Journal of Industrial Management Studies
Vol. 20, No.65, Summer 2022
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/JIMS.2022.63110.2695

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 31/03/2022
Received: 28/ 08/2021
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Integration of Supplier Selection and Resilient Closed Loop Supply Chain Design and Ranking Based on Fuzzy-MOORA-Reference Point Method

Mehdi Seifbarghy *
Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran

Nastaran Bakhshizadeh
MSc, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial nd Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract

Closed loop supply chain network design is of great important due to the legal requirements and economic benefits. Raw material suppliers are of the most important players of this supply chain. Most of the previous researchers studied the design problem separated from the supplier assessment. Some other criteria except for price, like the production process, the features of parts and reliability of supply have long term effects on the performance of supply chains. In this research a general closed loop supply chain network including production centres, disassembly, refurbishing, and disposal sites is considered. An integrated two-phase model is given so that in the first phase, the proposed fuzzy-MOORA-reference point method is applied to suppliers' assessment and the results from this phase is used in the second phase. In the second phase, a three-objective mixed integer linear programming model is proposed in order to determine the eligible suppliers, the locations of refurbishing sites and the material flows between the supply chain members. The objective functions are maximizing profit, suppliers' evaluation and resiliency scores. Unsatisfied demand of customers is lost. The numerical results show the validity of the model and the role of stockout option in reaching better solutions based on the LP-Metric method.

Keywords: Closed Loop Supply Chain Design, Supplier Evaluation, Resiliency, Multi-Objective, Fuzzy-MOORA-Reference Point.

* Corresponding Author: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir
How to Cite: Seifbarghy, M., Bakhshizadeh, N. (2022). Integration of Supplier Selection and Resilient Closed Loop Supply Chain Design and Ranking Based on Fuzzy-MOORA-Reference Point Method, *Journal of Industrial Management Studies*, 20(65), 1-37.

مقاله پژوهشی

فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی
سال بیستم، شماره ٦٥، تابستان ١٤٠١، ص ١ تا ٣٧
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/JIMS.2022.63110.2695

یکپارچه‌سازی ارزیابی تأمین‌کنندگان و طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته تاب‌آور و رتبه‌بندی بر اساس روش فازی-مورا-نقطه مرجع

مهدی سیف برقی * دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

نسترن بخشی زاده کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، شعبه قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۶/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۱
ISSN: 2251/8029
eISSN: 2476-602X

چکیده

طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با توجه به الزامات قانونی و منافع اقتصادی از اهمیت زیادی برخوردار گردیده است. تأمین‌کنندگان قطعات اولیه نیز از مهم‌ترین بازیگران این زنجیره می‌باشند. بیشتر محققین مسئله طراحی را به‌صورت مجزا از ارزیابی تأمین‌کنندگان موردبررسی و تحلیل قرار داده‌اند. عوامل مختلفی به‌جز قیمت در رابطه با قطعه و فرایند و توان تأمین پایدار تأثیر زیادی بر عملکرد زنجیره در بلندمدت دارد. در این مقاله یک شبکه زنجیره حلقه تأمین بسته شامل سایت‌های تولید، جداسازی، بازسازی و دفع در نظر گرفته شده است. مدلی یکپارچه و دومرحله‌ای ارائه شده است به‌نحوی‌که در مرحله اول روش «فازی-مورا-نقطه مرجع» برای ارزیابی تأمین‌کنندگان پیشنهاد و خروجی این مرحله به‌عنوان امتیاز ارزیابی در مرحله دوم مورداستفاده قرار گرفته است. در مرحله دوم، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی سه هدفه پیشنهاد گردیده به‌نحوی‌که تأمین‌کننده مناسب و مکان سایت‌های نوسازی و همچنین جریان‌های بین اعضای مختلف زنجیره مشخص می‌شود. در این مدل علاوه بر هدف ماکسیمم سازی تأمین از تأمین‌کنندگان شایسته، اهداف اقتصادی و تاب‌آوری زنجیره نیز مدنظر قرار گرفته است. از طرفی دیگر امکان وجود کمبود نیز در نظر گرفته شده است. نتایج عددی مربوطه نشان‌دهنده اعتبار مدل و نقش گزینه کمبود در رسیدن به جواب‌های بهتر در تابع هدف ال-پی متریک می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته، ارزیابی تأمین‌کنندگان، تاب‌آوری، مدل چند هدفه، فازی-مورا-نقطه مرجع.

* نویسنده مسئول: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به لجستیک معکوس به دلیل الزامات و قوانین زیست‌محیطی و همچنین به دلایل اقتصادی موردتوجه ویژه محققین دانشگاهی و صاحبان صنعت قرار گرفته است. به دلیل پیشرفت تکنولوژی تولید و محصولات، طول عمر محصولات نسبت به قبل کاهش قابل‌توجهی یافته و این مورد خود باعث بالا رفتن نرخ مصرف محصولات و بالتبع افزایش میزان بازگشت محصولات در زنجیره تأمین‌شده است که البته بعضاً منجر به قربانی نمودن محیط‌زیست شده است (بی هاتیا[1] و همکاران، ۲۰۲۰). لجستیک معکوس درواقع فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل جریان اقلام برگشتی در زنجیره تأمین می‌باشد. به‌عنوان‌مثال می‌توان به لاستیک‌های کارکرده خودرو، کامپیوتر و لپ‌تاپ، محصولات برگشتی از قفسه‌های فروشگاه‌ها به دلیل انقضا یا پس آوردن آن‌ها توسط مشتری اشاره کرد. طراحی شبکه لجستیک معکوس برای بسیاری از سازمان‌ها از دغدغه‌های اصلی ایشان می‌باشد. به‌عنوان‌مثال در فرآیند بازیافت، محصولاتی که قبلاً مورداستفاده قرارگرفته بودند در سایت‌های جداسازی جداشده، سپس به دو گروه قطعات قابل‌استفاده و یا ضایعات تقسیم می‌شوند. قطعات قابل‌استفاده در سایت‌های نوسازی برای استفاده مجدد آماده می‌شوند و به موجودی قطعات نو اضافه می‌گردند و سپس محصولات جدید از قطعات نو و قدیمی نوسازی شده تولید می‌شوند. هواپیماهای نظامی و تجاری نمونه‌هایی از این محصولات هستند، هرچند کیفیت قطعات با فرآیند نوسازی بهبود می‌یابد ولی ممکن است متوسط عمر خدمت این قطعات کمتر از متوسط عمر خدمت نمونه‌های نو آن‌ها باشد.

هزینه‌های خرید قطعات نو معمولاً نسبت به هزینه‌های صرف شده برای نوسازی آن‌ها (به‌خصوص اگر در حجم بالا نوسازی شوند)، بیشتر است. ضمناً نوسازی قطعات ازنظر زیست‌محیطی و جلوگیری از دفع آن‌ها ازنظر اقتصادی و اجتماعی نیز مطلوب خواهد بود. همچنین ممکن است خرید قطعات نو از تأمین‌کنندگان خارجی علاوه برهزینه خرید، با عوامل دیگری نظیر زمان تحویل طولانی، اختلالات تأمین‌کنندگان و ریسک‌های تأمین و نرخ خرابی بالا در ارتباط باشد که به‌طورکلی هزینه تمام‌شده تأمین را به‌طور چشمگیری

1. Bhatia

افزایش می‌دهد. از همین روست که در تصمیمات مرتبط با مدیریت تأمین، لازم است تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای مختلفی مورد ارزیابی قرار گیرند و امتیازات داده‌شده به آن‌ها (بر اساس ارزیابی دوره‌ای‌شان) در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با تأمین مدنظر باشد. ارزیابی تأمین‌کنندگان یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که ممکن است شامل معیارهای کیفی و کمی باشد. تحقیقات مختلفی در خصوص ارزیابی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین صورت گرفته، لیکن تحقیقات کمتری وجود دارند که مسئله ارزیابی تأمین‌کننده را با مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته به‌صورت یکپارچه‌شده موردمطالعه قرار دهند. در طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته مقدار محصولات برگشتی باید در نظر گرفته شود تا تولیدکننده بتواند مقدار قطعات جدیدی را که لازم است از تأمین‌کنندگان خارجی تهیه کند، تنظیم نماید (امین و ژانگ[1]،۲۰۱۲). در این پژوهش که جزئیات آن در بخش بیان مسئله ارائه خواهد شد (به دلیل پایه‌ای بودن تحقیق)، هدف طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته CLSC[2] شامل تولیدکننده، مشتریان، سایت جداسازی، سایت‌های نوسازی و دفع می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد، بخشی از نیاز تولیدکننده به قطعات موردنیاز، از طریق نوسازی قطعات قبلی موجود در محصولات برگشتی تأمین و مابقی از تأمین‌کنندگان خارجی تهیه می‌شود. مسئله اصلی این تحقیق دارای دو مدل یا فاز اصلی می‌باشد. در فاز اول یک چارچوب برای ارزیابی و تخصیص وزن به تأمین‌کنندگان مرتبط با هر قطعه از محصول پیشنهاد می‌شود که بر اساس طبقه‌بندی معیارهای مرتبط با تأمین‌کنندگان، قطعات و فرآیندها می‌باشد. بر اساس این چارچوب، درجه اهمیت هر دسته از معیارها تعیین و امتیازات تأمین‌کنندگان هر قطعه تعیین می‌شود. در فاز دوم نیز یک زنجیره تأمین بسته طراحی و مدل ریاضی آن در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک چندهدفه[3] ارائه می‌شود. تابع هدف اول به شکل حداکثر سازی سود (به دلیل امکان مواجهه با کمبود بر اساس منافع اقتصادی تأمین‌کننده)، تابع هدف دوم به‌صورت حداکثر سازی تاب‌آوری زنجیره تأمین و تابع هدف سوم به‌صورت

1. Amin & Zhang
2. Closed loop supply chain
3. Multi-objective mxed binary linear programming(MBLP)

حداکثر سازی امتیاز تأمین‌کنندگان می‌باشد که متضمن انتخاب تأمین‌کنندگان شایسته خواهد بود.

سؤالات مهم این تحقیق این است که ۱- میزان تولید بهینه محصولات توسط تولیدکننده چقدر باشد و چه درصدی از تقاضای مشتریان برآورده گردد؟ ۲- جریان‌های برگشتی از مشتریان تا سایت جمع‌آوری و نوسازی و دفع و نهایتاً جریان محصولات برگشتی به تولیدکننده به چه میزان خواهد بود تا باقیمانده آن از تأمین‌کنندگان خارجی تأمین شود؟ ۳- سایت‌های نوسازی قطعات مختلف در کدام مکان‌های کاندید احداث خواهد شد؟ ۴- چه میزان قطعه موردنیاز از کدام تأمین‌کنندگان دریافت خواهد شد؟ در پاسخ به این سؤالات مدل ریاضی سه هدفه‌ای ارائه خواهد شد که ضمن تأمین منافع اقتصادی، تاب‌آوری زنجیره و همکاری با تأمین‌کنندگان شایسته مدنظر قرار گیرد.

در این مقاله در بخش دوم به ارائه مرور ادبیات تحقیق، در بخش سوم به بیان مسئله و ارائه مدل تحقیق، در بخش چهارم به راه‌حل پیشنهادی، بخش پنجم به بیان نتایج عددی و در بخش ششم به ارائه نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی برای تحقیق پرداخته شده است.

۲- پیشینه پژوهش

با توجه به موضوع تحقیق، ادبیات مطرح در این حوزه را به دو بخش تحقیقات مرتبط با طراحی شبکه‌های CLSC به‌طور خاص و همچنین تحقیقات مرتبط با یکپارچه‌سازی طراحی شبکه‌های CLSC با مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان تقسیم می‌کنیم.

۲-۱- تحقیقات مرتبط با طراحی شبکه‌های CLSC

بیشتر تحقیقات انجام‌شده در ادبیات موضوع به بررسی لجستیک معکوس و پیکربندی زنجیره تأمین بسته پرداخته‌اند. فلیشمن[1] و همکاران (۱۹۹۷) لجستیک معکوس را از دید تحقیق در عملیات بررسی و تحقیقات مرتبط تا آن زمان را به سه گروه اصلی شامل برنامه‌ریزی توزیع، موجودی و تولید تقسیم کردند. گاید و وان واسنهوف[2] (۲۰۰۹) مسائل

1. Fleischmann
2. Guide & Van Wassenhove

CLSC را به پنج دوره تقسیم نمودند: ۱- عصر طلایی بازیافت (تولید مجدد)، ۲- از بازیافت تا ارزش نهادن به لجستیک معکوس، ۳- هماهنگی زنجیره تأمین معکوس، ۴- بسته شدن حلقه و ۵- قیمت و بازار. ملو[1] و همکاران (۲۰۰۹) کاربرد مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات را در مدیریت زنجیره تأمین بررسی کردند و در یک طبقه‌بندی ادبیات لجستیک معکوس را به دو بخش: حلقه بسته و شبکه‌های بازیابی تقسیم کردند. پوخارل و موتا[2] (۲۰۰۹) بر دیدگاه‌های مختلف لجستیک معکوس نظیر تجزیه‌وتحلیل شبکه و موجودی، جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده، تعیین قیمت، استفاده مجدد، فروش مجدد و تولید مجدد تمرکز کردند.

بشیری و همکاران (۱۳۹۲) یک مدل طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی ارائه کردند. همچنین با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی، معیاری تحت عنوان امتیاز مؤلفه اصلی معرفی نمودند به شکلی که همه معیارهای موردنظر برای انتخاب اجزای زنجیره تأمین به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شود. مزیت این روش علاوه بر ادغام معیارهای موردنظر و کاهش ابعاد، از بین بردن همبستگی بین آن‌ها برای تصمیم‌گیری است. همچنین در این تحقیق به‌منظور واقعی‌تر شدن شرایط، مسئله‌ای دو هدفه در یک محیط فازی مدل‌سازی شده که ضمن فازی بودن پارامترها میزان برآورده شدن محدودیت‌ها نیز فازی در نظر گرفته شده است. بشیری و شیری (۱۳۹۴) یک مدل طراحی شبکه CLSC را با در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری چندبخشی در شرایط عدم قطعیت ارائه و مسئله را با دو الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری حل نمودند. کولیایی و همکاران (۱۳۹۵) یک مدل ریاضی یکپارچه را برای مسئله CLSC ارائه کردند که در آن روش یکپارچه‌ای برای طراحی زنجیره تأمین شامل دو مرحله ارائه گردید. در مرحله اول، چارچوبی برای معیارهای انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار در زنجیره‌های معکوس پیشنهاد می‌شود. در مرحله دوم یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه عدد صحیح مختلط چند دوره‌ای ارائه می‌شود به‌طوری‌که انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص

1. Melo
2. Pokharel & Mutha

کالا به آن‌ها و تعداد بهینه قطعات و محصولات در زنجیره تأمین تعیین می‌شود. کمالی و همکاران (۱۳۹۴) یک مدل برنامه‌ریزی CLSC با تقاضای قطعی پویا و قیمت نزولی پیوسته ارائه کردند که در آن با لحاظ انواع هزینه‌ها و نیز محدودیت‌های ظرفیت و زمان، برای محصول‌های تکنولوژیک که دارای هزینه تولید و قیمت فروش نزولی هستند، مقدار و زمان سفارش‌دهی، تولید و تحویل برنامه‌ریزی می‌شود.

سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷) مسئله طراحی CLSC را با اهداف حداکثر سازی سود، توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین حداکثر سازی سطح پاسخگویی به مشتری نهایی مدل‌سازی نمودند. در ساختار زنجیره تأمین مربوطه امکان بازیافت محصول نهایی، قطعات و مواد اولیه وجود دارد. برای حل از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. حداد سیسخت و ریان[1] (۲۰۱۸) مسئله طراحی CLSC را در حالت عدم قطعیت تقاضا، میزان برگشت محصول و همچنین تعرفه انتشار کربن موردبررسی قرار دادند. همچنین جهت مواجهه با عدم قطعیت‌های یادشده از روش مبتنی بر سناریو بهره گرفته و نوع و تعداد تسهیلات مختلف حمل‌ونقل موردنیاز نیز تعیین می‌گردد. قهرمانی نهر و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل مکان‌یابی تسهیلات- تخصیص برای مسئله چند دوره‌ای و چند محصولی طراحی CLSC با در نظر گرفتن کمبود، عدم قطعیت و تخفیف در قیمت مواد ارائه کردند. عدم قطعیت یادشده در پارامترهایی نظیر تقاضای مشتری، نرخ برگشت، هزینه‌های حمل، قیمت مواد اولیه و هزینه‌های کمبود در نظر گرفته شدند. همچنین از الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ برای حل مسئله استفاده گردید.

عبدالعظیمی و همکاران (۲۰۲۰) یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند سطحی را تحت شرایط قطعی و عدم قطعیت توسعه دادند. سه هدف در طراحی این شبکه شامل بهینه‌سازی زمان تحویل مواد خریداری‌شده از تأمین‌کنندگان، سود زنجیره و اثرات زیست‌محیطی منفی ناشی از بازیافت یا دفع محصولات در نظر گرفته شدند. این مدل در صنعت لاستیک خودرو در ترکیه پیاده‌سازی گردید. پور مهدی و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل چند هدفه جهت طراحی یک زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار در صنعت فولاد تحت

1. Haddad-Sisakht & Ryan

شرایط عدم قطعیت طراحی نمودند. اهداف در نظر گرفته‌شده در این تحقیق بهینه‌سازی سود، مصرف انرژی، مصرف آب، انتشار گاز کربن، اشتغال ایجادشده و تعداد روزهای کاری ازدست‌رفته می‌باشد. همچنین از یک رویکرد مبتنی بر سناریو جهت مواجهه با عدم قطعیت استفاده نمودند.

لی[1] و همکاران (۲۰۲۱) با توجه به الزامات زیست‌محیطی حاکم از طرف دولت بر سازندگان و تمایلات مصرف‌کنندگان مبنی بر خرید محصولات سبز، مدلی را به‌منظور بهینه‌سازی سود سازندگان ارائه نمودند. خروجی اصلی این مدل تعیین درجه سبز بودن محصول در طراحی، تولید و استراتژی‌های بازیافت آن می‌باشد. لئو[2] و همکاران (۲۰۲۱) روشی جدید برای مدیریت ریسک و عدم قطعیت موجود در طراحی CLSC را مبتنی بر روش‌های استوار و فازی پیشنهاد دادند به‌نحوی‌که بدترین حالت عملکرد زنجیره یادشده را بهبود بخشند. در خصوص معیارهای زیست‌محیطی نیز عامل انتشار کربن مدنظر قرار گرفته است. پاژانی[3] و همکاران (۲۰۲۱) دو زنجیره تأمین حلقه بسته مجزا چهار و شش سطحی را با فرض چند محصولی و چند دوره‌ای موردمطالعه قرار دادند. تصمیمات مکان‌یابی و تخصیص، حمل‌ونقل و موجودی بر اساس خروجی‌های مدل اتخاذ می‌شوند. همچنین از رویکرد آزادسازی لاگرانژ برای حل استفاده می‌گردد.

۲-۲- تحقیقات مرتبط با یکپارچه‌سازی طراحی شبکه‌های CLSC و ارزیابی تأمین‌کنندگان

شاید بتوان گفت سابقه یکپارچه‌سازی ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با سایر مسائل به تحقیق امین و رزمی (۲۰۰۹) برمی‌گردد که در آن این مسئله با مسئله تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان به‌صورت یکپارچه در آمده است. غایبلو و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل دو هدفه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را برای طراحی یک CLSC شامل تأمین‌کنندگان، مراکز مونتاژ و مشتریان در زنجیره رفت و مراکز دمونتاژ و بازیافت در

1. Li
2. Liu
3. Pazhani

زنجیره برگشت توسعه دادند و جواب‌های پارتو مناسبی را با توجه به تعادل بین اهداف سود و سبز بودن تأمین‌کنندگان منتخب به دست آوردند. این تحقیق در کنار تحقیق امین و ژانگ (۲۰۱۲) جزء اولین تحقیقاتی است که به‌نوعی قصد دارد مسئله ارزیابی تأمین‌کننده را با طراحی CLSC یکپارچه نماید.

شاکرلو و همکاران (۲۰۱۶) یک شبکه CLSC شامل تولیدکننده، بازتولید کننده و شرکت شخص ثالث یا همان پیمانکار را در نظر گرفته و مدلی را در دو مرحله توسعه دادند. در مرحله اول هدف ارزیابی و تخصیص پیمانکار مناسب برای جمع‌آوری محصولات برگشتی و در مرحله دوم بر اساس یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چند هدفه، هدف تعیین تعداد محصولات و ترکیب قطعات و مجموعه‌های برگشتی در این زنجیره می‌باشد. گویندان[1] و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل چند هدفه چند دوره‌ای برای طراحی یک CLSC برای کارتریج پرینتر با اهداف فازی توسعه دادند. در این تحقیق ضمن کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی سیستم لجستیکی به معیارهای زیست‌محیطی در انتخاب تأمین‌کنندگان و موضوع تولید کربن در سیستم‌های حمل‌ونقل مربوطه نیز توجه می‌گردد. احمدی و امین (۲۰۱۹) طراحی یک CLSC چند دوره‌ای چند محصولی را برای گوشی تلفن همراه در کشور کانادا با انواع حالت‌های برگشتی (محصولات در خاتمه عمر، محصولات در خاتمه استفاده و محصولات تجاری) موردبررسی قرار دادند. از ویژگی‌های مهم این تحقیق عدم قطعیت در تقاضا و نرخ بازگشت محصولات و در نظر گرفتن دو هدف حداکثر سازی سود و امتیازات تأمین‌کنندگان منتخب می‌باشد. گویندان و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل گردشی انتخاب تأمین‌کننده و طراحی CLSC را با استفاده از تکنیک‌های فرایند سلسله مراتبی تحلیلی فازی و دیمتل فازی در کنار مدل چند هدفه ریاضی با در نظر گرفتن مسئله موجودی-مکان یابی-مسیریابی برای صنعت خودرو توسعه دادند.

باتوجه به مرور ادبیات انجام‌شده می‌توان گفت که تحقیقی که در حوزه طراحی CLSC به‌طور هم‌زمان اهداف سود، انتخاب تأمین‌کنندگان با امتیازات بالای ارزیابی

1. Govindan

(شایسته) و همچنین تاب‌آوری تأمین را درنظرگرفته باشد، مشاهده نگردید. از طرفی دیگر امکان وجود کمبود و برآورده نشدن تقاضا نیز یکی از گزینه‌هایی است که به‌عنوان نوآوری این تحقیق در نظر گرفته شده است. همچنین از روشی جدید تحت عنوان "فازی-مورا-نقطه مرجع[1]" در ارزیابی تأمین‌کنندگان استفاده شده است.

۳- بیان مسئله و مدل پیشنهادی

در این بخش پس از ارائه توصیفی از مسئله موجود و سؤالات اصلی تحقیق، جزئیات دو مدل موردنظر اراده می‌گردد. در ابتدا تولیدکننده، تأمین‌کنندگان بالقوه را با معیارهای مناسب و از طریق مدل فازی پیشنهادی ارزیابی و به هریک از تأمین‌کنندگان در خصوص هر یک از قطعات مورد تأمین امتیازی اختصاص می‌دهد. نتایج این ارزیابی به‌صورت وزن (درجه اهمیت) تأمین‌کنندگان و در قالب یکی از اهداف مدل سه هدفه ریاضی مورداستفاده قرار می‌گیرد. در مدل سه هدفه مورداشاره علاوه بر هدف ماکسیمم سازی سود، اهداف تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان شایسته و تاب آور نیز مدنظر می‌باشد.

۳-۱- بیان مسئله

در این مقاله یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته شامل تولیدکننده، مشتریان، سایت جداسازی، سایت‌های نوسازی[2] و دفع و تأمین‌کنندگان خارجی در نظر گرفته شده است که مجموعه آن توسط تولیدکننده مدیریت می‌گردد. تولیدکننده بر اساس تقاضا چندین محصول را تولید می‌کند، هرچند امکان عدم برآورده سازی بخشی از تقاضا را بر اساس منافع خود خواهد داشت. بعد از استفاده محصولات توسط مشتریان درصدی از آن‌ها به زنجیره اصلی برگشت می‌یابد. محصولات برگشتی به سایت جداکننده منتقل و قطعات موردنظر از محصولات جداسازی می‌شوند و به قطعات قابل‌استفاده مجدد (از طریق نوسازی) و یا ضایعات تقسیم می‌شوند. ضایعات به سایت دفع انتقال داده‌شده و قطعات قابل‌استفاده مجدد به سایت‌های نوسازی فرستاده می‌شوند. این قطعات به موجودی قطعات

1. Fuzzy-MOORA-Reference Point
2. Remanufacturing

اصلی در تولیدکننده و به‌عنوان قطعات جدید اضافه می‌شوند، به‌نحوی‌که تفاوتی بین آن‌ها ازنظر عملکرد با قطعاتی که از تأمین‌کنندگان دریافت شود، وجود نخواهد داشت. لازم به ذکر است ظرفیت سایت‌های جداسازی و نوسازی محدود فرض شده‌اند. با توجه به توضیحات، تولیدکننده بر اساس مقدار تقاضای قابل برآورد هر دوره و قطعات نوسازی شده طی همان دوره، کمبود خود را از تأمین‌کنندگان خارجی برآورده می‌کند. از فرضیات مهم این مدل این است که مجموع هزینه‌های نوسازی و جداسازی کمتر از هزینه خرید قطعات نو می‌باشد، زیرا در غیر این صورت اصولاً جمع‌آوری و نوسازی این قطعات، نمی‌توانست دارای توجیه اقتصادی باشد. همچنین بر اساس توافق صورت گرفته با تأمین‌کنندگان و در نظر گرفتن محدودیت‌های توجیه اقتصادی ایشان در تأمین اقلام، مقادیر حداقل و حداکثری برای تأمین مجموع قطعات ازنظر تعداد در هر دوره برای هر تأمین‌کننده در نظر گرفته می‌شود. همچنین بر اساس شاخص‌های زیر (حیدری، ۱۳۹۹)، امتیازی برای تاب‌آوری هر تأمین‌کننده در خصوص تأمین هر قطعه تعریف می‌شود که قاعدتاً بیشتر بودن این امتیاز، مطلوب‌تر خواهد بود.

- پراکندگی جغرافیایی سایت‌های تولید تأمین‌کنندگان
- برخورداری از پیمانکاران فرعی موازی
- جدیدی بودن تکنولوژی تولید و سازه‌های ساختمانی
- نگهداری موجودی اضافی

علاوه بر این همان‌طور که قبلاً نیز بدان اشاره شد، فرض می‌گردد که تأمین‌کنندگان بر اساس یک ارزیابی دوره‌ای در خصوص تأمین هر قطعه ارزیابی می‌شوند و امتیازات حاصل از این ارزیابی نیز در قالب هدف سوم مدل در نظر گرفته خواهد شد. فرض می‌گردد که روش تعیین امتیازات تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در خصوص هر قطعه مشابه همان روش ارزیابی دوره‌ای ایشان باشد که در بخش ۳-۲ به آن پرداخته می‌شود.

۳-۲- ارزیابی تأمین‌کنندگان

در این قسمت از تلفیق یک روش فازی به‌منظور تعیین وزن معیارهای ارزیابی

تأمین‌کنندگان و روش نقطه مرجع مبتنی بر مورا، روشی جدید تحت عنوان «فازی-مورا-نقطه مرجع» به‌منظور تعیین امتیازات نهایی هر تأمین‌کننده در خصوص هر قطعه پیشنهاد شده است. مزیت این روش نسبت به روش‌های مقایسه زوجی سرعت بالاتر آن و جلوگیری از مشکلات مرتبط با ناسازگاری می‌باشد.

فرض کنید تولیدکننده از N ($n=1,2,3,...,N$) فرد خبره با توجه به M ($m=1,2,3,...,M$) معیار تصمیم‌گیری در خصوص K ($k = 1,2,3,...,K$) تأمین‌کننده واجد شرایط که I ($i=1,2,3,...,I$) نوع قطعه را تأمین می‌کنند نظراتشان را طی مراحل زیر دریافت و پردازش نماید:

۱- تعریف معیارهای مناسب ارزیابی: در این قسمت کلیه معیارهای مناسب جهت انتخاب تأمین‌کنندگان را به سه دسته کلی مربوط به تأمین‌کننده Ca_1، قطعه یا محصول Ca_2 و فرآیند Ca_3 تقسیم می‌کنیم. معیارهایی نظیر هزینه، زمان تحویل و تجربه کاری در دسته معیارهای مرتبط با تأمین‌کننده و کیفیت، ایمنی قطعه، سبکی و قابلیت بازیافت در دسته معیارهای مرتبط با قطعات و نهایتاً معیارهایی نظیر قابلیت فرآیند، انعطاف‌پذیری فرایند، کاهش ضایعات و استفاده از تکنولوژی سبز در دسته معیارهای مرتبط با فرایند می‌توانند قرار گیرند.

۲- در این مرحله ابتدا مجموعه کلامی برای بیان نظرات خبرگان به‌صورت معادل خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد و خیلی زیاد را به‌صورت U={VL,L,ML,M,MH,H,VH} تعریف می‌کنیم که از بزرگ به کوچک معادل (۱۰، ۱۰، ۹)، (۱۰، ۹، ۷)، (۹، ۷، ۵)، (۷، ۵، ۳)، (۵، ۳، ۱)، (۳، ۱، ۰) و (۱، ۰، ۰) می‌باشند (امین و رزمی، ۲۰۰۹). متغیرهای کلامی می‌توانند به‌صورت اعداد فازی مثلثی بیامن شوند. هر تصمیم‌گیرنده یک سطح اهمیت را برای هر دسته از معیارها به‌وسیله متغیرهای کلامی و مقادیر فازی مثلثی متناظر با آن تعیین می‌کند.

Ca_x در رابطه (۱) معرف اهمیت معیار گروه x ($x=1,2,3$) می‌باشد که از طریق این رابطه و بر اساس نظرخواهی از خبرگان موجود، وزن‌های مرتبط با هر دسته از معیارها به

دست می‌آید.

$$Ca_x = \frac{Ca_{x1} + Ca_{x2} + \cdots + Ca_{xN}}{N} \quad (۱)$$

۳- در این مرحله ضریب اهمیت هر معیار m در گروه x، یعنی W_{xm} طبق رابطه (۲) تعیین می‌شود که البته در تعیین آن مجدداً همان افراد خبره در تعیین W_{xmn} مورداستفاده قرارمی گیرند.

$$W_{xm} = \frac{W_{xm1} + W_{xm2} + \cdots + W_{xmN}}{N} \quad (۲)$$

۴- در این مرحله ابتدا امتیاز هر تأمین‌کننده در خصوص تأمین هر قطعه a_{ik} را از رابطه (۳) به‌صورت یک عدد فازی محاسبه و سپس طبق رابطه (۴) آن را از حالت فازی خارج و نهایتاً اوزان به‌دست‌آمده را نرمال می‌کنیم.

$$a_{ik} = \sum_{x=1}^{3} \sum_{m=1}^{M} Ca_x \times W_{xm} \quad (۳)$$

$$be_{ik} = \frac{a_{ik1} + a_{ik2} + a_{ik3}}{3} \quad (۴)$$

در ادامه به‌منظور تعیین امتیاز هر تأمین‌کننده در خصوص تأمین هر قطعه گام‌های ۵ به بعد باید بر اساس روش نقطه مرجع مبتنی بر مورا که در سال ۲۰۰۶ ارائه گردیده است (برا اورس و زاوادس کاس[1]، ۲۰۰۶) پیموده شود:

۵- با فرض ارائه امتیازات لازم به هر یک از گزینه‌ها (در اینجا تأمین‌کنندگان مختلف هر یک از قطعات) و تشکیل ماتریس $X = [r_{ij}] \;\; i = 1, \ldots, m \;\;\; j = 1, \ldots, n$ که در آن i معرف گزینه‌ها و j معرف شاخص‌ها می‌باشد، بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم مطابق با رابطه (۵) انجام می‌شود:

1. Brauers & Zavadskas

$$r_{ij}^{*} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} {r_{ij}}^{2}}} \qquad (۵)$$

۶- با فرض اینکه مجموع اوزان شاخص‌ها معادل ۱ می‌باشد ($\sum_{j=1}^{n} W_j = 1$) در این گام، ماتریس تصمیم بی مقیاس شده وزین با استفاده از رابطه تشکیل دهید $T_{ij} = W_j . r_{ij}^{*}$

۷- تعیین نقاط ایدئال مرجع: با در نظر داشتن مثبت یا منفی بودن هر شاخص، نقاط ایدئال مرجع برای شاخص‌های منفی، کمترین مقدار و برای شاخص‌های مثبت، بیشترین مقدار می‌باشد. فرض کنیم مقادیر ایدئال با نماد S_j نشان داده شود.

۸- در خصوص هر یک از گزینه‌ها، حداکثر مقدار انحراف مثبت از مقدار ایدئال به ازای شاخص‌های مختلف T_i را محاسبه (مطابق رابطه ۶) و گزینه‌ای که کمترین مقدار را داشته باشد، ($Min\ T_i$) به‌عنوان گزینه مطلوب‌تر انتخاب می‌شود. بدیهی است که در اینجا چون بحث امتیاز تأمین‌کننده مطرح است و هر چه بیشتر باشد، بهتر است لذا برای محاسبه امتیازات هر تأمین‌کننده در خصوص هر قطعه نرمال شده معکوس این مقادیر استفاده خواهد شد.

$$T_i = Max_j \left|T_{ij} - S_j\right| \qquad (۶)$$

۳-۳- مدل پیشنهادی برای زنجیره تأمین حلقه بسته

در این قسمت اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترهای مدل به‌صورت زیر ارائه می‌شوند. اندیس‌ها عبارت‌اند از:

i اندیس قطعات ($i=1,2,...,I$)

j اندیس محصولات ($j=1,2,...,J$)

k اندیس تأمین‌کنندگان ($k=1,2,...,K$)

l اندیس سایت‌های نوسازی ($l=1,2,...,L$)

t اندیس دوره‌های زمانی ($t=1,2,...,T$)

متغیرهای تصمیم به شرح زیر می‌باشد:

P_{jt} تعداد محصول j که در دوره t توسط تولیدکننده، تولید می‌شوند.

SH_{jt} مقدار کمبود یا تقاضای برآورده نشده محصول j در دوره t

R_{jt} تعداد محصول برگشتی j که در دوره t جداسازی می‌شوند.

Q_{ikt} تعداد قطعه i خریداری‌شده از تأمین‌کننده k در دوره t

Z_{it} تعداد قطعه i به‌دست‌آمده از سایت جداسازی در دوره t

X_{ilt} تعداد قطعه i نوسازی شده در سایت l در دوره t

Vit تعداد قطعه i دفع شده در دوره t

U_{ilt} ۱ درصورتی‌که سایت l در دوره t برای نوسازی قطعه i انتخاب شود; ۰ در غیراین‌صورت

F_{jt} ۱ درصورتی‌که سایت جداسازی برای محصول j در دوره t راه‌اندازی شود; ۰ درغیراین‌صورت

SU_{kt} ۱ درصورتی‌که تأمین‌کننده k در دوره t انتخاب شود; ۰ درغیراین‌صورت

همچنین پارامترهای مدل به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

aa_j مقدار منبع موردنیاز برای تولید یک واحد محصول j

mc_j هزینه تولید یک واحد محصول j

rpp_{ij} تعداد قطعه i موردنیاز برای تولید یک واحد محصول j

AP_t حداکثر ظرفیت تولید محصولات در دوره t

S_{jt} قیمت فروش یک واحد محصول j در دوره t

π_{jt} هزینه کمبود یک واحد محصول j در دوره t

D_{jt} تقاضای محصول j در دوره t

H_{jt} درصد برگشتی محصول j در دوره t

rc_{jt} هزینه جمع‌آوری و خرید هر واحد محصول j برگشتی در دوره t

dc_j هزینه ثابت راه‌اندازی سایت جداسازی برای محصول j

E_i حداکثر ظرفیت سایت جداسازی برای قطعه i

cd_i هزینه جداسازی هر واحد قطعه i

rd_i	منبع موردنیاز برای جداسازی هر واحد قطعه i
mr_{it}	میانگین درصد قابل‌نوسازی قطعه i جداشده در دوره t
pc_i	هزینه دفع هر واحد قطعه i
o_{il}	هزینه نوسازی هر واحد قطعه i در سایت l
scr_{ilt}	هزینه راه‌اندازی سایت l برای نوسازی قطعه i در دوره t
rrp_{il}	منبع موردنیاز برای نوسازی هر واحد قطعه i در سایت l
G_{il}	حداکثر ظرفیت سایت l برای نوسازی قطعه i
pcs_{ikt}	هزینه تأمین هر واحد قطعه i از تأمین‌کننده k در دوره t
A_{kt}	حداقل مقدار خرید از تأمین‌کننده k در دوره t
B_{kt}	حداکثر مقدار خرید از تأمین‌کننده k در دوره t
drs_{ik}	امتیاز تاب‌آوری تأمین‌کننده k در تأمین قطعه i
ws_{ik}	امتیاز ارزیابی تأمین‌کننده k در خصوص تأمین قطعه i(محاسبه‌شده از مرحله اول)
M	یک عدد مثبت خیلی بزرگ

با توجه به نمادهای تعریف‌شده، مدل ریاضی این تحقیق به‌صورت زیر خواهد بود:

$$MaxZ_{1=} \quad (۷)$$
$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(S_{jt}-mc_j)P_{jt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} pcs_{ikt}\,Q_{ikt} - \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\pi_{jt}\,SH_{jt}$$
$$- \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} rc_{jt}\,R_{jt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} cd_i\,Z_{it}$$
$$- \sum_{i=1}^{I}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} o_{il}\,X_{ilt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} pc_i\,V_{it}$$
$$- \sum_{i=1}^{I}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} scr_{ilt}\,U_{ilt} - \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} dc_j\,F_{jt}$$

$$MaxZ_{2=}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} drs_{ik}\,Q_{ikt} \quad (۸)$$

$$MaxZ_3 = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} ws_{ik}\, Q_{ikt} \quad (۹)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{J} rpp_{ij}\, P_{jt} = \sum_{l=1}^{L} X_{ilt} + \sum_{k=1}^{K} Q_{ikt} \quad \forall i,t \quad (۱۰)$$

$$R_{jt} = H_{jt} P_{jt} \quad \forall j,t \quad (۱۱)$$

$$P_{jt} + SH_{jt} = D_{jt} \quad \forall j,t \quad (۱۲)$$

$$Z_{it} = \sum_{j=1}^{J} rpp_{ij}\, R_{jt} \quad \forall i,t \quad (۱۳)$$

$$mr_{it} Z_{it} = \sum_{l=1}^{L} X_{ilt} \quad \forall i,t \quad (۱۴)$$

$$(1 - mr_{it}) Z_{it} = V_{it} \; \forall i,t \quad (۱۵)$$

$$\sum_{j=1}^{J} aa_j P_{jt} \le AP_t \quad \forall t \quad (۱۶)$$

$$rd_i\, Z_{jt} \le E_i \quad \forall i,t \quad (۱۷)$$

$$rrp_{il}\, X_{ilt} \le G_{il}\, U_{ilt} \quad \forall i,l,t \quad (۱۸)$$

$$\sum_{i=1}^{I} Q_{ikt} \ge A_{kt} SU_{kt} \quad \forall k,t \quad (۱۹)$$

$$\sum_{i=1}^{I} Q_{ikt} \le B_{kt} SU_{kt} \; \forall k,t \quad (۲۰)$$

$$R_{jt} \le MF_{jt} \quad \forall j,t \quad (۲۱)$$

$$U_{ilt}, F_{jt}, SU_{kt} \in \{0,1\} \quad \forall i,j,k \quad (۲۲)$$

$$P_{jt}, SH_{jt}, R_{jt}, Q_{ikt}, Z_{it}, X_{ilt}, V_{it} \ge 0 \quad \forall i,j,k,t,l \quad (۲۳)$$

تابع هدف اول در رابطه ۷ حداکثر سازی سود می‌باشد. بخش اول آن سود حاصل از فروش قطعات، بخش دوم هزینه‌های تأمین قطعات نو از تأمین‌کنندگان خارجی، بخش سوم آن هزینه‌های مواجهه به کمبود محصولات، بخش چهارم آن معرف هزینه‌های جمع‌آوری و خرید محصولات برگشتی، بخش پنجم آن هزینه‌های جداسازی قطعات از محصولات، بخش ششم هزینه‌های نوسازی، بخش هفتم هزینه‌های دفع و بخش‌های هشتم و نهم هزینه‌های راه‌اندازی سایت‌های نوسازی و جداسازی را ارائه می‌دهد. تابع هدف دوم در رابطه ۸ امتیاز تاب‌آوری تأمین‌کنندگان را بر اساس مقادیر خریداری‌شده از آن‌ها حداکثر می‌کند و تابع هدف سوم در رابطه ۹ مجموع امتیازات ارزیابی تأمین‌کنندگان را

متناسب با مقادیر خریداری‌شده از آن‌ها حداکثر می‌کند. محدودیت ۱۰ برابری تعداد قطعات موردنیاز تولیدشده را با تعداد قطعات نو خریداری‌شده و نوسازی شده تضمین می‌کند. محدودیت ۱۱ نیز معادله تعداد قطعات برگشتی را بر اساس نرخ برگشت و تقاضای مشتریان ارائه می‌دهد. محدودیت ۱۲ معادله برابری تقاضای مشتریان را با مجموع مقادیر تولید و کمبود ارائه می‌کند. محدودیت ۱۳ تعداد قطعات جداسازی شده را در سایت جداسازی بر اساس ضریب مصرف قطعات در محصولات ارائه می‌کند. محدودیت ۱۴ و ۱۶ تعداد قطعات قابل دفع و قطعات نوسازی شده را بر اساس جریان ورودی هر یک یعنی ضریبی از قطعات جداسازی شده نشان می‌دهد. محدودیت ۱۷ و ۱۸ مرتبط با رعایت ظرفیت جداسازی و نوسازی قطعات در سایت‌های مربوطه می‌باشد. محدودیت ۱۹ و ۲۰ نشان‌دهنده حداقل و حداکثر میزان قابل تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان بر اساس توافقات قبلی با ایشان می‌باشد. محدودیت ۲۱ تضمین می‌کند که در صورت وجود برگشتی در سایت جداسازی، قاعدتاً نیازمند راه‌اندازی سایت مربوطه برای هر محصول خواهیم بود و درنتیجه هزینه‌های مرتبط با آن باید در مدل در نظر گرفته شود. محدودیت ۲۲ و ۲۳ نیز نشان‌دهنده وضعیت متغیرهای تصمیم می‌باشد.

٤- راه‌حل پیشنهادی

برای حل مسئله چندهدفه ارائه‌شده از روش ال-پی متریک استفاده می‌شود که در آن سعی می‌گردد هر تابع هدف به مقدار ایدئال خود نزدیک‌تر گردد. در این روش تابع هدف مطابق رابطه ۲۵ بوده و به ازای مقادیر مختلف p با حداقل نمودن آن با توجه به محدودیت‌های موجود، مجموعه جواب‌های مختلف پارتو تولید می‌گردد. در این رابطه W_y معرف وزن تابع هدف y ام می‌باشد و مقادیر Z_y, Z_y^-, Z_y^+ به ترتیب از چپ به راست معرف ضابطه تابع هدف، بدترین مقدار تابع هدف و بهینه تابع هدف در حالت حداکثر سازی می‌باشد. بدیهی است که می‌توان بدترین مقدار تابع هدف را با تشکیل جدول عایدات (از طریق حل مسئله صرفاً با در نظر گرفتن یک تابع هدف) به دست آورد.

$$L_{\mathrm{p}}=\left[\sum_{y=1}^{Y} W_y^p \left|\frac{Z_y^+-Z_y}{Z_y^+-Z_y^-}\right|^p\right]^{1/p} \quad (۲۴)$$

با توجه به اینکه در این تحقیق، سه تابع هدف وجود دارد، رابطه ۲۵ در خصوص اوزان توابع هدف برقرار خواهد بود.

$$\sum_{y=1}^{3} W_y = 1 \;\; W_y \geq 0 \; (y = 1,2,3) \quad (۲۵)$$

مقادیر وزن‌ها را می‌توان از طریق روش‌های مختلفی به دست آورد، در این تحقیق فرض شده است که بر اساس نظر خبره و به‌طور ساده با ضرایب مجموع یک تعیین‌شده باشند؛ بنابراین، درصورتی‌که تابع هدف مدل ال-پی متریک را با نماد Z نشان دهیم، معادله آن مطابق رابطه ۲۶ خواهد بود.

$$\mathrm{Min}Z = \left[W_1^p \times \left(\frac{Z_1^+-Z_1}{Z_1^+-Z_1^-}\right)^p + W_2^p \times \left(\frac{Z_2^+-Z_2}{Z_2^+-Z_2^-}\right)^p + W_3^p \times \left(\frac{Z_3^+-Z_3}{Z_3^+-Z_3^-}\right)^p\right]^{1/p} \quad (۲۶)$$

۵- نتایج عددی

در این بخش یک مثال عددی جهت درک بهتر و ارزیابی مدل ارائه شده است. فرض کنید یک تولیدکننده کامپیوتر ۵ نوع کامپیوتر را مونتاژ کرده و می‌فروشد و هر محصول از ۵ نوع قطعه شامل برد، هارد، رم، رام و پاور تشکیل شده است. مدیر شرکت تولیدکننده یک گروه خبره ۳ نفری تشکیل می‌دهد. معیارهای ارزیابی مناسب مطابق با آنچه در بیان مسئله اشاره گردید انتخاب‌شده و اعضای گروه اهمیت هر گروه از معیارها را با متغیرهای کلامی و متناسب با اعداد فازی مثلثی تعیین می‌کنند. در مرحله بعد وزن معیارهای ارزیابی مشخص و نهایتاً امتیاز هر تأمین‌کننده در خصوص هر قطعه مطابق با روش ارائه‌شده تعیین می‌شوند. در مرحله دوم مدل ریاضی چند هدفه مربوطه بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده از مرحله اول تشکیل و با استفاده از مدل‌سازی در نرم‌افزار گمز مطابق روش پیشنهادی چند هدفه حل می‌گردد. درجه اهمیت توابع هدف در روش اشاره‌شده

W_1=0.7,W_2=0.15,W_3=0.15 در نظر گرفته‌شده و مسئله برای مقادیر مختلف P حل می‌شود. در جدول ۱ نتایج حاصل از ارزیابی هرکدام از معیارهای اصلی ارزیابی شامل: معیارهای مرتبط با تأمین‌کننده، قطعه و فرآیند ارائه‌شده است (گام دوم روش). به‌عنوان‌مثال مقدار ۳,۷ مربوط به کران پایین عدد فازی وزن معیار مرتبط با تأمین‌کننده میانگین اعداد ۳، ۳ و ۵ می‌باشد.

جدول ۱: ارزیابی فازی معیارهای اصلی

معیارهای اصلی	نظرات تصمیم‌گیرندگان			عددی فازی متناظر			وزن معیارهای اصلی
معیارهای مرتبط با تأمین‌کننده	MH	M	M	(۵,۷,۹)	(۳,۵,۷)	(۳,۵,۷)	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)
معیارهای مرتبط با قطعه	H	H	H	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)
معیارهای مرتبط با فرآیند	VH	H	MH	(۹,۱۰,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۵,۷,۹)	(۷,۸,۷,۹,۷)

سپس در جدول ۲ کلیه معیارهای زیرمجموعه معیارهای اصلی فوق (معیارهای مرتبط با تأمین‌کننده، قطعه و فرآیند) ارزیابی می‌شوند (گام سوم روش).

جدول ۲: ارزیابی فازی معیارهای زیرمجموعه معیارهای اصلی

معیارها	نظرات تصمیم‌گیرندگان			وزن معیارها
هزینه	VH	VH	H	(۸,۳,۹,۷,۱۰)
زمان تحویل	MH	M	M	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)
تجربه کاری	MH	M	MH	(۴,۳,۶,۳,۸,۳)
کیفیت	H	MH	VH	(۷,۸,۷,۹,۷)
ایمنی قطعه	VH	H	MH	(۷,۸,۷,۹,۷)
سبکی	MH	M	M	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)
قابلیت بازیافت	M	MH	MH	(۴,۳,۶,۳,۸,۳)
قابلیت فرآیند	M	MH	M	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)
انعطاف‌پذیری فرآیند	MH	H	VH	(۷,۸,۷,۹,۷)
کاهش ضایعات	H	MH	VH	(۷,۸,۷,۹,۷)
استفاده از تکنولوژی سبز	M	ML	MH	(۳,۵,۷)

در جدول ۳، امتیاز نهایی هر معیار به‌صورت یک عدد فازی و نهایتاً قطعی ارائه و نرمال می‌شود تا وزن معیارهای ارزیابی مشخص شود (گام چهارم روش).

جدول ۳: ارزیابی نهایی تأمین‌کننده اول برای قطعه ۱

معیارها	وزن‌های معیارهای اصلی	وزن‌های معیارها	امتیاز معیار	امتیاز قطعی	امتیاز نرمال شده
هزینه	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)	(۸,۳,۹,۷,۱۰)	(۳۰,۷,۵۵,۳,۷۷)	۵۴,۳	۰,۰۸۷
زمان تحویل	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)	(۱۳,۷,۳۲,۵,۵۹,۳)	۳۵,۲	۰,۰۵۶
تجربه کاری	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)	(۴,۳,۶,۳,۸,۳)	(۱۵,۹,۳۵,۹,۶۳,۹)	۳۸,۶	۰,۰۶۲
کیفیت	(۷,۹,۱۰)	(۷,۸,۷,۹,۷)	(۴۹,۷۸,۳,۹۷)	۷۴,۸	۰,۱۲۰
ایمنی قطعه	(۷,۹,۱۰)	(۷,۸,۷,۹,۷)	(۴۹,۷۸,۳,۹۷)	۷۴,۸	۰,۱۲۰
سبکی	(۷,۹,۱۰)	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)	(۲۵,۹,۵۱,۳,۷۷)	۵۱,۴	۰,۰۸۲
قابلیت بازیافت	(۷,۹,۱۰)	(۴,۳,۶,۳,۸,۳)	(۳۰,۱,۵۶,۷,۸۳)	۵۶,۶	۰,۰۹۰
قابلیت فرآیند	(۷,۸,۷,۹,۷)	(۳,۷,۵,۷,۷,۷)	(۲۵,۹,۴۹,۶,۷۴,۷)	۵۰,۱	۰,۰۸۰
انعطاف‌پذیری فرآیند	(۷,۸,۷,۹,۷)	(۷,۸,۷,۹,۷)	(۴۹,۷۵,۷,۹۴,۱)	۷۲,۹	۰,۱۱۶
کاهش ضایعات	(۷,۸,۷,۹,۷)	(۷,۸,۷,۹,۷)	(۴۹,۷۵,۷,۹۴,۱)	۷۲,۹	۰,۱۱۶
استفاده از تکنولوژی سبز	(۷,۸,۷,۹,۷)	(۳,۵,۷)	(۲۱,۴۳,۵,۶۷,۹)	۴۴,۱	۰,۰۷۰

در جدول ۴ به‌منظور اجرای گام پنجم به کمک رابطه (۵)، ابتدا امتیازات هر تأمین‌کننده (بر اساس نظرات خبرگان سه‌نفری یا داده‌های موجود در سوابق) در خصوص معیارهای فوق صرفاً برای قطعه ۱ ارائه شده است. همچنین در جدول ۵ مقادیر نرمال شده داده شده است. در این جداول علامت "+" برای معیارهای مثبت و "–" برای معیارهای منفی می‌باشد.

جدول ٤: امتیازات تأمین‌کنندگان از معیارها برای قطعه ۱

معیارها تأمین کننده	هزینه -	زمان تحویل-	تجربه کاری+	کیفیت+	ایمنی قطعه+	سبکی-	قابلیت بازیافت+	قابلیت فرآیند+	انعطاف‌پذیری فرایند+	کاهش ضایعات+	استفاده از تکنولوژی سبز+
۱	۷	۱۷	۲۳	۰,۶	۴	۵	۳	۵	۵	۵	۳
۲	۸	۱۳	۲۲	۰,۷	۵	۵	۴	۵	۴	۵	۳
۳	۹	۱۵	۵	۰,۷	۵	۵	۴	۴	۵	۳	۲
۴	۸	۱۵	۷	۰,۷	۵	۵	۴	۴	۵	۴	۲
۵	۶	۲۰	۱۳	۰,۶	۴	۶	۳	۵	۵	۵	۳

جدول ۵: مقادیر نرمال شده امتیازات تأمین‌کنندگان از معیارها برای قطعه ۱

معیارها تأمین کننده	هزینه -	زمان تحویل-	تجربه کاری+	کیفیت+	ایمنی قطعه+	سبکی-	قابلیت بازیافت+	قابلیت فرآیند+	انعطاف‌پذیری فرایند+	کاهش ضایعات+	استفاده از تکنولوژی سبز+
۱	۰,۴۱	۰,۴۷	۰,۶۵	۰,۴۱	۰,۳۹	۰,۴۳	۰,۳۷	۰,۴۸	۰,۴۶	۰,۵۰	۰,۵۱
۲	۰,۴۷	۰,۳۶	۰,۶۲	۰,۴۷	۰,۴۸	۰,۴۳	۰,۴۹	۰,۴۸	۰,۳۷	۰,۵۰	۰,۵۱
۳	۰,۵۲	۰,۴۱	۰,۱۴	۰,۴۷	۰,۴۸	۰,۴۳	۰,۴۹	۰,۳۹	۰,۴۶	۰,۳۰	۰,۳۴
۴	۰,۴۷	۰,۴۱	۰,۲۰	۰,۴۷	۰,۴۸	۰,۴۳	۰,۴۹	۰,۳۹	۰,۴۶	۰,۴۰	۰,۳۴
۵	۰,۳۵	۰,۵۵	۰,۳۷	۰,۴۱	۰,۳۹	۰,۵۱	۰,۳۷	۰,۴۸	۰,۴۶	۰,۵۰	۰,۵۱

در جدول ۶، مطابق با گام ششم، امتیازات نرمال شده وزین تأمین‌کنندگان برای قطعه ۱ ارائه شده است.

جدول ٦: مقادیر امتیازات نرمال شده وزین تأمین‌کنندگان برای قطعه ۱

معیارها تأمین کننده	هزینه -	زمان تحویل -	تجربه کاری +	کیفیت +	ایمنی قطعه +	سبکی -	قابلیت بازیافت +	قابلیت فرآیند +	انعطاف‌پذیری فرایند +	کاهش ضایعات +	استفاده از تکنولوژی سبز +
۱	۰,۰۳۶	۰,۰۲۶	۰,۰۴۰	۰,۰۴۹	۰,۰۴۶	۰,۰۳۵	۰,۰۳۳	۰,۰۳۹	۰,۰۵۴	۰,۰۵۸	۰,۰۳۵
۲	۰,۰۴۱	۰,۰۲۰	۰,۰۳۸	۰,۰۵۷	۰,۰۵۸	۰,۰۳۵	۰,۰۴۴	۰,۰۳۹	۰,۰۴۳	۰,۰۵۸	۰,۰۳۵
۳	۰,۰۴۶	۰,۰۲۳	۰,۰۰۹	۰,۰۵۷	۰,۰۵۸	۰,۰۳۵	۰,۰۴۴	۰,۰۳۱	۰,۰۵۴	۰,۰۳۵	۰,۰۲۴
۴	۰,۰۴۱	۰,۰۲۳	۰,۰۱۲	۰,۰۵۷	۰,۰۵۸	۰,۰۳۵	۰,۰۴۴	۰,۰۳۱	۰,۰۵۴	۰,۰۴۶	۰,۰۲۴
۵	۰,۰۳۰	۰,۰۳۱	۰,۰۲۳	۰,۰۴۹	۰,۰۴۶	۰,۰۴۲	۰,۰۳۳	۰,۰۳۹	۰,۰۵۴	۰,۰۵۸	۰,۰۳۵

در جدول ۷، مطابق با گام هفتم روش، مقادیر ایدئال امتیازات نرمال شده وزین ارائه شده است.

جدول ۷: مقادیر ایدئال امتیازات نرمال شده وزین

معیارها	هزینه -	زمان تحویل -	تجربه کاری +	کیفیت +	ایمنی قطعه +	سبکی -	قابلیت بازیافت +	قابلیت فرآیند +	انعطاف‌پذیری فرایند +	کاهش ضایعات +	استفاده از تکنولوژی سبز +
مقادیر ایدئال	۰,۰۳۰	۰,۰۲۰	۰,۰۴۰	۰,۰۵۷	۰,۰۵۸	۰,۰۳۵	۰,۰۴۴	۰,۰۳۹	۰,۰۵۴	۰,۰۵۸	۰,۰۳۵

در جدول ۸، مطابق با گام هشتم، انحرافات مثبت امتیازات نرمال شده وزین هر تأمین‌کننده در خصوص هر معیار از مقادیر ایدئال، محاسبه و ارائه گشته است.

جدول ۸: انحرافات مثبت امتیازات نرمال شده وزین هر تأمین‌کننده در خصوص هر معیار از مقادیر ایدئال برای قطعه ۱

معیارها تأمین کننده	هزینه -	زمان تحویل -	تجربه کاری +	کیفیت +	ایمنی قطعه +	سبکی -	قابلیت بازیافت +	قابلیت فرآیند +	انعطاف‌پذیری فرایند +	کاهش ضایعات +	استفاده از تکنولوژی سبز +
۱	۰,۰۰۵	۰,۰۰۶	۰,۰۰۰	۰,۰۰۸	۰,۰۱۲	۰,۰۰۰	۰,۰۱۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
۲	۰,۰۱۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۱۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
۳	۰,۰۱۵	۰,۰۰۳	۰,۰۳۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۸	۰,۰۰۰	۰,۰۲۳	۰,۰۱۲
۴	۰,۰۱۰	۰,۰۰۳	۰,۰۲۸	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۸	۰,۰۰۰	۰,۰۱۲	۰,۰۱۲
۵	۰,۰۰۰	۰,۰۱۱	۰,۰۱۷	۰,۰۰۸	۰,۰۱۲	۰,۰۰۷	۰,۰۱۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰

در جدول ۹، مطابق با ادامه روال بیان‌شده در گام هشتم، امتیازات هر تأمین‌کننده در خصوص قطعه ۱ به کمک رابطه ۶ محاسبه و ارائه شده است.

جدول ۹: امتیازات هر تأمین‌کننده در خصوص قطعه ۱

تأمین‌کننده	بیشترین مقدار انحراف	رتبه تأمین‌کنندگان	امتیاز هر تأمین‌کننده برای قطعه ۱
۱	۰,۰۱۲	۲	۰,۲۸۴
۲	۰,۰۱۱	۱	۰,۳۰۶
۳	۰,۰۳۱	۵	۰,۱۰۵
۴	۰,۰۲۸	۴	۰,۱۱۸
۵	۰,۰۱۷	۳	۰,۱۸۸

مطابق با فرآیند ارزیابی انجام‌گرفته برای تأمین‌کنندگان در خصوص قطعه ۱، برای سایر قطعات ۲، ۳، ۴ و ۵ نیز ارزیابی انجام‌گرفته و نهایتاً نتایج مطابق جدول ۱۰ به دست می‌آید.

جدول ۱۰: وزن تأمین‌کنندگان برای کلیه قطعات ws_{ik}

قطعات	وزن تأمین‌کنندگان				
	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۰,۲۸۴	۰,۳۰۶	۰,۱۰۵	۰,۱۱۸	۰,۱۸۸
۲	۰,۲۵۴	۰,۲۸۸	۰,۱۱۰	۰,۱۲۳	۰,۲۲۵
۳	۰,۲۳۲	۰,۲۷۴	۰,۱۱۹	۰,۱۳۳	۰,۲۴۲
٤	۰,۱۸۸	۰,۳۰۲	۰,۰۹۹	۰,۱۴۳	۰,۲۶۸
٥	۰,۲۵۱	۰,۳۲۰	۰,۱۲۳	۰,۱۰۵	۰,۲۰۱

طبق توضیحات داده شده قبلی، تعداد ۵ تأمین‌کننده خارجی، تأمین ۵ نوع قطعه را برای ۵ محصول تولیدی بر عهده خواهند داشت. تعداد سایت‌های جدا سازی نیز معادل ۵ در نظر گرفته شده و فرض می‌گردد بهینه سازی برای دو دوره صورت گیرد.

در ادامه مقادیر در نظر گرفته شده برای سایر پارامترهای مدل ارائه می‌شود. در جدول ۱۱ مقادیر پارامترهای مرتبط با محصولات در دوره‌های مختلف شامل S_{jt} ، D_{jt}، π_{jt}، H_{jt} و rc_{jt} به ترتیب از بالا به پایین در هر خانه جدول داده شده است. در جدول ۱۲ مقادیر پارامترهای مرتبط با قطعات شامل E_{i}، cd_i، pc_i، rd_i ارائه شده است.

جدول ۱۱: مقادیر پارامترهای S_{jt} ، D_{jt}، π_{jt}، H_{jt} و rc_{jt}

	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ٤	محصول ٥
پریود اول	۱۵۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۳۰	۲۵۰
	۱۴۰۰	۱۵۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۱۵۰۰
	۱۰	۱۲	۱۳	۱۴	۱۷
	۰,۶	۰,۶	۰,۶	۰,۶	۰,۶
	۳۰	۴۰	۴۴	۴۶	۵۰
پریود دوم	۱۵۵	۲۰۵	۲۲۲	۲۳۲	۲۵۳
	۱۴۱۰	۱۴۹۰	۱۴۰۰	۱۳۹۰	۱۵۰۰
	۱۰	۱۲	۱۳	۱۴	۱۷
	۰,۶	۰,۶	۰,۶	۰,۶	۰,۶
	۳۱	۴۱	۴۴	۴۶	۵۱

جدول ۱۲: مقادیر پارامترهای E_i، cd_i، pc_i، rd_i

	قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳	قطعه ٤	قطعه ٥
E_i	۹۰۰۰	۱۰۰۰۰	۸۵۰۰	۱۰۰۰۰	۹۵۰۰
cd_i	۴	۵,۵	۲,۵	۳,۵	۳,۵
pc_i	۳	۴	۴	۴	۳
rd_i	۱	۱	۱	۱	۱

در جدول ۱۳ مقادیر پارامترهای مرتبط با قطعات در سایت‌های مختلف شامل o_{il}، rrp_{il} و G_{il} به ترتیب از بالا به پایین در هر خانه جدول داده شده است.

جدول ۱۳: مقادیر پارامترهای o_{il}، rrp_{il} و G_{il}

قطعه	سایت ۱	سایت ۲	سایت ۳	سایت ٤	سایت ٥
قطعه ۱	۳ ۱ ۹۰۰۰	۲ ۱ ۱۰۰۰۰	۳ ۱ ۸۵۰۰	۳ ۱ ۱۰۰۰۰	۴ ۱ ۹۵۰۰
قطعه ۲	۴ ۱ ۱۰۰۰۰	۴ ۱ ۹۰۰۰	۳ ۱ ۸۵۰۰	۲ ۱ ۱۰۰۰۰	۴ ۱ ۹۵۰۰
قطعه ۳	۴ ۱ ۹۰۰۰	۳ ۱ ۱۰۰۰۰	۴ ۱ ۸۰۰۰	۳ ۱ ۹۵۰۰	۴ ۱ ۱۰۰۰۰
قطعه ٤	۴ ۱ ۸۵۰۰	۳ ۱ ۹۰۰۰	۳ ۱ ۱۰۰۰۰	۴ ۱ ۹۵۰۰	۳ ۱ ۸۵۰۰
قطعه ۵	۳ ۱ ۹۰۰۰	۳ ۱ ۹۵۰۰	۴ ۱ ۱۰۰۰۰	۴ ۱ ۹۰۰۰	۴ ۱ ۸۵۰۰

در جدول ۱۴ مقادیر پارامترهای مرتبط با محصولات شامل aa_j، mc_j و dc_j ارائه شده است.

جدول ١٤: مقادیر پارامترهای aa_j، mc_j و dc_j

	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ٤	محصول ٥
aa_j	۱	۲	۲	۲	۳
mc_j	۳۰	۳۵	۳۰	۳۰	۳۵
dc_j	۵	۵	۴	۵	۴

در جدول ۱۵ مقادیر پارامتر مربوط به ضریب مصرف قطعات در محصولات rpp_{ij} داده شده است.

جدول ۱۵: مقادیر پارامتر rpp_{ij}

قطعه	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ٤	محصول ٥
قطعه ۱	۲	۱	۳	۱	۳
قطعه ۲	۱	۳	۲	۱	۲
قطعه ۳	۳	۲	۱	۴	۱
قطعه ٤	۲	۱	۲	۳	۴
قطعه ٥	۱	۳	۲	۲	۳

در جدول ۱۶ مقادیر پارامترهای مرتبط با حداقل و حداکثر توان تأمین‌کنندگان در تأمین مجموع قطعات موردنیاز A_{kt} و B_{kt} ارائه شده است.

جدول ١٦: مقادیر پارامترهای A_{kt} و B_{kt}

	تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ٤	تأمین‌کننده ٥
دوره ۱	۲۰۰۰–۶۰۰۰	۱۰۰۰–۵۰۰۰	۳۰۰۰–۸۰۰۰	۱۵۰۰–۶۰۰۰	۲۰۰۰–۵۰۰۰
دوره ۲	۲۰۰۰–۶۰۰۰	۱۰۰۰–۵۰۰۰	۳۰۰۰–۸۰۰۰	۱۵۰۰–۶۰۰۰	۲۰۰۰–۵۰۰۰

در جدول ۱۷ مقادیر پارامتر مربوط به تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در تأمین قطعات drs_{ik} داده شده است. می‌توان فرض کرد این مقادیر نیز مطابق با همان روش ارائه‌شده برای امتیاز تأمین‌کنندگان به‌دست‌آمده است.

جدول ۱۷: مقادیر پارامتر drs_{ik}

	تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ٤	تأمین‌کننده ٥
قطعه ۱	۰,۹	۰,۹۵	۰,۹	۰,۹۳	۰,۸۹
قطعه ۲	۰,۹۵	۰,۹۵	۰,۹	۰,۹	۰,۹۵
قطعه ۳	۰,۹	۰,۹۵	۰,۹	۰,۹۵	۰,۹۳
قطعه ٤	۰,۹۵	۰,۹	۰,۹۳	۰,۹	۰,۹۴
قطعه ٥	۰,۹	۰,۸۹	۰,۹۵	۰,۹۰	۰,۹۰

در جدول ۱۸ مقادیر پارامتر مربوط به هزینه راه‌اندازی هر سایت نوسازی برای تولید قطعات در دوره‌های مختلف scr_{ilt} داده شده است.

جدول ۱۸: مقادیر پارامتر scr_{ilt}

	سایت ۱	سایت ۲	سایت ۳	سایت ٤	سایت ٥
قطعه ۱	۴	۵	۴	۴	۴
قطعه ۲	۴	۴	۴	۴	۵
قطعه ۳	۵	۵	۴	۵	۵
قطعه ٤	۴	۵	۵	۵	۵
قطعه ٥	۴	۴	۴	۵	۴

فرض می‌شود مقادیر متناظر برای هر دو دوره یکسان است.

در جدول ۱۹ مقادیر پارامتر مربوط به هزینه تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان در دوره‌های مختلف pcs_{ikt} داده شده است.

جدول ۱۹: مقادیر پارامتر pcs_{ikt}

قطعه	پریود اول					پریود دوم				
	تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ٤	تأمین‌کننده ٥	تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ٤	تأمین‌کننده ٥
قطعه ۱	۱۴	۱۴	۱۸	۱۲	۱۹	۱۴	۱۳	۱۸	۱۲	۱۹
قطعه ۲	۱۶	۲۱	۱۴	۱۶	۱۴	۱۶	۲۱	۱۵	۱۶	۱۵

قطعه	پریود اول					پریود دوم				
	تأمین کننده ۱	تأمین کننده ۲	تأمین کننده ۳	تأمین کننده ٤	تأمین کننده ٥	تأمین کننده ۱	تأمین کننده ۲	تأمین کننده ۳	تأمین کننده ٤	تأمین کننده ٥
قطعه ۳	۱۳	۲۳	۲۰	۱۵	۱۴	۱۳	۲۴	۲۰	۱۵	۱۴
قطعه ٤	۱۵	۱۴	۱۸	۱۹	۱۴	۱۵	۱۴	۱۸	۱۹	۱۴
قطعه ٥	۱۸	۱۵	۱۴	۱۳	۱۵	۱۸	۱۴	۱۴	۱۲	۱۵

مقادیر پارامترهای میانگین درصد قابل‌نوسازی قطعات جداشده در سایت جداسازی در هر دوره mr_{it} برای کلیه قطعات معادل ۷۰ درصد و حداکثر ظرفیت تولید محصولات در هر دوره AP_t معادل ۱۸۰۰۰ واحد برای هر دوره در نظر گرفته شده است.

به‌منظور حل مسئله با استفاده از روش ال-پی متریک ابتدا جدول عایدات را برای توابع مختلف هدف تشکیل می‌دهیم. لازم به ذکر است که توابع هدف اول و سوم از نوع ماکسیمم سازی و تابع هدف دوم از نوع مینیمم سازی است. جدول ۲۰ نشان‌دهنده مقادیر توابع مختلف هدف می‌باشد.

جدول ۲۰: جدول عایدات برای مدل سه هدفه (هر سه هدف حداکثر سازی)

نوع تابع هدف	مقادیر اهداف با فرض بهینه‌سازی Z_1	مقادیر اهداف با فرض بهینه‌سازی Z_2	مقادیر اهداف با فرض بهینه‌سازی Z_3
$MaxZ_1$	۳۰۶۹۹۹	۱۴۳۸۷۰	۴۳۱۲۸
$MaxZ_2$	۵۵۲۱۲	۵۶۹۶۱	۵۴۶۶۰
$MaxZ_3$	۱۱۶۵۳	۱۱۰۷۰	۱۲۷۸۰

مطابق نتایج جدول ۲۰، همان‌طور که مشاهده می‌شود سه جواب نا مغلوب ارائه شده است که این خود می‌تواند نشان‌دهنده اعتبار مدل باشد. در زمانی که تابع هدف اول (سود) بهینه می‌شود، مقادیر تابع هدف دوم (تاب‌آوری تأمین) و تابع هدف سوم (امتیازات تأمین‌کنندگان) به ترتیب ۵۵۲۱۲ و ۱۱۶۵۳ می‌شود. در حالتی که تابع هدف دوم بهینه می‌شود، تاب‌آوری تأمین به ۵۶۹۶۱ می‌رسد که البته قابل‌انتظار است. مقدار تابع هدف

سود کاهش چشمگیری یافته و به ۱۴۳۸۷۰ می‌رسد هرچند امتیاز تأمین‌کنندگان چندان نسبت به قبل کاهش نیافته و به عدد ۱۱۰۷۰ می‌رسد. در حالت سوم نیز امتیازات تأمین‌کنندگان حداکثر می‌شود و به عدد ۱۲۷۸۰ می‌رسد لیکن سود به عدد ۴۳۱۲۸ می‌رسد که مجدداً کاهش چشمگیری نسبت به قبل نشان می‌دهد و تاب‌آوری نیز به ۵۴۶۶۰ می‌رسد که تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد.

در جدول ۲۱ مقادیر توابع هدف سه‌گانه به ازای مقادیر مختلف p در روش ال-پی متریک ارائه شده است. در به‌کارگیری این روش مقادیر اوزان $W_1=0.7, W_2=0.15, W_3=0.15$ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲۱: مقادیر تابع هدف به ازای مقادیر مختلف p در روش ال-پی متریک

مقادیر p	مقدار تابع هدف ال-پی Z	Z_1	Z_2	Z_3
۱	۰,۱۹۵	۲۹۳۴۵۶	۵۵۷۶۹	۱۱۸۵۴
۲	۰,۰۴۸	۲۵۷۶۶۹	۵۶۲۹۷	۱۲۳۲۵
۳	۰,۰۱۱	۲۵۳۷۱۳	۵۶۳۳۹	۱۲۳۷۰

همان‌طور که از جدول ۲۱ مشاهده می‌شود، به ازای مقادیر مختلف p در روش ال-پی متریک سه جواب نامغلوب دیگر ارائه شده است که تصمیم‌گیرنده می‌تواند از بین آن‌ها انتخاب کند. از مقدار ۱ تا ۳، مقدار تابع هدف اول بدتر، تابع هدف دوم و سوم بهتر می‌شود. این مورد خود نشان‌دهنده اعتبار مدل پیشنهادی می‌باشد.

در ادامه به‌منظور یافتن درک بهتر نسبت به پاسخ‌های داده‌شده، مقادیر برخی از متغیرهای تصمیم در حالت p مساوی ۳ در جداول زیر ارائه و تحلیل‌های لازم در خصوص آن داده می‌شود.

جدول ۲۲ مقادیر هم‌زمان تولید و کمبود محصولات در دوره‌های مختلف P_{jt} و SH_{jt} را به ترتیب از بالا به پایین ارائه می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مجموع این دو مقدار در هر دوره معادل تقاضای آن دوره می‌باشد که این خود می‌تواند به‌عنوان دلیلی بر عملکرد مناسب مدل و اعتبار آن باشد. بر اساس تابع هدف مدل، در برخی دوره‌ها به‌منظور

حداکثر سازی سود، مواجهه با کمبود توصیه شده است.

جدول ۲۲: مقادیر پارامتر P_{jt} و SH_{jt}

	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ٤	محصول ٥
پریود اول	۰ ۱۴۰۰	۲۸۲ ۱۲۱۸	۱۴۰۰ ۰	۱۴۰۰ ۰	۱۵۰۰ ۰
پریود دوم	۰ ۱۴۱۰	۱۴۹۰ ۰	۱۴۰۰ ۰	۱۳۹۰ ۰	۵۸۰ ۹۲۰

همچنین مجموع مقادیر نوسازی شده قطعات مختلف در دوره‌های مختلف $\sum_{l=1}^{L} X_{ilt}$ و همچنین مجموع مقادیر خریداری‌شده از آن قطعات از تأمین‌کنندگان مختلف در دوره‌های مختلف $\sum_{k=1}^{K} Q_{ikt}$ به همراه مجموع کل قطعات موردنیاز در هر دوره به‌صورت مقایسه‌ای به ترتیب از بالا به پایین در جدول ۲۳ ارائه شده است.

جدول ۲۳: مقایسه مقادیر $\sum_{l=1}^{L} X_{ilt}$ و $\sum_{k=1}^{K} Q_{ikt}$ با نیاز کل

	قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳	قطعه ٤	قطعه ٥
دوره ۱	۴۳۶۱ ۶۰۲۲ ۱۰۳۸۳	۳۳۸۰ ۴۶۶۷ ۸۰۴۷	۳۸۰۷ ۵۲۵۸ ۹۰۶۵	۵۵۷۹ ۷۷۰۴ ۱۳۲۸۳	۴۵۹۸ ۶۳۴۹ ۱۰۹۴۷
دوره ۲	۳۷۰۴ ۵۱۱۵ ۸۸۱۹	۴۱۲۴ ۵۶۹۵ ۹۸۱۹	۴۴۱۸ ۶۱۰۱ ۱۰۵۱۹	۴۵۲۷ ۶۲۵۱ ۱۰۷۷۸	۴۹۵۱ ۶۸۳۷ ۱۱۷۸۸

در جدول ۲۴ مقادیر ارائه‌شده در جدول ۲۳ به‌صورت درصد ارائه شده است که نشان می‌دهد چند درصد قطعات از طریق نوسازی و چند درصد به‌صورت نو از طریق تأمین‌کنندگان تأمین‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در کل نیز ۴۲ درصد نیاز به‌کل قطعات از طریق نوسازی و ۵۸ درصد از طریق تأمین قطعات نو از تأمین‌کنندگان خارجی به دست می‌آید.

جدول ۲٤: مقایسه مقدار تأمین هر قطعه در هر دوره از طریق نوسازی و تأمین

	قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳	قطعه ٤	قطعه ٥
دوره ۱	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲
	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸
	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
دوره ۲	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲
	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸
	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

۶- یافته‌ها، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله یک مدل ریاضی یکپارچه دومرحله‌ای برای ارزیابی تأمین‌کنندگان قطعات مختلف یک محصول به همراه طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته شامل تولیدکننده، مشتریان، سایت جداسازی قطعات، سایت‌های نوسازی، دفع و تأمین‌کنندگان خارجی ارائه گردید. در مرحله اول با استفاده از روش پیشنهادی «فازی-مورا-نقطه مرجع» امتیازات ارزیابی تأمین‌کنندگان در رابطه با هر قطعه به‌دست‌آمده و سپس با استفاده از این امتیازات و انجام فرایند مشابه برای امتیاز تاب‌آوری تأمین‌کنندگان، مدلی سه هدفه شامل اهداف حداکثر سازی سود زنجیره و تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان شایسته و تاب آور ارائه گردید. این مدل در قالب یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (صفر و یک) مختلط چند دوره‌ای ارائه گردید و عملکرد آن با طراحی یک مثال عددی از صنعت کامپیوتر نمایش داده شد. بر اساس نتایج حل، ۴۲ درصد نیاز به قطعات برای تولیدکننده از طریق نوسازی آن‌ها از محصولات برگشتی و مابقی از طریق خرید از تأمین‌کنندگان قابل تأمین می‌باشد.

می‌توان گفت نتایج این تحقیق برای مدیران صنعت و کاربردهای عملی منافع چندی را در پی خواهد داشت که عبارت‌اند از:

- آگاهی یافتن نسبت به اهمیت ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان به‌خصوص در زمان یکپارچه‌سازی آن با مسائل دیگر نظیر طراحی شبکه‌های تأمین
- آگاهی یافتن نسبت به منافع زیست‌محیطی ناشی از تشکیل زنجیره‌های تأمین بسته

و امکان مانور شرکت بر تعهد نسبت به مسئولیت اجتماعی سازمان

- کمک به برنامه ریزان تولید در سازمان‌های تولیدکننده به‌منظور اجتناب از تأمین صرف قطعات از تأمین‌کنندگان و امکان بهره‌گیری از قطعات نوسازی شده

- دادن آگاهی به برنامه ریزان تولید نسبت به اعتقاد بیشتر به مبانی تولید ناب و دوری از اتلاف تولید مازاد و توجه به منافع اقتصادی کل زنجیره (با توجه به توصیه به‌مواجهه با کمبود در برخی از دوره‌ها در حالت بهینه)

- دادن امکان لازم به مدیران برای پیش‌بینی نیاز به تأمین قطعات در سال‌های آینده و یافتن تأمین‌کنندگان مناسب برای آن‌ها با توجه به حجم قطعات نوسازی شده

همچنین نتایج حاصل از حل عددی فوق به‌خوبی نشان‌دهنده اعتبار مدل و عملکرد منطقی آن از منظر تولید متغیرهای تصمیم و مقادیر توابع هدف می‌باشد. به‌منظور توسعه این تحقیق، می‌توان از روش‌های دیگر ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان قطعات مانند روش کوپراس در حالت معمول، فازی و یا خاکستری استفاده کرد. همچنین می‌توان از سایر روش‌های حل مسائل چند هدفه نیز برای تولید جواب‌های پارتو استفاده کرد. مدل ریاضی مسئله نیز قابل توسعه بوده و میت وان برخی پارامترها را توأم با عدم قطعیت در نظر گرفت و از روش‌های برنامه‌ریزی احتمالی، سناریویی، استوار و استوار فازی برحسب شرایط مسئله استفاده کرد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع ندارند.

ORCID

Mehdi Seifbarghy **https://orcid.org/**

Nastaran Bakhshizadeh https://orcid.org/

منابع

بشیری، مهدی؛ شیری، مهدیه (۱۳۹۴)، طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری چندبخشی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با دو الگوریتم ابتکاری و فرا ابتکاری، *پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، دوره ۳، شماره ۵، صفحات ۴۱-۲۷.

بشیری، مهدی؛ شرافتی، مهتاب (۱۳۹۲)، طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی، *پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، دوره ۱، شماره ۱، صفحات ۲۵-۳۵.

حیدری، صدف (۱۳۹۹)، ارائه یک مدل برنامه‌ریزی دو هدفه برای انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین تاب آور تحت ریسک‌های عملیاتی و اختلالات، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه الزهرا.

کمالی، حمیدرضا؛ صادقیه، احمد؛ وحدت زاد، محمدعلی؛ خادمی زارع، حسن (۱۳۹۴)، برنامه‌ریزی زنجیره تأمین حلقه بسته با تقاضای قطعی پویا و قیمت پیوسته نزولی، *مجله مهندسی صنایع و مدیریت*، دوره ۳۱-۱، شماره ۲/۲، صفحات ۵۱-۶۰.

آذر، عادل؛ کولیایی، مریم؛ امینی، محمدرضا؛ رجب‌زاده قطری، علی (۱۳۹۵)، طراحی مدل ریاضی یکپارچه برای زنجیره تأمین با حلقه بسته، *پژوهش‌های مدیریت در ایران*، دوره ۲۰، شماره ۱، صفحات ۱-۲۸.

References

Abdolazimi, O., Salehi Esfandarani, M., Salehi, M., Shishebori, D. (2020). Robust design of a multi-objective closed-loop supply chain by integrating on-time delivery, cost, and environmental aspects, case study of a Tire Factory. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 226, pp. 988-1003.

Ahmadi, S., Amin, S.H. (2019). An integrated chance-constrained stochastic model for a mobile phone closed-loop supply chain network with supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 226, pp. 988-1003.

Amin, S.H., Razmi, J. (2009). An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation. *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 4, pp. 8639-8648.

Amin, S.H., Razmi, J., Zhang, G. (2011). Supplier selection and order

allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 1, pp. 334–342.

Amin, S.H., Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier election: multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 1, pp. 6782–6791.

Brauers, W., Zavadskas, E.K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, Vol. 35, No. 2, pp. 445-469.

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwarrd, J. M., Dekker, R., Der Lann, E., Nunen, J.A.E.E., Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 103, No. 1, pp. 1–17.

Ghahremani-Nahr, J., Kian, R., Sabet, E. (2019). A robust fuzzy mathematical programming model for the closed-loop supply chain network design and a whale optimization solution algorithm. *Expert Systems with Applications*, Vol. 116, pp. 454-471.

Ghayebloo, S., Tarokh, M.J., Venkatadri, U., Diallo, C. (2015). Developing a bi-objective model of the closed-loop supply chain network with green supplier selection and disassembly of products: The impact of parts reliability and product greenness on the recovery network. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 36, pp. 76-86.

Govindan, K., Dhingra Darbari, J., Agarwal, V., Jha, P.C. (2017). Fuzzy multi-objective approach for optimal selection of suppliers and transportation decisions in an eco-efficient closed loop supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 165, pp. 1598-1619.

Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., Gholami-Zanjani, S.M. (2020). An Integrated Hybrid Approach for Circular supplier selection and Closed loop Supply Chain Network Design under Uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 242, 118317.

Guide Jr., V.D.R., Van Wassenhove, L.N. (2009). The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations Research*, Vol. 57, No. 1, pp. 10–18.

Haddad-Sisakht, A., Ryan, S.M. (2018). Closed-loop supply chain network design with multiple transportation modes under stochastic demand and uncertain carbon tax. *International Journal of Production Economics*, Vol.195, pp.118-131.

Li, B., Wang, Y., Wang, Z. (2021). Managing a closed-loop supply chain with take-back legislation and consumer preference for green design. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 282, 124481.

Liu, Y., Ma, L., & Liu, Y. (2021). A novel robust fuzzy mean-UPM model for green closed-loop supply chain network design under distribution

ambiguity. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 92, pp. 99-135.

Bhatia, M.S., Jakhar, S.K., Mangla, S.K., Gangwani, K.K. (2020). Critical factors to environment management in a closed loop supply chain. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 255, 120239.

Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*, Vol.196, No. 2, pp. 401–412.

Pazhani, S., Mendoza, A., Nambirajan, R., Narendran, T.T., Ganesh, K., Olivares-Benitez, E. (2021). Multi-period multi-product closed loop supply chain network design: A relaxation approach. Computers & Industrial Engineering, Vol. 155, 107191.

Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics: A review. Resources, *Conservation and Recycling*, Vol. 53, No. 4, pp. 175–182.

Pourmehdi, M., Paydar, M.M., Asadi-Gangraj, E. (2020). Scenario-based design of a steel sustainable closed-loop supply chain network considering production technology. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 277, 123298.

Shakourloo, A., Kazemi, A., & Oroojeni Mohammad Javad, M. (2016). A new model for more effective supplier selection and remanufacturing process in a closed-loop supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 40 (23-24), 9914-9931.

Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H., & Jafari, H. (2017). Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 109, pp. 191-203.

References [In Persian]

Bashiri, M., & Shiri, M. (2015). Design of closed-loop supply chain network with considering of multi-part collection centers under uncertainty with two heuristic and meta-heuristic algorithms. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, Vol. 3, No. 5, pp. 27–41. [In Persian]

Bashiri, M., & Sherafati, M. (2013). Advanced Bi-objective closed loop supply chain network design considering correlated criteria in fuzzy environment. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 25–36. [In Persian]

Heydari, Sadaf. (2020). Proposing a bi-objective programming model for supplier selection in resilient supply chain under operational risks nd disruptions. MSc thesis, Alzahra University. [In Persian]

Kamali, H.R., Sadeghieh, A., Vahdat-Zad, M.A., & Khademi-Zare, H. (2016). Planning closed loop supply chain with dynamic deterministic demand and continuous price decrease. *Industrial Engineering and Management.* Vol. 31.1, No. 2.2, pp. 27–35. [In Persian]

Azar, A., Kolyaei, M., Amini, M.H., & Rajabzadeh Gatari, A. (2016). Design of integrated mathematical model for closed-loop supply chain. *Management Research in Iran.* Vol. 20, No. 1, pp. 1–32. [In Persian]

استناد به این مقاله: سیف برقی، مهدی.، بخشی زاده، نسترن. (۱۴۰۱). یکپارچه‌سازی ارزیابی تأمین‌کنندگان و طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته تاب آور و رتبه‌بندی بر اساس روش فازی-مورا-نقطه مرجع، *فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی*، ۲۰(۶۵)، ۱-۳۷.

DOI: 10.22054/JIMS.2022.63110.2695

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.