Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 12, Serial Number 47, Autumn 2022, Pages 63-88 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.12.3.63

A Multi-Objective Sustainable Closed Loop Supply Chain Model Considering Suppliers Evaluation and using SWARA-WASPAS Method

Mehdi Seifbarghy*

Abstract

Closed loop supply chain network design has attracted the attentions of many researchers due to the social and environmental requirements as well as the economic benefits. Most of the researchers have studied the design problem separated from the supplier assessment. Some other criteria except for price, regarding supplier features, the supplied part and the production process can have considerable effects on supply chain performance. In this paper, a closed loop supply chain network including production centres, disassembly, refurbishing, and disposal sites is considered. An integrated three-phase model is given so that in the first phase, integrated SWARA-WASPAS method is employed for suppliers' evaluation; in the second phase, a new method is proposed in order to determine environmental-social scores of remanufacturing sites and in the third phase, a three-objective mixed integer linear programming model is developed. Determination of the eligible suppliers and sustainability of the supply chain considering economic, social and environmental objectives, are of most outputs of this model. Unsatisfied demand of customers are assumed to be lost. The numerical results show the validity of the model and the role of stockout option in reaching better solutions considering the sustainability metrics.

Keywords: Closed Loop Supply Chain; Supplier Assessment; Sustainability; Stockout; SWARA-WASPAS.

Received: Sep. 13, 2021; Accepted: Des. 17, 2021.
* Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Alzahra University (Corresponding Author).
Email: M.Seifbarghy@alzahra.ac.ir

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
سال دوازدهم، شماره ۴۷، پاییز ۱۴۰۱، ص‌ص ۶۳ – ۸۸ (**نوع مقاله: پژوهشی**)
DOI: 10.52547/JIMP.12.3.63

ارائه مدل چندهدفه زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار با درنظرگرفتن ارزیابی تأمین‌کنندگان و استفاده از روش ترکیبی سوارا – واسپاس

مهدی سیف برقی*

چکیده

با توجه به الزامات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته پژوهشگران زیادی را به خود جذب کرده است. این مسئله بیشتر به‌صورت مجزا از ارزیابی تأمین‌کنندگان موردمطالعه قرار گرفته است. عوامل مختلفی به‌جز قیمت مانند ویژگی‌های تأمین‌کننده و قطعه می‌تواند تأثیر زیادی بر عملکرد زنجیره داشته باشد. در این پژوهش یک شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته شامل سایت‌های تولید، جداسازی، بازسازی و دفع در نظر گرفته و مدلی تلفیقی در سه مرحله ارائه شده است. در مرحله نخست از روش ترکیبی «سوارا ـ واسپاس» در حالت سلسله‌مراتبی برای امتیازدهی به تأمین‌کنندگان استفاده شده، در مرحله دوم امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی مکان‌های نوسازی با توجه به جمعیت مناطق مسکونی و نرخ بیکاری محاسبه و در مرحله سوم یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی سه هدفه پیشنهاد شده است. نتیجه، انتخاب تأمین‌کننده مناسب و مکان سایت‌های نوسازی و همچنین جریان‌های بین اعضای مختلف زنجیره است. در این مدل علاوه بر هدف حداکثرسازی تأمین از تأمین‌کنندگان شایسته، پایداری زنجیره نیز در قالب اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی ـ اجتماعی مدنظر قرار گرفته است. نتایج عددی مربوطه نشان‌دهنده اعتبار مدل و نقش گزینه کمبود در رسیدن به جواب‌های بهتر همراه با توجه کافی به شاخصه‌های پایداری است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین حلقه‌بسته؛ ارزیابی تأمین‌کنندگان؛ پایداری؛ کمبود؛ سوارا – واسپاس.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۶.

* دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه الزهرا (نویسنده مسئول).
Email: M.Seifbarghy@alzahra.ac.ir

۱. مقدمه

به‌طورکلی مدیریت برگشت کالاهای مصرف‌شده از سمت مشتری یا کالاهایی که به هر دلیل در قفسه‌های خرده‌فروشی، به فروش نرفته‌اند، به‌دلایل زیست‌محیطی و اجتماعی علاوه بر دلایل اقتصادی، موردتوجه ویژه پژوهشگران قرار گرفته است. واژه لجستیک معکوس فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل جریان اقلام برگشتی در زنجیره تأمین است. برای مثال، روغن‌های نفتی، لوازم منزل و بسیاری از محصولات ریزودرشت صنعتی قابل‌نوسازی یا بازیافت هستند و جزو محدوده لجستیک معکوس قرار می‌گیرند و زمانی که این برگشتی‌ها به زنجیره اصلی خود بازگشت داده می‌شوند، دراصطلاح زنجیره تأمین حلقه‌بسته را تشکیل می‌دهند. طراحی زنجیره تأمین حلقه‌بسته از اولویت‌های اصلی بسیاری از سازمان‌ها است. برای مثال در فرآیند بازیافت، محصولاتی که قبلاً مورداستفاده قرار گرفته‌اند، در سایت‌های جداسازی جدا شده و سپس به دو گروه قطعات قابل‌استفاده و یا ضایعات قابل‌دفع تقسیم می‌شوند. قطعات قابل‌استفاده در سایت‌های نوسازی برای استفاده مجدد آماده و به موجودی قطعات نو اضافه می‌شوند؛ سپس محصولات جدید از قطعات نو و قدیمی نوسازی‌شده تولید می‌شوند. لوازم‌خانگی 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 نمونه‌های نوی آن‌ها باشد.

عموماً هزینه‌های خرید قطعات معمولاً نسبت به هزینه‌های صرف‌شده برای نوسازی آن‌ها به‌خصوص اگر در حجم بالا نوسازی شوند، بیشتر است. درضمن نوسازی قطعات از نظر زیست‌محیطی (با جلوگیری از تولید زباله) و حتی بعضاً اجتماعی (با ایجاد اشتغال بیشتر) مطلوب است؛ همچنین ممکن است خرید قطعات نو از تأمین‌کنندگان خارجی علاوه بر هزینه خرید، با عوامل دیگری نظیر زمان تحویل طولانی، اختلالات تأمین‌کنندگان و ریسک‌های تأمین همراه باشد و به‌طورکلی هزینه تمام‌شده تأمین را به میزان زیادی افزایش دهد. از همین رو در تصمیمات مرتبط با مدیریت تأمین باید تأمین‌کنندگان به‌صورت دوره‌ای بر اساس معیارهای مختلفی موردارزیابی قرار گرفته و امتیازات داده‌شده به آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با تأمین مدنظر باشد. ارزیابی تأمین‌کنندگان یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره است که ممکن است شامل معیارهای کیفی و کمّی باشد. پژوهش‌های مختلفی در خصوص ارزیابی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین صورت گرفته است؛ بنابراین تعداد پژوهش‌هایی که مسئله ارزیابی تأمین‌کننده را با مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته به‌صورت تلفیقی موردمطالعه قرار داده‌اند، بسیار محدود است. در طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته 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 [۸]. پژوهش‌های متنوعی در حوزه‌های مختلف زنجیره تأمین حلقه‌بسته صورت گرفته است. برای نمونه، تقی‌زاده یزدی و همکاران (۲۰۲۰)، مدل ریاضی چندهدفه‌ای

ارائه کردند که مجموع هزینه‌های عملیاتی زنجیره و میزان مواجهه کارکنان با مواد شیمیایی زیان‌آور را به حداقل می‌رساند. متغیرهای تصمیم مسئله مرتبط با برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی هستند [۲۷]. صادقی مقدم و همکاران (۲۰۲۱)، از مفاهیم ناب، چابک، تاب‌آوری و سبز بهره گرفتند و راهکارهای اجرای لجستیک معکوس در زنجیره تأمین سبز را شناسایی و اولویت‌بندی کردند. در این پژوهش از رویکرد خبره‌محور فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای که از جدیدترین رویکردها در حوزه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، استفاده شد؛ همچنین از مجموعه‌های فازی شهودی بازه‌ای برای وزن‌دهی و از روش واسپاس فازی شهودی بازه‌ای برای اولویت‌بندی راهکارها استفاده شد [۲۴]. فیض الهی و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل چندهدفه، چندسطحی، چنددوره‌ای و تک‌محصولی در شرایط عدم‌قطعیت در زنجیره تأمین حلقه‌بسته با کاربرد در مسائل پزشکی و درمانی ارائه کردند. توابع هدف مدل به‌صورت افزایش سود حاصل از محصول بازیافتی هم‌زمان با حداقل‌کردن هزینه‌های عملیاتی، کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از تولید، حمل و بازیافت محصول بود [۱۰].

در پژوهش حاضر، هدف طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته (CLSC)[۱] شامل تولیدکننده، مشتریان، سایت جداسازی، سایت‌های نوسازی و دفع است. 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 پژوهش دارای دو فاز اصلی است: در فاز نخست با استفاده از رویکرد ترکیبی سوارا ـ واسپاس[۲] روشی 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 است. در فاز دوم نیز یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته طراحی و مدل ریاضی آن در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک چندهدفه[۳] ارائه می‌شود. تابع هدف اول به شکل حداکثرسازی سود (به‌دلیل امکان مواجهه با کمبود بر اساس منافع اقتصادی تأمین‌کننده)، تابع هدف دوم به‌صورت حداکثرسازی امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی مکان‌های نوسازی منتخب و تابع هدف سوم به‌صورت حداکثرسازی امتیاز تأمین‌کنندگان است که متضمن انتخاب تأمین‌کنندگان شایسته خواهد بود. با توجه به این توضیحات ضرورت اصلی پژوهش را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱. توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی بر اساس جمعیت مناطق مسکونی و نرخ بیکاری مناطق به‌عنوان دو محور پایداری زنجیره تأمین علاوه بر ملاحظات اقتصادی؛

---

۱. Closed loop supply chain

۲. SWARA-WASPAS

۳. Multi-objective mixed binary linear programming(MBLP)

۲. دخیل‌کردن امتیازات ارزیابی دوره‌ای تأمین‌کنندگان در مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته؛
۳. به‌کارگیری روش ترکیبی سوارا ـ واسپاس در حالت سلسله‌مراتبی.

در مورد بند اول، ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی بر اساس جمعیت مناطق مسکونی و نرخ بیکاری مناطق ارائه شده است که در هیچ پژوهش مشابه دیگری چنین رویکردی مشاهده نشده است. در مورد ملاحظات زیست‌محیطی، با توجه به آلاینده‌بودن تسهیلات نوسازی، هر چه تسهیلات از مناطق مسکونی و جمعیتی دورتر باشند، قاعدتاً از نظر زیست‌محیطی مطلوب‌تر هستند. اصولاً یکی از ایده‌ای ایجاد شهرک‌های صنعتی و تجمیع صنایع به دور از مناطق مسکونی و جمعیتی با همین ملاحظه بوده است؛ همچنین از منظر اجتماعی، ایجاد صنایع نوسازی و بازیافت در مناطق با نرخ بیکاری بالاتر مطلوب‌تر از مناطقی است که به‌طور نسبی موقعیت اشتغال در آن‌ها بیشتر است. در خصوص مورد سوم، تکنیک ترکیبی سوارا ـ واسپاس در حالت سلسله‌مراتبی، رویکرد جدید است که می‌تواند در پژوهش‌های آتی نیز مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

سؤال‌های مهم پژوهش حاضر این است که ۱. میزان تولید بهینه محصولات توسط تولیدکننده چقدر باشد و چه درصدی از تقاضای مشتریان برآورده شود؟ ۲. جریان‌های برگشتی از مشتریان تا سایت جمع‌آوری و نوسازی و دفع و درنهایت 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 سؤال‌ها مدل ریاضی سه‌هدفه‌ای ارائه خواهد شد که ضمن تأمین منافع اقتصادی، دو بُعد دیگر پایداری، یعنی اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین همکاری با تأمین‌کنندگان شایسته مدنظر قرار گیرد.

در این پژوهش در بخش دوم مبانی نظری و پیشینه پژوهش مرور می‌شود. در بخش سوم روش‌شناسی پژوهش ارائه خواهد شد. در بخش چهارم تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش و در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با توجه به موضوع پژوهش، مبانی نظری مطرح در این حوزه به دو بخش پژوهش‌های مرتبط با طراحی شبکه‌های CLSC به‌طور خاص و همچنین پژوهش‌های مرتبط با تلفیق طراحی شبکه‌های CLSC با مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان تقسیم می‌شود.

تحقیقات مرتبط با طراحی شبکه‌های CLSC. بیشتر پژوهش‌های موجود در مبانی نظری موضوع به بررسی لجستیک معکوس و پیکربندی زنجیره تأمین بسته پرداخته‌اند. فلیشمن[۱] و همکاران (۱۹۹۷)، مسئله لجستیک معکوس را از منظر مدل‌سازی ریاضی مطالعه و پژوهش‌های مرتبط را به سه گروه اصلی شامل برنامه‌ریزی توزیع، موجودی و تولید تقسیم کردند [۹]. گاید و وان واسنهوف[۲] (۲۰۰۹)، مسائل CLSC را به پنج دوره شامل عصر طلایی بازیافت (تولید مجدد)، لجستیک معکوس، هماهنگی زنجیره تأمین معکوس، بسته‌شدن حلقه و قیمت و بازار تقسیم کردند [۱۵]. ملو[۳] و همکاران (۲۰۰۹)، مبانی نظری لجستیک معکوس را به دو بخش «حلقه بسته» و «شبکه‌های بازیابی» تقسیم کردند [۲۱]. پوخارل و موتا[۴](۲۰۰۹) بر دیدگاه‌های مختلف لجستیک معکوس مانند تجزیه‌وتحلیل شبکه و موجودی، جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده، تعیین قیمت، استفاده مجدد، فروش مجدد و تولید مجدد تکیه کردند [۲۲].

بشیری و همکاران (۲۰۱۳)، یک مدل طراحی دوهدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته با درنظر-گرفتن معیارهای وابسته به هم در شرایط عدم‌قطعیت فازی ارائه کردند؛ همچنین با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی، معیاری به نام «امتیاز مؤلفه اصلی» ارائه کردند؛ به‌نحوی‌که همه معیارهای موردنظر برای انتخاب اجزای زنجیره تأمین به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شدند. مزیت این روش علاوه بر ادغام معیارهای موردنظر و کاهش ابعاد، ازبین‌بردن وابستگی بین آن‌ها برای تصمیم‌گیری است؛ همچنین در این پژوهش به‌منظور واقعی‌ترشدن شرایط، مسئله‌ای دوهدفه در یک محیط فازی مدل‌سازی شد [۶]. بشیری و شیری (۲۰۱۵)، یک مدل طراحی شبکه CLSC را با درنظرگرفتن مراکز جمع‌آوری چندبخشی در شرایط عدم‌قطعیت ارائه و مسئله را با الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری حل کردند [۷]. رجب زاده گتاری و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل ریاضی یکپارچه را برای مسئله CLSC ارائه کردند؛ به‌نحوی‌که در آن روش یکپارچه‌ای برای طراحی زنجیره تأمین شامل دو مرحله ارائه شد. در مرحله نخست، چارچوبی برای معیارهای انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار در زنجیره‌های معکوس پیشنهاد شده و در مرحله دوم یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه عدد صحیح مختلط چنددوره‌ای ارائه شد [۲۳]. کمالی و همکاران (۲۰۱۶)، 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 فناورانه که دارای هزینه تولید و قیمت فروش نزولی هستند، مقدار و زمان سفارش‌دهی، تولید و تحویل برنامه‌ریزی می‌شود [۱۷].

---

۱. Fleischmann
۲. Guide & Van Wassenhove
۳. Melo
۴. Pokharel & Mutha

سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷)، این مسئله را با اهداف حداکثرسازی سود، درنظرگرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین حداکثرسازی سطح پاسخگویی به مشتری مدل‌سازی کردند [۲۶]. حداد سیسخت و ریان[۱] (۲۰۱۸)، این مسئله را با فرض عدم‌قطعیت تقاضا، میزان برگشت محصول و همچنین تعرفه انتشار کربن موردبررسی قرار دادند [۱۶]. قهرمانی نهر و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل مکان‌یابی تسهیلات ـ تخصیص برای مسئله چنددوره‌ای و چند-محصولی طراحی CLSC با درنظرگرفتن کمبود، عدم‌قطعیت و تخفیف در قیمت مواد ارائه کردند. در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ برای حل مسئله استفاده شد [۱۱]. لیو[۲] و همکاران (۲۰۲۱)، روشی جدید برای مدیریت ریسک و عدم‌قطعیت موجود در مسئله را مبتنی بر روش‌های استوار و فازی پیشنهاد دادند؛ به‌نحوی‌که بدترین حالت عملکرد زنجیره یادشده را بهبود بخشند [۱۹].

تحقیقات مرتبط با تلفیق طراحی شبکه‌های CLSC و ارزیابی تأمین‌کنندگان. سابقه تلفیق مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان با مسائل دیگر در مبانی نظری پژوهش‌های زنجیره تأمین مسبوق به سابقه است [۴]. برای مثال، علی‌اکبری و سیف برقی (۲۰۱۱)، مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان را با درنظرگرفتن عامل مسئولیت اجتماعی در یک زنجیره تأمین موردبررسی قرار دادند و نشان دادند که افزایش مسئولیت اجتماعی در سطح زنجیره حتی می‌تواند به افزایش سود کلی زنجیره منجر شود.

غایبلو و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل دوهدفه 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 زنجیره برگشت توسعه دادند و جواب‌های پارتو مناسبی را با توجه به تعادل بین اهداف سود و سبزبودن تأمین‌کنندگان منتخب به‌دست آوردند [۱۲]. این پژوهش در کنار پژوهش امین و ژانگ (۲۰۱۲) جزو نخستین پژوهش‌هایی است که به‌نوعی قصد دارد مسئله ارزیابی تأمین‌کننده را با طراحی CLSC یکپارچه کند [۵].

شکورلو و همکاران (۲۰۱۶)، یک شبکه CLSC شامل تولیدکننده، بازتولیدکننده و شرکت شخص ثالث یا همان پیمانکار را در نظر گرفتند و مدلی را در دو مرحله توسعه دادند [۲۵]. در مرحله نخست، هدف ارزیابی و تخصیص پیمانکار مناسب برای جمع‌آوری محصولات برگشتی و در مرحله دوم بر اساس یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چندهدفه، هدف تعیین تعداد محصولات و ترکیب قطعات و مجموعه‌های برگشتی در این زنجیره است. گویندان[۳] و همکاران

۱. Haddad-Sisakht & Ryan
۲. Liu
۳. Govindan

(۲۰۱۷)، یک مدل چندهدفه چنددوره‌ای به‌منظور طراحی یک CLSC برای کارتریج پرینتر با اهداف فازی توسعه دادند. در این پژوهش ضمن کمّینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی سیستم لجستیکی به معیارهای زیست‌محیطی در انتخاب تأمین‌کنندگان و موضوع تولید کربن در سیستم‌های حمل‌ونقل مربوطه نیز توجه شده است [۱۳]. احمدی و امین (۲۰۱۹)، این مسئله را در حالت چنددوره‌ای چندمحصولی برای گوشی تلفن همراه در کشور کانادا با انواع حالت‌های برگشتی (محصولات در خاتمه عمر، محصولات در خاتمه استفاده و محصولات تجاری) بررسی کردند. از ویژگی‌های مهم این پژوهش عدم‌قطعیت در تقاضا و نرخ بازگشت محصولات و در-نظرگرفتن دو هدف حداکثرسازی سود و امتیازات تأمین‌کنندگان منتخب است [۱]. گویندان و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل گردشی انتخاب تأمین‌کننده و طراحی CLSC را با استفاده از تکنیک‌های فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی فازی و دیمتل فازی در کنار مدل چندهدفه ریاضی با درنظر گرفتن مسئله موجودی ـ مکان‌یابی ـ مسیریابی برای صنعت خودرو توسعه دادند [۱۴].

با توجه به‌مرور مبانی نظری، پژوهشی در حوزه طراحی CLSC به‌طور هم‌زمان اهداف سود، انتخاب تأمین‌کنندگان با امتیازات بالای ارزیابی (شایسته) و همچنین پایداری زنجیره تأمین را در نظرگرفته باشد، مشاهده نشد. از طرفی دیگر امکان وجود کمبود و برآورده‌نشدن تقاضا نیز یکی از گزینه‌هایی است که به‌عنوان نوآوری این پژوهش در نظر گرفته شده است؛ همچنین از روش ترکیبی جدیدی با عنوان «سوارا ـ واسپاس» که به‌ندرت در پژوهش‌های دیگر استفاده شده است برای ارزیابی تأمین‌کنندگان مورداستفاده قرار می‌گیرد. ضمن اینکه روش سوارا به‌صورت سلسله‌مراتبی از معیارها به‌کار گرفته می‌شود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

بیان مسئله و مدل پیشنهادی. در این بخش ابتدا به بیان مسئله پژوهش و سپس به جزئیات مدل سه‌مرحله‌ای شامل ارزیابی تأمین‌کنندگان، محاسبه امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی آن‌ها و طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته اشاره خواهد شد. در مدل سه‌هدفه مورداشاره علاوه بر هدف حداکثرسازی سود، اهداف زیست‌محیطی ـ اجتماعی زنجیره و تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان شایسته نیز مدنظر است.

بیان مسئله و مدل کلی. در این پژوهش یک شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته شامل تولیدکننده، مشتریان، سایت جداسازی، سایت‌های نوسازی[۱] و دفع و تأمین‌کنندگان خارجی در نظر گرفته شده است که مجموعه آن توسط تولیدکننده مدیریت می‌شود. تولیدکننده چندین محصول با

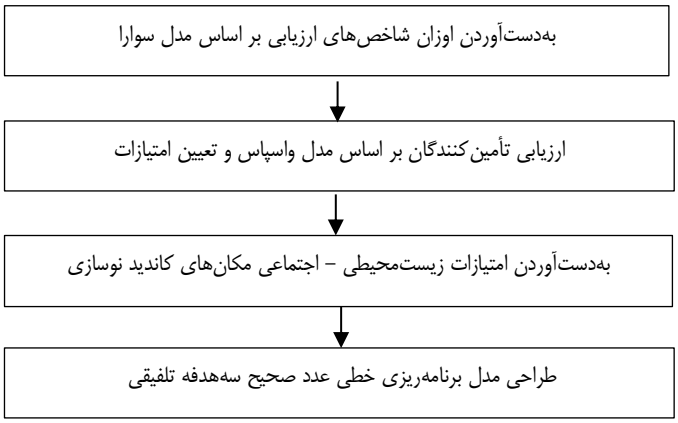
۱. Remanufacturing

تقاضای مشخص را تولید می‌کند؛ هرچند امکان عدم‌برآورده‌سازی 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 اصلی در تولیدکننده و به‌عنوان قطعات جدید اضافه می‌شوند؛ به‌نحوی‌که فرض می‌شود تفاوتی بین آن‌ها از نظر عملکرد با قطعاتی که از تأمین‌کنندگان دریافت می‌شود، وجود نخواهد داشت. یادآوری این نکته لازم است که ظرفیت سایت‌های جداسازی و نوسازی محدود فرض شده‌اند. با توجه به توضیحات، تولیدکننده بر اساس مقدار تقاضای قابل‌برآورد هر دوره و قطعات نوسازی‌شده طی همان دوره، کمبود خود را از تأمین‌کنندگان خارجی برآورده می‌کند. از فرضیه‌های مهم این مدل، این است که مجموع هزینه‌های نوسازی و جداسازی کمتر از هزینه خرید قطعات نو است؛ زیرا در غیر این صورت اصولاً تشکیل زنجیره تأمین حلقه‌بسته و جمع‌آوری و نوسازی این قطعات نمی‌توانست دارای توجیه اقتصادی باشد. بر اساس توافق صورت‌گرفته با تأمین‌کنندگان و درنظرگرفتن محدودیت‌های توجیه اقتصادی آن‌ها در تأمین اقلام، مقادیر حداقل و حداکثری برای تأمین مجموع قطعات از نظر تعداد در هر دوره برای هر تأمین‌کننده در نظر گرفته می‌شود؛ همچنین در انتخاب سایت‌های نوسازی برای هر قطعه در هر دوره زمانی، امتیازی برای آن سایت از منظر پایداری و بر اساس دو معیار زیست‌محیطی و اجتماعی تعریف می‌شود.

علاوه بر این، فرض می‌شود 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. در این خصوص از روش ترکیبی سوارا ـ واسپاس با درنظرگرفتن سلسله‌مراتب معیارها استفاده می‌شود.

مدل کلی پژوهش مطابق شکل ۱، ترسیم شده است:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱. مدل کلی پژوهش

ارزیابی تأمین‌کنندگان. در این پژوهش فرض می‌شود که مدل ارائه شده به‌صورت عمومی برای سازمان‌های تأمین‌کننده قطعات ارائه شده است و سازمان خاصی در صنعت خاصی مدنظر نبوده است. گروه ارزیابی می‌توانند شامل مدیران و کارشناسان خبره واحد بازرگانی سازمان و مدیران ارشد و اعضای هیئت‌مدیره باشند که به‌طور پیوسته با تأمین‌کنندگان در ارتباط نزدیک بوده‌اند. درضمن در بیشتر شرکت‌ها معمولاً یک ارزیابی اولیه از تأمین‌کنندگان بر اساس خود اظهاری آن‌ها انجام می‌شود و سپس ممیزی توسط سازمان خریدار اتفاق می‌افتد. درصورتی‌که تأمین‌کننده بتواند از شاخص‌های ممیزی عبور کند، می‌تواند جزو فهرست تأمین‌کنندگان یا فروشندگان سازمان قرار گیرد. پس از اینکه شرکت تأمین‌کننده جزو فهرست یادشده قرار گرفت، مشمول ارزیابی دوره‌ای می‌شود. در این پژوهش نیز فرض شده است که امتیازات ارزیابی صورت گرفته مربوط به ارزیابی دوره‌ای است. در این قسمت از تلفیق روش سوارا برای تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی و روش واسپاس برای رتبه‌بندی و تخصیص امتیاز به تأمین‌کنندگان هر قطعه استفاده می‌شود. هرچند روش‌های جدید دیگری نیز در ادبیات تحقیقات مربوطه مانند [۸] ارائه شده است. با توجه به اینکه معیارهای ارزیابی به‌صورت سلسله‌مراتبی در قالب معیارهای اصلی مرتبط با تأمین‌کننده، قطعه و فرایند و زیرمعیارهای آن در نظر گرفته شده‌اند؛ یکی از نکات مهم، اجرای روش سوارا در حالت سلسله‌مراتبی است.

با فرض اینکه M $(m=1,2,3,...,M)$ معیار تصمیم‌گیری و K $(k = 1,2,3,...,K)$ تأمین‌کننده واجد شرایطی (به‌عنوان گزینه‌های تصمیم) که I $(i=1,2,3,...,I)$ نوع قطعه را تأمین می‌کنند باشد، مراحل اجرای روش سوارا به شرح زیر خواهد بود [۱۸]:

۱. مرتب‌کردن شاخص‌های تصمیم‌گیری به‌ترتیب اهمیت آن‌ها به‌صورت نزولی و نوشتن آن‌ها در یک ستون از بالا به پایین؛
۲. پس از مرتب‌کردن M شاخص تصمیم‌گیری، میزان اهمیت نسبی هر شاخص بالایی نسبت به پایینی که با نماد s_m نشان داده می‌شود، سنجیده می‌شود. باید توجه شود که این مقدار برای شاخص اول همواره ۱ در نظر گرفته می‌شود. برای مثال، اگر اهمیت شاخص اول نسبت به دوم ۳۰ درصد بیشتر باشد، مقدار s_2 معادل ۱/۳خواهد شد.
۳. ضرایب k_m از رابطه ۱، محاسبه و در ستون سوم جدول قرار می‌گیرد؛

$$k_m = \begin{matrix} 1 & m = 1 \\ s_m + 1 & m > 1 \end{matrix} \quad (۱)$$

۴. مقادیر وزنی q_m را از رابطه ۲، به‌دست آورده می‌شود و در ستون چهارم جدول قرار می‌گیرد؛

$$q_m = \begin{matrix} 1 & m = 1 \\ \frac{q_{m-1}}{k_m} & m > 1 \end{matrix} \quad (۲)$$

۵. مقادیر ضرایب وزنی نرمال‌شده از رابطه ۳، محاسبه و در ستون پنجم جدول قرار می‌گیرد.

$$w_m = \frac{q_m}{\sum_{m=1}^{M} q_m} \quad (۳)$$

در ادامه به‌منظور تعیین امتیاز هر تأمین‌کننده در خصوص یک قطعه خاص، گام‌های ۵ به بعد باید بر اساس روش واسپاس که ترکیبی از دو مدل مجموع وزین و حاصل‌ضرب وزین است، پیموده شود [۳]:
۶. با فرض ارائه امتیازات لازم به هر یک از گزینه‌ها (در اینجا تأمین‌کنندگان مختلف هر یک از قطعات) و تشکیل ماتریس $X = [r_{km}] \;\; k = 1, \dots, K \;\; m = 1, \dots, M$ که در آن k معرف گزینه‌ها و m معرف شاخص‌ها است، بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم مطابق با روابط ۴ و۵، به ترتیب برای شاخص‌های مثبت (هر چه بیشتر، بهتر) و منفی (هر چه کمتر، بهتر) انجام می‌شود:

$$r_{km}{}^{*} = \frac{r_{km}}{max_k\{r_{km}\}} \quad k = 1, \dots, K \;\; m = 1, \dots, M \quad (۴)$$

$$r_{km}{}^{*} = \frac{min_k\{r_{km}\}}{r_{km}} \quad k = 1, \dots, K \quad m = 1, \dots, M \qquad (۵)$$

۷. با فرض اینکه مجموع وزن‌های شاخص‌ها معادل ۱ است ($\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$)، در این گام برای هر گزینه اهمیت نسبی جمعی و اهمیت نسبی ضربی با استفاده از روابط ۶ و ۷، محاسبه می‌شود.

$$Q_k^1 = \sum_{m=1}^{M} r_{km}{}^{*}.w_m \quad k = 1, \dots, K \qquad (۶)$$

$$Q_k^2 = \prod_{m=1}^{M} (r_{km}{}^{*})^{w_m} \quad k = 1, \dots, K \qquad (۷)$$

۸. تعیین معیار مشترک: این معیار که با نماد Q_k برای هر گزینه نمایش داده می‌شود، ترکیبی از دو معیار میزان اهمیت نسبی ضربی و جمعی مطابق رابطه ۸، است.

$$Q_k = \lambda\, Q_k^1 + (1-\lambda) Q_k^2 \quad k = 1, \dots, K, \lambda \in [0,1] \qquad (۸)$$

امتیاز زیست‌محیطی ـ اجتماعی سایت‌های نوسازی. به‌منظور تعیین امتیاز زیست‌محیطی هر یک از سایت‌های نوسازی ($l=1,2,\dots,L$)، عامل تعداد جمعیت ساکن در شعاع ۵۰ کیلومتری که با pop_l نشان داده می‌شود، در نظر گرفته می‌شود. با توجه به تأثیرات زیست‌محیطی فرایندهای نوسازی، قاعدتاً به هر میزان این عدد کمتر باشد، امتیاز زیست‌محیطی آن مکان بیشتر خواهد بود.؛ همچنین نرخ بیکاری منطقه که با uer_l نشان داده می‌شود، به‌عنوان شاخص اجتماعی در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است هر چه این مقدار بیشتر باشد، مطلوبیت آن مکان نیز بیشتر خواهد بود. شاخص ترکیبی امتیاز هر مکان از منظر زیست‌محیطی ـ اجتماعی با نرمال‌سازی مقادیر مطابق رابطه ۹، خواهد بود. در این رابطه ρ نشان‌دهنده وزن اهمیت شاخص زیست‌محیطی است.

$$ess_l = \rho \frac{\frac{1}{pop_l}}{\sum_{l=1}^{L} \frac{1}{pop_l}} + (1-\rho) \frac{uer_l}{\sum_{l=1}^{L} uer_l} \qquad (۹)$$

مدل پیشنهادی برای زنجیره تأمین حلقه‌بسته. در این قسمت اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترهای مدل به‌صورت زیر ارائه می‌شوند؛ اندیس‌ها عبارت‌اند از:

i: اندیس قطعات ($i=1,2,\dots,I$)

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 است:

P_{jt}: تعداد محصول j که در دوره t توسط تولیدکننده تولید می‌شود.

SH_{jt}: مقدار کمبود یا تقاضای برآورده‌نشده محصول j در دوره t

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

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 نوسازی‌شده در سایت l در دوره t

Vit: تعداد قطعه i دفع‌شده در دوره t

U_{ilt}: درصورتی‌که سایت l در دوره t برای نوسازی قطعه i انتخاب شود، ۱؛ در غیر این‌صورت صفر.

F_{jt}: درصورتی‌که سایت جداسازی برای محصول j در دوره t راه‌اندازی شود، ۱؛ در غیر این‌صورت صفر.

SU_{kt}: درصورتی‌که تأمین‌کننده k در دوره t انتخاب شود، ۱؛ در غیر این‌صورت صفر.

پارامترهای مدل نیز 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 تامین هر واحد قطعه t در دوره kاز تأمین‌کننده i

A_{kt}: حداقل مقدار خرید از تأمین‌کننده k در دوره t

B_{kt}: حداکثر مقدار خرید از تأمین‌کننده k در دوره t

ess_l: امتیاز زیست‌محیطی ـ اجتماعی سایت نوسازی l

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 پژوهش مطابق با روابط ۱۰ تا ۲۶، است.

$$Max\ Z_{1=} \quad (۱۰)$$
$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(S_{jt}-mc_j)P_{jt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} pcs_{ikt}\,Q_{ikt} - \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\pi_{jt}\,SH_{jt} - \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} rc_{jt}\,R_{jt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} cd_i\,Z_{it} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} o_{il}\,X_{ilt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} pc_i\,V_{it} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} scr_{ilt}\,U_{ilt} - \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} dc_j\,F_{jt}$$

$$Max\ Z_{2=} \ \sum_{i=1}^{I}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} ess_l\,X_{ilt} \quad (۱۱)$$

$$Max\ Z_3 = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} ws_{ik}\,Q_{ikt} \quad (۱۲)$$

Subject to :

$$\sum_{j=1}^{J} rpp_{ij}\,P_{jt} = \sum_{l=1}^{L} X_{ilt} + \sum_{k=1}^{K} Q_{ikt} \qquad \forall i,t \quad (۱۳)$$

$$R_{jt} = H_{jt}P_{jt} \qquad \forall j,t \quad (۱۴)$$

$$P_{jt} + SH_{jt} = D_{jt} \qquad \forall j,t \quad (۱۵)$$

$$Z_{it} = \sum_{j=1}^{J} rpp_{ij}\,R_{jt} \qquad \forall i,t \quad (۱۶)$$

$$mr_{it}Z_{it} = \sum_{l=1}^{L} X_{ilt} \qquad \forall i,t \quad (۱۷)$$

$$(1-mr_{it})Z_{it} = V_{it} \qquad \forall i,t \quad (۱۸)$$

$$\sum_{j=1}^{J} aa_j P_{jt} \le AP_t \qquad \forall t \quad (۱۹)$$

$$rd_i\, Z_{jt} \le E_i \qquad \forall i,t \qquad (۲۰)$$

$$rrp_{il}\, X_{ilt} \le G_{il}\, U_{ilt} \qquad \forall i,l,t \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{i=1}^{I} Q_{ikt} \ge A_{kt} SU_{kt} \qquad \forall k,t \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{i=1}^{I} Q_{ikt} \le B_{kt} SU_{kt} \qquad \forall k,t \qquad (۲۳)$$

$$R_{jt} \le MF_{jt} \qquad \forall j,t \qquad (۲۴)$$

$$U_{ilt}, F_{jt}, SU_{kt} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,k \qquad (۲۵)$$

$$P_{jt}, SH_{jt}, R_{jt}, Q_{ikt}, Z_{it}, X_{ilt}, V_{it} \ge 0 \qquad \forall i,j,k,t,l \qquad (۲۶)$$

تابع هدف نخست در رابطه ۱۰، حداکثرسازی سود است. بخش نخست 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 ۱۱، امتیاز شاخص‌های زیست‌محیطی ـ اجتماعی مکان‌های نوسازی منتخب را بر اساس مقادیر خریداری‌شده از آن‌ها حداکثر می‌کند و تابع هدف سوم در رابطه ۱۲، مجموع امتیازات ارزیابی تأمین‌کنندگان را متناسب با مقادیر خریداری‌شده از آن‌ها حداکثر می‌کند. محدودیت ۱۳، برابری تعداد قطعات موردنیاز تولیدشده را با تعداد قطعات نو خریداری‌شده و نوسازی‌شده تضمین می‌کند. محدودیت۱۴، نیز معادله تعداد قطعات برگشتی را بر اساس نرخ برگشت و تقاضای مشتریان نشان می‌دهد. محدودیت ۱۵، معادله برابری تقاضای مشتریان را با مجموع مقادیر تولید و کمبود ارائه می‌کند. محدودیت ۱۶، تعداد قطعات جداسازی‌شده را در سایت جداسازی بر اساس ضریب مصرف قطعات در محصولات ارائه می‌کند. محدودیت‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹، تعداد قطعات قابل‌دفع و قطعات نوسازی‌شده را بر اساس جریان ورودی هر یک یعنی ضریبی از قطعات جداسازی‌شده نشان می‌دهند. محدودیت‌های ۲۰ و ۲۱، مرتبط با رعایت ظرفیت جداسازی و نوسازی قطعات در سایت‌های مربوطه است. محدودیت‌های ۲۲ و ۲۳ نشان‌دهنده حداقل و حداکثر میزان قابل‌تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان بر اساس توافقات قبلی با آن‌ها هستند. محدودیت ۲۴، تضمین می‌کند که در صورت وجود برگشتی در سایت جداسازی، راه‌اندازی سایت مربوطه برای هر محصول ضروری خواهد بود و درنتیجه هزینه‌های مرتبط با آن باید در مدل در نظر گرفته شود. محدودیت‌های ۲۵ و ۲۶، نشان‌دهنده وضعیت متغیرهای تصمیم هستند.

راه‌حل پیشنهادی. برای حل مسئله چندهدفه ارائه‌شده از روش اپسیلون محدودیت تقویت‌شده (AEC)[۱] استفاده می‌شود که در آن یک هدف به‌عنوان هدف اصلی و برای سایر اهداف جرائمی با توجه به تخطی از مقدار موردنظر آن اهداف، به تابع هدف افزوده می‌شود [۲۰]. با توجه به اینکه کلیه توابع هدف این پژوهش از نوع حداکثرسازی است، درصورتی‌که P تابع هدف از نوع حداکثرسازی باشد، به‌نحوی‌که $f_p(X)\ \ p=1,\dots,P$ ضابطه هر یک از این توابع را نشان دهد، در این صورت یکی از این توابع مثلاً p' به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب و مدل ریاضی زیر به‌ازای ϵ_pهای مختلف جواب‌های پارتوی مربوط به این مدل چندهدفه را تولید خواهد کرد؛ البته بهتر است به‌منظور همسان‌سازی اهداف، عبارت نخست تابع هدف با تقسیم بر دامنه تغییرات خود نرمال شود.

$$Max\ \ f_{p'}(X)+\ \delta(\sum_{p=1}^{P}\frac{s_p}{r_p}) \qquad (۲۷)$$

$$S.t:\ f_p(X)-s_p=\ \epsilon_p \quad p=1,\dots,P, \qquad p\neq\ p' \qquad (۲۸)$$

$$s_p\geq 0\ \ p=1,\dots,P, p\neq\ p'\ \ \&\ \ X\in F \qquad (۲۹)$$

در مدل بالا F مجموعه محدودیت‌های اصلی خود مدل، s_p متغیر مازاد هدف p و r_p دامنه تغییرات این هدف است که از طریق جدول عایدات و بر اساس رابطه $r_p=f_p^*-f_p^-$ محاسبه می‌شود. در این رابطه f_p^* حداکثر مقدار ممکن این تابع و f_p^- حداقل مقدار ممکن آن است؛ همچنین δ ضریب اهمیت مجموعه نرمال‌شده متغیرهای مازاد اهداف مختلف است. برای محاسبه ϵ_p می‌توان از رابطه ۳۰، استفاده کرد که در آن، ρ_p ضریبی بین صفر و یک است.

$$\epsilon_p=f_p^-+\rho_p\, r_p \quad p=1,\dots,P, p\neq\ p' \qquad (۳۰)$$

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج عددی. در این بخش یک مثال عددی برای درک بهتر و ارزیابی مدل ارائه شده است. فرض کنید یک تولیدکننده لوازم‌خانگی ۵ نوع محصول تقریباً مشابه را مونتاژ کرده و می‌فروشد و هر محصول از پنج نوع قطعه مشترک با سایرین تشکیل شده است. معیارهای ارزیابی شامل سه معیار اصلی مرتبط با تأمین‌کننده (زیرمعیارهای هزینه، زمان تحویل و تجربه تأمین‌کننده)، قطعه (زیرمعیارهای کیفیت، ایمنی، سبکی و قابلیت بازیافت) و فرایند (زیرمعیارهای قابلیت فرایند، انعطاف‌پذیری فرایند، کاهش ضایعات و استفاده از فناوری سبز) در نظر گرفته می‌شوند. در مرحله

۱. Augmented Epsilon-Constraint

نخست، ابتدا وزن معیارهای ارزیابی از طریق روش سوارا به‌دست آمده و در ادامه امتیاز هر تأمین‌کننده در خصوص هر قطعه مطابق با روش واسپاس محاسبه می‌شود. در مرحله دوم، امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی سایت‌های نوسازی مطابق با روش پیشنهادی محاسبه می‌شوند. در مرحله سوم مدل ریاضی چندهدفه مربوطه بر اساس امتیازات به‌دست‌آمده از مرحله اول و دوم تشکیل و با استفاده از مدل‌سازی در نرم‌افزار GAMS مطابق روش اپسیلون محدودیت تقویت‌شده حل می‌شود.

گام‌های ۱ تا ۵ روش سوارا برای معیارهای اصلی شامل تأمین‌کننده، قطعه و فرایند در جدول ۱، نشان داده شده است.

جدول۱. گام‌های ۱ تا ۵ روش سوارا در خصوص معیارهای اصلی

معیارهای اصلی	s_m	k_m	q_m	w_m
تأمین‌کننده	۱	۱	۱	۰/۳۸۳۴
قطعه	۰/۱	۱/۱	۰/۹۰۹۱	۰/۳۴۸۵
فرایند	۰/۳	۱/۳	۰/۶۹۹۳	۰/۲۶۸۱

در خصوص سایر معیارها به‌دلیل مشابه‌بودن فرایند، از بیان جزئیات نتایج پرهیز و صرفاً نتایج مربوط به وزن معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه می‌شود. در خصوص هزینه، زمان تحویل و تجربه به‌ترتیب مقادیر وزن‌ها ۰/۱۵۷۹، ۰/۱۳۱۵ و ۰/۰۹۴۰ به‌دست آمد. در خصوص کیفیت، ایمنی و سبکی به‌ترتیب مقادیر وزن‌ها ۰/۱۱۳۸، ۰/۰۹۴۹ و ۰/۰۶۰ به‌دست آمد. در خصوص قابلیت بازیافت، قابلیت فرایند، انعطاف‌پذیری، کاهش ضایعات و استفاده از فنّاوری سبز نیز مقادیر وزن‌ها به‌ترتیب ۰/۰۷۹۰، ۰/۰۸۴۹، ۰/۰۷۰۷، ۰/۰۵۸۹ و ۰/۰۵۳۶ به‌دست آمد.

به‌منظور اجرای روش واسپاس و اجرای گام‌های ششم تا هشتم، امتیازات هر تأمین‌کننده در خصوص هر معیار بر اساس نظرات خبرگی یا مقادیر کمّی موجود صرفاً برای قطعه ۱ در جدول ۲، ارائه شده است. در این جداول علامت "+" برای معیارهای مثبت و "-" برای معیارهای منفی است؛ همچنین بی‌مقیاس‌سازی مقادیر جدول ۲، مطابق با گام ششم صورت گرفته (در اینجا نشان داده نشده) و سپس محاسبه اهمیت نسبی جمعی و ضربی و امتیاز هر تأمین‌کننده (در رابطه مربوطه λ معادل ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود) مطابق گام‌های هفتم و هشتم انجام شد و درنهایت امتیازات نرمال‌شده هر تأمین‌کننده به‌دست آمد.

جدول ۲. 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 فنّاوری سبز+
۱	۸	۱۸	۲	۰/۷	۳	۴	۴	۴	۵	۵	۴
۲	۹	۱۵	۳	۰/۸	۴	۴	۴	۴	۵	۵	۵
۳	۱۰	۱۴	۱۸	۰/۸	۴	۴	۵	۵	۴	۴	۵
۴	۹	۱۴	۵	۰/۷	۴	۵	۴	۴	۴	۴	۵
۵	۷	۱۸	۸	۰/۶	۳	۴	۴	۴	۴	۴	۴

ارزیابی برای تأمین‌کنندگان در خصوص قطعه ۱ و البته قطعات ۲، ۳، ۴ و ۵ نیز انجام شد و درنهایت نتایج مطابق جدول ۳، به‌دست آمد.

جدول۳. وزن تأمین‌کنندگان برای کلیه قطعات ws_{ik}

قطعات	وزن تأمین‌کنندگان				
	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۰/۱۸۳۰	۰/۲۰۰۲	۰/۲۲۵۹	۰/۱۹۷۷	۰/۱۹۳۲
۲	۰/۱۷۴۰	۰/۲۱۰۰	۰/۲۱۵۴	۰/۱۸۷۷	۰/۲۱۲۹
۳	۰/۱۹۲۹	۰/۲۱۲۴	۰/۲۲۵۹	۰/۱۸۷۷	۰/۱۸۱۵
۴	۰/۱۸۶۵	۰/۲۰۵۰	۰/۲۳۰۱	۰/۱۹۴۵	۰/۱۸۳۹
۵	۰/۱۸۶۹	۰/۲۱۲۱	۰/۲۳۶۲	۰/۱۸۸۸	۰/۱۷۶۰

طبق توضیحات ارائه شده، تعداد ۵ تأمین‌کننده خارجی، تأمین ۵ نوع قطعه را برای ۵ محصول تولیدی بر عهده خواهند داشت. تعداد سایت‌های جداسازی نیز معادل ۵ در نظر گرفته شده و فرض می‌شود بهینه‌سازی برای دو دوره صورت گیرد.

در ادامه نتایج محاسبات امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی بر اساس رابطه ۹، برای سایت‌های نوسازی مطابق جدول ۴، خواهد بود. در رابطه یادشده ρ معادل ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود که به مفهوم وزن مساوی عوامل زیست‌محیطی و اجتماعی است.

جدول۴. امتیاز زیست‌محیطی ـ اجتماعی سایت‌های نوسازی ess_i

شماره سایت نوسازی	امتیاز زیست‌محیطی- اجتماعی	نرخ بیکاری منطقه	تعداد جمعیت ساکن در شعاع ۵۰ کیلومتری
۱	۰/۵۵۵۱	۰/۱۵	۵۱۰۰۰
۲	۰/۲۸۶۳	۰/۱۰	۱۳۰۰۰۰
۳	۰/۳۰۸۱	۰/۱۰	۱۱۰۰۰۰
۴	۰/۳۹۴۵	۰/۱۲	۸۰۰۰۰
۵	۰/۴۵۶۰	۰/۱۳	۶۵۰۰۰

در ادامه مقادیر در نظرگرفته شده برای سایر پارامترهای مدل ارائه می‌شود.
مقادیر پارامترهای مرتبط با محصولات در دوره‌های مختلف شامل S_{jt}، D_{jt}، π_{jt}، H_{jt} و rc_{jt} به‌ترتیب از بالا به پایین در هر خانه جدول ۵، نشان داده شده است.

جدول ۵. مقادیر پارامترهای S_{jt}، D_{jt}، π_{jt}، H_{jt} و rc_{jt}

	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۴	محصول ۵
دوره اول	۳۰۰	۴۰۰	۴۴۰	۴۶۰	۵۰۰
	۱۳۰۰	۱۴۰۰	۱۵۰۰	۱۴۵۰	۱۶۰۰
	۲۰	۲۵	۲۵	۳۰	۳۵
	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷
	۴۵	۸۰	۶۰	۹۰	۸۰
دوره دوم	۳۱۰	۴۱۰	۴۵۰	۴۶۵	۵۰۵
	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۱۵۰۰	۱۴۵۰	۱۷۰۰
	۲۰	۲۵	۲۵	۳۰	۳۵
	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
	۴۵	۸۵	۶۰	۹۵	۷۰

در جدول ۶، مقادیر پارامترهای مرتبط با قطعات شامل E_i، cd_i، pc_i و rd_i ارائه شده است.

جدول ۶. مقادیر پارامترهای E_i، cd_i، pc_i، rd_i

	قطعه ۱	قطعه۲	قطعه ۳	قطعه ۴	قطعه ۵
E_i	۱۰۰۰۰	۸۰۰۰	۹۵۰۰	۹۰۰۰	۹۵۰۰
cd_i	۵	۶	۳	۴	۵
pc_i	۵	۶	۷	۵	۴
rd_i	۱	۱	۱	۱	۱

مقادیر پارامترهای مرتبط با قطعات در سایت‌های مختلف شامل o_{il}، rrp_{il} و G_{il} به‌ترتیب از بالا به پایین در هر خانه جدول ۷، نشان داده شده است.

جدول ۷. مقادیر پارامترهای o_{il}، rrp_{il} و G_{il}

	سایت ۱	سایت ۲	سایت ۳	سایت ۴	سایت ۵
قطعه ۱	۲	۲	۳	۲	۴
	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲
	۹۰۰۰	۱۰۰۰۰	۸۵۰۰	۱۰۰۰۰	۹۵۰۰
قطعه ۲	۳	۲	۵	۳	۶
	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۰۰	۱۰۰۰۰	۹۵۰۰
قطعه ۳	۵	۳	۵	۴	۵
	۲	۲	۲	۲	۲
	۹۰۰۰	۱۰۰۰۰	۸۰۰۰	۹۵۰۰	۱۰۰۰۰
قطعه ۴	۶	۴	۵	۳	۳
	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
	۸۵۰۰	۹۰۰۰	۱۰۰۰۰	۹۵۰۰	۸۵۰۰
قطعه ۵	۵	۵	۴	۴	۳
	۱	۱	۱	۱	۱
	۹۰۰۰	۹۵۰۰	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۰۰

مقادیر پارامترهای مرتبط با محصولات شامل aa_j، mc_j و dc_j در جدول ۸، ارائه شده است.

جدول ۸. مقادیر پارامترهای aa_j، mc_j و dc_j

	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۴	محصول ۵
aa_j	۱,۵	۳	۲	۲,۵	۳
mc_j	۴۵	۵۰	۶۰	۵۰	۴۵
dc_j	۱۰	۵	۱۰	۵	۵

مقادیر پارامتر مربوط به ضریب مصرف قطعات در محصولات rpp_{ij} در جدول ۹، نشان داده شده است.

جدول ۹. مقادیر پارامتر rpp_{ij}

	محصول ۱	محصول ۲	محصول۳	محصول ۴	محصول۵
قطعه ۱	۲	۲	۲	۱	۱
قطعه ۲	۳	۳	۲	۲	۲
قطعه ۳	۲	۲	۱	۱	۱
قطعه ۴	۲	۳	۲	۳	۳
قطعه ۵	۱	۳	۲	۲	۱

مقادیر پارامترهای مرتبط با حداقل و حداکثر توان تأمین‌کنندگان در تأمین مجموع قطعات موردنیاز A_{kt} و B_{kt} در جدول ۱۰، ارائه شده است.

جدول ۱۰. مقادیر پارامترهای A_{kt} و B_{kt}

	تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ۴	تأمین‌کننده ۵
دوره ۱	۱۰۰۰–۵۰۰۰	۱۵۰۰–۵۰۰۰	۲۵۰۰–۷۰۰۰	۱۰۰۰–۵۰۰۰	۲۰۰۰–۶۰۰۰
دوره ۲	۱۰۰۰–۵۰۰۰	۱۵۰۰–۵۰۰۰	۲۵۰۰–۷۰۰۰	۱۰۰۰–۵۰۰۰	۲۰۰۰–۶۰۰۰

مقادیر پارامتر مربوط به هزینه راه‌اندازی هر سایت نوسازی برای تولید قطعات در دوره‌های مختلف scr_{ilt} در جدول ۱۱، ارائه شده است.

جدول ۱۱. مقادیر پارامتر scr_{ilt}

	سایت ۱	سایت ۲	سایت ۳	سایت ۴	سایت ۵
قطعه ۱	۵	۳	۴	۲	۴
قطعه ۲	۵	۵	۶	۶	۵
قطعه ۳	۸	۱۰	۸	۱۰	۸
قطعه ۴	۳	۵	۵	۶	۶
قطعه ۵	۵	۵	۷	۷	۹

فرض می‌شود مقادیر متناظر برای هر دو دوره یکسان است.

مقادیر پارامتر مربوط به هزینه تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان در دوره‌های مختلف pcs_{ikt} در جدول ۱۲، ارائه شده است.

جدول ۱۲. مقادیر پارامتر pcs_{ikt}

	دوره اول					دوره دوم				
	تأمین کننده۱	تأمین کننده ۲	تأمین کننده ۳	تأمین کننده ۴	تأمین کننده ۵	تأمین کننده ۱	تأمین کننده ۲	تأمین کننده ۳	تأمین کننده ۴	تأمین کننده ۵
قطعه ۱	۱۵	۱۷	۲۰	۲۴	۱۶	۱۵	۱۷	۲۰	۲۴	۱۶
قطعه ۲	۲۰	۲۴	۱۸	۲۰	۱۸	۲۰	۲۴	۱۸	۲۰	۱۸
قطعه ۳	۱۷	۲۵	۲۴	۱۸	۱۸	۱۷	۲۵	۲۴	۱۸	۱۸
قطعه ۴	۲۶	۲۸	۳۲	۳۰	۲۵	۲۶	۲۸	۳۲	۳۰	۲۵
قطعه ۵	۲۲	۲۵	۲۶	۳۰	۲۶	۲۲	۲۵	۲۶	۳۰	۲۶

مقادیر پارامترهای میانگین درصد قابل‌نوسازی قطعات جداشده در سایت جداسازی در هر دوره mr_{it} برای کلیه قطعات معادل ۸۰ درصد و حداکثر ظرفیت تولید محصولات در هر دوره AP_t معادل ۱۶۰۰۰ واحد برای هر دوره در نظر گرفته شده است.

به‌منظور حل مسئله با استفاده از روش AEC ابتدا جدول عایدات را برای توابع مختلف هدف تشکیل می‌شود که کلیه توابع هدف توابع هدف از نوع ماکسیمم‌سازی است. جدول ۱۳، مقادیر توابع مختلف هدف را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳. جدول عایدات برای مدل سه‌هدفه (هر سه هدف حداکثرسازی)

نوع تابع هدف	مقادیر اهداف با فرض بهینه‌سازی Z_1	مقادیر اهداف با فرض بهینه‌سازی Z_2	مقادیر اهداف با فرض بهینه‌سازی Z_3
$Max\ Z_1$	۲۱۴۸۹۱۲	۱۲۹۰۵۳۵	۱۱۸۰۷۰۶
$Max\ Z_2$	۱۶۸۷۶	۲۹۵۶۳	۱۸۳۴۴
$Max\ Z_3$	۸۵۲۱	۹۹۶۵	۱۰۵۹۸

مطابق نتایج جدول ۱۳، سه جواب نامغلوب ارائه شده است. در زمانی که تابع هدف اول (سود) بهینه می‌شود، مقادیر تابع هدف دوم (امتیازات زیست‌محیطی– اجتماعی) و تابع هدف سوم (امتیازات تأمین‌کنندگان) به‌ترتیب معادل ۱۶۸۷۶ و ۸۵۲۱ است. در حالتی که تابع هدف دوم بهینه می‌شود، امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی به حداکثر مقدار خود، یعنی ۲۹۵۶۳ می‌رسد. در این حالت مقدار تابع هدف سود کاهش زیادی می‌یابد و به مقدار ۱۲۹۰۵۳۵ می‌رسد؛ هرچند امتیاز تأمین‌کنندگان نیز رشد نسبی دارد و به مقدار ۹۹۶۵ می‌رسد. در حالت سوم نیز امتیازات تأمین‌کنندگان حداکثر می‌شود و به عدد ۱۰۵۹۸ می‌رسد؛ اما سود به عدد ۱۱۸۰۷۰۶ می‌رسد که

مجدداً کاهش زیادی نسبت به قبل نشان می‌دهد و امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی نیز به ۱۸۳۴۴ می‌رسد.

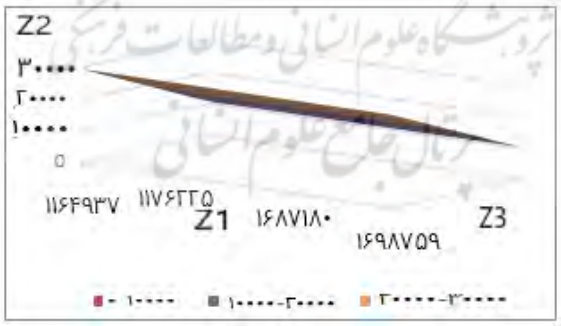
مقادیر توابع هدف سه‌گانه به همراه مقدار تابع هدف روش AEC و همچنین مقدار متغیرهای مازاد توابع هدف دوم و سوم (S_1 و S_2) با تغییر مقدار δ در جدول ۱۴، ارائه شده است. یادآوری این نکته لازم است که مقادیر ϵ_1 و ϵ_2 برای توابع هدف دوم و سوم به‌ترتیب معادل ۲۵۰۰۰ و ۹۵۰۰ (بر اساس دامنه تغییرات تابع از جدول عایدات) در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۴. مقادیر توابع هدف و متغیرهای مازاد با فرض ϵ_1 و ϵ_2 معادل ۲۵۰۰۰ و ۹۵۰۰

	معادل δ۱۰	**معادل δ۲۵**	**معادل δ۵۰**	**معادل δ۱۰۰**
مقدار تابع هدف روش AEC	۱۰,۴۹۴	۲۳,۶۰۹	۴۵,۶۱۱	۹۰,۰۱۹
Z_1	۱۶۹۸۷۵۹	۱۶۸۷۱۸۰	۱۱۷۶۲۲۵	۱۱۶۴۹۳۷
Z_2	۲۹۴۳۶	۲۹۴۳۶	۲۹۵۶۲	۲۹۵۶۳
Z_3	۱۰۵۸۹	۱۰۵۹۱	۱۰۵۹۷	۱۰۵۹۸
s_1	۴۴۳۶	۴۴۳۶	۴۵۶۲	۴۵۶۳
s_2	۱۰۸۹	۱۰۹۱	۱۰۹۷	۱۰۹۸

با توجه به جدول ۱۴، با افزایش مقدار δ از ۲۵ به ۵۰ مقدار تابع هدف اول، یعنی سود، به مقدار زیادی کاهش یافته است؛ درحالی‌که مقادیر توابع هدف دوم و سوم، یعنی امتیازات زیست محیطی ـ اجتماعی و امتیازات ارزیابی تأمین‌کنندگان، افزایش ناچیزی داشته است.

نمودار پارتو مربوط به این جواب‌ها نیز در شکل ۲، مشاهده می‌شود. همان‌طور که از نمودار مشخص است مقادیر تابع هدف اول بین ۱۱۶۴۹۳۷ تا ۱۶۹۸۷۵۹ نوسان داشته است؛ درحالی‌که تابع هدف دوم بین ۲۹۴۳۶ تا ۲۹۵۶۳ نوسان می‌کند. نوسان تابع هدف سوم بسیار محدود است و بین ۱۰۸۹ تا ۱۰۹۸ قرار دارد.



شکل ۲. نمودار پارتو مرتبط با جواب‌های تولیدشده

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش یک مدل ریاضی یکپارچه سه‌مرحله‌ای برای ارزیابی تأمین‌کنندگان قطعات مختلف یک محصول، ارزیابی امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی سایت‌های نوسازی و طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته شامل تولیدکننده، مشتریان، سایت جداسازی قطعات، سایت‌های نوسازی، دفع و تأمین‌کنندگان خارجی ارائه شد. در مرحله نخست با استفاده از روش سوارا ـ واسپاس امتیازات ارزیابی تأمین‌کنندگان در رابطه با هر قطعه به‌دست آمد و سپس امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی سایت‌های نوسازی محاسبه شد؛ درنهایت با استفاده از این امتیازات مدلی سه‌هدفه شامل اهداف حداکثرسازی سود زنجیره و تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان شایسته با امتیازات ارزیابی بالا و همچنین حداکثرسازی امتیازات زیست‌محیطی ـ اجتماعی در سایت‌های نوسازی ارائه شد. این مدل در قالب یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (صفر و یک) مختلط چند دوره‌ای ارائه و عملکرد آن با طراحی یک مثال عددی نشان داده شد. بر اساس نتایج حل، با افزایش مقدار δ از ۲۵ به ۵۰ مقدار تابع هدف نخست، یعنی سود، به مقدار زیادی کاهش می‌یابد؛ درحالی‌که مقادیر توابع هدف دوم و سوم، یعنی امتیازات زیست محیطی ـ اجتماعی و امتیازات ارزیابی تأمین‌کنندگان افزایش ناچیزی یافته است.

نتایج پژوهش حاضر برای مدیران صنعت و کاربردهای عملی منافع چندی را در پی خواهد داشت که عبارت‌اند از:

ـ آگاهی‌یافتن نسبت به اهمیت ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان، به‌خصوص در زمان یکپارچه‌سازی آن با مسائل دیگر نظیر طراحی شبکه‌های تأمین؛

ـ آگاهی‌یافتن نسبت به منافع زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از انتخاب سایت‌های نوسازی سازمان و امکان مانور شرکت بر تعهد نسبت به مسئولیت اجتماعی؛

ـ کمک به برنامه ریزان تولید در سازمان‌های تولیدکننده به‌منظور اجتناب از تأمین صرف قطعات از تأمین‌کنندگان و امکان بهره‌گیری از قطعات نوسازی‌شده؛

ـ آگاهی‌دادن به برنامه‌ریزان 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 به مواجهه با کمبود در برخی از دوره‌ها در حالت بهینه)؛

ـ 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 نوسازی‌شده.

به‌منظور توسعه این پژوهش می‌توان از روش‌های دیگر ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان قطعات مانند «روش کوپراس[1]» در حالت معمول، فازی و یا خاکستری استفاده کرد؛ همچنین

1. COPRAS

می‌توان از سایر روش‌های حل مسائل چندهدفه نیز برای تولید جواب‌های پارتو بهره گرفت. مدل ریاضی مسئله نیز قابل‌توسعه بوده و می‌توان برخی پارامترها نظیر تقاضا و یا پارامترهای هزینه‌ای را توأم با عدم‌قطعیت در نظر گرفت و از روش‌های برنامه‌ریزی احتمالی، سناریویی، استوار و استوار فازی بر حسب شرایط مسئله استفاده کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. 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, 226,* 988-1003.
2. Aliakbari, A., & Seifbarghy, M. (2011). A supplier selection model for social responsible supply chain. *Journal of Optimization in Industrial Engineering, 4(8),* 41-53.
3. Alinejhad, A., & Khalil, J. (2017). *Novel techniques in multi-attribute decision making.* Volume2, Jahad daneshgahi of Amirkabir University publication, first edition. (In Persian)
4. 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, 38(1),* 334–342.
5. 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, 39(1),* 6782–6791.
6. 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, 1(1),* 25-36. (In Persian)
7. 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, 3(5),* 27-41. (In Persian)
8. Brauers, W., & Zavadskas, E.K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics, 35(2),* 445-469.
9. 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, 103(1),* 1–17.
10. Feizollahi, S., Soltanpanah, H., Farughi, H., & Rahimzadeh, A. (2019). Development of Multi Objective Multi Period Closed-Loop Supply Chain Network Model Considering Uncertain Demand and Capacity. *The Journal of Industrial Management Perspective, 8(4),* 61-95. (In Persian)
11. 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, 116,* 454-471.
12. 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, 36,* 76-86.
13. 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, 165,* 1598-1619.

14. 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, 242*, 118317.
15. Guide Jr., V.D.R., & Van Wassenhove, L.N. (2009). The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations Research, 57(1),* 10–18.
16. 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, 195,* 118-131.
17. 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 & Management, 31.1 (2.2),* 51-60. (In Persian)
18. Kersuliene, V., Zavadskas, E.K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new Step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and management, 11(2),* 243–258.
19. 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, 92,* 99-135.
20. Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied Mathematics and Computation, 213(2),* 455-465.
21. Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management – *A review. European Journal of Operational Research, 196(2*), 401–412.
22. Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics: A review. *Resources, Conservation and Recycling, 53(4),* 175–182.
23. Rajabzadeh Gatari, A., Amini, M.R., Azar, A., & Kolyaei, M. (2016). Design of integrated mathematical model for closed-loop supply chain. *Management Researches in Iran, 20(1),* 1-32. (In Persian)
24. Sadeghi Moghadam, M.R., Hosseini Dehshiri, S.J., Sinaie, S., & Rajabi Kafshgar, F.Z. (2021). Utilization of intuitive fuzzy WASPAS method with interval values to evaluation of reverse logistics implementation actions in the LARG supply chain. *The Journal of Industrial Management Perspective,* In Press.
25. 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, 40 (23-24),* 9914-9931.
26. Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H., & Jafari, H. (2017). Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering, 109,* 191-203.
27. Taghizadeh Yazdi, M.R., & Salmani Zarchi, E. (2020). Presenting a comprehensive multi-objective model of the multi-level multi-product green closed-loop supply chain with a weighted sum method approach: Pareto front generation (Case study: Shahpar momtaz shoes Co.). *The Journal of Industrial Management Perspective, 9(4),* 107-137. (In Persian)