [۲۵، ۲۱] واحد، برای تأمین‌کننده دوم در بازه [۲۸، ۲۵] واحد، برای تأمین‌کننده سوم در بازه [۲۳، ۲۱] واحد، برای تأمین‌کننده چهارم در بازه [۲۲، ۲۰] واحد، برای تأمین‌کننده پنجم در بازه [۲۴، ۲۲] واحد و برای تأمین‌کننده ششم در بازه[۲۷، ۲۳] واحد قرار دارد. نرخ معیوبی مجموعه‌های اول تا پنجم برای تأمین‌کننده اول در بازه [۰/۰۵، ۰/۰۲] واحد، برای تأمین‌کننده دوم در بازه [۰/۰۵، ۰/۰۱] واحد، برای تأمین‌کننده سوم در بازه [۰/۰۴، ۰/۰۲] واحد، برای تأمین‌کننده چهارم در بازه[۰/۰۵، ۰/۰۱] واحد، برای تأمین‌کننده پنجم در بازه [۰/۰۵، ۰/۰۱] واحد و برای تأمین‌کننده ششم در بازه [۰/۰۵، ۰/۰۱] واحد است. نرخ دیرکرد مجموعه‌های اول تا پنجم برای تأمین‌کننده اول در بازه [۰/۲، ۰/۰۸] واحد، برای تأمین‌کننده دوم در بازه [۰/۲، ۰/۰۴] واحد، برای تأمین‌کننده سوم در بازه [۰/۱۶، ۰/۰۸] واحد، برای تأمین‌کننده چهارم در بازه [۰/۲، ۰/۰۴] واحد، برای تأمین‌کننده پنجم در بازه [۰/۲، ۰/۰۴] واحد و برای تأمین‌کننده ششم در بازه [۰/۲، ۰/۰۴] 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 (δ) یک، مقدار تقاضا برای محصول d(q) معادل ۲۵ و وزن قرارداده‌شده برای کمبود مدل (γ) ۲۰۰۰ است. با استفاده از نرم‌افزار گمز و حل‌کننده CPLEX، مقدار تابع هدف برابر با (۳/۱۸۶۳۶۲e$^{+۷}$) به‌دست آمده و مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در جدول‌های ۹ و ۱۰، نشان داده شده است.

جدول ۹. میزان خرید از تأمین کنندگان درسناریوهای مختلف y_{Sk}^{r}

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

جدول ۱۰. میزان تقاضای تأمین‌نشده

میزان تقاضای تأمین‌نشده در سناریوهای مختلف U^{rs}

	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
s_1	۱۶۸۷/۵	۱۱۲۵	۲۲۵۰	۲۸۱۲/۵	۱/۶۷
s_2	۱۶۸۷/۵	۱۱۲۵	۲۲۵۰	۲۸۱۲/۵	–
s_3	۱۶۸۷/۵	۱۱۲۴/۴۳	۲۲۵۰	۲۸۱۲/۵	–

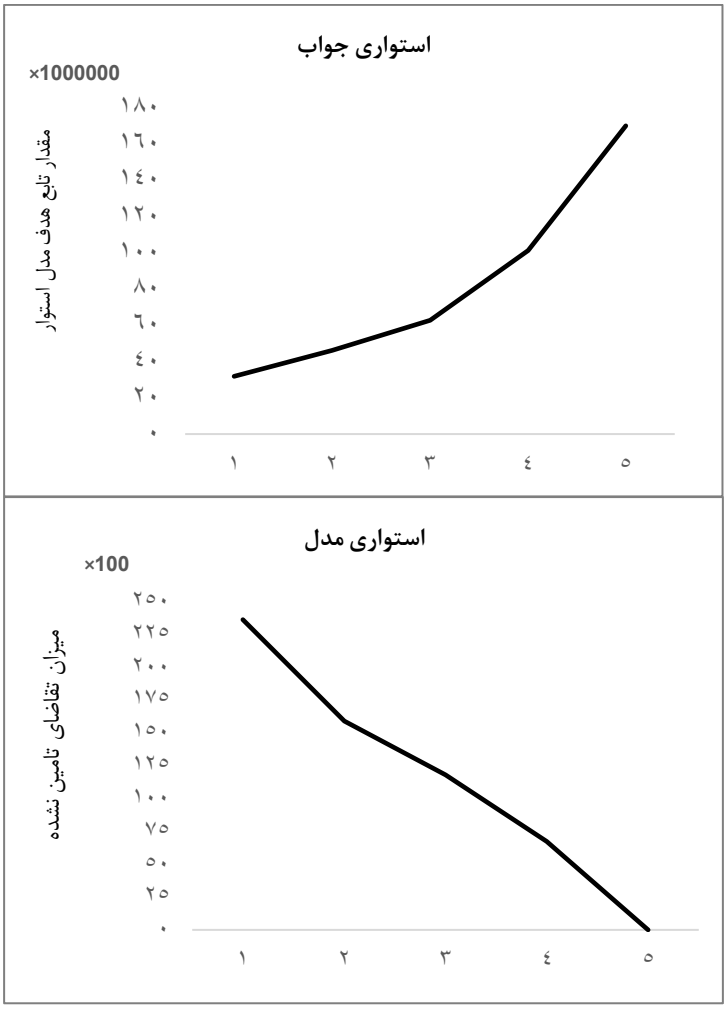
ازآنجاکه هدف در مدل‌های بهینه‌سازی استوار، کاهش تغییرات در ازای سناریوهای مختلف است، ممکن است مقدار هزینه در مدل استوار بیشتر از مقدار هزینه در مدل برنامه‌ریزی احتمالی

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 γ است. به همین منظور تحلیل حساسیتی بر روی این پارامتر مطابق جدول ۱۱، انجام شد. علت ضریب بالای γ مقیاس بزرگ داده‌ها است.

جدول ۱۱. تأثیر تغییرات ضریب γ بر نتایج مدل

دلتا (δ)	گاما (γ)	مجموع تقاضای ارضانشده	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 γ که درواقع 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؛ به‌عبارت‌دیگر تغییر در تقاضای تأمین‌نشده پوشش داده شده است. از طرف دیگر با کاهش پارامتر γ 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. درواقع 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 ارضانشده 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 غیرکمّی به‌طور هم‌زمان در مدل به‌منظور انتخاب بهترین تأمین‌کننده و تخصیص بهینه سفارش‌ها بررسی شد. ریسک تأمین تحت سناریوهای مختلف تحریم به‌عنوان عامل عدم‌قطعیت در نظر گرفته شد. رویکرد پیشنهادی به‌منظور انتخاب

تأمین‌کنندگان «مجموعه جعبه دنده» در یک زنجیره تأمین تولیدی موردارزیابی 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 لحاظ‌کردن دو محدودیت قطعات معیوب و دارای دیرکرد علاوه بر عامل هزینه‌ها است. درنهایت رویکرد بهینه‌سازی استوار مالوی به‌منظور حصول جواب‌های استوار با کمینه تغییرات تحت سناریوهای مختلف و موازنه بین استواری جواب و استواری مدل موردبحث 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 درنظرگرفتن مجموعه معیارهای کیفی و کمّی را در مسئله انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم‌قطعیت 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

1. Chan, F.T.S., & Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP based approach. *Omega, 35*, 417-431.
2. Gunasekaran, A., & Ngai, E.W.T. (2004). Virtual supply chain management. *Production Planning and Control, 15(6),* 584–595.
3. Gunasekaran, A., & Ngai, E.W.T. (2004). Information systems in supply chain integration and management. *European Journal of Operational Research, 159,* 269–295.
4. Weber, C.A., Current, JR, & Benton, W.C. (1991) Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research, 50(1),* 2-18.
5. Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The Price of Robustness. *Operations research. 52(1),* 35–53.
6. Alem, D.J., &Morabito, R. (2012). Production planning in furniture settings via robust optimization. *Computers & Operations Research, 39(2),* 139-150.
7. Dahel, N-E. (2003). Vendor Selection and Order Quantity Allocation in Volume Discount Environments. *Supply Chain Management: An International Journal, 8(4*), 335-342.
8. Shahbandarzadeh, H., & Paykam, A. (2015). Employment of a Weighted Fuzzy Multi-Objective Programming Model to Determine the Amount of Optimum Purchasing from Suppliers. *Journal of Industrial Management Perspective, 5(2*), 129-152 (In Persian).
9. Cebi, F., Otay, I. (2015). A two-stage fuzzy approach for supplier evaluation and order allocation problem with quantity discounts and lead time. *Information Sciences 339,* 143-157.
10. Trapp, A. C., & Sarkis, J. (2016). Identifying Robust portfolios of suppliers: a sustainability selection and development perspective. *Journal of Cleaner Production, 112,* 2088-2100.
11. Hasani, P., Mohammaditabar, D. (2018). 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, 8(3),* 141-165 (In Persian).
12. Eydi, A., & Bakhtiari, M. (2016). Evaluating and Selecting Two-Layers of Suppliers in Green Supply Chain using Hierarchical Fuzzy Topsis based on Alpha Levels. *Journal of Industrial Management Perspective, 6(2),* 91-121. (In Persian)
13. Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., & Smarandache, F. (2019). An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *Computers in Industry, 106,* 94-110.
14. Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., & Sciancalepore, F. (2016). A stochastic cross-efficiency data envelopment analysis approach for supplier selection under uncertainty. *International Transactions in Operational Research, 23(4),* 725-748.
15. Fallah Lajimi, H., Mohammadi Kani, S., & Rasooli Khatir, Z. (2019). Applying of Piecewise Linear Value Functions in LARG Suppliers Ranking: Multi-Criteria Decision Making Mixed Approach. *Journal of Industrial Management Perspective, 9(1*), 115-140 (In Persian).
16. Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier Selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega-The International journal of Management Science, 35(5*), 494-504.

17. Burke, G.J., Carrillo, J., Vakharia, A.J., (2008). Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts. *European Journal of Operational Research, 186 (1),* 317-329.
18. Amid, A., Ghodsypour, S.H., & 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(2),* 323-33.
19. Wang, T., Yang, Y., (2009). A Fuzzy model for supplier selection in quantity discount environments. Expert Systems with applications, 36(10): 12179-12187.
20. Mafakheri, F., Breton, M., & Ghoniem, A. (2011). Supplier selection-order allocation: A two-stage multiple criteria dynamic programming approach. *International Journal of Production Economics, 132(1),* 52-57.
21. Ayhan, M.B., Kilic, H.S. (2015). A two stage approach for supplier selection problem in multi-item/multi-supplier environment with quantity discounts. *Computers and Industrial Engineering 85(3),* 1-12.
22. Chai, J., & Ngai, E. W. (2019). Decision-making techniques in supplier selection: Recent accomplishments and what lies ahead. Expert Systems with Applications, 112903.
23. Li, L., & Zabinsky, Z.B. (2011). Incorporating uncertainty into a supplier selection problem. *International Journal of Production Economics, 134(2),* 344-356.
24. Hammami, R., Temponi, C., & Frein, Y. (2014). 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, 223,* 159-170.
25. Hosseini, S., Morshedlou, N., Ivanov, D., Sarder, M. D., Barker, K., & Al Khaled, A. (2019). Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks. *International Journal of Production Economics, 213,* 124-137.
26. Vahidi, F., Torabi, S. A., & Ramezankhani, M. J. (2018). Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Journal of Cleaner Production, 174,* 1351-1365.
27. Babbar, C., & Amin, S. H. (2018). 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, 92,* 27-38.
28. Rabieh, M., Azar, A., Modarres Yazdi, M., Fetanat Fard Haghighi, M. (2011). 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, 1(1), 57-77 (in Persian).
29. Babaei, M., & Omrani, H. (2017). Robust optimization approach for supplier selection under lean procurement. *International journal of industrial engineering and production management, 28(3),* 459-469 (In Persian).
30. Yahyazade, Y., Olfat, L., & Amiri, M. (2016). Robust optimization approach for Supplier selection and order allocation in an uncertain environment. *Industrial Management Studies, 14(40),* 25-52. (In Persian)
31. Fu, Y., Lai, K. K., & Liang, L. (2016). A robust optimisation approach to the problem of supplier selection and allocation in outsourcing. *International Journal of Systems Science, 47(4),* 913-918.
32. Farrokh, M., Azar, A., & Jandaghi, G. (2016). Developing a Robust Fuzzy Programming Approach for Closed Loop Supply Chain Design. *Journal of Industrial Management Perspective, 6(2),* 9-43 (In Persian).

33. Kim, J., Do Chung, B., Kang, Y., & Jeong, B. (2018). Robust optimization model for closed-loop supply chain planning under reverse logistics flow and demand uncertainty. *Journal of Cleaner Production, 196,* 1314-1328.
34. Sanayei, A., Mousavi, S.F., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert System with Applications, 37,* 24–30.
35. Kara, S. S. (2011). Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment. *Expert Systems with Applications, 38(3),* 2133-2139.
36. Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems, 50,* 9-24.
37. Mulvey, J., Vanderbei, R., & Zenios, S. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations Research, 43,* 264– 81.
38. Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European journal of operational research, 95(3), 649-655.